

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

化学学导论

 **eBOOK**
内网资料 免费下载

内容提要

本书讨论了化学的对象、职能、认识、方法、分类等化学总体性问题，化学的概念、结构、亲合、过程、时空、前沿、革命、发展等化学普遍性问题，化学的经济、文化、人才等化学社会性问题和美国、西欧、苏联、日本、中国等化学区域性问题的研究，是我国第一部以化学科学本身为研究对象的化学学著作。

本书适用于化学研究工作者，化学管理工作者，大中专院校化学教师、化学专业学生，以及哲学、自然辩证法和科学学工作者阅读，有助于从全局上认识化学，把握化学发展规律，推进化学及相关学科的发展。

前言

科学学创始人贝尔纳曾经说过，“对现代科学本身进行分析，已经变成了一项绝不是一个人所能单独担当的任务”。确是如此，回顾一下《化学学导论》的编著过程就是这样。那是在1984年，当时由于我接受了《中国大百科全书·自然辩证法卷》的“化学”综合条目的撰写任务，而不得不深入考察一下化学科学总体的对象、性质、特征、职能、体系等许多具有普遍意义的问题，深感有必要以化学科学本身作为研究对象继续做些探讨工作。同时又由于受到刚刚在我国兴起的科学学的启发，更进一步感受到了建立化学学的必要性。于是便在1985年撰写了“建立化学学的初步探讨”一文。出乎意料的是，在文章发表后不久就收到了我国科学界的老前辈、著名科学家钱学森先生的亲笔来函，给作者以积极鼓励，并提出了重要的指导性意见。与此同时，曾经多年在一起密切合作过的老朋友乔世德、王玉生、王德胜和关广庆等同志也给予了热情支持和响应，并决定共同合作主编这部《化学学导论》。当我们把这一设想汇报给我国化学界老前辈著名化学家唐敖庆先生（前中国国家自然科学基金委员会主任，学部委员）、卢嘉锡先生（前中国科学院院长，学部委员）和徐光宪先生（北京大学教授，学部委员）时，立即得到了三位先生的热心支持和鼓励。我的两位老师、我国化学元老袁翰青先生（中国科学院情报研究所顾问，学部委员）和唐敖庆先生则欣然同意担任本书顾问，并由袁翰青先生为本书作序。此后，中国自然辩证法研究会化学化工专业委员会开始把本书的编著列入重点研究规划，辽宁省教育委员会又批准列为科学基金项目，拨出经费资助。此外，陕西华能精煤公司也从企业支持学术研究的角度给予了积极赞助。还有，我的日本老朋友山口达明先生（日本千叶工业大学教授）除热心为本书撰稿外，还从各个方面给予了热情支持。最后，则是参加本书执笔工作的全体作者都能依照编委会的要求，潜心研究和精心撰写，为全书的完成提供了坚实的基础。

可以看出，《化学学导论》的问世，如果没有老一辈科学家的关心和鼓励，没有各界人士的大力支持和全体作者的通力合作，是难以实现的。为此，请让我代表编委会的全体同志向钱学森先生、袁翰青先生、唐敖庆先生、卢嘉锡先生、徐光宪先生，向中国自然辩证法研究会化学化工专业委员会、辽宁省教育委员会、陕西华能精煤公司和辽宁师范大学科研处，以及日本友人山口达明教授，表示最深切的谢意！

全书由廖正衡、王玉生、乔世德、王德胜同志担任组稿和初审改工作；廖正衡担任终审改和定稿工作；廖正衡、关广庆、刘桂、于雷和刘凤朝同志担任统稿及技术处理工作。

在编著过程中，尽管全体作者和编委尽了最大努力，然而由于水平和其它条件所限，全书还会存在许多不当之处，还望广大读者不吝指正，提出宝贵意见。

廖正衡

1991年10月20日于大连辽宁师范大学

贝尔纳：《科学的社会功能》，商务印书馆，1982年版，第26页。

廖正衡：“建立化学学的初步探讨”，《东北师大学报》，1985年，第1期，第49—60页。

序

化学科学自从在 300 多年前作为独立科学诞生以来，至今已经发展成为一门日益庞大的知识体系，分支学科越来越多，研究领域越来越广，研究对象越来越复杂，并以其独特的方式作用于社会，日益深刻地影响着人类社会的生产、经济、政治、军事、科学、文化以及环境等各个方面，显示出日益社会化的趋向。这就使得化学科学本身成了一种极其复杂的、难以认识的社会现象，从而需要人们把化学科学本身作为研究对象而加以专门考察，探讨化学科学总体的对象、职能、体系、认识、方法以至演化规律等一系列具有整体性、普遍性、社会性的重大问题，以便能够从战略的高度来认识化学，把握化学发展规律，推进化学发展。

这就是说，化学发展到今天已经越来越迫切地需要进行自我反思或自我认识，即需要“研究它自己本身”，进而逐步建立起一门以化学科学本身作为研究对象的“元化学”(met-achemistry)或“化学科学的科学”(Science of Chemistry)即“化学学”。可以看出，化学学的出现是现代化学发展日益复杂化和社会化的合乎逻辑的必然结果，同时也是自本世纪 60 年代以来迅速发展的科学学研究向分支科学学纵深发展的必然结果，是科学学体系逐步趋于完善的标志。

在这种形势下，我国辽宁师范大学学者廖正衡同志早在 1985 年就提出了建立化学学的初步设想，并得到了乔世德、王玉生、王德胜和关广庆等许多同志的支持和响应。1987 年，他们在中国自然辩证法研究会化学化工专业委员会和辽宁省教育委员会的统一组织和大力支持下，邀集了全国一些化学工作者和化学哲学工作者并同国外学者合作，共同着手主编《化学学导论》的工作。现在他们在经过 4 年来的不懈努力、潜心研究和密切合作之后，终于完成了我国第一部化学学著作。这是很值得欣慰的一件事。

1965 年，科学学创始人贝尔纳曾经说过，对于自然科学，过去“还没有人从整体上来从事科学研究”。对化学学的研究恐怕更是如此。因此，《化学学导论》的编著是一件很富有创造性、开拓性的工作，是我国化学学开始建立的标志，从而为化学学的深入研究开创了一个良好开端。它必将吸引更多的化学工作者能够在其所从事的比较狭窄的化学专业研究的基础上，更多地关心化学的总体性问题，从而能够从局部和整体、战术和战略两个方面有力地推进化学科学以及科学学的发展。

当然也应当看到，这部著作还只是一部试探性、开端性的“导论”，因而无论从体系、结构到内容等各个方面，都还会存在一些不成熟之处。我希望本书的全体作者能够认真听取广大读者的意见，切磋琢磨，互相探讨，不断地把化学学的研究工作推向前进，促进化学学更加蓬勃的发展。

袁翰青

1991 年 10 月 24 日于北京

贝尔纳：《科学的社会功能》，商务印书馆，1982 年版，第 14 页。

廖正衡：“建立化学学的初步探讨”，《东北师大学报》，1985 年，第 1 期，第 49—60 页。

贝尔纳：《科学的社会功能》，商务印书馆，1982 年版，第 23 页。

第一章 绪论

第一节 化学学研究的对象和内容

现代科学技术对人类社会的各个方面有着极其广泛而深刻的影响。科学，在人们认识和改造客观世界的实践中发挥了巨大的威力，起着越来越重要的作用。科学活动已经成为人类的一个极其重要的实践领域。自本世纪初以来，科学作为一种社会现象，吸引了越来越多的学者的注意。他们把门类繁多的自然科学和社会科学当作一个整体来考察，研究科学总体发展的规律性，及其同社会其它因素之间的内在联系，从而形成了一门研究科学本身的新兴学科——科学学。科学学的出现，是当代科学体系发展整体化趋势合乎逻辑的必然结果。

一、化学学的对象

科学学的奠基人贝 J·D·贝尔纳在 1965 年就说过，“我们应该着手来完成连物理学、心理学、宗教科学等都向我们提出的对主体与客体、观察者与观察对象、创造者与创造物、火种与媒介物的综合工作。这里的每一对概念都是统一的有机体，总之科学也应该研究它本身。”60 年代后，科学学的发展十分迅速，学科越分越细，分支越来越多，几乎涉及到与科学有关的一切方面，如科学社会学、科学方法论、科学逻辑学、科学计量学、科学政策学、科学美学、科学语言学、科学组织学以及各学科的科学学等。最近我国学术界开始倡导的化学学就是科学学中一门新的重要的分支学科。

毛泽东同志在《矛盾论》中指出：“科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊矛盾性。因此，对于某一现象的领域所特有的某一种矛盾的研究，就构成某一门科学的对象。”化学学是以化学学科本身作为研究对象，从总体上研究化学科学的本质特征、社会功能、认识方法和自身发展规律等战略性问题的一门科学，即关于化学科学的科学。它是化学科学的一种自我认识，一种探索化学科学内在规律及化学科学同社会关系的理论认识，是化学科学的自我反思。化学学一方面把化学科学作为一种社会现象来研究，研究它在社会发展中的地位、作用及发展规律；另一方面又把化学科学作为一种认识现象来研究，研究它本身的概念、体系、结构及其认识与方法。因此，化学学的对象主要是研究化学科学整体的本质属性和特征、发展规律及其社会关系与效应等战略性的问题。

二、化学学的内容

化学学的研究内容，大体上包括以下五个方面的问题。

1. 化学同社会和社会现象的关系

化学学把化学放在整个社会中进行考察和研究，探索化学对象及其与纷纭繁杂的社会现象之间的相互关系和作用。这里主要有三个方面的内容：

(1) 深入认识化学在自然科学体系中的地位。化学被确立为科学虽然只有 300 余年的历史，但是它在自然科学体系中占有极其重要的地位，并且在

J·D·贝尔纳：《科学的社会功能》，商务印书馆，1982 年版，第 14 页。

廖正衡：“建立化学学的初步探索”，《东北师大学报》，1985 年，第 2 期。

《毛泽东选集》，第 1 卷，人民出版社，1967 年版，第 248 页。

科学发展中不断得到加强。特别是在 20 世纪后，由于化学的发展即高度分化又高度综合，与其它学科日益互相渗透、相互交叉，就使得化学一方面与物理学密切结合，进一步揭示化学运动的本质；另一方面又与生物学紧密联系，旨在认识生命的奥秘和对常规化工过程进行改造。此外，它还向诸如天文学和地理学等其它学科渗透。化学不仅研究宏观世界和微观世界，还研究宇宙世界，例如宇宙化学所研究的宇宙起源和太阳系起源等问题。我们相信，随着整个科学的发展和社会的进步，化学必将在自然科学体系中具有越来越重要的地位。

(2) 全面评价化学在社会中的作用。许多学者认为，当代化学与生物学已成为各种科学技术的“先导性科学”，与人类的关系十分密切。当今各发达国家也都十分重视化学，如英、美等国的化学研究基金在整个科学基金的分配比例都在其它学科之上，美国 70 年代后的化学研究基金基本保持在科学总基金的 20% 左右。而化学工业的增长速度，则跃居首位，超过其它任何一门行业。战后的日本，1950 年化学工业总产值为 8.4 亿美元，1970 年为 152.5 亿美元，1980 年达 776 亿美元，30 年增长 91 倍。许多发达国家都是靠化学的发展起家的。日本在 20 世纪 60 年代经济起飞的重要条件就是依靠了化学工业。

(3) 全面探讨化学给社会带来的影响。主要是研究化学技术和化学产品对社会的影响。应当既看到其有利的一面，也应注意对社会造成不利的一面。化学发展在为创造人类基本生活条件方面确是起到了极其重要的作用，例如化肥和农药的使用为每年迅速增长着的人口提供了维持其基本生活条件的数十亿吨粮食，但是，也造成了全球性的环境污染和生态平衡的破坏，导致了各种各样疾病的发生。这些都需要化学家、哲学家、社会学家共同进行研究。

2. 化学自身的体系结构

化学科学是一种知识体系，是以概念、符号和理论来反映客观物质世界，探索物质分子的质变规律，指导人们改造客观物质世界。化学知识首先来源于人们的生产实践活动，同时也萌发于人类对周围世界的观察和概括。化学通过 300 年来的发展，特别是 20 世纪以来的发展，至今已经成为具有严密结构的知识体系，并成为化学学研究的重要内容。

研究化学科学的体系结构，就是要从化学科学的整体出发，揭示各个分支学科的内在线索，以及对有关的化学物质、化学反应、化学发现等方面进行综合整理和系统分类。这里的关键是应该建立一个反映当代化学科学体系特点与趋势的分类原则。此外，我们还应该注意研究基础理论、技术科学和工程技术三者之间内在的、辩证的关系，并结合我国化学化工发展的实际进行战略研究。

3. 化学同生产的关系

化学科学作为生产力，需要化学学研究化学与化工生产相结合的问题。化学与化工生产既有区别，又相互联系。化学是研究物质分子及其聚集态的组成、结构、性质和变化规律的科学。它是人们通过对物质世界的认识积累起来的知识体系，从一般意义上说，是属于社会的精神财富。而化工生产则是在大范围内实现自然界物质的转化，是化学理论的物化和异化，是属于人

类的一种生产实践活动，为社会创造物质财富。

化学和化工生产的联系与结合，在历史上随着时间的不同而呈现出不同的结合形式。在古代，化学知识和化学工艺都以原始的实用化学的形式相结合；在近代，主要是以化工生产、化工技术向化学理论转化的形式相结合；在现代，主要是以化学理论向化工技术进而向化工生产转化的形式相结合。我们应该着手研究当代化学理论、化工技术和化工生产相结合的整体化发展的特点问题。

现代的化学理论、化工技术和化工生产相结合极为紧密，表现出一体化发展的特点。放射化学的研究、原子核裂变的实现，开辟了原子能利用的新时代，为当今世界各国原子能电站的建立提供了理论依据和技术准备；高分子化学理论和高分子化工技术及高分子生产的结合，导致许多新材料工业的崛起和高分子技术的发明，促进了高分子化学工业的迅速发展，从而影响到人们生产和生活各个方面。

科学变为直接生产力，是近代科学技术革命的特点。从化学的发展可以看到，化学的研究往往来源于生产的需要，又走在生产的前面。60年代，日本建立了许多大的化学联合企业，如煤炭—化学联合企业，钢铁—化学联合企业，化肥联合企业等，同时大力开展高技术材料化学的研究，促进了化学与化工的结合。美国从60年代初开始，推广设立“科学公园”，到70年代初，国际上类似的公园已有115个。科学—工业综合体的建立，给当地带来了经济的繁荣和科学技术的进步。

为了有效地解决化学与化工相结合的问题，必须研究经济规律在化学科研领域的作用，探索科学规律和经济规律的相互关系。同时，还应该使化工各企业在生产中尽快地掌握新的化学理论和技术，使科研成果迅速地得到推广和应用，使化学理论同化工技术进而同化工生产紧密地结合起来，相互协调发展。

4. 化学自身的发展规律

化学学还需要探讨化学的基本范畴和化学发展的一般规律。德国化学家肖莱马指出，“化学的发展是按辩证法的规律进行的。”化学科学的发展过程，体现了人类对化学物质及其质变规律认识不断深化的过程。化学科学发展的动力，首先是来自化学科学内部的矛盾运动，诸如化学实验和化学理论的矛盾运动，化学科学知识体系分化和综合的矛盾运动，化学理论中新旧理论的矛盾运动，化学实验中真象与假象间的矛盾运动等等。其次，还有化学发展的继承和创新、量变和质变、连续性和间断性、渐进性和突变性的矛盾运动等，从而推动化学呈现出波浪式、螺旋式上升的发展形式。

化学科学发展的动力，还来自于化学科学和外部条件的矛盾运动。这些矛盾涉及到社会诸多方面复杂的因素，如社会的生产、经济、政治、教育、哲学，化学家的哲学思想和科学思想，化学科学同其它科学发展的相互作用等等。这些因素都在不同程度上影响着化学科学的发展，并呈现出一定的规律性。

化学的基本范畴则揭示和反映了化学科学体系的本质联系，是化学体系结构及其发展规律的补充和具体化。范畴构成规律的基本要素，揭示着化学物质和化学反应特点和规定性，如化合与分解、结构与性能、平衡与速度等。

研究化学的基本范畴，能够帮助我们更好地认识化学体系及其运动规律，更好地认识化学物质及其质变规律，从而更有力地推动化学科学的发展。

5. 化学的认识论和方法论

化学学还需要研究化学探索的活动规律。化学研究活动既是精神生产过程又是物质生产过程，可以揭示物质世界的化学本质，创造精神财富，并提供自然界所没有的新物质和新材料。

化学研究能力或化学能力，是由化学劳动者、化学研究工具（实验设备、实验技术、情报材料）和化学对象等三个要素所组成。其中，化学劳动者是决定的因素，是最活跃最复杂的因素。因此，如何造就一批高质量的化学人才，是发展化学的关键。化学人才的培养是化学学研究的重要内容，是促进化学能力的提高以及化学发展的重要因素。

化学探索的一般方法包括：（1）一般自然科学方法在化学中的应用，诸如实验、观察、逻辑方法、模型方法、理论方法和数学方法在化学中的具体应用等；（2）低层次学科方法的提升或高层次学科方法的还原应用；（3）从化学家的科学活动中总结科学方法；（4）横断学科方法如系统方法、信息方法和控制论方法等在化学中的具体运用。

第二节 化学学的特征

化学学是科学学和化学科学的一个分支。它同科学学的关系是特殊与普遍的关系，同化学科学的关系则是普遍与特殊的关系。因此，化学学除同科学学和化学科学具有共性外，也还具有一些自身的明显特征。

一、整体性

化学学并不着重研究化学科学各门学科的具体理论问题，而是把化学科学作为一个完整的系统来考察，从化学的整体出发，着重研究化学科学的性质、特点、功能和发展规律等一系列具有普遍意义的战略性问题。

当代化学的发展，不仅促使人们继续对各个分支学科进行深入的研究，而且促使人们抛弃传统的化学分科偏见，开展化学整体研究。因为正如 D. 普赖斯所指出，“现在正需要科学发展的一般理论，它可揭示科学的各种因素的相互作用和科学作为特殊活动体系的功能。”所以，化学学并不是已知各门化学科学知识的简单的机械式加合，而是作为统一的完整的知识体系出现的一门新的学科。它把化学科学整个体系各方面的相互联系和相互作用进行统一考虑。因此，化学学的整体性是化学学的一个最主要的特征，是把化学体系作为一个系统进行整体研究表现出来的最显著的特征。化学学的整体性不但指所研究的对象具有整体性，而且指化学学以其研究对象的全局作为考察和指导的对象。化学系统在同环境相接触时，表现出特殊的边界反应。这种反应是由于化学体系内各要素（分支学科和理论等）之间有着特殊的相干性联系。这种联系使得每个要素在同外界环境相互作用时表现为系统总体的作用来影响环境。化学学的任务就是要再现化学科学的这种整体联系。这是当代化学科学发展整体化趋势的一种反映。它将帮助我们进一步深化对化学科学的总体认识。

二、理论性

化学学的一般理论在化学发展中占据主导地位。其任务是集中反映化学知识体系的结构、功能和发展规律，揭示作为特殊的社会现象的化学体系的本质和特征，同时还深入研究化学科学体系的总体观念，认识论观念和方法论原理。

当代化学的发展，正在谋求对化学现象进行多种理论的解释和创建统一的综合理论。这是由于化学研究对象的复杂性和认识的历史局限性所导致的。由于对同一个问题的观察和认识所站的角度不同，就可出现不同的理论解释。上世纪中叶，为了解释有机化合物分子的结构，曾提出了“取代理论”、“核理论”、“类型论”以及“多价酸学说”等等。本世纪以来，有机化学中的多种理论解释分子结构十分活跃，共价键、配价键、共振论、自由基理论、互变异构理论等相继出现。60年代以来，量子有机化学中的三大学派，前线轨道理论、能级相关理论和过渡态理论，从不同的角度解释协同反应，认识了分子轨道对称守恒原理所揭示的动态结构。其它化学分支学科内也有类似现象。这是化学科学发展过程中的历史必然性，也是产生各种学派并进行学术争鸣的前提。它有利于建立更完善的统一理论。

建立能够对化学现象或问题进行统一解释的综合理论，是当代化学发展的一大特点。为此就必须运用综合性的研究方法，以便把现代化学发展所获

[苏] .A.拉契科夫：《科学学》，科学出版社，1984年版。

得的化学经验知识系统化、综合化，找出其规律性的东西，揭示其因果联系，建立更高一层的理论——“元理论”。这是化学学的重要任务，也是化学学产生的内在因素，以此可以更好地掌握化学科学发展的全貌。

三、应用性

化学学的应用性，主要是它能具体深入到化学科学研究活动及化工企业的各个实际领域，探讨化学科研的最佳机构和化学科研的一般方法，寻求化学科研人员素质培养和提高的途径，研究化学理论向化工技术乃至化工生产的转化，以及化工管理的最优化方法等实质问题。这也是化学学产生和发展的外动力。此外，在化学学的研究工作中，化学中新的现象和理论的出现，将会进一步导致化学学中新概念的产生；而化学学中新概念和理论的出现，则将会指导我们为进一步发现新现象或建立新理论提供新的线索。

现代化学科学已经发展成为社会的一个重要部门。化学科学研究已从个体活动发展成为集体活动，成为社会精神生产的一个组成部分。化工生产已成为社会物质生产的一个产业部门，在国民经济发展中占有极其重要的地位。化学科学的一个最大特点就在于它的实用性。化学自从确立为一门学科以来，各种化学研究活动的目的，从根本说来就是为了能够应用于人类生产、生活的需要，即使是化学科学中的理论研究也都是具有这一潜在目的的。

化学的应用性使得它同国民经济和人类生活的各个方面有着极其密切的关系。从化学本身来看，每一种化学产品和每一项化工技术，如化肥、农药、染料的制造，煤的气化，石油的裂解等，都是根据当时社会的需要产生和发展起来的。这些产品和技术在社会中的应用，人们又会发现它们的不足，又要求人们再去研究和寻找性能更好的新产品和更先进的技术，以最大限度地满足人类的需要和最低限度的污染。当代化学应用研究的最新领域，如能源化学、材料化学、计算化学、资源化学、环境化学、海洋化学、地球化学等等，都是为了解决实际问题发展起来的。

化学的应用性，使得研究化学整体的化学学也具有了应用性的显著特点。从宏观上讲，化学科学与社会的生产、经济和整体科技水平的协调发展，不仅要求充分重视化学科学的作用，同时还要充分重视社会经济及整体科技水平的需要和可能。例如化学发展战略的选择，经济建设目标的确定，经济结构的变革，资源的合理利用，技术经济政策的制定，化工企业技术改造的方向，重大化工项目的可行性研究及前期准备工作，生态环境的保护等等。从微观上讲，任何一个化学部门以及任何一项化学活动，不论是化学科研还是化工生产，它们都需要优化的管理理论和管理方法，以使其投入最少而产出最多。化学学的应用性就是表现在宏观上的控制作用和微观上的指导作用。

四、边缘性

化学学不仅同化学科学密切相关，而且还同其它自然科学和社会科学以及思维科学有着密切联系。它是横跨自然科学、社会科学和思维科学的一门边缘学科。化学学的边缘性主要体现在它的思想、理论、观点是创造性思维的产物。这使得化学学具有极其旺盛的生命力。

现代化学早已突破了化学原有的研究范围，同其它基础学科交互作用，结合成许多边缘学科如生物化学、仿生化学、细胞化学、计算化学、量子化学和物理化学等等。同时，现代化学还同其它学科相互渗透，结合成更多的边缘学科，如宇宙化学、环境化学、海洋化学、药物化学等等。化学学作为

对化学科学及其活动进行总体研究的一门边缘性学科，就更有利于对化学所产生的诸多边缘学科进行研究，总结它们的产生和发展的机制，探讨它们的发展演化的特点和规律。化学学正是站在化学发展的交叉性、边缘性前沿，来预测未来化学的发展，描述其基本形态，分析其基本特点的。这是化学学边缘性的一个重要表现。

化学学的边缘性，不仅取决于当代化学发展前沿的特点，还取决于化学学的研究对象的本质特点。化学学的边缘性是一个发展的概念。不论任何时期，它都会以新的姿态出现，采用更新的方法，充实、概括更新的事实，产生更新的概念和更新的理论。化学科学的发展是在化学学科和其它学科的边缘、已知和未知边缘等一系列矛盾中进行的。化学学为我们揭示了化学科学的发展过程中的矛盾运动，并为我们提供了解决这些矛盾的线索。

当代化学科学的发展取得了一系列重大成就，化学前沿的研究也异常活跃。人类的生存和发展正在向化学科学提出了更为严重和迫切需要解决的一系列重大课题，诸如人口爆炸、食物来源、能源紧缺、经济贫困、环境污染、卫生保健等问题，都需要化学科学成为解决这些问题的开路先锋。化学学正是探讨化学与这些社会问题相互作用的机制和化学在解决这些社会问题中所起的作用。这也是化学学边缘性的重要表现。

化学学的特征不仅表现在以上四个方面，而且还有诸如未来性、指导性、探索性、审美性、创造性、超前性等等一些特征，从不同方面进一步反映了化学学这门新兴学科的性质、地位和作用。

第三节 化学学的职能

化学学是把化学科学作为一种社会现象和认识现象，从总体上对它的本质特征和发展规律的认识。依靠这种认识，我们可以按照化学发展的客观规律进行化学研究，提供解决问题的办法，协调化学发展与社会的关系。这就是化学学研究的主要目的。也就是说，我们研究化学学不仅在于从总体上认识化学科学，懂得化学科学的作用和化学发展的规律，更重要的还在于我们运用这种认识和规律去指导化学科学的发展，为国民经济发展服务。因此，化学学本身可以具有认识职能、方法职能和社会职能等重要职能。

一、认识职能

化学学是化学家从总体上认识化学科学及其发展规律的手段。化学学能够把化学科学作为一种认识现象，研究它的结构和功能，认识它的本质特征和发展规律，探索化学科学体系的分类及其相互之间的关系，把握化学的发展，从而也就体现了化学学的主要的认识职能。

化学学的认识职能具有深刻的哲学意义，其特点是具有明显的综合性，即不仅表现在化学学对化学科学认识的总体性上，而且还表现在对化学科学社会作用认识的总体性上，同时还表现在同哲学和科学学的相互作用上。化学学通过对化学科学总体发展的哲学分析，通过对化学思想、化学体系、化学方法、化学文化的研究，可以使我们对化学基本概念的由来与演变，化学思想的形成与发展，化学方法的综合与规范化，化学文化的继承与创新等方面有一个比较系统而全面的了解，可以使我们深刻认识到，“我们现在的理论并不是教条，而是按辩证法的规律不断变化的。”这样有助于我们更好地把握化学发展的规律，认准化学发展的方向，从而有效地推动化学科学的发展。

化学学的认识职能还表现在丰富和发展马克思主义哲学与科学学的思想内容方面。化学学从一个侧面把科学学、哲学与自然科学联系起来，并把哲学、科学学对化学科学的指导具体化。可以认为，化学学是哲学和科学学在化学科学中的具体应用，并为促进化学科学研究提供了重要途径。同时还为检验哲学原理，为哲学提供科学证明提供一些方法。事实上，科学学和哲学只有从化学学等学科中不断吸取新的养料并做出新的概括，才会保持其旺盛的生命力。

二、方法职能

化学学是推动化学科学发展的重要工具。化学学的方法职能主要体现在，一是认识和发展化学方法，二是应用化学方法。例如提供如何研究当代化学科学整体发展问题的方法，怎样选择新的研究方向和具有战略意义的研究课题，以及如何运用化学研究中的一般方法等等。

化学学的方法不同于一般的化学实验手段或工具，而是具有理论性的手段或工具。化学学把化学科学各个分支学科都适用的方法加以概括和总结，使之成为一般的科学方法，并对各种一般的化学科学方法进行分类；研究各种一般方法的内容、性质、作用、适用范围和发展；揭示各种一般方法之间的相互联系和相互渗透；阐明方法论的整体结构和逻辑顺序等。化学学能够对这些内容进行更全面、深入、系统的研究，以便为化学科学的发展提供思

维方法、战略方法，例如可以提供系统而全面的逻辑思考步骤，并提示人们注意化学科学研究中随时出现的一些非逻辑因素如直觉和灵感等化学发现不可缺少的手段。同时还可以为建立化学理论体系提供科学的表述形式，或者使化学理论的发展得到一些新的线索。一部化学发展的历史，也是一部化学方法不断创新、不断提高、不断发展的历史。只有运用化学学对化学方法发展进行深刻研究，总结化学史上运用化学方法的经验和教训，才能正确运用化学方法，有力地推进化学发展。

此外，从化学科学的应用方面来说，虽然化工技术、化工生产对人类社会的进步无疑做出了巨大的贡献，然而由于当今社会中的痼疾——能源危机、人口膨胀、生态恶化，无疑也使传统的化工技术、化工生产与现代社会之间发生了日益尖锐的矛盾。因此，如何使之协调发展？如何开发新的化工技术？如何合理地利用自然资源而又不损坏环境等等，这类重大课题都需要从化学学的角度提供战略性的方法给予解决。美国和日本等国家已开始进行了这方面的研究工作，从总体上对化学发展采取了一些新的战略措施，例如对再生资源的利用、生物催化剂的应用和减少环境污染等方面已经取得了一些成果。这就要求我们能够从化学学的角度，研究化学科技政策的制定和实施，从而能够使化学科学技术得以优化并使生产得以高效运行。

三、社会职能

化学学的社会职能，主要表现为化学学的研究对社会生产、经济、文化、环境等诸方面的作用。首先，从生产和经济方面来说，化学学虽然不研究具体的化工生产技术，但是，可以为制定科学的化工发展战略，加强化工企业的经营管理，合理有效地去利用自然资源等方面提供战略思想和方法。例如发挥化学学所具有的理论性、整体性、边缘性的优势去探讨化工产业现代化的战略重点和发展策略；研究化工技术革命及其对策；探索其引进、吸收、消化的途径等一系列涉及整体性的重大课题，从而必将为化工产业乃至经济发展创造有利条件。可以看出，从某种意义上讲，化学学的观念，就是化学、生产、经济、社会协调发展的观念。化学学的研究是同社会生产发展和经济建设密切相关的。

其次，从文化、教育方面说来，研究化学学，对于了解化学科学与整个人类文化的互动作用及其协调发展，对于改善化学化工教育使其适应生产及社会发展的需要具有着重要而深远的意义。因为化学科学作为一门自然科学属于文化范畴，且在整个文化发展中是一个很为活跃的知识形态，因而它的发展必然会影响到整个文化的发展。这就要求我们在研究化学学的过程中注意探讨化学的文化传统和社会背景，从而能够促使化学科学作为一种新的文化而同传统文化有机地融合在一起，使社会文化不断得以充实、丰富、更新，促进社会文化的发展。

同时，在化学学的研究中还必然会从化学整体性的角度对作为化学知识再生产基地的化学教育问题加以关注，诸如对化学科学未来的发展趋势和智力开发的关系的研究，对智力资源开发的战略思想和战略布局的探索，以及对智力资源的管理体制，智力投资的合理结构和最佳效益方案的制定等等，化学学都将能发挥积极的作用。

再次，从环境治理方面来说，随着化工生产和整个社会生产的发展而带来的环境污染问题，除了要依靠化学技术的应用去加以解决外，还需要从化学学的角度加以研究，以便能够依靠社会的力量，制定必要的政策和法律，

合理规划自然资源的开发和利用，以及进行区域性环境污染的治理和全面性的恢复环境质量，从而能够有助于环境科学技术的发展和对环境的综合治理，并在此基础上使得人类和环境获得协调发展。从广义的角度讲，力争使人与自然界的关系处于最佳状态，这便是化学学的又一职能。例如，具体表现在对环境的管理和监控方面，化学学可以帮助我们正确认识人口、资源、环境和发展的关系；研究制定有关环境保护的方针、政策、法规和措施；处理好社会经济发展与环境保护的关系；加强环境保护的宣传和教育，提高全民环境意识，使环境质量逐步得到改善。

J·D·贝尔纳指出：“科学还能提供一些虽然并不那么具体、然而却同样重要的东西：它使我们对未经探索的未来的可能性抱有合理的希望，它给我们一种鼓舞力量，这种力量正慢慢地，但却稳稳当当地变成左右现代思想和活动的主要动力。”化学学之所以能够具有上述这些职能，首先是由于它对化学本体及有关活动的正确认识；对化学本体的现实规律、本质特征和与社会活动的关系的分析；在于能够揭示化学科学发展的基本方向和趋势，阐明采取战略行动的合理途径和方式等，从而能够解决一系列重大的战略课题。化学学，作为化学科学的科学，作为对化学科学的总体研究，正在以特殊的内容和方式，发挥着其应有的职能。化学学的职能随着时间的推移将发生日益重要的影响，对于化学、自然科学、社会科学、社会生产、社会文化的发展和人类生存环境的改善，将会发挥日益重大的作用。

第二章 化学对象论

化学对象是指化学科学所研究的主要物质客体及其运动形式，是对化学内容的共同本质特征的概括。显然，化学对象的有关问题对于确定化学定义，认识化学科学的性质、特点，以及在科学分类中的地位，均具有重要意义，从而已经成为化学学、化学哲学和科学技术哲学领域所日益关注的重要课题。这里拟从化学运动的特征、化学对象的演化和化学科学的定义等三个方面做一讨论。

第一节 化学运动的特征

化学对象，从客观上来看主要是指化学科学所研究的物质的化学运动。马克思主义哲学认为，人们认识自然界，归根结底是认识物质的运动形式及其特征，并以此作为科学分类的根本依据。因此，认识化学运动形式及其特征，对于揭示化学对象的本质，确定化学定义以及化学同其它科学的关系，是不可缺少的重要一环。

一、化学运动同其它运动的差别

物质的化学运动，从宏观现象上看，主要表现为是一种或几种物质转变成另外一种或几种物质的运动形式，即产生新物质的运动形式；从微观本质上，主要表现为是涉及到了多种微观粒子的运动，诸如离子的运动，氢氧爆炸式的自由基链反应，乙酸乙酯水解式的分子间反应，络离子参加的络合反应，胶体粒子参加的聚沉反应，以及制造离子交换树脂式的高聚物分子参与的反应等等，实质上主要是由于分子内部原子间电磁力的相互作用而造成的化学键的改变，从而引起宏观物质的分解或化合或重组，导致物质分子的组成或结构变化而产生新物质的运动形式。或者说，是从原子出发，经过微观分子的质变而引起宏观物质发生质变的运动形式。与此同时，还伴随有热能、电能、磁能或化学能等多种能量形式的变化。

可以看出，化学运动就其微观本质的特征来说，主要表现为是由于原子重新组合而导致的一种或几种分子转变为另一种或几种分子的分子质变运动。或者说是由于分子组成或结构的改变而引起的分子质变运动。依此可以区别于自然界其它的运动形式。例如区别于最低级的机械运动形式，即在保持分子的质不变情况下的物体的位移运动；也区别于较低级的物理运动形式，其中包括热运动——在分子微粒的质不变情况下的无规则运动，电磁运动——不是分子的实物而是场物质形态的运动，基本粒子运动——是原子内部或原子核内部粒子的运动等；还区别于较高级的生命运动形式，即物质能够进行自我更新、自我复制和自我调节等化学运动所不具有的特殊功能的复杂运动形式，从而鲜明地体现了化学运动形式的特殊性。

二、化学运动同其它运动的联系

当然，同时也应当看到，化学运动同其它运动之间既存在着差别，也存在着联系，彼此之间还可以相互转化。机械运动可以转化为热、电、磁等物理运动，而当热、电、磁等物理运动在量上增加到一定程度而达到关节点时，就可以使分子发生质变，转化为化学运动。因此，化学运动中总包括有较低级的机械运动和物理运动。此外，化学运动在进化到一定程度以后又可转化为更高级的生命运动。例如在自然界的生命起源过程中，原始大气转化为氮、氢、水等小分子，进而转化为氨基酸和核苷酸等单体分子，再缩合成蛋白质和核酸等大分子，直至形成以蛋白质和核酸两大分子为主体的多分子体系而出现生命现象，都是通过一系列化学运动进行的。正如恩格斯所说，“生命的起源必然是通过化学的途径实现的”。因此，生命运动中总包含有化学运动，以及物理运动和机械运动。化学运动同其它运动间的关系是复杂的。化学运动不同于机械运动和物理运动，然而又总包含或伴随有机械运动和物理运动，但是又不能把化学运动简单地归结为机械运动和物理运动，化学运动

具有它们所不具备的特殊本质；化学运动也不同于生命运动，然而生命运动又总包含或伴随有化学运动，但是又不能把生命运动简单地归结为化学运动，生命运动具有化学运动所不具备的特殊的本质。这样，就使得化学对象既不同于物理对象也不同于生物对象，化学科学既不同于物理科学也不同于生物科学，然而又不可能在它们之间划出一条绝对严格分明的界限。

可以看出，化学运动与其它运动之间存在的对立统一关系，化学对象与其它对象之间存在的相对绝对界限，正是人们认识化学对象和表述化学定义的客观基础。

第二节 化学对象的演化

化学对象，从客观上来看是物质的化学运动即物质分子的转变运动，这是不变的；然而从主观上来看，由于人们在不同历史发展时期对于化学运动和化学科学认识程度的不同，而使实际的化学对象和化学定义都有所不同。正如著名化学史家缪尔所说，“一段时期化学可称为生命的理论，另一时期成为冶金学的一个分支；有时研究燃烧，有时成为医学的帮手；某一段时期企图只给一个单字（元素）下定义，另一段时期就探求所有现象的不变的基础。仿佛化学有时是手艺，有时是哲学，有时是秘术，有时是科学”。这就是说，实际的化学对象并非是一成不变的，而是随着人们对于化学运动和化学科学的认识从现象到本质、从片面到全面的发展而不断演化的。可以看出，了解这一演化过程对于认识化学对象的本质、表述化学定义和掌握化学发展规律，都是很为必要的。这里拟从化学的萌芽期、炼金期、医药期、确立期和形成期等五个时期化学对象的演化问题做一讨论。

一、萌芽期的化学对象

从人类有史以来直到公元前 2 世纪以前的化学萌芽期，人类从事的主要化学活动是在利用火的基础上陆续形成的制陶（约公元前 7000 年）、冶铜（约公元前 3500 年）、玻璃（约公元前 2500 年），以及染料、酿酒和炼铁（均约公元前 2000 年）等化学工艺活动。当然，这一时期中国和古希腊等国家或地区的思想家也提出了许多关于物质组成和结构的学说，但是大多还都是停留在哲学领域的思辨结论，并没有对当时的化学实践活动产生多大影响，还构不成是当时化学活动的主体。因此，就萌芽期的化学主导方面来说，还是由一些经验知识所积累起来的实用技术知识。

在这种情况下，萌芽期实际的化学对象主要是对天然矿物和动植物进行实用性的转变加工，以生产具有新性质的生活和生产用品。这就使得萌芽期的化学具有了以下三个特征：

（1）实用性，即化学活动的主要目的是为了生活和生产，而不是为了探索自然界化学运动的奥秘；（2）经验性，即化学活动还没有得到化学理论的指导，化学实践和自然哲学的化学理论还没有结合起来；（3）零散性，即化学知识还未形成有联系的统一的知识体系，化学科学尚未诞生。

但是，尽管如此，依照这一时期化学对象所进行的化学活动，却为后来的化学科学诞生创造了条件，奠定了坚实的实践基础。特别是它所提供的陶器、青铜器和铁器等三大材料的制品，极其有力地推进了古代社会的发展。实际上，化学从利用火开始，随着进入制陶时期、青铜时代，直到铁器登上历史舞台，也就推动整个社会发展从原始社会进入到奴隶社会，再发展到封建社会。可以看出，化学依照萌芽期化学对象进行活动所提供的不同的物质材料，已经成了古代社会进步的重要标志；所提供的巨大生产力，已经成了古代社会发展的强大动力。

二、炼金期的化学对象

在古代化学工艺所生产的多种产品中，以金属制品最具有代表性，成了影响古代社会生活、生产、经济和政治斗争的重大因素。特别是当金银具有作为商品等价物货币的性质以后，就成了拥有社会财富的象征和维护国家强

大的支柱。这就使得人们逐渐产生了变贱金属为贵金属的企图。此外，获取长生不老药也逐渐成了封建统治阶级追求的目标。于是便在约公元前 2 世纪开始产生了金丹术或炼金术，进而推动化学从萌芽期发展到了炼金（术）时期（约公元前 2 世纪至公元后 15 世纪）。

在炼金初期，化学对象主要是企图加工天然矿物或贱金属使其转化为贵金属金银。所以古代依照当时的化学对象为化学所作的最早定义就是“把化学描述成为关于制取金的方法的学说”，以至直到公元 1000 年时期的辞书家苏达思（Suidas）仍是把化学“定义为金银的制取”。当然，从其中的实际化学活动看，虽然也包括通常的冶金操作，然而更主要的还是幻想从非含金银的物质转化为金银，实际上是在误认、仿制或假冒金银，即“劫取金银”。这也可以说是对炼金初期化学对象的一个概括。因此，也有人把炼金术定义为是“劫取金的手艺”。

此后，由于炼金术的屡遭失败，而使炼金活动更趋于神秘化。炼金家企图依靠神秘的理论或神奇的物质幻想取得成功，从而使化学对象也发生了一定变化。

首先，炼金家企图依靠亚里士多德的“原性说”，从冷、热、干、湿的“性质”入手来改变物质本身，变贱金属为贵金属。这就使得化学对象“把注意集中于物体的外在特征”，即“研究物体性质中的矛盾”，并成了这一时期化学对象的一大特征。

其次，炼金家则把希望寄托于寻找神秘万能的“金液”（kimiya）或“哲人石”。他们认为“金液”是能够取得金银完善本质的物质，是变贱金属为贵金属的媒介物。这就使得炼金术从企图直接“制取金银”发展为首先“制取金液”然后再制取金银。因此“制取金液”也就成了当时的化学对象，炼金术也就成了“关于金液的科学”。

与此同时，他们还认为“哲人石”是更具威力的神奇物质，不仅可以“点石成金”，而且还是一种“长生不老药”（elixir of Life），能够治疗一切疾病，从而又推动炼金家热衷于去寻找“哲人石”，并在很长时期内都成了炼金家所追逐的化学对象。正如肖莱马所说，“直到 16 世纪，寻找哲人石几乎是化学研究的唯一对象”。因此，13 世纪著名的炼金家罗吉尔·培根就基于当时化学对象的特征把化学定义为是“叙述制备某些灵药的科学，当这些灵药投在金属或不完备物上时，能立刻使后者变为完美物”（金银），体现了当时化学对象所具有的一定的神秘性特征。

尽管如此，炼金术毕竟还是热衷于实际操作的活动，具有着突出的实践性质，因而它的实际的化学对象也还是在从事物质的化学转变活动，正如一部炼金术名著所指出，还要“研究金属和矿物的成分、起源及其它变化”，

沙赫巴洛诺夫：《化学哲学问题纲要》，科学出版社，1960 年版，第 87 页。

肖莱马：《有机化学的产生和发展》，科学出版社，1978 年版，第 4 页。

沙赫巴洛诺夫：《化学哲学问题纲要》，科学出版社，1965 年版，第 93 页。

同，第 88 页。

同，第 6 页。

肖莱马：《有机化学的产生和发展》，科学出版社，1978 年版，第 7 页。

《化学发展简史》，科学出版社，1980 年版，第 63 页。

以及“金属制备、净化及各种颜料的制造”等。这就是说，尽管炼金家所追求的化学对象是“制取金银”或“制取金液”或“寻找哲人石”，然而实际的化学对象都是在探索物质的化学转变。这样，炼金术的实质也就可以“在更广泛形式下把它看成是使某些实物转变成另一些实物的手艺”，只不过是炼金家本人并没有自觉地意识到而已。

因此，炼金术的出现就逐步推动古代化学从实用性的化学工艺活动，转入到带有一定探索性的准实验性质的物质转变活动，使萌芽期实用性的化学对象演化为具有一定探索性的化学对象，并为近代化学科学的诞生创造了有利条件。例如当时的炼金家罗吉尔·培根已经认识到，“实验才能给科学知识以确定性”，并成了科学史上最早的一位接近于现代意义上的科学家。此外，炼金家还发明了许多至今仍在使用的化学实验仪器，创造了蒸发、蒸馏、升华和锻烧等一系列操作方法，发现了许多单质和化合物，从而为整个化学科学的诞生奠定了基础。炼金术也就成了化学科学的前驱。可以看出，炼金术期的化学对象已经成了萌芽期化学对象向近代科学期化学对象转化的一条纽带或桥梁。

三、医药期的化学对象

到了16世纪以后，由于炼金活动不断遭到失败和受到嘲笑，就使得一些炼金家转而去制造医药，用以治疗人们的疾病。这种炼金术的转向适应了当时方兴未艾的资本主义发展的需要，并推动化学发展进入到了新的医药化学时期（16世纪到17世纪中叶），化学对象也随之发生了演变。

当时，16世纪的医药化学代表人物帕拉塞斯开始强调，炼金术的任务“非在制造黄金，但在制药”，因而炼金术的“首要目的是制取药物”，“使患病的机体恢复平衡”。这就促使千百年沿袭下来的炼金术所追逐的“点石成金”的目标发生重大改变，从而逐步使虚幻的炼金术转变成具有一定实用价值的医药化学。化学对象也随之具有了可行的实用性色彩。正如帕拉塞斯所说，化学对象就是“研究药物并制取药剂”。因此，当时的炼金家就把化学定义为是一门制取药物的技术，例如16世纪著名医药化学家李巴乌（A. Libavius）认为，化学就是“通过从混合物中析出实体的方法来制造特效药物和提炼纯净精华的一门技术”。这里已经是把炼金术、制药学和冶金学都包括其中了。

随着医药化学的发展，化学的实用价值日益明显，化学的应用范围日益广泛，就使得化学对象以制取药物为中心逐渐扩展到制取一切有益产品，从而也使化学定义具有了前所未有的广义性。帕拉塞斯已经提出，化学就是一门“把天然原料转变成对人类有益产品的科学”，包括了金属冶炼、药物制造和食品加工等任何制造有益产品的化学过程和生物化学过程。这已经是比

同，第64页。

沙赫巴洛诺夫：《化学哲学问题纲要》，科学出版社，1960年版，第93页。

汤浅光朝：《科学文化史年表》，科普出版社，1984年版，第34页。

科尔斯：《化学之发明与发现》（上），商务印书馆，1936年版，第39页。

莱斯特：《化学的历史背景》，商务印书馆，1982年版，第105页。

沙赫巴洛诺夫：《化学哲学问题纲要》，科学出版社，1960年版，第93页。

A· Libavius：Alchemia，Frankfurt，1579，P.1.

过去的任何定义“都更接近现代的化学观念”了。

当然，医药期实际的化学对象并没有当时化学定义所规定的那么广泛。因为当时医药化学家所制取的药物主要是无机矿物和金属制剂，主要研究的是无机物质及其变化规律。这也可以说是医药期的主要的或实际的化学对象。所以，从医药化学家的主要贡献来看，或从化学知识的积累方面来说，也主要是推进了无机化学的发展，例如他们制出过二氧化碳，研究了金属置换反应，意识到了质量守恒定律的存在和第一次提出了“气体”的概念等。

从炼金术的带有神秘色彩的化学对象演化到医药化学的注重实际需要的化学对象，就推动化学发展出现了一个重大的方向性转折，从此炼金术开始名存而实亡，并逐步走上了科学发展之路，直到演化成为近代化学科学。

四、确立期的化学对象

17 世纪中叶以后，随着资本主义生产的迅速发展和自然科学的巨大进步，就使得一些化学家不再满足于化学只是单纯为医学服务的实用性质，而主张有自己特殊的研究目的，从而诞生了近代化学，跨进了科学化学的确立期（17 世纪中叶至 18 世纪末叶）。

他们能够具有这一认识的科学基础，是 1661 年波义耳首次提出的科学的元素概念。他指出，真正的元素并不是“四原性”或“三要素”等“性质”，而是那些“原始的、简单的物质”。因此，化学的目的就应当是去分析、寻找、研究这些元素，认识物质的组成和性质，而不是为了制药。由此波义耳认为，就“不应再把化学看成是某种技艺或行业的附庸，而应看成是对自然界巨大研究的一个重要部分”或“自然科学的一个分支”。这样就把化学从医学的附庸下解脱出来而成为一门独立的科学，并从一门为医学服务的实用性科学发展成为一门能够探索物质本性的基础性科学。化学对象也随之再次发生了转变。

这一时期化学对象的特点主要是表现为独立性和基础性。波义耳指出，化学对象就是“以求发现物质之组成及将化合物分裂成为元素”。这里首次把真实的物质客体明确为化学对象，而不是把捉摸不定的“性质”和“制取药物”列为化学对象，就使得化学研究首次具有了科学性和独立性以及基础科学性的特点。在此基础上 17 世纪法国化学家列梅里就为化学提出了较为科学的定义，认为化学是“传授分出复杂物体中各种实物的手艺”。显然这里已经具有了某些接近于现代化学定义的表述。但是，这个定义所规定的化学对象范围毕竟还是比较狭隘的，只是强调了运用分解的方法去认识物质的静态组成，还未能全面地强调研究物质的动态反应过程，反映了当时化学科学发展初期的较低水平。

到了 18 世纪以后，化学家开始对化学对象有了一些较为全面的认识。1723 年，燃素说的创建者斯塔尔在《化学原理》中提到，“化学与炼金术或黄白术相反，是将混合物、构成物或混合物人工分解成为其组成部分，或人工将组成部分化合为物体的技艺”。这里既强调了分解，又强调了化合，能

莱斯特：《化学的历史背景》，商务印书馆，1982 年，第 105 页。

肖莱马：《有机化学的产生和发展》，科学出版社，1978 年版，第 6 页。

科尔斯：《化学之发明与发现》（上），商务印书馆，1936 年版，第 58 页。

.Ca eHKO : CTOP X M , c. eTeP YPT, 1870, cTp.88.

B.H. eH YTK H : X M YT ee Pa3B T , 3 -BO AHC- CCP, 1937, cTp. 87.

够从分解与化合对立统一的角度，动态的化学反应角度，较为全面地认识化学对象和表述化学定义。正如他本人所深刻揭示的，“化学目的——正是分解和化合、或破坏及再生。”因此，尽管斯塔耳所倡导的燃素说是错误的，然而由于燃素论者能够紧紧抓住“物质”、“物质的分解和化合”作为自己的研究对象，从而就完成了许多化学发现，有力地推进了化学的进步，并最终使化学“从炼金术中解放出来”。

历史表明，由 17 世纪中叶波义耳所明确的科学的化学对象，不仅影响到了燃素时期，而且也影响到了 18 世纪中叶拉瓦锡推翻燃素说时期的化学大革命时代。1785 年，拉瓦锡在概括当时化学发展形势时就曾经提到，“化学正在朝向自己的目标前进，正在不断完善起来，不断把物质分解，细分再细分”，不断在寻找“真正是最简单的物质”，即化学元素。正是依照了这一目标才使得拉瓦锡能够超出波义耳的工作，列出了历史上第一张化学元素表。这就不但从概念上，而且从实际存在的元素物质上最终确立了科学的元素说，从而能够在波义耳宣布化学独立百余年后最终完成了科学化学的确立。

五、形成期的化学对象

19 世纪的化学是理论上取得突飞猛进发展的科学，相继建立了原子论、分子论、元素周期律、化学结构理论以至物理化学理论。与此同时化学研究的范围也日益广泛，除了 18 世纪所强调的分解与化合两大过程之外，还广泛研究了溶解与结晶、放热与吸热、膨胀与压缩、酸与碱和有机物的人工合成等领域，从而推动无机化学、有机化学、分析化学和物理化学等四大基础学科的相继建立，并进入到近代化学体系的全面形成期（19 世纪）。

这一时期的化学对象已经能够开始在原子和分子水平上研究物质相互作用的规律，从而体现了化学发展从搜集材料进入到整理材料阶段的特点。化学定义已随之更加富于科学性和理论性。例如 1834 年俄国化学家盖曼（P. e MaH）就把化学定义为是“关于实物及解释其相互作用规律的科学”。著名德国化学家洛塔·迈耶（L. Meyer）也如此，把化学概括为“关于实物及其变化的科学”。他们都强调了化学的“规律性”或“科学”的探索，即不仅包括了对于物质本身的性质、组成和结构的研究，而且也包括了化学反应所需要的条件诸如“光、热、电、磁等变化”的一系列反应条件的研究，化学已经不再只是一种“技艺”或“手艺”，而是一门从理论上探讨物质变化规律性的科学了，从而把化学定义的表述提到了一个新的高度。

特别是在 19 世纪后期，由于原子分子论的建立以及元素周期律的发现，使人们对于化学现象本质的认识更深入了一步，从而能够超出对于宏观现象变化的认识，从微观的物质组成与结构的变化方面来认识化学对象和表述化学定义。例如革命化学家肖莱马已经把化学概括为是“关于原子的科学”。在此基础上，恩格斯也在哲学方面依照物质运动形式的特征提到化学是“关

沙赫巴洛诺夫：《化学哲学问题纲要》，科学出版社，1960 年版，第 94 页。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年版，第 162 页。

赵匡华：《化学通史》，高等教育出版社，1990 年版，第 90 页。

P, e MaH: Ha eH e pe e IX M B HacTO ee BPeM, OCKBa, 1834.

L. Meyer: OCHOBaH TeoPET eCKO X M C. eTeP yPT, 1894. CTP. 2.

沙赫巴洛诺夫：《化学哲学问题纲要》，科学出版社，1960 年版，第 99 页。

肖莱马：《有机化学的产生和发展》，科学出版社，1978 年，第 2 页。

于原子运动的科学”。这样就从原子之间的“分”与“合”角度，较为深刻地揭示了化学运动和化学对象的本质，并把化学定义的表述再提到了一个新的认识水平。

与此同时，自从 1860 年卡尔斯鲁厄第一次世界化学家代表大会以后，由于化学家已经能够较为明确地把“原子”和“元素”联系起来，并把原子理解为是化学元素的最小粒子，他们就在把化学概括为“原子的科学”的基础上，进一步概括为“关于化学元素的最小粒子的科学”。其中的典型代表就是 1871 年门捷列夫提出的定义，指出“化学，在其现代状态中……可以称作关于元素的学说”。

这种依照原子或元素的概念来认识化学对象和化学科学的特征，反映了 19 世纪化学的最高认识。例如 19 世纪末（1893 年）具有权威性的《牛津新英语词典》就是以元素为核心来概括化学对象的。它指出，化学就“是研究组成一切物体的某几种基本元素或物质的各种形式，论述这些元素在形成化合物时的化合规律，以及它们处于不同物理条件下所伴随发生的各种现象”。

这里，已经把化学所要研究的物质的元素组成、元素性质和元素间的化合规律以至化学反应中的物理条件等各个方面，都做出了较为全面的、深刻的反映。

可以看出，19 世纪后期化学家对于化学对象的认识，以及在此基础上所给出的化学定义，已经具有相当的深刻性、微观性、理论性等特点，并已经日益接近于现代化学家的认识。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年版，第 53 页。

凯德洛夫：《化学元素概念的演变》，科学出版社，1985 年版，第 xiv 页。

同恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年版，第 53 页。

哈泽尔·罗索蒂：《化学世界导游》，科学普及出版社，1984 年版，第 5 页。

第三节 化学科学的定义

化学定义是在对化学对象本质特征概括基础上对化学科学特征的表述。然而这种表述在进入 20 世纪以后却日益感到困难。由于自然科学发展的日益微观化和交叉化，化学科学研究所涉及的内容日益广泛、深入和复杂，化学科学同其它科学相互渗透的关系日益密切，已经使得怎样理解化学对象和确定化学定义，或在化学科学同其它科学之间划出一条明确的分界线就成了相当困难的问题。因此，直到目前为止，国内外学术界还没有能够为化学科学确定一个公认的、统一的定义，以至目前流行的化学定义就至少有二、三十种之多。显然，这对于人们如何认识化学科学的性质、特点和功能，掌握化学发展规律，以及开展化学教学和化学研究工作都是不利的。为此就需要在分析现有化学定义的基础上，尽早确定一个较为能够反映出当代化学对象本质特征和现代化学科学特征的化学定义，以推进化学的发展。

一、化学定义中的问题

从当代比较流行的 20 多种化学定义所做的初步分析来看，至少存在以下几个方面的问题。

1. 化学研究的物质客体特点不明确

在化学定义中首先需要明确指出的是化学所要研究的物质客体特点。显然，这应当是表述化学定义所需遵循的一条原则。然而在当前流行的许多化学定义中却未能体现这一点。它们往往只是笼统地提到所研究的是“物质”，而没有指出是研究什么样的“物质”。例如著名美国化学家鲍林就只是笼统地把化学定义为“研究物质的科学”。《日本万有百科大事典》也如此，只是含混地提到“化学是研究物质的性质的学问”。还有像《美国大百科全书》(EA)、苏联著名化学家涅克拉索夫、德国化学家蒂洛和我国化学家胡亚东等许多国内外知名学者，也都给出了类似的化学定义。它们都没有说明化学所要研究的是“什么样”的“物质”，因此对于所要研究的“物质”的“性质”也就难以捉摸了。

因为所谓“物质”的种类是极其繁多的。从总的方面来说既包括实物又包括场，而场主要是物理学的对象而非化学的对象。对于实物来说，则包括了一切具有特定静质量的物质形态，诸如电子、正电子、质子、中子、原子核、原子、分子、胶体、晶体、矿物、岩石，以至天体等形态的物质，其中既有化学对象、也有物理学对象、地质学对象和天文学对象等。实际上，“物质”并非是某一学科所独有的研究对象，而是所有自然科学各学科共有的研究对象。因此，如果只把化学笼统地定义为是研究“物质”或“实物”的科学，就体现不出化学研究的物质客体特点，从而把化学科学的特性淹没在整个自然科学的共性之中了。

2. 化学研究的运动形式特点不明确

在化学定义中不仅需要明确指出化学所要研究的物质客体特点，而且还需要明确指出物质客体的运动形式特点。显然，这也应当是表述化学定义所应遵循的又一条原则。否则也不可能真正反映出化学科学的特征。然而当今

鲍林：《化学》(上)，科学出版社，1982年版，第2页。

《日本万有百科大事典》，第15卷，1977年版，第106页。

唐敖庆等：《化学哲学基础》，科学出版社，1986年版，第7页。

流行的许多化学定义却往往忽视了这一点。例如 1974 年诺贝尔化学奖获得者、美国高分子化学家弗劳瑞说，“我建议把化学定义为‘分子的科学’”。我国出版的《化学发展简史》一书中也说，化学是在“研究物质在原子-分子水平上的变化规律”的科学等。它们虽然都在力图具体指明化学所要研究的物质客体分子的特点，然而并没有具体指明是分子的哪一种“变化”或运动形式，是分子的热运动的变化，还是分子的“性质同声波传播关系”的变化，抑或是分子的“自我复制”的变化？这些变化虽然也都是“关于分子的科学”的一部分，然而却并非是化学的对象，而分别是分子物理学、分子声学 and 分子生物学的对象。可见，这种化学定义也仍然是比较笼统的，并没有能够真正反映出化学科学的特征。

3. 化学对象与化学内容相混淆

化学定义是对化学对象本质特征的概括，而不是化学内容的罗列。因此在化学定义中就不能以化学内容的罗列代替化学对象的概括。显然，这也应当是表述化学定义所需要遵循的再一条原则。然而目前流行的不少化学定义似乎都违背了这一原则，并几乎成了化学定义中一种最常见的通病。例如苏联的《综合技术辞典》提到，化学是“关于物质及其组成、结构、属性和相互转化的科学”；英国的《不列颠百科全书》(EB)也提到，化学是研究“物质的性质及其结构、组成和变化性”科学；《美国科学技术百科全书》(AEST)则唯恐仍罗列不全，又加上了“能量变化”的内容，进而提到“化学是研究物质的性质、组成、结构、研究物质所发生的结构和组成的变化，以及随之产生的能量变化的科学”。这里企图把化学所要研究的关于“物质”的“组成”、“结构”、“性质”、“变化”及其过程中的“能量变化”等各个方面内容都一一不漏地罗列出来，似乎依此才能“全面地”反映出化学对象和化学科学的特征。然而尽管如此，也还是没有能够指明究竟化学是研究哪一种物质，是分子还是原子或是基本粒子的“组成”、“结构”和“性质”的“变化”？也没有能够指明这些“变化”的共同本质特征。这样，也就没有能把化学研究的特殊对象同其它科学，特别是同物理学的研究对象相区别。显然，这种以罗列化学内容的方式来表达的化学定义，尽管是运用了冗长的文字，也还是没有能够反映出化学科学的特点。此外，在化学定义中也是不可能把化学内容罗列完全的。化学内容不仅不应当而且也不可能作为表述化学定义的依据。

4. 化学定义的范围过宽

近几年来流行的一种看法是把化学定义的范围拉得过宽，把相当一部分物理学的对象也作为代表性的特征而“扩张”到化学定义中来，形成了一个所谓“大化学”式的定义。例如我国一位学者认为，化学是研究“实物粒子（原子、原子核、基本粒子）的微观集合的质的规定性的变化”的科学；还有的学者提到，“化学主要是研究物质各层次内的基本运动客体（分子、原

《著名化学家论化学》，中国科学院化学研究所情报室，1980年版，第10页。

《化学发展简史》，科学出版社，1978年版，第1页。

《苏联综合技术辞典》，莫斯科，1976年版，第544页。

Encyclopedia Britannica (5), 387 (1964)。

《外国百科全书化学条目选译，化学卷参考资料》(下)，中国大百科全书出版社，1979年版，第2页。

唐敖庆等：《化学哲学基础》，科学出版社，1986年版，第8页。

子、原子核、基本粒子)产生变革的过程和规律”的科学,并明确指出“化学科学的研究内容和对象应该有一个更为广泛的范畴”,不仅应当包括“分子的变革”,也应当包括“原子的变革”,以至“基本粒子的湮灭和生成过程”,等等。

应当看到,这种“大化学”定义能够考虑到现代化学同现代物理学之间的相互联系与渗透的趋向,也不无可取之处。但是,从目前的化学研究实际来看,研究物质结构中“各层次”粒子的“质的规定性”的变化,还不能说已经成了主要的或具有代表性的对象。化学的主要对象还只是分子的“质的规定性”的变化。因此,目前提出这种“大化学”定义,起码还为时尚早。

此外,随着科学的发展虽然在化学中涉及“各层次”粒子的“质的规定性”变化的内容会越来越多,然而它们也将主要是为研究分子的目的服务的。比如辐射化学虽然要涉及原子和基本粒子的质的变化,但也主要是研究这一变化中放出的辐射线所产生的化学效应,即分子的质变效应,仍然不会改变化学的传统的特征。因此,在今后相当长的一段时期内,即使这方面的内容增加再多恐怕也不宜用研究“各层次”粒子的“质变”来定义化学。总之,化学研究中所要涉及到的内容和化学的定义,应当有所区别。

再者,这种“大化学”的定义,在实际的科学分类中恐怕也很难行得通。因为,尽管在化学定义中把原子和基本粒子的质变等都列为具有代表性的研究对象,可是物理学家却会不加理采而仍然会照旧视为物理学的主要对象而加以研究。这个实际并不会因为大化学的定义而有什么改变。他们的科学实践并不可能承认“大化学”定义所赋予的科学分工。因而这种定义也就不会有什么实际上的意义。

5. 化学定义的哲学式表述

这主要是一类从哲学角度对化学所做的概括。例如过去恩格斯曾经说过,“化学可以称为研究物体由于量的构成的变化而发生质变的科学”。近来我国学者也有的提出,“化学是研究以原子间的化分和化合为基础的物质运动形式,以及这种运动形式与其它运动形式的关系的一门学科”。此外还有的书中也提到化学是研究物质的“原子的化分与化合”的“特殊矛盾的科学”,等等。

这一类的定义,在哲学和自然辩证法的研究领域内还是可以考虑的,但是在作为自然科学的化学中来说却很难直接引用。它会带来一些不便,比如这里提到的“化合”同化学中的“化合”概念并不完全是一回事;而“化分”的概念又是化学中所没有的,等等。

另外,像“物体由于量的构成的变化而发生质变”的特征,现在已非化学科学所独有,而是涉及到了整个自然科学领域。因此,再提出以此作为化学的定义显然已不合适。

二、化学定义的尝试表述

在80年代以后,随着我国化学学和化学哲学研究工作的开展,化学定义问题已经成了一个引人注目的重要课题,并逐步表现出取得一致认识的趋

同上。

恩格斯:《自然辩证法》,人民出版社,1971年版,第49页。

《自然信息》,1981年,第4期,第36页。

《辞海》,理科分册(上),上海辞书出版社,1978年版,第249页。

向。

1980年我国学者对现代化学定义首先开始提出了一种尝试表述，认为化学是“研究物质分子及其质变规律的科学”。1983年又发表了“化学定义的问题”一文，对这一定义展开了初步论述。1985年再在“关于建立化学的初步探讨”一文中具体运用了这一定义。在此基础上，1986年我国出版的《化学哲学基础》一书又在对比分析当代国内外流行的化学定义中进一步论述了这一定义，并补充表述为化学“主要是研究物质的分子转变规律的科学”，以更全面地反映化学科学的特征。

目前，这一定义在我国学术界似已出现了逐步得到广为承认的迹象，例如在“化学研究的对象及其发展”、“从物质运动形式考察化学科学”¹及“化学和物理学在理论上的统一”等论文中，以及在即将出版的《中国大百科全书·自然辩证法卷》中，都大体上接受或运用了这一定义。因为它较过去流行的诸多化学定义似更加言简意赅，突出地反映了化学对象和化学科学的特点。具体表现如下：

首先，这个定义可以明确指出化学研究的物质客体特点，即化学研究的主要物质客体是物质，不是意识形态；是物质中的实物粒子，不是场的形态；是实物粒子中的分子，不是原子、原子核和基本粒子等其它实物粒子。因此，能够对于具有代表性的主要研究对象的物质客体表述得具体而明确，从而可以避免只是笼统地提到研究“物质”，以致同自然科学的一般对象相混淆的缺陷。应当看到，这里所说的分子，可以理解为是“实物能够独立存在的最小量”或“参加化学反应的实物的最小量”，具体说来是指能够独立存在（即借助物理方法可以确定）、呈电荷中性、具有一定结构、通常没有未配对电子的最小的原子结合体。

其次，这个定义可以明确指出化学研究的物质客体的运动形式特点，即化学是研究物质分子转变的运动，是一种或几种分子转变为另外一种或几种分子的运动，即分子的质变运动或化学运动；而不是分子的机械运动或热运动等其它分子非质变运动。这样，就可以克服只是泛泛地提到关于“分子的科学”或“分子的变化科学”等笼统表述的不足。

第三，这个定义还可以囊括化学所要研究的广泛内容，诸如在许多流行的化学定义中所罗列的关于分子、组成分子的原子和基本粒子的性质、组成、结构、变化，以及力、热、声、光、电等能量形式和场物质的作用等方面的内容。因为它们都是掌握“分子转变的规律”所必然要涉及的方面。这些内容虽然未在定义中直接列出，然而实际上是已经不言而喻地包含在“分子转变”的“规律”的涵义之中了。这样就可以使化学定义的表述不致过于冗长，内容罗列，主次难分，从而能够简明扼要，特点突出，便于理解和掌握。这也正如沙赫巴洛诺夫所说：“当删去科学对象中次要的、掩盖了主要的部分

廖正衡：《化学辩证法问题初探》，人民教育出版社，1981年版，第1页。

《东北师大学报》，1983年，第3期。

《东北师大学报》，1986年，第1期。

唐敖庆等：《化学哲学基础》，科学出版社，1986年版，第6—10页。

同，第42页。

邓从豪：《现代化学的前沿和问题》，山东大学出版社，1987年版，第367页。

克列斯托夫：《现代化学基本概念》，陕西师范大学出版社，1987年版。第5页。

东西后，定义就能更好地有助于看到主要东西、有助于对主要东西的集中注意和理解”。

第四，这个定义的表达由于加上了“主要”二字，就会使化学定义具有更大的广泛性和灵活性，体现了化学同其它科学之间既有明确分工又有密切联系的相互关系。这就是说，从“主要”的对象看来，化学同其它科学是有明显区别的。但是，化学要研究它的“主要”对象，就必须涉及到一系列的“次要”内容，如作为研究工具的数学、物理学等其它自然科学，提供科学思维和科学方法的哲学，促进化学转化为直接生产力的社会科学，等等。从这个角度看，化学同其它科学之间的界限又不是绝对明确的。这样，这个化学定义就体现了这种“明确”和“不明确”的对立统一，从而也就比较符合化学的现实研究实际。

当然，化学的定义也同任何其它科学的定义一样，也是随着科学的发展而不断变化的，以便能够由浅入深，由片面到全面地更好地反映化学对象和化学科学的本质特点。此外，由于化学运动的复杂性，也给化学定义的表达带来了相当的难度。正如日本出版的一部大百科全书在解释“化学”条目时所说，“化学是很难用一两句话定义的。”因此，这里所提出的化学定义，尽管似有取得学术界一致认识的趋向，然而也不会是完美无缺的。这就需要广大学者不断加以研究、补充和修正，以尽早能够确定一个比较公认的、统一的化学定义。

沙赫巴洛诺夫：《化学哲学问题纲要》，科学出版社，1960年版，第67页。

《日本万有百科大事典》，第15卷，1977年版，第106页。

第四节 化学研究的物质客体

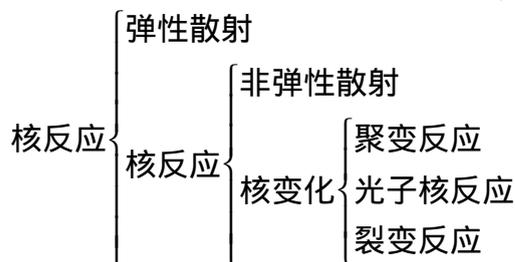
化学研究的物质或称化学物质，是指以作为化学对象的“物质分子转变规律”所要涉及的各种实物物质，主要是原子核、游离基、离子、原子、分子和超分子等物质。下面就对这些物质的性质、结构和可能发生的变化等情况做一讨论，以便对作为化学对象的物质客体的分子及其相关的主要物质客体能够有一个较为全面和具体的了解，从而能够更深刻地认识和把握化学对象。

一、原子核

根据质量数 (A) 的大小，原子核可分为轻核 ($A < 30$)、中等核 ($30 < A < 90$) 和重核 ($A > 90$)。关于原子核的结构至今仍在探索。自从本世纪 30 年代查德威克发现中子以后，已经有不少核结构理论模型提出，诸如核的质子-中子模型、液滴模型、集体模型和壳层模型等。在一般的化学反应中，原子核保持不变，只是外层电子的运动状态发生改变。但是，在核化学反应中，原子核的变化以及原子核与核外电子的强烈互动（诸如与新核相适应的核外电子重新排布、放射性和高能电子对电子层的影响和穆斯堡尔效应等等）成为关注的焦点。

原子核具有一系列特别的属性，诸如核电荷数、质量数、发生核反应的低能限，反应截面、共振能量、结合能、库伦能垒等等。幻数 (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126) 则与核的稳定性有关。

根据反应前后能量变化情况，核反应可分为低能核反应 (0 ~ 10MeV)、中能核反应 (10 ~ 100MeV) 和高能核反应 (> 100MeV)；根据核与核或核与其它质点的碰撞情况及其结构变化情况，核反应也可以下列方式划分：



二、游离基 (自由基)

共价键断裂时，两个成键电子各分一个在碎片上，这种带有不成对电子的碎片即为游离基。游离基种类繁多，结构不一，甚至相同化学构造的游离基也可能具有不同的立体结构。例如 CH_3 就有平面三角形与三角锥形。游离基的活性大，一般难以稳定存在，可以发生偶联、歧化、置换、加成、裂解、插入和氧化还原等反应。

三、离子

原子或一群原子，从其最外电子层取得或是放出一个或更多的电子，此带电荷的粒子称为离子。另外，金属阳离子可与几个阴离子及中性分子形成一种带电荷的配合物即络离子。根据电性的不同，离子可分为阳离子和阴离子。离子可以存在于气体、液体和固体中。气体原子或分子在接受外来能量的情况下，通过碰击反应可以产生离子；大部分盐溶于水时发生电离，在溶

液中可以形成阳离子与阴离子。离子的大部分性质是由其电性引起的。具体地说，离子有下列特性：

(1) 离子的游动性。除了离子晶体中的离子只能在固定位置振动外，气体离子或液体中离子均能在外加电场作用下移动。

(2) 离子的依附性。在气态或液态时，离子常有依附它种粒子的特性。例如， H^+ 在水溶液中常以 H_3O^+ 形式存在。

(3) 离子的互围性。阴、阳离子常常互相包围，在气体、液体或离子晶体中均如此。这是由离子的静电吸引作用无方向性决定的。

(4) 离子的互换性。对于半径较小、阴电性较高的、具有较低遮蔽效应的原子，由于电子转移而取代化合物中的另一种离子。例如， $KI + Cl_2 \rightarrow KCl + I_2$ 。另外，同性离子在一定条件下可以相互替换，例如在离子交换柱里就发生这种情形。

(5) 离子的变形性(可极化性)。即被异性离子极化而发生电子云变形的性质。例如在 $AlCl_3$ 中， Cl^- 离子受 Al^{3+} 离子的作用而发生电子云的变形，使得该化合物显示出共价化合物的某些性质。

(6) 离子的极化作用，即一个离子使另一个离子产生某些结构变化的作用。

此外，还应提到的是等离子体。它是由电子、离子、原子及分子组成的混合气体，具有与一般气体不同的性质，例如能够接受外磁场的作用。在等离子体内，电子、离子甚至中性粒子都可能具有较高的能量，其中所进行的各种化学反应都是在高激发态下进行的，完全不同于一般化学反应。在等离子体内原子或分子的化学本性都会发生变化，如惰性气体原子变得活泼。等离子体能发生高温化学反应、气相沉积和聚合反应。

四、原子

原子是原子核和电子的对立统一体，核外电子排列井然有序。每种元素的原子不仅可以发射一系列特征谱线，而且也可以吸收同发射线的波长相同的特征谱线。原子的半径约 2 或 $3 \times 10^{-3}cm$ ，除了一系列常规化学反应外，原子还可能发生移转反应：即重合交换($AB + A^*C \rightleftharpoons ABA^*C \rightleftharpoons A^*B + AC$)与解离交换($A^*B + A \rightleftharpoons A^* + B + A \rightleftharpoons A^* + AB$)。

此外，还有同原子概念相关的两种实体：热原子和原子团。热原子是核变化生成的原子，一般均具有非常高的运动能量，并可能带有很高的电荷，化学性质很活泼；原子团是由多个原子组成的，可以分为多原子离子团(如 SO_4^{2-})和有机物中的官能团。它们在许多化学过程中可以作为一个集团参加反应。

五、分子

分子的概念是阿佛加德罗于1811年明确提出的。自然界的大部分物体都是直接由分子所构成的。各种物质的分子量变化很大。最小的氢分子是 2 ，而大肠杆菌的DNA分子量达 25 亿。分子的形状有多种多样，可以呈现出直线形、三角形、正方形、棱锥形和跷板形等等。根据分子的偶极矩大小，分子可有极性分子与非极性分子之分；根据分子内部化学键的性质，又有离子型分子与共价型分子之别。

分子内部既存在排斥作用（分子的平动能，分子内各原子或原子团的转动动能，振动能，原子核之间或电子间的电性排斥能，泡利不相容原理规定的排斥作用，以及测不准关系所描述的排斥作用等），也存在吸引作用（各原子或离子间的电磁吸引作用）。分子正是处于这两种作用相互平衡的状态而存在的。当分子内部的两种作用失去平衡时，分子就会发生质变，出现化学变化或化学反应。

从分子组成的角度看，除了一般的无机物分子和有机物分子外，配位化合物分子在现代化学研究中越来越引人注目。配位化合物分子可以分为单核配位化合物分子（如金属有机化合物分子）和多核配位化合物分子（如原子簇）。有人认为，“未来的化学是无机化学和有机化学的杂交物——金属有机化学”，可见配位化合物分子的重要性。

从分子量大小看，可以分为低分子（分子量在 1000 以下），低聚物（分子量在 1000 ~ 10000 之间）和高聚物或高分子（分子量在 10000 以上）。随着现代化学的发展，高分子所处的地位日益重要，对高分子的研究也日益深入。一般说来，高分子依其主链的组成或结构不同，可以分为碳链聚合物、杂链聚合物、元素有机高分子（如有机硅油脂）和无机高分子（如聚氯化硅氧烷）等；根据高分子链中单键的内旋转情况，又可分为柔性高分子和刚性高分子。

高分子分子量高、分子长大（可用端间距和回转半径描述）、形状各异，有线状、枝状、网状，近几年又先后合成出星形、梳形、甾形和梯形等多种类型的高分子。从物理性质来看，高分子没有沸点，其溶液的粘度高，比重低，耐腐蚀，胀溶，绝缘性高。但也有一些导电性强的高聚物，或是依靠离子导电作用（如聚电解质的聚丙烯酸，离子交换树脂等），或在其分子中有特殊的化学结构（如共轭连锁），而呈现出较强的导电性。

此外，化学研究中所关注的还有以晶体形态体现的巨型分子。例如离子晶体，由于其中的阴阳离子交错排列而分不出独立的分子界限，以至整个晶体都可视为一个巨型分子。金属晶体、原子晶体的情况也如此。这些巨型分子依照其分子形状可以分为三维网络巨分子晶体（如金刚石、食盐、一般金属）、二维网络巨分子晶体（如石墨、 CdI_2 晶体）和一维网络巨分子晶体（如石棉等）。巨分子晶体中原子或离子之间的化学键性质与晶体的宏观性质密切相关。

六、超分子体系

近几十年来，化学家们已经发现了越来越多的超分子体系，日益引起广泛注目，以致产生了一门新的化学分支学科——超分子化学。

超分子体系是靠范德华力而形成的分子间聚集体，有下面几种：（1）集团与集团间构成选择性相互作用体系；（2）分子配合物，如 I_2 -淀粉分子、 $H_3N^+ BF_4^-$ ；（3）分子-表面化学吸附体系，如 N_2 与铁触媒的催化活性中心所构成的体系；（4）氢键体系，如 H_2S-H_2O 体系；（5）生物大分子体系，如 DNA、酶-底物。

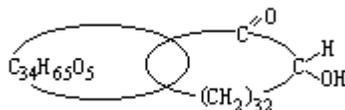
准确地说，超分子体系都是由非键态和配键态组成的，既有部分选择性

聂圣哲：《现代化学新学科》，中国科技大学出版社，1989 年版，第 52 页。

朱永群：《高分子基础》，浙江教育出版社，1985 年版，第 86 页。

范德华力性质，又有部分共价键性质。超分子体系内部相互作用表现出强烈的选择性（电子结构选择性、立体结构选择性和轨道对称选择性）。

此外，还有一类新型的物质分子属于超分子层次。这类分子由两个或两个以上分子套合在一起，但彼此之间没有直接键合，例如下图所示的分子就是属于这类“没有化学键”的分子。



世界是在运动发展着，科学也是在进步之中。随着新的物质结构单元被发现，人类的视野越来越开阔。化学认识也随着对于新的物质对象及其运动的探索而逐步深化。因此化学的物质对象是一个变化的、历史的范畴。到目前为止，我们认识到以分子转变为标志的化学运动，不仅涉及到了分子，还涉及到了原子、原子核和超分子等四个层次的化学物质，并与四种作用力——核力、静电力、化学键、范德华力相关，特别是同化学键更为密切相关。今后，随着化学发展，未来化学研究的物质领域必将越来越广泛，所涉及的相互作用力也将越来越复杂，化学对象的领域也将越来越扩展。

第三章 化学职能论

在现代文明社会，化学已经相当广泛和深入地渗透到人类的生产、生活和思想等各个方面，使人类社会变得空前的富裕、舒适和丰富多采，以至有人把我们的时代称之为“化学时代”。可以看出，化学已经成为当今社会发展所不可缺少的重要手段，在社会的生产、经济、政治、科学、哲学，以至环境治理等方面，均担负着重要职能。

第一节 生产职能

化学同其它各门自然科学一样，也是社会生产过程中的重要因素，知识形态的生产力，具有重要的生产职能。

化学的生产职能不同于其它学科的特点，主要在于是以实现物质分子转变的方式，改变物质的性能，生产多样的产品，以极大限度地利用各种资源，满足人类日益增长的物质需要。这是其它学科所难以相比的。因此“化学至今或许仍是所有实验科学中最实用的学科”。而且是唯一具有以学科名称命名的工业部门——“化学工业部”的基础学科。化学的生产职能的特色，具体表现在以下几个方面：

一、提高社会生产水平

化学对物质的加工，不同于其它学科的是，可以在物质的较深层次——分子层次进行加工，从而可以提高产品的数量乃至质量，有力地推进生产的发展。例如，从石油中提取汽油，如果只是依靠物理方法进行加工，依照石油组分沸点不同而进行蒸馏，由于受到天然石油中汽油组分比例的限制，只能得到相当于原油总量 15—20% 的汽油，而且由于抗震性能欠佳而不能适用于压缩比高的内燃发动机，在质和量上都满足不了生产上的需要。但是，如果对石油进行深层次的化学加工，进行“热裂化”或“催化裂化”，把天然石油中高级烷属烃的大分子“裂化”成小分子，并进一步合成出具有良好的抗震性能的环烷或芳香烃的分子，实现分子的转变，则不仅可以得到相当于物理加工所得到的 3 倍以上的汽油，把产率提高到 60% 以上，而且还可以改善汽油的抗震性能，提高汽油质量，把生产水平提高一大步。这就很好体现了化学加工的优越性。

二、扩大资源利用范围

化学加工还可以深入物质内部调节元素组成，从而可以改变物质性能，扩大资源利用范围，以丰补缺，满足社会生产发展的需要。例如作为当前世界主要能源的石油，地球上的储量极其有限，若以当前每年开采 80 亿吨的速度消耗，只还能使用约 30 年，即将消耗殆尽。然而另一资源煤的储量则比较高，若以当前每年开采 30 亿吨的速度消耗，则还能使用约 200 年。不过固态的煤还不能直接代替液态的石油作为内燃机燃料使用。这就需要用化学方法加工，把煤转化为汽油，以扩大煤的应用范围。

化学分析表明，煤和汽油的主要差别是在于构成二者的碳氢元素重量比例的不同。煤约为 100 : 4，而汽油约为 100 : 7。由此可知，把煤转化为汽油的根本途径就是对煤进行化学“加氢”，调节元素组成，使其达到汽油的“高氢”水平。这个操作通常是在高温、高压和催化剂的条件下进行的，称为“煤加氢直接液化法”。目前这一过程已经在许多国家实现了工业化，开始大量生产“煤造汽油”。美国预计从 1990 年到 2000 年间的汽油消耗将达到“煤造汽油”与“油造汽油”对半混合使用的水平。以石油为主的能源结构时代即将过去，以煤为主的能源结构时代即将来临。显然，化学技术的进步将在这一时代转变中起到关键性的作用。

化学还可以通过对物质分子的加工，改变物质的存在状态，使得有效物

质得以浓缩或富集，获取目的产物，提高资源利用能力。例如天然铀矿石中所含铀燃料（铀-235）的浓度甚低，只为 0.7% 左右，不能满足原子能电站维持核裂变反应所要求的 3% 浓度的低限，不能直接作为核燃料被利用。然而依靠化学却可以解决这一课题。化学可以通过分子转变的形式把固态的铀矿石中的铀转化为气态的六氟化铀，由此就可以利用“气相扩散方法”逐步使铀-235 得以富集，再经还原后就可以得到浓度为 3% 以至 90% 以上的“浓缩铀”，成为原子能电站以至原子武器的贵重原料，从而使天然铀矿得以有效利用，提高了人类对资源的利用能力。

1kg 铀释放出的原子能，相当于 2.5×10^6 kg 煤所放出的化学能。化学对铀矿石的加工和利用，也为人类解决未来的能源危机提供了美好前景。

三、提取制造重要材料

化学还可深入物质分子内部，采用更换原子种类的方法，提取所需物质，发展生产。例如作为当前社会生产重要支柱钢铁工业的原料铁矿石来说，其中所存在的铁是同氧或硫等原子结合着，并不具备钢铁材料的性能，不能直接作为金属材料使用。为此需要运用化学加工手段把同铁结合的氧等元素的原子分开，以游离出单质态的金属铁，进而加工成铁碳合金——生铁或钢材。目前工业上通常是以碳或一氧化碳为还原剂，同铁矿石相作用，更换其原子，变铁的氧化物为碳的氧化物，从而提取出金属铁，进而再炼成钢，以满足汽车、拖拉机、机器制造以及国防工业等生产领域的需要。

以碳等非金属元素原子更换各种矿石中的，以化合态存在的金属元素原子，是目前冶金工业生产中通常采用的方法，以制取钢铁和铜铝等黑色金属和有色金属材料。可以看出，化学在冶金工业生产中的作用是至关重要的。可以说，没有化学就没有冶金工业。这是绝非夸张的结论。

美国化学家西博格所说，“地球的矿物只有当发现了精炼、加工、改造或将它们转变成有用的形式以后，它才成为自然资源的这一点或许是重要的。而这一工业流程的关键通常是一系列化学反应”。确是如此。

化学还可以对物质分子进行聚合加工，变小分子为大分子，低分子为高分子，使物质性能发生质的飞跃，创制出自然界前所未有的新型产品。以生产高分子合成材料为例，化学在从煤或石油中得到乙炔或乙烯等有机低分子化合物后，可以在一定的温度、压力和催化剂的条件下，将其聚合成分子量巨大的高分子，进而可以创造出尼龙、塑料、合成橡胶等许多自然界未曾出现过的崭新的聚合物族类。它们不仅可以作为棉、麻、丝等天然纤维，以至天然橡胶、木材、纸张、皮革、玻璃和金属材料的代用品或替换物，而且还可以具有许多天然材料所不及的优异性能，诸如高强度、轻重量、耐腐蚀、耐磨损和耐高温等性能，可以广泛应用于社会生产和社会生活等各个方面，而使人类进入到“高分子时代”。

化学能够聚合低分子为高分子，被认为是改变 20 世纪面貌的一项重大的科学发明。对人类社会赖以生存和发展的材料生产带来了变革性的影响。据专家预计，到 2000 年时化学高分子合成材料的比重将可达到整个材料应用的 78%。可以预见，化学通过聚合分子的途径，还可以不断创制出数量更多，性能更加优异的前所未有的新型材料，为社会生产的发展做出更加卓越的

贡献。

四、满足生产多方需要

化学还可以通过化学加工提高物质的化学活性，变无用物质为有用物质，制取工农业生产所需的多种产品。以固定空气中的游离氮的化学加工为例，由于空气中游离氮的化学活性不强，并不能为大多数植物所利用，合成出体内所需的蛋白质等生命物质。但是，在经过高温、高压和催化剂等条件进行化学处理后，就可以使其化学活性大为增强，并能同氢、氧、碳等元素原子结合成活性较强的化合态氮，例如硝铵、碳铵和尿素等化学肥料，从而就可以为植物所直接吸收、利用，提高农作物产量。据统计，化学肥料的增产作用约占整个增产措施作用的40—60%，从而为人类解决面临的粮食短缺问题提供了重要途径。

依靠化学加工增强物质的化学活性，不仅是生产化学肥料的途径，而且也是生产炸药、染料和医药等多种产品的方法，从而可以为生产的发展提供大量所需物质，为人类做出巨大贡献。

化学具有的生产职能的特点，总起来看是能够对物质分子进行加工改造，实现物质分子转变，从而可以获取各种所需的物质性能，满足当前以至未来社会发展的需要。例如未来社会将要探索的新的粮食生产方法，就可以依靠实现分子的转变，合成出具有能够提高植物光合效率、促进植物迅速生长的“化学生长调节剂”；或者把那些至今尚未被有效利用的植物叶子中的蛋白质和鸡毛中的蛋白质，以至干酪乳清那样的“废物”，开发成新的重要的食品来源；或者直接合成出人类所需的种种营养物等等。这样就有可能使人类逐渐摆脱迄今为止过分依赖自然界提供食品的被动状态，谋求得以实现不依赖于气候等条件而提供食品来源的远大目标。

当前，化学的作用已经相当深入地渗透到生产过程中包括劳动力和生产资料的两个生产力要素之中，而且还不断地扩大了生产对象的要素，使得一些过去无法利用的资源被利用了，源源不断地提供了新的能源和材料，从而极大地提高了社会生产力，促进了社会的发展。

第二节 经济职能

一、经济发展的有力杠杆

化学同其它自然科学学科一样，也是推进社会经济发展的重要因素，其突出的特点是能够使物质变贱为贵，甚至变废为宝，创造巨大的经济价值，强有力地推进国民经济的发展。例如 19 世纪的德国依靠煤的化学加工技术，从“一钱不值”的“废物”煤焦油中制出了染料、香料和药物等几十种贵重产品，就使德国很快摆脱了贫穷境地，一跃成为欧洲科学技术的中心和经济强国。又如在第二次世界大战以后经济遭到战争严重破坏和资源极其短缺的日本，他们能够在短期内得以恢复，并发展成为世界经济大国，在很大程度上也是依赖于化学加工廉价而丰富的煤、水、空气和石油等原料，制得了价格高昂的合成纤维等化工产品，获取了巨额经济效益才实现的。1960 年日本池田内阁实行的“国民收入所得倍增计划”，其中的一个重要措施就是首先给重化学工业的发展提供保护和援助，从而使日本重化学工业在国民经济中的比重从 1955 年的 44% 提高到 1965 年的 63.7%，10 年间增加了 19.7%，超过了美、德、英、法等发达国家的发展速度，成了日本经济腾飞的最重要的推动力。据统计，日本在 1955 年至 1966 年间不同行业进步对整个国民经济发展的贡献度，以化学工业为最高，达到了 72.3%。所以日本著名经济学家高桥龟吉说，“在日本战后经济成长中重化学工业的发展起到了巨大作用”。前苏联也是如此。他们在建国初期不久，就开始以“农业化学化”和“国民经济化学化”为杠杆，摆脱了贫困，跨进了世界经济大国的行列。

二、超前发展的重要作用

由于化学在推进国民经济发展所具有的重大职能，就使得化学生产在整个国民生产和经济发展中拥有着超前发展的地位，以确保其它生产部门所需的能源、材料和资金的供应。这就是说，在通常的情况下，一个国家以至整个世界的化学工业发展速度，往往都要超过整个国民生产、国民经济的发展速度。以 20 世纪后半叶的世界生产为例，50 年代的世界工业平均增长率为 6.7%，而化学工业的增长率则达到 7.7%；60 年代时前者为 6.8%，后者为 9.6%；70 年代前者为 4.5%，后者为 5.5%。据预测，在 1980 年至 2000 年间，前者将为 4.0%，后者可达到 5.0—6.0%。我国的情况亦大体如此。在第一至第六个五年计划期间，工业总产值的年平均增长率为 10.9%，而化学工业则达到 16.8%。因此，同其它行业相比，当前我国化学工业设备的技术水平也是最高的。其它行业达到国际先进水平的平均比例是 34.7%，而化学工业则达到了 67%。

可以看出，优先发展化学工业，保证化学工业超前的发展速度，是发展国民经济的重要战略措施，是实现我国四个现代化的重要保证。“没有一流的化学工业，就没有一流的工业化国家”。化学在国民经济发展中的作用是至关重要的。

第三节 政治职能

自然科学包括化学科学在内，是推动社会前进的最高意义上的革命力量。这不仅表现为是促进社会生产和社会经济发展的革命因素，而且也表现为是以生产关系为中介来促进政治的变革，具有重要的政治职能。

当然，这并不等于说化学科学本身具有任何政治属性。实际上，化学既没有人道主义的性质，也没有反人道主义的性质。化学也是无阶级性的、求知于自然界的产物。然而尽管如此，又并不等于说同样作为一种社会现象的化学与政治没有任何相干。事实表明，化学同政治具有相当密切的关系，并已经成为当代阶级斗争所不可缺少的重要工具，表现出鲜明的“化学——政治”现象，特别是在化学同作为“政治斗争最高形式”的军事战争的关系上，尤其如此。

一、战争物资的供应基地

化学不仅是一种社会生产力，而且也是一种军事战斗力。这首先表现为化学生产是战争物质的供应基地，是取得军事斗争胜利的物质保证。正如著名科学家贝尔纳所说，现在“如果没有化学工业，战争就无法进行下去”。因此，化学对于军事斗争、政治斗争的胜败的影响是至关重要的。

这主要是因为化学工业本身所具有的“民用”与“军用”兼有的、不可分的双重性质。例如合成氨、硝酸铵、汽油、橡胶、塑料，以及钢、铁、铜、铅等金属产品，既是和平时期工农业生产所需的肥料、燃料和材料，也是战争时期国防工业生产炸药、飞机、大炮所需的军用物资。平时产品与军需物资的性质兼而有之，二者的界限很难划清。所以贝尔纳说，“在化学工业中特别难以区别有多少科研工作属于民用性质，有多少属于军用性质”，“所有这些物资在平时和战时都有用处”。因此，化学工业在战争时期也就会自然地转化为军事生产部门，担负着提供军事物资的重要职能，从而成为影响军事战斗实力的重大因素，在政治斗争中发挥着重要作用。

二、武器性能的改进手段

武器性能的高低对于战争的胜负以至战争的规模都会产生重大影响。然而武器性能的改进，在很大程度上要依赖于化学技术的进步。武器发展的历史进程就可以说明这一点。

在原始社会时期，由于化学技术水平低下，人类还不可能制造出锋利的军事武器，只能以简单的物理手段加工岩石作为武器进行战斗，难以进行大规模的军事战争；到了奴隶社会以至封建社会时期，由于化学水平的提高，已经开始能够从矿石中提炼铜、铁等金属，制造出锋利的刀、剑等金属武器，使得战争的规模得以逐步扩大。然而这只不过是属于威力一般的“冷兵器”之类。后来，由于中国早期化学家炼丹术士发明了火药，进而发明了各种火枪、火炮等火器，使武器的发展得以从“冷兵器”进入到“热兵器”时代，进一步提高了军事战斗能力，以至成为新兴资产阶级摧毁封建骑士阶级的强有力武器。所以马克思说，“火药把骑士阶级炸得粉碎”，火药等三大发明，“是预告资产阶级到来的声明”。到了20世纪中叶以后，由于化

贝尔纳：《科学的社会功能》，商务印书馆，1987年版，第257页。

同上。

马克思：《机器·自然力和科学的应用》，人民出版社，1978年版，第67页。

学技术水平的进一步提高，已经能够从铀矿石中提取出“浓缩铀”作为核燃料，制造原子武器；又由于无机化学和高分子化学的进步，已经能够合成出一系列具有耐热、耐压和高强度等优异性能的新材料，以及能够制出高浓度过氧化氢、发烟硝酸，以及液态氢和液态氧等得以产生强大推力的高能燃料，从而导致了导弹核武器的出现，使武器发展从“热武器”时代进入到“导弹核武器”时代，极大程度地提高了军事战斗力，并成为国际政治角逐中的一张“王牌”。这就使得武器和作为改善武器性能手段的化学，对军事、政治产生了前所未有的重大影响。可见，化学的进步对于武器性能的改进，军事战斗力的提高，以至宣扬国威，激发民族自尊心和自信心，提高国际威望和扩大政治影响，都具有十分重要的意义。

三、军事决策的影响因素

由于化学能够作为战争物资的供应基地和提高武器性能的手段，在相当大的程度上影响着军事战斗力，从而就必然会成为影响军事战术的运用乃至战略决策的重要因素。例如在化学尚不够发达的“冷武器”时代，军事家只能考虑运用“短兵相接”、面对面进行白刃格斗的战术；在化学初步发达的“热兵器”时代，军事家就有可能运用“远距离”作战的战术；到了化学高度发达的“导弹核武器时代”，由于全球各个角落都可以成为攻击的目标，军事家不仅需要考虑常规武器的战术和“战术核武器”的战术，而且还要考虑所谓“核威慑战略，”等等。可以看出，化学同军事战略战术的运用之间是存在着密切联系的。

不仅如此，化学还可能影响到军事家对一场具体战争所做出的决策。以第一次世界大战为例，协约国在战前并没有估计到德国会敢于挑起战争，或者即是挑起了也不会维持到一年的时间就会不战自溃，遭到失败。因为他们认为，一旦战争爆发，强大的协约国海军就会完全封锁住德国的港口，切断南美智利硝石的供应，使德国无法得到生产炸药的原料而失败。然而事实表明，由于协约国低估了德国的化学实力而犯了错误。德国不仅挑起了战争，而且还维持了长达四年之久。因为在战争爆发后，德国虽然被切断了智利硝石的供应来源，然而却依靠化学家成功地从空气中取得了生产炸药所需要的元素氮，从而能够照旧源源不断地制出炸药，供应战争的需要。这就是德国在1914年成功实现工业化的哈伯合成氨法所发挥的重大历史作用。它也是德国统治者敢于做出战争抉择的重要因素。当然，第一次世界大战爆发的根本原因还是在于帝国主义国家间重新瓜分世界的固有矛盾，然而却也不能不看到化学对于战争爆发及其军事决策的重大影响。这就是说，化学已经不仅仅只是局限于自身内部活动范围的认识活动，而且是已经能够超出化学自身活动之外，对生产、经济乃至政治斗争产生重大影响的巨大作用力量了。

第四节 科学职能

化学不仅是我们的物质生活和经济生活中不可缺少的因素，而且也是我们时代的特殊意识形态自然科学中不可缺少的组成部分，并对自然科学的发展产生着重大影响，具有重要的科学职能。

化学在自然科学中是因其揭示物质分子转变规律为特征而同其它自然科学学科保持着差别与联系，并处于承上启下的中间地位，推动着其它自然科学学科的发展。具体看来，主要表现在以下几个方面：

一、科学发展的知识基础

化学以其特有的化学观察和实验等手段所揭示出的有关物质的组成、结构和变化等方面的认识，是整个自然科学发展所不可缺少的重要知识基础。换句话说，如果没有化学科学诞生后 300 多年来所取得的一系列化学成果，自然科学也就没有可能发展到今天的高度水平。例如没有化学在 19 世纪初道尔顿对原子量的测定以及在此基础上所建立的化学原子论，没有随后门捷列夫所发现的化学元素周期律等一系列成就所提供的知识基础，物理学就不可能在 20 世纪初建立量子力学，揭示微观原子结构的奥秘，以及产生原子物理学和基本粒子物理学，就不可能出现 20 世纪的物理学革命，以及随后产生的一系列辉煌成就。实际上，化学不仅是物理学的发展知识基础，也是所有自然科学发展的知识基础。

二、科学发现的认识工具

化学能够以其特有的化学实验分析手段，对物质的质和量的两个方面做出鉴定，从而可以成为其它科学进行科学发现的“眼睛”，找到研究成果。相反，如果忽视化学分析手段的应用，就可能功亏一篑，导致失败。例如，1934 年意大利物理学家费米在实验室本来已经实现了核裂变的过程，然而由于他未能对反应产物进行化学分析，却错误地认为是人工造出了“超铀元素”，并迫不及待地公布了这一“伟大发现”，成了科学界的一大笑柄。然而在事隔 4 年以后，1938 年德国化学家哈恩等人却在重复这一实验过程中运用了化学分析手段，对反应产物进行了“质”的鉴别，从而说明并非是什么“超铀元素”，而是两个原子量较小的元素钡和氙，从而惊人地发现了核裂变现象，为人类开辟了利用原子能的新纪元。为此，哈恩等人荣获了 1944 年的诺贝尔奖金。

费米的失败和哈恩的成功，有力地说明了化学分析工具在科学发现中所起到的关键作用。费米的失败，正如他的学生西格列 20 年后所说，是在于他们忽视了化学的帮助，以致“放过了真理”，成为“核分裂现象上的盲人”，而哈恩的成功，则如著名物理学家迈特纳所说，是“用纯化学方法取得的”。

因此科学史家赫尔内克认为，“我们在核研究中得以取得如此巨大的成就，不应归功于物理学家，而应归功于化学家”。显然，这句话说得并不过分。化学所提供的认识工具对其它学科发展的促进作用是十分明显的。

三、经验科学的理论基础

化学发展到今天，尽管还不能十分精密地描述化学运动规律，成为像数学和物理学那样理论性很强的学科，然而对于一些以高级运动形式为研究对

赫尔内克：《原子时代的先驱者》，科学技术文献出版社，1981 年版，第 333 页。

同上，第 311 页。

象的，尚处于经验发展阶段的学科来说，化学仍可成为它们的理论指导基础。例如生物学在长期以来关于生命的本质和遗传的机制等一系列重大问题一直处于一种模糊不清或“知其然而不知其所以然”的状态，只能停留在宏观现象的描述上，限制了生物学的发展。但是，自从20世纪以来化学对蛋白质开展深入研究后，特别是20世纪50年代以来化学对另一重要生命物质脱氧核糖核酸(DNA)开展深入研究，并取得突破性成果之后，由于在分子水平上揭示了这两大生命物质的组成、结构和相互关系，并成功地进行了人工合成，就使得生物学能够透过现象，深入本质，认识到关于“由蛋白质和核酸构成的多分子体系”的生命本质，以及DNA分子自我复制的遗传机制，从而把生物学的研究推进到分子层次，诞生了分子生物学，为现代生物学的发展奠定了雄厚的理论基础。因此，人们把化学协助生物学阐明的蛋白质和DNA分子结构的杰出成就，誉为是生物学继达尔文进化论建立以来的第二个发展里程碑。可以看出，化学提供的理论指导，把生物学的研究提高到了前所未有的理论高度。化学对其它经验性学科的理论指导作用亦如此。

第五节 哲学职能

哲学作为一种更高层次的知识体系，是对客观世界的整体性认识和对反映客观世界各个特殊部分认识的普遍性概括。因此，化学作为反映客观世界化学运动规律的知识体系，必然会成为马克思主义哲学的科学基础，以及批判武器和理论依据，从而使化学具有着哲学职能。

一、马克思主义哲学的科学基础

马克思说“自然科学是一切知识的基础”，当然更是哲学的基础。哲学发展的历史表明，自然科学包括化学在内的每一个重大进步，都为哲学提供了可利用的素材，从而丰富了哲学内容，促进了哲学发展。所以著名物理学家玻恩也强调，“科学不仅是技术的基础，同时也是健康哲学的源泉。”这对于同哲学关系密切的化学来说，尤为如此。

事实表明，马克思主义哲学在形成过程中就已经不只一次地采用了化学结论作为概括的依据。例如在关于量质互变规律的概括过程中，马克思主义哲学对于有机化学中同系物的分析，就提供了哲学概括化学实际资料的某种表象。当时恩格斯在考察一些较为简单的同系物现象后，就认为它们是量质转化的“特别明显的例子”，因为“分子式的这种量的变化，每一次都引起一个质上不同的物体的形成”。此外，恩格斯还剖析了大量无机化学中的素材，包括氮的各种氧化物、磷或硫的各种含氧酸，以及门捷列夫元素周期律等科学事实，充分论证了量质互变规律的客观性。他认为“在化学中，差不多在任何地方”，“都可以看到‘量变质’”的例证，以至整个化学都“可以称为研究物体由于量的构成的变化而发生的质变的科学”。所以著名苏联化学哲学家沙赫巴洛诺夫认为，量质互变规律“在相当程度上是依化学所获得的实际资料而拟定的”。当然，这并不是说要排除其它自然科学学科乃至社会科学所提供例证的作用，只是说化学所提供的例证更为精确、充分和有说服力。正如恩格斯所说，“无论在生物学中，或在人类社会历史中，这一规律在每一步上都被证实了，但是我们在这里只从精密科学中举出一些例子，因为这里的量是可以精确地测量和探寻的。”

二、辩证唯物主义的批判武器

辩证唯物主义哲学是在同各种错误哲学进行不调和的斗争中不断发展的。怎样才能在这场斗争中取得胜利？恩格斯说，“仅仅宣布一种哲学是错误的，还制服不了这种哲学”。此外，仅仅依靠严密的逻辑推理和逻辑证明也不能彻底驳倒各种非科学的哲学。它还必须依靠自然科学、化学的成就，并以其作为批判武器，才能最后战胜错误的哲学，为辩证唯物主义开辟发展道路。例如恩格斯在批判康德等人的不可知论时，就选择了化学事例作为批判武器，康德等人认为有“客观存在而又无法认识的自在之物”，恩格斯就以当

马克思：《机器自然力和科学的应用》，人民出版社，1978年版，第208页。

玻恩：《我这一代物理学》，商务印书馆，1964年版，1978年版。

恩格斯：《反杜林论》，人民出版社，1970年版，第126页。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971年版，第49页。

沙赫巴洛诺夫：《化学哲学问题纲要》，科学出版社，1960年版，第2页。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971年版，第52页。

《马克思恩格斯全集》，第21卷，第314页。

时有机合成化学所取得的成就进行了有力批判。他指出，动植物体内的有机物质，在人们未能用化学方法把它们制造出来以前时，似乎是“自在之物”，然而“当有机化学开始把它们制造出来时，‘自在之物’也就变成自我之物，”变成可以认识的了。他还以化学能够成功地合成茜素为例做了进一步批判，“从而证明我们对这一过程的理解是正确的，那末康德的不可捉摸的‘自在之物’就完结了。”

此外，恩格斯在回击杜林对马克思哲学的攻击时，更是充分地运用了化学的批判武器。杜林攻击马克思在《资本论》中运用量变质变规律所做的分析是“混乱的模糊观念”，从而“显得多么滑稽”。为此，恩格斯运用化学中大量“见诸形体”的事例为武器，给杜林的观点以致命的批判，使得“赫赫有名的杜林的自然哲学”迅速土崩瓦解了。恩格斯还进一步指出，造成杜林错误的一个重要原因就在于他“不知道‘化学的……主要成就’”。可以看出，化学作为捍卫辩证唯物主义哲学的批判武器是多么有效、有力和令人信服。

三、辩证唯物主义自然观的客观依据

辩证唯物主义哲学关于自然界物质及其演化图景的形成，同以研究物质组成、结构和变化为主要对象的化学，有着最为直接和密切的联系。可以说，在辩证唯物主义自然观中每一个重大课题的解决，都几乎需要化学的协助，以能透过现象，深入本质，揭示自然界物质变化的奥秘，提供明确的、有说服力的客观依据。

首先，我们可以看到，在辩证唯物主义宇宙观形成的过程中，尽管在僵化的形而上学自然观上打开了第一个缺口的“不是一个自然科学家，而是一个哲学家”，即康德在 1755 年提出了“原始星云假说”，使“地球和太阳系表现为某种在时间的进程中逐渐生成的东西”，从而为辩证唯物主义宇宙观的形成提供了一定的思想基础。然而它毕竟还只是一个缺乏足够科学依据的哲学学说，因而在当时还不可能发挥其应有的作用，正如恩格斯所说，“但是哲学能够产生什么成果呢？康德的著作没有产生直接的成果”。直到后来由于自然科学的进步，“证明了宇宙物质的化学上的同一性”。特别是由于现代宇宙化学和元素演化学的成就揭示了“原始星云”的氢元素本质和自然界化学元素演化形成的机制，以及天体化学组成的奥秘以后，也就是说在提供了一系列令人信服的科学依据之后，才使“原始星云假说”以至辩证唯物主义宇宙观得以进一步确定起来。

其次，在辩证唯物主义物质观的形成过程中，关于世界统一于物质的原理也是在化学发现了化学元素的存在，即找到了世界万物——300 多万种无机物、100 多万种动物、30 多万种植物和 10 多万种微生物——背后的相对统一物化学元素，并分析了万物的化学元素组成之后，才能从现象到本质、从宏观到微观、从哲学到科学地提出了无可辩驳的科学依据。因为它使人们认识到，自然界形形色色的宏观实物，尽管表面上差异很大，但是内在的化学元素却是同一的，超不出自然界（109 种）化学元素的范围。这不仅有力地

《马克思恩格斯选集》，第 4 卷，第 221—222 页。

恩格斯：《反杜林论》，人民出版社，1971 年版，第 126 页。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年版，第 12 页。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年版，第 12 页。

论证了世界的物质统一性，而且也充实和丰富了辩证唯物主义物质观的内容。此外，关于物质永恒性的原理，也只有在化学发现了“参加化学反应的物质总是保持永恒”的质量守恒定律以后，才找到了更有说服力的科学依据，并有力地打击了唯心主义的物质观，从而也就使人们“对世外造物主的最后记忆也消除了”。

第三，在辩证唯物主义生命观形成的过程中，由于化学在生命科学中所处的理论基础的地位，就更离不开化学所提供的客观依据。例如在 19 世纪初期由神秘的“生命力”论所统治的唯心主义生命观，只有在 1828 年化学家维勒用无机物合成出生命体内的尿素物质以后才有可能被破除。此后，恩格斯也只有在概括了当时有机化学成果以后，才有可能提出生命是“蛋白体的存在方式”的哲学论断，从而在揭示生命现象的本质的征途中跨出了关键一步。然而由于当时的化学水平还不足以真正认识蛋白质的组成和结构，还不能人工合成蛋白质，因此也就还不可能完全揭示出生命的本质，进而牢固地树立辩证唯物主义的生命观。正如恩格斯所说，“当我们还不能制造蛋白质以前，我们谈到蛋白质的运动方式，即谈到生命时，便感到困难了”。显然，恩格斯在这里已经把化学的进步提高到确立辩证唯物主义生命观重要前提的地位。事实上也正是如此。在 20 世纪 50 年代以后，由于化学家成功地揭示了蛋白质和核酸两大生命物质的化学结构，并成功地进行人工合成以后，就从根本上揭示了生命现象的本质，进而牢固地树立起辩证唯物主义的生命观。

总之，可以看出，化学的哲学职能是明显的。如果说以前在辩证唯物主义哲学形成过程中已经不止一次地采用了化学结论作为科学依据，那么便有理由相信，今后化学对于辩证唯物主义哲学的促进作用将更会有所增强。现代化学已经扩展成为由众多分支学科所构成的庞大科学体系，依其积累资料的丰富性和研究的深度广度来说，都远远超过了一百多年前创立辩证唯物主义哲学时期的近代化学，从而会成为哲学的更充实和丰富的发展源泉。现代辩证唯物主义哲学要研究现象的普遍联系和相互制约的体现形式，事物矛盾存在的普遍性规律，现象与本质范畴的发展等重要课题，都不能离开化学的进步，否则就很难得到发展。正如沙赫巴洛诺夫所说，哲学“如果不顾及到全部化学事实，是不能论证，无法证实的。”而且如果“撇开化学，忽视这门科学的资料就是拒绝揭示引起无机界发展的联系，拒绝考虑无机界和有机界间的相互联系，拒绝认识有关有机体生命活动过程，拒绝研究我们这个星球的发展史，等等”。哲学的发展是“从非哲学开始的”，是对化学和其它各门科学所取得成就的分析和概括作为新起点的，依此才能为辩证唯物主义哲学增添新的原理、结论、概念、范畴，使哲学得到进一步发展。

恩格斯：《反杜林论》，人民出版社，1970 年版，第 11 页。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年版，第 277 页。

同上，第 203 页。

沙赫巴洛诺夫：《化学哲学问题纲要》，科学出版社，1960 年版，第 2 页。

第六节 环境治理职能

在现代文明社会，化学家每年都在实验室制造出成千上万种化学产品，诸如橡胶、塑料、纤维、染料、化肥、农药、洗涤剂等，大约以每周制造 7000 种新化学物质的速度在增加着，使地球表面出现了许多前所未有的新物质，并在环境中迁移、转化、降解，从而势必打破在工业化之前地球环境的化学平衡，引起一系列生物化学效应，甚至危及人类的健康和生态平衡的破坏，造成意想不到的恶果。例如 1968 年日本富山市由于镉中毒造成人身死亡 130 人。又如，直到 1970 年时为止，全世界哺乳动物至少有 36 种已经消失，还有 120 种正在濒临消失。可以看出，现代文明社会在给人类创造了巨大物质财富的同时，也带来了环境的污染与破坏。不怪在 60 年代日本有人把他们国家的“国民生产总值的增长”戏称为“国民受污染的总增长”。

一、化学发展与环境治理

应当看到，在造成环境污染的诸因素中，以化学污染所占的比例最高，约达 80—90%。因此，化学究竟是给人类带来了福利，还是损害，曾经成为一场激烈争论的中心。然而，事实上化学成果已经不可逆转地改变了人类的生活方式，整个世界已经不可能再退回到化学技术广泛应用以前的状态，化学还会一往直前地更加迅速地向前发展，影响着人类社会的面貌。此外，也应当看到，“解铃还需系铃人”。由于化学造成的危害以至其它因素造成的危害，还需要依靠化学去解决。因为“它或许比科学的任何其它分支更可能提供解决环境问题的答案”。实际上，化学几乎在担负着治理环境污染的全副重担，即主要依靠化学在原子—分子水平上实现物质分子的转化，变害为利，取得人类和环境的协调发展。这也是新兴的环境化学的主要任务。因此，化学发展与环境治理是存在着相辅相成的关系。环境治理正在为化学发展提供着更加有利的条件。因为“公众要求净化环境的呼声有希望成为化学品和化学工艺打开若干先前在经济上没有吸引力的新的应用，例如净化水质、回收废品和潜在有用的废弃物的再循环利用方面，以及在创造可被生物降解的或更少毒性的，因而在生态上更良性的新材料方面。”

二、化学治理环境的优势

化学之所以能够具有治理环境的职能，主要由于化学能够认识环境物质的化学组成和迁移规律，及其对人类和生态环境的化学污染效应，从而能够使污染物的分子发生化学转化，进行“无害化”的处理。这是其它学科所难以做到的。例如可以把致癌的多环烃等碳氢物转化为无毒的二氧化碳和水，把剧毒的氰化物在高压处理后可以转化为无害的二氧化碳和氮气，以至把有害的加工工艺改造成“无害工艺”，例如“干法造纸”、“酶法脱毛”和“无排放镀铬”等。

此外，化学在治理环境方面具有更高一筹的是，不仅能够使有害物质无害化，而且还能使有害物质有利化，变害为利，以至变废为宝。例如过去的石油只能用来提取煤油，而把汽油和重油当成废物或害物扔掉。但是随后由于“内燃机”的出现和化学的有效加工，而使汽油一跃成为宝贵燃料，并使重油成为制取柴油、润滑油、沥青和石蜡以及裂化汽油的宝贵原料。此外，

G·T·西博格：“化学——我们的进步关键”，《科学译刊》，上海科学技术情报研究所，1978 年版，第一辑，第 78 页。

过去放空或白白烧掉的炼油废气，经过化学处理后可以转化成塑料、纤维、橡胶等各种有用物品。因此，从化学转化的观点来说，一切物质都是有用的，一切“害物”或“废物”都可转化为无害的有用物质，从而能够在改善了环境的同时，也创造了巨大的物质财富。可以看出，化学在治理环境中具有其它学科所难以起到的独一无二的作用。

化学在治理环境方面还能进一步从宏观到微观，精细考察污染物的存在状态、内在结构及其环境效应，揭示污染过程的机理和规律，为环境治理提供理论依据。例如以物质的存在状态与污染的关系为例，液态汞被人吞服少量尚不会致死，而气态汞被人吸入少量则立即致死；无机汞侵入人体后易于排除，不积于体内，有机汞侵入人体后难于排除，积于体内，并可导致“水俣病”致死。又如揭示物质构造与污染效应的关系，以亚硝基衍生物为例，二甲基亚硝胺是强致癌物，而二苯基亚硝胺却是非致癌物，且随着亚硝胺衍生物的两个烷基链的增长而使致癌性逐渐减弱。特别使人感兴趣的是，分子结构对称的亚硝胺易引起肝癌，而不对称的亚硝胺易引起食管癌，表现出不同的物质结构对不同器官具有着不同的亲合性。显然，对于这些微观的污染机理的揭示，以及在此基础上提出的治理措施，也是化学治理环境的独特职能。

第四章 化学认识论

人类的化学知识系统是人类在对自然奥秘进行探索和对生存环境进行斗争的历史进程中逐步发展起来的，并且必将随着人类认识水平和实践能力的不断提高而更加丰富完善。辩证唯物主义认为，认识是人脑对客观实在的能动的反映，是人类对客观世界进行日益逼真地描绘的无限发展的过程。化学科学是人类认识自然的一个重要领域。化学认识的方式和成果对于人类的生存和发展起着重大的作用。因此，关于化学知识的产生和积累，化学理论的形成和发展，化学研究的方式和方法，或者总起来说，关于化学认识的辩证运动和化学认识过程的本质规律等一系列问题的探讨，就是十分必要的，而且也就构成了化学认识论的主要内容。

第一节 化学认识中的主体和客体

认识的主体是长期进化而来并仍在继续进化着的人，是具有思维能力并正在实践着的社会的人；而认识的客体则是不断进入人类认识实践领域并同认识主体发生特定联系的客观物质世界。一般说来，化学研究的主体是受过系统的化学教育和训练，拥有大致相同的化学世界图景，并具备相当化学研究能力的科学家集团；而化学研究的客体则是无限丰富的、多层次的化学物质系统。化学研究就是化学研究主体对化学客体的本质和规律的能动的认识。当我们谈论化学研究的客体时，我们指的是那些业已进入化学研究主体视野的化学物质对象，而当我们谈论化学研究的主体时，我们指的是以各种手段对化学研究对象的特性进行把握的科学家集团。两者是互为规定的。无论是化学研究中的主体还是客体都各自包含着丰富的具体的内容。它们分别构成了化学研究中的主体系统和客体系统。

一、主体系统

化学研究中的主体系统是由化学家集团和化学认识工具系统构成的。前者又有其自身的内部结构：感应结构、思维结构、知识结构、心理结构、组织结构等。后者是由软件系统（包括化学知识中的概念、范畴、语言符号等）和硬件系统（即化学实验仪器设备系统）构成的。把化学认识的工具系统（尤其是化学实验仪器设备系统）也归入化学研究的主体系统是出于这样的考虑：这些认识工具并不是自然界先天具备的，而是人类在长期的认识过程和实践过程中形成的。它们既是人类化学认识的成果和结晶，又是人类进行新的化学认识的基础和手段。它们已经内化为化学研究主体的一部分。当我们使用化学家这个词的时候，必然也包含他对化学概念和化学实验仪器进行操作的含义。前者是理论的构造和推演，后者是直接现实的化学实验操作。离开了这一具体的内涵，化学家就成了一个空洞的名词，而绝不是作为化学研究主体的化学家。化学实验仪器设备本身则是为化学家所使用的、进行测试和改造化学对象的手段，是化学家的感知、效应、思维诸器官的延伸，在人类认识的其它领域（例如物理学）中，它们也许是作为对象的客体，然而一般来说在化学研究中它们本身并不构成特殊的研究对象，而是转化为主体性的认识工具。此外，主体内部诸要素之间也存在着相互作用，包括化学家自身的各种要素之间的作用，化学家与化学实验仪器之间的作用，化学家之间的相互作用（讨论、合作、竞争等），还有化学实验仪器设备之间的相互作用（联机、协调、干扰等）。这是一个积极的多层次的动态系统。

二、客体系统

化学研究的客体系统随着化学研究的不断深入而日益复杂。恩格斯曾经指出，化学是研究原子运动的科学。今天看来，这个定义需要扩大。19世纪以来，化学研究中发现了许多新的物质的不连续形式，化学物质客体的范围空前地扩张了。人类已经认识的和正在探索之中的化学粒子系统构成了化学研究的物质客体系统。大致可以分为三个层次：原子层次，包括原子、原子离子、介子原子等；分子层次，包括分子、分子离子、自由基、活化分子、原子团等；超分子层次，如高分子、分子球形复合物、原纤状复合物、晶体

等。

一切所谓的分类和系统范围的划分都只具有暂时的和相对的意义，随着人类化学研究的不断深入以及相关学科的发展，化学研究的主体系统与客体系统都处于更新和扩展之中。高度发达的现代物理学和计算机科学给化学研究提供了新的认识手段，包括大规模计算机运算处理系统和高精度的化学实验器材。另一方面，化学研究领域同物理学、生物学、地质学等学科的融合大大丰富了化学研究的对象系统，从而为化学研究的未来开辟了更为广阔的领域。

第二节 化学认识中的主客体关系

化学认识中主客体之间的相互作用是以主体借助认识工具对化学客体进行扰动并经过反馈修正此扰动的方式得以实现的，而化学研究的过程也就是主体系统与客体系统相互作用的过程。在这个过程中表现有化学主体和客体之间的种种复杂关系。

一、实践关系

化学研究中主体和客体的关系具有两个重要方面，即实践关系和认识关系。主体和客体的关系首先表现为实践的关系，即化学研究主体在现实中掌握和改造化学客体的活动。从化学史看，早在化学作为一门独立的学科出现以前，人类已经在今天所说的化学领域内从事实践活动了（例如火的获取和控制、制陶术、炼金术等），化学学科本身就是从这种实践活动中历经人类千百年的经验总结和理论概括发展而来的。从化学认识成果的确立看，最有说服力的莫过于它在化学实践中所取得的成就。从化学发展的动力看，是化学家的化学实验和社会对于化工生产实践的理论指导的需求，二者共同推动着人类化学知识的发展。

主客体关系的第二方面是认识关系，体现为化学研究主体在观念中把握和反映化学物质客体的活动。这种反映不是机械的、直观的，而是必须经过化学理论对化学物质客体的建构作用。作为主体工具的化学观念是从化学客体中获得其客观内容的。这种把握必然是思维意识中的把握，因而是能动的反映。观念把握对象需要借助于实践的感性具体的活动提供材料，而观念与对象是否同一也有赖于实践的判定，因而化学研究主体对客体的认识关系最终也是以实践关系为基础的。在某种意义上，可以说实践关系包含了认识关系。当然，化学认识的成果一旦确立又可以转而指导人们的化学实践活动，并发挥巨大的作用。因此，只有在化学实践中才能正确认识化学研究主体与客体之间的关系。

二、制约关系

化学研究中主客体关系的特点表现在主客体相互作用方式的特殊性，是研究主体借助于化学概念范畴等来把握化学对象的特性和规律，并通过严密的化学实验方法来发现和验证新的特性和规律。

人的认识活动总是以认识对象的客观存在为前提的。这一前提客观上限定了人类认识的范围和内容。另一方面，人的感知活动又有很大的选择性与定向性，从感性材料的取舍，到理性认识对客体的加工抽象，无不受到主体自身诸规定性（观点、方法、背景知识）的影响，无不受到其心理生理状态的制约。同样的化学现象——金属的煅烧，在燃素论者和氧化论者的头脑中呈现出迥然相异的心理映象。从实践的观点看，必须承认主体和客体是相互创造、相互制约和相互转化的。马克思说：“生产不仅为主体生产对象，而且也为对象生产主体。”主体和客体是在实践过程中相互创造、共同发展的。化学研究的进展不断地把人类前所未有的物质形态（包括人造物）纳入研究范围之内。对于这些新的客体的深入研究又改变了化学研究主体的知识结构、认识能力和智力发展的水平，从而造就着一代新的化学研究主体。化学客体的日益复杂化迫使人们发明和应用化学研究的工具系统以弥补其自身认

识器官之不足。观测仪、动力机、智能机的纷纷出现，提高和扩大了思维器官的效能，使人类化学实践的水平进入到了更高的层次。化学研究中的主体和客体又是相互制约的，化学研究的客体并不是纯粹的自然物，客体之为客体本身，有赖于主体的选择和认识的水平。主体使用各种仪器设备作用于自然对象，依据客体的本质属性及其规律进一步发展和利用它，使之朝向有利于主体的方向。人类化学研究的目的首先在于为人类的生存和发展提供理论和物质的手段。总之，在认识过程和认识目的两方面，都存在着主体对客体的制约。另一方面，研究主体能动性的发挥又是非常有限的。人的全部活动都是在一定的具体环境下进行的，既受客体本身的本质与规律暴露程度的限制，又受特定时代的物质条件的制约，从而其作用的发挥受到很大的限制。这就是客体对主体的制约。

三、转化关系

化学研究中主体和客体之间相互作用的过程，也就是两者相互转化的过程。研究主体向客体的转化，表现为研究主体所制订的实验方案的实施，设计线路的实现，人工产品的合成等等。这些都是化学研究主体精神力量的现实化，而它们一旦成为现实就进入了同主体相对立的对象世界。同一过程中也包含了化学客体向主体的转化。首先是化学客体的观念化，即化学客体内化成为化学家头脑中的内部结构，成为主体系统的一部分。原子与分子是存在于自然界中的化学粒子，然而经过化学理论的建构作用完成了从客体向主体转化后呈现于人的头脑之中的，已经是观念化的原子和分子了。这种观念化的成果又成为进一步研究化学对象的基础，成为掌握纷繁复杂化学现象的有力手段。同样，我们也可以将化学实验仪器设备理解为化学客体向主体转化凝结为物的形态。此外，在具体的研究过程中，在主客体频繁的相互作用中，主体和客体的界限常常被打破，主体系统中的精神和物质要素都可能作为主体的对象而成为研究客体，因而主客体的界限只具有相对的意义。这显示了两者之间关系中统一的一面。前面讲过，主客体的关系首先表现为实践关系，主体和客体既在化学实践中分化，又在化学实践中统一。

四、主客体关系的演化

化学研究中的主客体关系并不是凝固僵化的。它是生成的并且仍然处于不断变化的发展之中的。人类有目的的社会性实践活动的历史就是主客体不断分化的历史。在这一分化过程中产生了关于化学物质客体的研究和认识。主体一旦意识到化学物质客体的存在，便开始了主体对化学客体的认识过程，同时主体也就成了主体。这是人类克服自身的局限（借助于各种认识手段）使客观物质对象为我所用的过程。这是化学物质世界的图景日渐清晰并为人们所把握的过程，也是一个化学研究主体逐渐独立和日益强烈地意识到自身的过程。无论是化学研究中主体系统和客体系统的构成，还是化学研究中主体和客体之间的相互作用方式，在不同的历史阶段中都呈现出极大的差异。当化学还未从哲学和医学中独立出来的时候，化学研究的对象只是零散的化学物质及其转化特性等，相应的研究主体也就是自然哲学家、炼金术士、药剂师等等。当时对化学对象的理论认识是十分幼稚和模糊不清的。虽然进行了大量的试验，然而由于没有科学的研究方法，给后人留下的只是卷帙浩繁、混乱不堪而又晦涩难懂的“天书”。只有当化学借波义耳之手宣告自己成为一门独立的学科，在斯塔耳提出的那个虽然错误然而颇能自圆其说并系统地解释了当时所知道的化学现象的理论——燃素说为人们普遍接受之后，

化学研究的主体才逐渐地开始由哲学家、药剂师转为专业的化学家，并在他们中很快涌现出像拉瓦锡这样的杰出人物。专业化学家集团的出现和发展形成了化学研究的主体。同时，意识到自身的化学也相应地发展起来一套独特的化学概念系统作为把握化学对象的工具。新的实验室建立了，新的严格的实验操作程序引入了化学研究，从而形成了完整的化学研究主体系统。随着研究的深入，化学客体系统也逐渐建立起来，并日益丰富扩展。从原子、分子到一系列新的物质不连续形式的发现，还有大量人造物（如高分子材料）的合成，形成了化学研究独特的对象系统。当历史的发展使化学同物理学和生物学的研究对象趋于接近时，化学家又同物理学家和生物学家携手，并在各自的学科交叉处发展新的学科——物理化学、生物化学。这一方面丰富了化学研究的主体系统，另一方面又极大地扩展了化学研究对象的范围。得益于主客体之间积极的相互作用，人类的化学知识和化学实践的成果以惊人的速度增长着。这是客观对象世界对化学研究主体无限展开其自身丰富性的过程，是主客体相互作用共同发展的过程。

主体认识能力、实践能力的提高和完善，为自己造就着日益广泛的研究领域。客体系统的充实和扩大反过来又造就着结构更合理、效能更高的主体系统。这是一个在人类不间断的化学实践中无限发展的过程。人类认识能力的不断提高是以其认识手段的不断进化为标志的。大规模化学实验室的建立，现代化观测仪器的装备，大型电子计算机的普遍使用，标志着化学研究中主客体作用方式的飞跃发展，同时也使得化学研究中主客体之间的关系愈益复杂和深化。

第三节 化学认识的程序操作

化学认识的程序操作，从狭义上说，即是指化学实验操作。这是化学认识的根本途径。因为化学考察的对象虽然是化学物质自身的特性及其转化规律，然而自然物纷然杂陈，千变万化，形成了无数具有宏观表现的分子原子聚集态。这种研究对象的高度复杂化使得化学研究的困难程度大大增加，很难获得比较理想的可观察状态，而往往要在对化学物质的组成和结构不甚了解的情况下研究其反应特性，等等。这样，仅凭单纯的自然观察再加上抽象的思想实验是难以把握如此高度复杂的对象系统的。因此，人类要获得关于化学对象的大量真实情况并以此为基础构造化学对象的真实图景，就不能不依赖于精密的化学实验操作。

一、实验操作的产生

化学实验操作是在时代特定的知识背景下以定性、定量相结合的方法，采用大量物理、化学的实验技术，分析、检验、合成各种化学物质，并通过对它们的组成、结构、性质的深入研究达到对于化学研究对象的相对完整而深刻的认识。化学是一门以实验为基础的科学，只有通过化学实验才能获得有关的经验事实，才能在此基础上对大量的经验知识加以总结，并使之系统化，构成一门既有坚实的经验基础，又有相应理论概括的成熟的科学。

亚里士多德曾经指出：“科学始于惊异，”“通常的研究路线是从对我们来说较为容易和明白的东西进到就自然来说较为明白和易知的东西”；所谓对我们来说明白易知的，起初是一些未经分析的整体物。”人类最初对于化学对象的看法正是出于一种整体的构想。亚里士多德把化学现象归结为冷、热、干、湿四种基质的运动，这固然从整体上描绘了化学物质的运动和作用，然而毕竟只能是基于自然观察的并非正确的猜测，还不可能有可靠的实验支持。古希腊科学家对于实验操作的轻视使当时的理论化学和实用化学之间失去了密切联系。在化学认识的过程中，建立化学的实验传统在很大程度上也许要归功于炼金术士。他们为了要实现“点石成金”的梦想，坚持不懈地进行了大量的化学实践并做了详细的观察记录，发现了许多化学物质的特性，给后人留下了虽然错误百出然而毕竟是实践的丰富材料，特别是留下了化学家在实验室里探索化学世界的奥秘的传统。严格意义上的近代化学实验操作则是在化学确立为科学之后才出现的，尤其是天平（当时的精密测量仪器）的广泛使用，以及一系列实验方法和实验室规则的建立，使化学迅速跨入定量科学的行列。波义耳、凯文迪什、普利斯特列、拉瓦锡等人对此做出了重大的贡献。

二、实验操作的意义

化学实验操作的确立对于化学科学的发展起了重大的作用。首先，化学实验提供了一个描绘化学研究对象的客观尺度，从而在根本上排除了对于化学物质对象的纯粹思辨的研究方式；在另一方面也就现实地规定了化学研究对象，使化学得以建立在科学事实的基础之上；其次，化学实验不仅提供了大量准确的实证材料而且也为理论化学的研究提供了可靠的起点。化学理论

亚里士多德：《形而上学》，商务印书馆，1959年版，第5页。

亚里士多德：《物理学》，商务印书馆，1982年版，第15页。

同。

的任务就是在于以科学的态度用有关化学对象本身的知识解释化学实验的结果，并根据化学实验的结论评价和修正自己；第三，化学实验方法的确立造就了近代化学的研究主体，随着化学实验室的建立和实验方法的普遍应用，化学家的职能开始专门化，从而形成了一个专业化学家的集团；第四，化学实验使化学得以实现从炼金术、医药化学等应用化学转化为以化学运动自身为研究目的的独立的科学，化学实验室中产生出来的源源不断的成果促进了理论化学研究的发展，同时也推动着化工生产实践的发展。

实验，一方面同纯粹思辨相对立，另一方面又同自然观察相区别。后者主要是指不扰动客观对象而进行的纯粹观察，也同样是近代科学中的一种基本方法。由于化学研究对象的复杂性，自然观察只能获得化学物质的外观以及自然状态下发生的化学变化知识，不能提供多方面的较为深入的材料，其局限是很明显的。而实验的方法则可以通过人为的控制手段排除那些自然状态下化学现象对于化学本质的掩盖，或排除那些由于混杂大量偶然因素而造成的对于化学事实的掩蔽和干扰，从而能够使研究对象的本质更直接地暴露出来。实验方法还可以反复模拟那些自然界中不常出现的情况，例如超高压或超低温等情况，使人们有可能在便于观察的条件下进行操作，并通过多次的重复来尽量排除主观因素的干扰。我们看到，正是依靠化学的实验方法，化学家才可能获得那些便于分类、采集、分析的翔实的实证材料。化学就是对于这些实证材料的合理解释，并运用这种解释为化工生产实践服务。

三、实验操作的要素

化学实验的类型各个不同，然而归结起来却都包含三个要素：操作者、实验对象和实验手段。实验操作者是进行化学实验研究的主体，承担着组织、设计和实施整个化学实验的任务。实验对象是化学实验过程中所考察的化学客体，可以是自然物，也可以是人工制成品。化学实验通过对无限多物质形态的某一部分或某一方面的考察而获取基本的化学认识材料。实验手段是指使实验得以实现所需要的物质条件（化学实验室、仪器设备等）。化学实验手段表现出双重功能：一方面，由于实验者的设计思想、主观意图不能直接作用于研究对象，而只有通过实验手段才能物化为现实过程；另一方面，由于实验操作的复杂性，实验的结果也不是以直观的形式呈现于操作者的，而必须经过观测仪器这一中介。例如，对于所得化学产品的结构分析就必须借助于结构测定仪器才能得到确定的结果。一个完整的实验过程包含许多环节，实验者发挥其作用的一个重要方面就在于如何把它们合理地联结起来，沿着最佳途径来实现既定目标。操作者是整个化学实验操作的中心。他的心理素质、精神状态、智能水平、知识背景等都极大地影响着化学实验操作的成效。一个优秀的化学实验家应当善于发现化学现象之间的本质联系，设计出合理的实验程序，为科学发现创造良好的条件。此外，还要对化学实验过程中的异常现象（机遇）具有高度的敏感性，并善于从中发掘出重大的突破点。同一实验由不同的操作者进行操作，其成果往往有高低之分。这里就体现出了化学实验主体对实验过程的巨大影响。

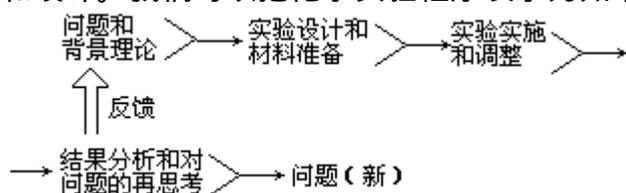
四、实验操作的程序

化学实验过程是人们在一定的实验思想指导下，借助于仪器设备，通过对各种物理量的测定（反应过程的监控和反应结果的测试）来揭示化学物质的某一或某些方面特性的过程。化学实验的程序由三个步骤构成：（1）准备实验，（2）实施阶段，（3）处理结果。

准备阶段的任务首先是明确实验目的。科学研究始于问题，化学实验一般是针对某一特定问题而设计的。同时，还要选择（也许是不自觉地）一定的背景理论作为设计指导。接下来是依据既定的目的和背景理论进行实验设计，包括实验内容的安排，条件的选择，仪器精度要求，材料的配备等，同时还要规定实验结果的处理方式（包括表述形式）。对于实验计划的制订应是在实验前首先在思想中完成整个实验操作的图景，以保证实际操作的切实可行，实现预期目的。化学实验的设计，则要求设计者具备进行缜密的逻辑思维的能力，从多个方案中选取最佳者。此外，预见能力也是十分重要的。不充分的准备很可能导致不成功的实验。实验者往往不能够从这样的实验中获取最大量、最有价值的信息。当然，实验之前是无法完全预见实验进程的。因而实验设计也不是绝对的，往往需要在实验进行过程中做一些修改。这种修改是有限度的。否则就改变了这一实验的性质。而实验设计在实施中的一贯性（即使是一个不甚合理的设计）在科学上也是有其固有价值。

实施阶段是化学实验操作者操作特定的仪器设备以作用于化学研究对象（同时也有不断的反馈）的过程。这是化学实验过程中的现实活动，是化学实验思想的现实化。

处理结果阶段是对观察记录的分析和数字结果的整理，还要讨论整个实验进程和成效，进行总结评估。首先，关于实验数据的可靠性，要应用误差理论进行评析，在可能的限度内把误差减到最低程度。接着是对实验的总结评估：实验是否给出预期的结果，实验结果对于回答实验者所提出问题的圆满程度等。应当看到，实验主体对实验结果的认识程度影响着下一个实验的选择和设计。我们可以把化学实验程序表示为如下的模式：



实验操作者对于实验结果的分析 and 思考，可能导向新的问题和新的实验设计；还可能对原来的设计产生怀疑并进行彻底的修正。这里有两种情况，一种是依据原来理论的再设计；一种是更换指导理论的再设计。具体的过程当然要更为复杂。化学实验过程是一个开放的动态的循环过程，从旧的问题到新的问题，从粗糙的设计到合理的设计，一步一步地深入探究化学世界。

五、实验操作的类型及特点

化学实验从内容上可分为基础研究和应用研究（包括开发研究）。前者解决化学基础理论研究中提出的问题；后者是直接为化工生产实践服务的。从方法上可分为定性实验和定量实验，在很多情况下往往是定性定量相结合。从实验材料的消耗量上看，可分为常量、微量、半微量、痕量实验等。当前，在科学技术革命浪潮的推动下，现代化学实验研究出现了许多新的特点。第一是理论性大为增强。同传统化学蔑视理论思维的倾向相反，现代实验化学家无不自觉地以化学理论为指导来设计和实施化学实验。这种现象的出现，一方面是化学研究对象的日益复杂使人们对化学理论指导的要求大大加强了；另一方面也是现代数学和物理学成功地向化学进行渗透的结果。第二个特点是现代化学实验的高度仪器化。由于现代物理学和计算机科学的高度发达，提供了大量精密可靠的自动迅速的测量手段，并很快在化学实验研

究中得到了广泛的应用。例如激光技术在分析化学中的应用大大提高了化学分析的精度。今天，化学家们比以往任何时候都更加依赖于那些庞大复杂的仪器设备。第三个特点是化学实验内容的急剧扩充。当代化学研究的领域同物理学、生物学领域的重叠日益明显，因而在许多情况下的化学实验都同时意味着是多学科的协作。这不仅丰富了化学研究的对象，也给化学实验研究带来了许多新的方法和新的思路。第四个特点是基础研究和应用研究的紧密结合，基础研究的成果向具体应用转化的周期越来越短。现代化学正朝向更加社会化的方向努力发展。

六、实验操作的局限

化学研究依赖化学实践以取得自己的实证材料，化学学科的科学性建立在化学实验科学性的基础上。实验的兴起和应用保证了化学研究建立在客观的基础之上。然而实验方法也同样具有局限性。实验方法与单纯的自然观察的区别就在于后者是在对自然现象不加控制的情况下进行考察，而前者则需要程度不同地给对象以扰动，在人为的有利条件下进行观察。科学研究是主体从客体的活动中获取经验材料的过程，必须尊重客体的客观性。实验方法虽然具有简化和纯化实验对象以更好发挥主体作用的优点，但毕竟是以影响客体的自然状态为代价的。实验，对化学家来说，是排除干扰以求得明晰结论的活动，而本身却又恰恰是意味着对实验对象的干扰。化学客体作为实验对象的存在也就意味着要改变它的活动状态，因而被研究的对象从来就不是以自然的（纯粹客观的）状态呈现于主体的。对象呈现于主体的方式取决于主体对于它的作用方式。这个问题又可以从两个方面进行考虑：首先，由于理论对观察的渗透，因而绝对客观的实验报告是不存在的。背景理论在实验开始之前就已经发挥着作用了；其次，化学实验中仪器测量的可靠性建立在物理理论的基础之上，量子力学的测不准原理已经对旧的测量客观性信念构成了冲击，提出了主客体不可分的问题。主体因素对于实验的强烈影响，改变了人们对化学实验客观性的认识，然而这并不意味着我们只能采取彻底经验主义的立场，进而否认客观对象的存在或走向不可知论。无论怎样理解主观性，化学实验毕竟是以客观化学物的存在为前提的。就化学实验本身来说，本来无所谓是非，问题在于人们怎样理解和分析，从而建立正确的化学世界图景。因此，人的主体性在化学研究中的作用不应当仅仅被看成是认识的局限。相反，也是人的认识能动性的一个重要表现，是人类能够不断突破陈见的束缚，不断取得进步的自然基础。

七、精神操作

广义的化学程序操作，除实验操作之外，还包括非仪器的操作，也可以称之为精神操作。后者主要指科学研究过程中的思维活动，包括“纸笔的操作”（数学演算和逻辑演算）和语言操作。精神操作也有它必须遵循的一整套规则、程序和方法。它们是人类思维活动规律的总结。精神操作的范围不是无限的，而必须最终有可能同仪器操作构成联系。一切科学理论都必须落在实验操作的基础之上。物理概念、化学概念，都不能只为我们的直观或想象所把握，而是以实验室中进行的各种特定的操作及其效果来定义的。化学语言应当是简洁、明白、无歧义的，而这只有通过化学经验事实进行联系和对照才有可能做到。

任何科学都不能停留在对其研究对象的单纯的经验描述阶段，化学也不例外。化学精神操作的涵义就是创造化学概念范畴系统，并通过它们的展开

建立化学理论体系，使化学家们有可能在思想中考察和掌握化学对象。近代实验科学由伽利略开创了传统，促进了数学方法与实验观察相结合，即动手与动脑的结合。化学精神操作（理论思维）对化学学科的形成与发展起了重大作用。化学成为一门独立的学科，是以元素的科学定义为其肇始的。正是借助于元素、燃素等一系列范畴，化学家才能在茫茫的化学物质的丛林之中把握自己的研究对象。化学史上每一次重大的突破无不与化学精神操作的巨大成就相关。门捷列夫、范特霍夫、阿累尼乌斯、凯库勒等杰出的化学家的名字是同他们所首创和阐释的化学概念范畴紧密地联系在一起的。由于化学是一门经验性很强的学科，因而能够提出一个有创见的理性的概念，其意义就更加难以估量。当代化学还只能说是处于从经验科学向理论科学的过渡之中，现有的化学理论还不足以对化学物质世界的作用规律给出一个统一、精确和完善的解释。这也就成了未来理论化学发展的一个带有方向性的任务。当然，精神操作也不可能代替实验操作。它依赖于后者所提供的经验材料，依赖于后者对其结论的最终检验。精神操作和实验操作都是化学家掌握化学研究对象的有力工具，两者统一于人类对化学物质对象的日益深刻的化学认识过程。

第四节 化学认识的检验

化学认识的目的在于追求有关物质结构、性质及其转化的真理性认识，并早已成为化学家的共同信念。化学活动的过程就是人们运用各种认识手段研究现实世界中化学物质及其变化规律并使之为我所用的过程。这些对象和规律都是外在于我们的意识而存在的，因而是客观的。无论化学家本人的科学活动具有多么强烈的个性色彩，在他们作出的结论中都要求把这种个人的主观色彩减少到最低程度。就化学研究而论，同一个化学实验的结果不仅能够在实验室中实现，而且能够在所有实验室中都实现时才会获得承认。因此，这里就有一个检验标准的问题。

一、检验的标准

化学理论的内容是客观的，检验化学理论真理性的标准也应当是客观的。在人类漫长的科学实践过程中曾经出现过数目巨大的理论假说。历史事实表明，错误的理论无论看起来多么有说服力，在科学实践中终归要暴露其谬误而遭淘汰；正确的理论无论遇到多少困难，必将证明其自身的价值而获得承认。因此，只有人类的化学实践活动才是检验化学理论的最终标准。如果我们不是诉诸客观的实践的标准，则必定诉诸形形色色的主观标准。有些著名的化学家企图以个人的权威作为判定某一理论的根据，这种情况在历史上也并不少见。1884年瑞典化学家阿累尼乌斯提出了电离学说，由于同传统的观念相悖，遭到了以门捷列夫为首的一大批著名化学家的猛烈攻击。阿累尼乌斯并没有被权威们吓倒，经过艰苦细致的研究，终于在导电度、渗透压和酸的催化等方面找到了确凿无疑的证据，成功地捍卫了新的理论。一个理论在其诞生之初总是十分幼稚和不完备的，由此遭到批评也是不足为奇的。这种批评可以帮助发现新理论自身的缺陷从而推动它的发展。但是，任何外在于科学本身的力量都无权决定新理论的命运。只有人类在化学领域中的实践活动才能作为最终判定化学理论的依据。

二、检验的复杂性

化学经过长期的发展，到今天已形成了一整套自己的理论体系。有一种观点认为今日化学正处于从经验科学向理论科学的过渡，其根据就是现代化学的理论色彩日益浓厚。新的化学理论不断提出，化学理论的评价问题日益受到重视。这对于促进化学理论自身的形成与确立，对于把化学研究成果由个人的认识转化为化学研究共同体的共识，进而纳入人类科学知识体系是具有重要意义的。化学具有很强的应用性，新的理论的确立将极大地改变人类化学实践的面貌。然而对于化学理论的评价又是十分复杂的。虽然可以把某个待检验的化学理论以当时的背景知识，有关的初始条件和边界条件能够引伸出一系列的预言，借助于化学实验操作可以对这些预言进行检测，判定它们的真伪。然而这些判定却很难构成为对于该化学理论的最终的决定性判决。因为，化学实验也只是运用有限手段来变革无限自然界化学运动的一种操作，对于化学真理的检验是不可能一次完成的。此外，对于同一化学现象所作出的解释也往往并不是唯一的。同样的经验事实可以用不同的理论进行解释。比如燃烧现象以及燃烧过程中的物象变化，既可以从燃素说的观点进行说明，也可以从氧化说的立场予以解释。因而这种方法不足以证实一个理论。此外，如果实验操作的检验出现负结果，即理论的预言是不正确的，也就很难据此断定这一理论是错误的。我们可以考察一下这一推理的模式，以

C 代表新的理论，L 代表背景知识和先行条件，E 代表结论，则有

L 且 C，则 E

非 E

非 L 或非 C

可见，推理的结果只是告诉我们可能是理论的错误，也可能是背景知识的错误，因而不能简单地说理论被证伪了。进一步说，理论假说也是有层次的，包括核心假说和辅助假说，辅助假说的证伪并不意味着核心假说也是错误的。比如炼金术一直被视为荒诞不经之谈，实际上荒诞的只是炼金术思想的辅助假说，即企图用当时的常规的实验手段实现化学元素的转化，其核心假说即元素转化的思想却由现代化学元素嬗变理论进行了肯定。

三、化学认识的确证

不同的理论，其具体情况千差万别，把实践标准简单化是不能令人满意地解决化学理论的判定问题的。然而化学实验结果对理论假说的支持毕竟是极有意义的。它虽然很难最终判定理论的真理性和否，却可以在很大程度上影响人们对化学理论的选择和取舍。一个理论所做出的预言被实践确认为正确者的数量越多，则这一理论被证实的程度越高。

这里，理论与客观实际相符合的程度称为逼真度；理论在科学实践中得到经验事实支持的程度称为理论的确证度。在一定的历史条件下，对于相互竞争的两个理论，人们当然选择确证度比较高的理论。例如，18 世纪后期法国化学家普鲁斯特和贝特雷关于化合物组成问题的争论，因为当时还没有发现存在着组成不确定的贝特雷体，而使普鲁斯特的定组成定律确证度较高，获得了广泛的支持；然而后来化学发展到了一定的阶段，人们发现了一些组成不确定的化合物，证明贝特雷的观点也是有道理的。可以看出，确证度和逼真度是两个不同的概念。贝特雷的观点在当时确证度很低，并不意味着它必定是错误的。

事实上我们永远也难以确切地获知理论的逼真度究竟是多少。虽然在某个理论假说的指导下我们可能取得令人震惊的成就，但也很难说因此就足以判定我们的认识是绝对正确的。实用主义者才会得出那种简单的结论。19 世纪德国著名的化学家李比希有一次到英国参观化工厂，在制造柏林蓝的车间里看到架在火上的大锅里正在熬制染料，工人在不断地用力搅拌，发出很大的声响。他们解释说，搅拌的响声越大，制出的柏林蓝质量就越好。表面上看起来，这是一个得到经验事实支持的命题，似乎应当被承认为正确的认识。然而李比希指出，大力搅拌并不是必需的，只要加一点铁的化合物就可以了。因为大声搅拌的目的无非是想蹭下更多的铁屑。这不仅浪费人力而且不能保证质量。因果性的联系并不是表面的，而是潜藏在事物表象的背后。

当然，理论的确证度毕竟为我们提供了一种相对说来比较可靠的手段，并与支持相应理论的经验证据直接相联系。从归纳的观点看，虽然我们不可能清楚把握理论的逼真度，但理论确证度的不断提高却给我们提供了科学进步的信念。同时，理论确证度的引入也给统计概率这一数学工具提供了一显身手的机会。理论确证度作为理论评价的标准面临两个困难：其一，它暗含的前提必然是把所有的确证事例同等看待。这是不符合实际情况的。门捷列夫元素周期理论提出之后发现了许多元素，其中镓、锗、钪三个元素的发现对这一理论所提供的支持，要远远高出其它元素。这是化学史的事实；其二，由于理论的内容所表述的是普遍性的命题，而人类实践可能提供的确证

事例总是有限的，因而概率必然趋向于零。

后一困难，我们可以借助于辅助假设以及在数学上引入一些规定来设法解决，已经有人在这方面做了不少工作。前一问题则表明我们对于理论检验的理解过于狭隘。不同的经验事实（不同时空背景下的自然事物的运动变化）对于外在于我们而独立的自然规律的印证是没有什么区别的。然而科学活动毕竟是由科学研究主体来完成的，不同的确证事例和不同的背景知识都极大地影响着人们对理论的确认程度。因而必须考虑人的因素。理论评价终究是人所做出并且仅仅是相对于人而言的。我们不能只考虑事例的单纯累加而不考虑事例的质的多样性，不考虑理论检验的严峻性要求。当然，正面事例相关的原则和事例的多样性原则或检验的严峻性要求之间并不是绝对对立的。在理论的确证中，我们可以既要求证据包含充分多的事例，又要求事例包含充分多的种类；既要相当的数量又要较高的质量，把检验中质和量的方面的要求统一起来。

在化学理论的检验过程中，首先，要采用严格定量的方法，提高化学实验的精确度和精密度。化学理论的检验只有立足于可靠的实验才可能获得高度的确证。在普鲁斯特和贝特雷的前述论争中，贝特雷的实验是粗糙的，不精确的，而普鲁斯特的实验则是严格而精确的，从而就增加了他的理论的置信度；其次，在化学理论的检验中必须遵循多样性的原则。人们很早就注意到，证据对于理论的支持程度不仅取决于证据的数量，而且还取决于证据的种类。例如燃烧后物质重量变轻这一命题，如果限于在有机物中寻找根据，当然可以提供不断增加的确证事例，但只要越出了这个范围比如用金属的煅烧来检验，就很容易把它推翻。遵从事例的多样性原则，就要力求避免重复旧证据而努力增加新证据。为此，必须不断地改变实验条件，在新的实验过程中进行检验；第三，化学理论还必须经受严峻性检验。所谓严峻性检验，就是说如果单以背景知识为前提，某检验结果出现的可能性很小，但如果以背景知识和被检验理论一起作为前提，则该检验结果出现的可能性较大。这样，我们便说，相对于背景知识的这一检验是对该理论的一个严峻的检验。例如，关于无机物与有机物统一的思想。在化学发展早期，由于有机物都是从生命物质中提取或分离出来的，因此使人们形成了一个错误的观念，认为有机物是不能通过无机物合成得到的。1828年维勒由氰酸和氨合成尿素的成功则打破了这一界限。然而自然哲学家们辩解说，氰酸和氨仍是从有机体中提取的，因而他的发现在这一方面未能产生戏剧性的轰动。这是由于实验的严峻性不足而影响说服力一个例子。直到1844年以后由于柯尔柏等人完全从无机物出发合成出醋酸等有机物取得成功，才真正完成了这一检验。可见，一个理论的预言，按当时的背景知识实现的可能性越小，则预言检验的严峻性程度越高，从而对理论的支持也就越有力。

四、化学检验的发展

考察化学理论的形态可以发现两个特点：第一，是对物理理论的依赖。从科学史看，每一次物理学理论的重大突破都极大地影响了化学理论的面貌，并且在现代化学中这种影响日益增强。第二，从理论的内容看，化学理论不像物理理论那样构成为严密的逻辑体系，而是充满了大量经验或半经验性的由实验得来的规则、公式、定律等。这就决定了化学理论检验的特点，

即直接同实验结果的对照成了化学理论检验中最核心的、最重要的步骤，也是使化学家对化学理论产生信心的决定性的证明。

理论检验的进程就是主观认识（理论观点）见之于客观实际的过程。它是由两个步骤组成的，首先是从待检验的命题与其它获得确证的科学定律和事实陈述一起演绎出可以直接检验的推断，然后对这些推断进行检验。这就是通常所说的假说演绎法。这种模式可以把逻辑演绎与实践检验较好地统一起来。具体的检验方式又有直接检验和间接检验之分。一般说来，间接检验的陈述较之直接检验要更普遍一些。后者多是一些具体的事实陈述，前者往往具有普遍性和较为广阔的时空内涵。然而人们往往简单地认定间接检验是不可靠的，似乎直接检验才是真实可靠的。事实上，理论陈述的判定总是十分复杂的，即使是直接检验也要以背景知识为前提，并不存在纯粹的简单对照。此外，还应当考虑到理论本身对观察的渗透，其结果就是使绝对客观的观察成为不可能。因为观察本身在某种意义上说就是由理论加以规定的。当然，理论检验中主观性因素的引入并不能成为否认化学真理客观性的借口。不同的化学理论，虽然不可能拥有相同的观察陈述，但毕竟拥有共同的研究对象——化学物质系统。在实践活动中，通过对研究对象本质特性各个方面的深入研究和不同理论的竞争必然会显示出其内部结构同客观世界相符的程度。人们往往认为，科学理论发展的过程总是客观成分不断增加而主观成分不断减少的过程，并且不自觉地吧理论中主观成分的减少作为理论进步的一个标志。这种观点显然忽视了科学理论自身的建构作用。化学理论的研究对象并不是自在之物，而是由化学认识主体的思维活动所建构的理论客体。理论体系的内容越深刻，则这种建构就越有力。因而，理论发展的必然结果，是随着对客观对象反映的日益真切，主观构造的成分也不断增加。两者是互为条件的。其具体表现就是随着化学理论的进步，化学概念、化学模型、化学模式的大量涌现，从而意味着化学研究中主体性的不断增强。这种情况也表现在化学理论的评价过程中。就某一新的化学理论的验证而言，人们并不是在一开始就去逐个验证它的预言（通过实验）。因为在长期的化学实践过程中形成了一些理论评价的一般标准。这些标准的采用可以大大缩短理论评价所需要的时间，避免浪费。比如对新理论系统的整体的考察，在其内容的诸多要素（概念、定理、中间假说或辅助假说等）之间进行对照，以判定是否前后一致，逻辑自洽。又如新理论应当同既有的其它科学知识相对照，以判定某一理论与其它理论的相容性。虽然这样的标准只是相对的，但却是不可缺少的。科学对理论统一性的追求是基于自然界的统一性的。因而这种作法是有它的现实依据的。当然，即使在这里也仍要十分牢记：最终的检验还是要依赖化学实践来完成的。

化学理论产生于人类长期的化学实践活动。化学理论的真理性只有返回到化学实践中去才能得到确证。这是一个无限循环的过程。人类在任何特定时代提出的化学理论都是这一漫漫长河中的朵朵浪花。这个循环是发展着的。它决定了人类任何一个阶段的认识成果都既具有绝对性而又具有相对性的意义。对于化学理论真理性的辩证认识必须立足于历史的观点。化学理论总是对于现实化学对象的近似反映。理论的确证度也是对理论逼真度的人为模拟，两者都是历史地演变着的。随着新的化学对象不断进入人类化学研究的领域，随着人类认识能力的不断提高，化学理论自身也处在不断的修正和发展之中，在对更高的确证度、逼真度的追求中完善自己。

第五章 化学方法论

化学方法是指从事化学研究的基本手段和思维工具。它既有自然科学研究一般方法的共性，又具有化学研究特殊方法的个性。化学方法有多种，主要有化学选题、化学符号语言规范、化学实验、化学假说、化学模型、化学数学和化学逻辑等。在诸多化学方法中，化学实验方法（主要是化学分析和化学合成）、化学模型方法（实质是分子模型）和化学的分析综合法更具化学研究方法的个性特点。可以说，它们是化学研究的基本方法。

化学方法的形成和发展是同化学科学发展的历史紧密相连的。化学的各个历史发展阶段均需要倡导和建立一定的研究方法与它相适应，而某种化学方法一旦形成反过来又极大地促进化学的觉醒和推动化学科学的进步。

《科学、技术与辩证法》，1984年，第1期，第42—52页。

《化学通报》，1984年，第6期，第57—62页。

第一节 化学方法的职能

化学方法之所以能够发挥重要作用，是因为它能承担起化学发现和建立、检验、运用、发展化学理论以及培育化学人才和完善化学家思维方式等重要职能。具体说来，化学方法的职能主要有以下三个方面的表现：

一、推动化学发展的手段

化学实践表明，化学工作者只有掌握了科学的化学方法，才能不断深化对化学运动本质的认识，发现化学运动的规律，提出新的概念和理论，有效地推进化学的发展。其主要作用是：

1. 化学发现的手段

任何一个重大化学发现都是依靠一定的化学方法实现的。这无论是在近代化学的建立时期，还是在现代化学的发展时期都是不乏其例的。以分子轨道对称守恒原理的两个发现者为例，其中有机化学家伍德瓦德（R·B·Woodward）有着精湛的合成实验技巧。他通过合成维生素 B₁₂ 的一系列实验并结合以往他所进行的其它类型的环合反应，以此为基础进行了分析综合，认识到光和热在反应中的不同作用，得出了光和热可引起两种不同的几何移动（顺旋移动和对旋移动）的概念，并提出了理论假设：该类立体定向反应必然受到一个前人尚未考虑过的更重要的因素控制。这个重要因素即分子轨道对称守恒的基本法则。另一个发现者是量子化学家霍夫曼（R·Hofmann）他则擅长用量子力学方法处理化学问题。他通过量子化学的理论计算和推广，把上述理论假设演绎推理为更普遍更系统的规律。也就是说，他揭示了分子轨道对称守恒原理的量子化学基础。可见，伍德瓦德和霍夫曼正是通过在化学方法上的分工合作（前者以合成实验方法为主，后者以量子化学理论方法为主）终于发现了分子轨道对称守恒原理。

化学方法之所以具有化学发现手段的职能，是在于它本身体现了从简单到复杂、从低级到高级的认识活动程序，或从问题出发，明确对象，进行实验观察，提出化学假说和检验化学理论等通常的化学认识过程，从而可以指明研究的途径和方向。化学工作者自觉地掌握了它，就能做到有所发现、有所发明。

2. 化学知识增长的杠杆

化学家在化学研究中需要借助化学方法为中介使主观和客观发生联系并达到统一，从而化未知为已知，揭示化学运动本质，以不断积累化学知识，直至建立起化学理论。在此以后，化学家又可以把新建立的化学理论转化为新的方法，并以此作为新的工具进行新的探索，进一步积累化学知识。例如，19世纪中叶，主要依靠实验分析、实验合成和假说方法建立起来的经典价键理论，到了20世纪初暴露出了它的历史局限性。然而，它所确立的“化学结构”概念和关于分子结构与物质性能之间存在相互依赖关系的基本理论，却转化成为研究现代分子结构的方法。它对于现代化学键理论的建立和化学合成实践的发展，都起到了方法论的指导作用。

不仅如此，人们在获取化学知识的同时，还往往伴随产生出新的方法，成为进一步获取化学知识的新工具。例如，20世纪以来化学工作者利用移植

《自然辩证法研究》，1987年，第3期，第24—30页。

《化学通报》，1980年，第9期，第14—16页。

方法把一系列的物理实验新方法和新技术手段用于开拓化学新领域、增长化学新知识。这在分子结构和晶体结构方面更为显著。现代化学结构知识的获得主要借助于各种衍射、光谱、能谱、波谱、质谱、色谱、激光技术、分子束技术和电子计算机等所组成的综合探测系统。它们提供了大量重要信息：包括分子中原子排列的空间形式，元素的组成和电子结构及诸种动态信息。正是在用这种移植方法获取大量化学信息（或知识）的过程中，形成了一套崭新的现代分子结构的实验方法。它们是现代化学实验技术的极其重要的一部分。人们正是凭借它们从各种不同角度上获得所需信息（或知识），然后运用思维工具（即所谓化学逻辑）进行分析、综合、推理、判断得出关于结构及性能的合乎逻辑的结论。

可见，化学知识的增长需要两类化学方法的结合，一类是化学实验技术手段（有时统称为实验方法）；另一类是化学逻辑思维工具（有时统称为理论方法）。如果说，思维工具是化学方法中的“软件”，那么技术手段可以说是化学方法中的“硬件”。实际上，只有它们两者的互补，才能完成一个完整的化学认识活动，并起着开拓化学知识新领域的杠杆作用。这一点在现代化学的前沿表现得更为明显，无论在基础化学的前沿，还是在应用化学的前沿均是如此。

3. 化学概念和理论建立的工具

一个重要化学理论的建立，“一种重要概念之形成皆经过大量实验及曲折推理；不澄其源，即成神秘，不特有碍理解，且可培植盲从。”我国著名化学家傅鹰言简意赅地点明了化学方法在建立化学概念与理论上的职能。

人们知道，由若干化学概念经判断、推理而构成的化学理论，其建立的主要标志在于它具有能够反映客观化学运动规律的真理性和能够构成知识体系的严密逻辑性；以及能够进行定量表达的精确性等。而这些标志所反映的条件，实际上只有依靠化学方法作为研究工具才可能实现。具体说来，化学理论是否具有真理性需要依靠化学实验方法加以检验和证实。例如，作为现代化学键理论的两大分支（价键理论和分子轨道理论）几乎均在 30 年代建立，它们所具有的相对真理性分别已由实验方法予以证明。但比较起来，分子轨道理论比价键理论含有更多的真理性成分。尤其是从 50 年代以来，由于分子轨道理论获得日益广泛的承认，而比价键理论发挥了更大的作用。究其原因，重要的是分子轨道理论能够同化学实验进一步密切结合；运用分子轨道法处理分子结构的结果能够跟分子光谱实验数据相当吻合。特别是近年来依靠光电子能谱等获得的丰富的实验成果，就更进一步地证明了分子轨道理论基本观点及其结论的合理性和正确性，从而具有着较高的确证度和逼真度。

化学理论的严密逻辑性则需要运用归纳与演绎、分析与综合以及类比等推理方法去建立，以便把零星或无系统的知识依照内在本质联系和因果关系纳入到一个严密的知识体系之中。例如，物质结构（结构化学）理论体系的建立，主要采取两条途径：其一是以演绎的方法为主，即从普遍的量子力学原理出发，通过求解波动方程来探讨具体的原子和分子体系；其二是以归纳

王祖陶：《现代分子结构研究方法》，科学出版社，1987年版，第4—5页。

邓从豪：《现代化学的前沿和问题》，山东大学出版社，1987年版。

傅鹰：《化学热力学导论》，科学出版社，1963年版，序。

的方法为主，是以人们的经验和实验为基础，对部分事物的特性进行唯象地分析和总结，进而概括出一般性的结构来。—实践证明，这两种方法对于建立与发展物质结构理论都是有效的。若把两者有机地统一，则效果更佳，更有助于实现和加强化学理论体系的严密逻辑性。不仅如此，而且从中还会陶冶出现代结构化学家的一套富有特色的治学方法。著名结构化学家鲍林（L. Pauling）就是杰出的代表。他既善于从繁杂的实验事实中，通过抽象思维把现象与本质联系起来，又善于从量子力学的方程中引出直观模型，使概念形象化；他不仅长于归纳，而且深明演绎。

至于化学理论的精确性，更需要以日益精确的化学定量分析方法，移植形成的数学—化学法和物理—化学法等方法去实现。例如，溶液理论直到本世纪上半叶，还没有出现一个半定量的理论。它的发展大大落后于气体理论和固体理论。而到了50年代以后，溶液理论则有了较大的发展，其重要原因之一就是由于以统计力学为运算工具，运用统计力学的方法处理了溶液体系，对溶液理论进行了定量表达，从而大大地提高了溶液理论的精确性。这就推动了溶液的热力学理论发展为溶液的统计力学理论，并开始进入了微观层次（如溶液的“模型理论”和“分布函数理论”）的更深层领域的研究。

二、促进化学教育改革的途径

目前国内化学专业学生较普遍存在的一个弊病是知识面较为狭窄，思路不够活跃，缺乏科学方法训练，研究能力不强。不少学生满足于考试所得的表面成绩。实际上，普通的考试并不足以说明学生实际研究能力的强弱。因为考试往往有利于单纯积累知识的学生，而不利于具有创造性思维能力的人才。如果我们化学专业的学生，只是积累教师或书本所传授的知识以求取得考试高分为满足；如果我们的化学教师只注重化学知识的讲授和实验技能的辅导，而忽略了在化学研究方法上给学生以严格的系统的训练，那么，长此下去就会延误化学人才的培养。

应该看到，现代化学教育的任务已经不是单纯地传授化学知识，而是更应注重发展学生的化学智力，即培养学生对化学运动的观察力、想象力、逻辑思维能力和创造能力，以适应现代化学日益理论化和综合化的发展趋势。何况在现代化学迅猛发展和化学信息量剧增的形势下，企图让学生在有限的时间内掌握日新月异、极其庞大的化学知识已经不可能。这就迫切要把化学方法作为化学教育的重要内容，努力培养和提高学生理解、掌握和运用化学方法的能力，以便能够依此独立地能动地持续地获取化学知识，成长为一个具有创造活力的化学家。因此，在化学教育中不仅应当讲清化学基本概念和基本理论，而且更应揭示出这些概念与理论得以建立和发展的化学方法，并在化学的实验、作业、实习等各个教学环节中加以培养和训练。可见，在化学教育中加强化学方法的教育应当成为教学内容改革的重要一环。

应当看到，要把这种改革变为现实，关键在于化学教师要提高对化学方法训练重要性的认识。同时，还要注意加强自身在科学方法方面的修养与素质。教师不仅要向学生传授化学知识与技能，而且更要注意对于治学方法的

潘道皓：《物质结构》，人民教育出版社，1982年版，第1—2页。

《化学通报》，1980年版，第4期，第56页。

唐敖庆、卢嘉锡、徐光宪：《化学哲学基础》，科学出版社，1986年版，第370页，第310页。

《化学通报》，1977年，第3期，第23页。

言教身教。这就是说，化学教师不应平铺直叙地“讲解”化学知识，而应带领学生自己去“研究”问题，“发现”规律，运用所谓“发现式”的教学法，以激发学生的主动求知精神，并让他们始终保持一种对新奇事物的兴奋感和对化学研究的亲近感。显然，教师要这样做，仅仅依靠丰富的化学知识是不够的，还必须掌握一套科学的化学研究方法和化学教学方法，“注意如何入手及为何如此入手”，并依照这些方法指出的途径带领学生能动而有效地汲取化学知识，掌握从事化学研究所必需的科学方法。有些化学教育家认为，化学教育法的理论基础应有两方面：一是化学教育论；二是化学方法论。我们认为这一思想是很有见地的。

三、联结化学和哲学的纽带

化学方法及其理论（即化学方法论）从一个方面把化学科学和马克思主义哲学相关联。这在一定意义上说，是马克思主义哲学（其核心是唯物辩证法）在化学研究领域的具体运用或具体表现形式。这主要是因为马克思主义哲学往往需要通过化学方法的途径才能有效地在化学领域发挥作用，并且自身也从中获取活力而得到发展。例如，恩格斯早在一个世纪前就依据唯物辩证法的原理和当时有机化学发展的状况，作出了“只要把蛋白质的化学成分弄清楚，化学就能着手制造活的蛋白质”和“生命起源必然是通过化学的途径实现的”预言，从而为生命化学的研究提供了有力的指导，并为辩证唯物主义的生命观提供了思想基础。然而，这也只能在100多年后的今天，依靠现代化学的实验方法和理论方法才可能把这种哲学预言变为现实。特别是现在，随着运用现代化学方法对蛋白质和核酸等生物大分子合成的初步成功以及由此展现出的“合成生命”的诱人前景，就进一步丰富和发展了唯物辩证法的思想内容。

此外，由于唯物辩证法和化学方法两者之间还存在着普遍和特殊的关系。因此，对特殊的化学方法的概括和综合，也可以丰富具有普遍意义的唯物辩证法，发展马克思主义哲学。例如，研究化学家如何具体运用化学方法获得化学感性知识以及认识化学规律的过程，就可以丰富马克思主义哲学认识论；研究化学的归纳与演绎、分析与综合、抽象与具体、历史与逻辑等化学思维方法的关系，就可以有助于发展马克思主义的辩证逻辑；研究化学发现中的灵感、想象、直觉及机遇等非逻辑思维方法，就会丰富唯物辩证法的必然性与偶然性等范畴。总之，马克思主义哲学需要从化学方法中不断吸取新的养料和作出新的概括，从而能够进一步持续地保持旺盛的生命力，得到不断发展。

可以看出，发挥化学方法在联结化学科学和马克思主义哲学之间的这种纽带作用，无论对于增强马克思主义哲学的活力和完善化学工作者的思维方式都是十分有益的。现代化学的发展越来越趋向于综合，并正在向着理论的广度与深度进军。在这种化学发展形势的背景下，增强和发挥化学方法的这种纽带职能就更加具有现实意义，特别是有助于建立马克思主义哲学家和化学家之间的联盟，加强马克思主义哲学和化学科学之间的关联与互补。

傅鹰：《化学热力学导论》，科学出版社，1963年版，序。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971年版，第177页。

恩格斯：《反杜林论》，人民出版社，1970年版，第70页。

黄绍元等译：《科学的未知世界》，上海科学技术出版社，1985年版，第460—466页。

第二节 化学方法的运用

化学方法的运用，如果从化学方法体系的逻辑结构方面考察，则主要是涉及到了化学发现方法、化学检验方法和化学发展逻辑方法等三个方面方法的运用问题。

一、化学发现方法的运用

这里主要是探讨化学发现活动范围的合理性问题，或“化学发现的逻辑”的运用问题。化学的发现从广义上说，应包含化学理论的发现、化学事实的发现和化工技术的发现。但就其中心内容来说应该是指化学理论的发现。从历史的角度来看，化学发现存在着两种模式：一种是强调演绎的逻辑功能，另一种是强调归纳的逻辑功能。前者在近代化学诞生之前占优势，后者在近代化学时期占优势。这两种不同倾向的化学发现模式，如同总的科学发现模式一样，都可以溯源到亚里士多德。因为他首先建立了一个关于科学研究的归纳—演绎模式（程序的理论）。但是他过于强调的还是演绎法，认为任何一门科学都应当是通过一系列演绎证明而构成的命题系统，当然化学也不例外。而其中作为一切证明的出发点的是一般性程度最高的“第一原理”。其它的一般性程度较低的命题都是由第一原理演绎出来的。也就是说，主要是把科学方法归结为演绎逻辑，似乎科学发现只是通过演绎程序来实现的。

亚里士多德的四元素说和原性说，对于古代化学来说可以看作是“第一原理”。因为由它演绎出了较低层次的化学元素观念、物质结构观念以至一整套炼金术的理论。应该肯定，“亚里士多德是形式上确凿无疑的形式逻辑及其三段论（即演绎法）的创立人。”他把这个发现运用到科学理论上，也作出了相当大的贡献。但是，也应该看到他所强调的演绎法存在着明显的局限性。这种方法只能实现真理的转移，而不能实现真理的综合。包括化学史在内的科学史已经证明，科学理论、原理的发现不能仅仅归结为演绎的功能。如果说，亚里士多德的演绎法对于数学学科（尤其是几何学）是起了巨大作用的话，那么对于包括化学在内的实验科学来说，其推进作用是相当微小的。因为，实验科学所追求的主要目的是发现，而不是从公认的前提得出的形式证明。例如，“从元素不能再分割为更简单的物体”的前提出发，在1890年以前未尝不可得出一个正确的已知元素表；但是到1920年以后再运用这个前提就会把所有放射性元素排除在外。

从波义耳开始，与近代化学一齐前进的则是探讨归纳逻辑与强调归纳法对于化学理论发现的意义。众所周知，以培根、穆勒为代表的学者继承了亚里士多德的归纳—演绎模式，又重点发展了归纳方法，十分强调科学理论是依靠归纳法从事实材料推导出来的。培根提出，归纳程序的理论应作为“新科学方法”，并认为科学发现是通过归纳程序来实现的。波义耳深受培根的科学方法论和机械论的微粒哲学的影响。在他的化学和物理学研究中，十分强调实验和归纳法的逻辑功能。同时，非常严格地遵循机械论解释的原则。由此建立了他的归纳法和微粒哲学，为构筑近代化学理论体系奠定了基石，并开始把化学确立为科学。

无疑，归纳法对近代化学的作用是重大的，但由此认为一切化学发现是通过归纳程序来实现的，则是片面的，不符合化学史实的。实际上，化学理

论的发现是一种复杂的创造性思维的结果。化学理论的建立固然要依据于化学经验，但却不能由经验逻辑地导出。在这里，不仅需要多种逻辑方法的运用（归纳、演绎、分析、综合、比较、分类以及类比等），而且还需要逻辑和直觉的互补。

化学理论发现过程的起点是问题，而终点是找到能够解答问题的理论。在该过程中并没有普遍有效的固定模式或发现程序，其中有逻辑途径也有非逻辑途径（或称直觉思维）。前苏联学者B·M·凯德洛夫认为，若按化学发现的获得过程是否符合科学认识运动的正常进程，可以把它们划分为以下两大类：

第一类的化学发现是指基本上按照科学认识活动的正常进程得到的发现，即主要是通过正常的逻辑途径而得到的。例如，采用契合法（又称求同法）和差异法发现了燃烧、呼吸和氧气的关系；采用共变法发现了气体的波义耳定律、道尔顿分压定律以及法拉第电解定律；运用剩余法（本生和基尔霍夫）在光谱分析实验中发现了铷和铯等。这些都是采用一般归纳法总结的发现。又如：元素周期律的发现是综合性理论总结的发现。在该创造活动过程中，门捷列夫尽管受到直觉思维的重要启迪，但他主要是通过把归纳法与演绎法相结合，并运用比较—综合法而完成了这一科学勋业。再如：在理论解释的发现中往往起主要作用的是模型法。人们所熟悉的化学键理论，它之所以能获得重大发展的关键就在于提出了更多更好的能够解释新的化学实验事实的新的分子模型。

第二类的化学发现是指以不符合科学认识发展的正常进程的方式而得到的发现。这类化学发现主要是通过非逻辑途径而得到的。也就是说，在这类化学发现中直觉、想象力等常常起着关键作用。由于这类化学发现必须冲破已有的错误认识、错误方法及传统思想等束缚，必须提出崭新的观点、概念或理论。因此，要使这类创造活动得以实现，往往需要思维过程的中断与飞跃，需要某种远离经验的思维方式来填补现实的空白。这就要借助于科学的直觉和丰富的想象力。我们可以在固体多肽合成、苯环结构的设想、电离理论的建立、惰性元素氙的发现及其在周期系中位置的确定等化学创造活动中，看到这种非逻辑思维的关键作用。

总之，在化学理论发现的活动中，逻辑思维和直觉思维的运用是十分重要的，而且它们在不同类型的创造思维过程中所发挥的作用，又有所不同。正是直觉和逻辑的关联和互补才赋予一个化学家以深厚的创造力，使得他们在化学发现的道路上不断建树。可以看出，随着现代化学的发展，这种趋向将越来越明显。

二、化学检验方法的运用

这里主要是探讨化学理论检验活动或“化学检验的逻辑运用”范围的合理性问题。

随着化学从收集材料转向整理材料（始于18世纪与19世纪之交），化学走进了理论领域，并越来越成为一门“思维着的科学”。显然，只要化学在思维着，它的发展形式就是化学假说。从这个意义上说，所谓对化学理论的检验实质上也就是对化学假说的检验问题。化学假说是指对于化学物质、化学现象及其本质、规律或原因的某种推测性的说明方式或解释。这种解释

[苏]B·M·凯德洛夫：“化学史上科学发现的分类”，《自然科学哲学问题》，1987年，第1期。

化学事实的理论（它的发展形式即化学假说）通常是多元的。例如，对于物质燃烧这个事实既可能用燃素说来解释，也可能用氧化说来解释。那么，究竟要选择哪一种解释呢？或者说应当接受哪一个理论和应当拒斥哪一个理论呢？这就是化学理论的证实与证伪问题，或对化学假说的肯定性验证和否定性验证问题。

关于对假说的否定性验证（即化学理论的证伪），运用逻辑学中的否定推理，可以使得对假说的否定性验证简单易行。因为这种推理能保证全称陈述为单称陈述所否定。如果用 t 表示全称陈述，用 P 表示由 t 演绎出的单称陈述，则否定后件推理可以表示为：

$$[(t \supset p) \sim p] \supset \sim t$$

例如，在承认燃素是有重量的物理实体的前提下，我们可以从“一切燃烧过程都可以归结为燃素的吸收或释放”这一全称陈述（ t ），演绎出“铁的煅烧是铁释放燃素的过程”这一单称陈述（ p ）。考察 p ，铁释放燃素变为灰渣（铁—燃素=灰渣），燃烧后应该减重。但实验结果是铁燃烧后增重。（ $\sim p$ ）据此得知，把一切燃烧过程归结为燃素的吸收或释放是错误的（ $\sim t$ ）。这样，燃素说就得到了否定性的验证。诚然，并非所有化学假说都那么容易得到否定性的验证，并非所有理论都那么容易证伪。在这里，还存在着复杂性的一面，表现之一就是化学理论具有“韧性”。当一个化学理论的检验出现同实验事实相反（或发现同预测相反的事例）时，只要相应地对这个理论作某些修改，或者作出新的辅助性假说为它辩护，就可以继续存在下去，以待新的检验。例如元素周期律于 1869 年提出后，尽管门捷列夫预言了类铝、类硼、类硅等元素并得到证实，但当时并未预见到惰性元素的存在，并且也没有能满意地解释元素依原子量递增顺序发生颠倒的事实。然而这也并未使元素周期律得到证伪，而是促进了元素周期系理论的发展。

化学理论证伪的复杂性，其表现之二是在于一个化学理论未取得确证，并不意味着它已被完全证伪，而永远被拒斥于化学知识大厦之门外。例如：古代的炼金术理论尽管被淘汰，但作为其合理性的部分——“一种元素可转化为另一种元素”，并不因此就被证伪。到了原子能时代，该合理部分却被确证了，进而被接纳进科学知识的大厦之内。

关于对化学假说的肯定性验证（即化学理论的证实），传统逻辑学认为，对假说的肯定性验证有三种方法：（1）假说所论及的潜在根据，随着时间的推移变得可以通过观察和实验进行检验。现代物理学和化学对原子假说及分子假说的肯定性验证就是一个例证。（2）在同一研究领域内并存的多个假说中，除一个外都得到了否定性的验证，则剩下的这一假说是可以接受的，可称此法为“排除法”或“逆证法”。例如，在探索元素性质与原子量关系的过程中曾提出众多假说，诸如三素组、六元素表、八音律、元素周期律等，结果除门捷列夫的元素周期律外都得到了否定性的验证。这样，剩下的元素周期律就成为可接受的和公认的，即得到了肯定性的验证。

（3）从某些更普遍的原理中推演出被检验的假说。这种方法可称为对假说的理论证明。在道尔顿的原子理论建立以后，当量定律、定组成定律、倍比定律等描述性假说就成为其推论，因而可以认为这些描述性假说获得了理

廖正衡等：《化学方法论》，浙江教育出版社，1989年版，第266—268页。

[苏]M 巴热诺夫：“假说”，《科学与哲学》，1985年，第4期。

论证明。同理，盖斯定律作为假说的提出尽管早于能量守恒原理，但只是在热力学理论建立并从中推演出盖斯定律以后，才最终获得了理论证明。

总之，化学理论在检验过程中（无论是证实还是证伪）都存在着复杂性。因此，从严格意义上说，那种试图通过有限数目的观察和实验，想要最终证实某种化学理论或普遍定律、原理是不可能的。同样，想要明确地最终证伪也是不可能的。研究化学理论的证实和证伪的合理性问题，比较切实有效的途径和方向则是应当把对证据的定量分析与定性分析结合起来，把静态考察和动态考察统一起来，以便能够从实验技术的历史发展和理论竞争的历史发展中来探讨化学理论的证实和证伪的合理性标准问题。

三、化学发展逻辑方法的运用

这是探讨化学理论的演变与更替过程或“化学发展的逻辑”运用合理性方面的问题。

应当看到，立足于化学发展历史的研究，依照化学活动的实际状况来描述化学理论的发展模式是合理的、有效的。美国科学哲学家库恩立足于科学史研究提出了如下科学发展模式：常规科学——科学危机——科学革命——新的常规科学——新的科学危机——新的科学革命……。在库恩看来，当常规科学家（例如普利斯特列）在旧规范（如“燃素说”）的指导下解决难题的活动（如金属燃烧增重、二氧化碳的发现、氧气的发现等）遇到困难和失败时，就会出现“反常”。当一次次的反常发展到严重地动摇人们对旧规范（如“燃素说”）的信心时，即出现了“危机”。一旦有人（如拉瓦锡）提出了对立的新规范时（如氧化说），危机就加深了，进而导致一场科学革命（对近代化学来说是第一次化学革命）。这时，越来越多的科学家（如近代化学家）放弃旧规范而采纳新规范。在这里，库恩把包括化学在内的科学的发展不是看作单纯是知识在量上的积累，而看作是一种新规范代替旧规范的过程。这种看法虽然不无正确性，但是却相对忽视了科学发展中的累进性（或继承性），未能科学地说明新规范代替旧规范的原因，对常规科学的作用估计偏低。实际上，化学革命是变革与继承的结合、革命性和累进性的统一。化学的创新可以说是不间断的，点滴的创新积累到一定程度就突破了旧规范、旧传统，产生新规范、形成新传统。这就是化学革命的产生。

化学发展的逻辑还体现在另一方面，那就是化学假说发展为化学理论。这里存在着两种基本类型：假说的肯定型发展和否定型发展。上面已经提到的燃素说是化学假说否定型发展的一个明显例证。在燃素说的发展过程中，当金属煅烧后增重的实验事实被看成是对燃素说的否定性验证时（在承认燃素是物理实体的前提下），采用燃素具有“负重量”的观点进行特设性修改已不能挽救燃素说。而氧化说作为否定燃素说的新假说而被建立起来了。在这里，需要强调的是，旧假说的这种自我否定是个辩证的否定；新假说是在扬弃的意义上作为旧假说的对立物而出现的，因而它包含着旧假说中合理的因素。例如，氧化说就吸取了燃素说中关于化学变化中物质转移的合理思想。只不过转移物发生了根本性的变化：在燃素说中是燃素的转移，而在氧化说中则是氧的转移。

化学假说的肯定型发展大致有两种情况：一种是假说在发展过程中曾得到新的实验事实的支持和新的科学原理的论证，变得更为具体与精确，但它

仍然是假说而未能最终转化为可靠的理论；另一种是假说的基本原理得到证实，而且假说的结构日臻完善，最终转化为可靠的理论。可以说，前一种情况是假说的量变发展形式，后一种则是假说的质变发展形式。

关于化学假说的量变发展形式，可以举出“共振论”的形成和发展为例。鲍林在 1928 年首次提出“共振”概念时，其含义是指价电子在两个成键原子轨道之间的交换。这是把“电子共振”看作是真实的物理现象的假说。1932 年，鲍林又根据价键方法线性变分原理，将“共振”设想为一种近似处理方法。此时，共振结构已没有物理实在性。到 1938 年，他将这两种观点作了总结并进一步加以阐发。此后，关于键长、能量等方面的实验研究和关于电负性、部分离子性、键级等方面的理论研究丰富发展了共振论的观点。但是，作为真实物理现象的“电子共振”并没有得到实验证实。从价键理论线性变分方法到共振论主要是作了经验性的直观外推，而这种外推使它远离了量子力学基础并降低了模型的精确程度。这表明共振论的体系结构有待进一步完善。因而，从总体上来说，共振论至今仍是个假说，在本质上是表征着价键理论的一个合理的历史发展阶段。

至于元素周期律从假说转化为理论，则为我们提供了一个化学假说质变发展形式的实例。一般认为，这种转化（即质变）的标志是门捷列夫根据元素周期律作出的关于镓、钪、锆的预言得到了实验的肯定性验证。从假说自身的发展来看，导致这种质变的重要因素之一是元素周期律结构体系的日趋完善。

此外，关于化学理论的发展还存在着一种复杂情况，那就是化学理论的淘汰和复兴相关联。所谓理论的“复兴”是指一个曾经被确证又被淘汰的理论，或一个未曾取得确证又未能继续发展的理论，在新的历史时期，由于种种原因它的确证度显著提高，于是人们就以新的形式重建原先的理论系统，并恢复一度中断的研究传统。诚然，理论的复兴并不是完全复旧，而是侧重于恢复其中被确证的部分。例如，1815—1816 年，英国的普劳特（W·Prout）以当时测定的部分元素原子量为依据，提出了氢为元粒子的假说，认为“氢是母质，其它元素都是由不同数量的氢构成的。因此，各种元素的原子量都应当是氢原子量的整数倍。”这个大胆的普劳特假说没有得到同时代人的接受，并未能经受住验证。因为，随着原子量测定越趋精确，则越证明各元素的原子量并不是氢原子量的整数倍。因此，普劳特假说被拒斥了，几乎被淘汰了近半个世纪之久。直到 20 世纪初，随着放射性和同位素的发现，原子核的复杂性开始被认识，英国的索弟（F·Soddy）于 1910 年提出了同位素假说，认为自然界存在有不同原子量和放射性的、而其它物理、化学性质又完全一样的化学元素变种，并在周期表中居于同一位置上。该假说，经阿斯顿的进一步实验研究得到确证。这样，普劳特的假说就被人们在新的历史条件下接受了。它得到了复兴。总之，化学理论的复兴问题，表明化学理论的竞争及其发展的道路是复杂而又曲折的；人们对于化学理论发展的逻辑评价也是复杂的认识的历史过程。

第三节 化学方法的演化

自从威克里布 (Wiegleb) 1790 年出版了《化学兴起及发现史》以后的 200 多年来, 化学史的研究已经取得了相当广泛和深入的进展。但是, 与此不相称的是, 有关化学方法历史研究却很少有人做过比较深入的探讨。这不能不说是一个不足。

化学方法是化学研究的不可缺少的工具。化学家掌握化学方法的程度, 反映了他的化学智慧和创造能力的水平。化学方法的历史是化学方法演化规律的体现, 是从科学方法论的高度对化学科学整体历史的深刻概括。因此, 考察化学方法的历史, 将会有助于化学家更好地掌握化学方法, 有效地开展化学研究; 有助于更深刻地揭示化学史实背后的宝贵启示, 直接地为化学现实研究服务。同时, 也还可开拓出一条化学史研究的新的途径。

我们认为, 化学方法的历史是经历了思辨方法 准实验方法 经验方法 理论方法 综合方法等五个发展阶段构成的。

一、思辨方法阶段

主要是指公元前 2 世纪以前的古代化学方法发展阶段。这一时期化学的基础虽然是以火提供的高温条件实现的制陶、冶铜和炼铁等实用化学工艺, 然而真正能够反映当时化学理论认识水平的成果还是自然哲学家们提出的物质理论, 特别是元素说和原子论。

自然哲学家提出这些理论时, 虽然也运用了原始的观察、类比和逻辑等方法, 然而就其实质来说, 根本上还是一种思辨的方法, 即在人类感官所获得的尚不充分的事实基础上进行构思和臆测的方法。应当说, 无论是中国的五行说, 还是恩培多克勒的四元素说, 或是留基伯的原子论, 都是思辨方法的产物。古代自然哲学家在尚不具备科学实验的条件下企图说明物质的组成和结构等本质问题, 也就只能运用这种方法去实现。

思辨方法所依据的事实尽管还不够充分, 并带有一定的主观随意性, 但是它毕竟是使人们的认识超出了经验水平, 达到了一个准理性认识的高度, 并得到了一些朴素的含有合理成分的结论, 从而对近代化学理论的形成发挥了重要作用。当然, 它所得到的结论还是笼统的、模糊的, 特别是还未能依靠科学实验在细节上得到证明。因此, 思辨方法还只是一种处于萌芽形态的化学方法, 还需要向以科学实验为基础的科学方法过渡。

二、准实验方法阶段

主要是指从公元前 2 世纪到公元后 15 世纪的炼金术时期的化学方法发展阶段。炼金术虽然是一种具有浓厚神秘色彩的化学活动, 然而也是化学发展中的一大进步。因为炼金家不同于自然哲学家, 他们不是崇尚思辨, 而是热衷于化学实际操作, 从而能够突破猜测的、狭隘的思辨方法的局限, 完成了一些化学发现, 取得了许多并非神秘的实际的科学成果, 为近代化学的诞生创造了条件。因此, 炼金家的方法尽管还夹杂着许多神秘的以至巫术的成分, 然而就其主导方面来看, 应该说是一种接近于化学实验性质的方法。当然还不能算作是一种科学的化学实验方法。其主要原因有三: (1) 实验目的的虚幻性。期望用化学操作实现金属嬗变或制得“长生不老”之药; (2) 理论的神秘性。乞求于万能的“哲人石”或“万物有灵论”; (3) 方法的幼稚性。

认为会“服金者寿如金，服玉者寿如玉”，原因在于“盖假求于外以自坚固”，等等。因此，炼金家的方法只是一种尚不具备科学目标、科学理论和科学方法论的“实验方法”，是一种准实验方法或类实验方法。它还需要向科学的实验方法方面转化。

三、经验方法阶段

主要是指16世纪到18世纪期间的化学方法发展阶段。这一时期化学的主要任务是“搜集材料”，对物质及其性质进行分门别类的研究。这就需要运用化学实验手段对物质进行分解或分析，建立科学的化学实验方法。波义耳和拉瓦锡作为这一时期的两个代表人物，他们从哲学上接受了弗·培根倡导的“新工具”的思想，从科学上移植了伽利略和牛顿的实验方法，先后建立了定性和定量的化学实验的方法，为化学的发展提供了有效的科学工具。化学家不仅依此获得了大量经验知识，而且还进一步概括和提升出了科学的元素概念和燃烧理论，确立了科学的近代化学，并实现了一场深刻的化学革命。

这一时期化学方法的主要特征是：（1）具有明确的科学目的性，即不在于追求“点石成金”之类的虚幻梦想，而在于“揭示宇宙之奥秘”，发展化学科学；（2）具有较高的科学严密性，能够“以量求质”，以致否定了“火素”或“燃素”的存在，推翻了错误的学说，成为检验化学真理的尺度；（3）具有较强的经验性。当时的化学家尽管已经在一定程度上注意到经验的上升和理论的概括，并已得到了卓有成效的成果，然而就其主导方面说来，他们还是比较强调“实验决定一切”和“知识不能超出经验范围”，比较重于实验归纳而轻于理论推演，主要还是一种偏于实验的经验方法。长此下去就会限制人们对于化学运动深层本质的认识。因此，化学的进一步发展，就需要推动化学方法从经验方法阶段向理论方法阶段过渡。

四、理论方法阶段

主要是指进入19世纪后的化学方法发展阶段。这一时期化学的主要任务是“整理材料”，对波义耳以后百年来积累的丰富的经验加以概括，建立近代化学理论基础。在这种形势下，经验方法已不敷应用而退居到次要地位，理论方法则上升到主要地位。具体表现在抽象、演绎、假说、比较和非逻辑思维等理论方法比过去任何时期都发挥了日益重要的作用。

1. 抽象法

在近代原子论的建立过程中起到了决定性的作用。当时对于尚“不可见”的原子是无法用经验方法感知的，而只能依靠概念、判断、推理、运用科学抽象方法去把握，并从一系列定量经验定律所反映的事实中抽象出共同本质——原子，从而确立了这一划时代的伟大理论。

2. 演绎法

道尔顿运用这一方法推出了倍比定律。他在形成原子论的思想以后，依照化学反应是“一定重量的原子”重新组合的观点，合乎逻辑地推知了倍比定律的存在，然后才以定量分析氮的氧化物组成等实验加以证实。这里，演绎法发挥了主导作用。

3. 假说法

葛洪：《抱朴子内篇》，见赵匡华主编《中国化学史研究》，北京大学出版社，1985年版，第294页。
山冈望：《化学史传》，日本内田老鹤圃新社，1979年版，第19页。

分子学说的提出是这一方法应用的典范。当时原子论和“体积简比”定律正处于尖锐的矛盾状态。由于涉及到了尚无法观察到的原子和分子，只靠经验方法就不中用了，而需要根据已知事实，运用假说方法对未知分子的存在提出假定。这样才可能建立起统一的原子分子论。

4. 比较法

在元素周期律的建立过程中发挥了重要作用。门捷列夫研究的特点是，不仅在于对元素进行了个别考察，而且更在于对元素进行了总体的比较研究，从而发现了元素差别中的同一，找到了原子量这一决定元素性质的共性，完成了这一重大发现。所以他强调，重要的是“需要比较的方法”。

5. 非逻辑思维方法

随着化学研究深入到微观领域就日益需要运用这种方法。例如凯库勒对于有机物碳链结构和苯结构的研究，就是在经过长期探索之后，百思而不得其解时偶然做了梦而导致解决的。显然，这不是经验方法，也不是逻辑方法的产物，而是思想顿悟或灵感的结果，是通过非逻辑的渠道取得的成功。

可以看出，19世纪的理论方法已在化学方法中居于主导地位，化学依靠它建立了一系列化学基本理论，为化学向现代阶段过渡奠定了理论基础。

但是，同时也应当看到，在理论方法发展的同时，经验方法也在进一步发展，而且构成了理论方法发展的坚实基础。以19世纪有机化学方法的发展来说，当时有机化学家面对庞大数量的有机物，他们就主张在从事较大范围的理论概括之前，必须积累纯属事实的大量材料。为此，他们发展了化学实验方法，把实验分析法推进到实验合成法。这既使有机分析方法不断完善，又开创了崭新而富有成效的有机合成方法。他们在从事理论概括时，擅长于凭借化学经验取得对化学事实的直观的理解，并能卓有成效地运用那种不注重定量方法的逻辑推理，而得到基本正确的理论结果。近代有机化学家们正是用了这种富有特色的化学方法（可以称之为“有机化学方法”）建立起了近代化学结构理论；其决定性步骤是由若干著名化学家（如维勒、李比希、弗兰克兰、凯库勒、布特列洛夫等）所采取的，并为一大批化学家所追随，终于形成能左右19世纪化学前进方向的一股新潮流。这种有机化学方法是直观的、基于大量化学经验方法之上的方法。它能赋予化学家、尤其是有机化学家以一种特有的科学素质——称之为“化学上的直觉”。依靠这种“化学直觉”，化学家用了化学转变的逻辑就能想象或预感原子在空间中的复杂的构型，并确实制成了具有这种构型的物质。这样，他们就用合成法证实了以前用分析法所确认的事实。进而，在理论与实践的结合上开始把握住了对有机物性质和结构关系的认识。但是随着化学走进越来越广的理论领域，这种传统的近代化学方法的局限性亦就日益暴露出来。人们发现它并不适用化学研究领域的全部，特别是在无机化学方面。在这方面，人们的兴趣开始从元素化合物的实在成分转移到它们彼此间的反应方式、能量的影响以及溶液、结晶、电解等问题上去。而正是从这些引人关注和感兴趣的问题上生长出了化学的一个新的分支学科——物理化学。

物理化学的崛起对近代化学方法是一次冲击，它比较集中地暴露出了近

门捷列夫：《科学档案》第一卷，苏联科学院出版社，1953年版，第614页。

山冈望：うていせこ祭，《化学史谈》，第五卷，日本内田老鹤圃新社，1977年版，第86页。

代化学家在研究方法上的下列局限性：

(1) 比较强调有机化学的非定量推理方法而忽视数学方法的广泛运用。而广泛运用数学方法却是物理学科的显著特征和物理学家行之有效的辅助思维工具。

(2) 注重具体物质(实物)的研究,而不注重在理想条件下对物质一般规律性的研究;而物理学家不同,他们往往力图把具体物质抽象为理想气体、固体和液体,然后加以研究。因为在物理状态下物质的特性及其规律更具有普遍性。人们通过理想途径(即理想化方法)抽提出科学的概念和模型,有助于更深刻地认识和把握客观事物及其过程的本质。

(3) 偏重化学反应过程中的物质量的变化及其规律的认识,忽视了与之紧密相关的能量变化及其规律的研究。这是跟化学家比较缺乏“能量”观念或不太注意物理学的发现有关。

(4) 对化学亲合力的思考与理解比较狭隘,侧重于静态、局部,强调吸引因素。这比较典型地反映在有机化学家的认识上。他们认为化学亲合力仅仅是原子间的价键概念;而物理学家们则认为是化学反应过程中的统计概念(热力学意义上),他们对化学亲合力的思考与理解比较开阔,侧重于动态、整体,同时兼及排斥因素的考虑。

(5) 特别重视和推崇基于化学实验的经验归纳法,而不太重视和不善于运用演绎法。众所周知,化学热力学的理论体系就是一个演绎性质的体系;不少物理学家为此做出了贡献。其中美国数学家和物理学家吉布斯把演绎法运用于化学热力学研究所取得的成功就是一个典型。

面对近代化学方法的局限和物理化学新领域的开拓,一些化学家和物理学家认识到:对近代化学方法需要用物理学的思想和方法加以合理的补偿。这对促进化学方法的发展与完善是十分必要的。这种必要性随着现代化学的发展已经变得十分明显。因为它已经导致了化学方法上的重大变革。这种变革并不是对传统的近代化学方法的摈弃,而主要是既重视对近代化学方法的合理继承,又不受其局限和束缚而有极大的创新和发展。

五、综合方法阶段

主要是指 20 世纪后的化学方法发展阶段。这一时期的化学研究对象由于日趋抽象化、复杂化,运用单一的方法已不能满足需要,而应当综合应用各种方法。这就使化学方法的发展呈现出多元化、交叉化和综合化的趋势。主要表现是经验方法和理论方法的综合,不同学科方法的渗透,以及系统方法的应用等方面。

1. 经验方法与理论方法的综合

应当看到,尽管化学方法的发展可以划分为经验方法或理论方法阶段,然而两种方法始终是互为联系的。只是由于不同时期所处的地位不同才表现出以某一方法为主要标志的发展阶段。但是,到了 20 世纪以后,两种方法已很难区分出主次而呈现出并驾齐驱和高度渗透的综合状态。主要表现是,理论方法的应用需要直接依赖于经验方法,例如波尔利用模型法所提出的量子化的原子模型,需要直接依赖于原子光谱法所提供的经验事实。此外,还表现为经验方法的产生直接需要理论方法的指导,例如没有量子力学微观领域的理论和方法,也就难以发明核磁共振、激光拉曼光谱和微波光谱等现代仪

器手段。总之，在现代化学方法中，经验方法的运用渗透着理论方法，理论方法的应用又依靠着经验方法，二者是高度综合的。

2. 不同学科方法的渗透

主要表现是化学移植了许多不同学科的方法，形成了数学-化学法（如计算化学法）、物理-化学法（如量子化学法）、生物-化学法（如仿生化学法）、历史-化学法（以历史观点阐述化学体系和内容的方法）、哲学-化学法（以哲学方法探讨的化学认识论和方法论）和科学学-化学法（以科学学的观点研究化学总体规律的化学学方法）等。现代化学方法呈现出不同学科方法广泛交叉的特征。

这里，首先应当强调的是物理化学方法所引起的化学方法的重大变革。关于这一点，当我们沿着现代化学家的足迹去探寻时，就会得到深刻的印象。因为它将提供给我们以丰富的例证。首先是路易斯（G·N·Lewis）和朗格缪尔（I·Langmuir）倡导“一种关于化学现象的新观点”——从电子角度来看原子概念，用量子的观点（尽管当时还是旧量子论）来处理分子光谱问题；进而运用该观点为现代化学键理论的建立奠定了基础。其中，朗格缪尔的贡献是采用玻尔的原子模型来阐明各元素原子的电子结构；路易斯的贡献则是汲取汤姆逊（J·J·Thomson）的电子概念，提出了两个原子之间结合在一起共享电子对和共价键概念。接着，在1927年海特勒和伦敦开创性地把量子力学处理原子结构的方法应用于解决氢分子结构问题，定量地阐释了两个中性原子形成共价键的原因，成功地开始了量子力学和化学的结合，从而把路易斯-朗格缪尔那种既重视物理学理论成果又注意化学经验的研究方法推进到一个新的阶段。从30年代开始，鲍林又从量子跃迁和轨道重组引出杂化概念，并以量子力学线性变分法导出共振论，进而推动了价键理论的发展。50年代以来，福井谦一借用量子力学轨道概念替代电子密度概念提出了前沿轨道理论；伍德瓦德（R·B·Woodward）和霍夫曼（R·Hoffmann）基于对轨道对称性的分析并吸取了能量相关概念。他们都为发展分子轨道理论作出了重大贡献。到了70年代，李远哲在化学动力学研究中也十分注意吸收量子力学关于量子状态、光谱、构型的分析和计算成果。此外，斯陶丁格（H·Staudinger）等用x射线衍射法来证实关于高分子长链结构的设想；李远哲等用激光和分子束实现对反应途径和轨道对称性相关的观察。这些，表明了现代化学家对物理学实验手段的移植和运用，从而使现代化学的实验研究达到了仪器化、自动化和精密化的水平。其次，也应当看到生物-化学方法在化学发展中举足轻重的地位。当前，尽管生物学方法向化学的移植还没有达到像物理学方法向化学移植那样的深度与广度。但是，生物学方法向化学的移植仍然是十分引人注目的方向，并具有深远意义。例如，生物有机体的“整体”概念引入化学后，对反应体系的研究和化学工程的设计颇有启迪。又如，通过对生命运动中基础物质的研究（如蛋白质、核酸等）而得到的规律性认识，又可以进一步加深对化学运动自身（尤其是高分子物质的化学运动）的认识。再如，借助模拟法将生物体系内的结构功能的原理及机制移入化学，从而加深对化学组成、结构和性能以及化学反应中物质、能量转化规律的认识，进而丰富和发展了有关化学结构理论及化学反应原理。这一点突出地体现在模拟酶催化上，它既可以上亿倍地提高化学催化剂的效率，同时又促进了化学键理论的发展，化学模拟生物固氮就是典型的一例；此外，模拟生物膜则可以使化学实验和化工生产中的一切分离手段相形见绌；模拟光

合作用机制，可以实现用化学方法进行最有效的能量贮存转化等。可见，在化学的不少领域中都留下了生物学方法渗透的痕迹，化学从生物学汲取了不少新概念和新方法。

3. 系统方法的应用

主要是指 40 年代以后兴起的横断学科所提供的系统、信息和控制论的方法。其特点是把化学研究的对象作为一个系统来考察，以整体、动态和信息的传输及处理的观点来研究系统的整体与部分、系统与环境之间相互制约的规律，并以最佳方案解决所提出的课题。在 50 年代后对于 DNA 结构的揭示，遗传信息从 DNA RNA 蛋白质流动的中心法则的发现和三联体遗传密码的破译等，都“非常生动地说明了信息论方法的作用。”系统方法的应用，对于化学方法的影响决不亚于量子力学方法对化学方法的影响。这一点将随着时间的推移越来越被人们认识到。

信息方法向化学的渗透和运用，要求化学工作者把物质化学运动变化的过程看作是一个信息传递和转换的过程，并用一定的方式把收集到的信息加以研究和处理，从而找出规律性的东西。在这里，信息是指标志客观物质系统存在和运动的基本属性。任何化学物质和化学过程都会发送信息，并以此标志它们的存在。如指示剂的变色，催化剂对化学反应速度的改变，化学过程所伴随发生的光、热、电、气味、颜色、状态等的变化等。可见，我们可以通过接收这些信息来判定化学运动的变化。可以这样认为：信息是化学工作者研究和控制化学物质及其变化过程的手段；不掌握信息，就无法认识、变革和控制物质及其变化过程。目前，在计算化学、分子设计、反应控制、化工工程等领域，信息方法的运用已经变得日益重要，以至不可缺少。

控制论方法向化学的渗透和运用，要求化学工作者十分重视化学研究对象的整体性，力求从整体上去掌握物质化学运动内部之间的联系规律；从整体的关系与逻辑合理性来判断或估计局部的关系和结构。该方法是把一个复杂化学反应体系看作为一个复杂结构的“黑箱”，然后通过施加影响，从整体到局部、从局部到整体，二者互相反馈调整，从而较快地认识这个体系。例如，多相催化反应机理很复杂，然而我们并不能等待机理搞清后才去确定优良催化剂的结构及其制备。此时若用控制论方法指导，实际上只要列出各种可能机理的可能性空间，并借用筛选催化剂的经验及有关信息，也就可以判断、估计出概率较大的机理是什么；反过来再用此估计的机理来设计催化剂。如此经过几次反馈，就会使偏差缩小而较快达到目的。

整个化学方法的发展过程表明，随着化学的发展，原有的化学方法将不断得到补充和完善，并与不断涌现出的新的化学方法结合在一起，相互配合，以不断改善化学研究的可能途径，获得最佳效果。

第六章 化学分类论

化学分类是化学学和化学哲学领域的一个重要课题，是运用一般的科学分类方法研究化学领域所取得的结果。化学分类对于人们认识化学运动，把握化学内容，推进化学研究工作，均具有重要意义。化学分类论所涉及的主要内容包括化学分类的原则、化学物质的分类、化学反应的分类、化学科学的分类和化学发现的分类等方面的课题。

第一节 化学分类的原则

在化学研究中对科学材料进行分类，是以事物的质的差别、事物的矛盾的特殊性为客观依据的。凡是归为同一类的化学物质或反应，它们在质上应当具有共性，或具有相类同的矛盾特殊性，即具有质的内在联系性。化学分类正是以这些研究对象本身的某种属性或联系作为分类标准的。由于化学研究对象具有多方面的属性，对象之间的联系又具有多样性，因此，化学分类也可能有着多种不同的标准。

实际上，化学分类就有一个从现象分类到本质分类的发展过程。化学现象分类只以化学物质或过程的外部标志及外在联系作为依据；化学的本质分类，则须以化学物质或过程的本质特征及内部联系作为依据。现象分类由于不能反映事物的本质，从而有可能把本质上不同的事物归为一类。例如氯、溴、碘从结构与性质方面看应属于同类的元素，但若从外在的物质形态上做现象分类，则就会被分别划归为气体元素、液体元素和固体元素等不同的类别。因此，化学分类应当坚持本质分类。例如从化学元素分类的演变上看，古代的“四元素说”、“五行说”以至波义耳的元素说都是现象分类。到 19 世纪以后，门捷列夫等人开始从元素的性质与原子量的关系上对化学元素进行本质分类，直到莫斯莱发现了原子序数的核电荷数的实质，又完善了这种本质分类，从而加深了人们对元素本质的认识。

要做到化学的本质分类，必须遵循一般分类的基本原则。这些原则主要是：

一、同一性原则

它要求化学分类必须始终坚持统一的分类标准。在化学分类中，无论采取什么样的分类方法，在一次具体的分类中，都必须根据同一个标准去划分。否则，就容易产生分类的重叠现象。因此，在化学分类中，任何一种分类都必须选择一个正确的本质分类标准，并应在整个分类过程中始终坚持一贯，不能在中途任意更换分类标准。

二、相称性原则

即化学分类必须相应相称。无论对化学物质或化学过程进行分类，所分得的各子项之和必须与被划分的母项相等。这样才能避免出现分类过宽或分类过窄的逻辑错误。例如，对酸类物质进行化学分类，首先可以划分为含氧酸与无氧酸两大类。这是 19 世纪初法国化学家盖·吕萨克的贡献。而在此以前，18 世纪的拉瓦锡曾把所有的酸都归为一类物质，认为凡是酸都必含氧，从而把 HCl、H₂S 和 HCN 等许多不含氧的酸都被排除出酸之列。这就是分类的子项之和小于母项，出现了分类过程的错误。

三、子项不相容原则

在化学分类中，若把化学物质或某种化学过程作为母项，并将其分为若干子项，则所有的各个子项必须具有全异关系，不允许出现子项间的相互交叉或从属关系。因为假若有两个子项之间并非全异关系，那就必然会产生这样的情况：某项被分类的对象既属于这个子项同时又属于那个子项。这样就会引起分类的混乱不清。

四、层次性原则

化学分类还必须逐级进行。它要求必须根据化学物质或化学过程之间所固有的层次关系逐级进行，不能随意越级划分。例如，对化学物质的分类，

如果分为元素、酸、碱、盐、有机物、络合物……，就会产生越级划分的逻辑错误，而显得非常混乱。若按照层次性原则，就应当先把化学物质划分为元素和化合物，然后在化合物中再分成无机物与有机物两大类。最后再分别对无机物和有机物在一定层次上依不同标准进行逐级划分。这样就可以使全部化学物质得到一个层次分明的详尽而有序的分类。

化学分类的这些基本原则，其中以同一性原则尤为重要。因为只有坚持分类标准的同一性，才能保证不违背分类的相称性原则，避免出现子项之间的交叉或从属关系，进而实现分类的层次性。可见，这些原则之间有着内在的紧密联系。

自然界的事物总是既彼此差别又相互联系的。差别性是分类的根据，而联系性却又使人们不能把这些对象截然分开。因此，分类原则具有着相对性。随着人们对自然界中化学物质及其变化过程认识的不断深入，化学分类原则也会更加完善，以促进人类对化学运动和化学科学认识的不断深化和发展。

第二节 化学物质的分类

化学物质是化学运动的物质承担者，也是化学科学研究的物质客体。这种物质客体虽然从化学对象来看只是以物质分子为代表，然而从化学内容来看则具有多种多样形式，涉及到许许多多物质。因此，研究化学物质的分类就显得非常重要。

按照物质的连续和不连续（分立的）形式，首先可以把化学物质分为连续的宏观形态的物质，如各种元素、单质与化合物，以及不连续的微观形态的物质，如各种化学粒子等两大类物质。

一、化学粒子的分类

化学粒子的种类也是纷繁多样的。根据现代化学的研究成果，我们可以把它们分为原子、分子、离子、自由基、胶粒、络合粒子、高分子、活化分子、活化配位体化合物和生物大分子等等。这些物质粒子中的每种粒子都有其自身的组成和结构。它们之间是有区别的，然而又是相互联系的。

原子被看作是化学变化中保持本性不变的最小粒子。

分子是由原子构成的粒子，是化学运动的主要承担者，在化学反应中发生质变。

离子是原子（或原子团）失去或得到电子形成的带电粒子。

自由基是含有未配对电子的不带电荷的物质粒子。它主要是从有机化合物分子进行分解而形成的，又称游离基。

胶粒是在分散体系中线性大小介于 $1 \sim 100\text{nm}$ ($1\text{nm}=10^{-7}\text{cm}$) 的带电分散相粒子。它是由分子聚积成的胶核和离子组成的复杂粒子。

络合离子现今通称为配位粒子。它是由中心离子（或原子）与其它一些粒子（离子或分子）通过配位键结合起来的荷电的或中性的复杂粒子。

高分子则是由大量原子以共价键结合起来的大分子。分子量高达几千到几百万（而一般有机化合物分子量约在 500 以下）。如以来源划分，可分为天然高分子化合物（如蛋白质、淀粉和纤维素等）和合成高分子化合物（如塑料、合成橡胶、合成纤维等）；如以组成和结构划分，又可分为由同一结构单元（单体分子）多次重复联结成的高聚物高分子（如聚乙烯、聚丙烯等），以及由不同结构单元形成，并具有特殊生命功能的生物高分子（如蛋白质和核酸等）。

随着化学科学的发展，本世纪以来又相继发现了诸如活化分子、活化配位体化合物等一些新的物质粒子。

在上述这些化学粒子中，原子是基础，原子核外的电子是桥梁，其它粒子则是以原子为基础通过电子的转移、结合（配对）、接受而形成的。

研究化学粒子的分类，可以充分证明化学粒子多样性的统一，具有重要意义。这是我们确立化学科学在自然科学体系中的地位和化学科学内部进行分类的重要基础。化学粒子是化学研究内容所包含的物质客体。它使化学同物理学和生物学等学科相区别；同时这些学科又从不同角度研究一些相同的化学粒子，又使化学同物理学和生物学等学科发生联系和相互过渡。在化学科学的内部，随着人们对化学粒子多样性的深入研究，不断分化出许多新的分支学科。例如 19 世纪在原子—分子学说的基础上，人们把化学分成无机化学和有机化学等；后来发现了配位粒子，人们就从其中分化出配位体化学；再往后又分化出研究离子行为的电化学和溶液化学；研究胶粒及其组成的分

散体系的胶体化学；研究高分子物质的高分子化学；以及研究生物大分子行为的生物化学等。可以预料，随着化学的发展，还会发现新的化学粒子，人们对化学粒子分类的研究，也必将日益深入。

二、化学元素的分类

化学物质的宏观连续状态，可以分为单质和化合物两大类，而它们又都是由元素构成的。

人类认识的元素目前已达 109 种。其中有 94 种是在自然界中已找到的天然元素，15 种是人造元素。

对元素的分类早在 19 世纪初就开始研究了。在门捷列夫之前已有不少化学家从事过化学元素的分类研究。例如波登科弗、格拉法斯通、杜马、尚古都等人从各个角度出发对元素进行分类。或以元素电化序为分类标准，或以原子价，或以原子量顺序为分类标准等，其中比较重要的分类成果是“三素组”、“八音律”和“迈尔曲线”。

“三素组”是 1829 年由段柏莱纳创立的。他把已知元素中的十五种分作五组，每组中包含着三个性质相似的元素，故称“三素组”。他指出在三个同组的元素中，中间元素的原子量等于前后相邻的二个元素原子量的算术平均值。而英国人纽兰兹则试着把元素按原子量大小的顺序排列起来。1865 年他发现“第八个元素是第一个元素的某种重复，就像音乐中八度音程的第八个音符一样”，被称为元素分类的“八音律”。德国化学家迈尔经过细致的分类研究，指出“元素的性质为原子量的函数。”他把原子量作为横坐标，以原子体积为纵坐标，绘成了原子体积曲线，结果是相似的元素在曲线上都占据着类似的位置。如此，显示了原子体积和原子量的函数关系。这就是著名的迈尔曲线。

1869 年，门捷列夫在前人工作的基础上，着重研究了对元素的综合性分类。他指出“不管人们愿意不愿意……，在元素的质量和化学性质之间一定存在某些联系……因此就应该找出元素特性和它们原子量之间的关系。”他把当时已知的 63 种元

表 6—1 门捷列夫第一次发表的元素周期系（1869 年）

		O	IT	C	CTE	I	EHTOB								
O	CHOBa	Ha	X	a	TOM	HOM	B	C	X	M	e	CKOM	CXO	CTB	.
							Ti=50			Zr=90			?=180.		
							V=51			Nb=94			Ta=182.		
							Cr=52			Mo=96			W=186.		
							Mn=55			Rh=104.4			Pt=197.4		
							Fe=56			Ru=104.4			Ir=198,		
							Ni=Co=59			Pl=106.6			Os=199.		
H=1							Cu=63.4			Ag=108			Hg=200.		
	Be=9.4						Mg=24			Zn=65.2			Cd=112		
	B=11						Al=27.4			?=68			Ur=116		Au=197?
	C=12						Si=28			?=70			Sn=118		
	N=14						P=31			As=75			Sb=122		Bi=210?
	O=16						S=32			Se=79.4			Te=128?		
	F=19						Cl=35.5			Br=80			I=127		
Li=7	Na=23	K=39					Rb=85.4			Cs=133			Tl=204.		

Ca=40	Sr=87.6	Ba=137	Pb=207.
?=45	Ce=92		
?Er=56	La=94		
?Yt=60	Di=95		
?In=75.6	Th=118?		

素进行分类，首次创立了元素周期表（表 6—1）。

门捷列夫第一次对元素做了本质性的分类。后来由于人类认识的元素越来越多，特别是 19 世纪末物理学的一系列新发现，使莫斯莱把门捷列夫的分类又推向新的水平。至今人们已对元素的分类形成了更加完备的认识。元素周期律是应用化学分类方法取得成功的典范。

在化学物质中比较简单的是单质，它是由相同元素组成的物质，可分为三类：金属、非金属和稀有气体。

三、化合物的分类

对化合物的分类，是研究化学物质分类的一个主要内容。现在通行的化合物分类方法是按化合物分子的不同来分类。首先分为无机化合物和有机化合物。

无机化合物中，按分子的组成与结构方式不同可分为氧化物、碱、酸和盐类。而每类化合物当然又可以进一步分类。例如在氧化物中，可以分为酸性氧化物、碱性氧化物和两性氧化物三大类；无机酸类又可以分为含氧酸（如 H_2SO_4 ）和无氧酸（如 HCl ）两类。同样，碱类和盐类均可以进一步分类。

对有机化合物，人们通常根据碳干的不同把它们分为链状化合物、碳环化合物和杂环化合物三大类。其中，碳环化合物又可分为脂环类化合物和芳香族化合物。有机化合物也可以依照其它标准分为脂肪族、脂环族、芳香族和杂环化合物四大类。在脂肪族化合物分子中碳原子与碳原子之间结成了链状结构，所以也就是上述的链状化合物；脂环化合物分子里含有碳环，但其性质与脂肪化合物类似，故称脂环化合物；芳香族化合物的分子结构中都含有由六个碳原子组成的苯环，在环上的碳原子间由单键和双键交替连接着而构成了特殊的大键，其性质与脂肪族、脂环族不同；杂环化合物的环状结构中除碳原子外，还有其它原子（如 N、S、O 等），只有类似于芳香族化合物的特性。

在有机化合物中，还可以把含有相同官能团的化合物归为一类（表 6—2）。这样就可把有机化合物分为烃、醇、酚、醛、酮、羧酸、醚、胺、卤化物、硝基化合物，磺酸化物等类型。例如羧酸类化合物中均含有相同的官能团——羧基（ $-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-OH$ ），决定着这一类化合物所具有的共同特性：均显表

6-2 有机化合物按官能团分类

类别	官能团	举 例
烷烃	$\begin{array}{c} \\ -C- \\ \end{array}$	甲烷 $\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-H \\ \\ H \end{array}$
烯烃	双键 $\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ C=C \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$	乙烯 $\begin{array}{c} H \quad H \\ \diagdown \quad \diagup \\ C=C \\ \diagup \quad \diagdown \\ H \quad H \end{array}$
炔烃	叁键 $-C \equiv C-$	乙炔 $H-C \equiv C-H$
醇或酚	羟基 $-OH$	甲醇(脂肪族) CH_3OH 苯酚(芳香族) $\begin{array}{c} CH-CH \\ \quad \\ HC \quad C-OH \\ \quad \\ OH=CH \end{array}$
醚	醚键 $-O-$	乙醚 $CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3$
醛	醛基 $\begin{array}{c} O \\ // \\ -C \\ \backslash \\ H \end{array}$	甲醛 $H-C \begin{array}{c} O \\ // \\ H \end{array}$
酮	羰基 $\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ C=O \end{array}$	丙酮 $\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ C=O \\ \\ CH_3 \end{array}$

类别	官能团	举 例
羧酸	羧基 $\begin{array}{c} O \\ // \\ -C \\ \backslash \\ OH \end{array}$	乙酸 $CH_3-C \begin{array}{c} O \\ // \\ OH \end{array}$
卤化物	卤素-X (F, Cl, Br, I)	氯乙烷 CH_3-CH_2-Cl (脂肪族) 氯苯 $\begin{array}{c} CH-CH \\ \quad \\ HC \quad C-Cl \\ \quad \\ CH=CH \end{array}$ (芳香族)
胺	氨基 $-NH_2$	甲胺 CH_3-NH_2
硝基化物	硝基 $-NO_2$	硝基苯 $\begin{array}{c} CH-CH \\ \quad \\ HC \quad C-NO_2 \\ \quad \\ CH=CH \end{array}$
磺酸	磺基 $-SO_3H$	苯磺酸 $\begin{array}{c} CH-CH \\ \quad \\ HC \quad C-SO_3H \\ \quad \\ CH=CH \end{array}$

酸性(虽然强弱有所不同);均能与醇反应生成酯;核磁共振谱均有较大的值(10.5~12)等。由此可见,一定的官能团可以赋予分子一定的特性,不同的官能团则可导致物质性质的巨大差异。因此,我们只要知道了某种物质含有哪些官能团,即可推测出它所具有的基本性质;反之,也可以由物质的某些性质,推断出其分子内具有什么样的官能团。所以,这种以官能团进行有机化合物的分类,会给化学研究工作带来很大方便,提高有效性。

四、化学试剂的分类

化学试剂作为检验各种化学物质的质量标准,是一种重要的实际应用的化学物质。通常是把它们分为无机化学试剂、有机化学试剂和生化试剂三大类。

1. 无机化学试剂通常有两种不同分类标准。

其一是按用途分类。苏联化学家库兹涅佐夫在其所著的《化学试剂与制剂手册》中,从分析的角度出发,把无机试剂分为4大类:(1)用作溶剂的试剂,包括各种酸类、碱类及各种不同的“熔合物质”,如焦硫酸盐、碱金

属的碳酸盐、氟化物等；(2) 分离试剂，有沉淀试剂、提取溶剂等，如硫化物、碳酸盐、氢氧化物……；(3) 用于检验的试剂，如氧化剂、还原剂、基准物质、用于分析中的各种试剂等；(4) 辅助试剂，如络合物的形成剂、用作缓冲溶液的试剂、指示剂等。随着科学技术的发展，无机试剂的用途越来越广，又出现了诸如电子工业试剂、仪器分析试剂、生化试剂等。

其二是按无机试剂的性质分类。把试剂分为金属、非金属、化合物。又把化合物分为氧化物、酸、碱、盐等。苏联 H. .克留乞尼科夫所著《无机合成手册》中把无机试剂分为 9 类：(1) 金属，如锌、铜等；(2) 非金属，如硼、硅等；(3) 氧化物，如氧化铁、二氧化钼等；(4) 氢化物，如氢化锂、氢化钙等；(5) 卤化物，如三氯化铁、四氯化硅等；(6) 含氧酸，如高氯酸、钨酸等；(7) 含氧酸盐，如硝酸钡、硫酸钠等；(8) 硫化物、氮化物、碳化物及与它们类似的二元化合物，如碳化钙、氮化镁、硫化汞、碘化铝等；(9) 络合物，如氯铂酸钾、三氟合锌酸钾等。

2. 有机试剂由于种类繁多、结构复杂、用途广泛，目前尚无统一的分类标准。常用的是按用途和反应机构两种分类法。

按用途分类时有机试剂可分为 2 类：(1) 分析试剂，是直接用于无机离子或化合物分析测定的试剂，即通常的有机试剂，诸如有机沉淀剂、共沉淀剂、萃取剂、显色剂、金属指示剂、络合剂、基准物质和在容量分析中配制操作溶液的有机试剂等；(2) 辅助试剂，包括用于溶解和萃取的有机溶剂、用于调节溶液 pH 值的缓冲剂，另外还有掩蔽剂、氧化-还原剂、凝聚剂、保护胶体和层析剂等。

按反应机构分类时，依据有机试剂与无机离子或化合物的反应类型不同，可以分为 4 类：(1) 形成正盐的试剂，包括有机酸、酸性化合物和有机碱，都能与无机离子形成电价结合的盐，其中羧酸、胂酸、膦酸、酸性硝基化合物（如 2, 4, 6-三硝基苯酚）常用作阳离子沉淀剂。有机碱则用作阴离子沉淀剂；(2) 中性络合剂，在反应过程中能与金属离子或化合物形成络合物，通常都是含氮杂环化合物和有机胺。此外还有中性磷酸酯，如磷酸三丁酯（TBP）；(3) 形成螯合盐的试剂，如 8-羟基喹啉；(4) 其它类型有机试剂。

3. 生化试剂主要有 4 类分类方法。

(1) 按生物体组织中所含有的或代谢过程中所产生的物质来分类。包括蛋白质、多肽、氨基酸及其衍生物、核酸、核苷酸及其衍生物、酶、辅酶、糖类、脂类及其衍生物、甾类和激素、生物碱、维生素、胆酸盐、植物生长调节物质和卟啉类及其衍生物等。

(2) 按在生物学研究中的用途和新技术的发展来分类。可分为电泳试剂、色谱试剂、离心分离试剂、免疫试剂、标记试剂、组织化学试剂、分子重组试剂、诱变剂和致癌物质、杀虫剂、培养基、缓冲剂、电镜试剂、蛋白质和核酸的沉淀剂、缩合剂、超滤膜、临床诊断试剂、抗氧化剂、染色剂、防霉剂、去垢剂和表面活性剂、生化标准品试剂和分离材料等。

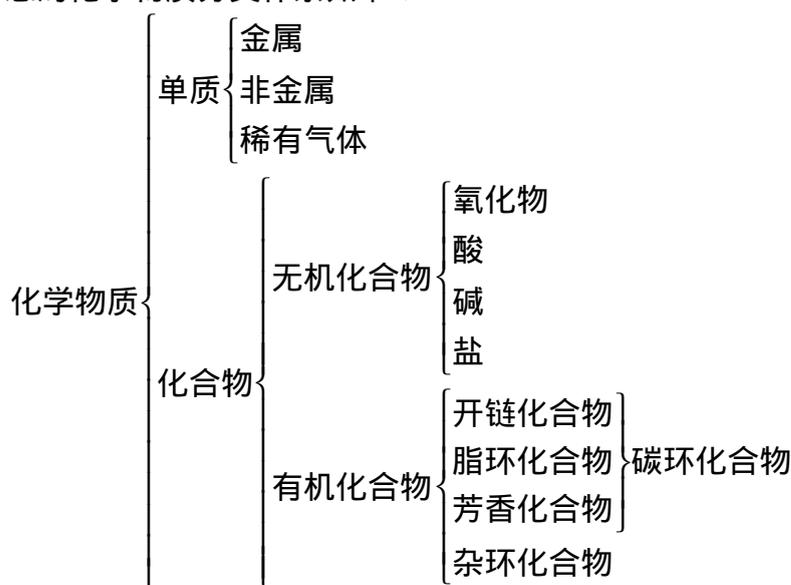
(3) 按生物体的物质特性作为研究生物体的工具来分类。如外源凝集素、血液分级部分、抗菌素、代谢和酶抑制剂、环磷酸化合物、免疫试剂和组织培养试剂等。

(4) 根据生物学中比较活跃领域中的一些新颖技术方法使用的试剂而分类，如亲和层析材料、发色基团酶底物、培养基、固定化酶、组蛋白等。

五、化学物质的多维分类

关于化学物质的分类，目前正随着化学的发展而不断进行新的尝试。近十年来，我国著名化学家、北京大学徐光宪教授正致力于探索一种新的化学物质分类法，即分子分类法或“多维分类”法。1982年，在中日美三国金属有机化学讨论会上，他提出了分子的 $(n \times c)$ 四维分类法及有关的七条结构规则。在新的分类法中，他提出了分子片的概念。分子片是处于原子和分子之间的一个中间层次的概念。例如无机化合物中的硫酸根 (SO_4^{2-}) 、碳酸根 (CO_3^{2-}) 等和有机化合物的官能团，都可视为分子片。每个分子片都由中心原子和配位体所组成。应用这种分子的分类方法，可以把数以百万计的各种有机的和无机的分子看作是各由若干分子片所组成。按照 $(n \times c)$ 四维分类法把所有的分子分成4大类型，即单片分子、双片分子、多片分子（含链式、环式、多环式和原子簇化合物）和复合分子（可看作是由链、环、簇的各种组合而成的复杂原子）等4大类型。组成这些分子的分子片又可以按它的价电子数的多少分为25类。对同一类分子片，还可以按其中心原子所属的周期不同进一步分类。这样，使用分子片的概念并运用四维分类法与结构规则，就可以把所有的分子进行分类。同时还可以由分子式去估算分子的结构类型，预见新的原子簇化合物和金属有机化合物，并探讨它们的反应性能等。

总的化学物质分类体系如下：



第三节 化学反应的分类

化学反应是化学运动的基本形式。化学反应虽然看起来复杂纷纭，令人眼花缭乱，然而只要掌握了其中的内在规律，就可以按照一定的标准，对无数的化学反应进行不同的分类。

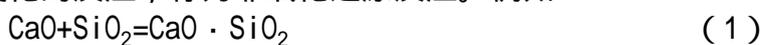
一、以反应形式进行的分类

是化学反应的最简单、最常用的分类形式。它把反应分为分解反应、化合反应、置换反应和复分解反应等。这是人们都很熟悉的分类。

二、以反应中电子得失进行的分类

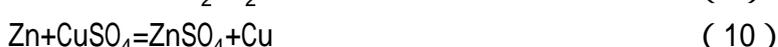
人们发现，如果从元素的化合价变化来分析，则上述四种基本类型的反应实际上只属于两大类，即氧化还原反应和非氧化还原反应。自从1897年发现电子后人们又进一步认识到，元素化合价的变化实质就是它们在反应过程中有无电子得失造成的。人们依此又进一步认识到：

1. 参加反应的物质各元素在反应前后都没有电子得失，即化合价均未发生变化的反应，称为非氧化还原反应。例如



由此可见，非氧化还原反应可以是化合反应，如反应(1)、(4)；也可以是分解反应，如反应(2)、(3)；还可以是复分解反应，如反应(5)。

2. 参加反应的物质中某些元素在反应前后失去或得到了电子，即其化合价发生了变化的反应，称为氧化还原反应。例如，

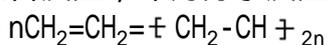


可见，氧化还原反应可以是化合反应如反应(6)、(8)和分解反应如反应(7)；也可以是置换反应如反应(9)、(10)、(11)；但氧化还原反应不包括复分解反应。

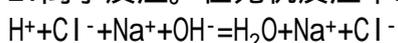
三、以反应中化学粒子特征进行的分类

化学反应可分为分子反应、离子反应和原子反应三大类。

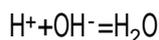
1. 分子反应。例如在有机化学中，由一些简单分子结合成比较大的分子的聚合反应，即为分子反应，例如乙烯可聚合为聚乙烯的反应。



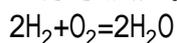
2. 离子反应。在无机反应中经常遇到，已为人们所熟知，例如：



或写成：



3. 原子反应。例如：



四、以反应中其它特征进行的分类

主要有以下几种分类：

1. 按化学反应的可逆性分类。可以分为可逆反应和不可逆反应。

2. 按化学反应的热效应分类。可以把所有的反应分为放热反应和吸热反应两大类。

3. 按反应机理的繁简程度与彼此间的关系分类。可以分成简单反应和复杂反应。对复杂反应又可按基元步骤间的关系不同，再分为平行反应、连续反应和对峙反应等。

4. 按反应物的性质分类。可分为无机反应、有机反应和生化反应等。

5. 按反应的动力学特性分类。可分为零级反应、一级反应、二级反应和多级反应等；另外，还可以把反应分成单分子反应、双分子反应和三分子反应。

6. 按引起化学反应的原因不同分类。可以把反应分为热化学反应、光化学反应以及核化学反应等。

7. 从反应物质所处状态不同进行分类。又可以分成气相反应、液相反应、固相反应和多相反应等。

由于分类的标准不同，化学反应可以进行多种多样的分类，以适应不同情况的需要，使复杂的化学反应知识系统化。

第四节 化学学科的分类

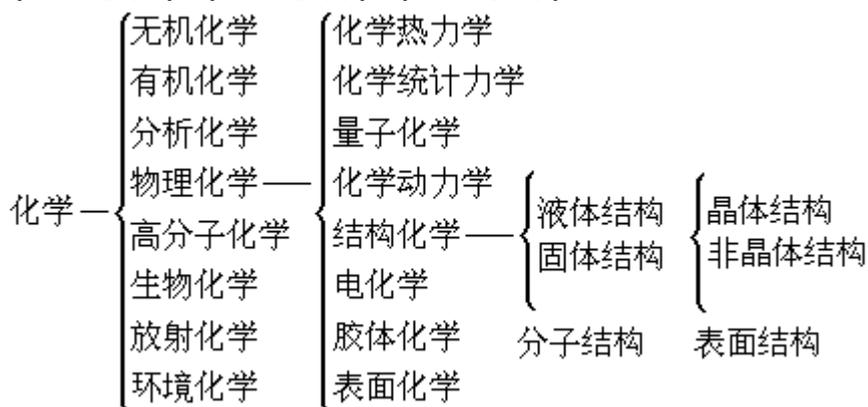
如果说化学作为一门独立的科学是从波义耳时代开始的，那么到了 19 世纪已有 200 多年历史。那时，人们已经能够把化学分为无机化学、有机化学、分析化学和物理化学等四大门类。

到了 19 世纪末和 20 世纪初，由于物理学和化学的研究不断向微观领域深入，促使化学科学得到了飞速发展。其显著标志就是，各种化学分支学科如雨后春笋，相继诞生，例如高分子化学、核化学、现代结构化学、生物化学以及理论有机化学等。这些新学科又相互渗透，彼此交织，使已经形成的化学理论体系再次显得杂乱无序。这种状态吸引着人们不断地探索着新的分类体系。近几十年来，国内外学者对此进行了不同的分类尝试，然而至今尚各言其说，未获统一。

一、传统分类的方法

如果按照传统的分类方法，根据一级学科、二级学科和三级学科的层次进行分类，则可得到如下的学科体系：

(一级学科) (二级学科) (三级学科)



在上述分类中，所列出的二级学科和三级学科，其中的每一学科都还可以再继续进行分类，例如无机化学、有机化学都可以再分。依此类推，如此下去就可以得到犹如树枝般的庞大的化学学科体系。所以，人们把这种分类方法称为树枝式分类法。

二、现代分类的尝试

近几年来，美国化学家戴维·琼斯就现代化学的分类又提出了新方案。他将整个化学科学分为五大领域：

- (1) 构成化学；
- (2) 反应化学；
- (3) 物理化学；
- (4) 理论化学；
- (5) 应用化学。

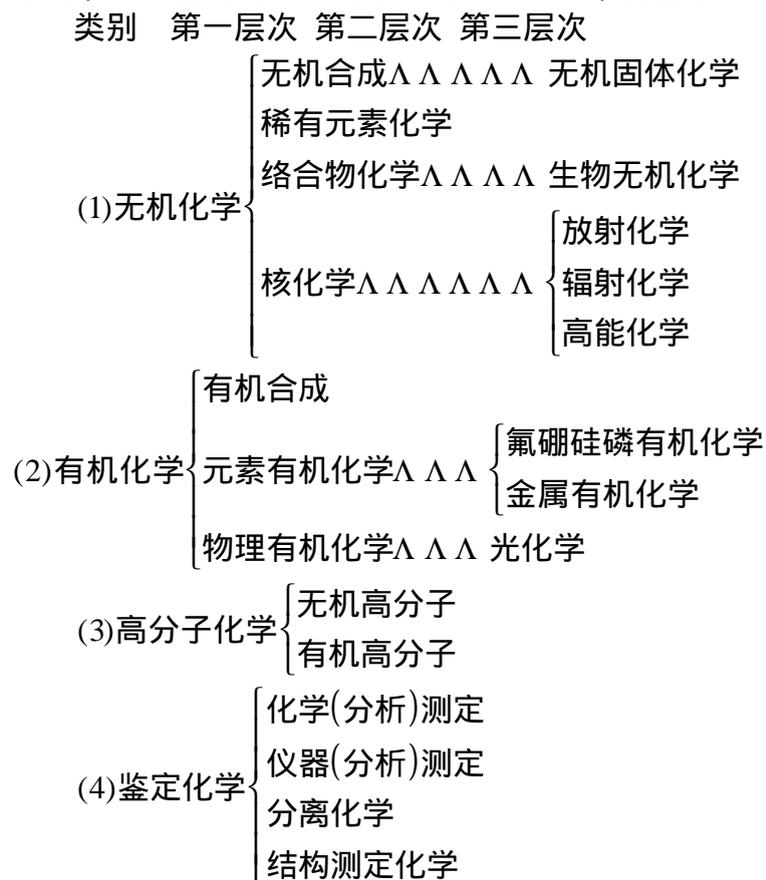
琼斯认为，构成化学主要是研究化学物质的组成、结构和性能，包含了以往结构化学和分析化学的研究内容。如果其研究对象是纯物质，那么构成化学实质上就是结构化学，其任务是找出分子中原子的类型和空间排列，以及化学键的种类；如果其研究对象是混合物，实际上就是以往分析化学所研究的内容。他还认为，反应化学是一种制作新型物质的艺术，即：使原料在一定条件下进行反应，或者用各种能（如热、光、电等）来处理这些原料制取新物质。他提出，物理化学的任务则是寻求物质的物理性质同化学性质的关系，并揭示分子的接收能量的方式等；理论化学主要是阐释原子形成分子

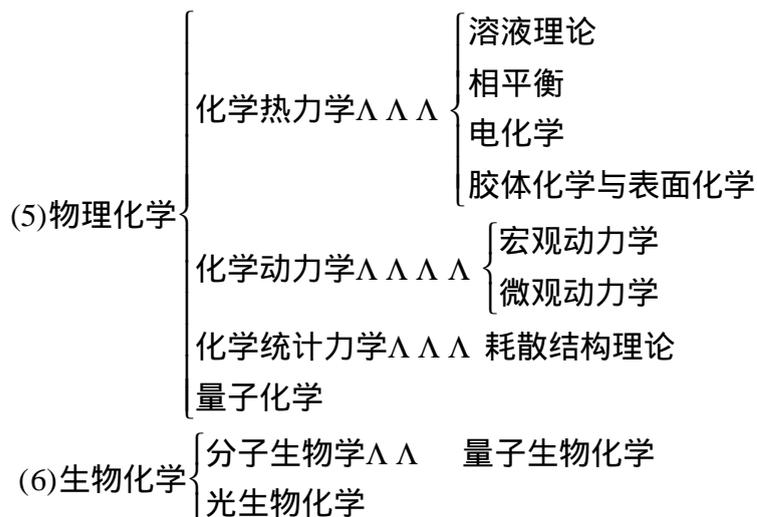
的机制，分子之所以具有某些结构、化学键、能级和反应性能的原因等；应用化学是利用上述四种学科的知识，使原料发生化学作用，制成人们需要的物质。

此外，还对化学科学做了其它不同的分类。例如，同样是把化学分作五大类，然而具体内容却有很大差异，如分为：(1)分析化学，(2)合成化学，(3)结构与性能化学，(4)化学动力学，(5)理论化学(量子化学)。而美国《化学文摘》则分为(1)生物化学，(2)有机化学，(3)大分子化学，(4)应用化学，(5)物理化学及分析化学等五大类。还有日本《科技文献速报》则分为(1)物理化学，(2)分析化学，(3)无机化学，(4)有机化学，(5)高分子化学等五大类。

还有一些学者把化学分成了更多分支学科，例如分成六大类：(1)结构、性能与鉴定化学，(2)合成化学，(3)化学动力学，(4)液态、固态与表面化学，(5)理论化学，(6)核化学。还有人分成八大类：(1)结构、性能与鉴定化学，(2)合成化学，(3)化学动力学，(4)液态、固态与表面化学，(5)理论化学，(6)核化学，(7)仪器化学，(8)热力学。

山西大学张家治教授于1983年提出了一个多层次的化学分类系统。他坚持以物质运动形式作为科学分类的基础，并依据分类的连续性原则和发展性原则，对以往的化学分类进行扬弃与综合，提出了下列分类系统：





表中的宇宙化学、地球化学和海洋化学是与化学的六大类直接相关的综合性化学学科。它们在分类时既不能同左边的六大类并列，也不能划归到六大类的某一层级。它们是纵贯于六大类学科中的综合学科，所以把它们单独排在分类系统表的右侧。

上述不同的化学学科分类表明，国内外化学界都在努力寻求一个合理的分类方案，以便对化学科学体系能有一个更系统、更深入的认识。

我国著名化学家、北京大学徐光宪教授曾经指出，正确运用化学分类方法进行合理分类，还可以促进新学科的形成。例如化学中使用萃取方法虽然已有 100 多年的历史，但其真正的发展是在 20 世纪的 40 年代。当时，由于发展原子能要求高纯度的铀元素，才促进了萃取方法的迅速发展。后来，人们又通过对越来越复杂的萃取体系进行正确的分类才在 50~60 年代形成了新兴分支学科萃取化学。这说明，对某些化学研究的内容不断地进行正确分类，深入研究，就可以促进新学科的形成。又如，人们对络合物进行分类，把它们分为 Werner 型络合物和非 Werner 型络合物，进而再把 werner 型络合物分为多核络合物和原子簇等等，从而能够对络合物进行分门别类的深入研究，进而促成了络合物化学分支学科的形成。

第五节 化学发现的分类

人类在认识自然界化学运动规律的过程中不断有所发现和发明。但是，应当怎样系统地、有效地认识越来越多的化学发现和发明？这就需要对化学发现和发明进行分类研究。为此，不少化学家正在不断进行探索，例如苏联著名化学哲学家凯德洛夫就曾做出了杰出贡献。我国学者也做了不少工作，例如对化学元素发现进行的分类等等。

通常认为，可以把化学发现分为两大类。第一类是依照正常认识进程得到的发现（以字母 N 表示）；第二类是依照非正常认识过程得到的发现（用 \bar{N} 表示）。

一、常规认识进程的发现

这一类化学发现又可以分为经验性发现（E）和理论性发现（T）。

经验性发现，是指查明新化学事实的发现，或尚没有能够对它进行理论解释的新发现，例如，1896 年贝克勒耳偶然发现的放射现象等。

理论性发现（T）则比较复杂一些。它可以分成四种类型。（1） T_1 代表一般归纳总结的发现，是利用逻辑归纳法对经验性材料进行的简单理论总结。例如 18 世纪拉瓦锡运用归纳方法中的求同法总结出燃烧和呼吸离不开氧气的规律，用差异法归纳出“无氧则物质不能燃烧”和“无氧则生物不能呼吸而窒息死亡”的结论等；（2） T_2 表示综合性理论总结的发现，例如 1869 年元素周期律的发现，是门捷列夫对他从事的同晶现象、比容、原子价以及原子量之间的关系等四个不同方面的研究成果进行理论综合后诞生的。又如人们进而把门捷列夫周期律同 19 世纪末物理学家发现的伦琴射线及放射现象联系起来后，由于把不同领域的知识加以理论融合，从而发现了位移定律和原子序数，进一步揭示了周期律的本质；（3） T_3 是理论解释的发现，主要是对观察和实验所得到的化学现象的本质的推测。最初是以假说的形式出现的，后来经过实验检验而转化为定律或理论。这些假说可能是对某些过去已发现事实的解释，例如 1902 年卢瑟福和索弟由于对 1896 年发现的放射现象解释而提出了化学元素蜕变，从而推论出衰变的第一定律，等等；（4） T_4 是以理论预见的验证结果出现的，这种发现有的是对理论预见的直接验证，有的则是通过对其演绎结论的证实。前者如 1894 年瑞利和拉姆塞预见了过去凯文迪什发现的大气氮和化学氮存在密度差的原因，是由于空气中含有一个比氮密度大的未知元素。他们正是在检验这种预见时从实验中发现了氩。又如 1897 年玛丽·居里预见放射性元素的存在，经过研究后，果真在 1898 年发现了镭。后者如门捷列夫在周期表中预见某些元素的存在，后来通过实验，果然被一一发现，从而证实了预见的正确性。

二、非常规认识进程的发现

这一类化学发现（ \bar{N} ）都具有理论性质。它们是在克服了认识真理进程中出现的障碍而获得的。由于障碍不同，这一类化学发现又可以分为以下几类：

（1）T 是克服一般障碍作出的发现，包括克服保守思想作出的发现，

[苏]B.M.凯德洛夫：《化学史上科学发现的分类》。

唐敖庆等：《化学哲学基础》，科学出版社，1986 年版，第 199—205 页。

7. 由于放射性现象的发现而导致的天然放射性元素的发现。从 1898 年居里夫人开始，先后发现了钋、镭、钷、铯、氡。

8. 由于研究原子结构而发现的元素有铷和铯。

9. 20 世纪以来由于运用核物理方法而导致的的人造元素的发现。先后制出了钨、钷、砒、钷、铊、钷、铯、钷、铯、钷、铯、钷、铯、钷、铯、钷、铯，以及尚未统一中文译名的 104 至 109 号元素。

综上所述，随着化学科学的不断发展，化学科学体系的日益庞大复杂，化学分类的必要性也在逐步增强。可见，如何进行化学分类是人们在研究和学习化学进程中极其重要的一环。

第七章 化学概念论

科学奠基于概念，科学所追求的是概念的最大的敏锐性和明晰性，科学革命是概念的变值。列宁在分析自然科学中的最新革命时指出，物理学在自己的发展中经历着这种变革，不是指新知识对旧知识的简单补充，而是从根本上重新考察早已确立的基本概念。瓦托夫斯基把科学哲学的任务规定为对科学概念和科学概念框架的系统研究。

在科学理论中，概念并不是彼此不相干的零星碎片。概念单独存在时难以显示出作用，只有在同表达客观现实的其它概念的相互联系中，才能更好地显示出自己作为关于客体的思想规定的特定意义，才能被更深刻的理解。概念也只有在一一定的概念系统内，在与其它概念的联系中，才能更有效地发挥独特的功能。概念之间的相互联系，形成概念框架和概念网络。

随着科学的发展，处于一定的概念框架中的各种概念加强了科学性，同时显示出彼此之间严密的概念逻辑关联。由这些概念集合而形成的概念系统可以产生一定的群体效应，使学科的研究更加达到理论化、整体化和系统化的程度，从而有效地指导科学实践。本文把这样的概念系统称为概念群。

[美]G.Holton：《物理科学的概念与理论导论》上册，张大卫译，人民教育出版社，1981年版，第256页。

爱因斯坦：《爱因斯坦文集》第1卷，许良英等编译，商务印书馆，1976年版，第296页。

库恩：《科学革命的结构》，李宝恒等译，上海科学技术出版社，1980年版，第84页。

瓦托夫斯基：《科学思想的概念基础——科学哲学导论》，范岱年等译，求实出版社，1982年，第6页。

第一节 概念群

概念群是指以某一基本概念为核心而形成的、相对稳定的、具有内在结构的概念系统。

首先，概念群不同于库恩的“范式”。概念群只是反映某一学科概况的基本概念及其它重要概念的集体；而范式则具有更复杂得多的内涵，不仅与基本概念、研究方法与条件有关，还包含心理学因素和社会学因素。其次，也不能把概念群与科学理论混为一谈。某一科学理论是由科学概念及其相互关系所构成的相对封闭的静态结构；而一个特定时期的科学概念群是同时期各种科学理论（属于同一学科）所含有的基本概念及其它重要概念的有机的、动态的集合。最后，概念群并不能与G·格汀的“概念框架”划等号，因为概念群比“概念框架”的内涵更加丰富。概念框架是指那些最根本的概念的结构，概念群不仅包容概念框架，并且容纳了由概念框架的扩展与综合所派生的众多亚概念群体。

一、概念群与主导概念

科学概念群的形成不是指一个又一个孤立的个体概念的突现，而是指一系列相关的概念的相继涌现。这些概念处于同一个概念框架中。概念群中的个体概念具有某些共同特征，并且相互支持。

在每一个概念群中都有一个核心概念发挥主导作用。这个概念叫做主导概念。主导概念制约着其它概念的提出。围绕不同的主导概念会形成不同的概念群。主导概念的变革和发展可以促使相应的学科达到一个崭新的境界。

二、概念群的相对稳定性

概念群一旦形成就有某种稳定性。这种稳定性是该学科理论体系相对稳定的根据。一个概念群不会因为它不能同少数经验事实相协调就被抛弃。概念群的形成直接或间接地决定了科学家的选题，影响着他们的思维方式，以致于当一种新现象孕育着新概念时，不少科学家还在固守原有概念群的传统，试图把新现象和旧概念调合起来。

然而，概念群只是相对稳定的。概念群不断地被个体概念所充实并在发展到一定时期时就会发生某种质变，产生新的概念群。

三、概念群的结构层次性

概念群发展到一定时期，还会分化，形成亚级概念群、次级概念群等。概念群的分化是分支学科出现的前提。另一方面，亚概念群之间、相邻学科的概念群之间的交融会促使交叉学科的产生。科学的历史表明，不曾有一个概念绝对准确地被规定过，也没有一个概念群会永久占据科学的殿堂。科学中革命性飞跃的内因之一是概念群的变革所致。当然，概念群运动发展的表现形式是丰富多样的。

本章对化学概念将进行较为系统的考察。总的看，化学概念的发展大致上经历了四个阶段。与此相应，在化学史发展中也就形成了四组异质的化学概念群。

罗慧生：《西方科学哲学史纲》，天津人民出版社，1988年版，第272页。

在下面的论述中，为简便起见，常常把“化学概念群”简称为“概念群”，其余类推。

第二节 化学的前科学概念群

一、前科学概念群的形成

作为一门学问，化学是与人类历史一样悠久的。人们对自然界的构成、物质的性质和变化等问题的探究是渊远流长的。

在自然哲学里，对化学产生直接影响的有亚里士多德的“四元素说”，赫拉克利特的“火”，留基伯和德谟克利特的“原子说”等。它们为化学框架的建立给出了一些重要的支点。“四元素说”作为炼金术士所依据的信条延续了上千年。此外，亚里士多德提出的“化合”、“掺合”等概念也沿用甚久。在德谟克利特等人提出的原子概念的基础上，卢克莱修对原子的形态、性质及其运动进行了系统的阐述。

炼金术士们提出的一些名词和符号，曾经在古代形成了一个庞大复杂的名称体系，例如汞的名称就达 200 多个。这就导致化学研究的神秘化和化学资料的人为的复杂化。16 世纪，帕拉塞斯提出了“三要素”（盐素、硫素和汞素）的概念，以解释各种事物的化学变化现象。

总的来看，在 16 世纪中叶以前，化学经验知识的积累是缓慢的。那时化学知识的特点是让经验材料迎合自然哲学的框架。自然哲学思想作为化学的早期思想基础已有 2000 多年，大大阻碍了对化学运动本质的了解。

17 世纪，原子说和微粒说逐渐复活，炼金术渐渐衰亡。英国化学家波义耳指出，自然界的所有物体都是由最简单的物质——元素构成的。他于 1661 年在《怀疑派化学家》一书中，给出了第一个独立的化学概念“元素”。但是，波义耳没有能够举出适合这一定义的元素。况且，他的元素概念是以“微粒哲学”为基础的。“微粒哲学”那种过于简单的、机械的模型，不足以解释纷纭复杂的化学现象。这样波义耳等人使化学条理化的最初尝试并没有取得完全的成功。

通过对 16 世纪中叶以前的化学观念及波义耳时期化学概念的历史分析，可以看出，早期的这些化学观念和概念只是孤立地出现，概念之间没有形成一定的逻辑关联；还没有出现明确的主导概念；这些概念没有能够形成一个严密的科学概念系统，并使化学从生产实践和自然哲学中完全独立出来。我们把这样的概念聚集体称为前科学概念群。

二、前科学概念群的特点

前科学概念群的概念对现象的解释不过是为了符合人们的直观认识，并且用猜测和思辨来弥补直观材料的不足。因此反映同一客体的概念之间彼此无关。另一方面，自然哲学术语被用来概括所有的自然现象，从而排除了各学科研究对象之间的差异性。总之，前科学概念的共同特征就是直观性、思辨性和含糊性。

但是，应该看到，前科学概念群是前科学时期人类进行科学认识活动必不可少的手段，也是学科萌芽的基础之一。

第三节 化学的初级理性概念群

一、非科学概念群的形成

前科学概念群的形成，使化学逐渐冲破了经验常识的局限和神秘主义的框架。但是，由于它本身的前科学的局限性，就使得当时整个化学领域的状况仍然显得很混乱。直到18世纪科学的化学概念群的产生，这一混乱局面才得以结束。

在前科学概念群向科学概念群转换过程中，出现了一个具有严密结构和主导概念的非科学的概念群，这就是第一个能够统一地解释化学现象的概念群——燃素概念群。

1703年，斯塔耳用“燃素”代替了波义耳的“火微粒”和贝歇尔的“油土”。以燃素概念为主导，其它化学概念在燃素说的框架内产生了，如脱燃素空气、燃素化空气等。这些概念彼此发生了关联，不再像一般前科学概念群的个体概念那样彼此孤立。燃素概念群能够解释金属煅烧、金属溶于酸和金属的置换反应等当时已知的许多化学现象，并引导人们继续深入研究物质的性质和反应过程。

然而，燃素本身并没有被确证。它成了火、热、光等现象的代名词。人们无法找到独立存在的燃素。燃素这一主导概念成了一种不能直接感知，也不能用理性把握的非物质实体。这个概念背离了客观物质存在和运动的本性，无法对金属煅烧和有机物的燃烧进行统一的解释。燃素论拥护者提出的燃素具有负重量的观点不仅无法弥补这一缺陷，反而使燃素概念群矛盾加剧。燃素概念群还影响着当时人们的思考方式，使得普利斯特利等人尽心致力于燃素的发现，把具有开创性的发现归结到燃素概念上，从而失去了发现氧气的优先权。

二、科学概念群的建立

1777年，法国化学家拉瓦锡发起了化学史上第一场伟大的革命，彻底否定了“燃素”概念，变革了燃素概念群，建立了化学史上第一个科学的概念群。

拉瓦锡在提出氧化学说的同时，还对元素重新下了定义。此定义在以后的100年内一直被化学界所采用。他以氧化说为基础，以元素（单质）——氧元素为中心，赋予酸、碱、盐等概念以新的含义，同时提出了一系列新概念。例如，他提出的“基”概念是随着主导概念涌现出来的全新的概念，为有机化学概念群引入了新的“晶种”。他还用金属氧化物代替金属灰，氧化锌代替了锌白，硫酸代替了矾油，酸素代替了“脱燃素空气”，氮气代替了“浊气”，等等。这些新概念相互联系，统一在氧化说之下，形成了具有严密逻辑关联的、具有较大稳定性的科学概念群。科学概念群建立的意义远远超过了由燃烧问题所引起的这场革命本身的意义。从此，人们观察世界的化学观点发生了根本性的转变。

1787年，拉瓦锡等人出版了《化学命名法》，奠定了现代化学术语基础，也表明新的科学概念群被国际化学界所接受。这样，化学有了自己的专业语言，开始用科学概念构建本学科的理论体系。因此，化学的科学概念群的建立，是化学学科最后得以独立的标志之一。

由以上分析可知，拉瓦锡以后出现的化学概念，并不是彼此孤立地突现，而是彼此相继地涌现。个体概念间形成了一定的逻辑关联，并被统一在某个

理论之中，形成一个严密的概念群体。在这一过程中，明确的主导概念已经出现，它影响着其它概念的提出。以主导概念为中心的概念群，不仅对以往概念进行了重新审查修改，并且在概念框架内部又出现了许多内容和形式全新的概念。

三、初级理性概念群及其特点

拉瓦锡建立的科学概念群为科学理论定律的产生、学科的系统化和理论化奠定了坚实的基础。但是，从前科学概念群、燃素概念群发展而来的科学概念群过分强调经验基础，不仅排除了非经验性的化学思想，也排除了不能直接感知的化学理论假设。因此，这个阶段的概念群既难以对未知事物作出预见，也难以揭示出研究对象的内在本质，认识还处于初级理性阶段。因此这样的科学概念群可称为初级理性概念群。

初级理性概念群的概念是同具体事物和具体现象联系在一起的，反映了具体事物的多样性，因而可以明显地体现出概念的客观实在性。这些概念已具有明确的定义，不再像前科学概念群那样隐晦。它们是对实验事实的概括和说明，具有客体化、明晰性和可检验性等共同特征。

初级理性概念群统一地说明过去的经验，但尚未达到最大准确性的说明。这既表现了它的不完善性，又表明它有趋于完善的动力学倾向。

第四节 化学的高级理性概念群

一、19世纪化学概念群的变革

初级理性概念群对化学的研究对象作出了较为明确的规定，化学从此走上了独立发展的道路。到了19世纪，化学有了全面而巨大的进步，依据经验分析的化学概念群的变革是一个主要标志。它们日益理论化、系统化，并且达到了逻辑上的空前统一。

“原子”概念的提出距今已有2500年左右。然而只是在道尔顿的化学原子论产生以后，原子说才成为实证的科学学说。1803年，道尔顿用原子的运动来说明化学变化，并用形象化的符号来表征具体原子：（氧）、（氢）、（氮）等。1814年，贝采里乌斯用字母表示元素，化合物就用这些基本符号的组合来表示。概念的符号化，使化学开始成为一门具有严密逻辑体系的科学。阿佛加德罗在原子论的基础上，对“整个分子”（分子）和“元素分子”（原子）作了区分，给分子下了第一个科学的定义。

新的“原子”概念为质量守恒和定组成定律提供了简明而又令人信服的解释，导致了倍比定律的发现。随着原子概念的确立，一大批表示原子性质的概念（如原子量、化学键、原子价等）应运而生。显然，原子概念取代了单质（元素——氧元素）概念在化学中的主导地位。“一切科学基本上都是从物质的原子性这个概念为基础的。”

在无机化学领域，原子概念的提出使元素概念具体化了。另一个反映原子的量的规定的概念——原子量，是间接反应原子结构特征的一个重要概念。原子量概念的提出和原子量数值的测定，使人们发现了不同元素间联系的迹象，从而围绕原子量这一概念逐渐形成了周期律理论。1869年3月，俄国的门捷列夫在其论文“元素属性和原子量的关系”中阐述了元素周期律的基本观点。1871年他明确提出元素周期律，为化学奠定了一块重要的理论基石。原子-分子学说、元素周期律、酸碱理论等内容构成无机化学的主要部分，它们是对整个化学领域都有意义的化学概念和理论。原子、分子、单质、化合物、化学性质等等概念被统一在无机化学领域并且得到了理论说明。显然，在无机化学系统化的过程中，原子概念和原子量概念是举足轻重的。

1780年，贝格曼就提出划分无机物和有机物的标准。在贝采里乌斯撰写的化学教科书里，已经有了“有机化学”一词。但是，由于还没有认识到有机物和有机化学反应的本质，具体地说就是没有建立起有机化学概念群，有机化学难以成为一门系统的学科，甚至“有机化学”也没有获得确切的含义。

“生命力”概念曾经长期盘踞在有机化学中。直到1828年德国的维勒从无机物人工合成尿素，才动摇了“生命力”概念。此后，贝采里乌斯于1830年引进了“同分异构体”概念，1837年李比希和杜马提出了基团概念，在认识有机物组成方面迈出了重要一步。再后，1839年杜马用类型取代了基因概念；1843年日拉尔提出“同系列”概念；1842—1843年日拉尔和罗朗初步建立了有机物的分子概念；1859年凯库勒给出了有机化学的意义，再加上有机合成领域的一系列成就，至此“生命力”概念才终于销声匿迹了。同时，在化学原子概念确立的前提下，凯库勒提出了碳四价学说，1861年布特列洛夫给出了“化学结构”的明确定义，创立了有机化学结构理论。这样，有关的

化学现象和化学概念被纳入到该理论框架之中，有机化学有了一套完整的概念群。有机化学概念群是化学概念群发展到一定阶段后出现分化的产物，在化学概念群中处于亚层次地位，可称之为亚概念群。有机化学亚概念群的建立，标志着化学的一门分支学科——有机化学的独立。

18世纪中叶，“物理化学”一词就开始使用，但直到19世纪物理化学才得到系统发展。“电解”、“电泳”、“电解质”、“电极”、“离子”、“阳离子”、“阴离子”、“内能”、“熵”、“化学平衡”、“化学反应速度”、“活化分子”、“活化能”等概念和“质量作用定律”、“相律”等理论定律的相继涌现，又组成了一个新的亚概念群——物理化学亚概念群。它既反映了物理化学的产生和发展，也反映了物理学对化学的渗透。

二、高级理性概念群及其特点

19世纪涌现出来的化学概念中不少概念是随着理论定律一起出现的，如原子概念与质量守恒定律以及定组成定律，分子概念与阿佛加德罗定律，化学反应速度与质量作用定律，活化能与阿累尼乌斯定律等。概念间的逻辑关联和相互制约比较明显，并出现了亚概念群。亚概念群的产生，表明化学已进入“分支化”的发展阶段。

这一时期的概念群是学科理论的精华，也是学科达到成熟阶段的标志。它在抽象性、概括性和精确性等方面明显高于初级理性概念群。因此，这种理论化的概念群可以称为高级理性概念群。

高级理性概念群具有预见性、定量化、符号化的特征。预见性概念的出现，是一个学科充分发展的标志；定量化的概念则可以从量的规定去揭示客体的本质，为更深刻地把握客体的本质准备了条件；概念的符号化表明思维结构达到了综合水平。

第五节 化学的系统理性概念群

一、系统理性概念群的建立

19 世纪末 20 世纪初发生的物理学革命在整个科学领域里产生了巨大的冲击波，也丰富和发展了既定的化学概念。新概念数目剧增，并且都具有崭新的特征，很难被原有概念群同化。此时，对原有概念群的重新考察，预示了化学新世纪的到来。

20 世纪化学概念的更新和发展的显著特征之一就是，随着化学领域与物理学领域在原子研究层次的交汇，而使化学概念群与物理概念群相互融合。在此基础上，化学键概念不断变革和丰富起来。一方面，对化学键的本质认识越来越深入；另一方面，随着一系列新型化合物的合成，化学键的种类也日益增多。

具体地说，在 1898 年，汤姆逊用实验确认电子的存在。1913 年玻尔把普朗克的“量子”概念和卢瑟福的原子模型结合起来，提出了原子的“定态”概念，架起了经典物理学与现代物理学之间的第一座桥梁。1916 年柯塞尔和路易斯分别提出了原子价的电子理论，把化学键分为离子键和共价键，开始用电子的运动状态来说明化学键的本质。

在薛定谔、海森堡等人创立的量子力学理论的基础上，玻尔等人揭示了原子结构与元素周期律之间的关系；海特勒-伦敦给予氢分子中的化学键以崭新的量子力学解释。1928 年，鲍林提出“杂化轨道”概念，这个概念并没有相应的物质实体，而是一个数学处理过程。在鲍林看来，化学键不过是满足某些条件的杂化轨道之间的有效重叠。密立肯吸收了利纳德-琼斯、休克尔等人的思想，于 1932 年提出“分子轨道”概念，认为化学键就是在成键分子轨道中电子的运动效果。随着对化学键本质的深入了解，产生了一系列相关的概念，如键能、键长、键角、键的极性、饱和性和方向性、单键、双键、叁键、定域键与离域键、 π 键、 σ 键、共轭、超共轭等。相应地，化学结构概念也被重新理解，内容也更为丰富，各种同分异构现象的发现，构型和构象概念的提出，就表明了这一点。

在 20 世纪上半叶，已经发现化学键的三大类型：离子键、共价键（包括配位键）和金属键。50 年代以来，人们合成了许多新型的化合物。通过现代结构分析实验和量子化学理论计算，从中发现了一系列新型的化学键。早在 30 年代，斯托克（A·stock, 1876—1946）就建立了硼烷的合成方法。但是，关于硼烷分子中的化学键问题一直争论不休。在 1943—1947 年期间，隆格-希金斯等人提出了双电子桥式三中心键模型。后来，美国的李普斯科姆（W·N·Lipscomb, 1919—）肯定了三中心键这一新概念。1951 年，英国人保尔森（Pauson）和米勒（Miller）等人合成了二茂铁（ C_5H_5 ）₂Fe，通过分子轨道理论的分析 and X 射线晶体分析，提出了“ π -d 配位键”概念。60 年代以来，被合成和经结构鉴定具有 M-M 键（金属—金属键）的化合物越来越多，其中的金属元素一般都是过渡元素。许多实验事实表明，这些 M-M 键一般是多中心键。于是，金属原子簇这一全新概念应运而生。此外，作为无机化学和有机化学的中间地带的元素有机化学的发展使得某些无机化学亚概念群和有机化学亚概念群相互融合起来。

20 世纪化学概念群的更新和发展的显著特征之二就是，随着化学键概念的更新和丰富，有关化学键变化的概念也丰富和发展起来，表现在一系列新

型的化学反应的发现及其机理的研究以及各种化学反应理论的建立。

在有机合成领域中，发现了一系列化学反应的机理，诸如亲核加成，亲电加成、亲核取代、亲电取代、重排反应、周环反应等。链式反应的发现及其机理的研究，标志着现代化学动力学概念的重大突破。博登斯坦 (M. Bodenstein, 1871—1942) 于 1913 年提出链反应概念。由于朗格缪尔(催化吸附理论)、泰勒(活性中心理论)和不少苏联催化化学家的努力，各种各样的催化反应机理逐渐被人们所认识。50 年代以来，有人提出了催化现象的量子力学解释。普里戈金在对化学振荡反应研究的基础上，提出了“耗散结构”这一对当代科学产生重大影响的新概念。70 年代以来，由于光谱学、分子束和激光等技术的发明和应用以及大型电子计算机的推广使用，分子反应动力学成为化学领域中最富有成果的前沿之一。分子反应动力学从微观角度(或分子的量子态层次)探讨分子内或分子之间发生的化学反应的详细过程，提出了一系列崭新的概念，如态-态反应、选择性断键、微分反应截面和分子设计等。

另一方面，对化学反应的系统的理论解释也取得了注目的成就。1952 年，日本的福井谦一提出“前线轨道”概念，这个概念可以推广到整个化学反应领域，并从对物质结构的静态描述转向对反应过程的动态探究。1965 年，伍德瓦德-霍夫曼提出“轨道对称性守恒”概念，使人们对化学反应规律的认识又前进了一步。70 年代以来，化学反应的轨道拓扑学研究也取得不少丰硕成果。显然，现代化学概念是向着微观探究、动态分析和数学化的方向发展的。

上述诸概念，在很大程度上，都是通过化学键及其变化来揭示物质的化学运动。可以这样认为，化学键概念一跃成为 20 世纪化学的主导概念。化学键概念自身的变迁，反映了化学概念的不断更新。在这一时期，个体概念以互相连接的形式涌现，概念群也以相互交融的方式产生(如量子化学亚概念群)。在深度上，随着化学键概念的深化以及化学反应机理的揭示，概念群继续分化；在广度上，在各亚概念群的交汇点上或者在概念群与其它学科概念群的渗透中又有新质的亚概念群(如元素有机化学亚概念群、生物化学亚概念群等)出现。各亚概念群的交汇是交叉学科和边缘学科产生的标志。它们使化学进入了既分化又综合的时期。因此，这一概念群称为系统理性概念群。

二、系统理性概念群的特点

系统理性概念群的概念可以根据模型化的理论进行推导，或者通过数理方程的求解而获得。因此，对经验事实和实验现象的直接概括，并不是新概念产生的唯一途径。直观性原则受到了冲击。抽象的数学方法使概念群得到了更加精确的规定，也促进了演绎化程度较高的严密系统的学科的建立。

新概念的内容是它本身与背景知识中的其余概念关系的总和。每一个概念都凝结着相应的某个理论系统中关于该概念所反映对象的全部知识。非直观性、数学化、系统化是系统理论性概念群的重要特征。系统理性概念群的建立展示了整个学科的广阔前景。

然而，不能把化学的发展仅仅归结于量子力学的发展，化学概念的突破点还有待于进一步探明。要实现化学的更大进步，在对现有概念的处理方面，

就应“用另一些离直接经验领域较远的概念来代替这概念。”这就只能“通过找出作为类推的基本概念而起作用的新的有效的理论概念以及它所驱使的量子力学的理论语言来实现。”所以，主导概念的建立和新概念群对原有概念群的更替是学科发展的主要内因之一。

综上所述，在学科发展的历史进程中，有不同质的概念群的出现，它们反映了具体学科在不同时期的认识水平。从对客体非本质特性反映的前科学概念群到对客体本质属性反映的科学概念群的转变，是一场深刻的化学革命。科学概念群具有不同水平的表现形态，既有简明的、实体化的初级理性概念群，也有预见力强、符号化、定量化的高级理性概念群。随着对化学对象的研究越来越深入，化学概念越来越难以归结为某种物质实体及其运动的直观的东西。系统理性概念群的建立使化学进入整体和数学化的崭新的发展阶段。因此，把概念群作为科学知识发展的基本结构要素，从历史-逻辑相统一的原则出发，探索科学发展的内在规律，探索科学史上理性要素的增长和科学方法演化的一般规律，对于科学方法论研究、科学哲学的研究尤其是化学科学本身的发展都具有重要的意义。

附：化学概念群的演化表

《爱因斯坦文集》，第1集，许良英译，商务印书馆，1976年版，第225页。

[日]福井谦一：《化学反应与电子轨道》，李荣森译，科学出版社，1985年版，第14页。

类别	时期、主要贡献者	个体概念举例	主导概念	概念间关系	特征	效应	备注
前科学概念群	18世纪以前 亚里士多德、德谟克利特、帕拉塞斯、波义耳等	四元素说、原子、三要素、掺合.....	/	个体孤立	直观性、思辨性、含糊性	学科萌芽	在前科学概念群和初级理性概念群之间有非科学的概念群
初级理性概念群	18世纪拉瓦锡等	元素、单质、化合物、氧化、还原.....	单质(元素)	个体相联	实体化、明晰性、可检验性	学科独立	
高级理性概念群	19世纪道尔顿、阿佛加德罗、凯库勒、布特列洛夫等	原子、原子量、分子、化学键、原子价、化学结构.....	原子	群体分化	预见性符号化、量化	学科成熟	
系统理性概念群	20世纪薛定谔、鲍林、密立肯、福井谦一、李远哲等	化学键、原子轨道、分子轨道、杂化轨道、前线轨道态-态反应.....	化学键	群体分化与综合	非直观性、数学化、系统化	学科精密	

第八章 化学结构论

物质结构、天体演化和生命起源是当代科学的三大前沿领域，而这三个领域的研究进展，都离不开对物质结构的深入认识。在人们对物质结构的认识过程中，物质的化学结构是首先被认识得比较透彻的领域，在 19 世纪的化学中已经形成了比较完整的化学结构理论和概念。本世纪以来，人们对化学结构的认识又有了一系列新的进步。物质化学结构的研究，对于化合物的合成和新化合物的发现是至关重要的。因此，对物质化学结构的认识，不仅能有力地推动化学理论的发展，而且也能有力地推动化学工业的发展。结构观念今天已经深入到各个学科领域，包括数学、物理学、生物学、心理学、语言学、社会学等学科领域。它们无一不把结构作为一个基本概念和范畴，以至在哲学中也出现了结构主义哲学流派。结构概念在当代已经具有了全方位的哲学意义。因此深入考察化学结构这一概念的历史演变，分析这一概念的横向影响，揭示其认识论和方法论的重要意义，不仅对于化学科学，而且于整个科学技术以至哲学社会科学都是一项具有重要价值的工作。

第一节 化学结构概念的演化

从形成经典化学结构概念到向现代化学结构概念过渡的演化，经历了一个漫长的历史过程。

一、经典化学结构概念的提出

面对五彩缤纷、千变万化的物质世界，古人曾直观地猜测自然界是一个以“性质”为本原的世界，直到近代自然科学兴起后，由于制定了经验分析的化学元素概念才使物质组成和性质关系的观念顺转过来。从此，化学走上了分析物质组成，并用组成来解释物质性质的正确发展道路。此后，到 19 世纪初，经过道尔顿的工作，科学的原子论终于在化学领域首先得以建立，并通过原子论把元素和原子概念统一起来。化学组成被明确为是由坚硬的、可称量的物质微粒所构成的一种关系。于是，进一步认识这些微粒之间的关系便有了现实的紧迫性，从而预示了化学家由分析物质的化学组成向认识化学结构阶段的转变。

随后，由于同分异构现象的发现和电化二元论所遇到的困难，就更加直接地促进了这种转变。前者使化学家们认识到同分异构体是“由相同数目的原子所构成，但原子的排列方式不同，因而具有不同的化学性质。”后者则是为了克服二元论的不足而提出了取代学说，一元论和类型论。日拉尔在 19 世纪 50 年代初把类型论系统化了。他把化合物看作是一个整体，并尝试对有机化合物进行分类，从而使庞杂的有机物初步显示了一定的条理性，也导致了元素、当量、原子和分子等概念的日益明确。

这一时期，弗兰克兰提出了元素的原子价的思想，随后又提出了化学键的思想。他认为，通过原子价的研究，可以使一元论和二元论融合起来。凯库勒和库柏发展了弗兰克兰的见解。他们大致在同时独立地发现了碳是四价元素，并可以彼此连接起来。凯库勒 1858 年开始使用化合物“构造”（Constitution）的概念，但他实际上只看重化合物中原子的位置排列。不过，库柏却引伸出了原子结合定律，看重原子之间的相互结合。

此后布特列洛夫随即于 1861 年首先使用了如下意义的化学结构的概念：“假定一个化学原子具有一定的和有限的化学力（亲和力），化学原子借助这种力来参加形成物质，那么，我拟将这种化学结合或（这种）原子间相互结合成复杂化合物的能力，称为化学结构。”他看重化学结构中的相互作用方面，并强调了结构和性质之间的联系：通过物质性质可以了解物质结构；而结构决定性质，知道了结构可以又预测性质。

在那个时代，元素的原子被认为是物质的最终微粒。因此，化学结构概念就具有了深层的物质基本结构的意义，化学结构几乎也就是物质结构的同义语。这样，经典化学结构概念的确立，就从根本上革新了人们的物质观，从而影响了各个科学领域，以致人们的思维方式。化学家已可以声称：“无论什么物质，只要知道它的化学结构，就可以按它的成分构造出来。”经典结构观念，最终将有力地推动化学化工的进步，从而对人们的生活方式也产

肖莱马：《有机化学的产生和发展》，科学出版社，1978 年版，第 94—95 页。

G.V.Bykov, Butlerov: Dictionary of Scientific Biography (ed. by C.C.Gillispie), Charles Scribner's Sons, New York, V.2, P.621.

恩格斯：《反杜林论》，人民出版社，1970 年版，第 331 页。

生了重要的影响。

二、现代化学结构概念基础的形成

在经典化学结构观念中凯库勒侧重于化学结构的几何因素，而布特列洛夫则侧重于化学结构中的相互作用。他们代表了两种不同的结构观。这实际上反映了化学领域中关于结构研究的两种传统和方法。前者在晶体化合物的研究中多有反映；后者则在几乎和化学一样历史悠久的化学亲和力（包括后来的电化二元论、原子价和化学键）的认识过程中得到了鲜明反映。然而，随着化学的发展就开始出现了两种传统和方法相结合的趋向。

1874年范特霍夫发现了不对称原子和光学异构体，提出了碳原子价键的空间构型的思想。由此，他在1887年写道：“从原子在分子中相互连系方式的概念到原子相对位置问题，仅须走一步路。”但这是极为重要的一步路。它标志着人们对结构概念认识的深化，即化学结构概念不仅包括了原子间的相互作用，而且也包括相互作用与几何因素之间具有的内在联系。

到19世纪末，化学家已经能够阐明一些很复杂的天然有机化合物的结构，并且尝试按照一定结构合成出为数不少的前所未有的物质。到了20世纪初，人们开始初步揭示了原子结构，力图从电子结构来阐明化学键，从而对化学结构给予统一的说明，推动了经典化学结构理论向现代化学结构理论的过渡。1913年玻尔的原子模型指出，原子的最外层的电子决定着元素的化学性质。这就使得科学家们很快运用电子来解释原子价和化学键，其重要成果就是柯塞尔和路易斯的原子价电子理论。柯塞尔用离子概念解释了电价键，而路易斯则用电子对解释了共价键。这就使得经典化学结构式中的“短线”具有了一定的物理意义，丰富了化学结构概念的内容。

但是，原子价电子理论的物理基础还不够坚实，物理学的“动力学”原子模型与化学的“静力学”原子模型的矛盾还十分尖锐。这个矛盾，只有在量子力学建立以后才得以解决。只有解决了这个矛盾，才能建立起现代的化学结构理论。

第二节 现代化学结构概念

现代化学结构理论的进展，显示出其内在的统一性，从而更深刻地揭示了化学结构概念的实质。

一、现代化学结构理论的形成

现代化学结构理论的进展，是与化学键理论的进展密切联系的。现代结构理论的统一，也是与化学键理论的统一密切相联系的。

1927年，海特勒(Heitler)和伦敦(London)成功地运用量子力学方程讨论了氢分子的核—电子相互作用体系，初步解释了化学键的本质：氢分子中的两个氢原子成键是由于电子密度分布集中在两个原子核之间，使体系能量降低。这种电子密度的分布在两个原子核之间的密集就是化学键。在此基础上，现代化学键理论相继形成了价键理论、分子轨道理论和配位场理论等三种理论。

价键理论形象直观，较多地继承了经典化学结构理论的传统。它在海特勒-伦敦的工作的基础上首先得到迅速发展，并开始占有统治地位。特别是鲍林等人提出的共振论和杂化轨道理论，为价键理论的发展作出了很大贡献。但价键理论在解释诸如共轭分子结构等问题时遇到了困难，同时在计算上也很复杂。于是，分子轨道理论逐步引起了人们的重视。

分子轨道理论是由密立肯(Mulliken)等人于30年代初提出来的。它着眼于分子整体，认为分子中的电子属于分子整体而不属于某个特定原子。该理论虽然与原子价电子理论的观点相差甚远，但它能解决许多新的问题，阐明许多新的现象，而且计算较为简便，到50年代后就逐步占据了主导地位。目前，绝大多数关于分子结构的定量计算都是运用分子轨道方法进行的。

与此同时，为讨论络合物的化学键问题，1929年由贝特(Bethe)和范弗雷克(Van Vlack)提出了晶体场理论。它在50年代经过欧格耳(Orge)的工作，重新受到了重视，且与分子轨道理论相结合，形成了配位场理论。

现代化学键理论的三大理论基础的形成，量子化学取得的成就，反映了人们对于化学结构的认识已经深入到电子水平。但是，在量子化学发展的初期，由于计算上的困难，量子化学所起的作用主要是提出新概念和定性解释，而对于化学结构研究的主要手段仍然是实验。直到50年代以后，由于电子计算机的发展，快速计算技术的应用，才使现代结构的研究迅速地由定性向定量发展，由描述向推理过渡。60年代计算化学的出现就是这种情况的标志之一。

以化学键研究为主导去认识化学结构，并不排除从另一方面，即从化合物的形状、几何因素方面去认识化学结构。在结晶化学中，人们即是侧重于考察晶体的形状以及晶体中化学组成的排列等几何因素，例如1927年提出的结晶化学定律是这样。后来鲍林提出的离子晶体的结构原则也有同工异曲之妙。立体化学也特别注重探讨分子的几何因素，即注意原子在分子中的空间位置，以及化学反应中分子内或分子间的原子组合的变化过程在空间上的要求条件。

从化学键方面对化学结构的探索，反映了侧重于研究化合物中原子之间

参见《有机化学》，1984年，第6期，第490—491页；1985年，第2期，第156—162页。

参见《自然辩证法研究通讯》，1965年，第3期，第15—25页。

的相互作用及其方式方面；而从立体化学和结晶化学方面对化学结构的探索，反映了侧重于研究化合物中的原子的空间分布方面，即化合物的形状和几何因素方面。它们构成了研究化学结构的两个相对独立又相互联系的一方面。但是，至今这两个侧面、两种方法的传统仍然存在。它们继续在相互联系、相互渗透中向前发展。例如当前关于化学结构的著作就有的是专门讨论“原子价”或“化学键”，有的则专门讨论“立体化学”或“结晶化学”。这也正是反映了这种情况。

但是，就总体方面看来，量子化学的发展还是日趋统一了人们对化学键本质的认识。因为现代化学不仅把化学键看成是化合物之所以能够稳定存在的本质原因，而且也看成是化学结构的根本内容。化学结构的几何因素和空间分布最终要从物质中原子间的相互作用及其方式——主要是化学键方面去说明。于是，这又在现代水平上统一了对化学结构的认识。

这里需要指出的是，这种新的统一仍然是不完善的。首先在于人们对化学键的认识尚不统一。目前已存在的各种化学键理论各有长短。化学键理论能否取得更完美的统一，是化学家正在致力于解决的问题。应当看到，富有哲理性的思维将有助于推动这一问题的解决。

二、现代化学结构概念的实质

化学所研究的物体有相对静止和显著变动两种状态。在相对静止状态中分子具有确定的组成和结构；在显著变动状态中分子的组成和结构发生变化，旧物体消亡而新物体诞生。前者为化学结构问题，后者为化学反应的问题。因此，化学科学对物质的探索具有化学结构和化学反应两个既相互区别又密切联系的方面。在人们探索化学结构的过程中，如果是侧重于研究物质分子中组成物的空间排列，则所获得的几何形状的认识，可以看作是对化学结构外在表现或化学结构形式的认识。如果是侧重于研究物质分子中组成物之间的相互作用及其方式，则所获得的关于化学键的认识，就可以看作是对化学结构内在本质内容的认识，从而可以说明物质分子之所以具备一定空间几何分布并能稳定存在的本质是什么，组成物之间是如何相互联系、相互作用的。因此，可以认为所谓化学结构就是化学结构的内容与形式两个方面的综合或统一。正如我国化学家徐光宪所指出，“分子结构通常有两个涵义：一是指分子的几何结构，即分子中的原子核在空间的排布，它们之间的相互距离和夹角。二是指分子中原子之间（或所有原子核和电子之间）的相互作用。”也如英国化学家柯尔逊所说，分子结构即指它的尺寸、形状和键的本性。”这些论断，都指出了我们所分析过的两个方面的因素，而且是从化合物处于相对静止状态的角度来说明化学结构的。

与此同时，还应当看到，同化学结构有密切关系的化学反应问题还包含着“反应物分子的价电子是通过怎样的过程在分子内或分子间重新组合而生成新的价键和变化成产物分子的”，以及“在这些反应的过程中分子内或分子间的原子重新组合，在空间上的要求条件和变化过程怎样”等方面的问题。这实质上是从化学物体处于显著变动状态的角度来说明了化学结构的，而它涉及的仍然是化学结构的内容和形式两个方面的因素。

化学结构自身具有内容和形式两个既相互联系又相互区别的方面。内容和形式的辩证法认为，任何事物都是内容和形式的统一体，内容决定形式，

形式反映内容，形式又相对独立于内容，对内容有能动的反作用。化学结构的情况正是这样。关于这一点，最好以实例加以说明。

在络合物（配位化合物）中，从化学结构的观点来看，中心离子的配位数多少取决于两个因素，一个是成键的电子因素，一个是几何因素。尤其在成共价键时，电子因素对配位数的影响往往占据主导地位，决定了可能的配位数，从而决定了配位化合物的形状。例如，在 $[\text{AlF}_6]^{-3}$ 中，中心离子采用 sp^3d^2 杂化轨道，配位数为6，它的形状是八面体。而在 $[\text{AlCl}_4]$ 和 $[\text{AlBr}_4]$ 中，中心离子采用 sp^3 杂化轨道，配位数为4，两者的形状都是四面体。电子因素主要是指中心离子与配位体之间的相互作用及其方式，即它们的化学键。这正是化学结构的内容。它决定了络合物的存在，同时也决定了配位数，制约了化合物的形状。而该络合物离子的形状则反映了其中的成键情况，即内容决定了形式，形式则反映了内容。

上例中，中心离子 Al^{3+} 与卤素离子 X^- 形成络合物离子时，可能有几种配位数。这里分别为6和4。由于电子因素的限制，它们的配位数一般不会是3个、5个或8个、10个。但是，就上述三种络离子来看，同一中心离子与结构相似、电荷相等的卤素离子之间，其相互作用及其方式应该是很相似的，即意味着它们之间的化学键应该是很接近的。那么，中心离子为什么会形成不同的杂化轨道，为什么会有不同的配位数？这正是几何因素的影响。配位体 F^- 、 Cl^- 和 Br^- 的半径依次为136pm、181pm和191pm，显然， Cl^- 的体积比 F^- 的体积大许多，而与 Br^- 的体积差不多，于是在中心离子 Al^{3+} 的周围就“挤不下”6个 Cl^- （或6个 Br^- ），而只能容纳4个 Cl^- （或4个 Br^- ）。配位体的尺寸（当然也与中心离子的尺寸有关）对于络合物中的化学成键、配位数的多少就产生了影响，即化合物中的几何因素、形状相对独立于其电子因素，而且制约了电子因素。这正是形式相对独立于内容，形式反作用于内容。上面的分析还表明了化学结构是内容和形式的统一。

由此可以看出，现代化学结构概念的实质是分子内部组成物之间的相互作用、作用方式及空间分布状况的总和。相互作用及其方式主要是以化学键表现的，空间分布是以分子的形状、尺寸和组成物的位置关系等几何因素表现的。由此我们也可以把化学结构更抽象地定义为分子内部组成的物质间相互作用的内容和形式的统一体。

第三节 化学结构与化学过程的统一

一、化学结构与化学过程的本质联系

总的说来，经典化学结构理论主要是把分子看作为静止的、孤立的东西，还没有关注到化学结构与化学反应过程之间的内在联系。现代化学结构理论则不但要研究它静态的结构，同时也要关注动态的反应和结构，结合动态的过程来阐明结构。这种把结构与过程统一考虑的思想，可以追溯到 19 世纪 60 年代。当时人们发现了“互变异构”等现象，从而引起了人们研究反应机理的兴趣，并成为联系化学过程来研究化学结构的先导。

另一方面，19 世纪末，阿累尼乌斯提出了活化能和活化分子两个概念，使化学结构理论与化学动力学开始建立了联系，启发人们在认识结构时也要考察能量和方向。上述两个概念，直到 20 世纪初一直是碰撞理论的重要概念，并成为过渡态理论的前导。过渡态理论是 30 年代初兴起的，这个理论仍然以有效碰撞作为化学反应发生的前提。过渡态理论认为反应物分子进行有效碰撞时，首先形成了过渡态的活化络合物或中间体；它既在一定程度上保持了原来反应物的结构，又同时表现了反应物的一定程度的反应行为。因此，“活化络合物既是结构又是过程，是结构特性和反应特性的统一。”

由于化学结构和化学过程的统一，就可以把立体化学分成为“静态立体化学”和“动态立体化学”。动态立体化学的任务就是要了解分子的反应能力、反应过程和过渡态的几何形状等方面的问题。此外，在 40—50 年代，应用量子化学方法建立的一些简化的反应模型，则可以通过各种结构参数和反应参数来定量或半定量地说明化学结构和反应性能的关系。这是化学研究中具有根本性意义的基础理论问题之一，化学家认为它是实现分子设计目标的方法论基础。因此，如何量化地反映结构和性能的关系，已经成为化学家极为关心的课题。我国化学家在 60—70 年代提出的同系线性规律就是在这方面研究中的一项重要成果。还有，在 60 年代中叶化学家从能量相关理论、前线轨道理论和莫比斯 (Möbius) 结构理论三个方面考察化学键的生灭，对协同反应机理和空间构型进行分析和总结，从而导致了分子轨道对称守恒原理的建立。这个理论标志着化学结构的研究已经进入到研究化学反应动态结构的新阶段，被认为是化学认识发展过程中的一个重要里程碑。

我国化学家在上述工作基础上，既考虑反应物结构和产物结构，又考虑反应过程中的结构变化，从而引入反应坐标参量，提出了估算反应活化能的方法，把分子轨道对称守恒原理提高到半定量阶段，从而把化学物质的静和动，化学结构和反应机理结合起来、统一起来。

目前，说明协同反应的分子轨道对称守恒原理的三种理论，即前线轨道理论、能量相关理论和莫比斯结构理论仍然在不断发展之中。过去一度不受重视的莫比斯结构理论也有所进展。第一个莫比斯带分子已于 1982 年合成。

化学结构和化学过程既互相区别又互相联系。它们的区别在于：结构反映物体的相对静止状态，结构研究中往往忽略时间因素；而过程则反映物体的化学运动在时间上的展开，强调变化的发生和发展。

化学运动的特点是分子发生质变。它既与结构相关又与过程相关。因此，

张嘉同：《北京师范大学学报（自然科学版）》，1982 年，第 4 期，第 75 页。

唐敖庆：《吉林大学学报（自然科学版）》，1975 年，第 1 期，第 2 期。

只有把结构和过程联系起来，才有助于搞清化学运动的规律。我国化学家唐敖庆教授在 50 年代就曾经指出，“分子结构理论不仅包括分子的静态，并要深入阐述分子的动态，当研究分子的动态时，就深刻地联系了化学变化的规律”。我国化学家徐光宪教授也提到，“化学的基本规律似乎应该是反映化学变化的本质规律，即化学动力学的规律。”可以看出，深入认识结构和过程的关系，对于深入认识化学运动规律具有重要的理论意义和实践意义。

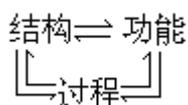
二、结构、过程与功能的相互关系

人们通常是这样来表述化学结构和化学性能的关系：结构决定性能，性能反映结构，性能可以能动地作用于结构。这种表述原则上是正确的，但是必须注意到，这种关系只有在与过程相联系时才可能是现实的关系。因为结构和性能的关系只有在过程中才可能得以实现。性能表达的是潜在的行为，离开了过程，脱离开时空的发展，就体现不出现实的行为。

在实际研究中由于化学反应体系情况复杂，只企图依据单个分子的静态结构去演绎出具有众多分子参加并由各种条件所制约的反应体系的规律是不可能的。因此，需要把单个分子放到整个反应体系中去考察。反过来说也是一样，考察整个反应系统时也要考虑其中反应物的结构变化。这样，就使得在反应物个体与反应物体系、微观结构与宏观效应之间建立了联系。例如当统计热力学应用于分子反应系统时，就要根据对分子结构的某些基本假定而在个体的微观结构和系统的宏观性质之间建立一定的联系。现在，这种研究已扩展到非平衡态领域，并正在向纵深发展而越来越深刻地把结构、过程和功能三者之间联系起来。当前，随着化学研究从小分子向大分子的过渡，而发展到特别注意于高分子尤其是生物大分子的功能。当使用功能这一概念时就进一步强调了物质的特性与其内部的组织化和秩序化的密切关系，甚至包括了所具有的自我复制和自我调节的能力。在这种情况下，一般已不再使用“结构和性质（性能）”的概念，而是使用“结构和功能”概念了。因此，这种发展已从一个侧面反映了化学向生物学领域的深度渗透趋向。

70 年代以后提出的超循环理论进一步揭示了结构、过程和功能内在本质联系。超循环论提出在化学进化和生物学进化之间有一个分子自组织进化阶段。在这个阶段，具有特定结构的生物大分子的自组织过程由于采取超循环组织结构而能够实现功能优化，并最终导致了生物信息的产生和原细胞组织的出现。这个理论的奠基人艾根（M·Eigen）还认为，在社会系统、神经系统中也存在着形形色色的超循环组织。

此外，依照普里戈金耗散结构关于功能—结构—涨落关系所提供的启示，我们可以进一步认识到，功能不仅同结构密切相联系，而且功能也内在地同过程相联系。在此，功能的发挥不仅离不开过程，而且功能还作用于过程。反之过程也作用于功能。我们在此可以仿照耗散结构论的图示法，把结构、过程和功能三者的关系表示为：



唐敖庆：《自然辩证法研究通讯》，1956 年，第 1 期，第 55—56 页。

徐光宪：《自然辩证法研究通讯》，1965 年，第 4 期，第 60 页。

M·艾根等：《超循环论》，上海译文出版社，1990 年版。

过去，人们早已认识到，深入揭示结构和功能的关系是实现分子设计的方法论基础。然而当代化学以及其它科学的成果表明，要真正揭示分子的结构和功能的关系，还必须进一步联系过程来加以考虑。换言之，过程也成为了分子设计的方法论基础的一个因素。

第四节 化学结构观念的作用

从更广的视野来考察化学结构认识的意义，既具有认识论意义又具有方法论意义。

一、结构观念的广泛影响

化学认识史表明，最初人们注意的是物质的性质，相应形成了性质这一范畴。以后，随着认识的发展又逐渐认识到组成—性质的关系，并形成了本质上正确的组成和性质范畴。再往后，则在经典水平上认识到结构—性质的关系，进而在现代化学水平上又提出了结构—性能的关系，并形成了相应的结构化学的结构概念，现代化学的结构概念。在此基础上，随着对于结构和过程关系的认识的不断深化，进一步走向了认识反应体系结构以及大分子结构与功能的关系，以及从过程和功能的联系方面去更深刻地理解结构。

这种认识的发展，从结构概念的方面来说，先是从组成概念上升到结构概念，其中首先形成经典水平的结构概念，后来又形成现代化学水平上的结构概念，然后又进一步向大分子结构以及系统结构概念上升。众所周知，在系统结构这一概念中，不仅有了空间结构，而且提出了时间结构、过程结构。结构概念发展的每一个阶段，反映了特定时代人们的思维风格，反映了人们所达到的认识水平。这正如列宁指出的，“在人面前是自然现象之网。本能的人，即野蛮的人没有把自己同自然界区分开来。自觉的人则区分开来了，范畴是区分过程中的一些小阶段，即认识世界的过程中的一些小阶段，是帮助我们认识和掌握自然现象之网的网上纽结。”

化学认识史中化学结构概念的演变，不仅从一个侧面反映了化学思想发展的内在规律性，而且也影响到其它一些学科的探索，并给这些学科的发展以启迪或推动。例如 20 世纪初期发生的物理学革命的一个重要侧面，是在 19 世纪化学结构观念引伸的基础上才揭示了原子奥秘。随后又在此“结构”观念的引导下，进而深入探索了原子核及更深的物质结构层次，以致在原子核层次上提出了核素周期律，在更深的层次上提出了层子模型、夸克模型等物质结构模型。我们相信，随着人们认识的深化，终究将形成对物质更深层结构的比较完整的认识。

在生物学领域，由于受到化学结构观念的影响，从 20 世纪初期开始深入探索了构成生命主体物质之一的蛋白质结构，直到 50 年代揭示了承担生物遗传功能的 DNA 分子结构，以至生物体合成蛋白质密码的发现，推动生物学日益更加关注于生命体系所存在的复杂的层次结构研究，把生物学的发展推进到了一个新的阶段。

在数学研究中结构观念也在日益受到结构观念的影响。在本世纪 30 年代数学领域出现的结构主义学派即布尔巴基学派就是一例。他们认为，应当运用公理方法按照结构观点来重新整理数学领域，着重分析各个数学分支之间的结构差异和内在联系，以及每门数学的结构特征或关于它的某些基本结构的组成方式。

甚至在人文科学领域也是如此。以语言学为例，我们也能看见这种认识发展的轨迹。19 世纪在进化思想影响下，欧洲各国掀起了对各种语言历史比较研究的热潮，从研究语言形态分类发展起来语言形态的类型学。他们从化

列宁：《哲学笔记》，人民出版社，1974 年版，第 90 页。

学结构观念得到启发，通过类型比较，从偏重于比较的历时态语言学发展到共时态的结构主义语言学。因为正如皮亚杰在《结构主义》一书中指出的，结构、过程和功能毕竟是相互联系、密切相关的。

结构观念能够渗透到各个领域广为应用，就使人们日益深刻认识到，任何客观研究对象都存在着复杂的层次结构。因此只有从结构观点出发才可能深入揭示出事物发展的规律性。

二、结构观念的方法论意义

结构观念是人类不断深入认识物质世界本质所得到的认识成果，从而又可以成为指导人们进一步认识世界的方法或手段。

作为科学方法论的结构方法，是从结构观点出发探索事物规律的方法，既不同于追寻“终极点”的原子论方法，也不同于唯象的整体论方法。原子论方法侧重于找出对象的构造之石，把整体现象归结为各组分的加和，把高层次现象还原到低层次进行解释；而唯象的整体论则偏重于了解对象的宏观的、平均的指标，只从始态和终态去把握事物转化的可能性，而不过问具体过程和结构变化及运动途径的现实关系。而结构方法则既要分析对象内部的组成，也要综合对象内部的组成之间的关系和对象的整体效应，要联系具体的过程来把握事物的转化。

如果说原子论方法是分析方法的极端表现，整体论方法是综合方法的极端表现，那么，结构方法则不允许片面地走向极端而要综合地系统地考察对象。人们对化学结构的认识已经表明，考察分子化合物的组成是对化合物整体进行分解，在方法论上是以分析为主；而考察化学组成之间的关系以及这种相互作用所带来的整体效应，在方法论上是以综合为主。而且只有既认识到研究对象的内部组成，又认识到组成物之间的关系及其导致的整体效应，才可能获得比较完整的认识。人们对化学结构认识的发展是这样，人们对化学结构认识方法的运用也是这样。结构方法从一个侧面体现了分析和综合的辩证法。结构概念作为一种方法论原则，要求我们从内容和形式的统一性上去把握和认识事物。

第九章 化学亲合论

恩格斯曾用“运动形式”范畴来界定自然科学的主要对象，并根据“物质的本质是吸引和排斥”的思想，将各种运动归结为吸引和排斥两种简单形式；同时，他还从“相互作用”角度揭示了运动的内在根据是吸引和排斥。这就揭示出一个基本观点：吸引和排斥作为自然辩证法的基本范畴，具有运动形式和相互作用两层含义。因此，我们可以从这个角度来理解恩格斯的如下论断：“一切化学过程都归结为化学的吸引和排斥的过程。”于是，化学运动形式可归结为化学吸引运动和化学排斥运动，化学运动的基本矛盾可表述为化学吸引作用与化学排斥作用的矛盾。用英文语词 Affinity 表达的亲合概念就是化学史上借以探究化学运动基本矛盾的关键概念。从历史上看，探索如何解释亲合概念的活动，一直是做出化学发现的动力；从逻辑上看，亲合概念通过与化学组成、结构和过程研究的密切相关，反映着化学思想发展的主要线索。因此，依循逻辑与历史相一致的原则来考察化学亲合观的演变，理应成为化学史和化学哲学的重要研究课题。

什么是概念？我们可以举出两种有代表性的定义来加以分析。定义 1：“概念是以直接统一的形式对于事物的共同本质属性所作的思想反映”。定义 2：“概念是反映事物的特有属性（固有属性或本质属性）的思维形态。”

稍加分析，便可看出定义 2 比定义 1 更加合理一些。例如，按定义 1，在道尔顿以前，原子概念不复存在；按定义 2，从古希腊起就有原子概念，但在道尔顿以前只是原子客体固有属性的反映，在道尔顿以后则是原子客体本质属性的反映。我们可以说，原子概念从古希腊到道尔顿，经历了类概念转变为科学概念的演变。准确判断这种转变的前提是具有“科学概念”的明确判据。为此，我们提出三条尝试性的判据。本质性判据：科学概念不仅反映某类事物的固有属性，而且反映其本质属性；检验性判据：科学概念或其构成命题可通过实验直接或间接地加以检验；明确性判据：科学概念的内涵可通过特定概念体系明确地加以表述。

概念除了具有由类概念转化为科学概念的演变方式以外，还有如下三种演变方式：概念原有涵义的深化；概念适用范围的变化；概念的涵义借助新语词来表达。在下文的分析中，我们将指出在特定时期亲合概念主要按哪一种方式演变。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1984 年版，第 83 页。

莱斯特：《化学的历史背景》，商务印书馆，1982 年版，第 223 页。

廖正衡：“化学思想的发展”，《科学、技术与辩证法》，1986 年，第 3 期。

· 楚巴欣等：《形式逻辑》，上海人民出版社，1981 年版，第 30 页。

金岳霖：《形式逻辑》，人民出版社，1979 年版，第 18 页。

第一节 亲合观的历史渊源

追溯亲合观的历史，不得不回到古希腊丰富的概念框架中去。化学亲合概念的产生和发展深受原性说和原子论的影响，而这两者又从四根说和爱憎说那里汲取了思想营养，况且四根说和爱憎说分别是化学元素观和化学亲合观的最初概念基础。

一、亲合观与爱憎说

古希腊哲学始于对宇宙本原（始基）的探讨。恩培多克勒以前的哲学家或把本原归为一元的主要是物质性的水、气、火等，或归为主要是精神性的数、存在等。他继承了前人注重感官的唯物主义倾向，改一元论为多元论，用火、气、水、土四根（roots）来表述本原。他还接受了巴门尼德关于存在不生不灭的观点，认为四根不生不灭，而其构成物却生灭不已。这种主张在哲学上确立了本体不变现象变的观念，在科学上为质量守恒定律奠定了最初的概念基础。在化学思想史上，四根说是元素概念的最初来源，因而也为亲合观奠定了本体论基础。

恩培多克勒为了解决不变的本体与变动的现象之间的关联问题，提出了爱憎说：“爱”使四根相吸而结合，“憎”使四根相斥而分离。于是，通过爱和憎的力量，不变的四根的分合聚散构成了变动不居的万千世界。关于爱和憎，哲学界有两派对立的主张：一派认为爱和憎是物质实体，另一派认为爱和憎是精神力量。化学史界多持前说——其实，把爱和憎看成纯粹的物质或精神是不合理的，因为在恩培多克勒的时代，物质与精神的划分尚未明朗化，不可能有纯粹物质或精神性的概念。爱和憎既有物质性又有精神性，但爱和憎的物质性并不表现为它们是物质实体，而表现为它们是物质的固有属性。据此，恩培多克勒还提出了后来对化学亲合观产生了重大影响的观点：性质相似者相吸，性质相异者相斥。他往往从形状、味道、冷热等方面来判定性质的异同，其流射说表明“当不同东西的孔道具有相似的尺寸时，便易发生混合。”原子论创始人德谟克利特也持类似观点，认为原子因特定大小和形状而钩连起来。这种观点对亲合概念的影响在列梅里（N. Lémery）和波义耳的尖孔契合观中明显可见（参看下文）。

爱憎说是以有机体（人）为参照物的类比表达，自然界的分合聚散被类比为人的悲欢离合。鉴于此，我们以“机体论”表其特征。

二、亲合观与原子论

恩培多克勒虽有四根由微粒构成的思想，但未将宇宙本原归结为微粒，而且否认虚空存在。原子论创始人留基伯和德谟克利特吸取了恩培多克勒关于四根由微粒（原子）构成的思想，而且认为原子和虚空同为宇宙的本原。他俩分别把微小性和坚固性看作原子本性——不可分割——的根据。现在，生灭不已的原子构成物（包括火、气、水、土）被归结为在虚空中运动着的不生不灭、不可分割的原子。这既否定了恩培多克勒四根不生不灭的思想，又继承了他的本体不变和物质不灭的思想。原子有大小、形状、重量等特征（其中重量特征的发现归功于伊壁鸠鲁）。德谟克利特常用原子的形状来说

莱斯特：《化学的历史背景》，商务印书馆，1982年版，第22页。

J.R. Partington: A History of Chemistry, Vol.1, Part I: Thoretical Background, London, 1970, 第20页。

J.R. Partington: A History of Chemistry, Vol.1, P. 20.

明事物的性质及原子间的结合和分离，并用钩、环、尖等表示原子形状的多样性。留基伯和德谟克利特将自然界的千变万化归因于原子在虚空中的排列组合、机械位移等。因此，正如罗素所说，在原子论创始人看来，“宇宙之中并没有目的；只有被机械的法则所统驭着的原子。”在下文的分析中我们将看到，原子论框架赋予近代化学亲合观以明显的机械论特征。

三、亲合观与原性说

正如库恩（T.S.Kuhn）所说，亚里士多德心中的自然界是“一个以性质为本的宇宙”，他认为“本体上不可毁灭的初始元素，并不是物体，而是性质。”在亚里士多德的原性说中，火气水土失去了它们在四根说中的本原地位，变成了冷热干湿四种原始性质的复合物：热+干=火，热+湿=气，冷+湿=水，冷+干=土。

以性质为本的思想与亚里士多德关于形式优于质料的观念相一致。他一方面强调自然物中的形式和质料不可分离，另一方面又说质料是潜在的，形式是现实的；从表面看，他把形式和质料并列为本原，实际上认为形式才是真正的本原。同理，他表面上有时把四原性和四元素并列为本原，实际上却认为四原性才是真正的本原。他的“形式”范畴是对除质料因以外其余三因（形式因、动力因、目的因）的概括，其中形式因含本性观念，动力因是爱憎说的扬弃，目的因含善的观念。他还把爱憎同善恶联系起来：爱是善的原因，憎是恶的原因。这就赋予爱憎以更明显的伦理意义，制约着人们尊爱贬憎。在相当长时期，人们对亲合概念的理解重吸引，轻排斥，就与原性说的影响直接相关。

原性说还赋予四元素以强烈的伦理性。亚里士多德认为宇宙中有两种截然不同的物体：由以太[ether]构成的高贵的天体和以四元素构成的地上物体。在四元素中，轻的火和气接近天体，比较重的水和土高贵。亚里士多德的整个哲学都具有这种机体论的特征。作为机体论的概念框架，他的原性说不仅为炼金术奠定了概念基础，而且构成了古代化学的主要思想背景。受制于此，“亲合性”成为波义耳以前化学亲合概念的表征。

参见《古希腊罗马哲学》（原著选辑），三联书店，1975年版，第98页。

罗素：《西方哲学史》，上卷，商务印书馆，1982年版，第106页。

库恩：《必要的张力》，纪树立等译，福建人民出版社，1981年版，第 一 页。

第二节 机体论的亲合观

在波义耳以前，化学尚未成为一门独立学科，它还依附于炼金、制药等活动。因此，本节的主要历史依据是炼金术和医药化学的发展线索。

一、炼金术中的亲合观

公元初期，西方炼金术起源于亚历山大里亚，是当时工艺技术和哲学思想相结合的产物。就哲学思想而论，当时炼金术士主要信奉亚里士多德的原性说。为分析之便，我们将早期炼金术中的有关思想概述为三点：

第一，原性说蕴涵着这一观念：万物都有生命和趋向善的本性。据此，炼金术士们相信金属有生命，贱金属能变成至善的黄金。

第二，为了加速金属由贱变善的过程，炼金术士们企图提炼出黄金的“灵气”，以赋予别的金属。他们甚至认为颜色就是“灵气”的表现形式之一。

第三，恰如梅森所说：“另一种为早期炼金术者加以广泛传播的思想，可能是一种更原始的观念，即金属是两性生殖的产物，金属本身就有雌雄之分。”[—]

根据第二点，“灵气”可从黄金中分离出来又与其他金属相结合，因而“灵气”与金属间有亲合性。颜色既表征“灵气”，那么金属着色便缘自颜色对金属的亲合性（对此，可在佐西摩斯（Zosimos）的著作中找到证据）。因为颜色或“灵气”可与任何金属相结合，所以此时亲合性不具选择特征。但根据第三点，两种金属结合的前提是分别为雌雄，于是亲合性便具有选择性了。

第一、三点体现出机体论特征，而第二、三点又体现出以性质为本的观念。此观念的强化甚至导致“特性就是金属”观念的产生。性质的实体化使化学运动缺少客观的物质本体，反映化学运动基本矛盾的亲合概念也不可能揭示对象的本质。因此，早期炼金术中的亲合性只是一个类概念。当然，与古希腊相比，此时通过金属与颜色、金属与金属相结合赋予了亲合概念以较为具体的涵义，且使不同金属间的亲合性具有选择性特征。要言之，亲合概念经历了涵义深化的演变方式。

新柏拉图主义兴盛等因素导致炼金术在亚历山大里亚流行了三百年左右便出现停滞迹象。从8世纪开始，炼金术又在阿拉伯重兴，到10世纪已盛行于世。阿拉伯炼金术比早期更加重视金属的性质和构成问题。提出硫汞二要素说的贾比尔（Jabir ibn Hayyan）认为四原性中两两结合构成金属，并赋予金属以相应特性。他进而认为四原性按不同比例结合构成了不同的物体。“因此，炼金术的任务是：确定它们（指四原性——引用者注）在物体中所占的比例，提炼出纯净的这类性质，使它们各以适当数量彼此结合，生成人们预期得到的产物。”可以说，强调原性间结合在数量上的比例关系乃是阿拉伯炼金术中亲合概念的一大特色，它使亲合概念的内涵又得到了深化。此外，阿拉伯炼金术中的亲合观仍是拟人式的，因为炼金术士相信，从金属中提取的原性按一定比例重新结合之所以能生成预期得到的黄金，是因为这种结合可以治疗那些患病的金属，使之趋于至善。

斯蒂芬·F·梅森：《自然科学史》，上海译文出版社，1980年版，第54页。

W.C.丹皮尔：《科学史》，商务印书馆，1979年版，第96页。

莱斯特：《化学的历史背景》，商务印书馆，1982年版，第70页。

史料表明,阿拉伯学者的著作对于欧洲 13 世纪的学术复兴产生了巨大影响。正是在 13 世纪,马格努斯(A.Magnus)明确提出 Affinity(他用的是拉丁文复数形式,参见下文)来表达亲合概念,这是欧洲中世纪对化学思想的重大贡献之一。

二、欧洲中世纪的亲合观

马格努斯曾自称遵从亚里士多德和希波克拉底。这表明马格努斯信奉亚里士多德的原性说,他像亚里士多德那样用“自然位置”解释落体运动便是例证;还表明他可能接受了希波克拉底关于性质相似者相吸引的观点(like assort with like)。再考虑到马格努斯关于“物质是变化的主体,所以不同种类的变化需要不同种类的物质”的观点,我们看到,马格努斯认为各种物质的分合聚散形成各种变化,性质相似的物质互吸而结合,性质相异的物质互斥而分离。当然,对物质性质异同的判定,他可能从亲近、同情角度作出希波克拉底式的拟人解释,但也可能从原子大小和形状来作出解释,因为他试图将德谟克利特的原子观念纳入原性说中。在化学亲合观发展史上,原子论向原性说的渗透是具有深远历史意义的现象。

马格努斯在《论矿物》(De Mineralibus)一书中写道:“硫能使银变黑;一般说来,金属能燃烧就是由于硫对它们具有亲合性”(affinitas)”。

。这里断定当时最重要的化学变化之一——燃烧的原因在于燃烧物间的亲合性,便在一定意义上表明了亲合性是化学变化原因的思想。从此,化学亲合概念获得了新的内涵,化学动因研究有了明确的概念表述工具,对此概念的诠释也将成为化学研究的重要问题。

考察中世纪的亲合观,不能不重视 13 世纪前后的《贾比尔教程》(Geber's Texts)。在接受硫汞二要素说的前提下,教程提出了这样的机体论观念:硫和汞的贵贱性(汞贵硫贱)决定着金属的贵贱性。例如,“完善金属含有大量的汞,所以它们兴高采烈地与汞结合在一起。”这种机体论观念成为对各种金属与汞之间亲合性顺序的解释基础。这种亲合性顺序表示金属的完善程度:

金 > 锡 > 铅 > 银 > 铜 > 铁 (1)

相应地,硫对金属的亲合性顺序则表征金属的不完善程度:

金 < 锡 < 银 < 铅 < 铜 < 铁 (2)

教程还给出了空气对金属的亲合性顺序:

金 < 银 < 铜 < 锡 < 铅 < 铁 (3)

(1)、(2)、(3)集中体现了亲合性有大小和选择性的观念,表明亲合性不是恒定不变的,它受制于化学反应条件。这为后来根据不同反应条件测定 affinity 奠定了概念基础。

(1)、(2)、(3)还表明了亲合观中定量思想的发展。阿拉伯炼金术

David C.Lindberg (ed) : Science in The Middle Ages , Chica-go and London , P.96 (1978) 。

J.R.Partington : A History of Chemistry , Vol.4 , London , p.569 (1964) 。

Science in The Middle Ages , p.385。

Dictionary of Scientific Biography , Vol.I , New , York , P.101 (1970) 。

Paul Walden : “ The Beginnings of The Doctrine of Chemical Affinity , ” Journal of Chemical Education , Vol.3 (1954) 。

Paul Walden , J. Chem. Educ. , Vol.3 (1954) 。

中已有亲合性的比例思想，教程则进一步断定：两物间亲合性的大小正比于它们性质或构成要素的相似程度。如上所述都表明亲合观又经历了涵义深化的演变。

还应提到彼特鲁·波努 (Petrus Bonus) 的贡献：在亲和观的原性说框架内掺入了原子论观念。他在 1330 年提出：“硫和汞的关系犹如一雌一雄”。这与早期金属有性别的观念一脉相承。但用此说无法解释汞与汞或硫与硫的结合，于是他采用了微粒互吸说。比如，汞的“干微粒和湿微粒结合得异常牢固，即使用火加热也无法使之分离”。

三、三要素说中的亲合观

硫汞盐三要素说取代硫汞二要素说是化学本体观的重大变化，在化学实践方面也引起了医药化学对炼金术的取代。相应地，亲合观也获得了新的发展。对此，我们概括地从如下几方面加以分析。

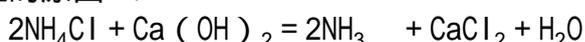
首先，亲合观中的定量思想得到了继承和发展。范·赫尔蒙特对气体 (gas) 和蒸气 (vapour) 的性质差异做了详细研究，并将这种差异归因于硫、汞、盐三种微粒的不同配比，这与阿拉伯炼金术中亲合比例观一脉相承。他还提出了重量守恒的观点：“无中不能生有，所以重量是由其它同样重量的物体造成”据此，他强调溶于酸的金属可以还原。例如，铁可以置换出溶于酸中的铜，铜又能置换出酸中的银：



换言之，铁对酸的亲合性最强，铜次之，银最弱。格劳伯 (J.R.Glauber) 对硅酸钾使溶于王水的金沉淀出来的解释也体现出类似观点：硅酸钾对王水的亲合性比金对王水的亲合性强。如此一来，重量守恒观念又为前面提到的 (1)、(2)、(3) 式提供了理论支柱。

其次，这种亲合性顺序理论性的增强表明亲合性使非恒定的观点得到了继承和发展。范·赫尔蒙特从三要素说创始人帕拉塞斯生命精灵观念引申出酵素 (ferment) 概念，认为它能改变物质不活泼的亲合性，引起化学反应，这也是非恒定亲合观的体现。

再次，亲合性使化学变化原因的思想得到进一步肯定，并广泛用于解释置换反应、复分解反应、中和反应等化学变化。上述范·赫尔蒙特和格劳伯对置换反应的解释就是明证。又如砷砂与氧化锌共热，氧化锌与酸结合而放出氨，格劳伯认为原因在于氧化锌“非常爱酸，而酸也非常爱氧化锌”再如，列梅里认为砷砂中“易挥发性盐”与其他物质间的亲合被石灰水破坏是如下反应的原因：



最后，在对亲合性的理解中，原子论观念得到了加强。从上文已见，范·赫尔蒙特把硫汞盐三要素看成三种微粒。他还认为蒸气是“原子变稀薄了的水，它在冷的作用下立刻就会凝结而恢复原先的状态”。这些都是原子论观念的

莱斯特：《化学的历史背景》，商务印书馆，1982年版，第94页。

同上。

J.R.柏廷顿：《化学简史》，商务印书馆，1979年版，第54页。

J.R.Partington：A History of Chemistry，Vol.2，London，P.355（1961）。

J.R.Partington：A History of Chemistry，Vol.3，London，p.35（1962）。

亚·沃尔夫：《十六、十七世纪科学、技术和哲学史》，商务印书馆，1985年版，第376页。

表现。特别是列梅里，他认为物质的性质取决于组成微粒的形状。“酸的粒子是枪尖状，能刺疼舌头；其盐生成有棱有角的结晶体。在沉淀反应中，酸粒子的尖在金属粒子的（如银的）孔中折断，于是被带到沉淀中去。金属溶解酸是因为酸的尖扯开金属块的粒子。”而“碱是一种孔隙极多的物体，酸的尖刺刺入这些孔隙后会折断或变钝，结果生成中性盐。”这些类似于德谟克利特钩连观的原子论观念使亲合概念发生了深刻的变化，并预示着“亲合性”向“亲合力”的转变。波义耳的亲合观与此酷似，但他在化学本体观上不象列梅里那样信奉五要素说（三要素说的变种），而提出了微粒说。正是波义耳的微粒说和牛顿的引力论共同促成了化学图景的改变：以性质为本变成了以实体（微粒）为本，亲合概念从机体论的“亲合性”变成了机械论的“亲合力”。

柏廷顿：《化学简史》，商务印书馆，1979年版，第67—68页。

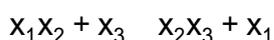
莱斯特：《化学的历史背景》，商务印书馆，1982年版，第128页。

第三节 机械论的亲合观

在机械论框架内，波义耳首先把亲合概念同原子（微粒）形状联系起来，牛顿则为亲合概念与物质质量（重量）的联系奠定了基础。

一、波义耳和牛顿的亲合观

波义耳除具有列梅里式的亲合观外，还提出：“相异二元素之微粒相互吸引，则生成第三物质，即成为化合物。倘若此化合物中二元素成分之相互亲合力小于其中一成分与第四物质之亲合力，则此化合物即分解，而另生成第五物质。”此说为 18 世纪亲合力表的研究奠定了概念基础。例如于 1718 年列出第一张亲合力表的杰奥弗罗瓦（E.F. Geoffroy）遵循的实际上就是波义耳思想。试用公式表达：设物质 x_1 和 x_2 有结合倾向，而 x_3 对 x_2 的亲合力大于 x_1 对 x_2 的亲合力，则下述化学反应发生：



牛顿虽接受了波义耳的微粒说，但把波义耳微粒形状契合式的亲合观斥为诡辩，并表示：“我宁愿从物体的内聚力（cohesion）出发，认为物体的粒子靠某种力相互吸引，这种力在粒子直接接触时很强，它在距离近时起着上述那些化学作用，距离稍远一点就看不出什么作用了。”换言之，牛顿认为化学亲合力与重力、电力和磁力无本质区别，只是后三种力的吸引可达较远距离，而化学亲合力是短距离引力。他甚至猜测电吸引力在被摩擦激起前是一种类似于亲合力的短距离引力，这可以说是对后来电力

论亲合观的一种预示。据上所述，牛顿引力公式 $F = G \cdot \frac{m_1m_2}{r^2}$ 当为亲合力

的逻辑根据。但因当时尚无法测定化学微粒的质量（ m ）及微粒间距离（ r ），故牛顿亲合力并不严格遵循引力公式。他本人主要是采用了吸引力的观念。正因如此，他未将亲合力与微粒质量直接联系起来，只是为此奠定了理论基础。在牛顿看来，引力是自然界的积极本原（active Principle），而排斥只是引力的反抗结果。因此，牛顿亲合观拒斥排斥因素。这种重吸引轻排斥的机械论倾向同扬爱贬憎的机体论倾向一脉相承。

波义耳和牛顿不仅使亲合观的涵义得到了深化，而且牛顿还使亲合概念的适用范围得到了扩展，他在《光学》一书中根据引力亲合观分析了一系列化学现象。他们的亲合观在随后出现的燃素说和最终取代燃素说的氧化说中得到了继承和发展。

二、燃素说和氧化说中的亲合观

在燃素说中，“燃素”和“亲合力”是化学解释的基本概念。它们为化学提供了一种通用的解释模式：在化学变化中，燃素从对它亲合力小的物质转移到对它亲合力大的物质中去。例如，金属煅烧时，燃素从金属移入空气，金属变成灰渣，原因在于空气对燃素的亲合力比金属对燃素的亲合力大。若将煅灰与木炭共热，则煅灰吸收木炭中的燃素，复原为金属，这是由于煅灰对燃素的亲合力大于木炭对燃素的亲合力。铁置换硝酸铜中的铜，是因为铁对燃素的亲合力小于铜对燃素的亲合力，所以铁中燃素转移到铜中去。金属

《化学发展简史》，科学出版社，1980 年版，第 95 页。

Isaac Newton：Opticks，London，p.389（1931）。

之所以溶于酸，是因为酸对燃素的亲合力大于金属对燃素的亲合力，所以燃素从金属中转入酸中。

在燃素说发展中，至少在马凯尔 (P.J.Macquer) 之后，牛顿亲合观在化学界占据了主导地位。当时甚至有不少化学家试图将亲合力纳入牛顿引力公式中，以至有科学史家认为马凯尔之后“斯塔尔学派的化学是用牛顿亲合力解释的燃素化学”。亲合力表研究的直接动力之一就是为了更广泛地运用牛顿引力论的亲合力概念。在化学发展中，这些研究大大扩大了亲合力概念的适用范围。在此类研究中，温策尔 (C.F.Wenzel) 的工作尤值一提。他认为亲合力在数量上正比于化学反应速率，从而为亲合观的动力学研究开了先河。

对金属燃烧反应，燃素说的解释可表示为

金属—燃素 灰渣

而氧化说的解释可表示为

金属+氧 灰渣

由此，燃素说的化学解释模式被氧化说改造成这样的形式：在化学变化中，氧从对它亲合力小的物质转移到对它亲合力大的物质中去。事实上，正是借助“氧”和“亲合力”的基本概念，氧化说对燃烧、溶解、置换等化学反应作出了截然不同于燃素说的解释。当然，氧化说中的亲合力概念仍属牛顿范式，因为拉瓦锡信奉牛顿引力论，他甚至像牛顿那样称亲合力为“电吸引力”

拉瓦锡还提出了元素是“分析所能达到的终点”这一经验性定义。由此，如凯德洛夫所说：“化学元素是一定种类原子的罗蒙诺索夫观念获得了可靠的根据”随后，“一些化学家在原子的力学性质中，首先在原子的质量（原子量）中寻求关于化学现象原因问题的答案，考察像很小距离上发生作用的质点的特殊吸引力那样的化学作用；而另外一些化学家则在原子的电的性质中，首先在原子的部分电荷中，看到了这种原因，考察象异性电荷（引力）之间和同性电荷（斥力）之间静电相互作用那样的化学作用”。前者的最高成就就是原子-分子论，后者的则是电化二元论。

三、原子分子论中的亲合观

为了便于分析，我们先将有关思想概括为如下几个要点。

要点一：B·希更斯 (B·Higgins) 在 18 世纪后期提出了几个重要观点：(1) 原子是坚硬的球体，两原子间的引力反比于它们间的距离；(2) 火(热)使原子互斥；(3) 亲合力(引力)和排斥力可用于解释物态变化及化学反应。

要点二：W·希更斯在 1789 年用图示法讨论了氮与氧的结合问题，由此昭示两个重要思想：(1) 亲合力的大小可用数字表示；(2) 原子间的亲合可用图式来分析。他还说：“终极粒子这一术语的意思是基本物质的分解极

拉瓦锡：“化学基础论·序”，金吾伦译，《自然科学哲学丛刊》，1984年，第4期。

柏廷顿：《化学简史》，商务印书馆，1979年版，第143页。

B.M.凯德洛夫：《化学元素概念的演变》，科学出版社，1985年版，第113页。

凯德洛夫：《化学元素概念的演变》，科学出版社，1985年版，第116页。

J.R.Partington：The Origins of The Atomic Theory，Annals of Science，Vol.4 (1939)。

限，而分子是化合物的分解极限。”

要点三：道尔顿原子论的主要论点是：（1）元素由不可分的原子组成，原子在化学变化中保持自己的特性；（2）同种元素的原子性质完全相同，原子量是原子的特征性质；

（3）有简单数值比的原子结合时，发生化学反应。道尔顿认为化学分解和化学结合就是原子化学亲和力作用下的分合聚散。

要点四：分子假说的主要论点是：（1）化合物和单质在不断分割的过程中有一个分子阶段，分子是具有一定特性的物质组成的最小单位；（2）单质的分子可由多个原子组成；（3）同温同压同体积的气体含有相同数目的分子（按此表述的盖吕萨克定律消除了与原子论的矛盾）。

原子分子论中亲合观的最重要发展是它获得了科学的本体论基础，这就是科学的原子和分子概念的形成。由上文知，罗蒙诺索夫曾把化学元素定义为一定种类的原子；要点一表达了原子不可分的观念；W.希更斯曾称原子为终极粒子（要点二）。所有这些在道尔顿原子论第（1）个论点中得到了综合体现（要点三）。原子论的第（2）个论点是借助牛顿力学，对伊壁鸠鲁原子重量观念的定量发展，并且这种定量精神也体现在第（3）个论点中。这样，三个论点揭示了原子的本质属性，加上原子量的可测定性，就使原子概念满足了本质性判据、检验性判据和明确性判据，由类概念转变成了科学概念。同样，要点四使分子概念变成了科学概念。由此，亲合观获得了科学的本体论基础，探讨原子间及分子间的吸引作用成为揭示亲合力概念内涵的重要途径。在近代原子论创始人那里，这里根据牛顿引力论来进行的。如B.希更斯的第一个观点（要点一），W.希更斯对引力的强调，道尔顿对牛顿引力论的推崇，阿佛伽德罗用引力使原子结合成分子来表示要点四中的论点（2）等。

要点二表述的两点均为道尔顿所吸收，后来产生的原子价和化学键概念与此有渊源关系，难怪柏廷顿说它们预示着化学键理论。

B.希更斯称火（热）为排斥力，认为它和吸引力一样，是化学解释的概念工具（要点一）。道尔顿接受了这种观点。可以认为，这些为后来汤姆逊（D.J.Thomsen）和贝特罗（M.Berthelot）对亲合概念的反应热研究（参看后文）奠定了概念基础。

要点一的观点（1）和要点三的论点（2）使亲合力概念向明确性判据和检验性判据趋近。当然，因原子或分子间距离尚无法测定，故亲合力概念不可能完全满足这两个判据。不仅如此，纯粹力学解释也不可能使亲合力概念满足本质性判据。要揭示亲合概念的本质，除应借助力学外，还须依赖物质结构理论和电学的发展。从化学史来看，这种发展趋势在电化二元论中得到了充分体现。

第四节 电力论的亲合观

伏打电堆的发明(1800年)开辟了对亲合观进行电学研究的新时代。戴维、贝采里乌斯等对元素电荷特征的研究“为元素之间化学亲合力的新的观点奠定了实验基础;根据这种观点,元素……是按其电荷(即静电学地)进行化合(吸引)的。”亦即说,对亲合概念的研究开始突破纯粹机械论(力学的)框架,进入了电力论(电学的)范畴。此时仍将 affinity 译为“亲合力”,是因为化学家们类比地从牛顿力学来理解静电作用(电力)。

一、电化二元论中的亲合观

戴维认为亲合力与正负电荷间的吸引力成正比,并认为彼此间有亲合倾向的物质相互接触时会带电,而电荷的中和促使化合发生。设 α 和 β 表示有亲合倾向的两物, γ 表示化合产物,则戴维的电化二元论观点可简示为



贝采里乌斯基于 1803 年进行的盐类水解研究提出:(1)电流能分解化合物;(2)分解量正比于电量,而与亲合力及电极表面有复杂关系;(3)分解变化首先依赖组分对电极的亲合力,其次依赖组分间的亲合力,最后依赖生成化合物的“内聚力”。何谓“内聚力”?贝采里乌斯可能取牛顿内聚力的表层意义(参看第三节第一部分),但更具体地表述为保持化合状态的吸引力。他认为电荷中和后组分仍结合在一起的事实表明“化合物中的原子仍是极化的”,而电流使化合物分解“证明了化合状态是靠极性来维持”。此外,“内聚力”的深层意义发生了变化:以牛顿引力公式为

根据的机械引力变成了以库仑公式($f = K \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$)为根据的、化合物中极化原子间的静电引力。就此而论,内聚力概念的变化体现了亲合概念内涵的深化。

既然原子是电偶极,那么元素的电性特征取决于原子所具正负电荷的比例。这样,贝采里乌斯抛弃了(A)式中的(),通过提出电解是化合的逆过程而发展了(),于是得:



由此,电性成了原子的固有属性,而不是戴维所说的接触效应,因而电荷中和的客观效应无法清除原子间的静电引力。正因如此,贝采里乌斯的电性表成了一个分析亲合力大小的依据。比如对氧来说,钡的电正性强于铜,故氧与钡间的亲合力大于氧与铜间的亲合力。贝采里乌斯还考虑到影响亲合力大小的另两个因素:温度升高,亲合力增大;结合物间距离增大,亲合力减小。这些是对库仑定律的定性运用(即 $f \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$)。这些使亲合概念向三个判据(本质性、检验性、明确性)逼近了一步;换言之,电化二元论使亲合力概念的科学性得到了加强。

如果从第二节引用过的“like assorts with like”引伸出“同性相吸,异性相斥”,那么贝采里乌斯对亲合力选择性特征的看法可表述为相反的命

凯德洛夫:《化学元素概念的演变》,科学出版社,1985年版,第123页。

柏廷顿:《化学简史》,商务印书馆,1979年版,第211页。

题：“同性相斥，异性相吸”。尽管这反映了亲合观的深化，但它本身遇到了许多困难，如它无法解释两氧原子间的结合。实际上，在有机化学中，电化二元论遇到更多经验事实的证伪。

二、基团、核团说中的亲合观

在有机化学中，活力论或生命力信仰长期影响人们的思想。与此抗争的一个因素是下述观念的逐步确立：“同样一些化学定律既支配生物界，也支配非生物界”。基因概念的形成和发展与此密切相关。贝采里乌斯在 1817 年认识到，“所有有机物质是复合基的氧化物，植物物质的基一般含有碳和氢，动物物质的基一般含有碳、氢和氮。”后来，发现新基团，并用电化二元论加以解释开始成为有机化学的研究主题。由此建立起来的“基团理论就像当时支配无机化学的理论一样，其基本原理是电化学理论的二元论”。基团被分成两类：形成碱的电正性基团和形成酸性氧化物的电负性基团。于是，基团间的亲合力是静电引力，这就使亲合概念的适用范围得到了扩展。

对基团学说及其理论基础电化二元论的证伪可举出杜马(J·B·A·Dumas)等人对取代反应的发现。例如，电负性的氯竟能取代有机物中电正性的氢！鉴于此，杜马毅然主张抛弃电化二元论的亲合观，并提出：“我们可以将化合物比成一个行星系，并假定各个质点靠相互吸引而保持在一起。”这种设想中的亲合力类似于牛顿引力。相应地，日拉尔(C·F·Gerhardt)明确主张用牛顿亲合观取代贝采里乌斯亲合观。罗朗(A·Laurent)在主张用核团理论代替基团理论时，实际上试图用波义耳的契合亲合观来取代贝采里乌斯的亲合观，因为他把原子核设想为棱柱形，碳、氢原子分别位于角和棱上；氯取代氢时，棱柱不变形，产物保持原物类型。换言之，杜马、日拉尔和罗朗等在反对贝采里乌斯的亲合观时，使牛顿或波义耳的亲合概念的适用范围得以扩大，但在内涵上却无深化。后来使亲合概念内涵发生巨大变化的是原子价和化学键概念的提出(1852 和 1856 年)。

三、原子价、化学键与亲合观

1852 年，弗兰克兰(E·Frankland)指出：“不论化合的原子的性质如何，吸引元素的化合力(如果可以用这个术语的话)总是要同样数目的原子才能满足。”所谓化合力(combining power)当时也用亲合单位(affinity unit)表示,后被称为化合价或原子价(valency;valence;quantivalence)。1856 年他又提出键(bond)的概念来表示原子的结合。对价和键的概念的发展起过决定性作用的一个因素是凯库勒在 1858 年提出了两个命题:其一是碳原子为四价,其二是碳原子间可键合。到 1861 年,布特列洛夫提出了化学结构概念,认为化学结构是原子靠亲合力形成的稳定体系。随后,双键、三键的发现,芳香族结构问题的解决,变价观念的确立,立体结构的研究等推动着化学亲合观向前发展。

正如张嘉同所说：“原子价和化学键，二者既有联系又有区别。前者表征一原子结合其他原子的数量，后者表征原子之间结合的力量或强度。它们

肖莱马：《有机化学的产生和发展》，科学出版社，1978 年版，第 17 页。

柏廷顿：《化学简史》，商务印书馆，1979 年版，第 230 页。

肖莱马：《有机化学的产生和发展》，科学出版社，1978 年版，第 20 页。

同上，第 28 页。

莱斯特：《化学的历史背景》，商务印书馆，1982 年版，第 204 页。

从不同方面反映出原子结合成具有一定组成和结构的物质的性质，是作为形成和保持化合物分子原因的化学亲合力的具体体现。这两个概念将化学亲合力与关于物质的组成和结构的经验资料联系起来，从而发展了对化学亲合力的认识，并使之具体化。”因此，原子价和化学键概念的出现使亲合概念发生了涵义深化的演变，并有新语词来加以表达。化学史表明，在电子的发现揭示了电运动的物质基础并打破了原子不可分的观念以后，力学和电学的亲合力概念在关于原子价和化学键的研究中得到了统一和深化。

至此所论亲合概念有侧重于反映静态、局部和吸引的特点。相反，在物理化学中以热力学为主要理论基础的亲合概念则表现出反映动态、整体并兼容排斥因素的特征。而且亲合概念“和整个热力学一样，已经是一个统计概念。”下文将表明，相应的亲合概念被归结为各种形式的能量，故我们以“亲合能”译之。

张嘉同：“从化学亲合力到现代化学键理论”，《北京师范大学学报》（自然科学版），1982年第4期。

盛根玉：“近代化学家的思维方式和研究方法的历史考察”，《自然辩证法研究》，1987年，第3期。

莱斯特：《化学的历史背景》，商务印书馆，1982年版，第231页。

第五节 统计性的亲合观

根根质量作用定律发现者古德贝格(C·M·Guldberg)和瓦格(P·Waage)的研究(1867年),化学反应推动力 f 与两种反应物的有效质量 p 、 q 及亲合系数(affinity coefficient) 有关: $f = k \cdot P \cdot q$ 。他们当时把化学动力看作一种机械力,故 反应的亲合观基本上仍属牛顿范式。范特霍夫曾用化学反应速率 v 来代替化学动力 f 。当能斯特1900年把化学动力定义为反应体系始终态自由能差时,反映了亲合观的新范式。其实此种研究早在D·J·汤姆逊和贝特罗的工作中就有明显体现。这就是他们的反应热亲合观。

一、反应热的亲合观

汤姆逊和贝特罗提出的相对亲合能(relative affinity)定义是:亲合能(A)等价于化学反应释放之热(Q),即

$$A = -Q \quad (1)$$

其根据有二:一是化学反应由亲合能引起,二是汤姆逊—贝特罗经验规则。按汤姆逊1854年的表述,此规则为:“每一个简单或复杂的纯化学作用是与热量的产生联系在一起。”贝特罗在1864年则表述为:“凡是没有外部能量输入的化学反应都有生成可以释放出更多热量的物体或物系的趋向。”

早在1783年,拉瓦锡和拉普拉斯就认识到“从元素生成一个化合物放出多少热量,分解这个化合物就需要多少热量。”盖斯定律(1840年)与此一脉相承。热力学第一定律的发现使人们发现盖斯定律原来是热力学第一定律的特例,而且引出了恒压反应的另一亲合能定义:

$$A = -H \quad (1')$$

这是因为恒压反应热可表示为焓变: $Q_p = H^\circ$

恩格斯说过,在牛顿力学被神话的时代,“在自然科学的任何部门中,甚至在力学中,每当某个地方摆脱了力这个字眼的时候,都是一次进步。”就亲合观而论,如果亲合系数的提出和反应速率对化学动力的取代是摆脱“力”的初步尝试,那么(1)式的出现就是一种深刻的尝试。根据汤-贝规则,亲合能还成了化学反应方向的一个判据。这样,亲合概念经历了三种演变方式:内涵的深化,外延的扩展,新语词的出现。而且,过去那种轻视排斥的倾向也得到了克服,因为“能”就像恩格斯所说的那样,是排斥的一种形式。亲合能作为化学反应方向的判据是以承认动态平衡为前提的,故它从动态和整体角度统计性地表征了亲合观。由此,(1)式和(1')式使亲合概念满足了科学概念的经验判据,但离本质性判据和明确性判据尚有距离,因其根据是汤-贝经验规则,而不是反映物质变化方向性的热力学第二定律。正是第二定律列出的自由能概念最终导致亲合概念转变成了科学概念。

二、自由能的亲合观

根据吉布斯定义,自由能可表示为焓和熵的函数:

参看: A History of Chemistry, Vol.4, p.594.

A History of Chemistry, Vol.4, p.614.

莱斯特:《化学的历史背景》商务印书馆,1982年版,第229页。

柏廷顿:《化学简史》,商务印书馆,1979年版,第141页。

恩格斯:《自然辩证法》,人民出版社,1984年版,第240—241页。

$$G = H - TS \quad ()$$

热力学第二定律表明，只有那些包含有用功转化为无用功的变化才能自发进行。赫姆霍茨在 1882 年用自由能的降低来表述最大功。两年后范特霍夫提出，亲合能等价于等温可逆化学反应的最大功。后来，人们普遍接受了路易斯的见解，以有用功取代上述最大功。路易斯说：“在某一个系统自然转换为另一个系统时得到的有用功的最大值就可以用该系统自由能的减少额来表示”至此，一种新的相对亲合能定义诞生了：亲合能等价于反应体系自由能的减少，即

$$A = - \Delta G \quad ()$$

由 () 式和 () 式还可导出 (设 T 恒定) :

$$A = - \Delta H + T \Delta S \quad ()$$

范特霍夫还借助平衡常数 (K) 概念导出了下式 (V)

$$A = RT \ln K - RT C + T \Delta S$$

其中 R、C 均为常数。

我们知道，等温等压自发过程的判据是： $\Delta G < 0$ ；而且， $|\Delta G|$ 越大，自发过程发生的趋势越大。因此，由 () 式，亲合能成了等温等压化学反应的判据：反应向 $\Delta A > 0$ 的方向进行； ΔA 越大，反应趋势越强。以热力学第一、二定律为理论根据的自由能 () 式反映了化学反应方向和趋势的规律，使亲合能概念满足了本质性判据；()、()、(V) 式又使亲合概念满足了检验性判据和明确性判据。亦即说，亲合概念终于实现了这样的转变：由类概念变成了科学概念。这一转变同时还伴随着亲合概念内涵的深化和语义的变化 (新语词出现)。1906 年能斯特发现： $T \rightarrow 0$ 时， $\Delta S = 0$ (热力学第三定律)。据此， $T \rightarrow 0$ 时，() 式变成 (I') 式，说明前者比后者更具有普遍性；而且前者因含 ΔS 而比后者深刻。换言之，(I') 向 () 的转化反映了亲合概念内涵的深化。(V) 式体现了热力学和动力学的联系，也是新亲合观深刻性的表现。

不过，19 世纪热力学局限于平衡态，“不可逆过程被当作讨厌的本西”

在本世纪，当德 (T.de Donder)、普里戈金等人深入地研究了化学反应这种“不可逆过程的原型”² 从而把亲合观引向一个新阶段。

三、不可逆过程热力学的亲合观

普里戈金说：“我们必须从双重的观点，即动力学的观点和热力学的观点出发，来考虑化学反应。”这种双重观点正是不可逆过程热力学亲合观的重要特点之一。

在本世纪二、三十年代，当德通过化学位 μ (实际上仍基于自由能) 来定义亲合能：

$$A = - \sum_i u_i \mu_i \quad ()$$

其中 u_i 是组分 i 的化学计量数。他还引入反应度 (the degree of advancement of reaction) 来定义反应速率：反应速率就是单位时间反应度的变化率。他

吉布斯最初用的表达式是 $\Delta E - T \Delta S$ 。我们已改为现代通用表示法。

莱斯特：《化学的历史背景》，商务印书馆，1982 年版，第 230 页。

普里戈金、斯唐热：《从混沌到有序》，上海译文出版社，1987 年版第 46、174 页。同上，第 175 页。

进而根据熵增原理推导出亲合能与反应速率的关系：

$$A. \quad > 0 \quad ()$$

普里戈金说()式“表达了化学亲合能最有特征的性质”因为它表明亲合能“决定着化学反应速率的方向。”他还认为“当德化学亲合能定义的重要性主要在于它与熵产生密切相关”，进而推导出单位时间熵产生 P 与亲合能的关系式：

$$P = \frac{1}{T} \cdot A \cdot u \quad 0 \quad ()$$

其中 T 是热力学温度。对联立反应，()式仍成立。据此，普里戈金提出：“至少在近平衡区可以很自然地假设速率和亲合能之间存在线性关系。”—对此，他既通过苯加氢、环己烷脱氢等反应进行了实验研究，又借助盖萨格倒易关系进行了理论分析。

作为对()式的推广，普里戈金还提出了不可逆过程热力学的普适方程：

$$P = \sum_i X_i J_i \quad ()$$

其中 P 是不可逆过程的单位时间熵产生， J_i 是过程 i 的速率或“广义流”， X_i 是引起 J_i 的“广义力”。相应于此，他还把由()式定义的亲合能称为“对于化学反应的广义力”，实际内涵是反应体系实际态偏离平衡态的量子度。由此揭示了亲合概念的又一内涵。也正因此，亲合能就可以充任研究平衡态向远离平衡态过渡的概念工具。例如，对化学反应体系， $A=0$ 对应于平衡态； A 变引起体系偏离平衡态， $|A|$ 小表明体系实际态与平衡态间的距离小（近平衡态），体系接近稳定； $|A|$ 大表明体系实际态与平衡态间的距离大（远离平衡态），体系不稳定； $|A|$ 足够大时，体系可能达到一种新的稳定态，形成有序的耗散结构。至此，我们看到，普里戈金创立的耗散结构理论与他的亲合观密切相关。

从动力学和热力学的双重观点出发，普里戈金强调，亲合概念“不能被归结为力学轨道，”因为“以反应速率为特征的化学变化过程，都是不可逆过程。”这些观念标志着化学思想的转变：从关注实体向关注过程转变。普里戈金等人的工作甚至引起了整个自然图景的改变。如果说与“亲合性”相应的自然界模型是有机体，与“亲合力”相应的是机械钟，那么与“亲合能”相应的是雕像，这雕像“十分清晰地表现出一种寻求，寻求静止与运动之间、捕捉到时间与流逝的时间的结合”—

I. Prigogine: Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes, Springfield Illinois, p.24 (1955)。

普里戈金、斯唐热：《从混沌到有序》，上海译文出版社，1987年版，第179页。

In Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes, D.24.p.p.44—45。

普里戈金、斯唐热：《从混沌到有序》，上海译文出版社，1987年版，第179页。

同上，第179—180页，第58页。

第六节 亲合观与化学思想发展

一、从性质到实体的思想发展

表征化学本体的元素概念和表征化学动因的亲合概念出现以前，其思想已抽象地、综合地存在于四根说和爱憎说中。作为二说发展产物的原性说，成了整个古代化学思想的主要概念框架。受制于此，元素概念在表述上经历了三个阶段：四元素 二要素 三要素及其变种。以性质为本的观念使各表述实际上成了不同性质的特殊表示法。因此，对化学实体的研究主要通过对性质的探讨来进行：

性质 实体 (A)

与此相应的亲合观以“亲合性”为表征。原性说的机体论特征使亲合性具有拟人色彩。此时，亲合性是抽象而综合地既表现为保持物质稳定状态的原因，又表现为引起物质发生化学变化的原因；它获得了物质化学活泼性的内涵及大小、选择性等特征；而且确立起对亲合概念进行诠释的化学主题。

二、从组成、结构、实体到性质的思想发展

原性说框架内原子论思想的发展终于引起化学本体观和动因观的变化：在概念表述上是“原子”（微粒）取代“要素”“亲合力”取代“亲合性”；在研究方式上是由注重性质转向，注重实体。以波义耳微粒说为标志，化学实体的性质被归结为组成微粒的运动。于是研究途径转变成

组成 实体 性质 (B)

从牛顿开始，亲合概念先被归结为微粒间的短距离机械引力，后又被归结为静电引力。换言之与(B)式相应的亲合观以“亲合力”表征。就化学本体观来说，首先经历了从波义耳微粒说到拉瓦锡经验性元素观的发展；随后，道尔顿使原子由类概念变成了科学概念，分子假说的提出导致原子-分子论的建立。就原子概念内涵而论，原子量特征的揭示标志着机械力学在化学中的伟大胜利，而电荷特征的揭示则预示着电力论对机械论的突破。相应地，亲合概念的诠释开始出现电学的意义。根据牛顿引力公式，亲合力与微粒质量和微粒间距离相关。这在化学中启发式地表现为：一方面试图将亲合力与化学物质的质量联系起来，导致亲合力表的产生和质量作用定律的发现；另一方面，亲合力与微粒间距离的关系被断定为反比关系。这种反比观念也为电力论所具有，因为它是库仑公式的必然结论。但电力论中亲合力与质量无关，而与电荷相关，亲合力作为静电引力往往由原子电性的强弱加以解释。由于上述原因，“亲合力”比“亲合性”更加具体，而且具有分析的特征。在克服电力论在有机化学中遇到的困难时，原子价和化学键概念产生了。加上化学结构概念的产生，一个新的研究纲领得以确立：

结构 实体 性质 (C)

在这个纲领之内，亲合概念已为价和键的概念所代替。

三、从过程、实体到性质的思想发展

当能量概念进入化学后，以古德贝格、汤姆逊等为标志，从反应过程研究化学实体的纲领逐步形成：

过程 实体 性质 (D)

此后，按该纲领研究亲合观时，总是通过各种形式的能量来定义亲合概念，从而获得了“亲合能”的意义。自由能亲合观使亲合能成了一个满足本章初提出的三个判据的科学概念。这种统计性的概念被当德、普里戈金等用于研

究不可逆过程，充分体现了化学热力学和化学动力学的结合，并借此建立起耗散结构理论。亲合能与反应速率相关而成为化学反应方向的判据，与平衡常数相关而可用于计算反应限度，并属“广义力”而充任化学热力学的核心概念。在化学本体观上，纲领(D)引起的最大变化是促成了由关注原子实体向关注原子运动过程的转变。与“亲合力”相比，“亲合能”不仅更加具体，而且具有综合的特征。

作为表征化学运动基本矛盾的关键概念，亲合概念应兼容吸引和排斥因素。然而，作为“亲合性”，它深受机体论伦理观影响，难以包容排斥因素；作为“亲合力”，又受制于牛顿力学重吸引、轻排斥的倾向（电力论亦然），在总体上仍偏向吸引方面。因此，重吸引、轻排斥成了古代和近代化学思维方式的一个重要特点。“亲合能”的出现开始改变这种偏狭的思维方式，使亲合概念成了吸引和排斥的统一体。其实不独如此，由纲领(C)引出的现代化学键理论在描述原子内部的吸引作用时，也内在包含着排斥因素（如库仑排斥能）。

作为保持化学物质稳定性的原因，机械论和电力论的亲合概念因分别与质量和电荷相关而有一定合理性。以电子荷质比(e/m)的测定(1897年)为标志，机械论和电力论的综合成为可能。德布罗意关系、薛定谔方程、测不准关系等表明，能确定电子性质和质量的那些量，可以表示那些形成原子间化学键的电子运动的量子力学特征。因此，量子力学特别是量子化学推进了纲领(B)和(C)的结合。分子轨道对称守恒原理的提出(1965年)标志着化学键已与反应过程联系起来；从研究方式来讲，就是(C)与(D)的结合。可以相信，此类研究将通过化学键理论不断发展来深化化学亲合观，而且预示着一条新的研究途径：把化学键和亲合能的研究结合起来，实现微观和宏观的统一。亲合观研究已面临一个艰巨的课题：揭示亲合能的微观意义。研究此课题的可能途径除借助化学键理论成果外，更可从统计热力学角度来探讨。毫无疑义，随着研究的不断深入，亲合观将日益深刻而丰富地刻划化学运动的规律，从而推进化学思想的发展。

第十章 化学过程论

化学科学的研究内容概括起来主要包括两大部分，即物质的组成、结构和物质之间的变化。这两部分的内容既相互联系，又相互区别，可以说，认识物质的组成和结构是为了认识物质之间的变化，而弄清了物质之间的变化规律又有助于准确地把握物质的组成和结构，从而合成新的物质。长期以来，在研究物质的组成和结构的同时，人们对于物质在组成、结构和性质上的变化，也就是化学反应的研究也给予极大的关注，从而创立了化学过程学说。

化学过程学说在其发展中经历了前科学时期（19世纪中叶以前）、经典理论时期（19世纪中叶至20世纪30年代）和现代理论时期（20世纪30年代至今）。

前科学时期围绕探讨化学变化的原因主要历经由物质实体 物质性质 亲和性 亲和力 亲和能（过渡到经典理论）的认识转化。由此，人们获得了对化学过程的感性认识。其中，对亲和力量化标准的研究，奠定了经典化学结构学说和经典化学过程学说的思想基础。

经典理论时期达到了对化学过程的初级理性认识阶段。继盖斯定律之后，人们得到了对化学反应方向性和限度的判据，以及控制化学平衡的各种原理、定律和公式。

另外，质量作用定律的提出，引导人们研究了浓度、温度和催化剂对反应速率的影响，即完成化学反应的现实性问题。阿累尼乌斯提出的“活化”思想和阿累尼乌斯定律为人类认识化学过程开辟了新天地。

现代理论时期，双分子碰撞理论和过渡态理论标志着人类对化学过程的认识进入了高级理性阶段。由此开始探讨的基元反应机理和基元化学物理反应机理，为全面深入地认识化学过程提供了理论和实验依据。在这个时期，还逐步展开了对远离化学平衡状态的化学振荡反应的研究。

总之，人类对化学过程的认识经历了从感性到理性、从宏观到微观、从静态到动态的飞跃，呈现出不断扩展并逐步深化的发展趋势。

第一节 化学过程与过程

一、化学过程的化学解和哲学解

在化学领域中，人们经常不加区别地使用化学变化、化学反应和化学反应过程三个概念。

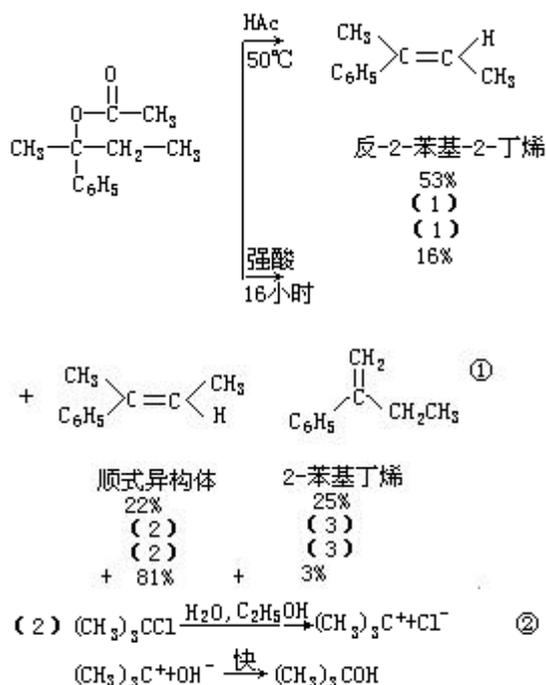
化学变化是指“一种或多种物质变成化学性质与原来不同的新物质的过程。”“化学反应是物质转变成成为其它物质的过程。”可见，化学变化和化学反应两个概念具有相同的内涵，不过在使用时略有差别。前者主要用于阐明化学研究对象的特殊性，说明化学变化与其它变化，特别是与物理变化的区别。而后者多用于讨论具体的化学问题，有时还可以当作定语使用，组合成诸如化学反应方程式、化学反应机理等复合概念。

因为无论是化学变化还是化学反应，都指的是一种变化过程，所以，人们又用化学反应过程这一概念来取而代之。本文简称为化学过程。

1. 化学过程的化学解

人类对化学过程的认识可以认为是经历了：（1）探讨物质变化的原因，（2）说明化学反应的方向、限度和快慢，以及（3）揭示具体途径等发展阶段。在不同的认识阶段上，人们研究了化学过程的不同侧面，但就其实质来看都没有离开变化这一问题。那么，到底由于什么发生变化才构成了化学过程呢？最初人们认为是一般的物，继之发展为实物或实物分子（包括离子、自由基），随后认识深入到物质的更深层次，如原子和核外电子等等。按照现代化学的观点，化学主要是研究分子转变的科学，研究分子的组成、结构和性质的变化。因此，有理由认为：所谓化学过程，主要是物质分子（包括离子和自由基）的组成、结构和性质随时间而发生的变化。

化学过程可以用化学反应方程式来表示。例如：



《中国大百科全书·化学》，中国大百科全书出版社，1989年版，第454页。

L. 鲍林等：《化学》（上），科学出版社，1982年版，第17页。

从化学过程的概念以及上述实例可以看到：第一，化学过程主要是物质分子发生变化，变化的内容包括分子的组成、结构和性质的改变；第二，分子的组成和结构的变化，涉及到组成分子的原子（原子团和离子）和原子的电子层结构，但不改变原子核；第三，这种变化是随时间的延续而实现的；第四，各种化学过程可以用如下通式来表示，即



这个式子概括了化学过程的共同点。

在化学中，人们是通过研究化学反应机理来细致描述化学过程的具体途径的。

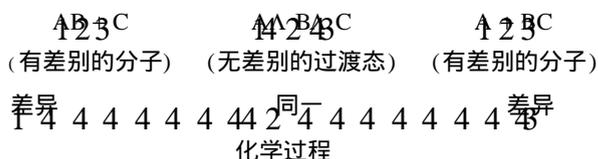
化学反应机理“是指在产生所观察的整个反应过程中同时或连续发生的一切涉及分子（包括原子、原子团及离子）的个别碰撞过程或其他基元过程。不言而喻，一个反应的机理必须给出其中所发生的每一步过程的详细立体化学图形。”机理是研究反应发生的实际过程，诸如是哪个键发生了断裂，并是以什么样的顺序，怎样的步骤，以及每个步骤以何样的相对速率实现的，等等。“为了完整地叙述机理，我们必须详细说明各个原子的位置（包括溶剂分子的原子位置在内）和过程中每一点的体系的能量。”可见，只有弄清化学反应机理，才能最终揭示化学过程的全貌。

2. 化学过程的哲学解

众所周知，化学研究的内容概括起来可以分为化学的组成、结构和化学反应（即化学过程）两个方面。这两方面的研究各有特点。对化学结构的研究，是把物质的分子个体作为一个系统，在相对静止状态上研究分子中原子的排列以及空间分布等外在形式，研究原子之间的相互作用，即化学键及其性质。

研究化学过程，则是把不同的物质分子，或不同的分子状态作为一个系统，探讨分子之间的相互作用和由于相互作用所引起的分子组成、结构和性质的变化。所以，一个化学过程首先是把有差别的反应物统一在一个系统中，当反应物分子相互碰撞形成过渡态（活化络合体）时，原来有差别的分子暂时变为同一、无差别的分子，当过渡态分解之后，无差别的分子又变为有差别的分子。这就是说，由物质分子所组成的系统，在差异与同一的对立统一中，随着时间的持续而展开。由此，我们可以从哲学角度提出一个化学过程的定义。所谓化学过程，就是由分子组成的系统随时间而发生的差异与同一的相互联系或相互转化。具体说明如下：

第一，对于同复分解反应相类似的化学过程，可以用下式表示，即：



实验证实，在许多反应中的确存在着过渡态。即使是那些过渡态存在时

[美]F.巴索洛、B.G.皮尔逊：《无机反应机理：溶液中金属络合物的研究》，科学出版社，1987年版，第1页。

[美]J.马奇：《高等有机化学反应、机理和结构（上）》，人民教育出版社，1981年版，第169页。

[美]J.W.穆尔、R.G.皮尔逊：《化学动力学和历程：均相化学反应的研究》（第二版），科学出版社，1987

间很短（ 10^{-22} 秒）的直接反应，从反应物分子必须经过碰撞才能生成产物分子的角度看，也是如此。因为在分子相互碰撞的瞬间，存在着从破坏旧化学键向产生新化学键的同一转化过程。因此可以说，只要有反应碰撞发生，就存在着同一的、无差别的过渡态。

第二，链式反应是通过活性组分（自由基或自由原子）的不断再生，使反应持续进行的一类复杂反应。其历程如图所示

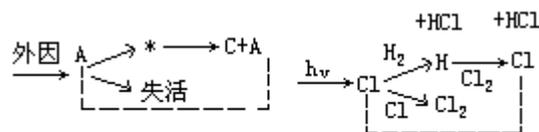
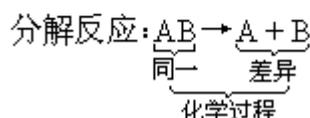
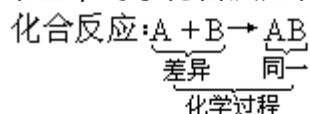


图10-1 链反应历程示意图

（见图 10—1）。由于链式反应的各个步骤靠同一的活性组分彼此相联，构成了化学过程的整体，因此，其中的活性组分起到了联接化学过程的桥梁作用。

第三，对于化合反应和分解反应，可以分别用下式表示：



第四，对于协同反应，例如：

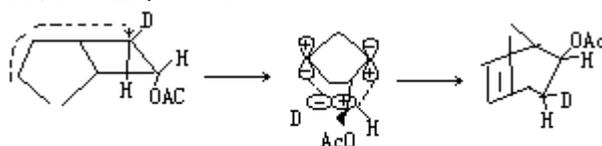


图10-2 双环[3,2,0]庚烯衍生物的重排产物

这是双环[3,2,0]庚烯的重排反应，同位素标记证实了中间体的存在。这类反应是反应物分子通过轨道“协同”变化而生成产物分子的，经过化学过程分子表现出差异。因此可以用下式概括这类反应：

从上述说明中可以看到，差异不仅可以引发化学过程，而且还能够作为判断化学过程发生与否的标志；同一是联接化学过程的桥梁，同时使化学过程成为一个整体。因此，差异与同一揭示了化学过程的本质；差异与同一的联系和转化构成了全部化学过程。



二、过程的本质

1. 过程概念的涵义

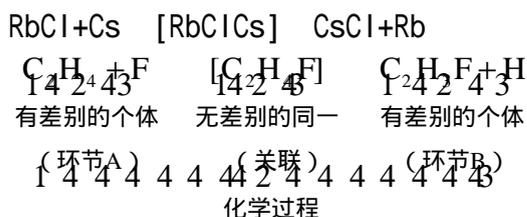
一般来说，系统的状态或任一性质随时间而发生的变化都形成过程。化学过程是物质分子的组成、结构和性质随时间而发生的变化。物理相变过程是物质的凝聚状态随时间而发生的变化。生物进化过程是生物物种随时间而发生的变化。产品老化过程是产品的性能随时间而发生的变化。心理过程是个人的心理状态随时间而发生的变化，如此等等。上述各种过程的共同点就是系统随时间而发生的变化。

反过来讲，如果系统的状态或某种性质随时间的延续而不发生变化，比如，一幢房屋从被建成之后到被破坏之前，在这段时间内房屋的样式并不发生变化。这是不是过程呢？也是。因为我们知道，这幢房屋的样式记录了它存在的历史，表明了时间的延续性，因而也是样式的持续过程。所以，由此我们可以概括地认为，过程是反映了系统随时间的延续性。

让我们再用哲学观点对过程做一些分析。化学过程的哲学解表明，在化学过程中存在着差异与同一的联系和转化。这种联系和转化不仅揭示了化学过程的本质，而且也在一定程度上反映了过程的本质。正如黑格尔所指出的：“个体性在它的发达的总体中是这样的：它的各个环节本身被规定为个体性的总体，被规定为完整的特殊的物体，这些物体又同时仅仅作为彼此不同的环节而相互关联。这种关联作为不同的、独立的物体的同一性，就是矛盾，因而在本质上也就是过程，这过程按照概念具有一种规定，那就是把有差别的东西设定为同一的，化为无差别的，而把同一的东西化为有差别的，把这种东西激活和分解。”

我们不妨从差异与同一的联系和转化出发，来分析几个特殊的过程。

例 1 下列化学反应 可以归纳为：



亦即在上述化学过程中，由于过渡态联接了不同的环节，体现了同一性，而从有差别的反应物到同一的过渡态，再到有差别的生成物的联系和转化就构成了过程。

例 2 水的相变过程如右图。

黑格尔：《自然哲学》，商务印书馆，1980年版，第320页。

R. D. 列文. R. B. 伯恩斯坦：《分子反应动力学》，科学出版社，1986年版，第271页。

傅献彩、陈瑞华：《物理化学》（上），人民教育出版社，1979年版，第284页。

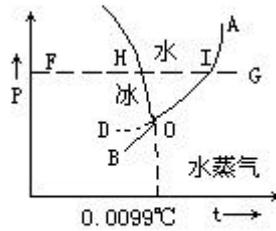


图10-3 水的相图

从水的相图中可以看到，FG 线表示在指定压力下，水随温度升高所发生的相变。整个 FG 线被 H 和 I 两个相变点划分为冰、液态水和水蒸汽三个不同的环节。相变点联接了不同的相，而在相变点上，没有相的区别，处于同一状态。这样，从冰到冰与水的同一，再到水，水与汽的同一，最后到水蒸汽。差异与同一的联系和转化就构成了过程。

例 3 下面的进化谱系树 表明了脊椎动物的进化过程（见图 10—4）。这一进化过程经历了不同的进化阶段，而在两个相邻的进化阶段之间存在着一些过渡类型的动物。像总鳍鱼，既有鱼纲动物的外形，又有与两栖纲动物相类似的肺和脊椎骨外形，又有与两栖纲动物相类似的肺、尾椎骨等构造。鸭嘴兽既像爬行纲动物那样是卵生的，又像哺乳纲动物那样用乳汁哺育小兽，如此等等。这说明，过渡类型的动物表现了进化中的同一性，联接并实现了不同物种的转化，从而构成过程。

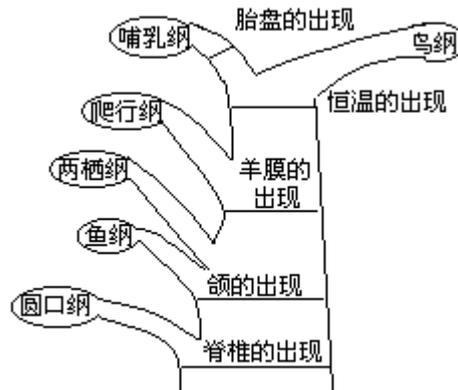


图10-4 脊椎动物进化谱系树

根据以上分析，有理由从哲学的角度概括出一般性的过程概念。即所谓过程，就是系统随时间而发生的差异与同一的联系和转化。

2. 过程的特性

通过对化学过程的讨论我们可以看到，首先，化学过程反映了物质分子在组成、结构和性质上的变化，在时空发展中具有连续性；其次，化学过程在宏观上表现了反应物分子与生成物分子之间有差异个体的间断性；第三，一个特定的化学过程具有与其它化学过程不同的相对独立性。可以看出，连续性、间断性和相对独立性不仅是化学过程所具有的特性，而且也是一般过程所具有的特性。

连续性是指系统通过同一而衔接和贯通在一起。过程之所以具有连续性，一方面因为时间是连续的，过程在时间中得以延续；另一方面因为系统

之间存在着普遍的内在联系，联系是差别中的同一，而过程的本质就是差异与同一的联系和转化。因此，过程必然是连续的。

由于过程具有连续性，所以过程可以被描绘成连续的曲线。例如在热力学中存在着等温过程曲线、等压过程曲线、绝热过程曲线和等容过程曲线等等（见图 10—5）。在生物学中有描述生物进化过程的“进化树”。在医学上有显示心脏跳动过程的心电图等。

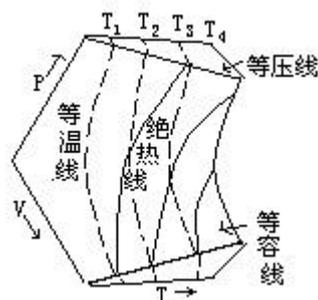


图 10-5 过程方程式图解

间断性是指系统的分立和差异。过程之所以在具有连续性的同时又表现了间断性，既有客观原因也有主观认识上的原因。在客观上，物质通常以显而易见的、相对静止的宏观状态存在，而物质之间的联系大都是隐蔽的。从主观认识上讲，人们首先认识的是显而易见的保持相对静止状态的物质个体，而且往往是以这些有差别的个体系统作为研究过程的出发点以及判断过程终止的结束点。这些间断的个体标志着过程的不同发展阶段。间断的个体组成连续的过程，间断性在过程中得到体现。认识间断性则可以发现过程。从这个意义上讲，过程反映了间断性。例如：昆虫发育过程由卵 幼虫 蛹 成虫 卵这些在宏观上表现为间断性的个体所组成，人们认识昆虫发育过程也通过观察这些个体来实现。镁条可以燃烧变成氧化镁灰烬，人们通过镁条和氧化镁灰烬这两个间断的个体可以判断发生了化学过程。

过程是相对独立的整体。从广义上讲，只要宇宙在运动，过程就存在着并延续着，整个宇宙都处于统一的变化过程之中。但是，每个具体的过程都有各自的起止点和特殊性。这些明显的起止点和特殊性从客观上规定了各种过程，而且人类的认识也从主观上要求对不同的过程加以划分。因此，过程具有相对独立性。例如：在化学运动中有氧化过程、还原过程、电离过程、电解过程；在物理运动中有等温过程、等压过程、相变过程；在生物运动中有生理过程、心理过程；在社会运动中有经济过程、生产过程；在天体运动中有行星运动过程、恒星运动过程，等等。这些相对独立的过程反映了物质运动的多样性，展示了发展的多种途径，标志了物质存在的多层次性。由此可见，承认并利用过程的相对独立性，可以从茫茫宇宙中找到物质变化的清晰路径，进而揭示物质运动的不同特性及其发展规律。

综上所述，连续性、间断性和相对独立性是过程的三种基本特性。

3. 过程的分类

按照不同的标准，过程可以划分为多种类型。可以根据系统随时间延续所表现的形式，把过程分为持续过程和断续过程两种。

持续过程是指随时间的延续，在单位时间内系统的状态或某种性质不发

生变化。持续过程又分为静态持续过程和动态持续过程两种。静态持续过程是指只有时间的延续，而没有空间的变化。象前面提到的房屋样式持续过程，就是一个例子。动态持续过程是指随时间的延续，虽然也可以有空间的变化，但系统的某种状态或性质始终保持，象化学平衡过程或相平衡过程等各种平衡过程，在时间的延续中始终保持动态平衡状态。

断续过程是指随时间的延续，系统的状态或某种性质发生变化。其中，如果按照变化与时间方向性的对应关系，又可以有普通断续过程和特殊断续过程之分。

在普通断续过程中，系统的变化与时间的方向性不存在唯一的对应关系。例如：人的心理过程时而复杂、时而简单；交通运输过程是以交通工具把人或货物随时转运到目的地来实现的等等。在这些过程中，系统起止状态之间在混乱度（或复杂性）上所发生的变化与时间的方向性不是唯一对应的。

特殊断续过程与时间的方向性则存在着唯一的对应关系。它包括退化过程、进化过程和循环过程三种类型。退化过程是指随着时间的正向展开而使系统的混乱度增加（或复杂性减少），即熵增加的过程。例如：所有的自发化学反应；水的自发相变过程；动植物的衰亡过程等。在退化过程中，系统的有序性从高级向低级变化，与时间的正向呈相反的对应关系。

进化过程是指随着时间的正向展开，系统的混乱度减少（或复杂性增加），即熵减少的过程。例如：生物从低级向高级的物种进化过程；人类文明的进步过程以及其它远离平衡态的自组织过程等。在这种过程中，系统的有序性从低级向高级变化，与时间的正向呈相同的对应关系。

循环过程是指随着时间的正向展开，系统呈现“往复旋绕、周而复始的运动过程”。循环过程又可分为固定周期循环过程和非固定周期循环过程。前者以等时间间隔进行重复运动，例如化学振荡反应，简谐振荡过程，一年四季的变化，等等。后者以不等时间间隔进行重复运动，例如，人类社会从原始社会到共产主义社会的发展过程，在所有制方面表现了否定之否定的重复循环，这个过程周期是不固定的。全球性的水循环和能量循环过程周期也是不固定的。

第二节 化学过程与状态

一、状态的涵义

在化学中，为了讨论系统所发生的化学过程，往往需要准确地确定系统的各种性质。这项工作可以通过规定一些参变数来完成。例如在量子化学中，科学家规定了四个量子数以说明电子的运动，原子和分子轨道的性质；为了说明一个化学过程，化学家要获取反应物和生成物浓度的数值，反应时的温度和压力数值以及化学过程中能量的变化数值，等等。系统中还有一些没有必要或暂时不能用参变数准确表示的性质，一般可以通过语言描述加以说明。例如“过渡态”常被用来说明化学过程中介于反应物与生成物之间的物质性质，“基态”用于说明原子核外电子的最低能量，“激发态”用于说明核外电子的能量高于最低能量等等。

上述实例表明，物质所具有的性质总要通过某种方式表现出来，而人们对物质性质的认识通常只有借助一些参变数或某些文字才能实现。总之，在物质的性质与人类的认识之间需要一个能沟通二者的桥梁。通过它人们可以认识并表述物质的性质。其中，“状态”就是一个能够起到桥梁作用的概念。

状态是“系统特性的量度或描述”。由于状态的确定意味着系统性质的确定，状态的改变显示了系统性质的变化，因此，人们不仅可以通过认识状态来了解系统的性质，而且还可以通过改变状态来控制系统的性质或显示其变化。例如电子运动状态用四个量子数量度，在这四个量子数中如果确定了电子的角量子数 (m_l) 和自旋量子数 (m_s) 的数值，就可以确定电子的微观态，又称电子组态。而电子组态的确定就可说明电子的性质得到了确定；电子组态的改变则可表明电子的性质也发生了改变。这样，人们通过电子组态就可以认识电子的性质。

前面提到，通过规定参变数可以确定系统的性质，而这些参变数的特定组合就是状态。例如反应物的状态可以用温度、压力和组分的摩尔数等数值的组合来构成；化学热力学系统的状态可以用内能、焓、自由能、熵以及温度和压力等参变数的组合来表示。除此之外，一些能够表达系统性质的文字描述也是状态。例如：过渡态、基态和激发态等。

由此可见，状态可以用来定量地说明系统的性质，也可以用来定性地描述系统的性质。

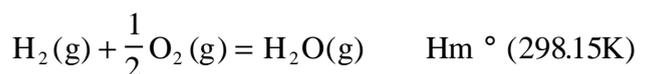
二、状态的变化——化学过程

化学过程是分子的组成、结构和性质随时间而发生的变化。因为物质的性质可以用状态来说明，所以，化学过程可以通过状态的变化来表示。“体系只要有一个性质在随时间而发生变化，就叫发生着过程。状态的变化就是过程。”

例 1 下面的热化学方程式 不仅表示了化学过程，而且还通过状态的改变值 (ΔH_m°) 说明了化学过程的性质。

阳作华、黄金南：《唯物辩证法范畴研究》，华中工学院出版社，1984 年版，第 94 页。

《化学通报》，1983 年，第 3 期，第 48 页。



$$= -285.830\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$= -571.660\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

例 2 伍德瓦德和霍夫曼根据分子轨道对称守恒原理，提出了直观反映协同反应过程的状态能级相关图。图 10—6 是环丁烯生成了二烯反应的状态能级相关图。

从相关图中我们可以获得两方面的信息。第一，连结状态对称性匹配 [例：(SS)(AA) — (AA)(SS)] 的轨道即可显示出反应可能经过的具体途径，也就是化学过程；第二，在顺旋过程中，最可能的途径是从环丁烯的基态 (G.S.) 到丁二烯的基态 (G.S.)，因为都是基态之间的反应，所需要的能量低，所以反应在加热条件下进行；在对旋过程中最可能的反应途径是从环丁烯的第一激发态 (E.S.) 到丁二烯的第一激发态 (E.S.) 由于是激发态之间的反应，需要较高的能量，所以反应要在光照的条件下才能进行。这样，利用状态能级相关图，就可以达到预测化学过程，说明反应机理的目的。

例 3 态-态化学通过控制每种反应物的能量类型 (平动能、振动能、转动能等) 和数值来达到预测定比反应几率和产物的能量分布的目的。研究表明，不同能量状态的分子 (原子) 反应速率大不相同。比如：铯与氟化氢的反应，处于振动激发态的氟化氢比处于平动激发态的氟化氢反应速率高十倍；

而铯与电子激发态的氟化氢的反应速率比处于基态氟化氢的反应速率要高三个数量级。这说明，分子的能态变化决定了化学过程。

由此可见，状态的变化构成化学过程，通过研究状态及其变化，可以认识化学过程。

第三节 化学过程与时间

化学过程是物质分子的组成、结构和性质随时间而发生的变化，化学过程学说的发展曾受益于时间概念的引入。从这两方向来看，时间对于化学过程具有重要意义。

时间具有可以限制间隔和指示方向两种作用。

一、化学过程与时间间隔

时间在不停地流逝，人们为了计量时间便借助于空间把时间划分为均匀的等份，时间间隔由此产生。所谓时间间隔，就是时间的均匀等份，又称时间单位。一天被分为 24 个等份，表示为 24 个单位；一小时又可以分为 60 个单位，用“分”表示；一分还可以分为 60 个单位，用“秒”表示……。自从划分了时间间隔，人们就有了衡量时间流逝的尺子，从而可以用来比较运动的快慢。

使用时间间隔来比较化学过程的快慢在化学中表现为两种方法。其一，利用反应速率的概念。反应速率是指“某反应的反应进度随时间的变化率(即 $\frac{d\xi}{dt}$)。”由于反应速率是一个没有方向的标量，在这个概念中时间是均匀、对称、可逆的。反应过程的快慢并不是直接通过时间的长短得以显示的，而是通过反应速率的大小得到显示的。反应速率高者为快反应，反之则为慢反应。其二，利用半衰期($t_{1/2}$)的概念。半衰期是指“某一给定反应物消耗掉一半所需要的时间”。半衰期长的为慢反应，否则为快反应。人们在实际应用中往往根据使用和测试手段的方便与否，来选取适当的方法以比较化学过程的快慢。

时间间隔除了可以比较化学过程的快慢以外，还可以作为深入认识化学过程的标志。日常生活经验告诉我们：使用量度单位进行度量时，量度单位要小于或等于被度量的对象。同样道理，用时间间隔来度量化学过程，时间间隔应该小于或等于完成化学过程所需要的时间。从这种意义上讲，时间间隔的缩小意味着对化学过程认识的深入。在本世纪 70 年代以前，人们还仅限于了解寿命为 10^{-6} 秒以上的化学过程，因为当时没有一种仪器可以将时间间隔缩短到 10^{-6} 秒以下。70 年代以后，由于激光器的发明与应用，激光脉冲不断缩短了时间间隔，因而为人们认识瞬态反应提供了认识可能。目前，“靠最尖端的技术物理学家已能使脉冲短到 0.01 皮秒(10^{-14} 秒)。因此，在 0.1 皮秒范围的动态学研究也已经开始了。……这就是说，化学家能在比任何瞬态分子寿命都还要短的时间内，去弄清反应混合物的情况。”

对化学过程的认识正是在这种以缩短时间间隔为目的的实验技术发展中得到逐步深化的。在经典化学时期，用时间间隔为 10 秒或 1 秒的实验方法仅能研究半衰期以小时计的反应。而在现代化学时期，用时间间隔为 10^{-11} 秒的光脉冲波照射激发，就可以获得半衰期为 5×10^{-11} 秒反应的全过程信息。

由此可见，时间间隔不仅可以作为衡量反应快慢的标尺，而且还可以作

南京大学化学系等：《物理化学词典》，科学出版社，1988 年版，第 328 页。

南京大学化学系等：《物理化学词典》，科学出版社，1988 年版，第 343 页。

《化学中的机会》，中国化学会，1986 年版，第 47 页。

[美]P.C.乔丹：《化学动力学与传递》，清华大学出版社，1985 年版第 98 页。

为对化学过程认识深化的标志。随着实验技术的不断提高，对化学过程的认识将继续深入，人们还会在更短的时间间隔内发现新的变化。

二、化学过程与时间的方向性

时间具有不可逆转的单向性。化学过程随时间而展开，则时间的方向性就在化学过程中将得到体现。

时间的方向性在化学过程中有三种不同的表现。第一，在已经达到化学平衡的反应过程中，随时间的延续，在宏观上化学平衡状态不再改变，在微观上反应物与生成物之间的反应仍在不断进行。这是动态持续过程，时间的方向性与系统变化的方向性无关；第二，对于自发不可逆反应过程，时间前进的方向与化学过程的不可逆性一致（例如铁生锈的过程），化学过程的方向就是时间之矢的方向；第三，对于化学振荡过程，在时间进化的方向上，反应物和产物周期性地变化。例如 B—Z 反应，当被控制在远离平衡态时反应表现出颜色的周期性变化。这说明反应物与生成物的浓度呈现周期的改变。这种化学过程与平衡过程不同。平衡过程中正逆反应双方同时改变；而在振荡过程中却产生了循环，即在时间进化的方向上，每一时间间隔内物质浓度都在改变。在相同的时间内浓度的改变发生重复。另外，振荡过程与自发不可逆过程也不同，后者反应的方向性与时间的方向性一致，而且存在最终极限，即反应物全部转化为产物，而振荡过程既不与时间进化方向始终如一，又不存在最终极限（只要条件允许）。

上述三种化学过程与时间方向性的关系可以用图形来近似说明（见图 10—7）。

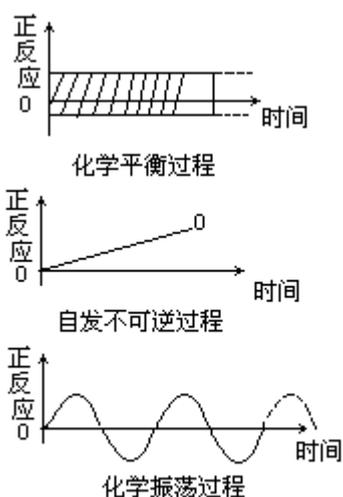


图10-7 各种化学过程与时间方向性的关系

以上分别从时间间隔和时间的方向性两个侧面探讨了化学过程中的时间作用。在研究化学过程时，常常忽略时间的一种作用而强调另一种作用。例如当注重反应快慢时，人们首先固定时间的方向，即事先确定究竟以反应物浓度的减少还是以生成物浓度的增加作为反应速率的标准。而当预测反应发生的可能性时，人们则暂时不考虑时间间隔的长短，不管这种反应到底用多少时间才能完成。但是，在化学过程中时间间隔与时间的方向性毕竟不可分割，只要有化学过程发生，就有时间的展开，就要涉及反应完成的时间间隔。因此，在许多场合需要综合考虑时间的双重作用。例如每一个化学产品的工业合成过程实际上都是时间双重作用的综合体现。生产某种化合物的方案能

否实施，首先要回答反应能否发生和反应限度如何等热力学问题；同时还要回答设备承受能力以及如何提高产率等动力学问题。这两方面都得到了落实，生产方案才有可能上马。再比如，本世纪 60 年代初在利用分子束散射实验研究分子快速反应机理时，人们观察到产物的角分布有强烈的方向性（见图 10—8）。这

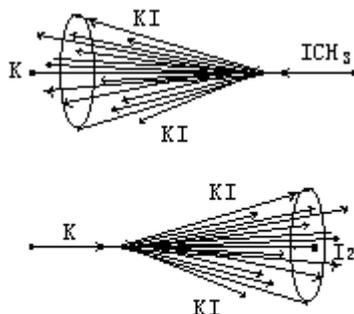


图10-8 产物角分布示意图

种有明显方向性的散射结果表明：两种反应物一经碰撞，化学过程便已经结束了。因为如果两种反应物先形成一个“过渡态”，并且“粘”在一起的时间较长，则产物将以随机的方式飞散出去，而不可能如此集中。就此，人们把这种反应称为直接反应，而且还确定了一个时间基准。如果“反应时间”少于过渡态转动周期（典型数据为 10^{-12} 秒），则称反应为直接反应。以上实例说明：同时参考时间间隔和时间的方向性作用，也是研究化学过程不可缺少的方法。

俞书勤：《微观化学反应》，安徽科学技术出版社，1985年版，第28页。

[美]R.D.列文、R.B.伯恩斯坦：《分子反应动力学》，科学出版社1986年版，第89—90页。

第四节 化学过程的认识方法

人们在研究化学过程时，需要克服来自各方面的重重困难，其中最主要的是认识的同步性问题。由于化学过程是运动系统，而研究者处于相对静止状态，如果二者不处于同步发展的体系中，研究者则无法获得对化学过程的真实认识。怎样将二者加以统一呢？为此，人们曾采用了各种方法。

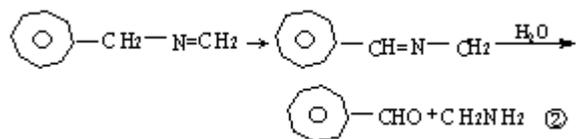
一、通过静态认识过程的方法

为了使研究对象与研究者在认识上取得同步发展，人们往往在运动过程中截取适当的相对静止状态，然后通过研究这些状态之间的联系，揭示运动过程的规律性。因为，静态是运动过程中的特写，能够将运动过程的特性以相对稳定的形式突出地表现出来，而且静态可以与研究者保持同步关系。所以，恩格斯认为：“必须先研究事物，而后才能研究过程。必须先知道一个事物是什么，而后才能觉察这个事物所发生的变化。自然科学中的情形正是这样。”运动的相对静止状态就是事物的稳定存在形式。人们对化学过程的研究就是从对静态的研究开始的。

化学过程的静态有初始态、过渡态、终止态和化学平衡状态等。人们从不同侧面研究这些静态，就可在不同层次上取得对化学过程的认识。

例如在经典理论时期，盖斯通过研究化学反应前后热量的变化，揭示了化学过程中的能量守恒和转化规律，并且为后人从起止状态的状态函数出发来判断化学过程发生的可能性提供了理论依据。古德贝格和瓦格从化学平衡状态出发，根据反应速率不变这一因素，建立了质量作用定律，从而为说明完成化学过程的现实性打下了基础。在现代理论时期，艾林等人提出了过渡态的假设，由此得到了过渡态理论，从而使人们在研究微观反应机理时有了理论基础。伍德瓦德和霍夫曼将起止状态的分子轨道按照对称性匹配原理加以联结，揭示了协同反应机理，弥补了以往人们对基元反应机理的认识不足。人们还通过检出中间物和产物分子的存在与否，来确定反应机理。

例如在下列反应 $\text{RCONH}_2 + \text{NaOBr} \rightarrow \text{RNH}_2$ 的过程中，由于离析出中间物 RCONHBr ，而证明了该化学过程曾经过这一中间步骤。又如在索木来特反应



的过程中，由于没有检出预测的产物甲胺，从而说明上述预言的化学过程有错误。

以上事例大致反映了人们通过静态认识化学过程的具体方法。这可以归纳为：根据静态中的变化因素，能够认识过程的转化趋势；根据静态中的不变因素，能够认识过程的发展途径；通过确认静态结构，可以反证所预言的过程。

由于过程是系统随时间所发生的差异与同一的联系和转化。在过程中，差异说明了转化，同一意味着联系。因此，认识差异可以推断转化，发现同一可以揭示联系。这就是通过静态认识过程的各种方法的认识论依据。

《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社，1972年版，第240页。

俞凌翀：《基础理论有机化学》，人民教育出版社，1981年版，第142页。

从静态认识过程在方法论上还有一个突出的特点，就是可以通过图形来加以表达。例如按照单分子反应理论，衰变过程要经过一个过渡态，整个反应历程可以写成：



其中， $(ABC)^*$ 是碰撞络合物，当它具有足够能量后可以达到过渡态 $(ABC)^\ddagger$ ，而且达到过渡态的速率要比 (ABC) 变为产物的速率快得多。这一反应过程的能量关系如图10—9所示。络合物位于势阱之中，它所具有的总能量为 E^* ，过渡态在反应路径的出口能垒上，具有可利用的能量 E 。从图中能量的变化，可以看到反应的径迹。从另一个角度来讲，能量图是以相对静止的形式凝结了化学过程的信息，把立体过程平面化。这种简化方法为认识运动和掌握过程提供了很大方便。

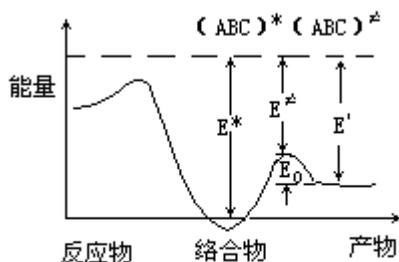


图10-9 形成碰撞络合物的反应过程能量图

通过静态认识过程，是一种把研究对象转化为适应研究者的方法。对过程的认识还可以从改变研究者的角度出发，使研究者置身于过程之中，从过程中认识过程。

二、通过动态认识过程的方法

正如高级运动形式不能简单地还原为低级运动形式那样。物质的运动过程也不能简单地还原为静止状态的迭加。例如研究催化反应过程，如果把脱离反应过程的催化剂性质与脱离催化剂的反应过程性质加以综合，那么将会得到与催化反应的真实过程毫不相干的结论。因为物质处于静态时所受到的各种因素的影响要远远小于它在运动过程中所受到的各种因素的牵制。所以，运动过程与静止状态的性质具有差别。虽然人们可以通过静态去认识过程，然而这只能是一种有限的趋近，并不能反映过程的全部真实情况。因而，只要认识条件允许，人们就应努力从通过静态认识过程上升到通过动态认识过程。

人们通过分子运动认识化学过程的理想化方法就是利用实验手段追踪化学反应。相当于运动着的研究者同步认识化学过程。例如目前人们综合利用交叉分子束技术和激光技术已经可以认识时间间隔为 10^{-12} 秒的微观化学过程。这无疑是一种最乐观的认识方法。然而，这种方法也具有局限性。因为激光技术受“测不准原理”的限制，时间间隔越短，测量精度越差。所以，事实上有许多化学过程还不能利用这种方法加以认识。因此，还需要有新的认识方法。

在系统工程方法论中有所谓黑箱方法或灰箱方法，即在完全不了解或不了解系统性质的情况下，可以建立功能相似的模型模拟系统功能，通过

俞书勤：《微观化学反应》，安徽科学技术出版社，1985年版，第33页。

邓丛豪：《现代化学的前沿和问题》，山东大学出版社，1986年版，第86—87页。

研究模型的结构和性质，达到揭示系统的结构和性质的目的。

同样道理，如果把复杂的化学过程当作打不开的“黑箱”，建立功能相似的模型，那么，通过研究模型，就可以揭示化学过程。这是认识化学过程的“黑箱方法”。这种方法目前已经被人们所应用，例如70年代国际上对固氮酶的研究出现的高潮就是如此。我国在这一领域已处于领先地位，特别是1978年我国科学家提出了李合双网兜型的原子簇结构和并联双座活口双立方烷型原子簇结构模型也是运用了这一方法。这些模型具有与天然固氮酶铁钼辅基相似的催化活性和选择性，可以模拟固氮酶铁钼辅基的化学过程。化学家通过对这些模型的研究，提出了固氮酶中腺苷三磷酸(ATP)驱动的电子传递机理。由此可见，在化学中运用“黑箱方法”研究化学过程具有重要的意义，尤其是研究催化化学过程。

另外，1970年福井谦一(Fukui)提出内禀反应坐标法，把化学反应放在黎曼空间的超曲面上来处理，一旦得到过渡态的结构，不需整个势能面，就可以得到一系列反应动力学信息。这种方法关键在于利用了黎曼空间，而黎曼空间不同于欧氏空间，它可以通过曲面的不同曲率表示出变化。应用变化的空间来计算化学变化，在方法上达到了从动态认识过程的目的。这种方法正在被更多的化学家所接受。1972年，法国拓扑学家托姆(R·Thom)提出用曲面的奇点理论来解释突变现象的突变理论。根据该理论可以用七种基本的突变模型来描述形形色色的突变现象。内禀坐标法可以说为使用突变理论研究化学过程提供了可行性范例。因此，从通过动态研究过程的方法论角度来看，使用突变理论也许可以成为研究化学过程的一个重要的研究方法。

总之，尽管通过动态认识过程的方法在实际应用中还有许多问题有待解决，但这毕竟是一种现实性的可能，必将为人类对化学过程的认识深化开辟道路。

“工欲善，必先利其器”。研究复杂的化学过程必然需要各种各样的认识方法。因此，在今后的化学发展中，研究认识化学过程的方法与研究化学过程本身的工作不仅具有同样重要的意义，而且还具有相互促进、相互制约的统一关系。

《化学通报》，1979年，第5期，第33页。

《厦门大学学报》(自然科学版)，1979年，第2期，第30页。

邓丛豪：《现代化学的前沿和问题》，山东大学出版社，1986年版，第76页。

同上，第71页。

刘元亮：《科学认识论与方法论》，清华大学出版社，1987年版，第293—294页。

第十一章 化学时空论

所有物质的化学过程都是在一定的空间和时间中进行的。因此，在研究物质化学转变过程中时间和空间就是两个很为重要的因素。它们不仅是保证化学反应进行的外部条件，而且也是决定反应速度、方向和结果的重要因素。这就显示了时空概念在化学中所占有的重要地位。

第一节 自然科学中的时空概念

时空概念，历来是哲学和自然科学所共同关注和探讨的问题。化学中的时空概念是与自然科学的时空概念紧密相连的。因而，要阐明化学中的时空概念的发展，就需要先回顾一下自然科学中时空概念发展的历史背景。

一、古代的时空概念

古代由于自然科学还没有从哲学中分化和独立出来，所以古代自然哲学中的时空概念，也就是自然科学中的时空概念。古代自然哲学家们是从世界的本原来探讨时空本质的。

德谟克利特把空间理解为“虚空”，认为“虚空”是原子存在和运动的根本条件，是原子存在的容器和原子运动的前提。空间自身是“虚空”的、同类的、连续的、无限的。时间在德谟克利特看来，只同原子的运动和原子的空间结合有关，而同它的存在无关。因为原子是永恒不变的，时间也是客观的、永恒的、不能创造的；时间本身是均匀的、连续的、无限的。亚里士多德总结了古希腊时期对时间的认识，把时间理解为运动的数目。他认为，当有了从前和以后时，我们就可以谈到时间，因为时间不是别的，而正是有关在先和在后的运动数目，总之时间是连续的、均匀的。他也分析了时间同运动的关系，认为时间不是运动，但依赖于运动，是运动的某种东西。

古代自然哲学中的空间、时间概念，虽然是直觉的，还没有上升到科学的抽象，但是古代自然哲学中承认时间、空间是同物质及运动相联系的概念，并承认时间是客观的、均匀的、连续的等观念。这就成为后来的时间、空间概念进一步发展的基础和源泉。正如恩格斯所指出：“在希腊哲学的多种多样的形式中，差不多可以找到以后各种观点的胚胎、萌芽。”

二、牛顿的时空概念

古代自然哲学中的时间概念是同世界本原相联系的，而近代的时间概念是同对自然现象的描述相联系的。它是描述自然界运动过程的基本概念，是随着力学的产生和发展而建立起来的。

伽利略把时间的二种主要特性——流动的连续性和均匀性，作为自己对自由落体定律作结论的基础。他的自由落体定律所揭示的空间距离的增长与时间的平方成比例的关系，已把时间概念纳入力学过程，是描述机械运动的开端。英国科学史家丹皮尔指出，过去，“经院哲学用‘本质’，‘原因’来不精确地描述运动，以说明物体为什么运动。现在这些已经为时间、空间、物质及力等概念所代替。”伽利略关于时间概念同力学过程的联系思想，成了牛顿绝对时间概念的基础。由于受伽利略的影响，牛顿提出了独立于人类意识，独立于所有物质而存在的绝对时间观。

牛顿指出：“绝对的、真正的和数学的时间自身在流逝着，而且由于其本性而在均匀地，与任何其它外界事物无关地流逝着……相对的表现的和通常的时间是延续性的一种可感觉的、外部的（无论是精确或是不相等的）通过运动来进行的度量，我们通常就用诸如小时、日、月、年等这种度量以代

高德：“自然科学中的空间与时间概念的发展”，《衡阳师专学报》，1981年，第1期。

L·罗班：《希腊思想和科学精神的起源》，商务印书馆，1965年版，第331页。

《马克思恩格斯全集》第20卷，人民出版社，1972年版，第386页。

W·C·丹皮尔：《科学史》，商务印书馆，1978年版，第217页。

替真正的时间。”牛顿还指出：“绝对的空间，就其本性而言，是与外界任何事物无关而永远是相同的和不动的。相对空间是绝对空间的能动部分或者量度。我们的感官通过绝对空间对其它物体的位置而确定它，并且通常把它当作不动的空间看待。如相对地球而言的地下、大气或天体等空间都是这样来确定的。”

牛顿的绝对时空概念，是整个牛顿力学体系中的不可分割的组成部分。从牛顿力学的基本定律和概念出发，就一定要求有一个绝对的时空概念。物体的位置移动，就要求空间“空”；物体的绝对静止，就要求空间的绝对“不动”；物体的绝对匀速运动，就要求空间绝对“平直”、“均匀”；而且还要求时间绝对的均匀，没有快慢节奏。反过来，只有绝对时间和空间概念才能保证牛顿力学规律的有效性。

在牛顿力学中，时间仅仅是描述运动的一个几何参量。这一点可以从牛顿方程中体现出来。

$$F_i = \frac{dr}{dt^2}$$

如果把时间符号变为 $t - t$ ，这个方程是不变的。某一时刻，无论现在、过去还是未来的时刻，都被假定为同另一时刻完全相同。正是由于这个原因，“科学家把牛顿系统中的时间说成是可逆的。”在牛顿力学中不会产生关于时间的结构、时间的性质的问题，时间只具有长度性质，“仅仅是描述运动的一个几何参量，”与物质运动的本性没有什么内在的联系。

三、爱因斯坦的时空概念

爱因斯坦相对论的时空观是与物质运动的相对性相联系的。在牛顿体系中的过去、现在和未来是没有区别的，但是在相对论中则过去、现在和未来并不具有这样简单的含义，而要取决于观察者的运动状态。在牛顿力学中，时间是均匀地、绝对地流逝着，空间是绝对不变的；而在相对论中，时间、空间与物质的运动速度有关，运动的物体的质量随其运动速度增加而增大，其长度在其运动的方向上缩短。不仅空间随运动的变化而变化，而且时间也随着运动的速度变化而变化。物体运动的速度越快则时间流逝得越慢。爱因斯坦的广义相对论进一步发展了狭义相对论中的时空概念。在广义相对论中引力场能够改变空间的状态以至时间的速度，引力场愈强，时间流逝得愈慢。

爱因斯坦的时空概念，并没有排斥空间和时间的客观性和绝对性，在物体运动速度远远低于光速的条件下，便和牛顿的绝对空间、时间概念一致。它比牛顿的时空概念有着更加普遍的适用范围。

爱因斯坦相对论中的时空概念，揭示了时空与物质及其运动的依赖性，揭示了时空特性随着物质运动状态的改变而改变的关系，从而彻底抛弃了牛顿的绝对时空观念，实现了自然科学中时空概念的变革。但是，无论是牛顿体系，还是相对论体系，时间都只是描述可逆运动的一个几何参量。爱因斯坦认为，具有不可逆的时间只是人类的幻觉。他仍然寄希望于数学家能够用

塞耶：《牛顿自然哲学著作选》，上海人民出版社，1974年版，第19页。

普里戈金：《从混沌到有序》，上海译文出版社，1987年版，第15页。

普里戈金：《从存在到演化》，上海科技出版社，1986年版，第1—2页。

精确的数学来描述物理世界。

四、普里戈金的时空概念

牛顿力学和相对论中的时间都只是描述可逆运动的一个几何参量。然而，这种时间的可逆性往往与实践经验和其它科学所揭示的客观现象发生矛盾。在日常生活中如把两种液体（例如水和酒精）掺在一起，一般都会经过扩散变成某种均匀的混合物而不会自行分开。人人日日夜夜在衰老而不可逆转则是一个事实。在各门科学中日益揭示了自然界发展的方向性和时间的不可逆性。例如天文学中康德—拉普拉斯关于天体演化的星云说逐步得到承认；在地质学中，赖尔提出了地质渐变的理论，说明了地球的演化和发展；化学家们研究的化学反应则有一些是不可逆过程；在生物学中达尔文的进化论则揭示了生命从单细胞生物到人的进化过程；现代宇宙学预言宇宙在演化并说明静态宇宙观与事实显然不符；在微观领域中科学家又观察到了时间的对称性自发破缺现象，有“箭头”的时间已经被深深地引入了我们对基本粒子的认识中。时间的不可逆性不仅贯穿到生物学、地质学、化学以及社会科学中，而且使人们终于认识到整个自然界和人类社会，从沙粒到太阳，从基本粒子到宇宙，从原生物到人，都处于永恒的产生和消灭之中，都有时间上的发展。自然界“不是”在空间存在着，而是在时间中生成并消逝着。世界不是由现成事物构成的，而是各种过程的总和。在这些过程中随机性和不可逆性起着越来越大的作用。科学正在重新发现时间。

进化的观念滋长出柏格森和怀特海等人关于时间的理论。怀特海认为现代哲学的显著特征就是“认真地对待时间”，认识到世界是一个过程。柏格森则认为，数学和物理中的时间概念并没有真正抓到时间的本质，它们是可逆的，其中没有什么新事物出现。而“真正的时间”，即进化的时间，则是不可逆的，它表现出世界的“创造性进化。”

在科学中真正揭示时间不可逆性的是热力学第二定律。这个定律用熵增加原理第一次把进化观念引入物理学。从青年时代就开始考察时间的不可逆的普里戈金非常重视热力学第二定律，并把它作为自然界的基本定律之一。他以热力学第二定律所揭示的时间不可逆性为基础，着重研究远离平衡态的不可逆过程，提出了耗散结构理论。它把历史因素引入物理学和化学，进而把物理学、化学同其它学科统一起来。于是，时间不再是一个简单的运动参量，而是非平衡世界中内部进化的度量。

普里戈金在耗散结构理论中提出了“内部时间”的概念。在普里戈金看来，时间是有结构的。他发现了一个现在的“持续宽度”，即现在中有来自过去和最近将来的贡献。图 11—1 是传统时间和内部时间的表示。

普里戈金：“时间再发现”，《科学》，1987年，第4期，第243页。

柏格森：《时间与自由意志》，商务印书馆，1958年版。

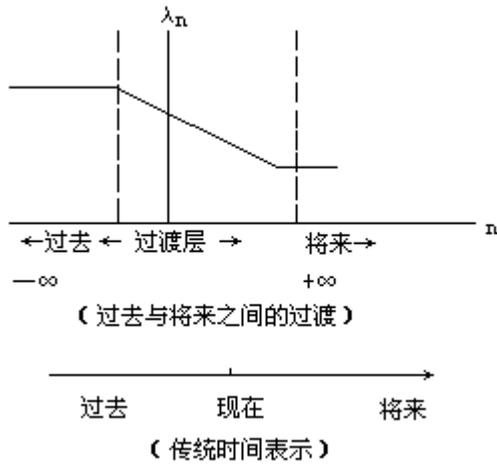


图11-1 内部时间和传统时间的表示

从上图可见，过去与将来之间具有一个过渡层，即所谓“现在”具有一个“持续宽度”。在传统观念中，时间是和一条从遥远过去伸向未来的直线同构，“现在”就对应于一个点，过去、现在和将来没有区别。在耗散结构理论中内部时间就不再仅仅是一个几何参量了。它表征了物质进化的内部量度。这样，空间分布的物质就不仅在均匀的流逝中，而且还有了年龄和历史。系统演化则是有着不同年龄构成的演化。这个新的时空观，才真正把时间和空间统一起来，在演化中理解自然界，理解物质。于是，物质的活性与时空系统联系起来，构成了有机的时空观。

普里戈金还把时间概念区分为不同层次：（1）与动力学相联系的时间，在这个水平上的时间是可逆的，仅仅是运动的几何参量；（2）与热力学相联系的时间，在这个水平上的时间与不可逆过程有关，时间是不可逆的；（3）与耗散结构相系的时间，在这个水平上的时间与“历史”、“进化”相联系，是一种进化的时间观。普里戈金的时间概念，是对时间发展的一个重大突破。可以说，他重新发现了时间。

第二节 化学时空概念的发展

化学时空概念的发展，是与自然科学时空概念发展密切相关的。自然科学时空概念引入化学领域是人们对化学运动认识过程的不断深化的结果。

纵观人类对化学运动的认识过程，大体上是按照性质 组成 结构 过程 进化的线索进行的。古代化学主要是通过“拟人的观念”和“亲合性”来解释物质相互化合的性质；波义耳则认识到可以通过把握物质组成来说明性质，以“组成—性质”为线索来解决化学的质变问题；19世纪初，由于同分异构现象的发现，人们又认识到化学性质不仅同组成有关，而且也同化学物质各组成物质的空间排列有关。由此把空间因素引入化学，并产生了化学结构的观念，进而开始对组成、结构、性质进行全面研究；此后，在19世纪下半叶，由于化学热力学和动力学的发展，进而使化学从研究静态的化学组成和结构深入到研究化学变化的机制与过程。由此再把时间因素引入化学，并产生了关于化学过程的学说；到了本世纪60年代以后，随着具有生物活性的高分子的不断合成，化学开始利用生物界的催化功能研究化学进化，进而奠定了化学进化学说的基础，并给化学时空概念赋予了新的含义。

化学时空概念的发展线索与人类对化学运动的认识过程可用图11—2表示。

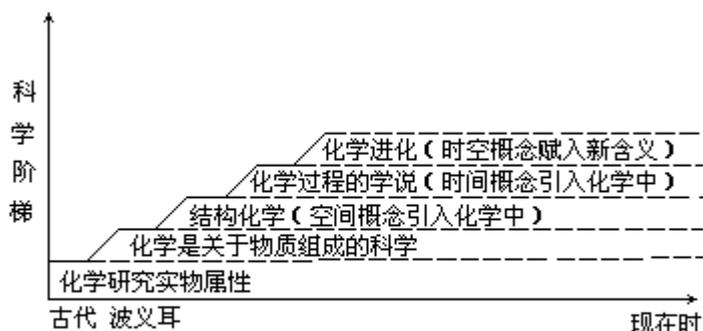


图11-2 化学时空概念的历史发展

一、化学空间概念的发展

化学中空间概念的引入与发展，是同化学结构理论的产生与发展密切相关的。1861年，俄国化学家布特列洛夫概括了当时的研究成果，提出了“化学结构”的概念。他认为，“一分子的化学性质决定于基本组分的性质和数量，还决定于它的化学结构。”化学结构的观念肯定了分子结构的可知性，明确了结构和性质的关系。化学结构理论所采用的化学结构符号模型，可以鲜明地模拟出原子彼此在一个平面上的固定排列顺序和互相联接的方式。因此可以说，由于布特列洛夫提出的化学结构的平面空间概念，就使得化学空间概念得以进一步的确立。

此后，随着立体化学的发展，空间观念的重要性获得了越来越广泛的认识。1874年，荷兰化学家范特霍夫和法国化学家勒贝尔发展了凯库勒的碳四价说，分别提出了反映有机分子三维空间结构的立体结构学说。他们把化学式推广到空间，并根据事实推导出碳原子的四个价不能互相垂直处在同一平面上的结论，进而提出了四面体的空间排列，把化学分子的结构由平面推向

立体。范特霍夫和勒贝尔的立体化学概念，在瑞士化学家维尔纳的配价理论中得到了进一步发展。他把八面体构型作为研究配价化合物的空间结构的基础，作出了得到实验证实的立体化学结论。这就不但提出了分子结构的空间构型，而且还解释了同分异构现象，使得空间概念在化学中得到了进一步发展。

现代化学键理论的发展，使化学空间概念进入了微观层次。量子化学中进一步广泛使用了空间概念。它把分子的立体化学看成是分子的电子结构的结果。其出发点是，认为原子的化学键机制依赖于电子运动的波动性质，而化学键的空间分布的方向性，最终是由电子电荷在核—电子系统中不均匀分布状况所决定的。在量子化学中，空间概念的进一步引用，反映了化学变化强烈依附于分子几何学、化学键的长度和方向等空间效应的状况。在某些反应中，一种原子团被其它原子团所置换的速度在一定程度上也是取决于空间因素。它可对原子产生新的交互作用，可对许多化学反应的速度和平衡产生影响。在现代化学中特别重视对于物质的空间因素的研究。目前，化学在时间尺度上的分辨能力可以达到 10^{-12} 秒，而在空间尺度上进行的“微区分析”则可以达到分子量级（ 10^{-8} — 10^{-5} 厘米），并可以展示出某些分子的空间取向、电荷转移、能量传递和键的破裂等过程细节。由此可见，化学空间概念，在量子化学中已经深入到微观层次。

二、化学时间概念的发展

第一个把时间因子引入化学中的是瑞典化学家温策尔。在 17 世纪和 18 世纪，牛顿力学取得了惊人的发展，并且对化学产生了深刻的影响。化学家们由于受到当时力学的影响，把化学反应的原因（化学亲合力）同牛顿力学的引力思想联系起来，从力学中借用了诸如质量、速度等各种概念，并且极力地推行力学的度量。1777 年，温策尔受牛顿力学的时间概念的影响，第一个引入时间因子来测量亲合力的大小。他根据镁、铁、铜、锌、铅等金属从同一稀酸中置换出氢气的速度（单位时间内氢气的逸出量），来测量不同金属的亲合力，但是他没有取得定量结果。因此，直到 19 世纪下半叶时间因子才和化学过程发生联系。1850 年，德国化学家威廉米重新开始了半个多世纪以前温策尔的工作，继续寻求时间因子与反应过程的联系。他在研究蔗糖在酸作用下的反应速度时，提出了反应生成量与反应时间关系的数学表达式：

$$-\frac{dc}{dt} = kc$$

这是单分子反应的第一个动力学方程式。它把时间因子和反应过程联系起来。可见，威廉米已经把时间因子定量地引入化学中。但是，“他的这一工作直到 1888 年被奥斯特瓦尔德发现之前，从未为人所知。”

从 19 世纪中叶开始，化学家们逐步认识到时间因子对于化学过程的重要意义。1851 年曾经提出过化学动态平衡概念的英国化学家威廉森指出，在静力学中，我们研究的是静止瞬间的现象，而在动力学中，我们则是研究现象的变化。因此，在化学中引入时间因子是必要的。他认为，尽管这一事实已被提出来，但仍未对化学过程进行解释。对此，他号召化学家研究化学过程中的运动情况，以便减少把化学现象归结为神秘的力的事实。他并通过乙醇

丁绪贤：《化学史通考》，商务印书馆，1951 年版，第 469 页。

《化学发展简史》编写组：《化学发展简史》，科学出版社，1980 年版，第 224 页。

加硫酸皂化反应分二步进行的机制的研究，认为把化学变化的运动机制引入化学，则是时间因子引入的最简单的方法。

1860年以后，古德贝格和瓦格进一步认识到了时间因子对化学过程的重要意义，提出了质量作用定律，建立了动力学的方程。他们把时间因子 t 引入动力学方程中，通过动力学方程人们可以研究不同时间的反应速度。因此说，只有把时间因子引入化学，人们才有可能确立化学过程的机理和速度。

化学中时间概念的引入经历了从温策尔到19世纪末化学动力学产生之后的一百多年的历史。在这段历史中，由于19世纪初道尔顿的原子论出现之后把空间概念引入化学，而使得结构理论得到发展。在此基础上时间概念才在化学中得以确立。关于时间概念引入化学比空间概念引入化学较晚的现象，应当说是由认识过程本身的规律性所决定的。大家知道，人类认识事物总是从简单到复杂，从静态到动态。化学在研究静态或空间的具体形式时，时间因素并不起实质性的作用。因为人们往往可以首先撇开包括时间在内的各种关系进行研究。时间因素只是在需要揭示化学变化过程时才被引入。因此，在化学研究中往往都是先认识物质的特性，物质的结构，而后才认识物质的转化过程。也就是说，在开始转向对过程及其同已发生化学变化的物质的空间结构的联系的研究中，才产生了引入时间概念的客观必要性。正如恩格斯指出：“必须先研究事物，而后才能研究过程。必须先知道一个事物是什么，而后才能觉察这个事物中所发生的变化。自然科学中的情况正是这样。”

19世纪下半叶，由于质量作用定律的建立而明确了化学平衡和化学反应速度的概念。而阿累尼乌斯指数定律的产生，又提出了活化能和活化分子的假设。这样就使人们初步掌握了化学反应速度与浓度、温度以至和催化剂的相互关系，从而奠定了化学动力学理论概念的基础。

大家知道，在一定的条件下，根据热力学第二定律的计算，可以预见化学反应的方向和限度，可以从初始态出发预见到未来。但是，为了实现这一未来状态需要多长时间，热力学第二定律并不能提供答案，而需要依靠化学动力学。在化学动力学中，时间特性是以两种形态表现出来的。一是在动力学方程中有时间因子，表现了化学反应具有一定的时间顺序；二是采用了时间单位概念，用来作为计算化学变化数量的尺度。这样就可以揭示在多阶段化学反应的变化与机理。因此，在化学动力学中，时间在连续性方面（始态和终态的联系），以及在不连续方面（时间单位作为化学变化度量单位）都反映了时间参数。

20世纪以来，化学反应动力学理论得到了进一步深化。本世纪初以气体分子运动论为基础确立的反应碰撞理论，30年代在量子力学和统计力学理论基础上提出的反应速度过渡态理论等，都使化学时间概念得到了进一步的发展。

化学反应碰撞理论认为，两个分子进行化学反应必须相互碰撞，但不是每次碰撞都能发生反应，而只有活化分子碰撞才能发生反应（即有效碰撞）。路易斯根据气体分子运动论提出了反应速度的指数公式：

$$k = pze^{-E/RT}$$

O.T·Benfey：“Concepts of time in Chemistry”，J·ChemEdu.（11）574（1963）。

《马克思恩格斯选集》，第4卷，人民出版社，1972年版，第240页。

反应的过渡态理论的基本假设是，化学反应要经过一个活化状态（也叫过渡状态），形成活化络合物。这个活化络合物与反应物之间处于平衡状态，反应体系经过过渡状态后，活化体再变成产物。这个理论的反应速度公式为：

$$k = \frac{RT}{N_0 h} e^{-\frac{RT}{T}} \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$$

在碰撞理论中，时间因子是同分子的运动速度与有效碰撞联系起来；在过渡态理论中，时间因子是同活化络合物的热力学性质联系起来。另外，过渡态理论还表明，化学反应并不是简单的从反应物到产物“直线式”完成的，而是经历了复杂的过程。过渡态是任何一种化学反应的必要组成部分，是联系化学物质质变的桥梁。这就进一步揭示了时间因子在多阶段化学反应中的作用。

本世纪 40 年代，由于电子技术的发展，特别是在 60 年代初，由于分子束和激光技术在化学上的应用以及大型快速计算机的产生，促进了量子化学理论的发展，一批有开拓精神的科学家开始用新的微观实验方法和理论方法去研究化学反应变化的快慢和机理，进而诞生了分子反应动力学或微观反应动力学。它是从微观的角度研究化学反应体系（包括反应物的分子和产物的分子）的运动过程的科学，从而能够把化学时间因子同反应体系的一些微观性质密切联系起来。

分子反应动力学产生以后，使人类对化学反应的认识达到了三种不同的层次，即表观反应（也叫总包反应）、基元反应和态—态反应等三个层次。表观反应只能代表化学反应的热力学性质，只是受物质不灭定律的限制，而不能代表化学反应的真正动力学过程。在过去，当人们研究某种化学反应时，常常归结于说明构成这一表观反应的许多基元反应，如氢分子和氧分子反应并不能直接一步生成水，中间要包括 11 个基元反应（反应机理）。由此可见，同表观反应相比，基元反应是基本的东西。但是分子反应动力学产生后，揭开了这些基元反应的内部奥妙。所谓基元反应，实际上是许许多多微观过程的统计平均结果。这些微观过程包括所谓更基本的态—态反应。态—态反应是从指定能态的反应物转变成指定能态的产物的化学反应，也可以是从一个能态到另一个能态的分子碰撞传能过程。在三个层次中表观反应和基元反应是宏观化学动力学的研究对象，态—态反应是微观反应动力学研究的主要课题。宏观化学动力学主要集中于研究温度、浓度、压力及催化剂等宏观因素对反应速度的影响，观测到的速度常数实际是能量按波兹曼分布的一群分子的统计平均结果。化学反应速度的碰撞理论和过渡态理论，尽管它们是以分子和原子为研究对象，但是这些理论是从分子的一些热力学性质来计算宏观化学反应速度的。微观反应动力学或分子反应动力学则是以态—态反应为研究重点，是从微观层次分子之间的一次具体碰撞行为来认识基元反应的微观机理和速度的。如从分子碰撞及其特征运动的时间，微观能态，电子相互作用，瞬间构型等来认识化学反应的速度和机理。这就使得化学的时间因子进入到微观层次，并把化学时间同反应体系的分子、原子联系起来，而且也使得用来作为计算化学反应数量变化的时间单位（即时间间隔）更加精确化。目前分子反应动力学的实验结果已经揭示了寿命小于 10^{-12} 秒的过渡态的反应速度和机理。因此，分子反应动力学的发展，使化学时间概念进入到了一个崭新的阶段。

三、化学时空概念在化学进化中的发展

化学进化与化学变化是两种不同的过程，因而，化学进化过程的时空观念也有别于化学变化过程。

当代大爆炸宇宙论认为，我们观测到的宇宙是起源于一次大爆炸，从物质的进化上看主要倾向是化学元素的进化。大爆炸的早期，主要是形成 ^1H 和 ^2H 等物质，然后则是生成氦。因此，在我们所观测到的早期宇宙中，氦和氢的丰度最高。此后，比较重的所有元素及其同位素，都是在恒星内部通过一系列进化过程完成的。

在宇宙的演化中，逐渐形成了星系，包括地球。在地球上，进一步出现了化学进化。原始地球的还原型大气，是在自然条件下通过化学进化生成氨基酸和核苷酸，进而生成蛋白质和核酸等生物大分子，直到再进化而出现生命现象。

人们对化学进化的认识落后于对化学变化的认识。化学进化的过程比一般的化学变化较为复杂。从研究的对象看，一般的化学变化只是研究地球上现存的物质变化规律，而化学进化则需要研究地球上过去的物质变化规律，以至地球以外的物质变化规律。此外，化学变化的前后物质属于同一层次，不分高低，化学进化则反映了物质从低级向高级的历史发展进程，以至时间进程。反应物是作为“过去”时间的低级物质，生成物则作为“现在”或“未来”时间的高级物质。这里不仅有复杂的质变，而且还记录了时间的进程。所以，化学变化是相对较为简单的过程，而化学进化则是相对较为复杂的过程。对于化学进化的研究要在研究化学变化的基础上进行，后者为前者提供了理论依据。可见，化学进化与化学变化是两种不同的化学过程。因此，化学进化过程的时空概念也不同于化学变化过程。过去化学家曾长期忽视了对于化学进化的研究，只把化学过程看作是物质之间的转化，而不管化学物质的起源如何，即忽视了化学变化过程中的时空进程。

普里戈金提出的耗散结构理论的时空观，为理解化学进化的时空概念提供了基础。普里戈金提出了内部时间概念（见第一节），把时间作为一个算符，时间就不再仅仅是一个几何参量了。它的本征函数集构成了一个向量空间，每一维都代表着不同的年龄。在这样空间分布中的物质，不仅在均匀地流逝中，还有年龄和历史。普里戈金称为“空间的时间”。空间变化有年龄，各种不同年龄呈现出一个空间分布。总之，化学进化是一种物质向更高级物质的演化，也就是说，化学进化是化学物质有着不同年龄构成的演化。一切在时间流中（时间进化），化学物质才具有活性，空间才具有不同的年龄结构。因此，在化学进化过程中就把时空的进化与化学物质的进化统一起来，时间和空间具有了物质进化的含义。

第三节 化学时空的特点与度量

一、化学时空的本质

时间是物质的持续性，空间是物质的广延性。化学中的时间就是化学物质运动过程（从反应物到产物）的持续性。化学中的空间就是化学物质运动过程（从反应物到产物）的广延性。现代化学表明，在大多数情况下化学过程不是把产生反应的物质直接变成产物，而是按照一定的顺序分成若干个相互衔接的阶段，也就是说，化学过程乃是由不同质的不同持续时间的一些阶段的总和构成的。这种过程本身具有自己的、特殊的时空规律，把整理好的化学过程展示出来——这就是它的时空结构。

化学中的时间与空间依赖于化学物质及其运动，不同的化学物质和不同的化学反应过程具有不同的化学时间与空间。反之，空间和时间因素对化学反应过程又具有重要的影响作用。

空间因素列入反应过程，反映着不同的化学物质在不同的化学过程中具有不同的分子几何构型、化学键的长度和方向以及不同的“空间效应”。所谓空间效应是指化学物质或原子团的几何大小对化学现象产生的种种影响。而化学反应也深刻地依赖化学键结构和空间效应。例如在有机化学中，化学反应的准确描述取决于三个空间特征：结构、配置和共型。分子结构的特征在于包括分子内的原子数目及其结合方式；配置是化学键的空间布置；共型是分子中那些并无联系的结构部分的相互作用。在“化学键”和“空间效应”的概念中可以看出空间关系对上述各方面的重要影响。这两个概念反映了反应进行的速度或分子反应能力依赖于分子的结构、配置和共型的状况。

时间因素列入化学反应过程，反映了不同的化学物质在不同的化学反应过程中具有的不同反应历程和反应时间。在化学动力学中引入时间概念，即采用时间单位的概念，可以用来作为计算化学变化的尺度。这样就可以深入揭示在多阶段化学反应中，特别是在过渡态理论中化学变化的发生参数和时间参数的作用。

化学过程中的空间和时间的本质，是化学物质的排斥和吸引的相互作用。“一切化学过程都归结为化学的吸引与排斥过程。”化学的吸引与排斥是化学运动的基本矛盾。它决定了化学过程中的时空概念。我们可以这样设想，如果物质在化学反应过程中只有吸引作用而无排斥作用，则化学物质就会变成一个点而不再具有广延性和持续性，也就不会再具有化学物质结构和化学反应的持续过程，从而也就没有化学的时空可言。我们还可以这样设想，如果物质的化学过程只有排斥作用，化学物质就会变成虚无而不再具有物质的广延性和持续性，也就不会再具有化学物质的结构和化学反应的持续过程，从而也就没有化学的时空可言。由此可见，如果没有化学的吸引和排斥的相互作用，化学物质也就不会有时空存在形式。正是由于化学物质的吸引和排斥的本性，及其相互关系的不断改变，化学过程才具有化学时空存在形式，才有化学时空存在状态的不断变化，并使化学反应丰富多采。化学的排斥和吸引是化学运动的基本矛盾。这一基本矛盾决定着化学反应过程，同时也决定着化学时空的存在形式，即化学的排斥和吸引是化学时空的本质。

在研究物质化学转变过程中，时间或速度是一个很重要的因素。这就决

定了时间概念在化学中特别是在化学动力学中占有重要地位。因而，在这里有必要探讨一下化学中时间的特点。主要是探讨一下化学时间的方向性在不同的化学过程中所反映出的不同特点。

1. 化学平衡过程中的时间

长期以来，化学家在研究化学过程时，研究的对象并不是所有的化学过程而只是一种特殊的过程，即化学平衡过程。质量作用定律就是描述化学平衡过程的一种规律性。在这种过程中，随着时间的持续，在宏观上化学平衡状态不再改变，而在微观上则反应物或生成物之间的反应仍在不断进行。这是动态的持续过程。它的时间的方向性与系统的方向无关，即化学变化被看成是与时间无关的。

2. 化学自发反应过程的时间

化学自发反应过程是不可逆的，对于这种化学过程，时间的前进方向与化学过程的不可逆性一致（例如铁生锈）。化学过程的方向就是时间之矢的方向。第一次揭示不可逆过程和化学反应方向的是热力学第二定律。在一定的条件下，它揭示了化学变化所遵循的一定的、严格的方向。时间箭头也是指向这个确定的反应方向。在一定条件下，化学反应是朝着自由能减少的方向进行。这样，从始态出发就可以预见未来的状态（终态）。

3. 化学振荡过程的时间

一个自发进行的化学反应总是朝着混乱度增大或最无序的方向运动，直至最后达到平衡态。但是，一些不可逆的化学反应，在远离平衡态时，含有催化机制的化学系统可以出现化学振荡。所谓化学振荡，是指在化学反应过程中某种化学成份的浓度随时间而发生的周期性变化现象。对于化学振荡过程，在时间进化的方向上，反应物和产物周期性地变化。例如 B—Z 反应当被控制在远离平衡态时，反应表现出颜色的周期性变化。这说明反应物与生成物的浓度呈现周期性改变。这种化学振荡过程与平衡过程不同，平衡过程中正逆反应双方同时改变，而在振荡过程中却产生了循环，即在时间进化的方向上，每一时间间隔内物质浓度都在改变，在相同的时间内浓度的改变发生重复。另外，化学振荡过程与自发反应的不可逆过程也不同，后者反应的方向性与时间的方向性一致，而且存在最终极限，即反应物全部转化为产物；而振荡过程反应的方向即不与时间的方向始终如一，又不存在最终极限（只要条件允许）。

化学振荡是非生命反应系统中发现的自组织现象，与传统的化学反应系统不同。化学振荡不是一大堆分子的无规则碰撞导致的系统无序化过程，也不仅仅表现为分子的化合和分解、键的断裂和生成，化学振荡还具有生命体的重要特征——系统的自组织性。现代科学对生命现象的研究已初步表明，振荡反应在生物系统中有着十分重要的意义。生命内的自组织现象，是参加生命过程的化学物质的振荡现象。生命体内含有许许多多的化学振荡结构。因此说，化学振荡反应的发现，实现了化学反应与生物反应的联系。这就使得化学中的时间概念和生物学中的时间概念发生了联系。

4. 化学进化过程的时间

化学进化反映了物质从低级向高级的历史发展，反应物作为“过去”，生成物作为“现在”或“未来”，这里不仅有复杂的质变，而且还记录了时间的进程。因而，化学进化的方向反映了时间的方向。对于不可逆的化学反应过程来说，虽然化学过程的方向就是时间之矢的方向，但是没有能反映出

化学物质的进化方向。只有在化学进化过程中，时间的进化方向才与化学物质的进化方向一致。化学进化过程中的时间，已成为物质进化的“内部量度”。耗散结构理论的“内部时间”概念，为化学进化的时间方向提供了科学的描述（见第一节）。

依照化学中时间概念的特点不同，可以看出，化学反应存在着不可逆的化学反应（时间具有不可逆性）；平衡态的化学反应（与时间无关）；远离平衡态时含有催化机制的不可逆化学反应，可以形成化学振荡结构（时间与生物反应联系起来）；以及化学进化过程中的反应（时间是物质进化的内部量度）。这就有力地揭示了普里戈金提出的时间在三个层次上（即与运动相联系的可逆时间，与热力学相联系的不可逆时间，与物质进化相联系的时间）的联系和转化。化学是介于物理和生物学之间的中间学科，就某种意义上说，化学中的时间概念实现了物理学、化学和生物学的一体化。这也将实现恩格斯预想的计划，即物理学家，化学家和生物学家共同努力来详细研究从非生命界向生命界跃进和绘出一个统一的世界画面。

二、化学时空的度量

度量，是科学研究的基本要素之一。度量从科学角度上看，是一种操作过程，是依据一定规则，并按照被测对象的不同类别与程度而确定的以数字表示的操作结果。在科学中最基本的测量就是长度（表征物质的空间位置）、时间、质量（表征物质运动的量）。化学中的度量主要是空间因素和时间因素（在对化学反应速度进行度量时包括化学物质的质量度量）。日常经验告诉我们，使用度量单位进行度量时，量度单位要小于或等于被度量的对象。从这个意义上讲，随着化学度量技术的不断提高，人们对化学运动的认识过程也不断进步。因而，化学度量可以作为化学理论发展的重要标志。

1. 化学空间的度量

化学空间是指化学物质运动过程的广延性。在化学过程中，任何化学物质都有一定的空间结构。化学物质的结构决定化学反应的方向和速度，因而，化学空间的度量在化学中具有重要的意义。

19 世纪初，由于原子分子论的建立而把空间概念引入化学。19 世纪中叶以后，由于有机化学结构论的建立而开始了化学空间的度量。但是在 19 世纪以前，人们对化学某些因素的度量主要只是局限于化学组分的分析，即分析物质的化学组成（定性分析），以及各种组成单位在物质中的含量（定量分析），进而确定化学物质的性质。直到有机结构论的建立，人们才可以度量分子中原子的空间排列和顺序，从而能够进一步确定化学物质的性质。

19 世纪下半叶，由于立体化学的发展，人们开始可以测定晶体和分子的几何构型，并把对于分子结构的观察从平面空间发展到立体空间。

20 世纪初，由于电子的发现和量子力学的产生，以及化学键论的建立，人们就可以度量分子结构（化学键的长度与方向）、配置（分子中原子的空间分布）和共型（分子中原子的空间影响），把化学空间的量度向前推进一步。

本世纪 60 年代以后，由于量子化学的建立与发展而使化学空间度量产生

了新的突破。在此以前，化学空间的度量只是局限于分析反应物和产物的分子结构，然而此后则进一步深入到对于许多中间态（过渡态或瞬间态的度量）。这就是说，人们不仅可以度量反应物和产物的分子构型，而且还可以度量寿命小于 10^{-12} 秒的瞬间态的构型与机理，使人们能够从中间态的构型来认识化学反应的机理。

2. 化学时间的度量

现代化学反应理论揭示了化学反应过程是经过许多瞬间步骤的持续过程。要揭示这些反应过程的瞬间态的机理，就必须引入时间度量的概念，亦即时间的单位。正如美国化学史家本菲指出的，在动力学理论中，“就在于把时间的测量加在空间测量上面。”

在化学动力学理论中，时间的特性是以两种型态表现出来的。第一，在时间的连续性方面，动力学方程中有时间因子 t ，也就是说化学反应过程具有一定的时间顺序；其次，时间是以反应速度形式出现，在这里采取了时间单位的概念，用来计算化学变化数量的尺度。可见化学动力学中的时间概念已经包括了时间单位。由于在每个确定的时间单位内化学变化的物质量都能测量出来，这样就可以确定化学过程的反应速度和机理。

宏观反应动力学是从反应的基态和平衡态（相当于静态）的一些性质来研究化学反应速度和机理的。19 世纪下半叶，人们根据化学平衡原理和化学反应速度的概念，在确定化学反应速度时常常离不开温度的控制、浓度的测量和时间的记录。根据实验结果，然后设计出一套反应历程使之与速度方程相吻合。在这种情况下，观测到的速度常数实际上是能量按波兹曼分布的一群分子的统计平均结果。化学反应速度的碰撞理论和过渡态理论，尽管它们是以分子和原子为研究对象，但是这些理论也是从分子的一些热力学性质来计算宏观化学反应速度。因而，在宏观反应动力学中，化学时间因子的度量基本停留在平衡态（静态）和慢反应上，时间度量的间隔一般是 10 秒或秒的单位。

本世纪 40 年代后，由于电子技术的发展，给快速反应的测定创造了条件。1948 年，有人还曾认为，对寿命在毫秒（ 10^{-3} 秒）以下的自由基是不能用物理方法直接测定的，可是到了 1949 年化学家就用闪光分解法测定了 10^{-3} 秒的自由基。50 年代后，人们可以测定 10^{-6} 秒的一些快速反应的速度。

本世纪 70 年代以来，分子反应动态学产生以后，人们用分子束和激光技术可以在 10^{-12} 秒的时间内，分辨与区别基元反应的不同速度。近来的文献报导，人们可以对 10^{-15} 秒时间内的基元反应进行研究与控制。

从上所述，化学时间的度量（时间间隔）正在日益不断精确化。在宏观反应动力学中时间间隔为 10 秒或秒，在快速反应测定中是 10^{-6} 秒，而在分子反应动态学的时间间隔只是 10^{-12} 秒。这就使化学反应动力学的研究实现了从宏观到微观，从“慢”反应的考察到“快”反应的研究，从静态到动态的过渡，开创了化学动力学发展的新纪元。因而，化学时间的度量进步，也是人们认识化学运动的不断深入的标志。

由此可见，化学中时间、空间的概念特点是由化学运动的种种方式所决定的。一方面，承认时间、空间的客观现实性，承认它们的普遍性以及同运

O·T·Benfey: Concepts of time in chemistry J·Chem·Educ, (11) 574 (1963).

于雷：“化学时间概念的探讨”，华东师大硕士论文档案库，1988 年。

动着的物质的有机联系；另一方面，承认物质运动形式的多样性和特殊性，以及它们所固有的时间、空间特征。因此说，化学时空概念的形成、应用和发展，深刻地揭示了时空领域中哲学概念和自然科学（在此为化学）概念的相互内在的本质联系，有力地促进了化学、自然科学和哲学的发展。

第十二章 化学前沿论

现代化学前沿是个范围广阔而又多向发展的领域，其内容十分丰富，大体上可分为基础化学前沿和应用化学前沿两个最基本的方面。同时，现代化学前沿还明显地呈现出交叉综合发展的趋势。基础化学的前沿，从一定意义上可以说是传统四大化学学科（物理化学、有机化学、无机化学与分析化学）的推陈出新和变革开拓。其中以无机化学的复兴、物理化学的分支量子化学与结构化学的崛起、被誉为“新的”有机化学的自由基化学的诞生和化学反应动力学、催化科学的深化以及现代分析化学的日新月异等尤为引人注目。应用化学的前沿如今已经渗透到国民经济和人类生活的各个侧面，并正随着现代科学技术的飞速发展而使其领域日益拓展，诸如信息化学、激光化学、能源化学、材料化学、环境化学、仿生化学、食品化学（包括颇有意思的味道化学）、计算化学、药物化学、地球化学及海洋化学等均不同程度地展现出诱人的前景。

作为对化学前沿的全面认识，探讨和了解它的综合发展趋势也是不可缺少的。这种综合不仅反映在化学各分支学科之间的相互渗透，而且更表现在现代化学同其它学科（尤其是物理、生物学科）间的横向交叉。关于生命过程的化学、宇宙化学及星际化学等则是明显反映这种综合特征的化学前沿领域。这里，我们将以上述对化学前沿的基本认识为背景，着重对化学前沿中主要领域的现状、前沿问题产生的途径和化学前沿的发展动力等问题作一论述。

第一节 化学前沿的现状

一、量子化学

它是现代化学科学的理论基础。近 30 多年来，量子化学的发展呈现出一个很有希望的趋势。这就是量子力学和化学实践的进一步结合。这种结合反映在量子化学的基础研究中具有下列特点，即为解决复杂的化学反应理论问题，而运用的都是简单的模型，尽量不依赖那些高深的数学运算。它们均以简单分子轨道理论为基础，力求提出新概念、新思想和新方法，使之能在更加广泛的范围中普遍适用。例如，“前线轨道”、“等瓣类似”等概念的提出已经显示出重大的意义。多粒子体系问题的处理方法也在不断深入探索。其中密度矩阵理论、多级微扰理论以及运用格林函数方法的传播子理论等则是当前精确求解多粒子体系薛定谔方程的几条值得重视的途径。

量子力学和化学的结合，不仅在化学键理论、多体理论、计算方法的理论等量子化学基础研究方面不断取得进展，而且在量子化学的应用研究方面，即在把量子化学的理论与化学实际中的一些重大应用课题相结合方面展现出广阔的发展前景。这主要突出表现在合成具有指定性能的超导体、染料及其它色料、炸药、催化剂、药物等分子及新材料提供依据上；在光谱、波谱、能谱等各种谱图的解析以及其它精密测定实验的结果分析上；在对化学反应微观机理的研究及反应线路预测上等等。

二、化学反应动力学

这是一门在诸种因素的具体作用下研究化学反应速率的化学学科。这些因素主要有分子的状态、浓度、压力、介质、表面、空间取向、电磁场等。化学动力学研究的重点是基元反应，因为它是代表真正发生的化学反应的动力学过程的。目前，化学动力学的发展已进入微观层次，分子反应动力学的研究有着远大前景。具体而言，化学动力学大体有以下几个发展方向：（1）量子化学的理论计算将在微观反应动力学研究中承担更重要的角色。随着超大型计算机的发展，量子化学的理论计算可望得到精确结果，进而了解很多简单反应体系的性质。（2）多原子自由基化学性质的深入研究。这方面的研究包括多原子自由基的能量、光谱、反应性和光化学。（3）激光在促进化学反应方面将得到更有效的利用。激光技术最近较显著的进步是真空紫外激光的发展。利用激光有选择地打断分子内某个化学键，这个前景很有吸引力。有朝一日，也许可通过电子跃迁的途径来实现“分子裁剪”的科学幻想。此外，把激光和分子束技术相结合，有可能进行非常精细的工作，例如能研究原子轨道和分子空间定向的反应等。

三、合成化学与催化科学

化学合成是化学研究的基本实验方法。从 1828 年德国化学家维勒以无机物合成出简单有机物尿素到当代合成维生素 B₁₂、红霉素等复杂化合物，化学合成有了一个极大的飞跃，业已形成一门系统化和应用性相当强的合成化学学科。如今，化学合成正在向“分子设计”这个战略目标进军。所谓“分子设计”，即是按预定性能要求设计新型分子，并按科学理论计算得出的合成路线，运用各种手段与技巧把它合成出来，如同造房设计、服装设计那样。这样，分子设计可以从根本上改变化学中传统的“配方炒菜”式的落后方法，从而为材料科学等开辟出众多新的方向（诸如高分子设计、药物设计、催化剂设计及合金设计等）。

要实现化学合成的重大突破其关键在于设计新反应途径，有效控制化学反应性能。如今，在下列诸方面颇引人关注：一是实施无机和有机的交叉，即将研究新无机物的方法应用于有机合成。二是精心设计合成像沸石一样具有优良性质的新型固体，由此导致出现新的半导体以及用于电池和具有记忆功能的固体离子材料、磁性材料。三是发展光助化学，选择光助反应途径，其特点是借助“人工光合作用”模拟天然光合作用并将其推广为一种全新的反应途径，从而为化学合成提供新方法。四，也是最引人关注的是把研制催化剂从技艺变为科学，即加强对化学催化作用的基础理论研究，致力于在分子水平上理解催化过程。这必将有助于新的催化体系的开拓和催化剂分子设计成效的提高。

四、现代分析化学

它基于仪器分析，加上数学的渗入和电子计算机的应用，呈现出日新月异的发展势头。有以下特点：从传统化学分析到仪器物理化学分析；从单组分的分步分析到多组分的同步分析；从组成分析到结构分析；从常微量分析到超微量分析；从静态分析到动态分析；从间接分析到直接分析；从近距离分析到远距离分析；从破坏性分析到保护性分析；从单一手段到多种手段配合（联用）的多功能分析；从手工到自动化分析和数据处理等。从现代分析化学的整体看，上述十个方面是互补的，并不是后者完全取代前者，而是实现辩证的综合。这样，可使现代分析化学具有全面的功能，既能适应现代科学研究向微观和宏观两个不同方面深入发展的大趋势，又能满足材料化学、环境化学、生命化学等综合性及应用性较强的化学前沿发展的需要。

五、生命过程的化学

在该领域有两个既具有科学远景又富有哲学意义的研究方向：其一是生命起源的化学途径；其二是生命中发生的分子反应。早在一个世纪以前，恩格斯曾预言：“生命起源必然是通过化学途径实现的。”今天，化学的巨大进步已经可以用自然科学的材料证明：这条化学途径确实是存在的。它大体上可概括为由原子 分子 生物大分子 原始生命的这样一个“化学进化”过程。其中，原始生命的诞生可以认为是化学进化最后阶段的产物，也是生物进化的发端。但这里的必然性尚未能在实验上得到最后的证实。科学家们当前正在借助化学、物理的方法进行攻关。70年代初量子生物化学的诞生就是一个标志。它将为揭示生命诞生的奥秘而不断作出新贡献。

研究生命中发生的分子反应，对于发展基础自然科学和应用于人体保健、动物保护和农业等方面的前景远大。一批具有革命性意义的生物学问题，现在需要由化学提供的分子相互作用来分析。其中化学振荡、受体-底物相互作用及膜与方向性化学等就是属于这类问题。以化学振荡来说，它是指化学反应的一种周期性变化。这种周期性变化表现在浓度、体积、颜色、发光度等方面。这是一种化学系统中的结构有序和功能有序。比利时科学家普里戈金首先指出，这种化学振荡是种“耗散结构”，即是种不可逆化学反应在远离平衡态下进行时所呈现的有序行为（又称之为“化学不稳定性”）。这种有序行为需要反应体系是个开放体系，也就是需要不断地与外界交换物质和能量才能维持。而这种“化学不稳定性”的概念与目前生物化学过程里研究的那一类化学反应是基本一致的。可见，化学振荡反应的研究可以导致人们对出现于生物系统中的周期性现象有更深刻的认识。显然，这对生命本质研究的深化是颇有意义的。

六、宇宙化学与星际化学

这是两个以浩瀚宇宙为研究背景的化学前沿领域。宇宙化学主要探讨元素的起源和形成以及它们在宇宙中的性质和行为。通过这种研究已经和将要进一步促使化学家从地球迈向宇宙空间。星际化学是个只有十几年历史的新兴化学边缘学科。它所依据的事实是在巨大的星际空间——天然反应室里所发生的化学反应。研究这些反应可弄清至今所了解的化学定律能否推广到银河系以至整个宇宙间。可见，星际化学的诞生必将促进化学同天文学的结合和发展，并以探索宇宙物质的演变、生命的起源以及外星文明开辟新的途径。

综上所述，现代化学在理论研究和实际应用方面都处在急剧变革与迅猛发展之中。这种变革和发展鲜明地反映在化学前沿的各个领域，并在整体上呈现出如下趋势与特点：从宏观的唯象认识深入到微观的理论了解，从定性的描述进入到定量的说明，从对物质的静态认识跨进到对反应的动态研究，以及从纯粹的化学学科发展出一批综合的边缘学科。

第二节 化学前沿发展的途径

现代化学前沿研究导源于一系列科学问题。为了解决这些问题，化学家们利用各种方法，提出假说，建立理论，对这些假说和理论进行检验、修正和发展，从而推动现代化学向前发展。这是一条创造的阶梯。

一、解决理论与实验的矛盾

现代化学基础理论是现代化学前沿领域的支撑点，而导致它们得以建立的那些问题最初产生于传统化学理论与现代物理实验成果的矛盾之中。众所周知，近代化学基础理论以原子—分子论、元素周期律和有机分子结构学说为标志，其根本的理论前提是原子不可分和元素不可变的观念。但是，X 射线、电子、放射性等物理学的新发现表明原子有结构、元素可以变。于是，一系列问题便接踵而来：原子的结构是怎样的？根据原子结构（尤其是原子中电子运动的规律）怎样理解元素周期律的实质、分子结构的本质和化学反应的机制？

解决化学理论与化学实验的矛盾，这是现代化学前沿中问题产生的又一种途径。福井谦一提出前线轨道理论的起点就是发现了有机电子理论与芳香族碳氢化合物反应实验事实的矛盾。根据有机电子理论，分子中电子密度大的区域易与亲电试剂发生反应，电子密度小的区域与亲核试剂发生反应。但实验表明，像萘那样的芳香族碳氢化合物与亲电或亲核试剂均能在同样区域发生反应。如何解释这个矛盾？终于，福井谦一用量子力学的“轨道”概念，取代了经典的“电子密度”概念，提出了“前线轨道理论”。

二、处理理论自身潜在的逻辑困难

化学前沿发展中还有一些问题是由化学理论自身潜在的逻辑困难引起的。可以说“悖论”常是新观点的生长点。例如，在描述分子现象方面，现代量子化学理论已取得令人瞩目的成功，但它是否就能成为化学的基础，迄今为止还是一个值得思索与探讨的问题。因为它是一个不完备的理论，是以量子力学的哥本哈根解释为基础的。哥本哈根解释是以经典描述水平为前提，假定在被观察的微观系统和宏观测量设备之间有一种不可还原的二象性。显然，这在讨论化学问题时，并不是一个好的或理想的出发点。而实际上，完全相同的客体在本质上同时涉及到量子性质和经典性质，是每种化学系统和分子生物系统的特征。生物分子及其稳定性、光化性质以及一级、二级和三级结构，就是一个范例。而传统量子化学并不具备讨论分子物质经典性质的能力。这是量子化学理论自身潜在的一个逻辑困难。

瑞士学者普赖麦 (Hans Primas) 由此提出了十个当前理论化学中悬而未决的问题。问题 1：孤立的量子系统的确存在吗？问题 2：泡利原理是一个普适的、不可违背的自然事实吗？问题 3：量子力学适用于大分子系统吗？问题 4：叠加原理是普遍有效的吗？问题 5：为什么那么多的定态不存在？问题 6：宏观物体为什么被束缚？问题 7：为什么量子力学用于解释化学自组织 (chemical systematics) 时失效？问题 8：为什么近似解比精确解要好？问题 9：玻恩-奥本海默图景为什么会如此成功？问题 10：温度是可观察的吗？可以期望，对这些问题的思索会促进量子化学理论的完备和理论化学的发展。在这里，关键在于需要新观点，而不是致力于阐释和改良旧理论。

三、寻求多种科学理论的统一

寻求对实验解释的统一性，各化学理论的统一性以至同其它学科理论的

统一性，是解决现代化学前沿领域问题的又一途径。在电化学中，离子的水化数可通过各种实验方法来测定，然而采用的方法不同，则所得的数值大相径庭。如何对这些令人迷惑的实验事实作出统一的解释呢？这个问题引导着化学家们努力提出一种统一的离子水化壳层结构模型。例如，美国电化学家博克瑞斯 (Bockris) 提出了这样一个模型：紧挨离子近旁的初级水化层由按离子电场取向排布的水分子组成，这些水分子丧失了平动自由度；往外是由受到破坏的水分子组成的次级水化层，它们保持自己的独立运动，而不参与中心离子的运动；再往外则是具有正常结构的水。这一模型虽然尚未得到普遍认可，但它又引出了一系列重要问题。如：初级和次级水化层之间有无确定的界面？怎样确定实测水化数是初级或次级水化数？这两种水化数如何随离子所处环境的变化而变化？怎样设计一种实验来测定初级水化数而不受次级水化层影响等。

对化学理论统一性的追求还可举出有机量子化学为例。在此领域，目前主要有三大理论：前线轨道理论、能级相关理论、芳香过渡理论。这三种理论在阐述协同反应历程时所得结论基本一致，均符合分子轨道对称守恒原理。既然如此，三者有何内在联系呢？也就是说，它们能统一吗？我国化学家唐敖庆 1975 年发表的重要论文“分子轨道对称守恒原理的新发展”就是关于这个问题的研究成果。

在这里，有一点值得注意，那就是当我们寻求化学理论的统一性时应避免用牛顿方式去理解问题，即用量子力学方程取代牛顿运动方程，结果只不过是牛顿物理学的一元论换上了由薛定谔方程所支配的新的一元论，从而导致不切实际地继续追寻一种客观的单一参照框架。这种框架企图从某种统一的基本原理中（至少在原则上）推导出一切化学现象。应该看到，如今考察化学现象的经典方式不再是绝对可靠的，化学主题也已经改观了。我们不应片面地或用单一模式去追求化学理论的统一，而应该允许化学理论多元的存在与探索，否则会适得其反。

化学与其它学科的内在联系是什么？现代化学前沿十分重视对此问题的研究。这种研究集中表现在：化学与物理学是统一的吗？化学与生物学是统一的吗？许多学者对此持肯定态度，认为化学热力学、化学动力学、化学统计力学和化学量子力学（量子化学）四大理论化学分支表明了化学和物理学在理论上的统一；也有人认为基本粒子化学、色化学等表现了化学和物理学在研究对象上的统一。同样，有人认为对生命起源、生命本质和生物进化的化学研究也表明了化学与生物学的统一性。我国学者（如金松寿）甚至将反馈概念及一系列控制论观念引入化学研究，寻求化学与控制论的统一，并建立起崭新的控制论化学。我们赞同这样一种见解：当今理论化学最重要的任务就是推进化学各部门间，以及化学与相邻学科间的相互理解与沟通。因为化学作为一门科学，其生命力是与其各部门的联系为条件的。各个独立部门的进步，使化学高度分化以至陷入支离破碎状态。这种状态使高度抽象的简洁、统一和预见能力成为必要。而要将这种必要转化为现实，离开与相邻学科（主要是物理学和生物学）的联系与渗透是不可能的。

四、运用假说做出试探性解答

现代化学发展及其前沿领域中科学问题产生的途径及形式是多元化的，不存在单一的途径及模式。面对如此丰富的化学问题，我们需要的是创造性探索，而不仅仅是批判式的继承。科学问题的提出是科学研究的开始，科学

研究的进一步深化，需要对科学问题作出试探性解答——这就是假说。它是创造性探索的一个重要阶梯。如恩格斯所指出的那样：“只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假说。”现代化学的发展形式也不例外。它们的发展形式就是化学假说。任何科学假说都有两块基石：事实和理论。试以化学振荡研究为例，其实验事实主要是一些均相溶液中的振荡现象，普里戈金（Prigogine）提出了化学振荡是一种“耗散结构”的假说。他既离不开已有的实验事实，也离不开不可逆过程热力学、化学反应动力学和量子化学的一些理论。化学振荡研究面临的一个迫切课题是根据已知实验事实，以热力学、动力学及量子化学的普遍原理为指导，设计出新的化学振荡系统。1981年，爱泼斯坦（Epstein）等设计出了亚砷酸盐—亚氯酸盐—碘酸盐均相系统，在无表型流动的情况下，可从碘灵敏电极氧化还原电位值或淀粉-三碘化物络合物吸收值上观察到周期性的振荡现象。他们还根据自己的研究经验，提出在设计新的化学振荡系统时必须遵循以下三条方法论规则：（1）必须维持化学系统处于远离平衡的状态；（2）必须有自催化步骤和复杂的反馈效应；（3）必须与物理学定律和物理化学原理相容。最后一条规则明显地体现出现代化学前沿研究的一个特点：提出假说所依赖的理论基石在很大程度上具有“物理化”的性质。其实，作为假说的另一块基石的实验事实的获得往往也必须借助物理学提供的实验技术。这就涉及到物理学的概念、原理和方法向化学移植的方法论问题。

五、通过移植促进化学前沿发展

物理学概念向化学移植主要有两种形式：直接移植和衍生移植。在量子化学中，量子化、波粒二象性，波函数、轨道等基本概念就是取自量子力学的直接移植之例。福井谦一用于取代“电子密度”的“轨道”概念也是直接从量子力学中移植来的。他认为轨道概念体现出对电子密度进行分割和组合的方法论特点，符合自然科学一般方法发展的方向。他指出：“近代自然科学一般是先把假设中的模型细而又细地分割开来，然后再把它们组合起来，再现模型，用这种方法加深对模型的见解。”当他根据化学反应的实验事实进一步提出“前线轨道”假设时，一个衍生移植型的概念便诞生了。该假设既有可靠的实验事实作基础，又有坚实的量子力学理论为依据，因而较快得到普遍认可，并迅速发展成较为成熟的前线轨道理论。概念的衍生移植必须具备两个基本条件：一是化学领域的问题背景，二是物理学提供的概念基础（这种概念往往是移植的结果，如“轨道”之于“前线轨道”和“杂化轨道”）。

概念是原理的表述工具，因而概念的移植从一个侧面反映了原理的移植。例如薛定谔方程、波的叠加原理、测不准关系等量子力学的原理就随着量子化、波函数、波粒二象性、轨道等概念的移植而成为量子化学的基本原理。这些基本原理为量子化学提供了理论框架，使量子化学的理论研究呈现出数学推演的形式化特征。同时，考虑到化学对象的特殊性，量子化学家们力图避免繁杂的数学计算，而采用各种近似的模型方法。量子化学基础研究中注重量子力学原理与化学实际相结合的方法论特点不仅使化学键理论、多体理论、计算方法的理论等量子化学基础领域不断取得进展，而且促使其应用领域也展现出广阔的前景。主要表现在合成具有指定性能的超导体、染料、炸药、催化剂、药物等材料的研究中；表现在光谱、波谱、能谱等各种谱图的分析上；表现在对化学反应微观机理的研究及对反应路线的设计和预测上。

除量子化学外，在其它理论化学学科（化学热力学、化学动力学、化学统计力学）中，也不同程度地表现出上述特点。与此相应，现代化学也呈现出一些新的特点：（1）作为对传统化学经验性的改造，现代化学的理论性得到加强。化学热力学和量子化学是具有公理化特征的演绎体系，这是传统化学所没有的。（2）物理学定量性和形式化语言的移植使化学从描述向推理、从定性向定量的过渡趋势得到加强。在理论化学中，状态函数的推演及定量参数的处理往往起着举足轻重的作用。（3）从研究对象看，化学研究的微观化趋势得到加强。这在很大程度上要归因于物理技术手段向化学的移植。长期以来，在反应动力学研究中，只能观测到化学反应作为浓度函数的总速率，而不能确定其微观速率，更不能直接获取有关化学键断裂和形成过程的信息。如今，分子束技术和激光技术的引入及联用，使人们能在原子、分子层次上观察化学反应，直接获取微观信息。

在现代化学前沿，既有演绎式的研究，同时也有归纳式的研究，物理实验技术的引入主要为化学研究提供了对物质结构进行归纳式研究的手段。依靠物理学中的原子光谱、分子光谱、质谱、能谱、X 射线衍射等手段测量物质内部原子排列、电子运动等的表征数据，归纳出一般性的结论。

尽管生物学向化学移植在广度和深度上都比不上物理学向化学的移植，但其“整体”概念对化学反应体系的研究颇有启迪。模拟酶催化极大地促进了催化理论和化学键理论的发展，化学模拟生物固氮就是一个范例。通过对蛋白质、核酸等生命运动基础物质的研究而得到的规律，有助于我们对高分子物质化学运动规律的认识。

第三节 化学前沿发展的动力

化学科学既是一门基础理论学科，又是一门重要的应用学科。它的前沿的发展动力，从根本上来看，应来自社会发展和化学自身这两个方面。具体看来，主要表现为以下几个方面：

一、社会发展的需求

化学作为一门实用性很强的自然科学，自从诞生以来就同社会有着密切联系。社会的发展和需要不仅促成了化学科学的产生和形成，而且推动着化学科学的不断发展。正如恩格斯所指出的那样：“社会一旦有技术上的需要，则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”化学前沿的发展正是如此，仍然需要等待社会和时代的召唤。例如，铀元素早在 1841 年就被发现了，可是直到百年后在发现了铀核裂变现象并确认有可能成为巨大能源时，才于本世纪 40 年代形成了以铀为主要对象的化学前沿领域——核燃料化学。

20 世纪以来，还有一些其它重要的化学前沿领域，如石油化学、能源化学、高分子化学、生物有机化学、生物无机化学以及环境化学等，都是由于社会生产、人类生存和生活的需要而形成的。

二、开拓新兴学术领域的需要

化学学科新领域的开拓也是推动化学前沿发展的动力之一。诸如化学热力学、化学动力学、量子化学、化学统计力学、结构化学、核化学、基本粒子化学等学科，都是由于建立化学基础理论体系和开拓新领域的需要而形成和发展起来的。所以，在化学理论的发展过程中，这些学科都曾作为化学的前沿领域而推动了整个化学的发展。又如，宇宙化学、星际化学和地球化学的兴起，都是为揭示宇宙的秘密、阐释化学元素的起源和演化之需要而成为当前很活跃的化学前沿领域。

可以看出，开拓化学新领域主要是开拓新兴的边缘学科。据此，可以认为，边缘学科的产生和发展是学科领域开拓的突出反映。边缘学科的形成主要是依靠移植方法。具体看来它的产生与发展至少具备三个条件：

(1) 在接受移植对象的学科中具有一定的“问题背景”。这一般有两种情况：一种可能是原有研究方法已不能有效地发挥作用，如在量子化学产生以前，化学家们已感到以“化学亲合力”为基础的观点和方法无法解决化学键的本质问题；另一种可能是新的研究对象的出现需要新的研究方法，如 DNA 的结构一旦成为生物化学的研究对象，就为晶体结构分析法的移入创造了客观条件。

(2) 提供移植对象的学科较为成熟。如在物质结构研究急需新方法时，量子力学的理论体系已基本建立，一旦把量子力学的概念、原理和方法移植到化学中去，就迅速产生了量子化学（1927 年）。

(3) 作为研究主体的科学家，必须对上述问题背景和移植对象有足够的知识基础和洞察力。这是三个条件中最为关键的条件。化学中移植方法的运用和边缘学科的开拓，显然对化学人才的教育提出了更高的要求。美国学者的见解颇有启发意义：“如果培养下一代科学人才，首先使他们在经验化学、物理化学、冶金学、晶体结构上得到训练；其次在理论物理，包括力学、电磁理论，特别是量子论、波动力学、原子和分子结构上受到培养；最后在热力学、统计力学以及我们称之为化学物理学上也得到训练，那么他们将比现在只受到化学或只受到物理学训练的人，能成为更好的科学家。”的确，现

代化学前沿研究正需要这样的科学家。

三、事实、理论、方法间的互动

一个化学前沿的出现，实质上就是一个新的科学生长点的产生和形成。化学事实、理论和方法作为构成化学科学生长点的基本要素，也存在于每个化学前沿领域之中。所以，化学事实、理论和方法之间的互动或相互作用，也就成为化学前沿不断形成和发展的内在动因。

化学新事实的发现、新理论的创立、新方法的发明，都有推动化学前沿发展的功能和作用。这一点可以在诺贝尔化学奖颁发的历史考察中，得到充分的体现和证明。

诺贝尔化学奖的颁发，一开始就十分重视重大化学科学事实的发现。因为发现新的科学事实是化学科学前沿形成和发展的基础。荷兰化学家范特霍夫(J·H·Van't Hoff)就是因发现溶液渗透压定律和对化学反应进行基础性、创造性的研究而成为诺贝尔化学奖的第一位获奖者。其后，拉姆赛(W·Ram-Say)发现惰性元素、居里夫人(Marie Curie)发现镭和钋、美国的尤里(H·C·Urey)发现重氢、德国的哈恩(O·Hahn)发现重核裂变、英国的桑格(F·Sanger)发现胰岛素分子的结构、克鲁(A·Klug)揭示病毒和细胞内重要遗传物质的详细结构等。这些重大科学事实的发现都曾为化学的前沿领域的发展做出了更大贡献。有的领域(如酶、重氢、核裂变、胰岛素、核苷酸等)至今仍很活跃。

重大化学事实的发现，必然促进化学理论的形成和发展，而新创立的化学理论又会成为衡量化学前沿水平的重要标志。所以，诺贝尔化学奖授予化学理论创立者也甚多。例如，瑞典阿累尼乌斯(S·A·Arrhenius)提出的电离学说、德国奥斯特瓦尔德(W·Ostwald)提出的催化剂作用理论、德国的施陶丁格(H·Staudinger)提出的高分子理论、比利时普里戈金(I·P·Prigogine)创立的耗散结构理论、日本福井谦一提出的前线轨道理论等。这些理论的产生和形成，都代表着不同历史时期的化学前沿的研究所达到的最高水平。

不论新的化学科学事实的发现，还是化学科学理论的创立，都离不开先进的科学方法。因此，诺贝尔化学奖委员会也极其关注对重大化学科学技术、化学方法发明者的奖励。例如，德国的哈伯(F·Habber)发明合成氨方法，贝金斯(F·Bergins)发明高压煤液化法，英国的马丁(A·J·P·Martin)和赛兹(R·L·M·Synge)发明的色层分析法，加拿大赫兹伯格(G·Herzberg)开拓与发展的测定自由基的分子光谱分析法，美籍华人李远哲发明的交叉分子束法等，无疑，上述各种科学方法对开拓化学前沿领域都是至关重要的。

第四节 化学前沿发展的趋势

“化学前沿”在不同的历史时期有着不同的表现，但就其实质来说是不变的。那就是指在不久的将来，在这些领域可能得到新的发现或突破，从而带动一个学科或几个学科的发展。同时，化学前沿的发展还存在着两种重要趋势，且也是同一的：一方面是分科越来越细；另一方面是逐步走向综合、走向统一。这种综合和分化是两个方向相反而又密切联系的发展过程。综合可导致新的分化，而新的分化又酝酿着新的综合。这可以说是化学前沿形成和发展的基本模式。这种模式在整个化学前沿发展的历史进程中得到了清楚的体现。

一、沿着物质结构层次双向探索

化学科学的基础学科是在 19 世纪形成的，并导致了化学科学从整体向专业化方向的发展。道尔顿的化学原子论和阿佛加德罗的分子假说是 19 世纪化学阐述各种问题的基本理论依据。由此可见，化学科学认识的深化是从原子层次开始的——新的化学前沿（或称化学新时代）就这样出现了。

进入 20 世纪以后，化学一方面沿着物质结构层次的微观方向（如原子核和基本粒子）深入发展，相应地形成了核化学和基本粒子化学等前沿领域。另一方面沿着物质结构层次的宏观方向发展，形成了新的前沿（如高分子化学和凝聚态化学、地球化学和宇宙化学等）。凝聚态化学是现代化学前沿的一个重要组成部分，重点研究凝聚态的物理化学性质与化学组成、微观结构和化学反应之间的关系及有关材料的应用。该前沿领域与量子化学、结构化学等密切相关。

上述物质结构层次及其研究各个层次的化学学科，在其发展过程中是相互渗透、互为促进的，进而不断形成许多新的边缘学科和交叉学科。

二、在运动形式交叉领域开拓

在任何物质系统中，物理运动和化学运动是难于截然分开的。可是在 19 世纪之前，化学研究与物理学研究是互不相谋、各自发展的。从 19 世纪开始，化学家和物理学家开始认识到：只有把两者辩证地结合起来，才能比较满意地解释化学现象和物理现象。物理化学的诞生就是一个标志。从此以后，化学和物理关系日益密切，两者相互交叉的领域越来越扩大，相继出现了多个化学前沿，如量子化学、分子动力学、催化化学等。与此同时，化学运动与力学运动在橡胶高分子材料的机械加工过程中联系在一起，形成“力化学”。化学运动与生物运动进一步相联系，形成并发展了生物化学和化学仿生学。如今，正在形成中的生命化学，则比生物化学有着更多、更复杂的内容。生命化学需要实现更高度的综合。它不仅研究化学运动、物理运动与生命运动的联系，而且还研究它们与社会行为和思维活动的联系。例如，脑化学就是重点研究思维运动与化学运动的关系和规律，是生命化学这一前沿领域中颇具活力和诱人的一个方向。

此外，化学运动和多个运动形态的联系与渗透，又导致出现综合性非常强的化学前沿学科，如环境化学等。

三、向应用性和综合性方向发展

应用化学架接于基础化学和化学工业之间，是化学理论向生产力转化的中介。它具有明显的应用性和综合性。也正是这两点使得化学前沿更具丰富多采。从其应用性来看，应用化学同国民经济和人类生活的各个方面有关。

而且关系越密切的领域，越易被重视而成为重要的化学前沿。众所周知，不少化学前沿是属于应用化学的范围，诸如能源化学、材料化学、海洋化学等。另外，从综合性角度来看，应用化学研究对象都是较复杂的物质客体或较复杂的物质系统，往往需要多种学科的结合以及多种理论与技术的结合。可见，应用化学的发展既能促进方法的交叉和理论的交叉，同时又能加速化学科学前沿的分化和综合。

总之，化学前沿发展规律是多层次、多元化的。人们对它的规律性探讨，目前还只是初步的，有的看法也不尽一致或有待深化。但有一点可视为共识，即普遍认为对于化学前沿发展规律的探讨是重要的，决不能忽视。因为它有助于我们不失时机地抓住化学前沿而大有作为，否则会坐失良机而陷入长期徘徊不前的境地。抓住前沿，可以明确主攻方向、加快化学科学研究的步伐，达到后来居上的目的；抓住前沿，可以培育出一批第一流的化学人才；抓住前沿，可以研究并学会使用大量先进的科研设备，掌握新的实验手段和运用大量新技术，有力地带动整体化学的发展。

第十三章 化学革命论

化学发展是一个曲折坎坷的动态过程，其中化学革命是石破天惊的重大事件，极大地促进了化学的飞跃。了解和研究化学革命是化学学的重要内容，是从整体上研究化学动态发展规律的一个主要方面。它有助于认识和把握化学的历史发展及其规律，推动并促进未来化学革命的产生和发展。

第一节 化学革命的实质

什么是化学革命，它的内涵包括哪些，本身具有什么性质，表现出哪些特征？这是研究化学革命首先遇到的一些必须解决的问题。

一、化学革命的概念

化学革命是化学发展过程中一个比较复杂的过程，具有不同的层次和侧面。因此国内外有关化学革命概念和认识也多种多样。据各种资料的不完全统计有十多种提法。在化学发展中使用频率较高的词汇之一就是化学革命。

已有的化学革命定义可分为三大类。它们从不同层次和侧面上反映了化学革命本身的一些性质。

其一，关于“化学革命”的“双重式定义”。这方面比较有代表性的定义，是苏联著名化学哲学家罗德内提出的。他认为，化学革命是化学家思维方式和化学理论逻辑结构的变革，即双重变革的结果。这一化学革命的定义是在苏联公认的“科学革命”定义的基础上，经过限制和修饰而形成的，流传较广。从某种意义上说，是套用了科学革命定义的结果。

其二，关于“化学革命”的“哲学式定义”。它是把化学革命直接看作是化学发展中的“否定、质变或飞跃”。从哲学抽象的高度出发当然也是探讨化学革命所不可或缺的一种认识。

其三，关于“化学革命”的“三重式定义”。1986年出版的我国第一部《化学哲学基础》，把化学革命定义为“是打破化学中原有的基本概念和理论以及与它们相联系的思维方式，建立新的基本概念和理论以及思维方式的过程”。

以上三种化学革命的定义，虽然已经基本上指出了化学革命的含义，但似还未能反映出化学革命的主要对象、动态过程和本质特征。还需要进一步补充和发展。为此，我们在综合上述化学革命定义的基础上，提出了如下述的“建构式定义”：化学革命是化学主导理论的转折性建构。

这一定义至少可以从如下三个方面进一步体现出化学革命的特征。

首先，它说明化学革命主要是发生在化学理论领域，而不是其它领域，以区别于一般的思想革命或社会革命，以及实验仪器和工具的革命。化学革命只能是化学理论的革命或变革。

其次，它说明这种化学理论的变革主要是化学主导理论的变革，而不是枝节理论的变化。化学主导理论系指化学发展中渗透遍及化学各个领域，能够主宰化学发展方向的骨干理论。例如在化学史上，18世纪初期兴起的“燃素说”就左右了当时所有化学家的意识，可以认为是当时的化学主导理论。此后，拉瓦锡第一次化学革命建立起的氧化学说，不言而喻也是一个化学主导理论。另外，20世纪以来建立的原子结构理论，尤其是量子化学理论，直到90年后的今天，仍然是一个左右化学发展的主导理论。

第三，这里所提化学革命的“转折性建构”，其中的“转折”是指化学理论发展方向与原来不同，甚至是逆向的过程。具体来说是指化学理论在自我发展中得出与原来完全相异或根本相反的逻辑自洽的陈述和命题系统的发

[苏]H·罗德内：《自然科学史和方法论概论》，莫斯科科学出版社，1975年版，第301页。

《现代自然科学的哲学问题》，吉林人民出版社，1984年版，第202页。

唐敖庆等：《化学哲学基础》，科学出版社，1986年版，第134页。

展过程。“建构”系指化学思维对客观化学运动的创造性的重新组合或建造过程。爱因斯坦指出：“要走向理论的建立，……只能通过构造性的试尝去探索，而这种尝试要受支配于对事实知识的慎密考察”。化学史研究表明，这种“爱因斯坦式的建构”过程经常发生在化学理论体系演变之中，是主观思维和客观事实的对立统一过程。当新的建构没有危及化学理论的核心基础时，常称为“常规性建构”或“非转折性建构”。例如凯库勒对于苯结构认识的重新建构，只是扩展了人类对芳香族化合物的认识，还没有根本危及整个化学理论。只能说是一种非转折性建构。相反，只有当新事实 and 材料所反映的化学运动与人们已有的理论结果根本相悖，并足以危及原有化学理论核心基础时才能成为转折性建构。通过它所形成的化学理论一旦成为化学主导理论时，化学革命就实现了。

二、化学革命的性质

化学革命就其性质来说，是彻底更新已有化学理论、极大推动化学各个领域发展的重大变革，具有着特定的内涵。因此不能随意地扩大化学革命的界限范围，例如1979年诺贝尔奖获得者A·萨拉姆甚至把化肥和杀虫剂的应用也视为化学革命，就不免有失牵强。此外，将化学分支理论（即非化学主导理论）的转折性建构也视为化学革命的事例就更是屡见不鲜。例如一些化学哲学家常把门捷列夫发现元素周期律和维勒合成尿素都视为“化学革命”，也是不妥的。因为化学主导理论和分支理论在化学发展中占有不同的地位，具有不同的作用。非主导理论的转折性建构的发生也只能使化学认识局部深化，还不能对于整个化学发展产生革命性的影响。元素周期律虽然在无机化学的系统化以及确定新元素等方面具有无可比拟的作用，然而它毕竟还未能动摇和改变以原子论为基础的化学主导理论的地位，还够不上是一次化学革命。此外，仅局限于有机化学变革的尿素合成也如此，还不是化学总体的变革，也不能认为是整个化学的一次革命。

三、化学革命的特征与判据

化学革命的性质决定了化学革命的特征。化学主导理论的转折性建构，既是判别化学革命是否发生的依据，又是化学革命的重要特征。

可以认为，化学主导理论占统治时期相当于库恩的“常规科学”时期。库恩曾指出，从来我就是把“范式”和革命局限在“主要理论”领域上。然而这里提出的关于“转折性建构”的概念还可进一步揭示化学革命的性质与特征。

依照化学革命是化学主导理论的转折性建构的过程这一特征，就不难判断化学革命。首先是只有在化学理论中具有决定性作用的、能够统帅其余理论并渗透在各个化学领域的化学主导性基础理论领域，才是涉及化学革命发生的领域；其次，只有化学主导性基础理论在化学实践和化学思维的共同作用并发生转折性建构的情况下，才是化学革命。

此外，产生化学革命的一个社会性标志，是通过对化学教科书进行重新改写，使化学教育内容发生根本性转折，即化学革命必定伴随着化学教育的变革。

《爱因斯坦文集》，第1卷，商务印书馆，1979年版，第567页。

[巴基斯坦]A·萨拉姆：“理想与现实”，《科学与哲学》，1983年，第2期，第5页。

库恩：《必要的张力》，福建人民出版社，1981年版，第17页。

这些判据是对化学发展的认识的抽象结果，并不具有最后判决的意义。运用它来剖析化学史上的重大事件会使我们认识到，迄今为止的化学发展史中只有二次堪称为化学革命的事件。第一次化学革命是拉瓦锡的化学反应理论——氧化学说取代燃素说的转折性变革。第二次化学革命是以“原子可分”为基础的物质结构理论的建立，使化学基本理论产生了转折性变革。因此，如果以化学学的严谨的观点来研究化学革命，就不能简单地把伟大化学家波义耳和道尔顿归结为是化学革命家。严格一些说，他们只是化学科学的创始人和化学基础理论的奠基者。

第二节 化学革命的动因

化学革命的出现并不是化学发展过程中偶然和孤立的事件，既有外部原因，又有内部原因。从化学学角度上看，化学革命是化学发展系统的运动变化的结果。化学发展系统中三要素的相互作用成为化学发展的动力，也是化学革命产生的动因。

一、化学发展系统及其三要素

化学发展中的各个部分与相关要素，可以构成为一个化学发展系统。可以说，没有化学发展系统的演进，就不可能有化学革命。化学发展系统是从化学学的角度为研究化学革命而引入的一个概念。它是指整个化学科学及其相关因素构成的一个相对独立和具有特殊进化功能的整体，是整个科学发展的巨系统的一个组成部分。

在这里我们主要是进行化学学方面的阐述，可以忽略考虑化学发展系统与整个科学发展系统，以及除化学以外其它分支学科发展系统的作用及联系。此后，当我们把这个近似孤立体系组成、结构和运动研究清楚以后，可以再通过相互联系、相互作用等条件的附加而还原到原来的状态。

应当看到，组成化学发展系统的要素是比较多的，但是能够对化学发展系统状态具有较大影响并起主导作用的要素，可以认为主要有三个：即（1）化学实践（以化学实验为主导的活动），（2）化学理论（以化学主导理论为基础的理论），（3）化学思维（以主观理论建构为主体的化学思维）。

化学发展系统的三要素按其哲学属性来说，可以分为主观和客观两个层次。它们是客观存在的和相对独立的作用因。彼此之间以化学理论为中介，通过相互联系和作用构成了一个整体。化学发展系统三要素与化学革命的关系主要表现在以下几个方面。

首先，化学实践是化学发展系统赖以存在的物质基础，是产生化学革命的物质动因。化学实践的发展推动了化学发展系统的前进。由于化学实践活动为人类认识化学运动的深化提供了物质手段，从而成为化学理论产生的源泉。例如煅烧金属的化学实践有力地促进了反燃素说的化学革命，几乎所有的反燃素说的化学家都参与了这一实践。此外，化学实践也是化学科学改造自然界的手段，是化学革命中检验理论是非的标准。例如在发现电子及原子核以后，曾经提出了许多关于原子结构的模型，然而每一个模型都是最终由实践活动决定着它们的取舍。从根本上说，化学革命是以化学实践为物质基础，通过化学思维的建构作用而体现在化学主导理论上产生巨大转折的过程。

其次，化学实践的发散性与化学革命关系极大。化学实践的发散性包括空间上的广泛性和时间上的无限性。无数不同质的化学实践，具有开拓广阔认识领域的重要作用，使化学革命的产生成为可能。同时，化学实践的发散性使化学革命的过程变长，并使化学实践中的革命性发现和化学理论的革命性转折之间出现非同步效应。当然，人们也不能仅仅强调化学实践的重要性。因为当化学发展到“整理材料”的高级阶段时，就必须将化学实践置于化学理论的指导下，以收缩其发散性，从而能够集中力量去导致化学革命的产生。

应当看到，化学实践虽然是化学革命的物质基础，但是并不意味着就可

以认为在化学实践中能够自然地产生化学革命。因为化学实践的发散性也会使人类的认识难以集中，从而往往需要消耗大量的劳动而收效甚少，例如炼金术的实践活动；此外，如果对于实践结果理解错误的话，有时甚至还会产生化学革命的反党派。例如当拉瓦锡氧化说在欧洲大陆已经占据主导地位时，远在美洲大陆的普里斯特列却仍然按燃素说的观念一无反顾地进行化学实践，拼命维护燃素说。直到 1801 年他还在写给朋友信中坚持认为燃素说是“真理”，而且“必将战胜氧化学说的谬误”。他在临死前一年出版的专著中还罗列了大量化学实验来论证早已被推翻的燃素说。因此，在化学革命的转变关头，就必须重视理论的概括及建构作用，发挥化学理论在化学革命中的主体作用，以推动化学革命的产生。

二、化学理论的主体作用

化学理论是化学革命的决定性变量，是人类认识化学运动达到一定深度的标志；是具有物质载体的、物化了的化学思维；或是知识客观化的产物。

化学理论的建构过程是主观的，但其内容和形式是客观的。化学理论一旦产生，作为一种知识形态，往往具有客观独立性和自主性，并可形成一些具有预见性的推论与命题。现代化学发展过程中的许多化学理论都需要通过对比和竞争，并以其反映客观实际的深刻程度来决定其生命的长短。化学理论的诞生和成长，其间或以其它形态融合于新理论，或最终被人们所肯定或所否定或被遗忘，均具有其独自的演变规律，从而为人们认识化学革命提供了基础。这主要体现在以下三个方面：

1. 化学理论的变革，特别是化学主导理论的变革，集中体现了化学实践和化学思维的运动和变革。因为化学理论是化学实践和化学思维相结合的结晶，基本上代表了化学发展系统的状态。它的任何变迁都与化学发展系统的进化与否有关。化学发展系统的变化可以通过化学理论的变化来标志。化学革命只是化学发展系统状态变化的一种客观描述。因此，化学理论的变革就深刻体现了化学革命问题的实质。它既体现了化学实践的物质的因素，又体现了化学思维的意识因素，集中反映了化学发展系统的变革。

2. 化学革命当然包括化学实践和化学思维的变革，然而这两个要素的变革并不是和化学革命同步实现的。它们具有着明显的超前性或滞后性。在大多情况下，它们的变革并不能直接标志着化学革命是否发生。它们这种超前或滞后作用，使人们不能准确地判断化学革命，不能客观地反映出化学革命本质。例如，1772 年拉瓦锡完成了燃烧系列实验以后，在记事本上写道：“在我叙述了空气从物质中释放出来以及空气与物质结合的全部历史后，这些（解释上的）不同就会充分显示出现，它促使我全面地从事这一工作，因为我觉得这注定要在物理学和化学上引起一场革命。”可见，当时拉瓦锡的化学实践和化学思维超前了许多。然而在后来的近 20 多年里，才在事实上完成了拉瓦锡预言的化学革命。究其原因就在于唯有煅烧金属的化学反应理论的转折性建构才是化学革命的标志。

化学实践和化学思维结合产生化学理论以后，化学革命就和化学理论运动变化紧密相关了。化学实践构成了化学理论的骨肉，化学思维赋予化学理论以灵魂。两者结合的紧密程度与化学理论的寿命成正比，并决定着化学革

林德宏：《科学思想史》，江苏科学技术出版社，1985 年版，第 171—172 页。

梅森：《自然科学史》，上海译文出版社，1980 年版，第 287 页。

命的发生周期。即使当正确的理论被暂时埋没而得不到承认时，最终也会因其强大的生命力而被人们重新唤起。比如，阿佛加德罗假说的复兴与其说是康尼查罗的伟绩，还不如说是它本身所具有的强大生命力。这种情况连康尼查罗自己也这样认为。同样，人们也无法挽救错误理论的失败。从这一现象可以看出，化学理论具有客观的独立性和自主性，并成为化学革命动因的主体。

化学理论的客观独立性和自主性同化学革命还有如下的联系：化学实践的发散性受到化学理论的某种程度的收敛；化学理论像一个钻头那样，使人类的化学思维和化学实践收缩到一定范围，以促进化学革命的及早发生。

三、化学思维的转折建构作用

化学革命离不开化学主导理论的转折性建构，而这种转折建构作用又离不开化学思维的作用。化学思维主要是指在化学实践过程中化学认识主体对化学运动客观规律的概括和建构，化学理论的每一步发育，都要受到化学思维的制约。

没有化学思维这个母体，化学理论就无法降临人世。化学思维主体通过一系列能动的概括、综合和抽象等建构过程，首先形成假说，通过假说的“建立和发展科学理论的桥梁”的作用，经过化学实践的证实和证伪的检验而成为理论，最后经过化学家的“优胜劣败”地选择再成为化学主导理论。

从唯物主义反映论出发，化学思维是化学运动在人脑的反映。对于化学革命等化学发展动力学研究来说，令人关注的是人脑这种能动反映的建构过程，特别是错综复杂、千头万绪的化学运动及其信息是怎样经过化学思维的建构作用变得如此清晰而简明，最终成为化学规律的。

化学思维的主体建构能力是促进化学理论发生变革的主观力量，是人类对化学革命促进作用的体现。人类思维的无限建构能力才堪称为是人类最美的花朵。正是人类这种能力为变幻无穷的宇宙运动准备了各种最好的组合形式并通过实践去证实或反驳。

我们强调化学思维的建构能力是在实践基础上完成的。这是同西方科学哲学的“建构主义”的神秘主义、直觉主义的区别之点，也是化学学建构观的唯物主义基础。化学思维的建构作用具有融合各种表面联系和捕捉主要联系的能力，在化学理论中表现为主体的能动作用。这是化学主导理论的认识论基础。

化学思维的转折建构作用主要集中了化学理论的逻辑结构上。列宁曾将人类认识（建构能力的体现）比喻为一个螺旋线，建构中的转折作用无非就是沿着螺旋线切线方向完全相反的发展过程。同样作为化学主导理论的燃素说和氧化说，则有完全相反或相逆的认识：燃素说认为燃烧过程是一个分解释放“燃素”的过程，而氧化说却认为是一个吸收氧气的过程，对于燃烧反应机理的认识完全相反；燃素说认为可以不考虑燃素的物理性质，认为这一反应实体不能为人们直接感知，而氧化学说却要把氧“提取”出来加以实验检验，认为必需考虑反应实体氧的物理和化学性质。总之，氧化说是建立在燃素说的转折基础上的，没有化学思维的转折建构作用，也就不能实现第一次化学革命。

Karl Weltzien and the Congress at Karlsruhe, Chymia, 153 (1948)。

《自然辩证法讲义》（初稿），人民教育出版社，1979年版，第332页。

第三节 化学革命的模式

化学革命经历的具体过程和步骤，呈现出复杂纷繁的状况，然而在将枝节和次要因素舍弃以后便可以得出化学革命的一般的标准样式，以便于人们认识和研究化学革命的状态、过程、步骤、特征和意义。这也是我们研究化学革命模式的基本意义。

一、“陀螺型”化学发展模式

化学革命的模式取决于化学理论的给构和化学发展系统的形式等二个基本部分。化学理论是隶属于科学理论的，当然也具备科学理论的“树型模式”的特点。事实上，化学理论的静态结构也确实呈现树型。有的论理呈现为树的主干，有的理论呈现为树的分支。化学物质结构理论就是现代化学理论的主干，分析化学如系统分析法就是化学理论的分支。

分支部分的化学理论受化学实践和化学思维的影响较大，易于波动。它们的变化一般不会影响到整个化学理论的动摇。化学理论的主干也就是化学主导理论，是支撑化学之树繁荣昌盛的核心力量。在科学发展的风雨震撼下，它的波动较小，然而它的变化将影响到整个化学理论的全局，影响到化学发展系统的状态。因此可以将化学理论“树型模式”中的主干理论的转折变革看作是化学革命的同义语。

在化学革命史上从 1772 年开始，燃素说就受到了各种各样批评。但是它通过一系列的假说（如“燃素”具有负重量等）的辩护作用，仍然保持其化学主导理论地位，表现出极大的稳定性，以至于像普利斯特列、凯文迪什、马凯尔（P·J·Macquer, 1781—1784）、刻尔万（R·Kirwan, 1733—1812）等著名化学家在化学氧化学说取得巨大成功以后仍然坚持燃素说的观点，而且态度十分坚决。

既然化学理论的结构呈“树型模式”，那么化学理论是如何影响化学发展系统的呢？换句话说，化学发展系统的情况怎样？化学发展系统是一个动态平衡体系，即三个基本要素相互联系、相互作用的体系。由于其中的化学理论是导致化学革命的主导因素，因此可以把三个要素的相互关系用一个倒三角形来描述，而整个化学发展系统则呈现为陀螺型的圆锥体。

虽然，化学实践和化学思维作为化学整体的两极是相互区别的，但是又通过化学理论联系成一体。化学实践活动和化学思维活动无不围绕着化学理论而展开。它们是三位一体的，如果出现化学实践与化学思维之间的脱节或比例不协调，就会出现化学发展系统陀螺的进动或倾倒，破坏原来的动态稳定。这时，化学理论必须通过自身的调整以形成新的状态，才能重新进入新的动态平衡。可见，化学革命既是化学发展系统诸要素发展变化的结果，也是调整化学发展系统内部诸要素关系的必然。

如果把陀螺的倾倒看成是一次化学革命，那么不难看出，化学实践和化学思维的矛盾是产生这一结果的根本动因。如果我们把化学系统的陀螺圆锥看成是一个认识客观世界的钻头，那么，化学实践与化学思维的结合得愈紧密，它们的作用力就越大，化学理论的韧性和抗冲击性就越强，对自然界化学运动的认识也就越深刻，效果越好。

舒炜光：《自然辩证法原理》，吉林人民出版社，1986年版，第67—74页。

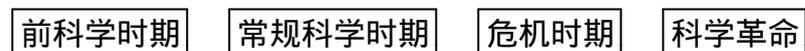
J·M·Stillman：The Story of early chemistry，P.442—450（1924）。

二、“复式”化学革命模式

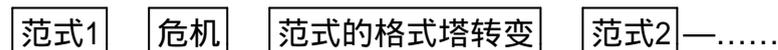
结合库恩科学革命的模式并结合化学革命历史的实际，这里提出化学学的化学革命模式。

库恩在《科学革命的结构》一书中，给出了历史主义学派的科学发展模式，同时描述了科学革命的模式。

库恩的科学发展模式：



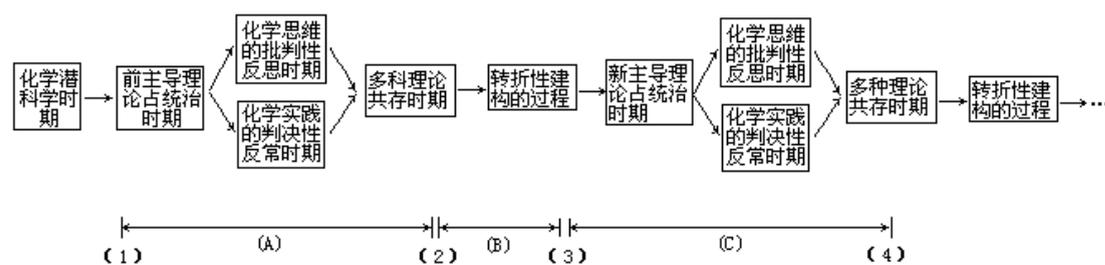
库恩的科学革命模式：



库恩的科学革命模式受到最大的批评就是在解决危机的过程中范式的转变是不可比的。此外，库恩对危机的产生的观点也比较含混和复杂。总的来说，库恩科学革命模式基本上是适合科学发展的实际。但有待于进一步补充，特别是去掉一些非理性主义的因素。

事实上，相对于库恩的前科学时期，化学史上应该有一个化学潜科学时期，也可以说是属于化学史前阶段；化学潜科学时期与前主导理论占统治时期之间，是化学科学确立阶段。从多种理论共存的时期到新主导理论确立统治地位以前，是潜化学革命时期。化学主导理论的转折性建构是化学革命时期。在整个化学发展史上，化学革命是罕见的、短暂的时期，而非化学革命则是常见的、长期的过程。但是化学革命却是意义重大、能够改变化学发展面貌的事件。这一动态过程可以从化学发展和化学革命模式框图(图13—1)中看出。

可以看出，同库恩模式相比，这一模式主要具有两个特点：一是在革命起因方面提出了化学实践和化学思维两个要素；二是依照这两个要素进一步把库恩模式的危机时期划分为两个阶段。这样就能够较为深入地揭示出化学革命的动因和本质。因此，这一模式，可以称为“化学革命的复式模式”。



图例：(1) 化学革命确立，(2) 化学革命开始，(3) 化学革命终结，(4) 新的时期；
(A) 潜化学革命时期，(B) 化学革命时期，(C) 新的时期。

图13-1 化学发展和化学革命模式图

根据这一模式可以具体认识到，化学革命的起因或库恩模式中的反常是产生于两种矛盾：一是化学实践与化学理论不符，例如在拉瓦锡时期由于人们对物质燃烧和煅烧进行了大量实验，而表明了燃素说和化学实验结果不符，从而使人们对燃素理论的正确性产生了怀疑，并最终成为化学革命的契机；二是化学思维的批判性反思与化学理论的矛盾，例如从燃素说一产生就

在化学界产生了维护燃素说和各种批判性反思的两种化学思维，并以化学理论为中介进行了激烈的批驳和反批驳。当时出现了三种观点：（1）容克尔（Jancker, 1683—1759）和芬涅尔（G·Venel, 1723~1775）等人认为燃素理论本身并没有问题，只是人们忽视了对燃素性质的认识。因此他们提出了燃素具有“负重量”的理论；（2）拉瓦锡等人怀疑实验本身的过程，认为问题可能出在实验中，并通过一年多的定量实验终于发现在密封容器中煅烧金属并没有增重的事实；（3）化学家们认为燃素的物理性质和化学性质应该具有统一性的看法。这种化学思维与化学理论的相互作用，促进了化学革命的产生。可以看出，这一模式对于化学革命的动因和本质能够做出较为深刻的概括，可以更为有效地理解和把握化学革命。

三、主动和从动的化学革命类型

化学思维的批判性反思和化学实验的判决性反常，加深了已有的化学理论内部逻辑矛盾，最终则推动了化学革命。在化学革命的起因上，库恩仅仅强调反常中一方面的作用，无疑是不全面的。化学实践和化学思维对化学理论的双重作用，是构成化学革命起因的两个方面。他们是对立统一的，相辅相成的，不能在化学发展过程中将它们割裂开来，孤立地对待。

化学思维的批判性反思使化学发展系统形成两种趋势。一种是虽然认识到已有理论的不足，但沉湎于前主导理论已取得的成功，不断用增加各种特色性假说来完善前主导理论，维护它的统治地位；另一种是反常一开始就试图用新的构想和假说来重新建构新理论，并努力使之成为新的主导理论。拉瓦锡之所以成功地完成了第一次化学革命就是后一趋势发展的结果。

根据化学革命起因两种作用的强弱，可以将化学史上的化学革命分为二种类型：即主动式革命和从动式革命。

主动式化学革命是指从化学革命起因开始，作为反常因素的一个侧面——化学思维的批判性反思，充分发挥了主导作用或主观能动作用而最终完成的革命，亦可称为是化学思维型的化学革命。拉瓦锡的化学革命就是主动式化学革命。其特点是，从拉瓦锡意识到燃素说存在错误并准备进行一场化学革命时起，就从化学思维的角度主动进行化学理论的重新建构。他的有目的、有意识的化学实践和化学理论的建构，都体现了积极思维的主动性。有人把他誉为“伟大的化学建筑师”，而按马克思的说法，建筑师头脑中事先是具有“清晰的建设蓝图”的。拉瓦锡化学革命是发生在化学界内部，并彻底解决了当时燃素说所面临的问题，充分体现了化学思维的主观能动性作用。

从动式化学革命是指在化学革命起因中，由于化学实验同化学理论相矛盾，或其它科学实践事实同化学理论相矛盾而促成的化学革命。20世纪初的量子化学诞生的化学革命是属于这种从动型化学革命的典型例子。当时，由于物理学处于领先的带头学科的地位，客观上具备了发现原子结构的条件，在伦琴射线、放射性和电子相继发现以后，物理学的原子结构理论发展迅速，而使化学理论的变革具有明显的从动性。当时，化学家对化学理论的未来发展趋势远不如拉瓦锡那样充满自信心。特别是从拉瓦锡以后，经验主义逐渐成为化学家普遍信奉的教条，妨碍了化学思维活动的健康发展。后来在物理理论的启示和借鉴下，通过物理学家的越俎代庖，化学才进行了化学主导理论的转折性建构，然而同物理学的飞速发展相比，化学革命还是远远落后于物理学革命。应该看到，从动式化学革命不过是针对化学革命起因的特点所进行的一种分类描述，至于其作用则并不亚于主动式的化学革命。这种分类

只是要告诉人们在化学发展中必须充分发挥化学思维的主导作用，否则就难以摆脱被化学实践推着走的被动局面。

对于化学革命的模式及类型的认识，有助于奠定化学史分期研究的理论基础。国际上化学史分期一般是按年代、人物、哲学意识、社会经济形态和化学自身发展的特点等五种分期原则划分的。前不久我国化学史研究工作者提出了按化学自身发展特点与社会对化学影响相结合分期的断代原则，其中提出“每一个时期开端的标志，应当是在化学思想上具有最重要地位、转折性的化学概念、化学理论”。这种分期原则中已经包含了以化学理论转折性变革为开端标志的想法。换言之，即以化学革命作为化学史的断代依据，也可以说是化学革命理论在化学发展分期问题上的一种应用。

第四节 历史上的化学革命

事实上人们对化学革命的研究是比较早的。然而由于缺乏对化学革命的探讨而对历史上化学革命的认识还存在很多似是而非的观点，特别是对历史上发生过几次化学革命的问题，以及对于重大化学事件的鉴定等方面的问题，尤其如此。

一、化学革命探索的沿革

根据化学史目前的资料来看，除拉瓦锡自己提出过化学革命一词以外，最早使用这一词的是法国著名化学家、化学史家武兹(C·Wurtz, 1817—1884)。他在《从拉瓦锡时代到现在的化学学说史》一书的序言中认为，拉瓦锡抛弃燃素说的化学反应理论，在化学史上是一次类似法国大革命的伟大化学革命。后来，法国化学家兼化学史家贝特罗(M. Berthelot, 1827—1907)明确称拉瓦锡的化学理论变革为“化学革命(La révolution chimique)”，并专门撰写了一部关于化学革命的专著。自此，人们便开始运用化学革命的概念来评价化学史上的一些重大事件。

19世纪中叶，马克思和恩格斯以辩证唯物主义为理论武器对化学革命进行了分析，使人们从哲学上对化学革命的认识产生了一个突破。恩格斯明确指出了化学革命的历史转折性。马克思还专门分析了化学革命和化学术语变革的辩证关系。

后来的西方科学哲学的一系列杰出人物也高度重视对化学革命的研究，其中波普尔、库恩等人的贡献和影响最大。波普尔是从他的证伪理论出发研究化学革命的。他把拉瓦锡化学理论的变革视为燃素说受到证伪而产生化学革命的典型范例。在波普尔看来，化学发展就是一次次化学理论不断被证伪而推动化学发展的过程。化学理论(假说)的证伪及交替过程，就是化学革命。波普尔的观点自然地衍生出化学革命“多次发生论”和化学革命“频繁”论。波普尔的观点得到了许多著名科学家的称赞和认可。

库恩著作的出版，赋予“化学革命”以新的含义，完成了从“化学中的革命”(The Revolution in chemistry)向“化学革命”(The chemical Revolution)的转变。这是一次从外在研究转向内在研究的巨大转折，是从化学革命外部历史形态的研究转入化学革命内在本质的研究的巨大转折。这一转折符合从方法论、认识论的研究进化到科学发展动力学研究的时代潮流。

从此，化学革命不再仅仅是特指化学史上的一次事件，而是作为某种化学发展急剧变革和化学理论巨变的代名词，并且使人们意识到化学理论变化与化学革命的联系。化学革命已经从一个描述化学史的事件的特殊概念成为一个具有普遍意义的化学学和化学哲学的范畴。

库恩及现代西方科学哲学家研究化学革命大多是从属于科学革命总体研

A·C Wurtz : A History of chemical Theory from the Age of Lavoisier to the present Time , London , (1869) 。
引自 J·R Partington , History of chemistry , [3].P.370.

M. Berthelot : La révolution chimique , Lavoisier , Paris (1890) 。

《马克思恩格斯全集》, 人民出版社, 1962年版, 第23卷, 第34页。

夏基松:《波普尔哲学述评》, 黑龙江人民出版社, 1982年版, 第21页。

邱仁宗:《科学动力学和科学方法论》, 知识出版社, 1984年版, 第1—5页。

究的。在多数情况下，他们往往无意识地直接将科学革命理论毫无限制地应用到化学发展中，或者干脆把科学革命和化学革命等混为一谈。

以往历史上关于化学革命的研究，具体来说至少存在以下二个问题：

(1) 许多研究者仅从化学史研究的角度考虑问题，缺乏从化学发展整体观点的研究，因而结论各异，引起争论。特别是关于化学史上发生过几次化学革命，至今仍然众说纷纭，有“二次说”、“四次说”，还有“五次说”。在一般研究中往往易纠缠于史实的繁琐考证或发展阶段的简单划分。美国化学史家西迪尼的工作属于这方面的一个例子，比较典型。

(2) 人们只从哲学的认识和探讨入手，如苏联化学哲学家罗德内、波兰哲学家彼德罗夫斯基、南斯拉夫哲学家兼化学家古特曼等的工作就是这样，有些过于哲学化。不仅认识各异，而且在一本书中前后的定义也不同。我国的化学理论研究中也有类似这种情况。

从化学学的角度来研究化学革命是近来的事情。我国学者在《化学哲学基础》一书中较早地探讨了这一问题，比较明确地提出了关于拉瓦锡氧化学说的确立和原子结构理论的建立是化学史上两次化学革命的观点。

二、化学革命的辨析

纵观化学发展史，曾经发生过多少次石破天惊的事件，哪一次事件是化学革命？很多人通过化学史研究提出了自己的看法。苏联科学哲学家凯德洛夫认为化学史上有两次化学革命，即拉瓦锡氧化学说的建立和道尔顿原子论的建立；库恩认为有三次化学革命，除上述两次外，还有波义耳的化学革命；此外，还有人认为化学史上有四次化学革命，即凯德洛夫提出的两次和加上维勒合成尿素以及门捷列夫元素周期律的发现；我国哲学家也有提出五次学说的。这里就不一一列举了。

然而根据化学学关于化学革命性质的认识，结合化学革命的判据，我们认为在迄今为止的化学发展史上堪称为化学革命的历史事件，应当说只有两次：一次是拉瓦锡的氧化学说取代燃素说的转折性变革；一次是以“原子可分”为基础的物质结构理论的建立使化学基本理论所产生的转折性变革（具体理由后述）。而其余重大事件则均不宜称为化学革命。它们并不具备化学革命的特点。即使是波义耳“把化学确立为科学”和道尔顿“开辟了化学新时代”的巨大事件也不应界定为化学革命。主要原因如下：

(1) 不能把化学创始活动视为化学革命。波义耳将化学确立为科学，开创了化学发展的新纪元，无疑是化学发展的重大事件，然而并不能依此就界定为化学革命。因为波义耳以前的“化学”不是依附于矿物冶金学，就是服务于医药学，既没有系统的理论体系，也没有独立的研究对象。因此，波义耳以前的“化学”充其量也不过是一门适用性较强的技术，还构不成是一门化学的科学。既然如此，则在尚不存在化学科学的时候，也就谈不上存在化学革命的对象，当然也就不存在化学革命了。况且，在波义耳时代为人们所公认的、独立的化学理论并不存在。化学主导理论尚未形成。他“并没有提出新理论去代替被摈弃的旧理论”，“他的化学反应理论基本上并不比他同

张嘉同：“苏联化学哲学问题研究情况简介”，《化学通报》，1982年，第1期，第63页。

王续琨：“科学革命，技术革命与产业革命”，《科学、技术与辩证法》，1985年，第1期，第1页。

金吾伦：“化学科学中的若干哲学问题”，《现代自然科学的哲学问题》，吉林人民出版社，1984年版，第202页。

时代人的理论先进”。那么根据化学革命的判据可知，波义耳把化学确立为科学也就显然不应属于化学革命的范畴。实际上，这只是使千百年来的化学前科学提升成为一门科学的重大事件，而不是一场化学主导理论产生转折性变革的化学革命。可以认为，这是符合化学发展历史实际的结论。

(2) 不能把化学理论的综合视为化学革命。这就是说，道尔顿的原子论诞生和分子论的确立也不能认为是化学革命，而是一次化学理论的高度综合。当然，无疑它是化学理论发展中的一次巨大飞跃，使自拉瓦锡以来的化学革命成果达到了前所未有的高度。但从化学理论的演变过程来看，以原子论为基础的化学反应理论只是更加完善和系统了，化学理论本身并没有发生涉及化学的整体性转折。因此，还不能把原子论的建立看作是化学革命。而只是化学理论的一次飞跃或突破，是对物质结构理论进行的一次综合。此外，道尔顿的原子论一直处于毁誉参半的地位，并在很长的一段时期内没有成为化学主导理论。特别是当时由于原子是看不见、摸不着的物质实体，只能用抽象思维来把握，就使得从杜马宣称从化学中“开除原子”到奥斯特瓦尔德坚决否认原子的存在，使原子论经历了辛酸的发展过程。这种情况一直持续到 20 世纪初期，直到 1910 年出版的《大英百科全书》(第 11 版)中还认为，原子论可能只是一种会“被抛弃并被更能符合后来发现的假说所取代”的假说而已。因此，道尔顿原子论的建立也不能认为是化学主导理论产生转折性变革的化学革命。

三、两次化学革命的界定

化学革命在化学史上具有重要地位。作为化学发展的分期和断代标志，可使人们可以按以下四个阶段来认识化学历史：(1) 古代至波义耳确立化学科学之前的化学史前时期；(2) 波义耳确立化学科学至燃素说被推翻以前的化学古典时期；(3) 拉瓦锡建立氧化说至原子结构理论建立以前的化学近代时期；(4) 原子结构理论确立以后至今的化学现代时期。各个阶段中两个时期之间都发生过一次类化学革命或化学革命，其中化学革命为关节点。因此，这两次化学革命在化学史上意义重大。

1. 第一次化学革命的界定

为什么许多化学史家和化学哲学家都认定拉瓦锡建立氧化说是一场化学革命？这是由于化学科学建立以后，第一个在化学领域中占统治地位的化学主导理论——燃素说受到化学实践和化学思维的双重作用而最终发生了化学理论的转折性变革。

燃素说是 17 和 18 世纪占统治地位的微粒哲学的化学思维同以高温燃烧反应为主的化学实践相结合的产物。当时，通过笛卡儿机械论哲学和微粒论哲学之间的科学论战，经伽桑狄复活的原子论为代表的微粒论哲学得到了欧洲科学界的广泛承认。特别是由于牛顿力学这一领头科学的成功，加上牛顿采用微粒论，所以在解释已知实验现象和事实时人们就纷纷引入微粒哲学的思维方法，并最终在化学领域走向燃素说。

燃素说从 18 世纪 50 年代开始得到了化学界的普遍承认，成为化学主导理论。法国化学家、蒙彼利埃医学院教授伽勃里尔·芬涅耳(Gabriel VeneI, 1723—1775)在《法国百科全书》中全面系统地阐述了燃素说，成为化学界的共识。后来，由于生产技术和化学实验的深入，燃素说存在的问题

充分暴露出来，在化学理论同化学实验事实产生矛盾的反常出现的同时，对燃素说的批判性反思也就开始了。

从 1751 年芬涅耳提出燃素具有“轻量”时开始，凯文迪什、马凯尔、包梅（Baume）和德莫沃（de Morveau, 1737—1816）等一大批化学家，先后对燃素说进行了修正和新的建构。他们的全部工作可以概括为是通过特设性假说来增加燃素说理论的解释能力。由于忽视了提高理论的预见性和客观检验性，他们对燃素理论的建构活动未能实现化学主导理论的转折。正像芬涅耳预言的那样，要想化学达到物理那样的革命，人们要期待着“新的帕拉塞斯”的出现。这个人就是朗朗·拉瓦锡。

拉瓦锡从两个方面开始了自己的化学革命历程。一是通过化学实验对原有的主导理论的核心部分进行了检验，二是对原有的化学主导理论进行了认真的反思。通过对化学反应的实体粒子的认识和推测，在批判地吸收燃素说实验成果基础上，建立了与燃素说本质相反的氧化学说，并通过化学教育和其它传播方式，最终实现了化学主导理论的转折性建构。从 1772 到 1782 年，拉瓦锡完成了化学理论的转折性建构，从 18 世纪末到 19 世纪初拉瓦锡的化学理论得到化学界的广泛承认，上升为化学主导理论。因为当时已知的所有化学反应几乎都同燃烧现象有关。化学发展离不开火。火是化学的研究手段，也是化学研究的对象，迫切需要从理论上做出解释。因此燃烧理论就成为整个化学的核心课题。相反，任何非化学主导理论，不论发生怎样的变化和变革都不会引起全局性的化学革命。比如门捷列夫元素周期律，其实质只是一个化学基础理论的分支，仅仅在元素分类和相互关系方面才是最基本的，还构不成是化学革命事件。

此外，拉瓦锡建立氧化学说的过程还具有明显的转折性。氧化学说的理论既不是燃素说的综合也不是燃素说的进一步发展，而是对燃素说的辩证否定，是从现象到本质、从谬误到正确的转折。这种转折性的表现一是对化学反应认识模式的转折，主要是：

斯塔尔的认识模式：

可燃物-燃素=灰烬

拉瓦锡的认识模式：

可燃物+氧=氧化物

这还不只是正与负的区别，而且是认识的一种根本性转折。二是化学观的不同。斯塔尔建立的燃素说是假说为主体的猜测；拉瓦锡建立的氧化说是实验为主体的实证。燃素说从产物方面的变化来考虑并得出是失去燃素的结论；氧化说从反应物变化来考虑并得出是生成氧化物的结果。思维的取向是不同的，两者的化学反应观是根本相反的转折。综合以上，就可以使我们自然得出了这是一场化学革命的科学结论。

2. 第二次化学革命的界定

这是一次由物理、化学、数学和哲学等综合多学科共同参与的建立原子结构理论的事件。在拉瓦锡之后，化学经过道尔顿达到了较高级的发展。第二次化学革命其起点是原子可分现象的发现。这次化学革命的表现和主要判据如下：

J.R.Partington : History of Chemistry.Vol.3.P.363.

D.Mckie : A.Lavoisier , Scientist , Enomist , Social Reformer , New York , p. 150 (1952) .

(1) 随着化学理论的发展, 化学结构理论的主导作用日益突出。许多化学反应问题归根到底是可以归结为化学结构问题。在 1860 年 9 月德国卡尔斯鲁厄城召开的国际化学家大会上, 化学结构及有关问题已经成为中心议题。这次会议是原子及结构问题开始成为化学主导理论奠基的一个标志。

(2) 从世纪之交发现电子以后, 化学主导理论在化学结构问题上发生了转折性变革, 其主要表现为, 由于原子是物质始元的认识转变为原子仅是物质结构的一个基本层次的认识; 由原子绝对不可分的认识转变为原子可分的认识; 由以原子论为基础的理论转变为以原子结构的电子论为基础的化学结构理论; 由定性描述转变到定量的刻画。这些转折综合在一起构成了化学主导理论的转折, 成为化学革命已经发生的判据。

(3) 从物理学首先开始物理学革命到化学革命, 整个化学革命演变过程表现出明显的转折性建构。在量子力学诞生以后, 经过化学家兰米尔、海特勒、伦敦和鲍林等人的工作, 化学结构理论进一步完善, 量子化学成为现代化学中占统治地位的主导理论, 极大地改变了化学的整个面貌。

第五节 未来化学革命的展望

根据化学史上二次化学革命的发展规律，大胆地预测和展望未来化学革命是可能的，也是必要的。

一、未来化学革命的标志

20世纪以来的化学发展从反应领域向结构领域迅速渗透，可以预见关于化学功能的化学理论将成为现代化学理论的高峰，从而有可能成为未来的化学主导性理论的基础，并渗透到化学各个领域。因为，随着人们对化学反应的深入认识和关于化学结构理论的日臻完善，有可能导致人们对化学反应认识的最大程度的自由，人们仿佛可以“随心所欲”地支配化学反应，形成新的化学物质，充分发挥化学理论知识的功能就必然成为主要方面。

在日本文部省制定的科学发展白皮书中，对今后化学发展的预测项目，基础化学研究的75%是以合成化学为主的功能化学问题，占绝大多数的比重。1982年以来美国国民经济总产值中借助功能化学（目前主要以合成化学为主体）技术获得的比例已占到20%。目前，美国已有一半以上的化学家正直接和间接从事合成化学研究与运用。

未来的化学主导理论可能是以第一次化学革命成果（化学反应理论成果）和第二次化学革命成果（化学结构理论成果）相结合的关于物质化学功能的理论，其标志将是分子工程学理论的诞生。它的广泛运用必将进一步扩大化学实践的范围，开拓新的化学实践领域，使人们能不断地合成新材料，开发新能源，检验新理论。这将是化学理论同化学实践的紧密结合，并且达到史无前例的程度。

分子工程学理论所产生的转折性建构将体现在以下两个方面。一是彻底摆脱盲目和随机式的化学实验过程而转向计算机或自动模拟化的化学试验过程，减轻化学研究人员的非创造性劳动的强度，以从事更深刻的创造活动。二是从化学技术理论角度实现目前似乎尚不能做到的一切。例如在当代的激光化学中，由于采用了激光化学新技术而实现了以前根本做不到的事情，如使许多化学反应的产率几乎可达100%；还可以进行单个原子或分子的反应，以及过去必须在极端条件（超高温、高压等非常规条件）下进行的化学反应，也可以在温和条件下进行，即反应条件将随着化学技术的进步而趋于温和，等等。

二、现代化学发展中的革命因素

现代化学发展中就已包含着未来产生化学革命的重要因素。它们的相互作用和相互促进，是产生未来化学革命的动力。现代化学革命中的未来因素可以分为客观因素和主观因素两个方面。

现代化学的分支学科如激光化学、分子生物化学和生命化学等学科，日益成为化学发展的主流，化学已从分解已知物质和以解释为主转变为以合成未知物质和以创造为主的局面。这一趋势可能使化学进化到一个新的时期。这是促进化学主导理论发生转折性建构的重要客观因素。

经过二次化学革命以后，人们日益重视化学工作者创造性的培养，更加重视化学教育的作用和意义。化学家群体素质的不断提高，将极大程度地释放和发挥人的能动作用和创造力。这是未来化学革命产生的主观因素。

[日]汤川泰秀：“未来的基础化学”，《科学与哲学》，1979年，第5期，第14页。

可以看出，未来化学革命的产生可能还需要一个相当长的时期。因为当代化学主导理论正处于兴旺蓬勃的上升阶段，20 世纪以来诞生的化学结构理论为主体的化学主导理论向其它化学领域的渗透还在进行。因此迅速发生转折性建构的可能性还不大。此外，现代化学主导理论自身尚有待于进一步完善化。比如，量子化学对分子的认识也还只是初步的，“仅有少数最平常分子的少数性质，可以用计算方法得到接近实验的准确度”。目前化学主导理论所处的状况同拉瓦锡之后和道尔顿之前的状况比较相似。因此现代化学需要一个能够综合近 90 年来化学发展的“现代的道尔顿”。再者是现代化学主导理论也需要进一步综合，以增强化学理论的核心程度，如化学键理论中的价键理论、分子轨道理论等还未能找到统一的形式。还有，尽管随着电子计算机的广泛应用已开拓出计算化学的新领域，但对于高分子和巨分子中原子价键的处理仍然比较遥远。与此同时，第二次化学革命开拓的一大片化学新领域，也有待于化学家去耕耘。因此，未来化学革命的发生还需要有个较长的酝酿时期。目前的化学状况可以说是正处于当今化学主导理论占统治地位的“潜化学革命”时期。我们坚信，只要通过辛勤的劳动和坚韧不拔的努力，就可以更早地迎接未来化学革命的到来。

第十四章 化学发展论

化学发展论是关于化学科学演化的理论体系，主要包括两方面的内容：一是关于化学发展的本体论理论；二是关于化学发展的认识论理论。前者是关于化学发展过程的特点与规律的理论，主要探讨化学发展的规律、模式、动力、分期，以及化学社团的作用和化学人物的评价等问题；后者是关于化学发展的认识特点、规律和方法的理论体系，主要探讨化学发展研究的目的、任务、功能以及化学发展研究最终成果的表达方法与编纂方法等问题。

第一节 化学发展的结构模式

化学科学经过三百余年的演化和进步，已经发展成为具有独特结构的复杂系统。从系统论的观点看，化学的发展就是化学系统内部结构的重组、增生和外在功能优化的过程。化学科学这一演化过程经过科学的抽象后再作出形式化的表述，就得到了化学发展模式。化学发展模式不仅是对化学发展进程特征的记录和描绘，而且更是从内在机理和本质特征上对化学发展规律的反映。或者说，它是对化学演化机制和化学发展规律的一种模型化和图式化的解答。

化学的多层次结构、多方面品格、多样化形象，决定了人们可以从不同的角度、不同的层次去考察、理解和描述化学。化学发展的结构是把化学作为一个动态的过程（包括相对静止和显著运动两种状态）来考察。通过描述化学的静态特征，可以得到化学模式；通过描述化学结构关系的变化可以得到对化学发展特征和内在机理的认识，进而得到化学发展的结构模式。

一、化学的逻辑结构模式

化学史的研究表明，化学科学的发生主要来自两方面的渊源和动力。第一，来自古代化学工艺生产中工匠们所积累起来的操作经验，以及炼金家的实际操作技术，在此基础上形成了近代化学的实验技术和实验方法；第二，来自古代自然哲学家借助思辨所提出的关于物质的组成、结构和转化的思想。这些思想成为近代化学理论建构的概念基础。近代化学革命之所以把化学最终确立为科学，就在于它把古代彼此孤立发展的这两个过程有机地结合到了一起，即建立了化学的实验部分和理论部分的相互依存和共同推动的耦合关联机制。这种机制的必然要求是，化学理论必须是构造型的，即必须满足可证伪性和预见性的要求。这两个特点把化学理论同化学实验紧密地联系在一起：化学先立足于依靠实验积累的事实归纳出某些结论，然后化学家提出理论去解释它们，并预言其它结论，进而再由实验来检验（证实或证伪）这些结论或推论。而化学实验必须是受控性质的实验，即是在严格控制条件下进行的，而不是以不可控制的偶然因素起作用的实验。这就保证了任何人、在任何地方、用同样条件和方法做同一实验都具有可重复性、再现性，可以得出同一实验结果。这就进一步保证了实验结果对理论检验的有效性和可靠性。化学理论向构造型的过渡和化学实验的受控性的实现，是化学发展的基本前提。近代和现代化学的发展正是在这两个基本方面的相互作用中实现的。因此，化学实验和化学理论的各自特征及其相互关系的演变就成为建构化学发展模式，探讨化学发展规律的基本线索。

1. 化学实验

化学实验是人们根据一定目的，运用一定物质手段，在人为控制和变革客观对象的条件下，通过观测获取化学事实，以探索物质的化学本质和规律的方法。

化学的发展实际上是人们的认识逐渐接近客观真理的过程。为此，首先人们必须具备一定的技术手段，以便对认识对象输入变革，进行控制，并对认识对象的输出信息进行观察和记录，了解变革的结果。由此可见，在任何化学实验过程中，人们都必须碰到两类基本的变量。一类是可控制变量，表示主体对客体的控制和改造；另一类是可观察变量，表示主体对客体的感觉和观察。化学实验同一般的科学观察的区别就在于它能通过人为的控制和干预，

使人们可以对某些复杂的或转瞬即逝的自然现象进行实验研究。由于化学实验较之化学生产具有规模小、周期短、再现性强的特点，就使它具备了生产实践所无法比拟的优越性。科学的化学之所以能够确立，就是起步于化学实验。它使化学从一般的科学观察中游离出来，从生产实践中分化出来，成为一种独立的社会实践活动。化学实验方法的应用，首先就使化学家能够源源不断地从自然界获取所需的各种信息，从而为理性思维提供丰富的感性材料。其次，又使化学家能够在理性思维过程中对所出现的偏差和谬误进行及时的校正。因此，化学实验的基本功能就在于一方面为理论、假说的提出和创立提供思想材料；另一方面又为理论的确立、完善和突破提供证实或证伪的依据。

2. 化学理论

化学理论是系统化了的的知识体系。它用概念、判断、推理的形式为较完整地反映客观对象的本质及其规律。

化学理论的提出必须依据实验事实，在此基础上，还须接受化学实验的检验。然而，在化学史上，却常有人依据确凿的实验事实却得出错误结论的情况，或者从不甚准确的事实出发却得出了相对正确结论的情况。这说明人们在搜集和取舍材料，以及在对材料进行概括抽象时往往会出现失误和偏差。这些失误或偏差能够得到纠正的关键就在于化学同其它自然科学一样，总结出了建构化学理论所必须遵循的最基本方法。作为这种方法的结果和缩影的化学理论必须具备以下特征：

第一，化学理论必须建立在一定的经验或实验事实的基础上。化学家在对实验事实进行筛选的基础上通过归纳和分析提出一种逻辑构造型的假说体系，作为理论框架。

第二，化学假说和理论必须具有逻辑的明晰性。它导出的结论不仅符合逻辑，而且必须可以用经验或实验来检验。由于化学认识主体的个性差异，使得他们即使对相同材料的抽象和概括，也可能得出种种不同的结论，这些不同的结论只有通过实验事实的比较才能鉴别其真伪。

第三，化学理论作为一种规范，必须能够推导出超越建构理论时所依据的经验或实验事实范围之外的结论。这就是化学理论的预见性。它可以促使化学家在新的理论背景下，在新的范围内去组织新的材料，从而建构更新的理论。这就使化学发展能够从实验到理论，再从理论到新的实验，以及从新的实验到新的理论之间的循环不断地加速进行。

二、化学的动力学结构模式

化学系统的逻辑结构是从共时态的角度对化学系统组成要素的分析，然而，现实的化学系统总是不断演化、进步着的，因此，化学系统的共时性分析必须满足动态性的要求。所谓动态性的要求，就是要能够通过结构关系的演变刻画出化学实验和化学理论相互作用的机制，进而阐明化学系统进化的动力学问题。一门科学之所以有存在的价值和发展的契机，正是因为它保持并不断完善着这种机制。因此，要在探讨化学逻辑结构的基础上，建构起化学的动力学结构。

化学系统的发展并非是化学实验的进化和化学理论的生长的简单叠加。化学实验的进化和化学理论的生长都不是仅靠自身的内在驱动，而是依靠它们之间的相互作用才构成了化学系统发展的主要推进动因。当我们从静态的逻辑结构上把化学系统作了二元的分解之后，就为进一步研究化学系统的动

力学结构埋下了伏笔。

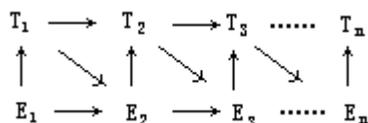
在建构科学发展的模式时，关于科学的起点问题是令科学哲学家十分棘手的问题，也是科学哲学界歧义最多的问题之一。应当看到，科学始于问题和科学始于观察的观点都从不同侧面反映了科学发展的真实历程，然而，如果固执一端，并使之绝对化，那只能使科学哲学对科学发展（或发现）过程的重建远离科学发展的实际。因此，当我们将化学实验和化学理论的角度探讨化学发展模式时，应在承认化学实验需要一定的理论背景为其导向的同时，又要注意到实验对理论的提示和检验作用。这样，二者之间的相互作用就成为我们研讨的重点，而暂不论争何者在先的问题。

从实验的结构和功能上看，化学家在实验中掌握的可控制度量越多，他们变革化学对象的能力就越强；掌握的可观测变量就越多，他们对自然界的了解也就越深入。从理论上讲，实验过程中可供选择的变量可能有无穷多个，那么，化学家如何做出正确的选择，使实验观察找到正确的聚焦点呢？化学史的研究表明，变量的选择往往受到实验目的的支配。也就是说，可控制变量和可观测变量的选择常常是由最初的理论模式决定的。理论模式为人们的实验提供一个既定的方向，选择一个可以深入下去的侧面。正确的理论背景所形成的构想和假说，往往起到类似晶核的作用。它使人们正确地选择可控制变量和可观测变量，从而使理论的增生和建构过程不断地得到来自实验的负反馈，实现从实验到理论、再由理论到实验的反复循环。

从化学发展的总体进程上考察，由理论的构想到实验的设计和完成，只是发展的一个环节，它还需过渡到下一环节才能形成一个完整的发展周期。这下一个环节就是从实验到理论的上升。实验对理论的作用主要表现在两个方面：第一，对在背景理论提示下所作出的推论和建立的假说予以证明或反驳；第二，对新理论的建立起直接或间接的指令作用。就理论的产生和成长机制来说，实验对理论的证明、反驳或提示，往往不是一劳永逸地最终判定或裁决。化学家最初赖以建构理论的实验事实常常是不完备、不全面的，他们最初提出的理论也常常是有缺欠的。然而，这种实验的不完备和不全面所以能够得到完善和补充，理论的缺欠和错误所以能够得到克服和修正，就在于从实验到理论、再由理论到实验的循环能够反复地进行。

实际上，化学系统的发展不能仅仅从化学实验和化学理论的相互作用中寻找求解程序。化学理论一旦形成，就可借助自身的逻辑力量获得独立发展的能力，并对未知领域的探索提供指导。化学理论的这种自我发展能力主要是通过不同理论之间的论争和辩难，以及化学认识主体对理论自身的逻辑基础和美学特征的反思与批判实现的。这就是说，理论的生长受到自身的逻辑力量和实验的检验与提示的双向驱动，而实验的设计和实验实施受到自身水平和理论导向双重因素的制约。因此，能更为全面地反映化学系统内在进化机制的模式应如下页右上图所示。

其中 T 为化学理论，E 为化学实验。这个图式的最大优越之处就在于它较明了、直观地反映了化学实验与化学理论的相关耦合机制，又体现出理论自身的进化和实验的自我完善过程。这就为探讨和解释化学发展的动力提供了基础，也为从社会文化背景下建构化学发展模式提供了内在依据。



三、化学的社会文化结构模式

这里，我们对化学系统动力学结构的重建还只是囿于认识论的范畴。实际上，任何科学发展模式的合理建构如果只停留在认识论的水平上，而不将其纳入社会文化的总体结构，也就难以全面地反映科学发展的实际和发挥科学应有的社会功能。因此，就需要在动力学结构的基础上，进一步探讨化学的社会文化结构。

化学是在一定的科学背景和社会文化氛围中产生和发展起来的，因此，其发展不能不受到自然科学的其它分支和社会文化整体的其它构成要素的制约与影响。化学的发展是通过化学家的认识活动来实现的，而任何科学认识活动都要按一定的方式进行。我们把化学理性认识活动的方式叫化学思维方式。当我们把化学放在社会文化的背景下考察其社会运行时就会发现，社会文化因素首先通过整个自然科学的思维方式这个中介来影响化学认识主体的思维方向和进程。一定时代的科学思维方式使科学家按照一定的习惯模式进行思考，从而形成一定的思维定势和思维惯性。这种思维定势和惯性制约着科学家选择和接收信息的方向和范围、加工、处理信息的途径和方法。拉瓦锡和普里斯特列虽都发现了氧气，然而，提出氧化说的之所以是拉瓦锡而不是普里斯特列，根本原因就在于他们是按照不同的方式处理同一实验事实。拉瓦锡接受了建立在牛顿力学基础上的近代科学的思维规范。牛顿力学表明，重量和质量是两个等价的范畴。牛顿力学建立在质量不变的假设之上，而这个假设又由于牛顿力学的巨大成功而不容置疑。因此，臆造一种与其它物质在性质上根本不同的物体是不必要的。由于参加化学反应的物质应是和牛顿力学相符的物理实体，所以质量不能为负。正是这种思维方式和精神定向，使拉瓦锡一开始就对燃素说采取了怀疑和批判的态度，并立意通过实验找到使燃烧物增重的实体，直到提出新的理论框架去解释燃素说无法容纳的事实。科学史家辛格指出，牛顿对于物体在同一地点重量保持恒定的清晰证明，揭示了一个简单而有效的检查数量变化的标准，从而给化学的合理性一种特殊的动力。

任何化学认识活动都是化学认识主体为了达到某种目的和满足某种需要而展开的目的性活动。认识主体需要的产生和目的的选择不仅只来自化学发展的内在逻辑，而且还往往受到社会价值观的深刻影响。一定社会的价值观念制约和影响化学认识主体的目的、意图、方向、态度，并导致某种信念的产生。主体的需要越强烈，价值观念越确定，则认识外部世界中同主体需要和价值观念有关的对象的定势也就越稳定、越显著。拉瓦锡所生活的时代，启蒙运动正席卷欧洲大陆，荡涤着一切陈腐的观念，怀疑、批判、探索的精神贯穿于启蒙大师们的一切著作中。正是这种革故创新的价值观才铸就出了拉瓦锡的理性批判精神，并使他成为化学发展史上划时代的人物。

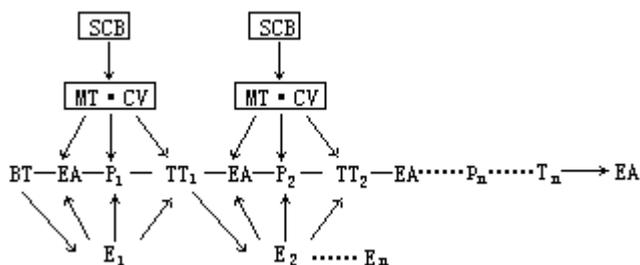
社会文化因素影响化学发展的具体机制，必须在化学的动态模式中得到表述。这样，就需要在动力学结构中实验——理论逻辑通道的基础上，找到化学的内在逻辑与社会的文化结构的契合点和对应处，进而揭示出在化学发展的不同时期，化学与社会文化对流与互动的真实内容和具体形式。为此，必须把化学系统的动力学结构再做进一步的分解。

在化学动力学结构这两个层次中，理论层次更接近社会文化结构。社会

价值观念和思维方式的变革通过化学认识主体的建构活动反映或折射到化学假说、理论的提出、检验、修改、完善和突破等诸环节中。从化学理论的生长机制上看，人们首先从原有的理论或假设系统出发，去发现、辨别、设定具体问题并表述它们，而这些问题一旦确定就预示了理论建构的方向和它的基本雏型。这预设的理论经实验的反复检验一旦现实化，就是某一解决问题过程的结束，而在新理论的作用下，又会激发新的问题，并提示、引导理论的进一步建构。所以问题和理论的相互作用始终伴随着解决问题和激发问题两个过程，其具体机制可表述如下：

BT EA P₁ TT₁ EA P₂ TT₂ EA.....P_n.....T_n EA

其中BT为背景理论，EA为认识评价，P为问题，TT为尝试性理论。如若把化学理论视为一个解决问题的动态过程，则势必要涉及到该动态系统的偏差校正机制。这种机制就是实验检验。它是通过认识和评价的中介，规定和影响问题的设置和理论的建构。而社会文化中的思维方式（MT）和价值观念（CV）是通过认识评价、问题设置、尝试性理论的提出等环节影响化学系统的理论层次的。我们把以上解析的结果，同社会文化结构（SCB）的两个要素做整合的处理，就得到上页的图式。



以上模式不仅展示了化学发展的内在逻辑，也反映了化学发展的社会运行。它有助于人们从结构关系的变化上进一步探讨化学发展动力，把握化学发展规律。

第二节 化学发展动力

认识化学的整体结构和建构化学发展的模式是为了更好地认识化学发展规律，科学地预见化学发展的未来，从而更有效地推动化学的进步。为此，必须在建构化学发展模式的基础上，进一步探讨化学发展推进动因的问题。

从已建构起的化学发展模式可以看出，从化学内在逻辑的意义上说，化学的发展实质上就是化学问题和理论假设之间的变换和转化过程。若使这个过程能够高效的运行，需要两方面的动力：一个是化学系统内部理论层次和经验层次矛盾运动的推力；一个是来自于社会经济结构和文化结构的拉力。这两方面的动力一方面保证着每一环节都能有效地完成自己的职能；另一方面使各个环节之间的动作趋于协调，即保证上一环节的输出能够成为下一环节所要求的输入。如果仅有内在的推力或外在的拉力，那么充其量只能保证其中的一条，而不能同时满足两条。下面仅从化学系统内外各种矛盾运动的分析入手，探讨一下化学发展的动力。

一、化学系统内部的矛盾运动

从化学发展的内在逻辑上看，主要存在三个层次的矛盾运动。第一层次是实验事实与化学理论之间的矛盾运动；第二层次是化学理论之间的矛盾运动；第三层次是化学认识主体的美学追求同化学理论体系自身逻辑基础的完备性和表达形式的完美程度之间的矛盾运动。

1. 实验事实与化学理论之间的矛盾运动

在化学科学的演化与进步史上，化学家从事实验的理论动机有时并不十分明确。他们据以建构理论的实验事实也常常不甚准确。化学家所以能够在自己的工作中避免使偏差或错误放大和膨胀，就在于他们在自己的实践中形成了一套有效组织材料、修正理论的规范、程序和方法。这些规范、程序和方法的有效运用是通过化学实验这个环节来保证的。波义耳所以成为近代化学的奠基者，就在于他把严密的实验方法引入了化学，并吸收了笛卡儿的理性演绎法和把它同实验归纳法结合起来，实现了化学方法的伟大变革。由此，化学才真正成为科学。

化学理论与化学实验的矛盾运动从两个方面展开，一方面是化学实验为理论的提出、修改、突破、重新建构提供实验依据；另一方面表现为理论对实验的能动指导。化学理论体系越是趋于成熟，自我改进的机制越是完善，对实验的指导作用也就越强。19世纪60年代，门捷列夫根据人们对已发现的63种元素的实验研究，发现了元素周期律。元素周期律并非同当时的所有实验事实相符合，门捷列夫也并未因有大量的“反常”，而让新发现的科学定律去迁就“事实”。他依据元素周期律，用逻辑方法修正了铍等6种元素的原子量，在此基础上预言了15种未知元素，并推断出它们的性质，这些理论推论均得到了实验的证实。

2. 化学理论和化学理论之间的矛盾运动

在化学发展史上，常常出现学说林立、理论纷争的局面。不同的理论、学说间的论争与辩难，一方面推动着理论自我改进和更新；另一方面也丰富着实验研究的内容和形式，从而保证着实验-理论循环加速机制的高效运行。

在化学发展史上，19世纪是一个在实验发现和理论建构方面均取得空前成就的世纪，化学曾一度成为整个自然科学的带头学科。化学认识主体的思

想碰撞，相互竞争的化学理论之间的论争，是化学全面发展的主要动因之一。19世纪上半叶，传统二元学说对新生一元学说的驳斥和抨击非但没有使年青的罗朗放弃自己的理论而服从权威，而是为他进一步设计、实施实验，修改、完善自己的理论提供了思想材料。

在化学系统的进化过程中，对立的理论、学说之间的论争与辩难，使化学系统内部不断地发生着思想的对流和观点的碰撞，这些对流和碰撞启迪出批判的灵感，激发出创造的火花，化学大厦也就会因此而永不停息地构建着。

3. 化学认识主体的美学追求与化学理论体系自身逻辑基础的完备性和表达形式的完美程度之间的矛盾运动

化学理论体系的存在与发展，一方面由于外部经验事实的证实或证伪而得到推动；另一方面，也受到理论自身的逻辑完备性和表达形式的美学特征的制约和影响。化学所研究的自然界本身所固有的秩序、和谐、对称等特性，要求化学认识主体通过化学所特有的美学形式将其表达出来。同任何科学理论一样，化学家在其理论建构活动中，把对简单、明晰、统一、和谐、守恒、对称的追求视为化学理论研究的最深层动力。“完成了科学史上的一个勋业”的门捷列夫早在青年时代就怀有世界和谐统一的科学信念。正是这种信念使他感到应做出一种把元素的原子量与其特性联系起来的广泛概括，以把化学认识导向哲学的认识，建立化学和物理学之间的联系，寻求对化学过程的合理解释。这种崇高的科学信念，使他勇于摆脱狭隘经验论和归纳万能论的束缚，不是盲目地、不加分析地去追随实验而成为片断事实的奴隶。他对于作为和谐、对称、统一的自然界的反映形式的元素周期表中出现的间断和空缺，深知它们并非是自然界所固有的或是人类理性能力所不及，而只是人类至今尚未能通过实验去发现和弥补而已。为此，他用逻辑方法第一次讨论修正了某些元素原子量的错误，并对未知元素作出了准确的科学预言。在本世纪初，正是出于对科学定律的美学特征的追求，才赋予科学家狄拉克以科学创造的原动力，从而建立了反粒子理论，使数学形式的“美”，变成了物理与化学世界的“真”。

相信自然界的有秩序性，从而可以把表面上的混乱现象归结为一种井然有序，可以理解的格局的这种信念，从古希腊人开始就成为科学发展的原动力。以科学美为内在动力的研究传统是整个古希腊科学的特征。这种信念和传统在近、现代科学中得到了继承和发展。对世界的结构方式及其数学表达形式的简单性的追求，驱使着近代的道尔顿创立了原子论；可能是来自于对更高层次的美学追求的激励，又驱使普里戈金能站在更高层次上考察可逆与不可逆、对称与破缺、存在和演化、有序和无序的对立统一，创立了耗散结构理论，从而在自然科学和人文科学之间架起了联系的桥梁。

二、化学系统与社会环境的相互作用

一切科学理论都是为解决人和自然的矛盾服务的，也就是为人类自身生存和发展的需要所从事的认识、利用和改造外部世界的活动服务的。因此，揭示外部世界和人自身活动的客观规律是一切认识活动的根本目的，也是一切理论的起点和开端。如果说，从化学发展内在逻辑的追索中，可以得出化学认识的内在动力是来自于主体的求知渴望所推动的结论，那么，化学社会运行的考察则使我们认识到，化学的发展还有来自社会环境的外在推动。这就是人们对化学的实利性或有用性的追求。

1. 社会经济因素的作用

化学的发生发展根源于社会的人所共有的生存和发展的需要，社会的需要首先表现为经济的需要，经济的需要的实际内容则是生产技术的创新和改进。因此，经济的需要对化学发展的作用是通过化学化工生产实践来传递和实现的。化学化工生产提出各种各样的技术、工艺问题，要求化学的应用研究以至基础研究予以解决。社会生产不仅为化学发展创造了“问题环境”，提供了经验事实，而且还为化学的发展提供了物质保障和技术手段。社会经济状况的改善、社会生产水平的提高，为化学仪器设备的开发、研制、改进、创新，为图书情报资源的积累和交流，为化学工作者的继续教育等各个方面提供了充分的物质条件。现代化学研究领域的拓展和深化，研究过程的复杂和精细，要求社会提供更多超越感官能力，增加思维效能的仪器、设备，提供更为快速、简便的信息交流手段。可以看出，社会经济因素对化学发展的制约性正在与日俱增。

2. 社会文化因素的影响

化学作为一种社会建制，作为社会文化的组成部分，其发生、发展不能不受到各种社会文化因素的影响。一定的社会文化背景、哲学思潮、宗教信仰、价值观念都直接或间接地制约和影响化学的发展。在社会意识层次上，对化学影响最大的是哲学思想。从一般意义上说，任何本体论哲学体系都要探索世界整体的一般规律，而化学思维同其它自然科学的思维形式一样，往往把关于世界整体的一般思维层次作为自己的大前提。哲学正是首先通过关于世界整体的一般观念为化学提供概念基础、理论框架或思维模式。这些概念或理论框架、观念或思维模式以其特有的规范力量为化学主体接收和处理信息，提供内在的参照系统、操作工具和处理范本。

从 17 到 19 世纪，由于牛顿力学的巨大成功，哲学的机械唯物论成为近代科学和哲学的基本思维规范。从波义耳到道尔顿机械唯物论的思想烙印是极其鲜明的。波义耳认为，化学的任务就在于用机械论方法来研究世界，深受牛顿力学影响的拉瓦锡期望把对物理学的理解推广和应用到化学中。法国化学家贝托雷把化学亲和力同万有引力相类比，企图在化学中建立类似牛顿力学体系的化学体系。而道尔顿原子论的思想核心正是近代机械论哲学。贝采里乌斯电化二元论的思想来源就是机械论中的吸引力和排斥力。“19 世纪的整个化学大厦就是建立在有鲜明机械论痕迹的经典原子-分子论基础之上。在这时期的一系列化学成就中，大多数与机械论的认识论相联系。所以机械唯物论是 19 世纪化学思想的主流。”

3. 其它自然科学学科的作用

从人类认识发生、发展的逻辑展开顺序上看，人们首先认识物质运动的简单形式。在此基础上逐步认识较为复杂的运动形式。对简单运动形式的认识是人们认识复杂运动形式的基础，在认识简单运动形式时所形成的概念、理论和使用的方法在原则上可以移植到对复杂运动形式的认识中。近代自然科学的带头学科是物理学，其基础是牛顿力学。近代化学每一重要的理论建树，都深受牛顿力学思想方法的影响。牛顿力学的质量、力、质点等概念是拉瓦锡、道尔顿、门捷列夫建构化学理论大厦的观念基础。20 世纪初的物理学革命则为化学步入精确科学的殿堂提供了理论基础和发展契机。1927 年海特勒和伦敦把量子力学应用于化学，用变分法求解氢分子的薛定谔方程，得

到了 H_2 的两种近似状态 s 和 A 及其相应的能量 E_s 和 E_A ，并进而解释了共价键的本质，开辟了现代化学键理论的新阶段。30 年代建立起的分子轨道理论，借助于现代数学的群论方法大大简化了变分法和微扰法的计算。这种方法能以定性或半定量的方式普遍说明一些化学现象，尤其是描述分子处于基态时的情况，且计算方法比较简便，被广泛应用于有机结构理论中。在整个 20 世纪，物理学方法和数学方法已经成为化学研究不可缺少的工具。这些方法的应用，为化学的定量化、理论化开辟了道路。

三、化学发展内外因素的契合机制

化学发展的内在逻辑和外部环境并不是两个互不相关的独立因素。作为同一动力系统的两个构成要素，其存在的价值和功能的发挥，只有从系统的整体出发才有意义。这两种因素的协调与耦合，才构成了化学发展的基本动因。

在社会发展的一定历史时期，社会经济结构总是对化学提出各种各样的技术需求。这些多层次的需求虽为化学研究提供了选择的前提，然而，化学家究竟选择哪些需求作为自己的攻关课题并在何种程度上满足社会的需求，是以化学家对这些需求的理解程度和关注程度为前提的，即只有那些经过化学家的理解、吸收并转化为具体的化学问题的技术需求才真正参与了化学发展的进程。化学家对社会的技術需求进行筛选和淘汰时，必须依据化学发展的内在逻辑，即化学发展的理论水平、实验基础、技术条件等。光合作用是绿色植物和藻类直接利用太阳能以把水和二氧化碳转变为有机物和氧的过程。光合作用可为人类提供氧气、食物、工业原料和燃料。因此，阐明光合作用原理，对于提高太阳能的利用率、探索新能源、选育植物良种、利用藻类、净化环境都有重大的实际意义。早在 18 世纪化学家就部分地认识到了揭示光合作用原理对人类生存和发展的重要意义。然而，只是到了 20 世纪，由于放射性同位素示踪和纸层析技术的进展以及电子显微镜的出现和使用，才使人们基本上弄清了光合作用的基本轮廓。

同自然科学的其它分支一样，化学总是一定时代的化学。人们在一定的历史条件下所从事的化学认识活动及其所建立的化学理论无不带有那个时代的精神气质和文化思潮的印迹。然而，社会文化结构对于化学发展的作用，并非是一种以单一方式出现并恒定不变的守恒量。在化学发展的不同时期，社会文化因素的作用是不同的。一般来说，在化学发展的危机阶段或革命时期，化学认识主体的思维方式总要经历一个震荡、突破、重新建构的过程。其间伴随着思维要素的增生、更新和重组以及对社会文化因素的同化和异化过程。现代催化理论的“活性中心催化学说”对我们探讨社会文化因素影响化学发展的具体机制颇有启迪作用。这个理论认为，化学反应中催化活性中心的结构应与反应物催化过程中发生变化的那部分结构处于几何对应，即结构上应是相似而又相称的。这样才能起到催化作用。在化学革命时期，化学认识主体在相互竞争的研究纲领中究竟选择哪一个作为新的科学规范，往往取决于这些研究纲领为当时的文化结构所认同的程度。

从以上的分析可以看出，无论是化学的常规发展还是化学革命的发生，都不是某一种因素单独作用的结果，而是多种因素复合作用所致。当我们把发生在 18 世纪的化学革命放在整个社会文化结构的大背景下予以考察时就会发现，拉瓦锡的成功除了有化学自身发展所获得的动力外，还有近代物理学给予化学的合理性一种特殊的动力，而且启蒙主义哲学的理性批判精神也

培育了他革旧创新的科学气质。因此，从某种意义上说，拉瓦锡的化学体系也是一个“生自社会涨落的文化耗散结构”。

第三节 化学发展分期

化学发展的分期是关于化学发展的阶段划分的理论，即关于化学史分期问题的理论。正如科学史的分期是科学史研究的纲领一样，化学史的分期也是化学史研究的纲领。

一、化学发展分期的原则

由于化学科学的多层次结构和多方面特性，人们可以站在不同的角度，立足于不同的层次来考察化学的演化进程，探讨化学发展的规律。因此也就得出了各种不同的划分依据和原则，建立了不同的分期理论。在以往的化学史研究中，人们习惯于按照年代把化学发展分为古代、近代、现代几个时期（或阶段）。这种以化学事件发生的时间顺序为标准的划分方法，对于重在搜集、整理、考证史料的化学史研究具有重要意义。但它难以体现化学发展中重大的转折演变，也无法透视化学发展的内外因素之间的对流与互动。

化学的发展是通过化学家的活动来实现的。在化学史上确出现过划时代的人物，由于他们的杰出贡献促进了化学的发展与变革。然而，仅就个人而言，无论他的贡献多么巨大，都不可能全面反映那个时代化学发展的本质特征。加之化学史研究者在评判历史人物时所表现出的主观性，也就使这种分期方法带有很大的争议性。因而，按化学人物来对化学史进行分期，也有诸多偏颇之处。

至于按社会经济形态或哲学发展阶段对化学发展进行分期，往往淡化了化学发展的自身特点和规律。社会经济标准和哲学标准是化学史分期的参照因素，但不是主要依据。

综合借鉴以往的研究成果，可以认为，恰当的分期理论至少要考虑到以下诸因素：

第一，对化学发展阶段的科学划分应便于人们认识化学的本质特征和发展规律。因此，化学史的分期应当以化学发展的内在逻辑为主线和基本依据，即按照化学发展的自身特点来划分。以内史作为基本依据，以外史作为辅助性的解释和说明。

第二，化学的发展是整个自然科学发展的一部分，化学发展史上的几次重大的突破和变革均得力于物理学的概念、理论和方法的移植和渗透。因此，化学史的分期应在一定程度上折射出自然科学发展的阶段性。这样，就可以为进一步探讨化学的社会运行以及科学中心的转移等问题提供较为全面的历史参照系。

第三，依据我们对化学发展模式的建构，化学发展的阶段划分应以化学实验方法的根本变革和化学理论方法的转换性突破以及它们相互关系的变换为标志。

化学发展史是从纵向上考察化学发生、发展的过程及规律。人们可以从知识论的角度根据化学实验的特点和化学理论的特征，划分出化学发展的不同阶段；也可以从活动论的角度，以化学认识主体活动方式的变换为依据，来划分化学发展的不同历史阶段。而化学认识主体活动方式的变换是以实验方法的变革和理性思维方法的突破以及它们相互关系的重建为标志的。因此，从方法论的角度，对化学史进行分期更能体现动态性的要求，人们通过它不仅可以把握在化学发展的不同历史阶段上化学认识主体的实验活动水平和思维活动特征，而且还可以进一步透视出化学发展不同历史阶段上理论与

实验两大要素的关系特征。

第四，化学发展的有些历史阶段是以化学革命的发生为分界的。就化学革命与化学方法的相关性而言，化学革命总是伴随着方法的根本变革，即在化学革命前后必然会使化学实验的探索 and 理论思维的方式发生更替。因此，也就决定了它们是不同的阶段的化学。

二、化学发展分期的尝试

依据以上原则，化学史大致可以分为三个时期：

前科学时期，从公元前到 17 世纪中叶，以逻辑方法、类实验方法的产生和应用以及它们的独立发展为标志，以定性、直观、笼统为基本特征；

近代科学时期，从 17 世纪中叶到 19 世纪末，以实验归纳法和假说演绎法的形成和综合应用为标志，以定量、还原、经验为基本特征；

现代化学时期，从 19 世纪末和 20 世纪初以来，以物理学方法、数学方法以及二次性仪器的广泛使用为标志，以整体性、微观性和理论化为特征。

1. 前科学时期

在生产力不发达的古代，化学系统的两个基本要素——化学实验和化学理论均未取得科学的形态。化学理论的雏型或者说化学理性方法的胚芽只是孕育于古代自然哲学之中。古代原子论使用了理性思辨而不是实验操作的研究自然现象及其本质规定的方法。这种方法不满足于对事物表象的认识，而是要深入认识事物的本质。原子论者认为，对观察到的自然现象的解释，需要从次一层的层次上去寻找原因，即用原子的不同组合去解释物体的不同性状。古代原子论这种分析、还原的方法论思想在很大程度上规定了近代化学家对物质的性质、组成、结构进行研究的思想路线。

化学实验的前身则是古代炼金术。炼金家在长达一千多年的实践中，虽然掌握了一定的实验技术，积累了大量的操作经验，但由于有浓厚的宗教色彩，使其难以从错误方法的迷途中辨识方向，成为真正的科学实验。

古代化学时期，化学的理性思维与实验操作是各自独立发展的。自然哲学家的天才思辨由于缺少实验的推动，因而对于自然的认识只能是笼统的、直观的。在其后的一千多年中也就没有能够结出真正的科学之果。炼金家们的勤奋探索由于缺乏正确的理论指导，只能在错误的方法中徘徊或屡遭失败。

2. 近代化学时期

化学作为一门独立的自然科学学科出现是从波义耳开始的。波义耳继承了化学前科学时期的两种研究传统，并在自身的实践中把它们有机结合起来，为近代化学的形成和发展奠定了方法论基础。

波义耳认为，物质是由无数众多的微粒组成的，而原始物质只有一种，其所以能够形成物质各异的元素质点，是由于各质点的大小、形状和运动的不同。这样，他就继承了古代原子论层次还原的研究传统，即把宏观层次表现出来的物体的化学性质，归结为微观的次一层次的化学基元要素——元素的结合。同时也就确定了化学的研究对象——元素。那么化学家如何通过元素的研究进而把握物质的性质呢？波义耳认为，化学必须把理论的思辨同对自然现象的实验变革结合起来，即把化学研究立足于严密的实验基础之上，才能取得真正的成就。

18 世纪，由于严密的实验方法的发展使人们有可能对燃烧现象进行定量研究，为从逻辑上批驳燃素学说提供了实验依据。18 世纪的化学革命标志着

化学领域中实验——理论循环加速机制的形成。化学在 19 世纪的全面发展则进一步表明，人们在大量实验事实的基础上概括出化学理论，如原子论、元素周期律，又在化学理论指导下从事实验研究，如人们对未知元素的探索。

3. 现代化学时期

如果说近代化学时期，化学家还只是借助于初等数学的工具，通过对反应的始态和终态的定量研究，探讨物质的组成、结构和性质。那么，到了 19 世纪末和 20 世纪初，由于热力学理论引入了化学，化学家开始应用高等数学工具，使研究从对静态的化学结构与组成的分析拓展到对化学变化的机理和过程的追索。本世纪 20 年代，量子力学方法在化学中的广泛应用，使化学家能从微观的角度描述分子中电子的运动状态，从而进一步阐明化学键的本质，预测分子稳定性和反应活性。由于现代物理学和数学的实验手段、计算方法向化学的广泛渗透，使化学的研究发生了由宏观到微观、从静态到动态、从定性到定量、从平衡态到非平衡态、从简单体系到复杂系统的转变。现代化学研究三大前沿——反应过程、催化机制和化学生物学的形成和进展表明，化学正在向数学化、理论化的方向迈进。

从化学的实验部分和理论部分的关系方面看，现代化学与近代化学的差别是相当明显的。近代化学时期，化学家是在大量实验的基础上归纳出经验定律，再在这些定律指导下进行新的实验研究。在这两个环节中，理论对实验的能动指导作用还比较微弱，实验归纳法在化学研究中占主要地位。现代化学的发展，尤其是化学热力学和量子化学两大演绎体系的建立以及量子统计力学对二者的综合，预示着化学演绎体系正在形成，意味着化学实验和化学理论在更高水平上的结合。

第十五章 化学经济论

像任何一门自然科学一样，在一定社会条件下得以发展和应用的化学，其认识职能使它必定服从科学规律，而其生产职能则使它必定服从经济规律。因此，从经济学角度研究化学乃是对化学进行社会考察的一个重要课题，本章便是关于这方面的一些初步探讨。

第一节 化学经济的对象

从学科属性来讲，化学经济这一研究课题可以成为科学经济学的分支性研究。因此，科学经济学的研究成果理应成为化学经济研究的理论基础，而且科学经济学的特点也影响着化学经济的研究。

一、化学经济的特点和内容

早在本世纪 60 年代中期，苏联学术界就提出了“科学经济学”的概念，70 年代初开始进行了广泛的理论探讨，发表了一系列论著。到 70 年代后期，苏联的科学经济学研究又进入了广泛的实际应用领域，探讨诸如科研的经济效率、科研的规划、组织和管理、科技政策等问题。继苏联之后，东欧一些国家的科学经济学研究也逐步开展起来。同时，西方国家在“科技政策”的研究课题下，也对科研领域的经济问题进行了广泛的研究。

科学研究活动之成为经济学的研究对象，概括地说是由如下三方面的因素造成的。第一，随着科学的突飞猛进，科学的社会职能得到了加强，尤其是科学技术对经济发展的作用日益加深。在一些发达国家，科学技术已成为继工业、农业、建筑业、交通运输业之后国民经济的第五大部门。因此，时代提出了这样的要求：从科学对生产关系的作用方面进一步改善对社会的管理。第二，科学促使生产由粗放型向集约型转化，在提高劳动生产率方面发挥着越来越大的作用。因此，需要进一步研究科学进步与物质生产的关系，探讨科学对物质生产的作用机制。第三，科研活动的广泛开展对科研经费提出了更高的要求。为此，需要从经济学的效果和效益角度研究科研活动，探讨社会对科学投资的最佳分配原则和使用途径。上述几方面因素促成科学经济学这门新学科产生的同时，也为它划定了主要的研究内容：揭示科学进步和经济发展的互动关系，探讨加速科学转化为生产力的机制和途径，从经济学角度研究科学发展的特点和规律，探索科学活动的经济评价标准和方法，提高科研劳动效率的原理和方法，解决科研经费问题的根据和途径等。

正如科学经济学既是科学学的组成部分，又是经济学的分支学科一样，化学经济研究既属科学学的研究领域，又是经济学的研究课题。由此，我们看到化学经济研究的第一个特点——交叉性。这个特点使得化学经济研究除必须以对化学研究活动的熟悉为前提外，还必须以对经济学和科学学基本理论的理解为基础。化学经济研究的第二个特点是它的应用性。这就是说，化学经济研究的目的是为化学研究的决策提供理论依据，以便充分发挥化学的经济功能，合理地分配科研经费，提高化学研究的效率，正确评价化学研究成果的经济效益等。因此，化学经济研究最终要落实到有助于解决化学领域的实际经济问题上。

根据化学劳动的类型，化学经济研究包括三个基本的功能要素：化学研究的规划，化学研究的组织，化学研究的管理。所谓化学研究的规划是指确定化学研究的目的及达到该目的的期限，可按时间划分为化学研究的预测、远景规划、近期规划、调度等。所谓化学研究的组织是指根据预测和计划编制结构和程序，可按职能进行分类，其基本性的职能如下：形成分门别类的结构以便从事化学研究，确定化学研究过程的原则和方法，建立化学研究过程的各种服务性的机构（如供应、后勤等）。所谓化学研究的管理是指根据

已确定的计划和程序来领导化学研究过程的进行，同样可依如下职能进行分类：统计、监督、分析、决策、调节等。在具体的化学研究过程中，上述三个方面互相联系，互相制约，它们之间存在着时间上的衔接和空间上的交叉关系。例如，在考虑确定化学研究的目的和达到目的的期限时（规划），就开始编制程序和建立机构（组织），而统计、监督、分析、决策、调节等（管理）都是在一定的程序和机构中进行的。三种化学劳动类型都应进行独立的研究，但它们是作为三种基本要素而在化学研究的整个系统中起作用的。因此，经济学的观点和方法应贯穿于化学研究系统的一切要素中去。在从事化学经济的研究时，我们可以进行微观的探讨，也可以进行宏观的探讨。

二、化学经济的微观研究

以化学中某一具体项目的研究作为系统，按如下阶段进行的经济学研究，就是化学经济的微观研究。

课题选择	课题研究	成果鉴定	〔 推广应用 科学储备
------	------	------	----------------

从经济学角度看，课题选择的基本原则是：投资少，效益高。实现投资少这一原则的重要途径是充分利用科技文献资料。马克思指出：“对脑力劳动的产物——科学——的估价，总是比它的价值低得多，因为再生产科学所必要的劳动时间，同最初生产科学所需要的劳动时间是无法相比的。例如学生在一小时内就能学会二项式定理”。从经济学观点看，掌握科学知识所消耗的劳动时间最初生产这些科学知识所消耗的劳动时间相差如此悬殊，以致于对我们来说，前人提供的知识储备是无偿贡献的。如拉契科夫所说，“这就为像利用自然界的自然力（风力、水力、蒸汽等）那样去利用科学资料（无论是阿基米德定律抑或是量子力学定律）提供了可能性。”由此可见，在我国的科研工作中，对科学资料的利用状况极需改善。据天津市科委对 100 多个单位科研人员的调查资料，60~80%的科研人员在从事科研工作时竟对有关的科技文献一无所知。上海的调查材料也表明，在科研人员中只有 1%的人能经常而熟练地检索科技文献。

为了实现课题选择中效益高的原则，至少必须注意两方面的问题：第一，科学选题需要面向经济建设，力求选择那些对经济发展有重大作用的课题。日本科学技术协会在 1977 年 5 月发表的《对咨询第 6 号“综合科技基本政策的长期展望”的答案》中，列举出如下重点研究课题：

1. 对克服资源有限性有益的科学技术领域
 - . 能源的确保和它的有效利用
 - . 粮食的确保和它的有效利用
 - . 原材料的确保和它的有效利用
 - . 水资源的开发和它的有效利用
2. 对解决环境保护问题和改善生活环境有益的科学技术领域
 - . 环境保护
 - . 保障安全
 - . 生活环境的改善

《马克思恩格斯全集》，第 26 卷，人民出版社，1972 年版，第 377 页。

.A. 拉契科夫；《科学学—问题·结构·基本原理》，科学出版社，1984 年，第 112—113 页。

3. 对维持和增进国民健康有益的科学技术领域

- . 维护和增进健康
- . 促进适应高龄化的社会
- . 适应医疗需要的增加和多样化
- . 制服死亡率高的疾病

4. 带头的基础科学技术领域

5. 对国际协作和确保国际竞争力有益的科学技术领域

我们发现，在五个重点研究领域，前两个课题都是直接面向经济建设的。对这两个课题的研究，化学都具有重要的作用。因此，日本的科技政策对我们的化学研究选题具有一定的参考价值。第二，我们还应对选题进行可行性分析。诸如科学知识的发展水平、实验仪器的工作能力、研究者的知识和能力等条件，都是可行性分析中应当考虑的因素。

从化学研究的管理角度看，应当尽量减少科学研究的非生产性消耗。根据苏联的研究成果，“这就迫切要求合理解决这样两个问题：同主要科学工作人员、科学技术人员和辅助人员人数的比例有关的问题；同科学劳动的机械化与自动化有关的问题。”这些问题的合理解决将不仅能促使化学研究顺利地进行，而且能提高化学劳动的效率。

在成果鉴定阶段，首先应及时鉴定，缩短科研周期，加快推广应用，促使科技成果迅速转化为直接的物质生产力。这是因为“在生产中加速采用科研成果，充分发挥这些成果的经济潜力，这已成为提高社会生产效率的重要因素。在‘科研-生产’周期各阶段之间有控制的实际相互作用的范围内，可以有效地利用国内创造的科研潜力，在同样的财力、物力和人力条件下，缩短科研成果从构思到生产应用过程的时间。”当然，为了及时鉴定科研成果，必须建立起对科研成果的创造和利用的效益进行系统分析的原则和方法。例如苏联学者谢尔仁斯基等在《科学经济学：对科学活动的评价与刺激》一书中提出的“核算情报法”就是一种对科研成果进行系统分析的方法。

三、化学经济的宏观研究

化学经济的宏观研究是以“科学—技术—生产”过程作为系统来进行的。此时，可把化学研究划分为四个阶段：

基础研究 应用研究 开发研究 物质生产

基础研究的直接目的不在于创造具体的物质成果，而在于揭示自然现象及其规律，其成果以科学信息的形式存在（如概念、定律、理论等）。我们可以把基础研究大约地分为两类：一类是纯粹的基础研究，它不直接涉及任何实际应用的问题；另一类是定向的基础研究，它要揭示研究成果的实际应用范围、技术上的可能性和经济上的适宜性等问题。因此，基础研究人员在从事定向研究的过程中，只要自觉联系生产实际，就可能产生直接的经济效益。例如，上海生物化学研究所在实现人工胰岛素合成以后，一方面改善合成技术，进行有更大活力的新蛋白质的合成研究；另一方面利用半合成物与蛋白水解酶作用来改变胰岛素的分子结构，研究分子结构与功能之间的关

中国社科院情报研究所：《科学学译文集》，科学出版社，1980年版，第236页。

.A.拉契科夫：《科学学—问题·结构·基本原理》，科学出版社，1984年版，第133页。

. 谢尔仁斯基：《科学经济学：对科学活动的评价与刺激》，科学技术文献出版社，1987年版，第96页。

系。这些研究提供了一种合成多肽的新方法，为多肽激素类生产开辟了新途径，大大提高了经济效益。还应提及，因为早出成果是提高基础研究经济效益的重要标志，所以充分利用科学资料，对课题进行可行性分析都是不可忽视的。

应用研究是解决把基础研究成果用于具体方面的途径。这一阶段通常包括如下任务：收集、整理基础研究的成果，预测用这些成果解决实际问题的前景，选择可行的最佳方案，拟订技术革新计划等。因此，可行性分析和择优性分析是提高应用研究经济效益的必要手段。当然，应用研究人员密切联系生产实际，加速科研成果转化为直接的物质生产力，无疑是提高应用研究经济效益的重要途径。

还有一种提高应用研究经济效益的方法，那就是从应用研究过程中列出基础研究的课题，提高科研投资的利用率。上海生物化学研究所取得了甲胎蛋白对原发性肝癌具有早期诊断价值的应用研究成果以后，又提出了如下研究课题：甲胎蛋白的基因为什么在胚胎阶段是开放的，出生后即关闭而患肝癌后又重新开放？这个课题导致了一系列基础研究成果的产生，如发现了甲胎蛋白的变种，分离了甲胎蛋白的基因，认清了甲胎蛋白对巨噬细胞的作用机制等。这样，花去一项研究经费的投入，获得了两项研究成果的产生，大大提高了应用研究的经济效益。

开发研究（又称技术开发）在应用研究成果的基础上进行，通常有结构研究、工艺研究、设计研究、组织研究等类型。开发研究直接与生产实践相联系，“它的任务是对实验室成果进行中间试验、工业试验或大田试验，为科研成果转入工业性设计和生产，进行大面积推广应用，提供比较充分的数据和较为完善的工业或农业技术，扩大这些技术的应用范围。”由于在中间试验、工业试验及大田试验中已有部分产品被生产出来，所以开发研究的经济效益是明显可见的。为了提高开发研究的经济效益，从规划、组织和管理角度看，应有效地实现研究成果的商品化。就我国现实而论，那些主要从事开发研究的单位应实行企业性的经营方式，推广科研承包责任制。

开发研究还可划分为对成果的开发、掌握和推广三个阶段。由此，“科学-技术-生产”过程又可分成如下几个阶段：

基础研究 应用研究 成果开发 成果掌握 成果推广 物质生产

除去“物质生产”阶段，其余五个阶段构成一个“研究-生产”过程；再除去“基础研究”阶段，其余四个阶段又可被定义为“科学-生产”过程。如此一来，“研究-生产”过程的时间利用系数可定义为：基础研究、应用研究、成果开发阶段的总劳动消耗量与“研究-生产”过程总时间（包括各阶段之间的间隙时间）之比。对此，也可用公式表示如下：

$$\text{“研究-生产”过程的时间利用系数} = \frac{\text{基础研究时间} + \text{应用研究时间} + \text{成果开发时间}}{\text{“研究-生产”周期}}$$

如果“研究-生产”过程的时间利用系数接近于1，那么就表明下列时间的非生产损耗减少，即等待该周期下一阶段何时开始的决策时间及掌握、推广新成果的期限的非生产损耗减少。因为这期限主要取决于组织因素和工作人员的技能水平，所以加强科研的组织和管理，提高科技人员的技能水平，是增

徐纪敏：《科学学纲要》，湖南人民出版社，1986年版，第22页。

列·索·勃利亚赫曼：《科学技术进步经济学》，上海科学技术文献出版社，1983年版，第40页。

加“研究-生产”过程的时间利用系数，提高科研经济效益的重要途径。

“科学-生产”周期的有效利用系数可看作新成果的有效利用时间与“科学-生产”过程的总时间之比：

$$\text{“科学-生产”周期的有效利用系数} = \frac{\text{新成果的有效利用时间}}{\text{“科学-生产”过程的总时间}}$$

因为“科学-生产”周期的有效利用系数往往取决于新成果所依据的科学技术原理的新颖程度。所以不断采用新的科技成果会有助于增加“科学-生产”周期的有效利用系数，提高科研的经济效益。总之，在开发研究阶段，设法缩短对科技成果开发、掌握和推广的期限，是提高科研经济效益的重要手段。

正如苏联学者拉契科夫所说：“在与科学活动有关的许多经济要素中，可以相对地指出这样两组要素：第一组，保证科学在社会实践中得到不间断的和越来越多的应用；第二组，表现出对科学活动进行经济评定和评价的特点。”本节的论述已不同程度地涉及到这两组要素（特别是第一组）。在第三节中，我们还将专门论述与第二组要素紧密相关的对化学研究经济效果的评价问题。在这之前，我们专辟一节来论述一个基性的问题。这就是化学与经济之间的互动关系问题。

第二节 化学与经济的联系

化学史实一再表明，无论是从一个国家的科技发展来看，还是从科学家本人的研究工作来看，化学进步与经济增长之间都存在着辩证的互动关系。在对这种关系进行理论分析时，我们可以借鉴国外学者关于科技进步对经济增长的作用的研究成果。

一、几个化学史上的案例

门捷列夫之所以能发现元素周期律，是与他研究工作中体现出来的时代精神（注重科学与工业相结合）分不开的。从 1861 年开始，他就致力于翻译被后人称为化学技术百科全书的《华格纳化学工艺学》。次年，他应邀前往巴库和劳拉罕内地区油田考察了近一个月后，向石油工厂主提出了两项建议：其一是引进新的科学技术，改变运输的落后状态，铺筑由炼油厂到码头的输油管道；其二是依靠科学技术，建造运载煤油的专用船只。这种对化学工业的实地考察拓展了门捷列夫的研究领域。他借助化学分析法，分析、测定了 283 种液体及其它物质的性质和原子量之间的关系。他把提高科学的生产力看成是自己的最大愿望。可以说，注重基础研究和工业应用的结合，注重理论分析和实验操作的结合，造成了他在化学研究中作出重大的贡献的优势。他先后考察过法国、德国、比利时和美国的化学工业，并致力于用化学知识改善俄国石油生产的落后状况，还就煤的地下气化和采掘问题发表了若干具有独到见解和经济观点的论文。

从化学研究手段看，化学分析法在新元素的发现和元素周期律的建立过程中，具有举足轻重的作用。在拉瓦锡时代，化学分析法已成为化学研究的基本方法。随后，从化学角度看，道尔顿原子论推进了化学分析法的发展，因为对原子量的精确测定对化学分析法提出了更高的要求；从工业角度看，英国工业革命和欧洲大陆采矿业的发展对化学分析法的广泛应用产生了积极的影响。化学分析法的迅速改进和广泛应用导致 18 世纪末、19 世纪初 22 种新元素的发现。同理，在科学和工业的双重推动下，电化学方法应运而生，并导致大量新元素的发现。铝就是在此期间由丹麦科学家奥斯特（Hans Christian Oersted）发现的（1825 年），当时得到的是粉状铝。过了两年，德国的维勒（F. Wöhler）又制取了块状铝。此后若干年里，铝都是一种贵金属。拿破仑三世曾为工业制铝研究提供了大笔拨款。1854 年，人们发现了用还原氯化物制取铝的方法。到 1886 年，由于人们发现了通过电解铝矾土的氢氧化铝制取铝的方法，制铝工业获得了迅速发展，铝的价格不断下降，铝的产量不断上升。

在门捷列夫研究周期律的同时，德国有机化学的迅速发展为它取代英、法而成为世界经济强国找到了突破口，由此发展了合成化学和高分子化学工业，为近代大生产提供了各种新材料。这个突破口就是煤化学工业。如何利用炼焦生产中的排出物煤焦油，是煤化学工业迅速发展的关键，也是有机化学迅速发展的动力之一。美国大约在 1810 年开始利用高温分解各种有机物所得到的煤气来照明，不久煤焦油就成为照明气的主要来源。继伦敦在 1813 年建立起煤气厂后，巴黎和柏林在 1815 年，纽约在 1825 年都建立起了煤气厂。大约在 1815 年，人们从煤焦油中分离出了轻油和重油，前者可用作胶制品的涂料，后者是有效的木材防腐剂。

依照导师李比希的建议，霍夫曼致力于轻油的研究。1843 年，当他把漂

白粉加入轻油时，发现其中含有苯胺。由此，他想：能否从轻油中提取苯胺？后来由于发现轻油中苯胺含量太少，霍夫曼选择了这样的途径：先从轻油中提取苯，再由苯制取苯胺。在此基础上，英国的柏琴制成了苯胺紫染料。接着，他和他的父亲在伦敦郊外建起了苯胺染料厂。柏琴既从事生产管理，又致力开发研究，还解决了许多技术工艺问题（如苯的提纯，硝基苯的工厂制取，改用铁制防爆容器代替玻璃容器等）。在 1862 年伦敦举办的国际展览会上，以煤焦油为原料制成的各种苯胺紫染料成了英国的骄傲。但此后不到 10 年，德国便跃居于染料生产国家之首，并在第一次世界大战以前一直控制着染料生产的发展。“德国大学培养的从事创造性研究的化学家数量日益增多，是造成这种繁荣景象的主要原因。随着生产药物和染料的大工业的建立，那些培养出一批批化学家的教授纷纷被聘为顾问。他们不仅用科学方式指引工厂向前发展，而且还把工业生产中遇到的问题带回实验室去，用这些新课题来训练学生。他们在工业实验室里看到越来越多的半成品，也就是合成某新化合物的中间产物。大学实验室里对这些中间产物进行的研究，往往就是发明前所未有的新合成法的起点。19 世纪末期，德国的理论化学和工业化学都已执世界牛耳，在理论化学和实用化学的共同推动下，各国学生大批涌进德国大学。”

在德国染料工业的飞速发展中，凯库勒的贡献显示了化学理论的巨大威力。他关于苯分子结构的理论加深了人们对苯胺及一系列芳香族化合物的认识，为有目的、有计划地设计和合成染料奠定了理论基础。1868 年，瑞伯（C·Graebe）和李别尔曼（K·T·Liebermann）发现茜素是蒽醌的二羟衍生物，并根据凯库勒的结构理论了解到蒽的三组龟壳迭加结构，成功地合成了茜素。第二年德国就开始了合成茜素的工业化生产，其规模迅速扩大，以致完全取代了茜草种植园的生产。凯库勒理论还帮助拜耳（A·Baeyer）确定了靛蓝的分子结构，并于 1879 年制成了靛蓝结晶，为加速德国染料工业的发展做出了重大贡献。

二、化学与经济的互动

由上述案例可见，无论对一个人的研究工作（如门捷列夫），对一种元素的认识和利用（如铝），对一种化学方法的改进（如化学分析法），对一个国家化学技术和经济的发展（如德国），都体现出化学与经济之间的互动关系。

首先，经济生产活动是化学研究的基本动因。一方面，经济生产为化学研究提出课题，推动化学发展。例如，英国工业革命以后经济的发展提出了精确分析矿石成分的研究课题，促使化学分析法迅速得到改进和发展。同样，如何利用煤焦油的研究课题也是在经济生产活动（炼焦生产）中提出来的。这一课题的深入研究导致了德国有机化学理论和有机化学工业的突飞猛进。另一方面，劳动工具的改进，工艺技术的提高，也是化学进步的动力之一。门捷列夫为实现提高科学生产力的愿望，向石油工厂主提出改进工艺技术的建议，发表关于改善煤的地下气化和采掘技术的论文等，与他发现元素周期律是相辅相成的。德国化学家把工业生产中遇到的问题和半成品带回学校实验室去，既培养出一批批杰出的化学研究人才，又推动了德国有机化学的发

黄梦平：《科学技术革命与经济社会发展》上册，福建科学技术出版社，1984 年版，第 316—317 页。

亨利·M·莱斯特：《化学的历史背景》，商务印书馆，1982 年版，第 241 页。

展。

其次，化学的发展状况对经济生产活动起着巨大的制约作用。比如，化学分析法和电化学方法的产生都导致大量新元素的发现。由此，人们对铝的认识逐步深化，直到1886年发现了电解制铝法。正因如此，制铝工业才得到迅速发展，铝的产量不断提高，铝的价格不断降低。同样，没有凯库勒的理论，就没有合成茜素的工业化生产，也没有靛蓝染料的工业化生产。当然，化学要转化成直接的物质生产力，必须通过两条途径：一是技术环节，二是社会体制。化学的研究成果可以通过技术生产环节作用于劳动者、劳动资料和劳动对象，进而转化为直接的生产力，推动经济发展。化学对劳动者的作用在门捷列夫、柏琴及大批德国化学家身上得到了充分体现。这里实际上涉及教育问题。因此，上述案例所提到的德国化学教育的经验是值得深思和学习的。从劳动资料来看，化学成果要转化为直接的生产力，就必须变成“在机器上实现了的科学”。如果门捷列夫对油田工厂主的建议实现了，即化学知识凝聚在输油管和油船上，那么化学成果就转化成了直接的物质生产力。化学研究向石油、矿石、元素、煤焦油、苯胺紫染料、茜素、靛蓝染料等的进军，是化学作用于劳动对象，转化为物质生产力的例证。至于社会体制，主要包括经济体制和科研体制。德国的经济振兴就与它整顿大学，兴办企业，为科学家提供优厚待遇和工作条件，制定合理的经济政策和科研政策等密切相关。

关于科学对提高劳动生产力的作用，马克思曾指出：“劳动生产力是由各种情况决定的，其中包括：工人的平均熟练程度，科学的发展水平和它在工艺上应用的程度，生产过程的社会结合，生产资料的规模和效能等，以及自然条件。”马克思和恩格斯在《共产党宣言》中甚至还提到“化学在工业和农业中的应用。”这些观点在现代经济发展的一系列研究成果中得到了充分体现。在这些成果中，包含着若干具体分析科学技术对经济增长的作用的方法。无疑地，这些方法有助于我们分析化学对经济的作用。下文所述便是这些方法中的一种。

三、经济发展中科技贡献度的估算

美国经济学家丹尼森（E.F. Denison）认为，一个国家的总收入在两个时期之间的变动，只有在它的产量决定因素发生变动时才有可能；找出这些因素，估计它们对产量变动的影 响，是了解经济增长的先决条件。他借助统计法，发现经济增长主要决定于如下因素的变动；（1）就业人数及其年龄、性别的构成；（2）劳动时间；（3）就业人员的教育年限；（4）资本存量的多少；（5）知识进展状况；（6）资源配置；（7）规模的节约，并以市场扩大来衡量；（8）需求压力的强度及其短期变动的格局。根据对美国1929—1969年间经济增长及其他许多国家经济增长的分析，丹尼森发现，在上述几个因素中，知识进展和就业人员受教育时间长是经济增长的主要源泉。在综合性的“知识进展”中，科学技术是重要因素。因此，知识进展对经济增长

《马克思恩格斯全集》，第26卷，人民出版社，1972年版，第421页。

同上，第23卷，人民出版社，1972年版，第53页。

《马克思恩格斯选集》，第1卷，人民出版社，1972年版，第256页。

E.F. Denison: Accounting for United States Economic Growth: 1929—1969, Washington, P.149 (1974).

李汉林：《科学社会学》，中国社会科学出版社，1987年版，第168—169页。

的作用从一个侧面反映了科学技术对经济增长的作用。在具体分析知识进展对经济增长的作用时，丹尼森没有直接估算知识进展对经济增长的贡献值，而是作为剩余额来估算的：从经济增长率中减去所有其它因素的贡献值，余额便是知识进展的贡献值。

让我们用一个简化的模型来说明这种估算方法。首先假设现在的经济系统，（1）只有一种产品；（2）只有劳动和资本两项生产要素，而且它们由同质的单位构成；（3）要素的数量有增长，而质量无变化；（4）产品和要素均在完全竞争的市场上出售；（5）工资率等于劳动的边际产品，利息率等于资本的边际生产率；（6）没有技术变革；（7）没有规模的节约。

现在设 y 表示产量的增长率， k 表示资本的增长率， l 表示劳动的增长率， a 表示资本在国民收入中所占的份额， b 表示劳动在国民收入中所占的份额。于是，基本增长公式为：

$$y = ak + bl \quad (1)$$

例如，资本增长率为 3%，劳动增长率为 1%，资本在国民收入中所占的份额为 $1/4$ ，劳动在国民收入中所占的份额为 $3/4$ ，则年产量增长率为：

$$y = \frac{1}{4} \times 3\% + \frac{3}{4} \times 1\% = 1.5\%$$

由（1）式知，产量不能大于投入量，即产量的增长率不能大于要素的增长率；产量的增长率依赖于资本和劳动的联合增长，即依赖于总要素投入量的增长；每一要素对产量的贡献按其在国民收入中所占的份额来衡量。

定义 $(y-l)$ 为按工人平均的产量增长率， $(k-l)$ 为按工人平均的资本增长率，则可由（1）式导出：

$$y - l = a(k - l) \quad (2)$$

这表明，要使按工人平均的产量增长，必须使按工人平均的资本增长。比如由上例，按工人平均的资本增长率为 2%，则按工人平均的产量增长率为：

$$y - l = \frac{1}{4} \times 2\% = 0.5\%$$

根据上述公式，美国的一些经济学家测算了美国及西欧发达国家在较长时期内投入量与产量之间的关系，发现产量的增长率一般高于投入量的增长率。如投入量每年增长 2%，而产量每年增长 4% 是常有的事。这个差额就是上文所谓“剩余额”，也就是除劳动和资本要素增长外其余一切促进产量增长的要素的综合效应，其中绝大部分来自科学技术的进步。丹尼森利用这种方法分析美国经济增长状况以后，得出了如下结论：美国的国民收入在 1929—1969 年间，平均每年增长 3.33%，其中知识进展和教育两项的贡献共占 40% 左右。若分成两个时期，则国民收入在 1929—1948 年间平均每年增长 2.75%，其中知识进展和教育的贡献占 37%；国民收入在 1948—1969 年间平均每年增长 3.85%，其中知识进展和教育的贡献占 56.2%。

1972 年，联合国欧洲经济委员会在分析 50 年代至 60 年代欧洲经济增长状况时，也采用了这种方法来分析技术进步的影响，其结果比 50 年代尚无此法时的分析要简明得多。

根据德国经济学家采用这种方法的分析，德国的经济在 1850—1913 年间

每年平均增长率为 2.6% ,其中技术进步的贡献占 42%。有人进一步分析“ 剩余额 ” , 得出这样的结论 : 年增长率为 0.1% 可归于结构的影响 (生产要素从生产率低的部门转向生产率高的部门) , 0.2% 可归于教育年限的增长。一个德国经济学教授评论说 : “ 在这种测算所依据的基本数字和所应用的技术中 , 自然是有许多缺陷的。 ” 但是这种测算方法毕竟对我们是一项伟大的贡献 , “ 它使我们能把 1850—1913 年的德国经济发展 , 比以前更加轮廓鲜明地描绘出来。我们现在可以指出进展较快和进展较慢的时期中结构的变革和不平衡。 ”

一般说来 , 由 () 和 () 式所表征的方法用于估算科学技术对经济增长的作用时 , 常有偏高的倾向。但因为它毕竟能提供有用的参考数据 , 所以在经济学界得到了广泛的认可和应用。因此 , 这种方法可以成为我们分析化学对经济增长的作用的参考工具。

转引自杨敬年 : 《科学 · 技术 · 经济增长》 , 天津人民出版社 , 1981 年版 , 第 41 页。
同上 , 第 42 页。

第三节 化学研究的经济效果评价

正如拉契科夫所说：“确定科研工作实际的和可能的经济效果，在科学经济学诸问题中占有最重要的地位。各种研究工作的拨款规模和强度、物资—技术和干部的保证，在很大程度上取决于这些问题的解决。”因此，化学经济研究必然把化学研究经济效果的评价作为重要内容。

一、评价的前提

化学研究经济效果评价的前提是化学知识生产过程的经济特点。因为化学知识在生产过程中只会扩充而不会消失，所以从经济学角度看，化学知识的生产是扩大再生产。一般地说，“科学劳动产品与物质生产领域中劳动产品之间原则的经济差别，在于新的科学情报是需求中不能异化和不能消耗的产品。”“科学劳动的产品是科学情报，确切地说，是科学情报的增长量”。

因此，为了确定化学研究的经济效果，除了与单位产品的劳动消耗量、基金消耗量和资金消耗量的指标有关的普通生产标准以外，还应采用单位产品的“信息量”标准。从经济学观点看，“信息量”是由科研费用形成的，而且是纯产品成本中的“信息份额”。进行化学研究所需费用的核算应从列入国家预算研究选题计划时开始。实施设计研制，通过试验生产制作样品，以及生产中采用新技术等所需费用的核算，应当根据与订货单位签订的经济合同来进行。具体来说，核算项目包括：按照研究题目进行应用研究阶段的费用和预测效益，根据研究单位与设计单位签订的合同进行的实验设计和样品试制阶段的费用和预测效益，准备生产和采用科研成果的费用，以及采用科研成果所带来的节约。苏联的经验表明，“规定由国家预算拨款进行的科研工作的费用和根据与订货单位签订的合同进行的实验设计项目的费用核算和冲销办法的指导性文件，是进行‘科研生产’周期工作各阶段计划费用和实际费用的核算原则，是通过每一预算课题和每个经济合同办理‘费用明细分类核算卡’的方式实现的，这个核算卡是作为对会计簿记凭单日记帐目录表的补充而设立的。”为供参考，特将“费用的明细分类核算卡”列举如下¹。

¹拉契科夫：《科学学—问题·结构·基本原理》，科学出版社，1984年版，第119页。

²谢尔仁斯基等：《科学经济学：对科学活动的评价与刺激》，科学技术文献出版社，1987年版，第96页。

同上，第113、115页。

年费用明细分类核算卡

合同名称和密码														
(合同编号和日期)		(预算价值)				(工作起始)			(工作终止)		(核算卡编号)		(页)(帐户)	
日期	分 录 编 号	事 由	材 料	专 门 设 备	基 本 工 资	生 产 性 出 差	其 他 (直 接) 开 支	工 作 有 关 单 位	本 单 位 试 验 工 厂	合 计				
										杂 费	借 方			贷 方

从商品交换角度看，化学知识产品的特点是：化学情报在传递过程中没有信息量的损失。因此，与普通生产的经济核算不同，这里不存在等价的转卖关系。“通过传统的等价的商品-货币关系的交换活动，在这里不可能得到发展，因为科学劳动总是处于相对地不确定的条件下，对于所得成果缺乏多少准确的使用单位的条件下。”这里所谓不确定性表现在两个方面：一是获得成果在目的方面的不确定性，二是获得成果在手段方面的不确定性。因此，引入概率观点是必要的。根据苏联学者的研究，在基础研究阶段，获得良好成果的概率很少，仅占消耗总量 5—10%的工作可以进一步发展到应用研究阶段；在应用研究阶段，获得良好成果的概率就大多了，大约有 70—80%的工作可望获得成功；在开发研究阶段，则有 95%左右的工作可望获得成功。同其它科学研究一样，化学研究两方面不确定性的根源在于化学研究作为科学劳动所具有的创造性。“如果说在物质生产领域中，主导作用属于再现因素，那么研究因素在科学劳动中应占重要地位。科学劳动在所有阶段的创造因素——包括劳动的目的和达到该目的的方法在内——的饱和度，一方面取决于其获取新的科学知识的目的性；另一方面也取决于是否缺少现成的获取新的科学知识的方法。”

二、评价的方法

为了有效地评价化学研究的经济效果，有必要引入一个新概念：科学潜力。根据系统论的观点，科研机构系统的特点之一是可以划分出其中的输入参数和输出参数。输入参数有：人力、财政、技术、情报、计划等。输出参

· 拉契科夫：《科学学—问题·结构·基本原理》，科学出版社，1984年版，第116页。

· 谢尔仁斯基等：《科学经济学：对科学活动的评价与刺激》，科学技术文献出版社，1987年版，第2页。

数主要是以一定符号载体固定的信息。输入参数转变为输出参数，离不开下列因素的相互作用：劳动力（研究人员、辅助人员、管理人员等），生产工具（设备、材料、建筑物等），财政保证，组织方式，信息基础，劳动效果等。这些因素就构成了“科学潜力”的部分指标。对化学研究经济效果的评价，往往从相应的指标体系出发来进行。为此，参照苏联学者的研究成果，提出如下几种指标体系。

第一种，评价潜在劳动者成份的指标。可分为几个项目进行统计和评价：

(1) 化学研究机构工作人员总数为 N 。

(2) 化学研究人员总数为 $N_{\text{研}}$ ，其中高级研究人员数为 $N_{\text{高}}$ ，中级研究人员数为 $N_{\text{中}}$ 。

(3) 在化学研究人员中，高、中级研究人员各占比例：

$$Y_{\text{高}} = \frac{N_{\text{高}}}{N_{\text{研}}} \times 100\%$$

$$Y_{\text{中}} = \frac{N_{\text{中}}}{N_{\text{研}}} \times 100\%$$

(4) 化学研究的辅助人员数为 $N_{\text{辅}}$ 。

(5) 化学研究辅助人员与化学研究人员的比率：

$$Y_{\text{辅}} = \frac{N_{\text{辅}}}{N_{\text{研}}} \times 100\%$$

(6) 在化学研究人员和化学研究辅助人员中，受过高等教育者所占比例：

$$Y_{\text{大}} = \frac{N_{\text{大}}}{N_{\text{研}} + N_{\text{辅}}} \times 100\%$$

其中 $N_{\text{大}}$ 是受过大学教育的工作人员数。

(7) 完成硕士培训计划的百分率：

$$\text{硕} = \frac{N_{\phi, \text{硕}}}{N_{\text{硕}}} \times 100\%$$

其中 $N_{\text{硕}}$ 是分析年度内的硕士研究生总数，而 $N_{\phi, \text{硕}}$ 是其中已获硕士学位的人数。

(8) 完成博士培训计划的百分率：

$$\text{博} = \frac{N_{\phi, \text{博}}}{N_{\text{博}}} \times 100\%$$

其中 $N_{\text{博}}$ 是分析年度内的博士研究生总数，而 $N_{\phi, \text{博}}$ 是其中已获博士学位的人数。

第二种，评价化学研究工作信息基础的指标。在分析年度内，在完成化学研究工作总量中，旨在积累成果的课题所占比例，以价值形式表示为：

$$Y_{\text{积}} = \frac{C_{\text{积}}}{C_{\text{研}}} \times 100\%$$

其中 $C_{\text{研}}$ 是分析年度内已完成的化学研究工作总量的价值,而 $C_{\text{积}}$ 是其中旨在积累成果的工作的价值。

第三种,评价化学研究财政保证的指标。可列出下列三项指标:

(1) $V_{\text{研}}$ 是分析年度内用于化学研究工作的费用总额。

(2) 在 $V_{\text{研}}$ 中,国家预算拨款所占比例为:

$$Y_{\text{拨}} = \frac{V_{\text{拨}}}{V_{\text{研}}} \times 100\%$$

其中 $V_{\text{拨}}$ 是分析年度内国家预算拨款数。

(3) 在 $V_{\text{研}}$ 中,根据经济合同的筹款所占比例为:

$$Y_{\text{筹}} = \frac{V_{\text{筹}}}{V_{\text{研}}} \times 100\%$$

其中 $V_{\text{筹}}$ 是分析年度内按经济合同的筹款数。

第四种:评价成果科技水平的指标。可从下述几方面加以考虑:

(1) 研究成果中获得某级别的奖励数,以实物计为 $V_{\text{实}}$,以价值计为 $V_{\text{价}}$ 。

(2) 获奖成果在总成果中占的比例,以实物计为:

$$Y_{\text{实}} = \frac{V_{\text{实}}}{V_{\text{研}}} \times 100\%$$

其中 V 是以实物计算的分析年度内的科研成果总数。若以 V 表示以价值计算的成果总数,则获奖成果在总成果中所占比例,以价值计为:

$$Y_{\text{价}} = \frac{V_{\text{价}}}{V} \times 100\%$$

第五种:化学研究经济效果的综合评价指标。这种评价借助于价值工程计算公式来进行。此公式为:

$$J = [r - (h + u)] \frac{abcd}{e}$$

公式中 J 是价值工程值; r 是预计科研收益; h 是研究所消耗的活劳动; u 是研究所消耗的物化劳动; a 是表征方案先进性的参数,指研究项目技术性能的优越程度; b 是方案的可行性参数,涉及对下述因素的分析:国内外的样品、资料和经验,研究人员的科技水平,元件附属设备的性能等; c 是方案的可靠性参数,指元件的故障频率系数、故障持续时间系数、平均寿命系数、平均耐用系数、有效系数等; d 是方案的适应性系数,表示研究成果对生产技术、市场销售等的适应能力; e 是就业参数,以研究项目需要的劳动力与原来在类似设施条件下所需劳动力进行比较,分析劳动力的节约情况。当有几个研究方案供选择时,就可借助价值工程公式对各种指标进行计算、比较、分析,从而选择最佳方案,以获取最大的经济效益。

第十六章 化学文化论

人类文明发展至今，形成了两种不同而互补的文化形态。其一是人文文化，是传统文化的主题，对于弘扬人类精神发挥过重要作用；其二是科学文化，是为了表明科学的所有领域——物理、化学、生物、天文、地学等——共同的功用和发展而经常使用的概念。这是因为在每个时代不同的科学领域之间，总存在着牢固的内在联系，即科学文化的共性——引导该文化发展的社会需要、社会意识的性质、人们生活方式的特征和物质生产所赋予的可能性。人们基于这一认识就能够把科学的研究从分门别类的探讨提升到总体把握的高度。

此外，在各门科学学科中历史地形成的对每种具体的科学领域的分散研究，则相当深入地反映了每种科学领域的特殊性和相对独立性。它们既表现在科学创造的方式上，也表现在科学组织的方式及科学成果的存在、功用和影响的特征上。这就有可能使人们不仅关注整个科学文化，而且有理由对它的各种具体形式，例如化学文化，进行深入探讨。可以看出，化学是科学系统中的一个子系统或科学文化中的一种亚文化。对于化学文化的研究，不仅能够丰富化学学的探讨，促进化学科学的发展，而且也能够深化科学文化领域的学术论题。

第一节 化学文化的界定

对于一种文化进行严密的界说是相当困难的。30年前，当英国作家斯诺（C·P·Snow）在他于剑桥大学的著名讲演中提出作为一种文化的科学的时候，曾遭到许多恶意的或非恶意的谴责。今天看来，他的论证是相当严密而合理的。他认为，科学是一种文化，属于这种文化的科学家彼此之间尽管也有许多互不理解之处，但总的说来，他们具有共同的价值标准和行为准则。对于今天的科学理论工作者来说，他的见解是显而易见的。科学不仅是一种文化，而且是在人类一系列文化创造物（诸如政治经济制度、道德伦理观念、神话宗教信仰和语言艺术追求等）中最富有成果的。它作为一种文化的约束力，甚至比宗教、政治和阶级的模式等更强而有力。对于科学家来说，无论他信仰何种宗教，持何种政治态度，属于哪个阶级或阶层，来自哪个民族，都必须遵守共同的行为准则，都必须按共同的价值标准作判断。一个科学家对科学的价值标准和行为准则的背离，意味着他的科学生涯的结束。

一、化学文化的内涵

作为科学文化的一种亚文化，化学文化应该是在社会的特定群体中形成的一种既包括一些主文化（科学文化和人类主流文化）的特征，也包括某些独特要素的文化形式。我们不妨首先看一下，作为一种文化的化学是否具备构成文化的诸要素。

按照英国人类学家马林诺夫斯基的观点，一种文化应该包括如下四方面：

（1）物质设备。人类要生存就要不断地作用于自然，创造器具和人工环境。其中，利用化学方法制造的器具体现了化学物质文化的作用，而化学文化自身的生存亦必须借助于最原始或最先进的仪器设备。

（2）精神传统。倘若只有物质设备，而缺乏所谓精神的相配部分，那么所有的工具和设备就会失去生命力。因为物质设备的运用和占有不仅包含着相当的价值欣赏，而且需要众人的合作与分配，需要一整套相应的制度和社会组织。化学文化，无论是考古学的成就还是眼前可见的现实，都意味着一套知识系列、一种道德、创造情感和社会价值体系。只有这种精神方面的东西才能创造出化学物质文化，并使人类有可能依据其相应的理智和价值判断去使用它们。这种精神方面的逐步积累和演变，便形成了化学文化的习惯和传统。

（3）语言符号。运用语言和符号传达信息是人类独具的一种机能。它与人类认识自然和求图生存而互相联结的群聚方式密切相关，是人类进行广泛的社会互动的重要手段。化学文化是人类认识自然界变化过程的产物。它在演变与发展过程中，逐步形成了自我表意性的语言习惯、概念模式和符号体系。这些习惯、模式和体系是置身该文化系统之中的人必须掌握并熟练运用的。

（4）社会组织。组织是人类文化的普遍现象，即使是一盘散沙式的社会也不是无组织的。一种社会组织的构成有其特殊的要素或条件：它由一定数量的经过挑选的人员组成；是一个具有特定目标的社会团体；有指导人们行为、要求其成员集体遵循的规范和章程；有权力和地位分层的领导和管理的

结构体系；有一定的物质基础和技术设备。很显然，人类的化学活动离不开上述组织过程。事实上，社会组织正是以业缘为纽带划分出来的。化学共同体的组织方式本身就是化学文化的一个有趣的议题。

由此我们可以确信，化学文化具有一般文化的基本构成。而且，作为一些明显的特征，化学文化在物质、知识体系、语言符号和组织形式等方面具有其特殊的体现。在这里，尚需明确的一点是，化学文化在精神方面与科学的其它亚文化之间究竟有何不同之处。

科学作为一种社会学术活动，需要各种社会规范加以维系，并因而显现出较强的文化特征。一个职业科学家必须通过社会化过程掌握科学社会的行为准则，否则将受到惩罚。科学文化的规范体系包括技术的和社会的两个方面。库恩(T.S.Kuhn)曾提出一种技术规范类型。他把科学的发展看作是“范式”的演变，后者的含义包括处理问题的规范、科学共同体共同遵守的准则和一个具体的逻辑构造范例。而默顿(R.K.Merton)及其弟子们则提出了一种社会规范类型，诸如公有性、普遍性、无私利性和有条理的怀疑主义等。对科学文化规范系统探讨的另一重要方面，还必须确定上述规范在科学的一种亚文化到另一种亚文化发生变化的程度。这里的亚文化既包括不同地区的科学文化，也指谓不同分支科学的文化。对于后者，许多科学家或科学理论工作者都从各个学科的角度，对不同学科精神的各个方面给予过详略不等的论述。

默顿学派关于科学家理想的行为模式的论述，是科学内在的精神气质的主要成分。但是，科学的各个分支的价值特征并非是完全等同的。物理学在其发展中很快就达到了由理论计算来预测和解决问题的程度，并很少在基础研究中考虑其应用价值。物理学家们坚信，文化的精华总是那样一些东西，它从纯粹应用的观点是不必要的、多余的、甚至是浪费的。因此，物理学界的行为规范相当接近于“学术科学”的精神气质。化学则不同，首先，化学受数学方法的影响还没有达到物理学受影响的程度。化学是研究具有可观察性质的实物世界的科学。在化学中，通常是观察而不是理论促进了研究工作的新进展。英国化学家西奥博尔德在评述化学在科学中的地位时指出：“化学处于物理学与生物学之间。它是一个比另两门科学的范围都广的领域。在这个领域中，合理化解和模式解释与亨普尔式的演绎解释并肩协力。在我看来，这就是化学的主要价值。”其次，化学研究对象的复杂性和化学科学的经验性，以及较低的规范条理化程度，使评价科学成果的标准不一致，因而也难于使普遍性的规范得到有效贯彻。另外，化学科学较强的实用性，它的理论和应用之间的密切结合，在化学家中间形成了一种思想传统：重视实效，理论上的解释在其次。这种实用传统使化学比较自然地走进实际应用领域，并首创理论成果从实验室走向生产的开发途径。化学家们宁愿相信，一种文化的生命力取决于它的社会化程度的大小。事实上，化学在18世纪已被一些社会改革家，如狄德罗(D.Diderot)，选择作为较数学、物理学更为适宜的能参与其中并与他们的抱负有关的科学模型。这样，理想类型的规范系统就遇到了挑战。当然，同化学相比，医学也许更有过之。迄今为止医学的

米山国藏：《数学的精神思想和方法》，四川教育出版社，1986年版；以及J.Thompson：Real Dispositions in the physical World, *The British Journal for the philosophy of Science*, 39(1)-67-80(1988)。

D.W.西奥博尔德：“化学只是不发达的物理学吗？”，载《GHEMTE-CH》，Vol.7, No.11, pp659-663。

大部分研究领域仍几乎是经验性和应用性的，而且自古就与开业医生的利益息息相关。所以，如果把科学的理想气质放入物理学、化学和医学中进行比较，就会发现各亚文化对学术精神的偏离是依次递增的。化学文化的特征使化学家不如物理学家那么苛刻地强调理想规范的绝对意义，但也不会像医学家那样经常不断地触犯那些理想教条。化学文化似乎更倾向于从自由探索和入道主义两个方面去体现科学的精神气质，不仅站在科学的立场上，而且也时时站在社会的立场上反省自身，力求在纯学术和纯功利之间保持适度的张力。

据上所述，我们可对化学文化作如下界定：化学文化是人类科学文化的一种有独特内涵的亚文化。具体说，它是化学物、化学活动方式和化学精神的复合体。

(1) 化学物。包括从事化学活动所需的物质设备及化学活动的物质产品。化学物体现了化学活动的对象异在性，相当于一般文化中的物质文化层次。物质文化不是文化本身，而是文化行为的产物。但因为存在着非物质性文化，而它的前提是存在着物质性资料，所以，把物质性因素从文化范围内排除出去是不可能的。当然，也不能将化学文化仅仅归结为这种显在的东西。它还包含有其它内容。

(2) 化学活动方式。包括化学活动的生产方式、组织方式、生存方式、行为方式、思维方式、传播方式与社会遗传方式。

(3) 化学精神。包括有另一个相对宽泛的方面，比如化学知识系统、语言符号系统、方法技艺系统和容易被忽视的规范系统与价值系统。

这样，对化学文化的把握就可以从多个视角进行。如从理论知识、方法学、工艺学、价值说、启迪说、符号学及社会学各个方面去描述化学文化，甚至可以将它作为人类自我确证和自我发展的方式之一去理解。需要补充的一点是，我们在阐述化学文化的各个方面时，切不可忽视化学活动的主体——化学家的重要意义。他们不仅是化学文化的创造者，而且作为被化学文化辅创的社会存在物，是化学文化的具体体现者。

二、化学文化的性质

化学作为一种文化，是由社会的一部分成员获得并掌握的东西，是进行社会性承前启后的东西。化学文化的范畴、意义、价值都自成一个特殊体系，其是非标准只能用该文化本身的眼光去判断。而且，化学既然作为一种文化形式，就必定要显示出某些文化总体的性质。

1. 被创造性

化学文化并不是一下子形成和完善起来的，而是由某些人——广义上的化学家在某些时间、地点创造出来的。与习惯性的文化现象不同，化学文化要仰赖社会或群体对它的创造、保存、传播和评价。主要包括如下几个方面：

(1) 社会的协作。科学作为一种社会体制是随人类社会分工的精细化而出现的，而化学科学又是科学知识体系自身精细化的产物。同科学与社会的密不可分一样，化学文化首先要依赖社会提供持久的、有计划的和制度化的重视与保护。而且，化学文化的生产也是一种群体互动的社会过程，是一系列社会协作的结果。所以，有关化学与社会的关系问题，化学文化重大变迁的必要条件问题，势必构成了社会学家和文化学家兴趣的核心。

(2) 化学共同体的规范控制。化学共同体是由社会中的化学家构成的特定集团，是个体化学家之间真诚合作与激烈竞争的“无形学院”。它具有柔

性的规范控制系统，严厉的奖惩原则和高度分层的社会结构。由于化学共同体组织结构的合理性会大大促进化学知识的生产。所以，化学文化的形态确立，当以化学共同体的形成为主要标志。

(3)化学文化的生产机制。这是对化学文化生产过程的微观考察，其中，最主要的有酬报、评估、技术、组织、交流和传播等问题。化学家从事化学知识的生产一般出于三种动机：其一是出于对自然界物质变换的强烈兴趣；其二是出于自己的宗教热情及追求同行或更广泛的社会成员的承认；其三是功利性目的。对于一个职业科学家来说，无论其哪种动机都需要文化酬报机制给予及时的鼓励和承认，以使他保持连续不断的创造热忱和必要的研究条件。

评估是与酬报密不可分的另一种基本机制，用以保证产品的可信性及酬报过程的普遍性运行。化学评估一般分为两类，一是学术评估，由学术权威们执行；另一是市场评估，由范围更广泛的权威集团，包括化学家、经济学家、社会学家甚至政治家们共同操纵。

另外，化学文化的生产还需要社会提供一定的技术保障、组织条件和交流传播途径。有了这些机制的协调配合，化学生产系统才会获得一种“整体涨益”效应，加快化学文化自我完善的步伐。

2. 结构性

化学文化不是简单、孤立的诸要素杂乱无章的堆砌物，而是要从诸要素复杂的纵横交错所产生的统一的总体上予以把握的结构性的东西，对化学文化结构的划分可从不同的角度进行。目前所见主要有如下几种：

(1)从化学知识体系着手，有两种划分方法，其一是简单地将化学划分为纯理论化学与应用化学两大部分；其二是依据物质的运动形式、知识连续性和发展原则综合性地将化学知识划分为不同层次的学科结构。

(2)从化学文化产生与发展的时间维度，将其划分为古代化学文化——以经验性的化学知识和神秘信仰为特征；近代化学文化——以化学知识的条理化为特征；现代化学文化——以化学科学的社会化为特征。

(3)从文化传统和地域特征出发，将化学文化划分为诸如古希腊传统，欧洲化学文化，或中国化学文化等类别。

(4)或按照文化学的惯例，将化学文化分为显在的和潜在的两方面。

这些划分方法的优点是具有直观性，给人以一目了然的感觉。但是，这种优点同时也蕴藏着简单化和片面性的不足。它们都是根据某一侧面或某一具体目的进行的建构，往往不能涵盖整个化学文化的范畴。一般地讲，对化学文化的结构描述，应该能对论述其总体功能与内部联系有所裨益，因此需要用系统的观点进行把握。在此，我们提出另一种新的划分方法，即将化学文化的结构重建为三个方面：

(A)化学文化的形态学方面。这是从物质文化到精神文化的层次性描述。简示如下：

精神 文化
化学理论 化学规范
化学活动方式
化学技术及工艺
手工化学物 工业化学物
物质文化

(B) 化学文化的方法论方面。它体现了化学文化的研究风格、创造艺术的特殊定向、同时并存的可能性及相互联系。同其它科学方法一样，化学方法从本质上说是批判式的，其最终的检验标准是实验。后者为化学的发现作准备，并最终确定化学发现的可靠程度。

(C) 化学文化的体制-组织方面。从该方面可以看出化学文化如何从最初的混沌状态、每一集结点、每一区段发展到学科上的相互渗透，及其与社会的共融；并利用它把握化学生产的具体历史形式。

该划分方法的优点在于，促使我们既注意化学文化横向扩散的社会性特征，也注意其前后相继的历史性发展；既建构它的宏观现状，又揭示其微观调节的机制；从而全面系统地把握化学文化的科学特征。

3. 工具性

化学文化是人类努力适应自然环境的产物。火的发现作为化学文化发源的起点，首开化学文化工具性之滥觞。从各种矿物资源的开发、各种冶炼手段的出现到企求长生不老之术，从对自然物质的提取、转化到庞大的化学工业的建立，化学文化创造了人类历史上最重要的人工环境。而且，化学文化在表达人类的创造本能方面，从神秘的宗教信仰直至关于宇宙物质的统一基础与和谐原则，表现出其它文化所不能替代的功用。化学家在对自然界物质结构功能与转换关系的研究过程中发现了通往“上帝”之路；人类亦由于创造动机的坚实而获得了崭新的“生机控制能力”。

另外，化学文化还具有地域性和超地域性、时代性和超时代性等特征。

第二节 化学文化的流动

一、化学文化的发展特点

化学作为一种生机勃勃的文化，其发展经历了艰难曲折的历程。这一历程的特点如下：

首先，化学文化的核心——化学知识系统的发展方向在各个时代总是不断地发生变化。例如在实用和工艺化学、炼金术、医药化学、燃素说、化学革命、有机化学、结构化学诸时期，都各有其自身需要加以研究的课题。因为化学文化的发展总是在一定社会历史条件下进行的，社会的理性背景及政治、经济境况都会对之产生重大影响。

其次，化学文化的发展具有不平衡性。从纵向发展过程看，化学文化在发展过程中有过几乎全部停滞的时期和与之相反的飞跃发展时期；从横向表象看，化学文化的发展具有区域性。其原因，在于各民族发展科学思想的经验方面的差异。而且，化学文化的民族或地域特点，由于化学同社会文化和生产过程的关系特点而得到加强。当然，随着认识的进一步发展，化学作为一种文化形态最终将趋于统一。因为，人类的经验来源于相同的外部世界，当他们利用相似的方法探讨自然界的同一个部分或侧面时，其理解方式和能够接受的观点必然愈趋一致。

二、化学文化的组织

组织既是弘扬文化精神的必要手段，同时也理应是文化系统的组成部分。在化学文化中，组织的社会学正成为理论家日见关注的议题。新的化学编年史也正考虑将它们同化学知识的创造一起有机地表达出来，以便确定历史上某一具体的化学家或化学理论的“前后关系”（context）。

1. 体制化

一种文化要想生存与发展，就必需努力使自己为社会的主流文化所接受，成为其合理的和必需的结构部分，也即该文化必须经历体制化的过程。科学的体制化是其社会化过程的一部分，按照社会学家本-戴维（J. Ben-David）的观点，这一体制化的特征包括：（1）把科学活动看作是一种具有内在价值的独特活动和承认科学家的自主作用；（2）支配适合科学目标的活动规范的存在；（3）以及其它机构对于科学活动的适应。其中，最根本的是科学家角色在社会中的出现。

化学文化的体制化过程是相当艰难的。在古代和中古时期，化学工艺和技术虽然是每个社会都必需的功能结构，但那不过是对生产需求的刺激性反应。从事技术工作的匠人很少有机会对化学科学本身产生认真的兴趣，只有那些因仕途失意或宗教自律而遁身世外者，才对化学科学作出了一定的贡献。但是，他们还不能被叫作“化学家”，而且，由于组织上的神秘气氛和得不到官方的保护，其发现也大多在遗传过程中佚失了。

欧洲文艺复兴运动以后，自然科学包括化学开始摆脱宗教势力的桎梏，并在工业革命的推动下走上了体制化的道路。17世纪，英国、法国和瑞典先后成立了皇家学会、巴黎科学院和皇家科学学士学院。到18世纪初，德国也成立了柏林科学院。这些学会或学院成立的主要宗旨之一就是使科学独立于其他的探索领域，以承认科学的自主规范。当时的科学家们坚信，经验的科

学研究作为一种全新的探索方法，能够导致并已经导致了許多重要的新发现。

在这些最初的正规科学组织中，化学是正式的研究方向之一。后来，在科学院工作的一些科学家开始拥有自己的研究室和交流圈。19世纪，化学研究开始进入大学和工业界，并且在英国（1841年）、法国（1858年）、德国（1869年）、美国（1876年）先后成立了化学学会。至此，化学科学的研究体制已具备如下雏型：（1）科学研究院和化学学会；（2）大学中的化学教研活动；（3）政府部门的应用化学研究；（4）工业、农业、医疗等领域中的化学科研工作。

这一过程的基本完成，是与当时的社会条件，如言论和出版自由等宗教和政治上的宽容措施分不开的。随着化学成为一种高尚的职业，化学的研究经费由于私人的投资及政府和工业界的资助而得到保障。另外，体制化也把一些道德和义务加给了化学家，如需将自己的发现公布于众，对于化学知识领域的贡献给予一视同仁的评价等。

20世纪以来，化学文化已成为社会的重要体制之一。它不仅使化学活动在其羽翼下健康成长，而且以其相当的普遍性、独立性和持久性而成为人类文化的真正要素。

2. 交流途径

同其它学科类似，今天的化学研究逐步形成了正式的和非正式两种交流方式并存的状况。前者包括学术会议、各类书刊以及评论文章等。这种交流方式的出现其实是相当晚近的事。普赖斯（De Solla Price）曾论证道：“科学论文变成它现在这个样子，是大约在一个世纪以前才完成的。在这之前，存在着许多科学小品之类的出版物。这种小品文只是提及某些已经取得的科学成果，或者对一些在其它地方已经完成并发表的观察报告加以评论。”

自本世纪以来，科学期刊上的论文数量呈指数增长，是与科学社会奖励制度的健全密不可分的。默顿解释说：“科学论文似乎是在由如此之多的重复努力所引起的对优先权的要求中应运而生的。其社会根源是每个人都有这种愿望，即记载他应有的权力，并把这种权力保留给自己。科学论文仅仅是偶然地充当了信息的载体，充当了带给世界好处的新知识的一种宣告，充当了无偿给所有竞争对手的一种礼物。”第二次世界大战以后，正式交流系统又得到进一步完善。文摘和索引服务，以及建立信息咨询库的努力，利用了最先进的计算机系统，以帮助科学家迅速查找发表于任何年份和杂志上的他感兴趣的文章。

与正式交流付诸印刷的特点，即把科学思想、信息和理论以书面的形式呈送给读者不同，非正式交流则大多是口头上的，它往往是个人与个人或小规模学术圈子之间的自由学术联系，如通信、学术沙龙、互相传阅论文手稿等。这种非正式的研究者网络被普赖斯和克兰（Diana Crane）称作“无形学院”，其作用是使合作者群体之间联系起来。非正式交流可以使科学家们无拘无束地交流他们的思想，从交流信息中提炼出与他们各自的行动相贴切的

D.S.Price : Little Science , Big Science , Columbia University Press , P58 (1986) 。

D.S.Price : Little science , Big Science , Columbia University Press , P16 (1986) 。

D.S.Price (1986) , Chapter4 ; 以及 D. Crane , Invisible Colleges : Diffusion of knowledge in scientific Communities , University of Chicago Press (1972) 。

部分，不仅迅速、直接，而且可以交流不可言状的内容，如发现细节、技术诀窍、材料设备，促发科学家的创造动机。此外，非正式交流还可以使那些科学上的“旁道佐说”首先得到一定范围的学术同行的承认，从而为科学革命的发生埋下种子，故也被人誉为新发现、新学科的“摇篮”。

三、化学文化的传播

社会学家认为，在人类历史的长河中，文明是间断性的，如存在古埃及文明、古中国文明、古希腊文明等。文化则是连续性的，如几千年前产生的儒家文化至今仍是中国文化的重要组成部分。社会传播则是保持文化的连续性的重要手段。文化传播的基本方式有二，或是横向传播，或是纵向遗传。在当代，随着传播手段的改进：紧密的通讯、便利的交通，世界已经变成一个范围十分狭窄的空间。具有不同价值体系的各个民族和各个方面的文化在全球范围内相互激荡，相互融汇。在这种互动过程中，有些文化元发生蜕变，另一些消解了，还有的仍保持着强大的生命力。

化学作为一门基础科学，其文化形态就是那些保持生命力的文化元中的一个。它的传播不仅是保持其连续性和完整性的重要手段，同时也体现了化学与社会的基本互动过程。

1. 传播的历史回顾

最早的实用化学工艺在古埃及、巴比伦和古代中国都已经存在过，但是，由于地理环境所造成的历史局限，这一时期的化学文化（其他文化亦然）是相互封闭的。直到中古时期，随着各个国家之间的贸易、文化交流愈来愈频繁，化学文化在世界不同地区和民族间的交流与传播才成为可能。其中最有意义的当属造纸术、火药和炼丹术的传播。

造纸术发明于中国汉代，约公元 2 世纪时期。两个世纪后基本取代帛、简成为中国唯一的书写材料。公元 7 世纪，造纸术首先经过朝鲜传入日本；8 世纪中叶，又经中亚传到阿拉伯，再随之传到欧洲。12 世纪，欧洲最早在西班牙和法国设立了纸厂。13 世纪，意大利和德国亦起而效之。到 16 世纪，纸张已流行于整个欧洲，彻底取代了传统的羊皮和埃及莎草等。

火药西传的过程也是如此。在 1225—1248 年间，火药由商人经印度传入阿拉伯国家。13 世纪后期，西班牙人从阿拉伯书籍中发现了它。把火药用于军事如制造火箭、火炮等方面的技术，由于元朝初年的西征也相继传入阿拉伯和欧洲。造纸术和火药的输入对欧洲具有重大意义，马克思曾经给予过高度的评价。

另一个有意义的传播是炼丹术。中国的炼丹术至迟出现在公元前 2 世纪的西汉时期。由于统治者多企求长生不老之术，炼丹术在中国发展很快，出现了一批著名的炼丹家，如李少君、魏伯阳等。唐朝时由于奉道教为国教，而使炼丹术进入全盛时期，并由于这一时期与波斯、印度、阿拉伯等国家频繁的海上贸易，而使炼丹术随中医学一起传入阿拉伯，且在那里与古希腊传来的炼金术合流，成为近代欧洲化学复兴的重要基础。

后来的化学文化发展产生了预想不到的后果。首先，化学在欧洲得到迅速发展，产生了崭新的近代化学文化；其次，欧洲的化学文化反过来又向东方和中国传播，使东西方化学文化的地位发生了逆转，时至今日仍尚未能发生根本性的转折。

在欧洲，虽然学术交流与传播的条件（交通、邮政等）较早具备，但近代化学文化的发展也并不平衡。英国的波义耳(R.Boyle)首先将化学确立为科学，但化学革命的巨波狂澜却发生在法国和瑞典。以后，拉瓦锡以氧化说奠定的化学革命的成就，被法国、瑞典、英国等国家共享两世纪之久。直至19世纪，近代化学文化的中心才悄悄地转向德国。日尔曼民族以其锐敏的眼光和务实的精神，开创了有机化学的新时代，缔造出化学理论与工业互动的形式，以致整个19世纪和20世纪初叶，世界科学和工业的目光长期地注视着这个新崛起的普鲁士王国。

与此同时，中国的近代化学文化如同其整个科学文化一样，一直处于衰颓之中。虽然自明朝末年相对开放的社会环境出现后，西方科学开始由传教士带入我国，但那更多的是天文学和数学方面的知识。有关化学知识，如物质理论、化学工艺、药物等的介绍零零散散不成系统。直到鸦片战争，当西方人用中国发明的火药轰开中华国门之后，化学知识才得以大量传入中国学术界，使中国化学发展进入到近代以至现代化学发展阶段。化学文化开始由译介转为独立研究，并终于迎来了中国近现代科学的第一个黄金时代。

2. 传播的教育手段

古代化学文化的社会遗传是通过授徒、家传和著书等方式进行的。由于得不到社会的重视和保护，许多内容都在遗传过程中佚失了，而保存下来的知识大都混杂在哲学、宗教和巫术当中，神秘而晦涩。

随着自然科学的蓬勃发展，科技教育也在17、18世纪逐步兴起。法国、德国相继建立了一批理工大学，开始了自然科学与数学教学。18世纪末叶，首先在法国和德国，化学教育进入大学，出现了化学、药学实验室。在这些实验室中，学习讲义与操作实验同时进行；完成课程后，则给学生以研究课题，使之在教授指导下进行研究实验。化学教育的兴起与化学界的师徒关系相结合，使化学知识得到迅速准确的遗传和创新。与此同时，化工教育也相应发展起来。1887年，英国曼彻斯特大学首先开设化学工程课程，接着，1888年，美国麻省理工学院设立了化学工程系。

化学化工教育的兴起，传授了化学知识，培养了化学人才，宣扬了化学精神。只有在这种教育环境的熏陶下，人们才能完整地、准确地把握化学文化的全部涵义，并使之迅速传播到整个社会。

3. 传播的中坚力量——化学家

科学作为一种文化本质上是国际性的。科学家一直把科学的交流与传播作为自身的责任。即使在极其原始的时代，爱好科学的人们就愿意向别的部落或民族学习。各历史阶段的文化的广泛传播说明科学家作为文化联系的工具是多么有力。“以后，当天然的障碍把各种文明分隔开来的时候或者当宗教或民族仇恨把文明世界分裂成敌对阵营的时候，科学家和商人就竞相去打破这些障碍。”

近代化学文化确立之后，随着社会环境的进一步宽松和交流方式的不断增多，化学家之间的联系愈来愈频繁。由此，化学家对于本文化传播交流的作用就显得十分重要。在当时的欧洲，化学家坚信，化学是没有国界的。因此，一个国家化学领域的理论成果能够被迅速传播到另一个国家，受到科学的评价或导致工业上的应用。而工业上的应用也会立即被其他国家所仿效，

并给整个欧洲化学界提出新的课题。迅速的交流与传播，可以说是欧洲化学文化得以齐头并进、迅猛发展的重要原因。

化学家的作用也在后来近代西方化学文化东渐过程中得到充分体现。西方化学家游学中国，将一些西方典范带进来，并在中国产生一批相应的化学家或译介者，是传播过程的两个关节点。20世纪初，中国化学家开始独立著作化学教科书。1906年科学仪器馆出版虞辉祖著《理化教程书》。1912年，商务馆亦出版王季烈编《化学》，以及其它几十种化学方面的书籍。这些化学典籍的著译系统地介绍了西方化学学科的基本内容，创立了迄今仍然沿用的化学物质命名法和概念系统，为近代化学在中国的传播发挥了重要作用。

另外，化学家的“角色重演”在文化传播过程中意义也极重大。中国上世纪派往西方的留学生，正是在欧洲或美国化学家的实验室里接受了耐心的指教，掌握了从事化学研究所需的技术规范、社会规范和心理情态。回国后，这批化学家悉心执教，广收贤徒，使更多的一代新人茁壮成长，从而促进了中国化学的崛起。

即使在今天，世界范围内的化学文化分布仍极不平衡，化学中心与边陲地带的差距，期待更多的文化使者去缩小、填补。化学家在这一文化传播过程中，理应当仁不让，发挥骨干作用。

四、化学文化的迁移

化学文化虽然在本质上是国际性的，但其发展常常带有地域性。一个民族或地区的化学文化的发展，往往要借助于外来文化的影响。欧洲近代化学的兴盛和中国近代化学的发展莫不如是。

在与外来文化接触中产生的文化变迁，被人类学家称为“文化潜移”。其原因在于，一种区域文化在自己可能是一种传统的毫无革新的东西，但对于其他区域的文化来说却可能是异质的、全新的。17世纪中期，西方科学开始向东方传播，即“西学东渐”。彼时，耶稣教士带给东方的只不过是一千多年前的欧几里得几何学和托勒密天文学，但这些并非西方近代科学内容的宇宙观和方法论，却引发了中国学术界重新检讨较早时期固有的科学思想，使中国几乎爆发了近代史上的一场有限的科学革命。

化学文化的互动也是如此。中国虽然很早就发明了造纸、火药等技术，很早就产生了炼丹思想，但这些技术的意义却是在传入阿拉伯和欧洲之后才体现出来的。西方近代化学在鸦片战争后传入中国，使中国得以在很短的历史时期即达到了近代化学的繁荣。究其原因，前者是因为中国向西方提供了一种有效的手段和大量基础性工作；后者则是由于西方化学对中国学术界的强大示范作用。

在当代，化学文化的发展正面临着更加深化的知识背景，以及更加复杂的国际社会与组织影响。化学共同体在把握文化发展的各种动因，不失时机地使化学保持高效生产而为人类进步作出贡献时，会遇到更加严重的挑战。可以想象，未来的化学文化乃至科学文化的发展已主要不再是取决于内部动力机制，而是取决于社会环境和人类整体的价值尺度了。

第三节 化学文化的社会融合

人类文化是多种多样的。有些文化可能直到在某些社会的人类行为中明显存在为止，人们还完全没有注意到它。但是，地域性的千差万别的文化一旦出现并得到发展，其文化行为必然趋向于同主流文化的整合，以至同整个社会的融合。其主要表现如下：

一、化学文化的分化与整合

分化其实是一种文化的形成过程。一种文化就如同一个人，是一种或多或少一贯的思想和行动的模式。该文化的特征性目的并不必然地为其它类型的社会所共有，只有了解该文化的成员，一步步地强化自己的经验，并根据文化内驱力的紧迫程度，才能使各种异质的行为取得融贯统一的形态。

化学原是人类知识和经验的一部分，充其量不过是人类对于神秘的自然转化的一种好奇心，很少有人把它作为一种文化而产生认同心理。直到 17 世纪以后，化学在其发展中确立起来的鉴赏规范的作用，才在越来越多的人的行为中得到体现。最初，这些行为还是一组混乱地结合在一起的活动方式，直到后来通过一种并非完全必然的形态转变，才使该文化的动机、情感和价值制度化。至此，化学文化在形成自身的过程中，也同时使自己从人类文化中分化出来，成为一种独特的和同质性的科学文化。

化学文化在得到独立发展后，它的特质还必须被整合到人类文化的总体中。所谓整合，即是在某一文化整体中，各种各样的行为，如谋生、择偶、战争等，都依据文化内部发展起来的无意识选择规范而被融汇到统一模式之中。对于化学文化来说，它必须选择一些有功用的文化特质，舍弃一些不可用的特质，同时也改造其中某些特质或创造一些新的符合其认知趣味的元素，以达到整合的目的。只有完成了整合过程的化学文化，才能成为人类文化有机组成的不可或缺的部分，也才能造就本文化内部的有生命力的结构——独特的组合和相互联系。

可见，整合是化学文化必然经历的一个过程。具体讲，其重要性在于，首先，化学文化只有经过整合才能获得稳定的制度化的发展；其次，只有整合之后的化学文化才能向人类文化的主流施加它的影响；而且，化学文化也只有被整合进人类文化的总体，才能在功用上大放异彩。因为，文化是多于它的各个特质的总和，一种亚文化行为和思考方法，只有在其特殊的联系中形成的整体结构上，才能系统性地放大自己的机能。

当然，并非处于各种不同复杂层次上的所有简单文化都能达到成功的行为整合，或者，有的文化行为在一个地区或民族能成功地与其文化主流融贯整合，而在另外的地区或民族则不能。而且，整合的质量也有一个或高或低的问题。一种文化被整合到文化总体中，并不意味着该文化是完美无缺的。事实上，它可能有许多行为是文化主流所不赞成甚至反对的；但只要它的另外一些功能是社会所必需的，整合过程就可发生。化学文化也正是这样一种多层面的文化现象。

二、化学文化的社会化

文化整合的机制，从某种意义上即是该亚文化的社会化过程。化学作为一种亚文化，它拥有自己的文化群体，其文化特征是主要由该群体的成员共享的。但是，化学共同体欲使自己的文化要素为社会所理解，并能在复杂的社会环境中得以生存，就必须使自身的文化要素不断地同社会发生互动，从

而使本文化的特征传播到群体之外的其他亚文化和主流文化中，为其他亚文化和主流文化的发展作出贡献。这一过程即是化学文化的社会化。

化学文化的社会化不仅体现于化学科学的体制化，而且也充分体现在其各结构要素的社会化过程之中。这些过程包括化学知识的社会化、化学活动方式的社会化，以及化学家的社会化等。

1. 化学知识的社会化

社会要了解化学文化，就必须首先了解化学知识体系，了解化学理论的基本思想和实际价值。所以，化学知识的社会化必须完成两个过程：一是普及化学知识，二是应用化学理论。

普及化学知识是通过多种途径进行的，主要有学校教育、博物馆及其它大众传播媒介。科学列入教育课程为时较晚，甚至到文艺复兴时期也还没有引起社会的重视。那时，只能在大学里学到一点数学知识，而有关化学的知识偶尔才能在医科学校中见到；18世纪以前，几乎所有化学家的知识都是靠自学得来的。18世纪末，化学教育开始出现在普里斯特列和道尔顿任教的英国几所非国教派学院，主要以学术讲演的方式进行，还不很正规。只是到19世纪末，这一情况才得到扭转，其中最出色的是德国的专业化教育制度和美国完整的教育体系。后者至今仍为世界各国所推崇。

科学博物馆和博览会是普及化学知识的另一种有效途径。1851年在伦敦举办了第一次国际博览会；1857年以博览会展品为基础建立了南坎辛顿博物馆；1909年该馆分出以科学技术为主题的伦敦科学博物馆，设立电力、工业、农业、物理、化学、航空等展厅，吸引了成千上万的观众。此后，德意志博物馆（1925）、日本国立科学博物馆（1931）、巴黎发现宫（1937）、芝加哥科学与工业博物馆（1933）等著名科学博物馆相继建立，其中都设有化学类展厅。它们以形象、生动、参与式的展示及教育活动，增进了社会大众对科学现象的了解，激发了少年儿童对科学的强烈兴趣，是科学、技术和艺术的绝妙结合。

现在，普及化学知识的方式更加多样和有效，现代化的大众传播媒介，如报刊杂志、电影电视和广播等已使化学知识深入到各个角落。生活在20世纪的人假如不懂得一定的化学知识简直是不可想象的。但事实是，即使在美国这样科学发达的国家，一般公众对类似洗涤剂的成分之类的普通化学知识仍缺乏了解。在中国，政府虽然很早就将化学纳入中学必修的课程之中，而且各种扫盲运动一再开展，但情况也不理想。可见，化学知识的普及仍然是一个世界性的问题。

另一种社会化的方式是付诸实用。化学有足够的力量这么做。事实上，化学自近代以来只经历了很短一段的“纯科学”迷惘，就与工业紧密结合起来。化学工业巨大的经济价值和实用价值，使化学文化广受各国政府的青睐。19世纪的德国政府对法国化学表现出的异乎寻常的兴趣，在半个世纪后所显示的强大的工业实力中得到了解释。而中国近代从西方引入科学（包括化学），一开始也正是看中了它的强大的“生机控制能力。”

这种社会化方式的好处是明显的。人们要学习化学知识、理解化学文化，已不再是非进学堂不可了。但其缺点是，它容易使人对化学文化产生片面的理解和急功近利的要求。

2. 化学活动方式的社会化

化学活动包括创新知识、交流成果、实验判决及理论评价、普及应用、

社会遗传等一系列过程，其社会化的核心是组织方式的社会化。

历史上，化学活动大多是在少数化学家形成的集团内进行的，其组织方式是以个人为中心的交流竞争模式。这种“家庭工业式”的研究方式经过不断完善，迄今仍不失为一种高效率的生产方式。但是，随着大科学时代的到来，它的不适应也是明显的。一方面，随着科学知识愈来愈丰富，化学家的眼光逐步变得狭窄而固执了。另一方面，化学家越来越需要同其他共同体的科学家进行合作，以解决那些高度综合性的复杂问题。此外，化学已成为政府庞大的科研体系的一部分，巨额的科研经费已超出个人甚至私人基金组织所能资助的限度。而且，资助大规模研究计划，对政府来说，也许比资助小规模的项目有更多的政治价值。因此，对独立于政府科研组织之外的化学活动的任何设想，都愈来愈难以实现。

一种必要的选择是，化学文化要么放弃它在社会生活中的优越地位，要么改革其活动方式以适应不断变化着的社会环境。多数化学家相信，担心失去自身的自主性和独立特征在今天往往是不必要的；宗教或政治对科学肆意贬斥与阉割的情形已经成为历史。

3. 化学家的社会化

在一般人的心目中，科学家是一群拥有深奥知识，具有非凡能力，但又行为怪异的人。他们不择一切手段、利用一切机会、想尽一切办法、竭尽一切努力去解决一个个研究课题，换来的只是征服困难的喜悦和同行专家的承认。实际上，科学家在某种意义上的确与众不同，他们如此强烈地受制于科学的核心价值，以至于不加思索地接受了它们。研究作为一项活动对他们来说是自然而然的事情，他们理所应当认为自己应该为新的发现而欣喜；对自然界的运行细节产生兴趣，以及一心一意地去构造复杂而怪诞的理论，而不管这些理论在日常生活中可能毫无用处。

但不幸的是，科学家的这种形象往往被一般公众和人文科学家误解。自然科学与人文科学之间的鸿沟几乎随着近代科学的产生即已出现，且其分歧日见扩展，渐趋隔膜。非科学家倾向认为，科学家是粗鲁而又傲慢的，他们没有读过莎士比亚的作品，不懂现代派艺术的风格，也意识不到人类的处境是多么的令人绝望和悲惨，却自信地吼出：“给我一个支点，我能将地球挪动！”而科学家又往往觉得人文学者无病呻吟，并不关心同胞的实际生活。斯诺在分析这种裂痕产生的原因时指出，最主要的是我们对专业化教育的过分推崇和要把我们的社会模式固定下来的倾向。

看来，科学家包括化学家的社会化（广义上的）的确是一个十分必需的过程。科学家们首先是一个社会人，其次才是一个在试管和搅拌棒中间日夜奔忙的知识创造者。在这方面，化学家中产生了分化，只有一部分人能对技术、工程专家采取主动合作的态度，而能与人文科学和一般公众保持接触的更是凤毛麟角。为了得到社会的理解和更多的尊重，化学家还要作出更多的努力。

三、化学文化的社会功能

化学文化拥有一些显而易见的社会功能，但要把这些功能归纳起来却相当麻烦。从横向看，化学文化几乎对社会的各个方面都有功能作用；从纵向看，这些作用是动态的，许多功能在历史上就已经存在，而有些功能在文化

演变中却退化（比如化学文化的宗教意义）。

1. 对科学文化的贡献

化学文化是科学文化的一部分，在科学文化整体中发挥着重要功用。化学家同天文学家、物理学家、生物学家或其他自然科学家一样在科学文化的核心价值指导下工作，并为科学文化的繁荣作出贡献。

首先，化学思想是开启近代科学革命的一把钥匙。近代早期的化学是同希腊的科学、哲学和医学珍籍一起被介绍到西方的，它同中世纪遗留下来的炼金术一起，在 15 世纪期间广为世人关注。其中，帕拉塞斯学派围绕自然哲学和医学问题同亚里士多德主义者和盖伦主义者展开的论战，奠定了近代科学革命的基础。

帕拉塞斯学派力图推翻在当时大学里占主导地位的传统亚里士多德主义和盖伦医学。他们认为，获得各种知识、技巧，及寻求真理，都应该在两部神圣作品——《圣经》和自然——中作出努力。传统的亚里士多德—盖伦体系只能使人们对古人亦步亦趋，缺乏创造性。该学派希望用一种能说明所有自然现象的基督教的新柏拉图主义和赫尔墨斯哲学，彻底取代经院派的“逻辑-数学”方法。在他们看来，化学哲学正是一种基于新观察和实验之上的全新的自然哲学；是对自然作出新理解的基础学科。另外，这一学派还注重在炼金术中寻找医学理论的新原则。他们谨慎地关注药物的剂量，运用化学技巧以便只吸收有毒矿物中的有价值的成分，并把盐、汞、硫三元素作为新的解释工具，从而赢得了社会的推崇。

总之，新旧两派对诸如化学在新哲学体系中的地位、元素的真理性、大宇宙-小宇宙类似的实在性以及精气放射的意义之类问题的争论，起到了一种否定性放大的作用，从而使新的化学哲学能够大大改变人们的思维和观察，并为各门科学提供了一种新的观察基础，促成了科学革命的发生。

其次，化学的发展不仅促进了近代各门学科的分化，而且在探索物质奥秘的研究中为整个科学体系着力甚多，并在后来直接推动了科学一体化的过程。17 世纪以前的化学，几乎同时涉及力学、天文学、医学等学科。文艺复兴后，化学逐步走向独立发展的道路。化学家在研究各种化合物的相互反应时逐一发现新的元素，由确定它们在不同化合物中的比例推出定比和倍比定律。在此基础上，道尔顿提出了原子论，使古希腊的原子学说从猜测变成科学。人们不再认为，原子是为了心灵解释的方便而提出的本体概念，而承认原子、分子是实体并以此解释各种现象。物理学在原子—分子论基础上建立起分子运动论和热力学理论即是其一实际例证。恩格斯曾谓，原子—分子论“能给整个科学创造一个中心，”是一点也不过分的。

19 世纪，有机化学得到迅速发展。化学家提出了化学结构概念并用化合价的理论去解释它。不仅如此，化学家还将目光引向原子内部，在原子中寻找价的承担者。门捷列夫的元素周期律不仅使化学趋于系统化，而且为 20 世纪初建立正确的原子模型提供了依据。罗蒙诺索夫(M.V.Lomonosov)曾预言：“在物质的内部构造方面，如果有一天这个秘密被揭开的话，化学一定是它的先驱者。”历史已经证明了这一点。

埃伦·G·杜布斯：《文艺复兴时期的人与自然》，浙江人民出版社，1988 年版，第 24—46 页。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年版，第 96 页。

斯吉柏诺夫：《人类认识物质的历史》，中国青年出版社，1958 年版，第 58 页。

在近现代时期，化学对物理学的影响不仅表现在化学家和物理学家共同提出了能量守恒定律和物质不灭定律，而且通过更广泛的方式推动了后者的发展。如各种化学电池及电化学理论的出现，为最终揭示电与磁的关系并建立科学的电磁学作出了直接贡献。对天文学的影响，则主要体现于本生（R. Bun-sen）等人对元素光谱的广泛研究，它使天文学开始转向研究天体内部的结构与组成。化学还逐步介入生物学的研究领域，诸如呼吸作用与氧化、燃烧的关系，光合作用的还原性质，发酵的过程等。尤其是维勒用人工从无机物合成出尿素，严重打击了生命领域中的活力论及其变种。

20 世纪以来，化学一方面与物理学继续携手，朝阐明物质结构层次的奥秘方向拓进，并在凝聚态、表面现象、放射性等方面独辟蹊径；另一方面日益渗入到生物学领域，为认识生命现象的奥秘作出了贡献。如费歇尔（E·Fischer）关于蛋白质的一系列杰作，列文（P·A·Levene）对核酸的分解，以及在氢键方面的研究成就，直接促进了分子生物学的建立。同时，化学也逐步进入生态学、环境科学、宇宙科学及地球科学领域，对认识世界的统一性及促进研究“从存在到演化”的转移，发挥了重要的功能作用。

第三，化学文化的发达丰富了科学活动的文化特征，弘扬了科学精神，促进了科学的社会化。化学文化的经验观察特征和在实验领域的坚定探索，扭转了近代科学界一度盛行的“纯科学”游戏的倾向。其中，皇家学会在 19 世纪中期的改组即一显明例证。化学文化最早找到了进入大学 and 实际生产领域的恰当方式，在知识的传播、应用和社会遗传方面为科学界作出了榜样。化学知识生产的“家庭手工业”方式，一直是科学家们向往的一种理想自主的组织氛围。而且，当科学文化面临与人文文化的极大分裂时，当科学的枯燥和一本正经的文风受到文艺界人士普遍抵制的时候，化学文化却由于它的收集证据时的冷静态度，对实验结果放大验证的可靠方法，以及切切实实服务于实际生活的追求而首先走上了争取社会理解与支持的道路。

第四，化学文化在宣扬科学的国际性、民主气质与人道主义精神方面独树一帜，成效显著。在近代以来几个世纪的政治风云变换中，化学家坚定不移地努力去打破知识的国界、颂扬化学在表现科学的自由探索与人道主义方面所显示的巨大魅力、为把科学造就成为决定人类发展方向的“背景文化”作出了重要贡献。

2. 对人类主流文化的贡献

要全面地看到化学文化的功能，就必须把它放在尽可能广阔的人类文化的历史背景上来观察。人类历史的演化既造就了化学文化这一社会结构，同时，也受到该社会结构的函数的影响。

首先，化学文化是当代物质和经济生活的不可分割的一部分。

人类由于彼此互相联结而组成社会，又由于以群体的力量去征服自然而创造了文明。这种文明以农业为基础，同时出现多种多样的专门技术和城市贸易。直到近代工业革命发生时，该文明几乎没有什么实质性进展。但值得庆幸的是，几千年的古典文明孕育了一种新的文化形态：随着一部分人类从生产食物的活动中解放出来，哲学和科学走上了历史舞台。当那场意义深远的科学革命在欧洲爆发后，先是西方，后来整个世界都迎来了文明社会的新时代。其中，化学科学的功用尤其重大。考古学从人类历史上使用的铜、铁器具中可以发现一个时代的文化行为，从而肯定了化学文化在人类主流文化中的重要地位。

化学发展到今天，已经成为人类认识物质自然界、改造物质自然界，并从物质和自然界的相互作用得到自由的一种极为重要的武器。随着化学不断被应用到工业、农业、医疗和其他范围更广的领域，随着各种化学物如铝、合金、塑料、橡胶、高分子材料、化肥和农药的出现，化学文化开始渗透到社会生活的各个方面。人们要为全人类提供食物、开发资源、提供穿衣和住房、为日益减少或稀缺的材料提供代用品、征服疾病、裨益健康、增强国防、提高经济竞争能力，以及控制和保护我们的环境，等等，都得依靠化学作为强有力的助手。正如美国化学会 1976 届会长西博格 (G.T.Seaberg) 所说，“化学是我们进步的关键。”

其次，化学文化是指引和推动现代生活正确前进的思想的不可分割的一部分。

化学不仅为我们提供了满足我们的物质需要的手段，而且也向我们提供了种种思想，使我们能够在社会领域里理解、协调并满足人类的需要。在某种意义上，正是化学消除了人类对物质世界的依赖性，从而提供出如下可能：人类不再需要利用战争或其他非人道的手段就可使人人都过上富足、舒适的生活。

为了使社会的发展受到控制，科学正跻身于政治、经济力量的组合平衡中。在此背景下化学文化已充分意识到自己的目标，并在现实中发现社会运行和社会需要的意义和方向，从而使之变为改造社会的巨大力量，而没有沦为要它背离社会进步方向的种种力量手中的工具，并在这一过程中毁坏它的精华：自由探索和人道主义精神。另外，化学文化对多重因果关系的理解，使它在判断个人和社会的愿望的现实成分和幻想成分方面，成为对人类有说服力的指导力量。可以说，化学文化对社会目标的正确导引和它为满足人类合理需求所作出的辉煌成就，照亮了人类寻求解放的道路。

第四节 化学文化的价值判断

文化的价值是一个仁者见仁智者见智的复杂问题，其中存有大量议而未决的内容。困难常常在于，任何一种文化都是一个有机的系统，其中各部分都渗透了该文化的根本精神，并都按一定的方式相互联系、结合在一起。把文化的一部分从所属机体上割离开来，撇开它与其他方面的联系，就无法判断它的价值。而且，即使是最落后的习俗和组织方式，也可能在维持正常社会生活方面有自己的积极功能。超前的、异族先进的文化有时反而造成正常生活的破坏。

产生于近代的科学文化给人类带来了改善生活处境的巨大信心，但同时也带来了世界性的屠杀和毁灭。日益严重的沙漠化、水源与空气的严重污染、潜在的核毁灭能力，以及对传统生活方式的巨大冲击，使科学在价值把握上笼罩着一层怀疑主义的雾霭。

一、化学批判的缘起

近代以来，科学无论在理论领域还是在应用领域都得到了空前迅猛的发展；科学文化正日益广泛地渗透到人类生活的各个方面。但是科学不是万能的，正如它能够解决众多问题一样，它不能解决的问题也有许许多多。最明显存在的两点事实是：首先，科学的发展引起了社会结构的变化，但这种变化未必能引起政治制度和主流文化发生相应的变化。其次，新科学中兴起的务实的、着重于发展经济之知识的倾向，与那种内省的、致力于内心宁静的传统价值观念之间，发生了剧烈的冲撞。因此，对科学文化的批判即使在科学开始走上独立自主的发展道路以后仍然存在，只不过在目的、内容和方法上异于以前而已。

早在 18 世纪，法国启蒙思想家卢梭 (J.J.Rousseau) 就开始对现实社会表现出十分激烈的批判态度。与其他启蒙思想家推崇理性、科学和艺术的做法相反，卢梭认为，正是这些人类文明导致了道德的败坏。天文学出于迷信，雄辩术出于野心，几何学出于贪婪。文明的出现就是奴役的产生、灾难的降临。文明产生的不平等，导致统治者穷奢极欲、傲慢残忍；被统治者饥寒交迫、倍受轻侮。卢梭向往适合人的本性的自然状态，那里可能有暴力，但却没有奴役。他的这种思想与其社会契约论联系在一起，对当时的思想界震动颇大。后来的许多哲学家都对此持有相似的观点，甚至科学家也开始对自己的行为产生了与建制目标不协调的异样感觉。

实际上，当一种新的人工环境被引入社会时，产生一系列的恐惧和反感是正常的。人们面对庞大的蒸汽机、发电机和高速行驶的汽车、火车，常常无法遏止自己的惊讶、忧郁和幻觉。英国作家赫胥黎 (A.Huxley) 甚至在其著名小说《勇敢的新世界》中描绘了一个乌托邦式的社会。在那里，科学技术完全受到推崇，整个人类将保持舒适而不会有缺乏知识的痛苦。但这个社会同时也没有了自由、美好和创造力，各个人独特的生活方式到处受到剥夺。这种描述在后来卓别林的影片《摩登时代》中，得到了形象生动的艺术表现。

20 世纪，人类一度陷入世界大战的疯狂之中。科学技术又以其特有的犯罪受到社会各界人士——历史学家 (斯宾革勒、汤因比等)、哲学家 (罗素、

萨特等)、社会人类学家(贝尔等)和一般公众的猛烈抨击。其中,法兰克福学派以彻底的批判精神而在思想界独树一帜。以霍克海默尔(Max Horkheimer)、马尔库塞(H.Marcuse)、阿多诺(T.W.Adorno)等为首的一批思想家们注意到,西方资本主义发展出的现代工业和科学技术,原是人们用以控制自然、把自己从迷信中解放出来的工具,现在却变成压制人的机器;人成了现代文明的工具。首先,征服自然的愿望表现出狂妄的统治欲和占有欲,当它在控制自然取得巨大力量之后,就必然反过来奴役、支配人,抹煞人的主体性;其次,现代科学技术强化了劳动异化现象,使人成为庞大的经济机器上的一颗小小齿轮,完全处于受控状态;再次,现代文明创造的富裕和享受使曾经因对贫穷的不满而保持的对现实的批判能力消失殆尽;最后,大众传播系统通过书籍、报纸、杂志、广播、电视等对人的思想意识的控制,使人们降低了独立思考的欲望和能力。应该说,这些批判是言之有据的,它击中了现代资本主义社会新形式的压迫现象的实质,却不幸将科学当作了主要的射靶。

在怀疑主义思潮的影响下,科学越来越成为众矢之的。1972年,一个由科学家、实业家和知识分子等70人组成的非正式国际组织“罗马俱乐部”,宣布了一项为期18个月的研究成果——《增长的极限》,指出在下一个世纪中叶,污染将会失控,自然资源亦消耗殆尽。在此之前,美国生物学家卡森(R.Carson)就在《寂静的春天》一书中率先检讨了由于滥用滴滴涕和其它氯化烃类或有机含磷类杀虫剂,致使环境污染、生态失衡的严重境况。著名化学家路易斯(C.S.Lewis)也在其《可憎的力量》一书中警告说,科学家正企图用工厂化和化学化的农产品,排挤掉大自然的一切;其结果是,世界上“没有天下无双的精品,没有金光灿烂的秋色,天上没有一只鹰鹫;地上没有一只猎犬。”

统观历史和当代形形色色的反科学倾向,其矛头不外指向两个方向:一是科学进步所带来的明显可见的社会缺点,如车祸、空气和水的污染、城市的拥塞和过度的噪音等;另一是科学技术的进步摧残了人的个性和传统生活方式。针对科学文化的现实功能,人们希望知道:(1)在科学决定社会方向的世界里,人能否继续保持主人的地位?(2)一个既发展科学,又允许人类自由的新的文明社会最终能否出现?

二、合理性辩护

在关于科学的价值论辩中,反科学思潮虽然呼声日高,但绝大多数人仍极力维护科学的形象。除了少部分人仍然沉浸在科学的纯学术幻想之中,对不复存在的作为“闲暇游戏”的科学充满缅怀之情,从而无视社会对科学的严峻挑战外,大部分科学家敢于承认科学所带来的一切,并希望利用科学作为改革的杠杆,解决困扰人类的种种问题。

在人文知识分子中,对科学的深情而坚定的信念也同样存在着。这种信念源自人类精神上的革命性传统。如果说,以培根为布道者的新哲学,在科学开创伊始带给人们的是兴高采烈和激动万状的气氛,那么,一个多世纪后,以孔多塞(J.A.Condorcet)为代言人的启蒙运动,则对科学表现出不折不扣的踌躇满志和信心十足。后者坚信:“知识的进步,是同自由、道德,以及

对人的天赋权利的尊重牢不可分的。”就在卢梭发表其《论人类不平等的起源和基础》的大作时，法国另一位思想家伏尔泰（Voltaire）就曾写信尖刻地讽刺着：“读尊著，人一心想望四脚走路。但是，由于我已经把那种习惯丢了六十多年，我很不幸，感到不可能再把它拣回来了。”

对“阿卡地”的向往在 20 世纪的知识阶层并没有消失，而只是有所改头换面而已。英国著名作家兼物理学家斯诺（C.P.Snow）尖锐指出，某些知识分子宁愿过 18 世纪富裕乡绅的生活而不愿过 20 世纪的都市生活是可以理解的，但他们没有理由反对建设新城市，反对工业化。“健康、食物、教育，除了工业革命没有什么力量能够把这些东西成功地传播给许多很穷的人。这些是主要的收获……它们是我们的社会希望的基础。”

作为一门基础科学，化学在科学的价值批判中首当其冲地受到检讨。对化学文化的诘难大致来自三个方面：

（1）化学对物质自然界的认识和改造，导致了可怕的环境污染、资源匮乏和生态失衡，并在很大程度上成为现代战争的主要工具。对环境的污染是化学面临的首要问题，各种人工化学物，如塑料、橡胶、金属制品，以氯化烃为主要成分的持久性杀虫剂，以多氯联苯为基质的油漆与油墨、塑料等的添加剂，汞，肥皂和去污剂，以及可能进入大气的 CO、SO₂ 等是重要的化学污染源；而大量使用人工化学物的后果，一方面是造成自然资源（煤、石油）的“黄昏”，另一方面则导致严重的生态失衡，如土壤酸化、食品含毒、动物品种减少，以及温室效应等。另外，大量制造化学武器和储存核威慑力是化学文化对人类生存造成的最直接的威胁。

（2）化学家频繁涉及那些充斥着伦理争执的关乎人类前景的敏感领域，如避孕药物、激素、农药、基本粒子和分子遗传工程领域等。

（3）化学文化在组织上使化学家失却了自主性。随着化学家越来越多地参与大科学角逐，他们已从古典风范的自由翱翔的阿卡地进入到一个身不由己的科层组织系统，在追求由创新带来的承认和荣誉的过程中，丧失了自我，不自觉地成为文化规范的牺牲品。

针对这些问题，化学家并非一开始就有自醒的意识。直到 1972 年，当卡森的那份关于制造业化学正在污染环境的观察报告问世时，美国制造业化学家联合会、食品基金会及美国化学会还曾群起而攻之，甚至不惜歪曲存在着的严酷事实。不过，今天的化学界已经越来越清醒地认识到化学文化带给世界的严重后果。大多数化学家的态度仍然是积极的。他们认为，首先，必须确定化学文化应在多大程度上对诸如环境污染和现代战争负责，能在多大范围内和通过何种途径解决由化学带来的问题；其次，缔造化学文化发展的“人类尺度”，建设生态化的化学科学；另外，他们还认为，化学文化是化学家根据人类的需要、认识和经验，在开拓、利用和改造自然和社会的活动中创造出来的，是人类创造力的形式化和固定化。化学家完全有能力驾驭这种文化，不断打破其组织上的桎梏，并在该组织中充分体现自己的自由创造。

与化学界普遍存在的“入世”传统相一致，大多数化学家对化学的实际

P.B.梅达沃：《寄语青年科学工作者》，科学出版社，1987 年版，第 104 页。

罗素：《西方哲学史》，下卷，商务印书馆，1981 年版，第 229 页。

查·帕·斯诺：《对科学的傲慢与偏见》，四川人民出版社，1987 年版，第 36 页。

莫里斯·戈兰：《科学与反科学》，中国国际广播出版社，1988 年版，第 115 页。

效用表示关切。他们认为，化学问题的解决虽然在一些发达工业国已系刻不容缓，但对于贫穷落后的地区和国家来说，化学的几乎所有成就都是不可缺少的。人们不能因为避孕药品的副作用而放弃对它的研究和生产，也不能由于化学工业的污染状况而取消已经是社会必需品的化学物的研制。著名的农业化学家、1970年诺贝尔和平奖金获得者博劳（N.E. Borlaug）博士就极力反对完全禁止使用滴滴涕，因为它在杀灭多种昆虫方面的确非常有效，尤其是有助于遏制由跳蚤传染的斑疹伤寒和由蚊虫传播的疟疾。世界卫生组织也承认，在人们尚未研究出价廉的实际有效的替代品之前，禁止滴滴涕，将对世界人民的健康造成祸患。

三、化学家的历史责任

作为科学共同体成员的化学家，在发扬化学文化的自由探索和人道主义精神的过程中，常常陷入两难境地：他们愿意为化学自身的目标作出努力，但在现实生活中却又不得不经常被迫放弃相对于雇佣他们的组织的道德独立性；他们期望化学的成就只对人类的生存与发展起积极的作用，但后者却不可避免地同时带来许多弊端。早在一个世纪前，安全炸药的发明者诺贝尔就曾经对作为文明产物的炸药的杀人威力所震惊，深受发展科学和社会责任之间的价值分裂之苦。居里夫人在发现铀裂变的链式反应后，也对继续研究是否违背社会道德进行过痛苦的思考。

令人欣慰的是，化学家已经意识到那些妨碍科学发展的因素，并开始探索打破它的途径。这也是整个科学界出现的普遍趋势。科学家们一致要求让科学发展并利用科学为人类造福而不是相反。他们要求社会的宽容气氛，摒弃歧视、压迫和战争。1955年，52位获诺贝尔奖的科学精英联合发表《迈瑙宣言》，重申科学家的使命和责任，呼吁所有国家“自动放弃使用武力来作为政治中的极端手段。”另外，科学家正在有意识地站在领导社会发展的前沿，努力寻找一种使权力移交到科学界和专家阶层手里的途径，并培养科学家适应这种权力的能力。他们清醒地意识到，60年前美国化学家李特尔（A.D. Little）关于“没有权力的科学知识”和“没有知识的政治权力”的境况至今并没有发生根本转变。因此，他们注重对社会和经济情况进行精确的调查，对技术问题制订计划，对现行军政规划提出批评，随时戳穿任何脱胎于“科学理论”诸如“基因优劣论”之类的奇谈怪论，并使政治活动家认识到，自己的错误行为是得不到科学的支持和宽容的。

的确，科学的迅速发展使科学家承担了过去无法设想的、巨大的道德和社会责任。正如70位世界著名科学家在1958年第三次帕格沃希代表会议上指出的那样，“科学家的事业所具有的意义，使科学家们能事先预见到由自然科学的发展所产生的危险性，并能清楚地想象出同自然科学发展相联系的远景。他们在这方面对解决我们时代目前最紧要的问题具有特殊的权力，同时肩负特殊的责任。”

在中国，科学家一直是一股强大的道德力量，知识分子传统的社会责任心使他们常常置自身安危于不顾，仗义执言，分陈利弊，为正确导引中国科

G.D.香伯格：《化学和我们》，科学出版社，1982年版，第308页。

赫尔内克：《原子时代的先驱者》，科技文献出版社，1981年版，第5页。

莫里斯·戈兰：《科学与反科学》，中国国际广播出版社，1988年版，第99页。

赫尔内克：《原子时代的先驱者》，科技文献出版社，1981年版，第350页。

学技术的发展方向竭尽心力。在化学化工、农业、能源、冶金等方面，化学家也发挥了重要作用，他们提出的许多建议和批评（如叶渚沛 50 年代至 70 年代对苏联专家建议和化工规划的批评）在国家的总体决策中，常常产生了重要后果。在当代新技术革命潮流的冲击下，中国科学和社会正面临着更加严峻的考验。

第十七章 化学人才论

科学家梅达沃 (P.B. Medawar) 曾说过：“科学家是些气质各不相同的、用各种不同方式干着各种不同事情的人。科学家中有干搜集的，有搞分类的，还有管清扫的。不少人具备当侦探的天赋，又有许多人富于探险家的才能，还有一些人有艺术家的气质或匠师的本领。有人是抒情式的科学家，有人是哲理式的科学家；还有一些人是神秘主义者。怎么能设想这形形色色的人们在思想上或气质上有共同的东西呢？非科学莫属的科学家真有如凤毛麟角，大多数当上了科学家的人，当初都是有可能从事其他行当的。”

梅达沃这段栩栩如生而又富于哲理的论述，极为深刻地刻画了科学家的特征。同样，现代科学的一个重要组成部分——化学，也是由无数性格各异、气质不同并扮演不同角色的化学人才专门经营和发展起来的。由于化学人才的范围十分广泛，所以我们无法给出一个简短而又全面、准确的定义，只能限制讨论的范围。本章讨论的化学人才是指那些在化学领域中从事智力创造活动、奠定化学大厦的基础，以及所有推动化学科学向前发展的化学工作者。下面我们就从化学人才的分类、特征、作用及其成长与培养等几个方面来进行论述，并试图给出化学人才的一个系统的、一般的轮廓。

第一节 化学人才的分类

科学研究通常被简单地划分为纯理论和应用研究。纯理论研究指的是关于科学的基础方面和引入新的知识，而应用研究（或者更经常所称的应用科学）则关心这种知识的实际应用。在化学领域中作出这种简单的分类是比较容易的。同时从“纯粹化学”和“应用化学”这两个被化学工作者广泛接受的术语中也可看出人们对化学研究分类所持的观点。

化学与其它学科一样，也有基础与应用之分。它的许多成果，如新的化合物、新型性能和新反应的发现，不仅标志着人们对于自然的新认识，而且一经推广应用，又可以直接在生产和人们的生活中得到效益。这一特点，使化学与国民经济和社会生产的各个部门发生了广泛而密切的联系。也正是这一特点，使化学界不仅有分别从事基础研究和应用研究的学者，而且还有既进行基础研究又进行应用研究，或者既从事化学研究又开发新的化学工业领域、经营化工企业的学者。这样，我们可依据化学研究的分类将化学人才分为理论化学人才、应用化学人才和两栖化学人才。

一、理论化学人才

理论化学人才只关心化学的基础方面和引入新的化学知识，应用化学人才则关心化学知识的实际应用，两栖化学人才善于把基础理论研究和应用研究结合起来，善于把科研成果迅速应用于工农业生产和人们的日常生活。

在化学发展史上，曾有一段时间，化学科学研究差不多是由一些专心不二的化学家作为一种嗜好而经营着。他们只关心化学理论本身的发展，醉心于纯粹的理论研究，这也就是我们所说的理论化学人才。正是这些人的卓越贡献才奠定了化学大厦的基础。在化学史上有许多这样的生动实例。德国著名有机化学家凯库勒终生致力于发展有机化学结构理论，提出了碳成链及碳四价学说和苯环结构理论，奠定了有机分子结构理论的基础。他的苯学说曾给正在黑暗中摸索的芳香族研究指出了前进的方向，促进了煤焦油工业的迅猛发展，取得了巨大的社会效益。

正是由于这个原因，德国化学会于1840年3月11日在柏林市政厅举行了化学史上盛况空前的大会，纪念凯库勒苯结构式首创25周年。在这个大会上，凯库勒致了答谢辞，并介绍了他的经历与有关回忆。在当时的演说中他叙述了关于科学与技术的相互关系，并揭示了他作为一个卓越的理论化学人才的真实的主观世界。他说：“关于我的许多研究工作，其中包括苯的理论，有助于煤焦油染料工业的发展，这一点是不可否认的事实。但是可以断言，我并不是为技术而进行研究，而是以科学研究为目的的。我对工业技术问题始终抱着极大的关心，但并未被它牵着走。正是在这种情况下，各位技术工作者赞赏我对工业技术的微薄贡献，使我欢欣倍增，感谢万分。”

凯库勒的学生、首届诺贝尔化学奖获得者，荷兰著名物理化学家范特霍

W.I.B.贝弗里奇：《发现的种子 科学研究的艺术（续篇）》，科学出版社，1987年版，第103页。

王玉生、任定成：《“两栖化学家”的独特作用》，华中师院学报（自然科学版），1984年，第3期，第149—154页。

David Abbott：The Biographical Dictionary Of Scientists—Chemists，Peter Bedrick Books，New York，75—74（1984）。

原光雄著：《近代化学的奠基者》，科学出版社，1989年版，第204—205页。

夫 (J.H.van ' t Hoff) 也是终生致力于发展化学理论的典型范例。立体化学理论、化学动力学与热力学、溶液理论是他的三大贡献。其中任何一方面都标志着他是一位卓越的理论化学人才。

德国杰出的有机化学家、1905 年诺贝尔化学奖获得者拜耳 (A. von Baeyer) 则是另一类理论化学人才, 他对于学说的确立并不关心, 而是专心致志地开辟新的实验事实。拜耳是有机化学史上的伟大人物, 近代合成有机化学的主要奠基人之一。尽管被人们誉为实验有机化学权威的拜耳对于学说的确立并不关心, 但他在化学理论方面的贡献是很大的。如 1883 年对靛蓝类染料的精细结构作了系统的阐述; 1885 年他提出了著名的碳环张力学说; 1883—1893 年间研究苯及其衍生物的还原产物, 提出苯的“中心式”, 并对萜烯类化合物进行了系统的研究。

在嘌呤类、糖类、多肽以及缩酚酸等四个方面的研究中作出卓越贡献的德国著名化学家、1902 年度诺贝尔化学奖获得者费歇尔 (E. Fischer), 也像他的老师拜耳一样, 终生的科学研究对象都是离开当时工业技术需要的纯理论化学, 他从未创立过一整套假说, 而总是致力于事实的阐明。

二、应用化学人才

习惯上人们总以为纯理论研究比应用研究智力上更高贵, 所以应当受到更大的尊重。虽然这种高贵思想大部分已渐渐消失, 人们对应用研究的态度和看法正在改变, 但对应用研究依然还有许多误解。产生误解的原因之一是英国科学促进会主席邢歇伍德和其他人使用了“应用科学”一词。因为顾名思义, 这个词从字面上解释恰恰可以认为是指科学知识的应用。正如工程师设计一座桥梁并不牵涉到任何新奇的特征, 因此把它称之为科学实践或技术可能更恰当些。但通常使用的“应用科学”实际上是指应用研究, 也就是应用科学研究方法以及科学知识来解决实际问题, 即从社会需要与生产需要中确定研究课题。在研究的过程中主要目标是解决基础研究成果经应用研究而到生产应用这一过程, 但同时又在应用研究中发现具有重大理论意义的基础研究课题。因此, 在弄清了应用研究的确切定义之后, 就能得出结论, 应用研究与纯理论研究具有同样的重要性, 本质上并无高低贵贱之分。在化学研究的领域里, 这样的习惯势力同样或多或少地存在。尽管这样, 化学史上仍不乏众多的应用化学人才的实例。诺贝尔基金的捐赠人、瑞典工业化学家、炸药大王诺贝尔 (A. B. Nobel) 就是一个极好的从事应用化学研究的典范。诺贝尔终生奋斗的主要领域是研究并生产炸药, 以解决当时生产、采矿、筑路等实际生产中的困难。他的一生既是研究烈性炸药的化学家, 又是生产和经营方面的指挥者。诺贝尔在炸药、合成橡胶、人造革和硝化纤维方面取得许多重要成果, 获得了 355 项专利权, 并在二十多个国家开办了八十多个企业。这些企业大量应用和推广了他的研究成果, 并为他的化学研究提供了经

David Abbott: The Biographical Dictionary of Scientists—Chemists, Peter Bedrick Books, New York, 141—142 (1984)。

Rolf Huisgen: Angew.Chem.Int.Ed.Engl.25, 297—311 (1986)。

David Abbott: The Biographical Dictionary of Scientists—Chemists, Peter Bedrick Books, New York, 43—44 (1984)。

David Abbott: The Biographical Dictionary of Scientists—Chemists, Peter Bedrick Books, New York, 103—104 (1984)。

济上的可靠保证。

诺贝尔化学奖获得者、芬兰生物化学家魏尔塔南(A·I·Virtanen)是从从事应用化学研究并取得巨大成就的又一个典型事例。魏尔塔南博士出生于农民家庭,中学毕业后,进入赫尔辛基大学文科学习。他热爱文学并憧憬有一天能成为文学家。但是,每当寒冷的冬天来临时,他家的牧场总是覆盖着皑皑的白雪,凛烈的寒风使牲畜受到威胁。这时主持家务的姐姐,总要来信诉说:家畜在冬天吃不上富有营养价值的可口草料,影响成长和产乳量,严重减少了家中的经济收入。魏尔塔南收到这种来信后总是很苦恼。经过长时间的考虑,他决心弃文专攻农业化学。魏尔塔南转入化学专业后,由于目的明确,学习勤奋,很快就获得了博士学位。1924年魏尔塔南回到赫尔辛基大学任教,在他的倡导下,芬兰首都首次开设了专为农牧民而办的生物化学讲座。之后他又根据芬兰冬季漫长而又十分寒冷的气候条件,开始研究如何在冬季保持牲畜饲料新鲜这一具有实际意义的重要课题,经过一段时间的仔细研究以后,他发现平时贮藏的青饲料之所以会变质腐败,是由于青饲料在发酵过程中产生了乳酸、丁酸以及蛋白质的分解物等。只要阻止这种不利反应的发生,就可解决青饲料的保鲜问题。经过反复实验,他终于找到了一种保鲜方法,即所谓魏尔塔南法(AIV方法)。魏尔塔南法有许多优点,可以使农民不必过多地依赖季节气候,可以利用再次生长的晚收获饲料。经过这种方法处理的饲料,不仅所含的热量充足,味道适宜,牲畜爱吃,而且维生素A和维生素C的含量也不减少,对牲畜没有任何副作用。

1929年冬,魏尔塔南又研究出一种牲畜饲料的最佳配方。这种草料的调配在味道以及营养成分的配合上,皆合乎科学要求。他的这一发明在全世界得到了广泛的使用。

在对豆科植物进行了深入的研究之后,魏尔塔南发现豆科植物有一种神奇的本领,能够在常温常压下将空气中的氮分子转化成氨。由氮分子转变成氨的反应,叫做固氮反应。固氮反应的发现开创了化学的新纪元。生物固氮和化学固氮成为两个极其重要的基础研究领域。

总之,魏尔塔南终生的研究课题大多来源于与畜牧业和农业有关的领域,研究的目的是为了解决实际生活中的具体问题,创造巨大的社会效益,在研究的过程中又发现了固氮反应这一有重大意义的理论研究领域。

三、两栖化学人才

在化学的历史上,无论是近代还是现代,除了理论化学人才和应用化学人才外,尚有众多的两栖化学人才。德国著名化学家李比希(J·von Liebig)既在有机化学的“原始森林”里开辟道路,也从化学角度研究农业,研究动物的生理作用和营养问题。李比希出生在一个商人家庭,他的父亲是经营药物原料的商人,家中附设有一制造药物和涂料类的小实验室。李比希童年的大部分时间都在那里度过,所以他自幼便对化学产生了浓厚的兴趣。因为对普通学校的课程缺乏兴趣,他未能接受完整的小学 and 中学教育。他的主要精力用在学习实验操作和重复化学书上描述的实验上,同时他还自学了许多化学知识。童年坚实的实验能力训练和对化学的热爱,奠定了李比希在化学领域中作出巨大成就的基础。李比希前半生的研究主要是关于有机物元素分析

诺贝尔奖金获得者传(3),湖南科技出版社,1985年版,第152—155页。

Dictionarg of Scientific Biography, vol, , CharlesScrib-ner's Sons, 229—350.

和基本的有机化学理论研究，正是这些研究工作使他成为理论化学界的权威。1837年他第一次去英国旅行，李比希亲眼目睹了产业革命给英国带来的巨大影响。他参观了许多化工厂，对规模宏大的工厂企业甚为敬佩，同时他发现那些生产工艺过程中并没有运用化学上的理论成果。此外，他还考察了英国的农业技术。对形势发展有敏锐洞察力的李比希，感到他所处的时代正是把化学理论应用于生产实践而确立化学这门科学社会地位的好时机。于是，他毅然放弃了化学基础理论研究世界权威的荣誉而转向研究应用化学，开发化学工业的生产领域。他先后创办了化肥公司及“肉精”、婴儿代食品等等企业。那时南美洲和澳大利亚仅仅为了取皮和脂肪，每年就要屠宰大批的牛，而白白浪费大量牛肉。李比希把牛肉加工成较有营养的所谓“李比希肉精”，变废为宝，创造了不少财富。此外，他还不辞辛劳地撰写了《用化学方法研制肉汁》、《有关农业的理论与实践》等推广应用化学的著作。

催化作用是具有战略意义的现代化学研究方向之一，同时又是发展现代化学工业的关键。英国化学家齐格勒（K.Ziegler）和意大利化学家纳塔（G.Natta）正是在这个方向上选择课题进行研究的。他们既发现了新的催化反应，又发明了新的催化剂。他们的工作丰富了人们对于催化和有机反应方面的认识，同时也促进了现代石油化学工业和有机合成工业的发展。正因为如此，人们把齐格勒所走的基础理论研究和工业应用研究相结合的道路，誉为“米海姆化学之路”（米海姆为齐格勒工作的城市）。齐格勒和纳塔也是典型的两栖化学人才的实例。

关于科学研究还有其他的分类法，加之科学研究已变得更加复杂、精细，分类的分界线也并不总是清楚的。因此，上述关于化学人才的分类只能是一个粗略、简单的划分。随着现代科学和技术的发展。各类化学人才之间的差别变得越来越小，以至于人们无法严格地区分，而这正是由无数化学人才经营的化学大厦日臻完善的象征和标志。

David Abbott: The Biographical Dictionary of Scientists—Chemists, Peter Bedrick Books, New York, 100—101 (1984); 151—152 (1984)。

《化学通报》，1981年版，第1期，第55—56页。

第二节 化学人才的素质

化学研究与其他科学创造活动一样是极其复杂的创新活动。纵观化学史上各类化学人才的成长之路，可以发现他们大多具有用功、勤勉、鲜明的目的感、全神贯注和坚持不懈以及遭受逆境难挫等基本的特征。

一、高度的事业心和进取心

科学工作者具有强烈的事业心，才能迸发火样的科研热情，充分调动智力因素，产生惊人的毅力，以坚韧不拔的精神从事科学创造。同样，科学工作者的强烈进取心则可激发与维持科学工作者的创新意识，增强科学工作者个人与集体的成就感与荣誉感。化学人才对化学科学的热爱以及为化学献身的精神是强烈的事业心和进取心的具体体现。诺贝尔化学奖获得者、捷克化学家海洛夫斯基(J. Heyrovsky)热爱化学科学，终生孜孜不倦地从事化学研究事业，创立、发展了极谱学这一化学的新领域。居里夫人终生致力于镭的研究，为镭化学及放射性治疗癌症奠定了基础。可她自己却因为长期受放射线的侵害而死于恶性贫血。她为科学献身的精神来源于强烈的事业心和进取心。俄国化学家门捷列夫18岁时患了肺结核，在接受治疗的同时，他仍然坚持学习，并以优异的成绩从高等师范学校毕业。患病后，医生曾预言他顶多只能再活8—10个月，可他却以惊人的毅力战胜了病魔，活到了73岁的高龄，从而能够在化学领域里从事了长达50年的学术研究，发现了举世闻名的元素周期律。这与他化学的浓厚兴趣以及发展化学理论的强烈的事业心和进取心是分不开的。

二、勤奋努力和百折不挠

古今中外，科学家创造的成功都是勤奋的结晶。单是勤奋不一定使科学创造成功，而科学创造成功却一定离不开勤奋。科学创造是艰苦的、长期的创造性劳动。勤奋使科学工作者的创造力不断积累、不断强化。勤奋使科学工作者创造力在一定时期产生飞跃，表现为创造力的效应，产生科研成果。同样，在科学创造的过程中，也需要坚韧不拔的坚强意志、百折不挠的进取精神。因为科学创造是在未知领域里开拓新路，寻求对自然之谜的解答。而“大自然是如此扑朔迷离，真理是如此深藏不露，事实是如此煞费苦心，原因是如此闪烁不明，精力是如此难以持久，皆可使因失望而不复振奋者逡巡不前。”所以，没有坚韧不拔的坚强意志、百折不挠的开拓精神，要获得创造的成功也是不可能的。纵观化学史上新理论、新发明的诞生，无一不与化学人才的勤奋努力的工作、百折不挠的开拓精神紧密联系在一起。门捷列夫说：“天才是百分之一的灵感、百分之九十九的血汗。”这是他一生学术生涯的深刻体会。门捷列夫元素周期律的最初提出到完善一共花费了近20年时间。居里和居里夫人在研究放射性元素时，其工作条件非常艰苦。有人参观了他们的实验室之后说，看那景象，竟是一所既类似马厩，又宛如马铃薯窖的房子，十分简陋。他们就是在这样艰苦的条件下，艰苦奋斗，日夜奋战，结果花了45个月的时间才从几吨沥清铀矿中提炼出一克镭。英国著名生物化学家托德(A.R. Todd)十五年如一日，辛辛苦苦、兢兢业业地深入研究核苷酸和核苷酸辅酶，在经历了无数的失败与挫折之后，最终取得了优异成绩并荣获1957年度诺贝尔化学奖。高分子化学理论今天已经获得了科学界的广泛

承认，但是高分子化学理论的形成却经历了漫长而又艰难的里程。德国高分子化学家施陶丁格（H. Staudinger）从本世纪 20 年代开始研究高分子化合物。当他在有关论文中第一次使用“高分子”这个术语后，他的这个“虚幻莫测”的见解曾引起许多自然科学家的强烈反对。他们认为高分子根本不存在。为了给高分子化合物的存在提供理论依据，施陶丁格虚怀若谷，勇猛无畏，力排众议，继续进行深入细致的研究。经过多年勤奋工作和不懈的努力，终于奠定了高分子化学的理论基础，开创了高分子化学的新时代。

智力因素在科学研究中占有重要地位。但如果只是智商高、天资好而不从事创造性活动，或从事创造性活动而没有勤奋努力的工作和坚韧不拔的意志，也仍然不会有创造力的积累与飞跃，从而就不可能取得科学创造的成功。相反，即使天资差些的人，只要有了勤奋，也能不断地使创造力积累，在一定的条件下使创造力发生飞跃，也可获得科学创造的成功。

三、丰富的想象力和勇于创新的精神

在科学创造中，观察力、记忆力、思维能力使科学工作者获得信息。在错综复杂的信息面前，丰富的想象力使科学创造活动能够“思接千载”、“视域万里”，打破时间与空间的限制，使科学工作者的智力展翅高飞，开阔视野，看到前所未见的新天地。正如英国物理学家丁达尔（J. Tyndall）所说：“有了精确的实验和观测作为研究的依据，想象力便成为自然科学理论的设计师。”在科学创造中，想象力渗透到观察记忆、思维、操作中去。英国化学家普利斯特利曾说到想象力渗透到科学创造中的作用。他说，“每个实验都倾向于证实某个假说，而后者无非就是关于某种自然现象的条件和原因的猜测。最有发明才干、最精明的实验家（就最广意义说）是这样的人，他们充分发挥自己奔放的想象，在风马牛不相及的概念之间寻找联系。即使这些对疏远的概念进行的比较是粗略的、不现实的，它们也还是会给别人作出重大的发现提供幸运的机会，而审慎、迟钝且又胆怯的‘智者’对这种发现甚至都不敢去想。”化学上的许多新发现和发明都离不开化学人才的丰富的想象力和对未知世界勇于探索的精神。

近代化学之父、英国化学家道尔顿富于建设性的想象力形成了原子理论。恩格斯在他的遗稿《自然辩证法》中说“化学中的新时代是随着原子论开始的”这一论断，高度赞扬了道尔顿丰富的想象力和深刻的洞察力。以天才化学家而闻名于世的戴维（H. Davy）特别富有想象力，碱金属的发现、碱土金属及硼元素的分离等都是他丰富的想象力和勇于创新精神的具体体现。

德国化学家凯库勒终生致力于探索有机化学的未知领域。在奠定有机化学理论基础、提出革新的有机化学的碳四价学说和链状结合假说以及苯结构假说方面都是他丰富想象力和勇于探索的结晶。他叙述了他坐在桌前写作他的化学教程教科书时怎样想象出了苯结构式：“但事情进行得不顺利，我的心想着别的事情。我把座椅转向炉边，进入半睡眠状态。原子在我眼前飞动：长长的队伍，变化多姿，靠近了，连结起来了，一个个扭结着、回旋着，像蛇一样。看，那是什么？一条蛇咬住了自己的尾巴，在我眼前轻蔑地旋转。我如从电掣中惊醒。那晚我为这个假说的结果工作了整夜。……先生们，让

H. Morawez: *Angew., Chem. Int. Et. Engl.* [26]93—97 (1987)。

W.I.B. 贝弗里奇：《科学研究的艺术》，科学出版社，1979 年版，第 59 页。

周昌忠：《科学研究的方法》，福建人民出版社，1983 年版，第 173 页。

我们学会做梦吧！”

四、强烈的好奇心

英国著名科学家贝弗里奇说：“也许，对于研究人员来说，最基本的两条品格是对科学的热爱和难以满足的好奇心。”当爱因斯坦誉满全球时，他却说：“我并没有什么特殊的才能，我只不过是喜欢寻根问底地追究问题罢了。”对科学的热爱使科学家终生致力于科学研究，在艰苦的探索中百折不回。好奇心则激发科学家对科学的热爱和兴趣，促使科学工作者思索问题、寻求问题的解答，从而推动创造性思维与创造性想象的进行，结果就产生了新的发现和发明。对科学工作作出贡献的科学家不仅具有强烈的好奇心，而且他们的好奇心永远满足不了。一个好奇心满足了，新的好奇心又产生了。化学史上作出重要贡献的化学人才大多具有对自然之谜永不枯竭的好奇心。

20世纪卓越的美国物理化学家朗格缪尔(I.Langmuir)从小就对自然现象怀有强烈的好奇心。早在三岁时就常常向父母亲提出诸如“水为什么会沸腾？”“水为什么会结冰？”等类问题。童年的经历养成了朗格缪尔对自然的强烈好奇心、敏锐的观察力和详细记录各种经历的良好习惯，为他在化学领域中作出卓越的贡献打下了坚实的基础。

德国著名化学家奥斯特瓦尔德在“如何成为化学家”的演讲中将他成功的主要原因归结于从少年时代起对自然现象的强烈好奇和勇于探索的精神。孩提时代，他就和他的伙伴们详细考察家附近一条小河中的一切，并广泛讨论各种自然现象和每一个新发现。当他燃放烟花后，就思考烟花如何制作的问题，并按照做烟花的旧书上的说明亲自动手制作。正是这些有趣的探索进一步激发了他的强烈的好奇心，将他的兴趣转到化学实验上来。

五、具有创造性的实验能力

化学是以实验为基础的科学，化学上的每一个新的发现和发明几乎都与一定的化学实验紧密相关。化学史上卓有成就的化学人才大都经历过良好的实验技能的基本训练，并具有创造性设计实验的能力。

德国化学家李比希在少年时期就十分向往化学这门科学。平时他喜欢观察锻铁、铸造、染布技术和肥皂厂的生产工艺。在市场上，他观看小商贩为孩子们制造摔炮，并学会其制备方法。他的父亲从图书馆借来的化学书，他总是如饥似渴地全部读完，并做了许多书上描述的实验。后来他父亲又送他去乡村药铺当学徒，希望他成为药剂师，可他早已具备了那些药剂师应有的化学知识和实验技能。在埃尔兰根大学就读的10个月中，他的大部分时间用于化学研究与实验。后来他又四处游学、遍访名师，在著名化学家盖·吕萨克的指导下度过了几个月的学习、研究生活。正是这样的经历给了李比希良好的实验技能的训练，为他的研究生涯中创造性地设计实验奠定了基础。

美国物理化学家朗格缪尔从小就喜欢动手做实验。6岁时曾和哥哥一起在家中的地下室建了一个小工场。12岁时又在哥哥的帮助下建了一个小实验

F.A.Kekul : T.Benfey (Translator) , J.ChemicalEducation , 35 , 22 (1965) 。

W.I.B.贝弗里奇：《科学研究的艺术》，科学出版社，1979年版，第143页。

《爱因斯坦文集》，第三卷，商务印书馆，1979年版，第391页。

《化学通报》，1983年，第3期，第57页。

W.Ostwald : J.ChemicalEducation , (12) , 606—608 (1953) 。

[日]原光雄著：《近代化学的奠基者》，科学出版社，1989年版，第142—149页。

室。在实验室中他做了许多实验。正是从这里开始，他步入了硕果累累的科学研究生涯，在半个世纪中单独或与别人合作发表了 200 多篇研究论文和报告，获得了 63 项专利。

德国实验有机化学权威拜耳 (A·von Baeyer) 从小就对自然现象感兴趣。9 岁开始使用中学的化学课本做实验。1900 年，在靛蓝合成的历史的演讲大会上，他回忆了这个时期：“我将永远不会忘记在我 13 岁生日的那天，我用两个达勒 (Thaler, 德国古时货币名称) 从药房买到了一大块靛蓝，当我握在手中时我是多么的高兴啊，怀着崇敬的心情我闻到了邻硝基苯酚的芳香，而紧接着的工作就是按维勒 (Wöhler) 的《有机化学概要》一书中的方法将染料转变成靛红。”正是从童年开始对化学实验的热爱，拜耳成了实验有机化学的权威。

第三节 化学人才的作用

一、精神和物质财富的生产者

化学人才是以科研劳动为主要形式的劳动者。他们既与普通劳动者具有共同特点，又与普通劳动者相区别，其区别就在于化学人才从事的科研劳动是以脑力劳动为主并结合体力劳动的劳动。化学人才是按照化学本身的需要和生产实际的需要，提出研究课题，然后使用仪器、设备等劳动工具，进行观察、实验来对物质的化学运动形式进行探索研究，从未知逐渐达到已知，最后产生化学发现和发明。可以看出，化学人才的科学技术成果主要是脑力劳动的产物。然而，化学研究成果既是精神财富，又可以物化为生产力，变成物质财富。新的化学知识在以知识形态存在时是“潜在”的生产力，而加入生产过程后就转变为直接生产力，变成物质财富。

瑞典物理化学家阿累尼乌斯的电离理论极大地丰富了物理化学的内容。同时电离理论用于指导工业电解过程，解决了工业过程中的具体问题，使氯、碱盐工业获得了飞速发展，也创造了巨大的物质财富。因此，化学人才科研劳动的结果既创造精神财富又生产物质财富。作为科研劳动主体的化学人才则既是精神财富的创造者，又是物质财富的生产者。

二、新生产力的开拓者

人类社会的发展是生产力和生产关系、经济基础和上层建筑矛盾运动的结果。在生产力和生产关系这对矛盾中，生产力是最革命的因素。所谓生产力就是人们改造自然获取物质生活资料的能力。它主要包括三方面的因素，劳动者、生产工具和劳动对象。在这三个方面的因素中，劳动者是起主导作用的因素，是生产力系统中的主体。生产力中不论是工具的制造和改进，还是劳动对象的利用和改造，都得通过人去掌握和使用，才能变成现实的生产力。劳动者并不是抽象的，而都是具有一定的体力、智力、经验和技能的人。掌握了现代科学技术知识的劳动者，一旦将新的科学技术应用于生产过程，就会物化为劳动者的生产经验和技能的组成部分，也就会导致生产工具的改革和劳动对象的扩大，从而科学技术就成了强大的物质生产力，来推动社会迅速向前发展。从人类发展的历史进程来看，只是在资本主义产生以后，科技人才才变成最新生产力的开拓者。而化学人才成为新生产力的开拓者则主要是从 19 世纪开始的。

众所周知，18 世纪至今，在世界范围经历了三次技术革命，促进了生产力各要素的巨大变革，推动了社会生产力的飞速发展。从此生产过程变成了科学应用的过程，科学成了生产的要素和职能。科学越来越成了影响社会生产力发展的决定性因素。与人类生活息息相关的化学也极大地促进了社会生产力的发展，成为影响社会生产力发展的决定性因素之一。

英国化学家柏琴(W.H.Perkin)在皇家化学学院读书时，在杰出的化学家霍夫曼(A.W.Hofmann)亲自指导下从事有机合成的基础研究，合成了萘胺。后来，他想要制取能够直接满足人们需要的化合物，于是选择了从煤焦油中制取奎宁的课题。柏琴虽然没有制成奎宁，但却无意中合成了苯胺紫，发现了一种实用价值很大的染料。第二年，他果敢地离开学校，去开办合成苯胺紫的染料工厂。仅仅用了一年时间，便建成了工厂，开创了以煤焦油为基础

的一个近代有机合成化学工业生产部门，将理论研究成果转变为直接的生产力。

格瑞伯 (C.Graebe) 和李别尔曼 (C.Liebermann) 看到 19 世纪欧洲纺织工业的蓬勃发展，引起了天然茜素染料的严重不足。于是在研究有机化合物的结构与合成时，选择了茜素作为自己的研究对象。他们弄清了茜素的结构，制得了茜素，第一次用人工方法合成了天然染料，在基础研究上取得一个突破。接着，他们马上转向实用研究，与巴登工厂的卡罗合作，发现了适于工业生产的新合成方法。不久，市场上的天然茜素便被合成茜素取而代之。

马克思曾从经济学的角度谈到这个问题，他说：“由煤焦油提炼茜素或茜红染料的方法，利用现有的生产煤焦油染料的设备，已经可以在几周之内，得到以前需要几年才能得到的结果。茜素生长需要一年，然后还需要让茜根长几年，等茜根成熟，才能制成染料。”柏琴的退学，格瑞伯和李别尔曼的转向，都使他们的基础研究很快得到推广，迅速转化为直接的生产力。

总之，化学史上的众多事例表明，现代生产力的提高和发展离不开化学上的研究成果，更离不开发现自然界规律、创造化学理论的化学人才。化学人才是开拓新生产力的一支生力军。

三、经济发展的促进者

生产力是社会生产中最活跃的革命因素，科学技术又是生产力中最活跃、最革命的部分，而掌握科学知识、能够创造新生产力的科技人才又同生产力中这个最活跃、最革命部分紧密联系着。科学用于生产，潜在的生产力转化为直接的生产力，同时也就是无形的精神形态的财富变为有形的物质形态财富的过程。进入资本主义社会后，“生产过程成了科学的应用，而科学反过来成了生产过程的因素即所谓职能。”所以说，“科学获得的使命是：成为生产财富的手段，成为致富的手段。”由于化学人才既有理论化学人才和应用化学人才，又有两栖化学人才，所以理论化学的研究成果能够迅速地推广应用，成为现实的生产力，满足人们一定的生活需要。加之两栖化学人才经营有术、生财有道，所以也就使相应的生产部门很快地收到经济效益，从而就加速和促进了经济社会的发展。

马克思说：“化学的每一个进步不仅增加有用物质的数量和已知物质的用途，从而随着资本的增长扩大投资领域。同时，它还教人们把生产过程和消费过程中的废料投回到再生产过程的循环中去，从而无需预先支出资本，就能创造新的资本材料。”不少化学人才善于研究那些生产者不知其性质、学者不知其用途的“废物”，使化学工业“不仅发现新的方法来利用本工业的废料，而且还利用其他工业的各种各样的废料。例如，把以前几乎毫无用处的煤焦油，变成苯胺染料，茜红染料(茜素)，近代甚至把它变成药品。”

当初，蒽原是煤焦油中的副产品，每吨不过 9 先令。但自格瑞伯和李别尔曼

J.R.柏廷顿：《化学简史》，商务印书馆，1979年版，第327页。

《化学发展简史》编写组：《化学发展简史》，科学出版社，1980年版，第185—189页。

马克思：《资本论》，第3卷，人民出版社，1975年版，第85页。

马克思：《机器、自然力和科学的应用》，人民出版社，1978年版，第206页。

马克思：《资本论》，第1卷，人民出版社，1975年版，第664页。

马克思：《资本论》第3卷，人民出版社，1975年版，第118页。

合成茜素后，蒽作为重要的工业原料，每吨竟涨价到 1 百镑。

李比希既在有机化学的“原始森林”中开辟道路，又为农业化学和生理化学奠基。他先后创办的化肥公司及“肉精”、婴儿代食品等企业，开发新产品，变废为宝，创造了不少财富。“李比希也曾述说英国的化学工厂主对化学惊人地无知。”像格瑞伯、李别尔曼、柏琴、李比希等这样有远见的化学人才，不仅科研有方，而且开发、经营有术。他们经营管理的化工企业，大都具有产品新、质量高和经济效益良好的特点。

20 世纪以来，一些有远见的化工企业的经营者，也很注重招聘一些化学人才作为学术带头人，让他们领导和参与基础与应用的结合研究。第一次世界大战后，欧美各国市场上丝织品相当紧张。美国的杜邦公司 1927 年就决心研制合成纤维。1928 年他们聘请卡罗瑟斯担任公司的有机化学研究小组组长，负责领导聚合反应的基础研究和合成纤维的实用研究。为这项研究，杜邦公司大约投资二千七百万美元。卡罗瑟斯在缩聚反应理论及反应历程，和尼龙的研制及工业生产方面，都取得重大成就。尼龙产品投放市场后，大受消费者的欢迎。以后，在二次大战期间，其它纤维纺织品的销售量一度锐减，而尼龙织品市场却一直保持兴旺。杜邦公司因此而发了大财，美国的有机化学工业从此有了新的良好的开端。

实际上，化学人才对经济社会的发展作出的巨大贡献，并不仅限于这个方面。他们的成就，对于经济社会还有理论上更为深刻和持久的影响。

近代自然科学产生时期，不少从事基础研究的科学家，如布鲁诺、哥白尼、伽利略等人的学说，由于触犯了反动阶级的利益曾遭到强烈反对。后来，基础研究的成果直接触犯人们切身利益的情况是越来越少了。而应用研究的成果却一直紧密联系人们的切身利益。可以说，基础研究对于社会的意义较为深刻，而应用研究对于人类的意义则较为直接。所以，基础研究的成果往往为进步的哲学提供根据，而应用研究的成果则为革命的政治学说提供根据。

李比希不仅在基础研究中探索纯自然关系问题，而且在应用研究中也关心人与自然的关系问题。马克思和恩格斯在他们的著作或通信中，提到李比希或引用李比希著作的地方多达 30 余处。尤其是在《资本论》这部伟大论著中，马克思非常重视李比希用化学观点研究农业和人的营养生理所取得的成果。马克思引用了李比希著作中指出的南美洲的雇主把矿工“当作牛马，强迫他们吃豆子，豆子含磷酸钙比面包多得多的材料”；引用了李比希关于“人的发育由于自然条件或社会条件而受到妨害，人体就会缩小”的材料。马克思认为，“李比希的不朽功绩之一，是从自然科学的观点出发阐明了现代农业的消极方面。”马克思在谈到对地租理论进行探讨的问题时指出：“德国的新农业化学，特别是李比希和申拜因，对这件事情比所有经济学家加起来

丁绪贤：《化学史通考》，下册，第 2 版，商务印书馆，1951 年版，第 634 页。

马克思：《资本论》，第 1 卷，人民出版社，1975 版，第 424 页。

申璋：《简明科学技术史话》，中国青年出版社，1981 年版，第 361 页。

《自然杂志》，1982 年，第 5 期，第 290 页。

马克思：《资本论》，第 1 卷，人民出版社，1975 年版，第 628 页。

同上，第 117—118 页。

马克思：《资本论》，人民出版社，1975 年版，第 553 页。

还更重要”。李比希把基础研究和应用研究结合起来所取得的成就，客观上为马克思的经济学说提供了部分深刻、具体的论据。显然，李比希的这些成就，经马克思引用、阐发后，对于从理论上武装人类最进步的阶级，从根本上推动经济社会的发展是有积极意义的。

四、知识的继承者和创造者

科学技术是全人类共同创造的精神财富，它具有时间上的继承性和空间上的积累性。任何时代科学知识的总和都不但是对前人科学技术成果的继续和发扬，而且有新的创造和发展。同样，任何时代化学知识的总和也包括对前人科学技术成果的继承和发扬以及新的创造和发展。也就是说，化学人才把前人已获得的化学研究成果、已完成的化学技术发明以及行之有效的科学方法等有用的科学技术遗产都继承下来，通过各种途径去改革、创新，取得新发现获得新理论、新方法，使自身成为一代新的化学人才，然后将化学知识及研究成果传授给下一代。具有远见卓识的化学人才都是育人者，他们深知只有把知识一代一代相传，一代一代的接力，才能使人类的科学技术源远流长、万世常新。

通常，化学人才的少年和青年时代都在刻苦求学、拜访名师的艰辛途上度过。这一过程正是他们接受已有化学知识的教育和训导，继承前人知识的过程。这一过程完成之后，他们往往开始传授化学知识，全面开展创造性研究的科学生涯。

瑞典化学家贝采里乌斯年幼就失去了双亲。为了满足自己的好学志愿，他常常为学费和生活费而四处奔走，遍尝了精神上、物质上的痛楚。当他成为一名教师之后，他一方面深入开展化学研究工作，探索未知的化学领域，另外他还亲自为学生编写教材，接受热爱化学科学的人到他的私人研究室工作，培养新的化学家。德国的 C. 格梅林、米希尔里希、F. 维勒等都曾是贝采里乌斯的学生，后来都成为德国化学界居领导地位的人物。

德国化学家李比希从少年时代起就做了大量的化学实验，并自学各种化学知识。他曾就读于波恩大学、爱尔兰根大学和索邦大学，得到过许多名师的指点。当他成为一名教师后，大力推广理论化学知识与实验相结合的新的教学方法，培养了大批化学人才。A. W. 霍夫曼、凯库勒等都是李比希的学生。李比希不仅是一位出类拔萃的教师，而且是有机化学、农业化学等领域的开拓者。

化学正是通过化学人才的相传、接力，才有了它的发展，才发挥了它的巨大的社会作用。

第四节 化学人才的成长

化学人才的成材途径，大体可以分为以下三种形式。

一、一贯师承

所谓一贯师承，是说一个人的发展或整个成长过程，一直是接受系统教育和始终是在老师的引导之下实现学业目标，走上了专业岗位并做出了贡献。这一过程，除了婴幼儿教育之外，包括小学、中学、大学以及研究生等全部教育过程。这是一个目标明确、阶段明确，既连续又有节奏的人才培养系统工程。许多化学人才、尤其是现代化学人才，大多是通过这条途径获得成功的。美国著名理论化学家鲍林(L.C.Pauling)、英国著名有机化学家托德(A.R.L.Todd)等都经历过这种途径的教育。

二、优势选择

人才的成长过程，常常出现这种情况，科学知识已经打下了同样的基础，但在工作中表现却大不一样。有人在实践中取得了良好的成绩，有的却是平平常常，没有起色。为什么呢？第一个原因，虽然学得的知识一样，每个人的才能却不一样，单有知识而缺少才能就不可能成材。第二个原因，每个人都有自己的长处和短处，如果工作中没有起色，可能因为从事的工作不是自己的优势所造成的。

一个较为成熟的科研人员，一般都有自己的某种优势，就是人们所说的长处。有的人在没有发挥其才能时，常常还不认识自己的优势。只是默默无闻地去从事自己并不十分情愿，也无多少兴趣，勉勉强强过得去的工作。有的因为环境所迫，形势的驱使去从事某一行工作。可是这种环境往往不能显露其才华。如果没有转机，就这样庸庸碌碌虚度一生也大有人在。事实上每人都可能发挥自己的优势，就看是否有自我认识。一旦认识了自己的优势，并对自己的发展方向进行适当的调整，完全可以大显身手做出一番事业来。这也就是人才成长的优势选择之路。诺贝尔奖金获得者、美国化学家萨姆纳(J.B.Sumner)17岁时失去左手，同时他的家庭又希望他学文科、读书做官，可他自己却是个自然科学迷，尤其喜爱化学。在排除了种种障碍、克服了常人难以想象的困难之后，他开始了化学研究生涯，经过多年的艰苦努力，终于在酶化学的领域作出了卓越的贡献。瑞典化学家阿累尼乌斯在中学学习时，数学、物理成绩优异。进入大学后他专攻物理学，但当他选修了化学之后，他毅然转向化学，开始进行化学研究。阿累尼乌斯一生创立了电离理论，奠定了物理化学的基础，并荣获了1903年度诺贝尔化学奖。

三、勤奋自学

在众多卓有成效的科学家之中，尚有相当一部分人由于主、客观条件的限制，不能按部就班地接受系统的教育，只能靠自身勤奋努力的自学去奠定必需的科学基础，但在科学生涯中他们同样获得了成功。这就是人才成长的勤奋自学之路。德国著名化学家维勒从小就对化学、矿物学感兴趣，尤其热衷于化学实验。由于种种原因，他一生未曾听过大学的化学课。但通过多年坚持不懈的勤奋自学和化学研究，终于成为著名的有机化学权威。

以上三类化学人才的成长途径各具特色，但大体上可概括为以下四个成长的阶段：1.准备阶段。这个阶段从学龄前、小学、中学到大学的求学阶段。在这个阶段大约经过16年左右的学校教育或勤奋自学初步奠定牢固的基础知识、研究方向和能力。2.成长阶段。这个阶段可以是在大学毕业后取得博

士学位，又出国或在国内名师的指导下，在优良的实验条件下进行一段时间高水平的科研实践，把研究问题的能力提高到世界先进水平。3.突破阶段。在这个阶段，学术水平高、精力充沛、创造力旺盛，并取得重要突破。4.持续阶段。在科学研究中取得重大突破后，并不就此偃旗息鼓，而是继续前进作出更多的成就，同时又培养出一代年轻的著名科学家，或者从事著书等研究工作，把该国或世界的学术水平推向一个新的高度。

从上述化学人才成长道路的四个阶段来看，前两个阶段是基础。如果前两个阶段达不到应有的水平，也就谈不上有后两个阶段。而前两个阶段正是家庭，教师和学校等几个方面综合教育的结果。家庭是人生面临的第一个课堂，家庭教育的好坏直接关系到一个人能否健康成长。化学人才成长的家庭环境各式各样，既有出生于书香门第，自幼就受到重视读书的教育和潜移默化影响而养成刻苦学习、热爱科学的化学家；又有出身贫寒，但却十分珍惜学习机会和勤奋努力学习而终于成材的化学家；还有出生于富有之家，青少年时期曾一度是纨绔子弟，而后受挫，浪子回头，走上奋发图强正路，做出卓越贡献的化学家等等。尽管化学人才出身的家庭环境不尽一致，但有一点是一致的，即家庭从小教育子女养成热爱科学、刻苦学习的好习惯。离开家庭，走向学校，教师即成为影响学生成材的关键因素。教师的教育、引导批评和鼓励对青少年学生的影响很大。大多数化学家的成长，都离不开教师的积极关心、教育和正确引导。德国化学家威尔斯泰特(R.Willstätter)曾自恃聪明，自以为是，傲不尊师，但被教师拜耳严加训斥、并提出许多细小的问题以后，由于他均无以对答，张口结舌，从而再也不敢骄傲狂妄，改变了学习态度，开始勤奋踏实学习，终于在生物碱和植物色素研究方面作出了卓越的贡献，并荣获1915年度诺贝尔化学奖。当凯库勒初到李比希的实验室开始研究生活时，李比希曾对凯库勒说：“你要想做一个化学家，非得拖累你的健康不可，否则，在今日的化学界里是做不出任何成就的。”凯库勒一生忠实地遵循老师的教诲，每天只睡三、四个小时，有时甚至通宵读书。就是这样，凯库勒成为有机化学的大师。

除了教师因素之外，学校教育的好坏主要取决于教育制度。无数科学家成长的实例表明，教育制度上的灵活性，有利于才华出众的优秀学生在最适合发展他的才能的条件下成长，有利于培养和发挥他的特点和优势，培养杰出的科学人才。许多化学家的成长与教育制度上的灵活性是分不开的。维勒在海德堡大学学习期间，尽管他所学的专业是医学，但考虑到他的擅长和爱好，校方还是给他提供了实验室，让他在医学的全部余暇时间里从事化学实验研究。正是这一时期的研究工作，为维勒的化学研究生涯奠定了坚实的基础。英国化学家马丁(A.J.P.Martin)少年时期想当一名化学工程师。为此他在考入剑桥大学后，曾专心攻读化学、物理、矿物学及数学等课程。但是，随着知识面的扩大和对科学的深入了解，逐渐发现自己的真正兴趣是生物化学，而不是化学工程。于是，他决定改变自己的主修科目，专攻生物化学。学校也立即准许他改变所学专业。从此他步入了生物化学研究的生涯，作出了卓越的贡献，并荣获1952年度诺贝尔化学奖。

我国国土上没有生长出一位诺贝尔奖金获得者，一方面说明我国的科学落后，另一方面也暴露出我国教育事业上存在的两个严重问题。一个问题是过去没有认识到教育事业的战略意义，或是认识很不够。不过这个问题从十一届三中全会以来，已经从中央的认识上解决了，并正在向下贯彻执行。另

一个问题是在教育制度上的某些弊病。在前一个问题解决的情况下，后一个问题就显得更为突出。如学生从小学到中学始终面临升学的激烈竞争，难以顾及个人的爱好，很不利于杰出人才的培养。在大学里，一旦选定某个主修专业，中途想要改修另一个专业是十分困难的。影响了才华出众学生的迅速成长。因此，在制订我国教育发展战略时，必须注意在普及全民教育的基础上，以培养高质量的科学技术人才、创造优良的人才成长环境为主要目标。这样就会尽可能早地实现教育的腾飞，为科学技术赶上世界先进水平奠定基础。

从化学人才成长的后两个阶段，尤其是第三个阶段来看，要求有优越的工作条件，主要是设备条件、信息条件和其它必需的物质条件。这些是重要的保证性条件，也是吸引人才的主要条件。从世界科学中心转移规律来看，一个国家之所以成为科学研究的中心，与其政府重视科学技术和教育，创造良好的研究环境是分不开的。而教育的迅猛发展又会促进科学技术的腾飞，从而创造巨大的物质财富。在目前我国经济基础薄弱、科学技术和教育还很落后的情况下，只有用尽可能多的资金发展教育事业，创造高水平科学研究所必需的设备、资料和科学工作者所必需的良好生活条件，才能从根本上改变教育的面貌，克服发展中国家普遍面临的人才外流问题，培养出优秀的科学家。

第十八章 美国化学发展论

化学在美国的历史与发展状况，和在欧洲相比，既算不上历史悠久，又无深邃的自然哲学思想的演化。但是，它的发展进程表明，美国化学有其鲜明的、与欧洲化学不同的自身特点，正因为这样，目前，越来越多的学者在开拓美国化学发展这一新的研究领域。

看待美国化学发展，我们不得不承认这样一个无可争辩的事实。这就是，自 1914 年美国化学家首次为美国获得诺贝尔（A. B. Nobel，1833—1896）化学奖以来，在随后的 70 多年里，荣获此项世界化学殊誉的美国化学家，在数量上急骤增加，美国化学已经成为世界化学研究中心，而且在美国科学研究中，也占据着中心位置。

第一节 英国化学的移植

科学在美国的孕育和诞生，从根本上来说，与独立战争前后的美国著名政治家、自然哲学家富兰克林（B. Franklin, 1706—1790）息息相关。富兰克林不仅沟通了美国和当时欧洲科技发达强国，尤其和英国、法国的科学信息，而且他对电学的杰出贡献也首次使美国科学在某一方面和欧洲同行平行发展，随之也就架起了美国人在科学上通往欧洲大陆的“桥梁”。美国独立战争后，富兰克林受国会派遣赴欧洲考察，进而出任外交使节，其间，富兰克林了解了欧洲大陆上发达的化学基地——苏格兰地区和巴黎，又结识了一大批包括著名英国化学家普里斯特列（J. Priestley, 1733—1804）在内的科学界同仁；在提供科学于美国成长的土壤方面，富兰克林早年留学英国时组织的美国学生第一个学术社团“琼托”（Junto），除探讨政治问题外，他们还广泛讨论自然哲学问题。它基本上成了美国科学在以后发展过程中的组织基础和思想基础；像富兰克林本人就一再强调，科学理论和实验具有相同的重要性；而他向美国政府举荐的一些欧洲有名的科学家，加上移居美国的科学家，直接成为了美国科学发育的种子。

在19世纪以前的美国，相信和献身科学的人是少数；化学作为自然哲学的一部分，在那里基本上被包含在自然史、自然哲学和稍后的医学课程中，故没有明确的存在形式。1765年，在富兰克林倡导的摆脱陈腐观念束缚的影响下，新建立的“费城医学院”，成为美国化学在那一时期最先被孕育的土壤。

一、牛顿哲学的影响

殖民地时期，这主要是指美国独立战争爆发以前的时期。哥伦布（C. Columbus, 1446—1506）发现的这片“新世界”，最初在欧洲就意味着无限的财富，因而，从一开始，欧洲殖民者到此的主要动机，就是开发和掠夺这块陆地的丰富资源。从而自然地，化学在这里的最初形式就同矿石的开采和分析密切相关。

在英国殖民者最终成为这块陆地的统治者后，英国文化开始传入这块最大的海外殖民区域。1776年，美国独立战争爆发前，英国文化主要聚集于美国东部的英格兰地区，集中体现在当时13个殖民地的语法学校和文科学院。当时的高等院校数目不过10来所，即使是到了18世纪初期，开设有与化学内容相关课程的学校也仅有9所。因此，在18世纪中叶前，在美国应该说不存在化学鲜明的表现形式，因为即使是当时与化学知识相关的医学课程，不仅使化学在课程的设置中处于次要位置，而且它几乎也附属于自然史和自然哲学课程。18世纪初期，和欧洲流行的思想潮流相一致，流行在美国那些学校中的思潮也主要是在英国物理学家牛顿（I. Newton, 1642—1727）的经典力学成就上扩大而成的机械论哲学，教授们主要引入牛顿哲学思想，照搬了牛顿关于物质研究的部分结果，基本上忽略了对医学（化学）的讲授。

因此，殖民地时期的美国化学，只能算是一种与开发资源这一目的联系

W.J. Bell: 'The American Philosophical Society as a National Academy of Science', 1780—1846, *Proceedings of the 10th International History of Science*, pp. 165—175 (1962)。

L.C. Newell: 'Chemical Education in America from the Earliest Days to 1820', *J. Chem. Educ.* 53, p. 402. (1976)。

在一起的知识，或为一种分析化学雏型和牛顿自然哲学的混合物。

正象移民组成了美国社会单元那样，美国化学的孕育也主要受到外在化学思想的影响。这就是下述的美国化学发展的苏格兰化学传统。

二、苏格兰的化学传统

18 世纪末叶和 19 世纪初期，西方化学中心主要出现在欧洲大陆的巴黎和英伦三岛的苏格兰地区，而对美国化学的孕育起主要作用的是苏格兰的化学声誉，以及那里的爱丁堡(Edinb-urgh)大学和格拉斯哥(Glasgow)大学。富兰克林和另一位著名美国政治家杰弗逊(T. Jefferson, 1743—1826)对爱丁堡大学给予了高度评价，认为它不仅“拥有划时代的知识结构和教授”而且“是在世界上难以找到与其抗争的一个地方”。因此，这一地区对美国科学学生的吸引力是巨大的。

苏格兰化学拥有其自身特殊的五种组成部分，作为一种有序结构，它在这一时期比法国巴黎化学更能吸引美国学化学的学生。研究表明，美国化学的孕育过程的确主要是沿着苏格兰化学模式进行的，而一批美国早期化学家代表人物的实践，正是苏格兰化学在美国作为一种传统的存在形式。

18 世纪末叶，美国的科学中心是费城和纽约。在费城最早开展了化学教学，并有了全美第一位专职化学教授拉西(B. Rush, 1745—1813)；在纽约，从欧洲传来的燃素说与其对立面展开了争论，并拥有著名的化学及自然史教授米切尔(S. L. Mitchell)。拉西和米切尔既是美国化学孕育时期的代表，又是苏格兰化学传统在美国的典型体现者。

享有美国“化学之父”的拉西，在 1766 年依照费城医学院创建者摩根(J. Morgau, 1735—1789)的建议，请他准备在学校主讲化学课以后，开始去苏格兰爱丁堡大学跟随著名化学家布拉克(J. Black, 1728—1799)学习化学。1768 年，拉西获医学博士学位。在写作论文期间，拉西游览了法国巴黎，并在那里结识了一批法国化学家。回英国后，又在英格兰参观了医院和考察了化工厂。1769 年返美后，拉西被费城医学院任命为全美第一位专职化学教授。1770 年，拉西仿照他导师布拉克的教学讲义，在美国出版了第一部化学著作。在化学课程的讲授上，拉西几乎全部照搬了布拉克的教学风格，但忽略了他的导师十分重视的演示实验。拉西偏重于向学生介绍化学史和化学在医学上的应用。后来，拉西的主要兴趣和精力由化学转向医学和政治，不过，主要由于拉西的化学声誉，费城在 18 世纪末叶成为美国化学中心。

1786 年，米切尔在苏格兰爱丁堡大学跟随布拉克学习获得医学博士学位，回到美国后在位于纽约的国王学院任化学、自然史和农业教授。1797 年，米切尔创办了《医学之家》杂志，专门刊载各门学科的文章。《医学之家》成为化学在美国孕育的主要催产素，在着重传播苏格兰化学，尤其是讲授布拉克化学课程的同时，米切尔还适时地传播了法国新化学思想。

对苏格兰化学组成部分中的“哲学化学”(Philosophical Chemistry)和实用化学，美国充分显示了对苏格兰化学的选择性，并以苏格兰传统的最终表现形式——孕育出了以实用性为特色的这一时期的美国化学。

苏格兰化学学派的代表人物古伦(W. Cullen, 1712—1790)强调用以太粒子来解释化学反应。他和布拉克对气体化学和热现象的研究，可以说构成

了 1760—1800 年时期的苏格兰化学史。布拉克在热现象定量研究的基础上，不仅提出了“潜热”和“比热”概念，而且还对热赋予了哲学解释——热是一种可测量的物质运动。哲学化学实际上是当时牛顿机械论哲学与伴随苏格兰启蒙运动兴起的苏格兰哲学在苏格兰化学中的表现形式。它集中体现着苏格兰化学在化学理论探讨方面的水平。但是，就像拉西在照搬布拉克教学方式中抛弃具有解释理论作用的演示实验一样，美国化学家们从一开始就忽视了化学理论方面的东西，而是乐于接受实用性强的化学知识和技能。所以，在苏格兰化学传统中，实用化学是主要标志。这种特征主要产生于苏格兰化学中发达的实用化学成分，像古伦和布拉克，两人都对苏格兰亚麻工业中的漂白问题进行过多次的研究。

苏格兰化学传统作为美国化学孕育的时期的化学家的实践活动表现，除表明美国本土出生的美国化学家做有工作外，还蕴含着另一种表现美国化学孕育时期的内容，这就是在这一时期中主要来自英国的移民化学家。这一特征从一开始就为美国化学的发展打下了深深的烙印。

三、英国化学家的移入

由于当时美国大陆是欧洲人心目中的“新世界”，这样一来，自然不乏历年移居美国的各种移民。从科学的角度看，移民中受过良好科学教育的人，无疑也使美国化学在这一时期得到充足的人才。

早期美国的移民化学家，归纳起来主要来自英国的三种渠道。

首先，苏格兰化学传统在这一时期的美国存在和传播过程中，尽管主要体现于像拉西和米切尔这类美国本土化学家的实践活动中，但实际上苏格兰传统在逐渐显露时还受到一些苏格兰本土的化学家的推进。他们要么在美国巡回讲学，要么受新世界本身的诱惑和富兰克林在苏格兰的宣传，使得有一些苏格兰化学人员陆续移居美国，并继续从事化学活动。自然，他们的实践对苏格兰化学传统的存在起着和那些美国本土化学家相同的作用。像新泽西学院（普林斯顿大学前身）化学教授、苏格兰人麦克林（J. Maclean, 1771—1814），曾是布拉克的一位学生，他到美国定居后，不仅广泛传播苏格兰化学，而且还积极参加反燃素说的争论，成为在美国宣传法国新化学思想的代表人物。

其次，18 世纪下半叶陆续爆发的美国独立战争（1776 年）和法国大革命（1789 年），不仅在欧洲加剧了宗教和封建制度、民权和专制等多种对立面的矛盾，而且直接造成了人口分布的重新调节，这在欧洲大陆和英伦三岛尤其如此，“新世界”直接成了欧洲特别是英国人躲避祸乱的理想场所。于是，在大批因种种原因移居美国的移民中，就出现了像当时英国著名化学家普利斯特列和库帕（T. Cooper, 1759—1839）这样必将对美国化学产生某种积极影响的人才。值得注意的是，1794 年普利斯特列移居美国宾夕伐尼亚州时，

J.R.R.Christie : The rise and fall of Scottish science , The Emergence of Science in Western Europe , M.P.Crosland , ed. , N.Y.pp.111—123 (1976) 。

D.Feby : Chemistry during the Scottish enlightenment' , Chem.Brit.22 , pp.1015—1016 (1986) 。

E.V.Armstrong : Henry Moyes : Scottish chemist , His visit to America , 1785—1786 , J.Chem.Educ.24 , p 169. (1947) 。

M.E.Kapp : Some Early American Students of Chemistry at the University of Edinburgh , 1750—1800 , J.Chem.Educ.18pp.558—559 (1941) 。

他实际上已是美国在当时唯一能和欧洲同行相比的大科学家。不仅是因为当时伟大的富兰克林已逝世，而且还因为他在化学和电学方面的杰出成就。显而易见，在米切尔的《医学之家》杂志上出现的反燃素说和燃素说之间的争论，实际上表明化学在美国通过苏格兰化学传统的作用已初步成形。因为，起码在这里我们可以看到明确的对立的化学学说之争。所以，无论那种论争的结果如何，对化学在这孕育时期的生长总是起着积极的作用的。

第三，就是富兰克林通过对欧洲的了解后竭力向美国政府举荐的那些欧洲的包括英国的化学家，正是在这种意义上，富兰克林对美国化学的发展起着基石的作用。

移民化学家的相互交流，取长补短，势必加快美国化学发展的进程。

这种特性加上前述的两种化学表现形式，推动着美国化学从孕育时期进入诞生时期。

第二节 早期的实用化学特征

这一时期的美国化学与欧洲化学相比，更加在医学课程中强调化学的作用。拉西在医学课程中大量介绍化学史知识，米切尔的医学杂志成为美国化学在当时新英格兰地区传播的媒介。美国化学的诞生过程几乎可以说是紧紧跟随欧洲化学的结果。当欧洲化学在 19 世纪中叶已初步发展为一种职业时，美国化学才刚真正出现。欧洲化学在这一时期的发展趋势，是在方法上强调定量的实验分析；在思维上沿引道尔顿的原子论和阿佛加德罗的分子假说，以及普劳特 (W. Prout, 1785—1850) 的氢原子构成元素的假说等。因此，美国化学虽然紧跟欧洲化学，但它还达不到和欧洲化学的平行发展的水平，只能说它刚刚诞生。我们将看到，美国化学的诞生是具有其鲜明的美国特色的。

一、“史立曼”的化学传播

“史立曼时期”是指在 1820—1870 年期间，美国科学发展所达到的一个新阶段。它是耶鲁大学化学教授史立曼 (B. Silliman, 1779—1864) 在美国宣传和普及科学知识的结果。“史立曼时期”的到来，使美国化学的发展进程出现了一种转折点。

1802 年，耶鲁大学鉴于当时化学教育陆续出现在美国高校课程中的形势，任命了史立曼为化学教授。值得注意的是，史立曼本人不是一位接受过苏格兰化学培养的学者，而是一位律师。为了能胜任化学教授这一职位，史立曼专程到当时的美国化学中心费城去听拉西及其学生伍德豪斯 (J. Woodhouse, 1770—1809) 的医学课，后又去普林斯顿大学接受苏格兰化学家麦克林的化学指导。史立曼还利用去欧洲为耶鲁大学购置化学仪器的机会，结识了当时一批有名气的欧洲化学家，像道尔顿和戴维 (H. Davy, 1778—1829) 等人。毫无疑问，史立曼带回了大量有关欧洲化学近况的信息。

通过感知和接触化学，史立曼在深感科学普及对美国有着重要作用的同时，尤其对化学和一些其它学科的知识传播产生了浓厚兴趣。对化学来说，史立曼采纳了英国化学家的化学讲座形式，在美国各州进行化学巡回讲演，向观众尽力展示化学的实用性，盛况空前。1818 年，他又创办了《美国科学杂志》，力图刊登各种学科知识的文章。同时，史立曼像 18 世纪的富兰克林一样，鼓励美国年青一代去欧洲各国留学，以使美国的科学广泛开展起来。

史立曼后来尽管其兴趣转向地学，且没有留下丰硕的科学著作，但他的确是一位被载入美国科学史册的杰出的知识传播者和优秀教师。由于他不懈的努力和工作，并在美国科学发展中形成了“史立曼时期”，推动美国化学跨越了欧洲化学发展近百年的时间，成为美国化学诞生的一个主要因素，及至 19 世纪中叶，美国化学已逐步出现了较为合理的专业分化。

二、实用化学教育兴起

“史立曼时期”到来后，美国陆续出现了一些专业科学团体，如在费城有北美地区最早的化学专业团体“费城化学会” (1792—1802)， “美国科学促进会” (American Association for the Advancement of Science) (1847 年)。这种局势说明，实用性科学和当时社会生产的发展相一致。于

是，开始出现了一些新成立的或在已有的学院基础上形成的，以讲授实用科学为主的科学学校（Scientific School）。这类学校由私人资助。此外，在欧洲，自从1825年德国化学家李比希（J.Liebig, 1803—1873）开始形成“吉森学派”以来，化学已经成了19世纪欧洲科学的主要内容。由于这一影响，所以在19世纪中叶左右美国出现的科学学校中也就出现了主要讲授实用化学的课程。

在美国，1829年，伊顿（A.Eaton, 1776—1842）创建了第一所科学学校——雷赛勒尔学校（Rensselaer School）。伊顿曾受教于史立曼，他办学的动机和目的主要来自于他对化学实用性的兴趣。他本人是雷赛勒尔学校的“应用化学”教授。这所学校致力于讲授实用化学和工程达20年。它的办学宗旨深受社会的欢迎。1846年，耶鲁大学的史立曼通过种种努力，创建了以诺顿（J.P.Norton, 1822—1852）为代表的“耶鲁大学谢菲尔德科学学校”，专门开发实用化学和农业化学，鲜明地体现了美国化学的实用思想。仿照耶鲁大学这所学校的模式，次年哈佛大学在劳伦斯（A.Lawrence）的支持下，组建了哈佛大学的“劳伦斯科学学校”。该校聘请了一批留学德国的学生为教员，讲授食品化学。

美国的这种科学学校，实际上类似于英国在工业革命时期涌现的技工学校。后来，有相当一部分这种科学学校发展成了20世纪的技术学院、理工学院，或者被并入了大学中。这种科学学校强调实用化学的一个突出效果，就是开辟了美国化学实验教育的新篇章。

三、实用化学特征的形成

如果说苏格兰化学传统主要在美国化学孕育时期体现了实用性的趋向，那在这一诞生时期中，美国化学对实用性的要求就已成了它特有的记号。在前二部分内容中，实际上已经较充分地展示了这种美国化学的实用性标记。只是必需说明的是，主要是由于谢菲尔德科学学校和劳伦斯科学学校的影响，其它美国高校才陆续在医学和化学课程中把化学的实用知识放在了比较重要的位置。

美国化学在孕育时期和诞生时期中，从关心实用化学知识到把实用化学提高到能代表美国化学诞生标记的程度，部分地是因为拉西和米切尔在苏格兰化学传统中几乎完全抛弃了苏格兰化学的哲学成分；部分地是因为史立曼在全美巡回讲演，传播化学知识的影响。对当时的美国人来说，实用性化学知识既合乎当时工业百废待兴的需要，又易于让人掌握。关于这一点，1792年在费城建立的第一个专业性化学组织“费城化学会”的宗旨，就强调免费为全体公民提供矿物分析服务，以鼓励人们积极地开发自然资源。而那些先后去欧洲各国学习化学的学生，实际也大多对欧洲国家有关化学化工产品的制备感兴趣。尤其是19世纪中叶德国化学和化工的崛起，更使美国化学意识到，它的重视实用化学的思想是同化学的时代发展相吻合的，从而获得了进一步发展的动力。值得注意的是，美国化学诞生时期重视实用化学的倾向，为美国实用主义哲学观在美国南北战争（1869）开始不久的萌芽提供了生长的土壤。

第三节 振兴美国化学的途径

美国化学诞生以后，原本可以沿着实用化学的方向走下去，但是 1869 年的南北战争不仅中断了科学家个人的进一步研究，而且也影响了整个美国科学进程，使得科学水平和欧洲相比仍然处于落后地位。化学也不例外。这可以从第一次化学国际会议——卡尔斯鲁厄会议的召开过程中看出，当时虽已有不少美国学生在欧洲留学，却没有一名美国代表出席这次国际化学会议。可见美国化学依然落后于欧洲化学。事实上，这次会议的主题正是讨论美国化学自诞生以来最贫乏的基础理论问题。

正像独立战争的结果无形地使美国化学的孕育远离化学理论一样，南北战争也不仅使已诞生的美国化学继续隔离理论，而且更使美国人感到了继续学习欧洲化学新内容的重要性。在 19 世纪下半叶这一美国历史重建时期，化学和社会发展的共振，使得美国化学在南北战争中和以后迅速成长起来。

一、第二代化学家的培养

我们已经看到了苏格兰化学传统对美国化学发展的作用。它间接表明，在那时的欧美化学知识中，美国化学主要吸收了苏格兰化学，但这并不意味着拒不接受法国新化学。事实上，正象我们已知道的，美国化学还在孕育时期就兼容了 18 世纪欧洲的化学体系结构。特别是在 19 世纪中叶以后，欧洲化学中心逐步漂移到德国。1869 年，德国化学家霍夫曼(A.W.Hofmann, 1818—1892) 从英国皇家化学院返回德国后，将新兴的英国染料工业基础知识在德国传播，使德国染料工业不久就出现了超过英国的现象。德国不仅拥有象李比希和维勒这样当时闻名于世的大化学家及其第一流的化学实验室，而且还涌现出一大批声誉卓著的大学。它们吸引着世界各地的学生。

美国化学似乎对欧洲化学中心的漂移很敏感，就像 18 世纪后期大批美国学生前往苏格兰随苏格兰著名化学家学习一样，南北战争前后就已经有相当部分的美国人赴德国跟随李比希这样一些著名化学家学习化学。

当李比希在 1875 年从吉森大学转往慕尼黑大学时，接受过他指导的美国学生有 18 名；在 1852—1873 年期间有 34 名跟随李比希学习，其中 17 名获博士学位。维勒实验室中近 80 名美国学生，获得博士学位的占 30 名。这些拥有德国化学博士学位的美国学生，在 19 世纪下半叶陆续回国后，成为美国化学界的第二代欧洲派化学家（相对留学苏格兰和巴黎的化学家而言）。

第二代美国欧洲派化学家的出现，反映出美国化学发展中对欧洲化学中优质成分的吸取，无疑它将尽快使美国化学和欧洲化学之间的距离缩短。不过，应当指出，留学德国归美的那些美国人，并没有普遍汲收德国化学中固有的那些哲学东西，像黑格尔和谢林的自然哲学思想对化学的作用。

二、理论化学研究的起步

展现 19 世纪下半叶化学理论研究水平高低的则莫过于对物理化学的研究。自 1887 年德国化学家奥斯特瓦尔德和荷兰化学家范特霍夫创办标志物化诞生的《物理化学杂志》以来，化学科学的理论研究开始进入新时期，纯化学的观念开始渗入化学实践活动过程。

幸运的是，美国化学在这一时期出了一位可以同欧洲同行相媲美的人，这就是继美国物理化学研究先驱者科克(J.P.Cooke 1827—1894) 之后的吉布斯(J.W.Gibbs, 1839—1903)。不过，科克把自己的研究内容叫做“化学物理”，美国本土培养出的第一位哲学博士吉布斯，在担任耶鲁大学新设置的

数学物理教授职位期间，对物理化学做出了在当时不仅美国化学界认识不到，而且在欧洲也不为多数人意识到的卓越贡献。1877年，吉布斯通过对溶液理论的研究，提出了关于溶液理论的高度数学化模式“相律”。它几乎囊括了这一领域的全部基础知识，对实际化工生产也具有指导意义。所以，吉布斯相律在美国和欧洲逐渐被承认的过程，实质上也是美国化学在成长时期理论研究方面起步的主要表现。

此外，还有美国化学家对元素周期性的探讨。1854年，科克在哈佛大学公开宣传他发表的一张元素分类表；1867年，美国化学家洪特(T·S·Hunt, 1826—1892)在英国首次进行关于原始地球化学机理的讲演。1882年，洪特又用牛顿的“以太”粒子思想，探讨了大气层中碳酸的来源；到了19世纪末期，美国化学的理论研究集中在对原子的认识和原子量的测定方面。

需要指出的是，美国化学在理论方面的起步，并不与它以往重视实用化学的倾向相冲突。实际上，随着理论研究的起步和德国化学的进一步影响，实用化学在美国已发展成有着理论指导的应用化学。

三、国际学术交流的加强

1876年，在美国纽约成立的全国性化学组织“美国化学会”，是美国化学成长时期的主要标记。它不仅说明化学在美国已占据一席之地，而且也有了自我与外界交流、逐步职业化的媒介。美国化学会对美国政府和公众所施加的一种向心力作用，是欧洲其他国家同类组织所叹服的。

自成立之日起，美国化学会就充分认识到了美国化学受地理位置局限造成的信息闭塞。于是，在政府的鼓励下，化学会积极邀请一大批国际知名化学家赴美讲学，出版他们的著作，向他们颁发各种化学会设置的荣誉称号。像瑞典的阿累尼乌斯、德国的凯库勒和法国的杜马等都是这一时期美国化学会的荣誉会员。美国化学会的这种开放交流的措施，使美国化学发展加快了成长速度，缩短了和欧洲化学之间的距离。

此外，美国化学在成长时期还充分利用了政府向国际社会举办的科学博览会，从而达到和欧洲同行相交流的目的。像1876年，美国举办的国际“费城科学博览会”邀请了许多世界各地的科学家参加。美国展出的先进的石油化工产品引起了包括著名化学家门捷列夫在内的许多欧洲化学家的兴趣。

这一状况表明，美国化学已并非在所有化学领域都落后于他所一直赖以学习的欧洲化学。美国化学已经成长起来，正走向它的成熟时期。

D.Knight : The Transcendental Part of Chemistry , DAWSONpp.257—258 (1978) 。

H.M.Leiester : Mendeleevs visit to American , J.Chem.Educ.34 , p.331 (1957) 。

第四节 美国化学优势地位的确立

主要通过美国化学学会的作用，化学开始在美国走向正规化和专业化，但还没有完全达到欧洲化学在 19 世纪中叶后陆续形成的化学职业化程度。主要是因为纯化学研究还没有完全扎根于其中，美国化学学会对化学教育的倡议和普及，将美国化学向职业化方向推了一步，而当哈佛大学的理查兹 (T.W.Richards, 1868—1928) 在 20 世纪初建立起能部分接受欧洲化学学生的实验室时，美国化学发展已接触到成熟的边缘。德国化学的作用则着重体现在它使美国化学由从前重实用的倾向发展到理论研究相结合的应用化学上。这是美国化学工业率先超过欧洲化学的一个重要原因。

上述因素构成了美国化学的成熟时期。它使美国化学拥有了终于能同欧洲化学相抗衡的结构。这就是化学理论研究和应用化学的结合。

一、自力更生的化学教育体系

美国化学教育的新篇章始于 1876 年在纽约成立的美国化学学会。进入 20 世纪后，这一化学组织已不仅在美国各州拥有分会，而且还顺应化学科学的分化和综合趋势，相应设置了各种专业分会。它的职能和化学学会的职能相似。此外，美国化学学会，各州分会和各专业分会还不断增加各种表彰项目，积极向社会推广各种化学成果，逐步形成了健全的机构和规章。

从一开始，美国化学学会的宗旨就是“提高化学的地位并促进化学的研究”。这一宗旨使得化学教育目标将是双方面的，既要推行基础理论教育，又要注重学生化学技能的提高。在这一目标的推动下，美国化学学会在 1924 年专门设置了“化学教育分会”，并于同年创办教育分会刊物《化学教育杂志》(Journal of Chemical Education)。这份杂志直接把美国的纯化学、应用化学和化学教育的研究联结在一起，主要目标就是广泛普及化学知识，加强中学和大学之间化学教育的联系。同时，它也表明，美国化学教育正开始摆脱单纯依赖欧洲教育，而着重自己培养化学人才的特点。

此外，化学史研究也是美国化学教育新篇章的主要内容，并使其产生变革的重要因素。1926 年，化学会筹建了“化学史部”(the Section of the History of Chemistry)。由于成绩卓著和影响日益增大，而在同年下半年就将其扩建为“化学史分会”，从而使美国的化学教育能够更密切地同化学史联系起来。

实际上，化学史一直是美国化学教育的重要组成部分和教学的重要辅助手段。但在 20 世纪前，美国化学家讲授和讨论化学史时具有两个弱点：一是化学史内容多半为欧洲化学史；二是讲授化学史只为了教学需要，而不是研究化学史。例如，1795 年哈佛大学的戴克斯特 (A.Dexter, 1750—1829) 开设的题为《化学兴盛的历史》讲座，主要是介绍部分欧洲化学家的生平。以后是在 1895—1896 年期间哈佛大学开设的“化学史和化学哲学”课程，以及 1796 年史密斯 (T.P.Smith, 1776—1802) 首次系统介绍《化学革命综述》等也大体如此。只是在 1874 年，由美国部分化学家在已故著名化学家普利斯特列故居举行的“普利斯特列发现氧气 100 周年纪念会”上，耶鲁大学的小史立曼 (B.Silliman, Jr, 1816—1885) 才做了题为《美国对化学的贡

C.L.Parsons, J.Chem.Educ.48—4, Part , P.40 (1926)。

S.R.Powers, J.Chem.Educ.48—4, Part , p.244 (1926)。

献》的讲演，首次探讨了美国化学的历史。直到 20 世纪以后，1914 年，宾夕伐尼亚大学的史密斯（E.F.Smith, 1854—1928）才在自己的《美国化学》一书中对美国化学史进行了较完整的说明。

美国化学教育的普及基础，还是和 20 世纪初期那些留学德国的学生有关的。

19 世纪末期，留学德国的美国学生陆续返美，不少人都在美国各高校中担任了学科带头人。到 20 世纪初，美国化学带头人主要是三位留德归美的化学家：约翰·霍普金斯大学的雷蒙森教授（I. Remsen, 1846—1927），哥伦比亚大学的钱德勒教授（C.F. Chandler, 1836—1927）和宾夕伐尼亚大学的史密斯教授。这三位美国化学家的实践活动可以说奠定了美国化学成熟时期的基石。有趣的是，他们都是德国化学家维勒的学生，并都在注意学术活动和化学教育的结合。

雷蒙森在 1867 年赴德国戈廷根大学，在维勒的化学实验室学习，5 年后学成归国。他十分推崇德国大学的化学实验教育。为此，雷蒙森辗转到了新建的约翰·霍普金斯大学后，开始了广泛的化学实验教育。他将德国化学的长处运用到美国，首次开设了针对研究生教育的高等有机化学课程，重视化学的基础理论研究，对美国有机化学做出了显著贡献。他培养的学生后来大都成为美国有机化学权威。此外，雷蒙森还积极传播化学科学专业化的思想，1879 年，他创办了专业性极强的《美国化学杂志》，亲任编辑近 30 年（1879—1913），也是美国化学会 1902 年度会长。可以这样说，正如史立曼在 19 世纪中叶为美国科学创造了“史立曼时期”一样，雷蒙森也同样在 20 世纪初为美国化学，特别是有机化学，开创了一个“雷蒙森化学时期”。

曾担任过美国化学会 1881 年度和 1889 年度两任会长的钱德勒，是美国化学会的创立者和组织者之一（美国化学会首届副会长）。他的化学生涯早期是在哈佛的劳伦斯科学学校度过的，主要进行过应用化学方面的研究。1855 年，钱德勒到德国戈廷根大学跟随化学家维勒学习，次年获博士学位。回到美国后，主要从事工业化学方面的研究，同时非常积极和热心于美国化学会的筹建和发展。在美国化学初期发展的历次重要事件中，他都是活跃的参加者，从而在当时的美国化学界享有很高威望。和雷蒙森相似，他较早地致力于创办化学专业性刊物，以促进美国化学家的研究。他在 1870 年创办了《美国化学家》（1870—1877）杂志。

史密斯的化学声誉与其说是由于他对纯化学的研究，还不如说是因为他杰出的化学史研究，尤其是对美国化学史的研究。担任过三届美国化学会会长（1895 年度，1921 年度和 1922 年度）的史密斯，1876 年赴德国化学家维勒的实验室学习，获博士学位返美后，主要在东部的宾夕伐尼亚大学讲授化学。他的化学研究工作主要有，运用电解法和化学方法较精确地测定了 18 种元素的原子量，并对复杂的无机酸也进行过研究。在化学史方面，史密斯主要是采用化学家传记的形式写作化学史。他在 1914 年出版的《美国化学》是关于美国化学史研究的经典著作。由于他不懈的努力，在他去世前，美国化学会又组建了“化学史分会”。

化学教育被提到美国化学会的议事日程，也是和史密斯的积极倡导分不开的。1921 年，他任化学会会长时，倡议召开一次专门的化学教育会议，并

在其后召开的这次会议上做了题为《关于化学教育部的工作和目标》的讲演，指出，化学教育和其它专业化学一样重要。1924年，他把“化学教育部”扩编为“化学教育分会”。从此，化学教育在美国化学中占有了相当重要的地位。

以上三位杰出的美国化学家的化学实践和影响，标志着美国主要依靠留学欧洲培养化学学者的时代的结束。20世纪初期，部分美国高校和工业公司开始接受一些美国自己培养出的化学博士。

二、里查兹在基础研究领域的突破

留德学生回美后开创美国化学新局面的情况表明，美国化学不仅在走向进一步成熟，而且在某些方面还可以和欧洲化学相并列。其中最值得注意的是哈佛大学化学家里查兹（T.W.Richards, 1868—1928）对美国化学产生的根本性影响。

里查兹的化学生涯始于美国物理化学研究先驱者科克的教育。他最先开始了对氧原子量的准确测定。获博士学位后，里查兹把测定元素原子量选为自己的主要研究领域，其次是物理化学方面的电化学和溶液理论。在测定元素铝的原子量过程中，里查兹以准确的实验事实证明英国化学家索第（F.Soddy, 1877—1956）提出的“同位素”学说。1913年，里查兹的实验表明，放射性元素铀的最终衰变元素铅与天然铅相比，物理性质不同（原子量有细微差别）而化学性质相同。到1913年，里查兹一共精确测定了60多种元素的原子量。为此，他荣获了1914年国际诺贝尔化学奖，成为第一个获得国际声誉的美国化学家。他的测量工作还从化学实验的角度揭示出19世纪初期出现的普劳特氢原子构成元素假说的某种合理性。里查兹笃信化学实验的精确性，强调化学经验的可靠性。这是当时美国化学经验思维的典型体现。

纵观化学史，在原子量测定领域中，里查兹是继19世纪上半叶的瑞典化学家贝采里乌斯和19世纪下半叶比利时化学家斯塔思（J·S·Stas, 1813—1891）之后的第三位巨人，成了20世纪初期原子量研究的权威。正是在这一领域，美国化学和欧洲化学达到了并列地位，且首次出现了美国化学和欧洲化学地位逆转的现象。这种现象是美国化学成熟时期的有效指示剂。从此，美国化学在各方面和发达的欧洲化学平行发展基础上，进一步迈向领先的地位。

三、战争契机的利用

20世纪中的两次世界大战，非但没有使美国化学在成熟期和随后的领先时期中受到损害，相反，它们却仿佛是美国化学全面超越欧洲化学的社会因素。

必须承认，影响科学发展的社会因素是多方面的，然而对美国化学而言，本世纪的两次世界大战对其发展有着不同于欧洲化学的特别意义，起着至关重要的作用。

由于美国远离欧洲大陆，且受到太平洋和大西洋这两道天然屏障的保护，而使美国化学在两次世界大战中能够幸免于难。不仅如此，而且其工业实力却因受到战争的刺激而日益加强。美国是在第一次世界大战接近尾声才参战的，战后又是战胜国，这种形势对美国化学尤其有利。当“一战”进入

化学战的阶段时，交战国双方在原材料方面都感到缺乏，从而在战争的后期生产化学毒气的原料已几乎完全来自美国，直接刺激和推动着美国应用化学的进一步成熟。而且，在生产和制造毒气的过程中，美国化学又在无形中将其理论转化为实践的周期缩短了，并且还激发和孕育了美国化学家集体协作研究的模式。

“一战”结束后，欧洲经济受到严重损伤，而美国却借助“一战之势”，不仅在较短时期内实现了国家的工业化，而且，起码在应用化学领域走在了欧洲同行之前。1939年，欧洲再度爆发第二次世界大战，此时，美国化学以其关于化学键理论和有机化学的研究成就，在纯化学领域也和欧洲化学不相上下。“二战”对美国来说，除了刺激经济的超速发展，在科学上的收益莫过于它几乎完全将德国科学界精英和部分先进的德国科学设备带回美国。这些科学家中包括相当一批优秀的化学家。他们和那些因受法西斯种族政策迫害而不得不移居美国的其他化学家一道，联合美国本土的化学家，无疑形成了世界上最优秀和庞大的化学家共同体。当美国以其雄厚的工业基础和经济势力在太平洋彻底击溃日本海军，又在欧洲战场率领盟军成功开辟出战胜德国的第二战场后，美国已明显跃升为一个军事大国。美国化学也随着这种国家领先局势的形成，在化学的各个研究领域陆续走在世界前列。

总之，战争和其它社会因素对经历成熟期后的美国化学的影响，是积极和有利的。这种作用起码使得美国化学在应用研究方面超越了欧洲化学。

四、路易斯学派的进一步推动

在美国化学内部，20世纪20年代由伯克利加州大学化学家路易斯（G.N.Lewis, 1875—1946）提出的共价键基础理论，不仅巧妙运用了20世纪初期物理学的伟大成就，而且可以说推出了一部美国化学在50年代左右跃居世界化学领先地位的研究纲领。路易斯对美国化学的影响深远，是美国化学成为世界化学中心的起点。当代美国化学在价键理论、有机合成和生物化学方面的卓越突破，则是美国化学作为化学带头人的主要表现。当关于有机物质合成机理的分子轨道对称守恒原理在1965年由美国化学家提出来时，化学在全球的形势已充分说明，美国化学无可争辩地成了当代化学的中心。

作为里查兹的化学博士研究生，路易斯似乎和他的导师里查兹有些大相径庭，在博士论文的选题上，路易斯选了和经验思维有一定差距的化学热力学方向（以理论化著称的法国化学家在这两方面取得成就）。从哈佛大学毕业后，路易斯又东渡大西洋向德国著名物理化学家奥斯特瓦尔德和能斯特（H.W.Nernst, 1864—1941）学习了一年。回美后并最终任教于西部的伯克利加州大学。正是在伯克利期间，路易斯对美国化学的影响有了系统化的内容。

首先，路易斯对化学热力学中的化学物质的自由能研究，倾注了大部分精力。在提出扩大质量作用定律应用范围的“逸度”（fugacity）和“活度”（activity）概念之后，路易斯还与其他化学家写成了关于化学热力学研究的美国经典著作。

其次，路易斯成功地运用了电子这一20世纪初影响最大的科学发现，提出了扩大物质结构研究的共享电子对学说和广义酸碱理论。这一成就彻底动

ACS Symposium Series 228. Chemistry and Modern Society, Washington, D.C. P.165 (1983)。

R.A.Solo: The Postive State, South-West Publishing Co. Ohio. pp.42—43 (1982)。

摇了德国化学对美国化学的支配地位。因为共享电子对学说经朗格缪尔 (I·Langmuir, 1887—1957) 的扩大和宣传后, 成了关于化学物质结构的共价键理论。这使得在当时主要沿袭凯库勒苯环结构学说的德国有机化学露出了破绽: 德国有机化学对有机反应活性及其反应机理的相关性显得力不从心。对比之下, 共价键理论却似乎能给部分美国有机化学家和多数欧洲同行带来启迪; 它消除了欧洲化学界长期以来对亲合力给予的比喻化意义; 它认为化学反应的进行是电子的共享或转移, 不是力和重量的表现形式。路易斯-朗格缪尔共价键理论成为继里查兹原子量测定成就之后, 又一项超越欧洲纯化学的美国成就。

第三, 路易斯本人就十分注重对化学研究方法的选择。在他看来, 对化学理论的探讨是认识和把握化学发展动向的一种简单可行的方法。很明显, 路易斯这种方法论很适于美国纯化学的研究与发展。

路易斯的化学成就和他的化学观, 渗透到了美国纯化学研究的各个领域。他培养化学家的有效方法和他对化学的热心传播, 为美国化学界输送了不少杰出人才。伯克利加州大学化学系人才辈出, 若从诺贝尔化学奖获得者的分布看, 这个化学系堪称美国化学的“卡文迪什实验室”——诺贝尔化学奖得主的主要基地, 而联系路易斯与其学生们的各种关系, 又可以说路易斯创立了美国化学史上第一个化学研究学派。

主要由于路易斯及其诸多学生的努力, 美国化学在纯化学研究方面出现了质的变化, 更多的欧洲学生留学美国, 呈现出化学人才集中在美国的“逆转”现象, 说明化学中心已开始漂向美国。

五、美国化学的领先发展

前面已简要讨论了美国化学领先性的应用化学和纯化学表现。而实际上, 也只有应用和纯领域两方面发达和领先, 才能说具备化学中心 (尤其在当代) 的前提。20 世纪初期以后的化学发展总趋势是既高度专业化又高度综合, 而美国化学在当代聚众家之长的基础上, 逐步发展为世界化学中心的过程中, 在高度专业化和综合方面, 有比其他欧洲国家更明显的表现和做出的更为重要的成就。我们简要抽取物理有机化学、生物化学、价键理论和有机合成及机理方面的主要内容来说明。

物理有机化学是一门物理化学和有机化学相结合的交叉学科, 至 1940 年, 美国化学家哈蒙特 (L. Hammett, 1894—1987) 正式出版《物理有机化学》一书时才全面地得到承认。它的成长实际是通过美国化学家与英国化学家之间的激烈竞争而获得的。对物理有机化学的初始研究开始于对有机化学反应机理和反应活性的探讨。本世纪 20 年代, 主要因为美国物理化学和有机化学界没有认真重视以电子为基础的路易斯—朗格缪尔理论, 美国在这新的学科领域明显落后于本来有机化学基础就雄厚的英国, 而且英国化学家们则逐步在接受和应用美国人的共享电子对理论。从 30 年代开始, 美国哥伦比亚大学的哈蒙特在成立了一个专门的研究小组后, 在有机化学反应动力学方面开始有所建树, 与此同时, 芝加哥大学一批化学家陆续又在有机化学亲电加成反应的游离基机制方面, 取得了突出成就, 但总体仍表现出一种分散状态,

D.Knight: A Companion to the Physical Sciences, Routledge, 8 (1989)。

B.E.Kohler: The Lewis-Langmuir Theory of Valence and the Chemical Community, 1920—1928, Hist.stud.Phys.Sci. (1975), 6, pp, 451—455。

而此时的英国，仍然有着十分利于这门新学科继续发展的气候，英国化学家当时普遍地有一种将物理化学和有机化学结合起来研究的兴趣。

进入 40 年代后，这种英美竞争明朗化的局面开始发生变化，首先是从事这门学科内容研究的化学家在美国数量递增，论文发表数量也超过英国同行；其次是美国人率先对研究成果进行了系统总结，如哈蒙特正式提出“物理有机化学”的名词。而在英国，尽管研究兴趣浓厚，却似乎没有明确“物理有机化学”的整体性；此外，研究人员的过份集中，间接抑制了对这门学科的交流。从 50 年代起，可以说，美国物理有机化学就不仅超过了英国同行，而且还向欧洲化学“输出”结果。

化学和生物学的渗透，是美国化学在交叉科学上的又一表现例证。1953 年，美国化学家沃森（J·D·Watson，1928—）和英国结晶学家克里克（F·H·C·Crick，1916—）提出 DNA 分子双螺旋结构，同年，又提出 DNA 分子结构的遗传含意，开创了分子生物学。1959 年，美国生化学家泰勒（J·H·Taylor，1916—）用氘标记碱基追踪 DNA 的复制，初步解决了基因自我复制的分子基础问题。DNA 分子双螺旋结构的发现，进一步引发了生物工程方面的成就。1954 年，美国的伽莫夫（G·Gamov，1904—1968）提出遗传密码的设想。1961 年，美国生化学家尼伦贝格（M.W.Nirenberg，1927—），对遗传密码给予了确切解答。而对生命起源的探索，是美国化学在生物学领域的一项划时代任务。1953 年，美国人米勒（S.L.Miller，1930—）成功地进行了模拟原始大气的火花放电实验，获得了生命赖以需要的多种氨基酸。1958 年，美国人福克斯（S.W.Fox，1912—）将甘氨酸溶解于加热熔化的了的焦谷氨酸液体中，加热到 170℃，获得谷氨酸甘氨酸聚合物，形成了关于生命起源研究的陆相起源派。

从物质结构理论发展到高度理论化的量子化学，是美国化学高度专业化发展的表现。

在路易斯—朗格缪尔共享电子对学说的基础上，美国化学家继续在共价键理论上纵深发展。美国化学家鲍林（L.Pauling，1901—）在本世纪 30 年代相继提出氢键理论和杂化轨道理论，极大补充和发展了原有的共价键理论，成为现代化学键理论的重要分支；随后，鲍林又将共价键理论应用到有机化学的研究中，提出了关于有机化合物结构和反应的“共振论”，系统地、对经验型的有机化学提供了理论框架，使有机化学中特别是关于芳香族化合物的研究，由定性上升到了直观定性分析和半定量研究的水平。鲍林因对分子间作用力的创造性研究获得了 1954 年的诺贝尔化学奖。

在对有机化学反应的理论研究上，美国化学走得更远。1965 年，美国有机化学家伍德瓦德（R.B.Woodward，1917—1979）和美国量子化学家霍夫曼（R.Hoffmann，1937—）合作，提出了关于有机化学结构分析和合成方面的“分子轨道对称守恒”原理。轨道对称性守恒原理是有其实验依据和理论基础的，其实验依据是有机化学工作者长期积累的有机反应的经验规律，其理论基础是量子化学工作者多年来对分子轨道理论的新发展。

L.Gortler: The Physical Organic Community in the United States, 1925—50, J.Chem.Educ. 62, pp.756—757 (1985)。

中国科学院自然科学史所编：《20 世纪科学技术简史》，科学出版社，1985 年版，第 171 页。

高正衡编：《物理有机化学》，（下册），高等教育出版社，1983 年版，第 49 页。

值得提出的是，伍德瓦德实际上从本世纪 30 年代起，就开始把理论和实验技术紧密结合起来，利用紫外和红外吸收光谱来分析有机分子的结构，并以此为指导合成了一系列天然有机化合物，使有机合成从 19 世纪的依靠经验和筛选的传统中解脱出来。1944 年，伍德瓦德就合成了结构很复杂的奎宁碱，1962 年他又合成了叶绿素，而合成维生素 B₁₂ 是他与霍夫曼提出轨道对称守恒原理的一个重要实验依据。伍德瓦德在伍德瓦德-霍夫曼规则的建立过程中，表现出了他非凡的实验合成有机物的技巧和理论思维。

出生于波兰一个犹太人家庭的霍夫曼，生活经历曲折。1946 年，他侥幸逃出纳粹占领下的波兰，前往捷克斯洛伐克，后辗转经过奥地利、德国，最终到了美国，1955 年加入美国籍。1960 年在哈佛大学获物理学硕士学位。1962 年又在该校获化学物理博士学位。霍夫曼的主要研究兴趣是：稳定分子和不稳定分子的电子结构，化学反应状态的改变，将各种计算方法、半经验和非经验方法用于对中等有机和无机分子的结构与活性问题的研究等。在与伍德瓦德的合作中，霍夫曼应用了简单而有效的对称和成键的观点来分析具体的反应，具有很强的预见性，极大地增强了实验结果的可靠性。

1965 年，伍德瓦德和霍夫曼主要通过对共轭多烯的电环化以及环加成反应的研究，提出了关于协同反应的立体化学选择的简明规则，称为“伍德瓦德-霍夫曼规则”。1969 年，他们在专著《轨道对称性守恒》中，用“轨道对称守恒原理”来概括他们在 1965 年开始提出的理论。

分子轨道对称守恒原理的诞生标志着美国化学（现代化学）开始从研究分子的静态跨入了研究分子的动态。

因提出分子轨道对称守恒原理，霍夫曼荣获 1981 年的诺贝尔化学奖，无疑是美国化学全面成为化学大国和中心的重要标记，而且也是近 30 年来化学理论的最大成就之一。因为美国本来因对理论研究而获诺贝尔化学奖的情况就属少数，故这一原理更具有时代价值。

当代美国化学仍处于领先和繁荣阶段，其化学中心地位，到目前为止，还没有受到来自其他国家的严重挑战。概括起来，美国化学的发展有一些最基本的特点：注重向欧洲化学学习，并选择其中的优质成分；注重化学的社会经济效益，有牢固的实用化学基础和发达的应用化学工业；注重化学知识的宣传和普及，并重视化学教育的建设；化学组织既独立，又和政府保持联系，起到了一种很好的科学参谋作用；由于雄厚的经济实力而大面积地培养了化学专业人才，并成为世界各国优秀化学家的聚居地；应用化学和纯化学研究同时并举，并不偏废任何一方，尤其在当代，有极其发达的基础理论研究；以及发人深省的牢固的化学家凝聚力传统，无论什么时期，美国化学家似乎以推动美国化学的发展为己任，少有化学人才外流现象。

第十九章 西欧化学发展论

西欧化学的主要代表国家是英国、法国和德国。因此，我们将以这些国家为考察对象，从其化学思想基础、化学发展阶段和化学传统等角度，对西欧化学的发展做一讨论。

第一节 英国化学的发展

长期以来，由于英国社会制度中根深蒂固的教会基础，使得英国科学在发展过程中总是表现出一种自然神学观的倾向。这种状况延缓了英国科学的正常发展进程。只是到了 1830 年，经过英国数学家巴贝奇(C·Babbage, 1792—1871) 强烈地呼吁和批评旧有的英国科学制度后，化学才真正借助这种改革形势，开始逐步完善其职业化的结构。而此时欧洲大陆的法国和德国，已经先于英国几十年就脱离了自然哲学的约束，日益走向化学的专业化和职业化(Professionalization)的进程。

一、英国化学的思想基础

从化学思想发展的视野出发，英国化学的思想基础主要表现在以下几个方面：

著名的哲学家弗·培根作为一个热忱的科学业余爱好者，虽没有对科学事业大厦做出直接贡献，但他的哲学思想及其对科学知识本身的论述，却支配着数代英国科学家的头脑。简单说来，培根的思想主要包括：对实用科学的大力宣传，认为科学的实用性有助于人类的幸福；人类的知识是一种力量，是一部工艺和实验的大百科全书，对自然现象的记载和完整地分析是掌握人类全部知识的好方法；在这一基础上，培根强调归纳方法在实验科学中的作用。这实际上是要求更多地对科学进行定性的描述。培根的思想从根本而言是倾向于唯物主义的。他不仅赞成科学应当同神学和宗教相脱离，而且主张工艺传统和自然哲学重新联合，从而了解自然和控制自然。他还认为科学是新的教育的基础，为了提供科学所必需的技术和实用教育，需要产生一些能够把科学和技术相结合的学术机构。

在具有理性时代之称的 17 世纪，培根的哲学思想无疑给处于方兴未艾发展状态的英国化学注入了一种生命力，使得英国化学在思想基础方面有了重经验和重用归纳法以说明化学现象的表现。

到了 18 世纪，英国化学的思想基础又增加了两种成分，一是牛顿力学的成就，二是苏格兰的启蒙运动。

牛顿力学作为一种化学的思想基础，在于它被哲学家们概括成了一种自然哲学理性化的内容——机械论哲学观。简单说来，这种哲学观主要包括了两个方面的内容：第一是认为运用运动和力学的观点可以说明自然界的全部现象；第二是认为实验科学是探索自然界现象的有效途径。它也间接地说明了除注重科学方法中的归纳法外，还应当运用演绎等方法，并用数学的语言给予表达。由于牛顿力学的基础是其“绝对时空”的体系，因此在阐述关于物质运动的终极原因时就自然复归到了神学的领域。这是牛顿哲学的一元论表现。不过，英国化学界在接受牛顿思想时并没有接受他的运用演绎方法的暗示。以后我们将会看到，倒是法国的化学家积极理解了这一暗示。牛顿在后半生中多是从从事炼金术的研究。他通过炼金术研究而得出的对物质理论的看法，一度成为英国化学家们的还原哲学论的根源。

苏格兰启蒙运动产生于 18 世纪中叶的苏格兰社会。它是一种在当时社会政治和经济制度经过改良运动而达到的一种理性思维和思想观念的更新。它

[美]S·汉姆普西耳：《理性的时代——17 世纪哲学家》，光明日报出版社，1989 年版。

导致苏格兰在科学、历史、认识论等方面出现空前的繁荣。这一运动对英国化学发展的作用是，促使化学在苏格兰社会中与其它科学一道，较早地成为了一种公众所熟悉的职业，并促使化学在欧洲舞台上形成了所谓“苏格兰化学学派”。苏格兰化学在牛顿哲学和苏格兰哲学家休谟(D. Hume, 1711—1776)的怀疑论哲学基础上，提取出了“哲学化学”的内核。它既体现了苏格兰化学在化学理论方面的水平，又体现了苏格兰化学家对化学现象因果性提出的哲学解释。

此外，在 19 世纪初期，英国化学家戴维等人还接受了来自德国的自然哲学的影响，表现出一种浪漫主义的化学思想，即在承认化学现象和自然现象具有丰富的多样性基础上，试图把对化学现象尤其是对化学反应的动态表现还原到牛顿的机械论哲学，特别是其中的微粒哲学来加以解释。他们认为，所有化学现象都可以被看作是化学物质内在的一种力的表现。这种思想虽然比较合乎事物的普遍发展规律，但是实际上由于要过早地复归到一种终极形式而使英国化学一度处于缓慢发展阶段。因为终极形式是同物质统一思想牢固联系在一起，这就使得在自然神学观流行的英国并未能被化学家们所普遍接受。

20 世纪以来，英国科学哲学家波普尔(K. Popper, 1902—)的“猜想-反驳”的科学思想，似乎没有太多地受到英国化学家的注意。只是在近年来才刚刚使英国化学界开始注意到波普尔哲学与化学的关系。出现这种情况，似乎可以认为是由于这样的原因：一则是英国化学的经验型思维，加上化学科学本身的经验性质，使波普尔哲学难以轻易应用于化学研究中；二则是化学中能够突出表现波普尔哲学“猜想-反驳”的所谓“黑天鹅”例证似乎太少了。但是随着英国化学界对科学哲学的重视，现代科学哲学必将为英国化学补充入更多的思想基础。

二、英国化学的发展阶段

归纳起来，英国化学的发展经历了三个时期：理论探索期、生产应用期和全面发展时期。三个时期的划分只是相对的，在某些方面并不是完全没有交叉或叠合。

1. 理论探索期或化学哲学期

这一时期从时间上考虑，初步可以看做是从中世纪到 19 世纪初期。在这段时期中英国化学的研究对象大体上还是一种化学、哲学和神学的混合体，直至 19 世纪中叶英国化学本身实际上还没有成为一门专业和职业，还较深地带着自然哲学、医学和工艺的痕迹，还没有出现一种推动英国化学完全独立的因素。

中世纪的炼金术在欧洲是很流行的，甚至出现过类似于象著名炼金家和医药化学家帕拉塞斯那样的知名人物，而在英国也涌现过一些有名的炼金家如罗吉尔·培根等。但是，众所周知，炼金术只是一种化学的胚胎形式，还

J.R.R.Christie : The Rise and Fall of Scottish Science , The Emergence of Science in Western Europe , M.P.Crosland , (ed.) London pp.111—112 (1976) .

F.M.Akeroyd : Chemistry and Popperism , J.Chem.Educ.61 , pp.691—698 (1984) .

F.M.Akeroyd : Chemistry , Biochemistry , and the Growth of Scientific Knowledge , J.Chem.Educ.61 , PP.434—436 (1984) .

A.G.Debus : The English Paracelisans , Oldbourne , London (1965) .

算不上真正的化学。到了 17 世纪中叶，应该提到的是，正是英国化学家（准确地说是化学哲学家）波义耳对化学现象的实在表现——元素给出了科学哲学性的定义，批驳了古代亚里士多德学派的“原性说”和医药化学家的“三要素说”。这是 17 世纪中叶英国对化学科学做出的最伟大贡献。然而这一时期的化学在英国依然还在受到哲学，甚至神学的影响。表现在像波义耳和牛顿这类曾对化学现象进行过精辟论述的名人，本身就带有强烈的神学和宗教意识。但是，并没有因此而影响到 18 世纪的英国化学对整个化学发展做出重要贡献。事实上，英格兰的牧师普利斯特列对德国医生斯塔尔的“燃素说”所做的说明和应用工作，虽然相对来说是并非正确的，然而却也从反面衬托出了化学发展史上的一个重大转折点——化学革命。由于“燃素说”在英国深受欢迎，无疑使探索“燃素说”的人所做的工作加强了英国人将观察、经验和思维紧密结合的趋势。此外，同时期苏格兰化学家提出的“哲学化学”则是对热现象和化学反应的合理解释。苏格兰化学家突出了热现象是物质运动的一种形式，又认为化学反应的活性是由于化学物质微粒周围的“以太”粒子的密度不同所致。除此以外，英国化学在 18 世纪的另一成就是布拉克、凯文迪什、卢瑟福、普利斯特列等著名英国化学家对气体化学的深入研究，发现了“脱燃素空气”（氧气），“易燃空气”（氢气），“浊气”（二氧化碳）和氮气等。这些工作为通过气体研究的途径发展化学打下了基础。但在整个化学哲学时期，英国化学的最重要工作和成就还是 19 世纪初期戴维和道尔顿的工作。

戴维汲取了德国浪漫主义化学思想，对化学现象进行了多方面的研究。他反驳了化学革命的领导者拉瓦锡对元素进行的并不全然正确的分类；通过亲自研究有毒的气体，加深了对物质形式表现多样性的认识，并又用电解实验进行的所谓物质具有微粒终极组成的追求，最后就复归到了还原论的哲学倾向，认为氢气是元素的终极组成，是从前人们所寻求的“燃素”。虽然后来戴维动摇了这一信念，但他似乎给后来的英国化学家提供了一种探索元素组成和分类的研究模式。道尔顿从对大气和气象学资料的研究入手，对自古代以来就一直得以沿袭下来的微粒理论，赋予了具有一定大小和重量的原子的原子论内容。道尔顿的学说并不是对古代原子论或者牛顿微粒哲学的复归，而是科学化发展。由于道尔顿近代原子学说的确立，化学才最终有了关于化学物质理论的一次大综合。这才是真正的化学新时代的出现，因此，“近代化学之父不是拉瓦锡，而是道尔顿”。

2. 生产应用期或工业化学突出发展期

工业化学时期能够作为英国化学发展的一个阶段，是因为 19 世纪的英国正是由于工业化学的积极作用才使英国化学一度成为欧洲化学的中心。

可以认为，英国工业化学兴起的标志，首先是 18 世纪末叶和 19 世纪初期的英国苏格兰亚麻漂白工业。虽然提出漂白原理的是法国人，但是制出漂白粉并在实践中不断改进工艺流程的却是英国苏格兰人。苏格兰化学的代表人物古伦（W·Cullen, 1710—1790）和布拉克都曾先后对漂白工业的“腐蚀”问题进行了专门研究。苏格兰亚麻漂白工业和制碱工业的发达，既是苏格兰化学的核心内容，又是英国化学当时能够和法国巴黎并列列为欧洲化学中心的

Fenby: Chemistry during the Scottish enlightenment, Chem.Brit.22, p.1016 (1986).

恩格斯：《自然辩证法》，人民山版社，1971 年版，第 269 页。

主要原因。因此，可以认为这是英国在实用化学方面一直能够处于比较发达和领先地位的基础。其次，英国工业化学兴起的又一标志是 19 世纪中叶后一度处于发达和繁荣的化学染料工业。这项由英国人柏琴 (W·H·Perkin, 1838—1907) 偶然发现而逐步形成的化学工业，再度使英国化学在那一时期处于化学中心的地位，吸引了众多欧洲其他国家的学生。但是由于英国不健全的化学制度，以及化学人员固有的分散性，使得英国化学通过染料工业所取得的化学中心地位，在 19 世纪 80 年代后，逐步易位于染料工业的后起之秀——德国，以致直到进入 20 世纪，英国的化学工业也就从未保持过领先地位，但仍属发达之列。

3. 全面发展期或现代化学期

这是指在 20 世纪以来英国化学的理论与实际全面发展时期。首先表现为在理论方面取得了杰出成就，这就是海特勒和伦敦最早把量子力学用于化学物质结构的研究，从而将化学理论研究推向微观化的研究水平。同时，英国化学家英果尔德 (C. Ingold, 1893—1970) 和罗宾逊 (R. Robinson, 1866—1975) 又率先将有机化学结构理论和物理化学联系起来并且在 30 年代达到了世界最先进的水平，为 50 年代物理有机化学的诞生打下了实质性基础。此外，英果尔德在有机化学电子理论 (中介论) 和有机反应机理方面的工作，则为量子化学的形成做出了巨大贡献。

总结起来，英国化学发展从纵向上看，可以归结为以下三点：化学哲学阶段是英国化学摆脱哲学、医学和实用工艺的过程；工业化学时期是英国化学职业化的重要表现阶段；现代化学时期是英国化学全面进入并保持世界化学发达行列的阶段。

三、英国化学的传统

从化学知识的整体性考虑英国的化学传统在近代化学发展中表现为比较重视经验思维方式，注重归纳方法的运用，诸如布拉克、凯文迪什、卢瑟福和普里斯特利等燃素论者大都如此。这种传统表现很明显的是来自于培根的哲学思想。他们对经验思维和归纳方法的过于重视，除了说明对化学现象和实验结果缺乏深入讨论外，还表明英国化学对牛顿经典力学的汲取并不是持积极的态度。因为牛顿机械论哲学的一个基本出发点就是注重演绎方法和数学的运用，这在 20 世纪以前的英国化学中体现得远不如欧洲其他国家充分。但从 19 世纪末叶开始，这种状况开始有了明显改善，如麦克斯韦 (J·C·Maxwell, 1831—1879) 在化学热力学和统计学上取得的成果便是一个例证。

此外，英国化学表现有相当的组织性传统。英国化学组织可基本分为两类，一是可被称为都市组织的化学社团；二是地方化学社团。前者的代表莫过于受培根思想影响而创立并得到皇室批准了的伦敦“皇家学会” (1662 年)。它因为其中具有象波义耳、梅猷 (J. Mayow, 1641—1679) 和牛顿这样知名的科学家，而可以看作是英国化学开始脱离神学和经院哲学的标志。此后，在巴贝奇猛烈抨击皇家学会的保守表现不久，英国成立了针对自然科学

L.F.Haber: The Chemical Industry in the Nineteenth Century, A Short Survey of its Growth, Proceedings of the Chemical Society, pp.244—245 (1958).

R.E.Kohler: The Lewis—Langmuir Theory of Valence and the Chemical Community, 1920 - 1928, Hist.Stud, Phys.Sci.6, pp.456—466 (1975).

的“科学促进会”。随着惠威尔(W. Whewell, 1794—1866)在1833年提出“科学家”一词后,化学活动开始具有更鲜明的独立性,从而迫切需要建立专门的化学社团。1841年,在伦敦成立了“伦敦化学会”。以后,受德国化学的影响,又在1869年成立了“皇家化学学院”,进而又在1877年成立了化学专业研究机构“化学研究所”。至此,英国化学的组织系统已大体成型。

地方化学社团的建立则受到两种因素的影响:一是受培根哲学思想中对科学教育的呼吁,二是由于具有了英国工业革命后留下的基础。英国在20世纪前,大学还不是化学教育和研究的基地。化学的成就大多是由于充分运用了化学组织尤其是地方化学社团的作用。这种化学组织的典型代表是创于18世纪末叶的“曼彻斯特文哲会”和“伯明翰太阴学社”,前者涌现出了化学新时代的领导人道尔顿,后者有18世纪末叶闻名欧洲的化学哲学家和牧师普里斯特利。

化学刊物作为化学知识传播和发展的主要媒介,除了那些化学组织的正式刊物外,在英国,化学人员的分散性导致了一些由化学家私人创办的杂志。像尼科尔森(W. Nicholson, 1753—1815)的《化学杂志》(Chemical Journal, 1798)、后又易名为《自然哲学、化学和艺术杂志》。此外,还有汤姆逊(T. Thomson, 1773—1852)的《哲学年鉴》(Annals of Philosophy, 1813),并在不久后并入《哲学杂志》(Philosophical Magazine, 1827)。私人化学刊物出现的根本原因,是由于极度有限的化学组织的刊物远不能满足化学家的迫切要求。

第二节 法国化学的发展

法国化学同英国化学相比，它的成熟期要早得多。一般认为，法国大革命后逐步形成的法国新化学，就是化学成熟时代的开始。的确，到 19 世纪初，法国化学就出现了职业化的明显迹象，走在了西方化学的前面。法国化学的发展带有一些清晰可见的，却又是其他西欧国家所没有的特点。法国化学史的研究至今仍是科学史界一个诱人的领域。

一、法国化学的思想基础

化学与实用工艺的分离和化学脱离自然哲学而独立的典型最早是体现在法国。因为它具有雄厚的化学发展的思想基础。这主要是来自三个方面：

首先，是笛卡儿的哲学思想。笛卡儿作为培根同时代的人，不仅在哲学观上与培根相去甚远，而且在各自的方法论上也迥然不同。笛卡儿重视对物质理论的哲学研究。他在对物质和运动的哲学解释上提出的宇宙形成的漩涡学说，是他对 17 世纪机械论哲学目的论的补充。与此同时，笛卡儿又区分了灵魂与肉体，心与物，从而提出了他的二元论哲学，认为物质是死的东西，物质的第一性的质是数学的实在，并具有广延性。进而在此基础上倡议重视数学，重视演绎方法。在他看来，实验和观察在探索自然现象中只是处于次要的位置，实验至多能作为证明那些从基本原则推论出来的概念，而基本原则和概念则是表述自然现象和知识体系的最终方式。以后我们将看到，尽管笛卡儿是法国人，但后来的法国化学家并没有把他的思想作为经典而加以应用。相比之下，法国人对牛顿力学的哲学解释似乎兴趣更大。

其次，在“启蒙时代”的 18 世纪，唯物主义的思想给法国科学界打下了深深的烙印。其原因，部分是由于 1789 年法国大革命的政治影响，部分是由于大革命以后那些具有启蒙哲学思想的法国思想家形成了主要宣传唯物主义和宗教无神论的百科全书学派。这些思想家认为，物质是死的东西，从而可以被认识。人作为物质的一种表现体，同样可以被认识而无灵魂生存之说。正因为如此，法国革命时期和百科全书派的哲学思想被当时的英国斥为“宗教无神论”和对教会及上帝的轻视，是法国革命自由化思潮的表现，从而在英国社会一度引起了惊慌。总结起来看，法国启蒙哲学思想的复苏并形成了这样的观念：行动应基于理性，实践应基于理论。饶有兴趣的是，启蒙哲学的诸多基础竟是来自于英国的牛顿哲学思想。牛顿力学囊括了天地现象，且对物质的组成又提出了那种可想而不可及的微粒哲学。这种微粒作为物质的一种表现形式成为物质世界基础的同时，又为启蒙哲学思想家们总结知识体系提供了基础。这就使得牛顿力学在法国深受欢迎，并使得许多法国人陆续成为牛顿力学哲学的信徒。

第三，就是我们熟知的著名的实证主义哲学思想。需要说明的是，当法国哲学家孔德（A·Comtt，1798—1857）在 19 世纪初期系统提出实证主义的时候，欧洲大陆的德国正掀起一阵反对思辨哲学的浪潮。事实上，在实证主义提出以前，思辨哲学尤其是研究宇宙一统现象的德国“自然哲学”也冲击了法国社会。但是，法国思想家所信奉的东西则有别于德国的思辨哲学。法国人普遍对德国的思辨哲学持不信任态度。这种形式的核心就是孔德的实证

M.Crosland : The Image of Science as a Threat , Burke vs Priest Priestly and the Philosophical Revolution , Brit.J.Hist.Sci.20 , pp.277—307 (1987) .

主义哲学思想。19世纪是一个“科学的时代”，它表明了科学逐步脱离哲学、神学和宗教，以及实用工艺的过程。化学也不例外。实证主义哲学中有名的关于科学知识进化的“三阶段”学说——从神学阶段到形而上学阶段，最后到达终极的实证阶段，是孔德对科学分类和科学进化及其独立的可贵研究。它向科学工作者显示了研究科学现象的进程。这似乎对化学科学在法国的发展状况尤为有效。

二、法国化学的发展阶段

根据法国化学家对近现代化学所做出的主要贡献，近现代的法国化学可以说主要是经历了化学革命、化学职业化和理论蓬勃发展等三个时期。

(1) 化学大革命时期。这主要是指18世纪后期的法国化学发展时期。其主要标志是在18世纪末叶伴随法国社会大革命而逐步形成的一次化学思想革命。这次化学革命主要是法国化学家拉瓦锡发起的，其核心是用准确的定量实验结果直接推翻了统治化学达百年之久的错误的“燃素说”，提出了第一个综合性的化学理论——氧化燃烧学说和成酸理论。他们的研究工作在法国大革命前后形成了新一代的化学内容，并且系统地以教科书的形式在欧美广为流传。由法国化学家们掀起的新化学篇章使法国巴黎更加名扬四海，并逐步成为世界各地化学工作者学习化学科学向往的圣地。法国大革命直接结束了法国旧的封建制度，而受其影响导致的化学基本思想的变革，也同时结束了旧的错误的化学学说。

掀起化学革命是法国化学家群体智慧的结晶。这场化学革命是法国化学在西欧国家中能够最早彻底使化学脱离医药和实用工艺而最后彻底独立出来的主要原因。同时，也应当看到，它也是18世纪末叶法国社会和经济发展的必然结果。它不可能不受其它社会因素的影响而单独发生。此后，法国新化学就成为法国新一代化学家的学习和研究指南。

(2) 化学职业化时期。这主要是在19世纪前半叶前后继续保持化学大革命所带来的优势发展的时期。

随着法国大革命及其向欧洲大陆其他国家输出革命的战争而使得化学在法国较早地成熟起来，主要表现是随着科学的专业化，化学也日趋专业化。这一过程实际在19世纪初期就已完成，或者说最晚到19世纪中叶就已经完成。由于法国化学专业化的规模宏大，从而直接带动了整个西方化学的发展。当时，巴黎已经成为举世闻名的化学中心，为各国培养了一大批优秀化学家，包括像后来声誉卓著的德国化学家李比希。与此同时，法国化学较早的职业化，也推动法国化学自身在化学制度上日益走向集中或整体化。

对于法国化学而言，大革命的另一结果，是促使化学和其它科学一道，更加受到国家、政府的影响和控制。作为法国新化学开创者之一的拉瓦锡就是法国政界的上层人物。因此，当大革命后重新重视科学，陆续创建一批大学的时候，化学自然也就随运而行，走在发达学科的队列中。在革命后改组的法兰西科学院中，化学家依然由政府委任和付给薪金，并提供优良的实验研究设施。这种状况在拿破仑执政时期表现得尤为突出。这样，在政府的支持下，法国化学家陆续有了自己的私人实验室，无形中形成了以巴黎为中心的法国化学基地。此外，这一时期法国化学在化工方面也是走在了西欧国家

M.Crosland :Introduction ,The Emergence of Science in Western Europe ,M.Crosland ,ed. ,N.Y.P.11(1976) .

D.Knight : The Transcendental Part of Chemistry , DAWSON.pp.v-viii (1978) .

前列。当时法国人勒布兰(N. Leblanc, 1742—1806)首先从理论和实践两个方面解决了制碱的问题。至于漂白问题,也是法国人最先提出理论机制的。所以,我们在注意到同期的苏格兰实用化工发达的同时,也要看到法国在这方面的地位。法国化学的发达情况,还可从法国化学家武兹(C.A. Wurtz)的断言中看出,他曾经自豪地宣称:化学——法国的科学。

(3) 理论蓬勃发展期。这一时期大约从19世纪中叶开始,主要的表现是法国化学对有机化学理论的大力研究,并陆续取得了重大成就,形成了以法国化学家杜马为首的化学学派。我们知道,有机化学的兴起和迅猛发展是与德国化学家李比希进行的杰出的化学教育和研究工作分不开的。但是,法国和德国的化学家在探索有机化学领域的方向是不同的。德国化学家偏重有机化学的实验内容,如有机物质的分析以及可行的有机物合成;法国化学家则偏重有机化学的基础理论的探索,例如他们在充分利用德国同行提供的可靠的实验基础上对从无机化学移植入有机化学的“电化二元学说”进行的批判,直到经过严密的推理和演绎终于在19世纪中叶把它予以推翻。接着是由一批法国化学家提出了企图把有机化学知识全部加以囊括的理论,诸如“基团论”、“取代说”和后来的“类型论”。其中,尤其是罗朗和日拉尔的类型论,不仅形象直观地表达了化学物质的结构观念,而且还为有机化学的发展适时地提供了一种方法论基础。进入19世纪下半叶以后,法国化学又继续在有机化合物的旋光性方面做出了突出贡献,为有机立体化学铺上了一块奠基石。当时,巴斯德(L. Pasteur, 1822—1895)首次用实验方法分离出旋光性有机物质,勒贝尔(J. A. Lebel, 1847—1930)则在1874年提出了关于确定旋光活性的“对称分子”学说,并同范特霍夫的“非对称碳原子”学说一道,创建了立体化学发展的主要基础。但在当时,众多的化学家都还没有意识到研究旋光性对有机化学的重要价值。此后,法国化学还在有机合成方面取得了新的突破。这主要是反映在法国化学家格林纳德(F. A. V. Grignard, 1871—1935)的研究成果上。他创造的简易“格氏试剂”,把有机合成推向了一个新的发展阶段。

但是,法国化学自从19世纪下半叶以来,由于科学制度未能更好地适应化学发展的需要,以及科学人员的过分集中,就使得法国科学出现了某种闭塞局面,尤其是在相邻德国科学的强有力的挑战下,就使得欧洲的科学中心逐渐开始移向德国。

三、法国化学的传统

首先是法国重视理论化的传统。这一传统主要来自法国哲学家笛卡儿的思想。它的具体表现就是重视化学方法论的问题,即主张用演绎法和数学表达式来看待化学现象,象罗朗的“假说-演绎”方法就是这样。对数学的重视则和法国的科学教育制度有关。在法国,数学一向是各大学入学考试的科目

D.Knight : The Age of Science , Basil Blackwellp.11 (1986) .

L.J.Klosterman : A Research School of Chemistry in the Nineteenth Century , Jean Baptiste Dumas and his Research Student part I , Annals of Scienc 42 , pp.1—40 (1985) .

J.H.Brooke : Methods and Methodology in the Developm-ent of Organic Chemistry , Ambix34 , PP.147 - 155 (1987) .

R.B.Grossman : VantHoff , LeBel , and the Developme-nt of Stereochemistry , A Reassessment , J.Chem.Educ.P.32 (1966) .

之一，学化学的学生同样如此。数学方法的简洁性是法国化学较早专业化的原因。同简洁性相关的理论化作用似乎并没有受到西欧其它国家化学家们的重视。因此法国化学家们的理论研究成果，起码在 19 世纪中叶还不能轻易为化学界所承认，尤其是勒贝尔的“对称分子”学说。

其次是法国化学历来强大有力的教科书传统。这是从拉瓦锡创造的法国新化学开始的。他的《化学纲要》以及与同事们合编的“化学命名法”，首先以系统的形式将化学知识从根本上赋予了一种可以代代相传的“表现体”（载体）——化学教科书。这一传统在 19 世纪中得到了进一步发展，在某种程度上可以把它看做是推动化学知识国际化的基础。

第三，是法国化学的组织化系统。法国化学的组织形式有两类。一是化学社团，二是大学中的化学教育体制。法国化学社团在早期仿效了英国皇家学会的模式，在国王路易十四的资助下建立了“法兰西科学院”，直接为朝廷服务。其中就有包括像拉瓦锡在内的当时极其有名的化学家。此外，就是在那些主要是培养贵族的军事院校中也有一些在数学上造诣较高的并对化学感兴趣的人。法国大革命后，法兰西科学院被重新组建，吸收了又一批像盖·吕萨克这样的化学家。1855 年，法国又在巴黎仿效英国伦敦化学会的模式成立了“法国化学会”。但在此前，法国化学已经主要通过科学院和高校的作用，进入了化学职业化时期。

法国的大学主要是建于法国大革命时期，其中同法国化学发展关系最密切的是当时创建的巴黎综合工艺学院和巴黎高等师范学院。这两所学校连同法兰西科学院和巴黎自然博物馆，组成了当时世界上最优秀的学术研究基地。这种高度集中的特点是巴黎成为科学中心的主要原因。巴黎综合工艺学院是法国第一批向学生提供实用化学研究的学校。在那里不仅有实验室，还有杰出的教师。他们培养出了像盖·吕萨克、杜马、罗朗和日拉尔等许多杰出的法国化学家。巴黎高等师范学院不仅是培养科学家的摇篮，而且还对法国的政治决策起着重要作用。可见法国科学与政府关系密切的程度。这两所学校主要是面向大革命后在法国社会阶层中日益强大的中产阶级，并突出了科学作为一种生活职业的要求。他们对数学要求十分严格，规定数学教育是学习物理和化学的条件之一。

法国化学刊物总的也分为两类：官方刊物和化学家私人创办的刊物。法国大革命后被改组了的法兰西科学院，从 1835 年开始出版了一种周刊，其中有化学方面的论述。1858 年，法国化学会开始出版《法兰西化学会通报》。但著名的还是法国化学家私人办的杂志，像拉瓦锡在 1789 年联合他周围的同事创办的《化学年鉴》，以作为他们研究成果的载体。大革命期间和大革命后，这一刊物发生了许多变化。1815 年，它被易名为《化学和物理年鉴》。在一个世纪以后的 1914 年，《化学和物理年鉴》又被分成《化学年鉴》和《物理年鉴》。

在此，我们可以看出，化学在法国的发展没有像在英国那样同自然哲学有很密切的关系。法国化学较早地脱离了自然哲学的束缚。

M.Crosland : History of Science in a National Context , Brit.J. Hist.Sci.10 , pp.100—105 (1977) .

A.J.Ihde : The Development of Modern Chemistry , N.Y.PP.272—273 (1964) .

第三节 德国化学的发展

德国化学同英国化学的自然神学观和法国化学的早期职业化不同，它的发展是与冶金、医药和矿物学的发展紧密连在一起的。同时，德国化学也是通过向英、法学习，进而赶超他们而获得发展的。德国化学的基础是大学的化学教育和独立的化学科学研究活动。

一、德国化学的思想基础

德国化学的思想基础主要有两条明晰的线索：经验观察和自然哲学。

德国化学在中世纪和文艺复兴后取得的关于炼金术与医药化学方面的成就，是它后来崛起的一个重要基础。德国血统的医药化学家帕拉塞斯提出的“破译”自然界现象的“三要素说”，将化学首先从古希腊混沌的自然哲学中释放出来，成为以医药为主要表现的医药化学，从而在17世纪诞生了一大批所谓的“医药化学家”。此外，海尔蒙特（Van Helment, 1577—1644）在德意志地区游学期间，进一步把医药化学具体化为一种现今我们所知的类似于生理学的形式。同时，还对“三要素说”进行了物质化的半定量实验，并将医药化学推进到部分展现物质运动形式的化学哲学。到18世纪初，“三要素说”直接成为德国医药化学家贝歇尔和斯塔尔提出的“燃素说”的依据。按照这一学说，物质燃烧是放出自身那部分不可称重的流质“燃素”的结果，从而认为对于化学现象的研究来说最好就是运用直观的实验和观察方法。显然，这种经验方法是同客观实在的燃烧现象密切相关的。因而从表面看来，它的公理很能说服即使是实践经验很为丰富的人。“燃素说”给德国化学的发展最早打上了经验观察的烙印。

此外，1780—1830年期间在德国的丰富的哲学思想库中，也有部分内容为德国化学的发展起到了奠定思想基础的作用。这就是德国的“自然哲学”。它对化学作用的结果，在化学史研究中被称之为“浪漫主义化学”。德国当代历史学家指出，德国“自然哲学”并不是我们通常以为的只是一种哲学，事实上起码有两种界限和应用范围不同的“自然哲学”：先验自然哲学和形而上学自然哲学。后者又可分为“浪漫主义自然哲学”和黑格尔提出的“思辨自然哲学”。其中，思辨自然哲学对19世纪时期的德国化学产生了重要影响。德国历史学家认为，那种以为德国自然哲学不利于科学进步的看法是不合适的。“自然哲学”对化学学说的产生具有启示性作用。可以说，它滋养着化学，特别是有机化学，促进了这一学科的发育和成长。

二、德国化学的发展阶段

通过对德国化学史主要事件的分析 and 概括，可以认为德国化学的发展主要是经历了三个阶段。

（1）启蒙时期（1815年以前）。在这一时期中，德国化学有如襁褓中的婴儿，尚未真正感知化学的实在内容。实际上，德国化学此时只是“燃素”“化学”。除此之外，德国化学还受到了法国文化的冲击。因为在1815年前，德国实际上只是一块由大小几十个公国组成的德意志民族区域。它们唯一的共性是德语，而且还是法国军队的占领区。拿破仑率领法国军队横扫欧洲大陆的行动，间接输出了当时发达的和领先的法国文化，从而自然影响到了德意志地区。此外，由于波拿巴王朝和保皇派波旁王朝的政权倾轧，又迫使大

批持不同政见的法国人离开法国逃避到包括德国在内的其他欧洲国家。这些人也成了法国文化的传播者。由此可想而知，德国人在当时这种文化的冲击下，已有可能吸收到法国新化学的气息。在已有的“燃素”化学和阿格里柯拉(G. Agricola, 1494—1555)始创的“冶金化学”基础上，德国化学势必增加了新内容。

(2) 成长时期(1815年以后到19世纪中叶)。表征这一时期的德国化学主要事件是李比希的化学成就，尤其是他开创的行之有效的化学实验室教学法。此外，则是李比希与维勒在有机化学领域的合作，以及维勒本人对尿素的人工合成。随着李比希在化学教育方面所做出的杰出贡献，德国化学在有机化学和应用化学方面开始走在西方的前列。19世纪初期，李比希不满足于当时德国大学中那种生搬硬套的教学方式而去了法国巴黎，并跟随法国有名的化学家盖·吕萨克学习。1825年回国后，被委任为新建的吉森大学化学教授，开始了有选择性的化学研究，主要是侧重研究拉瓦锡的新化学知识体系。李比希是从分析化学开始的，最后把分析范围从矿石扩大到了比较复杂的有机化合物。李比希在吉森大学期间推出的化学实验室教学法，受到了德国其它大学的推崇。同时，其名声又由于各国留学生慕名前来而远播他国。

在吉森期间，李比希本人和他的学生们所取得的杰出成就，可以认为是德国化学进入成长时期的标志。实际上它们构成了德国化学迅速在欧洲大陆崛起的核心。这就是化学史家们所称之为的“李比希化学研究学派的贡献”。不过，需要指出的是，这一学派的形成，实际上还包括有19世纪中叶以后其他德国化学家的共同努力。但是，这一学派中的化学实验室教育以及应用化学的发展则应当看作是德国化学成长时期的关键因素。李比希及其学生们的化学实践，构成了德国化学的生动的化学知识结构，成了又一代的科学的范式或硬核。

(3) 成熟时期(19世纪中叶后到20世纪初期)这一时期是德国化学发展的一个鼎盛时期。德国作为欧洲化学的中心，无论在化学理论还是在化学应用方面，都在指导着化学的发展，成为世界各地化学家瞩目之所在。

如果仍以李比希化学知识体系为考察主线，那在这一时期的结果就是，新一代的德国化学家有了较李比希的研究领域更为宽广得多的领域。他们在补充和发展着李比希的化学知识体系。在德国各大学中，陆续建立了足以同吉森大学化学实验室相媲美的其它化学实验室，并形成了一些类似学派的化学研究核心，如德国海德堡大学的本生化学实验室，就是很有影响的一个。还有像哥廷根大学的维勒化学实验室，则在无机化学和部分有机化学问题上吸引了众多的外国学生。此外，柏林大学的费歇尔化学实验室等也都是闻名于世的实验室。

如果说李比希是展示了德国化学的经验观察的思想基础，那么充分展示理论思维的德国化学家则首推凯库勒。在1858年和1865年，凯库勒先后用梦幻般的思维，提出了碳原子耦合成键和苯环六边形结构的大胆学说，把有机化学的理论发展推进了一大步，使得德国化学在19世纪下半叶几乎包容了化学理论和化学应用研究的全部进展。他的苯环结构思想，也几乎覆盖了法国化学家们几十年在有机化学理论方面取得的所有成果。虽然关于凯库勒本

人提出他的学说的方式，有些令人生疑， 但必须承认，凯库勒为德国化学理论研究所做出的实质性贡献，则是不容置疑的。

但是，又应当看到，德国化学在 20 世纪初的名声，多半是来自于它的发达的化学工业，尤其是染料化学工业。实际上，德国的染料化学工业的发展也经历了一段富有戏剧性的变化。因为是德国化学家霍夫曼让英国学生柏琴无意间找到了开办染料工业的“钥匙”，由此使英国化学工业曾经有过数年优势的光辉时光。但是自从霍夫曼从英国回德国后，英国化学工业领先的局势就逐步发生了变化。最先是成批的德国人涌向英国学习染料合成技术，随后是成批购回英国的染料工业设备，拆开研究，最后是成批的染料产品销往英国和整个欧洲大陆。德国人在短时期内掌握了染料工业的关键。继染料工业后，德国又相继涌现出制糖工业和石油化工，几乎控制着全世界的应用化学工业。

当德国化学工业名列前茅的同时，化学的又一支学科物理化学，也在德国悄然兴起。随着奥斯特瓦尔德和荷兰化学家范特霍夫推出《物理化学杂志》（1887 年），德国又成为物理化学研究的一个中心。

20 世纪初期以后，德国化学的中心地位，受到了美国化学的挑战，并最终因种种内外因素而逐步失去了中心地位。然而正像曾经陆续是化学中心的英国和法国一样，德国化学中心地位的丢失也并不表明它不在化学发达国家之列。事实上，它和英国、法国一样，都是世界上发达的化学国家。它们各自的化学制度仍在发挥着极其有效的作用。

三、德国化学的传统

德国的化学传统，从根本上说，是来自于一度作为德国化学中心的“燃素化学”。围绕斯塔尔的学说，出现了那种相信燃素存在的德国化学家，其范式就是相对错误的“燃素说”。在 19 世纪初期，众所周知，李比希在吉森大学形成了一种研究学派，而现在已有化学史家认为，维勒、本生和霍夫曼等人的化学实验室，实际上都可将其作为研究学派而加以探讨。关于这种德国化学的研究学派的作用，莫过于它对美国化学发展所施加的传统影响了。

此外，德国的正规大学化学教育体制传统，既是受德国各种学派影响的结果，也是受德国自身的政体性质导致的结果。德国的政体的分散性使得德国的化学制度也更加独立。对德国化学家来说，大学就是从事化学教学和化学研究的中心。各个城市的大学是彼此独立的，因为各个地方都有自己的立法制度。因此，在这种形势下，德国大学中的化学教育制度也各自日趋完善。

还有一点应当提到的是，德国化学在发展中也常常出现偏重经验观察而忽略理论概括的倾向。这在一个以哲学发达闻名的国家中出现了忽略理论概括的现象似乎是令人不可思议的，但德国化学的历史又明白地记载着这一事实。

在李比希的化学研究取得重要成就的 1841 年，李比希就对法国有机化学的理论化趋势表示了不赞赏的态度。他认为，随着取代学说作为一种基础，有机化学的发展只需要实验者而不需要聪明的理论家。此外，作为李比希的学生凯库勒的化学背景材料更能说明这点。李比希似乎对凯库勒时常表现出

L.F.Haber : The Chemical Industry in the Nineteenth Century , Proceedings of the Chemical Society , pp.245—236 (1958) .

C.A.Russell : The Structure of Chemistry , The OpenUniversity Press , pp.44-46 (1976) .

的理论思维素质不以为然，但在对于发展英国式的染料化学工业时，德国化学界却表现出莫大的热情。可以肯定，这种重经验、重实际的传统一定是这种热情的一种基础。而到了 20 世纪初，当美国人路易斯和朗格缪尔首次推出共享电子对学说的时候，德国化学家，特别是有机化学家，似乎对这项美国成就不以为然，仍坚信凯库勒对有机化学的结构理论的研究成果。这就造成了在 20 世纪 20 年代德国化学的中心地位受到英国和美国的挑战的局面。

最后，应当看到德国化学实验室的组织传统以及传播的特点。同英国化学组织的存在形式有两类一样，德国化学组织也有都市化学社团和地方化学社团。但德国化学的地方化学组织实际上就是德国各大学中那些有名的化学实验室，在前面已经说过，德国的化学实验室有点像化学研究学派的样子，实验室所发挥的功效甚至比英国的哲学社团更大。都市化学社团主要集中在柏林，像成立于 1700 年的普鲁士科学院（化学是其中的部分讨论内容）。其次就是 1866 年在柏林成立的、仿效英国伦敦化学会的“德国化学会”。两年后，该职业化学团体出版了化学杂志《通报》。

恐怕西欧没有哪个国家能像德国那样拥有大量的、私人创办的化学刊物了。1798 年，德国人谢尔（A·N·Scherer，1771—1824），创办了《大众化学杂志》（Allgemeines Journal der Chemie）。1804 年该杂志更名为《新大众化学杂志》（Neues allgemeines Journal der Chemie）。1807 年再度改为《化学、物理与矿物学杂志》（Journal für die Chemie, Physik, und Mineralogie）。1811 年又改为《化学和物理杂志》。1834 年又成为《实用化学杂志》（Journal für praktische Chemie）。此外，我们知道，李比希的化学名声在很大程度上是依赖于他自己创办的专门发表化学研究论文的杂志。现在这份杂志几经易名后已成为名扬世界的化学权威杂志。具体来说，1832 年李比希创办了《药学年鉴》，1839 年易名为《化学及药学年鉴》，1837 年再最终被易名为沿用至今的《李比希化学年鉴》（Justus Liebig's Annalen der Chemie），专门刊载有机化学论文。

通过对西欧化学发展的讨论可以看到，在发达的英国、法国和德国，化学的发展并不完全是按化学自身的逻辑发展的，而是受多种因素制约和作用的结果：在化学传统的形成过程中包含着化学中心的往复运动；化学思想基础在很大程度上决定着化学在各个区域发展的总体性；化学组织是化学与社会相互作用的关节点。可以看出，对化学在世界各个区域发展的轨迹的讨论，必然会丰富和加深对化学科学本身的认识。

第二十章 苏联化学发展论

苏联的化学有比较雄厚的基础。从历史上看，俄罗斯产生过罗蒙诺索夫、布特列洛夫、门捷列夫等闻名世界的伟大化学家。他们在物质守恒定律、有机结构理论、元素周期律等方面具有重大贡献。特别是门捷列夫元素周期律至今对整个人类物理、化学的发展，对生产实践以及对哲学领域产生着深远的影响。他们的工作为苏联化学的发展奠定了重要的基础，在世界科学中占有重要的地位。但是在十月革命前，俄国的化学还只是限于个别人、个别学派对个别学科的研究，化学工业的发展也很薄弱。苏联建国后化学的基础研究和化学工业都得到了迅速发展，创建的大量的化学专业研究所、高等和中等化学专业学校不仅培养了大量的化学专业人才，而且还使一大批化学家在不同的化学方向做出了重要贡献。例如提出支链反应理论而获诺贝尔化学奖的谢苗诺夫；提出催化的活性集团理论的柯巴捷夫；发现电子顺磁共振的扎伏伊斯基；提出多相催化的半导体理论的伏尔肯斯坦以及发现化学振荡反应的别洛索夫等等，他们的工作促进了苏联化学迅速发展。

纵观苏联化学演化的历史，可以看到，苏联化学的发展既走过了曲折的道路，也获得了丰硕的成果，可为我们提供许多有益的启示和借鉴。

这里所提的“苏联”，指的是前苏联，以下均同。

第一节 俄罗斯化学的基础

一、彼得堡科学院的创立

俄罗斯化学的产生是与科学院的建立联系在一起。18 世纪初俄国科学人才十分缺乏，彼得大帝为了培养自己的科学家，于 1725 年按照他的宏伟规划在彼得堡建立了一座与巴黎科学院相同的科学中心——彼得堡科学院。1735 年俄罗斯化学的奠基人罗蒙诺索夫曾被选送到这里学习，后来又把他派往德国进修化学和冶金学。回国后他一直在彼得堡科学院从事科学研究，俄罗斯的第一个科学和教学用的化学实验室就是他在彼得堡建立起来的。18 世纪中叶，正是机械论的兴盛时期，而罗蒙诺索夫却发现了作为物理和化学现象基本规律的物质质量不灭定律，首次提出“物理化学”这一术语，专门为学生开班讲授他自己编的《物理化学教程》，为近代物理化学的产生和发展奠定了基础。罗蒙诺索夫是苏联人民的光荣和骄傲，被认为是俄国科学院中的第一个化学家。他的学说、理论是俄罗斯的科学化学产生的标志。

二、高等化学教育的开展

19 世纪初由于建立了许多高等学校，而使过去几乎是完全关在科学院大门内的化学在俄罗斯一些城市得到了发展。除了资格最老的莫斯科大学之外，还创办了尤尔耶夫大学(1802)、哈尔科夫大学(1803)、维林大学(1803)、喀山大学(1804)、彼得堡大学(1819)、华沙大学(1832)、基辅大学(1834)等。此外还建立了一些高等技术学校，如彼得堡矿冶学院(1773)、彼得堡工艺学院(1828)、莫斯科高等技术学校(1832)、彼得罗夫农业学院(1845)等等。化学在这些学校中占了极重要的地位，化学讲座和实验室也都组织和建立起来。所以到 19 世纪下半叶俄罗斯的化学已经形成了专门的、分散的独立研究体系。这些在高校工作的俄罗斯学者在化学知识领域中特别显露出他们的天才。在整个化学发展过程中，俄罗斯学者对化学的贡献是卓越的，从而也造就了一批杰出的化学家，为俄国以至苏联化学的发展发挥了重要作用。

三、化学家队伍的形成

门捷列夫是俄罗斯时期的一位天才，他发现的化学元素周期律使 19 世纪的化学走上新的时代，为化学和物理学的发展开辟了新纪元。19 世纪末 20 世纪初物理学和化学的发展，例如，元素物理性质和化学性质的测定、新元素的发现、原子结构的揭示以及其它许多重要成果，都是在周期律的指导下获得的。门捷列夫元素周期律打开了揭示粒子世界和原子结构的秘密，研究化学元素和组成复杂自然界的化合物的的大门。

19 世纪中叶另一位杰出的俄罗斯化学家布特列洛夫在喀山大学工作。他研究了许多有机化合物，首次提出“化学结构”这一术语，并进一步建立了化学结构理论。这里值得注意的是布特列洛夫的周围还吸引了一批化学家，形成了俄国化学史上第一个化学派。这些化学家中有布特列洛夫的学生马尔柯夫尼柯夫、查依采夫、瓦格涅尔及其同行齐森科、列福尔马茨基、库切洛夫等。他们不仅发展了布特列洛夫的分子中原子相互影响的学说，把原子价概念和化学键概念区别开来，而且还对金属有机化合物在有机合成中的作用进行了研究，形成了有机化学结构理论。布特列洛夫有机化学结构理论的出现是有机化学历史上的转折，为元素有机化合物的研究做出了开创性的贡献，从此以后有机合成化学迅速发展起来。

20 世纪初，列宁格勒和莫斯科等地的化学家法沃尔斯基、库尔纳科夫、齐森科、巴伊科夫、泽林斯基纳梅特基、希洛夫、丘加耶夫等曾追随俄罗斯先辈，并在他们的基础上开展工作，然而，在沙皇时代这些优秀的学者都没有能够充分发挥自己的才能。

在这一时期，化学工业技术也有一些成就。例如齐宁第一个用还原硝基苯的方法制苯胺、门捷列夫提出的地下煤层气化的方法、泽林斯基制成防毒面具等。

总的来讲，十月革命前俄国化学家的科学活动与实际需要相脱离，得不到科学工作所必需的条件。没落的沙皇政府不仅不支持他们的科学活动，还经常加以阻挠。因而尽管在化学的基础研究方面取得了卓越的成就，但也主要是在物理化学、有机化学和无机化学的几个方面，还只是限于个别人、个别学派对个别学科的研究。化学科学的其它分支还没有得到全面发展。化学工业仍然十分薄弱，没有形成完善的化学工业体系，在世界上是处于比较落后的状态的。

第二节 苏联早期化学的特征

苏联建国初期强调科学为苏联的工业和军事力量服务，动员整个社会实现工业化。因而这一时期所制定的科学规划也是高度重实效的。

一、广泛建立研究机构

苏联科学院一直是苏联科学研究的中心，同时还建立了一些新的研究所，特别是建立了一些化学专业研究所、高等和中等化学专业学校。例如，1919年创建了俄罗斯化学研究所，库尔纳科夫、齐森科等著名学者在这里工作。同年在莫斯科又创建了卡尔波夫物理化学研究所，后来这里成为苏联物理化学研究中心。同时期创建的研究所还有肥料研究所、中间产物及染料研究所、氮研究所、涂料研究所等一些应用研究所。在苏联科学院中则建立了普通化学及无机化学、有机化学、化学物理、物理化学、生物化学、石油化学、矿物燃料等研究所。随着加盟共和国科学院的成立，在基辅、第比利斯、巴库、塔什干、明斯克等城市建立了化学研究所。除此之外，还创办了莫斯科门捷列夫化工学院、莫斯科罗蒙诺索夫轻工学院、莫斯科化工机械学院、喀山化工学院、第聂泊德罗夫化工学院等著名学府。这些化学研究所和化学专业学校为发展苏联化学的基础研究和化学工业培养了专业人才，同时也促进了苏联化学家在不同的化学方向做出重要贡献。

泽林斯基在这个时期是苏联杰出化学家的代表。他在莫斯科大学从事科学研究与教学活动，不仅写出了大量的科学研究论著，而且还培养出像纳梅特基、涅斯梅亚诺夫、卡赞斯基等优秀化学家，并为众多的研究机关和高等学校培养了大批学者和教授。在泽林斯基的大量研究成果中对石油化学和烃类的催化转化的研究具有特殊意义，例如利用去氢和加氢作用从石油工业中获得原料制取化学工业和国防工业所必需的各种芳香族化合物。他还找到了利用石油资源合成许多极有价值的醇、醛、酮、酸等类化合物，促进了有机化学和化学工艺的发展。泽林斯基在有机化学其它部门的研究也有重要意义。例如他对饱和烃和二元酸立体结构的研究、对五元环、六元环化合物的合成等。在蛋白质化学方面他发现了合成 α -氨基酸的新方法，同时还与加夫里洛夫创立了蛋白质结构的环二缩二胺乙酸的学说。

二、密切联系生产实际

在这个时期有机化学家十分重视与化工生产密切相关的课题。例如，卡赞斯基利用催化反应使脂肪烃起环化作用、使乙炔转变为苯及其它芳香烃。他的工作为这些有机化合物的工业生产开辟了道路。纳梅特基合成了整串的环境烷及其衍生物，他对萜类化合物，特别是樟脑化合物的研究工作引起了人们关注。列别捷夫于1931年在实验工厂中制成了260公斤人造橡胶，当时引起全世界的瞩目。阿尔布佐夫在发现了亚磷酸酯在卤化烃的作用下转变为次磷酸酯的异构化作用——著名的“阿尔布佐夫重排”之后，便沿着这一方向合成了许多有杀虫效力的有机磷化合物。某些有机磷化合物的杀虫效力比666或DDT大数十倍以至数百倍。

对金属有机化合物的研究，是俄罗斯化学家的传统。在这个时期又有了新的的发展。以涅斯梅亚诺夫为代表，他在1928年用重氮方法获得了汞、锡、锗、砷和其它重元素的有机化合物。这一发现成为金属有机化合物化学发展的最重要阶段。而后，苏联建立的以涅斯梅亚诺夫命名的元素有机化学研究所又在这个方向上做了大量的工作，研究了汞有机化合物和锌、镉、镁、铝、

铊、锡、铅、锑、铋、多价碘等有机化合物。他们研究的中心问题是寻找新的合成方法和这些有机化合物之间的相互转变。这个研究的重要性不仅在于获得含有金属原子的化合物，而且还在于利用它们来合成更复杂，更有价值的物质。

苏联无机化学家在这个时期研究了化学工业、冶金和粘合材料生产中的许多工艺过程的基础。例如广泛研究苏联的盐类资源，研究拟出天然盐类的工艺方法，开发了巨大的钾矿，改变了俄国时期自国外进口钾肥的现象，相反还能够出口一部分钾肥。从 1932 年开始苏联还建立了铝的生产基地，并且迅速地发展到相当大的规模，成功地解决了制铝工艺中的许多重要技术问题。

在稀有元素化学和工艺学方面，这时也进行了许多研究工作。苏联科学院从 1918 年开始接受了苏联政府交给的由本国的铀钒矿中提取镭的任务，以杰出的化学家赫洛平 (B. T. X-) 为首的化学工作者们经过艰苦的努力，终于在 1921 年制出了溴化镭。几年后，苏联化学家又用同样的原料生产了纯的铀化合物。这个时期苏联化学家还研究了钨、钼、铌、钽、钛、钒、锂、铷、铯、铍、铂等稀有元素化学与工艺学。

三、积极开展理论研究

在化学基础理论研究方面也取得许多重大成果。苏联化学家谢苗诺夫和英国化学家邢歇伍德对 H_2 和 PH_3 在氧气中的燃烧反应做了深入研究。他们两人都得出燃烧反应是链式反应的结论，并提出了支链反应的概念，后来谢苗诺夫发展了分支和不分支链式反应的普遍理论，定量解释了许多离奇的未被解释过的事实。1934 年谢苗诺夫又在他的专著《链式反应和化学动力学》中系统地探讨了链式反应的机制。由于谢苗诺夫和邢歇伍德对反应机理的研究，在 1956 年共同获得诺贝尔化学奖。苏联化学家的成就得到了举世公认，在国际上获得了最高评价。

催化作用是医药学和工业上极为重要的一种化学方法。苏联化学家极为重视对催化反应机理等方面的研究。1929 年苏联化学家巴兰钦 (A. A. a a) 在美国化学家泰勒 (H. S. Taylor) 提出的“活性中心理论”的基础上，又提出了关于催化剂活性中心的结构理论，即多位催化理论。他认为活性中心的结构与反应物催化过程中发生变化的那部分结构处于几何对应，即结构上应是相似而又相称的，这样才能起到催化作用。他的这一工作，实际上是解释了催化剂的选择作用。1939 年苏联化学家柯巴捷夫 (H. .Ko a e) 又提出了活性集团理论，认为活性中心是催化剂表面上非晶相中几个催化剂原子组成的集团，这种集团在催化作用中就是一个活性中心。此外苏联化学家在 1948 年还提出了多相催化的半导体理论，1954 年又提出多相催化的链反应理论。总之，这个时期苏联学者在催化理论的研究中不断涌现新的理论、新的观点，使催化理论的研究开始由宏观水平深入到分子结构水平，为表面化学的建立和发展做出了贡献。

四、错误推行极“左”批判

需要指出的是，在这个时期苏联的化学虽然取得了巨大的成绩，但同时也与它的国家一样经历了曲折的道路。从 30 年代初开始，苏联国内运动一场接一场，从批判德波林“孟什维克化的唯心主义”到反托洛茨基斗争，以致后来的肃反扩大化和 40 年代末期的反对世界主义等方面都存在着极“左”的倾向。主要表现为，一是把哲学的党性原则强加于自然科学，二是把学术

争论与政治斗争混为一谈。这几次极“左”错误都给苏联的科学事业和发展带来了深重的灾难。对化学领域影响较大的是1947年苏共中央作出关于意识形态问题的一系列决议之后，以李森科等人讨伐生物学的摩尔根学派为开端，批判的火焰迅速燃及生物学、物理学等领域。生理学的魏尔肖细胞病理学、物理学的爱因斯坦相对论和哥本哈根学派以及维纳的控制论等都接连受到了批判。在化学领域则开始了对鲍林共振论的批判。

对鲍林的共振论，苏联化学界在第二次世界大战前就进行了详尽的介绍和论述，当时许多化学家在自己的著作和研究中使用共振论。苏尔金与杰亚特金娜在《分子的化学键和结构》一书中详细论述了共振现象。鲍林曾经称赞该书是一部“优秀的著作”。这两位化学家是“今日苏联最有才干的化学家。”当时，苏联高教部把这部著作定为大学化学系学生辅助教材，后被美国译为英文，在国内大学中使用。1947年苏尔金和杰亚特金娜又把鲍林的《化学键的本质》译成俄文，接着他们又合译了威兰德的《共振论及其在有机化学中的应用》一书。

在化学领域批判共振论是从1949年切林采夫出版的一本小册子《有机化学理论纲要》开始的。他在这部著作中指出，共振论在方法是机械论的，缺乏独创性，并认为鲍林提出的“共振”概念是“用一种与事实不符”的机械论的描述在“充塞人类知识的空白”。他同时提出“新结构理论”，建议用一种方法来解释分子结构。这种方法既不包括量子力学的近似方法，也不需要一种化合物使用一个以上的结构式。根据他的理论，苯的结构可以不按共价键而按电价键或离子键画出。切林采夫的小册子在苏联虽然引起了对共振论的讨论批判，但他的“新结构理论”也遭到了反对，被认为是无科学价值的，并且他本人也被认为是“无论在化学，还是在辩证法方面。都缺乏充分的训练”。美国学者格雷厄姆称他是一个“积极的、野心勃勃，但并不出名的化学家”，企图成为化学中的李森科，却没有得到官方的宠信，结局完全与他个人的愿望相反。可是尽管如此，在苏联意识形态进行交战的时刻，切林采夫一书的出现无疑地把共振论推到了哲学讨论的前沿。同年《哲学问题》发表了B.M.塔捷夫斯基和M.沙赫巴洛诺夫合写的文章《论化学中的马赫主义理论及其宣传者》。这是从哲学上批判共振论的开端。而后，批判共振论的浪潮席卷苏联。

批判初期，许多化学家公开做了抵制，从科学上捍卫共振论。如涅斯米扬诺夫、库尔沙诺夫、萨加洛夫、苏尔金和杰亚特金娜等。1950年M.卡马里和B.库兹涅佐夫发表《为马克思主义哲学的创造性研究而斗争》一文，批评塔捷夫斯基和沙赫巴洛诺夫，认为他们的文章“没有深入和严肃地分析所提出来的问题”，“将会引起缺乏经验的读者在思想上的很大混乱”。这实际上是对这场批判的一种抵制。

1951年6月苏联科学院化学部举办了有机化学中化学结构理论问题的全苏会议。会上通过的《有机化学中化学结构理论的状况》的报告对共振论和中介论以及切林采夫的“新结构理论”都作了批判。主要观点是：布特列洛夫是化学结构理论的奠基人，而共振论在哲学上是唯心主义的，在科学上是站不住脚的，在方法是机械论的。其它学科领域的人也参加了会议。会议

Loren.R.Graham : Science and Philosophy in the Soviet Union , N.Y.p.310 (1972) 。

Loren.R.Graham : Science and Philosophy in the Soviet Union , H.Y.P.301 , 310 (1972) 。

建议在整个科学的范围讨论批判共振论。从这次会议后，不同的意见被压制了。苏尔金、杰亚特金娜、库尔沙诺夫等化学家迫于形势，不得不放弃了他们早期对共振论的捍卫，而且在不同程度上公开承认自己错了。一时间，关于共振论的论战沉寂下来。

总之，这一时期苏联化学又处于激烈的动荡时期。对共振论的批判使苏联在量子化学方面的研究停滞不前，正如苏联科学院院长涅斯梅亚诺夫 1956 年 12 月在科学院大会报告中所指出的那样，苏联在现代结构理论和量子化学方面的情况比较差，近几年来没有尽必要的努力来发展这些最重要的化学研究工作。结果科学家的数目减少了，落后的情况加深了。他还指出，1951 年举行的结构理论讨论会，并没有促进工作的进展，而是使科学家更快地离开了这个科学领域。

综上所述，我们看到，这个时期是苏联工业化时期，苏联化学家在苏联头几个五年计划中的主要工作是集中力量直接帮助和参加社会主义建设，因而与工业生产密切相关的石油化学、合成化学、表面化学都取得了一些突破性的进展，化学基础理论研究相对薄弱一些，特别是理论化学的前沿领域——量子化学方面的研究却处于落后状态。由此也使我们更加清楚地看到了社会生产和社会政治对自然科学的作用和影响。

第三节 苏联近期化学的发展措施

一、努力纠正极“左”偏向

以 1953 年为标志，斯大林逝世后，苏联人民开始纠正斯大林时期的错误。随着现代科学技术的迅速发展，随着苏联意识形态领域指导思想的深刻变化，学术问题混同于政治问题，用哲学代替自然科学等“左”的错误开始得到纠正。苏联哲学界逐渐认识到这种错误做法，并以比较正确的态度对待从五、六十年代开始的现代科学技术革命。苏联理论界学术讨论出现了较为宽松自由的气氛。在化学中批判共振论的气氛也逐渐减弱，首先是，1953 年 10 月《普通化学杂志》刊登一篇纪念布特列洛夫诞辰 125 周年的文章打破了相对的沉寂。文章重申了官方对共振论的批判态度，以证明这场论战没有停止，但仅仅是简单地提到布特列洛夫的化学结构理论与共振论之间的所谓矛盾。到了 1954 年少数涉及到共振论文章的调子发生了明显的转变。一些在 1949—1951 年间被谴责有思想错误的科学家开始写文章进行反击。例如 1955 年 1 月 .克努年茨和 .祖布柯夫在题为《论科学中的学派》一文中认为关于共振论的讨论“虽然正确指出了这个观念的错误”，但也给量子力学“投上了阴影”，同时又“不公平地根本怀疑鲍林全部研究的科学价值”。而后，化学领域开始了纠正批判共振论的错误和对共振论重新进行评价的讨论。

二、大力加强国际交流

1958 年 5 月苏共中央作出“加速发展化学工业，特别是国民经济所需要的合成材料及其制品的生产”的决议。1958 年 7 月苏共中央和苏联部长会议又作出了“关于加速发展人造纤维、合成纤维、塑料和其它合成材料及其制品的生产，以便满足 1958—1965 年人民和工业需要”的决定。这给化学工业的设计部门提出了设计巨大的大型化学企业的任务，并要求在投资最少，而技术经济效果最大的前提下尽量采用符合现代技术水平和技术措施。苏联学者研究了美国、日本、西德、英国等资本主义各国的合成工业的发展，并从中吸取了经验和教训。60 年代中期以后，苏联科学界开始积极组织研究队伍，苏联化学家积极加入各种重要的国际科学研究机构，首先加入了化学理论和化学实践的国际联盟。参加了由联合国科教文组织发起的在法国建立的量子化学专家委员会的工作，扩大了同很多发达国家化学机构的科学技术交流，特别是对催化反应、聚合物化学、石油化学、化学动力学和化学反应历程、生理活动的实验标本和药用制剂等一类问题的研究，进行了广泛的国际交流。

三、强调面向国民经济

近年来，苏联化学家的注意力正在转向与国民经济发展密切相关的课题。例如涉及专门聚合材料的生产、吨位不大的化学产品的发展、保护作物方法的研究、制备高效的催化剂、获取新的无机材料和人工液体燃料、研究提高矿层原油采收率的化学方法以及其它一些迫切的综合性问题的研究。

苏联的化学在许多方面都做出了突出的贡献，反映了现代化学主要的发展趋势。我们认为，这首先是苏联的化学顺应了现代科学技术发展的潮流，多方位全开放，一方面扩大和加强国际间的学术交流，特别是在化学前沿领域的交流，使苏联的化学研究能够在国际学术背景下进行，达到水乳交融，其研究成果则自然具有前沿性和高水平。另一方面，苏联巧妙地利用西方国家的经济危机，大量引进化工生产设备和电子计算机系统，降低了化学工业

的成本和提高了劳动生产率，大大推动了苏联化学工业的发展，有的还填补了苏联化学工业的空白，使塑料、合成纤维、化肥的产量成倍增长。到了 1976 年苏联的化肥产量早已超过美国而跃居世界首位。为此，西方报刊指出，70 年代苏联化肥产量的 75%、高压聚乙烯的 80%、水泥的 40% 是由资本主义国家提供的设备生产的。其次，苏联也很重视发展化学应用的研究，因为化学应用学科的发展，使苏联有可能有效地利用国家的自然资源，这是国民经济一切部门技术得到进一步发展的必要条件。苏联在 60 年代初曾提出国民经济化学化的方针，70 年代则大量引进西方国家化工设备，80 年代又提出“实施苏联国民经济化学化的综合纲要”“……没有现代大化学，就没有有效的经济。”因而，苏联化学界十分注意研究国民经济发展迫切需要的、具有实际意义的课题，而这类课题往往又具有尖端性和重要的实用价值，使苏联化学的学术研究在经济发展中充满活力。另外，苏联化学的各级科学研究机构十分重视相互之间的联系和密切协作。苏联科学院是协调全苏各化学部门化学家进行合作和联系的中心，1976 年在巴库、1980 年在第比利斯召开苏联科学院和各加盟共和国科学院化学部负责人和院士秘书会议，主要目的就是组织化学家为解决化学科学理论和实践的最迫切的问题进行多方面的合作。不同化学部门的科学问题委员会形成了协作网络，经常组织活动，各方代表聚集，共同研究解决化学实践中的迫切问题和综合性问题。苏联化学中的这种协作是解决高难度、高水平和综合性课题的必要前提和保证，也适应了现代科学技术发展的需要。

《苏联 1986 年至 1990 年和至 2000 年经济和社会发展基本方针》，苏联《真理报》，1986 年 3 月 9 日。
H.M.埃马努埃尔：“苏联的化学”，苏联《化学成就》，1982 年，第 12 期，第 1938 页。

第四节 苏联现代化学的全面进展

目前,苏联共有 50 多个化学专业研究所,他们同石油化工部、石油化学、矿物肥料、纤维造纸工业以及其它部、机关和高等学校附设的数百个科学研究所密切的协作下进行化学基础研究和化学应用研究。现代物理学、无线电电子学和计算机技术的实验方法、实验设计和自动化已广泛进入苏联的化学研究领域。苏联化学进入了现代化学的发展阶段,有的化学学科已达到了世界领先的水平,如元素有机化学和量子化学;化学工业也得到了迅猛发展。目前,苏联的矿物肥料居世界第一位,化学产品生产居世界第二位。

近年来,苏联化学家的注意力正在转向与国民经济发展密切相关的课题。例如涉及专门聚合材料的生产、吨位不大的化学产品的发展、保护作物方法的研究、制备高效的催化剂、获取新的无机材料和人工液体燃料、研究提高矿层原油采收率的化学方法以及其它一些迫切的综合性问题的研究。

这里试图把苏联化学主要方面的发展做一概略的评介,但由于资料文献与作者能力水平的限制,若完成这个计划实际上是力不从心的。

一、无机化学

苏联的无机化学在其各个主要分支上都得到了迅速的发展。

苏联已在无机化学领域运用了现代物理学方法和电子计算机技术,建立了把天然无机化合物的信息输入自动集成信息系统的化学和化学工艺体系。他们还把元素周期系 104 个已知元素原子的电子结构输入电子计算机,试图借助电子计算机预测可能存在某些类型的无机化合物双组分系统。

苏联学者在研究无机化合物 X 射线光谱、发射和吸收光谱方面也取得了很大成绩。他们建造了通用的 X 射线光谱仪的综合体,对大量的无机分子的电子结构进行了研究,并将其理论值与直接的经验材料进行了比较,对化合物的配位方式、原子的有效电荷、配体的电子给予体和接受体的特殊性、配体的相互影响,表面特性以及吸附、催化、腐蚀等过程进行了详细系统的考察。

近年来,苏联学者在相图理论和金属固溶体性质等方面的研究中做出了很大贡献。他们以钛、钒、铌、钽和其它金属为基础研究二相、三相和更复杂系统的相平衡,确定了取决于相组成的合金性质的变化。研究了大量的状态图,并在这些材料的基础上研制出了具有高发射功能、高催化作用、高磁性、半导体和其它性质的新合金。特别是莫斯科大学和苏联科学院冶金研究所关于金属互化物的状态图的预测很引人注目。他们在研究金属多元体系相图的计算方法时,运用瓦格纳方法和量子化学模型,提出按照简单晶格设计的四元、五元体系相界结构的方法论问题。苏联学者还研究了不同类型的金属化合物。如金属和金属的(二元、三元和多元)化合物,金属和非金属(氧、氢、氮、硅、硼、磷)的化合物等,这些研究可以得到具有重要的物理、化学性质、电、磁、光和力学性质的新型材料。

配位化学是现代无机化学最重要的领域之一。苏联学者在这个领域做了大量的工作,特别是对络合物反应动力学机理的研究一直比较活跃,进展也很快。他们首先发现了平面正方形络合物取代反应的动力学反位效应及其规律并给出了物理解释。苏联学者还根据铂()络合物酸性水解时测定的平

参见 H·M·埃马努埃尔:“苏联的化学”,苏联《化学成就》,1982 年,第 12 期,第 1937 页。

平衡常数 K 的数值，提出反位效应变化的热力学标度。这是对反位效应特性进行定量研究的第一次尝试，对于说明已知的合成方法和设计新的合成方法具有重要的实际意义。近些年来，苏联学者把研究配体的相互影响作为配位化学研究的中心方向，从统计学、动力学、热力学及扰动理论等不同角度考察配体相互影响的一般规律，进行了直接的非经验计算，建立了与碱式键中心原子相连的配体相互影响的理论模型，与经验材料十分吻合。

近年来，苏联学者在完成了大量的复杂配体的过渡金属有机络合物合成的同时，对 N_2 、 O_2 、 CO 、 NO 、 CO_2 及其它小分子配体络合物的合成产生了极大的兴趣，积极研究温和条件下的固氮作用和催化作用过程，并注意炔烃、炔炔、 CO 的活化和 N_2 、 H_2 和 CO_2 的络合和活化的研究，而这些正是这个领域中亟待研究的重要内容。

苏联稀土元素络合物化学的研究得到了广泛开展。系统研究了稀土元素络合物的稳定性和立体化学。完成了不同配体稀土元素络合物环状结构的研究，这个研究能够确定有氯、硫代氰酸根和硝酸根的稀土元素在形成键的稳定性方面存在着差别。他们还论证存在一种新型的稀土元素络合物，这种络合物的特征是中心原子和配体之间具有极化的静电相互作用，与典型的无极性键的传统类型络合物有明显不同。系统研究了稀土元素络合酮盐的性质、应用范围及其在分离分析中的应用。

苏联学者注意非水体系中络合物合成的研究。例如研究非水溶剂中叶绿素酸的钴、铜、镉的络合物形成的反应动力学，还在无水溶剂中合成了铍络合物、钪络合物、过渡金属络合物、钛和钒的混配型络合物等。

簇状络合物和多核络合物的结构研究在苏联得到了广泛开展。 d^4 金属化合物中金属-金属间的四个键的发现具有重要的理论意义，他们还进一步改进了解释簇状络合物和聚合化合物的磁性理论，提出解释一种新型铁（ Fe ）的螯合物特殊磁性的方法，分析了评价络合物立体化学的磁化学判据。

苏联学者十分注意有生物活性物质的结构与作用机理的研究。他们对模拟活性膜络合物的大环状配体进行了系统的研究，合成和研究了大量的含有氧、氮、硫原子的大环状有机化合物，运用 X 射线方法辨识新型的有前途的生物化学上的重要络合物的结构。

我们认为，苏联的配位化学近年来发展迅速，研究中所涉及的问题多为化学前沿领域亟待解决的课题，所取得的成果具有较高水平。

放射化学在苏联是一个较强的研究领域，特别是在合成和研究超铀元素化学性质方面取得了重要成就。他们在合成 104 号人造化学元素之后，又先后合成了 105、106、107、108 号元素，同美国并驾齐驱居于世界领先地位。

早在 30 多年前苏联就组织了同位素生产，现在他们正在调整示踪化合物和核辐射源的同位素的定期产量。他们所生产的几乎完全是具有实际意义的放射性和稳定性的同位素，而且能够生产一系列示踪化合物。其中包括氨基酸、核苷酸、甾族化合物等具有生物活性的示踪化合物、保护植物环境的化合物（灭草剂、杀虫灭菌剂、生长素）和诊断、治疗的制剂等。

放射化学分析是苏联放射化学研究的一个重要领域。在放射化学的分析中主要采用重结晶、吸附、萃取和分离的电化学方法等。目前，苏联学者已完成关于核材料控制水平、核燃料燃烧程度、准确鉴定分离物质的成分及其同位素的组成等一系列课题，并提出确定周围各种客观环境低浓度和极低浓度的放射性物质的方法以及处理放射性残渣的一系列方法，这是现代放射化

学中最重要研究课题之一。

二、有机化学

苏联有机化学家为世界有机化学的发展做出了重大贡献。乙炔、丙二烯、二烯烃的碳氢化合物和烃的催化反应动力学、合成橡胶、磷的有机化合物、砷烯、砷稀化合物、生物碱和醣等天然化合物方面的大量工作都是在苏联建国之后完成的。在有机化学反应中曾有近 50 个反应是苏俄化学家首次发现，并以他们的名字命名。苏联学者在有机合成和金属有机化学领域进行了系统的研究，并对植物和动物产品进行了研究，为工业和医学合成了鞣料、植物染料、生物碱、苷糖苷等有机化合物。这些工作为橡胶、塑料、染料、石油和石油产品的加工、有机肥料、药物制剂等有机合成工业的发展打下了重要的基础，苏联的有机化学在主要方向上得到进一步扩大和全面顺利的发展。

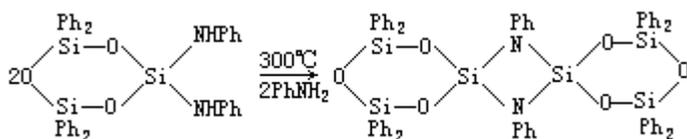
元素有机化学在苏联发展迅速，目前已居世界领先地位。这是苏联的传统研究领域，早在 1928 年 A·H·涅斯梅亚诺夫就用重氮方法制取了汞、锡、锗、砷和其它重元素的有机化合物，这个发现是元素有机化学发展的一个重要阶段。以 A·H·涅斯梅亚诺夫命名的苏联科学院元素有机化学研究所是世界上唯一的一所元素有机化学研究所，它为元素有机化合物理论、合成和实际应用以及现代元素有机化学的形成和发展做出了贡献。

锂、钠、钾、镁、银的有机化合物是苏联元素有机化学发展初期的研究成果。目前锂、钠、镁的有机化合物已应用于有机合成所有领域，也包括天然化合物的合成中。

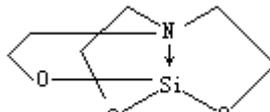
苏联学者确定了金属盐络物和螯型络合物形成和离解的规律。首先合成了金属亲和系统——亚硝基酚的芳香汞，并发现了金属亲和互变异构现象。目前继续寻找新的金属亲和分子，注意研究 Zn、Cd、Ga 和其它金属的丙烯基衍生物用分子氧进行液相氧化作用的历程。

近年来，苏联在研究有机硼化合物的合成和结构方面也取得了一定进展，不仅中性硼烷体系大为扩展，还合成了硼烷阴离子。如碳硼烷、硫硼烷、磷硼烷、硼刚石烷和氮硼烷等。苏联学者还研究了芳香取代反应并制取了含有各种功能作用基团的硼烷衍生物。研究了碳硼烷异构体的热力学稳定性，以获得耐热聚合物单体，作为高能燃料应用于尖端科学技术。这些内容都是硼烷化学中亟待解决的课题。

苏联有机硅化学的主要方向是研究各种有机硅聚合物的合成、寻找新的合成方法、合成和研讨新型有机硅化合物。苏联学者合成了一种带有硅原子的新的螺旋化合物。如图：



研究制取 1, 1, 2, 2-四甲基-1, 2-乙硅环丁烷单体的新方法。最近在

发现  具有生物活性之后，在有机硅化学中形成了新的研

究方向。目前正在研究乙炔和乙烯基第 族金属衍生物的研究，并发现了合成具有生理活性物质的反应。

有机二茂铁化学得到迅速发展。发现了重要的茂基配体亲电取代反应。研究了茂基三羰基锰和铈的茂基配体的取代反应和二苯乙炔和茂基三羰基 V、Nb、Ta 的反应。

苏联学者在研制使 C—C 键和 C—H 键断裂和活化的有效簇状催化剂的方面做了大量工作。近年来，顺利地进行了以金属羰基络合物为基础的基反应活化剂的探索。研究表明，羰基铁和羰基锰是调聚反应的有效活化剂。目前找到了一种以过渡金属络合物为基础的活化剂— $RnM \cdot LiCl$ (M 可为 Hg、Sn、Pb) 和以第一族元素金属有机过氧化物为基础的丙醛烯单体的聚合作用的有效活化剂。

1964 年苏联学者首次发现 Ziegler 催化剂在常温常压下具有固氮能力，在化学固氮上打开了突破口，以后他们又用 $TiCl_4—Al—AlBr_3$ 组成了具有催化活性(对钛来说)的固氮体系，成功地固定了氮。接着又在含有 Mo 和 $MgCl_2$ 的水或水—乙醇溶液中用 Ti^{3+} 、 Cr^{3+} 、 V^{3+} 等低价金属作为还原剂，从 N_2 分子得到了氨和胂；又由 V^{2+} 和儿茶酚组成的体系在常温常压下也得到了氨，这一系列成果使苏联这个领域的研究日趋活跃。苏联学者在固氮的天然电子供体和传递体的研究中取得了进展，他们用间接的方法试验了巴氏梭菌的供氢系统参与固氮的情况，发现细胞色素似乎不参与固氮反应，而是脱氢酶释放的电子用于固氮反应。目前，苏联学者继续努力进一步研究开发过渡金属的固相催化体系，寻找具有高效固氮活性的络合催化剂，研究分子氮络合物的合成、结构及其配位氮分子还原、研究固氮酶的结构和催化机理等，力图揭开生物固氮的奥秘，实现人类化学模拟生物固氮的理想。

三、分析化学

苏联建国初期的分析化学还是化学科学中一个较为薄弱的分支，研究工作主要是对金属化合物、络合物、矿物原料等的组成进行分析测定和解决生产镭、铀、钷中的化学和物理检验方法等方面的课题。采用的方法基本上是重量法、容量法和比色法等传统的分析方法。

30—50 年代改进和发展了传统的分析方法，完成了分析化学中很有意义的物理化学分析系统的奠基性研究。电化学分析方法得到广泛运用，库仑法和其它电解分析法得到了顺利发展。

直接电位滴定和利用不同功能的离子选择电极等方法的研究取得了显著的成果。例如鉴定氢离子、氟离子、氯离子和硫酸根离子等。苏联学者在测定 pH 理论和实践方面也做了重要的工作。

光分析方法在苏联得到了发展。苏联学者利用各种光度测量方法对金属、合金和矿物原料进行分析，并合成和应用了适合于分析和鉴定几乎所有元素的有机分析试剂。

光谱分析方法是工业生产和科学实验中应用最普遍的方法之一，这时在苏联也得到了应有的重视。钷和超钷元素的分析化学得到顺利发展。在这个时期苏联出版了《元素的分析化学》系列丛书，对苏联分析化学的发展起了重要作用。

60—70 年代，由于分析原子材料、半导体材料和其它高纯度物质的需要，X 射线分析法、火花源质谱法、化学光谱法和其它一些方法在苏联广泛应用，为苏联新技术部门的发展起到了重要的保证作用。

大规模的有机化合物的工业生产推动了苏联分析有机化合物的理论和新

方法的研究。红外光谱、电化学分析、色谱分析和色谱-光谱测定等分析方法在苏联得到广泛运用和发展，完成了有机物的元素分析和功能分析及其自动化方面的重要工作。

原子吸收分光光度法得到进一步改进和完善，无火焰原子吸收法由于具有很高的灵敏度而受到重视，研制出的作为雾化器的高温石墨炉原子化器已用于对天然水、土壤、矿石、高纯物质等各种材料中多种元素的测定。

近年来，苏联学者广泛运用一种新的色谱分析方法——凝胶穿透色谱分析法。这种方法对于分离自然界和其它有机物具有重大意义。

苏联学者对萃取体系、萃取机理、萃取方法和合成，研究有效的萃取剂等方面做出了重要的成果。特别是对萃取法和色谱法边界范围的研究以及试制有选择性的吸着剂等方面的工作具有重要意义。研究了分离稀土元素和铜系元素混合液和富集各种微量元素的方法。

目前，各种不同形式的放射性活化分析在苏联得到迅速发展。采用慢中子、谐振中子和快中子、量子 and 实物粒子进行活化分析。由于采用轻便式的中子源（钷—252），从而扩大了该方法的适用范围。在研究中苏联学者把富集和分离元素的各种方法（萃取法、萃取-色谱分析法、沉淀法、离子交换法等）与放射性活化分析的新方法、气相色谱与质谱、色谱与光谱等方法结合起来，进行综合运用，在分析半导体高纯物质、金属、合金和地质学、生物学以及周围环境等综合性研究课题发挥了重要作用。

苏联建立了分析仪器制造基地，对化学工业产品的化学组成可以有组织有计划地进行有效的测定和检验。苏联制造的科学仪器综合体自动的星际空间站“金星-13”和“金星-14”乃是苏联分析仪器制造工业潜力的显示。这个综合体实现了直接选择和利用X射线荧光分析法分析金星表面的岩层，并把获得的信息送到地球上。苏联学者还完成了对维涅拉行星和月球土壤中的化学元素的远距离分析。目前，苏联正在研究建立分析高纯有机物质和生命物质，包括在宇宙中获得的物质的自动探测系统，而且在这方面的研究范围正在不断扩大。可以看到，改进综合的分析方法、建立综合的自动分析系统、探讨综合性课题是苏联分析化学目前的一个重要特点和发展趋势。

四、高分子化学

苏联从20年代开展合成橡胶的研究，30年代初首先在世界上实现了丁钠橡胶的工业化生产。在这个领域苏联化学家一直在起主要作用。

以后，苏联学者又研究了能控制分子量与分布的负离子聚合作用的动力学与机制。研究了阳离子催化剂的条件下很多不饱和化合物聚合作用的机理和环状阳离子聚合作用特征。

60年代，为了适应当时宇宙飞行与航空事业发展的需要，对于耐高温高分子的合成和研究出现了高潮。苏联学者通过对缩聚反应机理的研究合成了芳香族聚酰胺和芳香族杂环聚合物等一系列耐热高分子聚合物。

苏联学者采用各种方法研究纤维素的改性过程。目前正在寻找以羟乙基、羟丙基、羧甲基纤维素为基础的共聚物，作为水溶性增稠剂，以降低流体动力学阻力和凝聚作用，应用于石油、纤维素纸和其它工业生产。

最近10多年来，苏联科学院化学物理研究所在相当大的范围内进行了聚合物的老化和稳定作用的研究，完成了大量热氧化和光氧化动力学与反应机理的经验研究，发现了抗氧化剂的临界浓度，解释了抗氧化剂的混合物中协同作用现象，研究了光稳定剂的屏蔽效应过程。

目前，喀山、高尔基、坦波夫、乌法、列宁格勒、莫斯科等地都在进行聚合物的降解和环境老化方面的研究。考察了液体和气体腐蚀介质（氧、碱金属、盐、臭氧）中聚合物降解；研究了可被生物体降解吸收的生物降解高分子；广泛研究了酚的主体障碍化学，合成了应用广泛、无毒、不染色的防老化剂和聚合物稳定剂。

元素有机聚合物、杂链聚合物的研究与应用在苏联得到了顺利发展。合成了一种作为气体高效分离隔膜应用的新型聚合物——聚烯硅；制出了大约40种含氟塑料。热稳定、玻璃态、低温橡胶在钟表中已得到广泛应用。获取了侧链带有磺基和羧基的高氟聚合物以及以有机磷和各种元素有机化合物为基础的聚合材料。

最近，苏联科学院乌克兰科学中心合成了不同结构的含钽低聚物，并以此为基础制得了具有高耐热性、高介电性和高粘附性的粘合聚合物。并运用这种聚合物生产出真空紧密胶和亚铁酸盐-硅微晶玻璃材料胶。

近年来苏联高分子化学的主要研究方向是改进和完善合成新型高分子聚合物的方法，制取了大量的适合于现代技术需要的聚合材料和复合材料。在医用高分子聚合材料方面也取得了一定成果。研究合成了大量的以亲水聚合物（肽、蛋白质、肝素、纤维蛋白酶、胆固醇）为基础的具有生物特性的聚合吸着剂。这类水凝胶和大孔吸着剂可以用于制造可混溶血液的聚合材料和分离、提纯生物活性物质。苏联乌克兰有机化学研究所和高分子化学研究所研制出一种新型的含有二肽链的聚合物基础链——“分节”的聚氨酯聚合物。这种高分子材料具有令人满意的抗血凝性，能够用于修复人体内部器官。另外，还合成了经过改性处理的具有活性的、直接起延缓作用的血液抗凝血剂——丙烯和丙烯酸的水溶性共聚物，确定了这类具有生理活性聚合物分解代谢的机理。同时模拟生物膜作用，研究合成具有各种分离功能的高分子膜。例如研究用抗原决定素和天然抗原化学复合体的方法合成活性膜聚合物，这对于建立人工免疫系统具有重要意义。苏联学者还研究合成了与多核苷酸有互补作用的嘌呤和嘧啶的羟乙基纤维素衍生物，这是一种很有前途的抗病毒制剂。

五、量子化学

众所周知，50年代初正当量子化学取得重大进展的时候，苏联在量子化学方面的研究却停滞不前。60年代中期以后，苏联科学界开始积极组织研究队伍。目前，苏联有一百多个量子化学研究团体。1979年开始与社会主义国家量子化学方面的科学家进行多方面合作。苏联专家还积极参加由联合国科教文组织发起的在法国建立的化学专家委员会的工作。

苏联科学院有机化学研究所和泽林斯基有机化学研究所建立了全苏的量子化学计算程序信息中心。在西伯利亚分院化学动力学和燃烧研究所建立了量子化学计算程序的专门基金会，目前用于计算非经验和半经验的分子系统的程序已有100多个。

苏联还根据化合物的结构把一定的数据存入所建立的数据库系统。为了用分子光谱方法研究结构问题，苏联科学院西伯利亚分院有机化学研究所及其计算中心共同研究建立了以现代电子计算机技术和光谱信息图书馆为基础的信息检索系统。光谱信息图书馆大概藏有9万多种化学化合物的红外光谱，3万余种紫外光谱和2.5万余种X射线光谱。实际上，这个图书馆几乎搜集了所有公开发表的分子光谱学方面的图表、目录和卡片。

目前，苏联在量子化学中已广泛运用了电子计算机。例如在缩合体系、材料科学的研究中，在电子、原子、分子过程的研究中，在表面现象吸附作用、合成及电化学中、在磁性和自旋理论的研究中等等都使用电子计算机对分子的电子结构及性质进行计算。

在量子化学基础理论的研究方面，苏联学者完成了磁性弛豫理论的主要研究工作。· · 绍雷金发现并解释了共振光的组合散射现象，使分子光谱的研究进入了新的阶段。分子光谱理论、振动-旋转相互作用理论、振动光谱理论在苏联得到发展，并且深入研究了从各种光谱测定中获得必要信息的方法。苏联学者发展了晶体和氢键红外光谱理论，提出酸溶液和带有强氢键盐基的振动光谱的光子模型，为氢键的量子理论奠定了基础。

苏联学者发展了双原子分子不平衡离解理论，根据分子活化自由度建立了多分子反应的络合理论，研究了形成长寿络合物的双分子反应的统计理论。

苏联学者的这些工作在量子化学基础理论的研究中具有一定的意义，目前还需继续发展和完善。

量子计算化学的研究在苏联也得到迅速发展。近年来，苏联学者完成了轻元素化合物电子结构、大气中化学过程动力学及耐热绝缘层上蒸汽的结构功能和作用的一系列非经验计算；对非刚性分子的结构、有机化合物和配位化合物的结构等进行了大量的计算。在量子化学计算的基础上确定了热力学和光化学异构化作用的机理，解释了一系列金属络合物的顺、反异构体的相对稳定性，预见了对 $^{252}_{95}\text{Am}$ 衰变实验证实的六价镅稳定性。

对于近年来发现的有趣的钢系阳离子之间络合作用的反应机制，苏联学者通过量子化学计算圆满地用分子轨道对称守恒原理做以解释。

苏联学者在应用量子化学方面的研究中做出了重要贡献。他们发展了能够预见有机铁磁体存在的有机聚合物相互作用的理论，提出了以运用拓扑学处理为基础的研究分子的电子结构的新方法，建立了元素有机系统的新的数学模型，确定了环和双环丙醚、硒化物、含有各种杂原子的-氨基醚、芳香族和乙炔的硫化物、硒化物的空间结构，研究了含有键轨道极性基团相互作用的效果。

量子化学方法在研究固体表面性质、晶体结构和确定多相体系催化作用机理等方面得到了广泛应用。苏联学者在改进簇合物模型的基础上研究了完美晶体和缺陷晶体的电子结构计算方法，发展了吸附理论，完成了对多相体系催化表面和有活性中心参加的催化反应动力学主要类型的量子化学计算，并阐明在铝代硅酸盐类系统中作为化学吸附过程配位中心的硅原子活性很小。

苏联学者在应用量子化学方法解决生物学、药理学问题以及解决化合物确定目标合成任务中也取得了一定成就。他们分析了生物大分子的电子结构与生物活性的关系并使运用量子化学方法计算某些有生物活性化合物的结构问题得以实现。

第二十一章 日本化学发展论

日本古代化学远落后于中国，日本近代化学的起步时间也同中国相差无几，然而在明治维新（1868 年）以后，日本化学发展速度迅速加快，到 19 世纪末已经远远超过中国，跻入世界水平的行列，直至今天已经成了世界化学技术大国。可以看出，日本化学的发展过程及其成功的经验，是很值得化学工作者，特别是中国化学工作者认真加以研究的。

第一节 日本化学的开创与振兴

日本在 18 世纪 70 年代开始接触西洋科学，当时出版了有关西洋医学的《解体新书》（1774）和介绍地动说的《历象新书》（1798—1802）以及综述博物学知识的《本草纲目启蒙》（1803）等书籍，通过这些出版物将东西方的自然科学慢慢地渗透到日本来。

一、西方化学的引进

化学的引进是在稍微晚些时候开始的。日本人最初是通过西洋药物学一类书籍，开始零星地接触化学知识。其中，在宇田川榛斋译、宇田川榕菴编的《和兰药镜》（1819）一书中，除了对天然的药物记载外，还记述着医药用的天然的和人工的各种无机物和有机物的性质、状态、鉴别、精制、分离与制造等。稍后些时候，他们又出版了《远西医方名物考》（1822），这是比《和兰药镜》内容更精确更充实的巨著。

值得提及的是，宇田川榕菴编译的《舍密开宗》（1837）一书。这本书的蓝本是英国人威廉·亨瑞（William Henry）著的《化学概要》（*Epitome of chemistry*, 1801）。该书经德国人注释成德文，然后又由荷兰人阿道夫斯·依派（Adolphus ypey）增补重译，定名为《初步爱好者的化学》（1803）。宇田川榕菴以这个蓝本的译稿为骨架，并参考拉瓦锡的著作及 20 多种其它荷兰的书籍，还对汉和有关书籍中工艺技术加以考证，使原书的内容得到改造和充实。

《舍密开宗》一书不仅系统地介绍了化学物质的一般知识，而且还对化学分析、物质的制取和应用作了较全面地阐述。可以说这是一本把化学名词和化学知识最先引入日本的启蒙的教科书。这是幕政末期明治维新以前的事。

在明治维新的最初 10 年里，经过反复的摸索，科学技术的教育和研究制度已经初具规模，东京大学和工部大学校的成立为其标志。与化学相关的是，在东京大学的理学部、医学部以及工部大学校和后来成立的农业学校，分别设置了化学科、制药学科、制造化学科和农艺化学科等。这些科系分别从国外招聘的教师任课，并从毕业生中选拔留学生，将他们培养成第一代日本近代化学家。

二、化学专业学校的创立

在日本化学史中一个值得纪念的事件，就是在跨入明治时期的第二年（1869 年）舍密局的创立。这是日本最早的一所培养化学人才的启蒙学校。

这所学校的创始人兼首席教官是著名的化学家哥拉塔玛（Koenraad Wolter Gratama）。他于庆应 2 年（1866 年）3 月 3 日乘小汽船由中国上海抵达长崎，实现他多年来将近代科学传授到国外的宿愿。那时他风华正茂，还不满 35 岁。他辗转于日本各地，将自己的才华和精力贡献给振兴异国的科技和教育事业，这种精神是值得赞许的。

明治 2 年（1869 年）5 月 1 日，舍密局开学。大坂府知事和各国的领事出席了开学典礼。在装点一新的讲演厅里，哥拉塔玛发表了重要的演说。他说，西洋的学问与东方的学问的不同点在于，它不过分地崇拜古人，而是为未来开辟道路。西欧的学问是关于自然万物的学问，大体可分为博物学和理学（如物理、化学等）。物理和化学的成果绝不只是思考的产物，它必须经过实验的证明。他从伽利略的单摆、阿基米德比重、瓦特的蒸汽机，谈到拉

瓦锡的大气成分的分析，内容丰富，论证有力，为该校的课程设置定了基调。

当时开设的课程有格致学(物理学)、化学、地质学、金石学(矿物学)、动物学、植物学和度量学等，任课的外籍教师除了哥拉塔玛之外，还有从法国和德国招聘来的专家；学生的来源不分出身门第的尊卑，上至权贵子弟下到平民百姓后代，凡符合入学的学业条件者，均可入学就读。但是，尽管该校广开才路，开学当天，在籍的学生只有阪优吉、中村万次郎、绪方十郎、桂庆次郎、中川信介等5名学员。由此可见，当时日本科学教育的基础是多么薄弱。同时，也可看出，他们在科技园地点燃星火的愿望又是多么炽烈。

当时开设的一门重要基础课“理化总论”，由哥拉塔玛主讲，考虑到学生的接受能力，在课堂上学生只是泛泛地视听，课后教员把讲稿整理出书，供学生们精读。在明治2—3年间，根据哥拉塔玛的讲课笔记整理出版了《理化新说》共四卷。第一卷是总论，第二卷是物理学各论，第三卷是化学各论，第四卷是化学元素论。

舍密局开创一年之后，前来听课的学生便趋之若鹜，其中大部分是从大坂医科学校专程来听哥拉塔玛讲课的。到明治4年(1871)5月，从大坂医科学校到舍密局听课的学生数竟达到59名之多，其中包括日本后来著名化学家高峰让吉。关于这位日本化学史中里程碑式人物的业绩，在后文中还要提及。

为了缓解办学初期的经济困难，舍密局广泛地接收外来的分析化验任务，这就使这所学校从一开始就步入教育同生产实际相结合的正确途径。例如，明治4年1月3日，分析鉴定京都的墨石；同年5月22日，受京都府的委托分析化验葛野群鸣潼村出产的原煤。此外，还分析大坂大藏省委托的各种货币，检验医科学校委托的糖果色素中的有毒成分以及竹生岛的鸟粪分析等。舍密局靠承揽分析化验任务的收入不仅解决了办学上的财政问题，而且也大大地提高了学校的声誉，使该校取得了药物贩卖的监督检查权。

哥拉塔玛除了在舍密局授课外，还为造币局讲授金银货币分析法。他讲课记录后来被冠以《金银精分》的书名由大坂开成学校出版。同时，一直担任他讲课翻译的三崎啸辅，也将所学的知识编写成书，于明治3年(1870)出版了《试剂用法》一书。全书分溶剂、酸、碱、盐和植物色素几部分，并分别地论述了试剂的制法、试验法和用途。三崎啸辅于明治4年(1871)出版了《药品杂质检查表》，这是汇粹《试剂用法》一书重要内容的框表，全书由三段表格构成：上段标写药品名称；中段记载该药品中所含杂质的名称；下段则介绍各种杂质的检验方法。例如，利用含碘的试剂变蓝来检查阿拉伯树胶中的淀粉，利用加酸后冒气泡来检查氯化锌中的碳酸盐，等等，是一部实用性很强的书，堪称日本最早的试剂手册。

三崎啸辅受哥拉塔玛的影响，深感熟知化学仪器的重要性，于是在明治5年(1872)又出版了《化学器械图说》一书。书中对各种实验器具进行图解、说明。此外，三崎啸辅还写了《试验阶梯》和《定性试验升屋》等专著。

舍密局的“舍密”二字原本是化学的意思，可是舍密局作为一所学校，除了讲授化学课程外，还同时开设物理学，动植矿物学。鉴于原校名不大合适，于是在明治3年5月，舍密局被更名为理学校。在明治3年10月，理学校又与在天满川崎的洋学校合并，改名为大坂开成所。明治3年12月，哥拉塔玛聘约期满回国。作为他的后任被聘到“大坂开成所”的外籍专家，是德国人利德尔(Herman Ritter)。他是合成尿素著称于世的德国大化学家维

勒 (F.Wohler) 的门生, 学识渊博, 以英语授课。他的讲义经市川盛三郎翻译整理以《理化日记》书名出版, 全书共 8 卷, 后来经修订又分为《理学日记》和《化学日记》再版。明治 5 年 8 月, 文部省决定将“大坂开成所”改名为第四大学第一中学 (第四大学区第一中学校), 至此, 大坂创立的舍密局的理科专门教育的历史结束了, 使之成为一所普通的高级中学。但是, 它在日本化学发展史中所起的重要作用是不可磨灭的。

三、化学研究的组织化与现代化

在明治 10 年左右, 一些科学技术的学会也相继地创立了。1878 年 (明治 11 年) 成立了化学会 (翌年改称为东京化学会), 1880 年“东京化学会志”创刊。1881 年 (明治 14 年) 2 月成立了药学会, 当时有会员 30 名, 同年 12 月“药学杂志”创刊, 在此杂志上相继发表药物化学以及药用动植物成分的研究成果。在这些杂志上发表的论文, 大多数是以实际课题为研究对象的, 同时也发表在研究中应该如何运用化学的基础理论以及阐述应该吸取欧洲最新成果的方向是什么等一些对提高日本化学水平有启发作用的综述论文。

明治时代后期, 由于东京、京都、东北三所帝国大学的成立, 表明了日本化学教育的进一步发展。由于工业化学会和工业试验所的创立, 使日本化学的基础研究和应用研究得到了改善。这是推进日本的科学、技术各领域制度化的一种体现。当时, 由于大日本宪法的制定, 而急剧促进了日本的现代化, 以八幡冶铁厂为标志的产业革命开始了。这就是明治后期化学发展的社会背景。

这个时期, 随着大学的发展与完备, 在自然科学的各个领域, 取得了一系列高水平的研究成果。例如, 长冈半太郎关于磁的研究和有核原子模型理论; 在地球物理学领域, 北尾次郎的大气运动和台风的理论, 木村荣的纬度变化 z 项的发现; 在生物学领域, 平濑作五郎和池野成一郎分别发现了白果树和凤尾松的精子; 在医学领域, 北里柴三郎发现破伤风血清医疗法; 志贺洁发现赤痢菌等, 都是在国际上获得很高评价的科学成果。

在化学领域, 已经摆脱了明治初期的启蒙时代, 为独立地开展科学研究奠定了基础。对于新兴的物理化学知识的引进成果很显著; 此外, 还取得了一系列的具有创见性的研究成果比如, 樱井锭二提出应该把以原子论为基础的“化学运动学”作为化学发展的方向。基于这种看法, 他通过自己一系列的实践活动, 为日本在这个领域开展研究创造了良好的条件。他改进了过去贝克曼测定分子量的方法, 于 1892 年发表了测定分子量的沸点法。鲛岛实三郎把这项研究工作誉为“经日本人的手完成的最初的世界性的研究”。在无机化学领域, 在戴维斯 (E.Divers) 的指导下, 培养了一些有希望的研究者, 他们在明治末期着手于放射化学和络合物化学等新兴领域的研究工作。例如, 1899 年东京帝国大学院的学生真岛利行就发表了详细地介绍维尔纳 (Werner) 配位理论的文章; 于 1907 年毕业于东京帝国大学的柴田雄次, 曾潜心于立体化学研究工作, 后来在导师樱井的指导下又专攻无机化学, 发表了一系列有关钴的络合物的研究成果, 在日本成为这个领域的奠基人之一。在有机化学领域, 这个时期在天然化学方面, 有许多重要发现, 同时, 在由化学结构向立体化学发展方面, 也做了一些开创性的工作。在生物化学领域, 今日的有关方面的研究基础, 也是那个时期奠定的。

从大正初年到第二次世界大战结束的 34 年间, 在日本的科学和技术的发

展史上，是变化最大、创造最多的年代，尤其是大正时期的 15 年间，在两重意义上说，是日本的基础化学向着自立和独创的方向转化时期。首先，一批明治时代由东京帝国大学和京都帝国大学培养出来的第二代化学家，从国外留学回来之后，独立地开展科学研究；其次，在理化研究所创建之后，新一代化学家开始了独创性的科学研究，并取得了良好的结果。由大正末期到昭和初期，曾出版了几种新的定期刊物，这是研究领域不断开阔和深化的标志。在 1926 年日本化学会创办了《日本化学会会刊》(Bulletin of the Chemical Society of Japan) 英文杂志；1922 年由东京帝国大学医学部化学讲座的柿内三郎自费创办了《生物化学杂志》(Journal of Bio-chemistry)。另一方面，京都帝国大学的堀场信吉于 1927 年创办了“物理化学的进步”杂志，对唤起人们对这个领域的重视起了重要作用。这个杂志后来改名为《日本物理化学评论》(Review of Physical Chemistry of Japan)。在昭和年代所创建的最有名的定期刊物要算是《日本化学总览》了。那是 1927 年夏经真岛利行多方努力创刊的，后来由于得到池田菊苗等学者的资助而持续地发行下去。据统计，从 1877 年至 1963 年在这本刊物上发表的论文摘要计 242263 件，专利 105954 件，总页数达 58813 页。

日本的化学在太平洋战争爆发的前一年(1940 年)，已经达到了相当高的水平，在明治、大正时期的基础上，开展了充分的创造性活动。战后研究工作虽然遇到了很大的困难，但是，由于研究体制为适应化学的分支和综合化的要求作了适当的调整，为后来的发展奠定了坚实的基础。

第二节 日本战后化学工业的复兴

当 1945 年日本军国主义者发动的侵略战争失败时，日本经济已处于全面崩溃的境地。全国大中城市除京都和奈良两座古城外，已几乎全部毁于战火。过去侵占中国和朝鲜等国的大片“领土”已全部丧失。同战前相比，约减少人口 30%，领土 45%，铁矿石 79%，煤炭 54%，森林 47%。钢铁、煤炭、人造石油、轻金属、水泥等化学工业部门已经大部分被压缩以至关闭。煤的生产只相当于战前的 1/8，工矿业相当于 1/7，生铁仅为 1/20。劳动生产率低，仅为美国的 1/20。技术水平落后，约晚于欧美 10 年。科学技术和产业部门已处于一片混乱状态。在这种情况下，日本科学技术和经济的复兴似乎已经是不可能实现的梦幻般的想望而已。整个日本也“似乎将从世界历史上销声匿迹”了。

然而出乎人们预料的是，日本经济在战败后不到 10 年的时间里就得到了恢复。1952 年工矿业生产就已经超过了战前最高水平。1955 年开始进入“高度成长期”。在 1951—1977 年的 26 年间就使工业产值增加了 20 倍。1950 年时的工业产值还只及英国的 1/3，1961 年也只是英国的 1/2，而在 1970 年就超过了英国以及法国和西德，成为仅次于美国和苏联的第三经济大国。日本的化工生产也随之跃居到世界先列，取得了惊人进展。

这一奇迹般的转变和发展是怎样实现的？这里拟从日本化工发展战略、社会诸因素的作用，以及存在问题等方面做一初步探讨。

日本战后化学工业的复兴、再建以至腾飞，大体上采取了以下几项战略措施。

一、优先发展化肥工业（1946—1954）

1945 年日本战败后全国处于“无法想象的饥饿状态”，人人皆“为求得每日的温饱而疲于奔命”。当时“最重要的问题是缺乏生活所必需的粮食”。因此，对于化学工业来说“最紧急的任务就是重建同增产粮食相关的肥料生产”。为此在 1946 年日本政府就决定采取“倾斜式生产方式”，以确保原料、材料和资金在化肥工业的重点投入。其办法是依靠煤炭和钢铁两大基础部门的循环投入和增产来提供化肥工业所需要的焦炭原料、钢铁材料和雄厚资金，其过程是先以输入的重油和煤炭重点投入到钢铁部门，再以增产的钢铁集中投入到煤炭部门，然后再把增产的煤炭投入到钢铁部门，如此不断循环投入和扩大再生产，就确保了化肥工业发展所需要的原料（煤炭）、材料（钢铁）和资金的充足供应，从而使日本过去破落的军事工业迅速转换为农业服务的化肥工业。这期间，日本过去著名的军需工厂如住友化学工业新居滨工厂、日本氢素小名滨工厂、东洋高压大牟田工厂等都相继由合成甲醇转换生产硫氨。大日本人造石油滝川工场和帝国燃料宇部工场等也由人造石油转换为生产硫氨。这样一来，日本化肥工业迅速得到了复兴，并在 1950 年就率先超过了战前最高水平。以硫氨为例。1931 年战前最高年产量为 124 万吨，而在战后第 6 年的 1951 年就远远超过，达到了 160 万吨。1955 年则

吉田茂：《激荡的百年史》，世界知识出版社，1980 年版，第 1 页。

吉田茂：《激荡的百年史》，世界知识出版社，1980 年版，第 40、45、46 页。

日本化学会：《日本の化学百年史——化学と化学工业の歩み》，日本东京化学同人社，1978 年版，第 172 页。

达到了 213 万吨，已为战前最高年产量的 1.7 倍。同时，在昭和初期试制成功的合成尿素工艺，在耽误了 20 多年后也在 1948 年投入生产。同肥料生产相匹配的是农药 D.D.T 和 2,4-D 的生产的发展，并在 1948 年普及了两种农药的应用。化肥和农药的发展，自然也带动了相关的硫酸、合成氨和电石等化工部门的复兴和发展。

日本战后化学工业在优先发展化肥工业解决粮食问题的同时，还大力发展了化纤工业和水泥工业，以解决急需的穿和住的问题。在战争期间由于美军的空袭约有 250 万处建筑物遭到破坏，包括许多衣物在内亦均被焚毁，极需供应大量水泥和衣着，从而促使化纤和水泥工业均有较快发展。1953 年，日本已经在化纤、人造织物和棉布等方面重新成为世界第一出口国。水泥生产在战后的第三年就突破了战前的 6000 万吨的最高水平。可以看出，日本战后化学工业主要是以解决吃、穿、住的生活迫切问题而发展起来的，即首先是“肥料、化纤和煤炭工业的再建”。这也是当时日本整个工业生产发展的三大任务。

二、转换产业结构（1955—1960）

日本战后经济高速发展的过程，实质上是产业结构的变动过程，即产业结构高级化的过程。日本战前是以纺织品为中心的轻工产业结构。战后初期仍有所发展。在 1946—1954 年间轻工业生产比重已由 32.5% 上升到 55.4%。直到 50 年代初，日本轻工业产品仍占出口的半数。基于这种情况，精明的日本决策者们就预见到，“由于不发达国家将会生产纤维等轻工业品作为出口的竞争者而出现”，因此日本“必须把出口项目的重点转移到重工业和化学工业产品方面来”，把“产业结构改造成以重化学工业为重点”，这使得日本能够“得以集中全力发展重化学工业”。在 1960 年池田内阁提出的被认为是最成功的“国民收入所得倍增计划”，即在 10 年内国民生产总值增加一倍的计划中，其重要措施也是“首先在重工业和化学工业中指定应该发展的种类，包括石油精炼、石油化工、人造纤维”等化学工业，然后再“给这些种类工业提供绝对的保护和发展援助”，以确保其优先发展。这些措施的实行就使得日本的重化学工业比重从 1955 年的 44% 增加到 1965 年的 63.7%，10 年间增加了 19.7%，超过了美国（5.4%）、西德（3.6%）、英国（2.8%）、法国（2.4%）的发展速度。化学工业原料丰富、价廉、产品价格高、经济效益好。化学工业的迅速发展在日本经济腾飞中发挥了重要作用。在 1955—1966 年的 10 年间不同行业技术进步占生产增加的贡献度，以化学工业为最高，达 72.3%。所以，日本著名经济学家高桥龟吉说，“在日本战后经济成长中重化学工业的发展起到了巨大作用”。

日本化学会：“第二次大战後の复兴と再编”，《日本化学百年史——化学と化学工业歩み》，日本东京化学同人社，1978 年版，第 173 页。

井本稔：《日本の化学百年のめゆみ》，日本东京化学同人社，1978 年版，第 118 页。

吉田茂：《激荡的百年史》，世界知识出版社，1980 年版，第 81 页。

汤浅光朝：《科学文化史年表》，科学普及出版社，1984 年版，第 216 页。

“新日本制铁”能力开发室：《日本——その姿と心》，日本学生出版社，1982 年版，第 83 页。

森岛通夫：《日本为什么“成功”》，四川人民出版社，1986 年版，第 271 页。

乾侑：《日本科技政策》，科学技术文献出版社，1987 年版，第 25 页。

高桥龟吉：“战后日本经济跃进的根本原因”（1975 年），“新日本制铁”能力开发室：《日本——

可以看出，日本战后经济高速发展的实质，是日本决策者推动产业结构向高级化转移的过程。在 60 年代以前，“这种结构变化的典型形式被称为重化学工业化”，即“工业结构自身从以轻工业为中心转向以重化学工业为中心”的变化。在这一转换过程中自然就使日本化学工业取得了惊人进展。

三、转换基础原料（1961—1970）

日本化学工业原料在 1955 年以前一直是以煤炭为主。然而由于化学工业和电力工业的迅速发展，煤的需要量激增，价格不断提高，限制了化学工业的进一步发展。同时，由于以煤炭为原料的工业过程比较复杂，劳动生产率低，化工产品成本增高，削弱了国际竞争能力，从而难以保持高速发展的势头，甚至还有所下降。1955 年日本化学工业在整个制造业中的比重为 12.6%，而 1960 年则下降为 10.6%。1955 年化工产品输出的比重为 4.6%，1960 年则下降为 4.2%。此外，由于过去优先发展肥料生产的政策，已使国内的肥料市场达到饱和而需要重新开发新产品，转换成为以石油为原料基础的高分子合成工业体系，从而才可能再把化学工业发展推向新的高度。这些都急需把以煤为原料基础的化学工业转换成为以石油为原料基础的新的化学工业体系。

在客观上，当时日本化学工业也具备了这一转换条件。首先是当时世界原油供给过剩，价格低廉，且同美国相比，日本同世界第一石油产地的中东地区相距较近，运输价格仅及美国的一半，转换成以石油为原料的化工制品后仍会有较强的竞争力；其次是当时国际上的石油精炼技术已达到相当高的水平，使日本得以及时引进最新工艺技术，诸如流动床催化裂解工艺、高辛烷值挥发油和高级润滑油生产设备等先进技术，迅速建立了世界第一流的化工企业。这使得石油精炼部门成了当时日本化学工业中引进最多资金和技术的部门。

于是日本开始大量输入原油。1945 年时仅输入 45 万公升，1955 年时则猛增到 1195 万公升，1960 年又达 3742 万公升，到 1973 年的石油危机前已高达 26450 万公升，相当于 1945 年的 589 倍。原油处理能力，1955 年为 26 万桶，1965 年猛增到 199 万桶，1973 年上升到 541 万桶，1978 年为 594 万桶，相当于 1945 年的 313 倍。这样就使日本化学工业原料迅速发生了根本转换，并使以石油为原料基础的有机合成工业迅速发展起来。以乙烯生产能力来看，1966 年时最高的是美国，为 485 万吨；其次即为日本，是 120 万吨；第三是西德，为 104 万吨。日、美、德的比是 100 403 87。进入 70 年代后日本的生产能力又有较大增长，1976 年日、美、德生产能力比为 100 251 73，缩短了同美国的差距，拉大了同西德的距离，成为世界上乙烯生产的大国。实际上，从 1957 年开始日本化学工业就逐步建立起以合成树脂和合成纤

その姿と心》，日本学生出版社，1982 年版，第 82 页。

佐贯利雄：《日本经济的结构分析》，辽宁人民出版社，1987 年版，第 1 页。

日本化学会：“应用化学と化学工业の百年”，《日本化学百年史——化学と化学工业の歩み》，日本东京化学同人社，1978 年版，第 177 页。

井本稔：“日本の化学工业の発展”，《日本の化学 100 年のめゆみ》，日本东京化学同人社，1978 年版，第 134 页。

日本化学会：“原料とプロセス转换”，《日本の化学百年史——化学と化学工业の歩み》，日本东京化学同人社，1978 年版，第 177 页。

维为中心的有机合成产业结构，并迅速成长为强有力的新兴工业部门。例如尼龙生产 1950 年仅 98 吨，1954 年为 7200 吨，1975 年已达 40 万吨，为 1954 年的 57 倍，成了同美国并驾齐驱的“纤维王国”。

与此同时，过去以煤炭为主要原料的化肥等传统化工产品，也逐渐转换为以石油为主要原料的生产体系，提高了对石油的依存度。例如 1958 年合成氨对石油的依存度仅为 16%，醋酸为 0%，邻苯二甲酸酐为 0%，苯为 8%，二甲苯为 75%，当时的主要原料仍为煤炭。但是到了 1973 年几种化工产品对于石油的依存度分别提高到氨为 98%，醋酸为 100%，邻苯二甲酸酐为 70%，苯为 70%，二甲苯为 100%，石油已经成为化学工业的基本原料，从而保持了重化学工业生产的持续增长。目前，日本经济已经主要是依靠石油来支持的，对于石油的依存度已高达 74%，而法国是 59%。西德 52%，美国是 45.4%，意大利是 41%，成为世界上石油依存度最高的国家。

日本重化学工业的增长势头一直保持到 70 年代。到了 1973 年后由于中东石油危机而引起的石油价格猛涨，以及汽车、彩电等家庭耐用消费品的需求急剧增长，日本的产业结构开始由大量消耗原料型的重化学工业转向小量消耗原料和知识密集型的工业转换，逐步形成了汽车和家用电器为主导的产业结构。在整个工业生产中，重化学工业的比重开始下降，1974 年为 66.1%，1978 年下降为 58.9%。当然，化学工业的绝对产量仍有增长。例如最近的统计资料表明，从 1986 年到 1987 年，硫氨的产量由 178.3 万吨提高到 180.3 万吨，烧碱由 307.6 万吨提高到 322.7 万吨，合成染料由 5.8 万吨提高到 6.3 万吨，醋酸由 30 万吨提高到 37.7 万吨，尿素树脂由 46.3 万吨提高到 48.4 万吨，石油液化气由 783.3 万吨提高到 821.4 万吨等，仍然保持一定增长的势头。然而从总体上讲，目前日本工业已经跨入了以汽车、家用电器为主导产业的发展阶段，重化学工业的发展已经居于较为次要的地位。为了保持和增强化学工业的增长势头，自从 1964 年在日本召开了国际天然物化学会议以后，日本化学技术正在准备进入合成天然有机物的新时期，在“实现农业的工业化”方面做出更大贡献。

四、采取多种奖励措施

日本设立有多种化学奖励，包括（1）化学技术进步奖、（2）国家研究院（学士院）化学奖、（3）日本化学会奖、（4）日本化学会进步奖、（5）日本橡胶学会奖、（6）日本药学会奖、（7）日本农学会化学奖、（8）日本化学教育奖等 8 种，以促进带有独创性的化学发现和化学发明，成为推动日本化学化工发展的重要措施。据统计，从 1957 年开始到 1977 年的 20 年间，总共颁发了约 350 项以上的多种奖励，平均每年授奖约 18 项，获奖人数达 510 名。在获奖项目中大多（85%以上）是化学技术性的应用成果，以便直接为化学工业生产服务。例如以三醋酸纤维为原料的不燃性照像胶片的制造（松田义郎等，1959 年），玻璃纤维的制造和加工处理方法（春日袈裟治等，1962 年），聚丙烯腈系合成纤维的研究与工业制造技术（藤崎谊达等，1964 年），新合成洗涤剂的制造技术（富山新一等，1970 年），以沥青为原料的

井本稔：“ての四半世纪的发展”，《日本の化学 100 年のぬゆみ》，日本东京化学同人社，1978 年版，第 136 页。

日本内阁总务厅统计局：《日本の统计》，日本大藏省印刷局，1988 年版，第 95 页。

汤浅光朝：《日本の科学技术 100 年史》，日本中央公论社，1984 年版，第 354 页。

炭素纤维的研究与工业化（大谷衫郎等，1972年），除草剂撒旦的发现和制造法（小川茂等，1973年），人造革制造技术（中条省吾等，1973年），以聚丙烯腈为原料的炭素纤维制造技术和工业化（进藤昭男等，1979年）等，都为日本化学工业的腾飞做出了贡献。

在获奖项目中亦有关于基础理论研究方面的成果，包括著名化学家福井谦一的关于化合物共价态和化学反应的研究（1962年）、广田钢藏的化学反应的物理化学研究（1968年）和鸟内武彦的多原子分子力场的研究（1972年）等，虽然为数不多（仅占14%左右），然而也在培养人才和提供理论指导方面，对于日本化学工业的发展起到了积极作用。

日本战后化工事业经过几十年的发展，不仅在化工生产上取得了惊人的跃进，在化学理论和化学技术理论方面也取得了巨大进步，并跻身于世界先进行列。1976年经过美国《化学文摘》（Chemical Abstracts）所收集到的日本学者论文的数量，已仅次于美国和苏联而居于第三位，在西德、英、法之上。到1979年时仍如此，在所收集到的436887篇论文中，美国占27.5%，苏联为19.0%，日本为9.7%，西德为6.0%，英国为5.9%，法国为4.2%，余为印度（3.1%）、加拿大（2.9%）、意大利（2.2%）、澳大利亚（1.2%）。

井本稔：“日本科学技术的进步”，《日本の化学100年のめゆみ》。日本东京化学同人社，1978年版，第142—146页。

《参考消息》编辑部：《日美欧苏是怎样发展科技的》，新华通讯社，1985年版，第50页。

第三节 复兴的社会因素

日本战后化学工业的惊人发展，固然主要是取决于化工发展战略措施的正确，然而也还在于日本社会诸因素以至国际因素综合推进的结果，特别是有些社会因素例如朝鲜战争的爆发等因素，都曾起到了重要作用。

一、朝鲜战争的契机

1948年以后亚洲政治形势发生了骤变，中国蒋介石的统治开始土崩瓦解，南北朝鲜建立了不同政治体制的国家，1949年诞生了中华人民共和国，并最终在1950年爆发了朝鲜战争等，导致了两大阵营日益加剧的对立与矛盾。这就使得美国不得不重新考虑其占领日本的政策。以前，美国曾企图削弱日本的工业力量以防止军国主义复活，为此曾拆卸了不少工厂的设备而充作赔偿之用。当时美国充其量也只想把日本重建成一个具有中等经济规模实力的非军事国家，而“对于日本经济的复兴或加强”，则不想“负任何责任”。现在，美国出于全球战略的考虑，则不得不使其占领日本的政策发生一个根本转变，转而想把日本建成一个既能承担发展东南亚地区资本主义经济的责任，又能提供应付美国战争紧急需要物资的储备库。为此，美国在朝鲜战争爆发后不久就自动解除了对日本生产军用物资的禁令，并向日本提出了大量军需物资的订货，从而使处于奄奄一息境地的日本化学工业乃至整个工业得以起死回生，并在战争爆发后的短短两年时间（1952年），就使生铁和煤炭的生产毫不费力地超过了战前最高水平。

同时，美国还主动放弃了战争赔偿的要求，提出应“对日本缔结宽大和约”，以使日本具有充足的经济实力，成为美国“遏制共产主义的伙伴”。美国的这一方针，尽管遭到了东南亚许多国家的抵制，然而还是得以实施，并在1951年签订了旧金山和约给予正式承认。这样，原来所有日本人都在准备执行的沉重的战争赔偿计划，由于朝鲜战争而被美国搁置，直至放弃。日本原来准备作为战争赔偿的大量物质都转向投入到开始复苏的化学工业和整个经济之中，并使之得以奇迹般的回升和发展。这样仅仅在朝鲜战争爆发后不到两个月，日本报纸就出现了这样的标题：“再见了，靠竹笋充饥的生活！”“从买不到东西的票证到不要票证！”并在其后一个多月的九月下旬，便废除了衣料配给制度。所以作为日本战后第一任首相的吉田茂说，朝鲜战争对日本来说“是一个很大帮助”，日本经济“从朝鲜战争爆发后的1950年就开始了急剧发展，就好像飞机起飞以后那样”，以后就再也“没有受到影响而继续上升”了。日本化学工业就是在这一政治形势下才获得奇迹般发展的。

历史表明，日本的化学工业和整个制造业的生产指数均随着战争因素而有较大起伏。1942年（昭和17年）由于太平洋战争已经爆发一年，军事工业生产膨胀，整个制造业生产指数迅速上升，直到1944年（昭和19年）达到最高点（182）。随后于1945年（昭和20年）战败而迅速下跌，直到1946年（昭和21年）跌到最低点（约28）。化学工业的生产指数也如此。在战

汤姆·肯普：《现代工业化模式》，中国展望出版社，1985年版，第39页。

美国政府给驻日占领军的指示。吉田茂：《激荡的百年史》，世界知识出版社，1980年版，第53页。

吉田茂：《激荡的百年史》，世界知识出版社，第70页。

井本稔：“太平洋战争前后”，《日本の化学100年のめゆみ》，日本东京化学同人社，1978年版，第117页。

后，随着需要解决吃、穿、住等迫切问题，化肥、纤维、水泥等工业开始恢复，整个制造业的生产指数也逐渐回升，然而直到1950年（昭和25年），仍未恢复到战前最高水平。但是随着朝鲜战争的爆发，则生产指数立即陡然上升并迅速超出了战前水平。特别是同军需物资密切相关的化学工业上升速度更快，超出了整个制造业的发展。所以，应当说，朝鲜战争的爆发为日本化学工业乃至整个工业和经济发展提供了复兴的契机。这也是笔者所接触到的许多日本学者的看法。此外，有人甚至还把朝鲜战争视为一种天赐的幸运。例如吉田茂说，“正当日本经济即将上升的时候，由于朝鲜战争的爆发而急剧扩大了出口，这就是一种幸运”，是“生逢其时，凭借幸运”。

二、发达的教育基础

如果说朝鲜战争是日本有可能出现奇迹的一个“天赐良机”，还莫不如说是由于“天助自助者”的结果。这就是说，主要的还是在于日本社会内部诸因素的作用，特别是发达的教育所提供的创造奇迹基础作用。因为“幸运或机会只是赠给那些具有高度才华和历史敏感的卓越民众的礼物”。

日本早在明治维新以后就认识到，“维新之大业，不能只靠领导人自己，必须借助于多数受教育的国民之手来推进”¹，从而使教育得以迅速普及，到明治末期（1912年）小学就学率已超过95%。所以，“重视教育事业，是日本近代化的一大特点”²。

战后，日本尚在财政十分困难的情况下，就毅然决定大力加强教育建设。1946年就决定把战前的6年义务教育和已确定的、但因战争而搁置的8年义务教育，扩展为9年义务教育。他们“深信只有教育才是重建日本的原动力”、“要使日本复兴，除教育外别无他途”³。实际上，日本在战后的复兴和再建中，正是“通过教育的一环，培养了优秀人才，进而学到了国际上先进技术，并且加以创造性的改良和实际化”，才实现了科学技术的振兴和经济腾飞的。所以，对于日本战后的奇迹来说，“这种高水平的教育是其获得成功的根本原因”，依靠教育，“可以说是日本现代化的最大特点”⁴。

可以看出，日本化学工业以至国民经济在战后的荒芜中得以复兴，绝非一朝一夕之功，而是自明治维新以后百年来长期发展教育，注重培养人才的结果，正如日本政府在1988年刚刚发布的《白皮书》中所说，战后经济高速发展的“背景，是在于战前高水平的教育环境所培养出来的学者和专家，从而成为战后复兴的核心力量”。日本通过长期的高水平的教育所培养出来的科技人才，具有着良好的科学素质，从而使日本的“科学技术力量”具有很鲜明的特点。这些特点，据较新出版的《日本》一书所做的归纳，大体上体现为以下五个方面：

（1）精巧。日本人很善于制造微型化、精密化的精巧制品，例如轻型汽车、微型电视、相机、计算机等，具有很强的精巧性、高效性。这已经成为

吉田茂：《激荡的百年史》，世界知识出版社，第1、9、11、59、87、89页。

日本科学技术厅：《科学技术白书——我が国科学技術の国際化に向けて》，日本大藏省印刷局，1988年版，第2页。

吉田茂：《激荡的百年史》，世界知识出版社1980年版，第89页。

日本科学技术厅：《科学技术白书——我が国科学技術の国際化に向けこ》，日本大藏省印刷局，1988年版，第2页。

“新日本制铁”能力开发室：《日本——その姿と心》，日本学生出版社，1982年版，第184—186页。

通过长期良好教育所形成的一种民族性格。这也表现在长期以来日本民族就善于制作精制小茶具和插花等技术方面。

(2) 高超的组合才能。日本人已经具有了一种传统的高超的组合才能, 能够把各种物品的优异性能组合在一起, 创造出一种更为优异的新产品。例如日本制造的磁带录像机(VTR)和工业用机器人等优秀产品就是集中组合了电子技术和机械技术的结果。

(3) 开发—设计—生产的密切结合, 讲究实际。要求学习工程技术的大学毕业生到生产现场进行实际训练, 在了解实际的基础上进行技术改进和开发设计, 从而使日本的应用技术水平居于世界前列。

(4) 彻底追求高质量和低成本。操作者能够自觉、认真、努力地消灭残次品。努力提高质量、降低成本, 精益求精。

(5) 不断引进新技术, 开发新产品, 迅速更新。以适应广大用户不断产生的新的追求, 使科学技术和经济发展永远保持旺盛的增长势头。

可以看出, 发达的教育基础 优秀的技术素质 高速的经济腾飞, 就是日本成功的一条根本之路。

三、国际国内有利因素的综合

当然, 日本化学工业以至整个经济奇迹的出现, 也并非单纯一两种因素作用的结果, 而是综合了国际国内、正面反面多种有利因素实现的。为此, 日本著名经济学家高桥龟田提出了以下五点原因:

(1) 由于战后世界资源的国际商业化, 能够以大量进口确保重化学工业所需原料和能源的供应, 从而使战前日本原料资源短缺的重大问题得以解除。

(2) 世界各国在战争前后所取得的重大技术革新成就, 对于因战争而把生产设备几乎破坏殆尽的日本来说, 比较容易地摄取而迅速达到最先进的水平。

(3) 日本被战败和被占领, 反而也可转化为促进经济发展的有利因素。例如军备被限制, 殖民地被放弃, 大大减轻征兵负担和财政负担, “可以集中全力发展重化学工业”。同时, 由于废除了军事专治政府, 建立了自由竞争的经济体制, 才华横溢的新人辈出, 充分发挥果敢的企业家精神。

(4) 具有丰富的劳动力和优异的国民素质(文化、教育、组织与纪律), 并具有传统的经营管理经验, 独立的企业组织, 政府和企业间的良好协调体制, 以及引进外资、筹办企业资本等一整套具有日本特色的强有力的社会经济体制。

(5) 具有优良的港湾和丰富水资源的天赐自然条件, 可以形成以京滨(东京、横滨)、阪神(大阪、神户)、中京(名古屋)、濑户内海和北九州五个工业地带为中心的长达 1000 公里的狭长的“太平洋带状工业区”, 成为世界最发达的工业地区之一。

在以上五个因素中, 前三个因素为外部因素, 后二个因素为内部因素, 彼此相辅相成, 终于迎来了日本战后化工、科技和经济高速发展的时代。

第四节 增长中的危机与对策

日本战后化学工业高速发展的同时，也带来了不少严重的问题以至危机。主要表现如下：

一、公害多发问题

化学工业的发展，不可避免地带来一些环境污染问题，特别是对高速发展的日本化学工业来说更是如此。

日本是一个国土狭小、人口众多、工业高度发达的国家。人口密度极高，每平方公里为 314 人（1980 年），相当于西德的 3 倍，英国的 4 倍。每平方公里的工业产值亦极高，是西德的 1.5 倍，英国的 3.6 倍。每平方公里居住面积的石油消耗量为 8770 万桶，相当于西德的 1.8 倍，英国的 2.7 倍。所以日本是一个人口高度集中、工业生产高度集中、能源消耗高度集中的国家，一个极易造成严重环境污染的国家。实际上，在 1955 年后经济腾飞开始的一段时间里就出现了许多严重的公害事件。其中著名的有三起震动很大的公害事件。

1. 水俣病事件

这是发生在日本熊本县水俣市海湾周围的一个公害事件，“给了日本化学工业发展以重大冲击”其过程是：1953 年发现该地区有猫与乌鸦发生痉挛性死亡事件。1956 年波及到人，患者似脑神经受到损害，然而原因不明，被称为“怪病”，患者达百数十人，死者约 50 人。1959 年经熊本大学医学院研究认为是由于水俣市新日本氮肥厂排除的水银所致，引起了患者和附近渔民同工厂的尖锐矛盾，许多渔民曾冲击工厂抗议，要求赔偿损失，消除公害。1956 年又在新泻县阿贺野川流域发生了第二次水俣病事件，是由于河流上游昭和电化工厂合成乙醛过程所排除的甲基汞造成的公害，患者约 50 人，死亡数人。水俣事件成了日本前所未有的悲惨事件，引起了社会上的巨大震动，造成了化学工业生产的一次严重危机。

2. “痛痛病”事件

1968 年日本西海岸富山县神通川流域发现了一种“痛痛病”，患者肾损骨痛，极其痛苦，不时地发出“イタイイタイ”（痛呀痛呀）的惨叫声。患者约 200 人，死者达 130 人。原因不明。后经日本医生荻野升和化学家小林纯的研究发现，是上游三井金属矿业工厂排除的金属镉的污染所造成，再次引起了社会震动，使日本化学工业的发展再次陷入了危机。

3. 气管炎事件

1959 年在日本三重县的四日市出现了一种“哮喘病”，气管炎患者大量增加，实际是因四日市石油联合企业和三菱石油化学企业排除的废气引起的。1972 年受害者到市法院上告并取得全面胜诉。

可以看出，由于日本经济发达，工业生产和人口又畸形地集中于三湾一海的狭小地区（当前日本三分之二的城市人口居住和工作在不足全领土 5% 的狭小地区），使得日本公害问题达到了十分严重的地步，随之整个社会也对公害问题十分敏感，公害纠纷事件层出不穷。1968 年为 2.9 万件，1972 年高达 8.8 万件。由此日本也有人把日本“国民生产总值的增长”，戏称为

日本化学会：“化学と环境问题”，《日本の化学百年史——化学と化学工业の歩み》，日本东京化学同人社，1978 年版，第 238 页。

“国民总污染的增长”。日本公害问题已经成为日本化学工业以至整个工业进一步增长的重大障碍。例如 1964 年发生的三岛—沼津事件，居民为了反对在当地建立联合企业的计划而发起的运动就取得了成功。这就使日本不得不抑制“单纯增长主义”，而全面地认真处理环境问题，并采取了一系列有效措施。

首先是制定了“公害对策基本法”（1967 年），接着又制定了“防止大气污染法”（1968 年）和“公害关系 14 条法案”（1970 年），使法制不断完善。与此同时则在各级政府设立环境厅等行政机构，依法治理环境。其主要措施是：（1）坚持环境保护高于经济生产而优先考虑的原则；（2）建立造成环境污染企业的赔偿制度；（3）严格规定环境污染的标准，并不断强化；（4）责任单位承担被害者的医疗费和生活费，以及环境复原费。

其次是大力开展环境科学技术研究。1970 年制定了“70 年代综合科学技术对策”，开辟了新兴的环境科学技术，成立了“日本公害研究所”（1974 年），从各个方面防止环境污染，例如合成出无害的家用 AOS 系洗涤剂和无害农药撒旦，以及提出了基于液相氧化的脱硫法等。

特别是不惜巨资在防止公害上大量投入，从经济上给予根本保证。例如从 1969 年到 1978 年的 10 年中，主要用于石油加工、石油化学、运输机械和电力等企业中的防止公害投资即达 42966 亿日元，占防止公害投资额的 80.6%，以保持化工等重点企业生产的持续增长。同时投资额也在逐年增长。日本防止公害的投资在设备投资总额中所占的比重，1965 年还只是 3%，1969 年即增到 5.0%，1972 年增到 8.6%，1975 年又猛增到 18.6%。即使是私人企业，亦有迅速增长。在 1965 年到 1975 年的 10 年中，私人企业用于防止以公害的投资从 297 亿日元增到 1 兆 1783 亿日元，猛增了 39 倍。这使得日本成为防止公害投资居于先列的国家。

基于这些有效措施，日本的严重环境问题自 70 年代来已有明显改善。例如大气中二氧化硫的浓度在工业区以至居民区均有急剧下降：1967 年工业区的浓度高达 0.05PPm，1975 年则已降到 0.02ppm，居于世界一流水平。目前在日本来说，环境问题已不是什么计算费用和利益的问题了，而正在成为以“环境权”、“身体保护权”、“游览海滨权”、“光照权”等形式表现出来的人权问题，从而对化学工业的发展提出了更高的要求，需要采取更加严格和有效的措施来保护环境、防止公害，确保化学工业的进一步发展。

二、资源短缺问题

日本是工业高度发达的“经济大国”，同时又是原料极端贫乏的“资源小国”。日本在现代工业生产所需要的不可缺少的主要原料中只有石灰石可以自给，其余均要依赖国外进口。原料对国外的依存度极高，以 1975 年为例，进口的原料占整个原料的比例煤为 76.6%，铜矿石为 96.8%，铁矿石为 99.5%，原油为 99.7%，铝土为 100%，磷矿石为 100%。此外，农产品棉花和羊毛亦需 100% 进口，等等。日本所需原料的进口量极大，进口原油占世界原油出口总量的 20%，铁矿石占 33.3%，无论从原料进口的绝对量和相对量来看均居世界第一位，是依赖国外进口程度最高的国家。这就成了日本化学工业乃至整个工业发展的致命弱点。日本工业只有依赖国外资源才能得以维

日本环境厅：《环境白皮书》，1976 年版，第 513 页。

都留重人：《日本经济奇迹的终结》，商务印书馆，1979 年版，第 86 页。

持生存和发展。日本必须而且也只能永远以非资源自给国作为前提来谋求工业发展。除此以外，别无它途。日本工业好像一个“高智能机器人”，一旦切断外界电源供应，高智能动作就会嘎然而止，变成无用废铁了。所以，日本与资源大国不同，他的工业生产与国际政治经济形势变化有着密切关系，且时时潜伏着难以避免的危机。例如1973年爆发第四次中东战争后，由于阿拉伯国家要求以色列从苏伊士占领区撤退，阿拉伯石油输出国组织（OAPEC）实施石油生产削减，从而使石油价格一举上涨4倍，随之而来亦使汽油、灯油、乙烯、石油气、天然气和合成树脂、合成洗涤剂、合成纤维及涂料制品等石油化工产品价格大幅度上涨，以至整个社会物价的大幅度上涨。1974年日本批发物价的上升率达31.4%，消费者物价提高达24.3%。因此日本政府采取了种种抑制对策后才稳定了价格。1979年发生第二次石油危机时又使原料短缺，物价上升。1980年日本批发物价上升17%，直到1981年才稳定下来。目前，由于世界局势较为稳定，日本所需原料暂不短缺，物价亦成为发达国家中较稳定者。

日本为了尽可能减少原料短缺所造成的压力，主要是采取了以下措施：（1）对于海外资源多消费型和公害多发型企业实行高付加价值化；（2）实行化学工业原料多样化和多方位进口；（3）节约使用石油及其衍生产品；（4）有效利用废弃物；（5）开发新资源；（6）合理有效利用资源；（7）把高消费能源的产业转移至国外。例如有人建议，如果把炼铝工业转移到国外，一年可节约195亿度电，可以大量减少石油进口。这些措施正在日益取得成效。例如从1965年至1975年期间，由于从废料中回收生产的硫黄不断增加，已使日本由硫黄输入国变输出国。1965年回收生产硫黄为4.5万吨，尚需输入6.2万吨。1972年回收硫黄增至56.6万吨，仅输入1.2万吨，但同时又输出了4.7万吨；1975年回收硫黄高至80.7万吨，不再输入，单纯输出了15.8万吨。还有，由于合成纤维工业的高速发展，从中回收的硫氨也不断增加，从而也不断减少了合成硫氨的生产，减少了所需煤或石油的进口。例如1961年回收硫氨量为28万吨，占总需要量的10.9%；1965年回收量达91.3万吨，占34.1%；1972年回收量增至147.8万吨，占总需要量的76.1%，而合成硫氨量则缩小到1.6万吨，减轻了石油等原料供应的负担。

三、基础研究薄弱问题

日本的工业生产是以不断追求先进技术的手段来追赶西方国家的，并取得了很大效果。目前日本技术中已有65%达到或超过了美国水平，有82%达到或超过了西欧水平。技术出口的比例已从1962年的4%提高到了1980年的14%，已经成为世界上的一流技术强国了。

然而也应当看到，时至今日，日本的技术进口还是高于出口，特别是尖端技术入超较多。这说明日本单纯发展技术的政策又表现有先天不足，即独创性的理论研究还比较落后，还缺乏足够的理论基础来开发尖端的科学技术。因此，日本作为能够反映基础研究水平的诺贝尔奖获奖者比较少，就自然科学奖来说获奖者仅有5人，不仅远较美国（142人）为少，甚至比人

日本资源エネルギー——厅：《矿业便览》，1965年版；日本硫黄需要者团体协议会デ-タにみる（1972—1975）。日本化学会：《日本の化学百年史——化学と化学工业の歩み》，日本东京化学同人社，1978年版，第226页。

日本硫安工业协会资料，同上，第227页。

口少于日本的瑞典（15人）、荷兰（10人）、瑞士（11人）等国还少。这就难怪日本著名科学史家汤浅光朝要哀叹，连“迄今为止发现的106种化学元素中也没有一个是日本人发现的”了。可以看出，日本的“学术性的基础研究落后是无可否认的”。

日本忽视基础研究的情况由来已久。日本发展科学技术，无论是幕府时期，还是明治时期，以至大正和昭和时期（战前），多是强调“富国强兵”的现实需要，特别是军事上的需要，因此从16世纪中期引进西方化学技术伊始就注重发展枪炮、火药和钢铁等军事实用技术，作为应付国内外战事之急需。所以在幕府时期就把化学视为“实学，实利之学”，而明治时期的多数化学家也都认为，“应用化学乃化学之本，纯粹化学不过是空洞的理论”¹而已。只有少数化学家提倡纯化学的基础研究。在科学教育方面也多如此，比较重视工程技术专业，而忽视理论专业，以便直接为加强军事实力和经济实力服务。在第二次世界大战期间，日本技术尽管已经能够制造较高性能的“零式战斗机”，世界上最大的战列舰“大和号”，以及在我国东北行驶的“亚细亚”号高速列车，然而就其技术基础来说也仍然是薄弱的，远远落后于发达国家美国。其原因除过于重视为现实服务的应用技术外，也还像汤浅光朝所说，在于日本整个学术界的“社会思想和哲学思想极其贫乏”的缘故。

从现代日本科技发展时期来看，日本基础研究落后的一个原因，还在于日本科技投资中民间所占比例颇高，是属于民间主导型的研究体制。例如1978年日本科学研究的投资比例，日本政府及地方公共团体仅占30%，民间企业投资则占70%。这同重视基础研究的欧美国家恰成鲜明对照。美国、法国、英国的政府投资比均达50%，西德也达到40%，均远高于日本，多属政府主导性或政府民间混合性的研究体制。1980年美国政府的研究投资额是日本的5.4倍，苏联是3.4倍，西德是1.8倍。由于民间企业的研究开发是在激烈竞争中进行的，所以民间的科学研究投资多为注重现实经济效益，注重以特定的实际应用为目的的应用研究（Applied research），或以引进新的材料、制品、系统、工程等为目的的开发研究（Development research），从而必然要忽视单纯以知识进步为目的的基础研究（Basic research）。以1980年为例，日本民间企业科学研究经费用于开发研究为75%，应用研究为20%，基础研究只为5%。日本只是在政府投资的大学等研究机构才较为重视基础研究。1980年日本各大学科学研究经费用于基础研究达55%，余为应用研究（38%）和开发研究（7%）。可见，日本这种民间主导性的体制，忽视基础研究是必然的。此外，同重视基础研究的发达国家相比，日本科学研究经费总额（包括政府和民间两部分）偏低，难以在耗费资金较高的基础研究方面发展，也是一个重要原因。例如日本自然科学研究经费总额在国民收

日本科学技术厅：《科学技术白书——我が国科学技术が国际化的の向にこ》，日本大藏省印刷局，1988年版，第38页。

汤浅光朝：“纯粹化学的发展”，《日本の科学技术100年史》，日本中央公论社，1984年版，第179页。

广田钢藏：“明治期の日本国民の化学观”，[日本]《化学史研究》，1989年，第4期，第145—146页。

姚佩军：《日本科学技术研究概况》，知识出版社，1984年版，第71页。

“新日本制铁”能力开发室：《日本——その姿と心》，日本学生出版社，1982年版，第178页。

入中所占的比例是 2.15% (1978 年) 西德为 2.58% (1977 年), 美国为 2.53% (1977 年), 英国为 2.29% (1975 年), 日本是其中最低者。

日本长期以来自觉或不自觉地在执行一种重技术开发轻基础研究的政策。它在明治维新时期以后直到第二次世界大战后的 70 年代的百年来的时期里, 应当说对于日本的科技发展和经济起飞都起到了至关重要的作用。当时日本经济尚不发达, 科学研究经费不足, 精明的日本决策者就没有花大钱投资于基础研究, 而只是花小钱引进国外基础研究的最终结果——先进的技术。用日本著名科学史家汤浅光朝的话来说: “日本的科学技术是从欧洲抄来的”, 或是“不断地掠取西方的成果”而形成的。汤浅认为, 这就是“日本科学的‘掠夺’的性格”。他还认为, 善于“‘掠夺’欧洲近代科学”的做法, 正是“日本人取得成功的主要原因”。日本依靠国外基础研究而重点发展技术的做法, 实质上是一种“不去播种, 只管收获”的“坐享其成”或“摘桃式”的做法, 依此来迅速发展其生产和经济。至于基础研究则可以在经济富裕强大之后再重点投入加以开展。这不能不说是一种精明、便宜、有效的办法, 也是日本成功的一个秘诀, 可以为广大发展中国家所借鉴。

现在, 日本技术与经济已经相当强大, 已经有可能大力发展基础研究, 以改变其“多模仿性、少创造性”的科学技术特征, 从基础研究、应用研究、开发研究三个方面并驾齐驱地发展, 以不断保持其科学技术和国民经济高速增长势头。

实际上, 日本早在二战后就已经注意到基础研究和应用研究的结合。从化学化工方面来看, 早在 1948 年 1 月就已经把侧重基础研究的团体“日本化学会”同侧重应用研究的“日本工业化学会”加以合并, 加强相互的联系与结合, 有力推进日本化学化工事业的发展。

在 80 年代, 日本政府已经更加明确地认识到, “为了维持我国经济的活力, 基础技术开发也越来越重要。因此, 这一领域的落后, 将成为今后技术开发的重大障碍”。为了改变这种情况, 对于科学研究经费的投资, “应把政府的负担比率提高到 30% 左右, 从长远看, 在充分考虑保持官民分担平衡同时, 政府负担比率应达到同欧美一样, 即提高到 40% 左右”¹, 以保证在基础研究方面的较多投入。与此同时, 日本研究经费的总投入也不断迅速增加。1955 年日本在美、西德、法、英、苏等六国中是研究经费投入最低者, 仅是六国研究总和中的 1%。1975 年提高到 10%, 已超过英、法, 进入到第 4 位。1985 年再提高到 16%, 又超过西德和苏联而居第 2 位, 仅次于美国。1986 年, 包括人文、社会科学在内的研究经费总额在国民收入中的比例已高达 3.49%, 已超过美国在西方世界居第一位。这就可能在基础研究中投入更多的研究经费。

姚佩军:《日本科学技术研究概况》, 知识出版社, 1984 年版, 第 70 页。

汤浅光朝:《科学文化史年表》, 科学普及出版社, 1984 年版, 第 222—223 页。

汤浅光朝:《日本の科学技术 100 年史》, 日本中央公论社, 1980 年版, 第 11 页。

同上, 第 15—16 页。

日本通产省:“新时代的技术开发战略”, 1984 年;《参考消息》编辑部:《日美欧苏是怎样发展科技的》, 新华通讯社, 1985 年版, 第 11、21 页。

日本科学技术厅:《科学技术白皮书——我が国科学技術の国際化に向けこ》, 日本大藏省印刷局, 1988 年版, 第 15—16 页。

然而直到目前为止，由于日本民间投资增长过快，而使日本科研体制成为更为突出的民间型。最新统计资料表明，1986年度日本研究经费总额(自然科学)为8兆4150亿日元，其中政府和地方公共团体为1兆6517亿日元，仅占19.8%；民间为6兆7557亿日元，所占比例高达80.3%，仍是鲜明的民间型。因此投入基础研究的经费仍不算高，1986年为13.3%，余为应用研究24.4%，开发研究62.3%。为此，日本在1988年举办了“诺贝尔奖金获得者日本讨论会”，邀请各国杰出学者讨论日本基础研究发展的战略，推动日本的基础研究。

总之，日本的有识之士已经认识到，在经济基础薄弱时不得不需要依靠国外的基础研究成果来发展本国的科学技术，也不失为是一种经济实惠的良策；而当经济基础已经雄厚，再如此下去，就会难以创造性地开发出自主的先进技术，保持科学技术大国的优势了。为此日本自1981年以来所发表的“科学技术白皮书”中都强调了重视基础研究，并提出了“强化基础研究的对策”，以便“能够从历来的技术导入体制脱出，积极在自己的广阔的基础研究上振兴具有创造性的科学技术”。1981年日本政府提出了“科学技术振兴调整费”，创设了“具有创造性的科学技术推进制度”，1986年内阁会议确定了“科学技术政策大纲”并在理化研究所创设了国际开拓系统等，都是为了强化基础研究而采取的措施。

昭和62年科学技术研究调查结果速报值(1988)同上，附表。

杨振宁谈日本发展经验，《大连日报》，1988年11月30日。

日本科学技术厅：《科学技术白皮书——我が国科学技術の国際化に向けこ》，日本大藏省印刷局，1988年版，第7、9页。

第五节 未来的任务和动向

日本科学技术厅在 1988 年发表的《科学技术白皮书》中，对于日本科学技术当前现状的四个特征做了如下归纳：（1）日本科学技术振兴是以“民生应用技术”为中心展开的；（2）日本科学研究开发活动的民间比重甚高，1985 年的科研经费民间负担达 80.5%；（3）日本研究资金的“交叉流动”较小，研究经费的担负结构与使用结构之间的脱节程度较小；（4）日本的产业技术已具有甚高水平，而基础研究相对较弱。对此，1988 年日本科学技术厅长官伊藤宗一郎指出，今后日本科学技术应当在充实基础研究、整备研究环境和促进国际交流等三个方面加以努力，以实现日本科学技术的国际化。

一、主要任务

从化学化工来说，日本今后的主要任务是解决食物、环境和资源三大问题。这主要是考虑到日本人口不断上升的趋势，1946 年人口仅为 8 千万，1987 年已达 1 亿 2 千万，40 年约增加 4 千万，然而日本的食用农作物的自给率却比较低，需要大量进口。例如谷类自给率仅为 41%，其中小麦仅为 4%。此外，豆类为 11%，肉类 78%，水果 83% 等，大多不能完全自给。为此，日本在 1964 年召开“天然物化学国际会议”以后，就提出了未来“农业的工业化”问题，拟采用化学合成的办法来制造淀粉和蛋白质等食用物质，其目标之一就是要把谷物的自给率提高到 50%。此外，鉴于日本国土狭小，工业集中，资源贫乏等情况，今后化学化工的发展，自然也就会把环境和资源列为需要重点解决的两大任务。具体来看，主要是提出了七项任务和进行六个方面的研究。

1. 七项任务，主要是：

- （1）确保资源和能量的供应；
- （2）尚未利用的资源和能量的开发；
- （3）资源和能量的节约；
- （4）建立节省资源和能量的轻消耗型产业；
- （5）回收资源和能量；
- （6）开发代用资源；
- （7）有效利用植物资源作为工业原料。

2. 六个方面的研究

日本的大约 5 万名化学工作者（约 8 千名在大学，3 万 2 千人在化学系统的产业部门，1 万名在其它产业和研究机构），为了完成这七项化学工业方面的具体任务，正在从基础研究、应用研究和开发研究等方面相互配合与协作，开展六个方面的化学研究：

（1）物质结构的研究 主要是运用激光等技术确立原子的立体结构和电子状态，以及阐明被激发的不稳态物质、特殊电子结构的物质、作为催化剂的络合物质和功能高分子物质的结构等；

日本科学技术厅：《科学技术白皮书——我が国科学技術の国際化に向けこ》，日本大蔵省印刷局，1988 年版，第 7、9 页。

汤浅光朝：《日本の科学技術百年史》，日本中央公論社，1984 年版，第 354 页。

井本稔：《日本の化学百年のめゆみ》，日本東京化学同人社，1978 年版，第 184—186 页，第 196—198 页。

(2) 物质性质的研究主要是关于化合物异常性质的研究, 以及极限条件下低分子和高分子性质的研究, 膜的性质研究等;

(3) 化学反应的研究主要是把握化学反应的中间阶段、反应的选择性和催化剂的进一步研究, 特别是以模拟自然的生物无机化学和生物有机化学领域的研究;

(4) 合成方面的研究 主要是以酶模型和合成酶出发的高分子研究, 以及荧光体和磷光体等物质的研究;

(5) 新研究方法的开拓研究主要是以 x 射线分析法、核磁共振 (NMR) 法、激光分光法, 对于微量物质的选择识别法和特殊试剂的研究;

(6) 中间领域的研究主要是沿着化学的主干线, 通过同化学有关的相邻领域开拓新方法, 来推进对于物质的结构、性质、反应和合成研究等。

在这些化学研究的基础上将更好地解决能量发生率的提高、能量转换、煤和石油的全面利用、煤的液化和气化、核燃料炉材料和核燃料处理等一系列化学工业问题, 以扭转日本化学工业的创造性技术开发水平低于欧美的落后局面。

二、未来动向

关于日本化学化工未来一段时期的研究动向, 可以由设在筑波城的国立化学技术研究所大体上体现出来。

日本化学技术研究所的前身是国立工业试验所 (1900 年), 后改为东京工业试验所 (1921 年), 1979 年移至筑波后改称为化学技术研究所, 其主要任务是进行作为产业基础的化学技术、资源与能量转换技术和化学安全技术等三个方面的研究, 设有 (1) 基础化学部、(2) 分析化学部、(3) 合成化学部、(4) 能量化学部、(5) 工业触媒部、(6) 天然有机化学部、(7) 工艺开发部、(8) 环境化学保护部等 8 个研究部, 来协力完成上列三大任务, 各部的研究动向如下 :

基础化学部——主要动向是研究 (1) 物质结构和状态性质的本质; (2) 激光诱导化学反应和电极反应的机理, (3) 尖端材料的性质与评价, (4) 物质性质信息的收集与处理技术, (5) 激光激发的游离基致光, (6) 激光的选择反应, (7) 引起肾炎物质的结构与性能, (8) 电极反应的选择性与表面状态, (9) 晶体络合物的导电性等。其中包括各种传感材料和类生物功能材料的开发技术, 在分子水平上认识最新化工过程中的物质结构和状态及其方法, 运用分光学的方法确定物质的低次和高次结构, 光、电、磁在化学反应中作用的机理, 放电分解或反应中间生成的不安定分子的结构探索, 功能性分子设计等。

分析化学部——主要动向是研究 (1) 微量分析技术, (2) 有机材料分析技术, (3) 气状物质分析技术, (4) 组成化学分析技术, (5) 磷分析用低温分子发光系统和分析化学方面的应用, (6) 大气压离子化质量分析仪, (7) 大规模分取高速液体的色谱分析等。其中包括无机物的微量分析, 有机物中微量无机物的分析, 高分子材料的高品质化和高性能化的有关分离及测试技术, 气状物质的精制法和纯度确定法, 复杂物质化学组成的确定技术和

井本稔:《日本の化学 100 年のめゆみ》, 日本东京化学同人社, 1978 年版, 第 184—186 页, 第 196—198 页。

日本通产省工业技术院:《化学技术研究所要览》, 1987 年版, 第 26—49 页。

重油及煤液化油复杂组成的分析技术等。

合成化学部——主要动向是研究(1)分子设计研究,(2)反应设计研究,(3)材料设计研究,(4)反应控制技术研究。其中包括研究微胶体反应性能,电子功能材料设计,超高压液相反应,分子结构与性质间联系的信息,指定界面性质的活性分子,具有特殊用途的杂环分子,高价值化合物合成,目的结构物的高效合成,控制单元反应的催化剂,以CO为主的基本和精细产品的合成,利用光和电及超高压条件的有机化学过程高效化,络合物催化剂,能够控制分子排列和结合态的多功能材料,高性能的分离膜,光电材料的合成等。

能量化学部——主要动向是研究(1)化学功能材料,(2)能量转换材料,(3)高温化学技术,(4)光能利用技术等,其中包括研究运用离子照射法或等离子体法或涂布法合成具有气体选择性透析的化学功能膜,用于电极材料上的金属氢化物的化学功能材料,以金属氢化物输送氢的技术,能够吸收氢的各种合金性能,用于输氢技术和蓄热技术的可能材料,新的高温化学炼铝法,新的热化学法制氢,新的食盐等无机盐分解法,高活性能分解水的半导体触媒和利用光触媒探索化学反应机理等。

工业触媒部——主要动向是研究(1)触媒材料工学,(2)触媒分析,(3)触媒应用,(4)分子触媒等。其中包括研究触媒的结构和功能与设计,固体触媒宏观结构设计,触媒调制,触媒物性与功能,触媒微观结构与功能,触媒微观结构设计,氧化氢化等单元反应触媒,络合物分子触媒的结构与功能,分子触媒设计,C₁原料的基本化学产品合成触媒,触媒功能的原子分子信息等,以解决日本所用的石油、煤炭和天然气等化学原料和能源间的相互转换以及原料资源多样化等重大课题。

天然有机化学部——主要动向是研究(1)天然物高度利用技术,(2)生物功能利用技术,(3)光反应利用技术,(4)生物模拟功能技术等,其中包括作为木材和油脂中心的生物量(biomass)的充分利用,从棕榈油浓缩维生素E并开发镁氧土系的吸附剂,利用生物体内物质的转换技术进行核酸的化学合成,运用核酸合成肽,利用酶的化学修饰功能或微生物开发油脂生产,利用光能开发物质生产技术,研制光触媒,开发光致性质变化的光功能材料,开发人工再现生物功能的新材料,研究生物膜高选择性的应用,研究氨基酸光学异物体分离膜以及人工酶等。

工艺开发部——主要动向是研究(1)超临界流体的分离,(2)透析膜和微生物构成的活性复合反应器,(3)粉末过程工学,(4)功能性新材料的开发等,其中包括超临界态流体在临界点附近溶解力的变化及其新分离方法的研究,生物反应器和膜分离技术的结合及新复合反应器的开发,具有耐微生物和杂质污染性能的透析膜的选定,高压下粉粒物性的阐明,耐热耐蚀性高级装饰材料的开发等。

环境化学保护部——主要动向是研究(1)火药类和爆炸性危险物的评价技术,(2)火药类的高度利用技术,(3)高压气体防爆技术,(4)排水处理技术和环境计测等,其中包括钝感产业用炸药,确立易爆安全性评价的试验法,超磁场爆炸能及大脉冲电力变换技术,气体反应体系爆炸危险性及防爆技术的开发,气泡浮上法排油净水,大气中污染成分高精度计测仪的研制,水中有机卤化物生成机制阐明和产业废物的处理和有效利用等。

在筑波科学城,除化学技术研究所外,同化学技术有关的还有纤维高分

子研究所和公害资源研究所。纤维高分子研究所是日本唯一以纤维高分子为对象的国立研究所，主要动向是研究高感性感光高分子，药理作用高分子材料，吸着型人工肾用材料，高分子材料高压成型技术，选择分离用高分子材料，具有高选择性能的触媒高分子，高效合成纤维工艺，分子电子学，DNA的化学合成应用，人工鳃的研制，功能高分子材料与排水设备的高效化，生物体系太阳能变换机能的开发，高效率高分子分离膜材料，导电性高分子材料开发，高晶型高分子和复合材料的开发和 DAN 重组技术的应用等。

公害资源研究所主要是研究资源和能源的开发和有效利用、产业安全及产业公害防止等，其中包括煤的液化与气化，地热能的利用，锰团矿的开采，未利用物的处理，工业废物和城市垃圾的资源化技术，可燃气体和高压气体的安全技术，污染机理的探明及对环境影响的评价，环境检测技术，地热井掘削和高温岩体破碎、热抽取技术，燃烧技术高效化，低品位矿处理利用技术，高分散触媒的重油轻化技术，地下水污染预测，矿山保安高压气体防护设备和煤矿中煤尘防爆技术等。

第二十二章 中国化学发展论

中国化学具有悠久的历史，是世界化学的一个发源地，对于化学的产生、形成和发展做出了卓越的贡献。中国化学大体经历了三个发展阶段，即从上古时期到鸦片战争以前的古代阶段，从鸦片战争以后到中华人民共和国建立以前的近代阶段，以及从中华人民共和国建立以后到现在的现代阶段。这里拟以此三个阶段为线索对中国化学发展的历程、成就和问题做一论述。

第一节 领先于世界的中国古代化学

中国是世界最早的文明发达国家之一。中国古代化学也取得了相当辉煌的成就，其发展的水平远远超过了当时世界其它地区和国家。

一、主要的化学成就

中国古代化学的主要成就表现在以下几个方面：

1. 发明了精美的陶瓷技术

中国早在约一万年前的新石器时代就已经发明了原始的制陶术，成为世界上最早能够制陶的国家之一。在距今约四、五千年以前，在今河南地区就出现了具有红、黑图饰的“彩陶”制品，反映了当时已经具有了相当高的制陶技术和社会文化水平，形成了著名的“彩陶文化”。

在约三千年前的商代，中国在不断改进制陶技术的基础上，开始用较纯净和精细的瓷土取代粗糙的陶土为原料，制胎和挂釉，并以较高温度进行煅烧制出了世界最早的原始瓷器。到了汉代，由于烧瓷技术不断改进，中国已能造出精细的青瓷。以后，再经晋、唐、两宋到明清，历代名窑已能制出极其精美的瓷器，并远销国外，受到各国人民的盛赞，对世界文化的发展做出了重大贡献。“瓷”几乎已经成了“中国”的代名词。瓷器的发明是中国古代化学取得的一项杰出成就。

2. 掌握了超群的冶金技术

(1) 青铜冶炼。中国开始冶炼青铜的时期虽然晚于西方约千余年，然而后来居上，冶炼水平很快超过了西方。例如早在公元前 14 世纪的商代，中国就掌握了高超的青铜冶炼技术，制出了造型复杂、精巧、庄重、雄伟的青铜器，为世界其它地区所不及。特别是在战国至汉代成书的《考工记》中，还提出了以六种不同的铜锡配比冶炼不同性能的青铜的“六齐”规则，成为世界上最早总结青铜冶炼规律的国家，反映了当时超群的冶炼水平。

(2) 铸铁冶炼。中国冶炼块铁的起始年代虽然迟至公元前 6 世纪，约比西方晚 900 年，然而冶炼铸铁的技术却比欧洲早 2000 年。中国铸铁的发明出现在公元前 5 世纪，而欧洲则迟至公元后的 15 世纪。由于铸铁的性能远高于块铁，所以真正的铁器时代是从铸铁诞生后开始的。社会发展的历史表明，铸铁的出现是社会生产力提高和社会进步的主要标志。中国从块铁到铸铁发明的过渡只用了约一个世纪的时间，而西方则花费了近三千年的漫长路程。中国古代炼铁技术发展得如此迅速是世界上绝无仅有的。英国著名科学史家贝尔纳说，这是世界炼铁史上的一个唯一的例外。

(3) 球墨铸铁冶炼。过去，以铸铁柔化制造球墨铸铁的技术，国际学术界一直以为是在 1947 年由英国人发明的，但是，在 1981 年经中国学者关洪野等人对 513 件出土的汉魏时期铁器研究后表明，中国早在两千多年前的汉代就已经发明了球墨铸铁，远远早于发达的欧洲国家。目前，中国学者所做的结论已经得到了国际学术界的承认。

3. 首创了造纸术

中国是世界上最早发明造纸的国家。早在公元前 2 世纪的西汉时代就已

李知宴：“关于原始青瓷的初步探索”，《文物》，1972 年，第 2 期。

中国冶金史编写组：“研究金属文物，继承冶金技术遗产”，《文物》，1978 年，第 1 期，第 80 页。

贝尔纳：《历史上的科学》，科学出版社，1981 年版，第 82 页。

经出现了原始造纸术，主要是用化学和机械方法处理麻类植物纤维，使之分散成浆，进而抄制成纸。公元 105 年，东汉的蔡伦认识到了这种供书写用的廉价材料对社会文化发展的重大意义，为此他周游各地，广泛收集造纸经验，并加以综合、改进和提高，发明了一套完整的造纸方法，使造纸术得以广为应用。公元 751 年，中国造纸术传到中亚，10 世纪传到非洲，11 世纪再传到欧洲，17 世纪又传到美洲，在全世界得以推广，对人类文明的建设和发展产生了难以估量的巨大作用。

4. 提出了深邃的物质理论

中国古代很早就提出了一系列深邃的物质理论，以解释万物的组成、结构和变化。

(1) 阴阳说。大约出现于公元前 12 世纪的周朝之际，首先见之于《易经》。作者从复杂的自然现象中抽象出了阴和阳两个范畴，认为阴、阳两种势力的相互作用是万物产生的根源。

(2) 五行说。大约同阴阳说同时出现，认为万物是由金、木、水、火、土五种基本物质所构成，较阴阳说更为具体。公元前 5 世纪的春秋末期，五行说已见诸于文字记载。在鲁国太史左丘明所著《国语·郑语》中已经提到，“夫和生实物，同则不继，尽乃弃矣，故先王以土与金、木、水、火杂，以成万物”。

中国五行说对于物质构成的解释不仅早于西方约 500 年，而且就其内容的广度和深度上来说亦为西方所不及。例如无论是古希腊的水、火、气、土“四元说”，还是古印度的地、水、火、风“四元说”，都没有提到中国五行说中的“金”和“木”两种更具有代表性的“元素”。但是中国思想家却提出来了。这反映了中国古代所具有的较为先进的冶金业、手工业和农业的水平，以及古代思想家的高超概括能力。

(3) 阴阳五行说。到了战国时代，阴阳说和五行说开始融合为一，形成阴阳五行说，以此进一步解释各种自然现象。它认为阴静而阳动；阴初入静时生“金”，再入静时则生“水”；阳始动时生“木”，再动时则生“火”；金、木、水、火以不同比例相聚则凝结为“土”，进而构成万物。可以看出，阴阳五行说较阴阳说或五行说更进一步地体现了关于物质组成和变化的朴素唯物辩证思想，对后来中国化学的发展产生了巨大影响。

(4) 端说。公元前 5 世纪的中国哲学家墨子（前 468—前 376）也提供了类似于原子论的思想。他在《墨子》中指出，“非半不 则不动，说在端”，意思是说物质到了没有一半的时候，就不能再分了，此时的物质可谓“端”。他又指出，“端，是无间也”，即“端”是无法间断的。可以看出，墨子的“端”说实际上是原子说的雏形。这说明中国古代学者同古希腊哲学家一样，也早就具有了原始的物质小单位的概念。虽然提出的时间稍晚，但在内容上也可同古希腊原子论相媲美。

(5) 物质守恒的思想。公元 1 世纪东汉时期的唯物主义哲学家王充（27—约 97）在《论衡》中指出，“天地不生，故不死；阴阳不生，故不死”，“夫有始者必有终，有终者必有死，唯无始终者乃长生不死”。可见，这里已经是相当深刻地阐发了物质不灭思想。而在成书至少不晚于公元 3 世纪西晋的《列子》中则有更深刻和精彩的论述。它指出“物损于彼者，盈于此；

成于此者，亏于彼”，“往来相接，间不可省（减少）”。这段明确的物质守恒思想已同 18 世纪俄国化学家罗蒙诺索夫的有关论述十分接近，然而在时间上却要早一千多年。

5. 产生了世界最早的炼金术

中国是世界上最早从事炼金或炼丹活动的国家，据《史记》说早在公元前 4 世纪的战国时期就已经出现了炼金术，到公元前 2 世纪的西汉时代已经相当盛行。西汉武帝刘彻（前 156—前 87）曾召“天下怀协道艺之士”从事炼金活动。而西方直到公元后一世纪才在埃及出现，约比中国晚 500 多年。此外，中国也可能是最早撰写炼金著作的国家。公元 2 世纪东汉炼丹家魏伯阳所著《周易参同契》，是现今世界上存在的最古老的炼丹著作。到了唐代初期，炼金术发展达到了一个高峰，影响到许多文人墨士也参与了活动。诗人李白在《寄王屋山人孟大融》中就有“所期就金液，飞步登云车”的句子；杜甫在《先寄严郑公五首》中则提到：“衰颜欲付紫金丹”；而白居易则曾钻研学习过魏伯阳的炼丹理论，说“授我参同契，其辞妙且微”，并曾亲自炼丹。他在《炼药不成命酒独醉》中说，“丹砂见火空，不能留姹女，争免作衰翁”。当时炼金术盛行的情况，可见一斑。

炼金术虽然是古人企图“点石成金”或炼制“长生不老”药物的方术，然而都也是以古代物质理论和古代化学工艺知识相结合而形成的“类化学实验”活动，从而也积累了相当丰富的化学知识，并成为近代科学化学产生的前驱或基础，例如，现代的“化学”（Chemistry）一词就是由“炼金术”（alchemy）一词演化而来。化学科学的产生也是如此。

公元 7 世纪，中国炼丹术西传至阿拉伯，8 世纪开始传入欧洲，并同西方炼金术结合在一起逐步发展成为近代化学，直至现代化学科学。因此可以说，中国不仅是炼金术的发源地，而且也是整个化学的发源地。著名科学史家李约瑟说，中国是“整个化学最重要的根源之一”，“化学是地地道道从中国传出去的”。

6. 发明了火药——人类首次实现的人工化学爆炸

中国炼丹家至迟在公元 8 世纪的唐代就在世界上最早发明了火药，首次实现了人工化学爆炸。在 8 或 9 世纪成书的《真元妙道要略》中已经明确提到，“有以硫黄、雄黄合硝石并密烧之，焰起，烧手面及烬屋舍者”。这可能是人类关于火药的最早记载。中国能够最早发明火药的原因在于中国炼丹家经常用硝石（ KNO_3 ）、硫黄和木炭等物质，为火药的发明创造了前提条件。其中强氧化剂硝石的引用是发明的关键。

中国不仅首先发明了火药，而且也首先把火药用于军事，制造火器。公元 970 年北宋兵部令史冯继升把火药用于弓箭，制出“弓火箭”，成为早期的火器。公元 11 世纪，在曾公亮（998—1078）编的《武经总要》中已经记载了毒药烟球、蒺藜火球及火炮等三种火器所用火药的配方。这是世界上现存最早的军用火药配方，至少要比欧洲早 100 多年。因为欧洲第一次提到火药的时间是 1285 年以后的事。

中国火药和火器在 13 世纪时传入阿拉伯，后又传入欧洲，成为欧洲新兴资产阶级向封建势力进行斗争的有力武器，依此打破了封建社会的森严壁垒

申漳：《简明科学技术史话》，中国青年出版社，1989 年版，第 61 页。

李约瑟：《中国科学技术史》，第一卷，第一分册，科学出版社，1975 年版，第 546—549 页。

垒。所以马克思把火药、指南针和印刷术等三大发明称为：“资产阶级发展的必要的先决条件”，对欧洲近代社会的发展起了重大推动作用。正如哲学家弗·培根（1560—1626）所说，“这三种发明已经改变了全世界的面貌和一切事物的状态”，“历史上任何帝国、宗教或显赫人物都不及这些发明对人类有那样大的影响”。

7. 最早发现和开采了石油

世界上最早发现的石油是在中国现今陕西省延安地区的延河流域。据东汉（公元32—92）著名历史学家班固所著《汉书·地理志》记载“上郡高奴县（指延安一带），有洧水，肥可燃”。据考证，这是目前对石油最早的记载。

世界上第一个为石油命名的人，是我国北宋大科学家沈括，他在1080年到延河流域考察后所著《梦溪笔谈》中记载，“石油至多，生于地中无穷，此物后必大行于世。”第一次综合了“可燃水”、“肥”、“石漆”、“石蜡水”等名称，提出了“石油”这个科学的命名。

我国又是开采石油最早的国家，1303年前，延长县就有石油井的存在。据1303年成书的《大元一统志》记载，“在延长县南迎河，有凿开石油一井，其油可燃，兼治六畜疥癣”，又“延川县西北八十里，永坪村有一井……”。1907年，我国大陆第一口油井在延长县七里村打成。原国务院副总理康世恩在1985年曾为现存延长县西桥小学校园内的这口油井题了“中国陆上第一口油井”的字。

二、大一统封建制提供的环境

中国古代化学能够取得如此杰出成就的原因是多方面的、复杂的。然而从根本上来说，不能不认为是大一统的封建社会所提供的有利条件造成的。

中国是世界上最早进入封建社会的国家。早在公元前5世纪就领先于世界各国跨进了封建社会，为中国古代科学技术的发展创造了得天独厚的条件。当时中国逐步建立起来的中央集权制适应了封建社会前期阶级斗争和生产斗争的需要，保证了国内的政治稳定和经济繁荣，以至科学技术的发展。例加造纸术的改进是在宫廷官员的领导下实现的，并经过皇帝下令推广。火药的发明虽然来自道家的炼丹术，然而如果没有统治者的支持和军事上的应用，也就难以取得成功或推广。

中国大一统的封建制所提供的有利条件，使中国从公元前5世纪到公元后14世纪期间的科学技术获得了迅速发展，并在汉代和宋代形成了两个高峰。根据对古代20项重要科学技术成果的统计，中国的发现和发明时间平均比西方要早1000年左右。中国的科学技术在长达1600多年的时间里，一直居于世界领先地位”。相反，在公元前5世纪以前曾经领先于中国科学技术发展的埃及、巴比伦和希腊等国家，由于国内外的阶级动乱，或使国家长期处于四分五裂状态，或为落后的异族所征服，以致科技发展受阻，从而逐渐被统一稳定的封建中国所超过，反居于落后状态。至于西欧，由于长期没有从野蛮的日耳曼民族入侵造成的毁灭性灾难中恢复过来，也就很难谈到发展科学和超过先进的中国科学技术。

马克思：“1863年1月28日致恩格斯的信”，《马克思恩格斯通信集》，第3卷，第114页。

培根：《新工具》，上海商务印书馆，1935年版，第114页。

李祖刚：“试论中国古代科学技术腾飞的历史经验”，《宁夏社会科学》，1989年第4期，第86页。

另外,大一统的封建社会也提供了较优越的交通条件。中国自公元前 221 年秦统一全国后,历代统治者都很重视修道路、开运河、设驿站,使全国交通四通八达,从而加强了科学技术的交流和传播,促进了发展。

大一统的封建统治者为了实现其有效统治,也很注意招徕知识分子。西汉武帝采取举孝廉、办太学等措施,发现了不少贤士,包括从事炼丹的早期化学家以及天文学家,进一步为中国科学技术的发展创造了有利条件。与此同时也为知识分子提供了较西方为宽松的学习环境。自战国时期以来兴起的互相辩论、百家争鸣的学术风气,曾长期得以沿袭、盛行。其间虽有汉武帝等人的“罢黜百家”和“独尊儒术”,然而实际上学术上争鸣的风气并未中断,更不似中世纪欧洲的宗教势力视科学思想为洪水猛兽、异端学说而加以严厉制裁,或监禁或处死。相对说,中国的学术环境还是较为宽松和活跃的,从而有利地促进了科学技术的发展。

当然,大一统的封建社会也给中国科学技术的发展带来了消极影响。它使中国科学技术始终被束缚在限定的框架里,存在着缺乏系统性、理论性和定量研究等弱点。这种缺陷在以搜集材料为主的早期科学发展阶段中还是潜伏着的,不会产生重大影响,然而在以整理材料为主的近代科学发展阶段就显得不适应了,以致延缓和阻碍了科学技术的进步。这也就是近代科学未能在中国形成和产生的一个重要原因。

总之,中国古代化学和化工技术主要是在一个自身封闭的系统内存在和发展的,在很大程度上取决于封建帝王政权统治的需要。这是中国古代化学以至整个科学发展的一个特征。

第二节 发展迟缓的中国近代化学

中国近代化学科学由于受到中国封建社会的特殊制约而未能在中国自身中产生。它是在引进和传播西方近代化学科学的基础上逐渐形成的。其发展速度也较为缓慢，远落后于大约同时起步的日本。主要的发展历程和问题如下：

一、实用化学的输入

这是从 17 世纪初到 19 世纪 40 年代的一段时期，当时由于欧洲资本主义的发展已经打开了通往东方的航路，受到宗教改革运动冲击的欧洲天主教势力也随之向东方扩展，并带来了西方的科学文明，其中也包括了化学知识。

从目前查到的文献来看，西方化学传入中国可能是从 1612 年意大利传教士熊三拔（1575—1620 年）和中国学者徐光启（1562—1633 年）合译的《泰西水法》一书的出版开始的，书中除叙述了水利和医学知识外，也介绍了西方的元素说。

这一阶段传入的西方化学知识，从理论上讲主要是古希腊的四元素说和阿拉伯的汞硫二元理论等学说。四元素说除在《泰西水法》中做过介绍外，还在 1633 年由意大利传教士高一志（1566—1642）撰写的《空际格致》中有过比较系统的叙述，并还以其批判了中国的五行说；汞硫理论在《徐光启手迹》中做过叙述，但是，这些理论知识都已陈旧，并未在中国产生实际影响。

从实用知识上看，传入的主要是冶金、火药、酸类和有机药物等内容。最早传入的冶金知识是 1643 年由德国传教士汤若望（1591—1666）和中国学者杨文华等合译出版的《坤輿格致》一书。原书为德国著名冶金学家阿格里柯拉（1495—1555）的名著《论金属》，可惜中译本在出版后的四个月由于明朝灭亡的战火而散失，最早传入的西方火药配方知识见于 1643 年汤若望等翻译出版的《火功挈要》一书；输入的西方的硝酸制法见于《徐光启手迹》，并在其中第一次把硝酸称为“强水”；最早传入的西药之一是：金鸡纳（Cinchona bark），是在 1693 年康熙帝患疟疾时由法国传教士洪若翰进献的，由于收到奇效而在中国广为流传。此外，西方的氨水（鼻冲水）也很早就传到了中国，等等。这些传入的实用知识在生产、军事和医药等方面都已不同程度地发挥了一些实际作用，是这一阶段输入西方化学的主体。

这一阶段，主要是通过传教士传入了一些西方的陈旧理论和零散的实用知识，还不是近代的化学科学内容，只是为近代化学的传入提供了一定的准备。

二、理论知识的引进

这是从 19 世纪 40 年代到 90 年代的一段时期。当时鸦片战争的失败已使清朝上层一些人士认识到西学乃一“图强御侮”之道，而且强调不仅要学其“船坚炮利”的技术，还要学其声、光、电、化的“格致之学”，以期能“探索科学根底”，而“不满足于一知半解的皮毛知识”，由此开始大量翻译西方近代化学书籍，并使西方化学在中国的传播进入到理论知识引进阶段。其主要表现是，出现了我国第一部介绍西方近代化学知识的书籍《博物新编》（1855 年），成为中国传播近代化学理论知识的开端；第一次在《格物探原》

来新夏：“徐寿生年及其成就”，杨根编《徐寿和中国近代化学史》，科学技术文献出版社，1986 年，第 36 页。

(1856年)中把西方的 Chemistry 译为“化学”一词,为化学提供了一个理想的译名,并沿用至今;创办了从事翻译工作的“京师同文馆”(1862年)和上海江南制造局附设的翻译馆(1867年);出版了中国第一部化学专业译著《化学入门》(1868年),特别是由英人傅兰雅(John Fryer, 1839—1928)和中国学者徐寿(1818—1884)等人合译出版了一整套化学专业系列著作,其中包括相当于普通化学的《化学鉴原》(1871年),相当于分析化学的《化学分原》(1872年),讲述有机化学的《化学鉴原续编》(1874年)和无机化学的《化学鉴原补编》(1879年),还有相当于定性分析化学的《化学考质》(1883年)和定量分析化学的《化学求数》(1883年),以及《化学材料中西名目表》(1885年)和《西药大成中国名目表》(1887年)等,已经开始比较全面、系统地引进了当时西方比较优秀的化学著作。

此外,还有其它出版社出版的《化学须知》(1879年)、《化学源流》(1879年)和《化学新编》(1896年)等理论知识书籍,以及《制火药法》(1871年)、《西药大成》(1879年)、《冶金录》(1873年)、《回热炉法》(1877年)、《硫强水法》(1877年)、《造铁全法》(1877年)等化学工艺著作。

这一阶段的特点,主要是通过清廷设立的翻译机构系统地翻译、出版了大量西方近代化学和化工书籍,比较主动地引进了较多的化学理论知识,为近代以至现代中国化学的发展奠定了基础。

三、化学教育的传播

这一时期大体上是在19世纪90年代到20世纪初期。在此以前化学教育已经开始萌芽。当时的京师同文馆(1862年)、上海广东方言馆(1863年)和广东方言馆(1864)等,除讲授西语外也陆续添设了科学课程包括化学课程,如京师同文馆在1867年增设算学馆,教授数学和化学等课。这可能是中国最早开设的化学课程。特别是在1874年,徐寿等人在上海创办了“格致书院”,专门从事科学教育,主要是化学教育,讲授《化学鉴原》一书,并辅以若干实验,成为中国最早一所传播化学知识的学校。但是,这类学校开办不多,学员甚少,又有学会团体的性质,还够不上是正规的化学教育,只是化学教育萌芽的表现。

到了19世纪90年代,由于甲午之战(1894年)的失败,中国的一些有识之士康有为、梁启超等逐渐掀起了变法革新运动,主张“废科举,兴学堂”,施行新式教育。1896年,清廷下令自京师以至各省州县皆设学校,开始在中国施行西方教育体制,也推动西方的化学的引进跨入到化学教育传播阶段。其主要标志是在1903年清廷颁布的“学堂章程”中确定了化学在新教育体制中的地位,决定把化学作为初等小学堂、高等小学堂和中学堂的必修课程,以使“知物质自然之形象”及“变化之法则”,“以备他日讲求农工商实业及理财之用”。高等学堂(大学预科)也把化学列为报考理工农医大学的必修课,开设化学总论、无机化学和有机化学,并辅以实验。大学堂(大学)的理科设化学门(系),讲授无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、应用化学等课程;工科设应用学门(系),开设无机化学、有机化学、制造化学、冶金学、电气化学、工业分析和化学史等课程;其它专业则相应设有制药化学、检验化学、卫生化学、生理化学、农艺化学、发酵化学和森林化

学等课程。开设课程种类之多，已不亚于中国 50 年代大学。此外，则是学校和学生数量的迅速增加。在 1895 年以前，全国学校只有 23 所，学生仅数十人。但到清末的 1911 年时，学校已增至 5 万多所，其中大学 3 所，高等师范 9 所，大中专科 38 所，中学 438 所，学生人数已达到 160 余万名。1872 年首派赴美留学生为 120 名，到 1909 年时仅赴日留学生即已达近万人，其中有不少专攻化学者。

这阶段的特点是，在进一步翻译西方近代化学书籍同时，又通过正规的化学教育的途径进行较为广泛的传播，为从普及化学过渡到研究的学术活动阶段创造了条件。

四、学术组织的推动

这是从 20 世纪初到 30 年代的一段时期。近代化学的传播已经从过去的启蒙和普及阶段进入到学术活动阶段。主要标志如下：

第一，已经形成了一批具有较高学术水平的化学人才。当时派赴出国的留学生已经学成，并陆续回国从事化学研究工作。例如 1911 年归国的留日生范旭东（1883—1945）创办了我国第一家盐业公司（1914 年）和第一家索尔维制碱厂（1920 年），成为我国近代化学工业的奠基人；1921 年归国的留美生侯德榜（1890—1974），成为世界闻名的制碱专家，在理论化学、有机化学、化学工程和化学教育领域均有较深造诣，已经能够组织和带领一批化学工作者从事学术研究，形成了中国第一批化学家队伍。

第二，已经诞生了化学学术团体，推进了化学研究的体制化。从 20 世纪初期开始，随着中国化学队伍的逐渐形成，首先是留欧美学生在巴黎成立了“中国化学会欧洲支会”（1907 年），留美学生在美国成立了“中华化学会”（1923 年），留日学生在日本成立了“中国化学研究会”等团体组织。这些组织虽然活动范围有限，存在时间不长，然而却为建立全国性的统一学会团体积极提供了思想准备和组织准备，并终于导致在 1932 年于南京诞生了中国的永久性组织“中国化学会”，直至今日。其宗旨是“联络国内外化学专家共图化学在中国之发达”，从而有力地促进了中国化学学术研究活动的开展。

第三，发行了化学学术刊物。当然，早在 19 世纪 70 年代以后中国就已经创办了自然科学学术刊物《格致汇编》（1876 年）和《亚泉杂志》（1900 年），且都刊载过一定数量的化学文章，但还不是化学专业刊物，所载文章也多属普及性的，还未能深入到学术研究领域进行探讨。真正具有学术研究性质的刊物还是在 1932 年中国化学会成立后创办的《中国化学会会志》，专载中国化学学术研究的论文（以西文发表），随后又在 1933 年创办了《化学》专业刊物，其宗旨是“传播化学知识，推广化学应用，提高化学研究”，后来改为《化学通报》，并一直延续至今，现已有 50 余年的历史。它有力地促进了中国化学学术研究与交流活动。

西方化学自 17 世纪初期传入中国以后到 20 世纪 50 年代的 300 年中，经过了四个阶段的传播与发展，完成了中国近代化学发展的过程，开始步入到

《奏定学堂章程》，成都官商局，1903 年印。

吴根梁：“论中国近代留学生的历史作用”，《文汇报》，1985 年 3 月 25 日。

《中国化学会简章》，1932 年 8 月制订。

《化学通报》编辑部：“《化学通报》五十年”，《化学通报》，1984 年，第 4 期，第 4 页。

现代化学发展的新时代。

五、多种因素的阻滞

中国在引进、传播和形成自身的近代化学科学方面，虽然取得了相当的进展，然而同起步相近的日本相比，却表现出明显的缓慢性。例如从化学发展的水平看，从 19 世纪末期中国和日本相比已经具有了明显差距。中国化学仍处于启蒙普及时期，“专精研究者曾无一人”，全国还几乎没有一位化学科学家，自然也就不会有任何研究成果问世。这种情况，正如著名化学家曾昭抡所说，自 19 世纪中叶引进西方化学以后，“最初五十余年，我（国）在化学方面几乎毫无进步”。或如著名化学家戴安邦所说，是“并未见任何成效”，“惟在翻译西文化学书籍方面，稍留陈迹而已”。日本的情况则有不同。过去处于落后状态的日本化学当时已经超过了中国，并取得了一批相当于西方水平的研究成果，诸如 1885 年长井长义发现的麻黄素，1903 年池田菊苗提出的“物理化学和生产化学关系”的论文，1908 年池田菊苗发现的以谷氨酰胺为主要成分的“味素”，1910 年高峰让吉发现的肾上腺素和铃木梅太郎发现的维生素 B₁ 等，在天然物化学等领域已有了相当可观的成就。这样，200 年来西方化学在中国播下的种子，并不是首先在中国而是在日本开花结果了。

中国近代化学发展缓慢的原因是多方面的，需要比较全面的研究方可获得一个较为深入的认识。这里只能做一初步讨论。

1. 传播过程的自发性

中国近代传播西方化学的过程带有着很大的自发性。尽管在封建统治阶级的上层甚至有的帝王本人也支持西学，乐于引进西方科学技术，然而却始终未能构成一种国策，形成为整个社会的意识和自觉的行动，带有着很大的局限性。以较为开明的康熙帝而论，虽然他很重视西学，请西人进宫讲授科学知识，甚至还“在宫中设置了研究化学和药学的实验室”，组织中西合作编著《数理精蕴》与《历象考成》等科学书籍，以及颁行《康熙永年历》等，对我国科学事业的发展做出了一定贡献。然而总体说来这还只是康熙帝或其他少数上层人士的个人爱好与行动，还未能形成一种国策，只能产生极其有限的成果。例如康熙帝还是依旧沿用八股文取士制度和残暴的文字狱作法，而不顾及是否影响西方科学技术的传播和发展。特别是当开放引进危及他的统治时则主张“海禁”，宣布汉人出洋是“自弃王化”而“一律杀头”。这种情况持续了相当长的时间，严重影响了中国同西方科学文化的交流，阻碍了科学事业的发展。与此相反，日本在明治维新以后则把开放作为一种立国之策，强调要“求知识于世界”，并以“誓文诏书”的形式肯定下来，成为臣民上下整个社会的意识，从而能够比较彻底和自觉地执行开放政策，取得有效结果。

传播过程自发性带来的另一个后果是传播的曲折性。从封建统治阶级上层说来，由于主张引进西学的还只限于少数个人行动，而整个统治阶层还仍

曾昭抡：“西方化学之传入中国”，杨根编《徐寿和中国近代化学史》，科学技术文献出版社，1986 年版，第 251 页。

戴安邦：“近代中国化学教育之进展”，杨根编《徐寿和中国近代化学史》，科学技术文献出版社，1986 年版，第 237 页。

杜石然等：《中国科学技术史稿》（下册），科学出版社，1982 年版，第 207 页。

然为那种“宁肯使中夏无好历法（包括科学），不可使中夏有西洋人”的保守思想所笼罩，一旦时机成熟，保守派就会发起攻击而使引进西方科学之策受挫。例如当清朝顺治帝去世后不久，保守势力就对传播西方科技知识有功而受到重用的西人汤若望发起攻击而使他险些丧命。又如清光绪帝虽然接受了维新派的主张，效法日本，变法图强，而整个统治阶层的主导意识仍是具有浓厚的保守性，从而能够较易为慈禧太后所推翻，结果是光绪帝被擒，维新派亡命。相反，日本明治维新后已把开放引进西方科学技术列为“富国强兵”和“殖产兴业”的国策，从而能够比较容易地击退保守势力的攻击，减少引进的反复性、曲折性，取得有效结果。

自发性带来的另一个后果是引进的消极性。引进西方科学技术，如果缺乏自觉的组织和领导，而仅仅依靠自发活动是难以迅速发展的。特别是对于已经具有几千年高度发展的封建文明的中国社会来说更是如此。长期以来中国封建社会已经形成一种盲目的优越感，以为只有中国的文明才是真正的文明，而视科学技术为“奇技淫巧”，强调“立国之道尚礼义不尚权谋。根本之图在人心，不在技艺”，对于引进西方科学技术具有着抵制、排斥的消极态度。显然，这种思想如不能有效地加以扭转，仅仅依靠自发引进的科技“种子”也就难以更快开花结果。与此相反，日本在这方面的阻力就小，不仅是由于已把“开放”立为国策，而且也由于当时日本还没有形成高于其他民族的优秀文化，长期以来都在积极吸收中国文化为己用，对外来文化无异端感、抵触感和消极感，并能与本国实际加以融合与创造，从而能有效发展本国的科学文化事业。

2. 理论和实际的脱节性

这是中国近代引进西方科学技术过程的又一个问题。早期的引进多属实用化学知识，而缺乏理论；中后期的引进又多属理论书本知识，而缺乏实验技术；更未能有效地同生产需要相结合，缺乏感性的认识基础和推动化学发展的动力，影响了化学的传播和发展。

从化学教育的传播来说，由于缺乏实验的辅助而事倍功半。当时，我国第一所进行化学教育的“格致书院”，其条件已属上乘，然讲授之法亦多与教授四书五经之法相同，难以进行实验“躬躬尝试”，以致“味同嚼蜡”而“终成隔膜”。有的教师虽拟改善这种情况想尽可能地做些实验，然“书院所用器料，残缺不全，一切未能应手”，从而收效甚微。即使到了19世纪末和20世纪初，虽然按照规定“中学堂以上的学校应有化学教室及实验仪器与药品的设备”，然而“实际情形是化学教室与一般教室并无二致”，且“多不遵照规定开设化学课程”。即使有些器材，“亦多系供教员示教实验之用”，学生并无机会参加，因此“化学教学虽有形式而实际空虚”。至于在化学实验基础上开展化学研究，则就更难以实现。这样，对于以实验科学为特征的化学传播来说，也就自然难以取得迅速进展。相反，日本却有不同。他们在西方化学传入后不久，于1862年就在东京西洋医学所附设了“舍密局”（化

清朝大学士倭仁语。见杨根编《徐寿和中国近代化学史》，科学技术文献出版社，1986年版，第279—282页。

袁翰青：《中国化学史论文集》，三联出版社，1982年版，第292—293页。

戴安邦：“近代中国教育之进展”，杨根编《徐寿和中国近代化学史》，科学技术文献出版社，1986年版，第246—247页。

学馆)，成为“日本学校设化学实验室之始”。这就引导日本在引进西方化学的早期就能够理论与实验结合地传播，培养注意实验研究的风气，并一直保持至今，甚至强调“不配有实验的单纯化学理论研究，不能通过博士论文”。这是使得日本化学家在 20 世纪初期能够取得天然物研究一系列成果的原因之一。

从化学理论与生产的关系上看，近代中国引进的化学知识多停留在书本上，未能及时在生产中找到“用武之地”，而实际生产却又缺乏化学理论的指导。以 1893 年张之洞创办的汉阳铁厂为例，在创办以前并未运用化学理论和技术知识对铁矿石和煤炭进行必要的分析化验，以致在高炉即将开炉之前仍找不到合适的煤炭，而不得不到德国去购入数千吨。在筹办炼钢厂时，也在没有对大冶矿石进行分析化验之前，就盲目地从英国引进了酸性转炉设备，以致在刚安装好后又不得不拆掉，改建为碱性转炉，劳民伤财，危害极大，既影响了生产，又难以依靠生产需要的推动促进化学的传播和发展。当然，当时的化学知识也曾有限地应用在肥皂制造、造纸（1891 年）和火柴工业（1894 年）及化妆品等轻工业生产上，然而对于推动整个化学发展来说还是远为不足的。与此相反，日本早在明治维新以前的 1857 年就建立了煤干馏工业，广泛应用了西方化学知识。到 1903 年池田菊苗发明的“味素”以及随之投入的工业生产和“味化学派”的形成，则更促进理论探索、实验研究和工业生产三者的密切结合，等等，从而使日本很早就步入了化学发展的正常轨道。

从广大群众的直接需要或接受基础来看，对于当时中国处于关闭自守的小农经济为基础的封建社会来说，大多数民众还是文盲，除固守田园维持温饱外，对化学知识则一无所知，二无所求。除少数上层人物和知识分子还对化学感到好奇或初知其意外，广大群众以至知识界都还未深感化学之迫切需要。因此，尽管西方化学在中国传入很早，也很难在实际生活中发挥作用，获得迅速发展。

3. 对西人的依赖性

近代中国借助西人传播科技知识，无疑是必要的。但是，又不应完全依赖西人，而应及早培养本国人才并逐渐加以取代，否则就难以有效发展本国的科技事业。例如明末西方传教士传入中国的天文知识，是早已落后几十年的布拉赫·第谷（Brche Tycho）理论，而对于先进的哥白尼日心说虽已有著作流入中国，但由于宗教偏见，西方传教士并不予以传播，以致不能及时吸收到先进知识。这种过分依赖西人的情况在中国持续了很长一段时间。例如从明末的《泰西水法》，到清末的《博物新编》、《格物探原》和以《化学鉴原》为代表的一整套化学系列著作的问世，虽然表面上有徐光启、徐寿、徐建等中国学者参加合译，但实际上多是由通晓汉语的西人口授、中国学者笔录的。中国学者主要是做了中文的文字工作而不通晓西文。此外，像第一所科学书院（格致书院）、第一份科学刊物（格致汇编）和第一份报纸书刊（《东西洋每月统计传》）的创办，也都主要或完全依赖于西人之手。与此

赵匡华：《中国古代化学史研究》，北京大学出版社，1985 年版，第 660 页。

立花太郎：“化学家和物质”，日本《科学》，第 48 卷，第 6 期。

杜石然等：《中国科技史稿》（下册），科学出版社，1982 年版，第 282 页。

杜石然等：《中国科学技术史稿》（下册），科学出版社，1982 年，第 206 页。

相反，日本却注意依靠本国人才引进西方科学技术。例如日本译出的第一部西书《解体新书》（1774年），就是由自己培养出的松田玄向、中川淳庵和桂川甫周等三位日本学者自己译出的。日本的第一部化学译著《舍密开宗》（1837年）也是如此，也是由日本学者独立完成的。可见，日本在引进西方科学之始就已经打好了自力更生的基础，为后来的传播工作树立了楷模。当然，限于条件日本也不可能完全依靠本国力量去承担所有任务，也还需要直接借助于西人。但是日本只把它作为一种暂时的过渡，然后则尽快以本国人才取代。以当时引进西方科学技术的中心机构东京大学来说，在创办初期（1877年）所聘西人教师最多，但在10年后则迅速下降而为留学归来的日本学者所取代。例如在1878年时理学院的16位教授中西人为12位，日人仅4位；而在1887年的13位教授中西人仅剩2位，日本人则增至11位，前后的比例已经颠倒过来，反映了日本在借助西人和培养日人关系的处理上的合理性。正因为这样，就如日本科学史家汤浅光朝所说，日本的学术发展就很快“渡过了需要辅导的少年期。也恰是这个时期，开始渐渐出现了可以向国际学术界提出的成果”。但是，此时中国的化学却仍然停留在需要依赖西人辅导的“少年”启蒙期。

中日在处理借助西人与培养本国人才关系方面的差距，实际上反映了两国教育发展的差距。日本早在明治维新时期就制定了“教育立国”的国策，要使日本“邑无不学之户，家无不学之人”，至明治末期时八年义务教育的入学率已达到99%。相反，中国则长期忽视近代教育，特别是科学教育，发展速度总比日本要迟一大步。例如，日本创办翻译学校（九段坂下建洋学所）于1855年，而中国创建北京同文馆于1862年，比日本晚7年；日本创建综合性大学（东京大学）于1877年，而中国创建京师大学堂于1902年，比日本晚25年；日本首派赴西方留学生（内田正幸等15人赴荷兰）于1862年，而中国首派赴美留学生于1872年，比日本晚10年；日本公布新学制于1872年，而中国宣布废科举兴学堂于1905年，比日本晚33年，等等。这就使中日在培养西学人才上出现了很大差距。据1862年日本的“伏尔泰”福泽渝吉在伦敦同一位中国官员谈话时得知，当时中国可做翻译和教授西文者全国仅11人，而日本已达500余人，两国相差甚为悬殊。在此情况下中国之西学只好仰赖于西人，而日本之西学则可依赖于日人，两国传播西学、发展本国科技事业的速度与水平的差异，自是不言而喻了。

20世纪以后，中国新学制的建立促进了教育事业的发展。然而仍存在严重问题。据1921年美国教育家孟禄教授来华考察10省190余所大中小学教育后所提出的问题是：（1）教育经费不足；（2）教员薪水太低，常有照钟点计算者，故兼课教师甚多；（3）教师缺乏训练等。应当看到，这些问题

《解体新书》，原书为《解剖图谱》（Tabulae Anatomica）。

《舍密开宗》，全书21卷，原书是英国化学家亨利（William Henry，1794—1836）所著之《实验化学原理》（Elements of Experimental Chemistry），1776年出版，是经荷兰文译成的。详见三枝博音“《天工开物》在日本的传播及其影响”一文，《科学史译丛》，1980年，第1期，第11页。

汤浅光朝：《科学文化史年表》，科学普及出版社，1984年版，第196页。

魏常海：“从中国西学输入看文化问题”，《晋阳月刊》，1987年，第1期，第50页。

戴安邦：“近代中国化学教育之进展”，杨根编《徐寿和中国近代化学史》，科学技术文献出版社，1986年版，第248页。

有的是中国教育长期以来存在的致命弱点，如不彻底解决，中国就很难赶上和超过发达国家水平。愿我们能够“以史为镜”，不要再让落后的历史重演，积极推动中国现代的化学事业、科学事业和生产事业的腾飞！

第三节 蓬勃发展的中国现代化学

新中国诞生后，科学研究受到党和政府的重视，党明确提出了“理论联系实际”的科学发展方针，使我国化学研究工作得到迅速发展，改变了以往基础薄弱、水平落后的局面，逐步形成了适应我国社会主义建设发展的新体系，建立了一支具有相当水平的化学科研队伍，在一些领域逐步接近和进入世界先进水平。40年来，化学科研工作基础理论和应用技术方面硕果累累，为农业、轻工、食品、纺织、能源、材料、环保、医药等工业以及计算机、激光、空间、遗传工程等尖端技术的发展做出了重大贡献。

然而，40年来，我国化学发展的进程是曲折的。按其时间和社会发展状况来加以划分，主要历经三个时期，即中国化学迅速发展的15年（1949—1966）、中国化学动荡的10年（1966—1976）和中国化学复兴腾飞的15年（1976—1989）。

一、迅速发展的15年

新中国成立后，社会主义制度使化学工作者大展宏图，例如使在档案柜里沉睡6年多的“侯氏制碱法”发挥出巨大作用，产生了显著的经济效益。1949年中国科学院成立，成为全国科学事业的学术领导核心，从此中国化学迅速发展起来。1956年制定了《中国化学发展规划》（即12年规划），有利地促进了化学各门学科的研究和发展。无机化学、有机化学、物理化学、分析化学、高分子化学、放射化学和环境化学等都呈现出欣欣向荣的景象。

1. 无机化学的发展

无机化学是我国化学发展最早的分支学科之一，基础较好。50年代仅在无机合成、配位化学和稀有元素化学三个方面发表的研究论文即有340余篇，其中一些已经达到一般国际水平。在无机合成方面，60年代以前偏重于制备方法的研究，此后逐渐进入综合研究。这一时期以“联碱工艺”等七个化学生产基地的建成、氯化物的系统研究、合成金刚石等方面的发展为特色。稀土化学方面开始从无到有。同位素化学为我国60年代的原子弹及热核爆炸做出了重要贡献，居当时国际先进水平之列。在元素纯化、核燃料和反应堆材料的生产、石油化工以及电镀、印染和医药等方面，配位化学起到了重要作用。

2. 有机化学的发展

早期我国从事专门有机化学研究的科学家不过20余人，较为落后。而至60年代中期，天然有机化学、有机合成、元素有机化合物化学、有机化学分析等均已得到蓬勃发展。我国第一代有机化学家庄长恭、黄鸣龙、纪育沣、曾昭抡和杨石先等奠定了这一学科的基础，在生物碱、萜类和抗癌药物美登木，各种抗菌霉素的制备方面，特别是在1965年成功地合成出结晶蛋白质牛胰岛素，标志着我国有机化学的综合研究能力已进入世界先进水平。这一时期是我国有机元素微量分析（成分、结构分析）的创始阶段，红外光谱、核磁共振谱、同位素标记以及计算机技术等都开始发展。

3. 物理化学的发展

建国初期，国家极度重视发展和加强物理化学研究，先后成立了大连、兰州两个化学物理专业所及福建研究所，同时加强了北京大学、吉林大学和厦门大学等高校的物理化学研究中心的力量。在热力学数据测定、溶液理论、胶体和表面化学方面取得了较大成就。在量子化学方面，配位场理论和分子

轨道理论等都有很快的发展，1965 年唐敖庆领导的“物质结构学术讨论班”曾起到了极为重要的作用。

4. 分析化学的发展

50 年代以后，随着生产技术的发展，化学分析方法也进入了一个崭新的阶段。我国自行研制了分析仪器，发表了一系列科研成果，召开了一系列分析化学学术会议（1955 年、1958 年、1962 年、1963 年、1964 年和 1965 年等），学术成果总数居于其它学科之前列，并且填补了色谱分析、电化学分析、原子光谱分析等方面的空白。其中极谱分析的一些学术成果已达到或超过了当时国际先进水平，迄今已发表学术论著 1000 篇（部）以上，为当时的原子弹、晶体管技术以及胰岛素合成提供了重要的分析测试手段。

除上述学科外，我国在分子化学、环境化学、核化学等方面，也呈现了迅速发展的兴旺景象。

二、动荡不定的 10 年

“文化大革命”的 10 年，使中国化学研究受到了极为严重的摧残。许多化学研究机构遭到破坏，不少化学家遭到迫害，阻挠了化学的发展，使得整个化学研究处于瘫痪状态。

1966 年中期以后，我国化学研究机构除少数国家重点得以保留外，大部分都陷于瘫痪，一些老一辈化学家被斥为“反动学术权威”。国家出版部门出版的大、中学化学教材统统被废弃，化学教学质量大为降低。

在老一辈革命家周总理、聂荣臻元帅的保护和干预下，包括合成胰岛素的化学结构测定（1966 年）、氢弹中的化学研究项目（1972 年）和化学模拟生物固氮研究（1972 年）等项目在内的一些化学研究，只能维持在缓慢发展之中。

10 年动乱致使我国化学研究水平与国际的差距又拉大了许多年。同时化学工业技术严重落后，国民经济受到严重损害。10 年动乱给中国化学领域带来了沉重的灾难。中国化学发展几乎出现了 10 年的空白。

三、复兴腾飞的 15 年

1976 年，粉碎“四人帮”以后，科学的春天又回到祖国大地。这一期间，中国化学的发展具有如下几点。

首先，化学研究的突飞猛进发展步步瞄准世界先进水平，以推进化学发展迅速赶上和力争超过世界先进水平。仅无机化学方面，我国已经能对 50 多种元素的化合物进行不同规模的生产，品种达 800 余种，产品总量近 500 万吨，而且远销国外；我国生产的不少高纯或超高纯物质在质量上已经达到世界先进水平。当前我国在多种晶体生长方法和技术、同位素标记、盐湖化学和蛋白质、核糖核酸合成方面已接近国际领先水平。

自从确立改革开放政策以来，中国化学研究成果卓著，在物理化学分子反应动力学、结构化学内蕴反应理论和催化动力学机理等 12 个领域已经开始同一些世界知名化学家如福井谦一、李远哲等人进行合作研究，并取得了令人瞩目的成果。

其次，化学教育的迅速发展为化学科学的进步奠定了初步的基础。1978 年 3 月、4 月分别召开的全国科学大会和全国教育工作会议，明确了教育和现代化的关系。从此全国性的化学教育机构、化学教育刊物和专业性年会等相继出现。1978 年开始使用全国统编中学化学课本。这一时期的化学教育在大学发展的特点是表现在它与化学研究的同步展开。早期成效比较明显的

有：北京大学物理化学研究所、吉林大学理论化学研究所、南京大学络合物研究所、南开大学元素有机化学研究所和厦门大学催化研究所等。这一时期恢复了招收化学专业研究生的制度，并选派优秀教师出国讲学、进修、攻读学位，很多人在国外取得了水平较高的学术成果。1981年实行学位制度，我国有了自己培养的一大批化学硕士和博士。同年3月在增选的67名化学学部委员会中，高等学校教师达31名，体现了这一时期化学教育所表现出的研究实力的长足进步。迄今为止，我国设有化学系(科)的高等院校总数已达231所，占全国高等学校的三分之一左右。这些学校正在培育新一代的化学工作者，以充实到未来的中国化学研究领域。

第三，化学发展呈综合性的整体趋势，表现出健康发展的特征。这一时期，中国化学的发展除化学和化工紧密相结合之外，其它方面也出现新的气象。化学史研究受到人们的普遍重视，发表化学史论文近千篇、学术著作近20部，成立了专业的化学史研究组织和协会，培养出一批化学史研究人员；化学哲学及化学社会学的研究蓬勃发展，先后召开了5次全国性的学术会议，出席人员有化学学部委员、化工部长、化学教师、化学工程师、化工厂长等各领域人士，出版了大约5种10部学术著作。人们更加重视化学的作用，许多优秀人才投身到化学发展中来。

改革开放以来，一大批学有专长的化学工作者走出化学实验室，投身到经济开发的前线，开办了大批科技实业，有力地推动了国民经济的发展，增强了化学发展的后劲，走出了一条化学与经济、社会紧密相结合的新路。

第四节 方兴未艾的中国化学哲学

什么是化学哲学呢？目前还没有一个明确的定义，有待国际学术界共同讨论。仅就中国学者的理解来说，通常认为是“以化学为研究对象的哲学”或是“以化学为研究对象的自然辩证法”；或是“以化学领域中具有世界观与方法论意义的一般理论问题为主要研究对象”的学科。但是，也许主要是一门哲学的化学，即运用哲学原理来揭示化学运动规律的学科。然而不管怎样说，就其性质来看总是一门处于化学和哲学之间的边缘学科，或者由化学和哲学相互渗透形成的交叉学科。

化学哲学的特征，在于它是以哲学为工具，而不是以数学、物理学或化学实验为工具来研究化学的学科，具体表现为以下几点：（1）以联系的观点研究化学。例如把物质与能量、结构与性能、速度与平衡、量变与质变对立的事物联系起来加以考察，以求认识得更为全面和深入；（2）以发展的观点研究化学。例如探讨化学发展的动力、化学概念的演化和理论的交替、化学革命的结构等动态表现，以求把握化学发展规律；（3）以整体的观点研究化学。例如考察化学内部的实验、理论、化学家等诸要素的关系，以及化学和其它科学、化学和生产、化学和经济、化学和政治、化学和环境、化学和教育以至和整个社会的关系，以便有效地推动化学的发展等。这些特点体现了化学哲学同无机化学、有机化学和物理化学等一般化学学科的主要区别。

化学哲学的研究内容很为广泛，归纳起来主要有以下5个方面：（1）本体论的问题，主要是探讨化学运动的本质和特征、化学运动和其它运动的关系，以及化学的对象、特点、体系、职能等化学属性问题；（2）认识论问题，主要是化学知识的积累、存储和传播的规律，包括化学教育、化学人才培养、化学发现或发明的规律等问题；（3）方法论问题，主要是探讨化学的观察、实验、归纳、演绎、机遇、想象和抽象思维等化学研究中的思维规律等问题；（4）矛盾论问题，主要是探讨诸如化合与分解、内因与外因、平衡与速度等一系列化学中对立事物的统一规律等问题；（5）社会论问题，主要是探讨化学在社会中的地位、作用，化学同整个社会的关系等化学社会学问题。

研究化学哲学或通过哲学研究化学的重要性，在于可以促进化学以至哲学的发展。关于促进化学的发展，可以从化学发展的历史事例中得到证明。例如，在希腊哲学的“四元说”和“原子论”，为近代化学的元素说和原子论的建立提供了思想基础；中世纪的炼金术是依照古代的自然哲学作为理论的；17世纪的波义耳能够以实验方法建立了近代化学是依靠了弗·培根的《新工具》哲学；19世纪的门捷列夫发现元素周期律也是在于“不自觉地应用黑格尔量转化为质的规律”；20世纪的化学则更需要同哲学的结合，包括同中国古典哲学的结合，正如1977年诺贝尔化学奖获得者普里戈金（Ilya Prigogine）所说，现代科学的发展需要“西方科学的基本概念和中国古典的自然观的更紧密的结合”，以便“给世界带来更为普适的信息”，等等。关

唐敖庆、卢嘉锡、徐光宪：《化学哲学基础》，科学出版社，1986年，第 页。

唐敖庆、卢嘉锡、徐光宪：《化学哲学基础》，科学出版社，1986年，第1页。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971年版，第51页。

[比]伊·普里戈金：《从存在到演化——自然科学中的时间及复杂性》，上海科学技术出版社，1986年，第3页。

于促进哲学的发展，也可以从化学发展的历史事例中得到说明。例如，古希腊哲学家从火等化学现象分析的过程中形成了“四元说”等哲学理论；拉瓦锡确立的质量守恒定律则成了唯物论哲学物质不灭原理的科学基础；道尔顿对于《化学哲学新体系》的研究，证实并复兴了古希腊哲学的原子论。近代化学哲学成果给予哲学发展的重大影响，正如恩格斯所说，“从拉瓦锡以后，特别是从道尔顿以后，化学的惊人迅速的发展从另一方面向旧的自然观进行了攻击。由于用无机的方法制造出过去一直只能在活的机体中产生的化合物，这就证明了无机物适用的化学定律对有机物也是同样适用的，而且把康德还认为是无机界和有机界之间的永远不可逾越的鸿沟大部分填起来了”。现代的科学哲学发展更是如此，例如科学哲学家库恩（Thomas Kuhn）就是以大量化学哲学事例论述了他的“科学革命的结构”理论，拉卡托斯（Imre Lakatos）也是以普劳特（Prout）假说等化学资料阐发了他的《科学研究纲领方法论》，等等。通过以上可以看出，化学哲学是研究化学和哲学的重要手段，具有重要学术价值。

中国的化学哲学研究在 1949 年中华人民共和国成立以前几乎是“空白区”，在 1949 年以后才逐步有所发展，至今已有近 40 年的历史。主要发展历程如下：

一、初步的基础（50 年代至 60 年代前期）

1949 年以后，中国开始广泛宣传和组织自然科学工作者学习马克思主义哲学和恩格斯的《自然辩证法》等经典著作，并提倡结合自然科学实际进行研究。1955 年，一些化学工作者发表了《物质和运动》和《辩证唯物主义认识论与化学》等文章，成为中国化学哲学最早问世的成果。

1956 年，中国“哲学和社会科学规划委员会”拟定了全国《自然辩证法（数学和自然科学中的哲学问题）十二年研究规划草案》，其中包括“化学中哲学问题”的研究规划，并立即创办了全国性的刊物《自然辩证法研究通讯》，从组织上推动了化学哲学的发展，从而取得了多方面的成果。在化学的哲学内容方面先后发表了“周期律的哲学意义和科学意义”（1956 年）、“辩证唯物主义范畴在化学问题现象中的体现（1956 年）”、“现代分子结构理论的哲学意义”（1956 年）、“从辩证唯物主义观点看相平衡和相转变的基本特点”（1959 年）、“从物理化学变化来看质变和部分质变问题”（1963 年）、“化学运动中的若干矛盾”（1964 年）和“化学运动的基本规律是什么”（1965 年）等论文；在化学发展的哲学分析方面，先后发表了“研究化学史的方法论问题”（1956 年）、“原子-分子理论的历史发展”（1957 年）、“试论第一个有机合成的历史问题”（1958 年）、“化学结构理论的产生”（1962 年）、“认识曲折发展的一种形式——试论燃素说热质说等自然科学长期历史上相对错误的学说”（1963 年）和“人类认识化学元素的过程”（1966 年）等文章，共约 30 余篇；在出版的著作方面共有两部，一部是由潘吉星翻译的苏联学者赫巴洛诺夫的《化学哲学问题纲要》（1960 年），书中虽然存在着苏联学术界固有的以“哲学代替科学”的缺陷，然而毕竟是对化学的对象、体系、概念演化、发展规律等进行了比较全面、系统地考察，提供了一

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年版，第 14 页。

徐光宪：“物质和运动”，《化学通报》，1955 年，第 8 期。

孙承谔、戴乾圆：“辩证唯物主义认识论与化学”，《哲学研究》，1955 年，第 4 期。

定的化学哲学理论基础；另一部是由中国著名化学哲学工作者龚育之著述的《关于自然科学发展规律的几个问题》（1961年），其中有的内容是从哲学的高度对物质结构理论、燃素说和元素周期律等化学问题进行了剖析，提高了许多化学工作者对化学哲学研究的认识和兴趣，推进了中国化学哲学的发展。总的看来，这一时期发表的30多篇论文和两部著作，在一定程度上提供了中国化学哲学发展的基础。

但是，与此同时也严重地受到了“苏联模式”的影响，即把政治问题和学术问题相混淆，开展了所谓“学术批判”，例如“学习苏联”批判了鲍林（L. Pauling）的“共振论”，把它说成是“化学中的唯心论或机械论”或“伪科学”，等等，破坏了自由争论的气氛，危害很大。

二、一度的偏向（60年代后期至70年代前期）

这一时期主要是受到了“文化大革命”极左思潮的影响，把哲学与化学、政治与学术完全混为一谈，处处开展所谓“革命大批判”，把化学哲学研究引向了邪路，阻碍了化学哲学的健康发展。一个典型事例就是进行了所谓“合二而一”论的批判，发表了诸如“氢和氧化合成水”是“合二而一”吗？——驳“‘合二而一’论者的一个论据”、“水的性质是‘一分为二’的”和“化学运动不是‘合二而一’的”等文章，其实质是要批判所谓“主张阶级调和的人们的哲学世界观”。此外，还发表了许多批判所谓“天才论”和儒家“孔孟之道”的“化学哲学”文章共约50余篇。尽管发表的文章很多，然而内容均较空洞，且带有较程度的主观臆造性，学术价值较低，在某种程度上是一种倒退，延缓了中国化学哲学的发展。

三、迅速的发展（70年代末期以来）

自从70年代末期以来，中国化学哲学研究出现了新的转折，逐步进入了蓬勃发展的时期，主要标志是：

1. 具有了一个宽松的民主和谐环境

1976年以来，随着“四人帮”倒台和“文化大革命”结束，就给中国化学哲学研究乃至中国整个学术界带来了新的转机。特别是在1978年开展的“实践是检验真理的标准”讨论以后，广大学者开始从教条主义的束缚下彻底解脱出来，学术界呈现出“学术自由、创造自由、讨论自由、批评和反批评自由”的健康的生动活泼的新局面，为化学哲学研究的蓬勃发展提供了根本条件。

2. 加强了有组织的自觉研究活动

1977年在中国国家技术科学委员会的主持下召开“全国自然辩证法规划会议”，其中包括对化学哲学研究的规划，推动化学哲学研究进入有计划、有组织、有领导的自觉发展阶段。特别是在1979年中国自然辩证法研究会成立了“化学专业筹备小组”（现为“化学化工专业委员会”），进一步有效地组织了全国化学哲学的学术活动，先后在1981年、1983年、1985年、1987年和1989年组织召开了5次全国性的学术讨论会，对于化学运动的基本矛盾、化学的定义、化学运动和物理运动的关系、化学理论和化学实验的关系、化学革命的突破口、化学人才培养、化学和化工的关系、化学发展的理论和化学方法论等化学哲学的重要问题进行了广泛而深入的讨论，使中国化学哲学获得了空前发展。

3. 形成了一支可观的化学哲学专业队伍

在 1978 年以前，中国仅有少数化学工作者从事化学哲学学术活动，还谈不上有一支队伍。1978 年以后，由于化学哲学学术活动的蓬勃发展，已经逐步形成了一支数量可观的专职和兼职相结合的化学哲学队伍。据不完全统计已约达百余人。他们在中国科学院自然科学史研究所、中国社会科学院哲学研究所、北京师范大学、东北师范大学、华东师范大学、辽宁师范大学，华南师范大学、北京师范学院、北京大学、清华大学、山西大学、武汉大学、南开大学、吉林大学和四川大学等研究单位、高等院校从事化学哲学方面的研究和教学工作，特别是还已经培养和正在培养出一批年轻的化学哲学研究生。这部分新生力量的成长，使中国化学哲学队伍的素质有了新的提高，形成了后继有人和兴旺发达的繁荣局面。

4. 涌现出一批质量较高的研究成果

在 70 年代末期以后全国学术界的空前繁荣使得可以发表化学哲学研究成果的《化学通报》和《哲学研究》等刊物相继复刊，并创办许多新的刊物如《自然辩证法通讯》（北京）、《自然科学哲学问题丛刊》（北京）、《科学与哲学》（北京）、《自然辩证法研究》（北京）、《方法》（上海）、《自然信息》（湖南）、《科学·技术与辩证法》（山西）和《科学·辩证法·现代化》（吉林）等杂志，激发了广大化学哲学工作者的研究热情。几年来已发表了有关化学运动和化学科学的本体论、认识论、方法论、发展论等方面的论文约 130 余篇。特别是在中国自然辩证法化学化工专业委员会的组织下，完成了四部较有代表性的化学哲学著作，为化学哲学的进一步发展提供了较为扎实的理论基础和知识基础。这四部著作是：

《化学辩证法问题初探》。这是中国第一部化学初探性著作，论述了化学科学的辩证发展和化学运动的辩证内容，诸如结构与性能、物质与能量、量变与质变、平衡与运动等内容，是一部力求以比较客观和全面的观点论述的著作，对当时的化学哲学的发展起到了较好的影响，成为一个“良好开端”。

《化学哲学基础》。这是中国第一部较为完整的化学哲学巨著，共约 85 万字。全书由中国著名化学家唐敖庆、卢嘉锡、徐光宪三位学部委员担任主编，并由 11 位中青年化学哲学工作者担任编委，组织全国 50 多位学者共同著述而成。全书是在 80 年代以来全国所发表的 80 多篇研究成果的基础上，经过加工、整理、编著完成的，集中反映了中国化学哲学最新的研究成果。全书分为化学哲学概论、化学发展的规律性、化学教育的哲学问题、化学方法论、现代化学哲学问题、科学技术和社会主义现代化建设和附录等七个部分，全面探讨了化学哲学的对象、化学科学的对象、化学发展的动力与阶段性、化学概念和学说的演变、化学人才的培养与开发、化学化工教育的结构与改革、化学化工的一般研究方法、著名化学家的哲学思想和科学方法、化学前沿的若干哲学问题和中外化学哲学研究状况等化学哲学的主要问题，具有重要的理论价值和实用意义。

廖正衡、盛根玉：《化学辩证法问题初探》，人民教育出版社，1980 年版。

唐敖庆等：《化学哲学基础》，科学出版社，1986 年版，第 523 页。

唐敖庆等：《化学哲学基础》，科学出版社，1986 年版。

《化学思想史》。这是中国第一部试图从哲学的高度剖析和阐述化学理论发展的著作，由中国科学院自然科学史研究所和全国 11 所高等院校的 12 位学者共同合作而成，全书约 42 万字，论述了化学概念的起源、化学元素概念的产生、燃烧理论的革命、物质分类和化学亲合力的研究、化学原子论和分子论的提出与遭遇、经典结构理论的建立与发展、化学元素周期律、化学过程的早期研究、物理化学体系的形成、化学的电子理论、量子化学的诞生与发展、现代结构化学、现代化学反应动力学、现代有机化学和化学发展规律的几个问题等主要问题，体现了化学思想发展的特点。

《化学方法论》。这是中国第一部化学方法论的学术专著，全书由 12 位学者共同合作完成，其中应当提到的是还有日本学者山口达明教授参加撰稿，成为中日学者合作化学哲学著作的开端。全书论述了化学方法的发展、化学研究合成方法、化学中比较与分类方法、化学语言系统、化学中的推理方法、化学中的逻辑分析与综合、化学中科学的抽象、化学中的模型方法、化学家的创造性思维、化学中的假说方法、化学中的移植方法、化学中的系统方法等化学方法的主要内容。全书由著名化学家唐敖庆作序，认为这是一部带有尝试性、开拓性的工作。他说：“长期以来，化学工作者还未能对散见于近代化学诞生后 300 多年来取得成就中的宝贵的化学方法进行过比较全面、系统和深入的整理和概括”，因而此书的完成是一个“可贵的尝试”，也“是一项具有开拓性意义的工作”。

此外，中国自然辩证法研究会化学化工专业委员会已经组织和正在组织编写《中国大百科全书自然辩证法卷》的“化学哲学部分”和《化学社会学》以及《化学学导论》（即本书）等三部理论著作，以便为中国化学哲学的发展做出进一步贡献。

四、尚待探讨的问题

目前，中国化学哲学的深入研究还只是刚刚开始，有许多问题还需要进一步探讨，这里提出供大家参考。

1. 化学的定义问题

什么是化学？这个化学中的首要问题至今并没有一个统一的、确切的看法。美国著名化学家鲍林认为“化学是研究物质的科学”，日本的《万物百科大事典》说“化学是研究物质的性质的学问”，苏联的著名化学家涅克拉索夫提出化学是“关于物质及其变化的科学”，等等；此外，还有一类是很具体的提法，例如《美国科学技术百科全书》（AEST）提到，“化学是研究物质的性质、组成和结构及其变化，以及随之产生能量变化的科学”，英国《不列颠百科全书》（EB）也提到，化学是研究“物质的性质及其结构、组成和变化”的科学，等等；还有一类提法较明确些，例如把化学定义为“分子的科学”等。

但是，这些定义不管哪一种似乎都存在一个缺陷：要么是没有指明究竟是研究哪一种“物质”，是分子还是原子还是基本粒子？要么是没有具体指明究竟是研究物质的哪一种“变化”？因此，可否把化学定义为“主要是研究物质的分子转变规律的科学”。这样就可以指明化学研究的主要对象是物

《化学思想史》，湖南教育出版社，1986 年版。

廖正衡等：《化学方法论》，浙江教育出版社，1989 年版，第 1 页。

廖正衡等：《化学方法论》，浙江教育出版社，1989 年版，第 1 页。

质，不是意识形态；是物质中的实物粒子，不是场的形态；是实物粒子中的分子，不是原子、原子核和基本粒子等其它实物粒子，以避免笼统地提到“物质”以至同自然科学的一般对象相混淆的缺陷。同时也可以指明主要研究对象客体的运动形式的特征，是“分子转变的运动”，是由一种或几种分子转变为另一种或几种新分子的运动或变化，即分子的化学运动，不是分子的机械运动或热运动等其它分子非质变运动，从而可以避免只是笼统提到“分子”或“变化”的模糊认识。

当然，这个定义也似乎还有缺陷，例如未能包括研究原子和原子核质变的放射化学和核化学，以及奇异原子化学等。因此，这还是一个很需要进一步探讨的重要课题。

2. 化学科学的分类问题

化学学科分类是关系到化学教育的课程设置、科学研究的分工、培养各类化学人才的比例和对于化学科学整体认识等方面的重要问题，需要依照化学发展的形势加以调整和改变，建立适应现代化学特点的新的分类体系。然而目前的化学分类主要还是依照 19 世纪沿袭下来的传统分类法，即把化学分为无机、有机、分析、物理和应用化学等几门学科。这种分类体系要不要改变或建立新的体系？比如已经有人提出把化学分为（1）构成化学（静态的组成、结构和性能的化学）、（2）反应化学（动态的化学变化理论）、（3）物理化学（分子的结构、化学键、能级和反应性的理论）、（4）应用化学等；还有人提出分为（1）分析化学、（2）合成化学、（3）结构与性能化学、（4）化学动力学和理论化学等；也有人提出分为（1）生物化学、（2）有机化学、（3）大分子化学、（4）应用化学、（5）物理化学与分析化学等分类体系。究竟应当怎样划分，建立怎样的体系，需要化学工作者和化学哲学工作者进行共同探讨。

3. 化学理论的检验问题

一个化学学说或理论是否正确，似乎不难以判断：看它是否符合实验事实。然而怎样算“符合实验事实”却不是很容易判断的。比如 1815 年普劳特提出的“氢原子复合成一切元素”的假说，就“符合”当时所测定的原子量均为整数的“实验事实”，然而过不多久就发现原子量也并非全是整数，因此对普劳特假说还需要补充和修正等。可见，检验一个化学理论的正误是较为复杂的过程，常常出现许多假象、错觉和曲折反复。因此怎样进行检验，检验的规律是什么，都是值得深入探讨的化学认识论课题。

4. 化学发展的分期问题

化学发展的分期是认识化学发展规律的一个重要问题，然而应当怎样对千百年来来的化学发展过程进行分期，目前尚无比较公认的准则，比较混乱。例如通常是按年代进行分期，把化学分为古代、近代和现代化学等，然而缺点是难于反映出化学自身发展的不同时期特点；有的是按人物分期，把化学分为波义耳时期、拉瓦锡时期和道尔顿时期，也难于体现化学自身的特点；有的是按社会形态分期，把化学分为奴隶社会化学、封建社会化学、资本主义社会化学和社会主义社会化学等，硬性地打上了“阶级的印记”未免有些牵强；有的是按哲学思维的发展形态分期，把化学分为朴素辩证法时期、形

王祖陶：“现代化学发展的特点及趋势”，《化学通报》，1983 年，第 2 期。

美国《化学文摘》的分类。唐敖庆等《化学哲学基础》，科学出版社，1986 年版，第 25 页。

而上学时期和辩证法时期等，缺陷是与哲学史的分期雷同，且过于简单化了；有的是按化学理论发展的阶段分期，把化学分为炼金术时期、医药化学时期、原子分子论时期、物理化学时期等，似较能反映出化学自身发展的特点，似较好些；还有的是按人们认识化学规律的进程分期，把化学划分为认识物质的性质期（17世纪中叶以前）、组成期（17世纪中叶至19世纪中叶）和结构期（19世纪中叶至现代）等，似能较深入地反映出人们认识化学运动进程的本质，然而也未能尽符合实际；还有一种是无固定准则的分期，在同一部书中既按年代又按人物也按理论发展进行分期，线索不清，等等。可见，如何科学地切合实际地进行化学发展分期，是化学发展研究中一个迫切需要解决的课题。

5. 化学革命的问题

化学革命是化学发展的动力，是人们认识和掌握化学发展规律的重要一环。但是什么是化学革命，至今仍不太明确。有人认为是“化学家思维方式和化学理论逻辑结构的变革”，有人认为是化学发展中的“否定”或质变，还有人认为是“打破化学中原有的概念和理论以及与它们相联系的思维方式”的过程，以及是“化学主导理论的转折性建构”等看法，尚无比较统一的结论。由此带来的一个问题是历史上化学革命的次数问题，出现了“一次说”（氧化说的革命），“二次说”（氧化说和原子结构理论的建立），“三次说”（波义耳确立化学、拉瓦锡推翻燃素说、原子可分性的发现）和多次说（除上述外还包括维勒合成尿素和元素周期律的发现等），甚为混乱，为化学史的研究带来一定的困难，需要进一步讨论。

6. 化学方法的问题

化学方法是化学家取得成功的途径和手段。化学方法是客观存在的工具。然而化学方法是什么，究竟包含有哪些内容，化学家应当怎样去确定研究选题，怎样进行化学观察、实验、归纳、演绎、推理、想象和抽象思维，长期以来直到在不久以前的中国化学界还是不大清楚，更很少能上升到认识论和方法论的高度上进行概括，处于经验主义的自发状态，影响了化学人才的培养和化学研究的开展。我国最近完成的中国第一部《化学方法论》也只是一个极不成熟的尝试，还远远未能把300年来化学科学发展中存在的宝贵的化学方法财富挖掘出来，还需要进一步做大量的研究工作。

[苏]罗德内依：《自然科学史和方法论》，莫斯科《科学》出版社，1975年版。转引自《化学通报》，1982年，第1期，第62页。

金吾伦：“化学科学中的若干哲学问题”，《现代自然科学的哲学问题》，吉林人民出版社，1984年版，第202页。

唐敖庆等：《化学哲学基捶》，科学出版社，1986年版，第134页。

