

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

化学实验论



前 言

化学实验是化学科学赖以形成和发展的基础，是检验化学科学知识真理性的标准；是化学教学中学生获取化学经验知识和检验化学知识的重要媒体和手段，是提高学生科学素质的重要内容和途径。化学实验在化学科学发展和化学教学中的极端重要性已被人们所共识。为了使我们在理论认识上把化学实验放在适当的高度，在化学教学实践中更加自觉地运用化学实验进行教学，我们认为从以下几个方面对化学实验进行系统探讨将是必要的。这些内容共分为八章。

第一章运用历史唯物主义的观点，讨论了化学实验发展所经历的三个时期，并明确指出化学实验是怎样成为一种独立的科学实践活动的，化学科学又是怎样伴随着化学实验的发展而发展的。另外，特别强调指出化学实验将随着实验工具和实验方法的进步和提高而不断地完善和取得长足的进步。还指出了化学科学与化学实验、化学实验与化学实验手段（实验工作和实验方法）之间存在着的辩证关系。

第二章在讨论了什么是化学实验、它有什么优点和特点的基础上，运用了系统论的观点把化学实验看做是一个由实验者、实验对象和实验手段三要素所构成的系统。我们着重从静态的角度，采用对比的方法，分别对构成化学科学研究与化学教学中实验的三要素的形式、属性，以及它们在化学实验系统中所处的地位与所起的作用，都作了较为具体的阐述。构成化学实验的三要素彼此间不是孤立的，它们之间是相互联系、相互影响着的，只有每一要素处于最佳状态，才能使化学实验的整体最佳。

第三章讨论化学实验感性认识的生理机制。化学实验的目的，在于实验者（或实验观察者）通过化学实验从实验对象获得化学实验事实以形成经验认识。要弄清这种认识产生的生理机制，就要了解人的神经系统和人脑的组成、结构和功能，就要了解各种感受器官是怎样在外界刺激物作用下产生感觉的。因此，在本章里对这些问题都作了较简要的探讨。由于感觉、知觉、表象是相互联系、依次发展的三种感性认识形式，因此对知觉和表象的生理和心理学问题也做了一些讨论。

第四章侧重于从化学实验在科学认识中的地位和科学认识功能方面进行了阐述。这些内容能使我们了解化学实验在化学科学发展、人类对物质认识方面所处的重要地位和起到的作用，它对我们从这一个侧面去理解化学实验在教学中的地位和作用将会有一定的启示。

化学实验分类是从众多的实验中找出它们的联系和某些共同特征进行的。通过分类揭示它们之间的联系，能为化学教学和化学科学研究提供可供选用的、有效的探索途径和方法。

第五章是从动态角度，阐述了化学实验是按准备阶段的实验问题的确定和实验方案的设计、实施阶段的测定和实验条件的控制以及实验结果的处理，这样的步骤和程序做有序运行的过程。并对化学实验全过程涉及到的实验方法论问题作了较为详细的讨论。

第六章是在第五章的基础上，以化学实验所取得化学事实做为探讨的中心，对于什么是化学实验事实，它在科学认识中属于哪一个认识层次，它具有哪些特征和功能等问题都作了必要的阐述。最后，对化学实验事实为什么和怎样进行经验概括和理论解释也作了理论上的探讨。

第七章是在前两章的基础上，着重于从对化学实验全过程的各个阶段的分析中，来说明化学实验的每一步都离不开理论思维。化学实验不但是—种感性的物质活动过程，而更重要的是一种理论思维的过程，它的本质是理论思维的物化。

第八章是从化学教学的角度强调了化学实验在全面落实化学教学目的方面具有举足轻重的作用。提出了“以实验为基础”的教学观所主要包括的三个方面的内容，并认为自觉和有效地开展和实施实验探究式教学，是“以实验为基础”教学观的核心内容。

尽管每章讨论的问题各有侧重，但它们都是构成本书不可缺少的、彼此相互联系的部分。

本书前言、第二、三、四、七章，由梁慧姝撰写；第一、五、六、八章由郑长龙撰写。

本书在编写过程中，曾参阅了相当数量的有关著述，吸取了国内外许多学者的理论观点和研究成果，并得到广西教育出版社何醒同志的大力帮助，特向他们表示衷心的感谢和深切的敬意。

由于作者水平所限，加之时间仓促，不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

1996 年 10 月于东北师范大学

化学教育作为科学教育的一个分支,以其特有的功能在实现第一流人才培养及普遍提高全体公民的文化科学素质这一使命中,起着重要作用。众所周知,化学教育正是在化学科学、技术与社会,以及学校教育、社会教育等这些大教育环境中,不断发展的。应当说,化学科学的进展与科技教育的发展推动了化学教育的繁荣和更新;学校教育与社会教育的扩展、改革和不断完善,为化学教育提供了培育良才的广阔天地。总之,社会的进步,科学技术的发展,教育的普及与提高,为化学教育的产生、发展和繁荣并发挥其多种教育功能提供了智能源泉与人才基础。应当强调指出:化学教育与其他学科教育一样,在大教育系统中发挥着维系事业兴衰、人才延续等多种功能。这些教育功能可概括为:简约有效地将人类的文明遗产传授给受教育者的传输功能;按社会的需要培养人才的塑造功能;用最经济的人力、物力和时间造就大批合格人才的高效功能;以及超前为社会的进步和革新培养适用人才的变革功能。

中华人民共和国的化学教育,自 1949 年至今,从基础教育、职业技术教育、高等教育到继续教育,不论在规模上还是质量上,都取得了令人瞩目的成就。全国各级各类学校的广大化学教育工作者为此付出了辛勤的劳动,创造并积累了丰富的教育教学经验,这是我国和世界教育科学的珍贵财富。但毋庸讳言,由于受历史的制约和人所共知的原因,我国化学教育理论研究工作起步较晚,人员较少,机构又不够健全,对于教育实践中提出的诸多重大命题,以及国际上普遍关注的某些学术研究前沿课题,尚未从理论上给出回答,或未从理论与实践结合的高度上进行深入探研。理论来源于实践,理论一经群众掌握就会变成巨大的物质力量。化学教育理论也是如此。本人作为一名老化学教育工作者,有幸从 50 年代中期就参加中国化学会组织的有关化学与化学教育的学术研讨活动,从 1979 年至今一直亲身参与中国化学会化学教育委员会及中国教育学会化学教学研究会(1983 年起始)计划和组织召开的多次全国高、中等学校化学教育经验交流会、学术研讨会、课程和教材研讨会、化学实验教学经验交流会等。每次会议的论文均有数十篇,甚至百多篇,其中不少优秀论文已在国内期刊发表。从国际上看,IUPAC(国际纯粹化学和应用化学联合会)从 1970 年开始,已加倍努力于谋求改进世界各国的化学教育,并与 UNESCO(联合国教科文组织)协同召开过 13 次 ICCE(国际化学教育会议),出版了若干部化学教育论文集和论著。另外,世界各国的化学教育家在各自的研究领域,都笔耕不辍地为国际化学教育理论做奉献。1981 年据 64 个国家的不完全统计,各国创办的化学教育(教学)期刊就有 168 种。文苑书林,浩瀚得很!但是,由于各种原因,国际上大量论文、资料难以为我国广大化学教育工作者检索、利用;国内的诸多专题研究论文和著述,似多局限于就某些论题的研究或偏重于适应教材建设的需要,对于化学教育学——化学教育理论体系的几大构成,尚未见到系统论述的著作面世。

为了建构具有中国特色的化学教育理论、反映国内外当前的研究水平,以促进我国教育改革,面向现代化,面向世界,面向未来,广西教育出版社组织出版了这套《学科现代教育理论书系》中的化学现代教育理论丛书。本丛书各册的第一作者和统稿人都是在该领域学术有成的专家。全体作者均本

着理论联系实际的原则，力求从化学教育规律来阐释和探研有关的理论与学术前沿课题。当然，作为化学教育理论著述，本丛书也完全可以作为大学后继续教育或化学教育高级学位研修用书。各册（《化学教育史》除外）论述的重点虽侧重于基础教育阶段的化学教育理论问题，但是，从教育规律的普遍适用性这一层面来看，这些结论对于大学或大学后教育，以及中专等化学教育实践，可供借鉴之处当不是个别的。

本丛书共 6 册，简要介绍如下：

《化学实验论》以辩证唯物主义认识论、自然科学方法论、现代教学论为指导，论述化学实验的构成、意义和作用，剖析各类化学实验及其功能，探研化学实验与发展学生思维的关系，从宏观与微观的视角揭示化学实验及其方法论的深刻涵义。

《化学课程论》从化学课程的设计与化学教材编制的现实出发，探研不同课程论思想在化学课程开发的实践中运行与演变的规律及趋向，阐释、论述我国化学课程、教材建设中的基本经验与理论问题。

《化学教学系统论》运用系统论的观点阐发、研讨化学教学的构成要素及其相关领域的原理或范型，从多视角考察、概括化学教学系统的结构和功能及其运作圭臬。

《化学学习论》从化学学习系统与学习原理的高度探研化学学习过程、模式和方法，对化学学习能力与学习机制进行剖析，探索深入开展学科心理研究的某些基本课题。

《化学教育测量和评价》基于化学教育目标论阐发和研讨化学教育测量与评价的基本理论、方法和技术问题，对认知、情感和动作技能领域的化学教育测评等作了新的探索。

《化学教育史》以历史唯物主义和辩证唯物主义为指导，对化学教育产生的历史背景、化学史各时期的化学教育的演进，以及近、现代化学教育的发展等进行了研究、概括。以史为鉴，明古鉴今。

本丛书写作注意了科学性，力求准确、完整、系统；新颖性，取材努力反映时代气息，体现教育改革精神；实用性，各册在介绍有关理论和研究前沿的同时，均力求结合实例给读者以解决实际问题的思路与方法。

本丛书在成书过程中得到不少同行的关心，并参阅、借鉴了不少国内外学者的研究成果，在此一并表示诚挚的感谢！衷心希望本丛书面世以后能够得到化学教育界的专家和广大读者的关注与指教，祈使这套丛书在加快、深化化学教育的改革和发展，发展大学后继续教育和活跃化学教育学术研究等方面，发挥它应有的作用。

1995 年 10 月于北京师范大学

师范院校中有一门必修课，叫做教材教法。它是一门培养教师技能的专业课程，但是历来不受人们所重视。在一些专业学科的教师、专家们眼里，似乎教材教法不过是剖析中小学的教学大纲和教科书，教会师范生如何去上好一堂课，没有什么学术性。他们认为，上好一堂课，保证教学质量的关键主要是有高的学术水平。这是一种误解。但是这种误解不是没有缘由的。原因之一是，这些专家们不懂得，教育既是一门科学，又是一门艺术，只有高深学问，不懂教育规律，没有掌握教育教学的艺术，课就上不好，或者事倍功半。原因之二是，过去的教材教法课确实存在着不少问题，它只分析现有的教材，不对学科、课程以及教育教学的规律进行研究。因此要解决这个问题，除了改变专家们的误解以外，更重要的是研究这门学科的发展，提高学科的理论水平。我认为，师范院校的教材教法不能只分析一门课如何讲授，更重要的是要研究、分析一门科学的发展历史和现状，以及其发展的内在逻辑，结合学生的认知特点，遵循教育规律，把它组织成一门学科。学科并不等于科学。一门科学要变成学校里的学科，需要经过一番改造。改造的理论就是一门学问，本身也应该是一门学科。这门学科是跨学科的，它既要研究某门学科的科学规律，例如数学教材教学既要研究数学教学规律，又要研究教育规律，要把两者有机地结合起来，从这个意义上讲，教材教法的名称显得落后了。因此把它改为学科教学论或学科教育学是适宜的。

讲到这门学科还有一段历史，不得不讲一讲。我国学位制度建立之初，在教育类门类中就设有教材教法作为二级学科培养研究生，授予学位。但是它的评议因为涉及文理各学科，因此分散在文理各学科评议组中。由于教材教法主要是研究学科教学的理论，文理各学科评议组的专家们认为难以对他们做出评议。这样这门学科的授权问题就处于无人评议状态。1983年在国务院学位委员会召开第二届博士、硕士授权点学科评议组会议期间，我向当时教育学评议组召集人刘佛年教授提出，把教材教法的硕士授权点拿到教育学组来评议，并把名称改为学科教学论，以提高对它的学术要求，从而提高它的学术地位。这个提议得到刘佛年教授的支持和学位委员会的批准，并在以后专业目录调整时把教材教法正式更名为学科教学论。从此学科教学论有了较大的发展。至今全国已有硕士授权点19个，培养了硕士研究生数百名，出版的专著也有几十部。这是十分可喜的现象。

学科名称的更改是十分容易的事，要把它发展成一门真正的学科并非易事。当时有人提出改为学科教育学，我们认为时机还不成熟，首先要把学科的教学理论研究好。教育学是一个更广泛的概念，它涉及到教育系统内部各个领域，而学科教学论主要涉及教育系统中教学方面的理论，即使把这部分研究透彻，成为一门学科也是不容易的。当然，有的学者愿意把它称为学科教育学，如果确已研究成熟，这无疑是对教育科学发展的一个贡献。

把教材教法改造成为学科教学论是一次理论上的飞跃。教材教法过去只是教育学中的一个部分。学科教学论则变成了教育科学中的一个重要分支学科。这种飞跃有没有根据，具备不具备条件呢？1988年我在为《语文教育学》写序时就说，已经具备了必要的条件。这是因为：第一，近几十年来教学论、课程论、心理学、教育测量学、教育评价学等学科有了新的发展，它为学科

教学论的建立奠定了理论基础；第二，我国改革开放以来引进了国外的各种教学理论，开拓了我们的视野，启迪了我们的思想；第三，我国有一批长期从事教材教法研究的学者，他们在师范院校有长期的教育实践，积累了丰富的经验，并且有较高的理论修养，这是建立学科教学论的组织基础。应该说，1978—1988年这门学科的建设是有成绩的，不仅培养了众多研究生和出版了多部专著，而且学科体系基本上建立起来了。更为可喜的事是不少专家都在关心这门学科的建设。得到各学科的专家的重视是至关重要的。因为学科教学论这门学科毕竟是跨学科的，文理各专业学科是它的基础。

近些年来，许多学者把学科教学论又提高到学科教育学的高度来研究，这又是一次飞跃。学科教育学不仅要研究学科的教学理论问题，而且要从教育学的基本原理出发，从培养人的高度来讨论学科教育的问题。它不仅要揭示学科教学的教学规律，还要揭示学科教学培养人的规律。学科教育学不仅要讨论该门学科如何设置课程，如何编制教材，如何选择教学方法，如何组织教学，更重要的是要分析本门学科在培养人的整体工作中的地位和作用，并从这个角度出发研究课程、教材、教法，研究它与其他课程的关系，与学校中其他教育活动的关系等等。

广西教育出版社组织全国学科教育理论工作者和实际工作者编写一套大型丛书《学科现代教育理论书系》，我认为正是时候。这刚好是十多年来的一次大总结、大检阅。证明学科教育学这门新兴学科已经在中国大地上成长起来。我当然不可能通览这套丛书，但是从编辑出版计划中的书目可以看到，它涉及语文、数学、物理、化学、外语等中学教学计划中的主要学科，每门学科又分教学论、课程论、学习论、实验论、教育测量与评价等专著，有的学科还著有教学艺术论及其他更细的内容，真是丰富多彩。作者群中有老一代的学科教育学专家，也有年轻一代学者。我认为，这套丛书的意义，不仅在于它总结了十多年来我国学科教育学研究的成果，而且在于它展示了学科教育学发展的广阔前景，在于它培养了年轻一代学者。这是从教育理论战线上来讲的。至于对我国教育的实际来讲，这套丛书的出版一定有利于我国广大教师业务水平的提高，有利于教育质量的提高。我预祝出版的成功。

1996年春节

出版说明

这套丛书，从 1991 年 3 月出版第一批第一本《数学学习论》算起，至今已有 6 个年头了。如果从 1988 年年初开始数学教学理论丛书的组稿活动算起，则有 9 年之长。如今，数学、物理、化学、语文、外语，五个主要学科的教学理论丛书，已配套成龙，每个学科 6 本共 30 本，取名为《学科现代教育理论书系》。洋洋洒洒几千万字，构成了基础学科的基本理论研究，也构成了我社的基本骨干工程和基本的教育理论出版特色。

以近十年的时间建构一整套力求具有中国特色的教育理论丛书，其间的曲折、甘苦，自然一言难尽。但从反映教学改革成果、服务教学改革来看，又当义不容辞。从建构教育出版社的出版个性、出版文化来考虑，更有深刻意义，有重大价值。在改革开放的新历史时期，出版社靠什么来支撑？靠什么去竞争？靠什么求发展？用什么作奉献？答案可以有很多，对策可以开列不少。但根本的应少不了这么两条：一靠骨干工程，二靠名牌精品。骨干工程是出版社的战略布局，名牌精品是出版社的灵魂生命。两者的完美结合，构成了出版社的质量、信誉、知名度和文化品位，它是出版社存在的基础，竞争的手段，持续发展的后劲，文化积累的主体，向人民奉献优秀文化的根本保证。

本着这样的认识，这样的追求，我们出版了这套丛书。当然，还有另外几套别的系列。

我们期待着读者的鉴定。

我们迎接着市场的检验。

我们也渴望着教育界、理论界的支持。

我们将一如既往地努力，千方百计奉献更多的精品，给教育，给民族，给将来。

广西教育出版社

本书内容提要

该书以辩证唯物主义认识论为理论基础，以自然科学方法论、现代教学论、心理学、生理学等理论为指导，对化学实验以及它在化学教学中涉及到的一系列认识论、方法论和教学实践等理论问题做了深入探讨，力求在内容选择和体系结构上能体现出化学实验以及它在教学中的特点，能为化学教学起到实践指导作用。

第一章 化学实验发展史概述

化学实验是化学科学赖以产生和发展的基础，从其发展过程来看，大致经过了早期化学实验、近代化学实验和现代化学实验等三个发展时期。

第一节 早期化学实验

从远古时代开始到 17 世纪，化学实验在向科学道路迈进的过程中，经历了一段漫长的发展时期。

一 化学实验的萌芽

人类最初对火的利用距今大概已有 100 多万年了。火是人类最早使用的化学实验手段。人类最早从事的制陶、冶金、酿酒等化学工艺，都与火有直接或间接的联系。在熊熊烈火中，烧制成型的粘土可获得陶器；烧炼矿石可得到金属。陶器的发明使人类有了贮水器以及贮藏粮食和液体食物的器皿，从而为酿酒工艺的形成和发展创造了条件。

制陶、冶金和酿酒等化学工艺，已孕育了化学实验的萌芽。例如，在烧制灰、黑陶的化学工艺中，工匠们在焙烧后期便封闭窑顶和窑门，再从窑顶徐徐喷水，致使陶土中的铁质生成四氧化三铁，又使表面覆上一层炭黑，因此里外黑灰。这表明当时已初步懂得了焙烧气氛的控制和利用。

二 原始化学实验

古代的炼丹术，是早期化学实验的主要和典型的代表。炼丹的主要目的—是希望得到能使人长生不死的“仙药”；二是想把一些廉价的金属借助于“仙药”的点化，转变为贵重的黄金和白银。由于炼丹活动符合帝王、贵族长生不死、永世霸业的愿望，因而受到他们的大力推崇，于是从古代到中古时代，这种活动很快地得到开展并兴盛起来。

焙烧是炼丹术士经常采用的一种基本的化学实验操作方法。例如在空气中焙烧方铅矿(即硫化铅)等贱金属矿石，把铅放在灰皿或骨灰造的盘子中加热，铅烧掉之后，可以得到一点银；把黄铁矿(从外表看有点象黄金)与铅共熔，铅用灰皿烧掉之后，可以获得微量的黄金。

除焙烧之外，炼丹术士还经常使用一些液体“试药”来对各种金属进行加工。液体试药通常是一些能在金属表面涂上颜色的物质。例如，硫黄水(多硫化合物的溶液)能把金属黄化成黄金；汞能在其他金属表面留下银色。在制造液体试药的过程中，炼丹术士发明了蒸馏器、烧杯、冷凝器和过滤器等化学实验仪器，以及溶解、过滤、结晶、升华，特别是蒸馏等化学实验操作方法。蒸馏方法的广泛使用，促进了酒精、硝酸、硫酸和盐酸等溶剂和试剂的发现，从而扩大了化学实验的范围，为后来许多物质的制取创造了条件。

蒸馏是早期化学实验中最完整的一种重要实验操作方法。到了 16 世纪，出现了大批有关蒸馏方法方面的书籍，如希罗尼姆·布伦契威格(Hieronymus Brunschwygk, 1450—1513 年)1500 年出版的《蒸馏术简明手段》及其增订版《蒸馏术大全》(1512 年出版)等。这些著作对蒸馏方法作了较详细的叙述。蒸馏在早期化学实验发展史上占有重要地位，它至今还在基础化学实验中被经常运用。

三 向化学科学实验的过渡

到了十五六世纪，炼丹术由于缺乏科学基础，屡遭失败而变得声名狼藉。化学实验则开始在医学和冶金等一些实用工艺中发挥作用，并不断得到发展。

在医药化学时期，最具代表性的人物是瑞士的医生、医药化学家帕拉塞斯(P.A.Paracelsus, 1493-1541)。他强调化学研究的目的是不应在于点金，而应该把化学知识应用于医疗实践，制取药物。他和他的弟子们通过对矿物药剂的性质和疗效的研究，以及在制备新药剂的过程中，探讨了许多无机物的分离、提纯方法，进行了一些合成实验，并总结出这些物质的性质。因此，有人认为帕拉塞斯“从根本上改变了医疗和化学的发展道路”^①。

安德雷·李巴乌(Andreas Libavius, 约 1540-1616)是德国的医生、医药化学家，他极力强调化学的实用意义，为推进化学成为一门独立科学做出了重要贡献。他编著的《工艺化学大全》(1611—1613 年问世)，总结了他多年的实验经验。书中叙述了硫酸和王水的制备方法；证明了焙烧硝石和硫黄所得到的硫酸与干馏胆矾所得到的完全是同一种物质；首次提出将食盐与胆矾一起在泥坩埚中焙烧制取盐酸的方法；讲解了用金属锡与氯化汞一起加热、蒸馏获得四氯化锡(后来被称为“李巴乌发烟液”)的方法；描述了含铜的溶液遇氨水变为翠蓝的现象，并建议用这种方法检验水中的氨。这部著作的问世，使化学终于有了真正的教科书。他还设计过一所实验室的建筑详图，但直到 1683 年，这所实验室才在阿尔特多夫(Altderf)修建起来。

继帕拉塞斯、李巴乌之后，对后世影响较大、对化学实验的发展贡献卓著的医药化学家还有赫尔蒙特(J.B.van Helmont, 1597-1644)。他工作的最大特点是对化学进行定量研究，广泛使用了天平，并萌生了初始的物质不灭的思想。他所做的“柳树实验”和“沙子实验”，是早期化学实验发展史上著名的两个定量实验^①。此外，他在无机物制备方面取得过空前的成果，曾对燃烧现象提出过颇有独到之处的见解。因此，他常被尊为从炼丹术到化学的过渡阶段的代表。

化学实验在冶金方面也曾发挥过重要作用。德国著名化验师埃尔克(L.Ercker, 约 1530—1594)在其编著的《主要矿石加工和采掘方法说明》(1574 年出版)一书中较为系统地论述了当时对银、金、铜、锑、汞以及铋和铅的合金的检验技术；制取和精炼这些金属的技艺；以及制取酸、盐和其他化合物的技术。这部著作被认为是分析化学和冶金化学的第一部手册。

四 早期化学实验的特点

早期的化学实验还只能算做是化学“试验”，具有很大的盲目性；还没有从生产、生活实践中分化出来，成为独立的科学实践。最早的制陶、冶金和酿酒等活动，是低级的、缺乏理论指导的、不自觉的实践活动；作为化学实验原始形式的炼丹术，其实验目的也只是追求长生不老药或点金之术，变贱金属为贵金属。

尽管如此，还应该肯定从事早期化学实验的工匠和炼丹术士们是化学实验的先驱和开拓者。他们发明了焙烧、溶解、结晶、蒸馏、过滤和冷凝等化学实验操作方法；制造了风箱、坩埚、铁剪、烧杯、平底蒸发皿、沙浴、焙烧炉等化学实验仪器和装置；发现和制取了铜、金、银、汞、铅等金属，酒精、硝酸、硫酸、盐酸等化学溶剂和试剂，以及许多酸、碱、盐，甚至意识到了一些粗浅的化学反应规律。后人正是从他们的经验教训中，才找到了化

^① 赵匡华编著：《化学通史》，高等教育出版社 1990 年版，第 56 页。

^① [美]亨利·M.莱斯特著，吴忠译：《化学的历史背景》，商务印书馆 1982 年版，第 115—116 页。

学实验的真历史使命，建立了化学实验科学。

第二节 近代化学实验

17—19 世纪,是近代化学实验时期。在这一时期,随着欧洲资本主义生产方式的诞生和工业革命的进行,以及天文学、物理学等学科的重大突破,化学实验终于冲破了炼丹术的桎梏,走上了科学的康庄大道。为此做出巨大贡献的化学实验家当推波义耳(R.Boyle, 1627—1691)和拉瓦锡(A.L.Lavoisier, 1743—1794)。

一 化学科学实验的奠基人——波义耳

“波义耳把化学确立为科学”。作为近代化学科学的确立者,波义耳也是化学科学实验的重要奠基人。他认为,只有运用严密的和科学的实验方法才能够把化学确立为科学。他明确指出:“化学,为了完成其光荣而庄严的使命,就不能认为到目前为止的研究方法是正确的。而必须抛弃古代传统的思辩方法”,只有这样,化学才能象“已经觉醒了的天文学和物理学那样,立足于严密的实验基础之上”^①;“不应该把理性放在高于一切的位置,知识应该从实验中来,实验是最好的老师”^②,“没有实验,任何新的东西都不能深知”,“空谈无济于事,实验决定一切”^③,“人之所以能效力于世界者,莫过于勤在实验上做功夫”^④。他的这些观点和主张,奠定了化学实验方法论的基础。

不仅如此,波义耳还是一位技术精湛的出色的化学实验家。他一生做过大量的化学实验,获得了许多重要的发现。他是第一个发明指示剂的化学家,他把各种天然植物的汁液或配成溶液,或做成试纸(“石蕊试纸”就是波义耳发明的),并根据指示剂颜色的变化来检验酸和碱;他还发现了铜盐和银盐、盐酸和硫酸的化学检验方法,并在 1685 年发表的“矿泉水的实验研究史的简单回顾”一文中,描述了一套鉴定物质的方法。因此,他还常被尊为定性分析化学的奠基者。

二 定量化学实验方法论的创立者——拉瓦锡

拉瓦锡“是明确提出把量做为衡量尺度对化学现象进行实验证明的第一位化学家”^②,他把近代化学实验推进到定量研究的水平。

拉瓦锡从一开始从事化学科学研究,就非常善于发挥天平在化学研究中的作用,重视对物质及其变化进行定量测定。他 21 岁时所做的第一个化学实验,就是定量地测定石膏在加热和冷却过程中水分的变化。他一生做过很多定量化学实验,并依据实验事实揭示了“水变成土”以及“火粒子”学说、“燃素说”的谬误。

“水变成土”是赫尔蒙特根据他著名的“柳树实验”提出来的,后来又得到波义耳和牛顿(J.Newton, 1642—1727)的赞同。为了检验这一观点的科学性,拉瓦锡进行了如下实验:将收集到的被认为是最纯净的雨水连续蒸馏

^① [日]山冈望:《化学史传》,日本内田老鹤圃新社 1979 年版,第 19 页。

^② 袁翰青、应礼文编著:《化学重要史实》,人民教育出版社 1989 年版,第 23 页。

^③ 赵匡华编著:《化学通史》,高等教育出版社 1990 年版,第 64 页。

^④ 丁绪贤:《化学史通考》,商务印书馆 1935 年版,第 79 页。

^⑤ 化学思想史编写组编:《化学思想史》,湖南教育出版社 1986 年版,第 66 页。

了8次；然后将这些水倒入一个特制的玻璃蒸馏器中，加热驱去其中的空气，并加以密封；用沙浴在60—70℃之间加热101天。结果发现其中确有悬浮的小片固体物出现。这似乎是水变成了土的证据。然而，拉瓦锡仔细称量了加热前后水的重量、容器的重量、以及水和容器的总重量，终于查明，水和容器的总重量在加热前后并没有变化，而且密封在瓶中的水的重量也没起变化，只是玻璃容器本身变轻了，而减轻的重量又恰好与固体悬浮物的重量相当。这样，拉瓦锡查明了那些悬浮物来自玻璃容器，从而以坚实的实验数据否定了“水变成土”的错误观点。

“火粒子”学说，是波义耳为解释金属煅烧后重量增加的原因而提出来的。为了检验这一假说，拉瓦锡重复了波义耳在密闭的烧瓶中煅烧金属锡的实验。他与波义耳不同之处在于，在打开烧瓶之前对整个密闭体系进行了称量，结果发现整个体系在加热前后重量没有变化。这就证明波义耳曾经设想的在加热过程中火的微粒透过玻璃壁进入烧瓶内与金属锡结合而增重的观点是错误的。

拉瓦锡还通过对硫和磷等一些物质燃烧现象的定量实验研究，否定了统治化学长达百年之久的“燃素说”，建立了氧化学说，并确立了“质量守恒定律”。

拉瓦锡的定量实验研究，极大地丰富和发展了化学实验方法论。对物质及其变化，不仅要用定性分析方法，而且还必须运用定量分析方法，只有二者的有机结合，才能正确认识物质及其变化在质和量两个方面的性质和规律；化学实验是建立化学理论的基础和检验化学理论的标准。他曾明确指出：“在任何情况下，都应该使我们的推理受到实验的检验，除了通过实验和观察的自然道路去寻求真理以外，别无它途。”^①

拉瓦锡的化学实验方法论思想，对化学实验从定性向定量的发展，产生了积极和深远的影响，成为近代化学实验发展史上的重要里程碑。正是在此基础上，近代化学实验才得以蓬勃发展，从而拓展了化学科学研究的领域，导致了許多重要化学理论的建立和发展。

三 化学实验是化学科学理论建立和发展的基础

道尔顿(J. Dalton, 1766—1844)原子论就是在化学科学实验的基础上建立起来的。他通过化学实验，研究了许多地区的空气组成，发现各地的空气都是由氧、氮、二氧化碳和水蒸气四种重要物质的无数个微小颗粒(道尔顿称之为“原子”)混合起来的。他进一步分析一氧化碳和二氧化碳、沼气(CH_4)和油气(C_2H_4)的组成，发现前两种气体中氧的重量比为1:2，后两种气体中与同量碳化合的氢的重量比为2:1。这使道尔顿发现了倍比定律。这个实验定律成为他确立化学原子论的重要基石。

1805年，法国化学家盖·吕萨克(J. L. Gay-Lussac, 1778—1850)在研究氢气和氧气的化合时发现，100个体积的氧气总是和200个体积的氢气相化合；在进一步研究氨与氯化氢、一氧化碳与氧气、氮气与氢气的化合时，居然发现都具有简单整数比的关系。于是，他于1808年发现了气体化合体积定律。为了对这个实验定律进行理论解释，意大利化学家阿佛加德罗(A. Avogadro, 1776—1856)引入了“分子”的概念，提出了著名的分子假说。

^① 拉瓦锡：化学纲要序言，自然科学哲学问题丛刊，1984年第4期，第24页。

1824 年, 年仅 24 岁的德国化学家维勒(F.Wöhler, 1800—1882)做了一个在化学实验发展史上非常著名的实验, 即用氯化铵(NH_4Cl)水溶液同氰酸银(AgCNO)作用来制取氰酸铵(NH_4CNO)。然而, 当他滤去氯化银(AgCl)沉淀, 并对溶液进行蒸发时, 并没有得到所期望的氰酸铵, 而得到了一种白色结晶状物质。为了确定这种白色结晶物, 维勒又用了 4 年的时间, 采用不同的无机物不同的方法, 对其进行了一系列的定性和定量实验研究, 最后终于完全确认实验中所得到的这种白色结晶状物质, 正是动物机体内的代谢产物尿素。1828 年, 他发表了“论尿素的人工合成”的论文, 以雄辩的实验事实公布了这一重大成果。这一实验成果, 意义重大, 动摇了传统的“生命力论”的基础, 开辟了用无机物合成有机化合物的新天地。1845 年, 德国化学家柯尔柏(H.Kolbe, 1818—1884)用木炭、硫黄、氯水等无机物合成了酒精、蚁酸、葡萄糖、苹果酸、柠檬酸、琥珀酸等一系列有机酸, 进而还合成了油脂类和糖类物质; 到了 19 世纪后期, 有机合成更加蓬勃发展, 先后用人工方法合成了染料、香料、药物和炸药等。

维勒不但用氰酸铵人工合成了尿素, 而且还分析了氰酸银的化学组成, 结果竟与李比希(J.von Liebig, 1803—1873)对雷酸银的化学组成的分析结果相当地吻合。而氰酸银和雷酸银确是两种性质不同的化合物。为此, 维勒与李比希又共同研究了氰酸、雷酸和三聚氰酸, 发现他们的化学组成完全相同, 而性质却不相同。化学大师瑞典的贝采里乌斯(J.J.Berzelius, 1779—1848)在这些实验事实的基础上, 提出了“同分异构”的概念, 认为之所以性质不同, 是由于它们的化学结构不同。这导致了有机化合物经典结构理论的建立和发展。

1800 年, 历史上第一个电池——提供稳定、持续电流的电源装置, 即伏打(A.Volta, 1745—1827)电堆诞生了。它是近代化学实验发展史上非常重要的实验手段之一。应用这种实验手段来引发化学反应, 推动了电化学的诞生和发展。1800 年 3 月, 英国化学家尼科尔森(W.Nicholson, 1753—1815)和卡里斯尔(A.Carlisle, 1768—1840)就用电堆电解了水; 1807 年, 英国化学家戴维(H.Davy, 1778—1829)又用电解熔融盐的方法制出了金属钠、钾、镁、钙、锶、钡和非金属元素硼和硅。至此, 电解法成了一种经常被采用的重要的化学实验方法。戴维的助手法拉第(M.Faraday, 1791—1867)对电解过程进行了深入的研究, 在他 1834 年发表的《关于电的实验研究》这篇论文中, 提出了著名的“法拉第电解定律”。他的工作, 使电化学的研究从定性走向了定量, 对电化学的发展作出了重要贡献。

此外, 近代化学实验还开辟了化学热力学和化学动力学两大研究领域, 推动了物理化学的完善和发展。

四 近代化学实验方法

近代化学实验的蓬勃发展与近代化学实验方法论的发展有着十分密切的关系。在这一时期, 人们创立或发展了诸如系统定性分析法、重量分析法、滴定分析法、光谱分析法、电解法等很多经典的化学实验方法。

1. 系统定性分析法

系统定性分析法是为了检验矿物质中的微量甚至痕量元素, 克服传统的湿法定性检验法和吹管检验法的局限性而被创立的。德国化学家浦法夫(C.H.Pfaff, 1773—1852)在他 1821 年出版的《分析化学教程》中提出了“初

步试验”和“分组”的思想。1829年德国化学家罗斯(H. Rose, 1795—1864)在他编著的《分析化学教程》中,首次明确地提出和制订了系统定性分析法,但该书内容过繁,条理不够清楚。1841年,德国化学家富里西尼乌斯(C. R. Fre-senius, 1818—1897)在他出版的教科书《定性化学分析导论》中对罗斯的系统定性分析法提出了修订方案。这本书内容清晰,颇受欢迎,再版16次,被译成中文、英文出版。他提出的分组法与目前通用的定性分析教科书中所采用的方法基本相同。

2. 重量分析法重量分析法在19世纪得到了很大的完善和发展,主要表现在分离和测定方法以及操作技术方面。罗斯在其编著的《分析化学实验综论》一书中提出了很多有效的新的分离方法,尤其是应用了缓冲溶液和配合掩蔽剂,这在分析化学发展中是一项重要的进步。贝采里乌斯是当时最享盛誉的分析化学家,他曾测定了2000多种化合物的化合量,使用了很多新的测定方法、试剂和仪器设备,使定量分析的精确度达到了空前的高度,对定量分析法的完善和发展做出了重大贡献。富里西尼乌斯在其1846年编著的《定量分析教程》中,介绍了灵敏度已达0.1毫克的天平;介绍了各种元素的重量测定方法;解决了一系列复杂的分离问题。他们所运用的分离和测定方法以及操作技术,至今大都仍被采用。

运用这些分析方法,在19世纪人们发现了锆和铪、铍、铀和钍、硒和碲、钼、钨、铬、镉、锗、铋、钽、钒、钇、铯、钡、铷、铟等元素及一些稀土元素。

3. 滴定分析法

滴定分析法是在18世纪中叶从法国诞生和发展起来的。它最初的含义只是一种对化工原料及产品的纯度进行简易、快速测定的方法。1729年,法国化学家日夫鲁瓦(C. J. Geoffroy, 1685—1752)第一次利用滴定分析的原则,以碳酸钾为基准物,测定了醋酸的相对浓度;1750年,法国化学家文耐尔(G. F. Venel, 1723—1775)在滴定实验中运用了指示剂,1767年,英国化学家W. 路易斯(W. Lewis, 1708—1781)在滴定实验中不仅采用了指示剂,而且还提供了分析的绝对结果,但他测量滴定溶液消耗量的方法采用的则是称重法;法国化学家德克劳西(F. A. H. Descroizilles, 1751—1825)较早地在酸碱滴定中采用体积量度,他发明了“碱量计”可以说是最原始的滴定管。随着人工合成指示剂的出现,到了19世纪30—50年代,滴定分析法的发展达到极盛时期,其应用范围显著扩大,准确度大为提高,接近了重量分析法所能达到的程度。在这一时期,盖-吕萨克发明的银量法,大大提高了滴定分析法的信誉;滴定分析法的种类更加繁多,除酸碱中和滴定法外,人们还发明和发展了沉淀滴定法、氧化还原滴定法、络合滴定法等一些具体的滴定方法。到了19世纪50年代,又出现了带有玻璃磨口塞和用剪式夹控制流速的滴定管,使这种方法更趋完善。

4. 光谱分析法

光谱分析法是利用光谱线来分析某种元素存在与否的一种方法。它是由德国化学家本生(R. W. Bunsen, 1811—1899)和基尔霍夫(G. R. Kirchhoff, 1824—1887)共同创立的。1855年,本生为克服当时的煤气灯的缺点,发明了著名的“本生灯”。金属及其盐在本生灯火焰中能产生特殊的带有颜色的火焰,据此可以鉴别这些金属。为了使产生的光谱具有更好的观察效果,他们两人合作研制成了分光镜,并用这种新的实验仪器发现了铯、铷等元素。随后人

们又用这种方法发现了铊、铟、镓、钪、锗等。

五 近代化学实验的特点

随着欧洲资本主义生产方式的建立和发展，近代化学实验作为一种相对独立的科学实践活动，从生产实践中分化出来，历经两百多年，取得了突飞猛进的发展。

1. 明确了化学科学实验的性质、目的和作用

化学实验不再是服务于炼丹术等封建迷信和宗教神学的婢女，不再是从属于观察的附带的东西，而是一种独立的化学科学实践、重要的化学科学认识方法。只有通过化学科学实验，才能达到对物质的本质及其变化规律的正确认识。同古代化学实验相比，近代化学实验已不仅仅是获得化学实验事实的重要途径、手段和方法，而且还具有验证化学假说和检验化学理论、发现和合成新的化学物质、推动化学分支学科建立和发展的作用。

2. 建立和发展了化学实验方法论

波义耳和拉瓦锡有关化学实验的思想和主张，对化学实验方法论的建立起到了重要的奠基作用。此后，许多化学家又创立了一系列化学实验方法，丰富和发展了化学实验方法论。正是这些先进的方法论思想，提供了近代化学科学发展的思想条件。

3. 发明和研制了较先进的实验仪器和装置

如精密天平、伏打电堆、光谱分析仪、“弹式”量热计、磨口滴定管等等。这些先进的实验仪器和装置把化学科学研究带入了一个又一个崭新的领域，为近代化学科学的发展奠定了先决的物质基础。

第三节现代化学实验

19 世纪末 20 世纪初，以震惊整个自然科学的电子、X 射线与放射性等三大发现为标志，化学实验进入了现代发展阶段。同近代化学实验相比，现代化学实验具有如下特点。

一 实验内容以结构测定和化学合成实验为主

1. 结构测定实验

结构测定实验源于人们对阴极放电现象微观本质的探讨。早在 1836 年，法拉第就曾研究过低压气体中的放电现象。1869 年，德国化学家希托夫(J.W.Hittorf, 1824—1914)发现真空放电子阴极，并以直线传播。1876 年，戈尔茨坦(E.Coldstein, 1850—1930)将这种射线命名为“阴极射线”。1878 年，英国化学家克鲁克斯(Sir W.Crookes, 1832—1919)发现阴极射线能推动小风车，被磁场推斥或牵引，是带电的粒子流。1897 年，克鲁克斯的学生英国物理学家 J.J.汤姆生(J.J.Thomson, 1856—1940)对阴极射线作了定性和定量的研究，测定了阴极射线中粒子的荷质比。这种比原子还小的粒子被命名为“电子”。电子的发现，动摇了“原子不可分”的传统化学观。

1895 年，德国物理学家伦琴(W.C.Röntgen, 1845—1923)在研究阴极射线时发现了 X 射线。1896 年，法国物理学家贝克勒(A.H.Becquerel, 1852—1908)发现了“铀射线”。次年，法国著名化学家玛丽·居里(M.Curie, 1867—1934)又发现了钍也能产生射线，于是她把这种现象称为“放射性”，把具有这种性质的元素称为放射性元素。居里夫妇经过极其艰苦的努力，于 1898 年先后发现了具有更强放射性的新元素钋和镭。随后，又花费了几年时间，从两吨铀的废矿渣中分离出 0.1 克光谱纯的氯化镭，并测定了镭的原子量。镭曾被称为“伟大的革命家”，克鲁克斯尖锐地评论说：“十分之几克的镭就破坏了化学中的原子论”。可见这一成果意义的重大。为此，居里夫人获得了 1911 年的诺贝尔化学奖。

1898 年，J.J.汤姆生的学生 E.卢瑟福(F.Rutherford, 1871—1937)发现铀和铀的化合物发出的射线有两种不同的类型，一种是 α 射线，一种是 β 射线；2 年后，法国化学家维拉尔(P.Villard, 1860—1934)又发现了第三种射线 γ 射线。1901 年卢瑟福和英国年青的化学家索迪(F.Soddy, 1877—1956)进行了一系列合作实验研究，发现镭和钍等放射性元素都具有蜕变现象。据此，他们提出了著名的元素蜕变假说，认为放射性的产生是由于一种元素蜕变成另一种元素所引起的。这一成果具有革命意义，打破了“元素不能变”的传统化学观。卢瑟福也因此荣获 1908 年的诺贝尔化学奖。

电子、放射性和元素蜕变理论奠定了化学结构测定实验的理论基础。

1912 年，德国物理学家劳埃(M.von Laue, 1879—1960)发现 X 射线通过硫酸铜、硫化锌、铜、氯化钠、铁和萤石等晶体时可以产生衍射现象。这一发现提供了一种在原子-分子水平上对无机物和有机物结构进行测定的重要实验方法，即 X 射线衍射法。

无机物的结构测定的真正开始是 X 射线衍射法发现以后。在此之前，象氯化钠这样简单的离子化合物的结构问题，对化学家来说都是一个难题，但运用这种方法之后，化学家才恍然大悟，原来其结构是如此简单。本世纪 20—30 年代，人们运用 X 射线衍射法分析测定了数以百计的无机盐、金属配合

物和一系列硅酸盐的晶体结构。

有机物的晶体结构测定始于 20 年代。在此期间,人们测定了六次甲基四胺、简单的聚苯环系、己链烃、尿素、一些甾族化合物、镍钛菁、纤维素以及一系列天然高分子和人工聚合物的结构。40—50 年代,有机物晶体结构分析工作更加蓬勃发展,最突出的是 1949 年青霉素晶体结构、1952 年二茂铁(金属有机化合物)结构和 1957 年维生素 B₁₂ 结构的测定。另外,人们应用 X 射线衍射法还对一系列复杂蛋白质的结构进行了测定,取得了许多重大突破,为分子生物学理论的建立奠定了坚实的实验基础。

2. 化学合成实验

化学合成实验是现代化学实验的一个非常活跃的领域。随着现代化学实验仪器、设备和方法的飞速发展,人们创造了很多过去根本无法创设的实验条件,合成了大量结构复杂的化学物质。

制备硼的氢化物,一直是久未攻克的化学难题。1912 年,德国化学家斯托克(A.Stock, 1876—1946)对硼烷进行了开创性的工作,发明了一种专门的真空设备,采取低温方法合成了一系列硼的氢化物(从 B₂H₆ 到 B₁₀H₁₄),并研究了它们的分子量和化学性质。1940 年,斯托克的学生 E.威伯格用氨与硼烷作用制成了结构与苯相似的“无机苯”B₃N₃H₆。1962 年,英国化学家巴特利特(N.Bartlett, 1932—)合成了第一种稀有气体化合物六氟铂酸氙,打破了统治化学达 80 年之久的稀有气体“不能参加化学反应”的传统化学观,开辟了新的化学合成领域。

有机合成在本世纪取得了突飞猛进的发展,合成了许多高分子化合物,如酚醛树脂(1907 年)、丁钠橡胶(1910 年)、尼龙纤维(1934 年)。对有机天然产物合成贡献较大的化学家,应首推美国化学家伍德沃德(R.B.Woodward, 1917—1979)。他先后合成了奎宁(1944 年)、包括胆甾醇(胆固醇)和皮质酮(可的松)在内的甾族化合物(1951 年)、利血平(1956 年)、叶绿素(1960 年)以及维生素 B₁₂(1972 年)等。为表彰他的杰出贡献,他获得了 1965 年的诺贝尔化学奖,被誉为“当代的有机化学大师”。

1965 年,我国科学家第一次实现了具有生物活性的结晶牛胰岛素蛋白质的人工合成,这对揭示生命奥秘具有重要意义;1972 年美国化学家科勒拉(H.G.Khorana, 1922—)等人使用模板技艺合成了具有 77 个核苷酸片断的 DNA,其后又合成了含有 207 个碱基对的具有生物活性的大肠杆菌 DNA;1981 年我国科学家又实现了具有生物活性的酵母丙氨酸 tRNA 的首次全合成,取得了又一突破。

现代化学实验除上述两方面以外,还在溶液理论的发展和化学反应动力学的建立等方面发挥了重要作用。

二 化学实验手段的现代化

化学实验手段是制约化学科学研究的非常重要的方面。虽然在 19 世纪化学实验手段已经有了相当的水平,形成了一套相对比较完整的化学常规仪器(包括各种玻璃仪器在内)和设备,但这些仪器和设备的质量还不高,种类还不够齐全,精度也不够灵敏和准确。为克服这些不足,人们在对原有的化学实验手段加以改进的同时,积极吸收现代各种科学技术的新成果,创造和发明了一大批现代化的实验仪器和设备。

在 18—19 世纪,天平曾是使化学实验定量化的重要实验手段,借助于天平,人们取得了一系列重要实验成果。但当时的天平还比较粗糙,灵敏度一般只能达到 0.1 克—0.01 克左右。为了满足现代化学科学研究的需要,人们对天平进行了改进和完善,制造了一些灵敏度更高、操作更方便的天平。如现代的分析天平,从称量范围来看,有常量分析天平(范围:0.1 毫克—100 克)、微量分析天平(范围:0.001 毫克—20 克)和介于二者之间的半微量分析天平;从种类来看,有等臂式天平和悬臂式超微量天平(灵敏度可达 0.01 微克,最大载重为 1 毫克)。这些天平具有灵敏、准确和操作方便(如应用光学、电学原理制造的电光天平)等特点。

现代化学的许多重大突破都与化学实验手段的改进、发明和创造紧密相关。1919 年 J.J.汤姆生的助手阿斯顿(F.W.Aston, 1877—1945)改进了磁分离器,制成了第一台质谱仪,从而把人类研究微观粒子的手段向前大大推进了一步。阿斯顿利用质谱仪发现了氖、氩、氦、氙、氡等元素都有同位素存在;在 71 种元素中,他发现了天然存在的 287 种核素中的 212 种。为表彰阿斯顿在研制质谱仪和发现众多核素方面的卓越贡献,他于 1922 年获得了诺贝尔化学奖。

现代化学实验使用了很多灵敏、精确和快速的实验手段,表现出仪器化的特点,红外光谱、核磁共振、顺磁共振和质谱等实验手段已被广泛使用。在微量分析和痕量杂质分析方面,出现了原子吸收光谱、极谱分析、库仑分析以及萃取、离子交换分离、色谱、电泳层析等新的分析、分离技术和手段;在化学元素或组分的分析测定、微观分子结构、晶体结构、表面化学结构等的分析测定方面,出现了 X 射线、荧光光谱、光电子能谱、扫描电镜、电子探针、拉曼激光光谱、分子束、四圆衍射仪、低能电子衍射、中子衍射、皮秒激光光谱等现代化的实验技术和手段。运用这些实验手段,能够更精确地进行化学定量检测,达到微(10^{-6})米、纳(10^{-9})米、甚至皮(10^{-12})米数量级,从而大大促进了化学实验手段的精密化。

近 30 年来,计算机在化学实验中得到了卓有成效的应用,正逐步成为重要的化学实验手段。目前出现的各种仪器的联机使用和自动化,不仅用于电分析化学、谱学、微观反应动力学、平衡常数的测定、分析仪器的控制、数据的存贮与处理、以及化学文献检索等,而且还能使经典化学操作达到控制的自动化。

三 化学实验方法的现代化

随着现代化学科学研究领域的不断扩展和深入,以及现代科学技术和现代工业的迅速发展,化学实验方法日趋现代化。

1. 对传统化学实验方法的改进和完善

虽然现代化学实验手段具有快速、灵敏、准确的特点,但由于一些实验仪器和设备的价格比较昂贵、结构比较复杂、调试维修的任务较重,因此使它们的普及受到相当大的限制,从而使一些传统的化学实验方法仍有普遍利用和进一步改进、完善的必要和可能。

例如 EDTA 滴定法就是对传统的滴定法的改进和发展。在 30 年代,人们已经知道乙二胺四乙酸(简称 EDTA)等氨基多羧酸在碱性介质中能跟钙、镁离子生成极稳定的配合物。对这类化合物,瑞士化学家施瓦岑巴赫(G.Schwarzenbach, 1904—)进行了广泛的研究,并成功地以紫尿酸铵为指示

剂，用 EDTA 滴定了水的硬度。1946 年他又提出以铬黑 T 作为络合滴定的指示剂，从而奠定了 EDTA 滴定法的基础。运用这种方法，人们对近 50 种元素进行了直接滴定(包括返滴法)，对 16 种元素进行了间接滴定。由于这种方法应用范围较广，因此受到普遍欢迎，至今仍是一种常规的化学实验方法。

2. 现代化学实验方法

现代化学实验方法，是在满足现代化工业生产和化学科学技术对化学试样中微量乃至痕量组分如何进行快速、灵敏、准确检测的要求基础上建立和发展起来的。这些方法从原理上看，都超越了经典方法的局限性，几乎都不是通过定量化学反应的化学计量，而是根据被检测组分的某种物理的或物理化学的特性(如光学、电学和放射性等方面的特性)，因而具有很高的灵敏度和准确性。

(1) 光学分析法。

光学分析法是利用光谱学的研究成果而建立起来的一类方法，它包括光度法和光谱法等。

光度法 光度法的前身是比色法，这种方法在 19 世纪中期开始盛行，所采用的实验手段主要是一些目视比色计，如“Nessler 比色管”、“目视分光光度计”等。但使用这些仪器容易引起观测上的主观误差，并易使测试人员眼睛疲劳，分辨能力降低。为此，在 19 世纪末，人们将光电测量器利用到比色计上，设计和发明了光电比色计。本世纪 30 年代以后，人们利用棱镜和能发射紫外与可见连续光谱的汞灯、氢灯制造了可见光紫外光分光光度计。由于这种分光光度计扩展了测定组分吸收光谱的利用范围，因此到 60 年代，它已基本上取代了光电比色计。

40 年代红外技术开始在化学实验研究中加以运用并得到较快的发展，人们可以根据红外光谱来推断分子中某些基团的存在。50 年代初又发展出了原子吸收光度法，由于它具有灵敏、快速、简便、准确、经济和适用广泛等诸多优点，所以发展极快，十几年内就得到了普及。

光谱法 光谱法产生于 19 世纪 50 年代，但只是利用光谱来进行一些定性检验。利用光谱广泛进行半定量、定量检测则开始于本世纪 20 年代。本世纪 60 年代，利用光电倍增管为接受器的多道光谱仪问世，使光谱定量分析的速度和自动化程度大为提高。在此期间，人们又进行了利用 ICP(电感耦合等离子炬)作为光谱分析光源的尝试，极大地提高了光谱分析的灵敏度、准确度和工作效率。

(2) 极谱法。

极谱法是电化学分析法中最重要和最成功的一种方法。其创始人是捷克斯洛伐克的化学家海洛夫斯基(J. Heyrovsky, 1890—1967)，他于本世纪 20 年代开始研究极谱分析法。1925 年，他与日本化学家志方益三合作，发明了世界上第一台能自动记录电流、电压曲线的极谱仪。1946 年，他又在极谱仪上配置了示波器，从而发明了示波极谱法。极谱法在痕量分析中发挥了极为重要的作用，海洛夫斯基因此于 1959 年获得了诺贝尔化学奖。

(3) 色谱法。

色谱法也叫色层法、层析法，其创始人是俄国化学家米哈依尔·茨卫特(M. Tsvett, 1872—1920)。这种方法最初是作为一种分离手段而在实验中被加以研究和运用的。德籍奥地利化学家 R. 库恩(R. Kuhn, 1900—1967)就曾运用层析法在维生素和胡萝卜素的离析与结构分析中取得了重大研究成果，并

于 1938 年获得了诺贝尔化学奖。英国化学家 A.马丁(A.Martin, 1910—)对层析法的发展贡献卓著,他因此于 1952 年获得了诺贝尔化学奖。

本世纪 50 年代以后,人们将这种分离手段与检测系统连接起来,从而使其成为一种独特的分析方法,它包括气相色谱和液相色谱等。目前这种方法是应用最广泛、最具特色的分析方法之一,而且表现出广阔的发展前景。

4. 质谱法

质谱法的基本原理是使化学试样中的各种组分在离子源中发生电离,生成不同荷质比的带正电荷的离子,经过加速电场的作用,形成了离子束,进入质量分析器。在质量分析器中,再利用电场和磁场,使其发生相反的速度色散,将它们分别聚焦而得到质谱图,从而确定其质量。这种方法在同位素质量的测定中被广泛应用。

最早的质谱仪的雏型,是 1910 年 J.J.汤姆生设计的一种没有聚焦的抛物线质谱装置,他利用这台仪器第一次发现了稳定同位素;1918 年美国科学家丹普斯特(A.J.Dempster, 1886—1950)研制了第一台单聚焦质谱仪,并利用该仪器发现了锂、钙、锌和镁的同位素。此后,人们又相继发明了速度聚焦质谱仪、双聚焦质谱仪和离子源质谱仪,使这种方法的适用性更加广阔。60 年代出现的二次离子质谱法,显示了更巨大的魅力。

此外,放射化学分析法也是现代化学实验方法中的一种比较重要的方法。

四 化学实验规模和研究方式的变化

现代化学实验在实验规模和研究方式上发生了很大变化。最早的化学实验室大概要算炼丹术士的实验室,实验室中的实验设备和条件极其粗糙和简陋,实验者的实验目的也只是为了寻求“长生不老”和“点石化金”的“仙药”。到了 17 世纪至 19 世纪初期,当化学成为一门独立的科学以后,化学实验室才逐渐多了起来,出现了一大批从事化学科学实验研究的化学家。但这些实验室都属于私人所有,如波义耳在他姐姐家建立的实验室,化学大师贝采里乌斯的实验室是他的厨房,在那里化学实验和烹调一起进行。私人实验室的规模比较小,除实验室的主人外,最多只能容纳 1—2 个助手或 1—2 名学生。李比希曾在盖·吕萨克的私人实验室里当过助手。这个时期的化学实验基本上属于个体式研究,个别的科学家独居楼阁,摆弄着烧瓶、量筒、天平等仪器,其规模和形式近似于手工业作坊。

第一个公共化学实验室是 1817 年英国化学家 T.汤姆生(T.Thomson, 1773—1852)在格拉斯哥大学建立的供教学用的实验室。自此之后,欧洲各大学都纷纷仿效,建立了自己的化学实验室。这些实验室的建立,不仅改变了化学教育的面貌,使实验成为培养和提高学生素质的重要内容,而且使大学不再是单纯传授化学知识的场所,还是进行化学科学研究的重要基地。在 19 世纪的公共实验室中,最著名的是 1824 年李比希在吉森大学建立的化学实验室,它可以同时容纳 22 名学生进行化学实验。在那里,李比希培养了许多优秀的化学家,以他为核心的“吉森学派”是近代化学史上公认的一大学派。他们这种集体式的合作研究,取得了惊人的成就。在 1901—1910 年最早的 10 位诺贝尔化学奖获得者当中,李比希的学生竟然占了 7 位。这一成就在化学史上首屈一指。

从本世纪 30 年代起,出现了国家规模的大型化学科学研究机构和庞大的

实验基地；到了 70 年代，实验的规模则扩大到国际间相互合作的新阶段。许多尖端实验决不是任何个人、一般科研组织所能胜任的，而必须由国家统一规划、组织协调各学科科学家来共同攻关。实验用人广、花费多、规模大、组织周密和协调，已成为现代化学实验的又一重要特点。

第二章 化学实验的要素

毛泽东曾指出：“阶级斗争、生产斗争和科学实验是建设社会主义强大国家的三项伟大革命运动”。那么什么是科学实验？什么是化学实验？化学实验是由哪些要素构成的？各要素在化学科学认识过程中的地位和作用是怎样的？各要素之间的关系又是怎样的？这是本章将要探讨的几个问题。

第一节 化学实验

人们在社会生活中，总是根据一定的目的，运用某些工具和手段去改造客观对象，以便达到预期的结果。人们能动地探索和改造现实世界的社会活动就是实践，即社会实践。科学实验是在生产发展的基础上分化和发展起来的一种社会实践形式，也就是在科学认识活动中运用实践方法的一种科学实践活动。实验方法是科学认识的主观手段，它与科学实验是不同的两个概念。

①作为科学认识主观手段的实验方法在科学认识发展中所起的作用日益受到人们的重视。

一 化学实验

化学是在原子、分子水平上，研究物质的组成、结构、性质和变化规律的一门基础自然科学。化学的产生和发展，以至被确立为一门真正的科学，不仅与人类的生产活动密切相关，而且始终与化学实验紧密联系着。化学科学和技术上的重大发现和突破，一般都不是直接来源于生产实践，而是首先在化学实验中取得成果，然后再应用到化学生产实践中去。如 1919 年英国科学家 E. 卢瑟福利用 α 粒子散射实验研究各种元素的原子核时，用镭作为 α 射线源对氮进行轰击时，发现产生一种新的、射程长、质量小的粒子，经研究得知这种微粒的质量与氢原子相等，带一个正电荷，卢瑟福把它叫质子，这是在实验室里实现的第一个人工核反应实验。后来他又发现用 α 粒子轰击硼、氟、钠、铝、磷等也会发生类似的核反应，这些实验进一步证明了原子核中都存在着质子这种微粒。这一重大发现为原子核模型的建立提供了可靠的依据。又如，1878 年德国化学家拜耳(A.V.Baeyer, 1835—1917)在实验室里人工合成了靛蓝，这是科学史上出现的一项巨大成就，这项研究成果为靛蓝的工业生产奠定了科学基础。化学史的大量事实有力地证明了化学实验是化学科学和化学工业发展的重要基础。可以说，没有化学实验，就不可能有近代和现代的化学科学，没有实验就不可能有化学科学的长足进步和发展。化学实验在化学教学中占有重要地位，化学教学质量的高低，在很大程度上决定于是否能充分发挥化学实验的作用。因此，对什么是化学实验、它有什么优点和特点等进行分析 and 探讨，提高认识，以便自觉地运用化学实验进行科学研究和化学教学，这对加速化学科学的迅速发展，促进化学生产的进步以及提高化学教学质量都具有重要意义。

所谓的化学实验就是根据化学实验目的，实验者运用实验仪器、设备及装置等物质手段，在人为特定的实验条件下，变革化学实验对象的状态或性质，通过实验观察获得各种化学科学事实(即化学实验事实)的一种科学研究方法。

化学实验与化学观察是既有联系，又有区别的两种化学科学研究方法(或化学教学方法)。化学观察与化学实验二者是相互依存的，化学观察是化学实验的前提，化学观察依赖于化学实验，化学观察需要化学实验的证实；化学实验必须进行观察，实验离不开观察。特别是在现代化学科学技术中，化学实验是同化学观察紧密结合在一起的，它们都是对研究对象进行有目的、有计划的特殊实践活动。但是化学实验克服了纯粹观察(自然观察)的局限性，

① 舒炜光等编：自然辩证法原理，吉林人民出版社 1984 年版，第 120 页。

它有许多自然观察所不具有的优点。

二 化学实验的优点

它的优点主要表现在以下几个方面。

1. 化学实验能最大限度地发挥人的主观能动性

通常的自然观察是在自然发生的条件下进行的，观察者对观察对象及其所产生的现象不给以任何干预。例如，自然界中金属的锈蚀、某些物质的自燃等现象，便是人们不给以干预就能产生的化学变化，并能被观察者所观察到的化学现象。在科学技术较为发达的今天，人们在日常生活中已经能接触到越来越多的新物质、新材料，对它们的一些属性通过观察已有了一些认识。在自然条件下，有些化学现象是瞬间完成的，有些化学变化又是经过较长时间才能完成的，还有些化学变化在自然条件下是不会发生的。所以，从一定意义上讲，这种观察是处于一种被动状态的，限制了人的主观能动性，是很难达到揭示研究对象本质属性的一种研究方法。为了深入地研究和认识物质的本质或规律性，就必须充分发挥人的主观能动性，采取人为干预研究对象的办法，自觉地、主动地变革它们，使那些直接观察不到的化学现象，通过化学实验使其展现出来，使那些自然界不存在的新物质、新元素通过化学实验人为地创造出来，使那些自然界存在的，但又满足不了人们需要的物质，被人工合成出来。所以说，化学实验中人的主观能动性不仅表现在能够主动地揭示研究对象的本质属性及其变化的规律性，使人的认识不断深化，而且还表现在能改造、变革研究对象，创造出新物质、新材料，以满足人类在各方面的需要。

2. 化学实验能实现对研究对象的认识目的

化学实验总是先在实验者头脑中有了明确的实验目的之后才进行的。不同的化学实验可能有不同的实验目的。有的化学实验是为了寻找某一化学现象产生的原因，例如，人类对火及燃烧现象的实践经验，虽说已有 50 万年以上的历史，但是关于物质燃烧现象的本质说明，在欧洲流传着的“燃素说”大约统治了一百年之久。法国化学家拉瓦锡从 1772 年至 1777 年的 5 年中，用天平做了大量的燃烧实验，于 1777 年提出了燃烧的氧化学说，使燃烧现象得到了科学的解释。有的化学实验是为了认识某物质具有的属性，如在 1772 年英国化学家 D. 卢瑟福利用燃烧磷的方法除去密闭器皿里的氧气，对得到的剩余气体(即氮气)的性质进行了实验研究，了解到该气体具有灭火性，不能维持动物的生命，也不能溶于苛性钾溶液，因此，他给它命名为“浊气”。同年，英国化学家普里斯特里(J. Priestley, 1733—1804)做了使木炭在密闭于水上的空气里燃烧的实验，并用石灰水吸收剩余的气体，继续实验发

现剩下的 $\frac{4}{5}$ 的空气不能支持燃烧，也不能维持生命。瑞典化学家舍勒

(C. W. Scheele, 1742—1786)和英国化学家卡文迪许(H. Cavendish, 1731—1810)在这时也做过木炭在密闭空气中燃烧的类似实验，经过对剩余气体的实验研究，发现这种气体较空气轻，能灭火，其性质颇似“固定空气”(二氧化碳)，不过其灭火性不如“固定空气”显著。后来拉瓦锡给“浊气”命名为 Nitrogen，即氮，至此，人们对空气含有的氮及其性质才有了初步认识。有的化学实验则是为了验证某一假说是否成立，例如，1904 年 J. J. 汤姆生根据电子的发现，提出了原子模型，他认为原子是一个平均分布着正电荷的

粒子，在这种粒子中嵌着许多电子，中和了正电荷。这是一个关于原子结构的假说。E.卢瑟福为了验证汤姆生原子模型这一假说的可靠性，他做了 α 粒子轰击金属箔的实验，结果发现，并不像J.J.汤姆生想像的那样 α 粒子能穿透原子而通行无阻，除了大部分 α 粒子穿透过去之外，还有一小部分 α 粒子出现了大角度的散射，这表明原子内存在着强大的正电中心。实验事实使E.卢瑟福否定了J.J.汤姆生的原子模型这一假说，并提出了核式原子模型这一新的假说。有的实验是为了解决科学技术和工农业生产需要的物质材料或所提出的问题，例如，随着汽车工业的大发展，迫切需要大量橡胶，天然橡胶远远满足不了这种需求，于是人们提出了人工合成橡胶的科学研究课题。这项研究工作首先是在实验室里，从对天然橡胶的化学组成分析和结构分析开始的，19世纪20年代就有不少化学家从事这方面的实验研究，直到19世纪末才弄清天然橡胶是由分子量很大的异戊二烯聚合物构成的，它给人们的启示是，要实现人工合成橡胶的目的，首先必须能够制得可聚合成橡胶的单体。到1913年以前，人们已经合成了21种这种单体，这就为实现合成橡胶工业化奠定了科学基础，而这些工作的进行，研究成果的取得，始终离不开实验室里的实验研究。

3. 化学实验能够证明客观物质的必然性

必然性是事物在联系和发展中由自身矛盾所规定的。揭示事物自身发展的必然性，是人类认识的重要使命，也是科学的任务。恩格斯指出：“单凭观察所得的经验，是决不能充分证明必然性的。”^①大量科学事实表明，实验不仅能够发现通过纯粹观察所不能看到的新事实，而且更为重要的是能够用实验观察到的事实去检验假说和理论的正确性。例如，瑞典化学家阿累尼乌斯(S. Arrhenius, 1859—1927)在前人取得的一系列实验结果及自己对于电解质溶液导电性实验研究的基础上，于1887年发表了电离理论的总结性论文。他提出的电离学说，当时在国内不仅没有得到支持，而且遭到许多科学家的怀疑和反对。这是因为电离学说符合当时流行的观点，电离学说认为盐的分子在溶液中能自动离解成离子，而当时则认为没有外加电力，电解质不可能自动离解。其后，冰点降低的实验事实进一步证实了电离学说的正确性。经过10年，阿累尼乌斯的电离学说终于获得了化学界的普遍承认。在这里，冰点降低、沸点升高等实验证实了电解质电离的必然性。

三 化学实验的特点

化学实验与生产实践和自然观察相比较有以下一些特点。

1. 化学实验可以排除次要、偶然因素的干扰，简化、纯化研究对象

由于我们研究的任何物质对象都具有一定的复杂性，这种复杂性不仅表现在它跟周围环境以及与其它物质间存在着相互交织的联系、作用和影响，而且还表现在物质自身内部各种因素之间彼此的相互联系、相互作用与相互影响。在这种复杂状况下，使得物质的某些特性，特别是本质属性常常被掩盖起来；有时又由于受到某些因素的干扰，它们的一些属性也不易被人们察觉。因此，单凭观察无法揭示各种事物、现象间的本质联系。马克思曾指出：“物理学家是在自然过程表现得最确实、最少受干扰的地方考察自然过程的，或者，如有可能，是在保证过程以其纯粹形态进行的条件下从事实验的。”

^① 恩格斯：自然辩证法，人民出版社1971年版，第207页。

①

在化学实验中，我们就是借助各种实验仪器和装置等实验手段，根据实验目的，在严格控制实验条件下，把物质从众多复杂的联系中分离出来，排除各种偶然的、次要的因素干扰，人为地控制一些条件，如某些现象发生，而使另一些现象不发生。这样就使被研究的物质的某些属性或联系在比较简化、纯粹的形态下呈现出来，通过多次、重复的实验观察，就能比较容易地发现物质及其变化过程的客观规律性，从而达到准确认识的目的。例如，为了了解哪些因素影响化学反应速度的问题，就要对一些具体物质的化学反应速度进行实验研究，首先，对某一特定的化学反应，在保持其他实验条件不变的情况下，只改变温度这一实验条件，观察温度升高或降低对化学反应速度有什么影响，经过多次实验观察，就会得到温度的改变对化学反应速度影响的规律性认识；同样，在保持温度不变的条件下，研究浓度(或压强)对化学反应速度的影响，从中了解浓度(或压强)对化学反应速度影响的规律性；再保持其他条件不变的情况下，观察催化剂对化学反应速度的影响。最后，通过对大量实验事实的归纳概括，从而得到温度、浓度、压强以及催化剂对化学反应速度产生影响的整体规律性认识。化学实验者就是这样通过实验在简化、纯粹的状态下，使物质的某些特性显示出来，以达到预期的实验目的。

2. 化学实验可以揭示极端条件下物质运动的规律性

在通常的条件下，物质具有的某些性质不能显示出来，但是，在化学实验中，人们可以凭借各种物质手段创造出特殊的强化条件，使物质的一些属性表现出来。例如，人们可以造成超高温、超低温、超真空、超强磁场等等条件，在这种特殊条件下去研究物质。又如，人们可以使石墨在超高压和高温的条件下，使之转化为金刚石。人们可以利用空气液化装置将空气压缩至约 2.02×10^7 帕，然后使之膨胀至 1.01×10^5 帕，温度就会较原来降低 50K，冷却的空气经过多次重复地压缩和膨胀之后便成为液态空气。液态空气呈淡蓝色，许多物质在液态空气的温度下性质发生急剧变化，如某些金属显示出超导性。又如，在 1.21×10^8 帕下，将白磷加热到 773K 就转化为具有片状结构、能导电的黑磷。把白磷隔绝空气加热到 533K，它就转变成红磷。红磷隔绝空气加热到 687K 就升华变成蒸气，迅速冷却就得到白磷。如果人们不能创造出超高压、超高温这样一些强化条件，石墨转化成金刚石、液化室气显示出的特殊性质、磷的各种同素异形体的性质以及它们间的相互转化关系，将无法被人们认识。可见，强化自然过程、创造极端条件，能使物质运动的特殊规律性展现出来，从而拓宽了我们对物质运动规律的认识。

3. 化学实验比较经济

人的科学认识是一个长期反复的过程，往往会遭到多次挫折和失败，才能取得成功。在对物质研究探索的过程中，化学实验具有规模小、周期短、花钱少的优点，即使实验失败，损失也不大。只有在化学实验室里，化学家经过实验的不断探索，直到取得成功的经验和建立起必要的理论之后，方可投入大规模的化学生产。

因此，化学实验可超越化学生产实践，走在化学生产的前面，直接为化学工业生产实践提供可靠的依据。例如，20 世纪初很多化学家积极从事合成氨工艺条件的试验和理论研究。德国化工专家哈伯(F. Haber, 1868—1930)经过多次的失败和得到不理想的产率后，终于在 1909 年报导了他用钨催化剂得到了氨浓度为 6% 的产率，实验结果说明合成氨实现工业化是可能的，这就

使合成氨迈出了实验室的实验阶段。其后，又进行了一系列的中间试验，不断解决生产技术中产生的一些实际问题，1913 年第一个合成氨工厂终于建成并投产了。

4. 化学实验可以重复进行，以提高实验的可靠性

有些化学变化瞬间完成，不易甚至无法进行仔细的观察和测量。为了便于观察研究，往往需要进行多次重复实验，从而保证观察到的现象和测得数据的准确性。凡是正确、可靠的实验结果都能为他人重复实验所证实。这说明化学实验成果或发现，需要重复实验，而化学实验也恰好具有便于重复的特点。例如，丹麦化学家厄斯特德(H. C. Ørsted, 1777—1851)使氯气通过红热的木炭和铝土的混合物，制得了氯化铝；然后再让氯化铝跟钾汞齐作用，得到了铝汞齐；再在隔绝空气的条件下把铝汞齐中的汞蒸发掉，他认为最后得到的金属是铝。实际上得到的是一种不纯的金属铝。因而，德国化学家维勒重复厄斯特德的实验，结果制不出金属铝，于是维勒重新设计了制铝的实验，结果获得了成功。^①

^① 袁翰青、应礼文编著：化学重要史实，人民教育出版社 1989 年版，第 135—136 页。

第二节 化学实验的要素

化学实验既是获得化学科学事实的基本科学方法，又是形成和检验化学科学假说与理论的实践基础。为了有效地发挥化学实验方法在化学科学探索中和化学教学中的作用，有必要了解化学实验的一系列方法论问题。

现代系统论观点认为，自然界的一切事物，它们无不都是系统，即自然界中，物质系统是普遍存在着的。那么，什么是系统呢？人们把由各种不同要素组成的、具有一定结构和功能的有机整体就叫做系统。化学实验也是一个系统，尽管在化学科学研究和化学教学中，可以把化学实验分为各种不同的类型，但是从认识论的角度看，它们都是由相同的要素，按照一定的相互联系方式而构成的有机整体。如果从横的方面、从相对静止的角度，对每一项具体实验做微观结构剖析，其构成的基本要素有三个：化学实验者、化学实验手段(包括仪器、装置以及科学方法)和化学实验对象。如果从纵的方面，从动态角度来看，每项具体化学实验又都是由紧密相联的化学实验的准备、化学实验的实施展开和化学实验的结束这样三个阶段所组成。化学实验过程的这种阶段性和各阶段连续性的统一，就构成了化学实验的动态结构(将在第五章系统讨论)。化学实验的各要素，在化学实验过程的各个不同阶段中，以不同的方式相互联系着，并通过各要素间的相互作用，推动化学实验作为过程从一个阶段向另一个阶段运动发展。可见，化学实验的静态结构和动态结构是不可分割地联系在一起，它们是同一化学实验的两个不同方面。因此，对化学实验构成的要素和各要素之间的相互联系(即结构)进行探讨具有重要的实践和理论意义。

一 化学实验者

1. 化学实验研究中的实验者

马克思主义认识论中的主体是指有实践能力和认识能力并从事社会实践活动和认识活动的个人和社会集团。从化学科学研究的角度看，化学实验者是指具有一定的化学科学知识和相关科学水平的、能使用从事化学实验的科学仪器等工具进行操作的、会运用科学方法和科学思维方法，以探索物质在原子、分子水平上的运动变化规律为基本任务的科学劳动者。科学劳动者是从脑力劳动者中分化出来的，不同于其他的脑力劳动者，他们是以探索和应用自然规律而劳动的脑力劳动者。作为从事化学科学研究的脑力劳动者又可分为理论工作者和实验工作者。前者专门从事化学理论研究，后者以从事化学实验研究为自己的主要任务。这是化学科学研究内部的分工，但是，它们在统一的化学科学研究中又是不可分割的、彼此联系的两个方面。化学实验研究者离不开化学理论研究者，化学理论研究者同样离不开化学实验研究者。化学实验者要在化学实验研究领域里有所创造、有所发明、有所发现，必须具有下述几个方面的科学素养^①。

(1)他们要具有较坚实的化学专业知识基础和丰富的相关科学知识修养。这是他们从事化学实验研究的业务基础，否则他们就难以根据化学理论研究的需要，设计有关的化学实验，把化学理论成果加以物化。

(2)他们要有能发现本学科领域中存在的问题和提出问题的能力。发现问

^① 舒炜光等主编：《自然辩证法原理》，吉林人民出版社 1984 年版，第 65—67 页。

题是指在自己已掌握的化学科学理论和查阅大量文献的基础上,通过认真的思考,发现当前尚不能解释或不能解决的新问题。经过周密思考和仔细分析,提出需要通过化学实验解决的问题,即确立研究课题。

(3)要有解决问题的能力。其中包括观察、实验、设想、推理、收集实验观察资料、分析研究获取的科学事实、处理实验数据及表达等项能力。为此,要求化学实验者具有一定的自然科学方法论的理论水平,能按照科学研究的一般程序和步骤,进行化学实验研究。化学实验研究过程也是实现科学认识的过程,认识离不开思维。因此,解决问题必须要有良好的思维品质和思维能力。这就是说,思维要具有敏捷性、灵活性、深刻性、独创性和批判性,要有高度的抽象概括能力、恰当的判断能力和准确的推理能力,而尤为重要是要能运用创造性思维和丰富的想像力。

(4)要有坚韧不拔、不屈不挠、百折不回、追求真理的科学精神。化学实验研究,往往需要经过无数次的失败和挫折,甚至为之奋斗几年以至几十年才能得到预期的实验成果。因此,没有坚强的意志和顽强的毅力,没有对科学执着的热爱、认真负责和为之奋斗终生的忘我精神,是难以有所贡献的。

(5)要有忠诚老实、实事求是的科学态度。任何一位化学实验工作者总是要继承前人所积累起来的科学认识成果,同时还要借鉴同时代同行们在该方面所取得的成功经验和失败教训。要注意掌握本领域的最新研究动向和学术信息,并虚心向他人学习。在化学实验过程中,为了取得可靠的实验事实和现象,必须坚持实验观察的客观性,克服主观性和头脑中的任何偏见,坚信实验事实,尊重观察到的真实现象。如果实验失败,就应该运用理论思维对失败的原因进行认真的分析和探讨,这才是实事求是的科学态度。

2. 化学教学中的实验者

化学教学中的实验者可以是化学教师(指演示实验),也可以是学生(指学生实验)。化学教学中的实验是为了实现化学教学目标,完成化学教学目的而设计和安排的。这些实验在提高学生的科学素质和培养人才方面起着重要作用。但是它们并不要求学生去探索人类未知的科学事实,不要求对人类认识有什么创新和贡献,这与化学实验研究中的实验者是不同的。另外,化学教学中的实验目的和实验内容的确定、实验方案的设计和实验仪器的选择主要由化学教师负责。因此,化学实验的效果与化学教师本人的化学理论知识水平和化学实验技能的高低,以及和课前实验准备工作的充分与否有直接关系。化学教学中的演示实验和学生实验的区别,主要在于实验主体的不同,前者是化学教师,后者是学生。演示实验的成功与否主要决定于教师,后者除了决定化学教师能否按学生水平设计、选择切实可行的、符合化学教学论要求的实验外,还与学生的化学知识水平、实验操作技能、学生实验的目的性和主动性,以及化学教师是否对学生能做到及时恰到好处的指导有关。当然,无论化学教师还是学生,在科学素养的几个方面,也应与化学科学研究中的实验者一样达到一定的要求,只不过在要求的层次上相应地低一些,特别是对学生来说,化学教师应该把培养与提高学生的科学素养当成自己的一项重要任务,把化学实验视为完成此项任务的有效途径和重要方法。

3. 化学实验主体的形式与属性

(1)化学实验主体的形式。

化学实验主体具有多种形式,概括起来可分为:个人主体、集团主体和社会主体三种基本形式。化学实验研究中的个人主体是指在掌握和运用社会

提供的认识手段和实验手段的基础上,单独进行认识和改造实验对象活动的个别人(即实验者)。集团主体是指按一定的化学专业或一定的科学研究方向组织起来的进行共同认识和改造实验对象活动的群体,如某化学实验组、某化学专业实验研究室的成员便是这种群体。社会主体是指以某一共同的研究活动为基础而互相联系着的人们的总体,例如某些较大的化学科学研究项目,不是某个人或某一集团所能胜任的,往往需要高等学校、化学科学研究单位和化工生产部门或医疗单位中有联系的研究人员的共同参与、协同合作才能完成,这些相互联系的人们的总体就是社会主体。

集团主体和社会主体都离不开个人主体而单独存在。集团主体是通过个人的活动而存在的。社会主体是通过个人和集团的活动而存在的。个人主体又离不开社会,它是在社会中存在着的,是与社会、与他人有着千丝万缕联系的。进行现实的化学科学实践活动和认识活动的都是具体的个人,集团和社会主体的实践和认识的职能是通过个体实现的,所以研究化学实验中实验个体(即实验者)的实践和认识活动的规律性是科学认识论的重要任务。

(2)化学实验主体的属性。

化学实验主体(实验者)具有物质性、社会性和能动性等基本属性。

化学实验者具有物质性 实验者具有物质性是指化学实验中作为实践和认识主体的人,是有血有肉的生物学的物质实体,是自然存在物。无疑对从事化学实验研究者、对化学教师和学生来说都是具有物质性的。

化学实验者具有社会性 化学实验者具有社会性,是指从事化学实验的人(包括化学教师和学生在内),他们不仅是生物学的物质实体,更重要的是他们是社会的存在物,是社会的物质实体。马克思指出:“甚至当我从事科学之类的活动,即从事一种我只是在很少情况下才能同别人直接交往的活动的时候,我也是社会的,因为我是作为人活动的。不仅我的活动所需的材料,甚至思想家用来进行活动的语言本身,都是作为社会的产品给予我的,而且我本身的存在就是社会的活动。”^①

化学实验者具有能动性 化学实验者具有能动性,人与动物的根本区别在于人具有自觉的能动性。自觉的能动性包含思想等主观的东西和实践是主观见之于客观的东西这样两种相互联系的内容。恩格斯指出:“一句话,动物仅仅利用外部自然界,单纯地以自己的存在来使自然界改变;而人则通过他所作出的改变来使自然为自己的目的服务,来支配自然界。这便是人同其他动物的最后的本质的区别。”^②由此可见,主体的实践,包括化学科学实验和化学教学中的实验在内的各种实践,其本身无不包含着有意识、有目的的主观因素,否则没有这些因素,实践就不能算作自觉的能动活动。化学实验主体的主观能动性内在地包含在化学实验之中,而化学实验就是主观见之于客观的物质活动。化学实验者的能动不仅表现在他的实验活动中,还表现在他的认识过程中。

4. 化学实验者在认识中的地位和作用

(1)化学实验者在认识中的地位。

化学实验研究是以认识实验对象的性质和变化规律为其主要目的的。所以,化学实验中的实验者是认识主体,实验对象是认识客体。化学实验研究

^① 马克思、恩格斯:马克思恩格斯全集,人民出版社1979年版,第42卷,第122页。

^② 马克思、恩格斯:马克思恩格斯全集,人民出版社1972年版,第3卷,第517页。

活动靠化学实验者来进行，化学实验成果由化学实验者来创造。化学实验对象被实验者变革过程中，它所发生的各种变化以及变化过程中所产生的各种现象和科学事实，都被化学实验者反映在主观之中，即化学实验对象给出的信息是由化学实验者接收和加工处理的。没有化学实验者，就没有化学实验活动，也就没有认识的主体，也就不可能有什么认识产生。可见，化学实验者作为认识主体是有条件的，只有当他们具有一定的化学实验能力和认识能力，并变革实验对象，作为实验活动的实体出现时，他们才处于认识主体的地位。否则即使一个人具有一定的化学实验能力和认识能力，如果他不从事化学实验活动和认识活动，那么他只能是可能意义上的主体，而不是现实的主体。

化学教学中的实验者有教师与学生之分。从认识论的角度看，化学教学中被教育的对象是学生，他们要在教师的教导、指引下，由不知到知，由知之甚少到知之较多，由知之不确切、不深刻到知之较确切和较深刻。因此，不管演示实验还是学生实验，对实验进行观察，用大脑接受实验对象给出的信息，对信息进行加工处理的都是学生，无疑，学生是认识的主体，即在教学的全过程中他们始终处于主体地位，而教师则要充分发挥其主导作用。值得注意的是，在化学实验研究工作中的实验者就是认识主体，在化学教学的学生实验中实验者同样也是认识主体，在这一点上它们是相似的，但是在实验目的以及实验者专业知识水平、实验技能、思维能力等方面都有着明显的差别。而在化学教学的演示实验中，实验者是教师，认识主体是学生，认识客体是实验对象，在这里教师对学生的认识起着中介和桥梁的作用，作为认识主体的学生与认识客体不发生直接联系。在学生实验中学生以实验仪器等工具为媒介和实验对象这个认识客体发生直接联系，由于学生亲自参加变革实验对象的活动，就有可能最大限度地调动他们认识的主动性和积极性，从而更好地发挥其认识主体的作用。

(2)化学实验者在认识中的作用。

化学实验的诸要素中，化学实验者起着决定和支配的作用。从认识论的角度看，实验者(主体)和实验对象(客体)的关系是认识和被认识、改造和被改造的关系。在认识中没有认识的主体就没有认识的客体，尽管认识对象是客观的存在着，如果人们不去认识它，它就不能成为被认识的客体而存在。同样，如果没有被认识的客体存在，人们的认识也不能进行。因此，我们说作为认识主体的实验者是认识的主动方面，作为认识客体的实验对象则处于被动方面。在两者之中，实验者(主体)起着决定、支配作用。

化学实验仪器的创制和发展，无不取决于认识主体的需要、理论水平和认识能力，这本身就证明了认识主体对实验仪器起着决定作用。当然这不是说对于任何一个化学实验者(包括化学教学中的教师和学生)都必须是实验仪器的创制者，这是就人的总的认识来说的。

在化学实验过程中，实验仪器是实验者应用和操作的物质实体，为了更好地发挥每一件实验仪器的作用，对包括最简单的玻璃仪器在内的各种实验仪器，特别对那些精密的现代化科学仪器，必须对它们的功能、基本构造原理、使用注意事项以及规范化操作程序等有所了解。尽管实验仪器在实现科学认识过程中起着重要作用，但起决定、主导作用的仍然是实验者。

在化学实验的动态运行过程中，实验课题的选择与确立、实验构思与设计、实验手段的选取、实验技术的确定、每步实验操作中的实验条件的控制、

实验信息的收集、实验结果的分析与处理以及最后作出实验的结论，始终受着实验者的理论思维的支配，全过程的每一环节和步骤无不体现着实验者的主体作用。

二 化学实验对象

化学实验者运用实验仪器和科学方法的目的，是为了达到对实验对象的性质及其变化规律的认识。从认识论的角度看，作为认识主体的化学实验者与作为认识客体的实验对象，两者的相互作用构成了整个科学认识的基础。因而，化学实验对象是实现化学科学实践和科学认识的一个重要的、不可缺少的因素，对它的性质、在科学认识中的地位和作用有所了解是很有必要的。

1. 化学实验对象

化学实验对象是指在化学实验过程中被实验者变革的物质对象，即化学实验者所要认识的对象。所以，化学实验对象既是化学科学实践的物质客体，又是科学认识的物质客体。

客观存在的物质有许多，并不是所有的物质都是实验对象，只有当它与化学实验者建立起科学实践和科学认识的关系，产生一定的信息联系时，它才能成为现实的化学实验对象，它才会具有化学实验对象的属性。另外，化学实验对象与实验者两者的相互联系，必须借助于作为中介的实验仪器、设备和科学方法才能发生。由此可见，作为认识客体的化学实验对象是有条件的。

2. 化学实验研究与化学教学中的实验对象

化学科学实验研究中的实验对象，可能是自然界存在的物质，人们对它们尚不了解或了解不够深刻的情况下，化学实验者以这些天然物为实验对象进行实验研究，其目的在于探索其属性、认识其化学运动规律，化学史上这样的实例是很多的。例如人们对空气和水的认识，就是以自然界存在的空气和水为实验对象进行实验研究的。有时，人们根据理论和实践上的需要，利用天然物或人造物为原料，创造或合成出自然界不存在的新物质，为了深入掌握新物质的内部结构及其变化规律性，就必须以这种新物质作为实验对象，通过实验对它做较深入的、细致的实验研究。因此，化学科学实验研究的实验对象能为人类科学认识提供新的信息，是化学科学中新的概念和新的科学理论等建立的现实的物质基础，离开了实验对象这些都是不可能的。

化学教学中的实验对象与化学科学实验研究中的不同。化学教学中实验对象的选择和确定是受制于化学教学大纲和化学教材的，是为化学教学目的服务的。这些实验对象对人类来说是早已被认识了、最基本的物质对象，但是它们对学生来说却是认识较少或未认识的物质对象。因此，它们在化学实验教学中，既是学生实践的物质客体，又是学生认识的物质客体。它们能为学生提供最生动、最直接的各种化学现象的信息，是学生形成化学概念和获得物质规律性认识的物质基础，它还在对学生进行辩证唯物主义观点教育和科学方法的训练、进行科学态度的教育和能力培养等方面起着重要作用。

3. 化学实验对象的形式和属性

(1) 化学实验对象的形式。

作为人们实践和认识的对象有自然对象、社会对象和精神对象。化学实验研究的对象主要指自然对象。自然对象又包括：天然对象、人工对象和人造对象，它们都属于物质性对象。天然对象是指存在于自然界，尚未经过人

工改造过的天然物。在多种多样的天然物中，有些是可以根据化学认识目的，主动地运用化学实验的手段和方法，改变它们的存在形式，控制它们的化学运动状态，并在实验过程中揭示它们的性质和运动规律。例如在化学史上和化学教学中，为了认识空气的组成及其组成成分的性质，为了认识水的组成和性质等，就是以空气和水这些天然物作为实验对象来进行研究的。人工对象是经人为改造过的自然物质。例如，人们可以利用特制仪器装置使气体状态的空气转化为液态空气，为了探索液态空气具有的特殊性质，人们就以液态空气作为实验对象对它进行实验研究，在这里的液态空气就是人工对象。人造对象是指在自然界并不存在，它是人们根据需要，按照天然物的性质和变化规律，采取化学方法，经过人为的加工和改造，使之成为新的、由人制造出来的自然物质。化学科学研究中为深入探索这些人造物的结构和性质，就要以它们为实验对象，做进一步的实验研究。以人造物为对象进行实验研究，往往能观察到许多天然物不能产生的新现象，这为人们有效地探索自然界的规律提供了可能的条件。在化学实验中同一实验对象可能有两种来源，它可能是天然对象也可能是人造对象。例如，在化学教学中为了使学生认识氧的性质，既可以以空气中的氧气为实验对象(天然物)，也可以通过加热氯酸钾(或高锰酸钾)或电解水的方法获得氧气(人造物)，然后以制得的氧气为实验研究对象。天然对象与人造对象相比较，人造对象往往凝结着更为丰富的人类智力和体力，它是人类智慧的物化，从这一点来看，人造对象是科学实践和科学认识的重要对象。

化学实验者通过实验活动，对实验对象取得的科学认识成果，一般要用文字、化学用语(化学元素符号、化学式、化学方程式、化学表达式等)、图形、表格之类的物质信号系统外地表现出来，采用实验报告、刊物或书籍等物质形式固定和存储下来，这种实验主体的主观思维转化成客观存在的物质形式就是精神对象或精神客体。化学教材就是作为精神对象的化学信息的一种静态存储的物质载体。它为学生提供了要学习的精神对象(精神客体)，即化学间接知识，这种学习可以大大缩短学生的认识过程。众所周知，化学是一门以实验为基础的基础自然科学。根据化学学科的这一特点和学生的认识规律，化学教材里安排了相当数量的化学实验。这些内容和化学概念、化学理论一样，作为化学间接经验，用文字、实验装置图之类的信号系统，以教科书(课本)为物质外壳存储起来。为了教学上的需要，化学教师要把这些在教材里作为认识的精神对象的化学间接知识转化为现实的物质性对象，采取化学教师演示实验或学生实验的方式，使学生通过实验观察获得化学直接经验，进而形成化学概念或规律性的认识，使之成为观念性的东西存储于学生的头脑中。化学领域里的精神客体(对象)虽然来源于自然客体(对象)，并以物质为其载体，但它在实质上是第二性的东西，这也是精神对象(客体)与自然对象(客体)和社会对象(客体)的区别所在。

(2)化学实验对象的属性。

化学实验对象作为实践和认识的客体有以下几个基本属性。

化学实验对象具有客观性 这是指实验对象是客观存在着的，它们都有自己的具体形态、内部结构和运动规律，这些是不以人的意志为转移的。这种客观性表现在实验对象同实验者的实践和认识发生联系之前，就在人的意识之外而独立存在着。这种客观性在与实验者发生联系之后仍然存在着，

这表现在实验对象按照其自身固有的规律发生着变化。实验者或作为认识主体的学生只能在化学科学实验中认识它、反映它。即使实验对象是人造物，它同样具有客观性。这是因为人造对象的原料来源于自然界的天然物，它们是人根据天然物的自身规律性进行改造、加工而创造出来的。当它们被创制出来之后，它们的本质和运动规律同样是不依赖于实验者或认识者的意识而客观的存在着。对于化学教材中所涉及到的化学用语、化学概念和化学理论，以及各种表达方式，虽然它们都是精神活动的精神产品，相对于它们所表征和描述的化学事实而言，它们是一种精神性的东西，即是精神客体或精神对象。但是当它们被规定和发明出来，并赋予某种物质的外壳之后，就成了脱离认识主体而独立存在的客观现象，它们也具有自己的相对独立的规律性，这种规律性也同样具有不以人的意志为转移的客观性。^①

化学实验对象具有能动性 在实验主体和实验对象(客体)发生实践和认识关系中，实验主体是主动的、能动的方面，但是作为认识客体的实验对象也并不是消极地、被动地接受实验主体的作用。我们说实验对象也具有能动性，但是它的这种能动性不具有自觉性，在这一点上它与实验者的自觉能动性是有本质区别的。实验对象的能动性可以从下述两个方面进行考虑。实验对象具有“内在能动性”，如果从化学的角度看，任何一种实验对象它都有自己的确定组成和结构，这种内部组成和结构决定了它具有区别于其他物质对象的性质和变化规律，成了它内在能动性的根据，所以，实验对象的动因在于它的内部矛盾，不在它的外部。另一方面，实验对象还具有“外在能动性”，这种“外在能动性”是被其“内在能动性”所制约的外部表现。化学实验中物质间相互作用而引起的物理的、化学的变化就是物质间能动作用的结果，是它外在能动性的表现。在实验者和实验对象的关系上，实验对象的外在能动性表现为实验者在变革实验对象的实践活动中不仅改变了实验对象，而且实验对象也反作用于实验者。从这个意义上说，实验对象是能动的，实验者是被动的。事实上，实验主体必须按照实验客体的规律性选择实验手段，严格遵守实验操作程序进行科学实验才能达到预期的目的，任何违背实验对象的内在规律性，忽视实验科学操作的基本要求，都会受到实验客体的惩罚，不是实验失败，就是出现实验事故，甚至会危害人身安全。^①

4. 化学实验对象在科学认识过程中的地位和作用

(1) 化学实验对象在科学认识过程中的地位。

化学实验对象的地位，就是指化学实验对象在化学实验系统中与其他要素之间的关系。无论是在化学科学研究中的化学实验还是化学教学中的化学实验，实验对象都是实现科学认识的客观前提，是科学认识问题及其答案的载体，并规定着作为认识主体的实验者的地位。

化学实验对象是实现科学认识的前提 要进行化学实验，要实现化学科学认识，不仅必须有实验者这个认识主体(化学教学中的实验者可能是教师，也可能是学生，但认识主体都是学生)，还必须有实验对象这个认识客体。在化学实验中，没有实验对象，化学实验就根本不能进行，也就谈不上通过实验实现科学认识。所以，化学实验对象是化学实验中实现科学认识的客观前提。也就是说，化学实验者只有在实验对象存在的前提条件下，它们二者

^① 舒炜光等主编：《自然辩证法原理》，吉林人民出版社 1984 年版，第 152—153 页。

^① 王家骏主编：《马克思主义认识论》，吉林人民出版社 1986 年版，第 115—117 页。

之间才能发生相互联系和相互作用。这种相互联系和相互作用体现在：化学实验者的主观能动作用正是在实验对象的客观基础上表现了出来，实验对象在被实验者变革过程中产生的各种化学信息为实验者提供了科学认识的内容。应该指出，我们这里说的化学实验对象必须是现实存在的物质实体，而不是指那种假想性的实验对象。

化学实验对象是提出问题和获得答案的载体 化学科学中的实验研究和任何其他科学研究一样，都是从问题开始的。化学实验中实验对象是问题的载体，问题的答案也必须从实验对象自身中去找。例如，居里夫人通过实验弄清了含铀物质放射性的强弱与试样中铀的含量成正比，但与含铀化合物的化学组成无关，也不受外界光照和温度变化的影响。因此，她认为各种铀化合物和含铀矿物的放射性都要比同量金属铀的放射性要弱。当她对沥青铀矿进行检验时，发现它的放射性强度比其中铀的含量的放射性强度要大很多。对这个问题如何解释？是否在沥青铀矿中含有数量很少，但放射性却比铀强得多的新元素呢？

为了寻找问题的答案，1898年6月居里夫妇仍以沥青铀矿为实验对象，采取系统化学分析的方法，对矿石含有的元素按组逐步分析。1898年7月，他们终于根据放射性证实了一种新元素的存在，它的放射性远比金属铀大得多，这种新元素就是被居里夫人命名的钋。在这里，沥青铀矿不仅是问题的载体，也是这一问题答案的载体。又如，在化学教学中为了让学生认识胶体的性质，通常要以氢氧化铁或硫化砷胶体为实验对象，作为提出胶体具有哪些性质的问题的载体，然后进行一系列的实验，使学生通过实验观察得到胶体所具有的某些性质的答案。

由此可见，化学实验中的实验对象是问题存在的地方，也是答案存在的地方，因此问题的答案只能从实验对象中寻找。

实验对象作为科学认识客体规定实验认识主体 首先，化学实验中实验认识主体的规定性，是通过实验者与实验对象发生联系而获得的。不同的历史时期，化学科学研究成果都代表着那个时期人们对物质的认识水平。包括化学实验在内的化学科学研究成果，都是以揭示科学对象(包括实验对象)具有的规定性为其特征。所以，对包括实验对象在内的科学对象，作为认识客体规定着化学实验者这个认识主体。

其次，随着科学技术的进步，化学实验在科学研究中的重大作用越来越受到人们的重视，化学科学研究对象日益复杂，有些较为复杂的实验对象，由个人主体进行研究已不能满足科学认识的要求，往往需要集中较大的人力和物力，采取个人、集团和社会三种科学研究形式共同协作的方式才能取得成果。由此可见，科学认识对象(包括实验对象)成了决定科学劳动者在科学认识活动中组合方式的重要因素。

再次，化学实验主体采用的实验手段受制于化学实验对象本身所具有的性质。例如，居里夫人研究铀射线的性质时，就曾使用了灵敏而简易的铀射线检验器(包括电离室、验电器和石英电压计等)。又如，19世纪初，各国化学家就开始摸索制取游离氟的方法，由于氟的活泼性和剧毒性，许多化学工作者的实验都没有成功。1886年法国化学家莫瓦桑(H. Moissan, 1852—1907)把氟化钾溶在液体氟化氢中作为电解质，将它放入铂制的U型管中，以铂铱合金为电极，用萤石制成的螺旋帽封住管口、用氯仿冷冻剂使U型管冷却，终于在6月26日制得了氟。

实验对象客体地位的绝对性和相对性 实验活动中实验者和实验对象的认识关系是主体和客体的关系，它们二者是相互依存的，并各自从对方获得了自己的地位。就总体和本质来说，在实验对象和实验者的认识关系中，实验对象作为客体的地位是绝对的。但是，对于每一个具体的实验对象来说，当它被实验主体认识之后，就以观念形态的形式转化为认识主体的认识能力。它也可以以物质的形式转化为认识主体的认识手段。

(2) 化学实验对象在科学认识中的作用。

化学实验对象在科学认识中的作用主要表现在以下的几个方面。

化学实验对象是化学中进行科学分类的依据 化学实验的目的在于认识实验对象的组成、结构、性质和变化规律。作为物质实体的化学实验对象的性质决定于它的内部组成和结构，所以物质的组成和结构及其运动规律是物质及化学反应划分成不同类型的依据。例如，以钠和氯为实验对象对它们的性质进行实验研究时，了解到它们的性质都非常活泼，钠是活泼金属，氯是活泼非金属，这种分类是以它们原子结构为依据的。又如，以氯化钠、氢氧化钠、盐酸、醋酸、蔗糖和酒精等化合物为实验对象，进行其水溶液导电性的实验，人们根据化合物水溶液或熔融状态是否具有导电性而把化合物划分为电解质和非电解质，区别它们的根据仍然在于化合物的内部结构。

化学实验对象的性质常通过它们发生的化学变化显示出来。物质发生化学反应的质变形式有多种，按不同的标准可以把化学运动形式划分成不同的类型。在以无机物为实验对象的化学反应中，按化学反应中物质发生质变的形式，可以把化学反应分为：化合反应、分解反应、置换反应和复分解反应等几种主要类型；按化学反应中是否有电子的得失与转移为标准，又可以把化学反应分为氧化还原反应与非氧化还原反应两大类，如此等等。在有机物的化学反应中又有加成反应、取代反应、硝化反应、磺化反应、酯化反应、聚合反应和缩合反应等类型。不论化学反应类型按什么标准去划分，每类化学反应都是以一些具体化学反应为概括基础的，每种类型都是从某方面反映着一类化学反应具有的共同质变规律，都有它区别于其他类型化学反应的自身的特殊规律性。

化学实验对象对实验手段发展的作用 化学实验手段是实验者达到认识实验对象的属性及变化规律的中介。运用实验手段的目的，正是为了认识实验对象。这里有两种情况，一种情况是由于科学认识上的需要，促使实验手段的发展。例如，由于石油化学工业的巨大发展，石油加工过程中的成分分析几乎非用色谱法不可，这种需要便成为促使色谱法发展的强大动力；另外，环境污染物的检测，其中有关有机物的项目分析也要借助于这种实验手段。因此，色谱分析法的诞生虽然较晚，但却成了目前应用最广泛、最具特色的分析方法之一，而且发展极为迅速，表现出极广阔的发展前景。另一种情况是实验手段的发展反过来又促使新的科学对象不断产生。例如，1929年美国物理学家劳伦斯(E. Lawrence, 1901—1958)发明设计了回旋粒子加速器，它是一种使带电粒子获得很大速度的装置。从此核物理学家们便取得了大大提高轰击粒子动能的手段。1932年，他们又掌握了较强的镭-铍中子弹，这是一种有力的中子源。这些实验手段的出现，就使人工核反应试验的规模和深度大为改观，仅1934—1937年就制出了200多种人工放射性同位素。实验手段的不断发展，使得新的科学对象不断产生。由于科学对象数量的迅速增长，使得越来越多的科学对象进入了人们的科学认识领域。认识这些新的

科学对象单靠人力是无法进行的，还必须借助于现代化的实验手段，使之通过实验，为人们不断提供更多新科学对象的信息，不断扩大人们科学认识的领域。

化学实验对象对化学概念和化学理论的建立和发展起着重要作用首先，是通过对原有化学实验对象的研究，发现了新的科学对象，从而导致新化学概念的产生。例如，“镭射气”和“钍射气”这些具有放射性的气体，引起了卢瑟福的兴趣，1901年他与牛津大学化学教授索迪(F. Soddy, 1877—1956)开始合作研究。他们把溴化镭溶于水，再把放出的“镭射气”连同空气充入气体放电管，进行光谱观测，发现在这种气体发射的光谱里，除了氧、氮的光谱外，还有一种未知元素的谱线，这应该是“镭射气”的，而新谱线的强度却随时间而不断减弱，与此同时“镭射气”的放射性也逐渐消失。他们还发现，随着“镭射气”谱线的减弱，管中却产生另一些逐渐增强的新谱线，原来它是氡的谱线。

后来，英国化学家拉姆塞(Sir W. Ramsay, 1852—1916)等研究了“钍射气”的光谱，发现它竟与“镭射气”的完全相同，而且也逐渐出现氡光谱。拉姆塞进一步辨明，原来“镭射气”和“钍射气”是同一种物质，而且是一种新元素，并命名为“Radon”(氡)，这个字是从“镭射气”一词衍生来的。此后，拉姆塞和英国化学家格雷(W. Gray)就以氡作为新的实验对象，进一步研究它具有的物理性质，并确定了氡在周期表中的位置，还用微量天平测定了它的密度，最后确定其原子量为222，从而形成了氡的概念^①。

其次，化学实验对象在实验研究中能为人们提供令人信服的事实根据，这对建立新概念废除错误概念、促进科学认识的飞速发展起着重要作用。例如，对燃烧现象的认识，1703年德国科学家施塔尔(G. E. Stahl, 1660—1734)提出了“燃素”概念。这一错误概念严重地阻碍了人们对燃烧现象本质的认识。18世纪下半叶，拉瓦锡重复做了大量的燃烧实验，并采用了定量分析的方法，通过实验证明了施塔尔的燃素只是一种想象中的东西，没有任何根据说它在金属、硫、磷以及一切可燃物质中存在。拉瓦锡就是以金属汞、硫、木炭、乙醇、蜡等物质为实验对象，采用天平这个实验手段对反应物和生成物进行了仔细的称量，从而获取了大量可靠的事实，并以这些事实为根据否定了“燃素”的存在，从而提出了“氧化”这一新概念用以代替错误的“燃素”概念，并成功地运用这个概念解释了燃烧过程的本质。

再次，科学对象(包括实验对象)范围的扩大，对充实科学理论和推动科学理论的发展起着重要作用。但是由于人们的实践总是受一定条件的限制，人们对客观事物的认识也只能达到一定的限度。任何科学理论在它确立后，还会在实践中不断充实和完善。例如，俄国化学家门捷列夫(D. I. Mendeleev, 1834—1907)预言类铝、类硼、类硅等未知元素的存在、性质以及它们在周期表中的位置。镓(类铝)于1875年、钪(类硼)于1879年、锗(类硅)于1886年，先后作为新元素、新的科学对象被化学家们所发现。此外，门捷列夫在他的周期表中还为钆(1923年发现)、镱(1927年发现)等未知元素留下了空位。其后，又相继发现了钷、镨、铈和钕等新元素(新科学对象)。至此周期表中从氢到铀所有的空位都已填满。新元素的不断被发现不仅扩大了科学对象的范围，使元素周期表更加完善起来，更为重要的是它有力地证明了周期

^① 赵匡华编著：《化学通史》，高等教育出版社1990年版，第279页。

律的理论预见作用，令人更加信服周期律所具有的特殊科学意义。另外，新科学对象具有的新属性或产生的新科学现象，有时用过去的理论体系无法给予科学的解释，这就要求建立新的理论以适应新认识的需要。就如 19 世纪末 X 射线、放射性元素等新科学对象的发现，标志着人类的科学认识达到了一个新的关节点，即人的科学认识已深入到原子内部这个层次，显然过去用于描述宏观世界的古典物理学的规律已不再适用，而必须代之以崭新的科学理论才能进行描述和说明，于是量子力学等新的科学理论就诞生了。这就说明新科学对象的出现对推动科学理论的产生与发展起着重要作用。

三 化学实验手段

化学实验手段是构成化学科学认识活动的不可少的要素。化学科学认识活动是否能达到预期的目的，在很大程度上取决于化学实验手段，为了深入理解化学科学认识中实验手段的作用，有必要对它做进一步的分析和探讨。

1. 化学实验手段

化学实验手段是指由化学实验仪器、装置、工具和设备等所组成的，为使化学实验者变革和控制化学实验对象，而使用的实在物体的总和。

在化学实验过程中，化学实验者一方面要把自己变革和控制实验对象的主观意图，通过化学实验手段以物化形式作用于实验对象，另一方面化学实验对象受到变革和控制之后，所显现出来的各种具体的化学现象和性质，通过化学实验手段反作用于化学实验者，使化学实验者能够获得有关化学实验对象的信息。没有化学实验手段，化学实验者和化学实验对象之间的联系就不可能发生，实验对象的各种性质和规律性的变化也就不能通过实验的变革而表现出来，化学实验者也就不能获得对实验对象各种属性的认识。可见，化学实验手段是化学实验者用来认识化学实验对象，建立认识主体和认识客体间信息联系不可缺少的“桥梁”和“中介”。

2. 化学实验手段的类型和属性

(1) 化学实验手段的类型。

化学实验手段可按不同标准进行不同的分类。如果把化学实验手段看作人躯体外的认识工具，则按它是人肢体、感觉器官和思维器官的延伸则可划分为：延长感觉器官(如电子显微镜是人眼向微观方向的延长)、延长肢体(如化学实验的各种玻璃仪器)和延长思维器官(如带有电脑的各种大型现代化实验仪器)等三种类型的实验手段。

根据化学实验的目的和实验认识层次上的不同要求，又可把化学实验手段划分为：化学实验的基本科学手段和化学实验的现代化科学手段两大类型。前者通常是在化学实验室中，进行物质组成、性质、变化规律、物质的制备与合成的实验研究时所必不可少的最常用的实验仪器、工具和设备。其中的化学实验仪器主要指玻璃仪器(如试管、烧杯、烧瓶、量筒、试剂瓶、漏斗、干燥器、冷凝器、温度计、酒精灯等等)、陶瓷器皿(如坩埚、蒸发皿、研钵等)；常用的工具有：锉刀、剪刀、螺丝刀、手钳、小锤、镊子、电烙铁和验电笔等；实验设备主要指电动离心机、电炉、烘箱、电热吹风机、电源等基本电器设备。这些都是化学教学实验和化学科学研究实验中最常使用的化学实验手段，它们在实现科学认识中具有重要作用。化学实验中的现代化实验手段是在本世纪 20、30 年代以来随着工业生产和科学技术的高度发展而得到迅速发展的。如现代科学技术对许多新材料提出了达到超纯度的要求，

有的要求杂质分析的灵敏度要达到 10^{-6} — $10^{-8}\%$ ，有的则要求对微量甚至痕量组分能够进行分析。于是，吸收光度法、发射光谱法、荧光法、各种类型的极谱法、放射化学分析法、质谱法等等一些新的实验手段和分析技术，在这种要求和推动下，相继创建和发展起来。由于这些新的实验手段普遍采用了电学、电子学和光学仪器以及一些较复杂的机械装置，因而使之具有简便、快速、准确，以至达到检验程序自动化等优点。在本世纪 40 年代以来，还兴起了一系列新的测定技术，比如 X 射线衍射法(如在晶体结构分析中用于测定分子中原子间距、共价半径、离子半径、范德华半径等)、电子光谱(如用于有机结构分析、配合物的电子结构和性质的解释等等)、振动光谱(如用于对有机化合物的鉴定、官能团的分析和结构的判断等)、质谱法(如用于测定分子量、原子量、同位素的丰度和分子结构等)等等。与这些新实验手段对应的仪器装置都是由复杂的几个部分构成的。例如，质谱法的质谱仪，虽然有多种形式，但是其基本构造都是由下述四个部分组成的。它们是：离子源(产生离子)、分析器(分析离子)、检测器和显示系统(记录谱图)。又如振动光谱的仪器装置是由光源、吸收池、单色器、检测器和电子记录器五个部件组成的。这些新的测定技术，使物质结构的研究从宏观深入到微观、从化学组成扩展到各物质的物理化学性质，从而使人们对物质的认识不断向深层次和向广阔领域发展成为可能。

化学实验中常用的工具和电器设备尽管也是化学实验中所不可少的手段，但它们还常被使用于其他场合。在化学实验手段中最能体现化学实验特点的是化学实验仪器，包括由化学实验仪器组装成的化学实验装置以及由电学、光学、电子学仪器等组成的用于进行化学分析、结构分析和测定的现代化大型科学仪器与设备。因此，对化学实验仪器的属性有一定了解，将有助于提高使用与控制仪器的自觉性，发挥改造与创制化学实验仪器的积极性。

(2)化学实验仪器的属性。

化学实验仪器的属性主要表现在如下几个方面。

化学实验仪器是为实现化学科学认识目的而创制和使用的人工制造物 从简单的试管、烧杯到复杂的、大型的现代化的实验仪器(如极谱仪等)，做为物质实体的每一件仪器，都不是天然存在物，而是一种人工制造出来的物件。而每一种化学实验仪器被创造无不体现着为了达到一定的认识目的和满足某项实践上的需要。如奥地利化学家普雷格尔(F. Pregl, 1896—1930)为了进行有机物的微量分析，他利用玻璃管吹制了全套的微量有机分析的仪器和装置，并用他自己设计制造的燃烧炉分析了已知成分的某些有机化合物。

化学实验仪器是人的肢体、感觉器官和思维器官的延伸物 由于人体生理条件的限制，单纯依靠人体器官本身具有的功能，无法达到对物质化学运动规律的认识和改造的目的，为了加强和扩大人对物质微观粒子运动规律的认识能力，除了充分发挥人体各器官的作用外，还要利用各种手段达到认识和改造物质的作用。化学实验仪器属于人体外的认识手段，它可以延伸人的肢体、感觉器官和思维器官，强化和提高实验者的认识能力，可以扩大认识主体和认识客体之间的联系范围和联系方式。例如，1919 年英国剑桥大学的物理学家阿斯頓制成了速度聚焦型质谱仪，他用这台质谱仪发现了多种元素的同位素，研究了 53 个非放射性元素，发现了天然存在的 287 种核素中的 212 种，第一次证明了原子质量亏损。这一系列成就，使他于 1922 年荣获

诺贝尔化学奖。如果没有这台装置，他的这一系列发现将是不可能的。由此可见，化学实验仪器能帮助人们克服自身生理上的缺陷，延伸人的肢体、感觉器官和思维器官，使人的认识不断向更深层次发展。

化学实验仪器是科学理论的物化 化学实验仪器是人们根据化学实验的需要，利用物质的性质，经过人为加工制造出来的。化学实验仪器的功能既取决于人们对制造它的原材料性质的认识以及有关科学理论和科学技术水平，也取决于人们制造它和使用它所采用的实验技术和操作方法。如普通试管和硬质试管就是如此，它们是化学工作者根据化学实验的需要，利用玻璃做为原料，经过人的加工制造出来的最常用于加热的玻璃仪器。由于了解到普通玻璃和硬质玻璃在化学成分上的不同，使得他们在加工制作试管时所需要的火焰温度也就不同，在实验中使用它们对受热的适应温度也就不同。化学实验中那些现代化实验方法的产生和现代化实验仪器的创制，都是基于广泛吸取了化学及其他学科所取得的科学认识成果和科学技术等各方面的新成就。例如，各种类型的极谱仪就大量利用了电子学原理和电子技术；光学分析法要利用各种新型的光源、激发器、多种类型的光栅和多种材料的棱镜、光电池和光电倍增管。这些都充分说明化学实验仪器是科学理论的物化。因此，为了更好地使用科学仪器，就必须对科学仪器的基本原理有所了解。

3. 化学实验手段在科学认识过程中的地位和作用

(1) 化学实验手段在科学认识中的地位。

化学实验手段中的化学实验仪器和实验设备在化学科学认识中占有十分重要的地位。

化学实验仪器和设备是感性认识器官的延长，是人类理性认识成果的物化 作为认识主体的化学实验者运用化学实验仪器设备的过程，就是从感性和理性两个方面来开发和深化认识实验对象这个客体的过程，在此同时，实现了化学实验者(认识主体)和实验对象(认识客体)的真正相互作用。而实验对象则通过化学实验仪器设备被转化成为可供实验主体进行感性认识的对象。尤其是在现代化学科学认识活动中，要想从实验对象获得大量的新的感性材料，就得创造和使用一系列的现代化的科学仪器和设备，因为，认识客体的许多新的自然信息，只有当认识主体通过科学仪器设备变革它时，才能够显露出来而为认识主体所获得。如果没有化学科学仪器和设备作为认识手段，认识主体的认识活动就无法进行，认识主体就会跟认识客体分离，从而使科学中断。

化学实验仪器是科学认识能力的指示物 马克思说：“劳动手段不仅是人类劳动力发展程度的测量器，而且是劳动所在社会关系的指示物。”^① 同样，作为化学科学认识的手段，化学实验仪器设备也是化学科学认识能力和活动水平的指示物。一定水平的化学科学认识活动总是与一定水平的化学实验仪器设备的创造与使用相适应的。化学实验仪器设备是以物化的形式凝结着人的经验、智慧及其理论研究成果的物质实体。随着化学及有关科学理论和科学技术的不断发展与进步，化学实验仪器设备也经历着由简单到复杂、由低级向高级，以及向不断更新和现代化的方向发展。因此，化学实验仪器、设备的演化发展过程的本身便成了化学科学认识能力发展水平的物化

^① 马克思恩格斯全集，第23卷，第194—195页。

指示物。如质谱仪的创制与演化发展过程就能较好地说明这一点。早在 1897 年汤姆生测定带电离子荷质比的工作以及有关电磁学实验和理论方面的成就就孕育了质谱仪的产生,到了 1910 年汤姆生设计了一种没有聚焦的抛物线质谱装置,这算是质谱仪的雏型,这项创造为质谱仪的发展开辟了道路,其后于 1918 年美国物理学家丹普斯特(A.J.Dempster,1886—1950)研制成了第一台单聚焦质谱仪,1919 年阿斯顿制成了速度聚焦质谱仪,到了 1934 年德国物理学家马陶赫(J.Mattauch, 1895—1976)和赫佐格(K.Herzog)首先阐述了双聚焦理论,1935 年便按照这一理论制成了双聚焦质谱仪。50 年代后,质谱技术纵横发展,产生了许多新的分支。^①

(2)化学实验手段在科学认识中的作用。

化学实验手段的作用主要表现在以下两个方面。

化学实验仪器、装置、设备具有延伸人的认识器官的作用 人的感觉器官是接收信息的器官,神经系统是信息的传递系统,大脑是信息处理加工和存储的器官。从信息控制的角度看,人类的认识器官具有接收、传递、加工和验证信息的作用。因此,作为人类器官的延伸,化学实验手段起着加强和完善人类器官的这些作用。具体表现在:

首先,人类原有的感觉器官在接收和传递自然信息上有很大的局限性,但是,化学实验仪器、装置、设备,能够帮助人超越肉体感官的局限性,扩大接收和传递信息的能力,并随着化学实验仪器、设备、装置等的发明和使用,这种生理上的局限性一再被冲破,帮助人们接收和传递更多的自然信息,从而在广度和深度上极大地增强了人类认识器官的认识能力。

其次,化学实验仪器和设备等能够弥补人类器官接收和传递信息精确度上的不足。化学实验仪器能够引进客观的计量标准,克服人类感觉上的主观模糊性和粗糙不准确性,将感官上不可量度的运动变成可以精确量度的运动。从而能够使人获得更多、更精确的科学信息。

再次,化学实验仪器和大型实验设备能够帮助人们处理加工各种信息,部分代替人的脑力劳动,从而提高思维效率。目前,电子计算机不仅可以部分地代替人脑的信息储存、数据处理、逻辑判断等方面的功能,而且还可以帮助人进行量子化学、化学动力学计算和有机合成路线设计,从而极大地提高了研究工作效率。

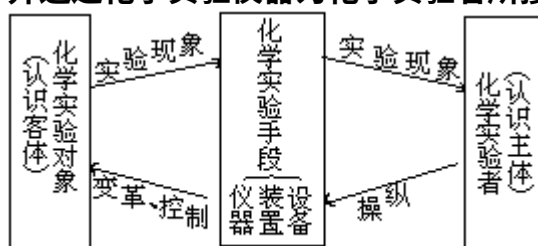
最后,化学实验手段在检验假说,在化学理论确立的过程中起着重要作用。化学史表明假说必须通过化学实验的检验才能转化成确实可靠的化学理论,在假说向理论的发展过程中,化学实验仪器往往起着十分关键的作用,正如我们所知的,没有精密天平,也就不可能有真正的定量分析化学。

化学实验仪器和实验设备是提出和实现化学实验研究目的的现实条件 化学实验研究目的的提出绝对不能单纯地由人的意志和愿望所决定。化学实验研究目的的提出受制于化学实验仪器和设备条件,如果没有必要的化学实验仪器和设备,或不具备创造和使用这些化学实验仪器设备的可能性时,要提出现实性的化学实验研究目的根本是不可能的。换言之,要保障化学认识活动的顺利进行,就必须充分估计到所具备的化学实验手段,以及制造与使用化学实验手段的现实可能性。因此,化学实验手段对化学实验研究目的的提出有着深刻的影响。化学实验研究目的的实现总是要依赖于一定的

^① 赵匡华编著:《化学通史》,高等教育出版社 1990 版,第 410—412 页。

化学实验手段。化学实验仪器、装置和设备的重要性，就在于它是认识主体作用于认识客体、化学实验研究目的向化学实验研究成果的过渡中必不可少的桥梁、媒介和工具。

构成化学实验的三个要素是一切类型化学实验共同具备的。化学实验中的三个要素彼此通过一定的结构，结合成相互联系、相互作用的有机整体，才能形成现实的化学实验活动。各要素间的相互联系、相互作用是沿着两个方面进行的(如下图所示)。一方面，化学实验者通过化学实验手段，以控制和变革化学实验对象，促使化学实验对象发生变化显示出其特有属性，给出各种自然信息；另一方面，化学实验对象所表现出的各种属性、信息又作用于化学实验仪器，并通过化学实验仪器为化学实验者所接受。



化学实验活动系统结构简图

第三章 化学实验中感性认识的生理机制

化学实验作为实现化学科学认识的主观手段，不仅能给我们提供丰富、生动的感性认识信息，为进一步过渡到科学理性认识阶段打好基础，它还是理性认识回归为实践阶段所不可缺少的、有力的认识工具。了解化学实验在化学科学认识中的重要作用，明确化学实验的感性认识的生理基础，对我们树立科学的化学实验观、提高化学教学质量是具有重要意义的。

化学实验者在化学实验中总是要通过有目的、有计划、全面细致地观察，来获得关于化学实验对象的各种现象和事实、各个方面和外部联系的感性认识。这种认识是化学实验者或实验观察者通过自己机体的各种感觉器官对实验对象的直接反映。即当外界实验对象给出的各种信息作用于实验观察者的感官时，感官就将这种外来的刺激转变为神经兴奋，神经兴奋传达到大脑的相应部位，在此进行信息处理，进而形成对实验对象的感知。人的大脑不仅能反映实验对象的颜色、气味、声音等个别属性，还能把各种属性联系起来，形成对实验对象的整体形象的反映。人脑还可以在记忆中把过去被感知过的实验对象的形象再现出来。

神经生理学的科学研究证明，人脑除了具备接受现实刺激物引起条件反射的第一信号系统以外，还具有接受语言刺激引起条件反射的第二信号系统。人脑在第一信号系统和第二信号系统的基础上进行思维活动，这就形成了包括感性认识活动和理性认识活动的人的意识。所以说，人脑是人的意识赖以产生的物质基础，人脑具有其他动物所没有的高级神经联系。

第一节 神经系统

神经系统由位于颅腔与椎管中的脑和脊髓以及遍及全身各处的周围神经所组成，在人体各器官、系统中占有十分重要的地位。人体内不同类型的器官和系统，在神经系统的统一调节和控制下，互相影响、互相制约、互相协调使人体本身成为一个完整的对立统一体。神经系统是体内起主导作用的系统。

一 神经系统的区分

神经系统在形态和机能上是完整不可分割的整体。按其所在位置和功能，分为中枢部和周围部。中枢部即中枢神经系统，包括脑和脊髓。周围部又叫周围神经系统，其一端同中枢神经系统的脑或脊髓相连，另一端通过各种末梢装置与身体其他各器官、系统相联系。周围神经中把同脑相连的部分叫脑神经。

二 神经系统的组成

组成神经系统的神经组织主要包括神经细胞和神经胶质细胞。神经细胞又叫神经元，它既是神经系统的结构单位，又是生理机能单位和营养单位。神经胶质细胞则是神经系统的辅助成分，主要起支持、营养和保护作用。

1. 神经元的结构

神经元由神经细胞体(胞体)和胞突(突起)两个部分构成。

(1)胞体。

不同神经元的胞体其大小和形状差异很大。胞体的结构与其他细胞的结构相似，具有一个圆形、较大的核。细胞质内含有丰富的尼氏体及神经原纤维。神经原纤维在细胞质内交错排列成网。胞体为神经元的代谢、营养中心。

(2)胞突(突起)。

胞突分为树突和轴突。树突是从胞体出发延伸出来的管状的延伸物，状如树枝(如图 3-1 所示)。树突的功能为接受其他神经元传来的冲动，再将冲动传至胞体。轴突是由神经元胞体发出的管状延伸物。每个神经元只有一个轴突。轴突又叫神经纤维，神经纤维的末端分布于其他组织中，形成各种神经末梢。轴突的功能为传导神经冲动，可将冲动传递到另一个神经元或所支配的细胞上。

2. 神经元的种类

根据不同的基准可将神经元进行不同的分类。

(1)按突起数目分类。

根据突起数目的不同，可以将神经元大致分为三类(见图 3-2)。双极神经元见于视器、位听器和嗅粘膜等感觉器官中的感觉神经元。假单极神经元见于脑和脊髓神经节中的感觉神经元。多极神经元分布最为广泛。

(2)按神经元的功能分类。

根据神经元的功能，结合神经兴奋传导方向，可将神经元分为：感觉神经元、运动神经元和联络神经元。感觉神经元(传入神经元)接受来自身体内、外刺激，将兴奋传到中枢神经系统。运动神经元(传出神经元)把兴奋从中枢传至肌肉或腺体。联络神经元(中间神经元)存在于脑和脊髓的中枢神经系统内。一般地说，假单极和双极神经元属于感觉神经元，多极神经元属于运动

神经元和联络神经元。

神经元具有接受刺激、传递信息和整合信息的机能。通常通过树突及胞体接受传来的信息，胞体对信息进行整合，然后再通过轴突将信息传出去。

3. 神经元间的相互联系

在神经系统特别是中枢神经系统内，数量庞大的神经元间存在着十分紧密的联系。现在认为神经元间的联系是通过突触进行的。

(1) 突触。

一个神经元的突起与下一个神经元发生接触并进行信息传递的接触部位称为突触。它是神经元间在机能上发生联系的部位，任何一个反射活动，其兴奋或神经冲动都要通过突触。

突触是由突触前膜、突触间隙和突触后膜三部分构成的，其形态结构如图 3-3 所示。

(2) 突触联系的主要形式。

由于两个神经元之间互相接触的部位不同，可以将突触联系分为如图 3-4 所示的三种主要形式。轴突-胞体型突触(轴-体突触)是一个神经元的轴突末梢与另一个神经元胞体之间的接触。轴突-树突型突触(轴-树突触)是一个神经元的轴突末梢与另一个神经元树突之间的接触。轴突-轴突型突触(轴-轴突触)是一个轴突末梢与另一个神经元轴突末梢附近相接触。一个神经元可以与一个乃至多个神经元发生相互的突触联系，如人的大脑皮层每个神经元平均有 3×10^4 个突触。

三 中枢神经系统和周围神经系统

人的神经系统可分为中枢神经系统和周围神经系统两部分。中枢神经系统包括脊髓和脑。脊髓是中枢神经的低级部分，它的功能是简单反射中枢和传导冲动。脑的功能将在后面探讨。

周围神经系统包括有脑神经、脊髓神经和植物神经，它们分布于全身，把脑和脊髓与身体各个组织和器官联系起来。

脑神经主要分布于头面部，在 12 对脑神经中的嗅神经、视神经、位听神经是感觉神经；其中的动眼神经、滑车神经、展神经、副神经和舌下神经主要是运动神经；三叉神经、面神经、舌下神经、迷走神经是混合神经。31 对脊髓神经从脊髓发出，主要分布于躯干和四肢。

四 人脑

1. 脑的组成

脑位于颅腔内，由大脑、小脑、中脑、间脑、脑桥和延脑等六个部分组成。通常把中脑、脑桥和延脑三部分合称为脑干，如图 3-5 所示。

脑干既是大脑、小脑和脊髓相互联系的重要通道，还是许多重要的反射中枢所在。中脑的机能除与视、听有关外，还与调节运动、维持姿势的反射活动有关。

间脑主要包括丘脑和下丘脑。丘脑是人体传入冲动的转换站，来自全身的各个感觉器官的传入纤维，除嗅觉外均在丘脑交换神经元，然后再到大脑。丘脑是大脑皮层下的高级感觉中枢。

小脑有一个像大脑那样的皮层。它有维持身体平衡、调节肌肉紧张和协调人的随意运动的机能。

2. 脑干网状结构

在脑干中央部有一个广泛区域,在此区域内神经纤维纵横穿行,交织成网状,并有各种大小不等的神经细胞散在其中,这个区域称为网状结构。

脑干网状结构和中枢神经系统的各部分都有双向联系,所以影响范围很广,如图 3-6 所示。

网状结构具有很复杂的机能,它影响着大脑皮质的活动,也调节着躯体活动和内脏活动。

网状结构中存在着调节兴奋或抑制的二个相互对立的系统,即脑干网状结构激活系统和脑干网状结构抑制系统。网状结构通过上行纤维,把兴奋广泛地投射到大脑皮质的广大部位,使大脑皮质兴奋性提高而处于觉醒状态。激活系统不仅在觉醒方面起主要作用,还在知觉、意识、情感、动机、注意和学习等方面,也起着主要作用。如刺激脑干网状结构的某些部位,从这些部位发出的神经纤维广泛地投射到大脑皮质上,引起大脑皮质活动水平的降低,使大脑皮质抑制过程得以扩散,可以诱发进入睡眠状态。脑干网状结构正是通过这种兴奋与抑制的作用来调节大脑皮质的机能活动。

3. 大脑两半球

大脑有左、右两半球。每个半球表面被覆盖一层灰质,叫大脑皮质。大脑皮质是脑的最重要部分,是思维活动的器官,是高级神经活动的物质基础。人类大脑皮质面积约 2200 平方厘米,有 $\frac{1}{3}$ 露在表面, $\frac{2}{3}$ 在沟裂的底和壁上。

(1) 大脑皮质的结构和分区。

大脑皮质是由各种神经元、神经纤维及神经胶质构成的,神经元总量在 100 亿左右。脑科学家们曾把大脑皮质分成许多区。有的科学家把人大脑皮质分为 52 区,并用数字表示(见图 3-7)。如 4、6 区为运动区,3、1、2 区为感觉区,41、42 区为听区等等。

(2) 大脑皮质的功能定位。

现代科学表明,大脑皮质各部分是相互配合形成的一个统一整体。它的每个部分在功能上又有不同的分工,即机体各种功能的最高中枢在大脑皮质上具有定位关系,形成许多重要中枢,但这些中枢只是执行各种功能的核心部分。皮质其他区域也分散有类似功能。

感觉中枢(3、1、2 区)它管理全身痛、温、触、压以及位置觉和运动觉等躯体感觉。

运动中枢(4 区)它接受来自关节、肌腱、骨骼肌的深部感觉冲动,以感受身体在空间的姿势、位置以及各种在运动当中的状态,根据这些运动器的状态来管理全身的运动。

视觉中枢(17 区)每半球的视中枢都与两眼视野的对侧一半有关,只有在两半球视中枢全部损伤时才会出现全盲。

听觉中枢(41、42 区)每侧的听觉中枢都接受来自两耳的听觉冲动,因此一侧听觉中枢受损伤,不致引起全聋。

此外,还有嗅、味觉中枢(43 区)、运动性语言中枢(又称说话中枢)(44 区)、视(感觉)性语言中枢(又称阅读中枢)(39 区)、听(感觉)性语言中枢和视运动性中枢(又称书写中枢)等。

实验研究证明,人的大脑右半球“掌管”感性-直观思维,这种思维不需要语言参加,左半球“掌管”抽象概括思维,这种思维必须借助于语言或其

他的符号系统。

在人的大脑皮质上，除了运动区、感觉区等有明显分工的中枢外，还有很大一部分皮质有着较复杂的功能，称为联合区。它与皮质下中枢有联系，但更多的是在大脑皮质各中枢间起着联络综合作用，它是大脑皮质上比较高级的区域，与高级心理活动有密切联系。如视觉和听觉的加工都包括有联合区的活动。人的大脑皮质的联合区，包括 8、9、10、11、12 以及 18、19 区等，联合区的面积大于感觉区或运动区，占整个大脑皮质的 4/5 左右。

五 反射和反射弧

神经系统的活动非常复杂，实现机能调节的基本方式是反射。在中枢神经系统参与下，机体对刺激发生的有规律的反应，称为反射。反射是在一定的神经结构里进行的，这种结构就是反射弧。反射弧是反射的形态基础，所有的反射都是在反射弧的基础上实现的。

反射弧从刺激到反应通常包括以下五个部分：

感受器 它是把刺激能量转化为神经冲动的转换器。

传入神经 它把感受器的神经冲动传导到中枢神经系统。

反射中枢 指中枢神经系统中参与某一反射的神经元的总和。

传出神经 它把冲动从中枢传到效应器。

效应器 包括肌肉和腺体等组织。

人体的反射活动有简单的，也有复杂的。现代科学表明，任何一个比较复杂的反射活动，实际上都不是一次单向传导所能完成的，而是在传入和传出，以及高级中枢与低级中枢间都有往返的传递。这表现在，信息在感受器与中枢间要往返传递几次，不只是把感受器的信息传入中枢，还把中枢的变化反馈到感受器，以调节感受器的活动。另外，信息在中枢与效应器之间也要经过往返传递好几遍，不只是把中枢的信息传递到效应器，还要把效应器的变化情况反馈到中枢，中枢神经系统据此对效应器的活动进行再调节。

第二节 感觉的生理机制

感觉是人脑对直接作用于感觉器官的外界对象和现象的个别属性的反映。感觉既然是客观事物作用于感觉器官而产生的，因此研究感觉过程，就要了解刺激物是如何作用于感觉器官，并相应地产生感觉的。这种一般性的讨论，将会帮助我们了解从生理机制方面去理解化学实验中实验对象给出的信息是怎样引起实验者(或实验观察者)感觉的。

一 概述

1. 感受器

感受器是人机体接受内、外界环境各种刺激的结构。感受器是人认识世界的第一个环节，它把感受到的刺激转变成神经冲动，沿着一定的传导途径传入大脑皮质进行分析综合，进而形成某种感觉。有的感受器结构简单，有的感受器形态结构比较复杂。此外，还有各种辅助装置，如视器、位听器等。感觉器官就是感受器及其辅助装置的总称。感觉器官又称感觉器或简称感官。

感受器的种类很多，按其所在部位所接受的刺激，可分为：外部感受器、内部感受器和本体感受器三类。在化学实验中接受刺激的主要是外部感受器。外部感受器分布于皮肤、嗅粘膜、味蕾、视觉器官和听觉器官等处，接受来自外界环境的触、压、痛、温、光、声、嗅、味等刺激。内部感受器分布于口腔、内脏等处，主要接受来自口、喉、食道等的表层的刺激。本体感受器分布在肌肉、肌腱、结节和内耳等处，接受来自身体及其有关部分的运动和平衡的刺激。痛、压、温等感受器的结构比较简单，但分布极其广泛，散在身体各处。各种感受器各有其特殊的结构和功能，以及可感受的特殊性质的刺激。视感受器、听感受器和嗅感受器，因可感受来源较远的刺激，故又称为远距感受器。

2. 感觉传导通路

由感受器将神经冲动传入大脑的通路，按其传导途径和对大脑皮质机能影响的效果的不同，可分为特异传导通路和非特异传导通路。

(1) 特异传导通路。

视觉、听觉、肤觉、动觉、嗅觉和味觉等的传导通路都属特异传导通路。特异传导通路由外部感受器、中间传导部分和大脑的中枢部分所组成。外部感受器的主要作用是将受到的刺激的能量(如光、声等)转换为神经脉冲，所以，感受器也是能量转换器。中间传导部分，一般地说，包括感觉神经的传入神经、脊髓、脑干、丘脑等中间中枢的神经联系。在这里，丘脑是特异传导通路中的一个重要转换站，多数感觉脉冲都要在丘脑进行初步的加工处理，再到达大脑皮质相应的感觉中枢。中枢部分是大脑皮质的一定区域，称感觉中枢，一定的感觉就是在这里形成的。

(2) 非特异传导通路。

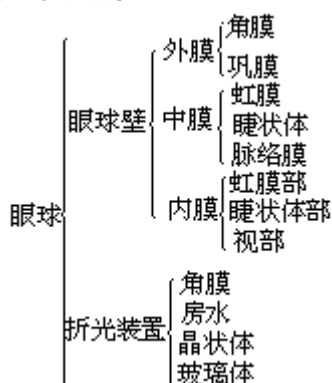
来自脑干网状结构的传入冲动经过丘脑内侧部弥散地投射到大脑皮质的广泛区域和各个层次，起着维持大脑皮质兴奋的作用，但不引起特定的感觉，这一神经通路就是非特异传导通路。在正常情况下，要引起大脑产生感觉，必须在这两种传导通路密切配合下才能完成的。

二 视觉的生理机制

视觉是指由一定波长的电磁波作用于视觉分析器(包括眼睛、视神经和大脑皮质枕叶区三个部分)而产生的感觉,称视觉。视觉是辨别外界物体的形状、明暗和颜色特性的感觉,包括色觉和光觉。视觉是最重要的远距离感觉之一。视觉在化学实验的感性认识活动中占有十分重要的地位。

1. 视觉器官^①

人的视觉器官是眼。视觉器官简称视器,它能感受光波的刺激,经视神经传导至脑中枢引起视觉。视器由眼球及其辅助装置两部分组成。眼球是视器的主要部分,它的构造如下表所示。



眼球由眼球壁和折光物质组成。眼球壁分内、中、外三层。

外膜(或纤维膜)是眼球壁的外层。角膜占外膜的 $\frac{1}{6}$, 角膜内有丰富的感觉神经末梢, 巩膜占外膜的 $\frac{5}{6}$, 有保持眼球内容物的作用。

中膜(或血管膜)含有丰富的血管和色素细胞。按结构和功能的不同, 中膜从前向后分为虹膜、睫状体和脉络膜三部分。虹膜呈圆盘形, 中央有一圆孔称瞳孔。瞳孔缩小能减少强光的刺激, 瞳孔放大能让更多的光线通过。睫状体有产生房水和调节视力的作用。脉络膜占中膜的 $\frac{1}{3}$, 后方有视神经通过。脉络膜和虹膜的黑色素使眼球内起着暗箱的作用, 它可防止光线在眼内散射, 并保证视网膜的感光机能不受干扰。

内膜(或视网膜)在中膜的內面, 可分为虹膜部、睫状体部和视部三个部分。虹膜部和睫状体部无感光作用, 称视网膜盲部。贴附在脉络膜內面的是视网膜视部, 有感光作用。

视网膜视部分内、外两层。外层为色素上皮层, 它是由色素细胞组成的, 位于视网膜的最外层, 它是光刺激的感受器, 有保护和调节视细胞膜的作用。内层为神经细胞层, 它是由外向内的视细胞层、双极细胞层和神经节细胞层这样三层不同的细胞所组成的。视细胞层是光感受细胞层, 有感光作用, 可分视杆细胞和视锥细胞, 当它们受到光刺激时, 可引起其感光物质的化学变化和电位改变, 从而产生神经冲动。双极细胞层的双极细胞, 能将感光细胞的神经冲动传给神经节细胞。在这里, 还有执行横向联系功能的水平细胞和无长突细胞。神经节细胞层位于视网膜的最内层, 它的轴索排列成束, 呈波浪形趋向于眼内膜中视神经乳头, 在那里形成视神经束伸向眼球, 最后终止于丘脑外侧膝状核, 这是视感觉信息传导通路的中间站, 冲动从这里再投射到大脑皮质的视觉区, 从而形成视觉。

眼球的折光物质有角膜、房水、晶状体和玻璃体等, 光线通过这一系列

^① 中国医科大学主编: 人体解剖学, 人民卫生出版社 1981 年版, 第 354 页。

折光力不同的透明介质，在视网膜上形成物质的像。

2. 视觉传导通路

光线刺激引起视觉的过程，首先是光线通过眼球的折光装置(角膜、房水、晶状体和玻璃体)、视网膜的节细胞层、双极细胞层，然后才达到视细胞层。视细胞的突起接受光的刺激，将光能转换为电能，引起神经冲动，再沿相反的方向传递，经双极细胞、节细胞，再由节细胞的轴突(视神经)传至脑，引起视觉。

三 听觉的生理机制

物体振动所产生的声波(空气的周围性压缩和稀疏)作用于听分析器而引起的感觉，称听觉。听觉是一种心理过程，其结果是在脑中产生主观上能意识到的听觉映象。听觉是远距离感觉之一。听觉在化学实验中获取实验事实的作用仅次于视觉。

1. 听觉器官

耳是人的听觉器官，简称听器，又是位置和平衡感觉器官。人耳是由机能不同、但在结构上难以分割的位听器(平衡器)和听器两部分组成的。耳的结构可分为外耳、中耳和内耳三部分。外耳和中耳是声波传导的装置，内耳则是具有接受声波和位觉刺激的结构。

外耳包括耳廓、外耳道和鼓膜。鼓膜为一半透明膜，位于外耳道底，作为外耳与中耳的分界，经外耳道传来的声波，引起鼓膜发生振动。

中耳包括鼓室、咽鼓管和乳突小房三部分。鼓室位于鼓膜与内耳外侧壁之间，内有听小骨、听肌、韧带等。听小骨是由相连的锤骨、砧骨和镫骨三个小骨构成的听鼓链。当鼓膜随外耳道声波振动时，三个听小骨连串运动，将声波的振动传入内耳。

内耳在鼓室与内耳道底之间，由构造复杂的管腔组成，故称内耳迷路。内耳迷路分为骨迷路和膜迷路。骨迷路是由相互沟通的前庭、骨半规管和耳蜗三部分组成。膜迷路是套在骨迷路内的膜性管和囊。膜迷路大部分与骨迷路之间形成腔隙，腔内充满外淋巴。膜迷路内含有内淋巴。内耳的耳蜗为传导并感受声波的构造，半规管和前庭则为位置和平衡感受器。

耳蜗可分为三个壁：上壁为前庭膜，分隔前庭阶和蜗管；外侧壁为骨膜；下壁由骨螺旋板和膜螺旋板组成。膜螺旋板为基底膜。基底膜上有螺旋器，它是听觉的感受器。

2. 听觉传导通路

物体因振动而产生的空气波动(声波)从外耳道传入，作用于鼓膜，引起鼓膜振动，从而传向中耳的三块听小骨系统，经过前庭窗，推动内耳前庭阶外淋巴液振动。振动在淋巴液中传导，经过上部再穿过耳蜗顶部的小孔而传入下部；振动在耳蜗下部液体中传导时就引起了位于内耳基底膜上螺旋器的兴奋，再由听神经将兴奋传至内侧膝状体，达到皮质的颞横回，从而产生听觉。听觉是整个听分析器活动的结果。声波传导产生听觉的主要途径是：声波→外耳道→鼓膜→听骨链→前庭阶的外淋巴→蜗管的内淋巴→螺旋器→神经冲动→蜗神经→脑。

四 其他感觉的生理机制

1. 嗅觉的生理机制

嗅觉是辨别气味的感觉。它是由挥发性物质作用于嗅觉感受器而引起的感觉。嗅觉在化学实验中识别、认识物质方面也有重要作用。

嗅器位于鼻腔后上部的嗅粘膜(嗅区)内,其总面积约为5平方厘米。嗅粘膜在活体上呈浅黄色,内含嗅细胞。嗅细胞是嗅觉的感受器。嗅细胞是双极神经元,呈杆状,一端伸出几根嗅纤毛伸向嗅粘膜表面的粘液中,另一端变细,为嗅细胞的中枢突。由嗅细胞中枢突合并而组成的20多条嗅丝穿过筛骨板的小孔进入颅腔,终止于嗅球。

嗅觉的适宜刺激物是具有挥发性、易溶于水和类脂质的物质。固体、液体、气体物质的气味,是由它们散发在空气中的分子进入鼻腔嗅区而引起的。嗅觉的感受性很高,但它受种种因素的影响,如受机体变化的影响,在化学实验中要受实验对象和实验环境等因素的影响。一般地说,嗅觉的适应比较迅速,但有一定的选择性。嗅觉是用产生气味的物质来命名的,这与其他感觉的分类不同。

2. 味觉的生理机制

味觉是化学刺激物作用于味觉分析器而产生的一种感觉。人可以利用味觉辨别食物、药物或其他化学物质。

味蕾(即味蕾)是味觉的感受器。人的味蕾主要分布在舌上。人舌上约有50万个味细胞,每40—60个味细胞组成一个象花蕊一样的味蕾。每个味蕾由味细胞和它外面的支持细胞组成。味蕾通过味孔和表面相通。味孔呈细口瓶状,在细长的味细胞顶端,味孔内有微绒毛,这是味受体。每个味蕾分别嵌插在粘膜上皮中,它们在舌面上构成轮廓乳头、叶状乳头和菌状乳头。味刺激物必须能溶才能随唾液流入味孔至味细胞底部与神经末梢接触,从而引起味觉。

味觉基本上可分为甜、酸、苦、咸四类。用蔗糖、稀盐酸、奎宁和食糖溶液,对舌上不同部位的测试得知,人类的舌尖对甜味敏感,舌根对苦味敏感,舌侧面和中间部对酸味敏感,舌两侧对咸味敏感。这说明舌的各部位对各种味觉刺激的感受性是不同的。

上面谈到的味蕾和嗅器都是特殊化了的外部感受器。它们合称为化学分析器,这是因为嗅觉是由化学气体的刺激而引起的感觉,味觉是由溶解性物质而引起的感觉。这两种感觉相互影响、紧密联系,在功能上相互配合。当嗅觉器官功能发生障碍时,味觉功能也随之减退。化学分析器在化学实验的感性认识中具有重要意义。

3. 肤觉的生理机制

肤觉是皮肤感觉的简称。它是由物体的机械的、温度的或化学的特性作用于皮肤表面而引起的感觉。

肤觉包括有触压觉、冷觉、热觉和痛觉等不同类别的感觉。实验证明,这几种感觉各有它自己的适宜刺激,各在皮肤上占有不同的点。在身体的不同部位,触压点、冷点、热点和痛点的分布是不同的。从对人体皮肤感觉测验得知,几种皮肤感觉在皮肤上呈点状分布,其疏密程度是不同的。一般冷点多于温点,痛点多于触点(或压点)。

触觉和压觉都是皮肤受机械刺激所产生的感觉,但二者稍有不同。当机械刺激不引起皮肤变形的感觉为触觉,而引起皮肤变形的为压觉。人体的唇、鼻和舌尖部的触觉最为敏感,手掌的触觉比对应背侧面敏感。在触觉敏感部位,皮肤触点的密度大。

皮肤温度感受器的适宜刺激是皮肤的温度变化。皮肤温度升高时，温度感受器兴奋，反之，皮肤温度下降时，冷觉感受器兴奋。过高的温度，会使皮肤产生烫的感觉，反之过冷的温度，会产生冻的感觉，这是一种温觉和痛觉的复合感觉。

痛觉不是由单一刺激所引起。皮肤受到较强的机械力、过冷、过热或各种物理化学因素的刺激时，都能引起痛觉。痛觉感受也是点状分布。

皮肤中有多种形态的神经末梢。一般认为不同形态的感觉末梢是各种皮肤感觉的专门的感受器，它们能分别感受到作用于皮肤上的不同性质的刺激，产生的传入冲动分别沿着专门的神经通路，传向皮肤感觉中枢而产生不同的皮肤感觉。

总之，感觉的发生是客观事物、现象作用于人的感觉器官的结果，同时也是人的感觉器官、神经系统和大脑的机能。人能感觉事物，是由于有进行感觉反映的各种分析器。每种分析器都包括有外部感受器、传入神经通路和相应的高级神经中枢。人的不同的分析器能给人提供在质上不同的感觉(如视觉、听觉、嗅觉、肤觉等)。

感觉在人的认识中的地位是非常重要的。感觉是认识的泉源，没有感觉就没有认识。然而，感觉毕竟是认识的初级形式，它只能反映客观事物的外部属性，要达到对事物本质的认识，还必须使认识发展到高级形式。

第三节 知觉和表象的生理机制

一 知觉的生理机制

知觉是较感觉高一级的认识形式。知觉是在感觉的基础上产生的。

1. 知觉

知觉是人脑对直接作用于感觉器官的客观事物的表面现象和外部联系的综合的整体反映。在化学实验中，实验者获得实验对象的一些片面的、外在属性的不同的感觉，这些个别的感觉在大脑中被集中综合或组合起来，就形成了关于该实验对象的整体感性形象，这就是知觉。知觉是人的各种感受器受大脑支持协同活动和大脑皮质对感性材料进行初步分析和综合的结果。在化学实验中，实验者对实验对象的知觉就是对它的颜色、状态、气味、声音、温度和变化运动过程等多种属性的、综合的整体反映，是视分析器、嗅分析器、味分析器、肤分析器等多种分析器协同、综合活动的结果。在现实的化学实验中，我们都是以知觉的形式直接反映实验对象各种属性的，而很少有孤立的感觉。

从心理学的角度看，知觉是一种心理过程，它的反映结果称为知觉映象。知觉映象是指在知觉过程中，人脑对客观事物所产生的完整形象。知觉映象的产生，有的是由多种分析器产生的，包括有多种感觉成分的综合性的知觉映象；也有的是由一种分析器产生的单纯的视知觉映象、听知觉映象、嗅知觉映象、味知觉映象和运动知觉映象等。每种知觉映象又包括有更为具体的知觉映象，如视知觉映象就包括有形状、大小、颜色、视空间等知觉映象。

知觉和感觉一样，都是对客观事物具体形象的直接反映，都具有现实性，都受一定时间和空间的限制，都属于感性阶段的认识形式。但是，知觉具有一些不同于感觉的基本特征。

2. 知觉的基本特征

知觉的基本特征是：知觉的整体性；知觉的选择性；知觉的理解性和知觉的恒常性。

(1) 知觉的整体性。

知觉的整体性是知觉的首要特征。它是指把物体或现象的各种属性、各个部分、某些关系作为一个统一的整体来认识，其中由各种个别属性所引起的感觉，不再是孤立地存在，而是成为知觉的有机的组成部分，产生完整的知觉映象。知觉表现有如下的三种情况。

第一种情况是多种分析器协同活动，对刺激物的多种属性进行全面、综合的反映，形成包括各种感觉成分在内的、完整的知觉映象。例如，对某一化学实验的知觉，就包括视觉、嗅觉、触觉、听觉、运动觉等各种分析器对化学实验中的反应物和生成物的状态、形状、大小、量的多少、颜色、气味以及反应过程中温度的变化和声响的出现等多种属性和现象的综合性反映，对整个实验形成一个整体性的知觉映象。

第二种情况是由某一种分析器对某一事物的某一方面或某种关系进行的综合性反映，形成单一的视知觉映象，或听知觉、嗅知觉、触知觉、颜色知觉、形状知觉、大小知觉、重量知觉、运动知觉、距离知觉等单一的完整的知觉映象。例如，对氯气或氨气的特殊性刺激气味的嗅知觉，就是从气味这个方面把氯或氨作为一个整体来反映的。也就是说，某种单一的分析器所产

生的知觉，虽然只是反映事物的一个方面，但却是在这个方面综合地反映这个事物或某种关系的整体。所以它是知觉而不是感觉。

第三种情况是对知觉对象不同属性的联觉。一种已经产生的感觉引起另一种感觉的兴奋，并相互联合成为较完整的知觉，这就是联觉。例如，由乙醇芳香气味引起的嗅知觉，而知觉它有辣味，这种联觉就是嗅-味知觉。在化学实验中，视知觉在各种联觉中往往是主要成分，如视-听知觉、视-嗅知觉、视-运动知觉、视-触知觉等都是较常见的联觉。联觉现象的生理机制，是两种或多种分析器中枢部分形成的感觉相互作用的结果。即当时虽然只有一种分析器在活动，但另一种分析器过去所获得的经验在构成统一的知觉映象时仍在起作用。

(2) 知觉的选择性。

人们根据某种目的或需要，主动地、有意识地选择某种事物或某事物的某一部分作为知觉的对象，对它产生鲜明、清晰的知觉映象；而周围的事物则成为知觉的背景，其知觉映象较模糊，这就是知觉的选择性。被选择的知觉对象可以是事物的整体，也可以是其中的某一部分。在化学实验研究或化学实验教学中常按照一定的实验研究目的或实验教学目的，可以选择某一实验的全过程的全部内容作为知觉对象，也可以选择其中的某一特征为知觉对象。例如，氨氧化制硝酸的实验就是要把实验的全过程作为知觉对象；而浓度(或温度)对化学反应速度影响的实验，是以反应完成所需时间为知觉对象，而其他则成为知觉的背景。但是，成为知觉对象的这一部分、这一特征所形成的知觉映象仍是完整的，这表明知觉的选择性与知觉的整体性是紧密联系着的。

对象的知觉和背景的知觉在性质上、心理地位上是不同的，对象的知觉在认识过程中占主要地位，所形成的知觉映象具有轮廓分明、形象和结构完整的特点；背景的知觉通常是较模糊的，形象和结构是不清的。在科学认识过程中，特别是化学实验中，为了使知觉对象从背景中突出出来，常需要采用强化的方法。例如做氨易溶于水的喷泉实验常放入少量酚酞试剂，加入酚酞指示剂的目的一方面可以说明氨溶于水以后的水溶液呈碱性反应，另一方面也起着强化知觉对象的作用。

知觉的选择性取决于对象的客观条件和人的主观条件。客观条件是指对象本身和外界条件具有引起人无意注意的显著特点。这种情况在化学实验中是比较常见的，如有的化学实验中发生颜色的变化，有的生成沉淀或产生气体，或者出现发光发热、爆鸣等现象，这些事实和现象都具有引起实验观察者无意注意的特点，而其他方面往往成了被忽视或舍弃的内容，这样就形成了反映对象某方面特性的知觉映象。主观条件是指人按自己的目的、需要、兴趣对某一对象进行有意注意。这与人的知识经验、观察能力、分析能力有关。在化学实验研究中和化学实验教学中，为了更好地达到实验目的，就要充分发挥实验者的主观能动作用，利用好知觉选择性这个规律。如在化学教学中为了提高实验的直观效果，常需设法使实验对象与背景之间形成鲜明的对比(如在白色沉淀物后放一黑色屏板)。

(3) 知觉的理解性。

知觉的理解性是人类知觉的一个特点，是人在知觉过程中通过思维活动达到的。知觉的理解性是指当人在感知对象时，总是根据已有的知识和过去的经验去理解它，并将它归入一定的对象类别之中，把不完全反映对象的感

觉综合成较为完整的知觉，从而认出有意义的对象。人的经验和知识越丰富，越有助于对事物的理解，越有助于形成鲜明、完整的知觉映象。例如，初中讲授水的组成时，演示了电解水的实验，水是学生感知的主要对象，在这里已学过的化学变化、分解反应、化合物、质量守恒定律、氧气的性质、燃烧、元素、原子、分子等基础知识，对学生形成较完整的水的知觉映象，提高对水的知觉的理解性起着不可忽视的作用。

(4) 知觉的恒常性(或知觉常性)。

知觉的恒常性指的是当知觉的条件在一定范围内有所改变时，知觉映象仍保持恒常不变。人的知觉恒常性是在实践中形成的。当对某一对象经过多次接触、反复知觉的过程中，就会在人的意识中形成这个对象的不变特征的映象。

知觉的恒常性在科学认识中有着重要作用。由于有知觉的恒常性，人们才能把握感知对象的相对稳定的特征，为感性认识上升到理性认识提供稳定性的材料。否则，如果知觉不是恒常的，就会使我们感到一切都是新的，一切都得从头开始。知觉的恒常性在化学实验中，在学生的认识中也有它的重要作用。例如，学生要靠对氯气、氨气、硫化氢、二氧化硫等不同气体的嗅知觉的恒常性，要靠对二氧化氮的视知觉和嗅知觉的恒常性去辨认它们的存在或生成。如果没有知觉的恒常性，就会使学生无法辨认以前已经学过的这些气体。

3. 知觉的基本形式

(1) 时间知觉。

时间知觉是知觉的一种形式。时间知觉就是人脑对客观事物或现象运动变化的延续性和顺序性的反映。时间知觉是反映时间特性的知觉。时间知觉与时间概念是有区别的，时间概念是对时间特性的间接的、概括的反映，如化学史或科学史上提到的某位科学家于某年发现了某种元素或提出某学说，这里的“某年”就是时间概念，我们通过化学史或科学史的学习就可间接地了解到。时间知觉则是对时间特性的直接的、具体的反映。例如，在实验室里用加热氯酸钾的方法来制取氧气，可以看到，给氯酸钾加热到较高的温度，需要较长的时间，才有氧气放出；如果往氯酸钾里加入二氧化锰，不需加热到高温，就能迅速地放出氧气。这里，在学生头脑中对氯酸钾受热产生氧气的持续时间的长短所形成的直接的、具体的反映，就是时间知觉。对时间的感知可以是粗略的，如上面讲到的用加热氯酸钾的方法制取氧气，并没有明确指出加热所需的时间，在这里对时间的感知是粗略的、不精确的。一般情况下，在化学实验中是用某种衡量时间的媒介来反映时间的，如计时器(钟表)就是常用的衡量时间的媒体。例如，做温度(或浓度)对化学反应速度影响的实验，通常是用手表计时的，这时所形成的时间知觉是较精确的。

(2) 空间知觉。

空间知觉是知觉的另一种形式。空间知觉是反映事物的立体状态及其三维空间的位置关系的知觉。空间知觉是对客观事物的空间特性的直接反映。任何物质总是要占有一定空间的，所以空间是事物存在的基本形式。物体在空间存在的形式有：形状、大小、远近、深度和方位等。因此，空间知觉又可分为形状知觉、大小知觉、距离知觉、深度知觉和方位知觉等。空间知觉是视觉、听觉、嗅觉、触觉、动觉和静觉等多种分析器协同活动或单独活动的结果。相应地就有复合的空间知觉或视空间知觉、听空间知觉、触空间知

觉、运动空间知觉等等。例如，化学实验者(或实验观察者)通过视觉观察实验对象(包括反应物和生成物、实验仪器和实验装置)的形状、大小和所在的位置，这时所形成的知觉就是空间知觉；通过听觉感知实验产生声响的方位，相应的知觉就是听空间知觉。化学实验中不仅通过视觉感知反应物和生成物的形态、大小、位置，形成相应的空间知觉，还包括观察到的反应物转化成生成物的空间运动变化过程，从而产生相应的空间运动知觉。事实上，实验者(或实验观察者)总是通过视觉、听觉、嗅觉、动觉等各种分析器的共同活动去感知实验的全过程，从而形成包括有视空间知觉、听空间知觉、嗅空间知觉、运动空间知觉等等在内的复合空间知觉。

(3)运动知觉。

运动知觉在化学实验的感知中也具有不可忽视的作用。运动知觉是对物体的空间迁移的知觉。它跟空间知觉与时间知觉有着密不可分的关系。化学实验中的运动知觉决定于反应物的性质和化学反应速度。

化学实验中产生的运动知觉，主要体现在两个方面。一方面是指关于反应物转化为生成物在时间和空间上运动变迁的运动知觉。例如，在实验室里用浓盐酸跟二氧化锰起反应制取氯气时，观察到黄绿色的氯气从反应物均匀地放出，通过导管进入集气瓶的底部，并逐渐充满集气瓶，最后，多余的氯气被氢氧化钠溶液吸收(黄绿色消失)。这时，观察者产生的就是关于反应物和生成物的运动知觉。另一方面，学生还会看到教师进行一系列实验操作(包括把实验仪器连接好，检查气密性，往烧瓶里加入二氧化锰，从分液漏斗慢慢注入浓盐酸，缓缓加热)，从而产生关于具体实验操作的运动知觉。这两方面的运动知觉是紧密相联、不可分割地融合在一起的。

二 表象的生理机制

表象与感觉、知觉同属于感性认识。表象是较知觉更高一级的认识形式，它是在感觉、知觉的基础上形成的。

1. 表象

在记忆中保留下来的过去感知过的客观事物的形象，称为记忆表象，简称表象。人的感觉和知觉产生之后，在人的感官不直接接触客观事物时，它仍然不消失，并在大脑皮质上保留下刺激的痕迹，所以表象又是记忆的一种效果。在一定条件下，这种痕迹又重新活跃起来，在头脑中再现过去感知过的客观事物的形象。

从生理机制的角度看，表象是在人的大脑皮质上保持下来的刺激痕迹的再现而产生的。这种痕迹，在人脑中不断反映客观事物的过程中进行着不断地分析综合，从而产生概括的表象。从信息论的观点看，这种痕迹的保存也就是信息的储存。此外，还可以对储存的各种痕迹(信息)不断地进行内部加工和编码。^①

2. 表象的基本特征

表象同感知觉有密切联系，感知觉是表象的来源，没有感知觉就没有表象。但表象同感觉、知觉有明显的不同。其基本特征表现如下。

(1)具有直观性的特点。

由于表象是以前感知过的客观事物的形象的反映，是过去感知痕迹的再

^① 朱智贤等：思维发展心理学，北京师范大学出版社 1986 年版，第 310 页。

现,因而,它和感知相似都是对客观事物的具体的、直接的反映,它接近于知觉,具有直观性和形象性的特点。但感知是对当时的客观事物的直接反映,而表象是对过去感知的客观事物的反映,因此表象又与感知觉有质的差异。这表现在:表象不如感知觉那样鲜明、稳定和完整,而是具有一定的暗淡性、易变性和片断性。

(2)具有概括性的特点。

感知觉是客观事物的直接的反映,是客观事物的个别特点、个别属性的反映。而表象既能反映客观事物的个别特点和个别属性,又能反映客观事物的一般特点、一般属性。所以说,表象具有概括性和抽象性的特点。例如,用启普发生器制取氢气^①,学生通过观察产生了启普发生器的感知觉,与此对应形成了这一个个别实验发生装置的表象。以后,又观察到了用启普发生器制取硫化氢^②、用启普发生器制取二氧化碳的实验。学生通过上述三个实验的观察,在他们的头脑中逐渐积累了三个个别实验装置的个别表象,在不断积累的过程中,经过大脑的分析综合,进而概括形成了关于这类实验(固态反应物与液态反应物,在不需加热的条件下发生反应,产生气态生成物)所采用的实验装置的一般的、概括的表象。

3. 表象的基本形式^③

从不同的角度或根据不同的标准可将表象进行不同的划分。

(1)按表象的概括性进行划分。

按表象的概括性,可将它分为个别表象和一般表象(或概括表象)。

个别表象是指对一个个别的客观事物在感知觉的基础上形成的一个个别的感性形象。

一般表象是在个别表象的基础上形成的,是由个别表象抽象、概括成的。一般表象所反映的是各个个别表象中那些相似的或相同的,比较固定的特征。

一般地说,表象总是从个别向一般的方向不断地发展,而一般表象也总是不断地向更具有概括性的方向发展。但是,表象不管有多大的概括性,它总是事物的直观特点的反映,总是具有一定的直观性、形象性和具体性。

(2)按表象的功能进行划分。

按表象的功能,可将它分为记忆表象和想象表象。

记忆表象是事物不在面前时,在头脑中再现出过去曾感知过的事物痕迹的形象。如前面讲过的,记忆表象不如感知觉那样鲜明、稳定和完整,而且有暗淡性、不稳定性和片断性的特点,与知觉相比较,这是它的缺点。但是表象不受当前知觉的限制和束缚,可以在人们不断活动的基础上,使人脑已储存的表象不断地从个别的逐步概括成一般表象,这个一般表象已不再是个别事物形象的简单再现,它已具有了比个别表象更加丰富的内容,这又是表象的优点。

想象表象是人脑在改造记忆表象的基础上,创造出的新的形象,称为想象表象。它是一个人从来没有亲身知觉过的事物的形象。但是,不管想象表象多么新颖,都是对已有的记忆表象经过人脑的加工改造所形成的(例如制取

^① 人民教育出版社化学室编:初级中学课本化学·全一册,人民教育出版社1987年版,第68页。

^② 人民教育出版社化学室编著:高级中学课本化学(必修)·第一册,人民教育出版社1990年版,第56页。

^③ 朱智贤等:思维发展心理学,北京师范大学出版社1986年版,第317—321页。

氢气的各种各样的简易装置)。所以,想象表象的生理基础是大脑中旧有的暂时联系经过重新配合形成新联系的过程。

(3)按人的感觉通路(或分析器)对表象进行划分。

按人的感觉通路(或分析器)对表象进行划分,可以有与每一种感觉通路(分析器)相对应的表象。主要的有视觉表象、听觉表象、运动表象、味觉表象、嗅觉表象和触觉表象等。这种划分只具有相对意义。人在从事活动中,特别是进行实验认识活动中,在知觉客观事物时,总是各种感觉器官共同活动的。因而,一般地说,没有单独的某种表象(如视觉表象或听觉表象),而是形成由各种表象混合构成的,关于客观事物的综合的整体表象。

4. 表象的意义

表象是记忆的重要形式,有了表象人才能再现过去认识的成果,才能把过去的事物和当前的事物加以比较和进行联系,才能进行思维。表象是想象的必要材料,是人由对客观事物的直接感知过渡到抽象思维,以及进行创造想象的一个必经的中间环节。另外,表象的不断进行概括,使其有可能不断离开直接的感知,因而也就有可能向概念、思维过渡。所以说,表象是由感知觉向概念、思维过渡的直接基础、是必经的重要环节。

感性认识是认识的初级阶段,是理性认识的基础。没有感性认识就不可能有理性认识。感性认识和理性认识都是对客观事物的反映,而实践则是认识的源泉。同样,化学科学认识以及化学教学过程中学生的认识都包括上述两个认识阶段,这与人类的一般认识过程是相似的,化学实验研究、化学实验教学则分别是化学科学工作者、学生认识的重要来源。感性认识包括相互联系、依次发展的三种形式,即感觉、知觉和表象。从心理学和生理学的角度对感性认识进行较系统的探讨,能帮助我们深入理解化学实验在化学科学认识和学生认识中的重要意义。

第四章 化学实验的重要性 和化学实验的类型

化学实验是现代化学科学研究中，认识主体获得直接的感性经验和事实材料的根本途径和重要手段，是检验和发展假说的实践基础，是使化学科学知识达到真理标准的基本方法。在化学教学中，化学实验是化学教学内容的重要组成部分，是教师最常用的教学方法，是学生学习的重要内容和有效的学习方式。随着现代化学科学的发展，化学实验在化学科学认识中和在化学教学中的作用，日益受到人们的重视。因此，弄清化学实验在化学科学认识和化学教学中所占的地位以及所起的作用，对化学科学研究和化学教学都具有重要意义。

第一节 化学实验在化学科学认识中的地位

马克思主义的科学认识论认为，科学劳动者要反映科学对象，认识科学对象，必须通过实践。同样，化学教学工作者或学生，要使自己与物质客体发生能动的反映关系，达到认识物质客体的目的，也必须通过化学实验这种实践的实践活动方式。化学实验在化学科学认识中所处的地位主要表现在：化学实验是联结认识主体和认识客体的中介；化学实验是沟通认识客体与化学科学认识的桥梁；化学实验是化学科学认识从一级上到另一级的中间环节。

一 化学实验是联结认识主体和认识客体的中介

在化学科学认识范围内，认识主体和认识客体是作为化学科学认识活动结构的两极而成对出现的。要进行化学科学认识，既不可没有认识主体，也不可没有认识客体，二者缺一不可。在化学科学认识中，认识主体和认识客体彼此不是孤立的和静止的，二者是处于相互联系和相互作用之中的。化学科学认识只有通过这种联系和作用才能发生。那么，化学科学认识的主体是怎样同化学科学认识客体发生相互联系、相互作用，进行科学认识的呢？马克思主义主客体理论认为主体和客体的相互作用是通过中介环节来实现的，这个“中介”就是工具。主体和客体通过工具发生关系，这是马克思主义主客体理论的特点。这对我们理解一切主体和客体的关系都具有普遍的意义。在化学科学认识中，化学认识主体和认识客体发生相互联系、相互作用也必然通过“中介”环节来实现，这个中介就是化学实验，在化学实验活动中使认识主体和认识客体得到统一。

怎样理解化学实验在化学科学认识中居于中介地位，把化学认识主客体联结起来，使之统一的呢？因为化学实验和化学科学认识在结构上有着相同的主体和相同的客体。化学实验是实验主体按照一定的研究目的，以一定的科学知识为指导，凭借一定的化学实验仪器、装置、设备和各种工具，采用特殊的化学实验操作方式和方法，在人工控制的环境下，作用于实验客体使之发生某些变化。在这一活动中化学实验主体把自己的实验目的和自身的能力对象化，这是主观见之于客观，主体作用于客体的能动的现实的感性物质活动。在化学实验的运行中，发生化学实验主体作用于实验客体的化学科学实践关系的同时，也发生着化学实验主体(即认识主体)在观念上掌握和反映实验客体(即认识客体)的反映关系。所以，这又是化学认识主体对化学认识客体的能动的、现实的反映活动。在化学实验中实验主体使用实验仪器等作用于实验客体，实验客体同时也反作用于实验主体，在这里主客体之间进行着物质、能量和信息交换的现实的能动活动。在这种能动活动中展现出的主体对客体的关系，不同于其他实践活动的地方，就在于它运用了一定的科学物质工具，通过化学实验仪器、装置、设备和工具等物质手段对客体的作用、变革和改造，以达到对主体的自我改造，提高自身认识客体的能力。化学实验的这种既改造客体又改造主体的双重改造功能，决定并要求主体不仅要认识客体，而且要认识自己、认识自身同客体的关系。正是化学实验具有的这一特点，使它在化学科学认识中能居于中介地位，把化学科学认识的两极——认识的主体和认识的客体联结起来，使它们彼此发生相互作用，从而实现

主体对客体的认识目的。^①

二 化学实验是沟通化学科学对象与化学科学认识的桥梁

化学实验中,主体和客体相互作用的结果,产生化学科学认识成果。化学科学认识成果具有两种形态,即观念形态和物质形态。观念形态的化学科学认识成果即化学科学知识。化学科学知识包括:化学科学事实(或化学实验事实)、化学科学概念、化学科学定律、化学科学学说和理论等内容,它们是分别处于化学科学认识过程中的不同阶段的化学科学认识成果。

化学科学事实(或化学实验事实)大体属于认识过程中的感性具体阶段产生的化学科学知识。作为认识初级阶段的化学科学(实验)事实是从何而来的?它不是科学认识主体在头脑中凭空构造出来的,更不可能是认识客体自动移入认识主体的头脑中的,它是认识主体以认识客体(实验对象)作为现实的原型,通过实验观察所得到的映象,所获得的实验观察结果。它实际上是认识主体通过化学实验手段,对客观对象的现象或过程的一种反映和描述,而这种反映和描述是第二性的,属于主观范畴的。而作为现实原型的实验对象的现象和过程是客观的、第一性的,我们把它叫作客观事实。所以,也可以说化学科学事实是通过化学实验观察得到的,并用语言、文字、化学用语陈述和描述出来的“事实”。科学事实是一种特殊的经验事实,经验事实含有科学事实。应该指出的是,客观事实、经验事实和科学事实是三个既有密切联系,同时又有明显区别的概念。^①经验事实是人们认识初级阶段即感性认识阶段的成果,它为人们提供的是关于客观对象外部特征和表面联系的知识。所以说,化学科学事实是经验事实的特殊部分,其特殊在于它是作为化学科学认识成果的经验事实,是作为科学理论知识的基础和依据的经验事实;还在于它是通过化学实验观察获取的具有特定素质和化学认识价值的经验事实。

在化学教学中,获得作为化学科学事实的经验知识,这是客观物质到主观精神的过程,这个过程只有通过化学实验这种实践活动才能实现。所以说,化学实验是沟通化学科学对象和化学科学认识的桥梁,是从物质到精神以及从精神返回到物质的桥梁。

三 化学实验是化学科学认识从一级上升到另一级的环节

化学科学认识是认识主体对认识客体的一种能动的反映。由于作为化学认识客体的物质对象是一个无限复杂的包含各种因素,各种矛盾的统一体,具有无限的层次性和无穷的属性,并且处于永恒的运动、变化和发展之中。而就化学认识主体的认识能力和可能性来说,化学认识主体能够认识无限发展着的物质客体。即对于具有无限认识能力的认识主体,没有不可能被认识的东西,即使现在没有认识,将来也会随着科学技术的进步,成为可被认识的对象。但是,就每一个具体的人来说,由于受着客观物质及其本质的暴露程度的限制,受着社会历史条件、实验物质手段和设备等客观条件的限制,以及受着个人的知识、经验水平、科学研究能力和思想方法等主观条件的限制,对物质的认识,特别是对物质的本质和规律的认识又总是有限的。所以,

^① 舒炜光主编:自然辩证法原理,吉林人民出版社1984年版,第194页。

^① 李祖扬编著:科学认识论简明教程,南开大学出版社1992年版,第81页。

认识主体的这种无限的认识能力，只有通过完全有限地思维着的个人才能实现。由于这两方面的原因，化学科学认识主体对化学科学认识客体的反映、认识，不可能一次完成，只能是通过人类世代代无限发展的认识过程，一步一步地不断接近的、逐渐加深的无限过程。比如，人类对物质结构的认识就是如此。在古代，人们就已经开始探讨物质结构的问题。公元前 5 世纪，古希腊哲学家德谟克利特根据他对周围自然界的观察提出了朴素的原子论，认为万物是由少数几种极小的不可分割的微粒构成的，它把这种微粒叫“原子”，由于只是凭观察和臆测提出这一概念，因此原子概念是含糊不清的，在当时的条件下无法用实验方法加以证实。1803 年，英国科学家道尔顿提出原子学说。1811 年，意大利化学家阿佛加德罗提出分子假说。1879 年，英国物理学家汤姆生从研究阴极射线本身出发，发现了电子，认为原子可分，曾在 1904 年提出过一种原子模型，认为原子是一个均匀分布着正电荷的粒子，在这种粒子中嵌着许多电子，并且正好中和了正电荷，所以整个原子是电中性的。1911 年，英国物理学家 E. 卢瑟福在 α 粒子散射实验的基础上，提出了原子的带核模型。1919 年，E. 卢瑟福用 α 粒子轰击氮原子时，发现了质子。1932 年，英国物理学家查德威克(J. Chad-wick, 1891—1974)发现了中子。中子发现后，德国物理学家海森伯格(W. Heisenberg, 1901—1976)和前苏联科学家伊凡宁柯(И в а н е н к о, 1904—)提出了原子核的中子-质子模型，解决了质子-电子模型的一些不足。从古代的朴素的原子论到现代的原子核结构理论，标志着人类对物质结构认识发展的几个阶段。每后一阶段比之前一阶段对物质结构的认识都前进到一个新的高度，达到了一个更高的水平。这种科学认识上从一种水平发展到另一新水平，无不依赖于实验。如果没有道尔顿和法国化学家盖·吕萨克等科学家对气体的多次实验观察，道尔顿和阿佛加德罗就不能提出原子-分子论，古代模糊的原子概念就不能上升为科学理论；如果没有英国化学家法拉第和汤姆生等科学家的气体放电实验，没有 X 射线实验和放射性元素的发现，人们就不能对原子的认识达到更深层次；如果没有 E. 卢瑟福和查德威克等科学家的一系列的碰撞实验，也就无法认识原子核的结构。人类认识物质结构的历史以及化学史上的大量事实都充分说明，化学实验是化学科学认识、化学理论进步上升和发展的必要环节。

第二节 化学实验的认识功能

我们知道,科学实验从生产实践分化出来,成为比较系统的实验科学,是以运用各种专门的实验工具和形成一套系统的实验研究方法为标志的。科学实验作为自然科学(包括化学在内)的认识活动的基础,已经使人们对自然界的认识从那种只凭感官的直接观察获得一些比较粗糙和表面的认识,而发展到对自然界的认识变得更加精细和深刻化了。恩格斯指出:“在希腊人那里是天才的直觉的东西,在我们这里是严格科学的以实验为依据的研究结果,因而也就具有确定得多和明白得多的形式”。^①科学实验能使自然科学的发展出现这样一个质的飞跃,是因为科学实验在自然科学认识过程中起着极为重要的作用。同样,化学科学得以迅速发展也是与使用化学实验这种研究方法直接相关的。就人们的认识从感性到理性的发展过程来看,化学实验的重要功能主要表现在如下的几个方面。

一 化学实验有丰富人的感性认识内容的功能

我们可以把认识过程看作是信息的接收、储存、加工和传递的过程。人的感觉器官接受信息,人脑处理加工和储存信息,神经系统传递信息,效应器官根据人脑的指令作出反应和发生作用。感觉是人们对外界认识的开始。客观外界的现象只有通过人的眼、耳、鼻、舌、身等感觉器官,才能反映到人的头脑中来,开始人的感性认识。但是人的感觉器官由于生理上的限制,其感觉能力是有限的。人的视觉器——眼睛只能感觉到可见光(通常波长在310—750nm),波长短的紫外线、波长长的红外线、X射线、γ射线等人眼都看不到,在明视距离(25cm)上的分辨力也只能达到0.1mm左右。听觉器官——耳只能听到频率在20—20000Hz的声波,次声波和超声波,人耳都无法听见。人体对气压、温度等的感觉范围就更小。事实上,在人的感觉范围之外,仍然存在物质世界的许多现象和过程,但它们却不能直接引起感官的感觉。

化学实验能够克服人的生理限制,提高人自身的感觉能力和分辨本领,使人获得更加丰富的感性知识和规律性的认识。这可以从以下几点来理解。

1. 化学实验手段能够扩大和改善人感官的感觉能力

化学实验的过程。它是实验者、实验对象和实验手段三个基本要素结合在一起,构成一个整体,并发生作用的过程,它是实验者根据一定的研究或教学目的,借助于一定实验手段(实验仪器、装置、设备和工具等物质手段),在人为干预和控制的条件下,使实验对象发生预定的变化的过程。因而,化学实验是以能动地变革研究对象为其特征。而变革实验对象不能单纯地依靠人自身机体的各种器官,即使最简单的实验(如,加热氯酸钾制取氧气)也是如此,总是要通过运用各种实验仪器、实验装置等物质手段来实现对物质对象的变革的。正如第二章讨论过的,实验仪器、装置、设备和工具等物质手段是构成化学实验和化学科学认识的一个不可缺少的要素,在实现化学科学认识过程中作为认识工具它起着十分重要的作用。化学实验中使用的物质手段种类繁多,它们在化学科学认识中所起的作用也是多种多样的。

(1)能延长人的感觉器官,克服感官的局限性,扩大接收信息能力的实验仪器和设备。

^① 恩格斯:《自然辩证法》,人民出版社1971年版,第16页。

化学实验中通过各种实验仪器、设备的运用,使许多原来不能为人们感觉到的或分辨不清的物质现象和过程,变成能够被人感觉到或分辨清晰起来。这样,在化学实验中,人们感性认识的领域就被大大地开拓和丰富了。如,利用电子显微镜可“看到”晶体分子,用场离子显微镜可“看到”直径只有 $0.3\text{\AA}$ 大小的原子,并在放大130万倍的条件下,成功地拍摄了原子的照片。还可以用云室、气泡室等探测仪,发现比原子还小的基本粒子运动的踪迹。用高超的辐射探测器,能从仅有17个原子中,确认出新元素(钷)的存在。这说明,利用实验仪器可以最有效地克服人感官的生理限制,大大提高人的观察能力,使那些不能被人的感觉器官直接感知的物质和现象变得可以被感知。现在,人们已经能够通过红外线、紫外线、X射线等手段来感知物质和现象。

实验手段的作用还在于它能改善和提高人的认识质量,使获得的感性认识更加精确和客观。例如,运用分析仪器可以将研究对象的各个部分、成分、要素分别加以准确地考察,同时还能免除各种主观因素的影响。物质是质和量的统一体,只有从数量上精确地把握它,才能深刻地认识它的质的规定性。使用测量仪器能为人们提供比较可靠的计量标准和准确的记录手段,帮助人们更精确地把握物质的各种量的特征。

总之,由于化学实验中使用了各种实验仪器、观察仪器和测量手段,不仅使人的感知范围大大地扩展了,而且帮助人的感性认识达到去伪存真、由粗到精,从定性到定量的较深层次,无疑这对深化认识是很有意义的。

(2)能延长人的效应器官,加强人对物质的作用,提高人对物质的干预和改造能力的实验仪器和设备。

人的效应器官同感觉器官一样,由于生理结构的限制,对物质的作用是极其有限的。人不仅不能单纯依靠自身机体的直接作用使物质发生化学变化,就是对一个坚硬的物质,依靠人机体的作用,也无法将其粉碎。化学实验中所研究的物质,其形态、结构和变化过程,是复杂的、多样的,各种因素总是交织在一起,只靠人自身机体很难、甚至不可能将某个因素或几个因素游离出来,也不可能依赖机体使其发生某些化学变化。而人能够通过自己的主动作用,使物质发生某种变化,而达到认识物质的属性和变化规律的目的。这种主动作用就是通过化学实验中的实验仪器和实验装置,以及相应的实验操作来实现的。

2. 化学实验能在严格控制条件下去变革物质的变化过程,为人们提供更加丰富的认识内容

马克思说:“物理学家是在自然过程表现得最确实、最少受干扰的地方去考察自然过程的,或者,如有可能,是在保证过程以其纯粹形态进行的条件下从事实验的。”^①

这就是说,人的研究工作,需要在一种特殊的、人为严格控制的条件下来进行,而不是在受到各种复杂因素干扰的情况下去进行研究的。这对于化学科学工作者或者化学教学中学生的认识,同样是适用的。

我们要认识的任何一种物质总是处于与其他物质的相互联系之中,为了达到认识某物质的目的,就需要把各种外在的干扰给以排除,使研究对象以“纯粹”的状态、从众多因素中“孤立”和“抽取”出来。例如,稀有气体

^① 龚育之:关于自然科学发展规律的几个问题,上海人民出版社1978年版,第5页。

存在于空气中(除氦外),要认识每一种稀有气体的性质,就需要把它们一个个从空气中分离出来,分别进行研究,以排除氮、氧、二氧化碳等物质可能产生的干扰。为了使稀有气体从空气中分离出来,就需要使空气液化,使空气液化的条件是低温、高压。人们制造的空气液化装置能将空气压缩至 $2.02 \times 10^7 \text{Pa}$ 和产生低温。通过这种装置制得的液态空气,再经过分级蒸馏、继续分馏以及一系列的化学处理,制得了以氩为主的稀有气体。然后,再采用低温分馏或低温选择性吸附的方法,从混合的稀有气体中将其组分分离开来。这里所谈到的高压、低温都是为了研究和认识上的需要人为创造的条件,在这种条件下,人们才有可能实现对稀有气体的认识。

在化学实验中所涉及的任何物质的化学变化过程,以及所产生的各种现象,都是有一定规律的,这种变化规律又总是同一定条件相联系着的。有时同一种物质或过程,在不同的条件下也会有完全不同的形态和特征,如通常状态下的空气与液态空气在性质方面有许多不同,液态空气呈淡蓝色,液态空气中氧的浓度比空气中氧的浓度大得多。许多物质在液态空气的温度下,性质都发生急剧的改变。

有些物质在常态下,其特有的本质和规律不易暴露出来,但在人为创造的某些极端条件下(如超高压、超高温、超真空、超低压等)才能揭示出它的规律。这些极端条件,在现实的自然界里是得不到的,只有在人为的条件下,才有可能。例如,在通常条件下,玻璃管不能产生放电现象,如果采用真空泵制成真空玻璃管,在玻璃管处于真空的条件下,我们才能观察到真空放电现象,也才能为认识阴极射线、发现 X 射线提供有利条件。又如,在超高压的作用下,能使分子之间、原子之间的空间被压缩变小,甚至使电子壳层发生变化,把电子压到原子核里去,变成了超固状,从而引起了物质的物理性质和化学性质上的明显变化。人们将会从中得到在生产实践和纯自然观察所得不到的新认识。^①

综上所述,化学实验不仅在丰富人们感性知识的内容方面起着重要作用,它还为人脑这个思维加工器官提供原料和半成品。化学实验中对物质及其变化过程“纯化”的本身就是在实践活动中实现着某种抽象、分析、综合的理性活动。正如马克思在讲到培根时说过的,按照培根的观点,“科学是实验的科学,科学在于用理性方法整理感性材料。归纳、分析、比较、观察和实验是理性方法的主要条件。”^②因此我们说,正是在化学实验的基础上,使得人们的认识实现着从感性认识向理性认识的飞跃。

化学实验在化学教学中的重要作用之一,就是为学生形成各种理性认识提供感性认识材料。形成物质的概念,要从揭示物质的性质入手。而物质的性质,只有通过化学实验,借助于实验手段,在人为控制的条件下,使物质发生物理的和化学的变化时显示出来,才被学生观察认识。如氢气、盐酸、甲烷等具体物质的概念,就是在通过一系列的化学实验所给出的直观、真实的感性材料的基础上形成的。化学基本概念(如氧化、电离等)和化学基础理论(如物质结构的理论)在化学教学中占有重要地位,它们的特点是比较抽象。为了帮助学生形成化学概念、理解化学基本理论,也常通过化学实验为学生提供一定的感性认识材料,并在此基础上,引导学生对观察到的宏观现

^① 王树茂编著:科学实验,辽宁人民出版社 1986 年版,第 43—44 页。

^② 马克思、恩格斯:马克思恩格斯全集·第 2 卷,人民出版社 1957 年版,第 163 页。

象、化学事实和测得的数据进行研究和处理，经过比较、分类、分析、综合、抽象和概括，以形成化学概念和化学理论，从而达到对物质的本质和规律性的认识。

二 化学实验是化学理论赖以产生的基础，是化学理论运用于生产实践的桥梁和中介

在化学科学认识中，不仅许多新现象、新事实的发现是来自化学实验室里的化学实验，而且许多化学科学理论也是从化学实验中总结出来的，所以化学实验是化学理论赖以产生的基础。化学实验是在一定化学理论指导下的一种有目的、有计划的向自然界索取某种期望东西的方法，是一种改造自然的实践活动，其实验结果运用于生产实践，将会给人们带来直接的经济效益。因此，化学实验是化学理论运用于生产实践的桥梁和中介。

1. 化学实验是化学理论赖以产生的基础，是化学科学发展的动力

由于化学实验本身具有的种种优点和特点，使得化学科学有可能凭借化学实验室中的优越条件，超越生产实践的某些方面的局限性，走到生产实践的前面，直接推动化学科学理论的研究，为生产实践开辟广阔的途径。化学科学上的任何一项重大突破，一般并不是直接来自生产实践，而是毫无例外地都要经过化学实验这个环节。例如，从原子光谱的测定到电子衍射实验，对量子力学的产生和微观粒子波粒二象性的证实就起到了决定性的作用。可见，离开了化学实验，化学理论就成了无源之水，无本之木，化学科学既不能存在，更不可能得到发展。所以说，化学实验是建立化学科学理论的源泉，也是检验化学科学真理性的标准。然而，这个源泉和标准本身是在不断地发展的，化学理论也必然在实验中不断地经受检验、丰富和发展，永远不会停留在一个水平上。现代量子理论的建立和发展生动地说明了这样一个真理。

19 世纪末，在热辐射现象的研究中，发现绝对黑体辐射能量随频率而变化的实验曲线，分别运用两种古典物理学理论只能分别解释其中的一段，紫外光部分或红外光部分则无法解释。新的实验事实同旧的物理学理论之间产生了尖锐的矛盾，它迫使人们必须重新审查古典物理学理论。德国物理学家普朗克(M. Planck, 1858—1947)在古典理论遭到挫折以后，于 1900 年大胆地引进了量子假说，成功地解释了绝对黑体辐射的能量分布曲线。

后来的实验表明，用古典的光是电磁波的理论来解释光电效应现象，同样遇到了无法克服的困难。瑞士杰出的物理学家爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)在普朗克假说的启示下，产生了一个崭新的想法：光电效应是由于光具有量子结构而引起的。1905 年，他提出光量子假说，这样不仅成功地解释了光电效应的实验事实，而且解释了在紫外线照射下气体放电的实验结果。后来，光量子假说得到了美国物理学家康普顿(A. H. Compton, 1892—1962)的 X 射线散射实验的进一步确证。这个著名的实验表明，X 光在散射过程中遵守动量守恒原理，就像弹性小球碰撞一样，揭示出光不仅在一定条件下显示出波动性，而且在另一些条件下还显示出粒子性。

但是，光的量子理论只是揭示了光波的粒子性，或光的波粒二象性。19 世纪末，电子被发现以后，物理学家们为探索原子的结构进行了紧张的研究活动。丹麦物理学家玻尔(N. Bohr, 1885—1962)把量子理论的基本观念引入到英国物理学家卢瑟福的原子行星模型中去，建立了半经典半量子性的原子结构理论，成功地解释了某些最简单的原子光谱现象，这就促使人们从根本

上改造玻尔理论，最后终于建立了能够反映微观粒子波粒二象性的普遍的量子力学理论体系。1927年，美国物理学家戴维森(C.Davisson, 1881—1959)和革末(L.H.Germer, 1896—1971)的电子衍射实验确证了微观粒子的波粒二象性，使量子力学建立在牢固的基础上。自从20年代以后直至今天，量子理论仍在实验的不断检验和推动下向前发展。

量子理论的发展令人信服地证明：理论发展中每一次新的重大突破都是由新的实验事实所引起的，这些新的实验材料揭示了以前不知道的物质的属性和新的联系，暴露了旧理论同新的实验事实的矛盾，迫使科学家重新审查已有的理论，对它进行全面的分析，保存其合理成分、舍弃或修改其不适用的成分。实验事实同科学理论的矛盾的不断产生，不断解决，就成为化学科学发展的动力，促使化学科学不断向前发展。^①

2. 化学实验是化学理论运用于生产实践的桥梁和中介

人们认识物质世界，是为了根据人类社会的需要来改造客观物质。化学实验，就其人为控制和变革物质的过程来说，属于改造物质的实践活动的范畴。但是，化学实验并不是大规模地、真正地改造自然界物质的生产活动。化学实验的直接成果是对物质及其规律性的认识的精神产品，而不是生产物质产品。也可以说，化学实验是物质生产活动的一种特殊的准备和试探，是为物质生产活动服务的精神生产活动。当我们把从化学实验中得到的关于物质规律性的认识成果，运用到化学生产实践中去，就能够不断地促进化学生产的进步和发展。

(1)化学生产水平的提高，依赖于化学科学的发展，并以化学实验为桥梁和中介。

在古代，生产技术的提高和进步，主要是依赖于生产实践经验的积累。在近代，自然科学发展起来以后，情况有了很大的改变。近代生产技术的发展就不再仅仅依靠于生产实践的经验，而是依赖于在实验基础上建立和发展起来的科学，依赖于实际经验和科学实验的结合。对于化学来说，特别是到了19世纪，由于在生产技术上自觉地运用化学科学原理来代替从经验中得出的成果，而出现了一系列新的化学工业生产部门，这些新的化工生产部门，主要是在化学实验所提供的化学科学认识成果的基础上开始迅速发展起来的。20世纪以来，化学科学有了较快的发展，随之化学工业生产也发展到了更高的水平。现代化学工业的一系列新兴部门如原子能工业、稀有金属工业、特殊合金工业、石油化学工业、农药工业、高分子化学工业等的出现，全都是化学实验的科学认识成果的具体应用，都是以化学实验作为先行和准备的。

在化学实验中探索物质的组成、结构、性质及变化规律，是一个认识过程，而把这种认识成果应用于化学生产实际，也是一个认识过程。后者是前者的继续，并且要实现后一个认识过程也要依靠化学实验这个桥梁和中介。

(2)化学科学理论应用于指导化学生产实践，要以化学实验作为桥梁和中介。

以把化学理论应用于化学生产实际为目的的化学实验研究活动，是一种在实验室条件下进行的，是一种在纯化的、小规模、简化的或模拟化学工业生产过程的特殊实践活动。在这种化学实验中，人们获得的认识、掌握

^① 柳树滋、赵功民：科学实验是一项独立的社会实践，光明日报，1978年8月10日。

变革物质的实验条件，一般还不能完全立即应用到大规模的、复杂的化学工业生产中。为此，还需要有一个使认识进一步靠近生产实际的、具体化的过程，就要经过另一种类型的化学实验，这就是通常说的生产性实验，或者叫中间性试验(简称中试)。化学生产性实验是在比较接近具体的化学工业生产条件下进行的、扩大了化学实验。有时，也包括直接在具体的化学工业生产条件下进行的化学实验。只有经过一系列的、各种类型的化学实验，人们才能获得为顺利地进行化学工业生产实践所必需的正确认识。只有通过一系列的化学实验才能探索、寻求适于生产需要的条件和技术方法，使可能出现的问题，通过先行的小规模实验以求得到解决，然后用这种正确的认识去指导大规模的生产实践，使人们用化学实验中较小的代价去换取化学生产实践中的成功。

从实验室的化学实验，经过生产性的化学实验，到大规模的化学工业生产实践，这是人们的认识不断丰富和发展的过程，也是从认识客观物质到改造、变革客观物质的飞跃过程。在这个过程中，化学实验起着将化学科学认识转化为化学生产实践的桥梁、中介的作用。

三 化学实验是检验化学科学知识真理性的标准

通过化学实验获得的各种化学科学知识(包括化学科学事实、化学概念、定律和理论等)是否与化学科学对象相符合？是不是科学真理？这个问题，既不能由化学科学对象来回答，也不能由化学科学知识本身来解决。那么，用什么标准去检验化学科学知识是不是科学真理呢？列宁说：“行动的结果是对主观认识的检验和真实存在着的客观性的标准。”^①毛泽东也说：“判定认识或理论之是否真理，不是依主观上觉得如何而定，而是依靠客观上社会实践的结果如何而定。真理的标准只能是社会的实践。”^②显然，实践是检验真理的唯一的客观标准。

生产实践和科学实验是检验科学认识真理性的标准。在科学实验从生产活动中分化出来以前，对科学知识真理性的检验只能依靠生产实践活动来进行。当科学实验分化出来之后，科学实验对检验科学认识的真理性的意义就具有特殊的重要意义。在化学科学研究领域中，化学实验就成为检验化学科学认识真理性的客观标准(此外化学生产实践也是检验化学科学认识真理性的客观标准)。为什么化学实验能作为检验化学科学知识的客观标准呢？这是由化学实验本身所具有的下列性质决定的。

1. 化学实验具有客观性

化学实验所以具有客观性，首先是取决于构成化学实验的各要素都是客观的、可感知的，化学实验主体、化学实验对象以及化学实验的手段都是客观实在的。其次，化学实验具有客观性，还表现在化学实验的过程受客观规律的支配，化学实验所取得的结果是客观实在的。即化学实验标准的客观性，在于化学实验产生的结果的客观性。化学实验的结果如何，并不取决于人的主观愿望。正如恩格斯指出的：“行动的目的是预期的，但是行动实际产生的结果并不是预期的，或者这种结果起初似乎还和预期的目的相符合，而到

^① 列宁：列宁全集·第38卷，人民出版社1959年版，第235页。

^② 毛泽东：毛泽东选集·第一卷，人民出版社1958年版，第273页。

了最后却完全不是预期的结果。”^①如果人们的认识跟物质的客观规律性相符合，通过科学实验活动必然会得到人们预期的结果，转化为客观的实际事实，否则，如果人们的认识与客观实际不相符合，通过科学实验活动，就不会达到人们预期的结果。所以，实验标准的客观性表现在，实验结果如何是不以人的主观意志为转移的客观事实。例如，1781年，英国化学家普里斯特利(J. Priestley, 1733—1804)用电火花引爆氢气和空气的混合气体得到了露珠；同年英国化学家卡文迪许用不同比例的氢气与空气的混合物反复进行此项实验，确认这种露珠是纯净的水，实验表明氢是水的一种成分。卡文迪许又用纯氧(此时已发现了氧)代替空气进行实验，证明了氢和氧化合成水，且其体积比恰好是2:1。这些实验结果证明了水不是一种元素，水是氢和氧的化合物，而卡文迪许仍坚持水是一种元素的见解。1782年法国化学家拉瓦锡重复了他们的实验，才明确提出，水不是元素，而是氢与氧的化合物，从而纠正了把水当成元素的错误概念。1800年，英国化学家尼科尔森和卡里斯尔进行了水的电解实验，在两个电极上逸出的两种气体的量与氢跟氧化合成水时的体积比恰好相一致。经鉴定这两种气体正是氢气和氧气，这就进一步证实了水是氢与氧的化合物。又如，E. 卢瑟福用 α 粒子轰击金属箔，原想用实验验证汤姆生的原子模型。如果原子真像汤姆生所想象的，负电子象“西瓜子”似的分布在均匀带正电的原子的“西瓜”之中，那么 α 粒子就可以穿透原子而通行无阻，但是尽管大部分 α 粒子穿透过去了，却有一小部分 α 粒子受排斥，出现“大角度”的散射，这就表明原子内存在强大的正电中心，实验事实迫使卢瑟福否定汤姆生的原子模型，而提出原子的核模型。

2. 化学实验具有普遍性

化学实验的普遍性，指的是任何一个具体的化学实验都包含着一般的、共同的、规律性的东西。恩格斯说：“我们知道：氯和氢在一定的压力和温度之下受到光的作用就会爆炸而化合成氯化氢；而且只要我们知道这一点，我们也就知道：只要具备上述条件，这件事情随时随地都可以发生，至于是否发生过一次或者重复了一百万次，以及在天体上发生过，这都是无关紧要的。”^②在化学实验中，只要某一化学反应的条件具备时，该反应将会随时随地都可以发生，这就是化学实验的普遍性。化学实验所以具有这一特点，这是因为，任何一个化学实验虽说都是在一定条件下进行的，都是个别的、相对的，但是，个别的東西中有一般的东西，相对的东西中有绝对的东西。所以，具体的化学实验中有普遍性的优点。化学实验的普遍性，一方面为我们认识物质的规律性提供了现实的可能性和途径，另一方面又为我们检验化学科学知识的普遍性减少了不必要的重复。因为，只要化学实验的条件没有改变，化学实验的结果也必然不会发生改变，至于发生过多少次都是无关紧要的。可见，化学实验的普遍性是化学科学知识的普遍性的来源，并且能够对化学科学知识的真理性做出确实可靠的检验。

3. 化学实验具有直接现实性

化学实验的直接现实性是相对于化学科学知识的间接现实性来说的。化学科学知识作为对物质及其规律性的正确反映，它具有普遍性，但它是人们头脑里的观念的东西。观念的东西只有通过实践才能转化为现实的东西。化

^① 马克思、恩格斯：马克思恩格斯选集·第4卷，人民出版社1972年版，第243页。

^② 马克思、恩格斯：马克思恩格斯选集·第3卷，人民出版社1972年版，第554页。

学实验就能把化学科学知识这种观念性的东西转化为直接现实的东西。马克思说过，“思想根本不能实现什么东西。为了实现思想，就要有使用实践力量的人。”可见，化学实验与化学科学知识相比，它是变革研究对象的感性物质活动，具有直接现实性。

辩证唯物主义的认识论认为，科学实践的直接现实性规定科学实践标准的绝对性。这对于化学实验这种特殊的实践形式来说也是适用的。化学实验同样是检验化学科学知识真理性的客观标准。这是因为，真理即主观符合于客观，思想与现实相一致。检验化学科学知识的真理性，就要求把主观和客观、思想和现实进行对照。要进行这种对照，唯一的办法就是把主观见之于客观。而化学实验正是能把主观的东西转化为客观的东西，能把思想的东西转化为现实的东西的现实活动过程。在这个转化过程中，化学实验主体用于指导化学实验的化学科学知识是否符合于客观实际，从实验结果是否达到了预期的目的来给以判定，即以实验的结果来检验化学科学知识的真理性。

在化学科学研究领域中或化学教学中，常需要对化学事实、假说和理论等进行真理性的检验。检验的方式一般分为：直接检验和间接检验两种。

直接检验是直接用观察或实验的方法来验证某化学事实是否存在，某假说是否正确。为此，首先要针对化学事实陈述或假说的内容设计化学实验，然后通过化学实验进行观察，将所获得的感性材料与待检验的化学事实陈述或假设的内容直接相对照，如果实验的结果与待检验的事实或假说相符合，那么，被检验的化学事实或假说一般来说就被证实了。例如，门捷列夫曾预言过一些未知元素的存在，并预言了它们可能具有的性质，门捷列夫的预言是否可靠？后来，通过化学实验发现了这些元素的存在，并证实了它们所具有的性质与预言的相符。这说明门捷列夫的预言是正确的。这种直接检验的结果是有说服力的，但是，必须指出，这种直接检验方式，在大多数场合是不适用的。因此，需要有另一种检验方式，这就是间接检验。

间接检验的对象有两种情况，一种情况是待检验的对象是化学事实陈述，但是由于时间空间等客观条件的限制，或由于技术条件的限制，不允许进行直接检验；另一种情况是待检验的是理论陈述，由它可以推演出许多的事实陈述，然后对所推演出的事实陈述进行实验检验，以达到间接地检验理论陈述的目的。在间接检验中，人们可以首先根据待检验的事实陈述、假说、理论演绎出可以直接检验的推断，然后设计出与推断相应的实验或观察，再通过实验来直接检验所做出的推断是否正确。例如，人们在显微镜下能观察到悬浮在液体中的小粒子在做不停的无规则运动，这就是我们熟知的布朗运动。分子本身的无规则运动(即热运动)是无法直接观察到的，但是我们能够在显微镜下清楚地观察到作为分子热运动必然结果的布朗运动。在这里，布朗运动的存在与否是可以直接检验的，而分子热运动的存在与否则是通过被观察的布朗运动，加以逻辑推理而间接检验的。

从上述分析可见，间接检验与直接检验密切相关，归根结底，两者都是以化学实验(或生产实践)作为检验化学科学知识真理性的客观标准。

应该指出，在实验条件下，往往把复杂的过程简单化，把实际的过程理想化。从实验中得到的材料和数据，决不能完全代替从复杂的生产中得到的大量材料。因此，我们强调化学实验的作用，并不排除化学生产实践是提供化学科学最丰富的感性材料的源泉，而是认为化学实验加深和扩大了这个源泉；也并不否认化学生产实践是检验化学科学知识真理性的客观标准，而是认为

化学实验凭借日益发展的先进科学技术和生产技术使这个标准更加精确化；并不是否认化学生产实践是化学科学发展的最根本的动力，而是认为化学生产实践对化学科学发展的推动作用要通过化学科学实验的内部矛盾来实现；并不是贬低生产的作用，而是把化学生产实践同化学科学实验互相结合、互相补充，在化学生产的基础上充分发挥化学科学实验的作用。

第三节 化学实验的类型

在化学科学研究的探索道路上，人们运用了多种多样的实验方法，仅就化学分析领域来说就有许多，如传统的化学分析实验，就包括有定性分析实验和定量分析实验。定量分析实验又分为重量分析法和容量分析法，以及电重量分析和电容量分析的实验方法。特别是 30 年代以来，出现了一些新的分析实验方法，如吸收光度分析法、发射光谱分析法、质谱分析法、各种类型的极谱法、色谱分析法、荧光分析法、色层分离法、离子交换分离法、放射化学分析法和质谱法等。本世纪 40 年代以来，又兴起了一系列针对分子结构、分子电磁性、分子旋光性、分子轨道能级、试样的物相组成以及晶体结构测定等等新的实验方法。在化学合成领域里又有无机合成和有机合成等实验方法。总之，化学实验方法种类之多，令人眼花缭乱。

一 化学实验的分类

化学实验的发展历史告诉我们，化学实验随着科学技术的进步与发展，实验手段、设备的不断更新和精确化，其种类越来越多。种类繁多的实验方法，并不是各自孤立、彼此毫无联系的。我们可以根据它们的主要特征或本质属性，按照不同的标准进行分类，找出它们的从属关系，揭示出它们之间的纵横联系，以便为化学科学研究或化学教学提供可兹选用的、有效的探索途径和方法。

按照实验的精确性和实验所处的环境，可以把化学实验分为：实验室实验和自然实验。按照实验的直接目的，可以把化学实验分为：探索性实验和验证性实验。按照实验中量与质的关系，又可以把化学实验分为：定性实验、定量实验和结构分析实验。按照实验的步骤，可把化学实验分为：预备性实验、决断性实验和正式实验。按照实验在科学认识中的作用，可以把化学实验分为：析因实验、对照实验、中间实验和模拟实验。按照实验的对象，可以把实验分为：物的实验、动物实验和人的实验等等。

二 常见的几种化学实验

1. 实验室实验和自然实验

(1) 实验室实验。

实验室实验是指在实验室里，通过实验仪器和设备，在人为地控制或改变实验对象的状态和条件下，考察与研究实验对象的一种有目的、有计划的操作或实践活动。化学科学研究与化学教学中的实验大多数属于这种类型。

(2) 自然实验。

自然实验是指在通常的自然环境中对实验对象加以考察的一种实践活动。如考察化肥对农作物生长的影响，农药的杀虫效果以及除草剂的除草效果等就属于自然实验。在化学中，这种类型的实验多用于研究工农业生产中的问题。自然实验与实验室实验相比较，它的优点是它把观察自然的自然性和实验的主动性有机地结合在一起。它的不足表现在自然实验中缺少对某些因素的严格控制，因而实验结果的精确性较差。

2. 探索性实验和验证性实验

(1) 探索性实验。

探索性实验是指探索研究对象的未知性质，了解它具有怎样的组成、有

哪些属性和变化特征，以及与其他对象或现象的联系等的一种实验。探索性实验的特点是根据实验的目的，利用已知的、外加的因素去干扰或扰动研究对象，看它会发生什么样的变化，出现什么样的现象，产生怎样的结果。这种实验一般都具有试探的性质，因此也称之为试验。例如，在化学史上，对单质氟的制取及其性质的研究就是探索实验的典型实例。由于 F^- 离子是一种极弱的还原剂，不可能用化学方法把它氧化，使之从它的化合物中游离出来，只能用电解氧化法来实现制备氟的目的。早在 1810 年氟被发现以后，化学家们为了获得单质氟曾做了不少尝试，但却因对实验器具的严重腐蚀或中毒等使实验屡遭失败。直到 1886 年才由法国化学家莫瓦桑从电解氟化钾的无水氟化氢溶液制得。

(2) 验证性实验。

验证性实验是指对研究对象有了一定了解，并形成了一定认识或提出了某种假说，为验证这种认识或假说是否正确而进行的一种实验。例如，1879 年英国物理学家克鲁克斯通过气体放电现象的实验研究，认识到了阴极射线的性质。对于阴极射线的本质，曾有各种解释，克鲁克斯在 1879 年提出，这是物质的第四态或超气态物质，也有的物理学家认为阴极射线是一种类似于紫外线辐射的以太扰动。而 J.J. 汤姆生和大多数英国物理学家认为阴极射线是带电的粒子流，因为它在磁场中的射程变成了曲线形状。后来，J.J. 汤姆生用验证性实验来检验他所提出的假说，实验结果证明了阴极射线是带负电的微粒子，他把这种带负电的微粒子命名为电子。

化学教学中，这两种类型的实验都有一定的安排，它们在化学教学中各起着不同的作用，教师都应给予足够的重视。

3. 定性实验、定量实验、结构分析实验

(1) 定性实验。

定性实验是用来判定实验对象具有哪些性质、某种因素是否存在、某个因素是否起作用、某些因素之间是否具有某种联系、测定某些物质的定性组成、探讨研究对象具有怎样的内部结构等所进行的实验。定性实验的目的，主要在于解决“有没有”、“是不是”的问题。如在化学教学中为了判定某物质是否具有某种性质(如可溶性、可燃性、氧化性、还原性、导电性、酸碱性等)所进行的实验就是定性实验。又如，定性分析就是用实验方法鉴定物质中含有哪些元素、离子、原子团和官能团的定性实验。

定性实验在化学科学研究中占有十分重要的地位，它是进行定量实验的基础。因为，只有通过定性实验了解和掌握了研究对象的组成及其大约含量，才能进一步正确选用和安排定量分析的实验方法。

定性实验在一般情况下，其重点在于弄清研究对象的各种属性、特征和关系等方面，并不要求搞清各因素之间的定量关系。但这不等于说在定性实验中可以完全忽视量的概念。因为任何一种物质的质都表现为一定的量。没有物质的量的概念，有时就难于区分物质具有不同的质。化学史上拉瓦锡用化学实验判明燃烧过程的实质是氧化，从而推翻了在欧洲流传了大约 100 年的燃素学说，这就是依靠了精确天平进行了严格的定量测定才实现的。

(2) 定量实验。

定量实验是指为了深入了解物质和自然现象的量的特征，揭露各因素之间的数量关系，确定某些因素的数值等而进行的实验。比如，J.J. 汤姆生测定电子荷质比的实验就是科学史上著名的定量实验。又如，法国化学家普罗

斯(J.L.Proust, 1754—1826)在对各种化合物做了定量分析的基础上建立了定组成定律。英国化学家道尔顿在对由两种相同元素生成的多种化合物做了定量分析后建立了倍比定律。化学中为了测定某元素的原子量、确定某化合物中的定量组成、确定化学反应过程中各种元素的消耗量等都需要进行定量实验。

定量实验比定性实验具有更大的优越性,表现在定量实验往往能把定性实验的内容包含于自身之中,起到定性分析的作用。另外,它能够具体地从量上来测定对象所具有的某种性质或者它们的数量关系。因此,定量实验得到的结果是一定质的量之间的函数关系,它一方面能把规律揭示得比较具体,另一方面容易通过实验发现和认识未知的事实和现象。例如,居里夫妇在定量地测定各种铀盐、铀矿物、铀化合物中的放射性强度时,通过剩余法得知还存在新的放射元素——钋和镭^①。

从定性到定量,是人类对自然事物的认识不断深化的标志。定量实验与数学方法的结合,是现代自然科学进步的显著特征之一。自然科学要从描述的、经验的阶段上升为精确的理论的阶段,就必须借助于定量实验的帮助。

化学教学中定性实验较定量实验的数量多。随着学生年龄的增长,高年级较低年级有更多的定量实验;另外,随着化学教学内容的不断更新,定量实验的数量也较过去有所增加。

(3)结构分析实验。

结构分析实验是用以测定分子、晶体等物质中基本微粒空间排布的一种实验方法。从化学实验发展史看,化学长期以来处于唯象阶段,即主要是论述和研究一些从科学实践中观察到的化学反应和性质。随着科学技术的进步,人类的科学认识也不断向深层次发展。目前,化学已发展到了一个新的阶段,其主要特征是从微观结构去探讨和阐明宏观现象的实质。

关于物质分子结构的问题,早期的古典研究工作主要是通过化学反应去探讨结构。例如,对甲烷(CH_4)分子结构的认识,是由甲烷能被四个氯原子取代生成 CCl_4 的反应来确定的。现在的情况已大大改观了,可以采用结构分析实验的方法去直接通过物质物理性质的测定及其综合分析推导出它的结构。在结构分析实验中,新的物理方法起着主导作用,化学反应方法则成了一种辅助手段。例如,从物质的旋光性就可以很快地区别开乳酸的两种旋光异构体,一种为左旋体,另一种为右旋体,它们的空间结构如同实物和镜像。而单纯用化学方法对此是无能为力的。

结构分析实验方法主要用于阐明物质的微观结构,但也广泛地用于化学分析。其优点是:样品用量少、快速、高选择性和高灵敏度,便于自动记录和控制,研究对象不被破坏等等。但与化学方法比较,所用的仪器较为昂贵、不易推广,机械光学和电子装置较为复杂,对于测试所得结果的解释要有一定的实践经验和一定的结构化学理论知识。因此,这种结构分析实验方法,目前我国中学化学教学中尚未涉及到。

4. 比较实验、析因实验、模拟实验

(1)比较实验(又称对照实验)。

比较实验是指通过对照或比较来研究和揭示对象某种属性或某种原因的一种实验方法。这种实验要设置两个或两个以上的相似组样,一个是对照组,

^① 林定夷著:《科学研究方法概论》,浙江人民出版社1986年版,第335页。

作为比较的标准,另一个是试验组,通过某种实验步骤,在两组之间判定实验组是否具有某种性质或影响。根据需要又可分为相对比较实验和对照比较实验。

相对比较实验 相对比较实验是把两个或多个实验对象作相对比较时采用的实验。例如,已知铂丝、铜网(铜丝)、氧化铁、三氧化二铬、氧化铁和二氧化锰的混合物等都可作为氨催化氧化制硝酸的催化剂。为了从中选择价廉、催化效果好的催化剂,就需要进行这种相对比较实验。又如,已知硝酸铵和碳酸氢铵对农作物的生长均有效,为了比较这两种氮肥的肥效,则可在相同农作物的两块农田上分别施用这两种氮肥,通过对两块农田作物的长势和收成的相对比较来判定它们的肥效。

对照比较实验 对照比较实验是把某个属于未知的事物同一个已知的事物作对比,以便确定某种因素的影响而安排的实验。例如,为了使学生认识二氧化锰对氯酸钾热分解反应速度的影响,就可采用对照比较实验,把未加二氧化锰的氯酸钾加热使之分解,作为对照标准,而给另一加有二氧化锰的氯酸钾加热同它进行比较,从而确认二氧化锰对氯酸钾分解反应速度的影响。又如,在确定某种化肥的肥效时,可以将一块未施该种化肥的农田作为对照标准,而使另一块施用该种化肥的试验田与之比较,即可确定该化肥是否有效。

比较实验是最常见的一种实验,不仅广泛应用于工农业生产和医学中的药物临床上,而且在化学科学实验研究与化学教学中也常使用,如为了确定某种因素(如温度、催化剂等)对某一特定化学反应的影响,以便确定实验的最佳条件时,就要进行比较实验。

(2)析因实验。

析因实验是指为了寻找、探索影响某事物的发生和变化过程的主要原因而安排的一种实验。这种实验的特点是:结果是已知的,而影响结果的因素特别是其主要因素是未知的。例如,19世纪80年代,稀有气体氩的发现就是如此。当时英国物理学家雷利(L.Rayleigh, 1830—1910)用两种不同的方法制取氮气,测定出氮气的密度并不相同。雷利对此现象无法作出解释,为了寻找产生这种结果的原因,他与英国化学家拉姆塞合作,做了如下的析因实验。拉姆塞通过自己设计的实验除去了空气中氧气、氮气、二氧化碳和水蒸气,最后得到的剩余气体体积仅为原来空气的 $1/80$ 。对这种剩余气体进行光谱分析,他确认它是一种新元素,这就是后来被命名为氩的气体。这个实验为雷利所做的两个实验产生不同的结果找到了原因。

进行析因实验首先要尽可能全面掌握影响结果的各种因素。为此,就要进行详细、周密的调查研究,不放过任何微小的可疑线索。因为有时恰恰是那些微不足道的因素,即是造成某种结果的重大原因。

如果有两个因素对析因实验产生影响时,可采用对照比较的方法来确定其主要影响因素。对于有多个影响因素的析因实验,可采用逐步排除的方法,即每次在控制几种因素不变的情况下,只改变其中的一个因素,以确定每一个因素的具体影响,最后找出其主要原因。有时造成某种变化或现象的原因并不是哪一个因素单独起作用的结果,就要同时进行多变因素的析因实验。

(3)模拟实验。

模拟实验是指在科学研究中,由于受客观条件的限制,不允许或不能对研究对象进行直接实验,为了取得对研究对象的认识,人们可以通过模拟的

方法，选定研究对象的代替物(即模型)，模拟研究对象(即原型)的实际情况，对代替物进行实验，这种实验就是模拟实验。例如，1953 年美国科学家米勒(S.L.Miller, 1930—)为了探索生命的起源，做了一个微型化的模拟实验。米勒将甲烷(CH_4)、氨(NH_3)、氢(H_2)和水蒸气的混合气体通入洁净的真空玻璃仪器，然后模仿原始地球大气层的闪电，给混合气体连续进行火花放电，结果只用了一周的时间，便从混合气体中得到了构成蛋白质的多种氨基酸。米勒做的模拟实验为研究生命起源开辟了一条崭新的道路。

模拟实验的一个突出特点，就是既能使研究对象微型化，又能使研究对象扩大化，还能找出研究对象的理想代替物。例如，在医学研究上，为了探索某种化学药品的疗效和毒性，都不能在人体上进行实验，而是利用某些哺乳动物与人体在生理过程和病理过程具有相似性这一点，用某种动物代替人来做有关生理和病理的模拟实验，直到取得可靠的结果，然后才能应用于临床。

化学教学中，根据需要也可以进行模拟实验。如用麻雀或小白鼠代替人来做氮气窒息性或一氧化碳毒性的模拟实验。又如，在实验室里可以模拟化工生产的过程，进行氨氧化制硝酸或二氧化硫氧化制硫酸的模拟实验。化学教学中的模拟实验对学生智力的开发、能力的培养都有积极作用。

第五章 化学实验与实验观察

对于化学实验系统，我们不仅要用静态的观点来考察它的要素及其结构、特点和功能，而且还要从动态的角度来研究它的实施过程和操作程序。一般来说，化学实验过程大致可分为三个阶段：第一阶段是实验的准备阶段，其中的确定化学实验问题和设计化学实验方案是最主要的两项工作；第二阶段是实验的实施阶段，其中的控制实验条件是实验的灵魂，全面、准确的观察是实验的关键，测定是对实验对象量的特征进行研究的重要方法；第三阶段是实验结果的处理阶段。

第一节 化学实验问题的确定

伟大的科学家爱因斯坦说过：“提出一个问题往往比解决一个问题更重要，因为解决一个问题也许仅是一个数学上的或实验上的技能而已。而提出新的问题、新的可能性，从新的角度看旧的问题，却需要有创造性的想像力，而且标志着科学的真正进步”^①。

无论是科学研究，还是化学教学，明确地提出所要解决的化学实验问题，都是非常重要的一项工作。因此，有必要对确定化学实验问题的方法论进行一些探讨。

一 化学实验问题及其认识论功能

1. 化学实验问题的含义

所谓化学实验问题，就是化学实验主体在某个给定的化学实验中的当前状态与所要达到的目标状态之间存在的差距。

“当前状态”是指实验主体目前已知的知识或理论；“目标状态”是指实验主体目前未知但准备去探索的新知识或新理论。因此，化学实验问题是已知与未知之间的桥梁和纽带。例如，1896年贝克勒发现了铀天然放射性这一现象(已知的实验事实)，对此人们提出了新问题：既然铀具有放射性，那么还有没有其他元素也具有放射性呢？这一问题激起了居里夫人的研究热情，经过数年的艰苦努力，终于发现了钋、镭等元素也具有放射性(未知的实验事实)。

化学实验问题是就某个给定的化学实验而言的，也就是说，它具有现实性。并不是所有的化学实验问题在当前都能被解决，只有那些具有向已知转化的可能性，并且成为人们当前迫切需要探索的未知问题，才能成为现实意义上的化学实验问题。例如，如何把廉价金属转变为黄金？在古代，这只能是一种梦想。但在已经发现元素相互转化规律的今天，就是一个可以被解决的现实化学实验问题。再如，在初中化学教学中就不能提出“在试验溶液是否导电时，为什么连接氯化钠水溶液的灯泡比连接氨水的灯泡明亮”这样的问题。因为从学生的知识基础和能力发展水平，以及中学化学教材的编排结构来看，这样的问题初中学生是难以解决的。

2. 化学实验问题的认识论功能

从科学认识论的角度来看，化学实验问题具有下面一些功能。

(1) 动机功能。

化学实验问题是实验主体的未知领域，是已知与未知之间存在的差距。正是这种差距，吸引实验主体的注意力，激起他们进行实验探索的强烈欲望，产生寻找问题的答案、解决实验问题的冲动。著名化学家拉瓦锡就是出于对“燃素究竟是什么东西？”的疑虑，进行了大量的观察和定量实验，最终推翻了燃素说，建立了氧化学说。

(2) 启动功能。

化学实验探索作为一种活动，它的起点就是化学实验问题的提出。提不出化学实验问题，就没有实验探索的目标和方向。因此，化学实验问题的发现和提出，是进行实验探索的首要步骤，正是它启动着实验探索机制的运行。

^① 爱因斯坦、英费尔德著：物理学的进化，上海科学技术出版社 1962 年版，第 66 页。

(3)定向功能。

化学实验问题，实际上就是化学实验探索的目标，它规定了探索的方向和内容。例如，“其他元素是否也具有放射性”这一问题，规定了研究的对象和内容是放射性而不是元素的其他性质，同时还指明了问题的答案应该在化学元素当中去寻找。

二 化学实验问题的结构和类型

1. 化学实验问题的结构

化学实验问题同其他问题一样，也是由三个要素构成的，即问题的疑项、指向项和应答域项。

(1)疑项。

问题通常是用疑问句来表达的。一个完整的疑问句，都包含有疑问词和问号，二者被称为问题的疑项。根据疑项，可把问题的表述形式分为一般疑问句和特殊疑问句。

一般疑问句的普遍形式可表述为：“是否……呢？”如“其他元素是否也具有放射性呢？”

特殊疑问句的形式分为 What(是什么)、Why(为什么)和 How(怎样的)等三种类型。What 型问题要求对研究对象进行识别和判断，如“盐酸能跟哪些金属发生反应呢？”Why 型问题要求回答现象的原因或行为目的，如“氢氧化铝为什么既能溶于盐酸又能溶于氢氧化钠呢？”How 型问题要求描述研究对象的状态或过程，如“碳酸钠跟碳酸氢钠是怎样相互转化的呢？”

(2)指向项。

它是指问题所指向的研究对象。如“盐酸能跟哪些金属发生反应呢？”盐酸跟金属的反应就是指向项。

(3)应答域项。

它是指在问题的表述中对问题答案的存在范围所做的一种预设。尽管这种预设是一种猜测，但在科学探索过程中却能起定向和指导作用。因为它排除了许多因素，能对问题的解决提供明确的指向。例如，上例的问题提法中已经假定盐酸能跟金属发生反应，“金属”就是预设的应答域。如果把该问题改成“盐酸能跟哪些物质发生反应？”，这时应答域是“物质”，是个全域，对问题答案的范围没做任何限定，因而对问题答案的确定毫无指导意义。

2. 化学实验问题的类型

依据不同的标准，可以对化学实验问题进行不同的分类。从化学教学的角度，根据化学实验问题在教学认识中的作用，可以将其划分为三类。

(1)启发性化学实验问题。

提出这类问题的目的是通过问题的解决，直接或间接地为化学科学概念、理论或假说的建立和发展提供重要的化学实验事实。例如，“食盐、硝酸钾、氢氧化钠和硫酸的水溶液是否导电？”“硝酸钾晶体在熔化状态下是否导电？”这些问题的解决可以为学生形成电解质概念提供感性认识材料。

(2)验证性化学实验问题。

提出这类问题的目的是通过问题的解决，直接或间接地为化学理论或假说的检验提供重要的化学实验事实。例如，根据氨分子结构上的特点，可以推断氨易溶于水，那么，“氨是否易溶于水呢？”利用喷泉实验就可以解决这个问题，从而可以验证这个假说。

(3)应用性化学实验问题。

提出这类问题的目的是通过问题的解决，来培养学生运用“双基”解决具体化学问题的能力。例如，“怎样鉴别硫酸和盐酸？”、“怎样用实验方法证明鸡蛋壳和水垢中含有碳酸盐？”等就属于这类问题。

此外，在化学教学中还有一类技术方面的问题，即化学实验操作问题。如“怎样使用酒精灯？”、“如何取用固体药品？”等。提出这类问题的目的是通过问题的解决，来培养学生化学实验操作技能和动手能力。

三 化学实验问题的层次性及其分解

1. 化学实验问题的层次性

无论是科学研究，还是化学教学，我们都要解决很多实验课题。所谓实验课题就是为了实现某个特定的实验目的所需要研究和解决的一个或一组化学实验问题。因此，可以称课题为大问题，它是由一系列相互联系、具有一定层次结构的小问题构成的。

例如“酸的化学性质”，是一个大的实验课题。从横向来看，包括盐酸具有哪些化学性质、硫酸具有哪些化学性质、硝酸具有哪些化学性质等问题；从纵向来看，包括盐酸能否跟金属、金属氧化物、碱和盐反应等等问题。这些问题纵横交错，形成层次网络。

2. 化学实验问题的分解

对于具有一定层次结构的比较复杂的化学实验问题，要想研究和解决，必须对其进行分解。只有这样，才能找到解决问题的方向和方法。

那么，如何进行分解呢？首先要把问题分成几个大的方面，然后从每个方面再引出新的问题，直到问题与已知的知识建立起联系为止。例如“盐酸具有哪些化学性质？”是个大问题，要想解决它，首先需将其分成金属、金属氧化物、碱和盐等几个方面；对于盐酸跟金属的反应，又可以分解成盐酸能否跟铁、锌反应等问题；盐酸跟铁的反应，还可以分解成是用铁屑还是用铁粉、怎样向试管中加入铁屑和稀盐酸、加入多少、有无气体产生、气体是什么等一系列小问题。这些小问题根据已有的知识是可以逐个解决的。盐酸其他方面的化学性质也可以通过层层分解逐步得到解决。

四 确定化学实验问题的一般要求

从教学的角度来看，确定化学实验问题应注意以下要求。

1. 要善于发挥化学实验问题的动机功能

化学实验问题具有动机功能。因此，教师在教学中一方面要采取多种形式向学生提出具有启发性的化学实验问题，以吸引学生的注意力，激发他们进行探索的积极性、主动性和创造性；另一方面又要善于引导学生根据各自的实际情况，自己提出一些化学实验问题，并加以解决，从而激起他们主动提出和解决化学实验问题的兴趣和动力。

2. 化学实验问题要与化学教学目的相配合

化学实验问题是化学教学的一部分，因此，它要与化学教学目的相配合，为化学教学目的服务。例如，用氯酸钾在二氧化锰作催化剂的情况下制取氧气的实验。从科学研究的角度来看，要涉及许多化学实验问题。但在教学中，不可能也不必要把这些问题都提出来并加以解决，而只需提出一些体现化学教学目的的问题。如加(少量)或不加二氧化锰对产生氧气的速度有什么影

响，以便学生形成催化剂的概念。

另一方面，化学实验问题在表述方式上也要与化学教学目的相配合。如果教学目的是用探索性实验来启发学生形成化学概念、定律等，那么，就应该用启发性化学实验问题。例如，白磷燃烧前后，天平两边是否平衡？这个问题可以使学生通过观察来获得形成质量守恒定律的化学实验事实。如果教学目的是用验证性实验来检验化学概念、定律的正确性，那么，就应该用验证性化学实验问题。例如，蜡烛燃烧前后天平两边也一定平衡吗？

3. 化学实验问题的应答域要明确、具体

化学实验问题具有定向功能。要充分发挥这一功能，在教学中就必须非常明确、具体地对化学实验问题的应答域加以限定，使学生清楚所要解决问题的内容和范围。“氯化铜能跟哪些金属发生反应？”这个问题的应答域就比较明确、具体；“氯化铜能跟哪些物质发生反应？”这个问题的答案范围“物质”是个全域，没有必要的限定，因而使学生无法回答。

4. 化学实验问题之间要注意逻辑性

较复杂的化学实验问题，是由一系列具有一定层次结构的小问题构成的。因此，教师在提出化学实验问题时，要注意问题之间的逻辑性，并通过逐层分解，使问题与学生的既有知识建立起联系，从而达到问题的解决。

第二节 化学实验设计

“是否有眼力，主要看选题；是否有能力，主要看构思。”^①所谓构思，就是实验设计，它是化学实验准备阶段的另一项十分重要的工作。“最有成就的实验家常常是这样的人：他们事先对课题加以周密思考，并将课题分成若干关键问题，然后精心设计为这些问题提供答案的实验。”^②

一 化学实验设计的意义

化学实验设计是指实验者在实施化学实验之前，根据一定的化学实验目的和要求，运用有关的化学知识和技能，对实验的仪器、装置、步骤和方法在头脑中所进行的一种规划。

化学实验设计在化学科学研究中具有极其重要的作用，它直接关系到实验效率的高低，乃至实验的成败。科学、合理、周密、巧妙的实验设计，往往能导致化学科学的重大发现。卢瑟福的原子结构“行星模型”，就是根据他精心设计的 α 粒子散射实验的结果提出来的。

在教学中，化学实验设计也具有重要意义。首先，它可以激发学生的化学学习兴趣。学生根据自己所学的化学知识，独立地或在教师启发下，设计出各种实验方案，成功地解决化学实验问题，从而产生成功后的喜悦，激发起更大的学习热情，成为进一步学习的强劲动力。其次，设计化学实验方案需要学生灵活地和创造性地运用所学的化学基础知识和基本技能，因而可以培养他们解决化学实验问题的能力和创造能力。同时，进行化学实验设计还需要学生掌握各种科学方法(如实验、测定、实验条件的控制、假说等)，具有严肃认真、一丝不苟和敢于创新的精神，因而有利于学生科学方法的训练和科学态度的培养。此外，化学实验设计还是培养化学教师实验研究能力的重要途径和方法。

二 化学实验设计的类型和内容

1. 化学实验设计的类型

根据不同的标准，可以将中学化学教学中的实验设计划分成不同的类型。

(1)根据实验在化学教学认识过程中的作用来划分。

①启发性(或探索性)实验设计。由于这类实验是在课堂教学中配合其他化学知识的教授进行的，采取的又多是边讲边实验或演示实验的形式，因此，在设计这类实验时，要注意效果明显、易操作、时间短、安全可靠。

②验证性实验设计。由于这类实验的目的主要是验证化学假说和理论，又多采取学生实验课或边讲边实验的形式，因此，在设计这类实验时，除了上述要求外，还要注意说服力要强。

③运用性实验设计。这类实验的目的是综合运用所学的化学知识和技能，解决一些化学实验习题或实验问题。因此，在引导学生进行实验设计时，要注意灵活性和综合性，尽可能设计多种方案，并加以比较，进而进行优选。从课内、课外的角度来分，运用性实验设计又包括课内的实验习题设计和课

^① 刘大椿著：科学活动论，人民出版社 1985 年版，第 68 页。

^② 贝弗里奇：科学研究的艺术，科学出版社 1979 年版，第 12 页。

外的生产、生活小实验设计。

(2)根据化学实验的工具来划分。

①化学实验仪器、装置和药品的改进或替代。

②化学实验方法的改进。这主要是由于中学化学课本中的一些实验因装置过于繁杂、操作不太简便、方法不太合适、可见度较低而影响化学教学效果，因此需要改进方案，重新设计。另一方面，由于中学受到种种条件的限制，常会发生缺少某些仪器、药品的情况，因而需要自制一些仪器和代用品，采用微型实验，所以也需要对实验重新进行设计。

(3)根据化学实验内容来划分。

①物质的组成、结构和性质实验设计。

②物质的制备实验设计。

③物质的分离、提纯、鉴别实验设计。

2. 化学实验设计的内容

一个相对完整的化学实验方案一般包括下述内容：

(1)实验目的。

(2)实验原理。

(3)实验用品(药品、仪器、装置、设备)及规格。

(4)实验装置图、实验步骤和操作方法。

(5)注意事项。

(6)实验现象及结论记录表。

三 化学实验设计的原则

1. 科学性原则

科学性是化学实验设计的首要原则。所谓科学性是指实验原理、实验操作程序和方法，必须与化学理论知识和化学实验方法论相一致。例如 Na_2S 和 Na_2SO_3 的鉴别，在试剂的选择上就不宜选用硝酸等具有氧化性的酸；在操作程序的设计上，应先溶解、取少量，然后加试剂，而不能溶解后就加入试剂。

2. 可行性原则

可行性是指设计化学实验时所运用的实验原理在实施时切实可行，所选用的化学实验药品、仪器、设备和方法在中学的条件下能够得到满足。例如 NaCl 、 Na_2SO_4 的鉴别。有的学生常选用 AgNO_3 做试剂，认为 AgCl 难溶、 Ag_2SO_4 微溶，从而把两者加以区分。事实上，这种方法所依据的原理在实施时是不可行的。因为硫酸银不稳定，很易分解成难溶的氧化银。再如，用化学方法鉴别 N_2 和 Cl_2 ，就不能用它们跟氢气的反应来进行区别。因为 N_2 跟 H_2 的反应条件在中学很难得到满足， Cl_2 跟 H_2 的反应如控制不好，有一定危险性。

3. 安全性原则

安全性是指实验设计时应尽量避免使用有毒药品和具有一定危险性的实验操作。如果必须使用，应在所设计的化学实验方案中详细写明注意事项，以防造成环境污染和人身伤害。

4. 简约性原则

简约性是指要尽可能采用简单的实验装置，用较少的实验步骤和实验药品，在较短的时间内来完成实验。例如 AgNO_3 、 NaBr 、 HCl 和 Na_2CO_3 四种溶液的鉴别。有的学生采用常规的组合实验方案，列出四组平行实验，共计 12

个操作步骤；有的学生运用分析推理，只用 6 个操作步骤就完成了鉴别。相比之下，后一种设计简约了实验程序，减少了药品用量和工作量，在较短的时间内完成了鉴别，符合简约性原则。

四 化学实验方案的优选标准

同一个化学实验问题，可以设计出多种实验方案，这就需要对它们进行选择。根据化学实验设计的原则和中学化学教学的实际，可确定如下优选标准。

(1)效果明显。这是选择化学实验方案的首要标准。如果其他方面都很好，而实验效果不理想、现象不明显，也不能被认为是最佳化学实验方案。

(2)操作安全。

(3)装置简单。

(4)易操作、用药少。

(5)步骤少、时间短。

第三节 化学实验条件的控制

“实验，实际上是条件控制下的观察”，“所有的实验，都是在条件控制下进行的”^①。控制实验条件是实验这种实践活动最突出的一个特点。因此要实施化学实验，就必须对有关化学实验条件控制的方法论问题加以探讨。

一 实验条件及其控制

1. 实验条件

所谓实验条件是指同特定实验对象相联系，并对其状态、性质和变化发生影响的诸因素的总和。例如，用稀硫酸跟锌反应制取氢气的实验，实验装置、稀硫酸的浓度和体积、锌的加入量、硫酸铜晶体的加入量等，都是影响氢气产量的实验条件。

任何化学实验都必须在一定的实验条件下才能进行。木炭在氧气里燃烧，可谓是比较简单的化学实验，但也离不开实验条件。点燃，木炭燃烧；不点燃，木炭则不燃烧。点燃就是木炭跟氧气发生反应的重要实验条件。

实验条件不同，物质的状态、性质和变化也不相同。例如温度，它是化学实验的重要条件。水在 10℃ 时是液态，在 100℃ 时就是气态；乙醇跟浓硫酸反应在 130—140℃ 时生成乙醚，在 160—170℃ 时则生成乙烯。

实验条件是物质发生变化的外因，它要通过物质的本质属性或内部结构而起作用。乙醇在不同温度下生成不同物质，是由于其结构决定的，它既可以分子间脱水生成乙醚，也可以分子内脱水生成乙烯。如果乙醇分子不具有这样的结构，无论怎样改变温度，也绝不会生成这两种物质。

2. 实验条件的控制

既然实验条件对化学实验如此重要，因此，要想使实验对象保持或达到某种状态、发生某种特定变化，得到理想的实验结果，就必须对实验条件进行严格、有效的控制。

所谓实验条件的控制，就是通过改变实验条件，运用各种不同的实验比较法，来探寻最佳实验条件的一种科学的操作方法和思考方法。

例如碳粉还原氧化铜实验。影响该实验的条件主要有加热方式和碳粉与氧化铜的质量比。对该实验条件的控制，可采用简单比较法，即先固定用酒精灯加热，然后改变碳粉与氧化铜的质量比(从 1:1—1:10)。若实验结果 1:3 最好，则将碳粉与氧化铜的质量比固定在 1:3，然后改变加热方式(分别用酒精灯、酒精喷灯)。若实验结果酒精喷灯效果好，那么，碳粉还原氧化铜的最佳实验条件就是：用酒精喷灯加热，碳粉与氧化铜的质量比为 1:3。

二 控制实验条件是化学实验的灵魂

化学是一门以实验为基础的科学，化学实验离不开一定的实验条件，只有对化学实验条件进行严格、有效的控制，才能获得化学科学事实，取得重大发现。正是从这种意义上说，没有化学实验条件的控制，就没有化学实验科学，控制实验条件是化学实验的灵魂。

“在化学元素发展史上，持续时间最长的，参加的化学家人数相当多的，

^① 陈耀亭等编：中学化学教学法，吉林人民出版社 1984 年版，第 167 页。

危险很大的，莫过于元素氟的制取了。”^①元素氟的发现过程，就是实验条件的控制过程。为了制取单质氟，化学家们对影响该实验的各种实验条件进行了多次、反复的探索和控制。从反应物来看，人们曾用过氟化汞、氟化钙、氟化钾、氟化银、氟化铅、氟化磷等金属氟化物和氟化砷、氟化氢等非金属氟化物；从电解所用容器的制做材料来看，有金、铂、萤石等物质；从电极材料来看，有碳、金、钽、铂、铂铱合金等；从反应温度来看，有高温、室温和低温。经过几代化学家 70 余年的艰苦努力，历经无数次失败和危险，最后法国学者莫瓦桑于 1886 年 6 月 26 日制成了单质氟，其实验条件是：用铂制的 U 形管做电解容器，用铂铱合金做电极，在 -23℃ 对无水氟化氢进行电解。为表彰他在氟的制备方面所做出的突出贡献，他获得了 1906 年的诺贝尔化学奖。

对实验条件控制得不严格或失控，不仅会使化学实验失败，有时还会导致错误的结论。著名化学家波义耳在研究金属燃烧的实验中发现：放在玻璃瓶里的铜片猛烈燃烧后，重量增加了。这被认为是铜与“燃素”结合的结果。类似的实验为燃素说这一错误理论提供了实验基础。究其原因，主要是没有严格地控制实验条件，在实验过程中，没有封闭玻璃瓶口，导致空气中的氧气进入瓶内，与金属发生反应生成氧化物。可见，严格、有效地控制实验条件对化学实验是多么的重要。

三 化学实验条件的种类

从化学实验用具来看，化学实验条件主要有以下三类。

1. 化学药品

这类实验条件主要包括化学药品的种类、纯度、状态(固态、液态或气态)、形状(块状、颗粒状或粉末状)、质量、体积和浓度等。在化学实验中，经常要对这类实验条件进行控制。例如，用硫酸制取氢气，就只能用稀硫酸，而不能用浓硫酸；用木炭还原氧化铜，木炭应该用粉末，而不能用块状，碳粉与氧化铜的质量应有一定的比例，否则将难以得到显著的实验效果。

2. 化学实验仪器和装置

这类实验条件主要是指不同规格的化学实验仪器及其不同的安装方法。例如用稀硫酸跟锌反应制取氢气的实验，就可以根据不同的实验目的和要求，采用启普发生器、锥形瓶、双叉试管等不同的实验仪器和装置。

3. 化学实验操作

这类实验条件主要包括点燃、加热、冷却、振荡、溶解、洗涤、过滤、蒸发、蒸馏等化学实验操作，以及对电流、电压、时间和压强的控制等。这也是化学实验中经常需要控制的一类实验条件。例如，在化学反应速度实验中，温度是一个很重要的实验条件。在浓度一定时，改变温度可以发现温度影响化学反应速度的规律性。

四 化学实验条件的控制方式

由于具体的化学实验目的和要求不同，因而实验条件的控制方式也不尽相同。从所需控制的实验条件(也称“因素”)的多少来看，化学实验条件的控制方式主要有以下二种类型。

^① 袁翰青、应礼文编著：化学重要史实，人民教育出版社 1989 年版，第 274 页。

1. 单因素控制

单因素控制即只对一种实验条件进行控制。例如加热高锰酸钾制取氧气、点燃镁条等。对一种实验条件进行控制，并不意味着影响实验的条件只有一个。事实上，任何一个化学实验都包含有多种实验条件，即使是比较简单的木炭燃烧实验，也涉及到木炭的形状、质量、温度、燃烧器皿等不同条件。但在具体的化学实验中，由于实验目的和要求不同，不一定对每一个实验条件都必须进行控制。

2. 多因素控制

多因素控制即对多种实验条件进行控制。这种情况较为复杂，从实验条件对实验结果的影响来看，又可分为两种。

(1) 固定其他条件，改变一种条件。

这种方式所控制的实验条件对实验结果的影响具有相对独立性，每种实验条件都能单独地影响实验结果。例如在浓度和温度对化学平衡的影响的实验中，首先改变反应物的浓度，而保持其他条件如反应物溶液的种类和体积、反应的温度等不变，观察浓度对化学平衡的影响；然后，再改变反应温度这一条件，而保持其他条件如反应物溶液的种类和体积、浓度等不变，观察温度对化学平衡的影响。

(2) 对几种实验条件同时加以综合控制。

这种方式所控制的实验条件对实验结果的影响并不是单一的，而是共同起作用的，具有综合性。例如氨氧化制硝酸实验，需要对温度、催化剂的种类和氨水的浓度等几个实验条件同时进行综合控制，否则，难以得到满意的实验结果。

五 探寻最佳化学实验条件的方法

对化学实验条件进行控制的目的，就是要探寻最佳化学实验条件。所谓最佳化学实验条件，是指那些能产生最佳化学实验效果的实验条件。它具有相对性，实验目的不同，实验环境不同，最佳实验条件也不尽相同。那么，如何探寻最佳化学实验条件呢？一般来说，主要有以下四种方法。

1. 全面比较法

在科学实验中，通常将影响实验结果的实验条件称为因素，一般用 A, B, C...表示；将实验条件的变化等级称为水平，一般用 1, 2, 3...表示。

全面比较法是对影响实验的各种因素的所有水平进行全面搭配比较的一种实验方法。例如碳粉还原氧化铜实验。影响该实验的主要因素有：A—加热方式；B—碳粉与氧化铜的质量比；A 取 2 种水平：A₁—酒精灯；A₂—酒精喷灯；B 取 10 种水平：B₁—1:1, B₂—1:2...B₁₀—1:10。所谓全面搭配，就是将 A₁, A₂ 分别与 B₁, B₂...B₁₀ 进行搭配，即做如下 20 次试验：A₁B₁, A₁B₂...A₁B₁₀, A₂B₁, A₂B₂...A₂B₁₀。从这全部 20 次试验中选出最佳实验效果的因素组合 A₂B₃，即为最佳化学实验条件。

全面比较法的优点是能够发现实验条件对实验结果影响的全貌，并且通过全面比较可以找到最佳实验条件。缺点是试验次数太多，特别是当实验因素较多，且每个因素的水平数又较大时，实验工作量是惊人的。

2. 优选法

优选法是指在单因素实验中，如果不需要考查因素对实验结果影响的全

貌，而只需找出最佳实验条件，则可在因素所取水平的范围内，按照黄金分割法来确定试验点(在 0.618 和 0.382 的比例位置上)进行实验的一种方法。

例如用优选法来探寻碳粉与氧化铜的最佳质量比。首先将 1:1、1:2…1:10 依次编为 1 号、2 号……10 号；然后按 0.618 和 0.382 乘以总个数之值取号进行实验，即可找出最佳实验条件。

$10 \times 0.618 = 6.18$ 取第 6 号进行实验

$10 \times 0.382 = 3.82$ 取第 4 号进行实验

实验后发现第 4 号的实验效果比第 6 号的好，那么第二次则去掉 7 号—10 号，在 1 号—6 号中按照 0.618 和 0.382 乘以总个数之值取号进行实验，即：

$6 \times 0.618 = 3.7$ 取第 4 号(实验已做过)

$6 \times 0.382 = 2.2$ 取第 2 号进行实验

实验后发现第 2 号的实验效果比第 4 号好，那么第三次则去掉 5 号—6 号，在 1 号—4 号中按照 0.618 和 0.382 乘以总个数之值取号进行实验，即：

$4 \times 0.618 = 2.5$ 取第 3 号进行实验

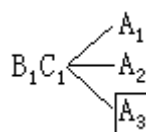
$4 \times 0.382 = 1.5$ 取第 2 号(实验已做过)

实验后发现第 3 号实验效果比第 2 号好，那么，第 3 号即 1:3 为碳粉与氧化铜的最佳质量比。

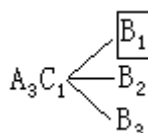
上例中的实验，如果用全面比较法，则需进行 10 次实验，才能找出最佳实验条件；如用优选法，则只需 4 次(6 号、4 号、2 号、3 号)即可找出。可见，在探寻单因素化学实验的最佳实验条件时，优选法比全面比较法的实验次数要少得多，是一种实验效率较高、较为经济的方法。

3. 简单比较法

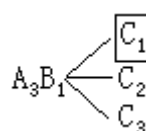
对于多因素、多水平的化学实验，如果用全面比较法，其实验次数实在太多。为了探寻最佳化学实验条件，可采用简单比较法，即固定其他因素变化一个因素的方法。例如影响某实验效果的因素有 A, B, C 三种，每个因素又分别取三种水平： A_1, A_2, A_3 ； B_1, B_2, B_3 ； C_1, C_2, C_3 。如首先固定 B 和 C 于 B_1, C_1 ，让 A 变化：



若实验结果以 A_3 为最好，则固定 A 和 C 于 A_3, C_1 ，让 B 变化：



若实验结果以 B_1 为最好，则固定 A 和 B 于 A_3, B_1 ，让 C 变化：



若实验结果 C_1 为最好，则该实验的最佳实验条件为 $A_3B_1C_1$ 。

对于这种三因素三水平的实验，如用全面比较法则需 27 次实验，如用简单比较法则只需 9 次实验。可见，简单比较法具有能够通过较少的实验次数找到较佳实验条件的优点。但同全面比较法相比，这种方法也有一定的缺点，

主要是实验范围比较狭窄，代表性较差，因而用这种方法获得的最佳实验条件具有一定的片面性。

4. 综合比较法(或称正交实验法)

为了保持全面比较法和简单比较法的优点，克服它们各自的缺点，用较少的实验次数，找到代表性较强的最佳实验条件，可以采用综合比较法(或称正交实验法)。

正交实验法是用正交表来安排多因素实验，并通过计算、分析来寻找最佳实验条件的一种方法。

(1)正交表的选用。

正交表是一些现成的表格，按照正交表安排实验，可以使实验具有较强的代表性。表 5-1 是一张代号为 $L_9(3^4)$ 的正交表，其中“L”表示正交表，L 下角的数字“9”表示正交表有 9 行，需安排 9 次实验，括号内下面的数字“3”表示每个因素都取 3 种水平，指数“4”表示正交表有 4 列，最多可安排 4 个因素，也可以安排 3 个因素或 2 个因素的实验。通常是根据实验因素和水平数的多少来选择正交表。

表 5-1 $L_9(3^4)$ 表

列号 实验号	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

(2)安排实验。

例如影响某化合物产率的因素有 A—温度(80—90℃)、B—反应时间(90—150 分)、C—浓度(5%—7%)，它们分别取 3 种水平： A_1 —80℃、 A_2 —85℃、 A_3 —90℃， B_1 —90 分、 B_2 —120 分、 B_3 —150 分， C_1 —5%、 C_2 —6%、 C_3 —7%。为了探寻最佳实验条件，可选用 $L_9(3^4)$ 正交表来安排实验。

①把因素 A，B，C 放到 $L_9(3^4)$ 的任意三列的表头上，如放在前三列。

②把 A，B，C 对应三列的“1”、“2”、“3”换成具体的水平，如表 5-2 所示。

表 5-2 实验安排表

因素 实验号	A(温度)	B(反应时间)	C(浓度)
1	1(80℃)	1(90分)	1(5%)
2	1(80℃)	2(120分)	2(6%)
3	1(80℃)	3(150分)	3(7%)
4	2(85℃)	1(90分)	2(6%)
5	2(85℃)	2(120分)	3(7%)
6	2(85℃)	3(150分)	1(5%)
7	3(90℃)	1(90分)	3(7%)
8	3(90℃)	2(120分)	1(5%)
9	3(90℃)	3(150分)	2(6%)

③按照表 5-2 即可安排 9 次实验，如第 1 次实验的条件为：温度 80℃、反应时间 90 分、浓度 5%。

(3)探寻最佳实验条件。

9 次实验结果如表 5-3 所示。

为了比较温度在哪个水平产率最高，可做如下计算：

表 5-3 实验结果与分析表

因素 实验号	A(温度)	B(反应时间)	C(浓度)	产率(%)
1	1(80℃)	1(90分)	1(5%)	31
2	1(80℃)	2(120分)	2(6%)	54
3	1(80℃)	3(150分)	3(7%)	38
4	2(85℃)	1(90分)	2(6%)	53
5	2(85℃)	2(120分)	3(7%)	49
6	2(85℃)	3(150分)	1(5%)	42
7	3(90℃)	1(90分)	3(7%)	57
8	3(90℃)	2(120分)	1(5%)	62
9	3(90℃)	3(150分)	2(6%)	64

续表

因素 实验号	A(温度)	B(反应时间)	C(浓度)	产率(%)
K1	123	141	135	
K2	144	165	171	
K3	183	144	144	
k1	41	47	45	
k2	48	55	57	
k3	61	48	48	

80℃时，3 次实验的产率之和为：31+54+38=123，平均产率为

$$\frac{123}{3} = 41;$$

85°C时，3 次实验的产率之和为：53+49+42=144，平均产率为
 $\frac{144}{3} = 48$ ；

90°C时，3 次实验的产率之和为：57+62+64=183，平均产率为
 $\frac{183}{3} = 61$ 。

将 3 次实验的产率和平均产率分别填在 A 列对应的 K_1 ， K_2 ， K_3 栏和 k_1 ， k_2 ， k_3 栏。同理，B，C 两列对应的 K_1 ， K_2 ， K_3 和 k_1 ， k_2 ， k_3 也可计算出来，填在表内。

从表 5-3 中的 k_1 ， k_2 ， k_3 值可以看出：温度为 90°C 时产率最高；反应时间为 120 分时产率最高；浓度为 6% 时产率最高。综合起来，该实验的最佳实验条件为： $A_3B_2C_2$ ，即温度 90°C、反应时间 120 分、浓度 6%。

运用正交实验法除了可以获得最佳实验条件以外，还可以对影响实验的诸条件的重要程度进行比较，从而找出主要因素和次要因素。

同简单比较法相比，综合比较法除了代表性强的特点以外，在比较方式上也不相同。简单比较法是通过固定其他条件改变一个条件，静止地进行比较；而综合比较法是在 B，C 变动的情况下来比较 A，在 A，C 变动的情况下来比较 B，在 A，B 变动的情况下来比较 C，是一种动态、均衡、综合的比较。

第四节 化学实验观察与记录

俄国著名的化学家门捷列夫曾说过：“科学的原理起源于实验的世界和观察的领域，观察是第一步，没有观察就不会有接踵而来的前进。”“观察、观察、再观察”曾作为巴甫洛夫(1849—1931)的座右铭被写在实验室的墙壁上。任何实验都离不开观察，化学实验也是如此。

一 实验观察及其与实验的关系

1. 实验观察

科学观察是人们有目的、有计划地通过感官或观察仪器，对观察对象进行感知的一种科学方法。根据对观察对象是否进行人为地控制或干预，可把观察分为自然观察和实验观察。化学中的观察绝大多数属于实验观察。

同自然观察相比，实验观察更能发挥和体现人的主观能动性。因为它不受各种实验条件的限制，可以人为地控制、干预或模拟实验对象，从而获得自然条件下不易观察或不能观察到的科学事实。

根据不同的标准，可以对实验观察进行不同的分类。根据实验观察结果是否提供数量特征，可分为定性实验观察和定量实验观察(测量)；根据实验观察在科学认识中的作用，可分为启发性实验观察、验证性实验观察和运用性实验观察。

2. 实验观察与实验的关系

任何实验都离不开实验观察，没有无实验观察的实验，只有非实验的观察(自然观察)。实验的最终目的是为了提供更多、更便利的观察机会，从而更有效地获得实验事实。

实验观察过程统一于实验过程，如图 5-1 所示。

从图中可以看出：实验者既从事控制或干预实验对象的实践活动，又是感知实验对象的实验观察者；实验对象既是被控制或干预的对象，又是被实验观察的对象；实验过程实际上是控制或干预实验对象的活动与实验观察活动的有机结合。

二 实验观察在化学科学认识中的作用

首先，实验观察是提出化学问题的重要途径。提出和确定化学问题有多种途径，实验观察则是其中最重要、最基本的一种途径。很多化学问题都缘于人们在实验中对现有化学理论无法解释或没有预见到的现象的观察；缘于人们在解决其他化学问题的实验中所观察到的新的具有启发意义的实验事实。例如瑞典化学家诺贝尔(A. Nobel, 1833—1896)对安全烈性炸药问题的研究。1867 年，他在进行一次普通火药的物理、化学性质的实验研究中，不慎将手指割破，于是他在伤口上涂上火棉胶止血，并把剩余的火棉胶无意丢到了硝化甘油里。结果发现火棉胶跟硝化甘油发生了反应。这意外的实验现象被他观察到，并思考它们为什么会发生作用。对这一问题的深入研究，终于使他发明了安全烈性炸药。

其次，实验观察是获得化学实验事实的根本方法。在化学实验中，人们借助实验工具人为地控制实验条件使实验对象发生各种变化，呈现出各种现

^① 王续琨编：科学观察，辽宁人民出版社 1985 年版，第 12 页。

象。这些现象和变化，只有通过人的感觉器官以及观察仪器才能进入人的头脑，被人们所感知。化学科学中的每一个实验事实，无一不是通过实验观察获得的。因此，可以说实验观察是获得化学实验事实的根本方法。

此外，实验观察还是验证化学假说和理论的直接手段。

三 化学实验观察的顺序和内容

从中学化学教学的角度来看，化学实验观察的顺序和内容如下。

1. 化学实验观察的一般顺序

(1)物质的物理性质——物质的化学性质。

(2)化学实验仪器、装置和操作——反应物——物质变化的过程——生成物。

2. 化学实验观察的内容

(1)化学实验仪器和装置。

①对化学实验仪器，要观察其形状、大小、比例、尺寸和构造等。

②对化学实验装置，要先从下至上、从左至右进行整体观察，在此基础上，迅速找出装置的中心部位，进行重点观察，必要时还要对构成装置的仪器的形状、大小及其各部分的比例、构造等进行观察。

(2)化学实验操作。

对化学实验操作，要观察实验仪器的持拿方法和使用方法；观察实验装置的安装方法；观察教师进行演示实验操作的步骤和方法。

(3)化学物质及其变化。

①对物质(包括反应物和生成物)要观察：颜色、状态、气味、挥发性、溶解性、密度、硬度、熔点、沸点和酸碱性等特征。

②对物质的变化要观察：熔化、溶解、升华、结晶、沉淀、冒出气泡、颜色变化、放热、吸热、燃烧、闪光、发声和爆鸣等现象。

(4)化学图表和模型。

对化学图表和模型，要先从上至下、从左至右进行整体观察，并在此基础上区分出构成整体的各个部分，以及各个部分之间的异同、联系和关系等。

四 化学实验观察的一般原则

为了更好地进行化学实验观察，在化学教学中还应遵循以下原则。

1. 目的性原则

实验观察是一种有目的、有计划的活动，因此，在化学教学中要减少实验观察的盲目性，就必须增强目的性。为此，必须首先使学生明确实验观察的目的应体现和服从教学目的，为教学目的服务。例如初中化学教材中有两个实验，是为学生认识质量守恒定律而编排的，因此，学生观察的目的应主要是观察物质是否发生了化学反应，反应后天平两边是否仍然平衡。其次，教师还应注意指导学生在观察前拟订观察计划，写出观察内容的提纲，在实验观察时按预定的计划来进行。

2. 客观性和全面性原则

客观性就是要求在化学实验中，观察到了什么，就如实地反映什么，不以个人的解释或推断来代替物质及其变化的真实情况；全面性就是要求在化学实验中尽可能地用多种感官(如视觉、听觉、嗅觉、触觉等)，从多方面(如物质及其变化、化学实验仪器、装置和操作等)进行观察。

例如对金属钠一些性质的观察。取一小块钠，看到钠是固体(视觉)；用刀切钠的表皮时，感到钠较软(触觉)；切去表皮后，看到钠呈银白色，具有光泽(视觉)；当把一小块钠放在装有水的烧杯中时，听到嘶嘶声(听觉)，看到钠浮在水的上面，变成一个光亮的小球向烧杯的各个方向迅速游动，逐渐变小，最后消失，并伴有一些小气泡(视觉)；当用手触摸烧杯时，感到发热(触觉)。

这样，通过视觉、听觉、触觉等多种感官，不仅观察到了钠的颜色、状态、硬度、溶解性等多方面的物理性质，而且还观察到了钠与水发生反应的变化过程，如体积变化情况，在水中的运动情况，产生气泡以及放热等现象。这样的观察才比较全面和客观。

3. 辩证性原则

在化学实验中遵循观察的辩证性原则，就是要注意观察的条件性和典型性。实验观察是在一定条件下、一定范围内进行的。不同的实验观察条件、时间和地点，实验观察的结果很可能是不相同的。例如，向装有硫酸铜溶液的烧杯中加少量氨水，看到生成蓝色沉淀；当继续加入氨水时，观察到沉淀消失，变成深蓝色溶液。这说明，加入氨水的量这个条件发生变化，观察到的现象如颜色、状态等都不相同。

在遵循实验观察的全面性原则的同时，还应忽视实验观察的典型性。这一点对中学化学实验教学更为重要。中学生在实验观察时，对于五彩缤纷、奥妙无穷的化学世界，往往不易抓住重点，把主要注意力集中在某个观察重点上。例如，对于“喷泉”实验，学生只注意烧瓶中的“喷泉”，而忽视溶液颜色的变化和忽视溶液界面的变化等。因此，教师在实验教学中要特别注意引导学生分清主次、抓住重点，有选择地进行观察。

五 化学实验观察记录

记录不仅是一种有效的信息存储形式，而且还是一种常用的科学方法。在化学实验中，对于所观察到的化学实验现象，应及时、准确地进行记录。

所谓化学实验观察记录，是指用文字、化学术语、化学用语、数字、计量单位、化学实验仪器和装置图、线图、表格等形式，对实验观察对象进行简要、概括描述的一种科学方法。

在进行化学实验观察记录时，应遵循下述原则：一是准确无误，即观察到了什么就记录什么，不能凭主观想象，更不能凭空捏造、编造实验现象和数据；二是周密完整，即要根据实际情况，尽可能将化学实验全过程记录下来，如实验日期、目的、原理、仪器和装置、步骤、现象和数据、实验条件等等，不能凭主观随意取舍；三是详细有序，即对每个化学实验现象都应按照实验过程的顺序依次详细地记录下来，不能只记录主要的和显著的现象，而忽略掉次要的和突出的实验现象。

为了做好化学实验观察记录，还应注意以下要求：

- (1)要准备专门的化学实验观察记录本，不允许在零纸碎片上进行记录。
- (2)要尽可能在实验前预先设计好实验记录表格，以便实验时按顺序依次观察记录。
- (3)不允许用铅笔做记录，因为铅笔所写字迹容易擦去，不利于观察资料的保存。
- (4)所有实验现象和数据，均应在实验时直接记入记录本，不允许靠回忆

或记在纸片上以后再转抄到实验记录上。

(5)记录实验数据后，应尽可能核对一下所记的数值和单位；记录的实验数据应该是原始数据。

(6)记录时书写应工整，字体、数字要易于辨认；发现书写错误，应在旁边作适当的更正，但不要撕页。

第五节 化学测定

任何事物都是质和量的统一体。化学物质也是如此，它不仅有质的规定性，而且还有很多量的规定性，如熔点、沸点、密度、溶解度、酸碱度、式量、中和热等等。对化学物质这些量的规定性，只有通过化学测定才能被认识。

一 测定与测量的区别和联系

测定是根据一定的实验原理，通过测量得到的数据，对实验对象量的特征进行认识的一种科学的思考方法和操作方法。

测量也称观测，是一种定量观察，通常采用直接读数的方法来确定测量对象的量。例如直接从滴定管读出发生中和反应的酸或碱的体积。

从所得出的实验结果来看，测量比较直接，测定则相对复杂，需要运用一定的数学公式，通过一些数学计算才能间接地得出。但无论是测定还是测量，两者都必须借助于一定的定量仪器才能进行。

测定离不开测量，测量是测定的基础，测量结果如何直接关系到测定结果的准确性。

二 测定在化学教学中的作用

通过测定可以为学生提供客观、准确的感性知识。例如，硫的密度约是水的 2 倍，就可以设计成一个测定实验。先测量三小块硫的质量，然后将其分别放入盛有 20—50mL 水的量筒中，测量它们的体积，最后通过计算得出结论。这样比单纯讲授硫的密度的结论更易被学生掌握。

测定需要以一定的化学实验原理为根据，因而有利于学生从量的方面加深对物质的性质和变化规律的理解。例如，通过酸碱中和滴定实验，可以使学生进一步理解和掌握中和反应的概念和中和滴定公式。

测定离不开化学实验操作，对化学实验基本操作技能和化学实验仪器的使用技能有更高的要求，因而有利于培养学生的实验技能和实验能力。

此外，测定还有利于学生实事求是、严肃认真、一丝不苟的科学态度的培养和观察、测量、实验条件的控制、数据处理等科学方法的训练。

三 化学测定的一般步骤

现以测定硫酸铜晶体里结晶水的含量实验为例，来说明化学测定的一般步骤。

1. 明确测定原理

此实验的测定原理是：

$$\frac{W_{\text{CuSO}_4}}{M_{\text{CuSO}_4}} : \frac{W_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = 1 : x$$

W_{CuSO_4} ——灼烧后无水硫酸铜的质量；

M_{CuSO_4} ——硫酸铜的摩尔质量；

$W_{\text{H}_2\text{O}}$ ——晶体中所含结晶水的质量；

$M_{\text{H}_2\text{O}}$ ——水的摩尔质量；

x——1mol 硫酸铜晶体中所含结晶水的物质的量。

2. 正确进行实验操作

此实验需要进行称量、加热、冷却和干燥等实验操作。其中，通过加热使硫酸铜晶体完全失去结晶水，是实验成败的关键。准确称量 $W_{\text{瓷坩埚}}$ 、 $W_{\text{瓷坩埚和硫酸铜晶体}}$ 、 $W_{\text{瓷坩埚和无水硫酸铜}}$ ，是得到正确实验结果的前提。

3. 准确进行计算

$$W_{\text{CuSO}_4} = W_{\text{瓷坩埚和硫酸铜晶体}} - W_{\text{瓷坩埚}}$$

$$W_{\text{H}_2\text{O}} = W_{\text{瓷坩埚和硫酸铜晶体}} - W_{\text{瓷坩埚和无水硫酸铜}}$$

将 W_{CuSO_4} 、 $W_{\text{H}_2\text{O}}$ 代入测定原理表达式中，即可求出 1mol 硫酸铜晶体中所含结晶水的物质的量。

四 化学测定误差及其表示方法

1. 化学测定误差的来源

学生通过测定得到的化学实验结果，往往与从理论上得到的结果不太相符。因此，教师在化学教学中要帮助学生分析产生误差的原因。根据误差的来源，可把测定误差分为系统误差和偶然误差。系统误差通常包括仪器误差、环境误差和方法误差等，限于中学的实验条件，很多系统误差难以消除。偶然误差在中学化学教学中主要有两种。

(1) 测量误差。

测量是测定的基础，测量数据的准确程度直接影响测定结果。学生在实验中常常忽视读数方法。例如，学生在用量筒、滴定管和容量瓶等仪器进行测量时，不注意视线同液面与刻度线相切之处应处在同一水平面上，结果使测量数据不是偏高就是偏低，产生测量误差。

(2) 实验操作误差。

实验操作是进行测定不可缺少的步骤，实验操作正确与否对测定结果有很大影响。例如，在测定硫酸铜晶体里结晶水含量的实验中，如果不通过缓慢加热完全除去硫酸铜晶体里的结晶水，那么， $W_{\text{瓷坩埚和无水硫酸铜}}$ 就不能准确，测定结果就肯定有较大的误差。

2. 化学测定误差的表示方法

在中学化学教学中，测定误差主要有以下两种表示方法。

(1) 绝对误差。

绝对误差是指测定值与真实值之间的差。例如，二氧化碳式量的真实值为 44.0，测定值为 45.5，则二氧化碳式量测定的绝对误差为：45.5-44.0=1.5。

(2) 相对误差。

相对误差是绝对误差与真实值之商。相对误差用百分数来表示，称为百分误差。例如，上例中的二氧化碳分子量测定的百分误差为：

$$\frac{1.5}{44.0} \times 100\% = 3.4\%。$$

第六节 化学实验结果的处理

实验结果的处理是化学实验过程的最后一个阶段，主要有三种形式。

一 化学用语化

化学用语化是用元素符号、化学式、化学方程式和化学图示等化学用语，对所获得的化学实验结果加以系统化和简明化的一种形式。

例如，碳酸氢铵受热分解实验。通过实验，可以获得如下化学实验事实：该反应产生了一种有刺激性气味的气体；试管壁上出现了水珠；从玻璃弯管处放出的气体使澄清的石灰水逐渐变浑浊。对这些化学实验事实，可以用化学用语化的形式进行处理：

通过这样的处理，一方面可以简单、直接、明了地看出反应物和生成物及其性质(颜色、状态和气味等)以及反应条件，另一方面，有助于学生认识该反应的本质。

化学用语化是对化学实验结果进行处理的常用的一种重要形式。熟练地掌握化学用语，是学习和运用这种形式的重要前提和基础。

二 表格化

表格化是用若干条横竖线所制成的表格，对化学实验结果加以系统化和简明化的一种形式。

表格一般包括表头、编号或序号、项目名称和空格等项内容。如果表中的项目是一些物理量，还要标出物理量的单位。

例如，通过实验获得了氧气能够跟碳、硫、磷、铁等物质发生化学反应的实验事实，为了引导学生进一步认识氧气跟物质发生化学反应的规律性，可填写表 5-4。

再例如，结晶析出法测定硝酸钾在水里的溶解度实验，教师可引导学生依次将所测的实验数据填写在表 5-5 中。

用表格化对化学实验结果进行处理的最大特点是：条理清晰、整齐有序。因此，教师在教学中应结合具体的教学内容，使学生认识表格化在化学实验结果处理中的重要性，并逐步学会编制化学表格的一般方法和技巧。

表 5-4 氧气的化学性质

表 5-5 硝酸钾在水里的溶解度

编号	硝酸钾的质量(g)	水的体积(mL)	结晶析出温度(°C)			溶解度(g)
			1	2	平均值	
1	2.5	10				
2	3.5	10				
3	5.0	10				
4	7.0	10				
5	9.0	10				

三 线图化

线图化是用直线图或曲线图对化学实验结果加以系统化和简明化的一种形式。它适用于一个量的变化引起另一个量变化的情况。线图一般是在表格的基础上对两个相关量的再处理。化学教学中常用的线图主要有直线图和曲线图。

绘制线图一般要经过下列步骤：①建立坐标；②描点；③连线；④标出线图名称。

线图化的最大特点是鲜明、直观、简单、明了。因此，教师在教学中要力求线图化，启发引导学生认识物质及其变化的规律性，使学生通过教师的示范和自己的练习，掌握绘制线图的一般方法和技巧，并能运用线图发现、解释和说明物质及其变化的规律性。

第六章 化学实验事实

通过观察和实验，我们可以获得化学实验事实。化学实验事实是对化学物质及其变化的外部特征和外部联系的正确反映和描述，属于化学经验知识，是化学科学认识的最初成果。它是化学科学理论赖以产生和发展的基础。探讨有关化学实验事实的方法论问题，无论对化学科学研究，还是对化学教学，都具有重要的意义。

第一节 化学实验事实的含义

“事实”，在科学认识中，它通常是在两种意义上使用的。一种是本体论意义上的事实，即客观事实；另一种是认识论意义上的事实，即经验事实。

一 客观事实和经验事实

客观事实也称现实事实，是指在客观世界中现实存在着的事物、现象及其变化过程等。在科学方法论中，它还常被标明为“事实 1”。客观事实是不以人的意识为转移的客观实在，是第一性的。

经验事实也称观察事实，是指认识主体对客观世界中现实存在着的事物、现象及其变化过程等在头脑中所作出的一种反映，它是用科学语言来加以描述的。这种反映或描述是第二性的。在科学方法论中，它还常被标明为“事实 2”。

既然经验事实是认识主体对客观事实的反映，那么这种反映就有正确和不正确之分。例如，“镭具有放射性”就是一个正确的经验事实，“水变成土”就是一个不正确的经验事实。

二 科学事实

科学事实是指认识主体对客观世界中现实存在着的事物、现象及其变化过程所做出的一种正确反映。它属于经验事实。

并不是任意的经验事实都是科学事实，只有经过多次检验并被证明是正确的经验事实，才能称为科学事实。

科学事实与客观事实都具有客观性，这是两者共同的一面。但共同并不是等同。客观事实是尚未进入科学研究领域、与认识主体的科学认识活动没有发生联系的客观事物和现象，它是纯客观的，不包含人的主观认识因素；而科学事实则是科学认识的初级成果，体现了认识主体的主观能动性。客观事实是科学事实的客观基础，是认识主体的认识对象；没有客观事实，就不可能有科学事实。

三 化学实验事实

化学实验事实是指化学实验主体通过实验观察对化学物质及其变化的外部特征和外部联系所做出的正确反映。

对于化学实验事实的含义，可从以下三个方面来理解。

(1)化学实验事实反映的对象是客观存在着的化学物质及其变化，因此它具有客观实在性。

(2)化学实验事实所反映的是化学物质及其变化的外部特征和外部联系，因此它属于感性认识，是化学经验知识。

(3)化学实验事实是被化学实验反复检验过的，是对化学物质及其变化的外部特征和外部联系的正确反映，因此它属于科学事实。

第二节 化学实验事实的特征 和认识论功能

一 化学实验事实的特征

化学实验事实同化学经验事实和化学科学理论相比,具有如下特征。

1. 可靠性

化学实验事实是对化学物质及其变化的外部特征和外部联系的正确反映,是经过化学实验检验过,并被证明是正确的经验知识,因此它具有可靠性的特点。

可靠性是化学实验事实同其他化学经验事实相区别的主要标志。那种认为作为科学事实的化学实验事实,是人类对客观事实的主观反映,因而是“可谬的”观点^①,混淆了科学事实与经验事实的区别,因此是不正确的。

2. 可重复性

可重复性是化学实验事实的又一重要特点,它是说化学实验事实应该能够被复核和重现。如果一个事实在一定的化学实验条件下不能够被复核和重现,那就无法确认其科学性、可靠性,当然也就不能成为化学实验事实。

强调化学实验事实的可重复性,是为了尽可能排除化学实验过程(包括实验观察)中的失误、错觉和假象,避免在对事实的描述和判断中可能存在的谬误。

3. 个别性

化学实验事实是单称判断,例如铀具有放射性、铜能够导电等,都是对个别化学物质的外部特征的描述,因而,它具有个别性的特点。

强调化学实验事实的个别性,是为了突出它主要来自感性的物质活动——化学实验,而不是主要来自于理性的抽象概括活动。“金属能够导电”是对象“铜能够导电”这样一些化学实验事实归纳概括的结果,属于化学经验规律,而不是所谓的普遍性化学实验事实。

4. 相对独立性

相对独立性主要是指化学实验事实对化学理论的相对不变性。也就是说,如果某个化学学说或理论没有经得起化学实验的检验被推翻了,而建立该学说或理论所依据的化学实验事实却不会被否定,仍然保持着自己的内容和意义。例如,燃素说是后来被推翻的错误的化学学说,但建立该学说所依据的磷在空气中能够燃烧等化学实验事实,却是正确的、不变的,具有相对独立性。

二 化学实验事实的认识论功能

化学实验事实是化学科学认识的初级成果,是支撑化学科学大厦的基石,具有重要的认识论功能。

1. 化学实验事实能够引发化学问题

化学实验事实确定的只是化学物质及其变化的外部特征和外部联系,化学科学认识的目的绝不是仅此而已,而是要进一步探究化学物质及其变化为什么具有这样的特征,隐藏在外部联系后面的本质联系是什么等问题。正是这些问题促进和推动了化学科学理论的建立和发展。例如,1897年J.J.汤姆

^① 李祖扬编著:《科学认识论简明教程》,南开大学出版社1992年版,第85页。

生通过实验发现了电子，这一重要实验事实不仅打破了原子不可分的传统化学观，而且还引发了新的化学问题——电子是怎样“安置”在原子里的？对这一问题的深入研究，导致了原子结构理论的建立和发展。

2. 化学实验事实是化学科学理论建立和发展的基础

“事实就是科学家的空气，没有事实，你们就永远不能飞腾起来，没有事实，你们的‘理论’就是枉费心机。”^①

化学实验事实作为化学科学认识的最初成果，是建构化学科学理论的重要基础。建构化学科学理论的必经之路是化学假说。化学假说的提出需要一定数量的化学实验事实；化学假说的论述、修正和发展，需要化学实验事实；化学假说的验证和向化学科学理论的转化，同样也需要化学实验事实。也就是说，只有以化学实验事实为前提和依据，化学科学理论才能形成和发展。无数的化学史实，都证明了这一点。

^① 周林等主编：《科学家论方法·第一辑》，内蒙古人民出版社 1984 年版，第 211 页。

第三节 化学实验事实的获得及表述

一 化学实验事实的获得

无论是化学科学认识，还是化学教学认识，都必须以一定的化学实验事实为依据，这是正确认识物质的本质及其变化规律的首要前提。那么，如何获得化学实验事实呢？概括起来，主要有以下三种途径和方法。

1. 查阅文献

文献是前人或同时代人对某一问题的研究成果，是既有的科学认识。通过查阅文献获得的是间接化学实验事实。限于人的时间和精力，以及所探究问题的复杂性等原因，人们不可能也不必要事事都要经过亲自实践。这样，查阅文献就成了获得化学实验事实不可缺少的一种途径和方法。查阅文献应注意以下几点：

(1)应采用逆时法，从后往前查，以省去加工整理过程的化学实验事实的累赘。

(2)应围绕所要认识的化学问题有计划、有目的地进行查阅。

(3)应尽量查阅第一手资料，以保证化学实验事实的准确性。

(4)应尽可能查阅与所认识的化学问题有关的多方面的化学实验事实。

2. 实验观察

从根本上说，一切化学实验事实归根到底都源于人们的实验观察活动。实验观察是在经验层次上获得化学实验事实的最基本、最重要的途径和方法。通过亲自进行的实验观察所获得的是直接化学实验事实，它对于化学科学认识和化学教学认识都有着十分重要的意义和作用。

3. 理论预见

化学科学理论是对物质的本质及其变化规律的正确的、普遍的反映。它具有预见功能，可以对未知的化学实验事实进行预测。例如，根据元素周期律，门捷列夫等人正确地预言了十几种未知元素及其物理性质和化学性质。理论预见是在理论层次上获得化学实验事实的一种重要途径和方法。

二 化学实验事实的表述

1. 化学实验事实是单称判断

化学实验事实是对物质及其变化的外部特征和外部联系的一种断定，因此它的表述形式是判断；化学实验事实所断定的对象是个别的物质及其变化，因此这种判断是单称判断。

根据化学实验事实所断定的内容，可将其分为性质判断和关系判断。性质判断是断定化学物质及其变化具有或不具有某种性质(包括物理性质和化学性质)的一种判断。例如，“氢气具有还原性”、“氯化钠晶体不导电”等。关系判断是断定化学物质及其变化之间具有或不具有某种关系的一种判断。例如，“水电解能产生氢气和氧气”、“铜不能将锌从硫酸锌溶液里置换出来”等。性质判断离不开关系判断。例如，“氢气具有还原性”这个性质判断，就是通过“氢气能够还原氧化铜”这个关系判断得出的。

2. 影响化学实验事实表述的因素

影响化学实验事实表述的因素很多，除了物质及其变化的本性以外，还有一些因素。

(1)实验仪器。

同一客观事实在不同的化学实验仪器上进行显示，其结果是不同的。例如，一小块铁用台秤称量，所获得的实验事实是：这块铁的质量为 5.3g；用分析天平称量所获得的实验事实是：这块铁的质量为 5.2859g。

(2)实验条件。

不同的实验条件(如：温度、压力、药品的状态、数量等)下，可以获得不同的实验事实。例如，乙醇在浓硫酸的作用下，140℃时得到乙醚，170℃时得到乙烯；向硫酸铜溶液中加入少量氨水，生成蓝色沉淀，加入过量氨水，生成深蓝色溶液。因此，在表述化学实验事实时，一定要准确标明反应条件。

(3)认识水平。

认识水平、理论水平的不同，对化学实验事实的表述也不同。同样是汞在空气中燃烧，普利斯特里由于受到燃素说的束缚，认为是汞与“脱燃素空气”的作用；而拉瓦锡则认为是汞与空气中的氧发生了反应，并以此建立了氧化学说。

(4)用以表述实验事实的概念系统。

同一客观事实用不同的概念系统来表述，可以得到不同的实验事实。例如，同样是硫在氧气中燃烧，既可以表述为“硫能跟氧发生化合反应”，也可以表述为“硫能跟氧发生氧化还原反应”。

3. 表述化学实验事实的一般要求

(1)真实。

真实是表述化学实验事实的首要条件，是可靠性的具体体现。任何歪曲、虚假的表述都不能称其为化学实验事实。例如，“蒸馏水不导电”就是一个虚假的经验事实，因为蒸馏水是导电的，只是导电能力非常弱，用一般的实验装置很难测出来。

(2)准确。

准确是化学实验事实可靠性的又一具体要求。准确表现在质、量、关系、实验条件等多个方面。例如，“硫酸不导电”就不准确，因为硫酸溶液能导电，而无水硫酸才不导电；“向硫酸铜溶液中加入氨水，生成深蓝色溶液”，这一表述就没有对氨水的量进行陈述，因此是不准确的。

第四节 化学实验事实的经验 概括和理论解释

“在研究、实验和观察的时候，要力求不停留在事实的表面上。要设法洞悉事实发生的底蕴，要坚持不懈地寻求支配事实的规律。”^①“科学的目的在于概括这些事实，并把它们提高到原理的高度。”^②

通过实验观察，我们可以获得化学实验事实。那么，这些事实说明了什么？为什么会产生这些事实？要回答这些问题，就必须对事实进行经验概括和理论解释。

一 化学实验事实的经验概括

经验概括是指在一定的化学实验事实的基础上，对物质及其变化的特征和规律性所进行的一种概括。它是科学概括的最初形式。经验概括与化学实验事实不同，它撇开了具体的物质及其变化的个性，而将其上升为共性、普遍性，属于初级的理性认识；而化学实验事实则是对具体的物质及其变化的个性的认识和反映，属于感性认识，是进行经验概括的前提和基础。

1. 化学实验事实的经验概括是以归纳的方式进行的

(1) 化学实验事实的完全归纳和不完全归纳。

对化学实验事实的经验概括，通常要借助于归纳法。归纳法是以个别对象为前提而得出一般性结论的一种逻辑方法，它可用下式来表示：

$$\begin{array}{l} S_1 \text{ 是(不是) } P \\ S_2 \text{ 是(不是) } P \\ S_3 \text{ 是(不是) } P \\ \vdots \\ S_n \text{ 是(不是) } P \\ \hline S_1, S_2, S_3 \cdots S_n \text{ 属于 } S \text{ 类} \\ \hline \therefore \text{所有 } S \text{ 都是(不是) } P \end{array}$$

根据得出结论所依据的前提是否是全部个别对象，可将归纳法分为完全归纳法和不完全归纳法。

①完全归纳法。完全归纳法是以全部个别对象为前提而得出一般性结论的一种方法，它可以用下式来表示：

$$\begin{array}{l} S_1 \text{ 是(不是) } P \\ S_2 \text{ 是(不是) } P \\ \vdots \\ S_n \text{ 是(不是) } P \\ \hline S \text{ 只有 } S_1, S_2 \cdots S_n \text{ 个对象} \\ \hline \therefore S \text{ 是(不是) } P \end{array}$$

例如，对“碳的可燃性”的认识。

事实①石墨能在氧气中燃烧，生成二氧化碳气体；

^① 周林等主编：《科学家论方法·第一辑》，内蒙古人民出版社 1984 年版，第 211 页。

^② 周林等主编：《科学家论方法·第一辑》，内蒙古人民出版社 1984 年版，第 170 页。

事实②金刚石能在氧气中燃烧，生成二氧化碳气体；

事实③ C_{60} 能在氧气中燃烧，生成二氧化碳气体；

碳的单质只有石墨、金刚石和 C_{60} 三种同素异形体；

$\therefore$ 碳能在氧气中燃烧，生成二氧化碳气体。

用完全归纳法所得出的是必然性结论。由于完全归纳法要求以全部个别对象为前提，因此，对具有无穷多个个别对象的归纳不能运用此方法。

②不完全归纳法。不完全归纳法是以部分个别对象为前提来得出一般性结论的一种方法。它可用下式来表示：

S_1 是(不是)P

S_2 是(不是)P

S_3 是(不是)P

$\vdots$

$S_1, S_2, S_3 \dots$ 都属于 S

未发现 S_n 不是(是)P

$\therefore S$ 是(不是)P

例如，对“金属导电性”的认识。

事实①铜能导电；

事实②铁能导电；

事实③锌能导电；

事实④铝能导电；

铜、铁、锌、铝是金属；

$\therefore$ 金属都能导电。

运用不完全归纳法所得出的结论超出了前提的范围，因此，结论具有或然性。受到各种条件的限制，人们不可能一下子就把全部个别对象都列举出来，因此，在一定的实验事实的基础上，大胆地进行推理和判断，就成为科学探索不可缺少的一步。

(2)化学实验事实经验概括的结果。

对化学实验事实进行经验概括，可以获得以下成果。

①物质及其变化的性质或特征。

例如，对“酸能使紫色石蕊试液变红”的认识。

②物质及其变化的规律性。

例如，对“盐与金属反应规律性”的认识。

事实① 氯化铜溶液里的铁丝的表面，覆盖一层红色的铜；

事实② 氯化铜溶液里的铝丝的表面，覆盖一层红色的铜；

事实③ 硝酸汞溶液里的铜丝的表面，覆盖一层银白色的汞；

在金属活动性顺序里，铝、铁比铜活泼，铜比汞活泼；

$\therefore$ 在金属活动性顺序里，排在前面的金属，能把排在后面的金属从其盐溶液里换出来。

③化学概念。

例如，对“电解质”概念的认识。

事实① 钠水溶液能够导电，熔化的氯化钠也能够导电；
 事实② 钾水溶液能够导电，熔化的硝酸钾也能够导电；
 事实③ 化钠水溶液能够导电，熔化的氢氧化钠也能够导电；
 氯化钠、硝酸钾、氢氧化钠都是化合物；
 ∴在水溶液里或熔化的状态下能够导电的化合物，叫做电解质。

④化学定律。

例如，对“质量守恒定律”的认识。

事实① 燃烧前后，天平两边平衡；
 事实② 化钠溶液跟硫酸铜溶液反应后，天平两边平衡；
 天平两边平衡，质量没有变化；
 ∴化学反应前后物质的质量总和没有变化。

2. 化学实验事实的经验概括需要运用比较法

比较是对化学实验事实进行经验概括的前提。通过比较，可以找出化学实验事实的共同点，然后进行分类，归纳概括出物质及其变化的特征和规律性。例如，在初中对氧气化学性质的认识。通过实验，可以获得氧气能跟碳、硫、磷、镁、铁等物质发生化学反应；通过比较，可以将这些实验事实分成两类；通过归纳，可以概括出这两类实验事实的共同点，从而得出氧气能够跟非金属反应、能够跟金属反应的性质。这个过程可用图 6-1 来表示。

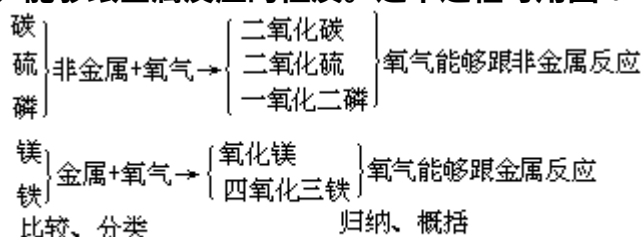


图 6-1 氧气的化学性质经验概括过程图

二 化学实验事实的理论解释

经验概括只是对物质及其变化的外部特征和外部联系的一种概括，还不甚深刻，它只回答了“是什么”的问题，还没有深入到物质及其变化的本质和原因，回答“为什么”的问题。

要回答“为什么”的问题，还必须对化学实验事实进行理论解释。所谓理论解释，就是运用化学科学理论对化学实验事实产生的原因进行理解和说明，以达到对物质的本质及其变化规律的深层认识。

1. 化学实验事实的理论演绎解释

对化学实验事实的理论解释，运用最多、最经常的是理论演绎解释。所谓理论演绎解释，是指能够把化学实验事实从化学规律中演绎推导出来。这里的化学规律既包括化学经验规律(如质量守恒定律等经验定律)，又包括化学理论规律(如化学概念、原理和理论体系等)。

理论演绎解释模式由解释项和被解释项两部分构成。解释项包括规律集和条件集，并分别用 L 和 C 表示。理论演绎解释模式如下：

$$\left. \begin{array}{l} \text{规律集 } L_1, L_2 \cdots L_n \\ \text{条件集 } C_1, C_2 \cdots C_n \end{array} \right\} \text{解释项}$$

例如，对“铂能够导电”的解释。

规律陈述 金属能够导电；

条件陈述 铂是金属；

实验事实 $\therefore$ 铂能够导电。

根据被解释项是实验事实还是对实验事实的经验概括，可以把化学实验事实的理论演绎解释分成以下两类：

(1) 对化学实验事实的直接解释。

在这种类型中，被解释项是单称的化学实验事实，解释项是化学经验规律。例如，对“镁条燃烧后质量增加”的解释。

规律陈述 质量守恒定律；

条件陈述 镁条燃烧，是镁和氧气发生了化学反应；反应后生成物的质量等于参加反应的镁条和氧气的质量之和；

实验事实 $\therefore$ 镁条燃烧后，质量增加。

(2) 对化学实验事实的间接解释。

所谓间接解释，是指对化学实验事实的经验概括的结果——物质及其变化的性质或特征、物质及其变化的规律性、化学概念、化学定律的解释。在这种类型中，被解释项是化学经验概括的结果，解释项是化学理论规律。

例如，质量守恒定律是对化学实验事实进行经验概括的结果，应用物质结构理论可以对其进行解释。

规律陈述 化学反应的实质是原子的重新组合；

条件陈述 化学反应前后原子的种类、数目没有变化；

经验概括的结果 $\therefore$ 化学反应前后各物质的质量总和没有变化。

2. 化学实验事实的理论解释是层层深化的

化学科学理论是由多个层次构成的系统，具有层次性。对于化学实验事实可以用较低层次的理论来解释，较低层次的理论还可以用较高层次的理论来解释，较高层次的理论又可以通过更高层次的理论来解释，从而使对化学实验事实的理论解释层层深化下去。运用高层次的理论来解释低层次的理论或实验事实，一方面可以扩大高层次理论的适用范围，另一方面又可以使高层理论间接或直接地接受检验。通过对化学实验事实进行的层层深化的理论解释，可以达到对物质的本质及其变化规律的深刻的认识。例如，对有关盐酸的一些实验事实的理论解释，见图 6-2。

实验事实	经验概括的结果	理论解释
①盐酸能跟锌反应 } ②盐酸能跟铁反应 }	盐酸能跟金属反应	理论解释 I
③盐酸能跟氧化镁反应 } ④盐酸能跟三氧化二铁反应 }	盐酸能跟金属氧化物反应	盐酸能电离出 H^+
⑤盐酸能跟氢氧化钠反应 } ⑥盐酸能跟氢氧化铜反应 }	盐酸能跟碱反应	理论解释 II 盐酸是强电解质
		理论解释 III 盐酸是极性共价键 分子 $H\overset{+}{Cl}\overset{-}{Cl}(\times \overset{+}{Cl}\overset{-}{Cl})$ 的水溶液

图 6-2 对盐酸的一些实验事实的理论解释

第七章 化学实验与理论思维

化学实验作为一种能动的实践活动形式，它意味着，一方面化学实验是化学理论产生的源泉和检验标准，另一方面化学实验需要一定的化学理论做指导。贬低化学实验作为化学科学认识基础的重要作用，化学理论将因失去源泉和营养不良而枯萎；忽视理论思维对化学实验的指导作用，化学实验也会因其盲目性而丧失力量。在化学教学认识中，实验与理论思维也具有同样的关系。在这里，我们着重讨论理论思维在化学实验中的作用。

第一节 理论思维在化学实验中的作用

这里所说的理论思维是一个有广泛含义的概念,它既含有哲学思维(即世界观和方法论),又含有自然科学中的理论和假说,以及联想和想像力等^①。当然,还含有逻辑思维。正如前面讨论过的,化学实验与其他自然科学的实验一样,它的直接目的在于解决一定的化学科学研究任务,化学实验产生的结果使人们获得了对实验对象的认识,或是检验一定的假说、理论。所以,它总要受一定的哲学思想的影响和支配。化学实验作为科学研究的一种实践和手段,又总是与化学科学中的理论、假说密切联系着,离不开理论的指导和运用。化学科学研究中的实验是一种创造性的活动,没有想像力或离开了联想,都将会直接影响实验目的的完成。化学实验离不开思维活动,不仅需要思维材料,还需要正确的思维方法。

从认识论和方法论的角度对化学实验的全过程进行分析,化学实验不但是一种感性活动过程,而且更重要的是一种理论思维活动过程。它本质上是理论思维的物化,所以,不但要把化学实验当作感性活动来把握,更重要的还在于把化学实验当作理论思维活动来把握。认识到这一点,对全面理解化学实验的实质是极其重要的。有了这种认识就不会简单地认为化学实验是与理论思维无关的纯粹的感觉、知觉阶段。纯粹的感觉和知觉只是作为意识的萌芽存在于人的意识形成的史前时期,存在于动物和婴儿的心理活动中。对于从事化学科学认识活动的化学科学工作者,他们是智力成熟的人,对于进行化学教学认识活动的学生,他们也具有一定的知识基础,因此,他们的认识无论处于何种水平,都是感性和理性的统一,都不可能脱离思维。

任何类型的化学实验,其全过程都可分为如下的三个基本阶段:实验的准备阶段、实验的实施阶段和实验结果的分析处理阶段。理论思维在实验的各个阶段都起着重要作用。

^① 《自然辩证法讲义》编写组:自然辩证法讲义(初稿),人民教育出版社1979年版,第263页。

第二节 化学实验准备阶段的理论思维

一 化学实验准备阶段理论思维的重要性

实验成功的关键主要决定理论思维作用发挥得如何；以及实验准备工作是否周密细致。实验前的周密思考和精心设计之所以重要，是因为实验方法的巨大力量，在于它能够把某些理性活动的成果物化为一定的物质形态，再从物质的客观运动中吸取具体的感性表象，从而正确地反映客观对象，进而把握对象的本质。实验准备正是为这种物化准备提供必要的理论前提，并为努力实现理性前提的这种物化做好前期的各项准备工作。^①

科学史上大量成功的实验都是与他们在实验准备阶段充分运用理论思维，做到苦心思索、精心设计有关。例如，前面提到的比利时化学家赫尔蒙特做过的那个著名的实验，他根据实验观察到的事实，得出了水能变成土的结论，因而认为水是自然界最基本的元素之一。后来，拉瓦锡经过周密思考之后，采取了新的实验措施，使用天平进行称量，重复了赫尔蒙特的实验，实验结果否定了赫尔蒙特的结论，他提出了水不能变成土的看法，并指出沉淀物是蒸馏器被溶解下来的物质。后来，经过瑞典化学家舍勒对这种沉淀物的进一步分析，证实了拉瓦锡的结论是正确的。这个事实生动地表明了实验前的周密思考、精心设计是多么的重要。

二 化学实验准备阶段中的理论思维

在化学实验准备阶段通常需要进行五项工作，即实验课题的选择、确定实验目的、明确指导实验设计的理论、进行实验设计、实验仪器与设备和化学药品的准备。每项具体工作中都需要理论的指导，都要进行积极的思维活动。

1. 化学实验课题选择中的理论思维

(1) 化学实验课题与化学(实验)问题的关系。

化学实验课题，就是从化学(实验)问题中选择出来的，需要通过实验研究求得答案的问题。化学实验课题的选择，必须遵循三个原则，即化学实验课题的选择一定要遵循有效性、可实现性和最优化原则。可见，化学实验研究的课题必须从化学(实验)问题中来选择，但是并不是所有的化学(实验)问题都能被选为现实的实验课题，只有经过认真分析、思考、做出判断，认为符合上述三条原则的化学(实验)问题才能被选中。

(2) 化学实验课题的正确选择需要充分发挥理论思维的作用。

化学实验课题的选择是进行化学实验研究的有决定意义的关键一步。化学实验研究并不是都能取得成功的，失败是常见的，其原因当然很多，但选题不当，常是导致失败的原因之一。正确的选择是一项既重要又复杂的工作。英国著名的晶体物理学家贝尔纳就曾提出：“课题的形成和选择，无论作为外部的经济要求，或者作为科学本身的要求，都是研究工作中最复杂的一个阶段。一般说来，提出课题比解决课题更困难……所以评价和选择课题，便

^① 黄顺基等主编：自然辩证法教程，中国人民大学出版社 1987 年版，第 298 页。

成了研究战略的起点。”^①因此，许多科学工作者认为，科学研究的选题本身就是一项科学研究。那么，怎样才能选中正确的化学实验研究题目和对问题的意义做出恰当的评价呢？关键在于从事化学实验研究者是否具有较雄厚的化学科学基础知识，是否能在了解和分析化学学科某一领域背景知识的基础上，充分运用想像力，发现和提出具有发展前途的实验研究题目。而理论思维在这里起着重要的作用。

在确定了化学实验选题和了解所要研究的问题之后，还要以一定背景知识为基础，运用理论思维对所研究的实验问题进行分析，把一个大问题分解成具有一定层次和相互联系的许多小问题，为找到解决这个问题的步骤和相关的网结，为化学实验设计提供依据。如法国化学家莫瓦桑为解决制取游离氟的问题，以氟的制取为实验课题进行了实验研究。他在以氯、溴、碘以及氟化物等知识为背景，对氟的性质已经有了初步认识的基础上，经过思考，解决了电解法制取单质氟的几个关键性的前问题，这些前问题就是：使电解原料(反应物)变成导电的电解液、电解装置(器)和电极要耐腐蚀、防止氟的逸散以及便于检验等。又如电解器又涉及到电解器与电极的材料以及它们的形状、电解器的封口等更具体的问题。这些问题得不到解决，游离氟的制取将会受挫，这些不同层次、相互联系的前问题，就成了解决所要研究的课题的必要条件。这就说明了问题的分解在化学实验研究中具有十分重要的意义，通过对问题的分解，为实验主体提供解决问题的方向和方法；另外还说明了实验主体必须具有分解问题的能力和深刻的洞察能力，而这些都需要发挥理论思维的重要作用。

中学化学教学中需要通过实验解决的问题是化学科学中早已经解决了一些最基本的问题，已不再成为化学科学研究的对象。这些实验问题是在化学教学大纲和化学教材中事先规定下来的，是完成中学化学教学任务所不可缺少的重要教学内容，通常勿需教师或学生做什么选择。但是，对化学实验问题结构的理解和对化学实验问题的分解，却离不开理论思维。因此，教师在实验实施之前，对学生进行必要的引导，使他们在一开始就进入积极的思维状态，这对顺利完成教学任务和提高学生的科学素质是十分必要的。

2. 化学实验目的制定中的理论思维

在着手进行实验设计之前，首先应该明确此项化学实验要达到什么目的。不论是化学科学研究中的实验，还是化学教学中的实验，都必须有明确的化学实验目的。化学实验目的是化学实验的灵魂，是化学实验设计方案的重要内容之一，必须认真制订化学实验目的。

(1) 化学实验目的是调节、控制化学实验主体的内在因素。

化学实验本身就是一个有目的的化学实验主客体相互作用的实践活动过程。事实上，确定化学实验课题、选择化学实验对象并不是无缘无故的，而是为了解决某个或某些化学问题，实现一定的化学实验目的。因此，在确定化学实验课题一开始就已经蕴含着化学实验主体对实验客体的某种要求。这种要求反映在化学实验主体的头脑中，就成为推动化学实验主体进行实验活动的内在动因。化学实验目的作为化学实验活动的一个内在因素，贯穿、渗透于化学实验的全过程和化学实验结果之中。化学实验目的作为实验主体头脑中的观念，调节、控制着其自身与化学实验客体的相互作用，这本身就是

^① 林定夷著：《科学研究方法概论》，浙江人民出版社 1986 年版，第 68 页。

一种理论思维活动。化学实验目的关系到化学实验能否顺利进行的问题。所以,不论是化学科学工作者,还是化学教学中的教师或学生,在进行化学实验之前,都必须制订出明确的、切实可行的化学实验目的。

(2)化学实验目的是实验主客体之间的观念关系向实践关系转化的一个必然环节。

化学实验目的虽然属于主观观念的东西,但它是实验主体实践活动的直接动机,并为实验活动指明了努力的方向和预想的实验结果。它还作为调节、控制实验主客体之间相互作用的因素,规定着实验活动的步骤、方式和方法,协调各个环节间的关系。

化学实验目的本身还是为之努力、期盼达到的一种理想,因此,它能促使化学实验主体在实验活动中产生一种为理想而拼搏的强烈意志和情感。这种意志和情感能使实验主体的主观能动性得到最好的发挥。

化学实验目的构成化学实验者的观念、理想,必须通过化学实验才能把这种观念的东西转化成为变革、改造化学实验对象的现实活动,并在化学实验中实现它。化学实验所取得的实验结果,是否实现了预期的化学实验目的,就是对化学实验目的所依据的思想、理论是否正确的一种检验。

总之,化学实验目的是化学实验主客体之间的观念关系向实践关系转化的一个重要环节,并贯彻于实验主客体相互作用的实践全过程。最后又对象化于化学实验活动的结果之中。因此,可以说化学实验目的是化学实验活动的灵魂,化学实验必须有明确的目的。确定化学实验目的是一个理论的逻辑演绎的过程,提出明确的化学实验目的必须充分发挥理论思维的作用。

3. 明确指导化学实验设计的理论

在确定了化学实验目的之后,不能马上进行实验设计,而是要先弄清指导化学实验设计的理论是什么,然后在这种理论指导下再去设计化学实验方案。在这里,指导理论是将化学实验目的与实验设计二者联系起来的中间环节。没有这一步,就不能很好地从化学实验目的过渡到实验方案的设计上,即使作了实验设计,也会因缺乏理论根据而使实验不能达到预期的目的。明确了指导理论,实验设计就有了根据,有了方向。化学实验者就可以根据这种理论弄清该采用什么方法和手段,通过什么步骤、从什么方向去实现已经确定的化学实验目的,并可以根据这些理论进一步作出逻辑推理,预测可能遇到的困难,事先考虑好如何创设条件去克服它,还会估计到可能取得的实验结果等等。^①

4. 进行化学实验的设计需要理论思维

关于化学实验设计的意义、类型和内容、原则和优选标准等,在前面已做过讨论。这里着重从理论思维的角度对化学实验设计,做进一步的探讨。

(1)化学实验设计是实现化学实验目的的观念模型。

任何一项现实的化学实验都是具体的实验,它不但有所要实现的特殊的实验目的,还必须有根据这个目的制订的实验计划(即实验设计或观念模型)。毛泽东曾指出:“一切事情是要人做的……做就必须先有人根据客观事实,引出思想、道理、意见,提出计划、方针、政策、战略、战术,方能做得好。”做化学实验也应如此,在化学实验正式实验之前,要做好化学实验设计。化学实验设计是化学实验目的的具体化的观念模型。它是化学实验主

^① 张巨青主编:《科学逻辑》,吉林人民出版社1984年版,第175页。

体借助理论思维在头脑中建构的一种观念性的东西，但它又是具体化了。这种具体化是指化学实验目的的具体化，是指实现化学实验目的的实践活动过程的具体化。但是这种具体化并不是现实的具体，而是在观念中实现的，以文字说明、化学用语和化学专用符号、图与表等的外表形式感性化地体现在书面上的。建立这种化学实验观念模型的过程本身就是运用理论和理性方法进行积极的思维过程。

(2)制订化学实验设计方案中的理论思维。

进行化学实验设计是一项复杂而又细致的工作。这项准备工作做得如何，关键在于是否能很好地进行理论思维。科学史上许多著名的实验，无不铭刻着理论思维在实验设计中的功绩。

为了使化学实验目的和化学实验实施过程的活动在观念中实现具体化，在形成书面的化学实验设计之前，要对该项化学实验所涉及的一系列具体问题进行认真的分析和周密的思考。

首先，对该项化学实验所涉及到的化学原理、对参加化学反应的各种物质的性质要有较全面、较深入的了解和认识。要尽可能估计到在什么样的实验条件下，可能发生什么样的化学反应以及产生什么样的实验结果。在此基础上再做细致而具体的思考，确定在怎样的实验条件下，才能使有关化学反应向着实现化学目的的方向发展。

其次，还必须按照化学反应原理，根据化学反应物质和生成物质的性质、实验条件的控制、发生反应时可能产生的能量变化，来预选实验方法和手段。甚至对选用仪器的规格、仪器的联结安装方式都要仔细考虑。然后，确定实验操作的程序和步骤，并在思想上进行“实验”，头脑中要考虑好每一步应怎样操作，操作方法上应注意些什么，怎样进行观察，如何使实验过程中的每一环节、每项操作都成为有目的、有计划的具体活动，并构成一个有序的联系的整体。

再次，化学实验主体要对自身的化学知识基础和理论水平、实验操作水平、现代化测量手段掌握的情况等也应做出全面的、切合实际的评价，充分估计自己是否有能力胜任该项实验研究。明确自己的不足，找到弥补的办法，努力给以补救。

另外，对化学实验过程中可能遇到的困难和克服的办法，都要尽量做好思想准备。甚至在一开始就可以做出两套或多套不同的实验方案，即设计几种不同的实验路线去完成同一个实验目的的实验方案，运用理论思维，在头脑中对它们进行“实验”，对它们各方面的情况做出周密分析，并加以比较，从中确定一个较理想的观念模型，然后着手完成化学实验设计的书面材料。

化学教学中的实验设计与化学实验研究中的实验设计相比较，通常都有可参考的现成的模式，在内容上要简单些、在层次上也低一些，因此比较容易完成。但是为了满足化学教学上的一些特殊要求，同样需要在上述几个方面进行理论思维，教师的任务就是要正确地、适时地引导学生运用理论思维做好化学实验设计。

5. 化学实验手段和化学药品准备的理论思维

化学实验仪器、实验装置、设备、工具等的选择和准备，并不是纯物质的活动，也要以理论为指导。从实际上说，化学实验仪器、实验装置、设备(特别是现代化的实验仪器和设备)是理论和理性方法的物化，它不仅含有大量自然科学知识(包括化学、光学、电学和热学等方面的知识)，还包含着诸如分

析和综合、归纳和演绎、抽象、比较和类比等逻辑思维方法。可以说，化学实验仪器、装置和设备就是自然科学理论和理性方法外化而形成的物的形态。即使常用的、最简单的实验仪器、装置(如启普发生器、滴定管、冷凝管、试管、烧瓶、试剂瓶等)的使用也蕴含和凝结着一定的理论和逻辑思维方法。

对于多数的化学实验来说，都是利用前人提供的、现成的化学实验仪器、装置和设备。因而，在这方面需要的是实验者结合化学实验内容选择实验仪器，并对这些仪器的性能和作用应有所认识，并善于把它们组合安装在一起。而实验仪器的选择和组合都要有相应理论知识的准备。特别是对那些结构较复杂的现代化、自动化的实验仪器，以及现代化的测量仪器系统，除了事先就要掌握科学的使用方法外，还应对它的基本结构、构造原理、使用时的注意事项等，从理论上有一定的了解。

特别值得注意的是，不论在化学实验研究中，还是教学中的实验，有时为了提高实验质量和观察效果，需要实验主体亲自动手改进原有实验仪器或实验装置，或对实验仪器、装置进行新的创制，在这里除了实验主体需要具有坚持不懈、勤奋刻苦的精神外，创造性地运用理论知识和科学思维方法，则起着关键性的作用。

化学实验准备中的物的因素除了实验仪器等，还有作为实验对象或实验材料的化学药品。在许多情况下，化学实验课题和实验内容就已决定了在什么实验对象和哪些对象上来进行实验。有的情况，可以用不同的实验材料作为实验对象去实现某种化学实验目的(如氯酸钾、高锰酸钾、水都可作为制取氧气的实验对象)。在这种情况下，实验材料的选择靠的仍然是理论。化学药品的准备，如果缺乏或忽视理论知识的指导，甚至连最简单的溶液、试剂的配制也会出现科学性错误。这不仅会直接关系到实验的成败，严重的还会有危及人身安全的实验事故发生。因此，我们说实验仪器和实验对象等的准备并不是纯物质的活动，也必须发挥理论思维的作用。

第三节 化学实验实施阶段中的理论思维

化学实验实施中的具体操作,是感性的物质活动的过程,其目的在于把蕴含于化学实验目的和化学实验设计中的理论思维,通过物质手段和实验操作方法外现于感性的具体实践活动中。化学实验主体(或实验观察者)则通过观察从实验对象的变化中获得有意义的化学实验事实。实验离不开观察,实验中的观察,不是一种消极的观看,而是一种积极的思维过程。因此,在实验实施中理论思维始终起着十分重要的作用。

一 化学实验观察中的理论思维

1. 化学实验观察中的知觉定势

化学实验过程中,实验主体首先通过感觉器官同化学实验对象发生联系,接受来自实验对象发出的信息,同时对这些信息进行挑选、加工和翻译,经过综合分析,才能获得有关感觉信息。化学实验的知觉,是在实验主体同客体相互作用中所获得的感觉信息、感觉材料的基础上形成的,是依赖大脑皮质一系列机能结构的协同活动产生的。它是通过思维活动对感觉信息、感觉材料的组织化、秩序化,是对实验客体的整体性的直接感性反映形式。要提高知觉的敏锐性,主要依赖于一定的知觉定势。知觉定势包括原有的知识、经验和需要、兴趣、情绪、注意以及价值观念等因素。知觉定势是整理、组织感觉信息或感觉材料,完成一个知觉过程的准备状态,对知觉的形成有重要影响。如果化学实验主体对某一类实验客体有一定的知识储备或经验准备,就能通过观察在较短的时间内形成该实验客体的整体性知觉。反之,如果缺乏最低限度的知识准备或经验准备,形成整体性知觉就比较缓慢,甚至很困难。

化学实验主体对实验目的愈明确,达到实验目的的要求就愈强烈,通过实验观察也愈能鲜明地形成实验对象的知觉。如果没有达到实验目的的强烈要求,对实验对象产生的某些重要实验事实可能熟视无睹,甚至并不能知觉到它的产生和存在。实验观察中的兴趣也会影响对实验对象的知觉,如果对实验观察有浓厚的兴趣,对实验对象的知觉也愈敏锐。实验观察中注意力集中的部分,能够从其他部分分化出来,从而使知觉清楚、明晰。

2. 化学实验观察中的观察陈述

通过观察获得的实验对象的知觉信息,要用科学的观察语言表述出来。在化学实验观察中的观察语言都是与特定的化学理论相联系着的。这些理论形成了观察时的理论框架,离开了这个框架就无法进行观察陈述。例如,石蕊试液遇盐酸变成红色,酚酞试液遇盐酸不变色,石蕊试液遇氢氧化钠溶液变蓝色,酚酞试液遇氢氧化钠溶液变红色。这里的观察陈述所使用的语言是以电解质溶液理论为理论框架的。对于化学学科来说,用于观察陈述的语言是化学中的专业术语(化学概念)或专用的化学符号。如上面提到的盐酸(HCl)、氢氧化钠(NaOH)、酚酞试液和石蕊试液等便是化学专业术语(化学符号)。语言作为思想内容都有它的一定语义。语义总是表达一定的思维。化学思维是运用化学概念、化学理论进行推理的过程。因此,实验观察者原有的经验和化学理论背景在观察中是极为重要的。实际上,没有理论渗透的纯粹观察是不存在的。爱因斯坦曾指出:“是理论决定我们能够观察到的东西。只有理论,即只有关于自然规律的知识,才能使我们从感觉印象推论出基本

现象。”^①

观察陈述是否精确，除了取决于实验观察本身是否精确之外，还跟观察所使用的化学术语、化学符号以及陈述的结构是否精确相关。而这些又决定于观察陈述者的观察能力、化学理论水平和思维能力。实验中通过观察陈述，把观察到的客观事实，转化成为由化学专业语言加以记录、描述的化学实验事实，它作为化学科学认识的原始素材的事实，可以进一步用理论思维来加工，使认识达到更高层次。

首先，在化学科学认识中，由前人发现、创建的化学理论，成为后人进行化学实验观察的前提条件，起着一种理论框架的作用。原先的理论参与了观察过程和观察陈述，并起着十分重要的作用。但是观察的任务并不是单纯把观察到的实验事实纳入先前的理论框架之中。观察的客观性原则要求我们在实验中的观察应该尊重观察到的客观事实。如果实验中的观察受先前的理论框架所束缚和限制，那么很多新的实验事实就会观察不到，这就失去实验研究中观察的意义。

化学史上许多重要理论的建立和发展表明，在实验观察中掌握的新事实、新经验材料，通过观察陈述，往往能突破原先的理论框架，并以此为基础形成新的理论系统结构。化学实验中观察的意义就在于它为新理论的建立提供科学事实的根据，为新理论的真理奠定客观基础。因此，爱因斯坦强调：“理论所以能够成立，其根据就在于它同大量的单个观察关联着，而理论的‘真理性’也正在于此。”^①

对于学生来说，他们虽然不能通过化学实验观察，为化学科学理论的发展提出什么新的实验事实，但对学生本身来说，他们在实验的观察中，教师既要引导他们发挥原有已掌握的理论框架的作用，又要鼓励学生敢于冲破自己已有的理论框架的束缚，提出对他们来说是新事实、新的感性材料，这对他们形成新概念、新理论，同样具有重要意义。

其次，不论是化学科学研究的实验，还是化学教学中的实验，通过观察都可以掌握大量的实验事实，但是“单凭观察所得的经验，是决不能充分证明必然性的”^②。也就是说，化学实验主体通过实验观察所得到的观察事实或感性材料，要用观察陈述做出关于观察事实(或经验事实)的判断，然而这种判断还不能充分揭示和证明普遍的必然性。只有在这个基础上，进一步运用理论思维的方法，对经验事实或材料进行加工处理，才能揭示出实验对象的内在本质和必然性。

二 化学实验操作中的理论思维

化学实验实施中的实验操作与实验观察一样，也是离不开相应理论的指导和积极思考的。

1. 化学实验操作要以相应的理论为指导

化学实验中的实验仪器、装置、设备和工具等是实现科学认识的以实物形态存在的物质手段(或认识工具)。作为实验中介的物质手段如果不通过实验者的使用和操作，实验者和实验对象就不能发生联系和相互作用，因而也

^① 刘元亮等编著：《科学认识论与方法论》，清华大学出版社 1987 年版，第 171 页。

^① 爱因斯坦：《爱因斯坦文集·第 1 卷》，商务印书馆 1976 年版，第 115 页。

^② 马克思、恩格斯：《马克思恩格斯选集·第 3 卷》，人民出版社 1972 年版，第 549 页。

就不能从实验对象的变化中获得有意义的信息。化学实验必须由实验者进行必要的实验操作。

(1)化学实验操作。

化学实验操作就是指在化学实验的实施过程中,化学实验者按照一定的实验目的和制订的实验计划,运用实验物质手段,在控制一定的实验条件下,使实验对象发生某种变化的一系列有序的动作活动。这一系列动作活动,主要表现为手和上肢的肌肉、骨骼的运动,以及与之相应的神经系统部分的活动。

(2)化学实验操作离不开理论的指导。

化学实验中的动作活动并不是任意的,也不是实验者先天就具有的,它是经过学习、练习形成和发展的。实验中的动作活动——做什么和怎么做都是以一定理论知识为基础的,要受实验者意识的支配和调节,并服从于一定的实验目的和实验任务。例如,化学实验中的常压过滤操作,就是由制作过滤器(由普通漏斗和滤纸构成)、把过滤器放在漏斗架(铁架台)上、调节漏斗架的高低、倾倒溶液和转移沉淀、洗涤沉淀(如果沉淀需要洗涤时)等一系列有序的实验动作组合起来的活动方式。而其中的每一步具体操作活动都有一定要求和理论依据。^①

又如,用加热分解高锰酸钾的方法制取氧气的实验,是由安装制氧气的实验装置和检验其气密性、安装收集氧气的装置、给装有高锰酸钾的试管加热、收集氧气、把导管移出水面、停止加热、熄灭加热器的火焰等一系列有序的操作构成的。

其中每一步具体操作都必须在一定理论指导下按一定要求来进行。以加热来说,要求“使酒精灯在试管下回来移动,使试管均匀受热,然后再对高锰酸钾所在的部位加热”,之所以要这样操作,是为了防止试管因受热不均匀而损坏。又如在停止加热时,要先把导管移出水面,之后才熄灭火焰,这是为了避免停止加热后,试管内气压小于外大气压,而使冷水从导管流进热试管,使试管炸裂。由此可见,实验操作中忽视理论的指导,违反实验操作的客观规律和基本要求,将会导致实验的失败或造成仪器的损坏。因此,对于化学实验操作,不论是简单操作还是复杂操作,都必须做到对实验操作的基本原理有较充分的理解。

在化学实验的教学中,不仅要让学生知道要做什么和怎么做,还要让他们懂得为什么要这样做、为什么不能那样做的道理和理论依据。还要注意培养他们把实验操作(动手)、实验观察(动感觉器官)、积极思考(动脑)三者有机地结合起来统一于实验实施的全过程中。这样将会有助于提高学生实验操作的主动性和自觉性,以减少实验操作中的被动性和盲目性。这对提高化学实验的成功率和对科学素质的培养都是有益的。

2. 要综合考虑实验因素来选择操作方法

化学实验中的实验操作(如加热),又可分为许多不同的实验操作方法(如直接加热和间接加热的操作方法),每一种实验操作方法又有它所依据的实验操作的基本原理。化学实验操作中采用哪一种实验操作方法,必须在全面分析实验所涉及到的各种物质及各种因素的基础上来确定。例如,加热是化学实验中一项非常重要的实验操作,许多化学反应是在加热操作的情况下发生

^① 刘知新主编:基础化学实验大全·上册,北京教育出版社1991年版,第140—141页。

和进行的。另外, 还有些基本实验操作(如溶解、升华、蒸发、蒸馏等)也需要同时进行加热操作。从加热的基本原理看, 加热是热源将热能传递给被加热的对象而使其变热的过程。实际上, 加热时热能首先传递给实验容器(如试管、烧瓶、蒸发皿、烧杯等)使之变热, 再传递给实验容器内的物质, 以使物质发生化学反应或达到某种基本操作的目的(如蒸发)。根据热能的获得方式的不同, 又可把加热操作分为直接加热和间接加热两种操作方法。直接加热方法是将热能直接加于被加热的对象。如加热分解高锰酸钾制取氧气, 就是采用直接给试管加热的操作方法。间接加热方法是将热源的热能加于一个中间载热体(例如石棉网、热浴中的水、油、砂和空气等), 然后由中间载热体将热能再传给被加热的实验容器(如烧瓶)和被加热的物质。如实验室用乙醇制乙烯采用的就是间接加热的操作方法。

又如, 干燥是化学实验中常用的一种基本实验操作。一般是指除去物质中水分(或溶剂)的过程。干燥可分为自然干燥和人工干燥。人工干燥又分为物理干燥方法和化学干燥方法。烘干、吸附、分馏、共沸蒸馏、分子筛吸附等属于物理干燥方法。化学干燥方法是用干燥剂除去水分的操作方法, 根据干燥剂与水的作用又可分成两大类: 一类是与水可逆地结合生成水合物, 如氯化钙、硫酸镁等; 另一类是与水发生不可逆的化学反应而生成一种新的化合物, 如金属钠、五氧化二磷等。实验中采用哪种干燥操作方法, 要根据被干燥物质的状态和性质, 以及干燥剂的性质来做出选择。如果被干燥的是固体物质, 可采用空气中晾干的自然干燥的方法, 也可以采用烘干、滤纸吸干、干燥器中干燥等物理干燥的方法。如果被干燥的是液体物质, 通常采用化学干燥的方法, 这种方法是使被干燥的液体物质与干燥剂直接接触, 因而在干燥剂的选择上必须注意: 干燥剂不与被干燥的物质发生化学反应; 不发生催化作用; 不溶解于该液体中。此外, 干燥剂的选择还要考虑它的吸水容量、干燥效能、干燥速度和价格等因素。

通过上面两个实例的探讨, 使我们看到, 化学实验操作方法的选用不是随意的, 必须以某项实验操作方法的基本原理、实验仪器性能和实验设备功能、实验对象等方面的理论知识为基础, 在对各种有关因素做出全面、具体分析之后才能确定。所以, 实验操作方法的选择也同样需要理论思维。

3. 实验动作(操作)技能需要心智技能的调节

心理学认为, 技能是通过练习而形成的顺利完成某种任务所必须的活动方式(或心智活动方式)。技能按性质和特点可分为动作(操作)技能和心智技能^①。

化学实验中使用实验仪器、装置、工具和进行实验操作, 都是顺利完成某项具体实验任务, 由上肢和手一系列实际动作组合起来的、完善而合理的实验活动方式, 我们把它叫做化学实验动作技能(也叫做化学实验操作技能)。化学实验动作技能和其他任何技能一样, 总是表现为对一定知识的应用。化学实验动作(操作)技能具体表现为对元素化合物、实验仪器和装置、实验操作基本原理等方面知识的应用。化学实验动作(操作)技能的形成又是以一定的能力为前提的, 它直接影响个人的实验动作技能。所以, 化学实验动作(操作)技能的形成、掌握和调节, 离不开与之相应的知识基础和能力水平。

^① 杨清主编: 简明心理学辞典, 吉林人民出版社 1985 年版, 第 153 页。

化学实验动作(操作)技能离不开化学实验的心智技能。化学实验的心智技能(又叫做化学实验的心智活动技能)是指实验主体(包括化学实验教学中作为实验观察者的学生)在化学实验过程中,把许多必要的感知、记忆、想像和思维等环节,按一定的程序方式组合起来所进行的心理活动。它表现为实验者(或实验观察者)借助内部语言在脑中所进行的认识活动。在化学实验的实施中,凡是把实验中特定的感知、记忆、想象和思维等心理活动按一定程序组合起来,并顺利完成某种活动的过程,都是化学实验心智技能的活动。化学实验的心智技能对化学实验的动作(操作)技能起着重要的调节作用。在现实的化学实验的实施中,实验动作技能和实验心智技能总是相辅相成、有机结合在一起的。这里,从心理学的角度为我们进一步论证了化学实验实施阶段离不开理论思维。

第四节 化学实验结果处理阶段中的理论思维

什么是实验结果？对其涵义有几种不同的理解。第一种是指实验作为一个物质过程的产物，它是物质的、是第一性的。第二种是指通过实验观测所取得的各种原始资料，包括各种现象、事实、过程和数据，这就是所说的个别、具体的实验事实。第三种是指对实验观测到的原始资料经过初步加工整理后得到的初步结论，如根据实验测得的某物质不同温度下的溶解度所绘制的溶解度曲线，这实际上是指从对原始资料分析中得到的某种推理。^①本书所提及的化学实验结果是从第二种涵义上使用这个概念的。化学实验的真正目的是在于通过感性的具体为进一步发展到理性的认识提供条件，以便正确地反映实验对象并把握它的本质和规律，然而，本质和规律隐藏在物质的内部和深处，是看不见摸不着的，化学实验结果本身也不会自在地呈现出其内在的本质和规律。但是，物质的本质、规律与物质的现象之间的关系是辩证统一的，物质的任何本质、规律都要通过一定的现象表现出来，任何现象又都从一定的方面表现物质的本质和规律。在化学实验的最后阶段，运用理论思维，对化学实验结果(即化学实验中搜集到的事实、现象、过程和数据等第一手资料)进行分析和综合的思考，进行理性的分析处理，并在此基础上作出理论解释，就是对物质的认识，从现象向本质不断深入所不可缺少的一步。所有这些活动都离不开理论思维。

一 化学实验结果分析处理中的理论思维

对化学实验结果进行分析处理，实质上就是运用比较、分析、综合、抽象、概括、归纳等思维方法，对感性材料进行整理和纯化的过程，也就是对化学实验结果(化学实验事实)进行去粗取精、去伪存真的加工制作过程。

1. 化学实验结果的分析处理是理论思维过程化学实验结果需要处理，处理要有一定的方式方法(如谈到过的化学用语化、线图化和归纳概括等)，不论采取什么样的处理方式方法，都需要经过一系列复杂的思维活动才能得到正确的处理结果。以钠和水的反应为例，我们通过对钠跟水反应的实验观察，可以得到多个化学实验结果(化学实验事实)，对其中主要的事实可用陈述句表述如下^①：

- 事实 1 小块钠浮在水面上；
- 事实 2 钠熔化成闪光的小球；
- 事实 3 小球向各方向迅速游动，小球逐渐变小，最后完全消失。
- 事实 4 用试管采取排水集气法收集到产生的气体；
- 事实 5 将试管移近火焰，产生很小的响声；
- 事实 6 滴有酚酞试剂的水，由无色变成了红色。

运用已有知识对观察到的各种实验事实进行分析、推理，会认识到：

- 事实 1 表明钠的密度比水小。

(推理：比水密度小的任何物质都能浮在水面上；钠能浮在水面上；所以，钠的密度比水小。)

^① 林定夷著：《科学研究方法概论》，浙江人民出版社 1986 年版，第 384 页。

^① 人民教育出版社化学室编著：《高级中学课本化学(必修)·第一册》，人民教育出版社 1990 年版，第 84—85 页。

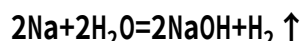
事实 2 表明钠受热熔化成小球。钠跟水反应能放出热能。

事实 3 表明钠跟水完全发生了化学反应。

事实 4、5 表明钠跟水反应生成物之一是气体，该气体在空气中能被点燃。

事实 6 钠跟水反应生成物之一的水溶液显碱性。

尽管这些实验事实是彼此联系着的客观实在，但是，不经过思维的加工整理，它们只不过是一些生动的、片断的、零散的感性认识材料，仍然无法揭示钠跟水反应的实质。为此，需要对每项实验事实进行进一步的分析、比较，从中抽取出能直接表明钠与水反应的事实，这就是事实 4、5 和事实 6。根据对氢性质的认识，对事实 4 和事实 5 进行分析思考，判明生成的气体是氢气。根据酚酞试剂能使碱性溶液由无色变成红色的认识，判定另一种生成物是碱。因为反应物有钠和水，而且知道氢氧化钠的水溶液显碱性，据此断定另一种产物是氢氧化钠。综合上述分析结果，最后得出的结论是：钠跟水能发生激烈反应，生成了氢气和氢氧化钠。用化学用语化的方法处理(即化学反应方程式)：



从上述讨论可见，钠跟水的反应用化学用语化的方法处理，是在已有知识的基础上，对该反应过程中产生的诸多实验事实经过分析、比较、抽象、归纳、综合以及判断和推理等一系列复杂的思维活动，所得到的最后结论。事实上，对任何实验对象所给出的各种实验结果的分析处理，都需要经过这样一系列的、复杂的理论思维。这也就是运用知识和逻辑思维等精神手段对感性认识材料进行“加工处理”的过程。

2. 运用理论思维应注意的几个问题

(1) 对化学实验事实进行归纳要持慎重态度。

归纳是从个别性的前提推出一一般性的结论，或从较不一般性的前提推出较一般性的结论的推理形式。归纳也就是归纳法。归纳法可以使人们从个别的(或特殊的)对象中，概括出一般性、规律性的东西。如质量守恒定律、定组成定律、倍比定律等经验规律，就是从对个别的化学实验结果为前提推出的一般性、规律性的结论。归纳法用于认识物质的经验规律是有效的。但是，因为归纳法推出的结论知识超出了前提范围，它的结论不具有必然性，而是或然性的，可能真实(如质量守恒定律)，也可能虚假(如燃素说)。

首先，每一个个别的化学实验事实必须是正确的。每一个个别的化学实验事实是归纳的前提或根据，如果前提或根据是错误的，归纳概括得出的结论必然是错误的。所以，在进行归纳之前，必须确认所取得的实验事实(现象、数据和过程等)以及对化学实验结果(事实)表述所使用的概念和化学术语是确切、可靠的。

其次，要以充分的化学实验事实作为归纳的基础。通常情况下，我们是从有限的化学实验事实作出普遍性概括的，因而容易产生以偏概全的错误。例如，锌、铁分别都能跟盐酸、稀硫酸反应生成氢气。它们在发生反应时给出的主要化学实验事实有：

锌跟盐酸反应产生氢气；

锌跟稀硫酸反应产生氢气；

铁跟盐酸反应产生氢气；

铁跟稀硫酸反应产生氢气；

因为：锌和铁都是金属；盐酸和硫酸都是酸。

所以：金属跟酸都能反应，并都能产生氢气。

这种归纳概括得到的结论性认识，就犯了以偏概全的错误。事实上并不是所有的金属在通常条件下都能和所有的酸发生反应，即使某金属与某酸发生了反应(如，锌和稀硝酸)也不一定能产生氢气。这是由于没有穷举各种金属分别与各种酸是否能发生反应、或反应后是否产生氢气的每一个化学实验事实，而是仅仅把少数的、有限的化学实验事实做了普遍性的概括，以致得到了错误的结论。为此，在归纳之前必须收集较充分的实验事实，然后再进行概括。

再次，从化学实验结果归纳概括得出的结论性认识必须能经受实验的检验。由于用归纳法推出的结论是或然性的，是真是假还要用实验来检验。例如，质量守恒定律用其他任何实验产生的实验事实来检验，都证明它是真、是正确的。而燃素说的产生尽管也是以实验事实作为它概括的前提，但因它“不真”而终究被后来的一些实验事实所否定。

(2)要把化学实验结果与分析处理后得到的结论区别开来，把化学实验结果与对化学实验结果的解释区别开来。如前面谈到的钠跟水反应给出的各种信息，通过陈述句表述出来的各种化学实验事实，是实验者取得的第一手资料，是进行归纳概括的前提或根据。而钠跟水反应的化学用语化是对多种化学实验事实，经过大脑一系列复杂的思维加工处理后所得到的结论。又如，钠浮在水面上是化学实验事实，这个实验事实产生的原因是钠的密度比水小。钠的密度比水小既是钠的一种性质，又是对钠浮在水面上这一实验事实的解释。

(3)要重视对化学实验中出现的意外事实的分析处理。

化学实验过程中常会产生一些意外的、事先没有估计到的化学实验事实。在科学认识论中把意外实验事实的发现称做认识活动中的机遇。机遇是相对于原来化学实验计划和实验目的而言的，它的最大特点就是意外性。

在科学发展史中，带有机遇性的科学发现的事例是不胜枚举的。意外的发现常成为新的科学理论的起点，具有十分重要的科学价值。如伦琴发现 X 射线，贝克勒发现铀的放射性，都带有机遇的性质。意外的发现也可以为技术发明提供线索，从而推动科学、技术和生产的发展，如从煤焦油提炼合成染料就是来自一次机遇性的发现。发现意外事实、捕捉机遇，需要实验观察者具有敏锐的观察力。敏锐的观察力不是天生的，要靠知识、经验，靠以知识为基础的细心观察和动脑思考。这就是机遇只偏爱有准备的头脑的含义。头脑空空，不会捕捉到机遇；知识多而观察不细心，对产生的意外事实会视而不见。如果被事先的实验设想所束缚也会注意不到意外事实的出现。

中学化学教材中规定的实验是一些具有典型代表性和成功率高的实验。即使如此，有时也会出现某些不是实验所期望的实验事实。例如，电解水的实验中观察到的实验事实是氢气与氧气的体积比不是 2 : 1(接近 2 : 1)。又如，用锌跟稀硫酸反应制取氢气，有时会嗅到氢气带有刺激气味和观察到锌粒表面由银白色变成了黑色这样一些实验事实。一般情况下，多数学生不会注意到这些实验事实的产生，对那些善于细心观察和喜欢思考的学生，他们不仅能发现这些事实，还会提许多为什么，如氢气和氧气的体积为什么正好是 2 : 1？氢气是无色、无味、无臭的气体，那么这种刺激气味是哪里来的？锌粒表面为什么变成了黑色？它是什么物质？等等问题。

化学教学中对这些化学实验事实应如何处理呢？

首先，要采取实事求是的科学态度，对这些意外实验事实的出现给以承认。

其次，要引导学生从构成实验的要素，实验者、化学药品(实验对象)和实验手段(实验仪器)以及实验的动态过程等方面进行分析，找出产生意外实验事实的原因。如实验者在实验操作中是否有失误？实验条件控制是否不当？化学药品是否不纯？会含有什么杂质？这些杂质对实验结果有什么影响？是否有副反应同时发生？实验仪器的精密度如何？等等都要做到认真的分析。

对意外事实的出现，有的需要做出简要的说明(如用锌跟稀硫酸反应制出的氢有刺激气味)。有的涉及的知识较多，超越了学生的实际水平(如电解水产生的氢气和氧气体积比不足 2:1)，这种情况一般不需作出说明，但也要向学生有所交待。

对意外实验事实的分析处理，看来并不与实验要求直接相关，有时甚至还会影响、冲淡重要实验事实的分析处理。但是，对意外实验事实的恰当分析处理，对培养学生细心观察、积极思考的科学态度和科学学习习惯方面是具有积极意义的。

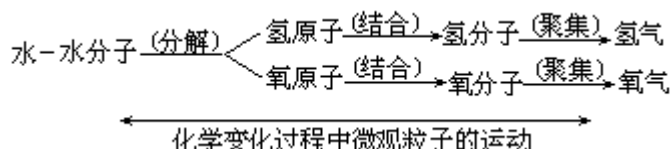
二 化学实验结果解释中的理论思维

对化学实验结果的解释，大多数是采用理论演绎的方式进行的。这种解释方式不仅适用于对化学实验结果的解释，同样也适用于其他学科对实验结果的解释。对于化学学科来说，重要的在于对宏观对象做出微观的解释，即从分子、原子、离子、电子等微观粒子的层次上对化学实验结果(事实、现象和过程等)做出深入的解释。

1. 化学实验结果的微观解释理论思维的过程

化学物质是由分子(如水)、原子(如金刚石)、离子(如氯化钠)构成的。水、金刚石、氯化钠等化学物质是能被人们看得到摸得着的宏观物质。化学反应中的反应物和生成物，以及反应过程中产生的现象，都是以宏观形态呈现在我们感官下能被我们所感知的。化学的任务就在于深入到宏观物质的内部对其组成、内部结构给以微观的理解和认识，对物质发生化学变化的宏观运动给以微观粒子内部运动的解释。这是在理论解释方面突出化学学科特点所不可忽视的。

例如，水的组成的实验^①，从实验观察得到的实验结果推断水是氢和氧两种元素组成的。水、氢气、氧气都是能被实验观察者观察到的宏观物质。教材中，对水发生化学变化产生氢气和氧气的宏观运动过程，从微观粒子内部运动的角度做了解释。



对其他化学变化的宏观过程，都可采取类似的微观解释。在这里实际上是运用原子、分子的概念或原子、分子模型对化学反应过程做动态解释。如果说

^① 人民教育出版社化学室编：初级中学课本化学全一册，人民教育出版社 1987 年版，第 62—64 页。

对物质发生化学变化过程所做的是客观物质内部微观的动态解释，那么，对化学实验结果处理后得到的实验“结果”所做的则是物质内部微观的静态解释。

2. 化学实验结果的解释应注意的问题

(1)对化学实验结果、化学变化过程进行微观解释，有助于揭示宏观物质、物质宏观运动过程的内在本质和规律性，使人们的认识从物质的表面深入到物质的里层。但是并不是对所有情况都有可能、都有必要作出微观的解释。

从化学科学的角度看，目前并不是任何一种化学物质的内部微观结构和任何一个化学变化过程中微观粒子的运动机制都是十分清楚的，有许多问题尚需人们进行不断的探索。因此，不能要求对化学物质和化学变化过程都要做出微观解释。更何况对于接受基础教育、知识基础又不够雄厚的中学生来说，对有些物质及物质的变化过程要求做出微观解释，是不必要的或是不可能的。

(2)防止对化学实验结果做错误的或荒谬的解释。

为了避免解释上出现错误，要注意以下几点：

首先，不要根据不完善的理论或在没有充分证据的情况下，就随意做表面上似乎是合理的解释。如电解水产生的氢气与氧气的体积不正好是 2：1，不能从表面上解释为一端集气管漏气。也不能对产生的意外实验事实一律解释为反应物不纯，也不要把由于操作技术上带来的失误一律解释为实验仪器有问题。这些随意解释是不负责的，是违背实事求是的科学态度的。

其次，要正确地运用推理。尽管推理在对化学实验结果的处理方面起着重要作用，但是解释实验结果时，若没有把前提条件搞清楚而滥用推理，常会导致解释的谬误。这往往表现在，容易把从个别没有代表性的物质(或反应过程)得出的结论，错误地推广到其他物质(或反应过程)，或者把由部分物质得到的结论，盲目地不加分析地推广到整体。

再次，防止思想上的片面性给实验结果的解释造成谬误。化学实验中产生的每一种现象和每一个变化过程都可能由许多因素决定的。因此，对实验结果的解释上不能只注重其中的某一因素，而忽略多种因素对物质的存在、属性、变化所给出的综合性的、整体性的影响。

第八章 以实验为基础的化学教学观

化学是一门以实验为基础的自然科学，以实验为基础是化学教学的最基本特征，这是化学教育界的共识。但在具体的化学教学理论研究和化学教学实践中，在对以实验为基础的认识和反映上，却还存在着一些偏差。

例如，对实验在化学教学中作用的认识就有这样的表达：“实验教学可以激发学生学习化学的兴趣，帮助学生形成化学概念，获得化学知识和实验技能，培养观察和实验能力，还有助于培养实事求是、严肃认真的科学态度和科学的学习方法。”^①“可以”、“帮助”、“有助于”，实质上还是把实验单纯地当做一种直观工具、辅助手段，将其放在从属的位置。

“当前还有许多学校只重讲授而轻视实验，轻视实验技能的培养，不考查学生实验的某些实际情况而采取在黑板上做实验，有所谓‘做实验不如讲实验，讲实验不如背实验、画实验’的严重偏向。”^①一些学校进行的演示实验和学生实验，从反映和体现以实验为基础的角度来看还相当不够。

造成上述情况的原因除了实验经费不足、片面追求升学率等以外，还有一个重要的原因，就是对以实验为基础的理解还没有完全上升到理性的高度。

从世界化学教育的发展来看，化学实验教学正在发生深刻的变化。一是从理论上对实验在化学教学中的作用的认识越来越全面、深刻。实验已不仅仅是一种为学生提供感性认识的直观手段，而且还是激发学生的化学学习兴趣，使学生掌握化学知识、实验技能和科学方法，培养学生解决化学问题能力和科学态度、科学的自然观的一种非常重要而有效的途径和方法。二是由以教师的演示实验为主逐步向学生实验转变。学生在教师的指导下亲自进行实验探究活动，能最大限度地发挥学习主体的积极性、主动性和创造性，从而在教学实践上保证了实验在化学教学中的作用充分而有效的发挥。三是进行化学实验的仪器、设备和条件更加完备，尤其是电化教具的引入，为实验在化学教学中的作用充分和有效的发挥提供了物质基础。^②

化学实验教学的发展趋势，为我们认识和理解以实验为基础提供了三点启示：

(1) 实验是实现中学化学教学目的的重要而有效的途径和方法，贯穿于中学化学教学的全过程；

(2) 学生是实验的能动参加者，只有学生亲身积极能动地参加，才能保证中学化学教学目的的有效实施和落实；

(3) 实验是一种探究性活动，这是有效实施中学化学教学目的的重要且必要的前提条件。

^① 中华人民共和国教育委员会：九年义务教育全日制初级中学化学教学大纲，人民教育出版社 1992 年版，第 15 页。

^① 陈耀亭等编著：中学化学教材教法，北京师范大学出版社 1992 年版，第 27—28 页。

^② 陈耀亭、郑长龙：日本初中化学教学的新改革及借鉴，中学化学教学参考，1990 年第 5 期，第 46 页。

第一节 实验的含义

明确以实验为基础中的实验的含义，即是阐述以实验为基础化学教学观的重要前提，同时也是以实验为基础化学教学观的重要内容之一。

一 实验含义的多维性

在当今社会中，“实验”一词的使用比较广泛，涉及到诸多学科和领域。如科学实验、定性实验、实验方法、实验条件的控制、心理实验、教育实验、教学实验、化学实验、实验法、以实验为基础的引导探索法等等。

在不同的学科和领域，实验的含义是有所不同的。例如，心理实验中的实验，是把它作为研究心理现象和心理规律的一种手段；定性实验中的实验，是把它作为研究物质的规定性的一种方法。

虽然具体的实验的含义并不完全相同，但还是能够从不同维度对它们进行分类的，从而表现出实验含义的多维性。

从探讨以实验为基础的角度出发，我们将实验的含义分成科学实践活动、科学认识活动和教学活动等三个维度。

二 作为科学实践活动的实验——科学实验

科学实验是科学实践的重要表现形式之一，是一种有目的、有步骤地通过控制或模拟自然现象来认识自然事物和规律的一种感性活动。

1. 科学实验是以认识自然界为直接目的

实践是“人的有目的的活动”^①，目的性是各种社会实践共同具有的重要特征。不同的社会实践形式，其目的性是各不相同的。作为科学实践的科学实验的目的则是通过控制或干预自然来获得有关自然事物和现象的各种科学知识，以便更有效地改造世界。

任何一项科学实验都有明确的实验目的，或是寻找某一现象的原因，或是了解某一事物的属性，或是验证某一科学假说是否成立等等。科学工作者就是按照科学实验的目的来进行科学实验的。

2. 科学实验是一种探索性活动

科学实验始于实验问题，实验问题就是人们还没有认识但又应该和需要进行认识的科学知识。实验问题的提出，意味着人们对新知识的追求；实验问题的解决，需要付出艰苦的劳动，进行无数次大胆而又细心的尝试和探索。科学实验的探索性，是人的主观能动性的高度表现。

3. 科学实验是一种现实的感性活动

科学实验的现实性和可感知性，既表现在实验主体、实验客体和实验工具上，也表现在科学实验的过程中。这是科学实验与理性思维相区别的重要标志。

三 作为科学认识活动的实验——实验方法论

实验方法是科学认识感性阶段的一种重要认识方法，它与上面所说的科学实验是有区别的。实验方法是科学认识的一种主观手段、有效工具；科学实验是科学实践的一种重要表现形式，即运用实验方法来认识自然事物和现

^① 列宁：列宁全集·第38卷，人民出版社1959年版，第200页。

象的一种科学实践活动。

实验方法论是关于实验方法在科学认识中产生、形成和发展的理论，它从属于科学认识论，是科学认识论的重要组成部分。

实验方法论的内容非常丰富，它包含实验方法的发展史、实验方法在科学认识中的性质、地位和作用、实验的构成要素及其结构和功能、实验实施的一般程序和所运用的一些具体的科学方法(如测定、实验条件的控制、实验观察、记录、实验结果的处理、概括和解释等)、实验方法与科学实验、科学理论以及与其他科学方法的辩证关系等等。

四 作为教学活动的实验

教学活动中的实验的含义也比较广泛，概括起来大体上有三个维度。

1. 实验教学目的

主要有实验知识、实验操作(实验基本操作及其技能、具体的实验方法)、实验能力和实验态度。

2. 实验类型

包括演示实验和学生实验(包含边讲边实验)；定性实验和定量实验；启发性实验和验证性实验等。

3. 实验教学目的的实施方法

主要有演示法、实验法以及以实验为基础的引导探索法、实验—讨论法等教的方法和做实验等学的方法。

这三个维度的实验含义总括起来就是“做”和“怎么做”。前者主要是一个实践问题，即把实验作为一种重要的教学实践活动；后者主要是一个方法问题，即怎样运用实验的教与学方法来完成实验这种教学实践活动，全面实施实验教学目的。至于“做”和“怎么做”采取何种方式，则取决于实验教学思想、实验教学内容和其他实验教学条件。

五 教学活动中的实验与科学实验和实验方法论

教学活动中的实验与科学实验和实验方法论属于不同的范畴。教学活动中的实验属于教学实践和教学方法范畴，科学实验和实验方法论属于科学实践和科学方法论范畴，因而它们是有差异的。就教学中的实验与科学实验而言，其差异性主要表现在四个方面。

1. 实验主体和实验目的

科学实验的主体是科学工作者，他们具有广泛和扎实的科学知识，具有熟练的实验技能和较强的实验能力，以及良好的实验素养。其实验的目的是为了探索未知的自然事物和现象。

学生实验的主体是身心正处在逐步发展变化着的中学生，他们在知识基础和能力发展水平等各个方面都与科学工作者有着较大的差异。无论是演示实验还是学生实验，其实验目的主要是为了使学生获得和运用知识，并在这个过程中掌握实验技能、形成实验能力和科学的自然观。

2. 实验客体

科学实验的客体是未知的自然事物和现象；而教学中实验的客体虽然相对学生来说是未知的，但对人类而言却是已知的，并且是最基本的。

3. 实验工具

科学实验的工具比较先进和复杂，具有相当高的精密度和准确性；而教

学中的实验工具则相对比较简单、易操作，而且一般多是玻璃仪器，如试管、烧杯等。

4. 实验过程

科学实验的过程比较复杂、费时，要经过成百上千次的失败才能获得成功；而教学中的实验有教师的主导作用，可以避免人类在实验探索中的曲折和反复，一般在较短的时间内就能取得比较显著的实验效果。

教学中的实验与科学实验虽然存在上述差异，但两者在下述方面却有着一致性：

(1) 实验性质。

都具有目的性、探索性、现实性和可感知性。关于教学中实验的探索性后面还要涉及。

(2) 实验结构。

从静态来看，两者都是由实验主体、实验客体和实验工具等要素所构成；从动态来看，都要经过实验的准备、实施和处理等阶段。

(3) 实验在认识中的地位和作用。

从地位来看，两者都是联结实验主体和实验客体的中介，沟通实验客体与科学认识或教学认识的桥梁；从作用来看，它们都是认识的来源、认识发展的动力和检验认识真理性的标准。

根据科学方法的层次理论，实验教学方法属于基础层次，实验方法论属于中间层次，两者的概括程度不同。作为较高层次的实验方法论对低层次的实验教学方法具有指导作用，实验教学方法应积极主动地接受实验方法论的指导。这一结论对我们重新审视实验教学方法很重要。

以前的实验教学观在对待教学活动中的实验与科学实验和实验方法论的关系上，多是采取对立的态度，只看到它们的差别，却忽视了两者的一致性和统一性。这种教学观至今在我们的教育理论研究和教学实践中仍有诸多表现。

六 以实验为基础中的实验的含义

探讨实验含义的多维性，主要是为了弄清以实验为基础中的实验的含义，这对于深刻理解以实验为基础的化学教学观具有重要意义。

1. 关于以实验为基础中的实验含义的两种看法

在对以实验为基础中的实验含义的理解上，目前大致有两种观点。

第一种观点认为，所谓以实验为基础，就是化学知识的认识、理解及巩固，学生能力的培养等，都要力争经过实验去完成。^①

这种观点是把实验单纯作为一种教学实践活动来理解的。以这种思想指导教学，可能在知识、技能的教学会取得一些效果，但由于没有同科学实验和实验方法论有机结合，因而难以有效地落实培养学生科学的自然观和方法论等方面的教学目的。

第二种观点认为，以实验为基础可以从以下四个方面来理解^①：

(1) 让学生亲自做实验和观察各种现象，亲身体验通过实验进行的探索规律的活动；

^① 李玉安：中学化学实验教学改革初探——谈以实验为基础，化学教育，1989年第4期，第18页。

^① 刘知新主编：化学教学论，高等教育出版社1990年版，第43页。

(2)结合实验事实和实验过程,让学生认识化学概念和理论是怎样形成的;

(3)结合典型的化学史实,让学生了解化学科学的发展进程;

(4)让学生通过实验并运用已学得的知识去解决问题,使他们在科学态度、科学方法以及分析和解决问题的能力方面得到培养、训练。

这种观点在把实验作为一种教学实践活动的同时,注意与科学实验有机结合,强调实验的探索性。此外,还注意强调实验事实、化学史实对学生认识理论知识的基础作用。

2. 以实验为基础中的实验的四重含义

概括前面的探讨,我们认为以实验为基础中的实验大致有四重含义。

(1)实验探究活动。

这重含义既肯定了实验是一种教学实践活动,又体现了教学中的实验与科学实验的一致性,是一种探索性或探究性活动。同时,这也是从实践是认识的来源、检验认识真理性的标准,即实践是认识的基础来立论的。

(2)实验方法论。

从教学中的实验与科学实验的一致性来看,实验探究活动的展开即实验探究过程,离不开实验这种科学方法(包括测定、实验条件的控制、实验观察、记录、实验结果的处理、概括和解释等),要受实验方法论的指导。因此,在教学中设计和实施实验探究过程时,还要以实验方法论为基础和依据。关于“实验”的这重含义,在目前的教学理论研究和教学实践中,还没有引起足够的重视,是个需要进一步深入研究的课题。

(3)实验事实。

这里的实验事实,在教学中实际上有两种类型:一种是学生直接从实验中获得,可称为直接实验事实;另一种是限于中学化学教学的实际条件,学生无法从实验中获得,而只能从书本上获得的事实,可称为间接实验事实。无论是哪一种实验事实,都是运用实验方法论进行实验探究的结果,只不过是直接或间接罢了。因此,忽视间接实验事实在教学认识中的作用的做法是需要纠正的。当然,这并不意味着削弱或否定在教学中要尽可能通过实验来获得实验事实的主张。

实验的这重含义,是从认识的角度,即感性认识是理性认识的基础来立论的。

(4)实验史实。

科学实验史实际上就是一部运用实验方法论进行实验探索,以获取实验事实、建立科学理论的发展史。在教学中,结合典型的化学实验史实进行讲授,也是学生获得化学理论知识的一条不可缺少的重要途径。

第二节 学生的实验能动性

学生在实验中具有极大的主观能动性，这是以实验为基础的化学教学观的又一重要思想。深刻理解和体现这一思想，对充分发挥学生的实验能动性和有效地实施化学教学目的具有重要意义。

一 学生的实验能动性是其主体性的具体体现

1. 学生是实验教学的主体

关于教学中的主体问题，在迄今为止的教学理论研究中，仍颇为引人注目。尽管争论犹存，分歧较大，但在学生是学习的主体或教学认识的主体这一点上，却基本上取得了较为一致的看法。化学教学从本质上讲，也是一种认识，是一种在教师组织引导下的特殊认识过程。学生是化学教学认识的主体，这应当是没有什么疑义的。但学生在化学实验教学中处于什么地位、具有哪些作用，这恐怕是需要进一步认识和明确的。

从教学认识来看，实验教学是化学教学认识论的重要的和不可缺少的组成部分，它在教学认识中发挥着独特的功能和作用。化学教学认识论中的诸多课题，如化学教学认识的特殊性、条件和动力、过程和方法，实验与理论的关系，以及教学认识的检验等，都与实验教学理论紧密相关。正是从实验教学与化学教学认识的关系上，我们认为作为教学认识主体的学生，当然也必然是实验教学的主体。

学生是实验教学的主体，与学生是学生实验的主体，二者既有区别又相联系。其区别在于主体发挥作用的范围不同，前者是就整个实验教学而言的，后者只是就学生实验——实验教学的一种重要教学实践形式而言的。因此，以学生是学生实验的主体来代替学生是实验教学的主体，必然会降低学生在实验教学中的地位，从而给教学实践带来偏差。但两者又是相联系的，学生是学生实验的主体体现了学生在实验教学中的主体地位；学生在实验教学中的主体地位的确立，有利于学生实验主体作用的充分发挥。

学生是实验教学的主体与教师是演示实验的主体并不矛盾。这是因为教师进行演示实验的目的，并不是为了演示而演示，而是为了帮助学生这个实验教学的主体进行教学认识。教师主观能动性的充分发挥，也是为了逐步确立学生的主体地位，更好地发挥学生的能动性。

明确学生是实验教学的主体具有重要的理论意义和实践意义。它不仅以深化对以实验为基础的化学教学观的认识，而且还有助于纠正教学实践中那种讲实验、背实验，把学生看成是消极被动地接受知识的“仓库”的错误做法和观点。

2. 实验能动性是主体性的具体体现

所谓主体，是指具有一定的认识和实践能力的社会中的个体。它具有物质性、社会性和主体性等属性，其中，主体性是其根本属性。所谓主体性，是指主体在认识和实践中所表现出来的能动性、自主性和创造性等。其中，能动性既是主体性的重要内容和具体体现，又是主体性的最基本特征。

学生作为实验教学的主体，其主体性的最基本的表现形式就是实验能动性，它是指学生在实验教学中所表现出来的能动作用。为了更好地发挥这种能动作用，有必要对学生的实验能动性做进一步的探讨。

二 学生的实验能动性的表现

学生的实验能动性在实验过程的各个环节上都有具体表现。

1. 确定实验问题中的实验能动性

在确定化学问题中，学生的实验能动性主要表现在两个方面。一是学生的知识、技能基础和能力发展水平对实验问题的深广度具有制约作用。如果教师提出的实验问题过深、过繁，超出了学生的知识、技能和能力水平，那么，学生不仅不能解决实验问题，无从发挥实验能动性，而且还会降低实验兴趣，影响实验教学效果。二是学生在实验教学中积极思考，独立地提出实验问题。例如，有的学生在学习了盐跟金属反应的规律性之后，提出“在金属活动性顺序表中，是否所有排在前面的金属都能将排在后面的金属从其盐溶液中置换出来，生成另一种金属和另一种盐？”学生独立提出实验问题，是其实验能动性的重要表现，教师在教学中应给予积极支持和鼓励。

2. 实验设计中的实验能动性

学生独立进行实验设计，是其实验能动性的突出表现。在实验设计中，学生不仅要灵活地、创造性地综合运用所学的知识和技能，而且还要符合实验设计的科学性、可行性、安全性和简约性等原则，以及实验方案的优选标准。对于同一实验问题，每一学生所设计的实验方案也不尽相同，新颖、独特的实验方案，体现了学生思维的创造性。因此，实验方案的优与劣，也是衡量学生实验能动性发挥程度的重要尺度。

3. 实验操作中的实验能动性

实验操作是发挥实验能动性的重要环节。认真理解实验操作的每一个步骤和方法，而不是照方抓药，严格按照实验操作规程，对异常、不明显或结论错误的实验现象及时分析原因，找出实验操作中的不当之处等，都是学生的实验能动性的具体表现。有的学生在实验操作中，注意实验技巧，合理巧妙地组织和改进实验操作顺序和方法，使自己的实验能动性得到充分的发挥。

4. 实验观察中的实验能动性

观察离不开人的感官，人的感官对客观对象的感觉具有选择性。在实验教学中，学生感觉的这种特性，对教师的演示实验具有制约作用，要求教师所做的演示实验对学生感官的刺激应达到一定的程度，使所有学生都能看得见、听得见、嗅得着。五彩缤纷的化学实验现象，对学生有较强的吸引力，能引起学生浓厚的实验兴趣，使他们乐于进行实验观察。在实验观察过程中，教师如能提出一些富有启发性的实验问题，引导学生积极思考，更能发挥学生的实验能动性。

5. 处理实验结果中的实验能动性

对于所获得的实验现象，一定要实事求是，不能人为地修改实验现象和数据，这是正确发挥实验能动性的重要前提。在化学用语化、表格化、线图化的过程中，准确书写化学方程式，设计简明的表格，绘制规范、正确、美观的线图和实验装置图；认真分析实验现象产生的原因，并对其进行正确的理论解释；写出完整、真实的实验报告等，都是学生在处理实验结果中的实验能动性的具体表现。

三 教师主导作用的发挥程度对实验能动性的影响

学生在实验教学中虽然具有实验能动性，但他还不是一个完全独立的主

体。学生主体地位的逐步确立、实验能动性的充分发挥，还要受到教师主导作用发挥程度的影响和制约。

教师在实验教学中居于主导地位、起主导作用，这是没有什么疑义的。但这种主导决不是教师的一言堂、注入式、包办代替，而是以逐步确立学生的主体地位，充分发挥学生的实验能动性为其主导的核心内容。这既是教师主导所企求的一个重要目标，也是衡量教师主导作用发挥程度的重要标准。为此，教师在实验教学中应注意从以下几个方面来发挥主导作用。

(1) 让学生明确自己是实验教学的主体而不是消极、被动的接受者或参加者。学生只有认识到这一点，才能在实验教学中认真实验、主动观察、大胆提问、积极思维，发挥积极性、主动性和创造性。

(2) 激发和保持学生的实验兴趣。化学实验现象本身具有生动、新奇、鲜明的特点，对学生具有极大的吸引力，可以使学生产生浓厚的实验兴趣。但这种兴趣还只是直接兴趣，具有不稳定性。教师在实验教学中还应通过对实验现象的解释，引导学生积极思考，探究实验现象产生的原因，来培养学生更高一级的实验兴趣。

(3) 引导学生积极主动地进行实验观察和实验操作，从不同角度设计多种实验方案；善于对所获得的实验现象和事实通过理论思考，抽象概括出物质及其变化的规律性，形成正确的化学概念。

(4) 指导学生初步认识和运用实验方法论的基本思想和方法，培养学生解决化学实验问题的能力和实事求是、一丝不苟、细致入微的实验态度。

5. 积极采用演示启发、问题启发、讨论启发等多种启发方式，来发挥学生的实验能动性。

教师在实验教学中主导作用的发挥程度，对学生的实验能动性的发挥有较大的影响。主导作用发挥得越充分、越具体，越有利于学生主体地位的逐步确立和实验能动性的发挥；反之，则会削弱学生的主体地位，扼杀学生的实验能动性。无数的教学实践都证明了这一点。

四 影响实验能动性发挥的内在因素

在实验教学中，教师主导作用的发挥程度对学生的实验能动性有较大影响，但这毕竟只是外因。从根本上讲，学生自身的多方面因素，才是决定实验能动性发挥的内因。这些因素概括起来，主要有学生的实验兴趣、实验能力和实验态度等三个方面。

1. 实验兴趣

实验能引起学生浓厚的认识兴趣或强烈的求知欲。认识兴趣是学习动机中最现实、最活跃的成分。实验兴趣作为认识兴趣当中的重要一种，是学生发挥实验能动性的重要前提和动力。实验兴趣按水平高低可分为以下四种。

(1) 感觉兴趣。

它是指学生通过感知实验现象和观察各种实验仪器、装置而产生的一种实验兴趣。这种兴趣使得很多学生对化学实验有较高的积极性，尤其是在初三刚开始学习化学时更是如此。感觉兴趣属于直接兴趣，在实验教学中是不稳定、不持久的。因此，单凭感觉兴趣，还不能成为学生发挥实验能动性的稳定动力。

(2) 操作兴趣。

它是指学生通过亲自动手操作来获得化学实验现象所产生的一种实验兴

趣。这种兴趣比感觉兴趣的水平高了一级，不再满足于观察实验现象，更希望亲自动手操作，即使是简单的“试管实验”，也会表现出较高的积极性、较大的兴趣。操作兴趣还属于直接兴趣，只要能按实验操作步骤，把给定的化学变化“做”出来，这种兴趣就得到了满足。

(3)探究兴趣。

它是指学生通过探究实验现象产生的原因和规律性而形成的一种实验兴趣。这种兴趣较感觉兴趣、操作兴趣的水平更高，属于间接兴趣，具有稳定、持久的特点，是推动学生发挥实验能动性的最基本的和重要的动力。

(4)创造兴趣。

它是指学生在运用所学的知识、技能和方法进行一些创造性的实验活动中所形成的一种实验兴趣。这种兴趣是实验兴趣的最高水平，是推动和促进学生充分发挥实验能动性的最强劲的动力。

上述四种实验兴趣的水平是逐级升高的，低水平是高水平形成的基础，高水平是低水平的发展。它们在推动和促进实验能动性的发挥上，作用的程度也是由低到高的。因此，教师在实验教学中，一方面要注意鼓励和保护学生的感觉兴趣和操作兴趣；另一方面又不要停留于此，积极培养和提高学生的探究兴趣和创造兴趣。

2. 实验能力

学生的实验能力是影响实验能动性发挥的最直接、最重要的内在因素。实验能力逐步形成和发展的过程，也是学生逐步确立主体地位、充分发挥实验能动性的过程。因此，学生实验能力的高低，是衡量其实验能动性发挥程度的重要标准之一。这是实验能力与实验能动性辩证关系的一个方面。另一方面，学生只有充分发挥实验能动性，才能形成较强的实验能力。教学实践表明，在实验教学中消极被动地进行学习的学生，往往死记硬背、照方抓药，不能独立解决各种实验问题，因而实验能力较弱。

关于实验能力，已有不少论文探讨过。我们认为，实验能力是指运用实验(包括实验探究活动、实验方法论、实验事实和实验史实等)解决化学实验问题的能力，它是解决化学问题能力在化学实验教学中的具体化。从智力因素来看，实验能力的形成和发展要受到两个方面因素或条件的影响和制约：一是知识；二是技能。

(1)解决化学实验问题的知识基础。

解决实验问题，离不开一定的科学知识，这些知识概括起来主要有以下两类。

①化学基础知识。主要包括化学实验操作知识、化学实验事实、化学基本概念和化学基础理论。

②实验方法论初步知识。主要包括科学实验的一般过程及其所运用的科学方法。

这两类知识是学生解决化学实验问题活动中密切联系着的两个方面，对于解决化学实验问题缺一不可。

(2)解决化学实验问题的技能基础。

依据知识种类的不同，可将解决化学实验问题的技能分为以下两类。

①化学实验操作技能。它是解决化学实验问题的动作技能。

②运用实验方法论技能。它是解决化学实验问题的心智技能或智力技能。这种技能在国外也被称为过程技能(process skills)或探究技能(skills)

of inquiry)。

(3)解决化学实验问题能力的结构模型。

综合上述观点，我们提出如下解决化学实验问题能力的结构模型。

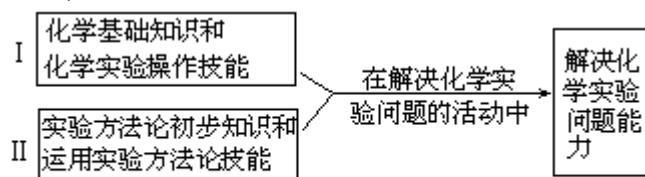


图 8-1 解决化学实验问题能力的结构模型

从这个模型可以看出：①实验能力结构是由两大类、四要素构成的；② I 类要素是解决化学实验问题的物质基础，II 类要素提供了解决化学实验问题的途径和方法；③ I 类和 II 类要素是解决化学实验问题活动中密切联系着的两个方面，缺一不可，两者统一于解决化学实验问题的活动之中。

根据上述模型，结合目前的实验教学实际，应把实验能力培养的重点放在使学生掌握实验方法论的初步知识，形成运用实验方法论技能方面，通过实验探究活动，来发挥学生的实验能动性，使实验能动性的发挥与实验能力的培养和发展相得益彰。

3. 实验态度

所谓实验态度是指学生对实验的一种内在反应倾向，它是通过学生的外部行为或外显行为表现出来的。依据学生在实验活动中的行为表现，可将实验态度划分成以下三种类型或水平。

(1)自觉型实验态度。

具有这种态度的学生，实验目的明确、端正，态度积极、主动，有良好的实验习惯和较强的实验能力。

(2)兴趣型实验态度。

具有这种态度的学生，仅凭兴趣进行实验。兴趣高涨时，积极主动，并能按要求进行实验；缺乏兴趣时，马马虎虎，敷衍了事。

(3)被动型实验态度。

具有这种态度的学生，对实验尤其是比较复杂具有一定难度、需要克服困难和认真思考的实验，往往不感兴趣，应付、对付，采取消极态度。

不同水平的实验态度，对实验能动性具有不同的影响。具有自觉型实验态度的学生，往往有较强的实验能动性；具有兴趣型实验态度的学生，其实验能动性的发挥，通常取决于实验兴趣的高低；具有被动型实验态度的学生，一般来说实验兴趣乏味，实验能力较差，因而实验能动性也较弱。

学生的实验态度水平并不是一成不变的。从发挥学生的实验能动性的角度出发，教师在实验教学中应积极支持和鼓励自觉型实验态度，提高和转化兴趣型、被动型实验态度，以便更好地发挥每个学生的实验能动性。

第三节 实验探究教学

实验是一种探究性活动,积极开展以实验为基础的教学活动,实施实验探究教学,具有重要意义。它不仅能够为学生充分发挥实验能动性提供重要途径,而且还是有效实施中学化学教学目的的重要且必要的前提条件。这是以实验为基础的化学教学观的核心思想。因此,有必要对实验探究教学的有关问题做些探讨。

一 实验探究教学思想的形成和发展

实验探究教学思想的形成和发展,经历了二三百年的历史过程。

早在18世纪,法国的思想家、教育家卢梭(J. J. Rousseau, 1712—1778)就提出了探究教学的思想。他主张利用实物教学的直观方法,让儿童从生活中、从各种活动中,通过感官来获得直接经验;主动地探索周围事物,用探究的方法创造性地进行学习;反对让儿童被动地接受说教,或只从书本上学习。

德国教育家第斯多惠(F. A. W. Diesterweg, 1790—1866)在继承前人教育思想的基础上,于1835年出版了《德国教师的培养指南》一书,提出了用探究式教学来促进儿童积极思考的一类启发式教学方法,并指出:不称职的教师要求学生死学真理,而优秀的教师则教给学生发现真理的基本途径和方法。他还主张,“一定要从简单的具体事实或现象出发,只有在观察事实或现象的基础上所形成的思维过程才是最重要的”。

卢梭和第斯多惠等人所提出的直观教学、主动探究的观点,是实验探究教学思想的萌芽,为后来的实验探究教学思想的形成和发展奠定了基础。

随着理科课程进入学校和科学实验方法论的形成与发展,实验成为理科课程中的重要组成部分,开始进入课堂。1898年,英国化学家、科学教育运动的积极倡导者和促进者阿姆斯特朗(H. E. Armstrong, 1848—1937)发表了著名论文“*Heuristic Method of Teaching or the Art of Making Children Discover Things for Themselves*”,认为只有通过观察、实验来探究自然事物和现象的运动规律,才能从本质上对科学有个理解,“实验室教学法”才是理科教学的基本方法,“实物教学或演示实验不管有什么样的价值和效果,都无法与发现式的实验教学相比拟”。

阿姆斯特朗正是抓住了“发现式实验”这一探究教学的关键环节,将实验与主动探究有机结合起来,从而形成了实验探究教学的基本思想,在理科教育发展史上写下了光辉的一页。

阿姆斯特朗的实验探究教学的基本思想,有着广泛的国际影响。日本于1909年曾派棚桥源太郎专程赴欧进行考察,并在这种思想的影响下,逐步掀起了以实验为中心的理科教学改革的高潮。1931年,日本初中在新开设的《普通理科》的教学目的中,就十分强调学生实验的重要性和“学生的主体性”。

50年代末60年代初,以美国为先导,在世界范围内开展了一场旨在提高理科教学质量的理科教育现代化运动。在这次教育改革中,实验探究教学思想有了进一步的发展。美国著名科学家、芝加哥大学教授施瓦布(J. J. Schwab, 1909—)对此做出了重要的贡献。1961年,施瓦布在哈佛大学举行的纪念会上,作了题为“作为探究的理科教学”(Teaching of Science as Enquiry)的报告,主张让学生通过自主地参与知识获得的过程,掌握科学研

研究所必须具备的科学方法，探究性地获得科学概念，并逐步形成探究能力和科学态度。这种思想，不仅继续强调自主性、探究性和观察、实验等科学方法，而且更强调科学概念的掌握、探究能力的形成和科学态度的培养在运用观察、实验等科学方法而展开的探究过程中的统一。

对于探究过程，施瓦布提出了五个阶段：(1)明确问题；(2)收集适合问题解决的资料；(3)提出假说；(4)验证假说；(5)导出结论。

施瓦布等人的实验探究教学思想，过分强调学生像“小科学家”那样进行探究、发现，忽视教师在探究过程中的作用。为此，日本有的学者提出了引导发现、引导探究的观点，强调教师在学生探究过程中的积极作用，而这正是今天实验探究教学发展的主流。

自 80 年代以来，中国也积极自觉地开展了一些实验探究教学活动，如以实验为基础的引导探索法、实验—观察—讨论教学法等，都体现了实验探究教学的基本思想。这些教学改革的开展，不仅在加强双基、培养能力方面起到了积极作用，而且也有力地推动了实验探究教学理论的深化和发展。

二 实验探究教学的理论依据

1. 现代科学的含义

现代科学的观点认为：“科学是认识的一种形态……是指人们在漫长的人类社会生活活动中所获得的和积累起来的、现在还在继续积累的认识成果——知识的总体和持续不断的认识活动本身。”^①

从上述定义不难看出，科学包含两层含义：一是科学知识；二是认识科学知识的活动，即认识科学知识的过程和方法。科学是知识、过程和方法的统一体，其中，科学知识是科学过程和方法的产物。

现代科学的含义对我们具有重要启示。理科教学“不仅要提供已经从自然界获得的系统知识的基础，而且还要有效地传授过去和将来用来探索及检验这种知识的方法。如果学生不了解知识是怎样获得的，不能够以某种方式亲身参加科学发现的过程，就绝对无法使他充分了解现有科学知识的全貌。现在的科学教学正是在后一方面失败得最为明显。”^②所以，现代化学教学，不仅要加强化学基础知识的教学，更要重视对学生进行探究科学知识的过程和方法的训练。

2. 科学知识的再生产理论

在生物学上有一条重要的规律，叫重演律，说的是高等动物的胚胎，在生长发育过程中，在解剖生理学的特点上，重演了它的物种的进化发展过程。这一思想不仅对生物学的发展有重大影响，而且在其他领域也有着深刻的启发意义。

科学知识的再生产理论，就是重演律与科学教学相结合的产物。这一理论认为：科学研究过程是科学知识的生产过程；科学教学过程是科学知识的再生产过程；科学知识再生产过程应当以必然的形式重演科学知识的生产过程；重演不是重复，它“是根据教育的需要，经过精心设计和组织的，它对实际的科学活动过程进行了加工改造，使之成为典型化、简约化了的活动过

^① 马清杨等主编：《科学技术论原理》，山东科学技术出版社 1991 年版，第 16 页。

^② [英] J.D.贝尔纳著，陈伟芳译：《科学的社会功能》，商务印书馆 1982 年版，第 340 页。

程。”^③

科学研究过程是以科学实验为基础的用科学方法而展开的探究过程。这一过程可用下图表示：

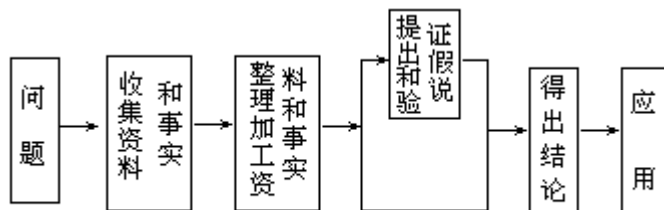


图 8-2 以实验为基础的科学探究过程

过程中所运用的科学方法主要有：

- (1)观察方法(包括测量和记录)；
- (2)实验方法(包括测定、实验条件的控制和记录)；
- (3)资料 and 事实的处理方法(包括线图化、表格化等)；
- (4)科学抽象方法(包括表征性抽象和原理性抽象)；
- (5)模型方法；
- (6)假说方法；

学生所认识的科学知识，虽然相对人类而言是已知的，但对学生来说却是未知的。因此，学生要想获得科学知识，也必须以实验为基础，按照科学研究的一般过程，运用科学方法来进行探究。

3. 教为主导和学为主体理论

学生是实验探究教学的主体，实验探究教学只有在学生积极主动地参与下，充分发挥主观能动性，动手、动脑、动口，才能取得较好的教学效果。

学生的实验探究活动，虽然也要以实验为基础，按照科学研究的一般过程，运用科学方法来进行，但与科学研究活动是有区别的，在探究的内容、方式方法和探究的程度等方面，都要受到学生的知识基础、能力发展水平和身心发展规律的制约。

学生主体的这种不成熟性，决定了他们还不能成为完全独立的探究主体，探究活动还需要在教学的情境下，在教师的组织引导下，有目的、有计划地来进行。教师的作用是“引导”，是帮助学生顺利进行实验探究活动，而不是注入式、包办代替。教师的“导”正是为了“不导”，使学生逐步成为真正独立的实验探究活动的主体。

三 实验探究教学的指导思想

1. 以实验为基础

以实验为基础是实验探究教学的一个重要指导思想，也是以实验为基础的化学教学观在教学中的具体体现。

以实验为基础，就是把实验作为提出问题、探索问题的重要途径和手段。要求课堂教学尽可能用实验来展开，激发和培养实验兴趣，充分发挥学生的实验能动性，使学生亲自参与实验，引导学生根据实验事实或实验史实，运用实验方法论来探究物质的本质及其变化规律。

2. 强调学生的主体性

^③ 涂艳国：简论中小学科学教育过程的特点，教育研究，1988 年第 2 期，第 70 页。

学生是实验探究教学的主体,要想有效地实施实验探究教学,就必须增强学生的主体意识,充分发挥他们的主观能动性。为此,教师首先要注意激发和培养学生的学习兴趣,这是充分发挥学生主观能动性的重要前提和基础;其次,要给学生提供更多的机会,如变演示实验为边讲边实验,增加探索性实验等,让他们亲自动手进行探究;再次,要通过问题启发、讨论启发等方式,引导学生积极思维,大胆想象,使学生始终处于探索之中。

3. 强调教学的探究性

科学教学的探究性是作为探究的科学(Science as Enquiry)和作为探究的教学(Teaching as Enquiry)相结合的必然产物。科学教学过程也应当看做是一种探究过程,就是说,“儿童自主地掌握他所探究的事物的过程,就是教学过程。正是在探究的过程中蕴含着教育的本质。”^①

强调教学的探究性,是针对传统的注入式教学而言的。传统的科学教学,大量地灌输权威性的事实,教科书只是记载一系列的科学结论,学生的学习就是了解这些科学的事实与结论。至于这些科学事实与结论是怎样产生的,往往被忽视。传统的科学教学“几乎不考虑如何使儿童掌握探究的态度和探究的方法”^①。

4. 强调知识技能在探究过程中的统一

掌握科学基础知识和技能,固然是科学教学的重要目标,但仅局限于此,是远远不能适应科学技术飞速发展的要求的。科学教学要肩负起培养未来人才的使命,就不仅要使学生掌握科学基础知识和技能,而且还要培养和发展他们的能力,使他们形成科学态度。

知识技能的掌握、能力的形成和态度的培养这三项科学教学的目标,并不是对立的,而是统一的,三者运用科学方法而展开的科学探究过程中得到统一。而使学生掌握科学方法和科学探究过程是实现三者统一的关键。这一思想同科学教学四目标:态度(attitude)、过程(processes)、知识(knowledge)、技能(skills)是完全一致的。

中国化学教学目前对于运用自然科学方法论来使学生掌握科学方法和科学探究过程的重要意义的认识还不够自觉,也就是说,还没有把这一点提到理性认识的高度,这是需要我们高度重视并认真解决的一个重要问题。^②

四 实验探究教学模式

根据科学研究的一般过程和具体教学内容的特点,我们认为实验探究教学模式主要有以下二类。

1. 模式 I

实验探究教学模式 I 可概括为:问题—实验事实—科学抽象—结论—应用。

模式中的实验事实,既包括学生直接从实验中获得的直接实验事实,又包括限于中学化学教学的实际条件,学生无法从实验中获得而只能从书本上获得的间接实验事实。

模式中的科学抽象既包括表征性抽象,又包括原理性抽象。表征性抽象

^① 钟启泉:探究学习与理科教学,教育的研究,1986年第7期,第49页。

^① 钟启泉:探究学习与理科教学,教育的研究,1986年第7期,第49页。

^② 刘知新主编:化学教学论,高等教育出版社1990年版,第47页。

是在一定的实验事实的基础上，对物质及其变化的特征和规律性所进行的一种科学抽象。它与通过观察和实验所获得的实验事实不同，实验事实是对具体的物质及其变化的个性的认识，属于感性认识；表征性抽象撇开了具体的物质及其变化的个性，而抽取出具性，属于理性认识。例如，盐酸能使紫色石蕊试纸变红、硫酸能使紫色石蕊试纸变红、硝酸能使紫色石蕊试纸变红等，是实验事实；而酸能使紫色石蕊试纸变红则是表征性抽象的结果。因为它撇开了盐酸、硫酸、硝酸等具体的酸，而抽取出具性。

原理性抽象是根据一定的实验事实，在表征性抽象的基础上，对物质的本质及其变化规律所进行的一种深层抽象。它同表征性抽象不同，是在原子结构、元素周期律和分子结构的水平上，对物质的本质及其变化规律的认识。例如，盐酸能跟金属反应、盐酸能跟金属氧化物反应、盐酸能跟碱反应等，是表征性抽象的结果；从这些表征性抽象的结果抽取出具性，是盐酸的一个方面的本质属性，属于原理性抽象。

模式 I 是实验探究教学的基本模式，很多元素化合物知识、化学概念、定律、原理等，都可以通过此模式来获得。

示例 1 盐跟某些金属的反应

(1)提出问题。盐能否跟金属发生化学反应？

(2)观察、实验。

①实验条件控制 I。在两支盛有氯化铜溶液的试管里，分别浸入一段洁净的铁丝和铂丝，过一会儿，取出，观察有什么变化。

②实验条件控制 II。将两根铜丝分别浸入盛有硝酸汞溶液和硫酸锌溶液的试管里，过一会儿，取出，观察有什么变化。

(3)实验事实及其处理。

续表

标 号	反应物		实验事实	化学方程式
	金 属	盐		
②	Pt	CuCl_2	没变化	—
③	Cu	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	铜丝表面覆盖一层银白色物质	$\text{Cu} + \text{Hg}(\text{NO}_3)_2 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Hg}$
④	Cu	ZnSO_4	没变化	—

(4)表征性抽象。

通过比较发现，这四组实验可以分成两类：一类发生了化学反应，即①、③组；另一类没有发生化学反应，即②、④组。

从①、③组可以看出，铁比铜活泼，铜比汞活泼，也就是说，活泼性较强的金属能把活泼性较弱的金属从其盐溶液中置换出来。

从②、④组可以看出，铂没有铜活泼，铜没有锌活泼，也就是说，活泼性较弱的金属不能把活泼性较强的金属从其盐溶液中置换出来。

(5)结论。在金属活动性顺序里，只有排在前面的金属，才能把排在后面的金属从它们的盐溶液中置换出来。

(6)应用。能否用铁筒装硫酸铜溶液？

示例 2 气体摩尔体积的概念

(1)提出问题。1mol 气态物质的体积是否相同？

(2)实验事实及其处理。

(3)表征性抽象。

1mol H₂、O₂、CO₂ 三种气体在标准状况下的体积几乎是相等的，都约是 22.4L(归纳)。

许多实验还发现和证实，1mol 其他气体在标准状况下的体积也都约是 22.4L(概括)。

(4)原理性抽象。

对于 1mol 气体来说，影响其体积大小的因素主要是分子间的平均距离。由于在标准状况下不同气体分子间的平均距离都几乎是相等的，约是 $4 \times 10^{-9}\text{m}$ ，所以，任何 1 摩气体的体积都约是 22.4L。

(5)结论。

在标准状况下，1mol 的任何气体所占的体积都约是 22.4L。这个体积叫做气体摩尔体积。

(6)应用(略)。

2. 模式 II

实验探究教学模式 II 可概括为：问题—实验事实—假说及其验证—结论—应用。

模式中的假说是指根据已知的实验事实和科学理论，对未知的自然现象及其规律所做的一种推理和解释。假说的形成一般要经过提出假说和验证假说两个阶段。假说的提出通常包括两个环节：一是根据为数不多的实验事实和科学理论提出假设；二是在假设的基础上进行推断和判断。假说的验证包括实验检验和理论检验，其中实验检验是最直接、最可靠、最有力的方式。

在教学中，学生对假说方法的运用，是在教师的组织引导下进行的。限于学生的知识水平和能力发展水平，中学化学教学中的假说一般是比较浅显的。这就为在有限的教学时间里，运用假说方法进行实验探究教学提供了有利条件。只要教师精心设计和组织化学教学内容和教学过程，激发起学生的探究兴趣，就可以最大限度地发挥学生的积极性、主动性和创造性，培养和发展他们的解决化学问题的能力和创造能力。

示例 3 乙醇分子结构式的确定

(1)提出问题。乙醇分子具有怎样的结构？

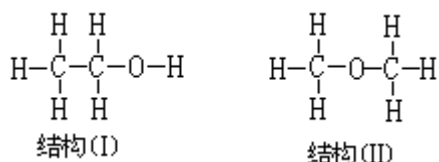
(2)收集实验事实和理论。

①分子式：C₂H₆O。

②化合价：C、H、O 的化合价分别为+4、+1、-2 价。

(3)提出假设。

根据乙醇的分子式和碳、氢、氧的化合价，可以写出乙醇分子的两种可能结构式：



(4)对假设进行推理和判断。

如果是结构(I),那么,1mol 乙醇能产生 2.5mol 或 0.5mol 氢气。如果是结构(II),那么,1mol 乙醇能产生 3mol 氢气。

(5)实验检验。

测定和记录一定量的乙醇与金属钠反应所生成的氢气的体积。经计算,1mol 乙醇大约能产生 0.5mol 的氢气。

(6)得出结论。

乙醇分子的结构式是结构(I),而不是结构(II)。

(7)应用(略)。

3. 实验探究教学模式的灵活运用

实验探究教学模式 I 和 II 的划分并不是绝对的。同一教学内容既可以按照模式 I ,也可以按照模式 II 来设计。例如质量守恒定律。

示例 4 质量守恒定律的内容

(1)提出问题。参加反应各物质质量总和跟反应生成的各物质质量总和是否相等?

(2)观察实验。

①白磷燃烧前后质量的测量。

②氢氧化钠溶液跟硫酸铜溶液反应前后质量的测定。

(3)实验事实及其处理。

实验标号	是否发生了化学反应	天平两边是否平衡
①		
②		

(4)表征性抽象。

从实验事实归纳概括出反应前后物质的质量总和没有变化。

(5)原理性抽象。

用反应前后原子的种类、数目、质量没有增减,来解释表征性抽象的结果。

(6)结论。质量守恒定律的内容。

示例 5

(1)提出问题。同示例 4。

(2)提出假说。反应前后物质的质量总和可能存在如下情况。

①如果 $W_{\text{反应前}} = W_{\text{反应后}}$,那么天平两边平衡;

②如果 $W_{\text{反应前}} > W_{\text{反应后}}$,那么天平右倾;

③如果 $W_{\text{反应前}} < W_{\text{反应后}}$ ，那么天平左倾。

(3)实验验证。

①白磷燃烧前后质量的测定。

②氢氧化钠溶液跟硫酸铜溶液反应前后质量的测定。

(4)结论(略)。实验探究教学模式Ⅰ和Ⅱ，在培养学生能力方面的作用程度是有区别的。以假说及其验证为主要内容的模式Ⅱ，由于要求学生要大胆地进行想象和推测，发表自己的见解，因而更有利于培养学生的创造能力。

中学生在初高中阶段的思维特点不尽相同，在高中阶段更善于进行推理和判断，主动思考问题，发表独立见解。因此，模式Ⅱ的开展应以高中为主，初中阶段则主要应按照模式Ⅰ来进行设计。

