

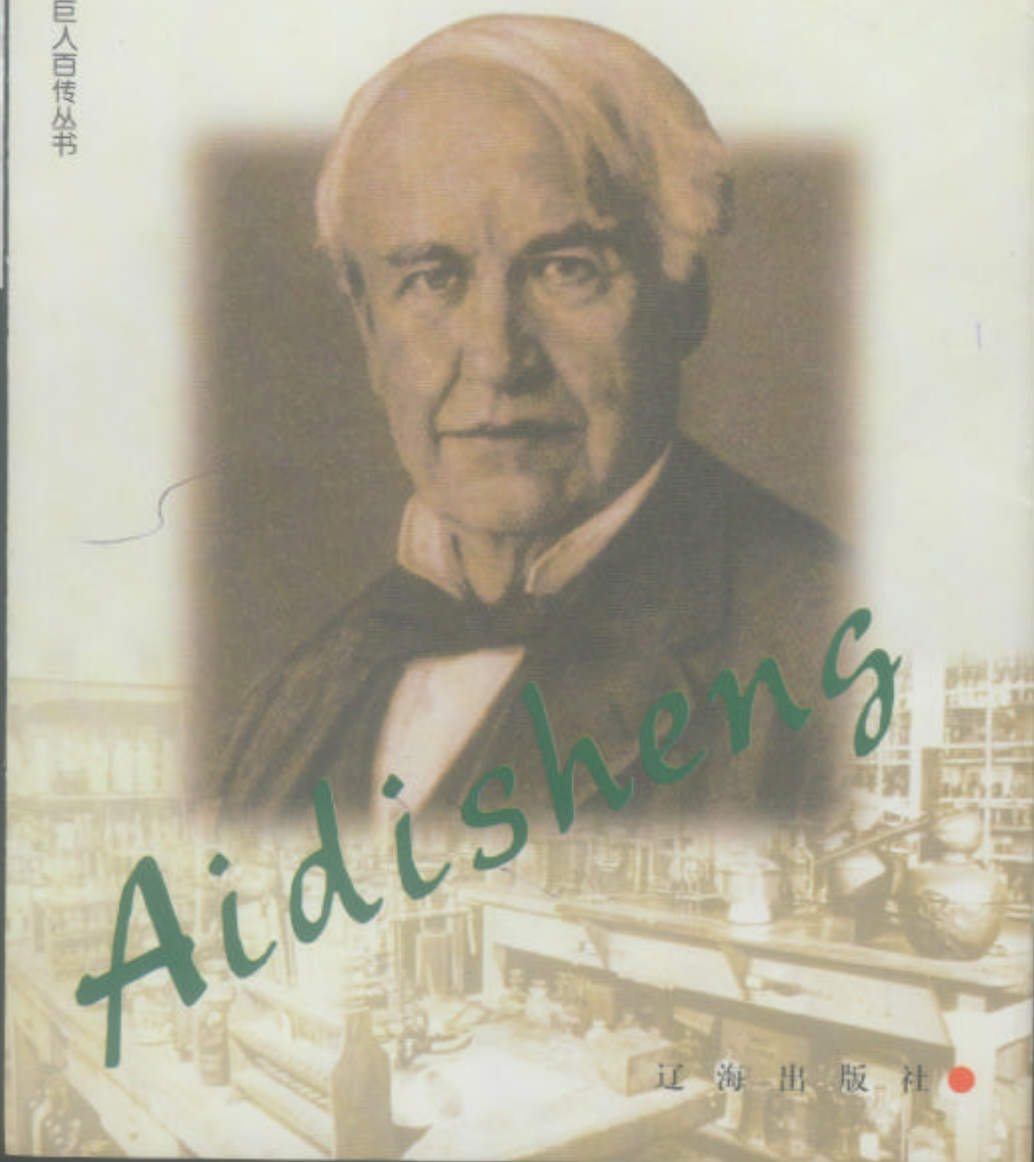


布老虎传记文库·巨人百传丛书

科学家卷

# 爱迪生

李尊玉 韩敬民编著



辽海出版社 ●

## 引 言

美国发明家爱迪生（1847—1931）是世界技术历史中最显著的天才之一，他的一生象征着人类智慧、文明、进步的理想。爱迪生一生拥有电灯、留声机、炭粒话筒、电影放映机等 1093 种发明专利。

爱迪生今天仍然没有被世人遗忘，因为他的千项科学技术发明都已经深入到各个科技领域，深入到人类的日常生活中间。今天人们对爱迪生的颂扬出自于人们亲身的感受：他的创造发明给人类带来了福祉。爱迪生的未竟事业由千千万万个智者在完成和开拓。20 世纪末的科学进步和成就证明，人类的智慧和创造在飞跃，一个崭新的科学信息时代开始了。

爱迪生顽强搏击于科学海洋的精神和卓有成效的创造发明理所当然地赢得同时代人的赞扬，同时也给后人留下了一笔宝贵的精神财富。1923 年 6 月 24 日，在美国《纽约时报》上刊登了一篇奇文。文章说：“有一种人的大脑价值连城。在工商界，人们把它估计为 150 亿美元！这是上百亿，而不是几百万啊！它等于美洲被发现后全世界金矿所开采到的黄金价值的 20%。这个大脑属于爱迪生……”也许这是本世纪初叶美国报界对科学巨人成就评估的粗浅的价值观。今天人们会这样去认识：爱迪生的科学贡献是永恒的，他的价值并非金钱所能比拟的。

第一次世界大战期间，爱迪生这个七旬老人被美国总统任命为海军顾问委员会主席，指导鱼雷和反潜设备的研究。直到辞世前 3 年，他还在研究从本国的草类提取橡胶。他活到 84 岁，留下的遗言是：“只要你勤奋，只要你想着明天，你就会大胆而坚定地发掘自己的智慧和力量。”

## 总 序

郭锷权

一个对人类充满美好遐想和机遇的 21 世纪正悄无声息地向我们走来。21 世纪是竞争的世纪，是高科技知识爆炸的世纪。竞争的关键是人才，人才的关键是素质。素质从哪里来？有人说，3（语文、数学、英语）+X=素质。素质=传记人物的 EQ 情怀。这话有一定的道理。

翻阅《巨人百传丛书》书稿，不难发现多数巨人的伟业始于风华正茂、才思敏捷的青少年时期，我们的丛书记录着以下巨人们创造的令人赞叹的辉煌业绩：美国飞行之父、16 岁的莱特兄弟已是多种专利的小发明家；诺贝尔 24 岁首次取得气体计量仪发明专利；爱迪生 29 岁发明电灯；居里夫人 31 岁发现钷、钋、镭三元素；达尔文 22 岁开始环球旅行并伏案构思巨著《物种起源》；克林顿 46 岁出任美国总统；比尔·盖茨 28 岁成为全球电脑大王，并评为 1998 年度世界首富；普希金 24 岁开始创作传世之作《叶甫盖尼·奥涅金》……读着巨人们的一本本使人激动不已的奋斗史，他们追求卓越的精神和把握机遇的能力，使人肃然起敬，这一切对今天的青少年朋友无疑具有启迪、教育和诱惑力。正是基于这一点，我们编撰了这套丛书。获悉《巨人百传丛书》即将付梓，北京大学附属中学校长赵钰琳先生、清华大学附属中学校长赵庆刚先生、天津南开中学校长康岫岩先生和复旦大学附属中学校长曹天任先生先后寄来了热情洋溢的信，对丛书出版寄予殷切的期盼和高度评价。

北京大学附属中学校长赵钰琳先生说：“我们高兴地向广大青少年朋友推荐《巨人百传丛书》。在世纪之交，能有这样的精品丛书陪伴你，是智慧上的愉悦。”

清华大学附属中学校长赵庆刚先生说：“每一位具有世界影响的伟大人物，都蕴藏着一部感人至深的故事。”

天津南开中学校长康岫岩先生说：“高山仰止。巨人是人类的精英。世纪伟人南开中学最杰出的校友周恩来以及毕业于南开中学的四十多位院士校友和各界杰出校友们的业绩，充分证明了这一点。”

复旦大学附属中学校长曹天任先生说：“仔细阅读这套丛书，犹如看到他们的音容笑貌，言谈举止，感受他们的理想、信念、胸怀、情操，这将帮助你学习做人，学习做学问，学习做事业……”

有必要说明的是，《巨人百传丛书》的读者对象为初、高中学生和部分大专学生，因而在传主和传主内容的选择上有针对性的考虑，如果有挂一漏万或不足之处，敬请学界原谅。

1998 年 6 月于盛京

爱迪生

## 第一章 神奇的电世界

—

远在上古时期，居住在地中海区域的人们，特别是希腊人已经最早观察到今天众所周知的“电”和“磁”的现象。而“电”这一术语，到16世纪末、17世纪初才出现。后来，特别是从18世纪起，电的内容逐渐地得到了充实。最后，到19世纪，电才开始为人类服务。

1600年，英国自然学家、医生威廉·吉尔伯特的名著《论磁》出版问世了。一般说来，这是最先出现的在实验的基础上写出的专题学术著作之一。因此，在电磁学的历史上，这一年成了一个非常重要的转折时期。在此之前人们认为，电力只是琥珀所固有的，而磁力只是铁才可能有。吉尔伯特用试验来证明，有许多物质，如玻璃、树脂、矿物等在摩擦时就会出现起电现象，而地球虽然不单单是由铁所构成，但却是一个巨大的磁体。吉尔伯特使用了电力（即琥珀力）这一概念。18世纪起派生词“电”这一术语，开始广泛使用起来。在18世纪的俄国科学书籍中“电”这一术语也被普遍使用起来。

当时人们对电现象和磁现象的本质及其相互间的联系还不了解。吉尔伯特认为这两种现象是完全不同的，而这一观点直到18世纪中叶仍占统治地位。后来，多亏有了圣彼得堡科学院院士捷·埃皮努斯的著作，才给新观点（科学中又增加了电现象和磁现象是相似的这些概念）奠定了基础。在古代的生活中，人们观察到了大气放电现象，在人体接触某些鱼类时有麻的感觉，但是并未由此理解到这就是电力的表现。直到18世纪后10年，人们才开始对静电进行研究，并试图实际去运用它。而静电只限于用来医疗疾病，用来放出电火花使火药引爆，以及用来把电荷传到远方，后一种用途也就是创造电报机的最早尝试。

在18世纪，通过对静电的观察而积累了大批资料。弄清了导体和非导体的存在，证明了电有两种，即阳电（玻璃电）和阴电（树脂电）；找到了用机器获得大量静电荷的较完善的方法；发明了用来顿瓶和电容器储存静电荷的方法；发现了静电感应现象。因此，在对电的现象进行定性研究方面取得了巨大成就。18世纪末，库仑确定了电荷相互作用量的特性曲线。这就是著名的库仑定律。

虽然对静电的性质和作用的研究，并未能预示它在何种程度上可以运用于实际目的，但对电现象的进一步认识却具有极重要的意义。通过研究，发现了静电荷的有趣的特性，创立了一系列重要的电学理论，完善了试验技术，精心创造出系列试验仪器。更为重要的是，电现象的研究已经引起了人们的密切注视，电学研究专著的数量在18世纪也迅速得到了增长。

18世纪的后10年，科学家的注意力转到了路·伽伐尼所发现的并为亚·伏特发展了的一系列新的电现象方面，进一步发现了人们认为与摩擦电不同的新形式的电，这就是电流。

18世纪的最后一年（即1800年），科学上发生了一个著名的重大事件。亚·伏特根据自己的同国人路·伽伐尼所做过的试验和结论作了进一步的试验和分析，制造出第一台恒向（直流）电流发电机，这就是著

名的伏特电堆和环形电池。从此，开辟了伽伐尼电流研究的新时代。对伏特发明的那种新的电池现象的检验，证明这些材料是完全可信的。从此，更进一步探索电流秘密的工作开始了，电工技术的最重要时期开始了。这一时期的特点是，整个时期全部被用来研究伽伐尼电流，并试图投入实际应用。

众所周知，电能的运用是五花八门的，大体说，可以分为两种：一、作为动力，就是大量地把电能变成另外几种形式的能，如变成机械能（传动、牵引），光能（照明），热能（加热过程），化学能（各种电解过程）等；二、作为非动力，基本上就是利用电脉冲或少量的能，以便作用于各种指示器或调整仪器等。

从 1800 年伏特发明电堆到 1831 年法拉第发现电磁感应现象，这是电工技术发展的第一时期。这一时期对于电流的利用来说虽收效甚微，但对电流的特性的研究和实际利用途径的初步探索却收效极大。卡莱尔和尼科尔逊早在 1800 年就已发现了电流的化学作用，并用电流把水的构成元素分解出来。1801 年乌·赫·沃拉斯顿用实验方法证明：从伏特电堆中所获取的电流同在出现静电时所获得的那些电荷相同，曾发现电流的热效应，即电流可使导体变热并出现火花形式的发光效应。

电流的化学作用的发现给当时年轻的科学家、伦敦皇家学院的化学教授赫·代维留下了强烈的印象。他在 1807 年制造一个由 4000 个铜片和锌片组成的功率强大的伽伐尼电流电源后，也观察了两个炭极间产生的电弧效应。代维利用这一功率强大的电流电源于 1807 年—1808 年对许多金属进行了电解并得到一些纯元素。弗·里特在 1803 年发现伽伐尼电流的电能有可能被蓄积起来。

值得指出的是，伏特给皇家学会去信以后的几年内，各方面在伽伐尼电流方面进行了大量的实验工作。

在电流发现后的这一最初时期里，是否可以研究电的实际应用问题？电的应用的先决条件是否已经具备了呢？

那些年正是产业革命的胜利发展时期。机器工业和作为机械能源的蒸汽发动机普及到越来越多的新兴工业部门。速度更快和效率更高的运输工具（即由有蒸汽牵引车的铁路），很快取代陆地兽力运输工具，水运使用蒸汽发动机的试验也正在顺利进行。这些试验，有力地表明蒸汽发动机能使这一技术部门发生革命性的变革，能给予世代所使用的船帆以致命的打击。产业革命创造了许多先进条件，而这些条件的利用程度还很低。这时是否就需要寻求利用电流的途径呢？这种需要在电工学发展初期就已开始产生了。人们考虑到这一点，并对这些问题做了精心研究。首先研究的问题是：在使用了当时已做出了足够研究的力学、光学、气体动力学等学科的各种方法都不能解决重要的实践课题时，可否使用电来解决？为着这一目的，迫切需要解决的问题，首先就是利用电流能神速地沿着与大地绝缘程度很高的电线传导的特性；其次是利用电流能把各种液体电解成其各种组成成分的特性。

伽伐尼电堆的远距离神速传导的性能，可以被用来把信号传送到远方去，即用于有线电通讯。1909 年泽海林格利用伏特计在液体分解时靠出现的气泡显示出脉冲现象的基础上发明了电解电报机，但并不好使用。帕韦尔·利沃维奇·希林格发明了电磁电报机。他在慕尼黑用他的

电报机进行了多次试验，作出了不少的有益结论。

电磁电报机传送到离传送点很远的地点的脉冲能产生出火花，并能点燃某种爆炸物。帕·利·希林格在彼得堡涅瓦河（1812年）和在巴黎塞纳河（1815年）成功地演示电流起爆水雷法，并以此开创了地雷电工技术。

由于1819年奥斯特发现了电磁现象，即电流作用于磁的现象，使电工技术发展在第一时期就有了极重要的变化。

由阿拉哥和安培等人所证实并发展了的埃尔斯捷德试验导致了创造出电线螺线管、扩程器、电磁铁和电流计；弄清了电流对导体的磁化和电磁的转动效应。巴洛、法拉第和亨利的试验表明，电能和磁能可以转变为机械能，即可以制造出电机。

我们认为1880年—1831年这一时期内伏特电堆和所有各种各样的电池组实际应用起来功率太小，性能不稳定，不可靠。1821年塞贝克发现了热电并重视热电堆的建立。但热电并不能保证制造出实际所需电流的发电机。麦克尔、法拉第开始进行电感应及其他问题方面的试验。乔治·西蒙·欧姆在1827年发表了对简单的传导电路规律性进行探讨的专著。毕奥·萨伐尔和拉卜拉斯在1821年得出了电流和磁体间相互作用力的数学公式，而安培则得出了电流间的相互作用的数学公式。

综上所述，可以说1800年—1831年这一时期为以后技术上使用电流的工作创造了许多先决条件。这些先决条件涉及到对电流特性的研究和电流的表现形式与作用的发现。

## 二

电工技术发展的第二时期（1831年—1867年）有关电的知识进一步扩大了，而且技术上利用电流的许多问题也得到了实际解决。第二时期是以法拉第的卓越发现（电磁感应的发现）开始的。愈来愈多地利用感应现象过程是在这一时期度过的。电磁感应的发现，过去是现在依然是全部物理学史中的最主要的阶段之一。所有现代的“强电流电工技术”，即照明、电解和电热过程，机械能的产生和其他电的动力应用，都是以法拉第的发现为其渊源的。帕韦尔·利沃维奇·希林格由于把扩程器用作按一定电码传送脉冲的指示器，遂于1828年—1832年创造出了合乎实用的电磁电报机。在这一时期末，欧洲大陆和北美洲大陆上都布满了密集的电报线路网。使用了专门设计出来的水底电缆进行起铺设穿越大面积水域的电报线路的试验来。起初，电报电缆铺设在穿过河下的不大的距离上；这对于弄清电缆在水下的工作条件和改进绝缘情况，具有特别重要的意义。1850年，电缆曾穿过英吉利海峡铺设过去，但在过了一年以后，才得到良好的通讯效果。

1856年，为筹划在英国和美国之间进行电报通信而组织了大西洋电报公司。该公司拥有雄厚的资财，它吸收了大批科学人才参加它的工作；威廉·汤姆生（开耳芬）领导了建设这一巨大工程的技术工作。1866年，这个公司在为排除大量事故而付出了10年艰难劳动之后，欧美间的电报通信终于建立起来了。这一条3600公里（1900海里）远的电缆的敷设，是一个特别重要的电工技术的实地训练：它引导人们去研究和解决在远

距离线路上电流传导的许多特殊问题，并去详细研究电气安装技术的实际问题。

一些伟大理论家（开耳芬等人）和许多实践家都参加了电报技术方面的工作。电报传送数量增加和电报传送距离增大，就要求强化线路的利用率（所谓复用）。于是就研究出了各种自动化的和多路同步电报系统。

电报技术也要求改进伽伐尼电池这种供电电源，而采用了丹尼尔、格罗夫和本生等人的电池。1859年普兰捷发明了铅蓄电池，把它作为电流的次级电源使用。

电报机构造的发展，对于制定和建立国际电单位制起了重要作用（这一工作早在40年代就开始了，但到1860年由英国科学促进会委员会初次把建立电单位制作科学基础之前，一直是困难重重极不协调地进行着）。电报技术的发展促进了电测量技术的建立和完善，以及测量仪器的制造。电报技术的经验也被用来制造电气自动学和遥控机械学的电路、仪表和装置。这一时期详细研究了如弧光灯的自动调整器的主要类型，以及许多电磁装置、电机装置、电热装置和诸如此类的演示装置。

有一点很重要，需要提出来，即1860年进行了制造电话机的最早尝试，而德国教师菲力浦·赖斯的试验是最有名的。

电报技术是在电工技术发展的这一阶段中运用电的最主要方面，它没有利用电磁感应现象就迅速发展起来了。制造电动机也是这样，可以根据纯电磁原理制造出来。但发明家们却未取得任何良好的效果。问题在于这种电动机需要强大和稳定的电源，伽伐尼电池组不能保证这种电动机的用电量，而靠感应原理工作的发电机才是这样的电源。但这种发电机到1870年才制造成功。

电报技术在这一时期已经成为技术上得到精湛研究、在实践中得到广泛应用的一个部门。这个时候电工技术的其他一些部门却还处在用试验性装置进行研究和探讨阶段。1838年鲍里斯·谢明诺维奇·雅科比院士发明了电版术。在很多城市兴办起了镀银镍等的电镀作坊。电解电镀术在电工技术发展的第三时期依靠格拉姆（1870年）、赫失纳—阿利捷涅克（1873年）等人制造出质量高的发电机后才得以全面发展。

就在这个时期，有人做了一些利用电流进行电热作用的试验。但继电报术之后最引人关注的和最有意义的事，应属电力照明问题了。对于这一问题来说，电工技术发展的第二时期是它的重要的准备阶段。在上个世纪70年代，电力照明的设想成了现实，虽然最初电照明的普及由于电能价格昂贵而受到限制。

电照明的历史，将在专论托·阿·爱迪生致力于改进白炽灯的一章里予以详细的阐述。我们在这里仅仅指出，在电工技术发展的第二时期，主要类型的弧光灯已被创造出来，并进行了试验；许多白炽灯的结构已提出来了；稀疏气体放电管（盖斯勒电管）已制成并试验了。当时，作了大量试验性材料的准备，以便研究解决实际运用电照明所不可缺少的重要条件：必须保证照明设备有可靠的廉价的电源。这种电源就来自那种根据法拉第所发现的电磁感应原理而工作的发电机。电机制造业经过了电磁发电机制造阶段；然后又经过了电磁和他激发电机制造阶段，终于在1867年采用了自激原理，根据这一原理，可以制造出优质直流发电



机。这个阶段就介于电工技术发展的第二时期和第三时期之间。

我们在这里只能根据电的技术运用的进步观点，来评述电工技术发展的“法拉第阶段”（1831年—1867年）。而电学和磁学方面的科学进步，我们只能扼要地提一提。

需要指出的是，由克希荷夫所确立的分支电路定律；韦伯和高斯在磁学方面的著作；能量守恒定律和能量转换定律的确立；电流的热效应定律（焦耳—楞次定律）的确立；以及法拉第在电解定律、抗磁现象定律等，是这方面所进行的广泛研究。麦克斯韦在这一时期详细研究了电学和磁学的理论。这种理论在稍晚一些时候，即在电工技术发展的第三时期刚开始，便为广大科学家们所熟悉。整个第二时期就是从技术上广泛利用电脉冲时期，也就是真正实现“非动力的”运用电并在照明、传动和运输方面，在技术操作过程中准备开始广泛地把电流用作动力的时期。电磁感应的发现和利用发电机磁场内的导线移位法获取电能的可能性，使电流转变为动力完全成了现实。

在整个第二时期期间，只有直流电得到了实际运用；人们对交流电持怀疑和警惕的态度。因为当时对交流电很少研究，而且运用也有限。

第一批生产电器、仪表和机器的企业出现了。因为架设电报线路的工作在当时具有重要的意义，所以电气工业企业基本上是生产电线、电缆、绝缘材料、电报机、电磁铁、继电器、伽伐尼电池、某些类型的测量仪器（主要是测量电阻、电流强度和电动势的测量仪器）。电机的生产有其独特性；既没有成批生产，更没有大量的生产。弧光灯这时制造量相对总是比较多的，型号也很多，但却没有一种型号能成批生产。

当时人们是否都足够清楚地了解到，电给技术和人类的生活会带来哪些巨大的变化呢？对这一点人们是日益明确起来了。电工技术方面的发明申请书数量和专利特许证颁发出的数量，正在异常迅速地增长。美国专利部门在1849年的报告书中表明，电在不久将来就要得到各种各样的运用，电的运用比起当时许多人为寻找幸福而涌向的加利福尼亚砂金矿，更能促使人们发财致富。这个报告书指出，电除了供电报通信外，“还可以从发出地被迅速输送到远方，可以开动陆地上的车辆、水上的船只，可以使各种生产机器动起来，可以参与农业或家务劳动”。

### 三

电工技术发展的第三时期是从1867年到1891年。这一时期，是在电磁感应现象和自激原理（直流发电原理）的基础上创制出格拉姆发电机时开始的。格拉姆发电机比用伽伐尼电池，能更便于保证电能生产；同时，感应方法比伽伐尼电池能提供出更加廉价的电能。格拉姆环形电枢发电机证明新发电方法是优越的。在这种发电机之后，又出现了更为完善的圆筒形电枢发电机（赫夫纳—阿利捷涅克，1873年），而且这些发电机的结构形式也因发明人的不同而各异。直流电机的功率在不断增大；随之又出现了更加完善的型号即多极电机。在七十年代后五年里，巴·泥·亚布罗齐柯夫悉心研究，开始制成单相交流发电机。

这样，最主要的问题解决了：由于电力不足、价格昂贵所造成的电工技术发展中的种种限制解除了。

电工技术发展第二时期(1831年—1867年),是“弱电流电工技术”也就是电能非动力运用的极盛时期,也是“强电流电工技术”即电能的动力运用开始深入研究的时期。在第三时期(1867年—1891年)非动力运用(电报术、电话术、电信号设备、闭路装置、自动装置、遥控等)得到了进一步发展,而在动力运用方面,从试验阶段转为直接实际运用。

整个第三时期,基本上是在运用直流电的标志下过去的;只是由于亚布罗齐柯夫电烛的发明,单相交流电才得到了运用。在这一时期末,单相交流电在解决了电能集中生产和远距离输送问题的情况下,才开始发挥巨大作用。

究竟有哪些用电的部门,在这时已经形成并巩固下来了呢?首先应当提到的是电照明。弧光灯作为一种光源,从设计上说在某种程度上已达到可以广泛实际运用的地步;因为不仅成功地创造出了许多效能很好的自动调节器系统,而且也解决了当时视为十分复杂的“电流分配问题”,即在一条电路上任意数目的弧光灯(契柯列夫、赫夫纳—阿利捷涅克的差动弧光灯)同时工作的问题。

这时涌现出了一批城市,它的街道、胡同和广场都有电照明。例如,美国的沃巴什市(印第安纳州)的所有室外照明全部使用弧光灯。1885年,俄国的皇村(现叫普希金镇)的街道、住宅和公共场所全都用电灯照明。看来,这是历史上第一次实现了整个城市照明设施全部电气化。

巴维尔·尼古拉耶维奇·亚布罗齐柯夫在这一时期(1876年—1881年)的工作获得了卓越成就,而且对提高电照明的研究兴趣产生了巨大影响;他所发明的电烛使首都和一些大城市的公共场所和街道、港湾、码头、沿河街、公园和戏院等地方,有可能安装大量电照明设备。

发明家早就试图制造出白炽灯。第一批电灯还在上个世纪40年代和50年代就已创制出来。而在电工技术发展的第三时期,终于制造出了完全适合于大量实际运用的电灯。白炽灯已被广泛运用了,它使整个照明技术发生了革命,它对电工技术的发展产生了巨大影响。与此同时,提出了一系列新的任务,而其中最主要的任务是:电能的集中生产和用输电线把所需数量的电能输送给消费者。在整个这一时期内,各处都在建立电站;制造分配电能的设备以供应电站附近消费者;并进行远距离能量输送的试验。

对远距离能量输送问题的详细研究,导致了一场关于电流种类的极激烈的辩论。出现了彼此观点完全对立的两个阵营。直流电的拥护者们,持有相当有力的论据。当时,对直流电已进行了有效的研究并进行了广泛的试验。比较适宜于用交流电的亚布罗齐柯夫电烛,在一段时间内使交流电的拥护者占了上风,但随着亚布罗齐柯夫电烛的时过境迁,领先地位又转到直流电的拥护者方面。有利于直流电的主要论据是,直流电可能把蓄电池的设备作为该系统的主要元件加以应用;可以把夜间负载转换到蓄电池上,关掉发电机,节省原动机的机械能。在负载的高峰时候,可以接通蓄电池和发电机并联工作。当时人们认为,发交流电耗煤量要比发直流电耗煤量多一倍半,也就是说交流电比较贵;交流发电厂的额定功率应比配有蓄电池设备的直流发电厂的功率大。对此应当补充说明的是,最初人们并没有使一些交流发电机并联工作;发电厂的每一个发电机都为一定的消费者服务。当某一个交流发电机负载不足的时

候，绝不能把它断开，而把负载转加到另外负载不足的发电机上。交流发电机并联工作，不是一蹴而成的。

人们对电能的需求不断增长，这样，直流电拥护者的阵地趋于巩固。直流电发动机便于操作，而合乎实际运用的单相交流电发动机当时还没有。这是普及交流电的严重障碍之一。由于对电能需求的增加和力求使电能的价格降低，人们理所当然地提出这样的愿望：建立大发电厂集中生产电能，并把电能远距离地输送分配给消费者。但这是一件需要进行专门研究和试验的崭新的工作。当时没有预料到在装备比现有功率还要大的发电厂时，会有多大的困难；另一方面，谁也没有仔细研究和弄清楚这个问题的另一方面：如何能以最小限度的损耗，把电能输送到远方去。

1880年，杰普列和拉钦诺夫经过研究很快就明确了，为减少线路的热损耗，电能应当在高压情况下输送，他们开始在直流电路进行实际试验，开始把由专门设计的发电机所发出的高压直流电输送到了远方。1882年，马尔谢利·杰普列用双线把电压为2000伏特的直流电，输送到距离为57公里的地方（由米斯巴赫至慕尼黑），这是一次重要的尝试。这种输送法的有效系数是低的，但这一尝试表明，把电能输送到这样远距离（当时被认为是很远的）去是可能的。为增加输电距离，就必须采用更高的电压，而当时做到这一点却是很困难的，因为绝缘技术当时还处于发展的初级阶段，而且当时还不能制造出电压高于6000伏特的发电机。

爱迪生和霍普金森提出了一个获得高压的新设想，即用把通常的工作电压（100—120伏特）的发电机串联起来的多线制。但这种方法仅适宜于在较短距离内输送能量，更何况，多线制提高了设备的造价。

在用高压直流电输电时，必须在线路的另一端给变电站的强力蓄电池设备充电；而用户也应得到工作电压的直流电能。如果采用交流电输电，输电问题的解决就大大地简化了。因为交流电电压通过了变压器可高可低。1885年，匈牙利工程师姆·杰里奥托·布拉季、卡罗伊·齐佩尔诺夫斯基研制出工业用型单相变压器，并提出把这些变压器并联起来使用。从此，用单相电流输电的问题就得到了合理解决。单相电流输电的设备开始制造出来，而且应用的电压也越来越高了。例如，富兰克林1887年在英国建立了杰普特福尔德发电厂，供给离电厂约有15公里远的伦敦商业区照明电；这里的电压是十千伏特。用单相交流电输电，任何时候都不能保证电传动，因为，单相电动机完全不适宜于用在电传动上。

这一时期，许多地方已开始建设中心发电站，开始远距离输送电能：电能成了商品。

利用直流电机可逆性原理，使人们能够以新的方式解决电动机问题。格拉姆、赫夫纳-阿利捷涅克（以西门子电机而著名的）以及其他一些人的发电机，在机器发动起来以后完全能保证电传动的需要。电能开始应用到工业传动装置上了，但还是在直流电的基础上。虽然这时人们已认清了电工业传动装置的巨大优越性，但电工业传动装置发展得还很缓慢。其原因在于单相交流电有其自身的矛盾：它有把电能输送到远方的优点，但也有完全不适宜于用来作传动的缺点。

为创造电气化运输工具曾进行过许多次尝试。从1879年起，这些工作就有系统地在进行着。而从80年代初起，无论是城市的电车路线，还

是最初的电气铁路运输线，都投入了运行。

各种类型的电焊，首先是电弧焊接，被发明了出来，并成功地运用于实践中。电炉、电气升降机和运输装置制造出来了。电开始广泛深入到电化学工艺学（电解装置和其他装置）中去。

电工技术的各项成就很快在国际的和各国的博览会上展示出来。1851年在伦敦，1878年在巴黎，1880年在彼得堡、1881年又在巴黎举办了博览会。而在1878年的巴黎博览会上展出了巴维尔·尼古拉耶维奇·亚布罗齐柯夫卓有成效的发明“俄罗斯之光”，这是这次展览会上的“明珠”。1881年的巴黎博览会上爱迪生最卓越的发明之一——白炽灯和照明系统作了出色的演示。其他展品也普遍得到好评。因为这些展品证明了在电机制造中，在有线电通讯和其他用电的电气仪表和机械制造中有了突飞猛进。在1881年巴黎博览会之后，又于1882年、1883年、1884年、1889年先后在慕尼黑和伦敦、维也纳、费拉德尔菲亚举办了博览会。在费拉德尔菲亚博览会上展出了电机、照明、电力传动、电力牵引、电热学等方面的成果。爱迪生在这里又大显身手，展出了他的许多新发明或对原结构作了改进的东西（如留声机）。这次博览会举办的同时还召开了电学家代表大会，把制定电单位和电标准的工作又推进了一步。

在这一时期中，学术领域也获得了巨大成果。麦克斯韦根据法拉第所得到的丰富的试验资料，创立了电学和磁学的概括性理论（1873年）。赫兹根据麦克斯韦理论的结论，发现了一种新现象即电波，指出它的特性，从而为无线电报学奠定了基础。斯托列托夫、霍普金森和容格的著作研究了钢的磁性和磁化过程。休斯、普里斯和汤姆生开创了电话传话理论。费拉里斯通过试验（1885年）发现了旋转磁场；多相电流方面的工作也开始了。

电工技术发展的第三时期，在电工技术已获得成就的情况下，特别明显地突出了一个当时尚未解决的问题，尽管以前进行过大量的试验。这个问题就是在把电能输送（当然是以最小的损耗）到远方后，要保证大多数主要的用电器能够有电用。不能变压的直流电，在当时的技术发展水平上，是不能把电流输送到相当远的距离的。当时，即使直流电能实现这样的电力输送，那么在利用输送来的高压电能过程中也会产生困难。因此，解决把电站集中生产的电能输送到远方去这一任务，是无成功希望的。单相电流能被变压，结果就无必要生产高压电流，因为变压器能够履行这种职能。单相交流电是不适宜于所有用电器的，但它完全能够用来作为白炽灯和某些类型的弧光灯的电源，而由于单相电动机不能直接启动，所以工业上的电传动就不能靠单相电流来实现。因此，困难就产生了。为满足对电能的日益增长的需求，就需要建起功率越来越强大的电站，而且这些电站应当为广大地区服务，至少应当为两类基本用户（即照明用户和电力传动用户）服务。这场危机之所以能得到解决，是由于发现了旋转磁场现象（费拉里斯，1885年），以及在这一现象基础上创造了多相电流制：两相制（尼古拉·特斯拉）和三相制（多里沃—多勃罗沃尔斯基）。

第三时期末，即在1891年以前，详细研究和部分试验了三相制的基本元件：发电机、变压器、电动机、绝缘器、相位计、测量仪器。从劳

芬到法兰克福这一距离为 175 公里的电力输送表明，三相电流明显胜于直流电和单相交流电。三相电流能变压，三相电流电动机具有易启动的性能，而且负荷很大，完全能保证电力传动的需用量。

仲马院士在 1881 年巴黎博览会和电学家代表大会闭幕时曾预言道：“电的时代开始了。”对三相电流的深入研究使动力学中的这一新阶段的发展有了现实的可能性。

## 四

电工技术发展的第四时期，是 1891 年把电力从劳芬输送到法兰克福时开始的，现在这一时期仍在继续着。第四时期的特点是功率最大的热电站和水电站以及后来的原子能电站的发电量的巨大增长；工业、运输、日常生活和农业的广泛电气化；以及以电作为重要中间媒介把一种能转变为另一种能的所有方法的改进。在这一时期，无线电技术和电子学产生了，并得到了突飞猛进的发展。电闯入了工艺学，并成了重要的生产要素。我们创建了自动学、遥控力学的精良装置和制出用电子计算机控制的仪器等等。所有这一切都是人所共知的，因此就没有必要再来描述电工技术的现代成就。

托·阿·爱迪生在电工技术史上应占有什么样的地位呢？正如大家从他的传记中所知道的那样，爱迪生早在青年时代就接触了电报机。开始，他使用电报机是为他所编辑和印刷的列车报接收消息。爱迪生 16 岁就开始在芒特—克勒门斯车站（1862 年）学习报务。他很快就成为了一名技术精湛的报务员，一位在拍发和接收电报方面创造记录的人。爱迪生有些年（1863 年—1868 年）是“流浪报务员”。大陆的电报通信网非常稠密。创建洲际电报通信，首先是欧美间的电报通信的工作进行得热火朝天。当时，这是技术长足发展的开端，这种长足发展是有其获得巨大成就的先决条件。电成了一种具有神奇魔力的力量，它吸引着在寻求新的、尚未为人知晓的、神秘的和将能造福人类的東西的那些先进青年。爱迪生当时只有 20 岁，而在当时年轻人中间所普遍风行的对电极感兴趣的那种心理也把他迷住了。

如果分析一下那些献身于电学领域，并以自己的发现和发明在 19 世纪最后 30 年出名的人物的出生年代资料，那么就会发现，他们所有的人几乎全都是爱迪生的同龄人，其中大部分都出生于上个世纪 40 年代。所以，对电工技术使青年爱迪生入了迷、终于使他把自己的全部精力和兴趣都贡献给电学一事，就不应感到惊奇了。

我们现在观察到一种类似的现象。我们这个时代先进的技术方法是建立在广泛应用电学、电子学、无线电工程、计算机、计算机控制装置、新的合成材料等等的基础上。目前那部分最有才能的青年正向何方奔去？他们正奔向这样的学校，在那里他们可以研究这些新技术，可以获得他们为了成为一批新技术部门专家所需要的物理的、化学的以及数学的知识。因为这些新技术部门正在以革命的手段改变着生产的许多方面，并大大地促进着社会生产力的发展。

爱迪生由于对电工技术发生了兴趣，自然就要首先研究当时最迫切的问题。只有一个方向能由他来选定：这就是电报学。电报学问题当时

引起了人们极大的注意。爱迪生在这方面已具有很多的实践技能，而在理论上还有许多东西需要他来弄清楚。他不仅开始进行卓有成效的实践活动，而且也可望获得一定的成就。

事实正是这样：爱迪生最初进行的工作是利用电报术方面的方法来制造各种装置（投票计数机、交易所行情标志机），而且还直接改进了电报机（自动和复式电报机）。声音和言语的远距离传送问题，已是当时人们需要解决的现实问题，所以爱迪生便致力于这种装置结构的研究工作。1876年，还存在很多缺陷的电磁式电话机的出现，促使他着手改进这种大家需要但还不能使用的装置。1871年，爱迪生发明了炭质送话器（传声器），这是他的一项重大成就，并且向获得电话传送的可靠性、清晰度和准确性方面迈进了重要一步。紧接着，爱迪生有了一个录音和放音的想法，因而发明了自己所心爱的——留声机，并在这一世纪的随后20多年中付出了大量心血来改进它。

弧光灯，特别是亚布罗齐柯夫电烛所获得的电照明成就，使爱迪生懂得这是一个极其重要的问题。这一问题的顺利解决，将不仅是冲破电光源范围的限制问题，而且要使整个电工技术发生根本的变化；电照明及电照明相联系的电工技术各部门，由于是专用来满足大众的需求，所以都将成为科学、技术和商业活动的广阔场所。爱迪生放弃其他一些问题的研究，而完全献身于研究白炽灯和电照明系统的时期就开始了。他在这方面取得了卓越成就，并给人们带来了他的前辈所不曾带来的巨大的物质利益。

在1882年—1887年期间，爱迪生基本上是埋头推广电照明方面的工作；他建立了为推广电照明所需要的生产企业、电站、安装业和商务办事处；不仅美洲市场，而且欧洲市场也都有他的公司。他逐渐成了所有电力技术和电气工业中的要人。爱迪生由于了解了铁路电气化的重要性，就详细研究了电气机车问题，建立了试验性的电气化铁路。爱迪生在看到电深入到工艺学的情况和在工艺学领域里出现的一些新的可能性时，便精心研究了磁选矿的方法。他致力于电曾起极其重要作用的各种活动的人体图像和物体图像再现的试验。最后，在我们这个世纪，爱迪生发明了新的能源——碱性蓄电池，并几乎用了10年（1900年—1909年）时间来改进它，把它应用于汽车行业、矿井照明等方面。爱迪生是美国电气工业的组织者之一，在他的发明和发明专利特许证的基础上，利用了他的助手们的丰富技术和生产经验，建立了当时世界上最大的电工技术康采恩——“通用电气公司”。

在爱迪生诞生时，美国的大面积土地还没有被充分开拓起来；在纽约和芝加哥这两个相距比较近的最大城市之间，还没有铺上铁路；从用莫尔斯电报机在美国拍发了第一批电报时起，一共才过了没几年；爱迪生在美国国内战争结束后不久，就公布出自己的最初的一批发明。在上个世纪70年代，当欧洲已把电用于工业、运输等等，而特别是用于照明时，而在美国，电的应用还处于萌芽状态。在欧洲已制造出优良的电机和电动装置时，美国一直到1878年对此了解得还很少。在美国电工技术落后的条件下，爱迪生的首创精神、范围广阔的活动和卓越成就，就显得更为有意义了。爱迪生成了美国电力技术和电气工业中的要人。他作为一个用劳动创造起了一个工业部门的活动家而成为全世界注意的中心

人物。因此，对爱迪生为什么举世闻名一事就不难理解了。因而，全世界都认为他是一个卓越的技术活动家。

## 第二章 发明家的一生

—

爱迪生祖居荷兰，他的祖先是富裕的磨坊主，他在荷兰的家谱可以追溯到 17 世纪末。1730 年左右，这个大家庭中的几个人迁移到新斯韦特，在伊丽莎白港上岸，成了这块还没有完全被开拓的地方的最早的一批移民。后来，他们又迁移到这个国家的内地，定居在科德威尔居民点（新泽西州）。这是一些强悍和吃苦耐劳的人，他们很快适应新的环境，开始了正常的劳动生活。在美国革命时期，发明家爱迪生的一个祖先托马斯·爱迪生参与了国事，他是一个“爱国主义者”，主张尽快脱离英国王权，热烈拥护独立。他成了国家财政方面的著名活动家，在联邦发行的内部流通的许多钞票上都有他的署名。爱迪生家庭中的另一个人约翰·爱迪生，当时属于“王朝正统主义者”，即殖民地所属国的保皇党，他参加了英国军队的远征，并被爱国主义者所俘获，只是多亏托马斯·爱迪生及其妻的亲戚萨拉·奥格坚的包庇，他才得以逃脱严厉的惩罚。他失掉了全部财产，不得不离开美国，搬到加拿大去住。这就是发明家爱迪生的曾祖父。

约翰·爱迪生的农场逐渐走上了轨道。家庭日益扩大。约翰·爱迪生的一个儿子，即发明家爱迪生的祖父老山墨尔（1767 年—1865 年）成了父亲农场中的顶梁柱。他结了两次婚，有 13 个孩子。

约在 1811 年，爱迪生一大家子都迁居加拿大，搬到了贝菲尔特区（现称安大略州）的景色秀丽、但荒无人烟的地方。英国政府把伊利湖北岸的大片土地赐给他们这些正统主义者，于是在那里就出现了一个叫做维也纳的村镇。爱迪生家庭所定居的森林地很快就成了加拿大木材工业的中心之一。木材从这里输出到英国，因为英国的造船业和建筑业要消耗大量加拿大木材。

发明家的父亲小山墨尔·爱迪生生于 1804 年。1828 年他娶了新教神父的女儿，维也纳镇的学校女教师南希·埃利奥特（1810 年—1871 年）为妻。他结婚前在那里开办了一个旅馆。他的孩子们——三个女儿和四个儿子（托马斯·阿尔伐年岁最小），都在那里出生和成长。家庭的安宁生活被政治事件破坏了：1837 年加拿大发生了反对英国总督个人独裁的暴动，这次暴动是由资产阶级力求实行立宪代议制所引起的。小山墨尔·爱迪生参加了在威廉·莱昂·麦肯兹领导下的起义者行列。他在维也纳镇的家成了起义者的司令部。但起义被镇压下去，起义参加者有可能遭到严厉的惩罚。许多人逃到美国，也包括小山墨尔·爱迪生在内，他暂时把家眷留在了加拿大。

过了一段时间，小山墨尔·爱迪生定居在离休伦河流入伊利湖处不远的米兰镇（俄亥俄州）。该河不能全程通航，但它却通过运河把莱克伍德码头联接了起来，这就形成了便于把国内农业区的粮食运往东方去的一条水路交通命脉。米兰成了一个重要的卸粮点。这里建造起巨大的粮仓，该镇当时正处在工商业迅速发展的高涨时期。

1839 年，多亏大湖上的著名船长和船主阿尔伐·布雷德利的帮助，南希·埃利奥特·爱迪生携带着孩子搬到了米兰。小山墨尔·爱迪生在



那里做粮食买卖，同时还办了一座加工房盖板的厂子，由于他的产品质量优良，人们对他的产品的需求也就日益增长。小山墨尔·爱迪生在这方面成就很大，成为富裕人家。他是他的最小的儿子——杰出的发明家爱迪生的充满了光荣和声誉的一生的见证人。他像他的直系先辈那样寿命很长，卒于 1896 年。

托马斯·阿尔伐·爱迪生 1847 年 2 月 11 日生于米兰。对这位新生儿为什么用复式名字？他的家里的人是这样传说的：小山墨尔·爱迪生的哥哥托马斯是在婴儿出世那天来到米兰的。为表示对客人的尊敬，便以客人的名字来命名新生儿。另外为表示对帮助爱迪生一家在米兰团聚的阿尔伐·布雷德利的敬意，就给新生儿取了第二个名字即阿尔伐。

爱迪生一家不久就被迫离开了米兰。铁路的敷设导致了河运和运河运输的萧条，米兰也就失去了其原来作为粮食经营中心的作用，工商活动中止了。1854 年，小山墨尔·爱迪生阖家搬迁到休伦埠市，在那里开始经营粮食和木材。

爱迪生的童年就像他的同龄人一样，无忧无虑地在欢乐中度过。托马斯·阿尔伐在孩提时身体很弱，但求知欲极强，很有进取心。孩子们都喜欢在休伦埠巨大粮仓附近的码头上玩耍，但时常由于不小心而掉到运河里，通常他们总是由一些偶然的过路人救起。爱迪生也没有幸免。他很善于观察，他从小就喜欢画画儿，而且画得不错。可以想到，他在孩提时曾做出了与他的年龄极不相称的大胆和不够谨慎的事来。但他在幼年所遭受的挫折，使他学会了谨慎和肯思索。他由于用火不小心，无意中把父亲的粮仓点着了，于是就在市场上当众受责打。他曾受过一群蜜蜂拼命地刺蜇，牡绵羊也曾差点把他撞死，他在用斧子截皮带时，把一个手指剃去了。他常进行非常危险的化学试验，而这些试验只是由于偶然的原因才没有以悲剧告终。因此，爱迪生在幼年起就逐渐接触“实践”，积累了对于他的发展极为有利的也往往是痛苦的经验。

托马斯·阿尔伐年龄越大，他对各种试验就越感兴趣，而对各种游戏和娱乐越来越淡漠。在爱迪生已成为著名发明家时，他父亲对他所作的评语是：“托马斯·阿尔伐·爱迪生没有童年。拨弄蒸汽发动机和机械就是他幼年的娱乐。”援引这一评语是很有意义的，即使这种评语有点过分渲染，但小孩子兴趣的总方向，在这里还是十分明显地表现出来。

正如所谈过的那样，爱迪生一家特别富裕，托马斯·阿尔伐在童年时代什么都不缺少。那么，对他在较小年纪就开始挣钱这一人所共知的事实又怎样解释呢？看来关于他的某些传记是正确的，因为这些传记家们证实，对各种试验感兴趣的少年爱迪生，用父母给他的为数不多的几个零花钱，是不够他购置所需的仪器和材料的，这就需要他找工作挣钱。可能父母对孩子的这种强烈爱好不太支持。

爱迪生的学生时代特别短。他一共上了几个月学，就由于他常提无数各种的问题而使老师们感到厌烦，同时由于他当时对学习表现得不特别努力，而被认为是不聪明和愚蠢的学生。他的学生时代，确切些说，就是那几个月的学习生活就这样结束了。此后，就由母亲来教他。母亲是一位很有学问的妇女，一位教师。由于母亲的耐心和温柔态度，爱迪生学会了识字和算术。他的字练写得工整秀丽，他养成了工整记笔记的习惯。他的“系统”教育，实际上只是这样。后来，在进行设计工作时，他常常感觉到他所受教育的不足，而不得不随时在工作过程中弥补这一缺陷。在这位发明家的以后工作中，很需要物理、化学、数学和电工学

等方面的理论知识。这些方面的不足，不能不给他工作造成困难。当他需要深入和全面了解某一问题时，他就开始研究它，以此来弥补自己所受教育的空白。

爱迪生从 12 岁就开始独立工作挣钱了。最初，他在来往运行于休伦埠和底特律间的火车上卖报纸、杂志、糖果和水果。父母没有阻挡他从事这些工作，而使他完全能够按照自己的志向行事。不久他就开始出版了世界上第一份在火车运行时印刷的报纸。这是《先锋周报》副刊，版面是 12×16 英寸。在各中间站上，担任“本报通信员”的少年们给他送来了当地新闻。而有的消息则是他从车站报务员那里得到的。他这样小的年纪，在这里就第一次接触到电报，并对电报的众多优点和可以大加运用的范围作出了很高评价。

爱迪生这个小孩，就这样成了记者、编辑、排字工人、校对员、印刷工和报童。这份稀有的出版物没有全套保存下来。该报有一号是作为独一无二的珍本而保存在发明家的夫人处，并经常向参观者展出。报纸的发行份数达到了几百份。该报不只是报导地方新闻而且还报道最有意思的世界时事（这时是美国 1861 年爆发的国内战争的前夜）。爱迪生在自己的报纸上，刊登了他从书中所摘抄来的技术资料，报道了各种技术和科学新鲜事物。例如，爱迪生为庆祝美国工程师，即蒙特利尔附近的加拿大圣劳伦斯河大桥的建设者罗伯特·斯蒂芬森的功绩，单独印发了一期报纸论述和颂扬这位著名的设计家和建设者。

爱迪生在进行出版工作的同时，仍继续做生意。爱迪生在铁路上工作了一段时间后，便在休伦埠开设了两个售货商亭：一个是出售报纸和其他刊物的售货亭；另一个是卖蔬菜、浆果、油等物品的售货亭。当国内战争开始时，爱迪生关闭了第二个售货亭，因为对报纸的需求量增长了，因此爱迪生赚得的钱也大大增多了。爱迪生后来就再也没有从事过写作和出版工作。因此，应把他的报业工作，评价为他少年时代就已有首创精神和踏踏实实要干一番事业的愿望的表现，而且他的这种首创精神和愿望是经过深思熟虑和合理的商业性核算后才产生的。看来，他一生中这一时期最重要的成果是，他熟悉了电报机并开始对电和电工技术感起兴趣来。

爱迪生称自己是化学家，而且说一向使他最感兴趣的是化学。每当爱迪生乘坐他的“印刷厂”所在的那个行李车厢去旅行的时候，他总是在那里进行各种不同的化学试验。一次，由于磷起了火，车厢里失火了，火被乘务员扑灭。而到下一个站上，爱迪生的所有试验用品被从充满浓烟的车厢里全抛了出来。试验者本人也随同试验用品一起被抛了出来。这是爱迪生青年时代最痛苦的时刻。直到很久，他也没有忘掉这一不愉快的事件。过了许多年之后他说：“从少年到耄耋之年，我有什么不幸没有经受过呢？但从来没有像当时失去第一个实验室那样绝望过。”

在起火之后把爱迪生从车厢里抛出来的那个乘务员的残暴行为，造成了严重的后果：爱迪生失去了听觉，一辈子成了聋子。这当然有碍于人们同他的交往。但爱迪生却一再指出说，随着岁月的流逝，他已习惯于这个缺陷，并时常感觉到，耳聋使他具有了某些优点：耳聋使他免受不必要的外界影响，好似把他与周围环境隔绝了，有助于他埋头工作。爱迪生对于研究改进电话和声学仪器特别感兴趣，这大概是因为他懂

得，改进电话和声学仪器对于听力弱的人来说具有很重要的意义。

在这件令人不快的但结局还比较满意的事件之后，年轻的爱迪生就很少从事化学试验；不久他就停止出版报纸，而学习电报业务，开始担任报务员工作。他在每个地方呆的时间都不长；他从事过电报业的地方有：斯特雷特福（加拿大）、休伦埠、印第安纳波利斯、新奥尔良、路易斯维、孟菲斯和美国的其它许多地方。实际上他是一个流浪报务员。他用莫尔斯电码收发的技能，达到了炉火纯青的地步。他的薪金微薄，但他紧缩日用必需品的开支，而把大部分薪金用于电工技术试验。爱迪生很少注意生活享受，对于他来说，电的研究和试验以及制造各种仪器和装置的尝试，越来越成为他生活中的主要事情了。

爱迪生的这种漂泊生活持续了5年。1868年，他迁徙到波士顿，在那里他在一家电报公司找到电工技师的工作。他作为报务话务员的生涯永远结束了。但他同时代的许多报务员同事到死还是流浪者。爱迪生1865年在辛辛那提共过事的米利通·亚当斯就是其中一个。爱迪生到了波士顿后看到，亚当斯已先在那里。还有以前在辛辛那提电报局工作过的乔治·凯南也在那里，凯南出生于离米兰4英里处的诺鲁奥克（俄亥俄州），是在爱迪生到辛辛那提工作前就在那里工作的。1864年凯南被派到西伯利亚，在那里他主持架设俄美公司的电报线的工作。凯南是一位出色的旅行家，在1864年到1868年，在1885年到1886年，他两次考察了西伯利亚。他在1891年出版了《西伯利亚和流放》一书，特别畅销，但在俄罗斯长时间被禁止发行，因为书的作者抱着颇大的同情心如实地描绘了西伯利亚政治犯流放地的恶劣环境。

由于亚当斯的帮助，爱迪生被准许参加美国最大电报业“西部联合电话电报公司”的招收职员的考试。一向不注重衣着外貌和刚刚从外省来的爱迪生，使所有参加者和列席者在测试爱迪生时都认为他必定名落孙山，更何况在测试线路的另一头坐着本公司一位最有经验的报务员。但爱迪生在收发报的质量方面超过了对方，出人意料地被录用了。

爱迪生定居生活的时期开始了。这个时期，爱迪生把所有业余时间都用在他和亚当斯所居住的斗室里进行各种试验。他得到一本迈克尔·法拉第的著作，开始仔细地研究它。爱迪生喜欢这位天才的科学家、电学奠基人的著作，因为这些著作说得一清二楚，对于像爱迪生这样理论基础差的人来说没有难于理解的数学计算方法。研究法拉第著作及了解他的试验和推论，对爱迪生来说具有巨大的意义。当时他产生了要把电应用于各种实际目的的一个又一个想法。他特别敏锐地感到有必要进行某些设计，但他没有能力建立自己的能进行设计工作的工厂，因为他既无资金，又无地盘。

波士顿电学家这时已组织了一个相当大的团体，他们经常相聚，交换自己的意见和经验，有时还相互进行力所能及的帮助。不久，爱迪生就得到了波士顿著名的电工学家查理·威廉士的许可，在他的工厂里对自己的设计进行研究。1868年底以后，爱迪生的全部空闲时间经常是在威廉士的工厂里度过的。这一年，可以被认为是爱迪生的发明家生涯的正式开始的一年。他毕生研究自己的技术设想，并以一种经过精心研究而得出的适宜于采用的设计形式加以实现。他的私人的家务事，总是被他放到次要的地位。托·阿·爱迪生的生平活动可以分为三个时期，每

一时期都有一定的特点。第一时期包括从发明活动的开始（1868年）到他在门罗园建立实验室和工厂（1876年）为止。第二时期（1876年—1887年）是他进行了极其重要的一些发明，并从此而被科学家、技术人员和广大的社会各界人士称之为“门罗园的魔术师”的时期。就在门罗园他用新原理和新方法开始并展开了自己的工作。第三时期（1887年—1931年）是最长的时期，这一时期他的工作都是在他西奥伦治市（新泽西州）内他所建立的工业化发明活动中心进行的。

托·阿·爱迪生第一时期的活动，就是准备力量，积累经验，着手组织大规模的发明工作。在电报局供职，使爱迪生有机会实地研究这一领域，学会报务员工作，获得报务技艺高超的名望。他在这一时期所进行的一切发明，就其结构原理来说都与电报有密切关系。1868年他在波士顿工作，而1869年他就来到了纽约。他这时已获得第一个发明即投票记数机的专利特许证，这种投票记数机可以大大加快计票程序，在投票时随时都可以准确地计算出“赞成”和“反对”的票数。爱迪生表示愿把这一机器供给美国国会，但他的建议未被采纳。尽管爱迪生第一次取得专利权的发明没有得到应用，而且也没有给他带来任何好处，但他还是毅然决定要继续从事发明活动，然而只限于在那些确实能够使他得到利益的领域里进行。

在纽约，爱迪生曾在交易所一片混乱的困难时刻（“黑星期五”，即1869年9月24日），运用了自己电报学方面的知识，修理了损坏了的交易所黄金行情标示机。在顺利完成了这一任务之后，“布劳德大街劳斯黄金行情标示公司”给爱迪生提供了固定工作，因为他在紧要关头使这个商行免遭破产。

爱迪生不想再继续当一名普通的电工技师。他为了求得独立自主，总想自个儿办一个企业。他在闲暇时，致力于改进交易所行情标示机。他成功地把这种标示机改造成能打印出字码的机器（交易所行情自动记录机）。劳斯公司被一个搞竞争的同行“黄金股票电讯公司”所吞并。该公司经理姆·勒斐兹用为数可观的一笔款（40 000美元），从爱迪生那里买来了使用这一发明及其他某些发明的专利权，其中包括一种可以从一个中心把所有发报机发出的读数都转换成零的仪器，这对于检验各发报机是否正常工作是很重要的。这一交易使爱迪生能够再从事某些新的发明。为了生产所发明出的各种仪器，爱迪生（和弗兰克利翁·列奥纳尔德·鲍普以及《电讯报》杂志的编辑约翰·艾希礼一起）组建了一个电学技术和电学咨询处。卖交易所行情自动记录机所得的款项，能够购买某些用来生产仪器的机器设备。这就促使爱迪生建立一个他自己曾在纽瓦克市（新泽西州）所开办过的那样的工厂，以接受订货。订货踊跃，业务扩大，工厂定员增加到150人。在爱迪生的助手出现了一些多才多艺的机械专家：约翰·克留济、济格蒙德·伯格曼、济格蒙德·舒克尔特、约翰·奥特。

根据美国自动电报公司的建议，爱迪生致力于改进英国人约翰·利特尔的自动装置，这种装置可以充分利用电报传送能力和提高电报线路利用率。爱迪生彻底改造了这一装置，使它达到了能够用字母记录电文的水平，使它适于在商业上使用。试验得到成功，但在美国没有得到推广。爱迪生因而没有从这次发明中得到物质利益。所以爱迪生就到英国（1873年）去演示经过改进的这种装置，试验很成功，但爱迪生还是没有从中得到物质利益。

在研究改进利特尔装置过程中，爱迪生需要为记录机弄到比较结实的纸张，以便拍发电文和接收电文。这一装置中的纸带应该快速移动。爱迪生对各种纸作了各种各样的试验，其结果是石蜡纸最适合使用。有

几名助手其中包括他的未婚妻斯季尔韦尔·梅丽，都参加了这些试验。

1871年4月，爱迪生的母亲逝世了，这使他不得不推迟结婚；婚礼是在1871年的圣诞节举行的。

爱迪生一家搬到了一个单独的日子里；梅丽的妹妹阿利萨和他们住在一起。1873年，他们生了一个女儿，为表示对托·阿·爱迪生姐姐的尊敬，给女儿起名埃斯捷拉·梅丽，后来又生了两个儿子：小托马斯·阿尔伐（1876年—1936年）和列斯利·威廉（1878年—1941年）。爱迪生对电报术的眷恋，表现在当时对两个大孩子在家里的称呼不是叫名字而是叫外号：女儿叫点（·），而小托马斯·阿尔伐叫划（—）。

结婚没有使爱迪生的生活规律发生明显的变化。他的大量时间仍然是在工厂度过的：有时他只要埋头于工作，就在那里住上几天几夜，吃睡都在那里。诚然，爱迪生睡觉的时间一般是很短的，在晚年他回忆说，在工作最紧张的时期，他每昼夜睡眠都不超过4个半小时，和衣宿在工厂或实验室里。

爱迪生所发明的石蜡纸，后来推广而用来包装糖果；爱迪生为生产这种纸发明了专门的机器。

在制造石蜡纸的生产过程中，爱迪生发现有可能用它制造出一种刻印文件、通告等的方法。为此，就需要制造出一种能在石蜡纸上刻出文字轮廓的孔洞的东西，这样，就可以得到一张石蜡刷字纸板。在石蜡刷字纸板下面放上一张普通的纸，用一蘸有专门墨水的滚子从刷字纸板上滚一遍，那么纸上就会出现字迹。爱迪生还为刻写发明了一个“电笔尖”，制造了专门墨水。于是就产生出了油印机，即“爱迪生复印机”，这种复印机被爱迪生卖给了芝加哥的季克，供在商业上使用（1875年）。这一方法后来经过改进，在各国得到了推广。

爱迪生在这些年也从事于改进打字机，他给打字机增加了一个很实用的装置，这个装置备有他所发明的自由活动的铅字。

就在爱迪生生活的这一时期，设计出了电动记录机。这是一种利用某些盐类在电流影响下能改变自己属性的原理而工作的机器。用这种装置（参见第三章），创造出了一种完全用不着电磁继电器的电报通讯系统。用电动记录机（普通的或极化了的），可以自动地把电报很快地重拍或转拍到另一个线路。在这个电动记录机上可以接上一个自动记录机，由它把电文用墨水转到纸带上。电动记录机设计的最后收尾工作是在门罗园完成的，在那里设有相应的供演示用的装置。电动记录机中有一种叫做“机动记录机”的装置，在电话技术中得到应用。

1874年，爱迪生收到了巴克教授的电报，请求他在费拉德尔菲亚召开的国家科学院大会上表演电动记录机。9月8日，爱迪生在大会上作了关于这一装置的报告，并演示了这一装置的性能。这一发明卖出去了，爱迪生得到10万美元，然而这10万美元是在17年中分批领取的。后来他卖了一套把电动记录机同电话送话器联结起来的发明装置，得到了同样数目的一笔款项。电动记录机曾在1874年夏季的费拉德尔菲亚博览会上展出，受到参观者特别注目。

---

这里的“点”和“划”是指收报机所打出的“·”和“—”符号。最先的电文是由不同排列的“·”“—”组成的。

研究电话和复式同步电报，是爱迪生在搬到门罗园以前的重要工作。1874年，伊莱沙·格雷制造了一部谐波电话，这就使爱迪生产生了研究电话的念头；这一念头被他在门罗园里实现了。爱迪生早在1873年就研究了复式电报即双工电报和四工电报系统，并在搬到门罗园之前就顺利地完成了这些系统。这些系统在经济上是很有利的，因此很快就得到实际使用。用双工电报系统可以在一根电线上对拍两封电报，用四工电报系统可以在两根电线上对拍四封电报。最初，爱迪生研究双工电报，改进了斯特恩斯的差动双工，但后来他发展了这些装置的性能，获得了“复式双工”（即四工电报系统）。为此，他同“西部联合电话电报公司”总工程师约翰·普雷斯科特一起，得到了在美国的专利特许证，号码是第480567号，申请书日期是1874年3月19日。

爱迪生确实是在经过很大的周折后，才把这一发明卖给了“西部联合电话电报公司”的。从这个公司的报告书中可以看出，使用爱迪生的双工系统所获得年利润共计将近50万美元。公司总裁诺尔温·格林本人后来也承认，之所以推迟好几个月才购买和采用爱迪生的四工系统，都是由于他的过失。他怎么也不能相信，如此年轻的发明家能制造出什么好的东西。

爱迪生的同时代人指出，四工电报是托·阿·爱迪生创造活动初期的主要成果。这是他在移居门罗园前的年代里最卓越的发明。

这时，爱迪生的名字愈来愈经常出现在技术性的、科普性的和一般性的刊物上。他显示出多方面的创造才能，但他还没有成为电工技术方面的著名的发明家和“魔术师”。

爱迪生在致力于有线通信的同时，也没有停止对远距离效应的关心。这种效应，可以从电路尚未处于接触时获得，产生感应，彼此影响。早在1875年他就预言，将来电力通讯是不会用像电线这样的“重累”的。爱迪生认为这种在感应方面的相互作用，可以用于正在运行的列车和火车站间的联络。爱迪生后来（在1885年）实现了这一想法。

到1875年末，爱迪生已开办了5个工厂，他开展了大量发明和生产活动。工厂分散在纽瓦克各条街道。工人人数和定货量已大大增加了。爱迪生经常遭到报社记者的袭击，因为他们希望尽早获得有关他最近工作的消息。限制记者们对他的采访活动是不可能的，所以爱迪生的工作总受到打搅。爱迪生要求进一步扩大生产规模，建立新的工厂和扩建现有的工厂，但是，现有的房舍已不能提供他在新阶段的活动所需要的那种按照计划合理布局的实验室和工厂的有机综合体。基于这一想法，他就决定要在新的地方建造一座具有实验室、工厂、住房和辅助建筑物的发明中心。

1875年11月1日，爱迪生把他的父亲请到纽瓦克来，参加他那顺利发展起来的事务。爱迪生让父亲参加工作，使他成为受托人，委托他组织和管理经济业务。第一件委托他父亲办理的事项是为修建发明中心和生产工厂找一个地点。小山墨尔·爱迪生坐着马车走遍了纽约四郊，找到了一块合适的地段。这块地段处在宾夕法尼亚铁路线上，离纽约不过25英里左右的路程。这块完全荒芜的地方叫门罗园。1876年初春，开始为工厂和试验室兴建木质仓库式的建筑物。整个综合体的设计，都是爱迪生亲自拟定的。为节省资金，除了机器车间建造了一座石结构建筑物



外，所有的建筑物都是木质的。主要的建筑物是两层楼房，长 100 英尺，宽 30 英尺，外面是涂成了白色的木板墙，窗户矮矮的，门前有台阶。这座建筑物的四周，最初不得不用栅栏围起来，使在邻近草地吃草的牛和猪不能靠近。油漆还未干透，一辆辆平板大马车就来到了，它们把爱迪生认为需要从纽瓦克运到门罗园来的设备运来了。一些不需要的或陈旧的设备，爱迪生就在纽瓦克卖掉了。爱迪生为门罗园专门购买的新设备、仪器和装置也很快运到了。爱迪生的大量技术书籍和化学材料也运来了。

爱迪生的主要助手和职员也来到门罗园，构成了执行他的委托的主要核心，他们是巴切勒、伯格曼、舒克尔特、克鲁西和亚当斯等人。

主楼里安装了瓦斯照明，为此建立了专门的瓦斯发生器。动力设备是一部十马力的布朗的蒸汽发动机。一楼是小图书室、绘图室和办公室；有一个房间装备着只有在爱迪生亲自监督下才可以使用的最贵重的器具，而另一个房间的一些架子和抽屉里存放着爱迪生以前发明的东西的样品。二楼是工作间，里面摆着一些放有器具和机械等的工作台。紧靠着墙摆放着高大的架子存放化学药品、仪器和备用工具。

因为爱迪生想闭起门来专心进行工作，所以停办了曾在纽瓦克办的“爱迪生和默里商行”。这一商行停办之后，爱迪生就完全可以一心一意埋头工作了。

爱迪生想使门罗园的工作具有新的发展方向。爱迪生在纽约工作时，就同弗·列·鲍普一起建立了一个电工技术咨询处。大概，这是世界上此类行业最早的一个。根据爱迪生的意图来看，门罗园的实验室应当大加发展，以便使它真正成为进行发明活动所必需的工业化发明和工业调查研究的世界第一个中心，其实这种思想法本身就是爱迪生最卓越的发明。

## 四

爱迪生提出这一任务之后，就不再大力去组织成批地大量生产已经研究出来的发明物和各种装置了，而是想建立一个巩固的科学基地，来对正在研制的发明及其进一步的改进工作进行研究。爱迪生把力求使自己的发明用于生产中去的主旨，看作是他的总计划中最重要的部分。但是，他却想使生产不妨碍发明工作和设计的定型工作。运用是发明活动本身的必然继续，而不应使运用妨碍发明活动，不应把发明者的精力吸引到其他方面去。

采用发明的可能性和获取最高利润，是衡量发明价值高低的资本主义准则。爱迪生信奉的原则是不仅应该发明，而且要保证能从实际采用中得到最大的经济效益。

爱迪生为门罗园实验室购买了最精密的工具设备和仪表设备。他懂得，为研究发明，他不仅需要力学家，而且也需要化学家、电学家、物理学家，乃至数学家。所以到 1878 年，门罗园实验室人员编制中就有在亥姆霍兹那里修完数学物理学的普林斯顿大学毕业生、数学家弗连西斯·厄普顿。实验室增添了贵重设备，人员编制中也有了一些受过高等教育的工作人员。

爱迪生在门罗园的工作，使他成了名人和富人。爱迪生在这里完成了对多工电报（双工和四工）的最后研制工作。

1876 年，阿·格·贝尔获得了他发明的电话专利特许证。但电话机当时还不完善，通话人的说话声严重失真。电话这一发明是很有发展前途的，但需要力争使电话如实地传送语言或声音，而不失真；也应排除贝尔电话机的另一缺点，即把受话器也作为送话器用。这种电话机对着话筒说话，就不能听到对方说的话；听对方说话时，话筒就要紧靠着耳朵，自己就不能说话了。当时几乎同时有许多电工学家，其中也包括爱迪生，在研究改进电话。1877 年，爱迪生研制成了一个送话器（即炭质传声器）。从这时起，电话就开始特别好用了，电话运用的范围就逐渐扩大。爱迪生在研究送话器的过程中，发现有可能把音录下来，并且可以再放出来。爱迪生根据这些观察，研制成了留声机。他在 1877 年获得了这一发明的第一个专利特许证，而改进留声机的工作后来持续了几十年。爱迪生根据对电话的研究，制造了电话增音器，制造了对材料收缩变化反应灵敏的继电器和炭质变阻器。爱迪生由于了解在当时条件下不用电线不可能远距离传送语言或口令，便研制出了一个可以实现在地面上与气球间通话的话筒和听筒的结构：喇叭筒、航空用无线电话机。他制造的发声器（即声动机），也是与电话的研制工作相关联的，这是一种靠人说话时引起的空气震动而发声的机器。

爱迪生研制成了根据各种不同原理而工作的各种类型的电话：静电式电话，电动机械电话，液体电阻电话等。他把电话和留声机组合在一起，制造了一台电话留声机，而用电话留声机就可以把传送来的话录制在留声机的小辊上，然后再放出来。这是一种会说话的电话。

为使几个人能同时听到留声机放出的声音，爱迪生采用了听诊器式的耳机。他为了通电报，而研究把电动记录机用于电话系统中。

此外，在一些不大重要的发明中还有测微温湿计，以及显微温湿计，

这是一种能显示出温度和湿度极其细微变化的仪表。这一仪表 1878 年在怀俄明州和得克萨斯州进行的天文观察中表明是适用的。应连格利教授的邀请，爱迪生参加了这次观察，并用这一仪表进行了测量。

爱迪生在门罗园工作时期，以解决一系列属于电能的动力运用问题获得巨大成就而著称。爱迪生在这里解决了一个艰巨的任务，即制造极为实用的真实炭精白炽灯，研制出了一个用这一光源进行照明的系统。老式的白炽灯，电能分配系统，安装材料，各种器械，发电机，电气设备安装方法，世界上第一座公用火力发电站的建筑，能量计算器，电气化铁路试验路线的铺设和电动机车的制造，所有这些都是与爱迪生作出的数百种发明和改进工作分不开的，为此，他获得了许多专利特许证和专利权。此外应当补充一下，这时爱迪生已研究出了磁力选矿法。

当爱迪生已准备搬往门罗园的时候，他对自己在新的条件下进行活动的范围和速度作了以下的阐述：他打算每 10 天搞一项小发明，每半年搞一项大发明。实际上，爱迪生超额完成了这一计划。他在门罗园工作时期，每年都递交 40 多项重要发明的专利申请书。

如上所述，爱迪生力求把门罗园的工作组织好，以便使工作集中于进行必要的研究、设计的研制工作；而把生产活动，即在某种规模上制造成品的活动放到一边去了。但是，他又不得不稍稍偏离这一基本方向：在门罗园建成的自备发电站，不仅供给他的各个工场、实验室和宿舍以电能，而且也把电能卖给其周围地区居民。因此，可以把门罗园的自备发电站，看作是把电能作为商品卖给消费者的最早的一座小型发电站。

完全排除任何生产活动，排除把发明投入商业性经营的做法，当时已证明实际上是不可能的。例如，1880 年在门罗园开始在试验工厂生产白炽灯时，该厂生产规模却超过了门罗园照明设施需要的许多倍，而由这个世界上最早的灯泡厂制造的电灯泡，当时就供应给消费者。如果不能保障供给各种设备所需的电机、安装材料、计量仪表，如果不能及时修理和维护，那就休想进一步发展电照明系统。爱迪生只好违背自己的最初意愿而在纽约建立了一个机器制造厂“爱迪生机械厂”。为了生产敷设地下管路所必需的管子，又建立了“爱迪生管道公司”。为生产照明灯具、计量仪表、曲管灯座、照明箱等，建立了一个专门工厂。这个工厂受济伯格曼领导。自然，由于生产照明装置的规模如此之大，就需要大量工作人员来进行电气安装工作。虽然由有经验的领导者领导某些部门，但爱迪生却总是亲自过问这些部门的事务，监督他们的工作，并给生产以很大的帮助。

1883 年，爱迪生发现了一种效应。这一效应获得了“爱迪生效应”称号，并被称为电子技术发展的起点。

许多次国际博览会和各国展览会，都特别明确地显示出电工技术的进步。第一批少量展品，即以电子仪器形式出现的展品，已在 19 世纪前 30 年代的博览会上展出过。从 19 世纪 50 年代起，每次博览会上都展出了可以实际使用的电子设备。例如，1851 年的伦敦博览会和 1855 年的巴黎博览会上，都展出了丰富多彩的电报机及其工作线路图，各种大量永磁类型的电机和第一批他激电机。丹麦工程师斯·希奥尔特展出了一个从历史的角度来看很有趣的展品，即兼有永磁原理和自激原理的发电机。此外，在这几次博览会上也曾展出了用各种电镀方法制成的产品。

1867年在巴黎举办的世界博览会上，即在托·阿·爱迪生发明活动刚露锋芒的初期，电报技术方面的展品就在一个专门展览处展出。然而，其他展品却根据其各个不同类别的具体用途而分别展出。例如，电铸制版术在美术工业部类展出，电控灯塔和电控信号设备则在航海部类展出，其他电控仪表则在物理仪器部类展出。电机（格拉姆，西门子）和各种弧光灯，曾在1873年维也纳博览会上的专门展览处展出。大家知道，在这个博览会上，伊·方丹第一次利用一个格拉姆电机作为发电机，而利用另一个同样的电机作为承受电力的电动机，实地进行了把电力输送到1公里远的地方演示。

爱迪生在门罗园工作那几年中，曾举办了许多次展览。在这些展览会上，都展出了电学方面所获得的成就。其中最主要的是1878年和1881年在巴黎举办的国际博览会。这两次国际博览会，是电工技术史上的两个重要阶段。1878年的博览会，不只是为展出电工技术而举办的。这是定期的国际博览会，博览会上展出了各个技术部门的展品（机器制造、铁路、建筑、采矿、工艺过程等方面的）。展览会没有分出专门的电工技术展览处。但是，这次博览会最精彩部分，是巴·尼·亚布罗齐柯夫在电照明方面的展品和设备。这些展品和设备，使整个博览会如花似锦，具有了节日一般的空前盛况。在那里，第一次展出了某些完全新的展品：电话及用电话所播送的音乐、电报机、电机、用电镀法制出的装饰品、电动起重机械等，这些都引起了普遍的注意。这次博览会表明，主要由于亚布罗齐柯夫和格拉姆的发明，电工技术才发生了巨大的变化。

爱迪生在这次展览会上尚未占有特别显著的地位。这时（1878年6、7月间），他能展出的只是一些属于电讯方面的个别发明，一些原始形式的留声机。这次博览会对爱迪生是很有教益的。照明方面的展览内容——亚布罗齐柯夫电烛和弧光灯，以及那些保障照明用电的整个照明系统设备，安装和使用电力设施的某些经验——都使爱迪生深感兴趣。在这次博览会上，爱迪生了解到了所展出的各种电照明系统的缺点，他明确了为使电照明更加完善需要做哪些工作。在这次博览会以后的一年多时间里，爱迪生研制成了实用的白炽灯结构，并制定出自己的电照明系统。这对爱迪生来说，不仅是在商业方面，而且也是在文化方面的一项重要发明。这一发明，不仅对于提高技术，同时对于改善人的日常生活也是一项巨大的成果。鉴于这一发明，爱迪生在大财阀的支持下，于1878年建立了一个商业公司——“爱迪生电灯公司”，并在实际运用电照明系统方面，开始采取了许许多多措施。

在1878年博览会之后，有关方面决定在近年内举办一次专门性的世界电学博览会。这就意味着人们终于普遍了解到了电及其取得的卓越成就的巨大意义。1879年年底以前在门罗园所已做出的卓越发明，特别是在白炽灯和整个电照明系统方面的发明，无疑加强了这次博览会发起人的偏颇：这次博览会显示出巨大作用来。爱迪生在1887年的博览会之后，又向前迈出了很大一步。因此，可以有把握地预见到，他的发明在下次博览会将成为参观者注意的中心。

第一届世界电气博览会于1881年8月1日在巴黎开幕，并一直展出到当年11月15日，爱迪生给博览会送去了137箱展品。在展览会上，他演示了他自己的最有意义的发明。这些发明指出了把电用到实际中去

的新的方向。

著名的德国动力学家奥斯卡·冯·米勒，对这次博览会作了如下的描述：

……博览会给人的印象是深刻的，照明设备的发明完全出乎人们的意料之外。爱迪生灯在大厅拱顶下和在楼梯上像几千个繁星一样闪闪发光；布拉什、西门子和赫夫纳-阿利捷涅克弧光灯，发射出在此以前还无人看到过的强光，而这种强光按照一位自然科学家的说法，与太阳光相似。亚布罗齐柯夫电烛以其构造简单而给人留下了深刻印象，用作画廊照明的克拉拉克“梭莱”灯，光线特别雅致，令人十分惬意。但爱迪生灯更引人注目，因为它可以用开关来开灯和关灯。希望哪怕扭转一下开关和看一眼开关作用的人，都在这个开关前排着长队。

除了照明之外，从歌剧院到博览会的电话转播，也给人们留下了很深刻的印象。从小就对电话司空见惯的现代人无法想像出，当时人们从听筒里听到歌唱家的歌声和乐器的声音，以及观众的掌声时，会是如何的惊讶啊！除了电话，还展出了电报机和信号设备方面的新产品。而在这些新产品中，我要特别提出的是爱迪生的写字电报机。这种写字电报机需用硬铅笔把电报写到纸上，电报机再把准确的抄本传送到指定的站。当时这种装置已在美国的费拉德尔菲亚和纽约间使用。

电机在 1881 年博览会上占有重要的位置。在各种型号的电机中应指出，格拉姆、西门子、舒克尔特、布拉什和韦斯顿发电机，特别是爱迪生的“贾姆博”发电机，对于当时来说，已是世界上功率最强大的发电机（150 马力）了，尽管就它的构造来说，还不是完善的，有需要作出重大的改进的地方。顺便说一下，这种带有电动机的发电机的重量达 30 吨。

亚布罗齐柯夫的电烛及其他发明，又在 1881 年博览会上展出，并再次获奖。但是，所有的人，包括亚布罗齐柯夫本人在内开始看清楚，托·阿·爱迪生在电工技术方面已遥遥领先。

1881 年 10 月 21 日，评判委员会决定授予爱迪生以最高奖赏，这种奖赏比其他参加展品展览者如马克沁、莱因-福克斯等人所得到的都要高。

在这次博览会之后，1881 年 12 月 15 日在伦敦水晶宫举办的展览会开幕了，爱迪生的展品在展览会上再次展出，这些展品取得很大成功。这次展览会主要是商业性的展览，而不是科技和教育方面的展览。一年后，1882 年 9 月 16 日至 10 月 15 日，在慕尼黑举办了世界博览会。会上第一次演示了远距离（米斯巴赫至慕尼黑，57 公里）的电能传送的装置。在这次博览会上，展出了能供应 250 盏白炽灯用电的巨大的爱迪生发电机。翌年，即从 1883 年 8 月 16 日至 10 月 3 日，在普拉泰尔的大圆厅里举办了维也纳博览会。为供给 300 盏弧光灯和 4000 盏白炽灯的用电，在那里安装了 60 台蒸汽发电机（总功率为 1300 马力）。这些发动机带动了 100 台各种型号的发电机，其中包括爱迪生发电机。也正是在那个时候，展出了一段长达 1.5 公里的电气化铁路，有一列车沿着该段铁路行驶；展出了用蓄电池组发动的电动船。爱迪生的许多展品，后来陈列在 1884 年的都灵博览会里。这些展品既处处证明了发明家所获得的新成

---

贾姆博来自英语 jumbo 一词，意为“庞然大物”或对动物园大象的昵称，此处为音译。

就，也证明了电工技术的发展。

爱迪生所参加的国外博览会，不仅使专家们和广大的公众正确了解他的发明和活动，而且也产生了直接而又实际的效果：使爱迪生有可能同希望致力于发展电工技术的欧洲人士建立了商业联系。爱迪生 1881 年在巴黎博览会上展出了他的发明之后，他的公司开始在法国，随后又在其他欧洲国家建立了一些分公司。这些分公司开始迅速而顺利地发展了电照明系统。

所有这些商业性业务需要爱迪生特别关心注意，因而使他脱离了直接的发明活动。

## 五

爱迪生在门罗园工作期间 1884 年，他的 3 个孩子的妈妈去世了。1886 年，他又与米娜·米勒（1870 年—1947 年）结了婚。爱迪生获得辉煌成就的门罗园，势必引起他对前妻的哀思。于是爱迪生在西奥伦汉市（新泽西州）购买了一座“格连蒙特”别墅和一个叫做勒威林园的庄园，并决定在那里建造新的宏伟的实验室和工厂。1887 年新的实验室准备就绪，他同自己的所有助手一起搬到了西奥伦治。门罗园里的木建筑物被留下保存起来。过了若干年，爱迪生把门罗园里的一座曾制造白炽灯的工厂，赠送给了福特。福特把这所工厂迁到了迪尔本。迁移时，还从门罗园里把原该工厂所在地的泥土，运了 36 板车到迪尔本。原工厂又完全按原状建设，而且现在成了福特所建立的“爱迪生纪念馆”的一部分。

爱迪生在西奥伦治所建立的一切，都是像他在门罗园时所设想建造的那样：这里不进行任何生产，而只是一个巨大的科学研究中心。

爱迪生对自己在西奥伦治的实验室的规模特别感到自豪，并想使大家都知道。在巴黎举行的 1889 年世界博览会爱迪生陈列馆里，挂着描绘勒威林园实验室的巨幅油画。画的上端写着：“专供科学试验之用的勒威林园的新实验室，是世界上最大的、造价最高的实验室。”

这一雄伟的建筑物，是根据总的工作方针建造和装备起来的。正像用来在工业方面进行各种试验的新企业一样，某些属于爱迪生公司的生产性企业当时继续在西奥伦治之外进行自己的活动。而爱迪生的主要助手们也都来到了西奥伦治，继续使用行之有效的方法进行工作，因为他们非常了解爱迪生本人，了解他的严于要求的性格、坚忍不拔的精神和使人敬佩的远见卓识。这是一个精诚团结的“爱迪生式的发明家”集体，他们的工作在托·阿·爱迪生的生平事业史上起了重要的作用。

爱迪生在西奥伦治工作期间，继续改进了他以前的某些发明。他仍特别注重他所心爱的发明——留声机，他把留声机用到叫做录声机的装置上。从 1887 年到 1897 年，爱迪生获得了 80 份新的留声机专利特许证。他在这一时期，被迫同另一些设计出录音和放音装置的发明家（贝尔和泰恩特设计的录声机，埃米利·别尔利涅尔设计的录声机）进行竞争。爱迪生把留声机看作科学上使用的专门仪器，并千方百计地不使它变成一种娱乐品，然而他的竞争对手却正是要求把它变成娱乐品。爱迪生在残酷的竞争条件下，被迫走向大力经营留声机的商业道路上，1896 年他建立起一个生产和出售上弦的（带发条的）家用留声机的“国民留声机公司”。直至 1929 年，爱迪生才停止对留声机的研究。爱迪生在 1912 年—1913 年所研究的最新使用的一种留声机，就是电影机与留声机的组合即“电影留声机”。

爱迪生在西奥伦治研制了动画装置（即现代电影机的原始形式）。90 年代初，他制成了一架带有赛璐珞胶卷和圆盘快门的最早形式的活动电影放映机（视镜），并于 1892 年在纽约和布罗德韦开办了“这种最早形式的活动电影放映机沙龙”来演示这一发明。几个月后，这种活动电影放映机在巴黎也进行了演示。

爱迪生很多年都致力于蓄电池技术方面的改进工作。他预见到，蓄电池将颇为广泛地被用于需要自行供电的轻便电气设备、被用于电力牵

引、电动汽车以及海军部门的专用设施。碱性（铁镍）蓄电池的发明，就是紧张工作和长期寻觅的结果。这一发明，使蓄电池矿灯（其中包括固定在矿工帽子上的矿灯）得到了普遍运用。

在西奥伦治工作时期，美国的电气工业组织状况发生了根本性的变化。爱迪生的生产企业在此以前已大大地发展起来了，但电工技术的蓬勃发展不断地提出了日新月异的重大任务：需要扩大并专门生产各种电气制品；需要大规模地组织力量设计新电站，并扩大现有的电站和电网。这时，除了爱迪生公司的各个企业之外，汤姆生和胡斯顿（马萨诸塞州林恩市）、埃克梅耶尔（新泽西州扬克斯市）、威斯汀豪斯（宾夕法尼亚州匹兹堡市）等人的公司的各个企业，也都发展起来了。把这些生产组织及其工厂的活动联合起来的问题，提到日程上来了。1893年，在爱迪生、汤姆生、胡斯顿和埃克梅耶尔等人所办的企业基础上建立了一个康采恩——“通用电气公司”。爱迪生的一切生产和商业活动，以及设计的进一步改进和发展，全归属这个康采恩领导。新成立的康采恩在斯克内克塔迪市（纽约州）建立了一个主厂和一个附属于该厂的大型研究所，把许多著名的电工学家聘来参加工作，而查理·普罗蒂尤斯·施泰因梅茨（主任电工）和维利斯·维特尼（研究实验室主任）等人，在这些电工学家中占有显赫的地位。

从这时起，爱迪生直接从事电工技术方面的工作自然便大大减少了。虽然，爱迪生还继续研究某些问题，但“新电工技术”的重心移到了“通用电气公司”，而爱迪生主要研究有重大价值的工艺问题。爱迪生本人曾认为自己是化学家，但只是在19世纪末，他才有机会研究一些化学在其中占头等重要意义的问题，这里包括水泥的工艺问题，和采用大型的连续作业的焙烧炉进行大规模水泥生产的问题（1901年—1905年）。爱迪生预见到住宅建设，在最近的将来将有很大的发展。爱迪生在已经解决了大量生产廉价水泥的问题后，就研制起大规模生产浇注式水泥房屋的工艺。

在各种化学材料停止进口的第一次世界大战时期，爱迪生就着手组织在美国生产化学材料。因此，由于许多化学物品无法从德国进口所造成的困难，也就不复存在了。

爱迪生在其1916年以前的整个活动期间，详细研究了他所感到兴趣的那些问题，所以依然是一个完全独立的发明家。作为发明家的早期活动，曾需要别人资助来进行工作，他也得到了这种资助。而在1887年以后，爱迪生本人已拥有殷实的物质基础和财经基础。

1916年，爱迪生主持了“海军研究室”。这一研究室的任务是研究和拟定具有全国意义，同时又具有国防意义的问题。这是爱迪生在政府供职并完成外面所提出课题的惟一的情况。

爱迪生在其晚年，研究了橡胶植物（一种具有黄色花序的植物和其他植物）问题和人造橡胶的提炼问题。



## 六

爱迪生在西奥伦治工作时期，参加了许多次国际博览会和美国展览会。我们将要提到的是：1889年和1900年的巴黎博览会，1893年的芝加哥博览会，1904年在圣路易斯举办的博览会，1915年在旧金山举办的太平洋博览会。爱迪生在尚未同其他的组织发生联系时，就出席过1889年的博览会。在随后几届博览会上，他的主要的新发明都是由康采恩“通用电气公司”展出的。

1889年的世界博览会，标志着托·阿·爱迪生的胜利，这一点从他所获得的那些奖赏和各个国家和社团对他的态度上可以看出来。

1889年的博览会，是为纪念法国革命100周年而举办的。托·阿·爱迪生的展品，占去美国所展览的面积的三分之一。他在这里提请观众注意的那些食品和设备装置，很难一一列举出来。在爱迪生展览馆前一个台座上，屹立着一个高约13米的巨大白炽灯。所有王公大臣和所有前来巴黎参加博览会的名流，都参观了该馆，川流不息的参观者都从该馆走过。在富兰克林之后，没有任何一个美国公民像爱迪生那样在欧洲受到注意，受到尊敬。巴黎市为了纪念他而铸造了奖章。共和国总统卡诺，奖给他荣誉团骑士团长勋章；意大利国王奖给爱迪生王冠勋章，授给他和他的妻子伯爵的称号。爱迪生收到从意大利拍来的贺词中，人们是这样称呼他的：爱迪生伯爵殿下。爱迪生回到家后就声明说，他把这种荣誉当作是对他的祖国即美国尊敬的标志。法国在艾菲尔铁塔设盛宴欢迎爱迪生，这次宴会是由法国土木工程师协会举办的。该协会主席是艾菲尔。查理·法朗茨·古诺（他这时已71岁）的发言是这次宴会的最高峰。著名的作曲家谱写了一首雄壮的颂歌来纪念这一事件，他把自己亲笔写的一份，赠送给了发明家的夫人米娜·爱迪生和他的长女玛丽翁。

为欢迎爱迪生，巴黎歌剧院还专门为他演出一场戏。爱迪生和他的家眷都被邀请到法国总统的包厢里去看戏。

爱迪生不喜欢隆重的接待和仪式。他在这里不得不抑制住油然而生的反感。爱迪生用他那双敏锐的眼睛观察着他周围的一切。爱迪生就这次博览会向英国《派尔-麦尔新闻》的记者发表了自己的想法。他说：“这里使我感到特别惊讶的，就是普遍的懒惰。这里的人究竟什么时候工作呢？他们都作些什么呢？看来这里已经养成了一整套游手好闲的习性。这些拜访我的衣冠楚楚、手中拿着文明棍的工程师，他们究竟什么时候工作呢？我什么也弄不明白！……我喜欢法国人，因为他们有伟大的思想。英国人在这方面就望尘莫及了。试问，英国人中有谁能想出办法建筑艾菲尔塔或自由雕像呢？”

这位记者描述了爱迪生给他所留下的印象：“当我从艾菲尔塔附近走过时，我在塔旁看见了一个人，从脸庞看很年轻，前额平展无皱纹，头发苍白。当我看了一看他和宏伟的塔，我觉得宏伟的塔与这位智慧巨人相比，塔就显得很渺小了。”

爱迪生在巴黎巴斯德研究所受到了隆重的接待，在那里当着他的面演示了疫苗接种。

为了与魏尔纳·西门子和亥姆霍兹教授会晤，爱迪生从巴黎到了柏林。他参观了一些工厂和实验室。德国科学进步促进协会为欢迎爱迪生，

在古老的大学城海德爾貝格舉行了有 1200 人參加的盛大宴會。

1892 年，英國勳章藝術協會獎給愛迪生一枚阿爾倍提勳章，獎勵他“在電照明、電報、電話的改進上所建立的卓越功勳”。1893 年在芝加哥舉行的世界博覽會上，愛迪生展品榮膺了最高獎賞。1915 年，愛迪生（和特斯拉一起）榮膺了諾貝爾物理學獎金。第一次世界大戰後，愛迪生“因服役出色”而榮膺了軍事勳章。

美國電氣工程師學會在 1909 年製造了愛迪生金質獎章，而這種金質獎章是授給在電工技術方面立下豐功偉績的人。獎章獲得者中有伊·湯姆生，弗·斯普拉格，喬·威斯汀豪斯，奇·布拉什，阿·格·貝爾，尼·特斯拉，米·普平，羅·密利根，烏·柯立芝，阿·肯內利，威·惠特尼，埃·亞歷山德森，利·德福雷斯特等人。

愛迪生對列夫·尼古拉耶維奇·托爾斯泰，當時是懷着一種極為崇敬的心情的。愛迪生往雅斯納雅·波梁納寄去了一台經過改進的留聲機，用來錄製偉大作家的話音。從弗·格·切爾特科夫 1909 年 3 月 9 日（舊曆 22 日）給愛迪生的信中就可以看出，為托爾斯泰錄音工作，是由愛迪生在雅斯納雅·波梁納的代表們進行的，錄製得完全成功。從這封信中可以看出，列夫·尼古拉耶維奇對愛迪生也很尊敬。這次錄音場面的見證人切爾特科夫寫道：“只是為了您，托爾斯泰才克服了身體的虛弱和不適。”愛迪生曾應托爾斯泰個人的請求，幫助了因受俄國警察迫害而僑居美國的俄國工人。

1923 年，蘇聯科學院把愛迪生選為該院的國外榮譽院士。

1928 年 5 月 21 日，愛迪生榮膺美國國會頒發的刻有愛迪生名字的獎章，獎章是由財政部長梅衛頒發給他的。當時獎章頒發儀式，曾由 48 家廣播電台轉播。

1928 年，在美國召開了世界照明技術代表大會。代表大會於 9 月 4 日隆重開幕。會後代表們開始詳細了解美國照明技術——工業、研究機構和最使人感興趣的照明設備。9 月 6 日，代表們參觀了設在哈里森堡市（新澤西州）的愛迪生照明研究所。該研究所設在最先建立起來的一批電燈製造廠中的一個廠的一些廠房裡。這個研究所，現在還保存着有許多與電照明技術有關的有歷史意義的陳列品。這裡收集了近 50 年以來，即從 1870 年以來所製造的極為豐富的各种白熾燈的珍藏品。代表大會的代表們參觀完研究所後，就到西奧倫治拜訪了愛迪生。愛迪生親自歡迎代表們。他同自己最早的一個助手，“愛迪生式的發明家”約翰·利布一起帶領客人參觀了他當時的最新住處——西奧倫治，並介紹了在這裡收集並細心保存下來的大量陳列品，以及他的發明活動的寶貴紀念品。代表們還參觀了實驗室和生產工廠。給客人們留下了強烈印象的是那個總藏書量達 10 萬冊的科技圖書館。全體客人都急不可待地等候着同愛迪生交談。可是他完全喪失聽覺，那又如何進行交談呢？年輕的時候曾當過報務員的約翰·利布幫助解決了這一難題。他利用莫爾斯電碼用小錘敲擊着愛迪生的肩膀來轉達代表們提出的問題。大家都目不轉睛地注視着，愛迪生是怎樣知道了問題並馬上又理解了問題，然後這位有名氣的交談者又是怎樣微笑着用溫和爽快的聲音來回答他們的問題的。大家特別感興趣的是：發明家現在（即在 1928 年）正在緊張進行研究的東西是什麼？他最重視的是什麼？回答很簡短：“人造橡膠”。此外，愛迪生

这时正在改进有声电影，因为有声电影已经取代了无声电影。

为了庆祝爱迪生电灯问世 50 周年，1929 年曾铸造了纪念章和发行了印有爱迪生像和电灯图像的邮票。这是公众在爱迪生生前最后向他的劳动成果表示的感谢。

爱迪生一生身体健康得令人羡慕。但 1930 年他就开始生病。1931 年 8 月 1 日他就卧床不起，吃不进食物，也就不能再工作了。他当时并不了解自己的病情严重，而还是急于去工作。1931 年 10 月 18 日便与世长辞了。

### 第三章 把讯号传向远方

—

叙述托·阿·爱迪生的发明工作，应先从电讯方面，特别是要首先从电报方面的那些发明谈起。爱迪生在他做报务员工作时，直接碰到过各种不同系统的电报机装置和拍发报的手段，他的发明工作就是以改装和改进这些电报机装置和拍发手段为开端的。在美国各地的电报局里，使用着各不相同的电报机设备。爱迪生在接触众多的电报机设备的过程中，不仅弄清了电报技术中现有的各种方法和手段的细微末节，而且也懂得了应从哪个方向去改进。

爱迪生在电报学领域的工作时间，正是在 19 世纪的后半世纪。这半个世纪的时间，是国际间电报线路迅猛发展的时期。欧洲各国和北美都建立起有许多支线的电报通信网。其他国家也都在架设愈来愈多的电报线路；电报水底电缆正在把各洲联接起来。电报行业也就形成一个独立的技术部门。为了适应这一技术部门的发展，就需要建立生产电报设备的企业和大量培养专业人员。对电源、电线等性质的研究已开始进行，这就需要制定出测电的方法，创造出电量、电单位和电标准等等的体制。正是在 50 年代末和 60 年代中，电报技术有了明显的发展，并显著地影响了当时正在萌芽状态的电工技术。

人们对电报技术特别着迷的浪潮把爱迪生也卷了进去。他的两项最新发明，即投票记数机和交易所行情自动记录机，就是在 60 年代完成的。这两种机器的工作原理，都是建立在电报技术所利用的那种电磁原理基础上的。

爱迪生产生制造自动投票记数机的想法，是由于他确信通常使用的那种计算投票结果的方法是不适宜的，因为这种计算方法需要花费许多时间，会或多或少地出现一些重大误差，也不能排除一些直接伪造现象。爱迪生 1868 年 10 月 11 日递交了一份专利申请书，而专利特许证是在 1869 年 6 月 1 日发给他的，证号是 90646 号。这种装置是二重内闭塞计数机。扭动其中一个机柄就出现“赞成”，扭动另一个机柄就出现“反对”。闭塞装置是为使进入投票室的选民只能投“赞成”或投“反对”票而制造的。当另一个进来的选民扭转其中一个机柄，闭塞装置的作用就又恢复了。这种机器分为两部分，其中每一部分都有计算机件：一个标示“赞成”的票数，另一个标示“反对”的票数。记数机是由电磁继电器和齿轮系统构成。其中每一个机柄的转动都能把脉冲发送到电磁铁线圈里，于是相应部分的记数机就转动一度。

这个机器被一位国会议员拒绝使用，而且后来也没有被美国专利局推荐使用。但年轻的发明家的想法是正确的，他的机器的结构也是完全合理的。值得注意的是，在美国早就不用选票进行投票，而是用原先不幸未被采用的爱迪生发明的电子机器来进行投票。

第二个机器是交易所行情自动记录机，它以“万能印刷机”的名称取得了专利权；申请书是 1869 年递交的，专利特许证是第 123005 号。爱迪生研究这一机器，是在他协同弗兰克利翁·列奥纳尔德·鲍普在纽约建立一个以进行电报方面的发明和咨询工作为目的的电工局时进行

的。交易所行情自动记录机，是一种能自动记录的电报机件，它能自动把通过电报拍来的行情打印到纸带上，然后立即把从交易所得到的行情转告交易的生意人和各银行。

爱迪生的交易所行情自动记录机，要比在此之前就有的装置（如劳斯机）更为完善。爱迪生把这一发明以 4 万美元的价格，卖给了“黄金股票电讯公司”。这一机器在美国交易所生意人的事务所里被长期使用。爱迪生和鲍普组织了这一机器的生产、出售和安装，以及对机器运转的监护。爱迪生在随后的一些年里，又继续改进这一机器。例如，他在 1872 年—1873 年间，就获得了与这一机器有关的 63 份专利特许证。虽然其中某些专利只是对机器个别零件作了改进，但都是有助于进一步扩大机器的实际用途。出卖这一发明所得的款项，使爱迪生第一次有可能就他自己感兴趣的某些问题进行试验。

但是，这两项发明并不都直接与通常的电报实际运用有关，而是涉及电报结构的两种专利场合的应用。与此同时，一些新的课题已出现在当时（即 70 年代初）的电报学面前。电报新线路的架设速度和悬挂附加电线的速度，已落后于对电报交换量需求的迅速增长。此外，电报线的价格也很昂贵。因此，向能保持最高效率拍发的熟练报务员支付高薪是划得来的。所以，电报公司就把那些曾经常由一个公司转到另一个公司而成为“流浪报务员”的高效率报务员招聘到自己公司来。在电报技术方面获得精湛技艺的爱迪生，也没有例外。他在电报局工作的经常调动，迫使他注意到电报传送的复用问题，也注意到提高电报通信系统的效率。

## 二

电报传送自动化是提高电报通信系统效率的方法之一。当时所理解的自动传送电报，仅仅是指电报线拍发信号的过程本身。电报线路拍发信号的方法要求用一种特种装置（打孔机）把全部组合好的电码转到纸带上，随之借助用手用常速运转的发报机（发射机），把信号从预先打好孔的纸带上拍发出去。在线路的另一端，在收报机上把被拍来的信号记录到纸带上或在纸带上打上孔，而电码译成电文的过程是在电路之外进行了。所以实际上，在这些系统中只有拍发过程是自动化了。在爱迪生着手研究电报收发的复用问题之前，就有人提出过几个自动化电报系统，其中惠斯通系统早就从 1858 年开始使用，并被许多国家所采用。

爱迪生没有发明自己的自动电报系统，而是试图改进在英国得到推广的利特尔自动电报机系统。这一系统的主要特征如下：利用机器把电文转到总纸带上，而在纸带上不是用的“·”和“—”，而是用按一定程式列好的孔洞。这一工序完全不加重线路负荷。然后纸带以大大超过手工拍发电报的速度经过发报机传入线路。在接收端的接收机里就获得了同样长的纸带，在该带上有按照莫尔斯电码用化学方法记录下来的电文。电码译成电文是不通过线路的。

1871 年，年轻的铁路工程师爱德华·约翰逊给爱迪生带来了这种电报机的样机。约翰逊与打算在美国铁路电报局推广这一装置的财团有密切联系。约翰逊认为，这一装置系统的性能不能令人满意，需要加以改

进。它的最主要缺点是，它只是在短距离的线路中才有令人满意的效果，而在长途线路中，如在 200~300 里远的线路中就不适用了。约翰逊本人没有能力胜任这项改进工作，有人建议他去找爱迪生，因为当时人们就已认为爱迪生是电报行家，别看他这时才 24 岁。

爱迪生开始在宾夕法尼亚铁路试验利特尔系统。原先预料，用这一系统拍发电报应当比用莫尔斯系统拍发得快，因为利特尔系统是在莫尔斯电码基础上发展起来的。但实际上却没有搞成。利特尔系统需要“治疗”，以便能真正适合于运用。静电干扰对这一系统起了不良作用。通过实践，爱迪生认为：利特尔系统能成为相当好的自动电报系统的基础。

爱迪生给约翰逊的答复，增强了财阀们对这一事业的兴趣，他们建立了一个股份公司“自动电报公司”，与爱迪生在 1871 年 4 月 24 日签订了一份关于改进利特尔系统的协定。这一工作全由生意人把持，他们的主要目的不是要促进电报技术的进步，而是为了尽可能用各种方法来战胜竞争者。爱迪生接受预付的 4 万美元后，就邀同焦泽夫·默里在纽瓦克开办了一座试验和生产电报机的工厂，约翰逊也被吸收来参加这项工作。后来，约翰逊同爱迪生的关系更加密切，并作为他的助手同他一起工作了 20 多年。

爱迪生把 1871 年秋季的大部分时间，都用于研究自动电报机。自动发报机工作效率很高。但在另一端接收工作受到了静电干扰。爱迪生为消除这一缺点而细心地试收了几次，并发现在收报机电路中利用带有软铁心的自感线圈，就会显著地改进该系统的远距离工作效率。自感现象会引起电流方向在每次脉冲之后发生瞬息变化，所以随之而来的每个脉冲就会传送得更快，而且也能与前面的脉冲一个一个完全清晰地分隔开来。此外，爱迪生还改进了接收器的针，用这种针去工作，电码里就不会有中断处或污点。

1872 年，该装置在纽约至费拉德尔菲亚的线路上进行了试验。它的效率达到了每分钟传送 1000 个词（用莫尔斯电码信号）。爱迪生在收报机上采用了高质量的（浸透铁盐溶液的）纸带，并对打孔机进行了某些改进。1872 年 8 月 16 日，爱迪生递交了对利特尔自动电报系统进行各种改进和变动的专利特许证申请书。

在接近 1873 年冬季时，这一工作就获得了圆满成功。成果要比所预料的更加可观。最新型号的电报机器能够用一种宛如打字机的装置来进行打孔。在接收端，接收到的电文不是以孔洞显示出来，而是以打印形式显示出来。

爱迪生希望把经过他改进的自动电报机系统提供给英国。他为此目的而前往伦敦。但此行并没有如愿以偿。他的这种电报机系统在伦敦没有被采用，后来只是在英国得到了某些应用。

### 三

爱迪生在把自动电报机改制成功后，也就把注意力转到了能提高电报电路的通报能力的其他一些条件的研究上。这些条件一方面是能多路通报，另一方面是有能反向同时拍发的系统。多路通报是：在把一个以上的发报机接到一根电线上后，可以利用一些发报机传送信号的间歇来

传送另一些发报机的信号。法国发明家博多在这方面获得了卓越成就，他曾研制出了五位制电码，并在 1876 年使用了五路机。爱迪生在这方面没有研究。他致力于双工通报并制定了“复式双工”即“四工制”，因为用复式双工即四工可以在同一根电线上双方向同时能各拍发两封电报。

在所有的双工线路图中，基本原理是要设计出一种对自己的发报机工作不起反应，而只能接收从另一个发报机拍发来的信号的装置。

爱迪生所提出的双工通报，具有惠斯通电桥的“桥”式线路。这种惠斯通电桥功效颇高，带有选配得很适当的平衡电阻，所以每个电报局接通在电桥内部支路的收报机本身，对来自本局的发报机的电流不起反应，而只对另一个电报局传来的电流有反应。线路两端的线路完全相同，都配置了很出色的装置。

爱迪生像兹·亚·斯洛尼姆斯基一样，运用了四工通报接收法。这种接收法是用两种不同方法，把简单的或单工的发报组合起来。这种组合使发报能在同一根电线上同时进行，而相互间又不干扰。其中一种方法就是两种电流法，即电池组恒久地接到发报台的线上，而在不断路的情况下，电流的方向就会在每一信号开始和终结时发生变化。极化了的接收继电器，是一个没有调整弹簧的衔铁，其作用只取决于线路中的极性转换，而不取决于电流强度。另一种方法即单一电流法，即发报是通过降低或增加电流强度来实现的，而收报是靠带有拉簧衔铁的非极化继电器进行的，这一系统的作用，只取决于电流强度，所以电流方向也就没有什么意义了。

同时把这两种方法（即电流方向的改变和电流强度的变化）都用上，并且把它与逆向的双工通报接收法结合起来，就可以在一根电线上安装四部电报机，即线路的每一端各安装两部电报机。

尽管第一个完全实用的四工线路图是兹·亚·斯洛尼姆斯基早在 1858 年就已经提了出来，而采用爱迪生 1874 年获得了专利权的桥接线路图中的四工方法，只是在 16 年后才开始。但正如随后的实践所证明的那样，桥接线路图并不是最好的线路图；曾付出了大量劳动加以改进的差动型线路图才是最好的。但爱迪生在这方面的研究工作颇大地促进了对四工通报的研究工作的展开，推动了这方面的设计工作，毫无疑问，这一点对于电报技术的进步也是很重要的。

爱迪生的线路图，是把四工通报线路图付诸实施的第一份线路图。爱迪生在这方面的研究工作，是他在电报技术方面进行的最重要的工作。但他在电报技术方面所获得的成就，不只限于这一系统。1881 年 12 月 6 日，爱迪生（和帕特里克·凯南一起）进行了“电报传真”专利申请。1892 年 7 月 19 日才发给他专利特许证，专利特许证的号码是第 47183 号。在这项发明的专利的说明中指出，传真的发送是在改变发报装置中的电流强度的基础上，通过在纸上或其他材料上的亲笔字迹笔画的变化来实现的。

#### 四

爱迪生的电动记录机，是一种使电报系统不用继电器而工作的尝试。因为继电器是电路中一种变幻莫测的因素，它常常给人造成许多麻

烦。爱迪生于 1874 年 8 月 13 日进行了该项发明权的申请，而在 1875 年 1 月才得到了专利特许证（号码为第 158787 号）。对某些盐溶液在电流的影响下改变其性质的现象所进行的观察，使爱迪生得以制造出电动记录机来。例如，如果使位于连接电池组负极的接点处的铅尖或铂尖摩擦放到连接电池组正极的金属上的那张浸透了氢氧化钾溶液的纸面，那么纸和金属间的摩擦与否就将取决于电流是否通过。在电流通过时摩擦就会停止，而金属在纸上就像在镜子上一样滑行，一直到电流中断为止；当没有电流通过时，摩擦力就很大。

这种效应能在微弱的电流作用下可观察到。这种交替产生的摩擦和滑动，都可以使某个机件严格按照发报机中产生的电流的中断情况而移动。爱迪生在电动记录机中利用的正是这一性能。这一装置可以作为电报的收报机，可以用莫尔斯电码把信号从线路的这一端转发到另一端。该装置所接收到的信号可以用墨水记到纸带上，或能用声码器收听。该装置在进行某些改装后，还可以被用来进行通话：这种情况下，它就叫做“接收记录机”。

## 五

爱迪生在拟定电报机线路图各种系统和研究其特性的过程中，当然知道，线路本身在经济上和使用上会造成多少困难。他总是关心彼此间没有联结的电路的相互感应作用所产生的远距离效应问题。当他在四工电报方面已经付出很多心血之后又过了很久，于 1875 年开始研究起这一问题。而对爱迪生能解决这一问题，从逻辑上说也是可以理解的。既然四工电报可以利用单线线路进行通报，颇为经济，那么能找出一种实地运用无线通报的方法，就会具有更巨大的社会意义。爱迪生在 80 年代和 90 年代不止一次地反复采用各种方法来解决这一问题。早在 1875 年他就预言，将来就不用电线这种“累赘”来通信息了。80 年代，在英国普里斯在这方面做了大量的试验；而在美国哈佛大学的约翰·特罗布里奇和爱迪生也都在这方面做了大量试验。与爱迪生关系最密切的人中，有一个叫埃兹拉·吉利兰，曾在纽约爱迪生的机器制造厂里进行试验。

任务开始是根据国家的实际需要的范围提出来的。当时列车在其连续多天的运行中所行驶的线路从东到西贯穿了整个国家，通过了尚未充分开垦、人烟稀少而甚至是某些半沙漠的地方，所以特别迫切的任务，是使正在运行的列车同整个铁路线建立联系。为了实现这一点，曾提出要架设一条专门电报线路，线路要架设在与铁路平行的电杆上，高度要有车厢那么高，提出要在一节或几节车厢顶上敷设一个彻底与收报机和线圈绕组连接在一起的绝缘金属带；通过车轮和钢轨来接地。发报机电路是由电池组、电键、蜂音器和收发转换开关组成。这些装置都安装在各个车站。车厢顶上的金属带和电报线路间的距离是 30 ~ 50 英尺，信号的传递是靠相互感应作用跳过这个距离的。脉冲是按莫尔斯电码长短不同的音乐般的蜂音传发的。这种电报机由于经常在接收消息时伴有“蜗蜗”的杂音而叫做“蜗蜗电报机”。

1885 年 11 月 26 日，爱迪生递交了两份登记这一电报机系统的申请，而后来也发给了两份专利特许证：1892 年 11 月 22 日发给的专利特许证



号码是第 486634 号；1891 年 12 月 29 日发给的专利特许证号码是第 465971 号。

值得指出的是，爱迪生是最早指出向上引出的极板的优点的人之一。例如，专利特许证中指出：“我发明了一种新的和有效地用向上引出极板或装置以改进电力传送信号的方法。我发现，如果安装的高度能足以克服地面曲率并把地面吸收缩小到最少最低限度，那么相距很远的两个地点间就是没有电线，也能通过感应来收发电报或信号。这项发明可以用于在没有敷设水底电缆的水域上通报，或用于大海上的船只相互进行联络，或用于正在航行的船只和各沿岸点间相互进行联络。这项发明也可以被用于地面上相距很远的地点间的相互联系，但是为此就必须提高安装高度，以便把建筑物、树和地面本身的凸出地段对感应的吸收效应缩小到最低限度。在海拔 100 英尺的海面上，我能够建立远距离联系，所以如果现有的桅杆能达到这样的高度的话，那么两个海船间就可以保持远距离联系，而利用中间船只来转发就可以进行穿过海洋的远距离联系。”这项发明于 1904 年被马尔科尼公司买去了，看来是为了掌握住使用这一系统的权利，因为这一系统在无线电发展的初期能与无线电报进行竞争。但马尔科尼公司从来也没有实际采用这一系统。爱迪生和吉利兰试验了这一系统，而且试验成功了。

爱迪生在静电基础上详细研究了传送远达 3 英里的这种系统的变体：在门罗园，这样“空间电报”有效距离是 580 英尺。这一系统的变体是由起电盘和感应线圈向固定在桅杆尖上的金属板放电的装置组成。这一金属板的静电荷可以使距离很远的桅杆上出现同样的电荷，因此受话器里就收听到“咔嚓咔嚓”的声音。许多年后，爱迪生感到惊讶的是，他当时怎么很少注意自己这一个不用电线传送电报的系统，尽管这个系统当时已是靠电波来传递电报的无线电的鼻祖了。但如从对爱迪生系统的描述中看到的那样，该系统是通过感应进行工作的，而不是应用电波进行工作的。

## 六

除了在电报技术方面的研究工作外，爱迪生还对电话作了许多试验和研究。他在这方面的研究也获得了巨大成就。电话技术采用了爱迪生所亲自研制成功的炭精送话器，这是爱迪生为把电话改进成为通话清晰的通讯装置而顽强寻找的圆满结果。托·阿·爱迪生对电话技术作了大量研究，而这些研究的过程对我们是大有教益的。

爱迪生在对四工通报加紧研究时期，就已对用电通过电线传送声音的问题感兴趣。他在这方面研究的最初目的，是要采用有声的电报传送。当时还没有提出远距离传送语句清晰的说话声或音乐的任务。数量有限的声音的组合，当时已能保证用莫尔斯电码进行信号的远距离传送；甚至这一原理也可能帮助找到一些同时进行多种收发报的新方法。爱迪生根据当时电报技术所已具备的条件，在 1875 年初就设计出了“音叉电报”。据爱迪生说，这一系统工作性能很好。传送一个“点”，就要接连响两声，而传送一个“划”，就要中间稍有停顿地响两声。在使用两个独立音叉（即一个用来发出“点”的信号，另一个用来发出“划”的

信号)时,就会得到更好的效果,在这种情况下,音叉就应当在音调的高低方面有所不同。

在这一系统中,就可以清楚地看到磁性电话接收机(电话当时还未发明)的工作原理。在1875年,“西部联合电话电报公司”总裁威廉·奥顿要爱迪生注意德国发明家菲利普·赖斯的研究工作,因为赖斯的电话在1862年就得到详细描述,换句话说,提出了用电方法进行声音的远距离传送问题。

赖斯电话在当时引起了许多争论:它是否能用于传送语句清晰的说话声呢?毋庸置疑,它还不能实现这种职能;然而作为赖斯装置基础的原理使人很感兴趣,并在后来电话的设计中得到了应用。赖斯没有使自己已经改进的电话达到远距离传送清晰语句的目的,但却为电话技术奠定了基础。爱迪生在1875年末开始研究远距离传送人的说话声问题,认为这种电力通讯方法具有重要的独创意义,除此以外,它也能在电报技术已获得牢固地位的某些方面被采用。

爱迪生自己就在1879年以前进行的电话技术方面的各项研究工作情况,写了一份综合报告。发表在普列斯考特的关于电报术的产生和发展的专题著作中。爱迪生就由试图用声音传递电报的研究直接走向制造远距离传送言语和音乐的装置系统的研究工作。

爱迪生在初次试图制造会讲话的电话机时,就利用了赖斯的送话器和他本人以前所使用过的一种谐振接收机。其主要目的是传送清晰的言语,为此,就要使赖斯系统变得更加灵敏,而首先是应当提高送话器的灵敏度。换言之,应当把那种在声振动影响下发生明显变化的电阻,接入电话的送话器的电路中。所以爱迪生开始试验,怎样可以提高接入的电阻的灵敏度,例如在赖斯送话器中,在薄膜上的针尖和铂片间放上几滴水能否起作用。开始时彻底失败了:水被分解了,电路中的电阻因受声音振动的作用所发生的不但没有加大,反而更坏了,造成严重失真。当在针尖上套上一个小环,而又在针尖和小环中间的薄膜上放一滴水和浸透各种溶液的海绵,以及纸或毡的时候,也没有获得良好结果。

爱迪生早在1873年就制成了一种变阻器,它是利用筒里装的一些在受到压缩时便要改变其阻抗的粉状炭、石墨和其他一些材料的属性制成。所以爱迪生在1876年初,对电话的送话器的试验中就已开始注意研究固体物质了。爱迪生在第一次使用石墨和阿肯色河的白石头制成的薄膜时清晰地传送了几句话。但就是在这次试验中,也没有取得完全满意的效果。非金属导体的电阻,在膜片振动影响下所发生的变化还不够大。爱迪生进行了重要的改进:他把这一电阻接入到感应线圈的原绕组中去。这时,副绕组就显出往线路中传送的电流强度振动特别明显的现象。由此,送话器的灵敏度和接收的音量都提高了,接收距离也增大了。爱迪生利用从煤油燃烧时得到的灯烟(经过压制)作材料,制成送话器中的炭质电阻。

与爱迪生同时研究改进电话机的还有已获得真正成就的其他许多发明家和科学家。在这里应当提及埃·别尔利维尔的研究工作,因为他也制造了一个改善了电话传送的炭精送话器。这种送话器是利用各接触点不严的电阻变化原理来工作的。爱迪生在自己的试验工作中没有应用这一原理。

## 七

爱迪生对电话所进行的研究工作是很繁重的，花费了许多时间和钱财。我们已经说过，爱迪生为了试验曾制造出各种各样的送话器。但他并没有局限于只研究送话器；他试验了许多种以运用电磁原理工作的电话机，或者说他使电磁电话机有了完全新颖的别具匠心的结构。这里扼要地对原理上各不相同的各种类型的电话作一些说明。

可以把爱迪生的某些类型的电话，通称为“短闭合式电话”或“断开式电话”。在这些电话机中，膜片一振动就把一部分与其振幅成正比的电阻从电路中切断。在其他类型中，强阻抗的细线被绕在圆筒表面上的呈螺旋状的沟纹里，并被接入感应线圈的原电路。这根线上装有一个弹簧，而这个弹簧在膜片的影响下可以把大量或少量线匝引入电路，这样就使电阻发生了变化。膜片的振动能使螺旋形弹簧的线匝移近和移远，而因此也就使大量或少量细线的最边上的绕匝完全接触，这就使细绕线的电阻发生与膜片振幅相一致的变化。

爱迪生制造了电容式电话机。电容式电话机中利用的不是电流强度在电路中的变化，而是利用在声的作用下两薄片间距离的变化所引起的电容容量的变化。他获得专利特许证的有：静电式电话机，机电式电话机，液体电阻电话机，带有由于膜片振动其内阻和极化在不断变化的伏特电堆电话机。

爱迪生在改进电话方面所付出的劳动是巨大的。获得了 1876 年电话专利特许证的阿·格·贝尔的研究工作是完全不能与爱迪生相比拟的。没有其他一些发明家（其中也包括爱迪生）所作的改进，电话就不会得到广泛普及，而且也就不会成为简单、廉价和方便的通信手段。

## 第四章 留住声音 留住身影

1889年世界博览会上，在大量很出色的展品中有一件东西引起观众的特别注意。在机器陈列馆里，即在电机和电器馆里，在摆放于专门台子上的爱迪生的另一些发明中间，陈列着几个由红木做成的箱子，里面放着复杂而又特别精巧的机器，并且从机器中伸出一根根长橡皮管。每一根管子的另一端都分出五六根直径更小的管子。每一根更小的管子又都照样分成两个短而且更细小的管子，该管子末端是一个由用鲸须制成的头。博览会的参观者们在这些展品台子前排成了长队。每次可让6个人同时参观这一机器。参观者把管头放进耳朵里。听这一机器的播送；播送的声音极其逼真和清晰，就像真人在说话一样。因此有些听众就产生了怀疑：这是不是在欺骗那些极易轻信稀奇古怪事情的幼稚人呢？有些机器播送的不是说话声，而是音乐。人们可以在留声机里听交响乐队的演奏和某些乐器的演奏，以及歌唱家的歌声。博览会的介绍材料和图文并茂的《展览会指南》中写道：从爱迪生留声机听到的说话声和音乐声的录音，是在博览会开幕前不久才录制成的，而且这种录音可以长时间（究竟多长，不一定）保存下来，直到录音辊子的材料毁掉为止。

早在1877年爱迪生就获得了这一发明的专利权。但是改进这种机器需要许多年顽强劳动，以消除它所存在的许多缺点，让它在实际生活中得到利用。在1889年世界博览会之前，该机器就已完全符合发明者本人所指出的那些要求，可以演示给广大公众。但当时演示的这一机器，也还不是十全十美的。在随后的四十年中，爱迪生没有停止过对留声机的改进，以及把它用于实际生活的研究工作。直到1929年他才宣称，他将不再对留声机的改进进行研究，并且要把这一机器的生产停下来。

爱迪生对自己的这项发明极其热爱，并把它称之为“最心爱的东西”。爱迪生对1877年来到门罗园的报社记者说：“我发明了许多机器，但这个机器（他把手轻轻放在留声机上以表示他的爱抚心情）是我的最后一个孩子。我相信，它会成长起来，并成为我在晚年的依靠。”“最后一个孩子”这就意味着是当时一项最好的发明。

—

寻求正确的录音方法和清晰的放音方法，已不是新鲜事了。在爱迪生之前，没有人提出任何一个适用的解决办法。然而在这一问题的解决过程中，有人已经取得了某些成就。例如在1857年来自马尔坚维利的法国印刷工人列翁·斯科特，制造了他所称之为“声波自动记录仪”的仪器，用这种声波自动记录仪就可以录音。

斯科特并没有试图解决另一个任务，即怎样把已录下的音的振动再放出来。大概在斯科特之后又过了20年，另一个法国人查理·格罗在这方面有了一点进展，发明了能录放音的“古声”。这些事实都属于留声机出现前的历史。

爱迪生原没有给自己提出这样一个专门任务：制造会讲话的机器。他是在进行有线通信工作时做了许多观察之后才产生了这个想法。爱迪生是从哪里开始研究留声机的？许多年来这些研究工作是怎样开展起来

的呢？他又是怎样不断改进这一机器的呢？

1877年，爱迪生制造了炭精送话器。这一发明使他得到了一大笔钱和独立地位。这时他已在门罗园工作，并已有能力对自己选定的项目进行试验。电话学问题使他很感兴趣，而且他认为，如果能把由电话传送的话记录下来，那么电话的作用就会不可估量地得到提高。在这种情况下，电话甚至比电报的优点还要多一些。

任务是要找到录音和放音的方法。爱迪生已着手进行试验，但他的双耳全聋，使他的试验困难重重。应设法使试验者的耳聋在试验时并不妨碍他的试验。当时爱迪生想出了下面一种巧妙的方法：他把一根短针固定在接收机的膜片上，而只要膜片振动，这根短针就会移动。如果把手指放到针尖附近，那么所感到了的针的压力，而有时甚至是针的刺扎力，就能成为判断信号传送的准确依据。这些试验使爱迪生得出了一个完全合乎逻辑的结论：针既然可以作用于手指，它也就可以作用于纸带，而且纸带上也会留有录下的话的痕迹。

实验室的记事簿上，在1887年7月18日那一天，记下了开始对蜡纸进行试验的情况。后来，爱迪生用裹着锡箔的圆筒来代替蜡纸。在第一台留声机里，针随同膜片的振动而上下运动；因此，音槽是由凸部和凹处组成。这种录音具有可逆性的特性，即声音可以重放。1877年12月24日，爱迪生呈递了留声机专利申请书，1878年2月19日获得了留声机专利特许证，号码是第200521号。

## 二

在留声机的发明史中，托·阿·爱迪生还有一项研究工作是起了作用的。爱迪生于1877年2月3日提出了“改进自动电报机”的专利申请，并获得了专利特许证，号码是第213554号。这一发明的实质如下：可以按莫尔斯电码把“点”和“线”刻画到放在旋转圆盘的纸盘上；这样由于杆臂的尖随同电报机接收继电器的衔铁一起移动就制出了很小的齿状螺线纹痕。如果随后把该纸盘放到有触尖的同样的机器中，那么用这些小齿状螺线纹痕就可以制出能自动传往其他线路的电码。因此，在这里就实现了把组合好的电脉冲灌到片子上去的过程，而电脉冲的再现就保证了电报的自动转发。

1877年夏季，爱迪生在研究留声机的过程中制造了“声动机”，这是一个很有趣的玩具。爱迪生把钢针固定在送话器膜片上用来确定振幅，因为钢针的振动能够产生出某种功能。在爱迪生为其女儿制造的这一玩具中，只要对着口承说话，膜片的振动力就传送到一个小轮子上，该轮通过一条小带子带动一个小玩具——锯木工人。在1889年博览会上，爱迪生展出了“声动机”（“声音发动机”或“声动马达”）。

同时爱迪生又产生了一种制造电话增音器的想法，这样就能扩大会讲话机器的应用范围。

当爱迪生转而对机器进行定型设计的时候，他就选择了带有螺旋形槽纹的圆筒表面作录音之用。这样的圆筒（辘子）裹上了能显出膜片运动痕迹的锡箔。由爱迪生的助手约翰·克留济所制作的第一个留声机，是在1877年12月6日制造成的。很快，留声机样机就被送到了《科学

的美国》杂志编辑部。最初的一些留声机制作还很粗糙，曾引起人们对它的效用产生怀疑。但爱迪生决心设法改进这一装置，他对演示采取了种种措施并不断地对留声机进行研究。他建立了一个“爱迪生留声机公司”，并于1878年1月举办了留声机展览会。1878年4月18日，爱迪生在华盛顿国家科学院会议上演示了留声机，而后来又演示给海斯总统和著名的美国物理学家约翰·亨利看。在美国，人们到处谈论起留声机来。为了使留声机得到普及，爱迪生于1878年5月6日在《北美评论》上发表了一篇文章，文章中列出了可以使用这一机器的各种场合：

1. 不用速记就可以把口授的东西记下来。
2. 为丧失视力的人即天生盲人出版留声机“书”。
3. 研究演讲人的技巧。
4. 播放音乐。
5. 录制家庭成员的演说、回忆录和亲人的说话声等。
6. 制成音乐匣子和玩具。
7. 制出能发出清晰的言语信号的会讲话的时钟。
8. 正确地播放外国语的语音。
9. 用于教学目的：重复教师的讲解等。
10. 与电话机相接：在被传呼的用户未到时记下传来的话，用于转发或其他联络任务。

的确，留声机的潜力很大，用途是多种多样的。各方面的专家都可以把上面的使用场合加以扩大。安东·鲁宾施坦赞许地评论了留声机，他认为，音乐作品的演唱者应广泛利用留声机，要经常听听录到留声机辘子上的自己的演唱，因为任何一个发音不正确的音调，任何一个声音的走调，都躲不过这些辘子而被录下来。

留声机也在欧洲引起人们很大的兴趣。威廉·普里斯在1878年1月演示了留声机模型，并在伦敦皇家学院作了关于留声机的报告；弗利明格·詹金教授，根据记述制作了一个留声机模型，并在爱丁堡作了关于留声机的报告。在1878年巴黎博览会上，演示了这一尚未完全定型的机器。

1878年上半年，曾试验了各种结构略有不同的留声机。进行了用螺纹槽唱片代替辘子的试验，因为把箔放到平面上要比放到圆筒形辘子上容易。但这时也发现，圆盘中心部位失真严重，以致不得不放弃这种想法。无论是在录音还是在放音的情况下，都不可能用手使辘子以固定不变的角度和速度进行转动，所以就设计出有一个有弹性发条的装置。

爱迪生1878年在巴黎期间，在科学院作了关于留声机的报告，虽然这个科学院一度对自己国家的科学家斯科特和格罗在录音机方面的发明并不感兴趣。留声机也在其他许多国家进行了演示。但在1878年博览会之后，电照明吸引住了爱迪生，他就没有花太多精力对留声机作进一步改进。应当承认，当时的留声机还有重大缺点。例如放出的说话声带有鼻音，“0”这个音发得也不清楚。话语是完全能听辨出来的，但噪音的音色有些失真。如果重复使用锡录音片，那么放的音色就会愈来愈糟。还有其他一些缺点，而这些缺点是与用摇把相联系的，即在用手来操作

摇把的情况下无论是在录音时，还是在放音时都不可能使圆筒作匀速转动。

在 1881 年巴黎电气博览会上，爱迪生的留声机并没有使人们特别感兴趣。电照明方面的研究工作也吸引住了爱迪生，因此他有几年没有去研究如何改进留声机。在随后的一些年月里，他曾先后花费了近 300 万美元来进行试验，最后才成功地制造出一种机器，它能录制和播送整套逼真的乐队演奏的交响乐。

### 三

在改进留声机的过程中（到 1888 年为止），爱迪生得出的结论是，就录音的过程来说，锡箔录音片不完全适用。他就开始用蜡作试验，而他曾提出要把这种蜡涂到辘子面上。他找到了使录音不失真的各种蜡的配方；但用这种东西录音是很贵的，而且蜡层也容易破碎。试验了具有相当硬度而又不破碎的硬质蜡；这些试验得出了可喜的结果，但还是未能获得圆满成功。

爱迪生在改进留声机的工作中所碰到的困难使他很懊恼，但并没有削弱他对最终要获得成功的信心。爱迪生在 1887 年 11 月 6 日的《纽约世界报》上，报道了他当时已经设计出来的留声机。

机器重约 100 英镑，并且价钱很贵。除了拥有专门知识的人外，任何人都不能从这个机器中得到一点好处。钢针尖在锡箔上所留下的痕迹不能保持很长时间。对我什么时候能看到留声机在经过改进后能很好地录音，然后能清晰地放出来一事，我不抱很大希望。但我确信，如果这一点我办不到的话，那么后代肯定办得到。我确信，我已播下了种子，所以我本人才停止了对留声机的研究。我现在正研究着电照明。

但过了一年半之后，即在 1889 年 4 月 27 日，爱迪生在巴黎美术学院演示了面目一新的留声机，有著名作曲家查理·古诺、詹森教授、奥马利斯基公爵等人参加的委员会，在那里试验了这一机器。爱迪生是怎样在那么短的期间解决了他认为可能将要由后代来解决的如此困难的任務呢？

这些年中曾发生了以下事件。在华盛顿的阿·格·贝尔的实验室里有两名工作人员奇切斯特·贝尔和查理·泰恩特，从 1881 年开始研究改进留声机。他们于 1885 年 6 月 27 日递交了名为“录声机”的会讲话机器的专利申请书。他们用各种蜡，其中包括普通的蜂房蜂蜡和由蜡棕树（一种生长在北巴西的植物）叶子炼制成的硬质蜡的混合物，来代替录音痕迹不坚实而且经常损坏的锡箔。此种树叶的表面上分泌出的棕蜡呈浅灰色干粉状。蜡的混合物被涂在圆筒上，再在车床上仔细地把表面车平。唱针就像在爱迪生机器中那样沿着音槽上下垂直移动，但要深入到蜡的音槽里面，并在那里刻画出痕迹。爱迪生机器中的钢针安装得无伸缩性，而在贝尔和泰恩特的录声机中钢针却能“浮动”，不会刮掉材料。

1886 年 5 月，贝尔和泰恩特获得了录声机专利特许证；他们装配了

电动机使圆筒以固定速度转动，这就比爱迪生的手摇留声机更加合理。这两位发明家完全承认会讲话机器的发明优先权属于爱迪生，并认为自己的研究只是改进了留声机和发展了爱迪生的想法。他们找爱迪生，提出要把全部研究转交给他，并商定要共同把这一发明交由商业市场出售：尽管这种录声机还很粗糙，但它发音要比锡箔留声机好。他们甚至同意这一机器可以不叫“录声机”的名字。但爱迪生坚决反对这一建议，因为他认为，除了固定唱针的方法不同外，贝尔和泰恩特的研究中没有什么新东西，并拒绝了进行任何洽谈。所以他们于 1887 年就把自己的专利权卖给了生产办公口授装置而建立的“美国留声机公司”。这个公司在伦敦开办了欧洲代办处。爱迪生电告自己驻伦敦的全权代表古罗，要他不要与贝尔和泰恩特代办处的代表打任何交道。

然而，同贝尔和泰恩特达成协议对于爱迪生来说是会有益的：协议会消除专利权的讼争，并可以马上在几个方面改进留声机。但爱迪生不肯做任何让步，并声明说，他将不把专利权讼争诉诸各级法院，他不需要这样干，因为他只要创造出更加完善的会讲话机器就可以把对手“置于死地”。由于爱迪生在试验工厂里所进行的两年顽强的劳动，制造出了十分完善的留声机类型。这无疑是一个重大成就。美术学院专家詹森教授指出说，爱迪生的留声机“解决了一个只有人类智慧才能提出的最困难的任务”。

在爱迪生研究留声机这一重要阶段中，他到底创造了哪些新东西呢？爱迪生在以下几个方面进行了研究：首先改进录音本身，这一点在有了用比锡箔更适合的材料来制作辘子的条件下才会得以实现，然后又为广大消费者详细拟定了大量复制所录下的音的工艺规程和录音再放的过程。当时，规定出发展经售留声机这一商业活动的方法，也是很重要的。

爱迪生在其 1878 年的第一份专利特许证中列举制造辘子的各种材料时，谈到了蜡的混合物。爱迪生在化学家艾尔斯活思的帮助下制出一种混合剂，并把这种混合剂往圆筒上涂上一层（厚 6~7 毫米）。在这种情况下，音槽就能分布得更密集。录音工具制造得很硬，这样就在音槽里留下了凸凹不平的痕迹。改进后的唱针装置（浮动针），也变得可以伸缩自如了。同时，音槽中的录音深度不超过 0.025 毫米，刮去薄薄一层就可以进行新的录音，一个辘子就能多次使用。

关于录音的复制问题长期未能得到解决，因为蜡层不导电，所以不能用伽伐尼方法由阴模来制作转录本。只是在许多年之后，在爱迪生的实验室里研究出一种在真空中把金属膜片沉入到蜡上去的方法。由于在旋转阴膜的那个没有空气的空间里放出了高压电，金属分子便气化，并以均匀的薄膜形式下沉至旋转着的阴模上。在这一导电性能良好的薄膜上，已经可以用电镀方法使任何其他金属附着于其上。把蜡去掉后，就留下硬的底版印痕，而用这个底版就可以制出任何数量的留声片来。

爱迪生改用电动机来带动留声机圆筒旋转。为了使这种旋转速度能达到最均匀的程度，在电动机和涂蜡圆筒的轴上，安装了一个离心式调节器。爱迪生所消除的缺点有：在录音时钢针摩擦所产生的叮叮声；一些音槽不当的变形；唱针的容易磨钝；电动机工作时所产生的嗡嗡声。他消除了涂蜡圆筒上的刨屑的有害作用。到 1888 年末，爱迪生把留声机



改进得相当完善了。

爱迪生在伦敦的全权代表古罗，在水晶宫举办的博览会上展出了经过改进的留声机机样。古罗在博览会上，乘机把某些著名活动家的发言记录下来。威廉·尤瓦特·格莱斯顿，丁尼生和罗伯特·布朗宁的声音也被录制下来。爱迪生的工作很积极的全权代表，在德国向威廉二世演示了留声机；俾斯麦允许把他的简短发言录制到辘子上。这种留声机也在 1889 年的巴黎博览会上进行了展出，而且表明其性能良好。

#### 四

1889 年的博览会对留声机的命运起了决定性作用。正如当时报纸所报道的那样，在所展出的留声机旁边“人山人海，乱哄哄的”。爱迪生的助手哈默在博览会上演示留声机，每天有三万人前来参观。听留声机录音的参加者中有法国总统卡诺及其全家，格莱斯顿及夫人，威尔士亲王（未来的国王爱德华七世），威尔士公主，莫纳克斯基公爵及其他王公大臣。而在博览会闭幕后，又在柏林专门为威廉二世和在那里做客的亚历山大三世演示了留声机。在维也纳又为法兰西士·约瑟夫皇帝表演了留声机。俾斯麦把留声机描述得也很有趣味，他说：“留声机对于外交家来说是一种危险物品，但如果外交家说实话的话，那它就会成为一件非常好的东西。”

在 1889 年博览会之后，特别是由于录制出了供家庭和公共场所听的音乐录音之后，当时本可以指望在销售留声机方面取得成功，但爱迪生仍然坚持把留声机用于听录目的，并有意阻碍把它用于娱乐和播放音乐的发展方向。

1888 年，侨居美国的意大利军官贾·别季尔获得了录音和放音的机器即“微型留声机”的专利权。别季尔消除了蜡辊的缺陷和留声机所存在的严重缺点——采用橡皮听筒，结果只能几个人听放音。为了改进录音，他去掉了橡皮听筒，采用了带有交叉排列的唱针的云母膜片等装置，这些唱针被分散在云母膜片上的各个地方，而针尖却汇聚在一点上。也有同样数目的针在复制扩大机构中。别季尔在著名器乐家和歌唱家的演奏和演唱时组织了录音。随着岁月的推移，他收集了大量珍贵的录了音的留声机辘子。可惜，这些珍贵的辘子，在第一次世界大战期间全都在法国毁掉了（因为别季尔当时迁居到了法国）。1945 年，在墨西哥城的一个爱好者那里，偶然发现了别季尔所收集的录有音的留声机辘子，而这些收藏品被一个美国古董商高价收买去了。与爱迪生相反，别季尔认为留声机主要应是播放音乐的工具。别季尔在开展留声机的用途上的作用是很大的。

“北美留声机公司”的一些分公司，开始向爱迪生所反对的那个发展方向审慎地作了一些努力。如在公园、食品店和酒吧间等公共场合，为留声机安装了硬币自动投入装置，实际证明有利可图。自动留声机平均每星期的收入达到 50 美元，有时甚至收入 125 元。而当时昂贵的留声机，每台约 150 美元到 200 美元。由于群众的喜爱，无论是对庄重音乐的录音，还是对轻音乐的录音，需求都急剧增长，因而不得不组织生产有音乐录音的圆筒。爱迪生虽然对此很不满意，但已明白必须作出让步。

他决定制造出一种美国中等家庭可以买得起的简易而廉价的留声机。在采取这一行动之前，爱迪生想把他看来不中用的商业组织“北美留声机公司”及其 30 个分公司关闭掉。1894 年这个公司又破产了，爱迪生只好致力于这一公司的业务清理工作。根据美国法律，由于公司破产，爱迪生在两年内无权出售留声机，萧条时期到来了。1894 年制造的“格兰德”型留声机只值 75 美元，而重建的“美国留声机公司”由于未遭受到爱迪生留声机所遭受到的限制，其商业活动就表现得很活跃。

留声机也逐渐占领了欧洲市场。在法国，查理和埃米利·帕捷兄弟开始使这一业务得到发展，到 90 年代末，已有 200 多名工人在他们的企业里做工。后来，德国和意大利也都办起了录音工业。1889 年，布拉谟斯在维也纳演奏时录制了他的钢琴曲。在恩里科·卡罗苏演唱时，对其歌剧的独唱歌词的录制获得很大成功。

然而，对于留声机来说，新的试验时代又来到了。威胁爱迪生的危险是来自电话领域的年轻发明家埃米利·别尔利穆尔。1887 年 9 月 26 日，别尔利穆尔递交了“平面唱片留声机”的专利申请。为了刻制录下的音版，别尔利穆尔开始使用了照相方法，但该方法在工艺上是复杂的，使人的声音失真。别尔利穆尔在专利申请中指出，留声机录音的刻制可以用纯化学方法来实现。他在 1888 年深入研究了这种方法，并在钢琴家、提琴家和歌唱家演出时录制了许多音乐作品。试验完全成功了。1888 年 5 月 16 日，别尔利穆尔在富兰克林学院放了新旧录音，表明他获得的进步是巨大的。一年后，别尔利穆尔在德国演示了留声机；一个德国玩具工厂（瓦尔泰尔豪森市的“侍卫长和赖因加德”厂），开始生产使用小型赛璐珞唱片或胶木唱片的留声机。

1893 年，留声机的商业性经营已万事俱备。为制造模压唱片已研制出一种良好的化合物。为利用别尔利穆尔专利权，在华盛顿成立了一个“美国留声机公司”，吸收了大量艺术人才来录制音乐作品。该公司的活动开始只限于哥伦比亚州，但到 1895 年，在“美国留声机公司”那里得到了许可证的“柏林留声机公司”，开始在费拉德尔菲亚活动。从此，留声机开始在愈来愈大的范围内得到普及。同年，在柏林建立了一个“德国留声机公司”，该公司在奥地利和俄国都设有分公司。1899 年，“法国留声机公司”开张营业，并在西班牙开设了分公司。

1901 年 10 月 3 日，建立了一个新公司“维克托留声机公司”，拥有专利特许证的埃·别尔利穆尔和制造留声机唱片所用化合物的专利权拥有者埃尔德里茨·约翰逊都加入了该公司。唱片直径增大到 30 厘米，可放 4 分钟，歌剧的歌词也能全部录制到唱片上，而用当时的辘子放音，却只能持续两分钟，因而放歌剧歌词录音的只好分两次听（由于换辘子而中断）。在 1908 年 10 月，爱迪生及其助手才研制出一种叫做“琥珀油”的制辘子的化合物，这种化合物可以在 1 英寸长的辘子上刻画出 200（代替以前的 100）个音槽，这就使放音也能延长到 4 分钟。爱迪生曾在巴黎歌剧院的演员和其他著名歌唱家演唱时，把许多歌词录制到涂有琥珀油的辘子上。爱迪生从 1912 年开始采用可以演奏到 3000 次的特别坚硬的无噪音的琥珀油辘子。用这样的圆筒和留声机，特别是用爱迪生所采用的金刚石唱针录出的音和放出的音，质量都特别好。爱迪生已做到了圆筒旋转速度完全固定不变，也消除了唱片中最常见的音槽内部损坏

的现象。对于在声学上高要求的录音来说，他的唱针垂直移动的录音方法，要比别尔利穆尔的方法好。

尽管作了这些改进，往辘子上录音的方法还是逐渐停止使用了。辘子的生产也逐渐停止了，唱片获得了胜利。在留声机设计中舍去了一个大管子，这样留声机就变得小巧玲珑。随着岁月的流逝，留声机就和无线电连接在一起，制造出了电唱收音两用机和电唱机。1928年，“维克托留声机公司”加入了一个无线电公司，即“美国无线电公司”，而在1929年，爱迪生由于明白这一机器昌盛的时代已一去不复返而停止生产留声机。

用机械方法进行录音的发明优先权，公认属于爱迪生。他在1889年制造出了完善的留声机。所以瑞典科学院颁发给他一枚金质奖章，以资奖励。

留声机在录音和放音方面起了巨大作用以后，它应该让位给从上个世纪90年代中期就已出现和发展起来的更进步的方法和设计。

爱迪生留声机的发展与他的其他电工技术发明起初并没有任何联系。把电动机用于留声机系统，就使留声机与电工技术有点接合了。在爱迪生的一些发明中，留声机是直接包括在电器系统之中，并构成了纯电工技术装置的极为重要的部件。在发明留声机和创造出第一个留声机模型后不久所制造成的电话录音机，就属于这种机器。正如名称所表明的那样，电话录音机乃是电话和留声机的一种组合体。在这一机器中，使膜片发生振动的不是人的声音或其他声音，而是来自送话台而又流经电磁铁绕组的电流的作用。

电话记录器，就是把通话录制到留声机辘子上的机器（1914年）。这种机器或是用来把全部交谈记录下来，或是用来在被呼叫的用户不在场时把对方电话通知记录下来。爱迪生获得了“爱迪风”专利特许证：这是办公用的口授机的变体（1914年），它可以对已录制下来的录音进行更正和增补，是一种灵敏度很高的装置。

以上已对爱迪生的声动机作了描述，这个声动机中的口承和膜片同留声机一样，它可以用来测量声波。

不仅爱迪生，而且其他著名的发明家，都产生了要把留声机同其他电信器械组合起来的想法。例如，俄国发明家帕·米·戈卢比茨基于1881年10月29日获得了电话-留声机专利权。

## 五

爱迪生在研究能使人看到运动着的图像装置的最初阶段就利用了留声机的原理。现在，这已成为一个广袤的领域，成为庞大的工业部门成为叫做电影业的重要文化和艺术的部门。托·阿·爱迪生就是电影摇篮的主人。确切地说，电影摇篮本身就是爱迪生制造的。主要是用他自己的劳动，还有其助手们的努力，才为这一新的事业奠定了基础。后来它吸引了许多人参加，开始得到迅速的发展，并居于目前已经完全巩固起来的显著地位。

据爱迪生自己说，由于他知道了戈尔诺尔于1833年所发明的活动画片玩具，他才产生了制造电影机的想法。这一装置是由一个圆筒组成，

圆筒壁上刻有许多条与轴相平行的缝隙。圆筒内，缝隙的下面有一条纸带，纸带上绘有某一动作的连续图像。如果使圆筒往一个方向疾转，从缝隙里看对面绘有图像的纸带，看到的仿佛是运动的图像。这一装置是根据人的眼睛的视觉惯性对运动所造成的错觉。起初，活动画片玩具图像是用手绘制成的，到了70年代用照片代替了图片，获得了更加理想的效果。埃·日·默里在法国和埃·缪伊布里茨在美国，都做了使人产生图形在运动的印象的试验，这是很有意思的。缪伊布里茨沿着跑马场的跑道排列上几架照相机，于是就拍出了马奔驰的一系列连贯性照片。照相机快门是用电线连接在铺放在跑道上的木板上，跑来的马匹一踏上了木板，就把照相机快门打开了。当用具有相应的和均匀的移动速度的装置，把这一连串的（12张和更多的）连贯性照片投影到屏幕上时，屏幕上就出现了马奔驰的图像。

1886年，缪伊布里茨拍摄了许多走动的马、狗、鸟等题材的照片。在此之前，他已改用一架装有同支撑轮一起转动的干底板照相机进行拍摄，1秒中拍摄了12张照片，这是一种明显的进步。这些试验使爱迪生很感兴趣，但试验结果还不太完善，所以他注意到的只有一点：一定可以利用视觉的惯性现象来获得活动物体的图像。

1887年，爱迪生在西奥伦治的实验室建筑已竣工。此时爱迪生在专心致力于留声机改进方面的研究：他正在紧张地对涂有蜡制混合物层的辘子进行试验。爱迪生无法亲自从事电影机的研究工作，但他也不想对这一问题置之不理。他的助手之一乌·迪克逊是一个很热心的摄影爱好者，所以爱迪生就委托他设计出一架拍摄活动目标的照相机。爱迪生对他作了具体指导。

当时各种照相机差别不大，但仍可以挑选到最适合于这一目的的类型。迪克逊挑选了这一类型的照相机。1888年初，他拍摄了许多活动目标的照片，而且每一个“画面”的尺寸都不超过 $1/16 \times 1/16$ 英寸（约 $1.6 \times 1.6$ 毫米）。拍摄出来的这些画面是这样的：其总和应构成所拍摄物的动作的一个完整过程。这种解决方法爱迪生并不满意，他又提出了一个新的任务：用快速拍照法来进行连续拍摄，这样就可以获得大量图像并应通过利用视觉惯性现象的装置来观看这些图像。虽然其他工作极其繁重，但爱迪生还是积极地着手研究这一问题。

经过几个月的研究之后，爱迪生于1888年10月8日向专利局提出了这一初步装置的专利申请，他对这一装置的作用作了如下叙述：

我正在试验一种机器，这种机器可以为眼睛做出像留声机为耳朵做的事情；这种机器能拍摄活动物体并放映出来，而且其形式也是既经济、实用而又方便。我把这种机器叫做活动电影放映机，即激动景物机。

爱迪生所运用的制作方法的特点是什么呢？他的发明是把有连续性的一系列的图像，快速拍摄到位于圆筒（辘子）或扁平盘（薄片）上的呈连续不断的螺线状带上；这一过程与他所发明的用留声机进行录音的方法相似。值得注意的是，圆筒的转动是断续的（每转到某一角度，都要停一次）；当圆筒不动时再进行拍摄。圆筒表面应有一层感光层；圆筒的转动和停止都应与照相机快门的启闭同步，而且应当是自动的。在

用固定不动的照相机的情况下，无论要使圆筒转动，还是要使圆筒作纵向位移，都要使用电动机操作，而不能用手操作。

爱迪生在对这些器械继续进行试验中得出的结论是，采用如留声机中那种能连续转动，而又能作连续纵向位移的圆筒是更加正确的；拍摄本身就应当是断续的，并且使用与人的眼睛的视觉惯性因素相一致的速度拍摄。

我们看到，爱迪生采取了自己的独具一格的解决问题的办法，但同时他也完全掌握了用以奠定留声机基础的那些原理。

当时对人的一些生理方面的资料还未弄清，而这些生理方面的资料是确定人的视觉获得连续性印象，最低限度每秒钟需要更换多少张连续性的图像的依据。爱迪生最初认为，为了清楚录制图像，每秒钟大约应当拍摄 40 张照片。但用当时的照相机是很难做到这一点的，爱迪生就减少了每秒钟拍摄数。为了获得更加清晰的图像，爱迪生就转而采用了较大尺寸（ $1/4 \times 1/4$  英寸即  $6.25 \times 6.25$  毫米）的画面。画面可以用放大镜来看清楚，当时曾用感应线圈的火花放电来进行画面照明。使用放大镜观看，图像变得更为粗糙，部分轮廓失真，但总的说，无疑是一种进步。

## 六

当时，最困难的问题是不能不用玻璃底板拍摄照片（胶片当时还没有）。爱迪生开始寻找新的照相材料。1869 年海耶特兄弟在美国发明了靠硝化纤维和樟脑相互作用提炼出来的赛璐珞，由于用蓖麻油来代替部分樟脑，赛璐珞就变得柔韧。1889 年爱迪生试验了涂有照相乳胶的赛璐珞片，并看到了，用这种材料所制成的约有 15 英寸长的软胶片裹到留声机圆筒上，就可以拍制成更多的  $1/4 \times 1/4$  英寸的照片。1889 年末，他就转而采用适用于活动电影放映机的赛璐珞胶片。在使用胶片拍摄时，应创制出交替开关快门的装置来拍照一些彼此没有连接起来的画面。爱迪生和迪克逊制造了狭条赛璐珞胶片，赛璐珞胶片是他们用几个单独部分粘制成的，而且他们也规定，要进一步把画面尺寸加大到  $1/2 \times 3/4$  英寸。于是胶片就开始在电影中使用了。

一个叫做乔治·伊斯门的美国人改进了胶片，他制作的胶片既轻软又透明。他开始把胶片用于他所发明的“柯达”轻便照相机。这种胶片很容易卷到轴上，这就可以缩小照相机或放映机的尺寸。爱迪生从伊斯门那里得到了 50 英尺（约有 16 米）长的赛璐珞胶片。试验进入了新的阶段。爱迪生设计了一种输送胶片的装置，这种装置可以使速度发生变化，并能保证获取事先预定的每秒钟的画面数。为了输送胶卷和卷起胶卷，胶卷的边上打了孔。

最初电影机很笨重，很不方便。输送齿轮的齿，极易把胶片的齿孔弄破。感光层当时都呈粗粒状。爱迪生在 1889 年夏天临去参加巴黎博览会前给他的助手留下一个课题，即弄清在电影放映机方面有哪些工作必须予以完成。

迪克逊在爱迪生离开后拍摄了许多每秒速度为 12 张照片的影片；这些影片能连续一个接一个地放映，也就是说有些与我们称之为演电影的情况相似。

1889年10月6日，爱迪生从欧洲回到西奥伦治。实验室的助手们是这样欢迎他的：银幕上出现了迪克逊的图像，并由留声机播送他的声音：“早晨好，爱迪生先生，您回来了我真高兴。我想您会对有声活动影像机感到满意。为向您表演声影同步化，我举起手并同时数到十。”表演证明了图像的稳定性和与声音的同步性。爱迪生清除了机器的机械方面的缺点，他力求做到随着音乐伴奏放映活动图像。为此就需要使图像和声音有更加精确的同步性，也就是使影片卷筒的旋转和留声机圆筒的旋转同步化。为开始在商业上出售这一发明，就应当制造正像胶片，并保证可以从孔洞式镜头里观看到胶片。爱迪生把这种仪器叫做原始活动电影放映机。

原始活动电影放映机在当时已有的观看移动图像的机器中，究竟占有什么样的位置呢？所有这些机器中，其中包括爱迪生的原始活动电影放映机，都属于所谓的频闪观测器。它们有着不同的结构形式：圆盘式的、镜式的、鼓形的和笔记本式的。所有这些机器，就像爱迪生的原始活动电影放映机一样，只能供一个人观看。原始活动电影放映机为胶片电影机开辟了道路。在爱迪生之后，这种电影就得到了最迅速的发展，并成为现代电影的主要形式。

为放映有声电影片，爱迪生及其助手们于1890年制造了一个经过改进的电影摄影机，供拍摄放映配有音响的宽为 $1\frac{3}{8}$ 英寸的影片，影片上每一画面为 $\frac{3}{4}$ 英寸×1英寸，以保证有供输送胶片用的良好孔洞。这种胶片宽度（35毫米）在实践中固定下来并成为一种标准。爱迪生只是在1891年7月末才取得了在电影方面的发明专利权（专利特许证号码是493426号和589168号）。上述专利特许证并没有包括他所进行的各种改进。

## 七

人们长时间含糊其词地传闻着爱迪生的原始活动电影放映机。报纸发表了一些偶然的和不十分准确的消息。对这种机器的研究已有很大的进展，可以开始进行固定拍摄，并可以在商业中举办这一发明的展览。1893年爱迪生建筑了第一座电影摄影棚，即助手们称之为“黑马利亚”的电影制片厂。电影制片厂的四壁上都涂上了黑颜色，因为当时人们错误地认为，在拍摄时必须消除其他光源的影响。该电影制片厂从1893年到1894年，曾把女舞蹈家、技巧运动家、杂技演员和驯化动物等拍制成影片。1894年根据爱迪生的发明，美国成立了一个在商业方面进行研究的“活动电影放映公司”。是于1894年4月14日在纽约百老汇大街开幕的。各地都建立了“活动电影沙龙”。所有这些活动电影机，都装有硬币自动投放装置。

为使影片内容多样化，也不应只限于看半分钟影片。1894年夏季，“黑马利亚”电影制片厂拍摄了拳术家利奥纳尔德和库申格的比赛，这就使用了350多米胶片。影片分四部来放映，每一部都可以由单独的活动电影放映机来放映。百老汇大街的活动电影放映机馆门口人山人海，只好请警察来维持秩序。这个影片的放映促使活动电影放映机的普及

化，从而赢得了广大群众的喜爱。

“活动电影放映机公司”把放映拳术家比赛的影片许可证发给了莱瑟姆兄弟。他们想到要改进放映条件，在大教室里制造一种放映银幕，来取代供一个人观看的箱子。爱迪生在其专利特许证中，没有规定放映到银幕上。他主张用带有硬币自动收费机的单个的放映机。此外，爱迪生没有获得国外原始活动电影放映机的专利权，这就为竞争创造了有利条件。不但在国外可以生产电影设备，甚至可以把它输入到美国去，也可以在外国进行某些改进和获得专利权。由于没有获得爱迪生同意制造电影放映机，莱瑟姆兄弟及其父亲（化学教授），就只好暗中制造这种电影放映机，并详细研究把电影放映到银幕上的问题。而在国外，这些都可以公开进行研究，并已开始进行大量有关制造电影设备和银幕的研究工作。法国和英国就产生出了很不错的电影设备。1895年初，柳米耶尔兄弟开始拍摄了第一批影片并进行了放映。这就产生了现代电影机。

同年乌·莱瑟姆制造了一个“望远显微两用镜”装置，这就使爱迪生的原始电影放映机增添了一个往银幕上放映的设备，但这一装置中没有间歇运动的跳跃机构。1896年，有个叫托马斯·阿尔马特的美国人，制造了一个大型的早期电影放映机“维太放映机”。爱迪生开始筹办一个配有银幕和阿尔马特放映机的影剧院。银幕的尺寸是4×7米。第一次给报社记者放映电影是在1896年早春，而从4月23日起就开始在先驱广场的音乐厅里公演。从此，爱迪生和阿尔马特的协同研究工作走上了轨道。在布朗克斯（纽约的一个区）建设了一个大型电影制片厂，爱迪生在以后几年中也就成了美国最大的电影和电影设备生产者。1907年以后，美国成立了一个“电影专利有限公司”，该公司承认爱迪生的所有专利权，并加以使用。

## 八

1912年2月7日，爱迪生在纽约放映了有留声机配音的有声电影。经过改进的留声机有一个用琥珀油制成的圆筒，它出色地给由莎士比亚的悲剧《裘力斯·恺撒》改编的电影片断配了音。“会说话的”影片持续时间不超过7~8分钟。所以这种有声电影的放映在持续不少于一个小时的一场放映时间内只能是一个插入节目。

爱迪生费了很大力气来专门研究电影，因为他一开始就认识到电影在文化和社会生活中一定会具有的巨大意义。爱迪生认为，电影将会被广泛地用于教育目的。1923年爱迪生说，用不了20年，我们就可以用电影，而不是用书本来给儿童讲课。他不主张完全或部分取消课本和学校的教学形式，但他深信，引人入胜的直观电影教学会使学生最好地掌握知识。

爱迪生没有把创造电影方面的巨大功绩归于自己。1924年2月15日，爱迪生向电影工业的代表们说：“不管我在建立电影这一有组织的工业部门中有多少功劳，我还是始终不渝地力求对电影进行技术改进。”

因此，1961年亨德里克斯在洛杉矶以《爱迪生电影机的神话》这个耸人听闻的书名出版的小册子，不能不使人们持谨慎的态度。作者的目的是要读者相信，好像归功于爱迪生的大部分发明都是他的助手迪克逊

的工作成果。迪克逊从来都没有提出过这种问题（他比爱迪生多活了 4 年），并且令人百思不解的是，为什么在两位发明家死后 30 年又突然出现了这一问题。爱迪生实验室的档案大概可以查证，在爱迪生的这些研究工作中迪克逊做了哪些工作。可以认为，迪克逊在这些工作中做出了卓有成效的功绩，但不管怎样，毫无疑问的是，爱迪生的原始活动电影放映机的制造（1891 年—1894 年）是创造电影机道路中的一个很重要的阶段。

在爱迪生的发明之后，接踵而来的是美国的日·阿·勒鲁瓦于 1894 年；美国的乌·莱瑟姆于 1895 年；英国的弗·乌·波尔于 1895 年，发明了放映机。俄国的约·安·季姆琴科于 1893 年；法国的日·杰梅尼于 1893 年—1894 年；德国的奥·梅斯捷尔于 1896 年，发明了图像间歇的跳跃机构。电影机的所有组成部分，在 1896 年以前都发明出来了。奥久斯特兄弟和路易·柳米耶尔在电工设计家日·卡尔潘季耶的直接参与下，制造了第一台在技术上令人满意的电影摄影机。虽然柳米耶尔兄弟的劳动具有巨大的意义，但绝没有认为他们是惟一的电影机发明家。电影机就是那些有充分根据可以称之为国际间共同努力的综合发明之一。爱迪生不是电影机的发明家，但他却以其对原始活动电影放映机的卓有成效的研究，使人们对这一新事业更加感兴趣，并促进这一方面的研究工作的发展。而这一研究工作，最终也就导致制造出了广泛用于文化、科学和技术领域中的放映活动物体图像的机器。



## 第五章 让黑夜变得光明

—

爱迪生在许多技术领域进行了大量发明。其中有一项发明，随着时光的推移而日臻完善，常常与现代人形影不离，成为不可或缺的东西，而且在全世界迅速和广泛地得到了普及，大大地提高了人们享受的文化生活条件。这项发明就是白炽灯。

在爱迪生以前的 75 年期间，有许多人曾试图制造并且也实际采用了这种光源。在实际运用中虽然有时获得了令人鼓舞的结果，然而也常常使研究的人大失所望。只有爱迪生合理地用白炽灯解决了电照明问题，因为他把有助于顺利成功地完成发明创造的新原理运用于白炽灯装置中。

爱迪生之所以取得成功，不仅是因为他在设计白炽灯过程中，选择了一条与他的前辈根本不同的合理方法，而且还因为爱迪生着手创造白炽灯的时候，也正是广泛使用白炽灯的先决条件完全成熟的时候。在上一世纪 70 年代中期以前还没有这些先决条件，而其中最主要的先决条件是要有性能良好的发电机。爱迪生开始研究和设计白炽灯正是在对广泛运用白炽灯这种可能性不再有任何怀疑，而公众舆论也要求采纳这一发明的时候。对电照明兴趣的急剧增长，首先是由于卓越的和世界闻名的俄国电工学家、发明家巴维尔·尼古拉耶维奇·亚布罗齐柯夫在电照明方面进行了创造性劳动。

在最早观察电流现象时，就已发现了有创造出电照明的可能性。而这种可能性的发现，恰好是在开始制造第一台发电机（即伏特电堆）并对其功能进行研究的一年之后。许多科学家，特别是捷纳和代维观察到，电流所流经的导线能够变热；其热度能达到白炽和发光程度。1802 年代维在伦敦皇家学院讲课时对此作了演示。电流使导线发热的效应，启示人们利用这种效应研制出电光源。

1802 年 5 月，俄国科学院院士瓦西里·弗拉基米罗维奇·彼得罗夫演示了他为试验目的建筑的巨大的伏特电堆，该电堆由 4200 个铜—锌板组成，能放出高压电流（1600 伏特）。在他当众表演的有趣的试验中，发现了两炭极间产生出的稳定的电弧现象。彼得罗夫本人在科学记要《关于伽伐尼伏特试验的通报》（1803 年）中，描述了自己对电流所进行的试验，并指出了把电弧现象用于照明的可能性。5 年后，即在 1807 年，赫·代维在制造出这种大电源时，也观察到了电弧现象，并在 1812 年论述了这种现象。对电弧效应的利用表明，有可能在根本不同于用电流使导线炽热的基础上来制造照明装置。

最后，瓦·弗·彼得罗夫 1802 年在进行试验时，曾观察到电流通过真空时的放电现象。他第一次观察了辉光放电现象，这是由电流得到的辉光的效应。虽然辉光放电的辉光就其特点来说发光并不太强烈，但它很显然证明由这种电发光能够获得光通量。人所共知，这一创制电光源的趋向比辉光放电和电发光的发现几乎晚了 100 年才发展起来。

总的说来，18 世纪末以前并没有强大的光源：用点燃油脂、油或瓦斯的办法来制造强大光源实际上是不可能的。当需要强光源时，就在灯

中装上一个反射光或折射光的光学系统，但在这种情况下也只能稍微增加发光的强度。沿岸的航海灯塔和其他灯光信号装置，就受到这些条件的限制，而不能起更大的作用。大家都知道，人们把建筑在位于亚历大城的港湾入口处的法罗斯岛上几乎高出海平面 100 米的灯塔，列为古代世界的七大奇迹之一。很难想像出，在古代怎样制造出这种能使几十公里远的海面上的船只看到信号的灯塔照明装置。如果真是这样的话，亚历山大灯塔真算得上是古代世界的奇迹之一了。

19 世纪初，对用于信号设备、光线投影等的强光源的需求量增加了，人们开始用所谓的“钙”光即石灰质光来满足这种需求。所谓的石灰质光，就是用炽热的氢气流焰把石灰圆筒（或板）加热，使之白热化后所放出的一种热的荧光射线。

这时开始普及瓦斯照明。当时还不能制造出发光很强的瓦斯灯，但即使亮度比较小的瓦斯灯也比油灯亮得多。应当注意到，在 18 世纪末的产业革命之后，机器工业开始了极其迅速的发展。在许多工业部门中出现了大型机械化企业，而由于每个工作日被延长到 14~16 个小时，所以企业的照明问题就具有了重大意义。用火焰作光源来照明，是不能令人满意地解决这个问题的。此外，用火焰作光源所发的光通过量不大，这种光源的特点在于它们需要单个点火和灭火，还需要经常保养和补充燃料。在用瓦斯照明时，空气中的氧气就被喷嘴燃烧掉，因此工作场所的空气就很坏。瓦斯灯是由敷设在工作场所的瓦斯管道来供给瓦斯的。如果管道一旦漏气和瓦斯灯偶然熄灭，瓦斯就要污染工作间的空气。在消防方面来说，所有火源都是不安全的。而在那些空气中有可燃尘埃（特别是纤维尘埃）的地方，是完全不能采用火焰作光源的。

这种照明状况，远不适合于社会和生产的需要。寻找新的照明方法，变得越来越迫切了。深入研究新照明原理的主要任务，是要避免用明火。不但要清除照明设备的易燃性，也要降低氧气在燃烧过程中的消耗。科学家、发明家都注视和研究着电流照明的可能性，扩大了对制造弧光灯和白炽灯的研究试验工作。

这两方面的研究工作，各自独立地展开了。制造令人满意的弧光灯，要比制造实用的白炽灯进行得早：上一世纪 50 年代就已制造了几种具有复杂的自动调节器的弧光灯。它们开始被用于露天的空间照明，用于灯塔，用于大的公共场合的照明。但这些光源的电能供应的情况很不好：每一盏弧光灯都有独立的电源，这就使这种装置造价很高。弧光灯本身就是一种强大火焰光源，虽然获得了某些推广（实际仍旧只是用在特殊的场合），但只能算是为照明技术的新方向开了个头。在 70 年代，出现了较好的（格拉姆的、西门子等人的）发电机，找到了在同一个电路中可同时点用许多弧光灯的方法，在使用这些灯的技术上也有了改进。但由于弧光灯放射出极强的光通量，又是火焰光源，所以它就不能被广泛采用。

巴·亚·亚布罗齐柯夫在 1876 年发明了电烛，即光度比较小的弧光灯，使电照明的应用大大地扩大了。亚布罗齐柯夫电烛开始用于街道、商店、旅馆、沿岸街、港湾、工厂以及住宅照明。但电烛的普及却受到以下情况的限制：电照明的用户要靠自己的设施才能保证自己的照明设备有足够的电能，这就使电烛照明价格昂贵。电烛的持续照明时间为两

小时左右，两个小时后就需更换新的电极，所以就要求要经常细心地对整个照明装置进行维修。再说，电烛像其他弧光灯一样，也是火焰光源。

## 二

电照明问题，由于许多人从事于制造白炽灯的研究，在 70 年代最后一年得到了解决。托·阿·爱迪生没有发明出白炽灯原理。如果分析一下在爱迪生以前的人对白炽灯所作的研究工作，那么就会清楚，白炽灯装置的基本原理早在爱迪生进行研究之前就已完全形成。当时需要的是选择一些最有利的、最合乎理想条件的、用起来又很方便的电灯元件，尔后再把它们装起来，成为一个完整的装置。需要的是要明确地想像出电照明的整个系统。而这一种设计合理、完全适合于广泛应用的、节省电能的白炽灯，人类却正是得自于爱迪生之手。白炽灯就是爱迪生的有趣的科技思想的体现，是他精心设计、仔细研究和真正大规模试验的结果。

爱迪生怎样产生了必须改进白炽灯和要研制出新的照明系统的想法呢？某些史料指出说，这些研究工作的某些动机是在爱迪生了解了（大概是在 1876 年）罗德金灯之后产生的。而该灯的样品，是被派到美国接收俄国海军部定购的巡洋舰的阿·姆·霍京斯基中尉带去的。在彼得堡与罗德金共过事的霍京斯基，把灯的样品运到美国是完全可能的，而向造船家和电工技师提出在船上安装电照明的要求在当时是进步的和适宜的。但应当指出，在那些年里已经有人制造出了比罗德金更合理的白炽灯。爱迪生肯定知道这些种类，因为技术报刊和普通报刊对这种灯都作了详细报导。因此，还没有达到实用阶段的罗德金灯的结构，并不能有助于，特别是促使爱迪生进行这一工作。

在法国和其他国家，用亚布罗齐柯夫电烛安装起来了很实用的照明装置。亚布罗齐柯夫是用小功率的弧光光源进行电照明的先驱，所以他所作的研究工作，就不能不影响电工学家们的观点、意向和研究工作。报刊已证实了这一点。1879 年在有关爱迪生顺利地制成白炽灯的消息发表时，12 月 21 日的《纽约先驱报》指出了爱迪生的先驱者们，其中包括亚·尼·罗德金和巴·尼·亚布罗齐柯夫在这方面所进行的研究对他具有什么样的意义。

爱迪生在 1877 年一年中，对白炽灯进行了一些试验。他曾试图用碳、白金、硼、铬和其他物质来作灯丝。试验没有成功，制出的灯不能令人满意。但是就连这些初步的试验也很有说服力地向爱迪生指出了白炽灯的属性——与弧光灯比，它优于弧光灯，它光通量不大，而且也能像弧光灯一样能在照明场所进行合理的配置。

1878 年，爱迪生到康涅狄格州的安索尼亚市参观了著名的电机和弧光灯发明家威廉·华莱士的电器工厂。华莱士—法默系统发电机是美国最普及的一种。在这里所见到的一切，都对爱迪生产生了巨大的影响。他给门罗园实验室买了一台华莱士—法默发电机，并详细了解了发电机和弧光灯的性能。通过这次参观爱迪生确信，白炽灯问题的解决，无论是对技术来说，还是对社会来说，都是极其重要的。白炽灯不仅会使照

明技术发生根本变化，而且也会给整个电工技术带来蓬勃生气，会使工业所起的积极作用得到巨大的发挥。同时，在这件事上是需要花费巨大气力才能有所成就的。但困难没有把爱迪生吓倒，他勇敢地迎着他开始所完全没有想像到的困难朝前走去。整个照明的发展史和在电能生产中所获得的进步，使爱迪生深信对白炽灯设计的研究是适宜的。爱迪生说：“进行惊人的发现是很容易的，但改进这些发现使之有实用价值就困难了。我就是正在致力于这一改进的工作。”爱迪生对工作方向的总的评述，用到他制造实用的白炽灯这一研究工作上也完全适用。

爱迪生 1878 年起，对电照明问题给予了更大的注意。很可能，电照明在当年的巴黎世界博览会上所得到的轰动一时的成就，在那里所展出的电机制造业、电器制造业、安装技术和电工材料学的成就，使爱迪生深信电照明的前景是光辉灿烂的。亨利·福特在其对爱迪生回忆中转述了爱迪生的下面一段话：

恰好在那时（1878 年），我想着手研究些新东西，巴克教授就建议我研究怎样把电光分成像瓦斯灯头那样的小光源。这已不是新的想法了，因为我已在去年进行了一系列照明方面的试验。但由于要研制留声机，我中断和延缓了照明方面的试验。现在我决定恢复这些研究工作。

回家后我就立即开始收集各种情报资料。这是瓦斯照明的时代。我弄到了瓦斯科技协会等团体出版的所有新杂志。我由于收集了所有这些资料，了解了纽约瓦斯输送网的瓦斯分配情况，并直接观察到这种情况，所以得出结论是，电光分析问题是能够解决的，而且在商业上也是适宜的。我认为，为实际推广白炽灯，白炽灯应至少在两个方面与瓦斯照明光源相同：1. 白炽灯应创造出适中的照明度；2. 每盏灯点燃都应完全不受其他灯的影响，它可以点燃可以熄灭，不干扰其他灯的工作。

爱迪生根据这些设想开始进行试验。他得出的结论是，为了解决电光的分开使用问题，就必须要有阻抗强和发光面小的灯；此外，电灯应并联接入电路，这样就可使每盏灯都能独立点燃。爱迪生在设计白炽灯的人中是第一个清楚地懂得，采用弱阻抗的灯丝就需要电压比较低的电流，因而也就造成了电网导线材料使用量的增大。这一正确的观点，使他更要下定决心停止弱阻抗电灯的试验，所以在爱迪生的研究工作中，以及后来在其他发明家的试验中，都永远不再用弱阻抗灯了。

在亨·福特的回忆录中，还引用了爱迪生的下面一段话：

我对炭的属性很熟悉，而且也懂得，如果能用这种材料作成了像人的头发那样细的线，那么就可以得到一种发光面小而阻抗强的灯丝。但这种易碎的灯丝是否能抵抗住机械的振动？是否能经受住 1000 个小时的华氏 2000 多度的炽热？其次是：怎样才能把这个已具有灯丝形状的导线装入已抽成真空的空间里，以便空气在灯丝的各种不同温度下的发光过程中，都不会进入这一真空内破坏灯丝？问题还不仅限于此！电灯应不仅要符合实验室的要求，而且也要成为可供经营的商品；生产成本要低，又可以大规模地制造，并能完整地运转远方。这些设想和许多其他一些不那么重要，但也并非不重要的设想，就形成了重大而又纵横交织的复杂问题。

爱迪生的这些观点，在研究电灯的初期就已完全成熟，并成为进行

深入研究和周密设计的指导思想。

### 三

报纸上很快就出现了关于爱迪生开始在电照明方面进行研究的新消息。为了写出更加准确和详细的报道，大量报社记者都涌向门罗园爱迪生那里。纽约的《论坛报》1878年9月28日刊登了爱迪生的发言，爱迪生在发言中指出：许多发明家都先于他开始了研制白炽灯，他本人当时还没有认识到电照明的重大意义。现在他着手全面地深入地研究这一问题，并且决心超过自己的前辈。他声明，他在其对电灯的研究中追求的不是财富，而是要超过别人。这是一个充满坚定信念和胜利信心的声明，同时声明中含有某些虚荣心。声明中多少还流露出对他的前人所进行的那些研究评价不高的情绪。

爱迪生所担负的任务的确是复杂的，而且与各种科学领域，首先与电工技术，同样也与化学，有着密切的联系。爱迪生对当时所面临的一些化学性质的问题，他开始并不太放在心上。他说：“化学是一门伟大的科学。在所有科学中我最喜欢化学！”但在研究电灯中有关化学问题和化学工艺问题，要比他最初所预料的多得多。在良好结构的电灯制造过程中，有许多东西要取决于这些试验的顺利进行。此外，提高灯泡内的真空度，性能良好的真空抽气机等条件也起了巨大作用，因为保证应有的真空度是电灯正常发光的必要条件。改进电能的生产 and 分配也起了重要作用。质量好的发电机，应保证以最简单的、最恒久的方式，把廉价的电能供给电灯使用。

这两个装置，即真空抽气机和发电机，早在爱迪生开始研究白炽灯之前就已制造出来了。但爱迪生在这些重要的辅助机器中又增添了许多新东西，而如果没有这些重要的辅助机器，白炽灯的制作就不能获得圆满成功。

从1809年到1878年曾颁发了许多白炽灯专利特许证，虽然所提出的各种型号的电灯中没有一个被实际采用，但从技术思想的发展观点来看，这些电灯显然很令人感兴趣（最主要的电灯型号都列在下面的一览表中）。电灯的结构极为不同，灯丝有金属的、也有炭质的，灯丝的形状有棒式的、薄片式的、条式的、金属丝或金属线式的，而有时则是用金属丝制成的环形或螺旋形的。在有些结构中，灯泡里的空气被抽掉了，而在另一些结构中，灯丝装在充满空气或惰性气体的空间。

著名的英国科学家和发明家德·弗·斯旺，直到1878年才提出了带有如铅笔芯状的细炭棒灯丝的真空型电灯。斯旺只是在爱迪生制出炭丝电灯之后才转而制造这种真空灯的。

我们列举了在爱迪生的白炽灯出现之前就已提出来的那些最主要的白炽灯图形，其中有些白炽灯是发明家们获得专利特许证的，但没有一种曾投入生产，所有这些白炽灯都停留在演示和实验室研究的阶段。

1809 年到 1878 年期间所提出的白炽灯的主要类型

年份	发明者	国籍	灯丝类型	灯泡腔	灯泡类型
1809 年	德拉留	英国	螺旋形铂丝	真空度不高	有两个黄铜管脚的玻璃管
1838 年	若巴尔	比利时	炭精棒	真空	玻璃灯泡
1840 年	格罗夫	英国	螺旋形铂丝	空气	扣到有水的盘子里的杯子
1841 年	德·莫林斯	英国	螺旋形铂丝间的粉状炭	真空	封闭玻璃球
1845 年	斯塔尔	美国	1. 铂带 2. 石墨棒	1. 空气 2. 真空	1. 封闭玻璃球 2. 汞柱上的封闭玻璃管
1848 年	斯泰特	英国	弯曲的铂铱棒	空气	封闭玻璃球
1849 年	佩得里	美国	铂铱棒	空气	没有灯泡
1850 年	舍佩尔德	美国	紧贴着炭锥体的炭筒	真空	封闭玻璃球
1852 年	罗伯茨	英国	石墨棒	真空	封闭玻璃球
1854 年	戈贝尔	德国	炭丝	真空	封闭玻璃管
1856 年	德·尚日	法国	1. 螺旋形铂丝 2. 炭棒	1. 空气 2. 真空	1. 玻璃管 2. 封闭玻璃管
1859 年	法默	美国	铂带	空气	没有灯泡
1860 年	斯旺	英国	炭化带或纸制电阻丝	真空	放在黄铜板上的玻璃罐

年份	发明者	国籍	灯丝类型	灯泡腔	灯泡类型
1865年	亚当斯	美国	炭片	真空	封闭玻璃灯泡
1872年	罗德金	俄国	1.炭棒 2.V形石墨棒	1.真空 2.氮	1.封闭玻璃灯泡 2.封闭玻璃灯泡
1875年	利兹洛夫	俄国	石墨棒	氮	封闭管
1875年	贡恩	俄国	石墨棒	真空	封闭管
1876年	布雷金	俄国	石墨棒	真空	封闭管
1877年	马克沁	美国	铂带	空气	没有灯泡，有一个过热调节器
1878年	方丹	法国炭棒	真空	封闭玻璃灯泡	
1878年	斯旺	英国	炭棒	真空	封闭玻璃灯泡
1878年	爱迪生	美国	螺旋形铂丝	空气	带有过热调节器的玻璃筒

爱迪生在 1878 年基本上转到了制造白炽灯的试验上。金融界采取了观望的态度；不是所有的人都相信爱迪生的努力会获得圆满成功。在与瓦斯工业有牵连的部门，出现了严重危机的阴影和新的暂时还不明显的惊慌不安的心情。但技术界却认为爱迪生的研究工作具有极其重要的意义。1879 年末，当光源本身——真空炭丝白炽灯顺利完成第一阶段的制造工作的有关消息发表后，人们想知道爱迪生的成就的愿望就特别迫切了。文明世界也在焦急地等待着爱迪生在电照明方面取得成就的真实性及其详细的消息。假如爱迪生真的创造出一盏能供日常照明需用的灯，而这种灯又没有以前电照明和瓦斯照明所固有的那些缺点，假如新的灯电费便宜，易于控制，易于调节，便于使用，便于维修，那么那个时代里最重要的一个技术问题就算得到了解决。

爱迪生正确地理解了任务的实质，就为完成任务选择一条正确的捷径。他的前辈就没有过这样的理解，所以他们所获得的成就就只是有限的和局部的。令人非常惊异的，不是爱迪生对全部问题或在某些细节上得出正确的概念，而是他的前辈中不曾有一个人持有这些见解：如果电灯中的灯丝是强阻抗，那么只要把电灯并联接入恒定电压网中，任何数量的电灯都能发光。现在来说，这已是一个妇孺皆知的明显的真理。所以，我们简直难以想像到当时人们究竟难在什么地方。但我们只要翻阅一下 70 年代末的技术书籍就会确认，许多观点在当时是极其模糊和荒谬的。所有的发明家都持这种见解：为使电能某些电源间分路，就需要

有一种能串联到高压供电网的低阻抗灯丝的电灯。

爱迪生在研究的第一阶段就研制带有由铂制成的灯丝的电灯，因为铂在当时被认为是最难熔化的金属。铂能拉制成细丝或线；铂在空气中甚至在白热化的高温下也很不容易氧化，因此就不需要真空空间。

在研究铂丝电灯过程中，爱迪生曾试验给灯丝加上一层由氧化物或其他物质，特别是稀土族和炭的氧化物所制成的膜。例如，他就提出要给铂灯丝涂上一层钽和铈氧化物膜。他指出说，总发光面为 5 平方毫米的铂丝，在涂上了稀土族氧化物层后，可以大大增加灯丝的灼热度，这样就能使光通量增加几倍。在爱迪生的一个专利特许证中载明用细粉末状的铂（铂末）或其他铂类金属同氧化锆的混合物来制成灯丝。强阻抗的灯丝就是用这种混合物压制成的。从他的带有由铂制成灯丝的各种类型电灯的一些专利特许证就可以作出结论：当时爱迪生并没有足够正确地想像出，把铂丝上涂上一层膜的工序是什么。例如，爱迪生就在其中的一份专利特许证上写道：“如果把铂箔圆筒装到石灰棒上，那就会放出极好的光来；铈、钇、铈、钽以及其他难熔金属的扁平状物、线状物、棒状物和小球状物正像它们的导电的氧化物，如二氧化钛一样，被用来制造电灯。”有关制造灯丝所用材料的资料的缺乏，使爱迪生在已相当接近于创制出带有难熔金属灯丝的白炽灯时，却又只制造出一种实用的电灯即炭丝电灯。

1879 年 4 月 12 日，爱迪生领到了第一个带有强阻抗螺旋形铂丝的白炽灯的专利特许证（美国的专利特许证号码是第 227229 号），这种灯丝与引入的电极是用特殊方法接起来的。这种电灯是真空的，它是通过灯泡圆顶上的专门管子把空气抽出来。爱迪生也在其他国家，其中也包括在俄国获得了这种电灯的专利特许证（1881 年 12 月 11 日的专利特许证，号码是第 9657 号）。但这种电灯还不能完全令人满意：它的使用寿命很短。

生产铂丝电灯的困难是，铂在美国当时还未采掘，所以电灯的生产就得依靠进口的。此外，铂丝电灯由于过热很快就坏了，因为过热使铂丝很容易软化或熔化。因此转为制造炭化灯丝是完全必要的。经过炭化，金属就成了坚实的炭结构。炭化过程就是把材料放到不进空气的高温密封室里煅烧。

#### 四

爱迪生又重新开始进行试验炭丝，把炭丝制成各种形状。爱迪生决定试验天然纤维。挑选最适合于制造灯丝的纤维是不容易的，天然纤维品种繁多。根据爱迪生所提出的任务，植物学家谢加多尼尔跑遍了美国南方，尔后又跑遍古巴来寻找和挑选各种纤维。爱迪生的其他两个助手也为此目的到了中国和日本，还有一个助手（布林南）到了巴西。门罗园终于收集了大量纤维植物的样品。结果发现只有三种植物最合适，其中最佳的是竹子。当时爱迪生组织了寻找纤维的“第二阶段”工作。他派遣精明干练的助手穆尔到中国的一些竹子种植场和竹子加工场。甚至试验了保存数百年的建筑物上的旧竹子。经过试验，决定用一种最常见的日本竹，因为这种竹子可以制成粗细均匀的、笔直的和容易分劈的纤



维。他们把铂丝的螺旋形状改为了马蹄形状。在功率为 8 支烛光的灯泡里安装了一个马蹄形灯丝，而在功率更大的灯泡里安装二个到四个串联在一起的这种马蹄形灯丝。

初期试验阶段中的许多麻烦，都是由于从灯泡里抽出空气的工序所造成的。最初爱迪生使用了斯普伦格尔和盖斯勒的水银抽气机。但使用这种抽气机有水银中毒的危险，因为不得不在气温 55 度上下的充满水银蒸气的环境中工作。爱迪生使用了经过克鲁克斯改进的抽气机结构，并对该抽气机作了某些改进。1882 年在门罗园安装了将近 500 台自动抽气机。

爱迪生是这样描述自己在 1879 年的研究工作的进展情况的：

在我实验室的老记事簿上有这样的记录：经过许多次失败的试验后，我于 1879 年 10 月 21 日成功地炭化了一团棉纱，并使它成为马蹄形。我把它放进了一个密闭的玻璃灯泡里，灯泡里的空气被抽出到大气的一百分之一的稀薄度。我开了这盏电灯，并马上测量了电阻：电阻是 275 欧姆。我们要力求做到的也就是这一点！后来我们就坐下来观察这盏电灯。我们很想知道，它能亮多长时间。如果能证明电灯使用寿命长，那么问题就算迎刃而解了。我们坐着，观看着，而电灯继续亮着。它亮得时间愈长，我们就愈高兴……，我们之中没有一个人愿去睡觉，我们就连续 48 个小时没合眼。我们大家的心情都越来越振奋，坐在那里注视着电灯。电灯亮了 45 个小时，因此我就确信，合乎实用要求的电灯终于诞生了……

1879 年 11 月 4 日，爱迪生向美国申请登记真空炭丝白炽灯。1880 年 1 月 27 日，他领到了专利特许证，专利特许证的号码是第 223898 号。

爱迪生在制造炭丝灯中获得一些初步成就后，就着手改进炭丝灯以延长其使用寿命。试验花费了 4 万多美元，试验结果证明这些开支是合算的。在电灯研制成之后，紧接着研制许多属于电照明系统的东西，需要发明或研制出的有发电机、调节器、电度表、开关、保险丝、照明用全部附件、电照明装置的导线和电缆，分线盒和许多其他零件，甚至包括绝缘胶布。所有这些大部分都是第一次发明的。

1879 年，门罗园实验室的研究工作正在夜以继日，热火朝天地进行着。无论是爱迪生本人，还是他的助手们，无论夜间和星期天，都没有很好休息过。在 1879 年圣诞节前夕，研究工作基本告终：爱迪生的实验室、办公室、住所，还有几所住宅，都用上了电灯。在门罗园所在地的四周，安装了大约 20 盏电灯。这是世界上第一个白炽灯电照明设备，这个设备是从他那装有发电机的自备发电站那里获得能量的。

## 五

白炽灯到 1879 年末制成，并能让广大观众观看。白炽灯的生产，当时只是在门罗园实验室和工厂里进行，这就限制了大规模地进行照明演示。但是已经可以展出的那些东西，对于未来电照明的发展来说，是极其有益的和极其重要的。1879 年 12 月 21 日的《纽约先驱报》用了整整一版篇幅，论述和报导爱迪生的白炽灯和照明系统。这种报导使爱迪生备受鼓舞，他决定要尽快地公开展出他所获得的成就，并要在年底以前

完成白炽灯及其照明系统的制作，也就是说要在 10 天之内结束全部工作，并在除夕进行展出。在 12 月 21 日以后这段时间内，制造出了几百个由高级纸板炭化成的条状灯丝的灯泡。

1880 年 1 月 1 日，有 3000 多人乘坐宾夕法尼亚铁路的火车来到门罗园，其中有官方人员、著名的社会活动家、科学家、新闻记者和工商界人士。但远非所有的人都怀着善良的愿望，某些参观者并不掩饰他们希望看到有某种缺陷能打消人们对电照明产生兴趣的心情。甚至有人还存心要直接破坏设备的正常工作。后来，每当爱迪生回忆起这次演示时，总是举这样一个事实：

我想起有一位毕业于约翰·霍普金斯大学的著名电工学家参观实验室的情况。

我们把灯泡摆放在桌子上，以使用实例说明在房屋内和街道上的正常布线问题。实验室的 60 名工作人员都派去照看器材，而且其中每一个人都要目不转睛地照着给自己所规定的那一段的陈列品，密切注意不让任何一个参观者‘胡闹’。结果发现，所提到的那个参观者把一段绝缘电线缠在胳膊上，放在背后的衣服下面，而把线头抽出来拿在手里，以便不让任何人发现。他的目的是要把两个线头接到供电线上，在不被人发觉的情况下造成短路，使灯熄灭。这样，他就能散布流言蜚语，说电照明装置的性能可以轻而易举地被破坏，因而引起人们对电照明持否定的态度。他不知道，可熔保险丝已被制造出来了，并被加以使用，也不知道，每组灯都有自己的保护装置。这位参观者用自己的电线同导线相接触，这只不过使四盏一组的电灯熄灭了。我们的值班者发现他这样干了，就把他叫了出来，赏给他一个极不好听的外号。

展览进行得特别成功，而且也有助于人们对爱迪生的电照明系统建立起充分的信任，产生很大兴趣。几千封请求帮助安装电照明的信件纷纷寄给了爱迪生。

但实际上工作才刚刚开始。当时面临的是各种各样的繁重的研究课题：灯泡能经久耐用、使用实惠和使用方便。

最初的白炽灯灯口是由石膏制成的；灯泡里引出的两个电极就固定在灯泡的颈端，这也就成了没有灯头的灯泡，这样灯泡的颈端就直接置于石膏灯口里。后来出现了木制灯头，而且灯口（也是木制的）上还装有旋转开关。灯泡的完全可调换性是在采用了至今还保持着“爱迪生灯头”和“爱迪生灯口”名称的金属螺丝灯头和灯口后才实现的。爱迪生所提出的灯口螺纹刻度已成为国际刻度，而且直到现在还没有发生过变化。

必须克服用以制造白炽灯用的易熔玻璃制造工艺方面的许多困难。灯泡被焊补住了，而且在整个使用期限内应保持高度真空。把灯丝两端连接到穿过玻璃而引入的电极上的问题也不是一件简单的事。但由于采用了铂丝，这个问题也就不存在了：铂丝的两端可以直接穿过玻璃，因为玻璃的膨胀系数与铂的膨胀系数区别不大。这个问题是随着改用炭质灯丝而产生的。后来在爱迪生的工厂里，人们就把铂焊接到引入的电极上，以便使电极穿过玻璃。在 1891 年，尔·兰格汉斯在柏林获得了代铂丝（即白炽灯用的铂丝的代用品的专利权，这是由用电镀或机械包覆方法涂上了一层铂的铁和镍合金制成的金属线）。

爱迪生发现，残留在玻璃、电极和灯泡里的气体，对白炽灯中的灯丝性能有着不良影响。但关于改进真空和消除残留的气体的有害影响的问题，在 1894 年才被意大利的马利尼亚尼彻底解决了。解决的方法是：空气抽出后仍使灯泡处于过热状态，一直到灯泡内出现淡蓝色辉光为止；在此之后，把磷、砷、硫磺的蒸气送入到灯泡里使之与剩余的氧化合在一起。

这里我们不去叙述爱迪生是如何研制出在照明装置中所用的电力的生产、分配和测定系统中的所有元部件的，是如何使这些元部件达到了能实际运用的程度的，因为下一章就要对此加以专门叙述。这里我们只指出，爱迪生在进行白炽灯的全部研制工作的同时，还不断对白炽灯的物理特性、电特性和光特性进行了检测。爱迪生为测量电流强度，制造了实验室所需要的电功率计；而为测量光度制造了最简单的光度计；他还购置了一些电阻箱。那时还没有安培表，还没有把瓦特作为功率单位。所有制造出来的灯泡都经过以下试验：用多大的电压才能使光亮达到 16 支烛光？预计每一马力的功率应带多少盏灯（每一个灯泡平均需要的功率为 93 瓦左右，也就是说一个水平烛光的单位消耗为 6 瓦左右！）。功率是用水的热量测定器，根据水温在一定的时间内上升的情况来测定的。现代照明技术专家当然很清楚，这种测量方法是太简单了。但是要知道测量仪器需要人去发明，而方法也需要人去想出来，主要的电单位制还刚在制定，爱迪生就在这样，实际上说是原始的条件下组织对产品进行颇有成效的检查，以便使产品的质量稳定，并尽可能地更加节约能量消耗。

只是在韦斯顿开始制造安培表、电压表的 90 年代初，才开始依据更加可靠的科学原理对白炽灯的质量和性能进行检查。况且这时已确立和掌握了电的测量单位和这些单位的标准器。在此时之前，光度学也取得了很大的成绩。爱迪生采用抽查的办法对灯泡的使用寿命作了试验，还采用了快速法即在提高电压的情况下对灯的使用寿命进行试验。

因此，可以认为 1879 年是以爱迪生彻底获得胜利及其成就充分得到承认而告终。他获得了保卫白炽灯之战的胜利，并为了改进和大大普及白炽灯而扩大了自己研究工作的范围。但事实证明，已被他所克服的困难只是漫漫征途的第一步，此后还将不断出现更多的困难。

## 六

1880 年元月，当爱迪生得到用纸或高级纸板的炭化条制造灯丝的专利特许证后，美国发明家索耶开始通过法庭来争夺爱迪生的专利特许证。索耶证明说，他在爱迪生以前就提出由炭化纸条作灯丝白炽灯，并要求取消爱迪生的专利权。但在此之前爱迪生就证实，用这种灯丝的灯使用寿命不长，因而停止了炭化灯丝的制造，改用强阻抗的炭丝。炭化纸条灯早在索耶起诉前就已停止生产，所以实际上他的起诉也就不了了之，尽管法庭承认了索耶的炭化纸条灯丝的优先权。

在 80 年代前 5 年，爱迪生全神贯注地研究白炽灯和改进照明系统；他对别人的研究工作毫不注意，尽管这些人已开始生产和出售他所研制的那种灯了。当时呈递了许多专利申请书，但这些申请书，通常或是与

以前颁发的专利特许证有矛盾，或只是牵涉到某些零件。众多的申请书，给改进灯泡和制造更经济型的灯泡造成很大的困难。在 80 年代中期以前，美国的电气工业已有发展并巩固起来了，许多电工商行都有生产产品的权利和专利特许证。1878 年为对爱迪生的白炽灯的专利特许证和电照明系统进行商业经营而建立的“爱迪生电灯公司”，极为迅速地发展起来了。虽然出现了新的白炽灯生产者的激烈竞争，但美国白炽灯的生产几乎有四分之三是这个公司制造的，年产量达到 30 万只。到 1883 年末，这一公司就拥有美国发给爱迪生的专利特许证 215 份，而还有 300 多份专利补充申请书已呈交专利局审批。但侵犯爱迪生专利权的人特别多，以致公司不得不把实际情况弄明确。从 1885 年到 1901 年，爱迪生公司及其继承者花费了约 200 万美元同 200 多名侵犯专利权的人打官司，这一些诉讼案的被告人大概也花费了 200 万美元。

## 七

爱迪生懂得，在关于生产白炽灯和各种复杂照明装置的问题上，他必须放弃不在自己的各实验室下建立大规模生产和大量出售产品的企业这一原则。1880 年 10 月 1 日，世界上第一座生产白炽灯的工厂在门罗园开工生产了。但人们对白炽灯的需求正迅速增长，爱迪生也不得不考虑把工厂迁往其他地区，并扩大生产规模。1881 年爱迪生在哈里森城（新泽西州）的“爱迪生灯泡厂”开工生产了。主要生产类型是 16 支烛光的灯泡，也少量生产 8 支烛光的灯泡，而光度超过 16 支烛光（甚至达到 150 支烛光）的灯泡也有少量生产。哈里森工厂里的灯泡生产技术最初是相当原始的。主要工序都是很繁重的手工操作（在 1882 年至 1883 年制造一个灯泡需要 300 道工序），所以灯泡的生产量比较小，工厂里有 150 人做工，日产量 1200 只灯泡。1883 年出售了 7 万只灯泡，而 1884 年出售量就达到了 12.5 万只。最初几年，灯泡只卖给中心发电站或自备发电站，再由它们供应给用户。

为广泛普及白炽灯，应当实行使广大用户买得起灯泡和对灯泡生产者也有利可图的价格政策。爱迪生懂得，灯泡生产规模的扩大和工艺的改进，一定会导致成本的迅速降低（1881 年一只灯泡的成本为 1.1 美元）。爱迪生就拟定了一个“争夺”用户的计划。他是这样打算的，灯泡的售价开始要低于成本，而且这个价格要多年不变，以后随着工艺的改进，成本就该大大地降低，这时仍以最初价格出售生产就有了利润，而这些利润会抵偿以前的亏损。爱迪生事实上正是这样做的。他开始规定每只灯泡售价 40 美分。按这价格，每卖出一只灯泡就要亏损 70 美分。第一年卖出了 2 万多只灯泡。第二年每只成本降低到 70 美分，而出售价格没有发生变动，但生产规模扩大了，所以爱迪生出售灯泡的年亏损数甚至比上年还多。在第三年，许多手工工序被机器所代替，工艺得到了改进，这就使成本降低到 50 美分。但制造和出售的灯泡的数量迅速增多，爱迪生的年亏损又增加了。在电灯工厂开工的第四年，成本降到 37 美分。在出售价格仍为 40 美分的情况下，爱迪生在一年内的收入完全补偿头三年的亏损。而且在第五年成本降到 22 美分，而灯泡的年产量超过 100 万只。在出售价格仍为以前的 40 美分的情况下，爱迪生公司就能从出售灯

泡中获得一年比一年多的利润。

在 1896 年以前已有 36 家生产白炽灯的公司。剧烈竞争导致了出售价格的降低。于是各种类型的灯泡的价格在 1896 年总是在 12 美分到 18 美分之间波动，但生产却大大改进和扩大了，以致这样的价格也还能获得巨额利润。

在美国电灯泡生产发展的同时，爱迪生的思想开始在欧洲得到传播。在还没有弄清楚爱迪生灯泡及其照明系统的本质和优点以前，许多欧洲电工学家都对他的研究工作持怀疑态度。在 1881 年的博览会上，爱迪生特别成功地演示了自己的灯泡。电站的建议在欧洲开始发展起来。

爱迪生在 1881 年博览会之后，马上建议柏林的西门子—哈尔斯克公司向他购买许可证，以便按照他的专利特许证生产灯泡。西门子谢绝了，因为他认为，他的堂堂一个康采恩利用别人的专利特许证是很不相宜的。主要的原因是西门子确信，白炽灯的令人心向往往是一种暂时现象，在照明技术中返回到弧光灯是势在必然。

在法国，情况就有些不同。根据法国法律，产品只有在法国制造，专利特许证才有效。当时（1877 年—1881 年），法国人对巴·尼·亚布罗齐柯夫电烛特别感兴趣，而白炽灯的生产没有得到资本家的支持。1881 年，斯旺在巴黎开办了电灯工厂，而翌年又在利尔开办了一座电灯厂。1882 年，爱迪生在巴黎附近的伊夫里开办了一座制造电机、照明器材和白炽灯的电机厂，灯泡的日产量最初为 500 只。爱迪生为在法国展开研究工作，组织了“巴黎爱迪生欧洲大陆公司”，这个公司使爱迪生的专利特许证在法国生效。1888 年，爱迪生和斯旺在法国的利益，通过组织联合公司“白炽灯总公司”而联合起来了。此后的专利诉讼，都是在该公司和它的竞争者之间进行的。

因为西门子拒绝购买爱迪生的白炽灯专利特许证的许可证，爱迪生就把在整个西欧使用白炽灯的权利转让给了“巴黎爱迪生欧洲大陆公司”。埃米利·拉捷瑙从该公司买了在德国使用爱迪生专利特许证的权利，并在 1883 年组织了“德国爱迪生通用电气公司”，当时在德国活动的还有斯旺的公司，这两个公司展开了竞争，一直达到由法院审理的地步。莱比锡最高法院判决宣布爱迪生的专利特许证是有效的，同时也没有承认斯旺侵犯了爱迪生的专利特许证。1887 年，当“德国爱迪生公司”不再对“爱迪生欧洲大陆公司”负有债务时，“通用电气公司”在柏林建立了。在这种情况下，西门子—哈尔斯克康采恩和“通用电气公司”在白炽灯方面的利益，通过专门契约而取得一致。

在灯泡生产占有较为显著地位的其他国家，可以提及的有奥匈帝国、意大利和荷兰。欧洲的产品就其质量来说，长期以来比美国的差。有几家商行已使产品标准化，并就工艺达成了协议。这是朝着建立国际电灯辛迪加“太阳神”迈出了第一步，这个辛迪加一直存在到 1941 年，总理事会设在日内瓦。

## 八

爱迪生的卓越成就是创造了实用的白炽灯和确立了照明系统。但他并不认为自己的这种发明是十分理想的。他认为充其量不过是照明技术

史和电工技术史上的一个阶段，一个比较长的阶段。在 1929 年庆祝白炽灯“50 周年纪念日”中，爱迪生说：“完美无疵的发明是没有的，现今的白炽灯也不例外。不发热的光这才是理想，但离这一步还很遥远。”其实不发热的光的出现并不那么遥远：过了 12~15 年，就出现了在很大程度上已具有产生不发热性能的荧光灯。

在爱迪生进行研究活动之前，长期存在着对白炽灯方面的发明持怀疑态度或否定态度的现象。但爱迪生白炽灯的辉煌成就，很快消除了这种成见。人们都相信电灯，这就为电灯的实际应用开辟了一条日益扩大的康庄大道。

我们要援引法国科学院院士、《电灯》杂志主编特·德蒙谢利就爱迪生最早的白炽灯所发表的意见。他在 1881 年写道：“所有试验所获得只不过是局部性的成功，1879 年出现了关于爱迪生的新式炭质白炽灯的消息，许多科学家，其中也包括我本人，开始对从美国传到我们这里来的传闻的可靠性表示怀疑。一块炭化了的马蹄铁形棉纸，看样子不能抵抗住机械的冲击，任何时候都不会成为白热化的。正在这时，侯德·弗·斯旺也断言，他在试验类似灯丝时，从来都没有获得过多少令人满意的结果。然而爱迪生并未感到难堪，而且他也不管虽然有人强烈反对他的电灯，也不管他的电灯已成为激烈辩论的对象，他没有停下来，而是为了实用的目的继续改进电灯，所以最后终于制造出了我们在这里的博览会上所看到的、受到世界赞赏的电灯。”

1929 年为纪念爱迪生的白炽灯创制 50 周年，在美国举行了庆祝会，有许多卓越的科学专家和技术专家都赶来参加了庆祝会，他们当中有玛利雅·斯克拉多夫斯卡娅—居里、奥尔维尔·莱特和一批著名的日本工程师等。爱迪生收到了威尔士亲王和德国总统金坚布尔格的贺电，海军上将伯德从南极拍来的贺电，阿尔伯特·爱因斯坦和其他科学家的贺电。50 年前在门罗园制造灯泡的机械专家杰利，当着美国总统胡佛、亨利·福利、爱迪生等人的面，仿照了在 1879 年条件下制作电灯的情况，即采用 1879 年那样的灯丝、抽气机、玻璃、灯头等制造起电灯来。他所制造出的那盏电灯是由胡佛总统亲手开电门燃起来，该灯亮得特别好。

## 第六章 生产电能 控制电流

爱迪生发明的白炽电灯结构形式合理，宜于实际推广使用，但它只是被称作“爱迪生电气系统”这一综合体中的一个环节。因为制造出好的光源，固然对发展电照明起了重要作用。但是，由此拟定出的一整套复杂的照明系统则更具有巨大意义。

—

在电工学史上，特别是在电照明方面，一个发明家不仅研制出了主要设备，而且也研制出了配合这套设备工作的整个系统，这种例子我们能举出的只有一个，这就是“电烛”（即没有调节器的弧光灯）和以“亚布罗齐柯夫电气系统”而著称的照明系统的发明家、俄国杰出的发明家巴·尼·亚布罗齐柯夫的研究工作。

爱迪生把白炽灯作为一系列综合研究的出发点，对这一综合体作了十分周密的考虑。他懂得，不解决电照明的综合系统的所有问题，他所发明的白炽灯就得不到很快推广。爱迪生本人对这一综合体的主要问题作了如下的表述：

第一，要详细制定出使用范围广泛的和原理上正确的电能分配方法。这种方法从科学观点上要说得过去，从经济学观点上说，能适用于商业经营。换言之，要拟定出既符合电能特点又符合电能利用的方法的计划，而在其细节方面它又相似于瓦斯照明所已作到的那些东西。这个计划应包括电力网、导线和为保证多方面供电而采取的因某一地段发生故障或事故而引起的停电现象的措施。

第二，要设计出能普遍供照明用的光通量较小的白炽电灯。它既应便于简单地往电线上连接，而且每一盏电灯又能独立工作。它还应价廉物美，以便胜过瓦斯照明。其性能也应稳定耐久，用户使用安全。

第三，要像瓦斯供应那样，创造出一种可以用来计量或计算供给用户电能的方法，而且要通过安装在用户住所的计数器，简单方便地办到这一点。

第四，要详细研究可以敷设在地下或用瓷瓶架设在电杆上的电线的结构。要从电线上能很方便地分出支线为沿街建筑物供给电能。进行地下敷设，需要用护套或管子保护电线，为了便于用户接线，管子应在任何地方都可以开出接入导线的引入口。因此，需要研究出引入口的结构、分线盒、连接点，以及根据每一个单独用户用电需要而配备的其他零件。

第五，要研究出在分配系统各点上稳定电压的方法，以使所有的电灯不受数量和离电站的远近的影响，而发出同样的光来。必须预防电灯在电流发生剧烈起伏时熄灭。必须创造出在电站调整电压的方法，以便在电力网的各个地方保持住所需的电压，而且电站本身应有指示仪表，随时指出电力网各个地方的实际电压。

第六，要设计出把汽能变成电能的经济有效的高速装置，以及电机起动和制动装置，调整和平衡电机负荷的办法。还必须为保障工作的连续性而研究出电站的蒸汽部分和电力部分的总体布置。

第七，要发明防护装置，以便使能引起火灾和造成其他破坏的多余电流，不能进入电力网。要研制出开关、灯头、灯口以及接照明器的内部布线方法。

这就是爱迪生为制造电照明系统而要进行研究的内容。现在我们来分析一下，爱迪生是采用何种技术上的办法去实现这个宏伟计划的最主要的项目的。

爱迪生照明系统继白炽灯之后的最重要部分就是发电机。1874年威廉·华莱士和姆·法默共同在美国制造了发电机。这时在欧洲，研制出了格拉姆环形电枢直流电发电机，以及赫夫纳—阿利捷涅克鼓形电枢发电机，因为发电机是由柏林的西门子—哈尔斯克工厂生产的，所以通常称为西门子电机。发电机的发明者是这两个厂的助理电技师。但这样的发电机器没有输入美国，在美国安装的或是华莱士—法默发电机，或是布拉什、韦斯顿及其他美国设计家设计出的发电机。所有的美国发电机，通常都是指定用来向串联在电路上的弧光灯供电，所以它们就产生电力恒定的电流。而爱迪生则需要一种恒压电流为并联接起来的电灯供电。在用恒压电流的情况下，所有接入电网的灯都应发光。所以必须研究出另外一种类型的发电机。

## 二

爱迪生的第一台发电机，是1879年制造成的，当时他研制白炽灯的工作也大功告成，并于当年10月在门罗园进行试验。这台发电机，大概就是当时爱迪生为后来到北极去考察的一艘船的电照明制造。这是一种用皮带传动的双极鼓形电枢发电机。这个发电机为并联电灯产出了恒定电压为110伏的电流。他第一次设计是一种有两个笨重垂直电磁铁的发电机。鉴于在不同的照明装置中接入发电机电路的有不同数量的电灯，爱迪生就在自己的工厂里设计和制造了一批六种型号的发电机，每一型号上打有字母标记（括弧内标明的是该发电机额定供应16支烛光电灯的数目）：E（17），Z（60）；L（150），K（250），H（400）和C（1200）。在头两种型号的发电机中，各有两个柱形电磁铁铁芯，而功率最强大的C型发电机则有12个柱形电磁铁铁芯，其余3种型号发电机要各有6个柱形电磁铁铁芯。这些发电机体型高大，助手们都把它称之为“身材细高的马丽安娜”。发电机体积大而笨重：最小的发电机（E型）的重量将近300公斤，而最大的发电机（C型）的重量为30吨。爱迪生的所有这些型号的发电机都是双极的。电枢铁芯都是用大量的由薄钢制的圆片叠压起来的，圆钢片与圆钢片之间以及与轴之间都进行了绝缘，在发电机发明专利特许证中，对这种电枢结构进行描述。爱迪生也指出说，组成电枢的圆盘厚度应少于八分之一英寸，这一点至今仍适用于由层层圆钢片叠压成的电枢。爱迪生十分正确地使用了电枢的叠压法，它消除了对电枢有害的发热现象，提高了发电机的有效功率。在电枢的纵槽里和沿着圆筒的正面，装有在前面连接整流子片的铜棒。但他在这里犯了一个错误，即用来固定电枢铁芯叶片的螺栓没有进行绝缘，成了局部电流发热和白白消耗电能的根源。磁路部分使用铸铁材料，也是一个缺点，因为铸铁的电阻率大。



爱迪生提出了自己的绕组图，研究出了一种整流子的结构，打火花现象在这种整流中被消除了，整流子片磨损的现象也大大减轻了。爱迪生把火花分成几部分，配置了许多电流依次通过的触头。在发电机大量供给电能的情况下，爱迪生研究出调整电压的方法。他提出要用改变磁阻的方法，也就是减少或增加轭磁量来实现这一调整。为此，电磁轭就增加了一个活动部分，而活动部分的移动影响了轭磁量和轭磁传导，起到了磁路调节器的作用。这个方法没有得到广泛推广，但却在某些专门的机器（如电焊机）中得到应用。

从现代的观点来看，爱迪生的上述类型的机器有很大的缺点，用可煨铁制成的特别高大的电磁铁，在铸铁基板上相互连接起来的巨大的电极端，使机器变得很笨重。在配置这种磁路时，机器就有很大的磁阻；诚然，当时在这方面还没有一个很正确的概念。电枢和整流子结构，以及这些机器中的绕组图，都由爱迪生作了独创的改进。这些机器是在美国进行批量生产的头一批电机。这在当时（1880年）也是世界上功率最大的发电机。

爱迪生也制造出了单极盘形电枢发电机，而这个电枢的绕组就像车轮的轮缘一样，安装在电枢的周边上。这是根据傅科旋转机制造发电机的第一次尝试。配置在一个强磁铁两极间的这种旋转机圆盘上，会产生出呈辐射状的电动势（如同法拉第圆盘上产生的电动势一样）。爱迪生用两块磁铁来代替一块磁铁，而用带有辐条的轮（其外围有绕组）来代替圆盘。这种设计的原理是新奇的，但采用这些机器不如采用其他机器合算。

英国电工技师约翰·霍普金森在1886年，改进了爱迪生上述类型的发电机。这种新发电机获得了爱迪生—霍普金森机的名称，并在英国和美国进行了批量生产。这也是直流双极发电机。霍普金森所作的最重要的改进涉及到磁路，但在这种情况下发电机的外形就大大改变了。霍普金森不用爱迪生在大功率的电机中所采用的增加磁芯数的办法，而是只留下两个磁芯，即一边一个磁芯。每个磁芯都非常牢固地用自己的一端同一个极端连接起来，而用自己的另一端同磁轭连接起来。与爱迪生以前的发电机类型比较，铁芯横截面增大了，但铁芯却短了，而机器的高度也明显缩小了。铁芯截面或是圆形的，或是有斜着切去了角的长方形的。爱迪生—霍普金森机中的磁路变短了，但横截面却变宽大了。霍普金森也改进了电枢结构，增加了电枢中的钢量，减少了磁路的这部分磁阻。爱迪生—霍普金森机的效率增大了。电磁铁的励磁绕组是正方形截面，这就节省了地方，缩小了外形。极强的磁场和弱的磁阻的电枢，是这种发电机的主要特点。整流电刷也分成了单独的几个部分，这样就可以随时更换其中一部分，而并不破坏电路。中性点和各个电刷的配置都选择得很合适，从而把打火花现象完全消除了。这些发电机的效率超过了0.93。

从爱迪生在设计电机方面的思想的发展观点来看，他在门罗园时为推动各种试验而制造的小型蒸汽发电机，是令人感兴趣的。原动机的工作轴上装有发电机转子；形成了结构非常紧凑的机组。这一发电机促使爱迪生产生了要制造适合于集中发电机的电站使用的功率更大的发电机组的念头。

### 三

当爱迪生着手设计纽约市（珍珠街）第一座发电站的时候，他就开始设计与蒸汽发动机有一个共同轴的功率强大的发电机。这种发电机比以前的爱迪生发电机的结构更为紧凑，因此在电站里安装只需要一小块地方。发电机得到了“贾姆博”这个名称：这是人们给动物园的大象起的绰号。专门制造的 200 马力的蒸汽机是原动机。“贾姆博”发电机有一个特别强的磁场，机中的转子绕组是棒形的；机组的重量为 27 吨，而其电枢本身就重达 6 吨。这个发电机供给电力网 900 安培的电流，其电压为 110 伏。第一台发电机是为 1881 年的巴黎博览会制造的，并在那里给观众留下了深刻的印象：这个发电机的电能是供给博览会各陈列馆和博览会地区中的 1200 盏白炽灯使用的。这就表明，这是当时已有的发电机中发电量最大的一个，同一年，这个发电机还在伦敦水晶宫展览会上展出。

我们所举出的图就是“贾姆博”发电机，图的左前方是“贾姆博”发电机的蒸汽发动机部分，其横向轴，通向机组中间的发电机体内，发电机转子就安装在这根轴上（见插图）。

在建造纽约公用电站之前，爱迪生就已制造出几个很有意义的照明设备。门罗园的照明设备（1879 年），目的是要用白炽灯来演示各种不同的照明情况，而后来制造的其他设备就提供了丰富的试验性的使用情况的资料。

根据爱迪生和“爱迪生电灯公司”签订的协议，发明者要把两项重要发明——白炽灯和电照明系统——的商业经营权交给该公司。

爱迪生的第一个商业性的照明系统，安装在“哥伦比亚”号轮船上。惯于造谣中伤的人们预言这种设备会遭到失败，并将给整个电照明设想带来无法弥补的损失。而事实粉碎了这一预言：这个照明设备顺利地使用了 15 年。同一种设备在伦敦的霍尔本天桥、米兰的拉斯卡拉歌剧院、“黎塞留”号巡洋舰等处，都运转得很好。

商店、独家住宅、旅店、企业等单独安装照明设备的需求量迅速增长，这就要求迅速建立从事安装个人照明系统的专门公司。这一公司组织起来了，名为“爱迪生个体用户照明设备安装公司”。在 1882 年年中以前，共计有 67 台这样的设备在美国使用，给 10 424 盏电灯供电。这年年底，设备安装数量又增加一倍多。

珍珠街电站是爱迪生为发展纽约市一个区的电照明而建立的第一座公用电站，它的投入使用是电工学史上一个非常重要的时刻。这个电站成了研究和改进爱迪生照明系统的学校和实验室。巴黎展览会（1881 年）、伦敦展览会（1882 年）、慕尼黑展览会（1882 年）上所展出的爱迪生系统方面的电照明展品，实际上不过是宣传白炽灯电照明系统的直观手段，还不能包括电照明系统的全部特点。建设电站生产电能出售给用户，并不断维修用户的各种设备，保证其性能可靠，是很有必要的。

早在建设电站之前，爱迪生就把第五大街第 65 号楼租赁下来，安置上了办公室陈列厅。该楼共四层全部都装满了要演示其性能的展品。这里安装了一台小型蒸汽发动机，它用来带动供给这座楼房照明系统用的

发电机。楼内演示了大枝型吊灯和普通的单管灯等各种照明方法，夜里就专门进行试验和有趣的专门演示。

富翁们偕夫人参观了这些展品。他们当中有许多人看了所展出的展品后，表示希望在自己家中和事务所里安装这种照明设备。因此，由于独家住宅、大公司事务所、剧院等安装电照明的需要，自备发电站的订货量大大增加了。爱迪生不满足于这一类订货，他知道，在订货者那里的照明设备安装完毕，自备发电站投入使用之后，如果把订货人以后因灯泡烧坏而需要购买灯泡替换的情况除外，那么与他们的关系就算从此中断。爱迪生想创造一些条件，使中等收入和收入少的广大用户都能用得起电灯照明，使电站与用户间的商业联系变成长期的。为此，只有通过建发电站，并由发电站在用户那里安装照明设备和为用户经常服务。把照明系统用于商业经营的试验，就从建筑珍珠街电站开始了。

为选定建筑电站的最合适地点，爱迪生研究了标有事务所、商店、车站、剧院和企业的 15×5 英尺的纽约大地图。他详细研究了下曼哈顿的一个区，因为他认为，那里很快就会有大量用户。他往这个区派了大批调查人员，并一家不漏地走访了各家，弄清楚居民和各种机关在电费与瓦斯照明费用相同的条件下，是否同意改用电照明。调查人员也调查登记了将来可以用电动机代替的小型动力设备。这些资料成了设计电站和制定空中和地下电缆网的电力线路图的依据。

经过计算确定，电站需要有一个边长为 0.5 英里的四方形有效区。在所选定的地区内有一些大的金融组织，这样一来，推广使用电照明肯定会引起人们的特别注意。爱迪生决定在所选定的地区的中心，即在珍珠大街 255—257 号地段建立一座电站。爱迪生在 1887 年 8 月买下了这一房产，每一层（楼房是四层）的面积为 100×50 英尺。蒸汽锅炉安装在一层，燃料全部运到这里。第二层是装有六台“贾姆博”直流发电机的机器间。每一台功率为 90 瓦，分别由三个蒸汽机（每分钟为 1200 转）带动。第三层安装有由六个配电盘组成的配电装置，即每台发电机各用一个配电盘。最后，第四层装有一块有 1000 白炽灯的控制板，在把电流送往线路网之前，就要把这种电灯式电阻接通，否则在几个发电机全部工作时，用户的电灯就要烧坏。

电站的满负荷量，根据电灯同时点燃的有效系数来计算为 1 万盏 16 支烛光。

电站的建筑物设计得很合理，电站设备的部件选择得也合理。爱迪生在建筑珍珠街电站中所使用过的许多原理，后来在建设直流电电站中，都得到了应用和发展。发电机用人工冷却，电压是按爱迪生所制定的专门线路进行自动调整。燃料是用专门制造的机械装置送到锅炉房。锅炉房中炉灰煤渣的清除也是自动化的，电流短路的防护，是用保险丝来实现的。从电站所引出的干线都是地下线路，配电网都架设在空中。

## 四

爱迪生在珍珠街电站投入使用之后，就组织通向个体用户的用电量的计算。为此就需要设计一个计数器。爱迪生所发明的计数器，是根据电解原理制造成的。爱迪生最初一批计数器，是用于计算装有不超过 25

盏电灯的设备上所用电能的。这是电能计数器的主要类型。后来又研制出了一系列的计数器，即 1 型、2 型、3 型和 8 型；8 型用于大用户的设备上。

爱迪生制成的最早类型的电能计数器，是根据电量计原理工作的。计数器结构中有两个装有硫酸锌溶液的密封起来的电量计。两个电极也都是硫酸锌的。其中一个电量计是用于定期测量，另一个电量计用于控制第一个电量计。计数器体内的白炽灯，是为了不使电解液冷却和分解速度减低的目的而装上的。当温度开始接近零度时，白炽灯就自动亮起来。电能的消耗量是从容器里取出电极称它的重量来测定的。称过后，电极重新放进去，它的极性也改变了，因此电极就能使用很长的时间。后来爱迪生作了改进，进行测量不再需要取出电极来称。改进后，电极全都挂在一根平衡杆的两端，由于电极上的金属的分解，平衡杆便产生了偏斜。这种计数器是自动记录的。

爱迪生的电表受到人们的极大怀疑。公众想像不出，这种小匣子如何能准确地计算出电能的消耗量呢。后来由于报纸报导了一件人所共知的事件，才使人们对计数器的看法发生了转变。有名的美国资本家万杰尔比利特，他的私邸里安装了电照明。照明费计算是根据所安装的电灯数量，而不是根据电能的实际消耗征收。万杰尔比利特有一次遇见爱迪生，他对爱迪生说，按所安装的电灯数量收费是不公平的，因为任何人都无法计算出多少时间和多少盏电灯处于通电状态。爱迪生同意这一点，他说，他要在万杰尔比利特那里安装一个能计算多少盏电灯点了多长时间的装置。他这里指的装置就是他所发明的计数器。“这是不可能的！”——万杰尔比利特说。当时，爱迪生就建议他把灯的数量和点的时间准确地记录下来，而爱迪生亲自在万杰尔比利特的私邸的电线引入端安装了电表。爱迪生打赌说，记录和测量的结果是会相符的。试验结果，证明了爱迪生是正确的。这次打赌使爱迪生的计数器博得了大家的信任。

爱迪生的计数器，是电工技术实践中出现的最早的计数器。由于有了计数器，在供电初期就可以在大家接受的基础上，进行电站和用电户间的电费计算。实践证明，爱迪生早期发明的这个计数器存在很多缺点，后来经过许多发明家（阿伦等人）改进，完善了这一装置。爱迪生计数器的缺点是液体要蒸发、液体电阻要变化、电极难称。这个计数器的电阻是很大的，所以决不能把计数器直接接入电路。计数器只能接入电流通过量不大的分线上，这就会产生很大的误差。同时这个计数器不能用于交流电。

## 五

珍珠街电站开始工作之后不久就发现，电站的有效范围比较小，在用直流电能的情况下，只有采取专门措施来扩大这一范围。然而电站生产的电是 110 伏的，所有的装置都是根据这一情况安排定了的。当时扩大电站的有效范围已变得越来越重要了。爱迪生研究出了三线制，约翰·霍普金森也正是于 1882 年在英国提出了这种三线制。美国的专利特许证是在 1882 年 11 月 27 日颁发给爱迪生的。威廉·斯·安德鲁斯用数

学的方法论证了这一系统。在英国，专利特许证是颁发给爱迪生和伦敦的“爱迪生电灯公司”的工作人员霍普金森的。在采用这一系统时，电站的两台发电机串联起来了，除了两条工作线之外，还有一条从中性点引出的中性线。在远距离传送时，两条工作线间的电压是 $2 \times 110$ 伏，而任何一条工作线和中性线间的电压是110伏。用户那里安装的都是通常的110伏灯泡，但它们是接在一条工作线和中性线之间的。这一系统也可为电动机输送电压为220伏的电流，因为用户可以把电机接在两条工作线间。在三线制的两个支路间的负荷平衡的情况下，中线是没有电流的。爱迪生在他的许多设备中采用了这一系统，这一系统为在直流电占优势时期推广多线制打下了基础。西门子和哈尔斯克的商行曾一度大力宣传了电力线路的多线制，并在电站有四个串联的发电机的条件下，在某些设备中采用了五线制。

美国东部几个州的电照明费用要比瓦斯照明的费用高20%~30%，但电站用户量却在急速增长。许多城市都建立了爱迪生公司的电站，在商业上是很赚钱的。在中部几个州（例如在犹他州）瓦斯价格昂贵，而电照明要比瓦斯便宜一半。在这些地区，照明电能的消耗量增长得特别快。

爱迪生由于主要打算发明电照明，在那几年对电动机就不太感兴趣。他的“爱迪生机器制造厂”在制造电动机过程中，并没有增添任何新东西。由于爱迪生反对使用交流电，所以他的企业里就没有制造变压器。

爱迪生在头几座中心电站投入使用之后所取得的成就，在国外也是前所未有的。在欧洲建立了爱迪生公司分公司，建起了公用电站。其中第一座是1883年开始使用的米兰电站。在柏林和巴黎几乎是同时开始为某些街区的照明建立电站。这时欧洲的瓦斯公司还享有各种特权，所以电照明的发展速度要比美国慢得多。1886年以前，美国已有41座电站，归爱迪生所有，这些电站供给10万盏电灯的电能。爱迪生在美国、欧洲和拉丁美洲的一些最主要的国家里，广泛推广了自己的电照明系统。

## 第七章 新的牵引力新的蓄电池

—

爱迪生之所以在电机方面开展研究工作，一方面与日益增长的对公用电站的需求有密切联系，而另一方面与设法解决能使运输技术得到进步的电力牵引问题有密切联系。大概在爱迪生开始进行电力牵引研究工作半个世纪以前，人们就企求把电能用于传动和牵引。早在1834年—1838年期间，俄国学者院士保·谢·雅科比就创制出电力发动机，该发动机是根据电磁铁的吸引和排斥原理而工作的，电磁铁的绕组是由大的原电池组供电的。雅科比在彼得堡涅瓦河上所进行的小型轮船的电力驱动试验，是人所共知的。还有许多通过电动机传动，使陆地上的车辆和水上小船行驶的尝试，都在40—60年代期间进行过。所有这些尝试，以及雅科比的有趣试验，都没有产生令人满意的结果，哪怕是令人感到有成功的希望也好。这是因为靠磁吸力和磁排斥原理工作的电动机功率小，更主要的是伽伐尼电池组所产生的电能价格昂贵和这些发电装置难以操作。电动机在当时是很少被用来进行传动的。在格拉姆发电机出现之前使用电动机传动的人寥寥无几。印刷业生产可以作为一种例子，当时已用生产率高几十倍的机器传动印刷机来代替了手工印刷机。这样的印刷机在任何印刷所里也不能做到全天满负荷工作。通常，印刷机都是由蒸汽发动机来带动，要用几个小时去点炉火和发动机器，因此就需要有专门的操作人员。这样，操作蒸汽发动机的传动装置，要占许多时间，而一天中传动装置才使用几个小时。在这样的条件下，最好是安装使用伽伐尼电池组电流的电动机：当需要的时候，电动机可以随时发动，不要时可随时停止。但这种电动机功率比较小，是很不利于生产的。

随着自激直流电机的出现（由于这种电机具有可逆性，故既可作发电机用，又可作电动机用），才有可能在更大范围内采用电力传动，特别是用在牵引方面的电力传动。

80年代初，西欧和美国在陆运中开始利用电力牵引。如1874年旧金山的斯捷凡·菲尔德提出了关于采用固定直流发电机来给电动车辆供电的专利申请。这种车所用电流，是通过第三条钢轨或单独的绝缘线供电。但菲尔德没有使自己的专利特许证生效。而电车也并没有制造出来。1879年西门子—哈尔斯克公司在柏林工业博览会上建筑一条长度为1000英尺（0.3公里）的短距离的实验线路。线路由第三条钢轨供电，而线路的另两条钢轨起回路作用。电气列车是由五节车厢组成，每节坐6名乘客，电动机功率为3马力。约10万名博览会的参观者，在这条铁路上进行试乘。1880年，这一电气化铁路又在布鲁塞尔、法兰克福和杜塞尔多夫博览会上展出。这时，费·阿·皮罗茨基在俄国也正进行电力牵引的试验，但他获得的成果比较小。尽管在建设电气化运输方面缺乏实际经验，但西门子还是在1880年开始设计和建设一条从柏林的安哈特车站到利希特菲尔德校场（沿着天桥）的电气化铁路。铁路于1881年5月投入运行。

这样，在爱迪生开始研究电力牵引之前，欧洲在这方面采取了重要的实际步骤。而爱迪生在传动装置和牵引方面的试验，是无足轻重的。他只是在设计馈电刷时，才遇到电动机。接着爱迪生研究用电动机带动

缝纫机，这种电动机的电枢安装在二极场中的两个极端间。

爱迪生对电力牵引的研究是由下面一件事引起的。1878年，爱迪生参加了派到怀俄明州去进行观察的天文考察队。爱迪生想在天文观察中使用他所发明的“测微温湿计”（印刷量温湿度微小变化的仪器）。观察地点在美国的大西部，在离铁路干线200英里的谷类作物种植地区。爱迪生看到，庄稼人用兽力车把粮食运到铁路边，再转装到火车上。这样不仅运费高，而且劳动也很复杂，需要有大量的畜力运输，需要更换马匹和马匹休息的中间站，需要饲料仓库和大批的服务人员。爱迪生产生了一种想法，并对这一想法做了深入研究。这个想法是：修建一条通过铁路干线的电气化货运电车道。爱迪生认为，这样的货运电车可以不用电车司机，而由沿线各站自动操纵。在这种情况下，经营费用将缩小到最低限度。为了着手实现这一预计颇有经济效益的想法，应当进行试验。1880年，爱迪生在门罗园建筑了长达0.35英里的电气化线路实验地段，小型钢轨固定铺在间隔约一米的枕木上，线路路基是在硬土地上，没有铺碴。线路的起点在工厂附近，并沿着马路一直往北。由安装在工厂里的爱迪生Z型（100伏特×75安培）电机作为发电机负责供电，发电机的两极通过地下绝缘导线与两条钢轨连在一起。一条钢轨是用作直通机车头的直输线，另一条钢轨就是回线。没有采取任何专门措施使钢轨与地绝缘，条件虽不完善，但漏电不多。机车是一个四轮车，车上面安装的也是同样的Z型电机，用来作为发动机。该电机被平放着（这种型号的电机外形尺寸很高）。电枢轴上装有一个摩擦传动轮，而该摩擦传动轮的旋转，就把力传给了另一个传动轮，而这个轮的旋转，就带动了车子的轮轴。此外，还装有第三个轮，这个轮通过杠杆与第一个传动轮或第二个传动轮发生摩擦接触。车的轮子是木制的，轮毂装有金属衬套，轮外缘装有厚实的金属轮圈。轮毂用三根金属辐条与轮圈连起来。整流电刷紧靠着轮毂。所有四个轮子都是这样装置的：电流从带有正电的钢轨进入车轮，经过电刷再传给电动机，而从电动机那里经过其他两个馈电刷和车轮再传往另一条作为电流回线的钢轨。

## 二

到1880年5月铁路建成了，5月13日下午4点通车。机车上的所有座位都被爱迪生及其助手占了。机车开动了，并平安地走完了全程，但终点停车时震撞了一下，造成了一些损坏。爱迪生认为，他所设计的摩擦装置不合理，不完全可靠，所以就改用了电动机通过皮带传动带动轮轴的办法来代替摩擦装置。此外，爱迪生决定使用与电枢串联在一起的电阻，以便起动平稳。机车上装有探照灯和信号钟，以便使路线试验可以在黄昏和夜间进行。

当时决定把线路延长到1英里，修路所需要的材料都是靠电气列车运输。许多关心电气化运输的人参观了门罗园，并在电气化铁路上试乘了车。这样的乘客有几千，机车在白天几乎是连续工作。

在新的延长了的线路上，有几处急转弯和不平坦的地段，这对于积累更多的试验资料来说是必要的。在路线的某些地方，车速达到每小时42英里。试验中曾发生几起列车出轨事件，但列车没有损坏。进行试验

的列车由机车和三节车厢组成：无盖货运平板车，有棚和板凳的无盖客车和有盖客车。为了解这些研究工作，美国卓越的铁路业活动家亨利·维拉德和许多外国人，其中包括瑞士工程师比德曼和丘里都参观了门罗园。

1880年一年中，美国各报上出现了有关爱迪生试验的报道，对试验作了通俗介绍的文章刊登在1880年6月6日的《科学的美国》杂志上。根据1880年7月22日的申请，爱迪生领到了第265778号专利特许证，在该证上面记述了由电动机的电枢轴到各轮轴都经过改进的传动系统。专利特许证中还指出了有两个带有杠杆系统的钢轨夹钳，它们交替地一会抓紧在这一条钢轨，一会又抓紧在另一条钢轨上把机车拉紧，这就使转弯运行情况有了好转，特别是急转弯运行情况有了好转。

爱迪生在递交这份专利申请的同时，又递交了另外一份专利申请，因此他又获得了第248430号专利特许证。这项发明关系到列车电气制动的方法。发明的基本内容如下：每一根轴上都装有一个又重又大的铁圆盘，这个圆盘位于功率强大的电磁体两极之间。如果电磁体被激励起来，电磁体就能阻止圆盘的旋转，这样就能使列车的速度变慢。客车上装有机械制动闸。

爱迪生根据所获得的经验，提出通过滑接电线间为电动机供电。其他研究电力牵引的电工技师，其中包括约翰·芬尼，查理·范杰波列和弗兰克·斯普拉格，都先后在不同时期说出了这种想法。这种想法占了上风，1888年在里士满城第一辆有滑接电线系统的电车投入运行。

### 三

门罗园的试验性的电气化铁路，在1880年一年中和1881年的部分时间里运行了。铁路公司对此很感兴趣。美国卓越的铁路业活动家维拉德，在1881年9月14日与爱迪生签订了下列协定：爱迪生在门罗园要建筑一条2.5英里长的电气化铁路，并应为该路建造三种类型的车厢和两台机车，即一个客运机车，另一个是货运机车（电动机车用现代的名称来说，也就是电力机车）；应保证列车运行有一定的速度，特别是规定电力牵引客车的时速为60英里。维拉德还提出了一个经济性的补充条件：用电气化铁路进行运输的费用，要比当时用蒸汽牵引进行货运的运价低。如果在试验爱迪生根据这项协定而制出的设备时，获得良好结果的话，那么维拉德就打算开始把在国家一些产粮区的最少有50英里长的铁路区段电气化的工程交由爱迪生承办。

在门罗园建筑新的电气化路线的工程，是在1881年秋开始的，而于1882年建成备用。这条路修建得比1880年的第一个试验区段更加完善。线路几乎是笔直的，没有转弯处，道碴铺得像铁路通常铺的那样厚。钢轨与枕木之间的绝缘性能是可靠的，是用沿着线路敷设的专门地下电缆来供电。预先制造了机车，这是为了能在铁路建筑中运送材料。货运电力机车能牵引六到八节平板车或车厢。与1880年最初设计的机车不同，因为那实际上只是一个能使用的模型。新的机车有一个司机室，前面有格条护板和照明探照灯，也就是说采用了蒸汽机车上的某些东西，因为电力机车和蒸汽机车的使用情况在某些方面是相同的。控制器安装在驾



驶室内司机的座位下面。电动机与轮轴间是皮带传动。客运电力机车的自重五吨，货运电车机车的自重十吨。

试验进行得很顺利，但由于某些原因，维拉德放弃了供正常使用的50英里线路设备的订货。爱迪生的试验工作进行得很成功，遂于1882年6月19日，接受了在瑞士建筑电气化铁路的工程。

爱迪生研究制造铁路电力牵引系统期间，他的助手是弗兰克·贾利延·斯普拉格。该人于1881年—1882年间在欧洲参加了电工技术展览会，而爱迪生在伦敦的代表约翰逊帮助他进到门罗园工作。斯普拉格在爱迪生那里主要是研究运输电气化问题，特别是研究发电机的传动和牵引装置。斯普拉格在爱迪生那里工作了两年就成了这方面的专家，他决定离开门罗园，独立去完成把电用于传动和牵引方面的发明。他制造出了一台非常好的直流电动机，这种电动机由爱迪生公司接受进行生产。电动车辆和电车上的两台发动机并联系统，就是他发明的。根据斯普拉格的设计，在里士满制造了美国第一辆电车，并使市里的桥架铁路都使用了电力牵引。

电车和电气化铁路的巨大发展，是在19世纪80年代后五年开始的，特别是90年代开始的。许多商行，其中包括埃克梅耶尔和岳克尔谢工厂、威斯汀豪斯工厂、汤姆生—胡斯顿工厂及其他工厂，都开始生产电气牵引装置设备。在欧洲，柏林的西门子—哈尔斯克商行在这方面表现得特别积极。从1892年起，爱迪生公司就与其他许多工业行会合并，变成了现在仍享有世界声誉的“通用电器公司”康采恩。

后来电力牵引技术的发展，与爱迪生没有直接关系，主要是由各种工业行会，特别是“通用电器公司”的研究工作的大规模展开促成的。其他许多比较小型的工业组织，以及市政局，也都开始发展市内电力运输建筑工程。但是，爱迪生还是有着巨大功绩的。他由于处在运输电气化的发源地，成为把制造电力牵引的设想变为现实的第一个人。他也是十分了解电力牵引的实质、可能性和优点并指出它发展方向的人。

#### 四

托·阿·爱迪生多年来对各种类型的蓄电池的研究工作，也属于他的运输电气化研究工作的一个重要部分。电力牵引，可以通过把别处的供电设备的电力例如把沿线上某个地方发电装置的电力接到机车上的办法来实现，但也可以用自身所装有的电源的电力，包括放在电动机车本身内或车厢内的有相应蓄电量的蓄电池组实现牵引。爱迪生认为蓄电池车（即电动车）具有重大意义。19世纪90年代，当出现汽车时就产生一个问题：是发展汽油发动机的汽车还是发展电动车，两者那一种才合算。当时，汽油发动机的发展刚刚开始，所以提出这种问题是理所当然的。无论是汽车的汽油发动机，还是有蓄电池组的电动机，都各有自己的拥护者和反对者。

在上一世纪末，蓄电技术已有半个世纪的历史，取得某些成就并在许多方面得到应用。蓄积电能的基本原理早在1801年—1803年为里特的试验所证实，但这一发明长期没有得到应用。1854年，德国军医威廉·伊奥泽夫·津斯捷坚观察到了一种与电池所常见的电极极化不同的极化现

象。这种现象是：在电流通过浸入在稀硫酸中的铅电极时，正电极就覆盖上了二氧化铅（ $PbO_2$ ），然而负极却没有发生任何变化。如果把这种电池进行短时间闭合，使别的电流不再经过这一电池，那么这一电池就产生出比通常那种极化电流强度更大的电流。而这一电流在氧化物未耗尽前，总是不断地出现。津斯捷坚从这些观察中没有做出任何具体结论。5年以后，即在1859年，法国工程师加斯通·普兰捷没有受津斯捷坚的影响，观察了电流极化的这种特殊形式，制造出了一种铅蓄电池。这就为蓄电池技术奠定了基础。普兰捷蓄电池是预先多次充电和放电，以便使蓄电池中的铅板表面能有更多的细孔来改进蓄电池的作用和增加蓄电池的蓄电量。1882年，卡米尔·福尔改进了普兰捷蓄电池，专门把负极板涂上一层铅丹，这就加速了负极板的定形和铅蓄电池的性能改进。

蓄电池的应用范围已开始扩大，所以许多人专门研究改进蓄电池，俄国专家们作出了巨大贡献。1881年，季·亚·拉钦诺夫教授提出了通过加热碱里的铅提取覆盖在蓄电池极板上的活性物质的方法。试验结果，提出了与金属铅混合在一起并固着在蓄电池铅板上的粉状二氧化铅。1881年到1883年，在耶·帕·特韦里季诺夫的指导下，喀琅施塔得布雷军官学校曾制造出了一种新奇的铅蓄电池，这种蓄电池在国外引起许多人仿制。就在这时，巴·尼·别那尔多斯制造出了适用于需要产生剧烈冲击电流的电焊工作的专门蓄电池组。巴·尼·亚布罗齐柯夫提出了某些关于改变蓄电池结构的合理化建议。在60年代至70年代之间所颁发的铅蓄电池的专利特许证的数量，在各国都是很大的。

在这些年，直流电的拥护者和交流电的拥护者之间，发生了激烈的斗争。直流电已得到了很好的研究，已有了把直流电用于照明的经验，直流发电机在变为发动机使用时性能也很好。但远距离输送直流电实际上在当时是不可能的，因为不能用变压的方法提高直流电压，而对于远距离输送电能来说，输送高压电流是适宜的，而在经济上也是合算的。所以，研制出了高压直流发电机，它能发出适用于电力输送的电流，同时，也可以把几台发电机串联起来获得高压直流电。用这种方法，可以把高压直流电作远距离电能输送。存在的问题上，在线路另一端的用户在用电时却十分复杂，因为直流电不能变压，降低电压是不可能的。

蓄电技术可以用来解决这个问题。可以利用远距离输往消费地区的高压直流电为大型蓄电池组充电。这些蓄电站要根据用户数量及其对电能的需求量来按地域布局，而用户就从蓄电站那里获得所需电压的电流。由于蓄电站能够扩大由中心发电站所生产的直流电的供电地区，这就巩固了直流电拥护者的阵脚。因此在上世纪80年代前5年，各方面对蓄电池的需求一时猛增。

## 五

1885年，单相交流电技术获得了重大成果，制造出了工业用单相交流电变压器，并发明了单相变压器并联法。这就能用升压变压器和降压变压器进行远距离输电，方法特别简单。交流电拥护者又占了上风。在80年代后5年，利用蓄电站来输送直流电的建设规模缩小了，交流电的

输送却发展得很快。

因此，爱迪生对蓄电技术问题的研究，是在蓄电池在供电中的作用已经缩小到几乎等于零的时候开始的。爱迪生对这一问题感兴趣，不是为了解决电能的生产和分配问题，而是为了解决运输问题，是为了解决使交通工具电气化而采用蓄电池的合理性问题。

1896年夏季，在纽约召开了一年一度的爱迪生各个公司的负责人例会。这些公司总裁，以及总工程师和电站的商业部门经理参加了会议。在有一次会议上，为给安装在电动车上的蓄电池组充电事而展开了大辩论。爱迪生所热心拥护的直流电能，已被爱迪生公司和其他公司的许多电站大量地生产出来了，但在90年代，三相电流已开始显露优势，因此直流电站很快就要处于不利的地位。需寻找到直流电的新用户，这个用户就是电动车。如果电动车的数量显著增长，那么蓄电池充电站的作用就具有极重要的商业性。一些会议参加者认为，蓄电池汽车是克服直流电站存在危机的手段，并预言街道上很快就会出现成千上万辆蓄电池车。这些预言没有现实根据，只是反映了这些预言者一厢情愿的心理。他们认为汽油汽车的前途是昙花一现和令人怀疑的，所以大多数人赞成注重组织蓄电池充电业。在适当发展这一事业的条件下，不一定要把直流发电站改建成三相电流发电站，因为它们将有一个最大的电能新用户，即蓄电池的用户。

亨利·福特在1896年8月11日会议上，第一次与爱迪生会晤，福特当时是“底特律爱迪生公司”的总工程师。有人告诉爱迪生说，会议参加者中有一个叫福特的年轻工程师，他是一个设计爱好者，制造了一台用磁电机点火的汽油汽车；在此之前，汽车中还没有这种点火方法。

福特在其对爱迪生的回忆录中说，爱迪生详细向他询问了汽车装置零件，然后对他说：“年轻人，这是一个伟大的事业；这一事业就靠您来完成。干吧！电动车只能在电站附近开动。蓄电池是铅制的，也太重了。蒸汽汽车也发展不起来，因为它需要锅炉和火。您的汽车，有自己特有的独立的离合装置，既不需要火，也不需要蒸汽，又不冒烟。这事全靠您来完成，您就研究它吧！”

爱迪生的这些话表明，他高度评价了机械化运输工具的意义，并预见在不远的将来，千百万人将会利用自动推进的车辆。什么东西将成为这些车辆的发动机呢？是烧轻质燃料首先是汽油燃料的内燃机，还是电动机呢？爱迪生有自己评价运输工具的标准：运输工具的速度愈快愈好。未来将有什么样子的机动化车辆呢？

在1896年，对纽约商业区各条街道上的汽车作了调查，其中百分之九十是电动车。这种电动车很清洁重量很轻，行驶起来比汽油汽车和当时为货物运输制造的蒸汽汽车平稳。当时已开始大规模地生产装有铅蓄电池和小型电动机的电动车，例如美国就生产出了“斯图德别克”和“哥伦比亚”等型的电动车。为了使自动车辆不是沿着制造汽油汽车，而是沿着制造电动汽车的道路进一步发展，必须消除蓄电池的缺点：减轻它的质量，增加它的重量单位的蓄电量，不用极为讨厌的铅材料作极板，不向蓄电池容器里注入硫酸。爱迪生给自己提出的正是这种任务。这种想法，在他处于19、20世纪交接时期的研究工作中占着优势。他是电动汽车制造业的最坚决的拥护者，但他认为根据新的原理制造出新的蓄电

池系统，才是这方面成功和发展的重要条件。否则在以电为基础的自动车辆发展中取得这一进步是不可能的。

爱迪生有从不同方面来彻底解决错综复杂的技术问题的经验，他能制定出大规模的实施计划去攻克难关，夺取胜利。他在白炽灯和电照明系统上获得成功就是很好的例子。因此，在这一情况下，爱迪生无疑是指望结构完善的蓄电池也能在自动运输工具方面得到同样的成功。

## 六

铅蓄电池的主要缺点是重量过重，外形太大，极板必然受到腐蚀。根据爱迪生实验室的一名助手、后来成为著名科学家的阿·肯内利的实践证明，每一英镑重的铅蓄电池，一小时只有四至六瓦的能量。因此，有一马力牵引的电动汽车，就需要重量为 124.5 ~ 186.5 英镑的蓄电池。铅板从一开始使用就受腐蚀，而且腐蚀得越来越快，不太适用于需要经常搬动的设备。

爱迪生很早以前就研究过铅蓄电池，而且总觉得铅蓄电池不完善。根据许多与他同时代的证明，1900 年“除了蓄电池之外，爱迪生的眼睛什么也看不见”。爱迪生研究蓄电池，是以下列前提为出发点的。他认为与电动机相比，用汽油发动机是很不经济的。他认为用铅蓄电池也不经济。他认为，“铅—硫酸”这一结合是某种误会：令人不解的是，在技术上怎么可以允许一种物质同另一种要不断破坏它的物质化合在一起，因而缩短了设备使用期限，降低了设备使用效率呢。爱迪生由此产生改进铅蓄电池的设想。

首先应当不用硫酸，以消除硫酸对金属的腐蚀作用。虽然爱迪生认为自己基本上已是化学专家，有许多这方面的知识和经验，但在这方面他为了完成新任务，却毅然增加了试验室里的专家编制。当时电工技术工作，是由阿·肯内利同助手和实验员们致力研究的。爱迪生便吸收约翰·艾尔斯沃思来深入研究化学技术问题，有十几名化学专家归约翰·艾尔斯沃思管理。爱迪生给这一研究工作拨了巨款。应当指出的是，当时对于在伽伐尼电池和蓄电池中所发生的现象和反应概念知道得很有限，这就需要进行多次试验来弄清楚以前不知道的效应。在那些年里研究减轻蓄电池重量的还有瑞典工程师杨格尔。他于 1901 年制造了碱性蓄电池，但试验结果证明，这种蓄电池也不适用。改进这种蓄电池，并使之达到实地运用的是爱迪生。

爱迪生详细研究了碱性溶液这种电解物，结果证明含有杂质的碎铁最适合于作负极。选择作正极的材料更加复杂，必须一点一滴地摸索着进行。正极是用细孔中充满各种物质的炭精棒制成的，用铜、钴、镉、镁作了试验，未能得到满意的结果。最后用氧化物的镍即氧化高镍来试验，证明最合适，于是制造出由氢氧化钾溶液作电解质的铁镍蓄电池。这种蓄电池简称叫“NiFe”（镍铁）。为进行大规模试验，曾制造了大量各种式样的铁镍蓄电池。但试验表明，这种蓄电池的电量很小；只是偶尔才能达到 0.3 安培/小时。需要继续改进和加强蓄电池主要特性的研究。所用材料的纯度影响着蓄电池的蓄电量，当炼出了供试验用的优质加拿大镍后，蓄电池的蓄电量就增加了两倍多，蓄电量达到 1 安培/小时。

鉴于用于电极的金属的纯度具有巨大意义，爱迪生就在西奥伦治建筑了提炼铁和镍的小工厂。工厂附设了试验室，研究这些在化学成分上很纯的金属的性质和作用，当时这还是一个未经充分研究的领域。

1903年前，爱迪生在制造碱性铁镍蓄电池过程中，获得了巨大成就，所以，可以开始实际试用碱性铁镍蓄电池了。碱性蓄电池组安装在用链条带动轮轴的电动机的电动车上。电动车经受了各种试验，详细记录了与该车行驶和蓄电池作用有关的情况。实验室里安装了试验蓄电池的专门装置，这种装置能模仿蓄电池在使用时可能受到的那种颠簸。试验取得了成功。爱迪生决定把这一发明转入工业生产，建立了“爱迪生蓄电池公司”和拥有450多名工人的碱性蓄电池工厂。爱迪生开始为新蓄电池作广告宣传，并在同报社记者的谈话中，说出了关于进一步发展这一事业的想法。报纸报道了爱迪生在电工技术方面所进行的新变革：好像电的新阶段即“蓄积电能”的阶段已经到来，电能已能方便地满足水陆运输、陆海军技术装备、农业、日常生活等方面的需要。根据阿·肯内利在美国电气工程师学会上所作的报告，一英镑重的爱迪生蓄电池，就具有1千瓦特/小时的电能，也就是说比当时的铅蓄电池多出1.3倍的电能。发出一马力电能的蓄电池的重量是53.3英镑，也就是说碱性蓄电池比铅蓄电池几乎轻2/3。每一个蓄电池的平均电动势为1.25伏特。在蓄电技术上，这当然是一个很大的进步。

爱迪生制造了许多设备用来更广泛地试验碱性蓄电池。在1903年，制造了又大又重的橡皮轮胎的蓄电池车，这辆蓄电池车后来在波士顿试行了245英里。该车不用重新充电，曾行驶50~60英里。在245英里这段距离里，曾在六个地方进行了重新充电，充电费用7.5美元。行驶完这段距离后，所有的蓄电池都处于良好的状态之中。

1904年，为参加圣路易斯城举办的世界博览会，建筑了30艘装有爱迪生蓄电池的游艇。这些游艇沿湖游玩，展示了蓄电池电力牵引的良好性能。

爱迪生深入研究了电动车用的标准型碱性蓄电池，它的电动势是1.33伏特，可蓄电能210瓦特/小时，蓄电池重1英镑可发电能11.8瓦特/小时。碱性蓄电池样品送交到包括约·阿·弗莱明、霍斯皮塔利耶和彼·然在内的欧洲专家那里进行试验。试验结果证明性能良好。乌·希伯德在英国试验了爱迪生的碱性蓄电池，并在1903年11月向电气工程师学会报告了所得到的结果。他乘坐装有38个爱迪生蓄电池的电动车走了500英里，所有的蓄电池一路上都没有发生故障。

## 七

但是，用户们很快发现碱性蓄电池的某些缺点而开始要求退换。蓄电池容器易漏，蓄电池性能不是那么稳定，蓄电池的正（镍）极的接触点不牢固。因此，必须重新研究改进蓄电池工艺，研究改进那些使蓄电池产生缺点的材料。虽然暂时停止生产蓄电池难免要受到很大损失，但也绝不能把蓄电池投放市场。爱迪生对自己的原则信守不渝，停止生产蓄电池，甚至按售价收回所有有毛病的蓄电池。应当指出，当时即使是有毛病的蓄电池，也比铅蓄电池适用和经济。爱迪生懂得这一点，并深

信，经过改进蓄电池结构之后，对蓄电池的需求量会大大增长。

对蓄电池的研究工作由几个小组分工进行：一个小组研究改进蓄电池容器的焊接；另一个小组研究电极用铁的精炼；爱迪生本人参加的第三小组，研究镍和镍的添加剂。爱迪生在 1905 年以前已进行了一万多次试验，并弄清了许多东西。但疾病使他在一段时间里放下了工作。

爱迪生在 1905 年—1908 年期间获得了许多与改进碱性蓄电池有关的专利特许证。但总的来说，这一时期在发展蓄电池的生产上是不大顺利的。1907 年六汽缸汽油发动机的英国罗尔斯—劳埃斯牌汽车经受住了行程一万英里的考验。在伏特罗德的福特工厂，制造出来了汽车用的“N”型四汽缸发动机。这种汽车的价格为六百美元，燃料消耗量为行程 20 英里一加仑（1 公里合 0.14 升）。

虽然汽油汽车已开始跃居第一位，而且用户对汽油汽车要比对电动车更感兴趣，但爱迪生没有停止对蓄电池的研究。他在改进着整个蓄电池的结构，使蓄电池制造过程的某些阶段机械化，改变电解成分，往氢氧化钾里添加少量氢氧化锂。爱迪生只是在 1909 年才作出结论说：新型碱性蓄电池彻底完成了。他在 1910 年建立了一座大工厂，这座大工厂第一年就卖出了 100 万美元的产品。“爱迪生蓄电池公司”的活动又恢复了，在 1911 年至 1914 年期间，有大量无烟无噪声的电瓶车和电动车投入使用。在西奥伦治行驶的是电瓶车。

电动车在汽车运输中，终究还是没有达到爱迪生所期望的那种地位。冬天，碱性蓄电池工作就比较糟糕了，因为电解物质变得很稠，与汽油汽车比就相形见绌了。但碱性蓄电池非常适用于电站、列车的信号装置和照明等方面。

爱迪生尽力设法为碱性蓄电池寻找新的使用范围，采矿工业成了碱性蓄电池的最大用户。因为碱性蓄电池要比铅蓄电池轻，它可以作为采矿技师们和进行技术监督人员们的手提灯来用，特别重要的是可以用于采矿工作照明。爱迪生设计出了一个有低压电灯泡的固定在矿工帽子上的小照明灯。电灯是靠挂在腰带上的碱性蓄电池供电。这种灯使用起来方便，这就有可能放弃代维的带白热纱罩的明火灯，从而改进了矿井的照明，有助于减少工伤事故和提高劳动生产率。爱迪生设计可以戴在头上的矿灯，在地下开采区中已得到了广泛应用。

爱迪生在 1911 年制造了经过三次更改的新型碱性蓄电池（“A”型），并展示了他制造的蓄电池公共汽车。

在第一次世界大战期间，碱性蓄电池在各国被用于无线电装置、小型船舶和潜艇中的动力装备中。

爱迪生想到制造出高质量的碱性蓄电池，以电动车取代汽油发动机汽车的希望落空了。但最后几十年的研究工作表明，随着燃料成分（新型的电化学电源）的发展，机械化车辆的这种根本性的改变并不是不能够实现的。

## 第八章 探索电子的奥秘

爱迪生由于从事研究活动并把发明用于实际工作，所以时常观察到一些从属的、然而在科技上都很重要的现象和作用，被称作“爱迪生效应”的热电子发射现象，就是属于这些从属的发现之列。爱迪生一碰到这些现象后，就不再是作为一个普通的观察者开始研究它，而是力求查明它产生的条件，和可以用之于实际的某些途径。爱迪生是第一个观察到了热电子发射现象的人，确切地说，他是在科学上连电子这一概念还没有产生的时候就观察到了这种现象的人。后来各国的科学家和学者，则需要花费 30 年时间去弄清楚爱迪生效应的物理性质，开始对爱迪生效应进行运用。以后紧接着的才是深入探索电子现象的奥秘，并寻求在科技方面能加以广泛利用的可能性。在爱迪生观察到这种现象之前，任何人都还没有想像出，电会脱离奴隶般地依附于导体的状态而独立存在。爱迪生的试验表明，在一定的条件下即使没有导线，电也能以近似光速的速度运动。

—

电子管是对爱迪生效应进行研究工作的直接结果，它的应用极为广泛。现在，即在 20 世纪的后 50 年，可以更正确和充分地评价爱迪生效应的重要性。现代科学的得力的手段——无线电，是以电子仪器为基础的。如果没有电子管的广泛的应用，大量自动装置和遥控自动装置、电视装置、计算机、各种控制仪器是不可想像的。电子管是对发展人类社会生产力具有革命影响的主要技术因素之一。

电子管得到广泛应用，是因为它有着非常良好的性能。我们要指出的是，电流本身通过电子管会发生很大的变化：电子管的作用不取决于电流的频率特性，因为电子管能准确地控制电流并不断地使电流的特性发生变化；虽然绝大多数用来使电流发生变化的其他仪器也在逐步地实现着这一功能。电子运动本身及其速度，能够通过改变电子管内各电极上的电势加以调整。电子管可以是电流放大器和电流检波器，而在一定的条件下可以成为高频振荡器。但所有这一切，在上一世纪 80 年代头 5 年甚至没有人设想过，气体放电的物理学知识很少。但爱迪生当时已制造出了世界上第一个仪器（他叫作“电气指示器”），该仪器的作用是以电子发射效应为基础的。

是什么东西使爱迪生有这一发现的呢？

爱迪生在 1879 年末，基本上结束了制造强阻抗炭丝真空白炽灯的研究工作。这种白炽灯在实验室的条件下进行了全面试验，并已准备生产一批白炽灯进行试用，这是为了查出它在使用时出现的缺点并加以克服，以保障在大范围内推广电照明。组织大规模生产白炽灯的问题提到日程上来了。需要最后完成对整个电照明系统的深入研究，创造出最简单而又最适用的条件，保证电照明装置能正常地工作。对门罗园工厂最初生产的几批供试验用的白炽灯，通过试验表明，白炽灯的缺点并没有都被发现而加以克服。

在对白炽灯整个使用期限内进行观察的结果有一个缺点引起了爱迪

生的特别注意即灯泡玻璃表面变黑的现象。变黑现象在所有的白炽灯中，都毫无例外地出现，而且白炽灯使用时间愈长，变黑的程度就愈明显。

当时生产的是光度小的 10~16 支烛光的白炽灯。灯泡变黑就损失了将近百分之五十的光通量，这些白炽灯的光线变得很暗淡。把消耗的能量转换成光能的经济效益降低了，因此电照明的价格提高了。白炽灯的有效寿命缩短了。

无论是爱迪生，还是其他炭丝白炽灯设计家，都没有消除玻璃灯泡变黑的问题。对白炽灯生产工艺进行改进和提高炭丝质量，也都只能减缓而不能消除这种现象。直到改用钨丝和充气（1908 年—1913 年），才几乎完全消除了这一缺点。

## 二

爱迪生多次觉察到，在抽去灯泡里的气体时，如果电流通过灯丝，真空灯泡里就产生出淡蓝色的辉光。这种效应以前彼得罗夫、法拉第就曾经观察过。这是一种在极稀薄的空气中放电的现象。这种辉光在以前研究静电时就曾注意到。爱迪生正确地解决了真空灯泡中产生放电的现象。但当时还不清楚的是，是否可以把灯泡变黑和放电作用联系起来。

其实，在当时某些有关电的书籍中，已经提到过一些想法，一看就能帮助确定灯泡发黑原因。例如，法国电学研究家杜费，几乎在爱迪生进行观察的两个世纪前就已弄清了下事实：与烧红的金属相接触的空气，就具有散发电荷的特殊性能。18 世纪的其他科学家也曾指出过类似的事实。所有这一切，都使爱迪生作了如下推测：灯泡内壁的沉积物，是脱离了炽热灯丝的炭尘的带电粒子散发的结果。必须更深入地研究这种现象。在比较细心的考察中发现，粒子并不是均匀地沉积在灯泡壁上的；经常可以看到有一个窄狭的小带状区，它比灯泡的其他变黑的部分轻得多。这一仿佛是一种“白影子”的东西，通常都和弯曲成 U 形的灯丝的两根支路在灯泡的同一个平面上。结果仿佛一根灯丝支路屏蔽了另一根支路。在所有的情况下，总是造成光带区的那一根灯丝支路与直流电源的正极连在一起。

由这种观察可以作出下列结论：炭粒子不是散发，而是直线式地从灯丝的负极支路那里脱开。这样一种假设是完全合乎情理的，即从带电体表面脱离开来的最小微粒，其本身就带有电荷。认为只要往灯泡里引入一个附加电极，即一个带正电荷的或与直流电路的正极连接在一起的电极，这些带电的炭粒子就要离开直线路径而被附加电极所吸引，这也是合乎逻辑的。爱迪生也开始了这样的试验。已公布的爱迪生在实验室的记录中可以看出，早在 1880 年初就已开始准备进行这些试验，并设计出了有附加电极的灯泡。1961 年出版的柳易斯的著作中，就引用了从实验室记事簿中复印下来的一页，这一页上有注着 1880 年 2 月 13 日的“第一次试验”的草图；根据这一任务，应当由实验室的一名叫奇·巴切勒的助手制造出必需的灯泡。因为爱迪生实验室和工厂总是不打折扣地并且在最短期内制出那些试验用的灯泡的，所以怀疑这样的灯泡是否已经制造了出来是没有根据的。根据爱迪生亲手写的这个定做单，必须制



造出有小马蹄形炭质灯丝的灯，在这种灯丝上空应当接入一根穿过灯泡玻璃的金属线（显然是铂丝）；这一金属线的外端能被连接到直流电源的正极上。

实际上这个灯泡是二极电子管的雏形。所以就有理由认为，早在 1880 年爱迪生就已很接近于制造电子管了。当时爱迪生是否已开始自己的试验，我们还不能确切知道。但可以推知，这时爱迪生有着大量的刻不容缓的工作要做，所以他就不能对被称之为“爱迪生效应”的研究予以必要的注意。当时要筹备参加预定 1881 年夏季开幕的巴黎电气博览会，应当安排好灯泡的大批生产。需要把珍珠街总电站建造成，并为总电站制造机器和其他的电气设备。此外，爱迪生在 1880 年还在深入研究矿石磁选法。他在门罗园铺设第一条试验性客运电气化铁路，在纽约建立一些生产电气产品的工厂。爱迪生在这些年提出了大量要求颁发专利特许证的申请书。爱迪生单是在 1882 年一年就在美国获得了 141 份专利特许证，也就是说大约每两天半就获得一份专利特许证！

因此，1879 年至 1882 年，是爱迪生工作特别积极的时期。有些研究工作不得不暂时拖下来。与爱迪生效应有关的一些试验就被放到了次要地位。不久，他就转而研究白炽灯变黑的问题。美国电子学专家乌·怀特由于获得能参阅爱迪生实验室技术档案的某些材料的机会，于 1943 年发表了有关爱迪生效应发现的技术史略。他所利用的材料和文献表明，爱迪生在 1882 年年中，才得以重新回到这一研究工作上来。1882 年 6 月 5 日，爱迪生恢复按照他绘制的草图制出的灯泡的试验，这些草图是他为研究灯泡变黑现象的特点而绘制的。这种灯应有一个附加电极，该电极的安装要能阻止带电粒子的转移。这个电极被焊在灯泡圆顶里弯曲的灯丝的上空。可以肯定，爱迪生曾对根据这一草图制造的灯泡进行了一系列的试验。爱迪生所签署的、1883 年 3 月 8 日所进行多次试验的灯泡草图被保存了下来。草图上写的应是制造这些灯泡的那些助手（约翰·弗·奥特和马尔京·恩·福尔斯）的姓名的缩写字母。草图上是一个这样的灯泡，它的附加电极，是一个安装在灯丝两个支路间的平面上呈椭圆形的极板。1883 年 3 月 10 日随之又有了新的定做单：用各种导电材料（炭、铝、锌、锡、铅、镁、铂、铜、银、磷青铜、巴氏合金、镍、金）制造引入灯泡里供试验用的极板。在定做单原本上面的一些十字记号证明，都已完成了。

### 三

那些有机会能接触爱迪生实验室文献的人，还没有确定爱迪生第一次发现电流经过真空由灯丝给附加电极的确切日期。但可以认定，此事发生在 1883 年上半年。灯泡变黑没有因为有了附加电极而减轻，但在把附加电极接到直流电路的正极上的时候，发现了电流经过真空由灯丝传给附加电极的现象。乌·怀特在上述的论文中援引了未发表的涉及到后期试验的爱迪生的记录。

“供演示直流电穿过高度真空空间的传导性能的仪器”。这是我的新发现。仪器是由通常的白炽灯组成，而这只灯在其真空空间有一根不与灯丝接触的铂丝穿过

了灯泡的玻璃。在这根铂丝的一端焊有一根铜线，而这根铜线正好是为了从外面与电源连接在一起而焊到灯丝的两个支路上的那一根。如果把这根电线接到电流计的一个端子上，而把另一个端子与正极支路联连起来，当灯泡灯丝的发光度没有达到相应于 10 支烛光的强度前电流计指针就不会偏转，而在达到 13 支烛光时就会出现轻微的和缓慢的偏转，而如果热度继续提高，指针的偏转就会增长得非常快。在使用 25 支烛光的条件下就有很大的电流流经电流计，这种电流足以供给 200 英里长的电报线路的用电（在把灯泡里的空气抽到一个大气压的百万分之一的条件下），在这种情况下电流在真空中应当能通过至少有半英寸的断线处。

电流在某些条件下，能在真空中通过电路中的断线处的事实本身，对于所有的人来说是出乎意外的和无法解释的。所以，在真空空间中，电流是能够从带有负电的灯丝传给带有正电荷的附加电极，而灯丝和电极中间并没有直接接触。

其实，爱迪生没有进行更多的试验，也未能科学地论证这一现象。诚然，许多年以后，即在 1922 年，爱迪生曾叙述了他是怎样想像效应实质的：

我的理论是，当残余气体与灯丝发生接触后，残余的气体和部分灯丝本身都带了电，为玻璃所吸引并放出电来。因为极性仍不变，所以我就认为，由此就应得到直流电，然后再把附加电极引入里面来放大电流，这种作法正是在我用一块贴在灯泡外壁的锡箔进行第一次试验时所采用的。这就使电流计产生相当大的误差。指针甚至跑到刻度外了。当极板和金属线被引入灯泡内，作用就剧烈增长，所以在费拉德尔菲亚博览会上我就把非常好使的电报发声器接到电路上。当时我为推广使用我的电照明系统做了过多的工作，所以我也没有时间来继续进行我的试验。

1883 年以后，爱迪生没有再继续进行这方面的试验，而着手研究怎样把这种现象加以实际应用。爱迪生在试验过程中，发现装有附加电极的灯泡有一个非常重要的特性：在灯丝用来工作的电压发生变化的条件下，电流计电路中的电流强度就发生很大的波动，即用现代术语来说，电子发射在明显地发生变化。爱迪生已打算把这种仪器，当作高灵敏度的电压变化指示器来用。1883 年 11 月 15 日，爱迪生递交了登记“电气指示器”专利申请。1884 年 10 月 21 日给他颁发了专利特许证，号码是第 307031 号（见插图）。这个仪器的用途，是调整发电机的转速。这个仪器没有得到推广，但也并没有被人们彻底忘掉：在第一次世界大战期间，爱迪生所提出的原理被用来调整飞机上无线电设备中的发电机电压。

#### 四

在爱迪生获得第 307031 号专利特许证前不久，世界电工技术博览会（1884 年 9 月 2 日）在费拉德尔菲亚开幕了。爱迪生在这次博览会上不仅展览了电气指示器，并且演示了它的作用。爱迪生也演示了有附加电极的灯泡。他把非常好使的电报发声器接入电流计电路。所有这一切都证明，虽然爱迪生没有继续研究他所发现的效应，但他还是使它具有了非常重要的作用。英国邮电部总工程师威廉·普里斯参观了博览会后，

对电气指示器给予极大的注意。根据他的请求，爱迪生实验室制造了几个这样的灯泡，用它们在伦敦进行一些试验。1885年初，在皇家学会会议上报告了这些试验的结果，并进行了登记。普里斯对爱迪生的“这种现象不仅从科学的观点来看令人感兴趣，而且从实践的观点来看也令人感兴趣”的设想深表怀疑。

稍微早一些时候，即1884年10月，埃德文·胡斯顿教授在美国电气工程师学会上作了关于爱迪生效应的报告，报告随即就发表了。这是世界技术书籍中第一篇论述爱迪生效应的论文，换言之，是整个电子学方面的第一篇论文。胡斯顿所持的观点与普里斯不同，并从这一现象中看到了新思想的起源。

在1885年至1903年期间，对爱迪生效应的研究暂时处于沉寂状态。爱迪生本人由于忙于研究其他问题而对热电子发射的研究兴趣显著减低了。只有约翰·阿布罗乌兹·弗莱明在这时对爱迪生效应进行了试验，试验结果发表于1896年。在这个时期，发现了电子的存在，1891年使用了“电子”这个术语。当时已经弄明白，爱迪生效应不是别的，而是一种从炽热灯丝上发射出电子的现象。1903年奥·理查森发表了自己对电流通过真空的研究结果。这一研究有助于扩大爱迪生效应方面的知识，并引起了各国科学家的很大兴趣。它成了弗莱明以后在气体放电的物理学和技术方面进行研究的出发点。

1904年弗莱明发现，有附加电极的爱迪生灯泡里的电流只能朝一个方向流动。弗莱明当时是马尔科尼公司的研究员，研究电波的显现问题。在此以前金属屑检波器和其他灵敏度比较差的仪器，被当作检波器来用。弗莱明的头脑中产生了一个难能可贵的想法，这就是要把有附加电极的爱迪生灯泡，当作高频振荡整流器（检波器）来用。他使用的灯泡的形状与爱迪生灯泡的形状略有不同，灯泡叫做“弗莱明二极管”或“弗莱明整流管”。弗莱明二极管是在1905年登记的，但最初没有得到广泛采用。

20世纪的头10年的特点，是对无线电报学的兴趣有很大的增长。弗莱明把二极管用于检波的想法，被美国工程师利·德福雷斯特加以发展（1906年）。利·德福雷斯特在弗莱明的整流管上增加了第三个电极（即栅极）。获得“三极管”这一名称的三极管就这样诞生了。三极管不仅对高频振荡进行检波，而且也成了弱小振荡的放大器。不久就弄清了，三极管也能作为等幅振荡发生器来用。无线电技术发展新阶段开始了，而这个新阶段是与以爱迪生效应作为渊源的电子学有着密切关系。

## 第九章 奇妙的新工艺

在评价托·阿·爱迪生的创造发明时，经常有人流露这样的想法，认为他的主要发明都与电有关系，而且旨在广泛地以各种方式把电能用于工业、运输业、通讯和日常生活。然而爱迪生对与电毫无关系的工艺问题并不陌生。他说，他最喜欢化学，并认为自己是化学家；由此可以得出结论，工艺的改进也会使他感到兴趣。

爱迪生在工艺方面的研究工作，没有明确的方向。当他的某一发明需要改进的时候，他就不仅着手解决力学和电工技术问题，而且着手制定新的工艺方法。例如，为了改进白炽灯，特别是为了改进灯丝的质量和性能，就需要找到特别复杂的工艺方法。爱迪生承担了这一工作，而且获得了良好的结果。在研究碱性蓄电池过程中，他遇到了完全是另一个方面的困难，这种困难也只有通过改进工艺才能克服，他经过长期寻求才获得成果。

可以这样说，爱迪生在工艺改进方面的重要的研究工作，都具有独立性，与他的其他发明没有关联。

—

范围很大和十分重要的工作之一，就是深入研究磁选铁矿的方法。在上个世纪后 25 年中，美国出现了大的工业，对黑色金属的需求不断在增长。然而美国的黑色冶金矿源有限。到上一世纪 80 年代，美国东部的铁矿大部分已经采空，而从美国其他地区运输矿石是不合算的。当时，爱迪生在用高价购买钢材生产电机的同时就预见到，这一情况将成为发展电照明和建设电站的障碍。以后热电力机械（蒸汽锅炉和发动机）和电机的大量制造，将会造成钢材不足和钢材价格大涨的局面。

爱迪生在他一次到长岛海岸旅行时注意到，沿岸的白沙土中有许多黑粒子，因此许多地方的地貌都黑黝黝的。这种黑黝黝的沙子沿着海岸蜿蜒许多英里。爱迪生用小磁铁查明，沙子中的黑色驳杂成分是磁铁矿晶粒，即最常见的铁矿晶粒。这些微粒的出现是由于水成岩受海水的侵蚀。对黑沙标本的研究表明，黑沙中有将近 20% 的金属。这就有根据认为这些沙子是有利于提炼精矿的原料。磁选矿的思想已不新颖，但实际上是磁选矿方法只是在瑞典极小范围内使用。爱迪生决定详细研究这一方法，并使这一方法达到工业使用程度。他把这看成是有利可图的。爱迪生对贫矿问题所进行的研究表明，这种矿在全国星罗棋布。因此，他在某一地区所开始的工作，将在美国的许多州得到扩展。

爱迪生在这方面的最初一些试验，使许多人警觉地期待着采矿业中的这种革命。报纸（当然十分含糊地）报导说，爱迪生想出了一种十分重要的办法，从贫而劣的矿石中提取包括金子在内的贵重金属。但这种报导为时过早。为了深入研究工业磁选矿方法，爱迪生应当拥有贫矿矿床。精炼矿石的数量特别大，这就产生了错综复杂的矿石运输等问题。采掘矿石是用功率强大的机器来进行的。

爱迪生知道，自己所面临的工作是多么浩繁，多么困难。为了从黑砂中提取出铁来，必须彻底把山从地球上搬走，把巨大的顽石变成粉末，

然而这些都没有难倒他。这一宏伟的技术任务吸引住他，他开始对这一任务进行认真而详细的研究。

爱迪生从一位对这一研究工作感兴趣的新闻记者那里打听到，在新泽西州的奥格登斯堡村，即在距纽瓦克有 60 英里远的地方，在深山老林中间有一个许多年以前被废弃的铁矿场。爱迪生在这里买了一块面积为 1.6 万英亩的土地。这一区域的贫矿储藏量是很大的，根据最保守的计算，够美国用 70 年。爱迪生建设了一个叫“爱迪生”的矿山工人新村，这个新村有供全体人员用的厂房和住房，他还购置了各种设备，专门制造了某些特别大而功率强的机器。爱迪生在芝加哥灌溉渠竣工后，就从那里把最大的蒸汽挖土机调来一台。巨大的移动式蒸汽起重机，伸出部分达 70 米。还运来了其他一些功率强大的机械。

工艺操作过程由下面主要工序组成：预先爆破岩石或干脆不爆破，就用挖土机掘进；把大块的岩石挖出并运去粉碎；粉碎分三次进行，把细沙状的岩石运去烘干，然后再运到磁分离器内；把铁矿石与岩石分开；把矿石运去压成块状，而把碎岩石运往岩石堆以便以后作为建筑材料加以利用。

操作过程是复杂的，而且也以多种多样的形式，广泛地采用了各种机械。应当对操作过程的各个阶段进行各种改进，消除在工作过程中暴露出来的缺点。发明家的思想，在这广阔天地可以无限地自由驰骋。爱迪生一个星期在矿山工人新村住 5 天，只是在星期六和星期天才回家。

叫做“矿山分离工厂”的这一企业的建设工程进行了两年，爱迪生花费了 200 万美元。蒸汽挖土机一年掘进了 1.5 公里多，挖出的矿石不少于 60 万吨。粉碎机是用功率一百马力的科尔利斯蒸汽机带动的。粉碎机有两个大直径的辊子，而两辊子的相对旋转速度为每分钟 700 转。

矿石烘焙后，就用磁分离机进行分离。粉末状的岩石经过大电磁铁系统，把矿石与岩石分离开来。然后，矿石与胶合料混在一起，在强大的压力下形成块状。最后一个阶段是烧结成块状体。

爱迪生设计了粉碎机、磁分离机、压块机、焙烧炉。顺便说一下，在这一企业里第一次使用了橡胶传送带。

这个企业生产的精矿的价格，每公吨为 6.5 美元左右。爱迪生与最大的工业公司“伯利恒钢铁公司”签订了供应精矿的合同。经过几年的准备工作，爱迪生在商业方面取得了有利的进展。但这时发生了新的情况，导致了这一企业事务的衰落，以至于倒闭（1892 年）。在明尼苏达州的地质勘探，发现了巨大的富铁矿。而且有优越的开采和运输矿石的条件，矿石价格要比爱迪生工厂生产的精矿低一半。冶金厂使用富铁矿的矿石冶炼，比使用爱迪生生产的精矿，当然更为有利。情况发生了急剧变化。

爱迪生冷静地对付这一挫折，他把助手们召集起来并对他们说：“我认为，同我们新的竞争者较量没有意义。但我们至少要证明，我们国家永远都不会缺铁。我认为，现在我们的企业应当停办。但我们在这方面所取得的经验，可以用于我所已经想出来的新事务中。”

爱迪生及其助手们在磁选方面创造出的先进工艺，后来在其他方面不止一次地得到了应用。爱迪生制造的磁分离机就是一种例证。磁分离机的效用与已经使用的选矿机不同，用前者较用后者有利。这是一台单

极电机，它不直接与粉碎成细末的岩石的磁成份接触。磁分离机是一个下面装有很多磁铁的漏斗车。磁铁下面装有漏斗，把精矿和岩石分开。

爱迪生所使用的传送带，是一个有许多支线并能相互精确配合的传送装置系统。在 19 世纪 90 年代任何工业中，都还没有这种系统。

## 二

磁选矿方面的研究工作停止了，爱迪生认为这并不意味着企业的完全倒闭。他当时思考的问题是，在奥格登斯堡已建造起来的那些东西和已积累的全部经验，最适合于哪方面的大规模生产。他在生产水泥工艺方面找到了出路。爱迪生预见到，建筑业的原料已从用石头和砖转到大量地使用混凝土和钢筋混凝土方面来。水泥的需求量将会猛烈增长，因此生产这种建筑材料的工艺值得注意研究、分析和加以根本改进。爱迪生详细地研究了现代水泥的生产，并查明，现有的工艺没有保障大量生产水泥，因为用以焙烧的水泥窑容量比较小，而装窑和出窑的过程，会缩短窑的使用寿命。

在奥格登斯堡停止研究工作后不久，爱迪生就组织了一个“爱迪生水泥公司”来领导对水泥生产问题的研究工作。为了实现自己的想法，他购买了一片有石灰石矿床的土地，在宾夕法尼亚州也购买了这样一块地，并把粉碎岩石的设备从奥格登斯堡运往那儿。除了磁分离机外，所有的设备新企业都能使用。而大型转盘窑，以及某些其他机械，如专门配制炉料的自动配料磅秤、粉碎装置、自动称量和把粉末状水泥装桶或装袋的装置，都得专门设计和制造。

1907 年水泥厂投产使用。工厂完全实现了机械化，全厂日产量为 1100 桶（大约 220 吨）。每一窑日产量为 200 桶（约 50 吨）。预期能够用增加窑数的办法来继续扩大生产。爱迪生的窑长约 50 米，宽 3 米。大型窑的设计原理证明是正确的，所以爱迪生开始生产廉价水泥，这就更大地提高了对水泥的需求量。当时，即在 20 世纪初，水泥主要是用于来配制灰浆，供砌石、铺水泥路和生产钢筋混凝土构件。爱迪生认为，水泥应用的前景颇为宽广。爱迪生产生了“浇注式房屋”的想法，也就是用专门机器把水泥浆浇注到模里而制成框架式的房屋。爱迪生关于浇注式房屋的方案是以下列方式表述的：

我总是力求在我力所能及的范围内做些什么，以便使我国人民进一步摆脱繁重的劳动，并力求创造出最大的可能性，使人类得到幸福和繁荣。我认为，如果我们建立一个工厂，它能生产出比现代水泥质量更好、价格更低廉的水泥的话，我们一定为此作出努力。如果我们能实现这一点，那么一座有六个房间的水泥房子，我们可以只花 300 美元就建立起来。

为了实现这一点，应当详细研制出各种构件，用这些构件，可在几个小时内就能在建筑工地把模具安装好。模具的结构和材料应能多次使用，容易拆装。浇注的水泥应当具有较高的流动性，固着力强，凝固得快。爱迪生深入研制出了相应的配方，这种配方经过多次检验，被认为是合乎标准的。为了浇制房屋，他需要有磨得很细的水泥，于是他就制

造相应的机器。建筑浇注式房屋的整个工艺过程的试验表明：模具安装需要几个小时；用专门的搅拌机和传送带来进行浇注需要 6 小时；水泥浆的固着和凝固需要四昼夜。这些过程完成后，房屋骨架就制造成了。

这是建筑方面的创新工作，这一新工艺能够快速建筑出廉价房屋。在爱迪生之前，如果不把美国建筑师威廉·连索姆算在内（尽管他也产生了类似的想法），没有任何人在这方面进行过研究。

大块材料建筑法和大块壁板建筑法，被认为是现代先进的建筑技术方法，并在苏联和其他各国得到广泛的应用。这一大规模的快速住宅建筑法与爱迪生所提出的浇注式房屋建筑法根本不同，但是它们之间也有某些共同点：广泛使用混凝土和钢筋混凝土，为此就需要大量水泥，而水泥的生产应当用工业生产方法来进行；需要用工业生产方法和大规模地预备非建筑零件（爱迪生用的是模具）；需要推广建筑标准化。

建筑浇注式房屋的工艺发明，没有给爱迪生带来物质利益。在设计、制造机械和模具，在对浇注模具用的水泥成分进行试验等方面，他花费了不下 10 万美元，而他所获得的成果没有付诸实践。但这并没有使他放弃这一领域的工作。他重新坐在画图板前，设计大容量的转盘窑，并希望能发展大量生产高质量的廉价水泥。“爱迪生水泥公司”所生产的水泥，开始在美国的一些体育场（其中包括布朗克斯美国体育场）、大桥和大型建筑物中，得到了广泛应用。这个企业给爱迪生带来了利润，而这些利润足能弥补磁选矿方面研究工作所造成的亏损。

### 三

1914 年爆发了第一次世界大战。欧洲变成了一个巨大的作战地区。美国是一个中立国。社会舆论基本上赞同政府的这一立场。爱迪生发表了意见，表现出了自己的和平主义精神，而认为他的国家参加屠杀人类的战争是不能容许的。在德国潜艇 1915 年 5 月击沉横越太平洋的定期客轮“卢西塔尼亚”号以前，这种观点在美国人中间很普遍。但当德国开始了无限制的潜艇战时，美国就开始准备参战。1917 年 4 月美国对德国宣战，这对结束战争起了一定的作用。

早在第一次世界大战爆发的初期，在美国就已感觉到许多化学材料不足，因为这些材料在和平时期多数是从拥有大规模化学工业的德国进口的。特别突出地感觉到石炭酸（酚）和苯十分缺乏。石炭酸适用于制造唱片，所以这一工业部门在战前就是石炭酸的最主要的消费者。在战时，对石炭酸的需求量猛增，因为石炭酸是生产苦味酸所必需的，而从苦味酸中能制造出烈性炸药即苦味酸盐，特别是制出具有巨大破坏力的三硝基酚。1914 年 9 月 1 日，美国的石炭酸和苯的储藏量不够使用一个月。

在德国，石炭酸是从煤焦油中提炼出来的。爱迪生决定详细研究出生成合成石炭酸的方法。他问过许多专家，他们认为这是不可能的。但是爱迪生却着手进行试验。他组织了一个由他本人亲自率领的“日夜突击队”。不到三个星期，爱迪生获得了解决办法：由他仓促建成的工厂每天生产酚 350 公斤左右，而后来日产量提高到一吨。过了一段时间又建立了第二个工厂，酚的生产量每昼夜达到 6 吨。大概一个半月之后，

第一座炼焦炉投入生产，很快就提炼出生产石炭酸所必需的苯来。此外，从苯中又提炼出生产染料用的苯胺油和其他物质。

因此，无论是在军事工业酚和苯的供应方面，还是在民用酚和苯的供应方面，美国都已不再依赖外国了。

这些研究工作的成就，促使爱迪生着手研究生产美国以前需要进口的其他物资。他装备了苯胺油工厂，详细研究适用于生产唱片以及作为毛皮工业用的染料的“对二氨基苯”的工艺。爱迪生建起了一个工厂，而这个工厂的产量能满足“对二氨基苯”的全部需求量。这个工厂的部分产品甚至出了口。还可以说出许多爱迪生对其工艺加以详细研究的产品，这就是乙酰西安苯及其变体、对氨酚、联苯胺、甲苯、晶体苯等。过了一段时间，爱迪生所深入研究的工艺方法成了公共的财产。

这些研究工作在难以置信的短时间内完成，并使某些专家认为这就是发明家想像力所获得的成果，而爱迪生就以这些研究成果来证明自己有化学工艺师的卓越才能。在以大工业生产规模来为化学工业新部门创造发展方面，他对美国的功劳无疑是特别大的。

#### 四

在第一次世界大战前，橡胶问题特别尖锐化了。美国的汽车工业，在这几年发展得非常快。在橡胶缺乏的条件下，内胎和外胎的生产，是汽车制造业的薄弱环节。汽车大王当时在巴西和利维里亚都拥有大量橡胶植物种植园。由于当地工人的工资低廉，他们获得了高质量的廉价产品。但一旦发生了战争，把橡胶运到美国港口是很困难的。所以美国最大的橡胶用户（即“汽车大王”亨利·福特和“橡胶工业大王”哈尔韦·费尔斯通），开始对这个与美国汽车工业发展密切有关的重要问题，十分关切。

爱迪生的私人朋友福特，在佛罗里达买了一座别墅，这座别墅与爱迪生的别墅相毗连，而爱迪生已先在这里住了大半年。福特曾劝爱迪生研究在美国的气候条件下培植橡胶植物，这对爱迪生来说完全是新的课题。爱迪生听了福特的劝告，便在佛罗里达致力于培植许多种热带植物。他建立了一个实验室，组织植物学专家致力于选种和杂交。他本人却埋头于进行植物观察，力图找到解决某些实际问题的办法。但是爱迪生并未马上向福特“降服”着手研究橡胶。爱迪生与福特和费尔斯通一起，拜访了加利福尼亚著名的杂交工作者柳捷尔·伯班克，并了解了杂交所揭示出的巨大可能性。这时爱迪生完全相信，在美国参加当时已开始的第一次世界大战后，对于各工业部门来说，特别对于汽车部门来说，橡胶会成为奇缺材料中最重要的材料。

爱迪生终于在经过了“一段时间”之后，同意研究这个问题。由于在战时加紧从巴西把橡胶输入美国，橡胶的问题不像最初所预想的那样尖锐。这就说明，爱迪生之所以没有展开研究橡胶植物和在美国培植橡胶植物，原因就在这里。当然，橡胶的价格在战时提高了，但没有出现危机。

1924年至1925年，由于英国制定了限制从东南亚热带国家出口橡胶的政策，美国的橡胶价格又上涨了。福特和费尔斯通再一次建议爱迪生



认真调查橡胶植物资源。他们提出要爱迪生领导这一研究工作，并保证提供所需一切资金。

1927年，成立了“爱迪生植物研究公司”，福特和费尔斯通提供了将近20万美元。研究工作开始是收集图书资料（值得指出的是，在1826年，即在爱迪生开始这一研究工作的整整一百年前，法拉第曾研究过橡胶，并试图确定橡胶的化学分子式）。为了研究有关橡胶的各种文字的书藉，爱迪生就把通晓数国语言的语言学家巴鲁赫·焦纳斯招聘来，这样他就了解了三百年来所发表的有关橡胶的西班牙史料、葡萄牙史料、德国的史料和其他国家的史料。此外，爱迪生还派代表到各国去收集橡胶植物标本。

初步研究阶段用了两年时间。世界获取橡胶的主要来源是巴西的三叶胶：这种树马来亚、锡兰和非洲已成功地培植起来了。当时还了解到在其他植物中，其中包括生长在亚热带、温带的杂草、蕨、蔓生种和灌木种中也含有乳状汁。这些植物中的许多种是野生的，而且需要水分极少，它们能生长在荒漠地区和干旱地区。当时查清楚了，长有叶像皮肤的常青欧洲夹竹桃、观赏品种的芬香金银花和大戟，都能分泌出乳浆。橡胶植物中有一种墨西哥银胶菊，它生长在加利福尼亚的南部，但由它制取的橡胶并不令人完全满意。爱迪生的任务就是选择能在美国的气候环境中生长的橡胶植物，而且每隔一年到一年半就能收获一次。橡胶植物中极少能具有一年到一年半就收获一次的特性，而其中许多品种种上5年之后才能收获。

开始研究后不到一年，爱迪生通知福特，已收集了3000多种生长在美国中部地带的野生植物和灌木，其中百分之七能产生出各种性能的和数量不等的优质乳浆。到第二年末，就研究和试验了1.4万种。这些植物中的“一枝黄花”，邓黄花（它是菊科中很高的植物），引起了爱迪生的注意。这一种普通的高茎多年生植物，有一个开满金黄色花朵的圆锥花序的花冠。它的含乳浆量平均为百分之五，而“一枝黄花”的变种为数极多，它们的含乳浆量达到百分之十二。这一结果鼓舞着福特在佐治亚州买了一大块地来种植一枝黄花。爱迪生的初步试验表明，每公顷可以获得125公斤到200公斤乳浆。但这种橡胶的质量比进口的橡胶差，而每公斤的价格却要高出4美元。应当继续进行研究。但疾病却使爱迪生不得不从1929年起停止了工作，不能像以前那样紧张地继续研究。爱迪生本人深信，他能达到预期的效果，只是需要时间，按他的计算，大概需要五年时间。但发明家这时已82岁，年老体弱使他力不从心了。

20年代中期报刊有消息说，德国的化学家研究出了把衍生的煤或石油变成了丁二烯型橡胶的方法。在化学康采恩“德国苯胺染料工业康采恩”的一些实验室里，这个方法得到了改进，并组织了半工业性生产。但这个方法的要害部分，被当作一种战略机密，因此福特和费尔斯通就未能获得许可证。结果，德国在第一次世界大战时期生产了200多万吨人造橡胶。人造橡胶的价格当然要比天然橡胶高，但德国在战时没有别的出路。当战争结束后，天然橡胶价格降低，人造橡胶生产已不合算。为了在美国研究人造橡胶问题，需要进行新的研究和试验，需要制造新的试验装置。但美国主要的橡胶用户福特和费尔斯通却没有这样作。

1929年，费尔斯通获得了一大批用一枝黄花制成的价格昂贵的橡

胶。他用这种橡胶制造了四个汽车外胎赠送给爱迪生。

关于研究出生产合成橡胶的报道，使人们对爱迪生寻找国产橡胶植物研究的商业效益失去了。从爱迪生对各种发明的研究过程中，特别是从电照明方面的研究过程中可以看出，发明家解决技术的方法常常是正确的，并且从他的工业组织的方面来看也是适宜的，但是在商业上都是不适宜的。在研究的新阶段上爱迪生也能解决问题的第二部分——投入商业经营的困难。因为爱迪生在进一步的研究中也可能把本国橡胶的质量加以提高，而把生产价格降下来。但发明家的体力条件不允许他完成这一任务。他已是风烛残年，逐渐地在向他生命的终点走近。

## 第十章 广泛的发明兴趣

爱迪生的许多发明，不全与他创造性研究的主攻方向相符合。爱迪生的许多专利特许证，都是为了保障自己对某些当时在实际中不能充分被运用的装置、革新或方法的改进享有的优先权而申请领到的。遗憾的是，至今还没有对爱迪生的所有专利特许证进行系统研究和分析。如果进行了这种研究工作，那么无疑，爱迪生的各方面发明的数量就会大大地增加，就会显示出其重大意义。

在这里，我们只能涉及他的各种发明中一些最有趣的发明，而且这些都是来自发表在技术文献里的最可贵的资料。这里要谈的某些发明是属于各个不同的技术领域的，因而不能系统谈论，而只能够说明爱迪生研究兴趣十分广泛，同时还表明他是如何神速地对新技术潮流和发展方向作出反应，并对某些有趣的局部任务提出解决办法的。

—

1876年爱迪生领到了叫做电笔的机件专利特许证 180857 号。电笔是用来在纸上打孔而使纸变成了能供印刷的刷字版。该仪器高四厘米多一点，宽二厘米。

从技术的观点来看，这个机件使人感兴趣的是，机件中装有一个微型电动机，转数很大。这个机件中的转换器尺寸就更小了。爱迪生在这里实现了当时可能实现的微型化。同时他制造了缝纫机用的微型电动机。这两种电动机从某一点上来说，是当时进行大规模生产的微型电动机仅有的结构。

电笔之所以值得注意，还因为这是爱迪生在门罗园的第一项发明。爱迪生在研究自动电报机的时候想到了，要力求做到使接收端不用报务员，而传输来的脉冲可以用金属笔或金属尖画到特制的纸条上。爱迪生使拍发速度达到了每分钟 200 个词，但为此就需要有一种特殊的纸，这种纸要能够以这种快速度穿过该机件而不断。他经过 2000 次试验才制成了这种质量的纸：这是一种涂有特殊混合物的蜡纸。这一研究导致了对在各种日常生活和食品工业中广泛使用蜡纸或石蜡纸的研究。

“西部联合电话电报公司”大登广告宣传爱迪生的电笔，但是电笔在电报中没有得到普及。

二

爱迪生炭质变阻器——使用方便和完善的电流平衡系统，对于四工系统来说是非常重要的。通常使用线绕变阻器时，选择电阻就需要花去几十分钟时间。为了加速这一过程，爱迪生发明了炭质变阻器。

爱迪生的炭质变阻器，也被应用于 70 年代和 80 年代的实验室的实验中。在当时来说，这是一种既便宜又操作简单的仪器，用它来量度很容易。在此之前，没有一种仪器可以具体利用灰尘、金属粉等的特性使电阻在压挤的影响下发生变化。爱迪生的同时代人德·埃·尤兹于 1879 年提出要利用靠外部声学的作用使不紧密接触的电阻发行变化的这一效

应。尤兹用这一原理制造了感应天平、听力计（或弦音计）。有关与这些仪器或与爱迪生的变阻器相类似的其他一些仪器的资料在参考文献中未见过。

### 三

爱迪生发明的测微温湿计——这是用以测量温度或湿度微小变化的仪器。这个仪器的另一种更加复杂的形式叫显微测温计。

测微温湿计的工作原理从插图中可以看清楚。温湿度的变化引起硬橡胶条 A 的长度发生变化，结果使硬橡胶条对炭质圆垫的压力这个圆垫所连接的电路中的电阻发生变化。硬橡胶条 A 的上端牢固地固定在支架 B 上，而其下端则放进金属板 M 上的特制榫眼，这个金属板放在模压的炭垫 C 上。炭垫 C 是接有电流计的电路中的元件。硬橡胶条 A 长度的任何变化都要引起对炭垫压力的变化，因而也要引起电路电阻和电流计读数的相应变化。为了消除电池组的电动势变化的影响，仪器就接在惠斯通电桥支路上。螺杆 S 和刻度盘上的指针 N 用来确定硬橡胶条真正的伸长数为零点几英寸。

测微温湿计的制作，是在爱迪生作为天文考察团成员的身份前往怀俄明州的前两天完成的。这是 1878 年的夏天。由于朋友们的坚决要求，爱迪生同意“真正”休息一下，即不进行工作，这是有生以来第一次。日食可能发生在 1878 年 7 月 29 日，而在怀俄明州和得克萨斯州可以观察到全食。在进行天文观察时成功地使用了测微温湿计。测微温湿计的灵敏度很高。为了说明它的特点，爱迪生说，在把测微温湿计安装在望远镜内时，使硬橡胶条对住大角星，测微温湿计表明温度增高：电流计指针就转往相应的方向。都柏林爱尔兰学院的教授乌·弗·巴列特，1878 年给爱迪生写信说，他进行了试验以便查明测微温湿计的灵敏度。结果，测微温湿计发现了在几英尺远的地方燃烧的雪茄烟。如果把灵敏度很高的电流计接到测微温湿计电路上，那么该仪器就可以测出离 8 英尺远的人体温度，而瓦斯灯的火焰则在近 100 英尺的地方就能测出。

由于没有使用测微温湿计的成熟经验，在野外进行测量困难较多。即使如此，当整个太阳圆面被遮盖，只有日冕放射出光线的时候，仪器显示出了相当准确的读数。爱迪生把日冕放出的热量，与大角星及其他恒星放出的热量成功地作了对比。

爱迪生的显微温湿计——这是由铁架子 ABC 构成。硬橡胶圆盘 D 用铂头螺杆 E 固定在隔板 A 上，在 E 和 G 之间放入圆炭盘 F。在圆炭盘的外表面上放一个圆铂垫，该圆铂垫与电池组进行电接触。槽 G 和 I 间放有一条为使仪器工作而采用的材料。这条材料借助于仪器右端上的螺杆产生对圆炭盘的初步压力，只要仪器再继续工作，电流计的基本读数就显示出来。也能把显微温湿计安放在惠斯通的电桥线路图中，不过要选择一种能使指针的开始位置处于零的电阻，这有助于仪器的使用。电桥线路图表示：i 是显微温湿计接入处；a、b 和 c 是电阻部分；g 是电流计。

### 四

增音器——对制造炭质送话器的研究工作，特别是对留声机的研究工作，都要求深入研究声学问题，因而使爱迪生有可能制造某些专门的增音器。爱迪生对声音信号和说话声的扩大很感兴趣。属于他所发明用以解决这一问题的装置有气动扩音器和扩音器。

气动扩音器——这是一种不破坏言语的清晰度而把声音放大的机器。

爱迪生预计，这个仪器将得到某些重要的应用。列车用这种仪器沿途能呼叫车站，轮船在公海里能够互相通话，灯塔能够告知危险。爱迪生是这样形象地描述气动扩音器：在大城市里，一个仪器就能高声而又清楚地宣读独立宣言，所有的市民一个不漏地全部能听到。

爱迪生扩音器——这是由于偶然的误会而产生的。发明家本人是这样来叙述的。到门罗园来采访留声机的一位报社记者，是这场误会的制造者。他把所看到的和听到的，在通讯报道中全都搞错了，他报道说，这个仪器能帮助听力差的人听清楚东西。这篇报道被许多报纸转载了，所以给爱迪生的询问函件像雪片似地飞来，他对很多问题都作了回答，说明这篇报道的内容是搞错了，造成了误会。但他要回答所有的询问是完全不可能的，而书信却仍源源不断地寄来。这就向爱迪生表明，听力差的人很多，应当关心他们（大家知道，他本人就属于这类人）。他思考着怎样才能找到更加简单的结构，他首先就对喇叭筒的作用进行试验。他所制造的仪器模型由三个喇叭筒构成，其中两个喇叭筒的窄小端对着双耳，而第三个（中间的）喇叭筒有一个用以谈话的孔。所有这些都安装在三角架上。谈话可以在间距几英里远的两地进行。这种系统可以用于军事方面，也可同在气球上的航空员进行对话，在漫长的战线上传达军事命令和在舰艇之间进行对话。所有这些应用在还没有无线电的时候都是非常重要的。此外，爱迪生又制造了一个在屋里谈话的类似仪器。

## 五

热磁发电机——这是爱迪生的很有趣的想法，而这种想法引起了俄国科学家即无线电报发明家亚·斯·波波夫和新俄罗斯大学的物理学教授弗·恩·什韦多夫的注意。爱迪生想用不经过汽化，不经过取得机械能而再使机械能变成电能这样一种生产电能的程序，而想寻找出一种直接把热能变成电能的方法。如果用这种方法生产电能，就没有必要安装蒸汽动力机组（即蒸汽锅炉和蒸汽发动机）。研究这项发明是以下列物理现象为基础的：物体的磁性能在加热或冷却的作用下发生变化。这台发电机结构如下：在下部有采暖设备的铸铁空心座上安装有一个电磁铁；在电磁铁的两个极中间装有一些缠有绕线的铁管。炽热的气体或冷空气可以从这些管里通过。借助于每分钟能变换 120 次位置的风挡，其中半数的管子由炽热气体通过，而另一半数管子由冷空气通过。这就随之使管子磁性发生了变化，因此线圈就产生了电流。

亚·斯·波波夫亲自在喀琅施塔得军官布雷训练班作了这方面的试验，并在 1887 年 12 月作了有关爱迪生热磁发电机的报道。

## 六

荧光镜——这是在 1896 年制成的，当时广大的物理学家、技师和医生对爱克斯射线的发现已很感兴趣。爱迪生没有获得这个仪器的专利特许证。

因为爱克斯射线只能穿过软组织，而穿不过骨头，爱克斯射线能用来对内部器官进行透视和摄影。这种新的诊断方法马上就被人们所承认，而且有许多人开始设计各种爱克斯射线透视机，首先是射线管和荧光镜。当刚刚发现了爱克斯射线时，纽约哥伦比亚大学的教授米哈依尔·普平开始研究爱克斯射线透视法和爱克斯射线照相问题。他很了解爱迪生的研究工作，并认为爱迪生是一位卓越的化学工艺师，因此就向他求教。应当寻找在爱克斯射线的影响下发出特别强烈的荧光的化学物质。爱迪生根据化学物质有发荧光性能的观点，在实验室里对各种结晶物进行研究。他吸收自己的一些助手来参加这一工作。实际上，他在这一实质上是偶然性的工作中，仍然始终不渝地坚持其对各种物质要进行大规模试验和研究的原则。他对这一问题的研究规模特别大：曾对近 8000 种不同的化合物进行试验。当时可以设想到，这会需要很长的时间的，但研究工作进行得井井有条，所以效率很高，从开始研究起总共过了没几个星期，米·普平就收到了爱迪生寄来的备有钨酸钙荧光屏的荧光镜样品，并马上给胳膊上被枪弹打伤了的人拍摄爱克斯光照片，随后的外科手术就进行得很顺利。

爱迪生及其助手们对普平请求为其配选最适宜的荧光剂一事非常重视，这使普平深受感动，普平就给爱迪生寄去了一封感谢信，在信中他指出，该仪器具有极好的性能，而且在由于伦琴的发明而产生的新的领域方面也将是异常重要的。米·普平写道：“我有幸在我的公开讲课中演示您的仪器的神奇力，听众喜欢这个仪器胜于我所描述的其他各种东西。在很大程度上这是因为您声望很大……您的成就将使所有的科学家感到钦佩。”

爱迪生在回信中告知，他在研究各种类型的爱克斯射线管；他已把几根爱克斯射线管交给医院，而那儿的医生们很快就学会了使用。爱迪生把自己生产的爱克斯射线管样品寄给了某些科学家。这完全是最初的一批爱克斯射线管。报纸向公众广泛地报道了著名的发明家的这些新胜利。

新事物需要宣传，1896 年爱迪生在纽约中心大厦展出了几架他所制造的荧光镜，它具有箱子的形状，箱子的一个侧壁有一个窥视孔。展览会的几千名观众把手放到射线管和荧光屏之间进行透视。公开演示爱克斯射线的作用，这在美国还是第一次，也许在全世界也是第一次。

爱克斯射线在剂量过多的情况下会对人体产生有害影响，当时人们对此还是一无所知，因而没有采取预防措施，结果经常发生爱克斯射线造成损伤的事件。爱迪生的一个名叫克拉连斯·多利的助手就成了牺牲品。他的胳膊由于严重地被爱克斯射线所损伤，多次进行截肢，也未能挽救性命。现在已被人们所忘掉的这位电工技师，是最早受爱克斯射线损伤而殉难的一个。在这个惨案之前，甚至还曾设想，能否在荧光屏的基础上创造出一种新的照明方法。当弄清楚了爱克斯射线辐射带来的不

幸时，这样的想法才被打消。

爱迪生本人总是处在整个爱克斯射线研究的中心，对辐射的有害影响他也没有采取任何预防措施。他大量时间都呆在实验室里，并经常去参观医院，指导全体医疗人员使用爱克斯射线。但幸而没有使他的身体受到损害。有一段时间爱迪生患眼疾，医生说这是受爱克斯光照射的原因所致，但眼疾很快就好了，而且也没有落什么令人不愉快的后遗症。

应当指出的是，只是在 20 世纪初，人们才采取了预防爱克斯射线有害作用的设备（铅屏）。

## 七

军事技术装备方面的研究工作——爱迪生对战争深恶痛绝，他总是力求把自己的力量用于生产广大人们生活所必需的东西。他说：“制造杀人的东西与我的天性是格格不入的。我最喜欢能使人欢笑。”爱迪生的发明中很少有被完全用于军事目的和杀人的。但他毕竟还是有这样的发明。爱迪生同西门子一起取得了鱼雷及其使用方法的专利权。这一系统包括有用电开动的潜水鱼雷艇，它指靠安装在鱼雷艇以外的发电设备通过电缆来供电。鱼雷艇中有一个专门放炸药和水雷的掩蔽室，艇内装有一个电动机。如果鱼雷艇潜入水中几英尺，并在另一只船上或岸上通过电缆来操纵，那么鱼雷艇就能给敌人以打击，而不被发现。

爱迪生为著名的航空家和飞机制造家莱特兄弟进行了一些研究。他给他们画了一份有些像火箭的飞行器草图，并制造了一架装有其发动机以硝化棉为动力的直升飞机。没有找到关于对他的这些想法加以实际利用的记述。大概，这些想法只是他的初步设想。

在第一次世界大战时期，爱迪生所进行的或在他领导下所进行的综合研究特别重要。

1915 年 7 月 7 日，美国海军部长丹尼尔斯给爱迪生写信说，海军最需要的是各种机器和机械，因为在战时它们的作用特别明显地加大了。必须想尽一切办法来开拓发明思想，因为发明思想在民用的许多部门发出很大成效。丹尼尔斯曾打算建立一个发明和改进局，无论是军人，还是非军人都可以向发明和改进局提建议。这样的机关，应当确定这些建议对海军能有多大好处，是否能得到实际应用。海军部长指出说，他主管的部门只有一种能力：把这些建议和咨询送交海军部各局去鉴定。但这些局原来就已担负着繁重的日常工作，所以有时就不能对这些问题给予应有的注意。军舰上的海军军官本可以检验这些改进建议，但军官们既没有时间，也没有地方和条件来审查建议。他们常常缺少把事业进行到底的办法。这就是为什么想在海军部建立一个审查发明的专门机关的原因。领导这个机关应是深孚众望的人。爱迪生正是这样的人，所以有人就问他，是否同意领导这个组织。

爱迪生许多年以前就不在电报局供职了，多年来他从未在任何人那里供过职。他几十年都完全独立地工作。爱迪生如果答应海军部长的建议，这就意味着他不一定总能研究他所喜欢或使他向往的东西。这时，即在“卢西塔尼亚”号军舰被击沉的 1915 年夏天，美国已作好参战准备。爱迪生懂得了为海军承担研究工作的巨大意义。他马上给海军部长回函

说：“我很愿意把我的全部时间无条件地贡献给政府。凡是我能干的，将一切遵命。”这样，爱迪生就成了海军部所属组织的领导人，这个组织叫做“海军咨询委员会”。

丹尼尔斯及其助手弗兰克林·德兰诺·罗斯福莅临西奥伦治，并同爱迪生讨论了与组织咨询委员会有关的问题。丹尼尔斯向美国 11 家最大的科学协会的主席提出请求，要他们各派两名代表到咨询委员会中工作。各科学协会马上就响应了。参加咨询委员会的都是一些卓越的技术思想的代表，有尔·巴克连德和威利斯·惠特尼（化学家），弗·斯普拉格和布·拉梅（电学家），尔·伍德沃思和阿·韦伯斯特（数学家），亨特和格列文（建筑师），埃利梅尔·斯佩里（仪器制造家），赫·科芬（汽车制造家）等人。托·阿·爱迪生和姆·赫特金松受海军部长的委派参加了咨询委员会。

在 1915 年 10 月 7 日咨询委员会的成立大会上，与会人认为必须如爱迪生所建议的那样建立海军实验室。无论是科学方面，还是在生产试验工作和发明工作方面，都只有用这样的方法才能获得更加彻底的和可靠的成就。海军各演习场都忙于与自己有直接关系的工作，所以当时只能指望从那里得到很有限的帮助。实验室的计划是由爱迪生、巴克连德、惠特尼、伍德沃思和科芬组成的委员会详细订出的。实验室设在哥伦比亚州南边的波托马克河畔的贝尔维尤弹药仓库所在地。在这个实验室研究出并被采用作武器的就有 40 多项较大的发明。由于众所周知的原因，发明的实际内容并没有发表，但很清楚，绝大多数发明是属于反潜水艇方面的。已知爱迪生设计出了一个很灵敏的仪器，它能够把在 1000 码以外的正在逼近的鱼雷预先告给船只；他还详细研究出了把轮船航向迅速作 90 度转弯，以免被敌人的鱼雷所击中的方法。爱迪生同时也发明了船的迷彩系统，以便来迷惑潜水艇，还发明了专门用来迅速堵塞鱼雷穿洞的专用硬膏。发明了一种灯光，而这种灯光只有另外的商船队或护船队才能看见，但潜水艇却看不见。



## 第十一章 电气化的先行者

1887年,当时以其发明而闻名于世的爱迪生在40岁生日那天说:“我没有研究自然规律,没有作出重大的科学发现。我没有像牛顿、开普勒、法拉第和亨利那样为了弄清其真理而去研究它们。我只是一个职业发明家。我所有的探讨和试验只是为了寻找某些具有实用价值的东西而进行的。”

的确,爱迪生没有给自己提出具有纯科学性的任务。然而,他在发展电学和开拓带有科研性质的工作中所起的作用是很大的。卓越的美国电工学科学家查·普·施泰因梅茨,在1917年庆祝爱迪生71寿辰时评价说:“爱迪生比其他任何人都更加促进了电气工程师的技艺和学术的发展。”对爱迪生创造发明活动的意义所作的这一评价,包含着极为深刻的真理。

爱迪生极其繁多的研究工作,通常包括以下几个阶段:

对问题尽量更加全面地进行研究;

在此研究基础上创造出实用的装置、结构或方法;

把发明用于实际中,不用说,是为了得到物质利益。

爱迪生在其活动初期所从事的工作,基本上不是尚未被应用在技术上的新发明,而是把现有的东西加以改进。爱迪生获得专利特许证后,就把它卖给某大组织,或者把获得专利权的发明的某些部件的专利卖出去,而他自己组织成批制造产品,则是特殊的例外事。他改进的交易所行情记录机就是这种例外:爱迪生把这一专利特许证卖给“黄金股票电讯公司”后,就开始大批量为该公司制造交易所行情记录机。看来,这种生产能为爱迪生提供特殊的商业利润,因为当时他的物质基础还不很巩固。

70年代末,爱迪生的观点发生了变化。他确信,许多在结构上已经十分完善的发明,如果在这些发明的应用过程中没有发明人的参加,就不能得到进一步的改进。事实上,产品只有在实际应用中才能弄清楚哪些是需要进一步加工和改进的不足之处。使用本身就向发明家提出新的任务。如果发明家把发明专利特许证或许可证卖出后就不再关心其发明的今后的命运,那就将由其他发明家对某些元件或部件在结构上作某些变动。可能出现这种情况:发明家本人最终将被推到次要地位。这一问题对综合性的发明显得特别重要。只有在对整个索链做出了某些相应的变动的情况下,才能对某一个环节进行变动。

于是,爱迪生十分关注把发明运用于实际,并为此建立了生产组织和商业组织。但是,就在这种情况下,爱迪生也不愿把改进发明的职能转交给所建立的公司,因为他本人并未停止对那些发明的研究,尽管他已经把这些发明交由专门组织经营。

—

如果要彻底研究爱迪生所建立的生产组织和商业组织产生的前后顺序,并把这一顺序与美国及其他各国的另一些电气工业公司的产生进行对比,那么就会一眼看到这样的事实:在1878年以前,这样的公司几乎

完全没有。弧光灯的发明者（韦斯顿和布拉什）所进行的生产规模很有限；制造发电机的几个工厂生产出的产品很少。爱迪生和鲍普的工厂也是这样不大的企业。另外，爱迪生和默里的工厂，也总共只有几十名工人。

从 1878 年年底以后，生产电气设备、电气仪表等产品的企业数量开始剧增。这种增长的原因是，在 70 年代末用弧光灯进行电照明已开始增多，而刚刚研制出的用白炽灯进行电照明的系统又马上得到了普遍承认，可以看到设备数目及其消耗电能量年复一年地增长。

我们将不论及爱迪生为应用发明而建立的有关留声机、蓄电池等工业组织和商业组织，我们在这里要研究的是，在爱迪生的强电流电工技术所取得的成就，首先是由于他的电照明系统的迅速推广而取得的成就影响，他所组织的电气生产是如何发展的，与之竞争的企业公司是如何同时产生的，如何把这些相互竞争的企业联合起来建立起美国最大的电气工业。

人所共知，爱迪生专利特许证的使用并没有局限在美国，在欧洲也得到了广泛使用。欧洲大陆大型电气工业的建立，在很大程度上也与爱迪生在美国的成就和发展紧紧联系着。

1878 年秋季，爱迪生还在研究装有铂丝的白炽灯，而他所得到的结果不能使他完全相信其实际成效。但有一些人对他的研究工作很感兴趣，他们相信他所采取的研究方向是适宜的，并认为必须要尽量加快进行试验。他的一个朋友，即纽约的著名律师劳利，正是这样评价爱迪生的研究工作的。因为爱迪生当时没有资金来扩大试验，所以劳利便竭力促使美国大资本家约翰·皮尔庞特·摩根关注爱迪生的研究工作，结果摩根也就同意给这些研究工作提供资金。劳利还吸收了某些资本家参加，于是在 1878 年 10 月 17 日“爱迪生电灯公司”就开办起来，当时它拥有资金 30 万美元。这就使情况发生了变化：爱迪生能够吸收有经验有专门技术的专家，并能扩展其试验工作的范围。这是第一家为发展和经营爱迪生的发明而建立的大公司。该公司很多年都是爱迪生系统的主要组织和他的与电照明有关的专利特许证持有者。

“爱迪生电灯公司”强化了试验和研究工作，因此于 1879 年在门罗园建成了一个试验装置，而这个试验装置表明，利用爱迪生白炽灯来在商业上扩大经营电照明系统是完全有利可图的。

1880 年春季前，爱迪生没有大宗电照明设备的定货。“俄勒冈州铁路航运公司”总裁亨利·维拉德，在了解到了门罗园的试验装置后，马上就成为了爱迪生照明系统的拥护者。1880 年 5 月维拉德采取了当时认为是大胆的步骤：他把在“哥伦比亚”号客轮上安装电照明定货交由爱迪生制造。所需要一切安装材料都必须在门罗园制造。这些东西都不能不用最原始的手工业方式制造。发电机（“身材细高的玛丽安娜”型）就像白炽灯（“哥伦比亚”号上安装有 115 盏电灯）一样，也是在门罗园制造的。

虽然有这些不利的条件，第一次定制的托·阿·爱迪生系统的电照明装置还是十分满意地使用了 15 年，只是在 90 年代中期才加以改进。

当时还安装了一个定制的装置，即海·斯·马克沁系统的白炽灯照明装置，这一装置被安装在纽约“保管公司”的大厅和地下室里。该装

置由 50 盏白炽灯组成，而且在某些方面甚至要比爱迪生的第一批装置还好：马克沁这时已有能改善炭质灯丝质量的制作方法的专利特许证。这个装置对于宣传电照明来说，显然具有很大的意义。

1880 年下半年，对照明装置的需求量猛增，于是爱迪生就面临这样的问题：必须作好准备来应付将要来临的订货巨浪。（这不属于“电灯公司”的管辖范围，因为它的活动应当旨在改进系统，并在这方面获得新的发明专利特许证。）除了这仍然从属科技活动的公司之外，又建立了一个生产和出售白炽灯的商业公司——“爱迪生灯泡公司”。在 1880 年年底，世界上第一座白炽灯工厂开始在门罗园投入生产。后又把灯泡厂迁至哈里森市的厂房里。在那里建立了一个相当大的生产灯泡的企业即“爱迪生灯泡厂”，而这个企业 40 年内在灯泡生产方面一直领先。在 19 世纪 20 年代，灯泡的生产集中到几个大型的现代化工厂，所以在哈里森市的某些厂房已变成灯泡技术和照明技术陈列馆。

## 二

商业经营爱迪生电照明系统的头几年，明显地证明，电照明方面的竞争有日益增长和尖锐化的倾向。可以认为，在购买发电机、电线、安装材料和其他电气设备方面，可能要产生困难。为了避免这些困难，爱迪生建立了三个专业公司。爱迪生以前的助手济格蒙德·伯格曼离开爱迪生后，建立了一个独立生产公司即“伯格曼公司”，而这个公司能够保证满足对灯口、灯座、器材和某些安装材料的需要。开始，伯格曼公司根据同爱迪生所订的总协定进行工作，但很快该公司就为爱迪生所有，1886 年加入了爱迪生生产企业的联合组织“爱迪生生产联合公司”。

为了生产电机设备，爱迪生在纽约建立了一个机器制造厂“爱迪生机械厂”。此外，还建立了生产铺设地下线路和空中线路设备的“爱迪生管道公司”，以及生产传动装置的“爱迪生轴承公司”。到 1886 年，这些企业大大地发展起来了，而对这些企业的产品的需求量也大大地增加了。爱迪生把这些企业合并成一个组织即“爱迪生联合制造公司”。就当时来说，这是最大的一个电气工业企业。

从 1882 年起，爱迪生就开始接受许多安装私人用户或单独用户的照明设备的订货，并建立了一个电气安装组织部“爱迪生单独用户照明设备安装公司”。它在某些楼房或在私人用户那里装备自备发电站，安装照明设备，并监管照明设备的工作情况。在美国的中心电站暂时还不多的情况下，该公司的活动开展得很顺利。但当中心电站的数量增多的时候，装置自备发电站已不合算，所以该公司就不再独立存在了。

发展白炽灯电照明的明显成就导致了其他公司的产生，这些公司都希望在商业上得到利益，因为他们认为爱迪生将不能满足日益增长的对安装电照明的需求。例如，“韦斯顿电灯公司”是早在 1877 年根据韦斯顿专利特许证生产弧光灯和弧光照明设备而建立的。它从 1881 年起开始研究照明设备和白炽灯，而且很快就与拥有马克沁和法默的专利特许证的“美国电灯公司”合并了。“电刷公司”是于 1880 年在“电报机电源公司”基础上建立起来的，该公司从 1883 年开始在美国使用英国白炽灯发明家莱因-福克斯的专利特许证。当发现莱因-福克斯灯有重大缺点的

时候，这个公司就转而生产和出售斯旺灯。但是这些都是些相当小的公司，这些公司的竞争对于爱迪生来说没有什么重要意义。重要的是，它们都是在爱迪生所取得的伟大成就的鼓舞下和对电照明的应用会进一步高涨一事充满信心的情况下应运而生的。

威斯汀豪斯公司（“开关和信号机联合公司”）在1882年开始了自己的活动，并且几乎只致力于与机车车辆的机械设备（空气制动器等）和铁路信号装置有关的研究工作。它大概也是从1886年开始研究安装电照明设备。后来，威斯汀豪斯公司吞并了较小的“韦斯顿电灯公司”、“电力电灯公司”、“东部电气制造公司”、“联合电灯公司”和“索耶—曼电气公司”（所有这些公司都拥有索耶的白炽灯专利特许证），并在此基础上开始扩大自己的白炽灯电照明的经营活动。在1888年至1889年间，除了上述公司外，当“沃特豪斯电气制造公司”加入了威斯汀豪斯的康采恩时，这个康采恩就成了与爱迪生公司竞争的劲敌。1889年，“威斯汀豪斯电气制造公司”就最终形成了，直到现在它仍是世界上最大的电气工业公司之一。

由于爱迪生的巨大成就而大大强化了他自己的第三个电气工业组织，是“汤姆生—胡斯顿电气公司”。这个公司在1883年成了那个专为生产电机和弧光灯的“美国电气公司”的继承者。领导该公司的都是在电工技术方面很有地位的人。伊莱尤·汤姆生是一位领有证书的工程师，并从1876年起在费拉德尔菲亚担任了化学和力学教授的职务。从此他就开始致力于电工技术方面的发明。他制造了自激发电机，演示了弧光照明装置，制造出了自动记录瓦特计、推斥电动机、专门用途的变压器。他获得了大量专利特许证，有一部分专利特许证是同埃·胡斯顿教授一起获得的。1883年汤姆生和胡斯顿建立了一个电气工业公司，这个公司到1888年已非常强大，所以它能吞并许多比较小的工业公司。它从事于许多种电气设备的生产和中心电站的建筑。该公司的总厂设在林恩市（马萨诸塞州）。这对于爱迪生来说是一个特别危险的竞争者。

爱迪生公司在1889年以前就已迅猛地发展起来，并发了大财。它当时是由“爱迪生联合制造公司”和吞并了“爱迪生单独用户照明设备安装公司”的“爱迪生电灯公司”组成。1882年爱迪生把自己的活动扩张到美国之外，在加拿大建立了“加拿大爱迪生制造公司”并在欧洲建立了许多公司。这时爱迪生开始对电力牵引问题很感兴趣。他购买了在美国经营第一批电车的“斯普拉格电车公司”的产业，以及小公司“伦纳德—艾泽德公司”。爱迪生把所有这些企业合并成一个大联合公司，叫做“爱迪生通用电气公司”，该公司在1889年开始营业。

这样，1889年就有了三家大的电气工业公司：“爱迪生通用电气公司”、“汤姆生—胡斯顿电气公司”和“威斯汀豪斯电气制造公司”。爱迪生与其他公司的各种专利冲突大大增加了。专利诉讼具有持久性，进行专利诉讼需要花相当可观的一笔钱。因此，爱迪生考虑与美国最大的电气工业公司达成协议是否将更合适些问题。

### 三

1891年初，爱迪生公司向汤姆生—胡斯顿公司提出关于把利益结合

在一起的建议，这对于汤姆生—胡斯顿公司来说是有利的，因为该公司的工作方向和爱迪生各个企业的工作方向是一致的，而专利问题当时对于各公司来说都是难题。如果把爱迪生的专利特许证和汤姆生—胡斯顿公司的专利特许证合在一起，那么就可以在美国电气工业和电力技术中占据决定性的地位。

这个问题的谈判几乎进行了一年。最后，即在 1892 年 4 月 15 日，这两个最大的公司合并成一个公司，叫做“通用电气公司”。爱迪生企业的资产这时已达到 1500 万美元，而汤姆生—胡斯顿公司的资产则达到 1050 万美元。爱迪生的企业有 6000 人，而汤姆生—胡斯顿公司则有 4000 人。虽然如此，汤姆生—胡斯顿公司的总利益却比爱迪生企业的利润高百分之三十。爱迪生公司在合并以前已有 375 座公用电站和供单独用户的自备发电站 2300 座；汤姆生—胡斯顿公司有 870 座公用电站，但它几乎没有安装过自备发电站。此外，两家公司已有许许多多当时在美国已投入使用的电车装置。

汤姆生—胡斯顿公司合并到“通用电气公司”后的影响，要比爱迪生的影响大。领导“通用电气公司”的是以前在汤姆生—胡斯顿公司那里工作过的查理·科芬。“通用电气公司”的技术决策权集中在伊·汤姆生的学生小埃德文·赖斯的手里。后来赖斯就接替了科芬的“通用电气公司”的董事长职务。

在“通用电气公司”电照明部门活动中起主导作用的，暂时仍是爱迪生及其助手们。

威斯汀豪斯公司活动的开始，是与乔治·威斯汀豪斯在 1869 年发明了空气制动器一事相联系的，这种空气制动器在铁路上已被广泛采用。最初，“威斯汀豪斯空气制动器公司”只生产制动器。后来，这个公司开始生产铁路信号装置。在“开关和信号机联合公司”获得了一些专利特许证后，威斯汀豪斯在电气信号装置方面，以及其他的电气装置（发电机、白炽灯等）方面展开了工作。威斯汀豪斯是在美国应用交流电的奠基人，并获得了欧洲单相变压器的专利特许证。威斯汀豪斯公司的企业及其商业活动范围在 90 年代大大地扩大了，该公司和“通用电气公司”一起，在电气工业和电力技术方面，占有决定性的地位。这两个公司的生产，占该行业总生产量的百分之七十五以上。

虽然其他各电气工业公司在美国的力量比较薄弱，但其中有些公司的技术活动令人很感兴趣。特别是“美国西门子—哈尔斯克公司”和“斯坦利电气制造公司”。

通用电气公司和威斯汀豪斯之间的专利纠纷，在 90 年代的前五年中一直持续着。威斯汀豪斯拥有马克沁、索耶—漫、法默、韦斯顿、特斯拉、斯坦利等人的专利特许证，更不用说还有乔治·威斯汀豪斯本人的专利特许证。通用电气公司拥有爱迪生、汤姆生、布拉什、斯普拉格、范杰波列、布雷德利等人的专利特许证。冲突双方的基础都很好。关于把这两个大公司联合起来的谈判没有获得成功，但签订了关于共同利用某些专利特许证和相互尊重某些种类产品的专利特许证持有者的协定。就白炽灯的生产达成了专门的协议，而这个协议使这个工业部门局部地具有辛迪加性质。把那些进行大规模生产白炽灯的人组织起来，成立了“白炽灯制造者协会”。爱迪生企业在电气灯泡生产中仍处于领导地位：

通用电气公司生产了百分之五十到百分之六十的各种灯泡，威斯汀豪斯公司生产了百分之十到百分之十二的灯泡，其余的都由美国的其他 20 家灯泡厂生产。

因此，我们看到，爱迪生在白炽灯和电照明系统方面的研究工作，成了美国电工技术的整个发展的中心。在爱迪生的成就及其活动的开展的影响下，其他公司的工作也积极开展起来了。虽然自建立“通用电气公司”以来，爱迪生对电气工业的进一步发展的影响明显减少了，但即使是在 20 世纪初，他在电灯泡生产中也还是继续起着主导作用的。

#### 四

19 世纪最后 10 年，是以电气工业获得巨大进步为标志的。通用电气公司的建立，有助于改进技术进一步发展的条件。以前的发明方法应当改变。电工技术沿着各种不同的方向向前发展，工业面临的任務就更复杂更宽广了。在这些条件下，只能用创建强有力的实验基础地和大大加强理论研究的方法才能保证进步。这些研究常常与生产和工艺没有直接的联系，但却为生产创造了新的方式方法和手段。关于建立通用电气公司的研究中心的问题提到了日程上来，而爱迪生以其在门罗园和西奥伦治的实验室的经验，以及伊·汤姆生及其助手们的经验也给予了应有的注意。首先要确定的是，应由谁来组织科研中心并开展其工作。在这方面，通用电气公司的条件最好。当时在该公司工作的专家有伊·汤姆生、小埃德文·赖斯（他俩都是出色的工程师和电工技术科学家）、查理·普罗蒂尤斯·施泰因梅茨（他是一位数学分析行家、卓越的电工技术的理论家，他被人们誉之为“新思想的喷泉”，他由于就俄罗斯国家电气化委员会的计划与弗·伊·列宁通信而在我们这里享有盛名）、威廉·埃米特（他是一位很有经验和气魄的电工学家）、爱德华·休列特（他是高压设备方面的专家）和其他一些人。通用电气公司由于吸收了著名的工艺专家参加，生产技术大有起色。但尤为重要的是它感觉到了加强科研工作的必要性：如果生产以认真的研究成果作为其基础的话，那么生产就会特别迅速进步和发展。没有新的科学资料 and 理论总结，生产就会停滞不前。

工业研究当时已不新颖，爱迪生以及汤姆生都组织和进行了工业研究。爱迪生在寻找改进生产新方法方面进行研究。汤姆生的主要任务是直接参加监督生产。现在提出了新任务：建立强大的科研中心，这个科研中心基本上从事的不是发明，而是科学试验和理论总结。1990 年这个中心的建筑工程竣工了。它是由马萨诸塞理工学院的威利斯·尔·惠特尼教授主持的，惠特尼教授担任通用电气公司的研究实验室主任一直到 1932 年。

我们不来详细研究和评价通用电气公司这个研究中心的研究工作，我们只扼要地指出，许多年来作为爱迪生对白炽灯的创造和形成时期研究工作直接继续的光源方面的研究工作是怎样在这个科研机关中发展的。

在爱迪生制造出白炽灯（1879 年），到组织通用电气公司科研实验室这 21 年期间，爱迪生和其他的发明家成功地提高了灯泡的经济性能，即

一瓦特所产生的流明的效率)并延长了灯泡的使用寿命。但在1900年就已看到,爱迪生型白炽灯的进一步改进上出现了问题。对爱迪生改善灯泡质量和经济指标的努力,一定要作恰当的评价:他的努力是一种巨大而富有成效的劳动。但灯泡的前途取决于其结构原理能否有新的突破,而这一点只有在深刻研究灯泡的物理、化学和电的效应后才能够达到。

在随后的15年中,通用电气公司的科研实验室把灯泡的发光效率提高了三倍,把灯泡的使用寿命也几乎延长了一倍。托·阿·爱迪生在改进白炽灯方面的直接接班人是美国的科学家威利斯·尔·惠特尼、马·德·柯芝和埃·兰米尔。欧洲在这方面进行研究的有:奥埃尔·冯·韦利斯巴赫、魏·冯·博尔顿、亚·尤斯特、弗·哈纳曼和汉·库热利等人。对灯泡研究的主要方向如下:提高发光效率;提高灯丝白炽温度,以获得更多的“白”光;增加使用寿命或在实现提高发光效率和提高白炽灯温度两个任务的条件下把使用寿命维持在1000个小时的水平上。

惠特尼在研究灯泡变黑现象时就确定,如果用预先煅烧的方法把某些氧化物从炭线中去掉,那么炭丝的蒸发和灯泡变黑的现象就能减少。他建了一个炉子,在这个炉子里灯丝可以用电热方法以高于灯丝在灯泡里的工作温度进行加工。采用这个方法的效果极好,而且得到了意外的发现:经过在高温炉中对灯丝的加工,炭丝的石墨外壳就具有金属性和正温度系数。装有这种灯丝的灯泡获得了“通用电气金属化”的称号,人们把这一工序称之为“灯丝金属化”。在保持标准使用期不变的条件下,灯泡的发光效率增加了百分之二十五。如果这些灯泡中仍保持原来的发光效率不变,则使用寿命几乎要延长三倍。

魏尔纳·冯·博尔顿在1903年获得了装有钽丝的白炽灯专利特许证,而亚历山大·尤斯特和弗兰茨·哈纳曼也在同年获得了纯钨丝专利特许证。汉斯·库热利在1904年改进了这种灯丝的生产。运用于灯泡生产中的各种不同的钨丝,是用把钨粉变成丝的方法制成的,而这种钨粉是利用压条模压制成凝胶状,然后再去掉杂质并通过电流烧结成密实的丝。也可运用钨丝压制法,这种灯丝的发光效率稍稍大点。而以改进爱克斯射线管的结构而著名的通用电气公司实验室的工作人员乌·德·柯立芝,从根本上改进了白炽灯。柯立芝研究了两年,研究出了把事先煅成的钨拉制成细灯丝的方法。用这种钨丝制成的灯泡有更高的发光效率(叫做“经济”灯泡)。当灯泡投放美国市场后,掌握有电站的公司很担心这种灯泡的广泛使用,将减少照明电能的总消耗量。但这些担心是多余的,相反,电照明价格降低了,人们开始改用功率比较大的灯泡,其结果是供电量不仅没有缩减,反而增加了。

埃尔文·兰米尔从1909年就开始在通用电气公司的科研所工作,他在发展白炽灯方面又迈出了一大步。他提出了灯泡充气的原理和灯丝的螺旋化,结果就生产出了更经济的灯泡(开始叫做“半瓦特”灯泡),能够把灯泡的功率数提高许多。他发现的事实是,在某些范围内灯泡中的热损耗几乎不取决于灯丝的直径,然而发出的光通量却与其表面的大小成比例,因而与灯丝直径也是成比例的。兰米尔得出的结论是,如果粗灯丝在有大气压的情况下被惰性气体包围起来,那么这种粗灯丝对于已经规定出使用期限的灯泡来说是更加有效益的。他证明说,如果把灯丝卷成线匝挨得很紧的螺旋线圈,那么螺旋线圈的直径(而不是灯丝直

径)就变成了热损耗方面的决定因素。这就能使装有细灯丝的小度数的灯泡获得很高的发光效率。

由于出现了大度数的充气灯泡,弧光灯在大街上就消失了。产生了新的照明设施,即投光照明、汽车照明、投影照明等。柯立芝的钨丝、兰米尔的灯泡内充气 and 灯丝螺旋化,这是灯泡技术的最大成就,也就是爱迪生灯泡的变体,而这种变体使爱迪生的灯泡成了几十年内广泛使用的光源。柯立芝和米兰尔的研究工作起源是爱迪生灯泡,而爱迪生灯泡的发明不仅在照明技术方面,而且在整个电工技术方面都是一次革命。

## 五

托·阿·爱迪生的研究工作不仅在美国,而且在欧洲大陆,直接促进了电气工业和电灯工业的兴起。1880年以前,在生产电气产品和电工材料方面以及在发展电力传动、电热和起重运输装置方面,欧洲走到了美国前面。而爱迪生的活动却从根本上改变了这种关系:结果是欧洲还要从爱迪生的成就中借用许多东西。

1880年以前,德国已有几家安装弧光照明的组织,有资产约50万美元。在美国,自从1882年颁布了关于照明的国会法令后,电照明才开始发展起来。在法国,如果不把亚布罗齐柯夫系统的照明装置算在的话,照明就发展得更迟。1881年,巴黎电气博览会对于欧洲大陆来说是转折点。对爱迪生研究工作的了解,导致了“爱迪生大陆公司”这个生产性兼商业性的公司建立,该公司有权在欧洲使用爱迪生的专利特许证。在法国,与“爱迪生大陆公司”协作的有从事于住宅照明的“爱迪生电气公司”和“爱迪生工商业公司”。后一公司设在巴黎附近伊佛里的一个工厂,专门生产电机、电灯泡和电气设备。

著名的工程师和企业家埃米利·拉捷璠1881年参观了爱迪生的展品。他懂得,根据这些发明可以在德国展开大规模的电气业务。在此之前,德国已有一个主要在电讯装置方面进行活动的大电气公司“西门子—哈尔斯克公司”。拉捷璠着手组织新的企业。1882年,他在《柏林交易所信使报》的印刷所里根据爱迪生系统安装了柏林第一台照明设备。一个月以后,即在1882年5月进行了白炽灯室外照明试验,试验是由西门子—哈尔斯克公司在科赫街组织的。印刷所的电照明十分成功,而在科赫街所进行的试验就不太成功,因为亮度不足。四个月以后,这些试验就停止了。1882年年中,安装在“联邦俱乐部”的拉捷璠的试验装置,大体上是成功的,后来还加以扩建。

最初的这些次试验清楚地表明,在德国运用爱迪生照明系统的基础还没有奠定,必须从研究大量技术性问题开始。1882年7月建立了“研究会”来专门详细研究技术问题。年底,该组织在威廉演示了白炽灯室外电照明的试验装置,它起了一定的作用,使人们增加了对爱迪生系统的兴趣。1883年,拉捷璠组织了一个股份公司“德国爱迪生通用电气公司”,该公司从巴黎的“欧洲大陆公司”那里获得了在德国使用爱迪生专利特许证的特权,并同时答应凡用于此目的的一切机器和设备都一定要从“西门子—哈尔斯克公司”进货。1883年年底,德国爱迪生通用电气公司详细订出了柏林集中供电的第一个方案,该方案后来被批准,并



开始实行。接着就建立了许多公用电站。到 1887 年，德国爱迪生通用电气公司的活动范围已大大扩大。因此，改组该公司是适宜的。遂于 1887 年 5 月实行了这一改组，制定了新的章程，公司也改称“通用电气公司”，成为德国第二个最大的电气公司。

这样，爱迪生直接影响了强电流电气工业在德国的产生和发展。

欧洲第一座电站，是爱迪生的意大利公司在 1883 年所建成的米兰电站。电站位于市中心。这里装有爱迪生的“贾姆博”发电机。这个电站只供应市中心一小部分地区的电能，而且在 1893 年以前一直供电。而该公司在这个电站停产后，就在市郊区建设了一座大型火力发电站，此外，还开始把帕杰尔诺水电站的电能输往米兰。

有几家公司在巴黎开展了供电活动。市区被分成了六个地区，其中每一个地区的照明都签订了单独的租让合同。托·阿·爱迪生承租了其中一个地区。这个地区的面积为 420 公顷，是人烟最稠密的地区之一，共有居民 21.8 万人。原计划供应该地区直流电能的有三座电站：蒙马特尔的德鲁奥电站（这是由爱迪生购买扩大并补充了设备的电站）、特留坚电站（这是爱迪生为了适应对电能需求的迅速增长情况而专门建设的电站）和库尔德奥尔电站。所有这些电站都是按三线配线制工作的。爱迪生在巴黎的三个电站，从 1893 年起同时进行工作。对电能需求的增长不得不先建立三个蓄电站，然后再在市郊区建设一个电站，这个电站把 2.2 千伏交流电输往德鲁奥和特留坚电站，以使用电动发电机设备变换成 110 伏直流电。

1907 年，爱迪生在巴黎的电站已移往市区附近，因为市区已根据统一的动力经营的原则对供电方法进行了改革。

## 第十二章 永远活在人们记忆中

如以前各章所述，爱迪生有许多发明，其中有些发明由于用途很有限，现在已不用了；但有许多发明却已深入到我们的日常生活、技术和工业中，已经成了人类生活不可缺少的部分。爱迪生的劳动创造出许多新东西，它使许多技术成就变得更加方便、有益或经济。他的卓越劳动，在人们的记忆中占有牢固的地位。

我们离爱迪生开始其卓越活动的年代，已有百余年了。今天来看，令我们十分感兴趣的是那些对爱迪生发明工作的方式方法的总结和他所创始而又在技术史上，第一次创造出了对于他处的时代来说令人惊异的成就——“发明工业”系统，值得感兴趣的另一个问题是：爱迪生是一个什么样的人？流传着许多自相矛盾的有爱迪生的神话和传说。遗憾的是，很多对爱迪生的无根据的臆测，使爱迪生的性格的真正特点变得模糊不清。而那些非常了解爱迪生并与他交往颇密的人，几乎未留下有关爱迪生本人以及与他在一起工作情况的如实回忆。

—

爱迪生在其生平活动中，表现出来的最主要的个性特征，首先是他特别爱好劳动。爱迪生是一个热衷于劳动的人。在其漫长的一生中，从来没有让自己放下工作那怕短时间地彻底休息一下。假如由于某种原因使他不得不在工作中进行短暂休息的话，他也是一面工作一面休息，而且是一没有事可做他就苦恼不堪。

下面一件事很能说明他的性格：他收到了朋友们要他进行天文观察以便得到休息的邀请。他接受了这一建议，但却随身携带了他所发明的仪器即测微温湿计。他不是来休息，而是来试验这个仪器的性质。所以，他收集到了观察工作计划中所没有规定出的很有趣的资料。他在这里勤奋地工作了一段时间，而他却认为，他得到了很好的休息。

他来到他的老家大西洋海滨进行休息的时候，他就致力于研究海沙中发现的黑色粒子。对这种含有铁矿的驳杂成分的研究，使他研制出了磁选矿法。

爱迪生在寻求他从事研究发明所必需的东西方面，表现出了无限的坚忍不拔的顽强精神。只有当他完全确信继续努力徒劳无益的时候，他才退却。但是即使在这种情况下，他也并不为花去了许多时间和钱财却没有得到应有的良好结果表示惋惜，而是毅然采用新的研究方式和方法。

爱迪生的谦逊是人所共知的。他不愿参加任何为他而举行的庆祝活动。他对荣耀地位和奖赏极其轻视。

爱迪生在商业方面是极其廉洁的。他从来都没有欠过债，他花费从金融资本家那里所领取到的用以组织新生产的经费，也是非常慎重和合理的。他具有商业方面的敏锐嗅觉，而且在深入研究某种发明时，他善于向前看，而且看得很远。他的第一项发明（即投票自动装置）对于他来说是一个很大的教训。他原认为，该装置会在美国和其他各国的政治生活环境中得到广泛的应用。但是，他推测错了，装置没有被采用。此

后，他决定只研究那些能够被采用而又符合商业经营原则的发明。也就是说只研究那些市场需要的、社会生产或社会消费需要的发明。

爱迪生当然不是第一个自觉地使自己的研究工作服从于商业需要的发明家。他深信，发明只有在被采用并得到广泛实际利用时才有意义。爱迪生认为，判断发明价值的标准正在于此。爱迪生的日记中有一段很有代表性的话：“在任何时候，我们时刻都不应当忘记问题的经济的一面。”

当然，爱迪生也往往有被自己实际嗅觉所欺骗的情况。如当时为进行磁选铁矿而创制的价格昂贵的装置和所从事的研究工作就是一例。这一个被很好组织起来的很完备的企业，由于在美国出乎意外地找到了不用选矿就能精炼的富铁矿床而彻底倒闭。这个大的挫折不是由于爱迪生的错误或失算所造成的，而是因为出现了不可意料的情况。爱迪生的想法本身是完全正确的，所以目前磁选矿法仍广泛地运用于从贫矿中提取精矿。

奔忙于商业上的利用或技术上的利用，是否合爱迪生的心意？爱迪生是位卓越的工艺师和生产者，商业活动很少能吸引住他，特别是一些在实践中已经得到广泛应用而在商业上已经得到巩固的发明。他使用商业方面的组织，是为了给新的事业提供前进的起动脉冲。

爱迪生的研究工作总方向是进步的。他的绝大多数的研究工作表明，他的精力和设计才能都用来寻找使用电的新领域，并在已有发明的使用领域中进行改进。这就清楚地表明：爱迪生研究工作的趋向在当时来说是先进的。这就是使全世界震惊的爱迪生研究工作能够取得卓有成效的原因之一。

## 二

我们已经指出，爱迪生是自觉地顺应了他那个时代的先进技术趋向的。因为他研究的是电工技术。然而也不能否认他对其他新的技术思想的反应是很快的，而且他本人就是新思想的创造者。但在许多具有十分重要的原则性的事情中，爱迪生表现出了难于解释的保守观点，而这就在他的研究工作的开展中起了消极作用。例如，都知道爱迪生是直流电的拥护者，而且他的全部研究工作都用来发展这种电流的技术应用。然而对于白炽灯电照明来说，对于扩大集中生产电能和远距离输送电能来说，单相交流电具有非常重要的优点。在 80 年代中期以前，即在电站的建设特别蓬勃发展的时期以前，就有人发明了工业用变压器，并把变压器并联起来进行实际应用。单相交流电明显占了优势。然而爱迪生没有成为这一发展方向的拥护者，而且他的公司还在继续建设直流电中心电站，虽然这已明显地阻碍了电站作用范围的扩大。不能不指出，爱迪生在 80 年代中的电气建设方面的劲敌之一——威斯汀豪斯公司，该公司从 80 年代初就开始使用交流电了。该公司是攻里亚尔和吉布斯以及后来的德里、布拉梯、崔派诺夫斯基等人的单相变压器的专利特许证的持有者。

几年以后，即在 90 年代初，电工技术获得了进一步发展的新手段，即多相电流，特别是三相电流。三相电流使电能生产和输送有了新的条件。而且特别重要的是，三相电流保证了电力传动和工业与运输业动力

装置电气化的突飞猛进。

爱迪生对这些新的、进步的电工技术条件态度如何呢？完全是消极的态度。爱迪生甚至不想进一步去了解多相电流技术方面的主要活动家米·奥·多里沃-多勃罗沃尔斯基研究工作的结果。但这时，即在 1892 年以后，爱迪生公司的各个企业已经加入了“通用电气公司”，而爱迪生本人不再是这个新康采恩的技术上的决策了。与爱迪生相反，通用电气公司朝着电工技术和电力技术中的新方向迈出了大步，广泛地应用了三相交流电的技术。

### 三

爱迪生的出色之处是，他在解决某项研究课题时总是选择自己所独有的途径和方法，但同时也不轻视或抛弃他的前辈所已经采用或已经取得的成果。通常像爱迪生这样的发明家都缺少科学技术方面的教育。他们曾试图用实际经验、技能和试验中的勇敢精神来弥补这一缺陷，直觉对发明家很有作用。爱迪生是一个职业发明家，他在其工作中主要是以科学资料为依据，并把自己的劳动建立在科学和科学试验的基础上。

科学家们不认为他是科学家。其中某些人甚至把他的方法贬得一无是处。卓越的电工学家尼·特斯拉写道：

如果他（爱迪生）需要在干草垛中寻找一根针的话，他不是把时间用到确定针最大可能在什么地方，而是马上以蜜蜂那种极其勤奋的劲头开始一根稻草一根稻草地检查，一直到找到其所需要找到的东西为止……他的方法根本没有效；如果不是侥幸的机遇给他以帮助的话，他会花费许多时间和精力，但却什么也得不到。开始我忧郁地观察了他的活动，了解到只要有少量的理论知识就可以使他少花百分之三十的劳动。但他确实对书本教育和数学知识持怀疑态度，而完全信任其发明家的嗅觉和美国人的健全的理性。

特斯拉的批评非常严厉，也很尖锐。他的批评，实际上全盘否定了爱迪生的方式方法。这种批评经常被人们不加分析地予以引用。问题是，特斯拉对爱迪生几乎是初次见面就产生了反感。而且在他们的相互关系中，爱迪生比特斯拉更能克制自己并恰如其分地待人。特斯拉来到美国后不久，就到爱迪生那里工作，在众多的技术高超的试验人员中成了一名作具体操作的助手。由于特斯拉是一位在欧洲受过高等教育的学问渊博的工程师，当然要比爱迪生的某些助手高明得多。他总是竭力要在独立的创造性工作中表现自己。他在爱迪生实验室里未能如愿以偿，就离开了那儿。后来，特斯拉不止一次地直接或间接地反对爱迪生。例如在 1915 年，特斯拉拒领自己那份诺贝尔物理学奖金，因为奖金是授予他和爱迪生两人的。特斯拉根本上不允许把自己的功劳与爱迪生的功劳相提并论。在他的心目中，爱迪生只不过是一个工业某些部门发明工作有才能的组织者。此外，特斯拉认为把科学家和研究家的研究工作，与商业家和企业家的活动混为一谈，是绝对不容许的。

我们还可以援引一个事实。美国电气工程师学会在 1916 年，费劲说服特斯拉同意接受爱迪生奖章的奖励。特斯拉碍于面子，接受了奖章，

但不认为这是自己的荣誉。30年代中期，特斯拉由于财政困难而停办了自己的实验室，不得不把自己的两位女助手辞掉时，他把爱迪生金质奖章分成两半，每个助手各送一半。

所有这些事实表明，特斯拉未必能客观地评价爱迪生，因为爱迪生走了另外一条道路，在其寻求和研究中获得的技术和商业成就比特斯拉大。

#### 四

有过一种奇怪的情况，科学家们不承认爱迪生是科学家，不让他置身于科学家之列；工程师们也不承认他是“自己人”，因为他从来都没有走过传统的工程师创造道路。爱迪生通过大量的研究工作证明，工程师依赖于科学家，而科学家能够从工程师的实践经验中汲取许多东西。他指出，科学家和工程师的创造道路最后总会殊途同归，走向同一个目标。他认为，科学是在社会生产中由之汲取力量的源泉。在爱迪生时期，科学家和发明实践家之间的分界线很分明。科学家、大学教授和科学院的活动家都在其实验室里安静地进行科学发现。人们不把对物理学、化学和力学的研究与随后对那些发现的应用联起来，而认为这些都是风马牛不相及的事，这是必备的科学知识所应有的独立性。爱迪生抛弃了陈旧的粗陋的生产方式，用有科学根据的方法来取代它。爱迪生用自己的各种研究工作表明，科学研究最终应产生出有利于日常生活和社会生产中加以应用的结果。

爱迪生在没有了解到某方面的全部知识之前，从来也不开始任何研究工作。他重复进行前辈所进行过的试验，力求从中尽量得出最有益的结论，然后他才展开他自己的试验，尽管这种试验通常都是规模很大的，但他完全不考虑花多少钱。如果试验没有获得他所希望的结果，他并不就此停止试验，改变研究的方向和方法，而是以特别顽强的精神竭力要获得应得到的结果。在爱迪生的各种不同的研究工作中，有一些还没有充分的科学根据，或是在爱迪生以前还没有成为研究对象。爱迪生就是在这些条件下开始进行大量试验，创造出了许多自己工作上的假说，这些假说主要是当所深入研究的问题已超出技术本身的范围时，才做出的。例如，鉴于20年代橡胶市场上所出现的情况，爱迪生应美国大企业家福特和费尔斯通的请求，开始研究在美国栽培橡胶植物问题。他开始研究各种植物，以便查明其中哪些植物的乳汁产量最高。在爱迪生之前，没有任何一个专家用这种观点来研究美国的植物群。爱迪生对1.5万种标本进行试验，并得出了很有趣的和令人鼓舞的结论。

还可以举碱性蓄电池的例子。对这个问题，以前人们研究得很少，而瑞士发明家杨格尔的试验又没有得到理想的结果。爱迪生对此问题加以全面研究之后，就创制了后来得到广泛推广的性能良好的铁镍碱性蓄电池结构。

#### 五

爱迪生认为必须以最紧密的方式，把科研方法同对成果进行直接的

技术利用结合在一起。科技史上就有把科学同技术紧密结合在一起的范例，而这种结合与爱迪生的方法是一脉相承的。我们所指的是科学家和技术人员在耶拿的卡尔·蔡司的各个企业中的卓有成效的合作。

埃·阿贝虽是一个年轻的物理学家，但在 1863 年就成为了耶拿大学的教师。当时研究光学仪器的误差理论。他获得了有趣的结果，并把这些结果用到制造光学仪器的实践中。在这一基础上，他就与耶拿大学的机械专家卡尔·蔡司亲近起来，并开始与他一起工作。阿贝致力于光学仪器的设计，而蔡司则致力于仪器的制造。阿贝得出了关于光线通过介质进行传播的重要定律，而这些定律被其他光学家发展后，就使蔡司能够生产出世界上最好的显微镜和其他光学仪器。阿贝提出了应向玻璃工艺学提出的任务，1878 年德国就解决了光学玻璃问题：团结在肖特周围的著名玻璃工艺家们，生产出了一些新品种的光学玻璃。由于把科学知识与工厂的工艺方法协调地结合在一起，德国的光学工艺就开始繁荣起来。物理学家和工艺师的劳动紧密地交织在一起，并因此而获得了出色的成果。

毋庸置疑，与科学的联系像一根红线一样贯穿在爱迪生的整个研究工作之中，它产生了惊人的效果，并成为越来越多的人仿效的范例。研究工作与工业和技术工作的合作化倾向，在 19 世纪末已开始显示出来了。在我们这个时代，这样的合作化已成为必要的条件。没有这些必要的条件，技术和工艺就不能进步。爱迪生的方法，就是由用工业吸引单个的研究人员从事科学工作，转到由专家们组成的大集体所进行的有组织的、大规模的科学研究上去。爱迪生的工作证明，有组织的科研工作对于工业来说是富有成效的和有益的。大约在第一次世界大战前十年，工业研究开始日益引起技术刊物和大公司的注意。各公司如“通用电气公司”、“印第安纳美孚石油公司”、“威斯汀豪斯公司”以及其他公司都正是在这个时候开始建立研究中心。

## 六

在爱迪生的各个实验室里，对整个研究工作都系统地作了记录。许多年来，积累了大量记载实验室试验的记事簿。在有关爱迪生的文章中已公布过的某些内容，如属于爱迪生效应的发现的那些冗长的摘录（见第八章）表明，对研究工作、对研究工作结果的登记和记录都组织得非常好。每天在下班以前（有时在晚上），爱迪生就把所有的实验记录簿收集起来加以研究，并从这些结果中作出结论：怎样继续进行试验，哪些东西可以认为已经搞得足够清楚了，而哪些东西应当增补到研究计划中去。经常出现的情况是，不好不坏的结果也成了爱迪生停止试验或彻底改变研究方向的理由。

进行极认真的和全面的记录，是爱迪生实验室的一项严格规定。所有已被我们所了解到的这些记录，只是在不久以前才成了研究爱迪生创造发明活动的财富，是再现爱迪生发明活动进展历史的丰富而宝贵的第一手资料。

不难发现，爱迪生实验室的全体人员的特点是合作得非常好。在发明活动初期，爱迪生的助手和试制人员很少。渐渐地随着他的研究工作

的展开，不仅助手人数在增加，而且素质上也发生了变化：科学工作者、有经验、有技术的工艺师、设计家等都纷纷前来。他们根据所获得的资料，研究如何使爱迪生的主要意图得到实现。助手们在其具体的任务范围内，能够而且应当发挥出其创造的主动性，找到独到的解决方法，但他们不能变动爱迪生给他们的任务。工作是由爱迪生分配的，因为他非常了解自己的工作人员，清楚他们中间谁会更好地完成这项工作。爱迪生不允许对内保守“秘密”，但同时又认为透露正在进行的研究工作的消息是完全不能容许的。爱迪生力求最合理地 and 最大限度地利用助手们的能力和爱好，他千方百计地要腾出自己的双手，以便能够专心致志地和最大限度地分析和检查研究工作，表现出来他的首创性和预见性。只有他能够对各项研究工作实行全面领导。他目光远大，他比他的任何一个助手都看得远大。虽然他们几乎全都与爱迪生同属一代人，但他们承认他的威望。他的助手中任何一个人考虑的只是部分问题，而爱迪生却要通盘考虑全部问题。

爱迪生没有把工作分成“小事”和“大事”。他在对发明的深入研制和定型的过程中，使所有每一件东西都具有重大的意义。他有一股子倔强劲，他不容许他的助手们在工作中把他的指示当成耳旁风。同时他不束缚他们的主动性和创造思想，对各种能改进工作的独创的和合理的东西都持爱护的态度。他不容许仓促订制模型，而要求按整个工艺规程制造试样，以便在样品上就能一眼看出仪器的作用和外形。

爱迪生从来不单单研究某一个问题。在他活动的每一个时期，他都把他的主要注意力集中于“主导的”工作，而且当时还要做或是处于准备阶段，或是处于研究阶段的另外一些工作。甚至在1879年至1880年，即在白炽灯研究工作正紧张进行的时候，爱迪生还致力于电力牵引方面的试验，研究着电机并为磁选矿组织制造工业装置等等工作。

爱迪生本人的工作效率非常高，他也要求他的助手们节省时间快速工作。爱迪生在其各个实验室所实行的计件工资制，激发起了人们的干劲，大大提高了工作速度。有关爱迪生为大规模生产水泥而如何设计试验工厂的资料保存下来了。他对设计图一气研究了24个小时，况且这不是草图，而是工厂应当按它来建筑的详细设计图。他预见到了连续不断的工艺过程所必需的一切东西：从原料的运送和粉碎机到成品包装车间。在一昼夜内就制定出了工厂的设计图，工厂要安装的设备约长达半英里，其日夜产量要大大超过其他水泥厂。根据这份设计图建成了工厂，并投入了生产。

爱迪生在体力上很有耐性，所以他要求他的助手们也要有这种耐性。在必要时，他就要迫使他们连续不断地工作许多小时，因此也只能抽点工夫睡觉。长期坚持这种制度很难的，所以为了保持住这种“飞快的”工作速度，就不得不全力以赴。有一些助手离开了爱迪生，但不是因为有时出现这种忙碌，而是因为独立工作对他们有更大的吸引力。但爱迪生的大多数助手却持另外一些观点。由于他们了解到爱迪生对每一问题的看法总是思路很宽广，搞清楚了他实现某一原理的想法总是多么适宜，以及他分配工作又总是如何合理，所以他们就不得不承认，他们的劳动基本上只是实现爱迪生所提出的任务。所以爱迪生的绝大部分助手在几十年期间都能不断地与他一起工作，并经过了卓越的实际锻炼，

从中就形成了一批“爱迪生式的发明家”，是友谊和劳动、快乐和失望使他们与托·阿·爱迪生联系在一起。不同时期在爱迪生实验室工作过的人中有苏格兰人查理·巴特勒，爱尔兰人詹·亚当斯，德国电工学家济·伯格曼、济·舒克尔特、尔·贝姆，塞尔维亚人尼·特斯拉，瑞士人约翰·克留济，美国人弗兰克·斯普拉格、威廉·哈默、约翰·利布、爱德华·艾奇逊、阿·肯内利、爱德华·尼科尔斯，丹麦人列·费森登等等。

## 七

爱迪生认为正确地选择助手是非常重要的。就他的想法来说，要想在技术方面有所创造的工作人员应精通自己的本职工作，应当具有学校所授予的一定的知识修养，而且还应当有由丰富的生活经验和生产经验所形成起来的广阔的视野，应当具有求知欲和自觉的上进心。他认为，当时所采取的教育制度完全不能令人满意，而且在很大程度上是既往制度的残余。爱迪生认为，正式教育常常不能使人提高全面的知识修养和广阔的视野。相反，它破坏了求知欲，把许多事物的概念弄得模糊不清，与人们的正当的理智是大相径庭的。最迫切的任务是教会人们思考。新的时代已经来到，新的条件已经展现出来，而知识传授还像一个世纪以前那样。爱迪生在其日记中抱怨说，他的同时代的学校“把人的脑子装入了模型砂箱”，不仅不使思维和推理有独创性，反而力求表明思维和推理的独创性是没有必要的。他认为，必须把意识与现实的事物结合起来。爱迪生写道：

如果您没有见过东西的本身，那您就把各方面都能仔仔细细的东西看上一眼，这要比您去按照书本的描述研究两个小时好得多。小孩的思想是很活跃的。为什么要通过耳朵，而不是通过眼睛使孩子对东西产生印象呢？

爱迪生当时录用的助手，正是从那些用不好的（按他的说法）教育手段培养出来的人中进行挑选的。所以当时在这些条件下就需要详细研究自己的挑选方法，规定自己的选拔标准。未来的助手的最重要的特点是有好的记忆力，因此应当测试所有候选人的记忆力。但这还不够。还应当注意那个要求工作的人的身体状况。有材料说，著名的美国电工学家查理·普罗蒂尤斯·施泰因梅茨，是在1889年移住到美国，他首先到“电工技术的麦加”的爱迪生公司去找工作。但由于他身材不高和气色不好而未被录用。3年后，施泰因梅茨这位卓越的研究家和设计家的名声轰动了整个美国，又过了二三年，他成了电工学家中最卓越的人物之一。

爱迪生向愿意到他这里来工作的人作了填表调查工作。显然，这些调查表从来没有公布过。其中某些问题已被原谋求工作的人作了整理，而且甚至在报纸上登载出来了。我们看到，列入这样调查表中的一部分问题是用来测试被考者的智力发展情况及其视野的，而其他一部分问题

---

电工技术的麦加——麦加是伊斯兰教徒的朝圣地，在沙特阿拉伯西部。这里把在电工技术方面成绩卓著，居于领先地位的爱迪生公司喻为麦加，是表示人们对爱迪生公司的崇敬和爱戴。——译者注



是用来测验记忆力的。但是其中也有一些问题，如果没有补充说明是很难理解其测试的目的和作用的。

爱迪生从来没有过副手，没有为自己培养过继任者。只是在去世前不久，他给自己提出的任务是：挑选一名最有天赋的美国青年，在经过相应的培养造就之后，能胜任爱迪生所组织和巩固起来的发明创造系统的接班人的职务。在一次除了爱迪生之外，还有福特、费尔斯通和博物学家布拉弗斯参加在汽车旅行中就教育问题进行了交谈。他们中有人提出要在整个美国国内进行挑选天资最聪慧的青年。这个想法正合爱迪生的心愿，而且他答应向这次中選人支付一笔够大专学校学习用的奖学金。除了爱迪生之外，参加评判委员会的有工厂主乔治·伊斯门、马萨诸塞理工学院院长塞缪埃尔·斯提莱顿、菲利普斯·依克赛特学会会长尔·佩里等人。合格人选的评定是根据爱迪生所编制的和评判委员会委员们所赞同的专门调查表来进行的。初选是在各州由州长担任主席的专门委员会来进行。这样就应当从 48 个州和哥伦比亚地区选出 49 名预选胜利者来参加 1929 年在西奥伦治爱迪生那里进行的复选，即终选。

所列问题由四部分组成，共 57 个问题。前三部分包括了 18 个物理学、化学和数学方面的问题。例如其中有几个物理学方面的问题是：“噪音和乐音的区别是什么？”“如果教堂的管风琴没有加热装置，那么在教堂很冷的时候它就不能演奏。为什么？”我们援引这些例子是为了表明，测验物理学、化学和数学方面的知识不是只检查初级小学所讲授的一些肤浅的知识。

爱迪生和其他的评判委员会委员们，很重视那些可以判断被考者全面发展情况的问题。我们从这个问题集中援引几个例子。

“您为了获得成就而牺牲什么：幸福、舒适生活、名声、自尊心、荣誉、身体、金钱、爱情？”

“您率领一个考察队，而考察队在荒漠中遭到不幸。你们带的食物和饮水只能供三个人勉强走到最后的一个有人烟的地方用。而其余的人都得饿死和渴死。您的同行者有：60 岁的卓越的科学家；两个混血儿向导，分别为 41 岁和 32 岁；39 岁的科学家妻子，她只是社交里的一位夫人；她的 6 岁的儿子；一位姑娘即您的未婚妻；您的一位挚友和同岁人；您自己。您选择谁逃生，而在这样的条件下您要牺牲谁。为什么？”

“如果您明年继承了 100 万美元的遗产，您怎么来利用这笔遗产？”

“在什么情况下可以撒谎？”

“扼要地描述一下，当您 50 多岁的时候，您认为您一生中那一天最有代表性？”

“如果您在临终的时候回顾一下往事，那么您将根据什么样的事实来断定，您的一生过得是否顺利？”

有一个叫乌·赫斯通的青年对这些问题回答了百分之九十二，而评判委员会认为他的回答最好。他成了马萨诸塞理工学院的领爱迪生奖学金的学生。其他三名竞赛参加者的回答，被认为最慎重，他们也是靠爱迪生出资在其他专科学校学习。但这四个年轻人后来全部辜负了爱迪生对于他们的希望。因此靠填的调查表进行挑选的方法的适宜性没有得到证实。

## 八

美国人以自己的杰出的公民托·阿·爱迪生而自豪。他的创造发明已被整个人类加以卓有成效地利用。他对技术的发展产生了巨大的影响。他的许多同时代的名人都高度评价了他的创造发明。例如，阿尔伯特·爱因斯坦在与托·阿·爱迪生会晤中说：“您获得了同先驱者、制作家和组织家同样的成就。您的电灯结构使大型电气工业有可能蓬勃发展。伟大的技术创造者们在 100 年中已创造出了一个人类本身尚且不适应的完全崭新的形势，而您是已经获得最大成就的人们中的一员。”

1961 年，在纽约大学美国伟人纪念大厅举行了爱迪生半身雕像安放典礼，借以重温爱迪生的创造发明所起的巨大作用。从发明家逝世那天起到 1961 年已过了 30 年，从技术蓬勃发展的角度来看，他的发明的作用在 20 世纪后半期已更为明显了。在这次纪念活动的隆重仪式中可以看出，爱迪生作为一个有民主思想的人，心地善良和谦逊的人，将永远活在人类的记忆中，因为他获得了巨大的成就，是他献给了人类许多用以丰富生活，并大大提高人的劳动生产率的珍贵的礼品。

