

06-49

274



造化之功

再显辉煌的化学

周嘉华 倪莉

广东人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

造化之功:再显辉煌的化学/周嘉华 倪莉著. —广州:广东人民出版社,2000. 10

(21 世纪科技广场)

ISBN 7—218—03235—4

I. ①探… ②21…

Ⅱ. ①周… ②倪…

Ⅲ. 化学—普及读物

Ⅳ. O6

责任编辑	陈更新 周 杰
封面设计	张竹媛
责任技编	孔洁贞
出版发行	广东人民出版社
经 销	广东新华发行集团股份有限公司
印 刷	广东省肇庆新华印刷有限公司
开 本	880 毫米×1230 毫米 1/32
印 张	9.125
插 页	6
字 数	150,000 字
版 次	2000 年10 月第1 版第1 次印刷
书 号	ISBN 7—218—03235—4/O·4
定 价	17.00 元

如发现印装质量问题,影响阅读,请与承印公司联系调换。

21 世纪化学发展的前提 (代前言)

人类社会即将迈入 21 世纪，回顾逝去的 20 世纪，人们会感到宽慰。就在这历史长河中短短的百年，人类创造了有史以来最为巨大的物质财富和精神遗产。在科学技术上，这一表现更为明显。20 世纪之初，以相对论和量子论为代表的科学突破，开启了本世纪的科学和技术革命的先河，产生了一系列几乎遍及所有领域的科学发现和科学理论，使本世纪成为人类知识飞速增长的年代。化学作为自然科学的一门基础学科也不例外。不仅是一般学者，就连专门从事化学研究或教育的人，只要认真地思索和对比一下，就会惊奇地发现：20 世纪的化学发展得很快，面貌和本质都与 19 世纪的化学有着显著的不同。

经过 18 世纪各方面的准备，19 世纪成为科学技术全面发展的时期。在文化史上，19 世纪被称为“科学”的世纪，主要表现在：开始出现了科学对生产的指导作用，引起了以电力、内燃机及炼钢技术、有机合成化学工业为代表的第二次技术革命，许多学科开始从经验的描述上升到理论的概括，在各个主要科学领域中相继出现了有根本意义的发现，科学思想、科学精神和科学方法开始深入人心。具体到化学，19 世纪化学发展最重要的成就首先是科学的原子—分子论的提出和确立，使整个化学有了坚实的理论基础。随后，元素周期律的发现，揭示了化学元素之间的内在联系，有力地促进了无机化学和分析化学的发展。第三项重要成果是有机结构理论的形成，把种类繁多的有机化合物纳入



一个统一的体系。有机合成从实验室研究发展到工业生产，不仅是第二次技术革命的组成部分，还充分展示了科学对生产的能动作用。

20 世纪的科学技术是在 19 世纪的基础上发展起来的，但是这一发展不是简单的继承，做一些增补或填充部分空白，而是发生了一系列的革命性的变化。这一变化主要表现在以下四点：(1) 科学和技术经历了全面的革命。这场革命源于 19 世纪末的古典物理学的危机，结果是建立了以相对论和量子论为支柱的现代物理学理论体系，取代了由伽利略、牛顿奠定基础的古典物理学体系，使人类对物质、能量、空间、时间、运动、因果性的认识都产生了根本的变化。物理学的革命又导引化学、天文学、地学都出现了革命性的理论。分子生物学的建立，揭示了遗传的奥秘，表示生物学也取得了划时代的革命性突破。几个世纪以来在整个自然科学领域一直占统治地位的机械论自然观终于让位给以变化和联系为基本特征的辩证自然观。革命的创新精神在技术领域也很突出，特别是在第二次世界大战以后，被誉为现代科学技术的三大支柱——能源、材料、信息都取得了革命性进展，由它们带动的第三次技术革命正在迅速持久地展开。总之，称 20 世纪为科学技术革命的世纪一点也不为过。(2) 科学开始形成一个多层次、综合的统一整体。一方面由于新的实验技术和日益精密的观察工具的产生，人的“视野”在微观和宏观两方面都扩大了 10 万倍以上。自然界从基本粒子、原子、分子，到细胞、生物个体，到地壳、天体、宇宙，所有的层次都得到比较深入的了解。另一方面，由于交叉学科和边缘学科的大量兴起，各门科学之间的空隙逐渐得到填补。由此，自然界各个层次之间的过渡环节也开始逐一为人们所认识，整个自然科学正在形成一个前沿在

不断扩大的多层次的综合的统一体。随着电子技术和计算机的发展，以及控制论、信息论、系统论的建立，综合技术在技术领域逐渐起着主导作用。大量的史实还表明，当今任何重大新技术的出现，不再来源于单纯的经验性的发明，而来源于系统的综合科学研究。(3) 科学事业的社会化。20 世纪的科学已成为现代国家的重要事业，它的发展日益依赖于社会经济的发展和国家的支持。大量的科学研究工作已从分散的、单纯的个人活动转化为社会化的集体活动。研究活动的规模越来越大，发展到企业规模、国家规模，甚至于国际规模。例如为实现登上月球的阿波罗计划，历时 11 年，耗资 240 亿美元，动员 400 万人。又如维生素 B₁₂ 分子结构极其复杂，它有 9 个不对称的碳原子和 512 个可能的立体异构体，合成它是十分艰难的，然而在美国化学家伍德沃德 (R. B. Woodward, 1917—1979) 的领导下，来自十几个国家的数百名化学家通力合作终于取得了成功。为了把庞大的科技队伍组织起来，充分发挥其作用，制定正确的科技政策和有效的管理办法已成为各国政府的重要任务。(4) 社会的科学化。科学、技术正在日益深入到社会生活和生产的方方面面，这不仅要求人们对科学技术与社会生产力之间的相辅相成的密切关系有充分的认识，而且还要不断地提高人的素质，首先是科学文化的素质，在科学思想、科学精神的熏陶下，人们才能具备有崇高的理想和道德，人的精神面貌才能随之得到提高或改善，科教兴国已成为 20 世纪社会发展的重要经验而被许多国家所重视。

在上述的大环境和大背景下，化学的发展是不能例外的。19 世纪的化学发展主要以科学的原子—分子论为核心而展开，然而化学家所依赖的原子和分子的概念仍是一种科学的假设，还未被实验所证实。因此直到 19 世纪末，仍有一些科学家对原子、分

子的真实存在表示怀疑。进入 20 世纪，伴随着物理学革命，人们揭示了原子的内部结构，并通过研究电子在分子、原子中的分布和运动规律，更深刻地认识到物质的各种性质及其化学变化的本质。原先摆在化学家面前的一些疑难如化学元素周期律的实质、光谱的秘密、原子价概念的本质等，都迎刃而解。原先在一些化学家头脑中印象极深的观念如原子是不能分，元素是不能变的被彻底否定。一些革命性的理论，诸如原子结构理论、同位素理论、元素蜕变理论、化学键理论等一个接一个被提出和完善。在这个科学理论变革的时代，化学家头脑中的观念不来个根本的变革，就将被发展的化学所淘汰。

在化学概念、理论及体系的巨大变革中，传统化学的四条腿——无机化学、有机化学、分析化学、物理化学变得更为粗壮有力。由于元素周期律的科学实质得以阐明，人们对自然界存在的元素有更深刻、更系统的认识，同时还研制合成了自然界不存在的元素，为无机化学的复兴开拓了道路。X 射线衍射法等一系列的新的实验手段和方法使人们能观察到许多物质内部晶体或分子的结构，采用扫描隧道显微镜可以直接观察到原子在物质表面的排列状态，化学键理论和量子化学使人们对分子间原子的化合或分解，从电子运动的角度有了逐渐深入的理解。在 19 世纪下半叶才创立的物理化学，因为从物理学中汲取的营养最多，在 20 世纪已迅速发展成一个庞大的体系，它包括了化学热力学、化学动力学、结构化学、量子化学、电化学、光化学等诸多分支。有机化学对与生命相关的天然有机物的研究从最简单的单糖、氨基酸、核苷酸等开始，逐渐深入到肽类、蛋白质、维生素、甾族激素、胰岛素等生物大分子，不仅帮助人们认识了构成生物体这些基础物质的组成和结构及机理，还极大地促进了生物化学、生物

学的发展。在 20 世纪，化学各分支中变化最为显眼的是分析化学。大约从 20 世纪 30 年代起，工业生产和许多新兴科学技术对化学分析提出了一些新要求，业经发展和完善的传统的化学分析法很难满足要求。这时一些建立在物理学最新成就和新的物理实验技术基础上的仪器分析方法获得了较快的发展。特别在 50 年代后，物理学和电子学的发展，70 年代起计算机的应用，促使分析化学走向信息——计算机时代，传统的化学分析法和光学分析技术、电化学分析技术、色谱法、质谱法及化学计量学的搭配联用，使分析化学不再是简单地测定是什么和有多少，而是要提供更全面、更准确的结构和成分的特征信息；从常量到微量及微粒分析；从组成到形态的分析；从总体到微区的分析；从破坏试样到无损试样的分析。总之，分析化学吸收了当代科学技术的最新成就，利用物质一切可以利用的性质，建立起表征测量的新技术，在科技发展中，在经济建设中充分发挥其作用。

就在化学科学各门分支学科迅速发展的同时，化学与物理学、生物学、地学、天文学之间的相互渗透和相互促进，逐渐产生出一大批交叉学科和边缘学科。例如化学与数学的结合产生了计算化学，化学与物理学的结合产生了化学物理，化学与宇宙学结合出现了宇宙化学，化学与地质学的结合产生了地球化学，此外还有海洋化学、药物化学、食品化学等等。这些边缘学科和交叉学科的出现不仅丰满了化学的学科体系，同时也极大地展阔了化学的前沿。

物质联系着整个自然界，包括人类的自身。化学科学与物质的生产和社会生活有着直接的密切的联系，目前化学科学已成为材料工业、原子能工业、电子工业、宇航事业及生物工程等不可缺少的基础研究和应用研究，化工产品遍及一切生产部门和生活

领域。最形象的例子中，高分子合成材料工业的建立和发展是其代表。当今塑料、合成纤维、合成橡胶在经济生活中已是无处不在。在 20 世纪，人类平均寿命延长了大约 30 岁，这无疑也有药物化学发展的功劳。

上述简单的回顾，足以表明化学科学在 20 世纪的进步。前进中的化学犹如四条强壮的腿加上由各种科学新成就为化学再装配上翅膀，将是鹏程万里。

科学发展的一个基本特点是科学知识的历史继承性。科学不是哪一个时代的产物，而是人类社会整个历史时期不断积累起来的知识的结晶。由于自然现象无限复杂，只有在继承前人已经获得的知识的基础上前进，人们对自然规律的认识才能逐渐深化、系统、全面。据此，可以认为 20 世纪化学发展所取得的成就和所达到的水平将成为 21 世纪化学发展的前提。展望新世纪，可以预料，科学技术将会出现更为迅猛的发展。科学技术发展的交叉性、综合性、多样性将会有更充分的表现，科技知识空前快地生产、传播和转化，将极大地推动经济发展和社会进步。一个以知识和信息为基础的，竞争与合作并存的全球化的市场经济正在形成，人类的未来和国家的繁荣比以往任何时候都更加依赖于创造和应用知识的能力和效率。鉴于此况，面对 21 世纪的化学家和化学科学一样将面临一场竞争的挑战和发展的机会。化学科学将使人类文明呈现出更加光辉灿烂的前景。

周嘉华 倪 莉

上篇 化学知识的新观念

一 原子结构理论的今昔	3
二 从元素到核素	15
三 最后被发现的元素家族	23
四 量子力学描述下的原子结构	36
五 元素周期律的科学实质	46
六 放射性现象从发现到研究	59
七 同位素化学的建立、发展及应用	67
八 人造元素和周期表的终结之谜	76
九 化学键的通俗表述	86

中篇 化学研究的新手段

一 化学不再是纯实验科学了	103
二 窥测晶体、分子结构的手段	110
三 充满活力的色谱分析	122
四 质谱分析和核磁共振技术	131
五 分析化学的巨变	142

六 神奇的催化剂	154
----------------	-----

下篇 化学科学的广阔天地

一 炼金家的梦想变成现实	167
二 化肥的演进	176
三 第一次世界大战中的化学战	184
四 化学电源的 ABC	189
五 从明矾净水到现代洗涤剂	199
六 高分子科学的成长和成就	205
七 第一生产力变现实生产力的一例	217
八 C_{60} 的发现和碳正离子的证实, 预示了什么	226
九 化学家要学好物理学	238
十 化学对生物学的渗透和促进	248
十一 一切好的材料均来自化学	256
十二 能源的利用、开发离不开化学	264
十三 环境污染治理中的化学	276

上篇

化学知识的新观念

在认识物质结构理论中，原子是一个最基本的概念。许多人或许能背出：原子是组成物质一种特定的微小单位。它还不是最小的单位，而是由更小的微粒所组成，有复杂的结构。然而人们为了取得这一认识，历经了臆测、实验、争论、反复的漫长岁月。

原子（ATOM）源自希腊文 atomos，意思是“不可分的”。这就是说，在古代，原子被视为物质的最小单位和最基本的构成体。一般人认为第一个完整论述原子学说的是古希腊哲学家留基伯（Leucippos，公元前 500—前 440）和他的学生德谟克里特（Dēmocritos，公元前 460—前 370）。留基伯的论著没有流传下来，人们只能从亚里士多德（Aristotelēs，公元前 384—前 322）和伊壁鸠鲁（Epicuros，公元前 341—前 270）的著作中了解到他的一些思想和论点。他认为物质都是由我们观察、感觉不到的微粒组成，这些微粒既不能创造，又不能毁灭，也不能作进一步分割，它们有无限多，彼此之间被虚空隔开，而不断地在运动。德谟克里特发展并完成了他老师的原子论。他的观点可归纳为：原子是

有多种多样的，但是各种原子的原质都是相同的，只是形状和大小不同。例如火原子是球形的，因此不和其他元素结合，而且有最大的活动性。而土、水、气的原子分别具有各自的几何形状，能互相结合，形成各种物体。物质的转变过程实际上是原子的重新组合，但是各原子本身保持不变，既不能创造，也不能消亡。无限多的原子在无限的虚空中运动着，原子的存在和运动形成了宇宙及各种自然现象。可惜的是德谟克里特的著作除后人著作中引录的残篇外，都已荡然无存了。

作为古希腊自然哲学最高权威的亚里士多德认为自然界中不存在真空即虚空，故此原子论站不住脚。当时敢于与亚里士多德争论，并继承和发展了德谟克里特原子论的是伊壁鸠鲁，他认为原子和虚空为本原，不可分和不可变是原子的特征。他把原子看做构成物质及其大小和质量的基本单位与量度。他还认为原子的特质是其大小、形状和重量。伊壁鸠鲁认为原子有内部的组成，却又是不可分。正是这表面看来似乎矛盾的观点遭到了亚里士多德的反对。为了与宗教的神学作斗争，伊壁鸠鲁的原子论变成了暗示无神论的唯物主义哲学。

卢克莱修（Lucretius，约公元前 99—前 55）是古罗马时代伊壁鸠鲁学派的著名学者。他用一本《物性论》的长诗系统地阐述和宣传了伊壁鸠鲁的原子论。正是由于这本长诗，古希腊的原子论，特别是伊壁鸠鲁的原子论才得以详尽地保存下来。虽然这篇诗文在当时非常著名，但是对科学和哲学思想却没有造成多大的影响，从此，带有反宗教意味的原子论沉寂了 1600 年。

古希腊哲学家关于原子的臆测，既非基于物理量度，也不曾尝试以实验来证实，因而与现代所谈的原子观念实际上有很大差别，然而它对 17 世纪的科学思想产生了重大的影响。倡导科学

实验的培根 (F. Bacon, 1561—1626) 曾对德谟克里特的原子论给予很高的评价。经典物理学的奠基人之一、意大利的伽利略 (G. Galilei, 1564—1642) 也笃信原子论。特别是法国哲学家伽桑狄 (P. Gassendi, 1592—1655) 在清除经典哲学和亚里士多德等哲学影响的过程中, 仔细研究了伊壁鸠鲁的原子论, 通过介绍和评述使这种带有自发辩证法的原子论在近代人面前重放光彩。近代化学奠基人之一、英国的波义耳 (R. Boyle, 1627—1691) 就是接受了伽桑狄所介绍的原子论, 并用它来描述他所研究的物质。经典物理学大师牛顿 (I. Newton, 1643—1727) 在其自然哲学中, 无论是关于光的微粒说, 还是对化学亲和力的描述中, 伽桑狄及其复苏的原子论的影响都是显而易见的。

作为近代化学奠基人之一, 英国的道尔顿 (J. Dalton, 1766—1844) 在化学史上最大的贡献就是提出了化学的原子论。这一理论和阿伏伽德罗 (A. Avogadro, 1776—1856) 的分子学说一起成为近代化学发展的基础和主线。也是通过它将古希腊的原子论与现代的原子结构理论联系到一起。长期从事大气研究的道尔顿于 1802 年发现了混合气体中各种气体的分压定律。为了说明气体的物理性质, 他接受了牛顿关于物质由原子组成的观点, 于 1803 年提出了他的原子论。认为化学元素由非常微小的、不可再分的微粒——原子组成, 原子在一切化学变化中均保持不变, 同一元素的原子的各种性质, 包括质量都完全相同, 不同元素的原子质量不同, 质量是各种元素的基本特征, 不同元素的原子以简单整数比例相结合。道尔顿的原子论清晰地阐明了包括倍比定律在内的一些化学经验定律, 使众多化学现象得到统一的解释, 因此很快被许多化学家所接受。

由于当时的化学家对分子概念的重要性缺乏认识, 当阿伏伽

德罗的分子假说与流行的电化二元论发生矛盾时，分子假说进一步受到冷落。分子、原子是两个有机联系的化学基本概念，既然分子假说得不到认可，在实际的化学研究中，化学家就常常分不清原子和分子，特别是分子的存在被忽视，人们就很难精确地测定原子量，势必造成元素原子量测定中的混乱局面。原子量难以精确地测定又使一些化学家对原子论的本身产生怀疑。一位著名的化学家曾声称：“如果由我当家做主，我便从科学中把‘原子’二字铲除干净，因为我确信它是在我们经验之外的，而在化学中我们从来就不应该离开经验。”

对分子假说的冷漠，对原子论的怀疑很自然地造成整个化学处于混乱的局面，化学家们实在无法容忍了，于是在 1860 年 9 月在德国卡尔斯鲁厄召开一次国际的化学家会议，试图解决这一症结。各国主要的化学家 140 余人都来了，会上争论很激烈，结论是科学上的问题不能勉强一致。意大利化学家坎尼札罗 (S. Cannizzaro, 1826—1910) 也参加了此会，在会上他一再提出要大家重视研究阿伏伽德罗的分子假说，大家仍不在意。他只好在会议结束时散发了他两年前写的论文《化学哲学教程概要》。在该论文中，他对原子论、分子假说提出后的 50 年化学发展作了详尽回顾，对许多化学家的工作成绩作了客观的评述，然后运用这些研究成果证实阿伏伽德罗分子假说的合理性和必要性。由于他据理分析，论证充分，条理清楚，方法严谨，很有说服力。他澄清了某些错误的见解，把原子论与分子假说整理成一个协调的理论系统，因此很快获得了众多化学家的赞同。

原子—分子论得到公认，使整个化学科学有了坚实的理论基础，化学再次获得了迅速的发展，时过 9 年，化学元素周期律被发现了，有机结构理论及立体化学也在原子—分子论基础上建立

起来了，近代化学的大厦初步建成。

尽管经过坎尼札罗的努力，原子—分子论得以确立，但是围绕着原子、分子是否存在的争论并未休止。到了 19 世纪最后 10 年，由于实证论思潮的泛滥，反对原子—分子论的气势有增无减，欧洲大陆上不少著名的物理学家、化学家、哲学家都参加到这一行列，其主要的代表人物有奥地利物理学家兼哲学家马赫 (E. Mach, 1838—1916)，物理化学的奠基人之一、德国的奥斯特瓦尔德 (F. W. Ostwald, 1853—1932) 等。他们认为知识只能直接来自经验，不能直接经验到的东西都是属于形而上学。在当时，对于原子的存在的确没有掌握可靠的实验证据，因此马赫就提出我们无论在什么地方都不能感觉到原子，以此否定原子论。长期致力于物理化学各领域研究的奥斯特瓦尔德，发现原子论在解释热力学第二定律、汽化热、渗透压、化学平衡等问题上遇到了困难，断然认为这些假设（原子论、分子论）推导不出由实验直接检验出来的结论，从而认为原子论、分子论可以摒弃，并于 1895 年提出唯能论，主张用能量的概念解决一切物理和化学问题。直到 1905—1908 年，通过爱因斯坦 (A. Einstein, 1879—1955)、瑞典化学家斯维德贝里 (T. Svedberg, 1884—1971)、德国物理学家泽迪希 (M. Seddig) 等人对布朗运动（悬浮在液体或气体中的微粒所作的永不停止的无规则运动）的实验研究和理论解释，特别是法国物理学家佩兰 (J. B. Perin, 1870—1942) 利用超显微镜所得的精确测定，终于证明了分子和原子的客观存在。奥斯特瓦尔德看到他们的研究报告后，公开地承认了错误，并指出：“原子假说由此提高了地位，成为一种基础巩固的科学理论。”

19 世纪末，电子的发现、放射性元素的发现及放射性物质