

普通高等教育“十二五”精品教材
普通高等学校少数民族预科教育系列教材

普通化学

主 编 吴胜富

副主编 盘鹏慧 容学德 杨柳青

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据高等院校民族预科班这一特殊层次的需要而编写的《普通化学》教材。

全书共 8 章。第 1 章主要内容是复习中学无机化学重要的基本概念和理论。第 2 章至第 8 章系统地介绍无机化学基本理论,分为化学热力学初步、化学反应速率、化学平衡(包括电离平衡、沉淀平衡和配位平衡)、电化学和近代物质结构理论(原子结构理论和分子结构理论)五个部分。根据教材内容的需要,本书安排了一定数量的例题,以引导学生正确理解所学的理论知识,并配备了一定数量的习题,供学生预习和复习之用。

该书为理工科基础教材,同时适用高等理工院校非化学专业、高等师专、职工大学和广播电视大学的教学,也可作为中专、中学化学教师的教学参考书,并可供有志学习化学的自学者使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

普通化学 / 吴胜富主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017.9

ISBN 978-7-5682-4863-1

I. ①普… II. ①吴… III. ①普通化学-高等学校-教材 IV. ①O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 229682 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14

字 数 / 334 千字

版 次 / 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 59.00 元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 封 雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

广西民族大学预科教育学院 预科教材编审指导委员会

主任委员 林志杰

委 员（按姓氏笔画为序）

吴胜富 杨社平 周国平 容学德

黄永彪 覃炳荣 樊爱琼 樊常宝

序 言

普通高校少数民族预科教育是指对参加高考统一招生考试、适当降分录取的各少数民族学生实施的适应性教育，是为少数民族地区培养急需的各类人才而在高校设立的向本科教育过渡的特殊教育阶段；它是为加快民族高等教育的改革与发展，使之适应少数民族地区经济社会发展需要而采取的特殊有效的措施，是有中国特色社会主义高等教育体系的重要组成部分，是高等教育的特殊层次，也是我国民族高等教育的鲜明特色之一，其对加强民族团结、维护祖国统一、促进各民族的共同团结奋斗和共同繁荣发展具有重大的战略意义。

为了贯彻落实“为少数民族地区服务，为少数民族服务”的民族预科办学宗旨，建设好广西少数民族预科教育基地，适应普通高等学校少数民族预科教学的需要，近年来，广西民族大学预科教育学院在实施教学质量工程以及不断深化教育教学改革中，结合少数民族学生的实际情况，组织在民族预科教育教学一线的教师编写了《思想政治教育》《阅读与鉴赏教程》《写作实训教程》《微积分基础》《英语写作口语教程》《英语阅读文选》《计算机基础教程》《计算机基础实验教程》《基础物理》《大学预科物理实验》《普通化学》《八桂乡情》12种教材，形成了适用的颇具广西地方特色的少数民族预科教材体系。广西少数民族预科系列教材的编写和出版，成为我国少数民族预科教材建设中的一朵奇葩。

本套教材以国家教育部制定的各科课程教学大纲为依据，以民族预科阶段的教学任务为中心内容，以少数民族预科学生的认知水平及心理特征为着眼点，在编写中力求思想性、科学性、前瞻性、适用性相统一，尽量做到内涵厚实、重点突出、难易适度、操作性强，真正适合民族预科学生使用，使他们在高中阶段各科教学内容学习的基础上，通过一年预科阶段的学习，对应掌握的学科知识能进行全面的查漏补缺，进一步巩固基础知识，培养基本能力，从而达到预科阶段的教学目标，实现预与补的有机结合，为学生一年之后直升进入大学本科学习专业知识打下扎实的基础。

百年大计，教育为本；富民强国，教育先行。教育是民族振兴、社会进步的基石，是提高国民素质，促进人的全面发展的根本途径，寄托着千百万家庭对美好生活的期盼；而少数民族预科作为我国普通高等教育的一个特殊层次，是少数民族青年学子由以进入大学深造的“金色桥梁”，承载着培养少数民族干部和技术骨干、为民族地区经济社会发展提供人才保证的重任。我们祈望，本套教材在促进少数民族预科教育教学中能发挥其应有的作用，在少数民族高等教育这个百花园里绽放出异彩！

是为序。

林志杰

前 言

本书是根据高等院校民族预科班和大学预备班这一特殊层次的需要而编写的《普通化学》教材。

全书共 8 章。第 1 章主要内容是复习中学无机化学重要的基本概念和理论。第 2 章至第 8 章系统介绍无机化学基本理论，分为化学热力学初步、化学反应速率、化学平衡（包括电离平衡、沉淀平衡和配位平衡）、电化学和近代物质结构理论（包括原子结构理论和分子结构理论）五部分，根据教材内容的需要，本书安排了一定数量的例题，以引导学生正确理解所学的理论知识，并配备了一定数量的习题，供学生预习和复习之用。

《普通化学》是编者多年教学实践的经验总结，在讲授新知识的同时，注意联系学生学过的基础知识，使学生“既知新又温故”，突出了民族预科班和大学预备班这一教学层次的特点。在讲述理论时，尽量讲清实验依据，为学生进一步深造打下坚实的基础。

书中的绪论、第 1 章由容学德编写，第 2、3 章由杨柳青编写，第 4、6、7 章由吴胜富编写，第 5、8 章由盘鹏慧编写。全书由吴胜富统审定稿。

该书为理工科基础教材，同时适用高等理工院校非化学专业、高等师专、职工大学和广播电视大学的教学，也可作为中专、中学化学教师的教学参考书，并可供有志学习化学的自学者使用。

由于我们的水平有限，书中缺点和错误在所难免，诚挚地欢迎读者批评指正。

编 者

2017 年夏于广西民族大学

目 录

绪论	1
0.1 化学研究的对象	1
0.2 化学与人类社会发展的关系	5
0.3 无机化学的发展趋势	8
0.4 未来化学是一门中心学科	9
习题	11
第 1 章 普通化学基本概念和理论	12
1.1 分子和原子	12
1.2 元素	13
1.3 摩尔	14
1.4 相对原子质量和相对分子质量	15
1.5 理想气体及气体分子运动论	16
习题	20
第 2 章 化学热力学初步	22
2.1 热力学中的基本术语	22
2.2 热化学	25
2.3 化学反应进行的方向	30
习题	36
第 3 章 化学反应速率和化学平衡	39
3.1 化学反应速率	39
3.2 化学平衡	50
习题	59
第 4 章 电解质溶液	62
4.1 基本概念	62
4.2 电解质溶液理论	64
4.3 酸碱电离平衡	66
4.4 沉淀溶解平衡	85
习题	93
第 5 章 氧化还原反应	97
5.1 基本概念	97
5.2 氧化还原反应方程式的配平	99
5.3 原电池	101
5.4 电极电势	103
5.5 电解	107

习题	110
第 6 章 原子结构	112
6.1 经典的原子模型	112
6.2 氢原子光谱和玻尔氢原子模型	114
6.3 微观粒子的运动特性	116
6.4 原子的量子力学模型	118
6.5 多电子原子的结构	125
6.6 原子结构与元素周期律	131
习题	136
第 7 章 化学键和分子结构	139
7.1 离子键理论	139
7.2 共价键理论	141
7.3 分子间力和氢键	150
7.4 晶体结构	158
习题	163
第 8 章 配位化合物	166
8.1 配位化合物的基本概念	166
8.2 配合物中的价键理论	168
8.3 配离子的配位离解平衡	171
习题	180
附录 I 无机化合物的命名原则	182
附录 II 常见物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$, $\Delta_f G_m^\ominus$ 和 S_m^\ominus (298.15 K, 101.3 kPa)	189
附录 III 弱酸、弱碱的离解常数 K^\ominus	196
附录 IV 常见难溶电解质的溶度积 K_{sp}^\ominus (298 K)	197
附录 V - 1 酸性溶液中的标准电极电势 E^\ominus (298 K)	198
附录 V - 2 碱性溶液中的标准电极电势 E^\ominus (298 K)	201
附录 VI 常见配离子的稳定常数 $K_{稳}^\ominus$	203
附录 VII 原子半径 r	204
附录 VIII 元素的第一电离能 I_1	205
附录 IX 主族元素的第一电子亲和能 E_1	206
附录 X 元素的电负性 X	207
附录 XI 化学元素周期表	208
参考文献	209

绪 论

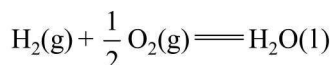
人类生活的各个方面，社会发展的各种需要都与化学息息相关，可以说，现代人类的衣、食、住、行和健康都离不开化学。化学作为“中心科学”的地位，正被越来越多的人所认识。本章将简要介绍化学研究的对象、化学与人类社会发展的关系、无机化学的发展趋势以及未来化学是一门怎样的科学。

0.1 化学研究的对象

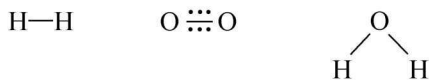
0.1.1 化学的定义

先看我们熟悉的物质发生变化的两个例子。

【例题 1】氢气在氧气中燃烧生成水：



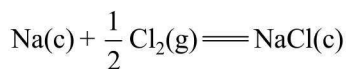
在研究这个变化时，涉及物质的组成——氢气、氧气和水，分别由氢分子、氧分子和水分子组成；每个氢分子由 2 个氢原子组成，每个氧分子由 2 个氧原子组成，每个水分子由 2 个氢原子和 1 个氧原子组成。在这个过程中，物质发生了变化，物质的组成也发生了变化。同时，也会涉及物质的结构——氢分子、氧分子和水分子，分别由相应的原子通过共享电子对形成共价键而构成：



另外，在这个过程中，两种物质（氢气和氧气）发生变化，生成了另一种新的物质（水）；物质的凝聚态也变了，氢气和氧气均是气体，而水是液体。

发生这一变化的过程伴随着能量的变化，这是一个放热过程（ $-285.83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ）。

【例题 2】钠与氯气作用生成氯化钠：



这同样涉及物质的组成、结构和变化（新物质的生成及过程中的能量变化）。这是一个放热过程（ $-410.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ）。钠和氯化钠是晶体，而氯气是气体。

这些变化涉及物质的三个层次：原子（或带电的原子，即离子）、分子及其凝聚态（气态、液态、固态、等离子体等）。

这样，我们可以给出化学的定义：化学是从原子、分子及其凝聚态层次上研究物质的组成、结构、性质、变化规律及其应用的科学。其中，分子是化学研究的中心层次，因此也可以简称化学是分子的科学。在变化过程中生成了新的物质，但各元素的原子核不发生改变，

这种变化称为化学变化，或称为化学反应。简而言之，化学是以研究物质化学变化（化学运动形式）为主的科学。

0.1.2 化学变化的基本特征

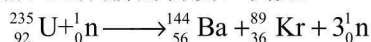
由上述两个例子，我们很容易归纳出化学变化的三个基本特征：

1. 化学变化有新物质生成，但各元素原子核均不改变

因为化学变化过程中，参加反应的物质（反应物）原有的化学键被破坏，而重组为新的化学键（生成新的物质，即生成物）。例如， H_2 分子中的 $\text{H}-\text{H}$ 键， O_2 分子中的 $\text{O}-\text{O}$ 键被破坏，而生成 $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ 键。

注意到化学变化中各元素原子核不变是必要的。因为化学键的重组只涉及原子核外电子的变化，各元素原子核均不变，所以不会产生新的元素。

核裂变和核聚变过程，虽然也生成新的物质。例如：



但是，参加反应各元素的原子核也发生了改变，生成了新的元素。这类变化不属于化学变化范围，而称为核反应，通常属核物理学研究范围。

2. 化学变化是定量变化，服从质量守恒定律

由于化学变化只涉及核外电子的重组，各元素原子核不发生变化，不产生新的元素，因而体系中所有元素的原子核总数和核外电子总数在反应前后并无变化，它们的总质量必然不变，即遵守质量守恒定律。例如，2.016 g H_2 与 15.999 g O_2 完全化合，必然生成 18.015 g H_2O 。

3. 化学变化过程伴随能量变化，服从能量守恒定律

由于破坏反应物的化学键需要从环境中吸收能量，而生成新的化学键则要向环境放出能量，所以化学变化过程中必然伴随着能量变化。如前所述，1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 与 $\frac{1}{2}$ mol $\text{O}_2(\text{g})$ 完全化合为 1 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 的过程中，向环境放出能量 ($-285.83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)，而环境的能量等量增加 ($+285.83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)。这样，反应体系和环境总的能量变化为

$$(-285.83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) + (+285.83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = 0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

这就是能量守恒定律。在热力学中，也就是热力学第一定律。

0.1.3 化学的二级学科

在自然科学中，数学、物理学、化学、生物学等被列为一级学科。通常认为，现代化学是从 19 世纪末开始发展的。1895 年，德国科学家伦琴 (W. C. Röntgen) 发现了 X 射线；1896 年，法国科学家贝克勒尔 (A. H. Becquerel) 发现了铀的放射性；1897 年，美国科学家汤姆生 (J. J. Thomson) 发现了电子。这三项重大发现动摇了物理学的传统观念，也冲击着道尔顿 (John Dalton) “原子是不可分割的最小微粒”这一观点，其重要意义在于打开了原子结构和原子核结构的大门，使物理学和化学研究进入了微观世界，孕育了新的科学概念和科学理论。在随后的 20 多年中，物理学中提出了“量子论”(M. Plank, 1900)、“相对论”(A. Einstein, 1905) 和“量子力学”(E. Schrödinger 和 W. Heisenberg, 1926)，在化学中则提出了“原子结

构理论”和“分子结构理论”，这标志着现代化学进入了蓬勃发展阶段。自 19 世纪 30 年代起，按照研究对象、研究方法或研究目标的不同，现代化学被划分为无机化学、有机化学、分析化学、物理化学和高分子学科 5 个二级学科。

1. 无机化学

无机化学是研究除碳氢化合物及其衍生物之外的所有元素的单质和化合物的组成、结构、性质、变化规律及应用的化学分支。

人类早期的化学实践活动大都属于无机化学的范畴，如陶器制造（1 万年前）、青铜制造（5 000 年前）、“点金术”和“炼丹术”（2 100 年前）、黑火药制造（1 300 年前）等。无机化学（也就是早期的化学）在 18 世纪中叶至 19 世纪中叶奠定了理论基础，其发展的里程碑有：1748 年罗蒙诺索夫（M. B. Lomonosov）提出质量守恒定律；1808 年道尔顿（J. Dalton）提出原子论；1811 年阿佛伽德罗（A. Avogadro）提出分子论；1840 年盖斯（G. H. Hess）提出盖斯定律以及 1869 年门捷列夫（Dmitri Ivanovich Mendeleev）创立元素周期律。从此，无机化学形成一门独立的化学分支。无机化学的现代化始于 20 世纪二三十年代原子结构和分子结构理论的建立和现代测试分析技术的应用，它使无机化学的研究由宏观深入到微观，把无机物的性质、反应性与其分子、原子结构联系起来。随着无机化学的发展，按照被研究对象的不同，无机化学被划分为普通元素化学、稀有元素化学、配位化学、金属间化合物化学、同位素化学、无机合成化学、无机高分子化学等分支。无机化学的发展趋势将在后面介绍。

2. 有机化学

有机化学是研究碳氢化合物及其衍生物的化学分支。已知的有机物达近 4 000 万种，而无机化合物则只有几十万种。有机化合物具有不同于无机化合物的特征，如分子组成复杂、容易燃烧、熔点低（通常低于 400 °C）、难溶于水、反应速率小、副反应多等。

有机化学可以划分为天然有机化学、合成有机化学、结构有机化学等。天然有机化学研究动物、植物、微生物等天然有机物的结构、性能，并进行人工合成。合成有机化学则利用天然的（例如，煤焦油、石油、动植物等）或人工的原料，合成各种染料、香料、医药、农药、肥料、炸药、有机光电材料、塑料、合成纤维和合成橡胶等。1965 年，我国人工合成了一种相对分子质量最小的蛋白质——牛胰岛素；1970 年，77 单位的多核苷酸基因片断被合成，标志着有机化学在探索生命现象中发挥着越来越重要的作用。结构有机化学主要研究有机物结构理论，进行结构测定和分析，它对其他有机化学分支起着理论指导作用。

3. 分析化学

分析化学是研究物质化学组成的分析方法及有关理论的一门化学分支学科，其任务是鉴定物质的化学成分、测定各成分的含量和物质的化学结构（分子结构、晶体结构），它们依次属于定性分析、定量分析和结构分析的内容。根据被分析对象是无机物还是有机物，可把分析化学分为无机分析化学和有机分析化学。根据测定原理的不同，分析化学的分析方法可分为两大类：以物质的化学反应为基础的分析方法称为“化学分析法”，它是分析化学的基础，主要包括重量分析法和容量分析法；以物质的物理和化学性质为基础的分析方法，因需要特殊的仪器，称为仪器分析法，它包括原子发射光谱法、原子吸收光谱法、原子荧光光谱法、紫外-可见分光光度法、红外光谱法、核磁共振波谱法、X 射线荧光分析法、X 射线衍射分析法、分子发光和化学发光法、质谱法、电化学分析法、色谱法、热分析法、激光光谱分析法、电子能谱法等。

仪器分析是在化学分析的基础上发展起来的，一些仪器分析方法，需要用化学分析手段做试样处理、分离、掩蔽或富集，然后才能用仪器测定，可以说二者是相辅相成的。随着近代计算机科学、物理学、数学和生物学的成就不断被引入分析化学，仪器分析法已发展成为一门化学信息科学，即产生、获得和处理各种化学信息（除了物质的化学组成、含量和化学结构之外，还包括状态分析、表面分析、微区分析、化学反应参数测定和其他化学信息）。这些信息被其他每一个化学分支以及物理学、生物学等学科广泛采用，并应用于工农业生产、贸易、环境监测和医学等领域。

4. 物理化学

物理化学是借助物理学的原理和方法来探求化学变化基本规律的一门化学分支，是整个化学学科的基础理论部分，它包括化学热力学、化学动力学和结构化学三部分。化学热力学研究化学反应过程的能量变化、方向和限度；化学动力学研究化学反应的速率、机理和化学反应的控制；结构化学研究物质的结构（原子、分子、晶体结构）及其与物质的性能之间的关系。物理化学的基本原理在各个化学分支都得到了广泛利用，化学热力学、化学动力学、催化和表面化学的成果，更促进了石油炼制、石油化工和材料等工业的发展。物理学提供的新技术，如超快速（ $10^{-15} \sim 10^{-12} \text{ s}$ ）激光光谱技术、分子束技术、X 射线衍射、X 射线光电子能谱、俄歇电子能谱等，以及计算机科学成果的引入，大大促进了物理化学的发展，其发展趋势具有以下几个特点：① 从体相到表相。多相化学反应总是在表相上进行的，应用光电子能谱，可以研究物质表相几层原子范围内的组成和结构。这类表面化学的研究促进了催化化学的发展和應用，并成为新材料的生长点。② 从静态到动态。化学热力学研究方法是典型的由静态判断动态的例子，因此无法给出变化过程的细节。超快速激光光谱技术和分子束技术出现并应用于化学动力学研究，诞生了分子反应动力学（又称微观反应动力学或化学动态学），使超快速过程（ $10^{-15} \sim 10^{-12} \text{ s}$ ）的动态研究成为可能。例如，蛋白质行使其功能时，构象变化发生在 10^{-6} s 之内，目前已可以对此做动态研究，这将加深对复杂的生命化学过程的认识。③ 从平衡到非平衡态。平衡态热力学（可逆过程热力学）只限于研究孤立体系或封闭体系，而大多数真实体系属于开放体系（非平衡体系）。20 世纪 60 年代以来，非平衡体系的研究发展迅速，已形成了非平衡态热力学，它与生命科学、化学反应动力学等有密切联系，成为当前物理化学发展的前沿之一。

5. 高分子学科

高分子学科是在有机化学、物理化学、生物化学等学科的基础上形成的。1924 年，Staudinger 首次明确提出“大分子”的概念；1928 年，Carothers 建立了缩聚反应理论；20 世纪 30 年代，自由基聚合获得成功，一系列烯类聚合物相继投产。从此，高分子学科真正成为化学的一门分支学科。高分子是指相对分子质量为 $10^4 \sim 10^6$ 的大分子，一般由许多相同的、简单的结构单元通过共价键（有些以离子键）有规律地重复连接而成，因此又称聚合物。按主链元素组成的不同，高分子可分为 3 类：① 碳链高分子。主链完全由碳原子组成，如乙烯基类和二烯烃类聚合物。② 杂链高分子。主链除 C 原子外，还含有 O, N, S 等原子，如聚醚、聚酯、聚酰胺等。③ 元素有机高分子。主链不是由 C 原子，而是由 Si, B, Al, O, N, S, P 等原子组成，如有机硅橡胶。高分子学科分为高分子化学和高分子物理两个分支。高分子物理的任务是研究聚合物的结构与性能的关系及其应用；高分子化学的任务是根据性能的要求，研究聚合原理，探索最佳工艺条件，选择合适的原料、引发剂等，合成出预期结

构和性能的聚合物。近年来，高分子学科的研究，已朝着提高聚合物产量和综合性能、注意环境保护和功能化等方向发展，在精细高分子合成、高分子设计、新的合成方法和表征手段以及特殊功能高分子材料方面的研究十分活跃。这里的特殊功能高分子材料包括高性能结构材料、光敏高分子、高分子导体和半导体、光导体、高分子分离膜、高分子试剂、催化剂和药物、生物高分子、具有能量转换性能的聚合物和信息传递大分子等。可以说一场新材料革命已经开始，高分子学科和无机材料学科等将在其中发挥重大作用。

应当指出，化学作为一门自然学科，划分为若干分支学科，有其自身发展和社会生产发展的客观需要，而各个分支学科之间，又是紧密联系、互相渗透的。例如，无机化学被公认是化学的基础；物理化学为各个化学分支提供了基本理论；分析化学方法和技术在各个化学分支中被广泛应用；高分子学科是由有机化学等学科衍生出来的；无机化学与有机化学的互相渗透导致产生了金属有机化学，这两门化学分支的界限现已很难明确划分。化学与其他科学的互相渗透也是十分显著的：化学与生物学的互相渗透产生了生物化学；计算机科学的成果应用于化学而导致形成计算机化学；把无机化学原理（特别是配位化学原理）应用于生物体系，就诞生了生物无机化学，等等。因此，要学习好化学，不但要求掌握化学各个分支学科的基础理论和基本知识，而且必须对物理学、数学、生物学、计算机科学等知识有相当的了解。

0.2 化学与人类社会发展的关系

化学已经对人类社会的发展做出了巨大的贡献。下面从化学创造物质财富、化学与环境、化学与人类健康和化学对人类文化发展的影响四个方面论述化学与人类社会发展的关系。

0.2.1 化学对人类创造物质财富的贡献

现代人类的衣、食、住、行及医药，能源，材料以至人口控制本身，没有一样可以离开化学。

1. 化学与粮食生产和人口控制

目前，全世界人口约 70 亿，粮食年总产量约 25 亿 t。地球表面 71% 被水（海洋、湖泊、江河）覆盖，余下 29% 为陆地，除去山脉、沙漠等之后，可耕地的面积并不充裕。人类正面临粮食问题，必须通过增加粮食生产和限制人口增长来解决，而这两方面的努力都十分依赖于化学科学的发展。目前，世界粮食总产量的 30%~50% 得益于化肥、农药和植物生长调节剂的使用。

一些豆科植物的根瘤菌具有固氮功能，即把元素状态的氮转变为氮的化合物而被植物吸收。化学模拟固氮的研究正在进行，已发现某些金属有机化合物和簇合物具有固氮酶的催化作用，一旦生物固氮机制被完全认识，农业将大为改观。

人工模拟光合作用是化学家研究的另一个重大课题。绿色植物的叶绿素可以吸收阳光，把二氧化碳和水转变为氧气和有机化合物，以满足植物生长的需要。化学家已证明叶绿素是一种含镁的卟啉配合物，并人工合成了一些模拟化合物。由于光的吸收和能量转移过程很快（ $10^{-12} \sim 10^{-9}$ s），化学家和生物学家将利用超快速激光光谱等手段，研究光合作用的复杂反应

机制。尽管目前我们离在实验室里模拟天然光合作用还相差很远，然而化学家仍然期望能发展利用太阳能的人工光合系统，生产出更多的食物。

控制人口增长是解决粮食问题的另一个重要途径，20世纪80年代以来，世界人口每年增加9000万左右，人口爆炸危机依然存在。为控制人口增长，化学家、生物学家和医学家正合作研究，并已为人类提供了一些安全、有效、副作用小的避孕药物，对控制人口起到了积极的作用。

2. 化学与能源开发

煤的气化和液化、石油的炼制和石油化工产品的生产，都离不开化学和化学工业。煤、石油和天然气既是当前人类的主要能源，又是主要的化工原料。然而这些能源的储存量是有限的。20世纪90年代以来，世界每年开采石油量达95亿t以上。据估算，现已探明的石油储量只能再供开采40年左右，煤可开采200年左右，因此，人类不得不加快开辟新的能源，其中核能和太阳能是两个重要的能源。物理学家已为人类提供了原子能，目前，原子能已在一些国家的能源供应中占有较大比例。电化学已提供了把太阳能转化为电能的实用装置，供居民、工农业和宇宙飞船使用。氢能源被认为是最理想的能源（无污染），储氢材料、储氢电池研制已进入了实用阶段。人工模拟光合作用有可能光解水而生成氢气，提供新的能源。

3. 化学与现代化的材料

材料科学是多学科互相渗透而诞生的科学，如图0.1所示。

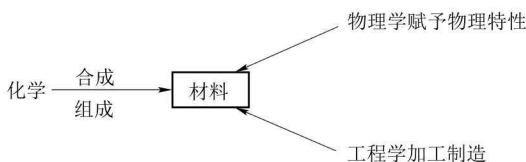


图0.1 材料科学

由于化学是人们认识和控制物质的组成、结构和性质的中心科学，化学家具有合成和控制物质组成的特殊才能，因此在制备材料中起关键作用，但这并不意味着排斥其他科学。正是化学、物理学、工程学等多学科专家的协同工作，为人类提供了大量的材料，从传统材料钢铁、铝、其他合金、各种塑料、合成纤维、合成橡胶，到各种各样具有特殊的光、电、磁、声、热或力学功能的特殊材料。这些材料被人类用来制造汽车、飞机、宇宙飞船、建筑物、桥梁、衣物、电视机、计算机等。材料、能源和信息被认为是新的产业革命的三大要素，而材料则是这些要素的物质基础，因此，具有特殊功能的新材料的研制，是当前科学研究的中心课题之一。超导体是近10年来最热门的研究领域之一， $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ($x=7.5$) 被发现具有超导性，其居里温度（零电阻率起始温度） T_c 为90 K，这为在液氮（沸点77 K）冷却条件下长距离传输电能不受损失、制造大规模计算机集成电路和无摩擦的超导悬浮火车等提供了可能。

更为重要的是，新材料的出现可引导新的工业。例如，有了聚合物，就出现了塑料工业、合成纤维工业和合成橡胶工业；合成了荧光材料，就诞生了电视机工业；有了半导体，就出现了计算机工业，等等。新工业的诞生，极大地推动了社会生产的发展。

0.2.2 化学与人类生存环境

现代工业生产给人类创造了巨大的物质财富，与此同时，工业废气、废液、废渣的排放，燃烧矿物燃料的废气、废渣以及使用工业制品后的废弃物却造成了日益严重的环境污染。

应当指出，环境污染并不是现代工业的一种“新发明”。有史以来，就存在人类干扰自然环境的记载；城市的出现，加剧了环境污染（例如，下水道污水问题，燃料燃烧废渣、废气问题等）。与化学工业有关的环境污染是由下列原因之一（或多个原因）引起的：

(1) 缺乏对化学及其工艺知识的全面了解，未能选择污染最小的工艺生产流程和设备，处理工业“三废”不力。

(2) 缺乏环境保护意识，使用工业制品后随意废弃。

(3) 环境保护法规不够完善，有关职能部门监管力度不够。

由于上述原因，显而易见，环境保护是一项综合工程。在这项综合工程中，化学再次处于中心学科的地位，因为，在保护和治理环境之前，我们必须了解：

(1) 环境中存在哪些潜在的有害物质？

(2) 这些潜在的有害物质来自何方？

(3) 有何减少或消除这些有害物质的方案？

(4) 某物质的危害性与接触它的程度有何依赖关系？

(5) 对问题(3)提出的多种方案，如何做出选择？

显然，在解决前3个问题，化学家将起核心作用；第4个问题应该由医学家来回答；最终的环境保护和治理方案，必须由有关企业和职能部门做出选择。

化学在环境保护中发挥中心学科的作用，包括保护臭氧层，减少酸雨，限制温室效应，处理工业废气、废水、废渣等。

0.2.3 化学与人类健康

生命活动是最复杂的变化过程。化学与生物学相结合来研究人体生命活动的化学机制，促进了医药学的发展，使我们得以根据药物对生物体作用的化学机制，以合乎逻辑的方式去寻找或合成新的药物，以替代传统的试验和不当的筛选方法。现代化学家与生理学家、医药学家的合作已为人类提供了治疗各种疾病的药物，包括酶抑制剂、抗生素（抗菌剂和抗毒剂）、激素、维生素、不会上瘾的新镇痛药以及抗癌药等。可以预计，化学科学的进步，将帮助我们进一步从分子水平上了解生命过程以及药物对生物体的作用机制，合理地设计和合成药物，更好地保障人类的健康。

0.2.4 化学对人类文化发展的影响

化学是科学文化的一部分，它由化学物质、化学变化、化学组织、化学活动、化学方法、化学语言、化学理论和化学思想等要素构成。化学文化的价值在于它的科学精神和应用的合理性。人们的日常生活中经常接触化学物质、化学变化，若缺乏化学知识，迷信就可能流行。化学教育的普及，提高了社会的文明程度。

化学与伦理学有着必然的联系。化学的应用性对人的行为准则提出了新的内容、新的要求。一个化学工业企业，可以带来物质财富，但如果经营者只顾经济效益，不顾社会效益，

任由“三废”污染环境，其伦理道德就应受到谴责。

对生命起源和人类起源的认识，是人文文化和化学文化共同的重要内容。尽管任重道远，但生命化学终将逐步揭开生命之谜，这在人类文化发展中将是极有意义的篇章。

0.3 无机化学的发展趋势

自 19 世纪 40 年代末起，随着原子能工业和电子工业的兴起，对具有特殊电、磁、光、声、热或力性能的新型无机材料的需求也日益增加，从而建立了大规模的无机新材料工业体系；另外，随着无机结构理论（化学键理论，包括价键理论、晶体场理论、分子轨道法、配位场理论、金属键理论等）的发展，现代物理技术的引入和无机化学与其他学科的互相渗透，产生了一系列新的边缘学科，无机化学进入了蓬勃发展的“复兴”阶段。下面主要介绍代表着当前无机化学发展趋势的几个新兴的无机化学分支学科。

0.3.1 生物无机化学

生物无机化学是无机化学与生物化学互相渗透产生的边缘学科，它应用无机化学理论（尤其是配位化学原理）和方法，研究元素及其化合物与生物体系及其模拟体系的互相作用、结构及与生物活性的关系。生物无机化学是一门年轻的学科，1970 年在美国弗吉尼亚州举行了首次国际生物无机化学学术讨论会，次年把该会议的 19 篇学术报告汇编为《生物无机化学》(*Bioinorganic Chemistry*) 出版，这是系统介绍生物无机化学的第一部专著。同年，第一份生物无机化学学术期刊——*Bioinorganic Chemistry* 创刊(1979 年更名为 *Journal of Inorganic Biochemistry*)。1983 年，生物无机化学国际会议组织委员会成立，并决定每 2 年召开一次会议。1997 年 7 月，在日本横滨举行了第八次生物无机化学国际会议。频繁的国际学术交流，反映了生物无机化学研究进展的迅速。当前，生物无机化学研究的重要领域包括金属蛋白质、金属酶、离子载体、金属配合物与核酸的作用以及利用生物材料（特别是生物矿物材料）、生物的开矿功能或仿生技术制备新型的功能材料等。

0.3.2 金属有机化学

金属有机化学是无机化学与有机化学互相渗透产生的边缘学科，它打破了无机化学与有机化学的传统界限。金属有机化合物是指含有碳—金属键的化合物。第一个金属有机化合物——蔡斯盐 [*Zeise Salt*, $(\text{CH}_2 = \text{CH}_2)\text{PtCl}_3$] 发现于 1827 年，但其结构在 100 年后才被测定。20 世纪 50 年代之前，金属有机化学主要研究主族元素的金属有机化合物，其后，过渡元素金属有机化合物的研究迅速发展。1963—1983 年，K. Ziegler, G. Natta, G. Wilkinson, E. O. Fischer, W. N. Lipscomb, Jr. H. C. Brown, G. Wittig 7 位金属有机化学家和与金属有机有关联的配位化学家 H. Taube 共 8 人获得诺贝尔化学奖，可见金属有机化学的突破性进展已被国际化学界所公认。当前金属有机化学研究的重要领域包括用于精细有机合成的催化剂的研制、特种功能材料合成、固态金属有机科学以及在诊断、医药和农药方面应用的研究等。

0.3.3 无机固体化学

固体化学是研究固体物质（包括材料）的制备、组成、结构和性质的科学。无机固体化学则以无机物（包括有机金属化合物和无机高分子等）为研究对象，是无机化学与固体物理学紧密结合的一个领域。固体化学、固体物理和材料工程学等学科互相渗透、互相补充，形成了现代固体科学和技术，共同解决新材料的科学技术问题。

能源、信息和材料是现代文明的三大支柱，而材料又是能源和信息的物质基础。材料种类繁多，但按其化学键性质划分，可分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料三大类，前两类都属于无机材料。当前世界面临着能源不足，太阳能和核能是亟待开发的能源。照射到地球表面的太阳光的能量为 $8.1 \times 10^5 \text{ kJ} \cdot \text{s}^{-1}$ ，相当于世界总发电量的十几万倍，可惜绝大部分太阳能均未被利用，要想有效利用太阳能，就必须制备高效、稳定的光电或光热能量转换材料。要利用核能，则要制出耐高温和耐强辐射材料。信息的产生、传输、收集、处理、存储和显示等技术，需要具有单色性好、强度高、信息容量大、灵敏度高特性的各种激光、光导换能和传感材料。无机固体化学正是提供了无机材料的化学理论基础，当前其主要的研究领域包括无机功能材料化学（合成具有特殊光、电、磁、声、热或力性能的各种功能材料）、晶体生长、固相的缺陷化学、固体表面化学以及固相化学反应等。

0.4 未来化学是一门中心学科

走向 21 世纪的化学是一门具有很强跨学科性质的学科，或者说 21 世纪的化学将是一门“大化学”。与其他学科相比，化学在研究对象上的交叉性、研究方法上的通容性、研究目的上的相似性，使得其进入基础科学和应用科学的各个领域成为一个不可逆转的趋势。未来化学的真正力量在于它与其他学科的交界处，特别是在生命科学、材料科学、神经科学等领域将有化学家施展才华的广阔天地。所以，未来化学家一方面在传统的化学系、化学研究机构里从事化学活动，另一方面也在别的地方从事化学活动。

首先，将化学应用于生命过程的研究是未来最有见地的科学前沿之一。正如美国国家科学理事会（NSB）主席、斯坦福大学化学教授理查德·扎尔（Richard N. Zare）所言：“21 世纪对化学家最大的挑战之一将是制造生命，一种能自我复制、自我组织，甚至有进化为其他东西的可能性体系。”如果说制造生命是化学转向生命科学的一种终极表达还仅是一种大胆的预言，那么化学对改善生命已经和正在取得可观的进展。例如，选择性医学（alternative medicine）将是合成新的化学物质的重要源泉，它需要通过对生命过程的研究，通过对存在的许多协同作用的了解，分离出各个化合物，再按照它们从自然界中分离出来的样子，把它们放在一起。这就是运用传统化学的强有力的技术力量来理解选择性医学的结果。又如，人类基因组和各种病原体基因组的全面测序对于有效地预防、诊断并治疗人类的一些重大疾病（包括癌症）将产生显著影响，其潜力是无穷的。1998 年 10 月，美国国家人类基因组研究所宣布，他们即将在 2003 年完成对人类约 10 万个基因序列（人类 DNA 分子的 30 亿个核苷酸次序）的测定工作，这是从 1990 年开始启动的一项研究计划，共有 50 多个国家的研究人员

参与，是继曼哈顿原子弹计划、阿波罗登月计划之后，人类又一个里程碑式的系统工作。再如，化学家将越来越多地驾驭细胞来完成他们的合成工作。因为研究表明，所有细胞表面的识别基本上都是通过细胞表面抗原来进行的，而这些抗原都是碳水化合物，集中研究这些复杂的碳水化合物是化学家们期待已久的工作。

其次，材料科学是未来受到化学重大冲击的另一个领域。美国芝加哥大学化学教授赖斯(Stuart A. Rice)认为：“广义地说，从金属到聚合物，我认为我们在材料科学中已经看到了进展。我们将更多地使用‘设计者的材料’而不是大宗材料，就这个意义上说，我认为制造过程将得益于此。例如，当你要造一座在一定时间内承受一定应力的桥梁时，你将能制造这座桥梁的‘设计者的材料’。”1996年因发现富勒烯而荣获诺贝尔奖的美国休斯敦莱斯大学教授斯莫利(R. E. Smalley)则把他的预言建立在他和其他人的合成研究和碳纳米管的研究工作上：“我们有一种有机化学的方法制造金属导线。通过把这些和化学完美性挂钩，我们应该能够用分子制造基本上所有在宏观世界里的电路组件的等价物。”这实际就是化学家们看好的有机电子学工业的兴起。同时，正在进行的树形聚合物、导电聚合物、能够发生相转变的聚合物等方面的基础性研究工作的进步，将使得这些化学合成材料成为新的药物运载体系，并创造新的组织，如皮肤、软骨，甚至神经。

再次，神经科学是受到未来化学重大冲击的又一个领域。神经化学对发生在神经元突触的分子事件的研究、关于电流沿着神经的传导及肌肉的激动的研究等，将导致未来神经科学激动人心的重大发现，将会对大脑的功能、记忆的本质产生深刻的理解，还将能建设性地干预诸如药物成瘾、精神病、欲望症、盛怒、恐惧、紧张、人类智慧、学习等事物和过程。化学的研究可能发现睡眠实际上是我们不再需要的逝去时光的痕迹。如果说绝对地延长人的寿命将受到细胞分裂的限制，那么通过摄取正确的化学物品将会极大地改变生活的性质——每天晚上只需睡1h，这样生活质量的提高将大大增加人类的相对寿命。

最后，未来化学将对人类目前面临的许多全球性社会问题，如人口问题、粮食问题、能源问题和环境问题的解决带来帮助。世界人口的增长，仍将保持下去，而关键是食物和能源的短缺。化学正开始制造出人工食物、制造出人工脂肪，这个趋势将继续推进，化学会帮助我们制造出新的燃料来取代不可再生的化石燃料。电池工艺学将最终解决如何传输电力的问题，燃料电池将提供充足的电力并便宜得能满足日常使用。美国麻省理工学院化学系主任利帕德(S. J. Lippard)认为“20世纪化学最大的失败之一是未能开发出好的燃料电池催化剂”。新的燃料电池催化剂的研制成功将会使电力汽车成为化学实现的发明，它将使汽车造成的环境污染成为过去，使得受到损害的墨西哥城、佛罗伦萨、巴黎和北京恢复其原有的美丽和辉煌。

21世纪的化学是有用的、创造性的和中心的学科。它的方法、它的对结构和反应性的集中重视使其正活跃地支配着其他科学领域。实际上，分子生物学不就是化学生物学吗？材料科学不就是材料化学吗？有人把这称为“化学被肢解”。然而，即使在那些明显的不能称为化学研究的机构或组织里，化学家仍会保持一种独特的身份，即化学家要制造新东西，研究化学反应，专注于物质结构，这正是该学科的核心。化学家坚持与他们的科学研究对象保持亲近的关系，这是其他学科无法与之比拟的。