



中国科学院教材建设专家委员会规划教材
全国高等院校规划教材

供经济、管理、法学、文学、艺术、外语等专业使用

大学化学

主 编 唐玉海 张 雯



科学出版社

中国科学院教材建设专家委员会规划教材

全国高等院校规划教材

供经济、管理、法学、文学、艺术、外语等专业使用

大学化学

主 编 唐玉海 张 雯

副主编 关 放 陈 麒

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 蓓 (首都医科大学)

卞 伟 (山西医科大学)

权新军 (吉林大学)

关 放 (西安交通大学)

许 昭 (西安交通大学)

张 雯 (西安交通大学)

陈 麒 (兰州大学)

徐四龙 (西安交通大学)

高瑞霞 (西安交通大学)

唐玉海 (西安交通大学)

科学出版社

北 京

· 版权所有 侵权必究 ·

举报电话：010-64030229；010-64034315；13501151303（打假办）

内 容 简 介

本教材以化学基础知识和化学发展历史为依据，围绕能源、环境、材料、文物保护、生命科学等社会普遍关注的热点问题展开讨论。全书由绪论、化学基础知识、化学与能源、化学与健康、化学与生命科学、化学与环境、化学与材料、化学与文物保护、化学与司法侦查、化学与国防军事、化学与哲学以及化学的继往开来共 12 章组成。

本教材主要以普通高等学校人文、社科、外语等学科的学生为读者对象，可供经济、管理、法学、文学、艺术、外语等专业大学本科生使用，亦可作为理工科学生和相应管理人员学习了解自然科学知识的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学化学 / 唐玉海, 张雯主编. 北京: 科学出版社, 2015. 12

中国科学院教材建设专家委员会规划教材·全国高等院校规划教材

ISBN 978-7-03-046635-8

I. ①大… II. ①唐… ②张… III. ①化学—高等学校—教材 IV. ①06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 290217 号

责任编辑: 王 超 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 赵 博 / 封面设计: 陈 敬

版权所有，违者必究。未经本社许可，数字图书馆不得使用

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

大厂书文印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 12 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 12 月第一次印刷 印张: 14

字数: 340 700

定价: 49.80 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

随着“高等教育新世纪教学内容和课程体系计划”的实施。高等教育逐渐由专业型教育向知识、能力、素质三位一体的教育模式转变，在这一转变过程中，“使理工科学生了解更多的人文学科知识，使文科学生了解必要的自然科学知识”已达成共识；化学以其自身的特点为文科学生窥视自然科学全貌之窗口。

化学作为一门中心性的、实用性和创造性的科学。在人类多姿多彩的生活中可以说是无处不在，尤其是在危险品，环境污染等问题日趋严重的今天。本书以当代人们共同关注的能量、环境、材料、生命科学、国防军事等热门话题为经线，以化学的基本概念、化学的基础知识为纬线编写而成的。全书由第1章绪论、第2章化学基础知识、第3章化学与能源、第4章化学与健康、第5章化学与生命科学、第6章化学与环境、第7章化学与材料、第8章化学与文物保护、第9章化学与司法侦查、第10章化学与国防军事、第11章化学与哲学以及第12章化学的继往开来共12章组成。

全书重点突出以下特点：

- 精心选取素材，内容编写深入浅出，使文科学生不因化学基础相对薄弱而学习困难。
- 融合化学与社会问题，突出热点，增加知识性和趣味性。
- 正面社会现实问题，努力培养学生的社会责任感。
- 注重科学知识普及，提高科学素养，增强科学思维和决策能力

全书由西安交通大学（按姓氏笔画排序）关放、许昭、张雯、徐四龙、高瑞霞、唐玉海，山西医科大学卞伟，首都医科大学王蓓，吉林大学权新军，兰州大学老师陈麒编写。由西安交通大学唐玉海，张雯任主编，西安交通大学关放，兰州大学陈麒任副主编。本书在编写过程中得到西安交通大学、兰州大学、吉林大学、首都医科大学、山西医科大学的大力支持，得到同行的大力帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足及错误之处，恳请读者和同行批评指正。

编 者

2015年9月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 化学在现代社会发展中的作用和地位	1
1.2 化学学科分类	2
1.3 化学变化遵循的基本规律	3
思考题	5
第 2 章 化学基础知识	6
2.1 元素的起源与合成	6
2.2 原子论	8
2.3 元素周期表	12
2.4 化学键与分子结构	14
思考题	20
第 3 章 化学与能源	21
3.1 全球能源结构和发展趋势	21
3.2 能量产生和转化的化学原理	23
3.3 化学在煤、石油和天然气开发利用方面的贡献	25
3.4 化学对和平利用核能的贡献	30
3.5 化学为开发新能源再立新功	33
思考题	36
第 4 章 化学与健康	37
4.1 食品中的化学	37
4.2 疾病诊断中的化学	50
4.3 药物与化学	52
4.4 吸烟、酗酒与毒品滥用	57
思考题	61
第 5 章 化学与生命科学	62
5.1 构成生命的最基本物质	62
5.2 分子遗传学的化学基础	68
5.3 生物催化与仿生化学	72
5.4 生命的起源	76
5.5 化学对基因工程的贡献	78
思考题	81
第 6 章 化学与环境	82
6.1 环境与生态平衡	82
6.2 自然环境的结构与功能	84
6.3 自然界的元素循环	89
6.4 保护自然环境	90

6.5 绿色化学	104
思考题	108
第7章 化学与材料	109
7.1 金属材料	109
7.2 无机非金属材料	113
7.3 高分子材料	119
7.4 超导材料	125
7.5 电子信息材料	127
7.6 复合材料	129
7.7 纳米化学与纳米材料	131
思考题	132
第8章 化学与文物保护	133
8.1 概述	133
8.2 分析化学在文物保护中的作用	135
8.3 高分子化合物在文物保护中的作用	138
8.4 化学与青铜文物的保护	145
8.5 化学与陶瓷及石质文物的保护	149
8.6 化学与壁画及彩绘的保护	154
8.7 化学与漆木器的保护	156
思考题	160
第9章 化学与司法侦查	161
9.1 指纹显现	161
9.2 血痕的检验	164
9.3 爆炸物证的检验	166
9.4 文书物质材料检验	167
9.5 毒物、毒品分析	170
9.6 微量物证的检验	174
9.7 DNA 分析技术	178
9.8 人体气味分析技术	180
思考题	182
第10章 化学与国防军事	183
10.1 火药和“军事四弹”	183
10.2 化学武器	186
10.3 核武器	189
10.4 现代高科技武器装备与化学	193
思考题	197
第11章 化学与哲学	198
11.1 物质的化学组成	198
11.2 物质结构	201
11.3 化学反应	203
思考题	210
第12章 化学的继往开来	211
参考文献	218
元素周期表	219

第1章 绪 论

顺应“二十一世纪高等教育新教学内容和课程体系改革以及培养复合型人才的需要”，高等教育逐渐由专业型教育向知识、能力、素质三位一体的教育模式转变。在这一转变过程中，“使理工科学生了解更多的人文科学，使文科学生了解必要的自然科学知识”已是大势所趋。化学以其自身的特点成为文科学子窥视自然科学全貌之窗口，如何让文科类学生了解必需的化学知识是本教材编写的目的。化学是在原子、分子层次上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的一门科学。它涉及存在于自然界的物质以及由化学家创造的新物质；它涉及自然界的物质以及由化学家发明创造的新变化。茫茫宇宙中浩瀚的物质世界，在化学家看来不过是千百万种化合物的存在与组合，而且是由为数不多的几十种常见元素所组成。它们之间的差别仅在于元素的种类、原子的数目和原子构成分子(或晶体等)时方式的不同。

丰富多彩的物质世界尽管其外表形形色色、变化无穷，但其内部是统一的，一切物质都会有相同的、最简单的组成部分或单元，那就是原子和分子。原子是由电子、质子和中子三种粒子组成的。其中质子和中子靠核力组成原子核，核靠静电引力将电子束缚在核外的一定空间中运动。元素是具有相同质子数(即核电荷)的同一类原子的总称。化学变化的实质是原子的重新排列组合。化学变化过程是旧键断裂和新键形成的过程。

1.1 化学在现代社会发展中的作用和地位

人类在进入二十一世纪的今天，化学已渗透到了人类社会生活的各个方面。从人们生活的衣、食、住、行来看，人们穿着的色泽鲜艳的衣料却是经过化学处理和印染制得的，丰富多彩的合成纤维是化学家对人类的又一大贡献。要装满粮袋子，丰富菜篮子，关键之一是发展化肥和农药的生产。饮食行业要加工制造色香味俱佳的食物，离不开各种食品添加剂，如甜味剂、防腐剂、香料、调味剂和色素等，这些添加剂大多是用化学合成方法或用化学分离方法从天然产物中提取分离出来的。现代建筑所用的水泥、石灰、油漆、玻璃和塑料等材料都是化学产品。现代各种交通工具，不仅需要汽油、柴油作动力，还需各种添加剂、防冻剂和润滑剂，这些无一不是石油化学产品。此外，人们需要的药品，洗涤剂、美容化妆品等日常生活必不可少的用品也都是化学制品。由此可见，我们的衣、食、住、行无不与化学有关，人人都需要用化学制品，可以说我们生活在化学世界里。

再从社会发展来看，化学对于实现农业、工业、国防和科学技术现代化具有重要的作用。在中国要解决“三农”问题，首先要解决农业大幅度的增产问题，农、林、牧、副、渔各业要全面发展，在很大程度上依赖于化学科学的成就。在工业现代化和国防现代化方面，急需研制各种性能迥异的金属材料、非金属材料和高分子材料。在煤、石油和天然气的开发、炼制和综合利用中包含着极为丰富的化学知识，并形成煤化学、石油化学等专门领域。导弹的生产、人造卫星和我国神舟系列宇宙飞船的发射，都需要很多具有特殊性

能的化学产品,如高能燃料、高能电池、高敏胶片及耐高温、耐辐射的化学材料等。

随着科学技术和生产水平的提高以及新的实验手段和电子计算机的广泛应用,不仅化学科学本身有了突飞猛进的发展,而且由于化学与其他科学的相互渗透,相互交叉,也大大促进了其他基础科学和应用科学的发展和交叉学科的形成,如化学物理学、计算化学、生物化学、分子生物学和大气化学等。如今世界最关心的环境的保护、能源的开发利用、功能材料的研制、生命过程奥秘的探索等都与化学密切相关。随着工业生产的发展,工业废气、废水和废渣越来越威胁环境。全球温室效应、臭氧层破坏和酸雨已成为当今三大环境问题,正在威胁着人类的生存和发展。随着人们物质条件的改善,人口的增加,各种生活垃圾,电子垃圾越来越多,如何处理是化学工作者正面临的问题。在能源开发和利用方面,化学工作者为人类使用煤和石油曾做出了重大贡献,现在又在为开发新能源积极努力,利用太阳能和氢能源的研究工作都是化学科学研究的前沿课题。材料科学是以化学、物理和生物学等为基础的交叉科学,它主要是研究和开发具有电、磁、光和催化等各种性能的新材料,如高温超导体、非线性光学材料和功能性高分子合成材料等。生命过程中充满着各种生物化学反应,当今化学家和生物学家正在通力合作,探索生命现象的奥秘,从原子、分子水平上对生命过程做出化学的说明则是化学家的优势。人类基因的破译,各种疾病发病机制的研究,癌症、糖尿病、艾滋病等疾病的防治是化学工作面临的又一挑战。

总之,化学作为一门中心性的,实用性和创造性的科学与国民经济各个部门、尖端科学技术各个领域以及人民生活各个方面都有密切联系。对文科学生开展化学知识教育的普及是社会发展的需要,是提高公民科学素质的需要,更是提高文科大学生适应社会发展的需要。

1.2 化学学科分类

化学的研究范围极其广泛,按其研究对象和研究目的不同,在 20 世纪初,化学已逐渐形成了分析化学、无机化学、有机化学和物理化学等分支学科。

· **分析化学** 分析化学分支形成最早,自 19 世纪初,相对原子质量的准确测定,促进了分析化学的发展,这对相对原子质量数据的积累和元素周期律的发现具有很重要的作用。从 1841 年 J.J.Berzelius 的《化学教程》、1846 年 C.R.Fresenius 的《定量分析教程》到 1855 年 E.Mohr 的《化学分析滴定法教程》等专著相继出版,标记今日化学分析的端倪。随着科学技术的发展,人们借助于光学性质和电学性质建立了光度分析法以及测定物质内部结构的 X 射线衍射法、红外光谱法、紫外光谱法、核磁共振法等近代的仪器分析方法,这些方法可以快速灵敏地进行检测。例如利用高效液相色谱法和柱切换技术对运动员的兴奋剂监测,尿样中某些药物浓度即使低到 $10^{-13} \text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 时,也能检测出来。

· **无机化学** 19 世纪 70 年代无机化学的形成以 D.I.Mendeleev 和 J.L.Meyer 发现元素周期律和公布元素周期表为标志。他们把当时已知的 63 种元素及其化合物的零散知识,归纳成为一个统一整体。一个多世纪以来,化学研究的成果还在不断丰富和发现元素周期律,元素周期律的发现是科学史上的一个勋业。现代无机化学研究的范围极广,几乎包括除碳及其衍生物外的百余种元素及其化合物,它是现代科学理论为依据,采用先进的实验技术,将无机物的性质和反应与结构相联系的学科。当今,天然资源的开发利用,新型

材料的合成, 酶的化学模拟等, 使无机化学在理论和实践上都取得了新进展。

• **有机化学** 有机化学形成于 19 世纪 50 年代。1861 年 S.F.Kekul 提出碳的四价概念, 1874 年 J.H.van't Hoff 和 L.Bell 的四面体学说, 至今仍是有机化学最基本的概念之一, 世界著名的有机化学权威杂志就是用 Tetrahedron(四面体)命名的。有机化学是最大的化学分支学科, 它以碳氢化合物及其衍生物为研究对象, 也可以说有机化学就是“碳的化学”。医药、农药、炸药、染料、化妆品等无不与有机化学有关。在有机物中有些小分子, 如乙烯、丙烯、丁二烯, 在一定温度、压力和催化剂的条件下可以聚合成为相对分子质量为几万、几十万的高分子材料, 例如塑料、人造纤维、人造橡胶等, 它们已经走进千家万户、各行各业。目前高分子材料的年产量已超过亿吨, 总产量接近各种金属总产量之和。若按使用材料的主要种类来划分历史时代, 人类经历了石器时代、烧炼时代和高分子时代, 即将进入可设计材料时代。

• **物理化学** 物理化学是从化学变化与物理变化的联系入手, 研究化学反应的方向和限度、化学反应的速率和机理以及物质的微观结构与宏观性质的关系等重大问题, 物理化学是化学学科的理论核心。1877 年 W.Ostwald 和 J.H.van't Hoff 合作创办了《物理化学杂志》, 标志着这个分支学科的形成。随着电子技术、计算机、微波技术等的发展, 化学研究如虎添翼, 空间分辨率已达 10^{-10}m , 这是原子半径的数量级, 时间分辨率已达飞秒级 ($1\text{fs}=10^{-15}\text{s}$), 这和原子世界里电子运动速度差不多。肉眼看不见的原子借助于仪器的延伸已经变得可以摸得着, 看得见的实物, 微观世界的原子和分子不再那么神秘莫测了。

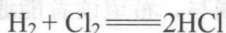
在研究各类物质的性质和变化规律的过程中, 化学逐渐发展成为若干分支学科, 但在探索和处理具体课题时, 这些分支学科又相互联系、相互渗透。无机物和有机物的合成总是研究的起点, 在进行过程中必定要靠分析化学的测定结果来指示合成工作中原料、中间体、产物的组成和结构, 这一切当然都离不开物理化学的理论指导。

化学学科在其发展过程中还与其他学科交叉结合形成多种边缘学科, 例如生物化学、环境化学、农业化学、医学化学、材料化学、地球化学、放射化学、激光化学、计算化学、星际化学等。在 21 世纪的今天, 社会需要化学科学做什么? 化学工作者能为社会做哪些贡献? 这是世人关心热门话题。

1.3 化学变化遵循的基本规律

化学变化以化学反应为基础。参与化学反应的反应物性质和状态可以千差万别, 控制化学反应的外界条件(如温度、压强等)也可以是各种各样, 但所有的化学反应都遵循以下基本规律:

• **化学反应遵守质量守恒定律** 化学变化是反应物的分子, 通过旧化学键破坏和新化学键形成重新组合的过程。例如氢气在氯气中燃烧生成氯化氢气体, 在燃烧过程中氢分子的 H—H 键和氯分子的 Cl—Cl 键断裂, 氢原子和氯原子通过形成新的 H—Cl 键而重新组合生成氯化氢分子。在化学反应过程中, 原子核不发生变化, 电子总数也不改变, 因此, 在化学反应前后, 反应体系中物质的总质量不会改变, 即遵守质量守恒定律。这条定律是组成化学反应方程式和进行化学计算时的依据。氢气在氯气中的燃烧反应, 可表示为

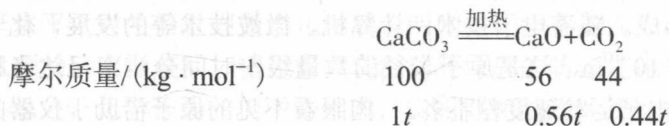


在日常生活中物质的质量单位通常采用千克(kg)或克(g)表示。由于化学中所涉及的原子、分子等微粒,质量大都在 10^{-26} kg 数量级,即使是蛋白质、核酸等大分子,一个分子的质量也大都在 10^{-20} kg 以下,目前在一般条件还不能直接进行称量。为此,在化学中采用大量微粒的集合体为基本量的方法来解决这个问题,“物质的量”就是化学中常用的一个这类的物理量。国际单位制(SI)中规定的物质的量的基本单位为摩[尔],其符号为 mol,它的定义为:摩[尔]是一系统的物质的量,该系统中所包含的微粒数目与 12g 碳($^{12}_6\text{C}$)的原子数目相等,这个系统物质的量为 1 摩[尔](1mol)。根据实验测定 12g $^{12}_6\text{C}$ 中含有的原子数目是 6.022×10^{23} 个,这个数称为阿伏伽德罗常数(N_A)。

摩[尔](mol)是物质的量的单位,而不是质量单位。物质的量、物质的质量与摩尔质量之间的关系可用下式表示

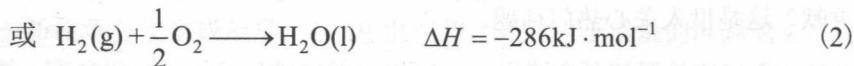
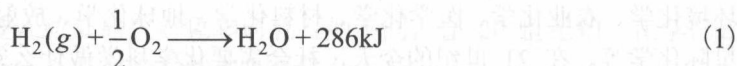
$$\frac{\text{物质的质量}}{\text{摩尔质量}} = \text{物质的量}$$

摩[尔]这个单位的应用为化学计算带来了很大方便。化学反应方程式中,反应物和生成物之间的质量关系比较复杂,而从摩[尔]单位看则很简单。例如



通过上面化学反应方程式和有关化合物的摩尔质量就很容易看到 1t 碳酸钙在完全分解时应得到 0.56t 氧化钙和 0.44t 二氧化碳。

• **化学变化都伴随着能量变化** 在化学反应中,断裂化学键需要吸收能量,形成化学键则放出能量,由于各种化学键的键能不同,所以当化学键改组时,必然伴随有能量变化。在化学反应中,如果放出的能量大于吸收的能量,则此反应为放热反应,反之则为吸热反应。



式中,(g)和(l)分别代表物质处于气态和液态,若是固态,则用(s)代表。第(1)式在右边写 +286kJ,表示在生成 1mol $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 时有 286kJ 热产生,这是放热反应。这种写法直观,容易理解。但化学专业书刊中都按第(2)式书写,因为化学反应方程式的着眼点是质量守恒,一般不把原子结合的变化和热量变化用加号连在一起,其次对一个化学反应而言还有其他的物理量需要注明,而 ΔH 的数值又随温度,压力的不同而不同,因此用第(2)式表示为宜。请注意,这两式的+、-号恰相反, ΔH 代表生成物的 H 值与反应物的 H 值之差, ΔH 为负值,即生成物的 H 值小于反应物的 H 值,那么体系就是放热;反之 ΔH 为正值,即生成物的 H 值大于反应物的 H 值,所以体系要吸热。还有 ΔH 的单位不是 kJ,而是 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,在此 mol^{-1} 是代表“每摩[尔]这样的反应”而不是指每摩[尔] H_2O 或每摩[尔] H_2 或每摩[尔] O_2 ,所以若有 2mol H_2 和 1mol O_2 起反应,其 ΔH 值则为 $-572\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

本书以当今社会各界共同关心的环境、能源、材料、生命、国防和军事等热门话题为经线,以化学基本概念为纬线进行编写。希望读者能通过化学事例了解自然科学在社会发展中的地位和作用,自然科学和社会科学的相互依存,以利于科学文化素质的提高。

思考题

1-1 下列几种变化, 哪些属于化学变化? 哪些属于物理变化?

- (1) 铁的生锈 (2) 从海水晒盐
(3) 蜡烛燃烧 (4) 蔗糖溶于水中

1-2 下列说法是否合理? 请举例说明。

- (1) 发展农业最需要的化学产品有化肥、农药和塑料薄膜等。
(2) 化学是污染环境的祸首, 所以必须限制发展。
(3) 化学在科技发展中, 处于中心位置。
(4) 我们生活在“化学世界”里。

1-3 D.I.Mendeleev 发现元素周期律时知道多少种元素? 现在知道人们发现了多少种元素? 以后是否还能发现新元素?

1-4 判断下列几种说法是否正确, 并说明理由。

- (1) 原子是化学变化中最小的微粒, 它由原子核和核外电子组成。
(2) 相对原子质量就是一个原子的质量。
(3) 4g H_2 和 4g O_2 所含分子数目相等。
(4) 0.5mol 的铁和 0.5mol 的铜所含原子数相等。
(5) 物质的量就是物质的质量。
(6) 化合物的性质是元素性质的加合。

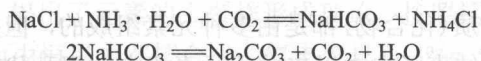
1-5 硫酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、碳酸氢铵 NH_4HCO_3 和尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 三种化肥的含氮量各是多少? 哪种肥效最高?

1-6 10g NaOH 配制成 1L 溶液, 求该溶液的浓度(单位: $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$); 若从中取出 25ml , 其浓度是多少? 其中有多少摩尔的 Na^+ ?

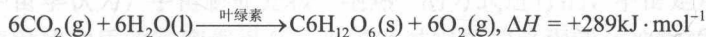
1-7 实验室常用 36.5% 的盐酸溶液, 密度为 $1.19\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 问该溶液的浓度(单位: $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 是多少?

1-8 H_2 和 O_2 化合生成 H_2O 的过程中, 哪些化学键断裂? 哪些化学键生成?

1-9 碳酸钠 Na_2CO_3 俗称纯碱, 也叫苏打, 它是一种用途甚广的化工原料, 在国民经济和社会发展的统计公报中, 常用 Na_2CO_3 的产量作为工业生产发展的指标之一。 Na_2CO_3 可以用 NaCl , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 和 CO_2 为原料, 按下列化学反应方程式制造。那么每生产 100 吨纯碱, 理论上需要多少吨 NaCl 为原料? 同时还能得到多少吨 NH_4Cl ?



1-10 绿色植物在太阳光作用下, 借叶绿素可以将空气中的 CO_2 和 H_2O 转变为葡萄糖, 同时放出 O_2 , 这个过程叫光合作用, 可以用下列化学方程式表示



这是生命世界最重要的最基本的化学反应之一。按此化学方程式计算, 每生成 100kg , 需要吸收多少千焦太阳能?

(西安交通大学 唐玉海)

第2章 化学基础知识

每当我们仰望美丽的星空，常常会产生无限的遐想，宇宙是由什么组成的？人类居住的地球又是由什么组成的？

丰富多彩的物质世界尽管外表形形色色，变化无穷，但其内部组成都是统一的，一切物质都具有相同的、最简单的组成部分或单元，那就是元素、原子和分子。正确地掌握这三个化学中最基本的概念，是迈进科学大门的基础。

2.1 元素的起源与合成

自古以来，人们就力求了解世间万物的起源。我国古代流传的许多美丽动人的神话，诸如盘古开天地、女娲补天、后羿射日、精卫填海等，都是在描述地球的起源和物质的来源。公元前4世纪或更早诞生于中国的阴阳五行学说，认为万物是由金、木、水、火、土这五种要素组合而成的，并且五行可以由阴、阳两气相互作用结合。而古希腊的恩培多克勒(Empedokles, 公元前490~前435)提出了与“五行说”相似的“四元素说”，认为万物都是由“水、火、土、气”四种元素按不同比例组成的，通过爱和憎两种成分(相当于中国的阴和阳)互相结合或分离，从而引起物质的变化。亚里士多德(A.G.P.Aristotle, 公元前384~前323年)继承了“四元素说”，但他认为还必须增加第五个元素，即“精英元素”，或称“第五原质”(意为无处不在的元素)，而且“元素能按任何比例结合，构成了各种各样的微粒，从而组成世间万物”。

“近代化学之父”拉瓦锡(A.L.Lavoiser, 1743~1794)通过大量科学实验，抓住了元素在化学反应中不能分解和转化的客观特征，首次给元素下了一个科学的定义：

元素是用任何方法都不能再分解的简单物质。

他认为各种复杂的物质(化合物)都是由多种元素组成的，但并不是包含所有元素。近代科学元素学说的建立，结束了自古以来关于元素概念的混乱状态。元素学说以一种崭新的面貌进入了科学的殿堂，成为现代化学理论的起点，完成了人类元素认识史上的一次质的飞跃。

2.1.1 元素的起源

化学起源于古代，各种元素是随着年代时间的推移而逐步被发现的。1750年之前，对“化学”发展的促进，主要为中国和印度，这期间化学的发展十分缓慢。1750年之后，由于进行了大量有目的的科学实验，现代化学的基本理念逐渐形成(表2-1)。

英国化学家玻意耳相信：“宇宙中由普遍物质组成的混合物的最初产物实际上是可以分成大小不同且形状千变万化的微小粒子。”在《怀疑的哲学家》(1661年)的书中，他提出“猜测世界可能由哪些基质组成是毫无用处的，人们必须通过实验来确定它们究竟是

表2-1 元素的发现史

时间	发现元素数目	发现的元素
史前	3	C, S, Au, 天然单质态存在
公元前 3000 年	5	Ag, Cu, Pb, Sn, Hg, 稳定矿石
公元前 1000 年	1	Fe, 需要高温还原
公元前 500 年	1	Zn, 大约 90% 纯度
至 1650 年	3	As, Sb, Bi (与 Pb 混合)
1650~1700 年	1	P (1669 年)
1700~1750 年	3	Co, Ni, 天然 Pt
1750~1775 年	7	H, N, O, Cl (气体); Ni, Mn, Bi (纯净)
1775~1780 年	5	Cr, Mo, W, Te, Ti (1910 年得以纯化)
1800~1825 年	18	Li, Na, K, Mg, Sr, Ba; Ce, Ir, Os, Pd, Rh, Zr; B, Cd, I, Se
1825~1850 年	9	Br, Si, Be, Al, V, La, Ru, Th, U
1850~1875 年	5	Rb, Cs, Ga, Tl, Nb
1875~1900 年	约 11	5 种稀有气体; F, Ge; Po Ra, Ac (放射性); 镧系元素
1900~1925 年	约 10	Rn, Ta, In, Hf, Re, Pa; 镧系元素
1925~1950 年	11	镧系; Tc, Pm, Fr, At; Np, Pu, Am, Cm, Bk (人造超铀元素)
1950~1975 年	10	最后 2 种纯化的稀土; 8 种人造元素
1975~1989 年	约 4	人造元素

注: 表中有元素重复出现现象, 后者出现表明其为纯化物

什么”。他把任何不能通过化学方法将其分解成更简单组分的物质称为元素。在他看来,“元素是指某种原始的、简单的、没有任何掺杂的物质。元素不能用任何其他物质造成,也不能彼此相互造成。元素是直接合成所谓完全混合物的成分,也是完全混合物最终分解成的要素”。后来的化学家拉瓦锡也把“元素或要素”定义为“分析所能达到的终点”。

对元素起源学说的科学探索始于 20 世纪初,可以说原子核科学的发展奠定了元素是在星际演化过程中由核合成反应形成的科学理论。

为了说明宇宙中元素的起源伽莫夫等人建立了元素的大爆炸形成理论。他们将宇宙膨胀和元素形成联系起来,提出了元素的大爆炸形成理论。按照这一理论,宇宙大爆炸初期生成的氦丰度为 30%,而由恒星内部核合成的氦丰度只有 3%~5%。其余的氦丰度只能来自宇宙大爆炸时的核合成,从而证实了热大爆炸宇宙学的理论预言。

热大爆炸宇宙学认为,宇宙膨胀是按“绝热”的方式进行的,宇宙是从热到冷演变的。在宇宙早期,辐射和物质的密度都很高,光子经过很短的路程就会被物质吸收或散射,然后物质再发射出光子,辐射和物质频繁地相互作用。宇宙对辐射是不透明的,达到热平衡状态,辐射符合黑体辐射的规律。当宇宙温度下降到大约 3000K 时,质子与电子结合成为氢原子,物质对辐射的连续吸收大大减少,物质跟辐射几乎不再相互作用了,宇宙对辐射变得透明,光子可以在空间自由地穿行。宇宙的热辐射主要是可见光和红外线。时至今日,由于宇宙膨胀带来的红移,使温度为 3000K 的宇宙辐射的最大强度移到微波波段,称为宇宙微波背景辐射。阿尔弗等人计算出与微波背景辐射相对应的温度为 5K 左右。1965 年,美国科学家彭齐亚斯和威尔逊在 7.35cm 波长上接收到了各方向的来自宇宙的微波噪声,噪声的信号强度等效于温度为 3.5K 的黑体辐射。微波背景辐射的发现,有力地支持了热

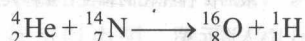
爆炸宇宙模型。因此，大爆炸宇宙学得到大多数科学家的认同。

2.1.2 人造元素的合成

有这么一个神话，说有一位国王，虽然已经从老百姓那里搜刮了许多黄金，可是他仍然贪得无厌地想得到更多的黄金，于是向神仙祈求，结果神仙给了他一个“点石成金”的手指头。只要是他用这个手指头摸过的东西都会变成黄金。他高兴极了，王宫里到处金光灿灿的。这时，他心爱的小女儿朝他跑来，他兴高采烈地抱起女儿。谁知那“点石成金”的手指头一碰到女儿，女儿也变成了金人一动不动了。直到这时，国王才明白，他虽然变成了世界上最富有的人，但也同时变成了世界上最孤寂的人！

当然，世界上并不存在什么“点石成金”的手指头。可是，自古以来，不论中外，许许多多的人都在寻找“点金石”（或叫“哲人石”），做着“点石成金”的美梦，探索种种“点石成金”的方法。如今，科学家真正实现了古人“点石成金”的梦想，这就是人造元素的合成。

1919年，英国科学家卢瑟福(D.Rutherford)发现，用 α 粒子(氦核 ${}^4_2\text{He}$)轰击氮时，氮原子核变成氧原子核，同时放出高速质子(${}^1_1\text{H}$)，第一次实现了人工核反应，反应式如下：



这是一件非常了不起的大事，把一种元素转变成另一种元素，不仅实现了古人的梦想，同时也加深了人们对元素本质的认识。在此之后，人们不但寻找自然界存在的元素，而且设法合成自然界不存在的新元素——人造元素。

1934年，劳伦斯(E.O.Rawrence)在回旋加速器中，用含有1个质子的氘原子核(${}^2_1\text{H}$)去轰击42号元素——钼，结果得到了43号新元素——锝。这是当时第一个未在自然界发现的人造新元素，后来人们从铀的裂变产物中发现了极微量的锝。用同样的方法，科学家合成了一个又一个人造元素，填充着元素周期表。到目前为止，得到世界各国科学家公认的元素已达111种。

1999年7月，从美国传出了一个震动整个科学界的消息，美国劳伦斯-利弗莫尔国家实验所的一个俄美联合科研小组成功合成了第114号元素，并设法使它存在了整整30s！此外他们还声称合成了3个第118号元素的原子，每个原子的原子核中带有118个质子和175个中子。这个新合成的超重元素几乎在顷刻之间就衰变成了本身也存在不了多久的第116号元素。不过，就是这短暂的瞬间，使它们成为迄今为止在地球上存在过的绝无仅有3个新原子。

他们的研究成果，还有待于世界各国科学家的进一步验证。如果得到证实，那么，人类对化学元素的认识又将向前跨进一大步。

2.2 原子论

虽然原子说和元素说的历史同样悠久，但自公元前5世纪以来的两千多年间，它们却始终互相隔离，以至于人们对原子的认识一直含糊不清。

伟大的物理学家牛顿是原子学说的拥护者。在《光学》中他阐述了他的原子思想：“在我看来，上帝在最初造物时，可能使用的是固态的、有质量的、坚硬的、不可穿透的和可运动的微粒；这些微粒的大小、形状、所具有的性质、在空间中的比例等，都最适合于他造物的目的；这些固态的初始粒子无比地坚硬，坚硬到绝不会磨损，不会破碎成小块；任何普通的力量都不可能把上帝第一次创造的初始粒子破开。”

18世纪，物理学家罗杰·约瑟夫·博斯科维奇在牛顿力学的框架中，以没有大小、只有力学作用的原子模型来说明已知的物理现象。丹尼尔·伯努利则在1738年首先于现在意义上提出了物质的原子结构的思想，并从分子运动推导出压强公式，由此揭开分子运动论的序幕。不过，直到19世纪，气体分子运动论才获得真正发展。在这一世纪，伟大的物理学家麦克斯韦与玻尔兹曼采用当时的原子模型，把气体看作由原子组成的分子的集合来处理，说明了气体的温度、压力等构成气体分子的一般表现，并由此创建了“统计力学”的分支。

2.2.1 近代原子论的创立与发展

拉瓦锡化学革命以后，人类不仅揭示了燃烧之谜，建立了科学的元素说，而且在思想方法和研究方法上也发生了根本性的变革，这给化学的迅猛发展注入了新的活力。化学开始从收集材料为特征的定性描述阶段，逐渐过渡到以整理材料、寻找化学变化规律为特征的理论概括阶段。定量分析方法的广泛应用，使化学家搞清了很多物质的组成和反应中各物质之间量的关系，进而陆续归纳出了一些基本的实验规律，如质量守恒定律、当量定律、定组成定律、气体分压定律等。这些规律的建立促使化学家进一步思考：为什么在化学反应中，物质的种类和性质都发生了变化，而反应前后物质的重量却不改变？为什么反应物间总是严格按照一定的比例形成新的化合物，而且各种物质的组成严格不变？是否由于反应前后存在着等量不变的微粒？为了揭示这些定律的内在本质和联系，必须用一种新的化学理论给予解释。

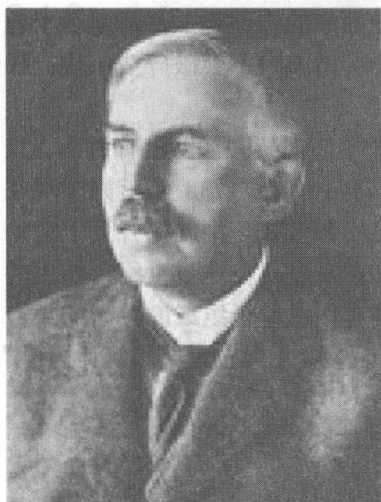
1807年，英国化学家道尔顿提出了原子论，其基本要点是：元素是由极其微小的、看不见的、不可再分割的原子组成；原子既不能创造和毁灭，也不能转化，所以在一切化学反应中都保持自己原有的性质；同一种元素的原子形状、质量及性质相同，而不同元素的原子形状、质量及性质则各不相同，原子的质量（而不是形状）是元素最基本的特征；不同元素的原子以整数比例相结合，形成化合物。化合物的原子称为复杂原子，它的质量为所含各种元素原子质量之总和。同种化合物的复杂原子，其性质和质量也必然相同。1808年正式发表了《化学哲学的新体系》一书，由此近代原子理论得以建立。同时，道尔顿以氢的相对原子质量为1作标准，发表了包括20种元素的相对原子质量表，还设计了一套符号来表示简单原子和复杂原子。



道尔顿(J.Dalton)
英国，1776~1844

道尔顿的原子论为近代科学原子论的创立构建了新的框架，是继拉瓦锡化学革命之

后，化学发展史中又一座光辉灿烂的里程碑。它结束了元素说与原子说旷日持久的隔离状态，第一次把它们融合为一个统一的理论体系。



卢瑟福(D.Rutherford)
英国, 1871~1937

19世纪末，放射性、电子以及X射线的发现，向道尔顿“原子不可再分”的思想提出了挑战。1903年，英国著名的物理学家卢瑟福(D.Rutherford)和化学家索迪(F.Soddy)合作研究了铀、钍和镭等元素的放射性现象，发现了镭发出的 α 射线(后来发现 α 粒子就是带正电的氦离子)、 β 射线和 γ 射线，并发现镭放射出 α 粒子以后，变成了另一种元素氡。于是，他们大胆地提出了具有革命意义的元素蜕变理论，从而彻底推翻了道尔顿原子学说中关于原子和元素是不可分割和不可转化的观念。

那么，一种元素是怎样变成另一种元素的呢？1911年，卢瑟福在进行了著名的 α 粒子散射实验以后，提出了“行星式”的原子结构模型：在原子的中心有一个带正电的原子核，它的质量几乎等于原子的全部质量，电子在它的周围沿着不同的轨道运转，就像行星环绕太阳运转一样。由于电子在运转时产生的离心力和原子核对电子的吸引力达到平衡，因此电子能够与原子核保持一定的距离，正像行星和太阳保持一定的距离一样。原子越重，带正电的原子核越大，电子数也越多。

这一模型对于认识原子结构有着十分重要的意义，它第一次打开了原子世界的神秘大门。卢瑟福由于在放射性元素和原子结构方面的研究中所做出的卓越贡献荣获了1908年的诺贝尔化学奖。在发表授奖演说时，卢瑟福幽默地说：“我一生中经历过不同的变化，但最快的变化要算这一次了——竟从一个物理学家一下子变成了化学家。”正是在这两个学科互相渗透的交叉点上，物理学和化学碰撞出创造性的火花，开辟了更加广阔的研究领域。

在行星式原子模型的基础上，1913年，玻尔(N. Bohr)将当时物理学上的量子理论、光子学说等重大成果应用于原子结构的研究，提出了新的原子结构模型——玻尔模型，其要点为：

原子核外的电子只能在某些特定的轨道上运动，这些轨道应该符合量子论推导出来的量子化条件；这些符合量子化条件的轨道称为稳定轨道，它具有固定的能量；电子在稳定轨道上运动时，并不发射也不吸收能量，只有当电子从一个轨道到另外一个轨道时才发射或吸收能量。电子在离核越远的轨道上运动，能量越大。

玻尔理论成功地解释了原子的发光现象及氢原子光谱的规律性。但因无法解释这种光谱的精细结构，也不能解释多电子原子、分子或固体的光谱，因而仍然有待完善。



玻尔(N. Bohr)
丹麦, 1885~1962

2.2.2 现代原子结构理论

20世纪20~30年代,伴随着质子、中子等一系列重大的发现,人们对原子的组成有了新的认识。原子是由电子、质子和中子三种基本粒子组成的,其中质子和中子靠核力组成原子核,原子核靠静电引力将电子束缚在核外的一定空间中运动。在一个中性原子中:

核内质子数=核电荷数=核外电子数=原子序数

原子结构的近代研究发现,核外电子的运动与宏观物体运动有着完全不同的特征和规律。电子和光一样,除有粒子性外还有波动性(即波粒二象性)。因此,电子不会有确定的轨道。那么怎样来描述电子等微粒的运动状态呢?1926年,奥地利物理学家薛定谔(E.Schrodinger)建立了著名的微观粒子的波动方程——薛定谔波动方程:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0$$

式中, ψ 为波函数, E 是总能量, 等于势能与动能之和; V 是势能; m 是电子的质量; h 是普朗克常数; x 、 y 和 z 是空间坐标。这个偏微分方程的数学解很多, 但从物理意义上

看, 这些数学解不一定都是合理的。为了得到电子运动状态合理的解, 必须引用只能取某些整数值的三个参数——量子数。这三个量子数可取的数值及它们的关系如下:

主量子数 $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

角量子数 $l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$

磁量子数 $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$

每一组特定的 n 、 l 、 m 得出一个相应的波函数 $\psi_{n,l,m}$, 它表示了原子中核外电子的一种运动状态, 习惯上称为原子轨道。还有一个量子数即自旋量子数 m_s ($m_s = \pm 1/2$) 是根据后来的理论和实验的要求引入的。因为电子在核外运动时, 除绕核作高速运动之外, 还有自身的旋转运动(通常用“ \uparrow ”和“ \downarrow ”表示自旋方向相反的两种运动状态)。有了这样四个量子数, 就可以确定电子在原子核外的运动状态了。

薛定谔方程解决了电子在原子核外可能存在的各种运动状态的问题, 那么, 原子中的电子是如何分配在这些运动状态(原子轨道)中, 即电子在原子核外是怎样排布的呢? 20世纪30年代, 著名化学家鲍林根据光谱实验的结果, 提出了多电子原子中原子轨道的近似能级组(表2-2)。表中的能级顺序表示价电子层填入电子时对应的各能级的能量。能量相近的能级划为一组, 称为能级组。通常分为七个能级组(相对应于元素周期表中的七个周期), 依1, 2, 3, ...能级组的顺序, 能量逐渐增加。能级组之间的原子轨道能量差较大, 而能级组内各原子轨道能级间的能量差较小。



薛定谔(E.Schrodinger)
奥地利, 1887~1961

表 2-2 原子轨道近似能级组与元素周期表的关系

电子层	能级组	周期数
1s	第一能级组	第一周期