

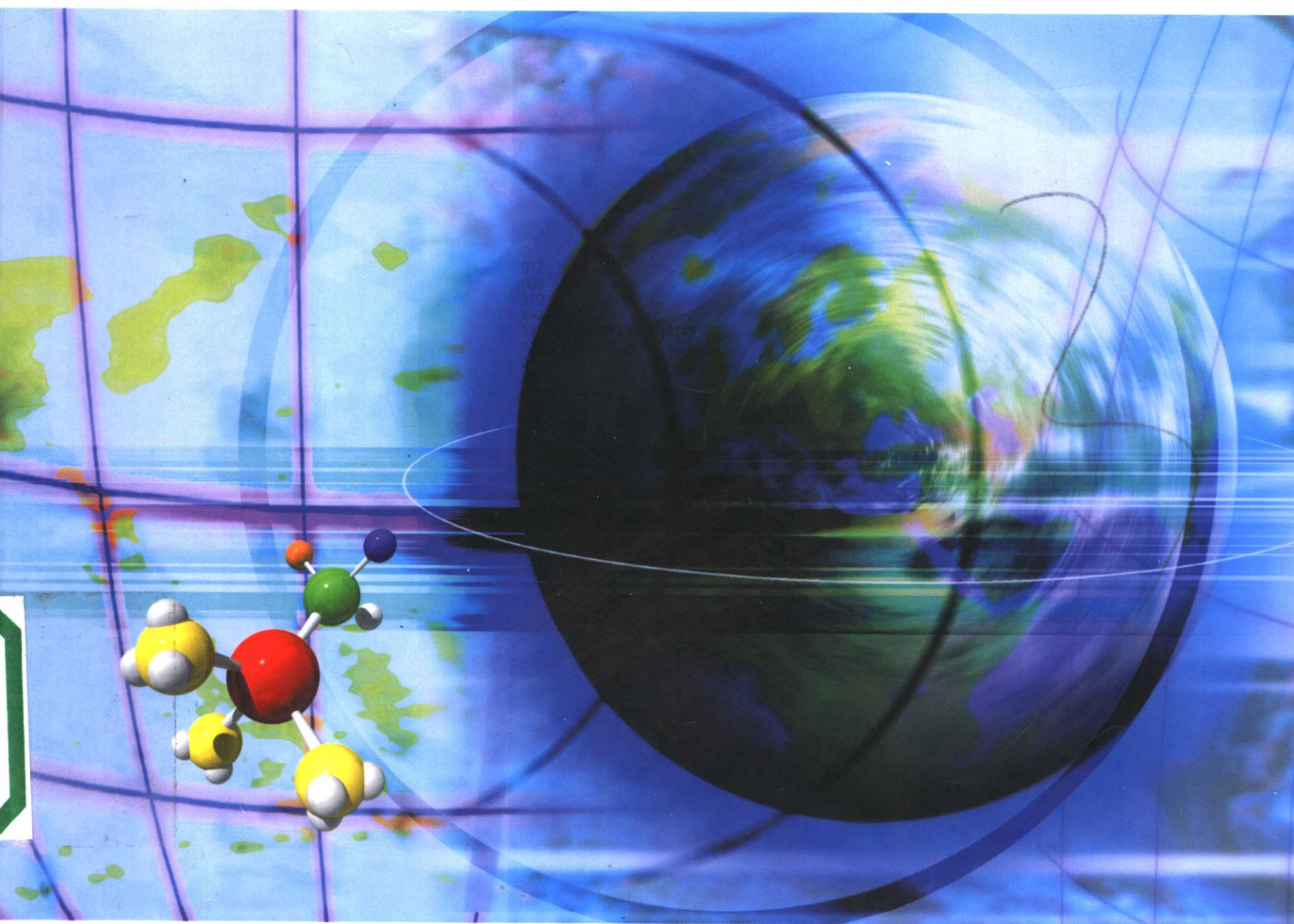
高等学校理工科规划教材

国家工科基础化学
课程教学基地教材

化学与现代社会

HUAXUE YU XIANDAI SHEHUI

大连理工大学普通化学教研组 组编



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

高等学校理工科规划教材

化学与现代社会

大连理工大学普通化学教研组 组编
赵艳秋 王金惠 宋志民 编著

大连理工大学出版社

© 大连理工大学普通化学教研组 2006

图书在版编目(CIP)数据

化学与现代社会 / 大连理工大学普通化学教研组组编. —大连:大连理工大学出版社, 2006. 2

ISBN 7-5611-3103-8

I. 化… II. 大… III. 化学—普及读物—高等学校—教材 IV. O6-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 055439 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail: dulp@ dulp. cn URL: http://www. dulp. cn

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:14 字数:323 千字

印数:1~3 000

2006 年 2 月第 1 版

2006 年 2 月第 1 次印刷

责任编辑:刘新彦 于建辉

责任校对:欣 宇

封面设计:宋 蕾

定 价:19.80 元

前 言

我们知道,化学是在原子、分子水平上研究物质的组成、结构、性质、变化及其内在联系和外界变化条件的科学。就所研究物质的尺度来说,化学所研究的颗粒物质的尺寸在 $10^{-10} \sim 10^{-5}$ 米的范围内。毫无疑问,化学通过探索这一尺度范围的物质变化规律,为人类认识自然、改造自然提供了强有力的武器。化学家把大自然中取得的原料经过各种化学转化,得到比原料更好的产品,甚至是自然界中完全没有的新物质,使它们为人类社会服务。可以想象,化学科学在人类社会的发展过程中做出了多么重要的贡献!从金属的冶炼、水的纯化,到化肥及农药的使用、高分子材料的研究,甚至计算机芯片的制造,化学科学在解决人类生存与发展的每一个重大问题中都发挥了重要作用。即使到了今天,人类社会所面临的环境污染、资源能源危机等一系列难题的解决,也都要依赖于化学科学的发展,从而给出解决这些难题的对策。

中学阶段我们已经掌握了一些基本的化学知识,为进一步学习化学奠定了基础。本书旨在帮助读者系统地掌握化学科学的基本原理,理解化学家是以什么样的思想和方法去研究问题,了解化学从过去到未来在解决人类社会所面临的种种难题中是如何发挥其独特作用的,进而树立科学的世界观和方法论,提高自身的科学素质。

本书是在吸取国内外同类教材精华的基础上,结合教研组多年来的教学实践编写而成,是集体智慧的结晶。在内容安排

上,本书按当今社会公众关注的能源、材料、环境、生命和人类健康等热点问题设章,化学基础知识渗透其中,降低纯理论的深度和难度,重点叙述化学在能源的开发与利用、提供新材料、防治大气与水体污染以及在人类健康和认识生命本质等方面所作出的贡献,突出把化学放在政治、经济和社会等领域中审视其重要价值。使学生了解化学在社会发展中的作用和地位,认识自然科学与社会科学的相互联系,培养学生的科学社会观,增强学生的社会责任感,培养学生的化学意识,完善知识结构,从而高效率地工作,高质量地生活。

本书还穿插融会与正文有密切联系的“科学家启示录”和“身边化学点滴”两个专栏。通过介绍科学家的品质与业绩,让学生领悟科学家成功的秘诀和做人的哲理,这对启迪学生人生,培养其人文素质是十分有益的。另外,通过列举化学在我们身边的应用实例,使本书内容贴近生活,从而激发学生学习化学的兴趣及求知欲望。

本书全面执行中华人民共和国国家标准 GB 3100~3102—93《量和单位》所规定的符号和单位。在概念、名词术语以及语言叙述上尽可能准确、严密、科学。

参加本书编写的人员有:赵艳秋(执笔第1、2章及“科学家启示录”和“身边化学点滴”)、宋志民(执笔第3、4章)和王金惠(执笔第5、6章)。由赵艳秋和王金惠策划和统稿。本书的编写和出版得到了大连理工大学教务处、化工学院、化学系及无机化学教研室的关心、支持和帮助,在此一并致谢。

本书的编者要特别感谢主审:大连理工大学辛剑教授,她对本书稿件进行了逐句审阅并提出许多宝贵意见和建议,才使本书以今天的面貌问世。

鉴于本书内容涉及面极为广泛,文献资料、信息来源颇多,因此收集、加工、取舍难度较大,加之作者水平有限,疏漏、不妥乃至错误之处在所难免,真诚希望专家和读者不吝指正。同时对本书中所引用文献资料的中外作者致以衷心的感谢!

编著者
2006. 2

目 录

第1章 绪 论 / 1

- 1.1 化学研究的对象与内容 / 1
- 1.2 化学发展简史 / 2
- 1.3 大学生学习化学的必要性 / 6
 - 1.3.1 化学与当代人类生活 / 6
 - 1.3.2 化学与现代社会发展 / 7

第2章 化学与能源 / 10

- 2.1 能源概述 / 10
 - 2.1.1 能源及其分类 / 10
 - 2.1.2 人类利用能源的历史、现状及前景展望 / 11
- 2.2 化学反应热与能量转化 / 13
 - 2.2.1 基本概念 / 13
 - 2.2.2 化学反应热与焓 / 17
 - 2.2.3 化学反应热的理论计算 / 20
 - 2.2.4 能量转化与热力学第二定律 / 23
- 2.3 化石燃料 / 25
 - 2.3.1 煤炭与洁净煤技术 / 25
 - 2.3.2 石油 / 28
 - 2.3.3 天然气与可燃冰 / 30
- 2.4 核能 / 31
 - 2.4.1 原子核 / 32
 - 2.4.2 核能的释放及利用 / 35
- 2.5 电极电势与化学电源 / 41
 - 2.5.1 氧化还原反应及氧化数 / 41
 - 2.5.2 原电池和电极电势 / 42
 - 2.5.3 浓度或分压对电极电势的影响 / 47
 - 2.5.4 化学电源 / 49
- 2.6 现代新能源 / 55
 - 2.6.1 太阳能 / 56
 - 2.6.2 氢能 / 57
 - 2.6.3 生物质能 / 58
- 2.7 中国能源现状与未来 / 59
 - 2.7.1 中国能源现状及面临的挑战 / 59
 - 2.7.2 我国能源未来与可持续发展 / 63

思考题与习题 / 65

第3章 化学与材料 / 67

- 3.1 物质结构基础 / 68
 - 3.1.1 原子核外电子运动状态 / 68

- 3.1.2 元素周期律 / 72

- 3.1.3 化学键 / 78

- 3.1.4 分子间力与氢键 / 85

- 3.1.5 晶体结构 / 88

3.2 金属材料 / 91

- 3.2.1 合金 / 92

- 3.2.2 新型金属材料 / 93

- 3.2.3 金属腐蚀及防护 / 97

3.3 无机非金属材料 / 102

- 3.3.1 传统无机材料 / 102

- 3.3.2 新型无机材料 / 103

3.4 有机高分子材料 / 110

- 3.4.1 有机高分子化合物概论 / 111

- 3.4.2 高分子化合物的结构和性能 / 112

- 3.4.3 重要的高分子材料 / 114

- 3.4.4 功能高分子材料 / 117

3.5 复合材料 / 120

- 3.5.1 复合材料的技术性能 / 121

- 3.5.2 重要的复合材料 / 122

思考题与习题 / 123

第4章 化学与大气 / 126

4.1 大气结构与组成 / 126

- 4.1.1 大气结构 / 126

- 4.1.2 大气组成 / 127

- 4.1.3 气体分压 / 128

4.2 大气化学反应 / 129

- 4.2.1 光化学反应 / 130

- 4.2.2 化学反应速率 / 133

4.3 大气污染 / 139

- 4.3.1 大气污染物及污染源 / 139

- 4.3.2 大气环境标准 / 140

- 4.3.3 大气污染及防治 / 141

思考题与习题 / 150

第5章 化学与水 / 152

5.1 水的基础知识 / 152

- 5.1.1 水分子结构 / 152

- 5.1.2 水的物理、化学性质 / 153

- 5.1.3 水的相图 / 155

5.2 水溶液的平衡 / 156

- 5.2.1 化学平衡 / 157
- 5.2.2 稀溶液的依数性 / 160
- 5.2.3 弱电解质溶液的平衡与缓冲溶液 / 163
- 5.2.4 多相离子水溶液平衡 / 167
- 5.2.5 配合物溶液 / 169
- 5.3 水体环境 / 173
 - 5.3.1 水资源与水体污染 / 173
 - 5.3.2 水质指标 / 174
 - 5.3.3 水体污染物及其危害 / 176
 - 5.3.4 水体污染的治理 / 179

思考题与习题 / 180

第6章 化学与生命·健康 / 182

- 6.1 DNA与生命 / 182
 - 6.1.1 核酸与生命遗传 / 182
 - 6.1.2 DNA重组与基因工程 / 186

- 6.2 饮食与健康 / 188
 - 6.2.1 营养与健康 / 188
 - 6.2.2 食品中的化学物质 / 195

思考题与习题 / 200

附录 / 201

- 附录A 有关计量单位 / 201
- 附录B 常见的无机物质和C₁、C₂有机物的标准摩尔生成焓 / 204
- 附录C 标准电极电势(298.15 K, 100 kPa) / 209
- 附录D 酸、碱的解离常数 / 211
- 附录E 溶度积常数(298.15 K) / 212
- 附录F 配离子的稳定常数* / 213
- 附录G 元素周期表 / 214

参考文献 / 215

科学家启示录

- 诺贝尔 / 8
- 焦耳 / 19
- 卢瑟福 / 34
- 居里夫人 / 40
- 能斯特 / 49
- 法拉第 / 55
- 门捷列夫 / 77

- 鲍林 / 84
- 戴维 / 101
- 道尔顿 / 129
- 泽韦尔 / 138
- 范特霍夫 / 162
- 阿仑尼乌斯 / 166
- 霍奇金 / 194

身边化学点滴

- 人体体温的调节 / 22
- 放射疗法 / 39
- 心跳与心电图技术 / 48
- 核自旋和磁共振成像技术 / 71
- 液晶与液晶显示器 / 90
- 生命体中的催化剂——酶 / 137

- 催化转化器 / 149
- 人体血液中氧和二氧化碳的交换 / 159
- 牙齿的腐蚀和氟化 / 172
- “脑白金”真面孔 / 194
- 无机化合物药物的奇迹——锂药物 / 199

化学发展到今天,已经成为人类认识物质自然界,改造物质自然界,并从物质和自然界的相互作用得到自由的一种极为重要的武器。就人类的生活而言,农轻重,吃穿用,无不密切地依赖化学。在新的技术革命浪潮中,化学更是引人注目的弄潮儿。

——卢嘉锡

第1章 绪 论

当你准备去一座城市旅行时,你会经常习惯地看一下地图,或者翻看介绍这座城市的书,希望得到一些有关这个城市的信息。同样,在踏上学习化学的旅途之前,首先了解化学总的概貌应该是很有益处的。事实上,你也有可能要问,为什么我们要做这次旅行?下面,我们就简单介绍一下化学研究的对象与内容、化学发展简史以及大学生学习化学的必要性。

1.1 化学研究的对象与内容

世界是由物质组成的。只要我们仔细观察一下周围的世界,就会发现各种形式的物质都在变化之中。你是否曾经惊奇或疑惑:秋天树叶为什么会变黄?铁为什么会生锈?电池是怎样产生电的?食物在低温下保存为什么会减慢其腐败?人身体如何利用食物维持人的生命?诸如此类问题很多。化学可以提供这些问题的答案。因为化学是一门研究物质的性质和物质发生变化的科学。简单地说,化学是研究化学变化(反应)的学科。在化学变化过程中,物质的组成和结合方式都发生了改变,生成了新的物质,表现出与原物质完全不同的物理性质和化学性质。要研究化学反应,首先要在原子、分子水平上研究参与反应的物质的组成、结构、性质,最终要对变化本身的规律进行研究,即反应能否发生、程度如何,反应进行的快慢等。

例如,在研究氢气(H_2)和氧气(O_2)能否发生反应时,通过化学热力学研究知道,这两种气体是可以发生反应的,但在通常情况下,它的反应速率极慢(106 亿年才生成 0.15% 的 H_2O),但在 $600^\circ C$ 或有催化剂存在的情况下,反应很快就完成而生成水。

化学变化的过程实际上是分子、原子或离子因核外电子运动状态的改变而发生分解和化合的过程。当然,这种变化常会伴有一些物理变化发生,如光、电和热的变化。因此,在研究物质化学变化的同时,也必须注意研究变化过程中的能量关系等。对这些相关变化的研究有时会反过来促进化学学科自身的发展,如研究化学反应产生电流的现象,促进了电化学的发展,对化学反应热的研究又产生了热化学等。

注意,化学研究的物质是只有静止质量并占据一定空间的实物,而非物质的另一基本形态场。它涉及存在于自然界的物质——地球上的矿物,空气中的气体,海洋里的盐和水,在动物身上找到的化学物质等——以及由人类创造的新物质。它涉及自然界的变化——因闪

电而着火的树木,与生命有关的化学变化等——还有那些由化学家发明和创造的新变化。

综上所述,化学是一门在原子、分子层次上研究物质的组成、结构、性质、变化规律以及在变化过程中的能量转换关系的科学。简而言之,化学是以研究物质的化学变化为主的科学。

1.2 化学发展简史

化学是最古老的科学之一,这门科学发展到今天经历了复杂而漫长的过程。随着时间的推移,化学家们所掌握的物质种类、物质的制取方法以及化学的研究范围都在逐步扩大。同时,关于物质组成和结构、化学变化过程中的理论和学说也在不断扩展和逐步完善。在正确评述化学的进展和化学家的成就时,必然脱离不了当时的时代背景,包括社会形态、生产力的发展水平以及与当时相应的其他学科的发展水平,即当时整体科学发展的水平等。

化学在人类进步的历史上发挥了非常重要的作用。化学经历了史前的实用技术阶段(17世纪中叶以前)到以原子-分子论为代表的近代化学阶段(17世纪后半叶到19世纪末),以及以现代科学技术为基础,以物质结构理论为代表的现代化学阶段(20世纪以来)。^①

早期的化学只是一门实用技术,化学知识来源于具体工艺过程的经验。主要包括炼丹术、炼金术以及医药化学的萌芽。原始人类由野蛮进入文明是从用火开始的。人们用火煮食、取暖,同时借助燃烧这一化学现象,制作陶器、冶炼青铜、染色、酿造等。

古时,人们也曾企图追溯物质变化的本源及其变化规律。大约公元前4世纪,中国就有了阴阳五行之说,认为物质都是由金、木、水、火、土五种基本物质组合而成的。而五行则是由阴阳二气相互作用而成的。这实际上是元素概念的萌芽,也是朴素的唯物主义自然观。在古希腊也有类似于五行的四元素说,即认为万物是由火、土、水、气四种元素所组成。

中国秦汉时期,炼丹术极其盛行,炼丹家企图在炼丹炉中炼出长生不老之药或贵重金属,如金、银等。炼丹家有目的地将各类物质进行搭配烧炼,在过程中使用了燃烧、煅烧、蒸馏、升华、熔融、结晶等工艺,同时也了解了很多物质的性质。实际上,这就是科学实验的雏形。

公元7~9世纪,相当于我国的隋唐时期,中国的炼丹术传入阿拉伯。东方文化与西方文化相结合,形成了阿拉伯炼金术。在阿拉伯语中,炼金术是“alkimiya”。有些史学家经过考证,认为这个词就是由中国的炼丹术衍生而来的。“al”是阿拉伯语的冠词,“kim”和“kimiya”的语音类似于中国字“金”和“金液”的语音。后来,炼金术传入欧洲时,成为“alchemy”。现在化学一词“chemistry”即源于此。

13世纪末,相当于我国的元朝,欧洲进入了文艺复兴时期,在社会生活各方面引起了深刻的变革。自然科学受其影响也出现了一批革新的科学家,这不仅动摇了宗教经院哲学,也推动了社会生产的发展。到了16世纪,欧洲化学除冶金方面有显著发展之外,还形成了另一个新的发展方向——医药化学。在中国,炼丹术也逐渐被本草学所取代。明代李时珍所撰写的《本草纲目》全书达190多万字,除记载了许多植物的药用价值外,还对许多无机物作

^① 关于化学史的分期问题,还有不同看法。本书采用《化学发展简史》(《化学发展简史》编写组,北京:科学出版社,1980)一书观点。

了分类,记载了它们的性质和作用。明代宋应星所著《天工开物》详尽地记录了当时的手工业和化学生产过程,如金属冶炼、制瓷、造纸、染色、酿造、火药等。

总之,这一时期明显的特点是:实用性、经验性和零散性。化学作为一门科学尚未诞生。

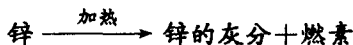
17世纪中叶,相当于我国的清朝初年,资本主义迅速发展,物质变化的新知识层出不穷。与此同时,自然科学中的力学、数学、天文学和物理学等均取得了显著的进步。特别是当时的一些哲学家摆脱了经验哲学的束缚,论述了正确的科学研究方法。例如,培根(Bacon F)就曾指出:“一切知识来源于感觉,感觉是可靠的。科学在整理感性材料时,用的是归纳、分析、比较、观察和实验的方法。”“掌握知识的目的是认识自然,征服自然。”这些新的哲学思想无疑大大地推动了化学的发展。

近代化学阶段还可以分为前后两个时期。前期从1661年玻意耳(Boyle R)提出科学元素说,到1803年道尔顿(Dalton J)提出原子论之前,是近代化学的孕育时期。后期从原子学说的建立,到原子可分性的发展,属于近代化学的发展时期。

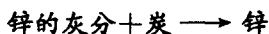
1661年,玻意耳在著名的《怀疑派化学家》一书中指出:“元素是由某些不由任何其他物质所构成的原始的、简单的物质或完全纯净的物质,它们是用一般方法不能再分解的更简单的物质。”这和五行说和四元素说有着本质的不同。玻意耳还指出:“化学的研究对象和任务就是要寻找和认识物质的组成和性质。”他不再把化学看成是一种以实用为目的的技艺,明确地把化学看成是认识自然的一门学科。恩格斯对此曾给予了高度的评价,指出:“是玻意耳把化学确立为科学。”

当然,在玻意耳所处的时代,不可能对元素给出确切的定义。现在我们对元素的定义是以原子结构为根据的。元素是具有相同核电荷数(质子数)的同一类原子的总称。例如,氧元素就是核电荷数为8的氧原子的总称。不同元素能化合而形成化合物。所谓单质,则是指由同一种化学元素的原子所形成的均匀物质。例如氧气(O_2)、石墨(C)、硫磺(S_8)等。一种元素可形成几种单质,例如,磷元素的单质有白磷(P_4)、黑磷和红磷。相对于元素和单质的定义来说,玻意耳所指的元素实际上是单质。

在这一时期,燃烧过程在生产中的普遍应用促使人们开始研究燃烧反应的本质。“燃素论”作为解释现象而提出来,是化学较早的重要理论之一。燃素论认为物质燃烧时生成称为燃素的流体和剩下的灰分,灰分等于原来物质减去燃素。运用燃素论,假如我们将所得到的灰分与另外的燃素结合起来,能重新得到原来的“含有燃素的物质”。例如,当锌在空气中加热时,就转变为“灰分”并生成燃素:



如果我们用富含燃素的物质来处理锌的灰分,应该能够回收锌。由于炭在燃烧时留下非常少的灰分,所以说炭是富含燃素的物质。如果锌的灰分用炭处理,能再生出锌。



燃素论预测了正确的结果,当锌的灰分在炭存在下加热时得到锌。当时燃素论可以解释和预测许多反应结果,18世纪的绝大多数化学家都承认燃素论。但是,18世纪后期,化学分析研究的结果和在气体实验基础上所获得的新的实验事实与燃素论产生了尖锐的矛盾。当氧气发现后,拉瓦锡(Lavoisier A L)应用氧气完成了许多实验,拉瓦锡通过这些实验驳斥

了燃素论。他经常使用天平,发现硫和磷在空气中的加热是增重的,更重要的是,他还发现化学反应或者其他过程,例如蒸馏,在密闭容器中进行时质量没有变化。因此,他的实验意味着燃烧过程并不包含燃素或者其他任何物质的损失。燃烧的实质是物质和空气中的氧气发生的化合反应。从此,氧化燃烧理论代替了燃素论,结束了燃素论达百年之久的统治,而且拉瓦锡还揭示了众所周知的质量守恒定律。恩格斯对此也有很高的评价,称赞“燃烧的氧化学说把过去建筑在燃素学说基础上倒立着的全部化学正立过来了。”因此,拉瓦锡被公认为“化学之父”和化学科学的奠基人。

19 世纪初,由于化学知识的积累和化学实验从定性研究到定量研究的发展,关于化合物的组成也初步得出了一些规律,如定组成定律(纯化合物中各元素质量分数是一定的)和倍比定律,而且当时已建立了在化学反应过程中质量没有变化的质量守恒定律。为了解释这些事实,道尔顿于 1803 年提出新的“原子论”,它与古代原子观不同,他认为元素是由不能再分割的原子所组成,一定元素的原子是等同的,质量也相同,不同元素的原子质量不同,原子不能创造也不能消灭,每种元素与其他元素化合时都是以原子为代表的最小单位一份一份地进行。道尔顿的原子论合理地解释了当时已知的一些化学定律,而且他还开始了原子量(相对原子质量)的测定工作,并得到第一张原子量表,为化学的发展奠定了重要的基础。化学由此进入了以原子论为主线的新时期。

虽然道尔顿的原子论对化学发展有重大贡献,但由于受当时科学技术发展水平的限制,及机械论、形而上学自然观的影响,它仍存在着一些缺点和错误。尤其是在揭示了原子内部结构之后,原子不可分割的论点明显地需要进行修正和补充。另外,他未能区分原子和分子,因此道尔顿的原子论与有些实验事实之间存在着一些矛盾。

1808 年,盖-吕萨克(Gay-Lussac J L)在研究气体反应时发现了气体化合体积定律:在同温同压下,气体反应中各气体体积互成简单的整数比。并且利用刚刚诞生的原子论加以解释,很自然地得出这样的结论:同温同压下的各种气体,相同体积内含有相同的原子数。根据这个观点就会得出“半个原子”的结论,例如,由一体积氧气和一体积氢气生成了两体积氯化氢,每个氯化氢都只能是由半个原子的氯和半个原子的氢所组成,这与原子不可分的观点直接对立,此问题成为盖-吕萨克与道尔顿争论的焦点。为了解决这个矛盾,1811 年,阿伏加德罗(Avogadro A)提出了分子的概念,认为气体分子可以由几个原子组成,例如 H_2 , O_2 , Cl_2 都是双原子分子,并且指出:同温同压下,同体积气体所含分子数目相等。这样,原子学说和气体化合体积定律统一起来了。但是,阿伏加德罗的分子假说直到半个世纪以后才被公认。在 1860 年的国际化学会议上关于原子量问题的激烈争论之际,坎尼扎罗(Cannizzaro S)在他的论文《化学哲学教程概要》中指出:“只要接受 50 年前阿伏加德罗提出的分子假说,测定原子量、确定化学式的困难就可以迎刃而解,半个世纪来化学领域中的混乱都可以一扫而清。”他的论点条理清楚、论据充分,迅速得到众多化学家的赞同。原子分子论的主要内容是:不同元素代表不同原子,原子按一定方式或结构结合成分子,分子的结构直接决定其性能,分子进一步组成物质。这个理论基础在化学的发展进程中不断深化和扩展。元素、原子、分子和原子量仍是现代化学科学中最基本的几个概念。

到 1869 年,已有 63 种元素为科学家们所认识,测定原子量的工作也有了很大的进展,原子价的概念已得到明确,对各种元素的物理及化学性质的研究成果也越来越丰富。在此基础上,门捷列夫(Mendeleev D I)和迈耶尔(Meyer L)深入研究了元素的物理和化学性质

随原子量递变的关系,分别独立地发现了元素性质按原子量从小到大的顺序周而复始递变的周期关系,并把它表达成元素周期表的形式。元素周期律的发现对化学的发展,特别是对无机化学的系统化和形成,起了决定性作用。至于元素的发现及原子量的准确测定则归功于经典化学分析的建立和完善,它们是发现元素周期律的实验基础。18世纪末到19世纪中叶,随着采矿、冶金工业的发展,定性化学分析的系统化、重量分析法、滴定分析法等逐步完善。最享盛誉的分析化学家贝采利乌斯(Berzelius J J)的名著《化学教程》(1841年)记载着当时所用的实验仪器设备和分离测定方法,已初具今日化学分析的端倪。尤其是滴定分析法(如银量法、碘量法、高锰酸钾法等)至今仍有广泛的实用价值。

1861年,凯库勒(kekulé F A)提出碳的四价概念。与此同时,苯的六元环结构已经确定,有机化合物分子中价键的饱和性也已经比较清楚了。不久,碳原子的四面体结构以及价键的方向性也被揭示出来。价键的饱和性和方向性的发现,奠定了有机立体化学的基础。这样,有机合成就可以做到按图索骥而用不着单凭经验摸索了,有机合成从实验室研究发展到工业生产,充分展示了化学对生产的能动作用,有机化学得以蓬勃发展起来。

在19世纪前期,化学研究与物理学、数学的发展存在一定的脱离,阻碍了其前进的步伐。而自19世纪中叶开始,运用物理学的定律研究化学系统,阐明化学反应进行的方向、程度和速率等基本问题,取得了可喜的成效,这使人们看到了物理和化学结合的重要意义,逐步形成了物理化学分支学科。1887年,奥斯特瓦尔德(Ostwald W)和范特霍夫(Van't Hoff J H)合作创办了《物理化学杂志》,标志着这个分支学科的形成。

总之,近代化学阶段是一个大发展的阶段,化学实现了从经验到理论的重大飞跃,化学真正被确立为一门独立的学科,并且出现了许多分支。但是,要认识化学键、元素周期律以及价键饱和性和方向性等本质问题,使化学得到进一步发展,则有待于揭开原子结构的奥秘。

现代化学阶段始于19世纪末,物理学中电子、放射性和X射线等重大发现,打开了原子和原子核的大门,使化学家通过研究电子在分子、原子中的分布和运动规律,更深刻地认识化学变化的本质。原先摆在化学家面前的一些疑难问题,如元素周期律的实质,光谱的奥秘、原子价概念的本质等,都迎刃而解。原子在一些化学家头脑中印象极深的观念,如原子是不可分的、元素是不能变的,被彻底否定。一些革命性的理论,如原子结构理论、元素蜕变理论、化学键理论等一个接一个地被提出和完善。

在化学概念、理论及体系的巨大变革中,化学的研究方法、实验技术以及应用等方面也都发生了深刻的变化,传统的四大化学基础学科已容纳不下新发展的事物,从而又衍生出许多分支。由于元素周期律的科学实质得以阐明,不仅自然界中存在的“未知元素”被逐一发现,而且,人们还在实验室中人工合成了自然界尚不存在的元素,为无机化学的复兴开辟了道路。X射线衍射法等一系列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,化学键理论使人们从电子运动的角度对分子间原子的化合或分解有了逐渐深入的理解。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、量子化学、结构化学、电化学、光化学等诸多分支。随着电子技术、计算机技术、微波技术等的发展,化学研究如虎添翼,空间分辨率现已达 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

子运动的速度差不多。

有机化学也得到了长足的发展。在实验中不仅分离和提取了一系列天然有机产物,而且还合成了一些自然界未曾发现的化合物。以染料和制药工业为代表的有机合成化学工业逐步兴起,煤焦油和石油等天然资源的开发和综合利用也相继向前推进。到了 20 世纪 30 年代,随着有机化学和有机合成工业的发展,世界进入了人工合成高分子材料的新时代,三大人工合成工业(橡胶、塑料和纤维)成为人类物质生活中不可缺少的部分,它们为宇航、能源、交通、国防提供了新材料。系统地研究高分子的结构、功能、合成、生产等,就形成了高分子化学这一分支学科。另外,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、纤维素、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、结构及机理,还极大地促进了生物学的发展。

在 20 世纪,化学各分支中变化最为显著的是分析化学。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的要求,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得到了较快的发展(如电化学分析法、色谱法、质谱法、光学分析技术等),特别是 20 世纪 50 年代后,物理学和电子学的发展,20 世纪 70 年代起计算机的应用,促使分析化学走向信息时代——计算机时代,从而使仪器分析作为一个分支出现,并在科技发展以及经济建设中发挥日益重要的作用。

20 世纪 40 年代,原子核的裂变和链式反应的发现,开辟了人类利用原子能的时代。原子序数从 93 到 114 的超铀元素陆续被人工合成,于是形成了核化学,它包括同位素化学、辐射化学、超铀化学等。

就在化学科学各门分支学科迅速发展的同时,由于化学与生物学、地质学、材料学、天文学等学科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,例如生物化学、地球化学、海洋化学、环境化学、材料化学、药物化学等。化学与其他学科的联系也越来越密切,许多学科,如生物学、地质学、农业学、冶金学、能源学、材料学、环境学等的发展都需要化学知识,化工产品遍及一切生产部门和生活领域。化学在整个自然科学中的地位,正如美国人 Pimentel G C 在《化学中的机会——今天和明天》一书中指出的那样:“化学是一门中心科学,它与社会发展各方面的需要都有密切的关系。”

1.3 大学生学习化学的必要性

由化学科学发展史可知,化学是一门古老而重要的基础学科。科学技术的发展,人类社会文明的进步,化学在整个发展进步过程中起到一个“中心学科”的作用。化学在改变人类物质文明和精神文明过程中起过重要的、不可替代的作用,面对 21 世纪的机遇和挑战,化学在社会生活的各个方面、国民经济的各个领域的重要性和地位将更加凸显出来。下面仅就当代人类生活、现代社会发展与化学的关系,简要介绍大学生学习化学的必要性。

1.3.1 化学与当代人类生活

化学在人们的物质生活中起重要作用。五颜六色的衣料需要化学染料来染色,衣料的

质地可以是涤纶、腈纶、氨纶等各种合成纤维,即使是天然纤维(如毛和棉花),也要进行化学处理和染色;人们日常饮食必需的粮食、蔬菜、水果等是靠化肥、除草剂和农药等生长的,各种美味食品的制造离不开甜味剂、调味剂和色素等食品添加剂;我们生活在用水泥、石灰、油漆、玻璃等化工产品建造的房子里;外出时的交通工具——汽车、火车、飞机,在很大程度上要依靠化学加工业的产品。例如机动车,它的材质是金属及其合金,并且塑料的用量也非常大,其动力是汽油、柴油,还有各种汽油添加剂、防冻剂、润滑剂等,无一不是石油化工产品。

人们的精神生活也与化学密切相关。人们每天阅读的报刊杂志是印刷在经化学方法制成的纸上,其中的精美图片是用化学家发明的摄影胶片拍摄的。

人们的医疗保健更是与化学密不可分。X光照片、磁共振成像技术、血液和尿的检查可以帮助人们及时发现肉眼看不见的病症,医药化学家研制的药物在减轻病痛、延长人类寿命方面功不可没。

总之,化学与人们的生活息息相关,它为人们带来优良的衣着、美味的食物、称心的住所、便捷的交通、健康的身体,为人类带来愉快和舒适的生活。

1.3.2 化学与现代社会发展

现代化学科学的繁荣,促进了若干基础学科和应用学科的发展,并为国民经济许多部门的发展打下了理论基础和技术基础,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。

在农业生产中,要提高农产品的产量和质量,就必须生产更多的优质化肥,研制出高效低毒、无公害的农药和各种植物生长调节剂。没有化学和化学工业,这些是无法实现的。在工业生产中,化学对开发能源、提供新型材料起着关键作用。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,化学与能源基础工业的关系极为密切。工业现代化急需的各种性能迥异的金属材料、非金属无机材料、高分子材料以及复合材料,都离不开化学,即使是新型材料的选用也同样离不开化学知识。在国防建设中,必须有先进的空间技术和各种先进的武器。火箭、导弹、人造卫星、航天飞机、核潜艇、航空母舰等的开发,需要各种特殊结构的材料和高能燃料。例如,制造人造卫星,不仅要有一般轻质合金材料,还要有特种复合材料、耐热材料等。在卫星能源方面,不仅要研究燃料电池,还要研制硅太阳能电池。而这些材料和高能电池的研制,同样需要化学知识。

从科技发展来看,回顾20世纪,我们可以看到现代科技发展的一个显著特点:各门学科的最新发展往往是与不同学科间的交叉渗透紧密相关,现代科学技术的许多最新成就中,都直接包含着化学的最新成就,化学已渗透到许多学科、专业领域,现代科技的四大支柱,材料、能源、信息和生命科学都与化学紧密相关,环境保护和社会可持续发展更是离不开化学家的参与。

材料被称为发明之母。化学既是材料科学的重要组成部分,也是材料科学的基础之一。在高科技迅猛发展,竞争日益激烈的今天,各国都想在生物、信息、空间、能源、海洋等技术领域占有一席之地。发展新技术往往与材料有关,可称为新材料技术,其核心技术是材料设计与分子设计,即根据需要来设计具有特定功能的新材料。材料的功能是由其组成和结构所决定的,而研究物质的组成和结构正是化学研究的主要内容。史实表明,一种具有功能特性的材料的发现和应用,往往可以导致一个新的科技领域的产生和一种新产业的兴起,可以创

造数十亿乃至上百亿元的产值,以至可以改善社会物质文化生活的状况。如高纯硅、锗等半导体材料的出现,产生了晶体管、集成电路、大规模集成电路以及超大规模集成电路等,从而带来了计算机从真空管到晶体管的革命。如今,电脑不但广泛应用于各种领域,也进入了家庭。网上通讯的实现,带来了信息革命。再如,将超导体用于雷达,可以使其灵敏度大大提高,有效作用距离增加了3~4倍。光导通信使信息通信达到了一个新的水平,而光导通信离不开纤维。

能源为人类从事各种经济活动提供了原动力。目前,人类的能源消耗中大部分能量仍是来自化学反应所释放的能量。随着社会的发展,人类对能源的需求量越来越大,能源短缺是人类正在面临的一个大问题。合理利用现有能源,大力开发新能源,必须得到化学的支撑。开发聚变能、太阳能和氢能是化学科学研究的前沿课题。

有人认为,在现代科技的四大支柱中,信息最不需要化学。其实,信息需要的化学知识很多,因为信息离不开载体和介质,而载体和介质的组成和化学状态对信息有很大影响。而且,通过化学合成手段可以制造出性能各异的信息材料,主要包括电子材料和光电材料。如前面提到的计算机革命中包含着化学的贡献,计算机中的硅片、大规模集成电路的制备及其质量保证都离不开化学,而这些都是保证计算机性能和正常运转的必要条件。

生物体系以生命物质为基础构成,生命过程本身就是无数化学变化的综合体现。化学家和生物学家正在通力合作,探索生命现象的奥秘。随着化学家在原子、分子水平上对蛋白质和其他生物精细结构的认识和对生命过程的研究,人类将有效地攻克生物和医学方面的难题。在控制癌症、传染病和其他死亡原因,以及通过改善营养、改善环境而达到延长寿命和减缓衰老的过程中,化学家已经并将作出重大贡献。

化学工业发展在为人类造福的同时,也给环境带来了污染。而环境的检测、污染的防治与保护和三废的处理同样要依靠化学来完成。现在发展很快的绿色化学就是要从根本上解决这一问题。

综上所述,化学作为一门中心科学,它与社会各方面的需要有关。在为人类提供衣食住行、开发新能源,为日益减少和稀缺的材料提供可再生的代用品和研制特殊功能材料、征服疾病和改善健康、增强国防以及保护我们生存的环境等方面,化学都起着关键性的作用。因此,化学不仅是化学工作者的专业知识,也是广大人民群众科学知识的组成部分,对于一个非化学专业的学生,包括从事社会科学的学生,具有一定的化学知识背景,对个人和社会的发展都是至关重要的,也就是说,化学教育的普及是现代社会发展的需要,是提高全民科学文化素质的需要。

科学家启示录

诺贝尔

Alfred Bernhard Nobel (1833~1896)

诺贝尔是瑞典化学家、产业家,出身于炸药世家。诺贝尔的父亲是一位颇有才干的发明家,倾心于化学研究,尤其喜欢研究炸药。受父亲的影响,诺贝尔从小就表现出顽强勇敢的性格,他经常和父亲一起去实验炸药,多年随父亲研究炸药的经历,也使他的兴趣很快转到应用化学方面。

1862年夏天,他开始了对于硝化甘油的研究。这是一个十分危险甚至可能为之牺牲的工作。在一次炸

药实验时发生了爆炸事件,实验室被炸成一片废墟,5位助手全部牺牲,连他最小的弟弟也未能幸免。这次爆炸,使诺贝尔的父亲受到了十分沉重的打击,没过多久就去世了。他的邻居们出于恐惧,也纷纷向政府控告诺贝尔,此后,政府不准诺贝尔在市内进行实验。但是诺贝尔百折不挠,他把实验室搬到市郊湖中的一艘船上继续实验。经过长期的研究,他终于发现了一种非常容易引起爆炸的物质——雷酸汞,他用雷酸汞做成炸药的引爆物,成功地解决了炸药的引爆问题,这就是雷管的发明,它是诺贝尔科学研究上的一次重大突破。

矿山开发、河道挖掘、铁路修建及隧道的开凿,都需要大量的烈性炸药,所以硝化甘油炸药的问世受到了普遍的欢迎。诺贝尔在瑞典建成了世界上第一座硝化甘油工厂,随后又在其他国家建立了生产炸药的合资公司。但是,这种炸药本身有许多不完善之处,存放时间一长就会分解,强烈的振动也会引起爆炸,在运输和储藏的过程中曾经发生过许多事故。瑞典和其他国家的政府发布了许多禁令,禁止任何人运输诺贝尔发明的炸药,并提出要追究诺贝尔的法律责任。面对这些困难,诺贝尔没有被吓倒,他又在反复研究的基础上,于1867年发明了以硅藻土为吸收剂的安全炸药,这种被称为黄色的安全炸药,在火烧和锤击下都表现出极大的安全性。这使人们完全解除了对诺贝尔的炸药的疑虑,诺贝尔再度获得信誉,炸药工业也很快得到了发展。

在安全炸药研制成功的基础上,诺贝尔又开始了对旧炸药的改良和对新炸药的生产研究。1869年,一种以火药棉和硝化甘油混合的新型胶质炸药研制成功。这种新型炸药不仅有高度的爆炸力,而且更加安全,既可以在热辊子间碾压,也可以在热气下压制成条绳状。胶质炸药的发明在技术界受到了普遍的重视。在已经取得的成绩面前,诺贝尔没有停步,当他获知无烟火药的优越性后,又投入了混合无烟火药的研制,并在很短的时间内研制出了新型的无烟火药。

诺贝尔把他毕生的心血都献给了炸药事业,终生未娶。他一生的发明极多,获得的专利有255项,其中仅炸药就达129项。他在欧洲、北美洲和南美洲等五大洲20多个国家建立了100多家公司和工厂,获得了巨额利润,他的财产累计达30亿瑞典币,是一位名副其实的亿万富翁,但他却过着朴实无华的生活,并不看重金钱和财产。他说:“金钱,只要能解决个人的生活就够了,若是多了,它会成为遏制人才能的祸患。”

诺贝尔研制炸药的本来目的是为和平建设服务,为民造福。可是,统治者把它用作屠杀人民的武器,加重了战争的灾难。为此,诺贝尔感到很痛心,在他去世的前一年,他本着科学造福人类的思想立下遗嘱,将他的所有财产存入银行,把每年得到的利息平均分成五份,奖励世界上在物理、化学、生理医学、文学与和平事业方面“给人类造福最大的个人和机构”,不管这些人属于哪个国家、哪个民族。从1901年开始,每年的12月10日,即诺贝尔逝世纪念日,颁发诺贝尔奖。这具有远见卓识的伟大壮举,不仅表明了这位科学家的伟大人格,而且越来越成为世界科学技术冠军的标志,激励着越来越多的精英豪杰献身于科学事业,去攻克一道道科学难关。同时,也极大地促进了世界科学技术的发展和科学文化的交流。

第2章 化学与能源

能源是经济发展的原动力,是社会繁荣和发展的物质基础。充足稳定的能源供应不仅为工业提供动力,为农业提供保障,推动技术进步,保障国民经济的发展,而且还促进人们生活的改善,人类社会的发展与进步。人类进步的历史表明,每一次能源科技的突破,都带来了生产力的巨大飞跃和社会的进步。而经济的发展、社会的进步又促进了能源的开发和利用水平的提高。两者既相互促进,又相互制约。

建立在煤炭、石油、天然气等化石燃料基础上的能源体系极大地推动了人类社会的发展。然而,在物质生活和精神生活不断提高的同时,人们也越来越感悟到大规模使用化石燃料所带来的严重后果:资源日益枯竭,环境不断恶化,还诱发了不少国与国、地区与地区之间的政治经济纠纷,甚至冲突和战争。而且,全球的人口增长和经济增长对能源的需求日益增大,能源供需之间的矛盾越来越尖锐。因此,如何合理利用现有能源,开发新能源,保障能源安全供应和实现能源、经济、环境的协调与可持续发展成为人类社会迫切关注的问题。

化学在能源的开发和利用中扮演着重要的角色。无论是解决煤、石油等化石燃料的高效洁净转化,还是核能的控制利用;无论是新型绿色化学电源的研制,还是氢能源、太阳能、生物质能等的开发,都离不开化学这一基础学科。可以说能源科学技术发展的每一重要环节都与化学息息相关。

2.1 能源概述

2.1.1 能源及其分类

能源是指能够提供某种形式能量的资源。它既包括能提供能量的物质资源,如煤炭、石油、天然气、氢能等,又包括能提供能量的物质运动形式,如太阳能、风能等。

能源品种繁多,可从不同角度进行分类,大致有以下6种分类方法。

(1)按能源的来源可分为三类

①来自地球以外天体的能量,最主要的是太阳辐射能,除此之外,地球上的绝大部分能源,如煤、石油、天然气、水能、风能等,最终都来源于太阳热核反应所释放的能量,“万物生长靠太阳”说的就是这个道理;

②来自地球在形成过程中储存下来的能量,如地热能、核能;

③由月球、太阳等天体对地球的引力而产生的能量,如潮汐能。

(2)按能源的形成可分为两类

①一次能源。是指自然界中存在的、可直接利用其能量的能源,如煤炭、天然气、石油、地热能、水能、风能、太阳能等;

②二次能源。是指需依靠其他能源经加工、转换而得到的能源,如电能、焦炭、汽油、柴