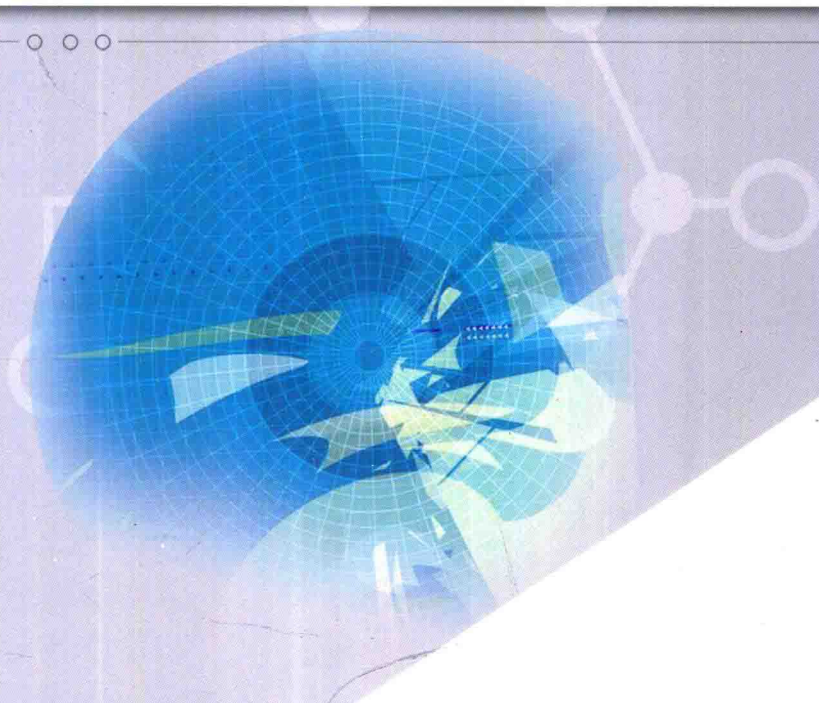




- 普通高等教育“十二五”规划教材
- 普通高等院校化学精品教材

○ ○ ○



工科基础化学与实验

▶▶ 金继红 夏 华 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

本书获得中国地质大学(武汉)“十二五”教材建设经费资助

工科基础化学与实验

主 编 金继红 夏 华

参编人员 (按姓氏笔画排列)

王群英 安黛宗 金继红 高 强
夏 华 程国娥 廖桂英



华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书内容包括物质结构基础、化学反应的方向和限度、化学动力学,溶液离子平衡,氧化还原和电化学,胶体及分散系统、单质及无机化合物、能源、环境、材料等知识,还编写了一部分基础化学实验。

本书适用于高等学校非化工类专业基础化学教学,也可供文、管类学生学习化学参考。

图书在版编目(CIP)数据

工科基础化学与实验/金继红,夏华主编. —武汉:华中科技大学出版社,2015.12

普通高等教育“十三五”规划教材 普通高等院校化学精品教材

ISBN 978-7-5680-1488-5

I. ①工… II. ①金… ②夏… III. ①化学-高等学校-教材 ②化学实验-高等学校-教材 IV. ①O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 305442 号

工科基础化学与实验

金继红 夏 华 主 编

Gongke Jichu Huaxue yu Shiyan

策划编辑:周芬娜

责任编辑:周芬娜

封面设计:原色设计

责任校对:李 琴

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:21.5 插页:1

字 数:565 千字

版 次:2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:45.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

化学是一门在原子、分子水平上研究物质的组成、结构、性能、应用及物质相互之间转化规律的科学,是自然科学的基础学科之一。化学研究的对象包括整个物质世界,从星际空间中元素的分布、生命的进化,到地下深处矿物的生成和利用,无不是化学研究的对象。

化学是人们认识世界、改造世界的最重要的科学工具之一。与其他学科相比,化学与工业、农业、国防等的联系更直接,与人类的生活关系更密切。化学科学不断发现和创造新的化合物、新的物质,化学为人类的生活及其他学科的发展提供了必需的物质基础。随着科学技术的发展,化学已愈来愈多地与其他学科相互渗透、相互交叉,大大推动了这些学科的发展,同时也为化学自身的发展开拓了新的领域,找到了新的生长点。当今化学已成为信息、能源、环境、材料、激光、生物工程、空间技术、海洋工程等新技术的重要支柱,未来社会的进步将极大地依赖于化学以及与化学有关的交叉学科的发展,现代化学正在成为一门“满足社会需要的中心科学”,化学已成为现代高科技发展和社会进步的基础和先导。

《工科基础化学与实验》是高等工科院校工程技术专业必修的一门基础课,通过本课程的学习,学生可以比较全面、系统地了解化学的基本理论、基本知识以及一些化学实验基本操作技术,了解化学与环境、化学与材料、化学与能源等相关知识,为今后继续学习和工作打下必要的化学基础。另外,化学科学的发展,从元素论、原子-分子论到元素周期律和物质结构理论,都已成为自然科学在科学发展中运用科学抽象、科学假设的范例,工科类大学生学习化学科学不仅仅是其所学专业的需要,而且对培养科学思维、科学方法也是极为重要的。

本书是我校多年来教学实践经验的总结,内容包括物质结构基础,化学反应进行的方向和限度,溶液及水溶液中的离子平衡,氧化还原反应和电化学基础,化学动力学,胶体,单质及无机化合物,能源、环境、无机材料等知识,还编写了一部分基础化学实验。在编写过程中注意与中学化学的衔接,理论联系实际,概念阐述准确,深入浅出,循序渐进,便于教师教学和学生自学,适用于高等学校非化工类专业基础化学教学。

本书由金继红、夏华主编,参加编写工作的有金继红、夏华、王群英、廖桂英、程国娥、安黛宗、高强等。

本书编写中参考了国内外出版的一些教材和著作,从中得到许多启发,在此也向这些作者表示感谢。

本书为“中国地质大学‘十二五’规划教材”,受中国地质大学(武汉)“十二五”教材建设经费资助。本书编写过程中还受到中国地质大学(武汉)教务处、中国地质大学材料与化学学院和华中科技大学出版社的大力支持,在此一并表示感谢。

由于水平有限,本书可能存在不足甚至错误,恳请读者不吝指出,深表感谢。

编 者
2015 年 10 月

目 录

绪论	(1)
0.1 化学是一门中心的、实用的和创造性的科学	(1)
0.2 化学变化的特点	(2)
0.3 化学的分支学科	(3)
0.4 工科基础化学的教学目的	(5)
第1章 物质结构基础	(6)
1.1 原子结构与元素的周期系	(6)
1.1.1 氢原子光谱和玻尔理论	(7)
1.1.2 微观粒子的波粒二象性	(9)
1.1.3 氢原子的量子力学模型	(11)
1.1.4 多电子原子的量子力学模型	(15)
1.1.5 原子的电子结构和元素周期系	(19)
1.1.6 元素性质与原子结构的关系	(21)
1.2 共价键与分子结构	(26)
1.2.1 价键理论	(27)
1.2.2 键参数	(29)
1.2.3 杂化轨道理论	(32)
1.2.4 分子轨道理论	(36)
1.2.5 分子间力与氢键	(40)
1.3 固体与晶体结构	(43)
1.3.1 晶体的内部结构与分类	(43)
1.3.2 离子键与离子晶体	(45)
1.3.3 原子晶体与分子晶体	(51)
1.3.4 金属键与金属晶体	(52)
1.3.5 过渡型晶体	(55)
1.4 配位化合物结构	(56)
1.4.1 配位化合物的基本概念	(56)
1.4.2 配位化合物的价键理论	(59)
1.4.3 配位化合物的晶体场理论	(62)
本章小结	(67)
思考题	(68)
习题	(70)

第2章 化学反应进行的方向及限度	(74)
2.1 基本概念	(74)
2.1.1 系统与环境	(74)
2.1.2 状态与状态函数	(75)
2.1.3 过程与途径	(75)
2.1.4 理想气体	(76)
2.2 热力学第一定律	(77)
2.2.1 热和功	(77)
2.2.2 热力学能	(78)
2.2.3 热力学第一定律	(79)
2.3 焓	(80)
2.3.1 等容过程热效应	(80)
2.3.2 等压过程热效应与焓	(80)
2.3.3 等容过程热效应与等压过程热效应的关系	(80)
2.4 热化学——化学反应的热效应	(81)
2.4.1 反应进度	(81)
2.4.2 标准状态	(82)
2.4.3 热化学方程式	(83)
2.4.4 盖斯定律	(83)
2.4.5 热化学基本数据与反应焓变的计算	(84)
2.5 熵变与过程(反应)的方向	(86)
2.5.1 自发过程的方向性	(86)
2.5.2 反应的熵变	(87)
2.6 吉布斯函数变与反应的方向	(89)
2.6.1 吉布斯函数变与反应方向的判据	(89)
2.6.2 标准摩尔生成吉布斯函数	(91)
2.6.3 化学反应等温方程式	(91)
2.7 化学平衡	(92)
2.7.1 可逆反应和化学平衡	(92)
2.7.2 标准平衡常数	(92)
2.7.3 书写标准平衡常数表达式的注意事项	(93)
2.7.4 平衡常数的计算与应用	(94)
2.8 化学平衡的移动	(96)
2.8.1 浓度对化学平衡移动的影响	(96)
2.8.2 压力对化学平衡移动的影响	(97)
2.8.3 惰性气体对化学平衡移动的影响	(98)
2.8.4 温度对化学平衡移动的影响	(99)
2.8.5 平衡移动原理	(100)

本章小结	(100)
思考题	(102)
习题	(102)
第3章 溶液及水溶液中的离子平衡	(107)
3.1 溶液	(107)
3.1.1 溶液浓度表示法	(107)
3.1.2 拉乌尔定律与亨利定律	(109)
3.1.3 非电解质稀溶液的依数性	(111)
3.2 酸碱质子理论	(113)
3.2.1 质子酸、质子碱的定义	(113)
3.2.2 酸碱反应的实质	(114)
3.2.3 水的质子自递反应与水的离子积	(115)
3.2.4 质子酸碱的相对强弱	(115)
3.3 弱酸和弱碱的解离平衡	(117)
3.3.1 一元弱酸、弱碱的解离平衡	(117)
3.3.2 多元弱酸、弱碱的解离平衡	(118)
3.4 缓冲溶液	(120)
3.4.1 同离子效应	(120)
3.4.2 缓冲溶液	(121)
3.4.3 缓冲溶液的 pH 值计算	(121)
3.4.4 缓冲溶液的配制	(122)
3.5 沉淀-溶解平衡	(123)
3.5.1 标准溶度积	(124)
3.5.2 溶度积和溶解度之间的换算	(124)
3.5.3 溶度积规则	(125)
3.5.4 沉淀-溶解平衡中的同离子效应	(126)
3.5.5 溶液的 pH 值对沉淀-溶解平衡的影响	(126)
3.5.6 分步沉淀	(127)
3.5.7 难溶电解质的转化	(128)
3.6 配位化合物的解离平衡	(129)
3.6.1 配位化合物的标准稳定常数和标准不稳定常数	(129)
3.6.2 配位化合物的解离平衡移动	(131)
本章小结	(132)
思考题	(133)
习题	(134)
第4章 氧化还原反应与电化学基础	(138)
4.1 氧化还原反应的基本概念	(138)
4.1.1 氧化数	(138)

4.1.2	氧化还原反应	(139)
4.1.3	氧化还原反应方程式的配平	(139)
4.2	原电池	(141)
4.2.1	原电池	(141)
4.2.2	原电池的电动势与吉布斯函数变	(143)
4.3	电极电势	(144)
4.3.1	标准电极电势	(144)
4.3.2	电极电势的能斯特方程式	(148)
4.4	电极电势的应用	(152)
4.4.1	判断氧化剂和还原剂的强弱	(152)
4.4.2	判断氧化还原反应进行的方向	(152)
4.4.3	判断氧化还原反应进行的程度	(153)
4.4.4	元素的标准电极电势图及其应用	(154)
4.5	电化学应用简介	(156)
4.5.1	电解池、电解原理及应用	(156)
4.5.2	金属的电化学腐蚀与防护	(158)
4.5.3	化学电源	(159)
	本章小结	(161)
	思考题	(162)
	习题	(163)
第5章	化学动力学	(166)
5.1	化学反应速率及其机理	(166)
5.1.1	化学反应速率的定义及其表示方法	(166)
5.1.2	反应速率的实验测定	(168)
5.2	反应历程和基元反应	(168)
5.2.1	反应历程和基元反应	(168)
5.2.2	简单反应与复合反应	(169)
5.2.3	反应分子数	(169)
5.3	化学反应速率与浓度的关系	(169)
5.3.1	质量作用定律和反应速率常数	(169)
5.3.2	反应级数	(170)
5.4	速率方程的微积分形式及其特征	(170)
5.4.1	简单级数反应的速率方程	(171)
5.4.2	简单级数反应速率方程的确定	(175)
5.5	温度对反应速率的影响	(176)
5.5.1	温度与反应速率之间的经验关系式	(176)
5.5.2	活化能的物理意义	(178)
5.5.3	活化能对反应速率的影响	(178)

5.6 化学反应速率理论	(179)
5.6.1 简单碰撞理论	(179)
5.6.2 过渡状态理论	(180)
5.7 催化反应	(181)
5.7.1 催化剂和催化反应	(181)
5.7.2 催化反应的一般机理	(181)
5.7.3 催化剂的特性	(183)
本章小结	(183)
思考题	(184)
习题	(185)
第6章 胶体	(187)
6.1 分散系统的分类	(187)
6.2 溶胶的特性与结构	(188)
6.2.1 溶胶的光学性质——丁达尔效应	(188)
6.2.2 溶胶的动力性质	(189)
6.2.3 溶胶的电学性质	(191)
6.2.4 溶胶粒子的结构	(192)
6.3 溶胶的聚沉与保护	(193)
6.3.1 电解质对溶胶的聚沉作用	(193)
6.3.2 溶胶的相互聚沉	(193)
6.3.3 加热聚沉	(194)
6.3.4 胶体的保护	(194)
6.4 溶胶的制备和净化	(194)
6.4.1 分散法	(194)
6.4.2 凝聚法	(195)
6.4.3 溶胶的净化	(195)
6.5 乳状液	(196)
6.5.1 乳状液的稳定条件	(196)
6.5.2 乳状液的转化与破坏	(197)
6.6 表面活性剂及其应用	(197)
6.6.1 表面张力	(197)
6.6.2 表面活性剂	(198)
6.6.3 表面活性剂的作用	(200)
本章小结	(201)
习题	(202)
第7章 单质及无机化合物	(204)
7.1 元素的存在状态和分布	(204)
7.2 主族元素单质的性质	(205)

7.2.1 单质的晶体结构与物理性质	(206)
7.2.2 单质的化学性质	(208)
7.2.3 稀有气体	(209)
7.3 过渡元素概论	(211)
7.3.1 过渡元素的通性	(211)
7.3.2 重要的过渡元素	(213)
7.4 镧系元素与锕系元素的简述	(221)
7.4.1 镧系元素	(221)
7.4.2 锕系元素	(221)
7.5 氧化物和氢氧化物	(222)
7.5.1 氧化物的物理性质	(222)
7.5.2 氧化物的酸碱性及其变化规律	(223)
7.5.3 氢氧化物的酸碱性	(224)
7.6 卤化物	(226)
7.6.1 卤化物的物理性质	(226)
7.6.2 卤化物的化学性质	(227)
7.7 硫化物	(228)
7.7.1 硫化物的溶解性	(228)
7.7.2 硫化物的还原性	(230)
7.7.3 硫化物的酸碱性	(230)
7.8 含氧酸及其盐	(231)
7.8.1 含氧酸的酸性	(231)
7.8.2 含氧酸及其盐的热稳定性	(232)
7.8.3 含氧酸及其盐的氧化还原性	(233)
7.8.4 含氧酸盐的溶解性	(235)
7.8.5 硅酸盐	(235)
本章小结	(236)
思考题	(237)
习题	(238)
第8章 能源、环境、无机材料	(241)
8.1 化学与能源	(241)
8.1.1 煤	(242)
8.1.2 石油	(245)
8.1.3 天然气	(247)
8.1.4 核能	(247)
8.1.5 太阳能和氢能	(248)
8.1.6 生物质能	(249)
8.2 化学与环境	(249)

8.2.1 大气的污染与防治	(250)
8.2.2 水体的污染与防治	(255)
8.2.3 土壤的污染与防治	(257)
8.2.4 环境保护与可持续发展	(258)
8.3 化学与无机材料	(259)
8.3.1 金属及合金材料	(259)
8.3.2 无机建筑材料	(261)
8.3.3 陶瓷材料	(266)
8.3.4 新型无机非金属材料	(269)
本章小结	(276)
思考题	(277)
第9章 化学实验	(278)
实验一 标准物质的称量、配制与酸碱滴定	(279)
实验二 醋酸解离度和解离常数的测定	(281)
实验三 氧化还原反应与电化学	(284)
实验四 反应级数及活化能测定	(286)
实验五 磺基水杨酸铁(Ⅲ)配离子的组成和稳定常数的测定	(289)
实验六 水的净化与软化处理	(292)
实验七 锡、铅、铋、铊	(296)
实验八 铬和锰	(300)
实验九 常见阳离子的分离和检出	(305)
实验十 铁矿石中铁含量的测定	(308)
附录	(311)
附录 A 一些基本物理常数	(311)
附录 B 某些物质的标准摩尔生成焓、标准摩尔生成吉布斯函数和 标准摩尔熵(298.15 K)	(312)
附录 C 某些物质的标准摩尔燃烧焓(298.15 K)	(317)
附录 D 一些弱电解质在水溶液中的解离常数(298.15 K)	(318)
附录 E 一些配离子的稳定常数(298.15 K)	(319)
附录 F 一些物质的溶度积(298.15 K)	(320)
附录 G 一些电极反应的标准电极电势(298.15 K)	(321)
参考答案	(323)
主要参考文献	(332)
元素周期表	

绪论

0.1 化学是一门中心的、实用的和创造性的科学

化学是一门在原子、分子水平上研究物质的组成、结构、性能、应用及物质相互之间转化规律的科学,是自然科学的基础学科之一。化学研究的对象包括整个物质世界,从星际空间中元素的分布、生命的进化,到地下深处矿物的生成和利用,无不是化学研究的对象。

化学是人们认识世界、改造世界的最重要的科学工具之一。人们的各种科学研究、生产活动乃至日常生活,都时时刻刻地要和化学打交道。化学为人类的生活及其他学科的发展提供了必需的物质基础,与其他学科相比,化学与工业、农业、国防等的联系更直接,与人类的生活关系更密切,开发资源、研制新材料、征服疾病、保护环境、加强国防、提高人类生活水平都离不开化学科学。

色泽鲜艳的衣料需要经过化学处理和印染,丰富多彩的合成纤维制品琳琅满目。化肥、农药、植物生长激素和除草剂等化学新产品的不断开发,促进了农业的丰收,满足了人类对食品的需求。现代建筑所用的水泥、油漆、玻璃和塑料等材料也都是化工产品。用以代步的各种现代交通工具,不仅需要汽油、柴油作动力,还需要各种汽油添加剂、防冻剂,以及机械部分的润滑剂,这些无一不是石油化工产品。人们需要的药品、洗涤剂和化妆品等生活用品也大都都是化学制剂。可见我们的衣、食、住、行无不与化学有关,可以说我们生活在化学世界里。

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。化学电源将是 21 世纪的重要能源之一,如锂离子电池、镍-氢电池已被人们广泛使用,燃料电池及利用太阳能和氢能源的研究工作也正是化学科学研究的前沿课题。

全球气温变暖、臭氧层破坏和酸雨是三大环境问题,正在危及着人类的生存和发展。对污染的监测、治理,寻找净化环境的方法,这些都是化学工作者的重要任务。

材料科学是以化学、物理等为基础的科学。一种新材料的问世,如高纯硅半导体材料、纳米材料、高温超导体、非线性光学材料和功能性高分子合成材料等等,都会带来科技的飞速发展,具有划时代的意义。新材料的研究、制备离不开化学,新材料的选用也离不开化学知识。

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。在从原子、分子水平上探索生命活动基本规律的领域内,化学在理论、观点、技术、方法和材料等方面都发挥着重要作用。在已颁发的近百次诺贝尔化学奖中有 1/3 的奖项是与生物化学有关,这足以说明化学对生命科学研究的促进作用。

化学是一门极具创造性的学科,在《美国化学文摘》上登录的天然和人工合成的分子和化合物的数目已从 1900 年的 55 万种,增加到 1999 年 12 月的 2340 万种,在 20 世纪的 100 年中,平均每天增加 600 多种。没有一门其他科学能像化学那样制造出如此众多的新分子、新物质。人类对物质的需求,不论在质量和数量上总是要不断发展的,围绕这个需求的核心基础学

科是化学。

没有化学,就没有我们今天多姿多彩的生活,没有化学,也就没有当今的科学技术进步。我国著名化学家、2008 年国家最高科学技术奖获得者徐光宪院士曾著文指出:“如没有发明合成氨、合成尿素和第一、第二、第三代新农药的技术,世界粮食产量至少要减半,60 亿人口中的 30 亿就会饿死。没有发明合成各种抗生素和大量新药物的技术,人类平均寿命要缩短 25 年,没有发明合成纤维、合成橡胶、合成塑料的技术,人类生活要受到很大影响。没有合成大量新分子和新材料的化学工业技术,20 世纪的六大技术(信息、生物、核科学、航天、激光、纳米)根本无法实现”。美国化学会会长、哥伦比亚大学教授布里斯罗(R. Breslow)也明确指出:“化学是一门中心的、实用的和创造性的科学”,这一论点已被人们广泛接受。

21 世纪是科学技术全面发展的世纪,也是化学科学全面发展的世纪。化学理论、实验和应用都将获得巨大的发展。化学科学不仅将在更深的层次揭示化学反应、化学结构与性能关系等的本质,而且将在揭示和解决许多自然的、社会的、精神的实际问题中发挥巨大作用和做出贡献。

0.2 化学变化的特点

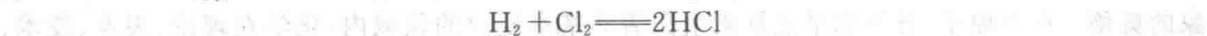
世界上物质的变化多种多样,但可归结为两类,一类是物理变化,另一类是化学变化。将水加热到 100 °C,水会变成水蒸气,当温度降到 0 °C 时,水又会凝结成冰。水的三态变化只是状态的变化,没有其他新的物质产生,我们把没有生成其他物质的变化叫做物理变化。在日常生活中,还有另外一类变化,如木柴燃烧、铁的生锈、食物的腐败等,它们都生成了新的物质,这类变化称化学变化。化学变化有以下几个特征:

1. 化学变化是质的变化

化学变化会产生新的物质,这是化学变化的重要特征。从微观上看,化学变化前后,原子的种类、个数没有变化,但是原子与原子之间的结合方式发生了改变。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,氢原子和氯原子形成新的 H—Cl 键,重新组合生成氯化氢分子。化学变化是反应物旧化学键破坏和生成物新化学键形成而重新组合的过程。

2. 化学变化服从质量守恒定律

在化学变化过程中,只涉及原子核外电子在原子或分子中的重新排布,电子总数不改变,原子核也不发生变化(核化学除外)。因此,在化学反应前后,反应体系中元素的种类不会改变,即不会有元素的消失和新生。反应前后,各种原子的个数也不会改变,在反应前后各物质的量有着确定的计量关系,服从质量守恒定律。这条定律是组成化学反应方程式和进行化学计算时的重要依据。氢气在氯气中的燃烧反应,可用下列方程式表示



1 mol H_2 (2.016 g) 与 1 mol Cl_2 (70.91 g) 反应就能生成 2 mol HCl (72.926 g), 反应物与反应物之间、反应物与产物之间都有着确定的计量关系。

3. 化学变化伴随着能量变化

化学变化是反应物旧化学键破坏和生成物新化学键形成的过程。在化学变化中,拆散化学键需要吸收能量,形成化学键则需要放出能量,由于各种化学键的能量(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。例如木炭的燃烧就是 C 与 O_2 的反应,放出大量的热。

通过本课程的化学热力学、物质结构等内容学习,我们将更深刻地理解化学变化的这些特征。

0.3 化学的分支学科

化学研究的范围及其广泛,按其研究的对象或研究的目的,可将化学分为无机化学、有机化学、分析化学、物理化学和高分子化学等五大分支学科。

1. 无机化学

无机化学是研究无机化合物的组成、性质、结构和反应的科学,它是化学中最古老的分支学科。无机物质包括所有除碳以外的化学元素和它们的化合物(二氧化碳、一氧化碳、二硫化碳、碳酸盐等简单的碳化合物仍属无机物质外,其余均属于有机物质)。远古时代的制陶、炼铜都是与无机化学有关的实践活动。18 世纪末,由于冶金工业的需要,人们逐步掌握了矿物的分析、分离和提炼等工作,同时也发现了许多新元素。到 1869 年,人们已发现了 63 种元素及其化合物,并积累了大量的相关资料。俄国科学家门捷列夫通过对已发现的元素性质的内在联系进行研究,于 1871 年提出了元素周期律。周期律指出元素的性质随着元素原子量的增加呈周期性的变化。元素周期律揭示了化学元素的系统分类,对化学的发展起着重大的推动作用。20 世纪初,由于对原子结构的进一步了解,发现原子序数比原子量更能体现元素的基本性质,元素周期律被修正为化学元素的性质随着元素原子序数的增加呈周期性的变化。根据元素周期律,门捷列夫预言了一些当时尚未发现的元素的存在及它们的性质。后来发现的镓、铟、锗就是门捷列夫预言的“类铝”、“类硼”和“类硅”,他对这些元素性质的预言与尔后实践的结果取得了惊人的一致。元素周期律作为描述元素及其性质的基本理论有力地促进了现代化学和物理学的发展。现在已经发现了 111 种元素,其中 18 种是人工合成的。

19 世纪末,X 射线、放射性和电子的发现,打开了原子和原子核内部结构的大门,深刻地揭露了原子的奥秘。20 世纪初,在量子力学的基础上发展起来的化学键理论,使人类进一步了解了分子结构与性质的关系,大大地促进了化学科学的发展。现代物理实验方法如 X 射线、中子衍射、电子衍射、磁共振、光谱、质谱、色谱等在化学中的广泛应用,使无机物的研究由宏观深入到微观,形成现代无机化学。现代无机化学就是应用现代物理技术及物质微观结构的观点来研究和阐述化学元素及其所有无机化合物的组成、性能、结构和反应的科学。

20 世纪以来,由于科学技术的快速发展,无机化学与其他学科相互渗透,形成了生物无机化学、无机材料化学、无机固体化学等一批新兴交叉学科,使古老的无机化学再次焕发生机。

2. 有机化学

有机化学是研究有机化合物的来源、制备、结构、性质、应用以及有关理论的科学,又称碳化合物的化学(二氧化碳、一氧化碳、二硫化碳、碳酸盐等简单的碳化合物仍属无机物质外,其余均属于有机物质)。大多数有机化合物由碳、氢、氮、氧几种元素构成,少数还含有卤素和硫、磷等元素。大多数有机化合物具有熔点较低、可以燃烧、易溶于有机溶剂等性质,与无机化合物的性质有很大不同。

19 世纪初,有机化合物与无机化合物被认为是相互对立的两类物质,有机化合物只存在于生物体内,是不能人工合成的。1828 年,德国化学家维勒(F. Wohler)由氰酸铵得到了第一个人工合成的有机物尿素,表明了有机化合物和无机化合物之间没有绝对的分界,它们在一定

的条件下可以相互转换。此后,乙酸、柠檬酸等越来越多的有机化合物不断地在实验室中合成出来,开始了有机合成的新阶段。有机化学合成的进步,使人们得以用煤焦油、石油和天然气等为主要原料,合成了大量的染料、药品、橡胶、塑料和纤维等产品,大大地促进了工农业发展和改善了人们的生活。

有机化学的研究内容非常广泛,包括天然产物的研究、有机合成的研究、反应机理的研究等等。

有机化学是化学研究中最活跃的领域之一,它与医药、农药、日用化工等行业的关系特别密切。有机化学与生命现象关系更是十分密切,生物体内的蛋白质和核酸都是有机化合物。1965年我国在世界上首次合成了具有生命活力的蛋白质——牛胰岛素,为人工合成蛋白质迈出了极为重要的一步。随后,国外又合成了核糖核酸酶、生长激素等。彻底揭开蛋白质、核酸结构的奥秘将对生命的研究有极为重要的意义。

3. 分析化学

分析化学是研究获取物质化学组成和结构信息的分析方法及相关理论的科学。分析化学的主要任务是鉴定物质的化学组成(元素、离子、官能团)、测定物质的有关组分的含量、确定物质的结构(化学结构、晶体结构、空间分布)和存在形态(价态、配位态、结晶态)等。分析化学以化学基本理论和实验技术为基础,并不断吸收数学、物理、生物、电子计算机、自动化等方面的最新理论和技术,从而解决科学、技术所提出的各种问题。

分析化学可分为化学分析和仪器分析两大分支学科。化学分析法是利用物质的化学反应及其计量关系来确定被测物质的组分和含量的一类分析方法,主要有滴定分析法和重量分析法。仪器分析法是以物质的物理性质或物理化学性质为基础建立起来的一类分析方法,通过测量物质的物理或物理化学参数,便可确定物质的组成、结构和含量,仪器分析的方法众多,常用的有光学分析法、电化学分析法、色谱分析法、热分析法和质谱分析法等。

分析化学在近代科学研究中的作用非常重要,如地壳中元素的分布迁移,岩石矿物的组分与利用,环境问题中的污染与防治,材料科学中材料的化学组成、结构与材料性能的关系,都离不开分析化学。在生命科学、生物工程、医药等领域,分析化学在揭示生命起源、揭开遗传的奥秘、疾病的防治等方面也都有着极为重要的、不可缺少的作用。

4. 物理化学

物理化学是从研究物质运动的物理现象和化学现象入手,应用物理学的理论和方法探索化学基本变化规律的学科。物理化学的理论性较强,是其他化学分支学科的理论基础,所以物理化学也称为理论化学。

物理化学主要包括以下三方面的内容。

(1) 化学热力学。主要研究化学反应的方向和限度。一个化学反应在指定的条件下能否进行,向什么方向进行,能进行到什么程度,外界条件(如温度、压力、浓度等)的变化对反应的方向和限度的影响等问题都是化学热力学研究的内容。

(2) 化学动力学。主要研究化学反应的速率和机理问题。化学反应进行的快慢和实现化学反应过程的具体步骤,外界条件(如温度、压力、浓度、催化剂等)对反应速率的影响,如何控制化学反应,抑制副反应的发生,使之按我们需要的方向和适当的速率进行,这些问题都是化学动力学研究的内容。

(3) 结构化学。以量子化学理论为基础,研究物质(原子、分子、晶体)的微观结构及结构与性能之间的相互关系。

物理化学的上述三方面的内容虽然各具特点,但又是相互联系和相互补充的。除以上内容外,物理化学还包括其他一些研究内容,如电化学、界面科学、胶体科学等。

随着人们科学知识的不断积累,科学认识的不断深化,以及现代科学技术如新谱学方法、分子束和激光技术、计算机和计算方法的发展与应用,使物理化学的理论与实验研究进入了一个崭新的发展阶段。现代物理化学发展的明显趋势和特点是,从宏观到微观,从定性到定量,从体相到表相,从静态到动态,从平衡态到非平衡态的研究。

5. 高分子化学

高分子化学是研究高分子化合物的合成、化学反应、应用等方面的一门新兴的综合性学科。高分子化学是当前异常活跃的研究领域,具有广泛的发展前景。

由高分子化合物组成的橡胶、纤维、塑料等高分子材料有易于加工、成本低廉、弹性好、强度高、耐腐蚀等优点,在日常工农业生产中已经得到广泛的应用。各种特殊性能的高分子材料,如半导体高分子材料、光敏高分子材料、液晶高分子材料、耐热性橡胶、耐高温高强度塑料等材料正在不断地涌现,生物高分子材料也在迅速发展,人造肾、人造血管等都已用于临床。

高分子材料也有不少弱点,比如易燃烧、易老化,必须开展研究加以克服。大量使用高分子材料时,作为废物扔掉的高分子垃圾,不易被水溶解和风化,不受细菌腐蚀,对环境造成严重污染,因此,高分子材料的回收利用、废弃高分子材料的快速降解等课题都是人们所关注的热点。

21 世纪是科学技术全面发展的世纪,也是各门学科相互渗透的时代。化学科学与其他学科相互协作、交叉、融合产生了许多生气勃勃的新学科和交叉学科,如环境化学、材料化学、地球化学、生物化学、核化学、天体化学等等,化学已经成为这些学科的重要组成部分。

0.4 工科基础化学的教学目的

工科基础化学及实验课程扼要地讲授了化学基本理论、基本知识。通过学习本课程,学生可以掌握现代化学的基本知识和理论及化学实验基本技能,了解化学在社会发展和科技进步中的作用,了解化学在其发展过程中与其他学科相互渗透的特色,培养用现代化学的观点去观察和分析工程技术上可能遇到的化学问题的能力,为今后继续学习和工作打下必要的化学基础。

通过本课程的学习,学生还可以了解原子结构、分子结构、化学反应的方向和限度、化学反应的速率、氧化还原和电化学、胶体化学以及元素化学、无机化合物等基础理论知识,了解化学与环境、化学与材料、化学与能源等化学与社会相关的一些知识。

化学是一门实验科学,化学实验是本课程不可缺少的一个重要环节,本教材编写了部分化学实验。通过实验课的开设,不仅可以加深、巩固并扩大学生对所学的基本理论和基本知识的理解,还可以训练基本操作技能,培养学生观察实验现象、提出问题、分析问题和解决问题的能力,使其养成严谨认真、实事求是的科学作风,培养从事科学研究的能力,为学习后续的专业课打下必要的基础。

化学不但是地球、空间、能源、材料、环境、生命等学科的重要基础,而且化学科学的发展,从元素论、原子-分子论到元素周期律和物质结构理论,都已成为自然科学在科学发展中运用科学抽象、科学假设的范例。因此,工科大学生学习化学科学不仅仅是其所学专业的需要,而且对培养科学思维、科学方法及创新精神也是极为重要的。

第 1 章 物质结构基础

世界是由物质组成的。不同的物质表现出各不相同的物理和化学性质,这是和它们各自不同的微观结构密切相关的。物质的性质与其结构的关系是化学的一个基本问题。化学学科所关注的物质结构主要包括以下几个层次:电子与原子核如何组成原子;原子如何组成分子以及分子的空间构型;各种微粒组成的晶体结构和分子层次之上的超分子结构。近代物质结构理论建立在量子力学的理论基础上,涉及比较复杂的数学理论基础,因此本章只介绍近代的物质结构理论的一些概念、结论及应用,而不介绍一些具体推导过程。本章将在介绍电子在核外运动的规律、分布及其与元素周期系的关系基础上,讨论化学键的概念、分类以及相应的理论,如离子键理论、价键理论、分子轨道理论、配位化合物的结构和金属键理论,并在此基础上讨论晶体结构、分子间的作用力和氢键。

1.1 原子结构与元素的周期系

古希腊哲学家留基伯(Leucippus)和德谟克利特(Democritus)在解释世界本原的问题时,提出了原子的概念,他们认为世界是由原子组成的,原子是最小的、不可分割的物质粒子。他们提出的原子论没有任何实验依据,不是科学理论,只是一种哲学的推测。

直到 18 世纪,由于冶金工业和化学工业的发展,人们要了解化学变化的定量关系,发现了质量守恒定律、能量守恒定律和倍比定律等。为了说明这些定律,英国科学家道尔顿(J. Dalton)在 1803 年提出了著名的原子论,认为每种化合物都是由不同数量的原子所组成,原子不能再分,原子在化学反应中不会消失也不会产生。道尔顿的原子论揭示出了一切化学现象的本质都是原子运动,明确了化学的研究对象,对化学真正成为一门科学具有重要意义,因而道尔顿被称为“近代化学之父”。

1895 年德国物理学家伦琴(W. K. Rontgen)发现 X 射线,1896 年法国物理学家贝克勒尔(A. H. Becquerel)发现放射性,1897 年英国物理学家汤姆生(J. J. Thomson)实验证实了电子的存在。X 射线、放射性及电子的发现,打破了原子不可分的观点。

1909 年,英国科学家卢瑟福(Ernest Rutherford)让一束平行的 α 粒子(α 粒子是带有两个正电荷的氦离子)穿过极薄的金箔,发现大多数 α 粒子穿透金属薄片仍向前直行,没有改变方向,但也有一部分改变了原来的直线射程,发生不同程度的偏转(说明受到斥力)。还有少数 α 粒子(大约一万个中有一个),好像遇到某种坚实的不能穿透的东西而被折回。 α 粒子散射实验结果证实:原子内有很大的空间,正电荷集中在原子中心极小的体积内,这个极小的体积拥有原子质量的 99% 以上。于是卢瑟福提出了“有核原子模型”,他认为原子是由带正电荷的原子核及带负电荷的电子组成,原子核在原子的中心,电子围绕原子核作高速运动。卢瑟福的原子模型正确地回答了原子的组成问题,并能够解释 α 粒子散射实验的结果。然而按照经典电磁学理论,电子绕核旋转时会发射电磁波,同时失去能量,造成了原子的不稳定。同时有核原