

GONGKE HUAXUE

工科化学

主 编 戴春爱 颜鲁婷

副主编 刘莲云 康晓红 程志明 连 超

配MOOC课程

扫描二维码免费
获取更多资源



北京交通大学出版社

<http://www.bjup.com.cn>

工 科 化 学

主 编 戴春爱 颜鲁婷

副主编 刘莲云 康晓红 程志明 连 超



扫描二维码，免费获取更多资源，使用说明见封底。

二维码图层被刮掉，一概不退不换。

北京交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书分为理论篇和实验篇, 主要内容包括化学基础知识、物质的聚集状态、化学热力学、化学反应速率、水溶液反应原理、氧化还原反应与电化学、物质结构基础、危险货物基础知识、化学与材料、化学实验。本书配有 MOOC 课程, 同时还附有教学 PPT、习题答案, 便于读者学习与使用。本书可供高等院校工科类非化工专业的学生使用, 也可作为文管类学生学习化学的参考用书。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

工科化学 / 戴春爱, 颜鲁婷主编. —北京: 北京交通大学出版社, 2018.8
ISBN 978-7-5121-3642-7

I. ① 工… II. ① 戴… ② 颜… III. ① 化学-高等学校-教材 IV. ① O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 174254 号

工科化学

GONGKE HUAXUE

责任编辑: 严慧明

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010-51686414

<http://www.bjtup.com.cn>

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编: 100044

印 刷 者: 艺堂印刷(天津)有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 mm×260 mm 印张: 16.75 彩插: 1 字数: 421 千字

版 次: 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-3642-7/O·172

印 数: 1~2 000 册 定价: 48.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。
投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。



工科化学是一门有特色的重要化学课程,是化学与工程技术间的桥梁,是培养现代化工程技术应用型人才的知识和能力整体结构的组成部分。通过本课程的学习,学生能熟悉工程技术发展中所必需的若干现代化学的基本理论、基本技能及其应用,具备对一些涉及化学工程实际问题的初步分析能力。

本书是多年来教学实践经验的总结,既注重理论基础知识的学习,又注重学生动手能力的培养,同时还渗透部分现代化学前沿知识,让学生学有所用。

本书由戴春爱、颜鲁婷任主编,由刘莲云、康晓红、程志明、连超任副主编。本书的编者分工如下:第1、5章,戴春爱;第4、9章,颜鲁婷;第3、7章,刘莲云;第2、6章,康晓红;第8章,程志明;第10章,连超。戴春爱、颜鲁婷两位老师负责本书的统筹规划工作。在编写过程中研究生吴梦、高秀园、曹婧玥、钱宇欣、古应彩、张阳阳、刘欢、李剑桥、朱东萍、王梅、张吉、于昌仕、姚嘉、王雅静、张威、凌廉杰、吕培文、董锦洋等人参与了部分校订及附录录入工作,在此表示感谢。

本书在编写过程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,在此向这些作者表示感谢。

由于水平有限,本书可能存在不足之处甚至错误,恳请广大读者不吝指出。

编 者

2018年6月于北京交通大学



理 论 篇

第 1 章 化学基础知识	3
1.1 物质变化及性质	3
1.2 物质的构成与组成	3
1.2.1 原子、离子、分子	3
1.2.2 元素	6
1.3 物质的分类	6
1.3.1 混合物和纯净物	6
1.3.2 单质和化合物	7
1.4 化学用语	8
1.4.1 元素符号和离子符号	8
1.4.2 化学式	9
1.4.3 化合价	10
1.4.4 电子式	11
1.5 化学反应类型	11
1.6 化学反应方程式	11
1.6.1 化学反应方程式的写法	11
1.6.2 化学反应方程式的配平	12
1.7 化学计算	13
1.7.1 有关化学式的计算	13
1.7.2 有关化学反应方程式的计算	15
1.7.3 有关溶液的计算	16
习题	18
第 2 章 物质的聚集状态	25
2.1 气体	25
2.1.1 理想气体的状态方程	25
2.1.2 理想气体混合物	26
2.1.3 实际气体的状态方程	29
2.2 液体	30
2.2.1 液体的蒸气压	30
2.2.2 液体的沸腾	32

2.3	溶液	32
2.3.1	溶液浓度的表示方法	32
2.3.2	溶解度	33
2.3.3	非电解质稀溶液的依数性	36
2.4	胶体	39
2.4.1	胶体的制备与净化	40
2.4.2	胶体的性质	41
2.4.3	胶团的结构	42
2.4.4	胶体的稳定性	43
2.5	固体	43
2.5.1	晶体的特征	44
2.5.2	晶体的微观结构及分类	45
	习题	48
第3章	化学热力学	49
3.1	基本概念	49
3.1.1	系统与环境	49
3.1.2	状态与状态函数	49
3.1.3	过程与途径	50
3.2	热力学第一定律	50
3.2.1	热和功	50
3.2.2	热力学能	51
3.2.3	热力学第一定律的数学表达式	51
3.3	化学反应的反应热	51
3.3.1	定容反应热 Q_V	52
3.3.2	焓与定压反应热 Q_p	53
3.3.3	Q_V 与 Q_p 的关系	53
3.4	反应热的计算	54
3.4.1	化学反应进度与标准状态	54
3.4.2	赫斯定律	55
3.4.3	化学反应的标准摩尔焓变 $\Delta_r H_m^\ominus(T)$	56
3.4.4	物质的标准摩尔生成焓 $\Delta_f H_m^\ominus(B, T)$	56
3.4.5	物质的标准摩尔燃烧焓 $\Delta_c H_m^\ominus(B, T)$	57
3.5	化学反应的方向	58
3.5.1	自发过程	58
3.5.2	熵函数	59
3.5.3	吉布斯函数	60
3.5.4	化学反应的标准摩尔吉布斯函数变 $\Delta_r G_m^\ominus$	61
3.5.5	化学反应等温方程	62

3.6 化学平衡	63
3.6.1 可逆反应与化学平衡	63
3.6.2 化学反应的标准平衡常数	64
3.6.3 化学平衡计算	65
3.6.4 各因素对化学平衡的影响	66
习题	69
第4章 化学反应速率	72
4.1 化学反应速率的定义	72
4.2 化学反应速率的测定	73
4.3 浓度对化学反应速率的影响	74
4.3.1 一级反应	74
4.3.2 二级反应	76
4.3.3 零级反应	76
4.3.4 反应级数的测定	76
4.4 温度对化学反应速率的影响	79
4.4.1 阿伦尼乌斯方程	79
4.4.2 阿伦尼乌斯方程的应用	79
4.4.3 其他形式的温度与化学反应速率关系式	80
4.5 活化能和催化剂	81
4.5.1 活化能	81
4.5.2 催化剂	81
4.5.3 加快化学反应速率的方法	84
4.5.4 影响多相化学反应速率的因素	84
习题	85
第5章 水溶液反应原理	88
5.1 酸碱平衡	89
5.1.1 酸碱质子理论	89
5.1.2 水的解离平衡和溶液的 pH 值	91
5.1.3 弱电解质的解离平衡	92
5.1.4 同离子效应与缓冲溶液	95
5.2 沉淀溶解平衡	99
5.2.1 溶度积	99
5.2.2 溶度积规则、同离子效应与盐效应	100
5.2.3 两种沉淀之间的平衡	104
5.3 配位平衡	106
5.3.1 配合物	106
5.3.2 配位平衡常数与配位平衡的移动	109
5.3.3 配合物的应用	112

习题	116
第 6 章 氧化还原反应与电化学	119
6.1 原电池	119
6.1.1 原电池的概念	119
6.1.2 原电池的组成及电极反应	120
6.1.3 电极类型	121
6.1.4 原电池的符号	121
6.2 电极电势	122
6.2.1 电极电势的产生原因	122
6.2.2 标准(参比)电极	123
6.2.3 标准电极电势的测定	125
6.3 电极电势的影响因素	126
6.3.1 能斯特方程式	126
6.3.2 浓度对电极电势的影响	127
6.3.3 酸碱性对电极电势的影响	128
6.4 电极电势的应用	129
6.4.1 氧化剂和还原剂的氧化还原能力相对强弱的比较	129
6.4.2 氧化还原反应方向的判断	130
6.4.3 氧化还原反应进行程度的衡量	131
6.4.4 元素电势图及其应用	133
6.5 电化学应用	135
6.5.1 化学电源	135
6.5.2 金属腐蚀与防护	139
习题	142
第 7 章 物质结构基础	144
7.1 原子结构	144
7.1.1 核外电子的运动状态	144
7.1.2 四个量子数	145
7.1.3 原子核外电子的排布	146
7.2 元素的性质与原子结构的关系	147
7.2.1 元素周期律	147
7.2.2 元素的原子半径	147
7.2.3 元素的电离能	148
7.2.4 元素的电子亲和能	149
7.2.5 元素的电负性	150
7.3 化学键	151
7.3.1 离子键	151

7.3.2	共价键	152
7.3.3	金属键	155
7.4	分子间作用力和氢键	158
7.4.1	分子间作用力	158
7.4.2	氢键	159
习题		160
第 8 章	危险货物基础知识	161
8.1	危险货物的定义、分类及编号	161
8.1.1	危险货物的定义	161
8.1.2	危险货物的分类	161
8.1.3	危险货物的编号	162
8.2	危险货物的分类标准	163
8.2.1	第 1 类: 爆炸品	163
8.2.2	第 2 类: 气体	164
8.2.3	第 3 类: 易燃液体	164
8.2.4	第 4 类: 易燃固体、易于自燃的物质、遇水放出易燃气体的物质	164
8.2.5	第 5 类: 氧化性物质和有机过氧化物	165
8.2.6	第 6 类: 毒性物质和感染性物质	166
8.2.7	第 7 类: 放射性物质	167
8.2.8	第 8 类: 腐蚀性物质	167
8.2.9	第 9 类: 杂项危险物质和物品, 包括危害环境物质	167
8.3	化学品的危险性分类	168
8.4	危险货物运输包装和危险性标签	168
8.4.1	危险货物运输包装	168
8.4.2	危险性标签	170
习题		177
第 9 章	化学与材料	178
9.1	材料的定义及分类	178
9.2	化学与材料的关系	178
9.3	材料的化学制备方法	178
9.3.1	固相法	179
9.3.2	液相法	180
9.3.3	气相法	185
9.3.4	等离子体法	187
9.4	材料表面化学分析	187
9.4.1	表面元素组成及价态分析	188
9.4.2	表面键合情况分析	190

9.4.3	表面形貌分析	191
9.4.4	表面能的测定	193
9.4.5	表面电荷的测定	193
9.5	材料表面化学改性	194
9.5.1	化学镀与电镀	194
9.5.2	化学气相沉积	196
9.5.3	等离子体表面改性	197
9.5.4	表面改性剂改性	198
9.5.5	接枝聚合表面改性	199
	习题	200

实 验 篇

第 10 章	化学实验	203
10.1	蒸馏和沸点测定	203
10.1.1	实验目的	203
10.1.2	实验原理	203
10.1.3	实验仪器和药品	203
10.1.4	实验步骤	204
10.1.5	数据记录与处理	204
10.1.6	思考题	205
10.2	电解法测定阿伏伽德罗常数及摩尔气体常数	205
10.2.1	实验目的	205
10.2.2	实验原理	205
10.2.3	实验仪器和药品	205
10.2.4	实验步骤	206
10.2.5	数据记录与处理	207
10.2.6	思考题	208
10.3	酸度计的使用——测量溶液的 pH 值及测定原电池电动势	208
10.3.1	实验目的	208
10.3.2	实验原理	208
10.3.3	实验仪器和药品	209
10.3.4	实验步骤	209
10.3.5	数据记录与处理	209
10.3.6	思考题	209
10.4	水硬度的测定	210
10.4.1	实验目的	210
10.4.2	实验原理	210

10.4.3	实验仪器和药品	210
10.4.4	实验步骤	211
10.4.5	数据记录与处理	211
10.4.6	思考题	212
10.5	银氨配离子配位数的测定	212
10.5.1	实验目的	212
10.5.2	实验原理	212
10.5.3	实验仪器和药品	213
10.5.4	实验步骤	213
10.5.5	数据记录与处理	213
10.5.6	思考题	214
10.6	反应级数及活化能测定	214
10.6.1	实验目的	214
10.6.2	实验原理	214
10.6.3	实验仪器和药品	215
10.6.4	实验步骤	215
10.6.5	数据记录与处理	216
10.6.6	思考题	217
10.7	常见阳离子的分离和鉴定	217
10.7.1	实验目的	217
10.7.2	实验原理	217
10.7.3	实验仪器和药品	218
10.7.4	实验步骤	218
10.7.5	数据记录与处理	219
10.7.6	思考题	219
10.8	纳米银胶体溶液的制备	220
10.8.1	实验目的	220
10.8.2	实验原理	220
10.8.3	实验仪器和药品	220
10.8.4	实验步骤	220
10.8.5	数据记录与处理	221
10.8.6	思考题	221
附录 A	一些物质的热力学性质	222
附录 B	某些物质的标准摩尔燃烧焓 (298.15 K)	240
附录 C	弱酸、弱碱的解离常数	241

附录 D 溶度积常数 (298.15 K)243

附录 E 某些配离子的稳定常数 (298.15 K)245

附录 F 标准电极电势表 (298.15 K)247

附录 G 不同温度下水的饱和蒸气压和密度 (1 atm)252

参考文献254

理 论 篇



第 1 章

化学基础知识

自然科学是指对自然界的物质进行研究的学科。物质是不依赖于人的感觉而独立存在的客观现实，无论多么小，物质都有一定的质量和体积。反之，只要有质量和体积，这个东西就可被叫作物质。化学是研究物质的组成、结构、性质及变化规律的以实验为基础的自然科学。

1.1 物质变化及性质

根据是否有新物质生成，物质变化分为化学变化（化学反应）和物理变化。化学变化有新物质生成，常伴随放热、发光、变色、放出气体、生成沉淀等现象，例如煤燃烧、铁生锈、食物腐败等。而物理变化没有新物质生成，只是物质的外形或状态发生改变，例如石蜡熔化、水结成冰、汽油挥发等。化学变化和物理变化常常伴随发生，有化学变化就一定有物理变化，但有物理变化不一定有化学变化。

物质在静止状态下不需要发生化学变化就能表现出来的性质为物理性质，例如颜色、状态、气味、熔点、沸点、密度、硬度、溶解性、挥发性、延展性、导电性、吸水性、吸附性等。物质在化学变化中表现出来的性质为化学性质，例如可燃性、氧化性、还原性、活泼性、稳定性、腐蚀性、毒性等。

1.2 物质的构成与组成

1.2.1 原子、离子、分子

宏观上肉眼能看到的物质是由肉眼难以看见的微观粒子构成的，这些微观粒子包含原子、离子和分子。例如铁是由铁原子构成的，氯化钠是由钠离子和氯离子构成的，水是由水分子构成的，它们都能保持各自的化学性质。

1. 原子

原子是构成物质的基本单元，是化学变化中的最小微粒，在化学变化中不能再分。化学变化的实质是分子分成原子，原子再重新组合成新分子的过程。原子是非常微小的粒子，假

设原子是球体的话，典型原子的直径大约是 10^{-8} cm，质量大约是 10^{-23} g。按照卢瑟福提出的原子核式模型，原子由带正电荷的原子核和在原子核的库仑场中运动的带负电的电子组成。原子构成示意图如图 1-1 所示。原子核非常小，它的体积约为整个原子体积的 10^{-15} ，但原子质量的 99.95% 以上都集中在原子核。质量很小的电子在原子核外的空间中绕核做有规律的高速运动，原子核和核外电子相互吸引，组成中性的原子。在科学昌盛的 20 世纪，科学家已经能够利用场发射显微镜直接观察到原子图像，这是证明原子存在的最有力的证据。

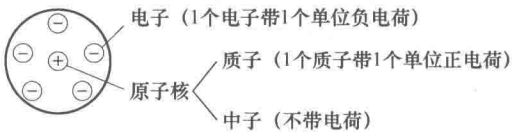


图 1-1 原子构成示意图

原子核由带正电的质子和不带电的中子构成，原子核中的质子和中子紧密地堆在一起，因此原子核的密度很大。质子和中子的质量大致相等，其中中子的质量略大一些。质子带正电荷，有多少个质子，原子就带多少单位正电荷，而中子不带电荷，是电中性的，所以整个原子核是带正电荷的，质子所带的正电荷数就叫核电荷数。原子核内质子与核外电子的电性相反但电量相等，所以整个原子不显电性。需要注意的是，原子中质子数不一定等于中子数。另外，并不是所有原子的原子核中都含有中子，例如氢原子的原子核中无中子。

核电荷数=质子数=核外电子数

(1-1)

原子核外的电子是分层排布的，原子的结构可以用原子结构示意图表示。例如，氧原子结构示意图如图 1-2 所示。

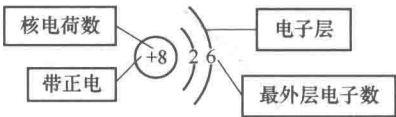


图 1-2 氧原子结构示意图

原子的核外电子排布特别是最外层电子数（价电子）与元素的化学性质有密切的关系（如表 1-1 所示），因此，若两种元素的最外层电子数相同，则这两种元素的化学性质相似。元素的最外层电子数一般不超过 8 个，当只有一层时，一般不能超过 2 个。最外层电子数为 8（若第一层为最外层时，最外层电子数为 2）的结构相对稳定。

表 1-1 元素最外层电子数及其化学性质

元素类别	最外层电子数	得失电子趋势	化学性质
金属元素	一般小于 4	易失去最外层电子，形成阳离子	活泼
非金属元素	一般大于 4	易得到电子而使最外层达到 8 电子稳定结构，形成阴离子	活泼
稀有气体元素	一般等于 8（He 最外层电子数为 2）	难于得失电子，常称为 8 电子稳定结构	不活泼

2. 离子

质子、中子和电子都属于“基本粒子”。在一个电中性的原子中，质子和电子的数目是一



样的。当中性原子失去或得到电子时，所形成的带电荷的原子叫离子。对离子来说，有如下关系式：

核电荷数=质子数 ≠ 核外电子数

(1-2)

由原子失去电子而形成的离子称为阳离子，相反，由原子得到电子而形成的离子称为阴离子。阳离子、原子、阴离子之间的相互转化如图 1-3 所示。原子与离子的比较结果如表 1-2 所示。金属元素最外层电子数一般小于 4，在化学反应中易失去电子而趋向达到稳定结构，成为阳离子；非金属元素最外层电子数一般大于 4，在化学反应中易得到电子而趋向达到稳定结构，成为阴离子。

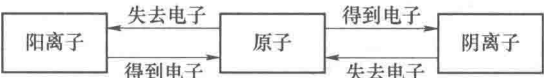


图 1-3 阳离子、原子、阴离子之间的相互转化

表 1-2 原子与离子的比较结果

		原子	离子	
			阳离子	阴离子
不同点	粒子结构	质子数=电子数	质子数>电子数	质子数<电子数
	粒子电性	不显电性	显正电	显负电
	符号	用元素符号表示	用离子符号表示	用离子符号表示
相同点		都是构成物质的一种微粒；质量、体积都很小；都在不停运动；都有间隔		

3. 分子

分子是组成物质的微小单元，是能够独立存在并保持物质原有的一切化学性质的最小微粒。分子有一定的大小和质量，分子的理想模型是球形，其直径的数量级约为 10^{-10} （单位为 m），其质量的数量级约为 10^{-26} （单位为 kg）。分子间有一定的间隔，且相互之间有一定的微弱作用力，这个作用力被称作范德华力。分子在不停地运动，且分子可以随着温度的变化而在气态、液态和固态之间相互转换。最小的分子是氢的同位素氕形成的氕分子，它是没有中子的氢分子。同种分子性质相同，不同种分子性质不同。

分子一般由更小的微粒——原子构成，即原子通过较强的作用力——化学键以一定的次序和排列方式结合成分子。以水分子为例，在不破坏水的特性的前提条件下将水不断分割下去，这时出现的最小单元是由两个氢原子和一个氧原子组成的水分子。水分子可用电解法或其他方法再分为两个氢原子和一个氧原子，但这时它们的特性和水完全不同。不同分子可以由同种原子构成，也可以由不同种原子构成。最简单的分子由一个原子构成，称单原子分子（如氦和氩等稀有气体分子），这种单原子分子既是原子又是分子。将由两个原子构成的分子称作双原子分子，大多数非金属元素构成的分子为双原子分子。例如，氧分子由两个氧原子构成，这类分子称为同核双原子分子；一氧化碳分子由一个氧原子和一个碳原子构成，这类分子称为异核双原子分子。分子中的原子数可更多，可达几个、十几个、几十个乃至成千上万个，由两个以上的原子组成的分子统称多原子分子。

随着分子概念的发展，化学家对无机分子的了解也逐步深入，例如氯化钠是以钠离子和