6. 教材成果

6.1　基础化学实验与技术，化学工业出版社，郝新奇，2023 年

国家级实验教学示范中心教材

JICHU HUAXUE SHIYAN
YU JISHU

基础化学实验与技术

（第二版）

宋毛平 何占航 郝新奇 主 编

化学工业出版社

国家级实验教学示范中心教材

JICHU HUAXUE SHIYAN
YU JISHU

基础化学实验与技术

（第二版）

宋毛平 何占航 郝新奇 主 编

化学工业出版社
·北京·

内容简介

《基础化学实验与技术》（第二版）将传统的以化学二级学科为架构分科设立实验课的体系进行重组统一，以达到基础化学实验真正独立设课之目的。全书立足于课程的基础性和整体性，强化化学实验基础理论、基本方法与技术内容，并以它们为纲引领实验项目，这样的编排有利于加强理论与实验之间的联系。全书共由5篇内容组成：化学实验基础知识、化学实验常规技术、物质的制备与提取、物质基本物理量测定及性质、综合提高型实验。本书编选了172个实验项目，既有基础性和验证性实验，也有相当数量的综合性、设计性实验，构成了基础化学实验课程的完整框架。书末附录列出了实验常用的有关数据。

本书既可作为化学及近化学类本科专业基础化学实验课程改革教材使用，也可供材料、矿冶、轻工、环境，医学、农学类等专业作为化学实验教材或参考书使用，对于从事有关化学研究和工矿中心化验室工作的相关人士亦具有一定参考价值。

图书在版编目（CIP）数据

基础化学实验与技术/宋毛平，何占航，郝新奇主编．—2版．—北京：化学工业出版社，2023.7

国家级实验教学示范中心教材

ISBN 978-7-122-43258-2

Ⅰ.①基… Ⅱ.①宋…②何…③郝… Ⅲ.①化学实验-高等学校-教材 Ⅳ.①O6-3

中国国家版本馆CIP数据核字（2023）第060362号

责任编辑：宋林青　　文字编辑：刘志茹
责任校对：宋　玮　　装帧设计：史利平

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号　邮政编码100011）
印　　装：三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm　1/16　印张37　彩插1　字数1020千字　　2023年9月北京第2版第1次印刷

购书咨询：010-64518888　　售后服务：010-64518899
网　　址：http://www.cip.com.cn
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定　　价：70.00元

版权所有　违者必究

《基础化学实验与技术》（第二版）编写组

主编：宋毛平　何占航　郝新奇

编者（以姓氏笔画为序）：

王瑞勇　闫学斌　朱新举　关新新

李　恺　何占航　余　旻　宋毛平

张　斌　武现丽　周利鹏　郝新奇

前　言

本书自 2008 年出版，已使用了 15 年之久。在此期间，本书一直作为郑州大学化学类专业本科生的基础化学实验课程和研究生复试的参考书，也供材料、矿冶、轻工、环境类等工科专业和医学、农学类等专业作为化学实验教材或参考书使用，对于从事化学实验室工作的相关人士亦具有一定的参考价值。近些年，随着化学理论、制备工艺、表征手段的发展与改进，基础化学实验涉及的实验内容以及仪器设备也亟需更新补充。为了适应基础化学实验在研究和教学上的新发展和需求，本书作者决定编写《基础化学实验与技术》第二版。

第二版延续了第一版的理念与精神，以化学一级学科为架构对基础实验课程进行整合，立足于课程的基础性和整体性，以化学实验基础理论、基本方法与技术引领实验内容，全书共 5 篇，选编了 172 个实验项目。相较于第一版，新版具有以下特点：

1. 在“强化基础，提高创新”基本原则下，保持全书框架结构不变，而秉承“现代化、绿色化”的思想，略去了已经淘汰的旧设备说明，增加了新实验仪器的操作介绍，删减了“立德粉废渣制备氧化铅”等污染较大的实验，更新了有关参考资料，同时对部分实验的原理和步骤做了必要的改写，进一步贴合理论课内容，以求学生在完成实验基本操作任务的基础上，能够对实验的设计思想进行深入思考，从而激发学生对化学的兴趣，更好地将理论和实验融合在一起。

2. 根据近年来的教学实践，对原书中一些有机化学实验进行改进和试剂的调整。对一些试剂的数据、参考文献等进行补充，同时对描述欠准确之处进行了订正。补充了一个模板反应内容，给提前参加科研训练的学生提供更多的训练机会，提高他们利用文献独立设计实验的能力。

3. 为使实验内容有更大的选择余地，选择了 3 个仪器分析实验增加到本版中，即：氢化物发生-原子荧光法测定废水中的汞、分子荧光法检测荧光物质的激发光谱和发射光谱、气相色谱内标法测定正丁醇的含量等。

4. 物理化学实验部分本次修订对上一版的疏漏进行了更正，在更新实验技术与方法的基础上，对燃烧热测定、凝固点降低法测定分子量、原电池电动势和电极电势测量、镍电极极化曲线的测定等实验进行了修订。

第二版的编写由王瑞勇、闫学斌、朱新举、关新新、宋毛平、何占航、余旻、李恺、张斌、周利鹏、武现丽、郝新奇等完成，最后由宋毛平、何占航、郝新奇统一定稿。在本书编写过程中，得到了郑州大学“教材建设项目”资助，也得到了郑州大学化学学院领导和实验中心老师的大力支持。郑州大学的卢会杰教授、刘寿长教授、刘金霞教授和徐琰教授对本书的编写提出了许多建设性意见。

作者恳切希望此书能给读者带来一些参考价值，但鉴于编者学识水平与经验有限，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

编者

2023 年 3 月于郑州

目　录

绪论 …… 1
第一篇　化学实验基础知识 …… 5
1.1　基础化学实验室导则 …… 5
1.2　化学实验的安全与环境 …… 5
1.2.1　安全守则 …… 5
1.2.2　化学实验室各类警示标志 …… 7
1.2.3　环境保护及三废处理 …… 11
1.2.4　有害化学品知识（危险品的使用） …… 13
1.3　化学实验中意外事故预防与处理 …… 14
1.3.1　预防事故发生措施 …… 14
1.3.2　意外事故的处理 …… 16
1.4　化学实验的量与数据处理 …… 19
1.4.1　单位与法定计量单位 …… 19
1.4.2　有效数字及运算规则 …… 24
1.4.3　误差及误差传递 …… 25
1.4.4　测定结果的数据处理 …… 30
1.5　实验预习、操作、记录和实验报告 …… 35
1.5.1　实验预习 …… 35
1.5.2　实验实施 …… 36
1.5.3　实验记录 …… 36
1.5.4　实验报告 …… 36
1.6　化学实验文献与资料查询 …… 38
1.6.1　工具书 …… 39
1.6.2　期刊 …… 42
1.6.3　网络资源 …… 42
第二篇　化学实验常规技术 …… 44
2.1　玻璃仪器等常规实验材料的使用 …… 44
2.1.1　玻璃仪器的使用、洗涤与干燥 …… 46
2.1.2　常用度量玻璃仪器 …… 48
实验1　认识实验室 …… 58
实验2　容量仪器的校准 …… 59
2.1.3　微型实验仪器介绍 …… 61
2.1.4　各类试纸 …… 61
2.2　质量度量——天平的使用 …… 64
2.2.1　电子天平 …… 64
2.2.2　专用天平 …… 66
实验3　电子天平的使用练习 …… 67
2.3　加热与冷却 …… 67
2.3.1　加热与灼烧 …… 67
2.3.2　冷却与制冷 …… 73
2.3.3　温度的测量与温度计 …… 75
2.3.4　熔点及其测定 …… 75
实验4　熔点测定与温度计校正 …… 78
2.3.5　沸点及其测定 …… 79
实验5　液体沸点及其测定 …… 80
实验6　凝固点降低法测定分子量 …… 81
2.4　物质的分离与提纯 …… 83
2.4.1　固-液分离 …… 86
实验7　土壤中可溶性全盐量的测定（重量法） …… 99
实验8　氯化钠的提纯 …… 102
2.4.2　结晶、沉淀与重结晶 …… 103
实验9　硫酸锌的制备与提纯 …… 108
实验10　乙酰苯胺、粗萘及苯甲酸的重结晶纯化 …… 117
2.4.3　离子交换树脂 …… 118
实验11　难溶电解质溶度积的测定 …… 120
实验12　离子交换色谱分离钴、镍 …… 121
2.4.4　蒸馏 …… 123
实验13　双液系的气-液平衡相图 …… 127
实验14　工业乙醇的蒸馏 …… 130
实验15　丙酮和水或甲醇和水的蒸馏与简单分馏 …… 131
实验16　溴苯的水蒸气蒸馏 …… 134
实验17　苯甲醛的减压蒸馏 …… 136
实验18　糠醛的减压蒸馏 …… 137
实验19　乙酰乙酸乙酯的减压蒸馏 …… 138
2.4.5　萃取 …… 139
实验20　半开放实验——由糠醛生产废水中萃取有机酸 …… 141
实验21　由油料作物种子中提取油脂 …… 143
实验22　半开放实验——对甲苯胺、β-萘酚和萘的分离 …… 144
2.4.6　升华 …… 145
实验23　樟脑的升华 …… 146
2.4.7　物质的干燥 …… 146
实验24　小麦面粉水分、粗灰分的测定 …… 148
实验25　氯化钡中结晶水的测定 …… 149
2.4.8　吸附 …… 153
实验26　染色废水的脱色处理 …… 156
实验27　研究型实验——固体吸附特性的研究 …… 157
2.4.9　气体发生与净化 …… 163

实验 28 硫酸亚铁晶体对 H_2S、氨的吸收 …… 170
2.4.10 色谱分离技术 …… 172
实验 29 植物叶片色素提取及薄层色谱分离 …… 174
实验 30 偶氮苯和苏丹Ⅲ的薄层色谱分离鉴定 …… 175
实验 31 APC 药片组分薄层色谱鉴定 …… 176
实验 32 荧光黄和亚甲基蓝的色谱分离 …… 178
实验 33 邻硝基苯胺和对硝基苯胺的分离 …… 178
实验 34 纸色谱法分离与鉴定 Fe^{3+}、Co^{2+}、Ni^{2+} 和 Cu^{2+} …… 180
实验 35 氨基酸的纸色谱及薄层色谱分离 …… 181
实验 36 气相色谱内标法测定正丁醇的含量 …… 185
实验 37 液相色谱中影响分离度的主要因素 …… 186
2.5 反应操作技术 …… 188
2.5.1 搅拌 …… 188
2.5.2 加料方法 …… 193
2.5.3 高压反应操作 …… 199
2.6 化学试剂与化学药品 …… 201
2.6.1 化学试剂的规格和存取 …… 201
2.6.2 常用溶剂与溶液 …… 203
2.6.3 水溶液配制与浓度表示方法 …… 207
实验 38 溶液的配制 …… 208
2.7 物质的定性鉴定技术 …… 209
2.7.1 无机离子鉴定 …… 209
实验 39 水溶液中阳离子的分离和检出 …… 214
实验 40 常见阴离子的分离与检出 …… 217
实验 41 开放实验——未知无机混合物的分离与定性检出 …… 219
2.7.2 有机化合物的定性鉴定 …… 219
实验 42 有机物中杂元素的定性鉴定——钠熔法 …… 221
实验 43 有机化合物官能团定性鉴定 …… 222
2.8 化学样品定量分析的程序与方法 …… 225
2.8.1 样品采集与预处理 …… 225
2.8.2 化学滴定分析 …… 230
实验 44 酸碱中和滴定 …… 235
实验 45 有机酸摩尔质量的测定 …… 237
实验 46 铵盐中氮含量的测定（甲醛法） …… 238
实验 47 半开放实验——啤酒总酸度测定 …… 240
实验 48 综合性实验——碳酸钠的制备及组成测定（双指示剂法） …… 241
实验 49 半开放实验——EDTA 制备及其标准溶液的配制、标定 …… 246
实验 50 粗硫酸锌中锌含量的测定 …… 249
实验 51 合金中铝含量的测定 …… 250
实验 52 铁、铝混合液中 Fe^{3+}、Al^{3+} 含量的连续测定 …… 252
实验 53 铅、铋混合液中 Pb^{2+}、Bi^{3+} 的连续测定 …… 254
实验 54 水样总硬度的测定 …… 255
实验 55 石灰石或白云石中钙、镁含量的测定 …… 257
实验 56 软锰矿（MnO_2）氧化力的测定 …… 263
实验 57 铁矿石中全铁的测定（$K_2Cr_2O_7$ 法） …… 265
实验 58 综合性实验——$Na_2S_2O_3$ 制备及其标准溶液配制与标定 …… 267
实验 59 工业苯酚纯度的测定（溴酸钾法） …… 271
实验 60 维生素 C（药片）的测定（碘量法） …… 273
实验 61 设计性实验——84 消毒液中有效氯含量的测定 …… 275
实验 62 莫尔法测定氯化物中氯的含量 …… 278
实验 63 银合金中银含量的测定（佛尔哈德法） …… 279
实验 64 双乙酸钠中乙酸钠含量的测定（非水溶液法） …… 281
实验 65 α-氨基酸的测定（非水滴定） …… 282
2.8.3 重量分析法 …… 283
实验 66 土壤中硫酸根含量的测定 …… 288
2.9 光学量测定与光谱技术简介 …… 290
2.9.1 折射率与旋光度 …… 290
实验 67 商品味精纯度的测定 …… 292
2.9.2 分子的电子光谱——紫外-可见光谱 …… 293
实验 68 光度法测定配位化合物的组成和稳定常数 …… 300

实验 69　溶液吸附法测定比表面积 … 302
2.9.3　红外光谱 …… 304
实验 70　红外吸收光谱 …… 306
2.9.4　核磁共振 …… 307
2.9.5　分子荧光法 …… 309
实验 71　分子荧光法检测荧光物质的激发光谱和发射光谱 …… 313
实验 72　氢化物发生——原子荧光法测定废水中的汞 …… 315
第三篇　物质的制备与提取 …… 317
3.1　无机物的制备与提取 …… 317
3.1.1　复分解反应法 …… 317
3.1.2　分子间化合物的制备 …… 318
3.1.3　无水化合物的制备 …… 319
3.1.4　由矿石、废渣（液）制取无机化合物 …… 320
实验 73　硫酸亚铁铵的制备 …… 323
实验 74　半开放综合实验——液体碱式氯化铝的制备、性质与组成测定 …… 324
实验 75　沉淀法制备二氧化硅 …… 327
实验 76　焦磷酸钙的制备 …… 328
实验 77　铁黄颜料的制备及其氢氧根含量的测定 …… 329
实验 78　氯化亚铜的制备与性质 …… 330
实验 79　氢氧化铜的制备与组成分析 … 332
实验 80　开放实验——NH_4FePO_4 制备及 Fe(Ⅱ)含量的测定 …… 333
实验 81　设计实验——过碳酸钠制备及活性氧的测定（$KMnO_4$ 法）… 335
3.2　有机化合物制备 …… 336
3.2.1　简单有机物的制备 …… 336
实验 82　环己烯的制备——醇的消除反应 …… 337
实验 83　溴乙烷和 1-氯戊烷的制备 … 339
实验 84　叔丁基氯的制备 …… 341
实验 85　3-溴环己烯的制备…… 342
实验 86　四溴双酚 A 的制备 …… 343
实验 87　2-甲基己-2-醇的制备 …… 345
实验 88　α-苯乙醇的制备 …… 347
实验 89　二苯甲醇的制备 …… 348
实验 90　乙醚和异戊醚的制备 …… 349
实验 91　正丁醚的制备 …… 352
实验 92　β-萘甲醚的制备（微波加热法） …… 353
实验 93　苯乙酮的制备 …… 354
实验 94　二苯甲酮的制备 …… 356
实验 95　己二酸的制备 …… 358
实验 96　乙酸乙酯和乙酸异戊酯的制备 …… 359
实验 97　综合实验——乙酰水杨酸的制备及含量测定 …… 362
实验 98　富马酸及其二甲酯的制备 … 363
实验 99　硝基苯的制备 …… 365
实验 100　2-硝基雷锁辛的制备 …… 366
实验 101　苯胺的制备 …… 368
实验 102　邻氨基苯甲酸的制备 …… 369
实验 103　甲基橙的制备 …… 370
3.2.2　利用特殊反应完成有机物合成 … 371
实验 104　肉桂酸的制备 …… 371
实验 105　扁桃酸的制备 …… 373
实验 106　苯甲醇和苯甲酸的制备 …… 374
实验 107　呋喃甲醇和呋喃甲酸的制备 …… 376
实验 108　ε-己内酰胺的制备 …… 377
实验 109　综合实验——8-羟基喹啉的制备 …… 380
实验 110　综合实验——非那西汀的制备 …… 384
实验 111　综合实验——2,4-二氯苯氧乙酸及其含量测定 …… 387
实验 112　止痒酮的制备 …… 389
实验 113　苯佐卡因的制备 …… 392
3.3　配位化合物的制备 …… 395
实验 114　三草酸合铁(Ⅲ) 酸钾制备及其光化学性质 …… 395
实验 115　三氯化六氨合钴(Ⅲ) 的合成与组成测定 …… 396
实验 116　设计实验——EDTA-Ca 钠盐的制备 …… 399
实验 117　四氯合铜二乙基铵盐及其热致变色 …… 400
实验 118　设计实验——固相反应制备 Cr(Ⅲ)草酸根配合物 …… 401
实验 119　由蚕砂出发制取叶绿素铜钠盐 …… 402
3.4　由天然产物出发提取纯物质 …… 403
实验 120　从茶叶中提取咖啡因 …… 404
实验 121　从槐花米中提取芦丁 …… 405
实验 122　从黄连中提取黄连素 …… 406
实验 123　由黄花烟草叶片出发制取烟碱苦味酸盐 …… 407
实验 124　银杏叶中黄酮类有效成分的提取 …… 408

实验 125　从黑胡椒中提取胡椒碱 …… 408
第四篇　物质基本物理量测定及性质 … 410
4.1　气体压力的测量与真空技术 …… 410
4.1.1　气体压力的测量 …… 410
4.1.2　真空技术 …… 412
实验 126　纯液体饱和蒸气压的测定 …… 416
实验 127　最大气泡法测定溶液表面张力 …… 419
4.2　物质密度的测定 …… 423
4.2.1　液体密度的测定 …… 423
4.2.2　固体密度的测定 …… 425
实验 128　密度瓶法测定酱油的相对密度 …… 426
实验 129　浸液法测定粉体真密度 …… 427
4.3　热力学量的测定 …… 428
4.3.1　温度的测量 …… 429
4.3.2　温度的控制 …… 434
4.3.3　量热技术 …… 438
实验 130　置换法测定摩尔气体常数 R …… 438
实验 131　化学反应热效应的简易测定 …… 440
实验 132　燃烧热测定 …… 442
实验 133　设计实验——测定苯的稳定化能 …… 445
4.4　电化学测量方法 …… 446
4.4.1　对消法 …… 446
4.4.2　惠斯登电桥法 …… 446
4.4.3　电极的种类及其选择 …… 447
实验 134　原电池电动势和电极电势的测定 …… 448
实验 135　弱酸电离常数的测定 …… 453
实验 136　难溶电解质溶度积的测定 …… 454
实验 137　用电导率仪测定电离平衡常数 …… 455
实验 138　界面移动法测离子迁移数 …… 460
实验 139　镍电极极化曲线的测定 …… 462
实验 140　氢超电势的测定 …… 464
实验 141　设计实验——电极材料与电催化性能 …… 467
4.5　化学动力学实验 …… 470
实验 142　过二硫酸根氧化碘离子反应动力学参数的简易测定 …… 470
实验 143　二级反应——乙酸乙酯皂化反应 …… 472
实验 144　旋光法测定蔗糖转化反应的速率常数 …… 475
实验 145　复杂反应——丙酮碘化反应 …… 477
实验 146　过氧化氢催化分解反应 …… 481
实验 147　连续流动法研究催化反应动力学 …… 483
实验 148　催化剂活性与选择性 …… 486
4.6　无机物及其在水溶液中的性质 …… 488
实验 149　水溶液中的离子平衡 …… 489
实验 150　氧化还原反应与电化学 …… 491
实验 151　卤素 …… 492
实验 152　过氧化氢与硫的化合物 …… 494
实验 153　铬和锰的化合物 …… 497
实验 154　ⅠB和ⅡB元素性质 …… 499
实验 155　铁、钴、镍 …… 502
4.7　结构性质实验 …… 505
实验 156　超细粒子的粒度分析 …… 505
实验 157　配合物磁矩的测定 …… 509
实验 158　偶极矩的测定 …… 512
第五篇　综合提高型实验 …… 518
实验 159　负载型杂多酸催化剂制备与酯化反应应用 …… 518
实验 160　透明氧化铁黄的制备 …… 520
实验 161　DL-苏氨酸的化学合成 …… 521
实验 162　乳酸亚铁的制备 …… 523
实验 163　水垢样品成分分析 …… 524
实验 164　卡尔·费休法测定植物油脂中水含量 …… 525
实验 165　化学放大法测定地表水中微量 Mn^{2+} …… 526
实验 166　腈菌唑的合成 …… 526
实验 167　磺胺的合成 …… 527
实验 168　催化氧化法由葡萄糖制取葡萄糖酸盐 …… 528
实验 169　绿色催化酯化反应及其动力学 …… 530
实验 170　微乳液法制备 TiO_2 光催化剂 …… 531
实验 171　手性 1,1′-联-2-萘酚合成及拆分 …… 532
实验 172　模板实验——2-(4-甲基苯甲酰基)苯甲酸和 2-甲基-9,10-蒽醌的制备 …… 533
附录 …… 536
1. 化学实验中常用基本物理常数 …… 536

2. 基础化学实验部分常用基本玻璃仪器、用具简介 …… 536
3. 常见无机化合物性质 …… 543
3.1 常见单质的电导率、热导率、密度、熔点和沸点 …… 543
3.2 常见无机化合物的一般性质 …… 544
3.3 常见无机化合物的标准热力学数据 …… 551
3.4 难溶化合物的溶度积常数 …… 555
3.5 某些无机化合物在部分有机溶剂中的溶解度 …… 556
3.6 水的各种数据 …… 556
4. 常见有机化合物的性质 …… 558
4.1 常用有机化合物的一般性质 …… 558
4.2 常见有机化合物的标准热力学数据 …… 559
5. 物质水溶液的性质 …… 562
5.1 常见酸、碱水溶液的密度与溶解度 …… 562
5.2 常见无机物水溶液密度与质量分数 …… 566
5.3 弱酸、弱碱的解离常数 …… 567
5.4 标准电极电势 …… 569
5.5 常用 pH 缓冲溶液的配制和 pH 值 …… 572
5.6 常用各种指示剂 …… 572
5.7 配合物稳定常数 …… 576
6. 常见二元恒沸混合物的组成和沸腾温度 …… 578
主要参考书目 …… 580

绪　论

科学实验是通过一定的仪器和设备，根据研究的目的，突出某些主要因素，排除其他次要的、偶然因素的干扰，使研究对象中为我们所需要的某些属性或关系在简化的、纯粹的形态下暴露出来，从而准确地认识它。科学实验的重要性主要是因为它直接指向研究对象，对现象作经验的研究是我们获得有关外部世界一切知识的基础。实验的方式使人们能够积极干预事物和现象的进程，以便详细而精确地把握它们。科学实验是帮助人们发现新的科学事实、获得新的科学规律的重要手段，又是证实或证伪假说和检验科学理论研究成果的重要手段。系统的实验方法的产生，不仅是科学方法发展史上的一次重大突破，而且也是科学发展最重要的基础，以至于人们常常把近代以来成熟的自然科学叫做实验科学。自实验从生产实践中分化出来成为一项具有独立性的社会实践活动，科学研究才有了最重要的手段，科学的发展才奠定了直接的基础。实验是近、现代科学最伟大的传统，离开实验传统，科学之树就丧失了成长壮大的肥沃土壤。当然，我们也重视理论思维，反对狭隘的经验主义。

19 世纪初，当时最卓越的化学家柏齐里乌斯（Berzelius Jons Jakob，1779～1848）的实验室就是他的厨房，在那里，化学和烹调一起进行。1817 年，英国格拉斯大学建立第一个供教学用的化学实验室；1824 年，李比希（Liebig Justus von，1803～1873）在德国吉森大学建立了另一个更出名的化学实验室，实验才成为科学家训练的必要组成部分。时值今天的科学实验，已成为千百万人参加的认识自然、改造自然的主要的社会实践活动形式之一。没有实验，就没有现代科学技术，更谈不上科学认识和科学发展。实验不仅塑造了近代自然科学，而且也为现代科学的发展奠定了坚实的基础，甚至成为科学的一种至关重要的认识论和方法论上的特点，成为科学的一种标志性特征。

化学是一门以实验为基础的自然科学，化学实验在培养造就未来化学家和化学工作者的教学环节中，占有特别重要的地位。基础化学实验与技术作为化学类及近化学类专业学生必修的实验课，在引导学生进入并重视化学实验、启迪学生的学习方法、训练学生的基础性操作、培养学生的学习兴趣和严谨作风、为以后其他实验课的学习打下扎实的基础等方面，具有独特的意义。基础化学实验是一门独立设置的课程，但与相应的理论课——无机化学、有机化学、分析化学和物理化学——有着密切的联系。

基础化学实验的研究对象可概括为：以实验为手段来了解基础化学中的主要原理、化合物的合成方法、分离手段、相关性能鉴定以及常用仪器的操作、近代大型仪器在基础化学实验中的应用等。本课程的目的和作用主要为以下几个方面。

① 培养将来能够从事科研的基本实验技能，加强和帮助理解课堂的理论知识，学会理论联系实际解决具体问题，培养进行科研的初步能力。在培养学生智力因素的同时，培养学生的科学精神和科学品德，使学生从一开始就要逐步树立严谨务实的科学态度、勤奋好学的思想品质、认真细致的工作作风、条理整洁的良好习惯和互助协作的团队精神。基础化学实验是对学生进行艰苦创业、勤奋不懈、谦虚好学、乐于协作、求实、求真、存疑等科学品德和科学精神训练的理想课程，这些都是一位化学工作者获得成功所不可缺少的因素。

② 学生经过基础实验的严格训练，能较规范地掌握实验的基本操作、基本技术和基本技能，学习并掌握基础化学的基本理论和基本知识，能够正确使用各类相关仪器，具有准确取得实验数据和作出结果判断的能力。基本了解科研的基本程序和方法并具备从事一般科研

6. 教材成果

6.2 物理化学上册，高等教育出版社，郭宪吉，2023 年

高等学校教材

PHYSICAL CHEMISTRY

物理化学

（上册）

郭宪吉 周利鹏 汪晓敏 编

中国教育出版传媒集团
高等教育出版社

高等学校教材

物理化学

（上册）

郭宪吉 周利鹏 汪晓敏 编

中国教育出版传媒集团
高等教育出版社·北京

内容提要

本书分为上、下两册。上册包括9章，分别为热力学第一定律及其应用、热力学第二定律和第三定律及其应用、热力学第二定律的统计表述及统计热力学初步、不可逆过程热力学初步、组成可变的多组分系统热力学基本知识、混合物和溶液系统热力学、化学反应方向和平衡、相变热力学及相图、电化学平衡。本书力求做到浅显易懂，注重对细节问题的讲述与解释，并提供丰富的典型例题和习题，各章后附有知识点总结和拓展学习资料。

本书可作为高等学校化学类及近化学类专业物理化学课程教材，也可供其他专业师生及相关教学、科研人员参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

物理化学. 上册 / 郭宪吉，周利鹏，汪晓敏编. -- 北京：高等教育出版社，2023. 12

ISBN 978-7-04-061097-0

Ⅰ. ①物… Ⅱ. ①郭… ②周… ③汪… Ⅲ. ①物理化学-高等学校-教材 Ⅳ. ①O64

中国国家版本馆 CIP 数据核字（2023）第 164464 号

WULI HUAXUE

策划编辑 李 颖　责任编辑 李 颖　封面设计 王凌波　版式设计 杜微言
责任绘图 黄云燕　责任校对 刘丽娴　责任印制 赵义民

出版发行	高等教育出版社	网　址	http://www.hep.edu.cn
社　址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印　刷	北京中科印刷有限公司		http://www.hepmall.com
开　本	787 mm × 1092 mm　1/16		http://www.hepmall.cn
印　张	33.5		
字　数	750 千字	版　次	2023 年 12 月第 1 版
购书热线	010-58581118	印　次	2023 年 12 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定　价	68.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有　侵权必究
物 料 号　61097-00

前　言

几十年的教学和科研实践使编者深刻明白，教材与专著不同，教材编写是一个系统工程。教材就像一栋建筑，既要为读者提供对应课程内容的“四梁八柱”，又要使读者知道这“四梁八柱”究竟各是哪些知识体系的根基，还要使读者清楚还有哪些区域具有拓展和改造的可能。

服务某门课程的教材，其内容必然要围绕这门课程设置的目标形成清晰的主线，并基于主线梯次展开，循序渐进。其中，每个独立章中必然也存在一条能使读者容易抓住的主线贯穿始终，这条主线可将全章的知识点串联起来，主线与各个小节的内容之间形成树枝状网络结构。

编写教材犹如讲故事，故事讲得好、讲得生动，便能勾起读者往下读的兴趣。但又不能像写小说一样，而且也写不成小说。教材中既有叙述，亦有论述。叙述时应自然流畅，论述时则须有根有据且论据充分，逻辑严密。无论叙述或论述，均可有问有答，便于与读者之间形成互动。

郑州大学物理化学课程建设始于1956年，即郑州大学建校之年。最早由王文祥先生和庄启星先生主持和开设，后经几代前辈的不懈努力，不断巩固并发展到新的阶段。这期间，先后出版过《物理化学计算》《高等物理化学》《物理化学》《物理化学实验与技术》等教材。物理化学课程先后被评为河南省首届优秀课程、河南省精品课程、河南省高等学校精品资源共享课程。南开大学李赫喧教授曾评价说，郑州大学实现了物理化学教学与科研实践比较完美的结合。郑州大学化学学院于1992年和2021年分别获批国家理科基础科学研究和教学人才培养基地、教育部基础学科拔尖学生培养计划2.0基地，为适应新的人才培养要求，编写一本合适的《物理化学》教材势在必行。

本书是基于编者多年来为化学专业本科生讲授物理化

学课程的讲义编写而成的。同时，在编写过程中，广泛参阅了国内外已有的物理化学教材和相关专著，以及《化学通报》《大学化学》等期刊上有关物理化学方面的文章。

本书重点讲述了物理化学的基本概念和基本理论。注重知识总结和串联，在每一章的“主要知识点概述”部分，对该章的主要知识点进行了梳理，使与正文内容相联系的那条主线更加明晰，以帮助读者有效降低因学习过程中知识的碎片化带来的“只见树木不见森林”的倾向。同时，书中编列了各类丰富的例题，并给出解答，便于读者更好地掌握学习内容。此外，在每一章的“科学问题”部分，紧密结合该章内容，提出了一两个相关的科学问题。当然，有的问题可能无解。但无论问题是否有解，编者希望激发出读者对所学内容的深度思考，使其通过本门课程的学习能够养成较好的科学素养和科研能力。

为更好发挥课程的育人作用，书中融合了一些哲学思想、科学论断、国家重大战略决策，以及我国科学家在相关领域取得的有影响力的科研成果。

本书的编写得益于编者在相关学习和工作生涯中聆听过沈文霞教授、侯文华教授、徐杰教授、刘寿长教授等讲授的物理化学课程。本书的编写得到了臧双全教授、李朝辉教授、李恺副教授的鼓励和大力支持。本书初稿形成后，关新新教授、李恺副教授、刘仲毅教授等进行了审阅，提出了宝贵意见和建议。另外，温豪和攸泽玮同学在绘图方面提供了许多帮助。在此一并表示衷心的感谢。

南开大学朱志昂教授审阅了全书，提出了很多宝贵的修改意见和富有建设性的建议。高等教育出版社李颖副编审为本书的出版提供了很多指导与帮助，付出了大量时间和辛劳。在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，不妥甚至错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编　者

2023 年 5 月

目 录

绪论 …… 1

第 1 章 热力学第一定律及其应用 …… 5

1.1 热力学概述 …… 5

1.2 热力学的几个基本概念 …… 7

1.3 热力学第一定律 …… 10

1.4 膨胀功的计算 …… 13

1.5 热及其计算 …… 20

1.6 热力学第一定律对理想气体的应用 …… 26

1.7 热力学第一定律对实际气体的应用 …… 34

1.8 热力学第一定律在化学变化中的应用——热化学 …… 39

1.9 绝热化学反应——反应系统最高温度或最大压力计算 …… 58

主要知识点概述 …… 60

科学问题 …… 63

习题 …… 63

第 2 章 热力学第二定律和第三定律及其应用 …… 67

2.1 引论 …… 67

2.2 自发变化过程的共同特征——不可逆性 …… 69

2.3 热力学第二定律的表述 …… 70

2.4 卡诺循环 …… 72

2.5 卡诺原理 …… 76

2.6 热力学第二定律的熵表述 …… 78

2.7 简单物理变化过程熵变的计算 …… 86

2.8 相变过程熵变的计算 …… 97

2.9 热力学第三定律与化学反应的熵变 …… 102

2.10 自由能 …… 110
2.11 各种变化过程 ΔG 的计算 …… 116
2.12 热力学的一些重要关系式 …… 122
2.13 综合性例题及其解答 …… 131
主要知识点概述 …… 138
科学问题 …… 142
习题 …… 142

第3章 热力学第二定律的统计表述及统计热力学初步 …… 146
3.1 引论 …… 146
3.2 熵的统计意义 …… 147
3.3 统计热力学一些必备的相关知识 …… 152
3.4 玻尔兹曼统计 …… 159
3.5 量子统计 …… 166
3.6 单粒子的配分函数 …… 170
3.7 配分函数的计算 …… 172
3.8 粒子的总配分函数 …… 188
3.9 统计热力学的应用——单原子分子理想气体的热力学性质 …… 190
主要知识点概述 …… 194
科学问题 …… 198
习题 …… 198

第4章 不可逆过程热力学初步 …… 200
4.1 引论 …… 200
4.2 近平衡区不可逆过程热力学 …… 202
4.3 远离平衡的不可逆过程 …… 208
主要知识点概述 …… 211
科学问题 …… 212

第5章 组成可变的多组分系统热力学基本知识 …… 213
5.1 引论 …… 213
5.2 物质的偏摩尔量 …… 214
5.3 化学势 …… 221
主要知识点概述 …… 228
科学问题 …… 229
习题 …… 229

第 6 章 混合物和溶液系统热力学 …… 231
6.1 引论 …… 231
6.2 混合气体中各组分的化学势 …… 232
6.3 拉乌尔定律和亨利定律 …… 243
6.4 理想液态混合物中组分的化学势 …… 245
6.5 理想稀溶液中溶剂和溶质的化学势 …… 253
6.6 稀溶液的依数性 …… 259
6.7 非理想液态混合物及非理想稀溶液 …… 270
6.8 杜安－马居尔公式及液态混合物中组分变化的相关性规律 …… 276
6.9 电解质溶液 …… 279
主要知识点概述 …… 287
科学问题 …… 290
习题 …… 290

第 7 章 化学反应方向和平衡 …… 294
7.1 引论 …… 294
7.2 化学反应的方向和限度 …… 295
7.3 平衡常数的热力学推导及化学反应等温方程式 …… 299
7.4 经验平衡常数 …… 304
7.5 复相反应的平衡常数 …… 309
7.6 物质的标准摩尔生成吉布斯自由能及反应 $\Delta_r G_m^\ominus$ 的应用 …… 311
7.7 平衡常数的测定及相关计算 …… 313
7.8 各种因素对化学平衡的影响 …… 317
7.9 化学反应的耦合 …… 327
7.10 化学反应热力学分析实例 …… 330
7.11 统计热力学与化学反应平衡常数的计算 …… 336
7.12 综合性例题及其解答 …… 344
主要知识点概述 …… 351
科学问题 …… 354
习题 …… 354

第 8 章 相变热力学及相图 …… 359
8.1 引论 …… 359
8.2 相律 …… 361
8.3 单组分系统的相平衡 …… 366
8.4 双组分系统的相平衡 …… 373

8.5 双组分系统相平衡方程 …… 405
8.6 三组分系统的相平衡 …… 408
8.7 超临界流体及其应用 …… 417
8.8 高阶相变 …… 421
8.9 综合性例题及其解答 …… 423
主要知识点概述 …… 432
科学问题 …… 435
习题 …… 435

第9章 电化学平衡 …… 441
9.1 电化学基础知识 …… 441
9.2 电势的热力学定义及电化学系统热力学基本公式 …… 465
9.3 可逆电池与可逆电极 …… 468
9.4 可逆电池电动势及其测定 …… 474
9.5 可逆原电池的书写及电动势正、负号的确定 …… 476
9.6 可逆电池热力学及其应用 …… 480
9.7 电势-pH图及其应用 …… 502
9.8 电极电势能斯特方程的解释 …… 508
主要知识点概述 …… 509
科学问题 …… 511
习题 …… 511

附录 一些物质在298.15 K时的标准热力学函数值 …… 515

主要参考资料 …… 525

绪论

什么是物理化学？简言之，物理化学即是从化学现象与物理现象的联系入手，来探究化学变化普遍遵循的基本规律的一门科学。在实验方法上，主要采用物理学的方法。

一、物理化学的形成、发展及研究对象

众所周知，近代意义上的物理学科和化学学科均诞生于欧洲。作为化学学科的重要二级学科，物理化学也诞生于欧洲。要弄清物理化学的发展起源，需要了解以下几位科学家的生平及贡献。(1) 俄国科学家罗蒙诺索夫 (M. V. Lomonosov，1711—1765)。在 18 世纪 40 年代，他明确指出热是分子运动的表现，这便是气体运动理论的萌芽，这一时期他还提出物质和运动守恒概念；在 18 世纪 50 年代，他通过实验证明化学反应遵从质量守恒定律。罗蒙诺索夫是历史上最先将这些理论称为"物理化学"的科学家，他为俄国理论化学的发展奠定了基础。(2) 德国籍科学家奥斯特瓦尔德(F. W. Ostwald，1853—1932)，物理化学创始人之一，在化学平衡、化学反应速率和催化剂作用等方面的研究均有突出成就，1909 年获得诺贝尔化学奖。(3) 荷兰科学家范托夫(J. H. van't Hoff，1852—1911)，在物理化学及立体有机化学方面均有广泛建树，获得首届(1901 年)诺贝尔化学奖。19 世纪 80 年代，范托夫和奥斯特瓦尔德坚定地支持瑞典科学家阿伦尼乌斯(S. A. Arrhenius，1859—1927)提出的电解质电离概念。范托夫和奥斯特瓦尔德于 1887 年合作创办德文版《物理化学》杂志，这成为物理化学学科正式确立的历史性标志。

物理化学主要包括化学热力学、化学动力学和物质结构三大部分。其中，物质结构学科主要是在分子或原子层面阐述粒子的构型与组成的关系，以及粒子结构与各种运动的相互影响。同时，物质结构学科研究物质微观结构与宏观性质的关系问题。近代物质结构学科的主要理论基础是量子化学，而量子化学是在 20 世纪 20 年代量子力学诞生后逐步发展起来的。在我国大部分高校中，物质结构(或称结构化学)课程独立于物理化学课程，单独设课。

以热力学第一定律、第二定律和第三定律为基础的热力学在处理化学变化及与化学

ISBN 978-7-04-061097-0

9 787040 610970 >

定价 68.00 元

6. 教材成果

6.3 有机化学，高等教育出版社，龙跃，2023 年

河南省“十四五”普通高等教育规划教材

河南省普通高等教育优秀教材建设奖

有机化学

（第二版）

主编　龙　跃

中国教育出版传媒集团
高等教育出版社

河南省“十四五”普通高等教育规划教材

河南省普通高等教育优秀教材建设奖

有机化学

（第二版）

主编　龙　跃

编者　（按姓氏笔画排序）

石伟民　闫学斌　朱新举　李国平

张金莉　张攀科　杨　帆　赵雪梅

中国教育出版传媒集团

高等教育出版社·北京

内容提要

本书根据教育部高等学校医药公共基础课程教学指导委员会下设自然科学课程教学指导分委会关于《临床五年制有机化学教学基本要求》编写而成，入选河南省"十四五"普通高等教育规划教材。本书在保持第一版的特色，注重体现鲜明的医学专业针对性特点外，还根据中国化学会发布的《有机化合物命名原则(2017)》，对有机化合物命名规则进行了调整；在教材内容上增补了包括生命科学和药学专业方面的新的知识，并增加了大量数字化教学资源，以二维码交互模式方便学生学习。全书共16章，主要包括烃类、烃的衍生物和天然有机化合物等内容。

本书可供五年制医学类专业教学使用，也可供生物科学类相关专业用作教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

有机化学/龙跃主编. --2版. --北京：高等教育出版社，2023.3

ISBN 978-7-04-059541-3

Ⅰ. ①有… Ⅱ. ①龙… Ⅲ. ①有机化学-高等学校-教材 Ⅳ. ①O62

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第211219号

策划编辑 沈晓晴　责任编辑 沈晓晴　封面设计 李卫青　版式设计 李彩丽
责任绘图 黄云燕　责任校对 窦丽娜　责任印制 存 怡

出版发行 高等教育出版社
社　　址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印　　刷 北京市艺辉印刷有限公司
开　　本 787mm×1092mm 1/16
印　　张 24
字　　数 570千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网　　址 http://www.hep.edu.cn
　　 http://www.hep.com.cn
网上订购 http://www.hepmall.com.cn
　　 http://www.hepmall.com
　　 http://www.hepmall.cn
版　　次 2016年2月第1版
　　 2023年3月第2版
印　　次 2023年3月第1次印刷
定　　价 45.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 59541-00

目录

第 1 章　绪论 …… 1
1.1　有机化合物和有机化学 …… 1
1.2　有机化合物结构式的表示方法 … 2
1.2.1　路易斯结构式 …… 2
1.2.2　凯库勒结构式 …… 2
1.3　有机化合物中的化学键 …… 3
1.3.1　经典共价键理论 …… 3
1.3.2　现代共价键理论 …… 4
1.3.3　杂化轨道理论 …… 4
1.3.4　分子轨道理论与共振理论 …… 6
1.3.5　共价键的性质 …… 8
1.4　有机化合物的分类 …… 10
1.4.1　按骨架分类 …… 10
1.4.2　按官能团分类 …… 11
1.5　有机化学反应类型 …… 12
1.6　有机化合物的非键作用力 …… 13
1.6.1　范德华力 …… 13
1.6.2　氢键 …… 13
1.7　有机酸碱的概念 …… 13
1.7.1　布朗斯特-劳里酸碱理论（质子理论） …… 14
1.7.2　路易斯酸碱理论（电子对理论） … 14
1.8　有机化学的重要性 …… 15
小结 …… 16
习题 …… 17
第 2 章　烷烃和环烷烃 …… 19
Ⅰ. 烷烃 …… 19
2.1　烷烃的结构 …… 19
2.2　烷烃的命名 …… 21
2.2.1　普通命名法 …… 21
2.2.2　系统命名法 …… 21
2.3　烷烃分子中的同分异构现象 …… 24
2.3.1　构造异构 …… 24
2.3.2　构象异构 …… 24
2.4　烷烃的物理性质 …… 26
2.5　烷烃的卤化反应及机理 …… 28
2.5.1　甲烷的卤化反应 …… 28
2.5.2　烷烃的卤化反应机理 …… 29
2.5.3　烷烃的卤化反应取向 …… 32
2.5.4　自由基的稳定性 …… 32
Ⅱ. 环烷烃 …… 34
2.6　环烷烃的结构 …… 34
2.7　环烷烃的命名 …… 36
2.8　单环烷烃的同分异构 …… 36
2.8.1　构造异构 …… 36
2.8.2　顺反异构 …… 37
2.9　环烷烃的构象 …… 37
2.9.1　环戊烷的构象 …… 37
2.9.2　环己烷的构象 …… 37
2.9.3　取代环己烷的构象 …… 39
2.9.4　十氢化萘的构象 …… 40
2.10　环烷烃的物理性质 …… 41
2.11　环烷烃的化学性质 …… 41
2.11.1　与开链烷烃相似的化学性质 …… 42
2.11.2　环丙烷和环丁烷的开环反应 …… 42
小结 …… 43
习题 …… 43
第 3 章　对映异构 …… 46
3.1　旋光性 …… 46
3.1.1　偏振光 …… 46
3.1.2　比旋光度 …… 47
3.2　手性和对称因素 …… 48
3.2.1　手性 …… 48

3.2.2 对称因素 …… 49
3.3 对映异构体的构型 …… 50
3.3.1 对映异构体的表示方法 …… 50
3.3.2 对映异构体的标记方法 …… 51
3.4 含一个手性碳原子化合物的对映异构 …… 53
3.5 含两个手性碳原子化合物的对映异构 …… 53
3.5.1 含两个不相同手性碳原子化合物的对映异构 …… 54
3.5.2 含两个相同手性碳原子化合物的对映异构 …… 54
3.5.3 脂环化合物的对映异构 …… 55
3.6 无手性碳原子化合物的对映异构 …… 55
3.6.1 丙二烯型化合物 …… 55
3.6.2 联苯型化合物 …… 56
3.7 外消旋体的拆分 …… 56
3.7.1 化学拆分法 …… 57
3.7.2 诱导结晶法 …… 57
3.7.3 生物拆分法 …… 57
小结 …… 57
习题 …… 58
第4章 不饱和烃 …… 60
Ⅰ. 烯烃 …… 60
4.1 烯烃的结构 …… 60
4.2 烯烃的同分异构和命名 …… 61
4.2.1 烯烃的同分异构 …… 61
4.2.2 烯烃的命名 …… 62
4.3 烯烃的物理性质 …… 65
4.4 烯烃的化学性质 …… 65
4.4.1 亲电加成反应 …… 65
4.4.2 烯烃的自由基加成反应 …… 70
4.4.3 硼氢化-氧化反应 …… 71
4.4.4 氧化反应 …… 71
4.4.5 烯烃的催化加氢 …… 73
4.4.6 烯键 α-H 的卤化 …… 74
4.4.7 烯烃的聚合 …… 74
Ⅱ. 炔烃 …… 75
4.5 炔烃的结构 …… 75
4.6 炔烃的同分异构和命名 …… 76
4.6.1 炔烃的同分异构 …… 76
4.6.2 炔烃的命名 …… 76
4.7 炔烃的物理性质 …… 77
4.8 炔烃的化学性质 …… 77
4.8.1 炔烃的酸性 …… 77
4.8.2 炔烃的加成反应 …… 78
4.8.3 炔烃的氧化 …… 79
4.8.4 炔烃的加氢和还原 …… 80
Ⅲ. 二烯烃 …… 80
4.9 二烯烃的分类和命名 …… 80
4.9.1 二烯烃的分类 …… 80
4.9.2 二烯烃的命名 …… 81
4.10 共轭二烯烃 …… 82
4.10.1 共轭二烯烃的结构 …… 82
4.10.2 共轭二烯烃的特征 …… 83
4.10.3 共轭加成 …… 83
4.10.4 第尔斯-阿尔德(Diels-Alder)反应 …… 84
4.10.5 共轭效应 …… 85
小结 …… 88
习题 …… 89
第5章 芳香化合物 …… 92
5.1 苯的结构 …… 92
5.2 苯型芳香烃的分类和命名 …… 95
5.2.1 单环苯型芳香烃 …… 95
5.2.2 多环苯型芳香烃 …… 96
5.3 单环苯型芳烃的物理性质 …… 97
5.4 苯及其同系物的化学性质 …… 97
5.4.1 亲电取代反应 …… 98
5.4.2 亲电取代反应机理 …… 100
5.4.3 苯及其同系物的氧化反应 …… 102
5.5 苯环上的亲电取代反应定位规律 …… 103

5.5.1 定位规律 …… 103
5.5.2 定位效应的理论解释 …… 104
5.5.3 定位规律的应用 …… 107
5.6 卤代芳烃及其亲核取代反应 … 108
5.6.1 加成-消除机理 …… 108
5.6.2 消除-加成机理:苯炔机理 …… 109
5.7 稠环芳香烃 …… 110
5.7.1 稠环芳香烃的结构和命名法…… 110
5.7.2 致癌稠环芳香烃 …… 112
5.8 非苯型芳香烃和 Hückel 规则 … 112
小结 …… 114
习题 …… 114
第6章 卤代烃 …… 118
6.1 卤代烃的分类和命名 …… 118
6.2 卤代烃的物理性质 …… 120
6.3 卤代烃的化学性质 …… 121
6.3.1 亲核取代反应 …… 121
6.3.2 亲核取代反应机理及其立体化学 …… 122
6.3.3 影响亲核取代反应的因素 …… 125
6.3.4 消除反应 …… 129
6.3.5 卤代烃与金属反应 …… 132
小结 …… 132
习题 …… 133
第7章 醇 酚 醚 …… 136
Ⅰ. 醇 …… 136
7.1 醇的结构、分类和命名 …… 136
7.2 醇的物理性质 …… 138
7.3 醇的化学性质 …… 140
7.3.1 与活泼金属的反应 …… 140
7.3.2 与氢卤酸的反应 …… 140
7.3.3 脱水反应 …… 141
7.3.4 与无机含氧酸的酯化反应 …… 143
7.3.5 氧化反应 …… 144
7.3.6 多元醇的特性 …… 145
Ⅱ. 酚 …… 146
7.4 酚的结构、分类和命名 …… 146
7.5 酚的物理性质 …… 147
7.6 酚的化学性质 …… 148
7.6.1 酚的弱酸性 …… 148
7.6.2 与三氯化铁的显色反应 …… 149
7.6.3 酚酯的生成 …… 149
7.6.4 酚芳环上的亲电取代反应 …… 149
7.6.5 氧化反应 …… 151
Ⅲ. 醚和环氧化合物 …… 151
7.7 醚的结构、分类和命名 …… 152
7.8 醚的物理性质 …… 153
7.9 醚的化学性质 …… 154
7.9.1 鎓盐的生成 …… 154
7.9.2 醚键的断裂 …… 154
7.9.3 过氧化物的形成 …… 155
7.10 环氧化合物 …… 155
7.10.1 环氧乙烷的反应 …… 156
7.10.2 环氧乙烷开环反应的取向 …… 156
Ⅳ. 硫醇和硫醚 …… 157
7.11 硫醇和硫醚的命名 …… 157
7.12 硫醇的物理性质 …… 157
7.13 硫醇和硫醚的化学性质 …… 157
7.13.1 硫醇的弱酸性 …… 157
7.13.2 硫醇与重金属化合物作用 …… 158
7.13.3 硫醇和硫醚的氧化作用 …… 158
小结 …… 159
习题 …… 160
第8章 醛 酮 醌 …… 162
8.1 醛、酮的结构、分类及命名 …… 162
8.1.1 醛、酮的结构 …… 162
8.1.2 醛、酮的分类 …… 163
8.1.3 醛、酮的命名 …… 163
8.2 醛、酮的物理性质 …… 165
8.3 醛、酮的化学性质 …… 165
8.3.1 亲核加成反应 …… 166
8.3.2 α-H 的反应 …… 172
8.3.3 氧化还原反应 …… 177
8.4 醌 …… 180

8.4.1 醌的结构 …… 180
8.4.2 醌的性质 …… 181
8.4.3 辅酶 Q 和维生素 K …… 182
小结 …… 183
习题 …… 184
第 9 章 羧酸和取代羧酸 …… 187
Ⅰ. 羧酸 …… 187
9.1 羧酸的结构 …… 187
9.2 羧酸的分类和命名 …… 188
9.3 羧酸的物理性质 …… 189
9.4 羧酸的化学性质 …… 190
9.4.1 羧酸的酸性和成盐反应 …… 190
9.4.2 羧酸衍生物的生成 …… 192
9.4.3 羧酸的受热反应 …… 194
9.4.4 羧酸的还原反应 …… 195
9.4.5 α-H 的卤化反应 …… 195
Ⅱ. 羟基酸 …… 196
9.5 羟基酸的分类和命名 …… 196
9.6 羟基酸的物理性质 …… 197
9.7 羟基酸的化学性质 …… 197
9.7.1 羟基酸的酸性 …… 197
9.7.2 醇酸的脱水反应 …… 198
9.7.3 醇酸的氧化反应 …… 198
9.7.4 酚酸的脱羧反应 …… 198
9.8 重要的羟基酸及其在体内的化学变化 …… 199
Ⅲ. 羰基酸 …… 202
9.9 酮酸的分类和命名 …… 202
9.10 酮酸的化学性质 …… 203
9.10.1 酮酸的酸性 …… 203
9.10.2 酮酸的分解反应 …… 203
9.10.3 α-酮酸的氨基化反应和氨基转移反应 …… 203
9.10.4 β-酮酸的分解反应 …… 204
9.11 重要的羰基酸及其在体内的化学变化 …… 205
小结 …… 206
习题 …… 206
第 10 章 羧酸衍生物 …… 209
10.1 羧酸衍生物的结构和命名 …… 209
10.1.1 羧酸衍生物的结构 …… 209
10.1.2 羧酸衍生物的命名 …… 210
10.2 羧酸衍生物的物理性质 …… 212
10.3 羧酸衍生物的亲核取代反应 …… 213
10.3.1 水解 …… 213
10.3.2 醇解 …… 214
10.3.3 氨(胺)解 …… 215
10.3.4 羧酸衍生物亲核取代反应机理 …… 216
10.3.5 酰化反应 …… 216
10.4 克莱森酯缩合反应 …… 217
10.5 酰胺的特性 …… 218
10.5.1 酸碱性 …… 218
10.5.2 霍夫曼降解反应 …… 218
10.5.3 与亚硝酸反应 …… 219
10.6 碳酸衍生物 …… 219
10.6.1 尿素 …… 220
10.6.2 丙二酰脲 …… 221
10.6.3 胍 …… 221
10.6.4 光气 …… 222
10.7 脂类 …… 222
10.7.1 油脂 …… 223
10.7.2 磷脂 …… 227
10.8 有机磷杀虫剂及其毒性 …… 231
10.8.1 有机磷杀虫剂的结构与分类 …… 231
10.8.2 有机磷杀虫剂的性质 …… 232
10.8.3 有机磷杀虫剂的作用及中毒防治 …… 233
小结 …… 234
习题 …… 235
第 11 章 含氮有机化合物 …… 237
Ⅰ. 胺 …… 237
11.1 胺的结构、分类和命名 …… 237
11.1.1 胺的结构 …… 237
11.1.2 胺的分类 …… 238
11.1.3 胺的命名 …… 239

11.2 胺的物理性质 …… 240
11.3 胺的化学性质 …… 241
11.3.1 胺的碱性 …… 241
11.3.2 酰化反应 …… 243
11.3.3 磺酰化反应 …… 244
11.3.4 胺与亚硝酸的反应 …… 244
11.3.5 氧化反应 …… 246
11.3.6 芳香胺的亲电取代反应 …… 247
11.3.7 季铵碱的霍夫曼消除 …… 248
Ⅱ. 重氮化合物和偶氮化合物 …… 249
11.4 重氮化反应 …… 249
11.4.1 取代反应(放氮反应) …… 250
11.4.2 偶联反应(留氮反应) …… 251
11.5 偶氮化合物 …… 252
小结 …… 253
习题 …… 253
第12章 杂环化合物 …… 256
12.1 杂环化合物的分类和命名 …… 256
12.1.1 杂环化合物的分类 …… 256
12.1.2 杂环化合物的命名 …… 256
12.2 六元杂环化合物 …… 258
12.2.1 吡啶的结构 …… 258
12.2.2 吡啶的性质 …… 258
12.2.3 吡啶的重要衍生物 …… 260
12.2.4 嘧啶及其衍生物 …… 261
12.3 五元杂环化合物 …… 261
12.3.1 呋喃、吡咯和噻吩的结构 …… 261
12.3.2 呋喃、吡咯和噻吩的性质 …… 262
12.3.3 吡咯的重要衍生物 …… 263
12.3.4 咪唑 …… 264
12.4 稠杂环 …… 265
12.4.1 吲哚及其衍生物 …… 265
12.4.2 喹啉 …… 266
12.4.3 嘌呤及其衍生物 …… 266
12.5 杂环药物 …… 267
12.5.1 天然杂环药物 …… 267
12.5.2 合成杂环药物 …… 269
12.6 生物碱简介 …… 271
12.6.1 生物碱的来源与命名 …… 271
12.6.2 生物碱的理化性质 …… 271
12.6.3 生物碱的分类 …… 272
小结 …… 274
习题 …… 275
第13章 糖类 …… 277
13.1 单糖 …… 278
13.1.1 单糖的分类 …… 278
13.1.2 单糖的结构、构型和构象 …… 278
13.1.3 单糖的物理性质 …… 282
13.1.4 单糖的化学性质 …… 282
13.2 双糖和多糖 …… 285
13.2.1 双糖 …… 285
13.2.2 多糖 …… 287
小结 …… 291
习题 …… 291
第14章 氨基酸、多肽、蛋白质和核酸 …… 293
Ⅰ. 氨基酸 …… 293
14.1 氨基酸的结构、分类和命名 …… 293
14.2 非编码氨基酸(非蛋白氨基酸) …… 296
14.3 氨基酸的性质 …… 297
14.3.1 氨基酸的酸碱性与等电点 …… 297
14.3.2 氨基酸的反应 …… 299
Ⅱ. 肽 …… 300
14.4 肽的结构和命名 …… 300
14.5 生物活性肽 …… 302
Ⅲ. 蛋白质 …… 303
14.6 蛋白质的元素组成及特点 …… 304
14.7 蛋白质的分类 …… 304
14.8 蛋白质的结构 …… 305
14.8.1 蛋白质的一级结构 …… 306
14.8.2 蛋白质的二级结构 …… 306
14.8.3 蛋白质的三级结构 …… 308
14.8.4 稳定蛋白质三维构象的化学键 …… 309
14.8.5 蛋白质的四级结构 …… 310

14.9 蛋白质的理化性质 …… 311
14.9.1 蛋白质的两性解离和等电点 … 311
14.9.2 蛋白质溶液的胶体性质和稳定性 …… 311
14.9.3 蛋白质的变性与复性 …… 312
14.9.4 蛋白质的沉淀 …… 312
14.9.5 蛋白质的显色反应 …… 312
14.9.6 蛋白质的水解作用 …… 313
14.9.7 蛋白质的紫外吸收性质 …… 314
Ⅳ. 核酸 …… 314
14.10 核酸的分类和化学组成 …… 314
14.10.1 核酸的分类 …… 314
14.10.2 核酸的化学组成 …… 315
14.10.3 核苷和核苷酸 …… 316
14.10.4 核酸的结构 …… 318
小结 …… 321
习题 …… 322
第15章 甾族和萜类化合物 …… 324
15.1 甾族化合物 …… 324
15.1.1 甾族化合物的结构 …… 324
15.1.2 甾族化合物的命名 …… 325
15.1.3 典型的甾族化合物 …… 326
15.2 萜类化合物 …… 330
15.2.1 萜类化合物的结构、分类和命名 …… 330
15.2.2 萜类化合物的结构类型及典型代表物 …… 332
小结 …… 338
习题 …… 338
第16章 有机波谱学 …… 340
16.1 概论 …… 340
16.1.1 波谱测定法 …… 340
16.1.2 波长区域的划分 …… 340
16.2 紫外光谱 …… 341
16.2.1 基本原理 …… 342
16.2.2 紫外光谱的表示方法 …… 342
16.2.3 紫外光谱的应用 …… 343
16.3 红外光谱 …… 344
16.3.1 基本原理 …… 344
16.3.2 红外光谱的表示方法 …… 344
16.3.3 红外光谱的解析 …… 346
16.4 核磁共振谱 …… 348
16.4.1 基本原理 …… 348
16.4.2 化学位移 …… 348
16.4.3 核磁共振谱 …… 351
16.4.4 自旋耦合和自旋裂分 …… 351
16.4.5 ^{1}H NMR 谱的解析 …… 353
16.5 质谱 …… 354
16.5.1 质谱法原理 …… 354
16.5.2 质谱图 …… 355
16.5.3 质谱解析 …… 356
16.5.4 质谱技术进展 …… 357
小结 …… 357
习题 …… 358
参考书目 …… 359
索引 …… 360

第1章 绪 论

(Chapter 1 Introduction)

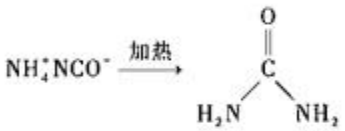
人类的生活水平能够不断提高和改善,有机化学的贡献在其中起了重要的作用,它的成就是社会文明的重要标志。有机化学是化学学科的重要分支之一,它不仅是创造新物质的一个非常重要的学科,对生命科学、生物科学、药学、医学、农学、环境科学、材料科学等学科的发展也起着非常重要的作用,有机化学的基本原理和方法已成为诸多相应学科的必备基础。

1.1 有机化合物和有机化学

早期化学物质主要来源于两个途径:一是无生命的矿物质,二是有生命的动植物体。1806年瑞典化学家贝采利乌斯(J. Berzelius)把从动植物体中获得的物质称为有机化合物(organic compound),简称有机物;把从矿物、空气和海洋中得到的单质和化合物称为无机物。那时人们对生命现象的本质还没有认识,因而便赋予有机物一种神秘的色彩,认为有机物只能在动植物体内,依靠一种特殊的作用力才能被制造出来,不可能由无机物合成,这就是在相当一段时间内阻碍有机化学发展的"生命力论"学说。然而,1828年德国化学家魏勒(F. Wöhler)在蒸发无机物氰酸铵溶液时,偶然地得到了有机物尿素,它是哺乳动物尿中的成分。

贝采利乌斯

魏勒



氰酸铵 尿素

这是一个具有划时代意义的发现,此后人们又相继在实验室合成了许多有机化合物。例如,1845年德国化学家柯尔柏(H. Kolber)合成了醋酸,1854年法国化学家柏赛罗(Berthelot)合成了油脂等,这样"生命力论"学说才被彻底否定,从此进入了有机合成的新时代。

1848年德国化学家葛梅林(L. Gmelin)把有机化合物定义为碳的化合物。这一定义至今仍在沿用。尽管现在人们仍在使用"有机"两字描述有机化合物,但它的含义与早期贝采利乌斯的"有机"的含义有着本质上的差别。

随着有机化合物的数目日益增多,每年新合成出的有机化合物几乎以几何级数在迅速

ISBN 978-7-04-059541-3
9 787040 595413 >
定价 45.00元

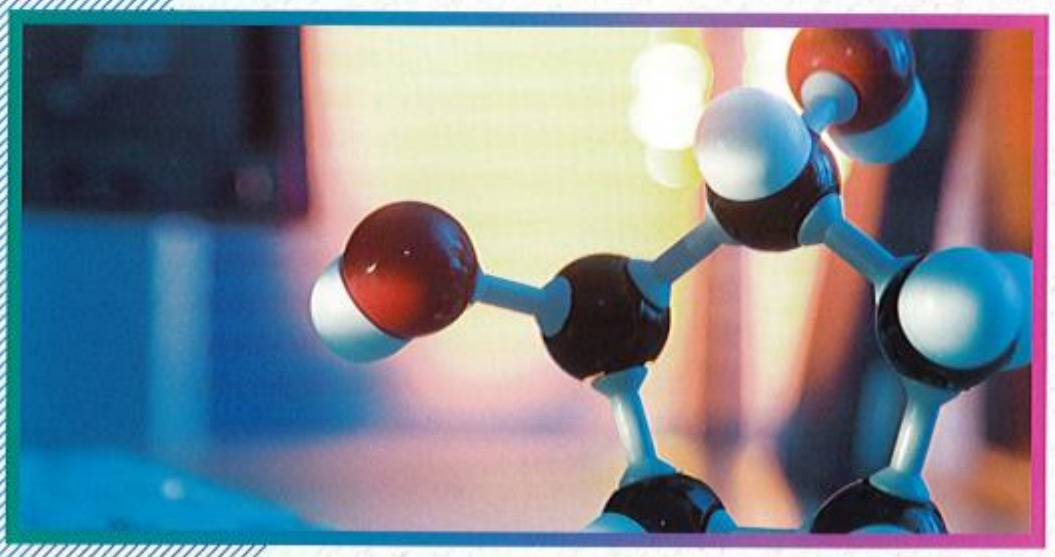
6. 教材成果

6.4 普通化学，高等教育出版社，李金鹏，2023 年

高等学校大学化学类课程教材

普通化学

主　编　李金鹏



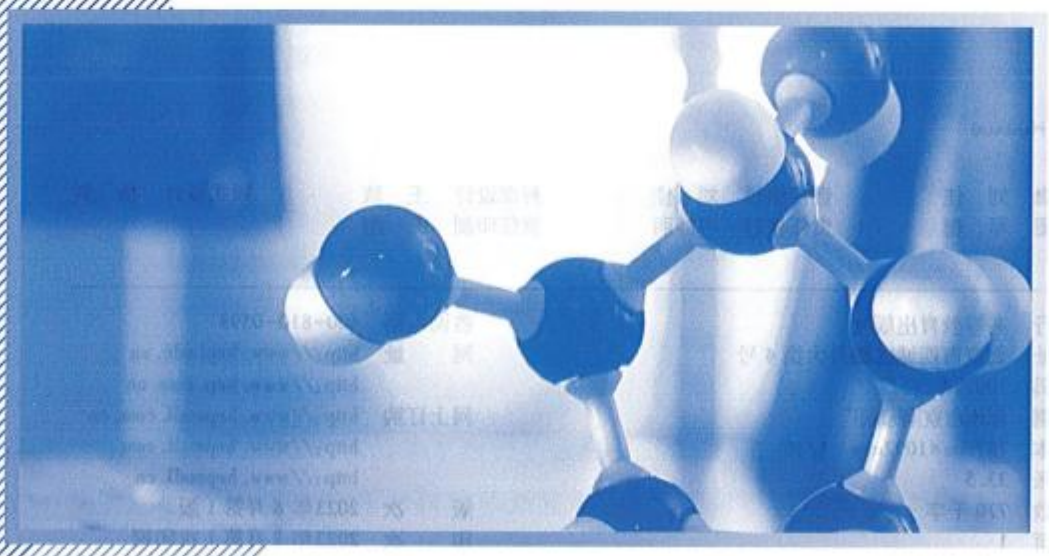
中国教育出版传媒集团
高等教育出版社

高等学校大学化学类课程教材

普通化学

主　编　李金鹏

副主编　徐　虹　余　旻



中国教育出版传媒集团

高等教育出版社·北京

内容提要

本书共十三章，涵盖了化学的基本原理、基本方法及其具体应用，包括了化学原理和元素化学两个部分。主要内容为：化学基础知识、化学热力学和化学平衡、化学反应动力学基础、酸碱平衡、沉淀-溶解平衡、氧化还原平衡、配位平衡、滴定分析、元素单质及其一些重要无机化合物。书中穿插了一些重大环境问题、新材料应用、与生活密切相关的化学知识等，并将化学的一些最新研究成果作为阅读材料，旨在开拓学生的视野，提高学生对化学的学习兴趣。

本书适用于理工、农、医、师范类大学化学及非化学化工专业学生使用，可作为普通高等学校的化学基础课程教材。

图书在版编目(CIP)数据

普通化学/李金鹏主编. --北京：高等教育出版社，2023.8

ISBN 978-7-04-060674-4

Ⅰ.①普… Ⅱ.①李… Ⅲ.①普通化学-高等学校-教材 Ⅳ.①O6

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 106612 号

Putong Huaxue

策划编辑 刘 佳　　责任编辑 刘 佳　　封面设计 王 琰　　版式设计 杨 树
责任绘图 邓 超　　责任校对 刁丽丽　　责任印制 田 甜

出版发行 高等教育出版社
社　　址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印　　刷 涿州市京南印刷厂
开　　本 787mm×1092mm 1/16
印　　张 33.5
字　　数 770千字
插　　页 1
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网　　址 http://www.hep.edu.cn
http://www.hep.com.cn
网上订购 http://www.hepmall.com.cn
http://www.hepmall.com
http://www.hepmall.cn
版　　次 2023年8月第1版
印　　次 2023年8月第1次印刷
定　　价 68.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 60674-00

编委会成员

主　编　李金鹏

副主编　徐　虹　余　旻

编　委　（以姓氏笔画为序）

韦永莉　孙希孟　余　旻　李林科

李金鹏　徐　虹

目 录

1 第一章 绪论

1 1.1 化学研究的对象
1 1.2 化学的发展及分类
3 1.3 现代化学的发展趋势
4 1.4 化学的重要作用
7 1.5 普通化学的学习内容和目的
8 1.6 如何学好普通化学
9 本章要点
10 本章电子课件
10 阅读材料 现代无机化学的前沿领域
10 阅读材料 化学工业的“三废”来源和治理

11 第二章 化学基础知识

11 2.1 气体
11 2.1.1 理想气体
16 2.1.2 真实气体
19 2.1.3 气体的液化和临界温度
20 2.2 溶液及稀溶液的依数性
20 2.2.1 溶液
23 2.2.2 稀溶液的依数性
35 2.3 胶体溶液
35 2.3.1 分散系与胶体分散系
38 2.3.2 溶胶
44 2.3.3 气溶胶
46 2.3.4 高分子溶液
51 2.3.5 凝胶
52 2.3.6 表面活性剂和乳状液
56 本章要点
57 本章电子课件
57 阅读材料 胶体与医学
57 阅读材料 大气污染及其防治
57 习题

60 第三章 化学热力学初步和化学平衡

61 3.1 基本概念
61 3.1.1 体系和环境
62 3.1.2 状态和状态函数
64 3.1.3 标准状态
65 3.1.4 热和功
66 3.1.5 热力学第一定律
67 3.2 热化学
67 3.2.1 反应热
70 3.2.2 热化学方程式和盖斯定律
75 3.2.3 反应热的理论计算
80 3.3 化学反应的方向
80 3.3.1 自发过程
82 3.3.2 熵
86 3.3.3 吉布斯方程
90 3.3.4 非标准状态下化学反应方向的判断
92 3.3.5 使用吉布斯判据的小结
92 3.4 化学反应进行的程度和化

学平衡
93 3.4.1 化学平衡和化学平衡常数
97 3.4.2 化学平衡计算
100 3.4.3 化学平衡的移动
105 本章要点
106 本章电子课件
106 阅读材料 熵与生命
106 阅读材料 化学振荡反应
106 习题

110 第四章 化学反应动力学基础

111 4.1 化学反应速率
113 4.2 反应速率理论
113 4.2.1 碰撞理论和活化能
115 4.2.2 过渡态理论
117 4.3 浓度与化学反应速率的关系
117 4.3.1 经验速率方程
118 4.3.2 反应物浓度与时间的关系
120 4.3.3 反应机理
121 4.4 温度与化学反应速率的关系
123 4.5 催化剂对化学反应速率的影响
126 本章要点
127 本章电子课件
127 阅读材料 放射性^{14}C断代
127 阅读材料 生命必需元素及其生物功能
127 习题

129 第五章 电解质溶液的化学平衡理论

129 5.1 强电解质溶液理论
130 5.1.1 离子氛
130 5.1.2 离子的活度和活度系数
131 5.1.3 离子强度
132 5.2 酸碱理论简介
132 5.2.1 酸碱质子理论
134 5.2.2 酸碱溶剂理论
135 5.2.3 酸碱电子理论
135 5.2.4 软硬酸碱理论
136 5.3 弱电解质的解离平衡
136 5.3.1 一元弱酸和一元弱碱的解离平衡
140 5.3.2 影响酸碱解离平衡的因素
142 5.3.3 水的解离平衡和溶液的酸碱性
145 5.3.4 多元弱酸、多元弱碱的解离平衡
146 5.3.5 弱电解质溶液 pH 的计算
153 5.4 缓冲溶液
153 5.4.1 缓冲溶液的概念
154 5.4.2 缓冲溶液 pH 的近似计算
156 5.4.3 缓冲容量和缓冲范围
157 5.4.4 缓冲溶液的配制
160 5.4.5 缓冲溶液的应用
160 5.5 沉淀溶解平衡
161 5.5.1 溶度积规则
165 5.5.2 沉淀生成的有关计算与应用
168 5.5.3 沉淀的溶解和转化
172 5.5.4 沉淀-溶解平衡的应用
173 本章要点
175 本章电子课件
175 阅读材料 固体电解质简介
175 阅读材料 水污染及其防治
175 习题

178 第六章 溶液中的氧化还原反应

178 6.1 氧化还原反应与原电池
178 6.1.1 氧化数
180 6.1.2 氧化还原电对
181 6.1.3 原电池
184 6.1.4 离子-电子法配平氧化还原反应方程式
185 6.2 电极电势
185 6.2.1 电极电势的产生
187 6.2.2 原电池电动势
187 6.2.3 标准电极电势

191 6.3 氧化还原反应的热力学
191 6.3.1 电动势 E 与氧化还原反应 $\Delta_r G_m$ 的关系
192 6.3.2 标准电动势 $E^\ominus$ 与电池反应 $K^\ominus$ 的关系
194 6.4 能斯特方程
194 6.4.1 电动势的能斯特方程
195 6.4.2 电极电势的能斯特方程
196 6.4.3 非标准状态下氧化还原反应方向的判断
197 6.4.4 影响电极电势的因素
204 6.5 元素电势图及其应用
204 6.5.1 元素电势图
205 6.5.2 元素电势图的应用
207 本章要点
208 本章电子课件
208 阅读材料 燃料电池——未来世界的新能源
208 阅读材料 极端条件对化学反应的影响
208 习题

211 第七章 原子结构与元素周期系

211 7.1 近代原子结构的概念
211 7.1.1 原子结构模型
213 7.1.2 氢原子光谱和玻尔理论模型
215 7.1.3 微观粒子的运动特征
218 7.2 原子核外电子运动状态的描述
218 7.2.1 薛定谔方程
218 7.2.2 量子数的概念
221 7.2.3 原子轨道角度分布图
223 7.2.4 概率密度与电子云
225 7.2.5 径向分布函数图
227 7.3 核外电子的排布
227 7.3.1 基态原子中电子排布原则
228 7.3.2 多电子原子轨道的能级
232 7.3.3 基态原子中电子的排布
238 7.3.4 简单基态离子的电子排布
238 7.4 元素周期性与核外电子排布的关系
240 7.5 元素性质的周期性
241 7.5.1 原子半径
243 7.5.2 电离能
244 7.5.3 电子亲和能
245 7.5.4 电负性
246 7.5.5 元素的氧化数
247 本章要点
249 本章电子课件
249 阅读材料 2008 年最难以置信的科学发现：首次拍摄到电子运动过程
249 阅读材料 元素周期表
249 习题

252 第八章 化学键理论概述

253 8.1 键参数
253 8.1.1 键能
254 8.1.2 键长
254 8.1.3 键角
255 8.1.4 键的极性
255 8.2 基本化学键理论
255 8.2.1 离子键理论
258 8.2.2 价键理论
263 8.3 分子的几何构型
263 8.3.1 杂化轨道理论
269 8.3.2 价层电子对互斥理论
273 8.4 分子轨道理论
273 8.4.1 分子轨道理论的基本要点
275 8.4.2 分子轨道的类型
277 8.4.3 同核双原子分子的分子轨道能级图
278 8.4.4 分子轨道理论的应用
279 8.4.5 异核双原子分子的分子轨道能级图
280 8.5 金属键理论

280 8.5.1 金属键的改性共价键理论
281 8.5.2 金属键的能带理论
283 8.6 分子间力
284 8.6.1 分子的极性和变形性
286 8.6.2 分子间力
288 8.6.3 氢键
291 8.6.4 次级键
292 本章要点
293 本章电子课件
293 阅读材料 SF_6分子中S原子3d轨道参与成键的观点受质疑
293 阅读材料 化学键理论的发展
293 习题

296 第九章 固体的结构与性质

296 9.1 晶体和非晶体
296 9.1.1 晶体的特征
298 9.1.2 晶体的内部结构
299 9.1.3 液晶
300 9.2 离子晶体及其性质
300 9.2.1 离子晶体的特征和性质
301 9.2.2 离子晶体的结构类型
302 9.2.3 离子晶体的稳定性
303 9.3 原子晶体和分子晶体
303 9.3.1 原子晶体
304 9.3.2 分子晶体
305 9.4 金属晶体
305 9.4.1 金属晶体的内部结构
306 9.4.2 金属键及其表征
306 9.5 实际晶体
307 9.5.1 混合型晶体
308 9.5.2 晶体缺陷
309 9.6 离子极化及其对物性的影响
309 9.6.1 离子极化的概念
312 9.6.2 离子极化对物质结构和性质的影响
315 9.7 固体的物性
315 9.7.1 解理性
315 9.7.2 硬度
316 9.7.3 非线性光学效应
316 9.7.4 超导电性
316 9.7.5 纳米物质的特异性
317 本章要点
317 本章电子课件
317 阅读材料 氡——仅次于吸烟的肺癌致病因素
318 阅读材料 第一个稀有气体化合物的制备
318 习题

321 第十章 配位化学基础

321 10.1 配合物的基本概念
321 10.1.1 配合物的组成
325 10.1.2 配合物的化学式及命名
327 10.1.3 配合物的异构现象
329 10.2 配合物的化学键理论
329 10.2.1 价键理论
333 10.2.2 晶体场理论
341 10.3 配合物在水溶液中的稳定性
341 10.3.1 配位平衡及平衡常数
342 10.3.2 配离子稳定常数应用
345 10.3.3 影响配合物稳定性的因素
348 10.4 配合物的类型和制备方法
348 10.4.1 配合物的类型
353 10.4.2 配合物的制备
354 10.5 配位化学的应用和发展前景
355 10.5.1 在分析化学方面
356 10.5.2 在配位催化方面
356 10.5.3 在冶金工业方面
357 10.5.4 在电镀工业方面
357 10.5.5 在生物、医药学方面
358 本章要点
358 本章电子课件
358 阅读材料 生物体中的配合物
359 阅读材料 配合物在医学上的应用

359 习题

363 第十一章 滴定分析

364 11.1 分析结果的误差
364 11.1.1 误差产生的原因和分类
365 11.1.2 分析结果的评价
367 11.1.3 提高分析结果准确度的方法
368 11.2 有效数字
368 11.2.1 有效数字的概念
369 11.2.2 有效数字的运算规则
370 11.3 滴定分析原理
370 11.3.1 滴定分析概念及特点
371 11.3.2 滴定分析的方法分类
372 11.3.3 滴定误差分析
373 11.3.4 标准溶液的制备要求
373 11.3.5 标准溶液的配制
374 11.4 酸碱滴定法
374 11.4.1 酸碱指示剂
374 11.4.2 滴定曲线和指示剂的选择
380 11.4.3 酸碱标准溶液的配制与标定
381 11.4.4 酸碱滴定法的应用示例
382 11.5 氧化还原滴定法
383 11.5.1 滴定曲线
384 11.5.2 指示剂
384 11.5.3 重要的氧化还原滴定法
387 11.6 配位滴定法
388 11.6.1 影响 EDTA 滴定的因素
388 11.6.2 金属指示剂
389 11.6.3 配位滴定的方式和应用示例
391 11.7 沉淀滴定法
391 11.7.1 银量法的分类
392 11.7.2 银量法的标准溶液
393 11.7.3 沉淀滴定法的应用示例
393 本章要点
394 本章电子课件
394 阅读材料 土壤污染及其防治
394 阅读材料 仿生材料学
394 习题

397 第十二章 主族元素

397 12.1 元素周期性变化趋势
397 12.1.1 原子性质的周期性变化
400 12.1.2 化学键
400 12.1.3 氢化物和氧化物
401 12.2 氢
401 12.2.1 单质
403 12.2.2 氢化物
404 12.3 第 1 族:碱金属
405 12.3.1 化学性质
408 12.3.2 重要化合物
410 12.3.3 铵离子-类碱金属离子
410 12.4 第 2 族:碱土金属
411 12.4.1 化学性质
412 12.4.2 重要化合物
414 12.4.3 对角线规则:Li-Mg、Be-Al 化合物性质的相似性
415 12.5 第 13 族:硼族元素
416 12.5.1 硼
418 12.5.2 铝
419 12.5.3 镓、铟、铊
420 12.6 第 14 族:碳族元素
421 12.6.1 碳及其化合物
424 12.6.2 硅及其化合物
427 12.6.3 锗、锡、铅
428 12.7 第 15 族:氮族元素
429 12.7.1 氮及其化合物
433 12.7.2 磷及其化合物
436 12.8 第 16 族:氧族元素
436 12.8.1 氧及其化合物
439 12.8.2 硫及其化合物
444 12.9 第 17 族:卤素
444 12.9.1 卤族元素的通性
445 12.9.2 卤素的单质及其物理、化学性质
446 12.9.3 卤化氢和氢卤酸
447 12.9.4 卤化物
449 12.9.5 卤素的含氧化合物
450 12.9.6 卤离子的分离和鉴定

451 12.9.7 分子结构与酸性强弱
454 12.10 第18族:稀有气体
454 12.10.1 稀有气体的发现
454 12.10.2 稀有气体的存在、结构、性质和用途
455 12.10.3 稀有气体化合物
456 本章要点
457 本章电子课件
457 阅读材料 全球气候变暖问题
457 阅读材料 食品的致癌风险:亚硝胺类化合物
457 习题

461 第十三章 d、f区金属元素

461 13.1 物理性质
463 13.2 化学性质
463 13.2.1 金属活泼性
463 13.2.2 氧化态
464 13.2.3 最高氧化态氧化物及其水合物的酸碱性
465 13.2.4 配位性
465 13.2.5 离子的颜色
466 13.3 d区元素部分单质及化合物
466 13.3.1 钛(ⅣB,第4族)
466 13.3.2 钒(ⅤB,第5族)
467 13.3.3 铬、钼、钨(ⅥB,第6族)
470 13.3.4 锰(ⅦB,第7族)
472 13.3.5 铁-钴-镍(Ⅷ,第8、9、10族)
475 13.4 第11、12族金属
475 13.4.1 物理性质
475 13.4.2 化学性质
476 13.4.3 重要化合物
480 13.5 f区元素概述
480 13.5.1 镧系元素的电子排布
480 13.5.2 镧系元素氧化值
481 13.5.3 镧系收缩
481 13.5.4 镧系元素的化合物
483 13.5.5 镧系元素的提纯与分离
485 13.5.6 稀土元素的重要用途
485 本章要点
486 本章电子课件
486 阅读材料 钛——"太空金属"
486 阅读材料 回顾与展望
486 习题

489 附录

489 附录1 我国的法定计量单位
491 附录2 水的各种数据
493 附录3 一些常见物质的热力学数据
497 附录4 一些物质的标准摩尔燃烧焓
498 附录5 一些弱酸和弱碱的解离常数
501 附录6 常见难溶电解质的溶度积常数
504 附录7 标准电极电势
514 附录8 一些配位化合物的稳定常数
515 附录9 常见阳、阴离子的鉴定方法

522 参考文献

元素周期表

第一章

绪论

1.1 化学研究的对象

世界是物质的，形形色色的物质是客观存在的并处于永恒的运动之中。人们把这些客观存在的物质(matter)划分为实物(substance)和场(field)两种基本形态。实物具有静止质量，如分子、原子、质子、电子等；场不具有静止质量，如电场、磁场、原子核内力场等。化学研究的主要对象是单质、化合物及分子、原子和离子等层次上的实物(习惯上把实物仍称为物质)。化学研究的主要内容是物质的化学运动，即物质的化学变化。化学变化的过程实际上是分子、原子或离子等因核外电子运动状态的改变而发生诸如分解和化合等变化的过程，同时伴有物理变化(如声、光、热、电、颜色、物态等)。因此，在研究物质化学变化的同时，还必须研究相关的物理变化。而这些物理变化的研究，会反过来促进化学学科自身的发展。如研究化学反应产生的电流，导致电化学的发展；对化学反应热的研究，又产生热化学等。

化学变化能否进行首先与物质的化学性质有关，而物质的化学性质又与其组成和结构密切相关。因此，化学首先是研究物质本身的组成、结构及其性质，其次是研究物质发生化学变化的外部条件，最后还要对化学变化本身的规律进行研究，即反应能否发生、程度如何，有哪些影响因素，如何实现等。

综上所述，化学是一门在分子、原子或离子层次上研究物质的组成、结构、性质、变化及其内在联系和变化过程中能量关系的自然科学。简言之，化学是研究物质变化的科学。

1.2 化学的发展及分类

化学的历史非常古老，从原始人类“钻木取火”就开始了早期的化学实践活动。钻木取火、火烤食物、用火取暖、驱赶猛兽这些实践活动，就是充分利用燃烧时的发光、发热现象，这

高等学校大学化学类课程教材

扫一扫 辨真伪 获取增值服务

ISBN 978-7-04-060674-4

定价 68.00 元

6. 教材成果

6.5 理论与计算化学，郑州大学出版社，朱艳艳，2022 年

“十四五”河南重点出版物

理论与计算化学

主编　唐明生

郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

理论与计算化学 / 唐明生主编. —郑州:郑州大学出版社,2022.6

ISBN 978-7-5645-7134-4

Ⅰ. ①理… Ⅱ. ①唐… Ⅲ. ①化学-计算机应用-高等学校-教材 Ⅳ. ①O6-04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 251920 号

理论与计算化学

LILUN YU JISUAN HUAXUE

选题策划	李 蕊	封面设计	苏永生
责任编辑	李 蕊	版式设计	苏永生
责任校对	王莲霞	责任监制	李瑞卿

出版发行	郑州大学出版社	地　　址	郑州市大学路 40 号(450052)
出 版 人	孙保营	网　　址	http://www.zzup.cn
经　　销	全国新华书店	发行电话	0371-66966070
印　　制	郑州市今日文教印制有限公司		
开　　本	787 mm×1 092 mm　1/16		
印　　张	11	字　　数	253 千字
版　　次	2022 年 6 月第 1 版	印　　次	2022 年 6 月第 1 次印刷

书　　号	ISBN 978-7-5645-7134-4	定　　价	36.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社调换

作者名单

主　　编　唐明生

副 主 编　朱艳艳　魏东辉　张文静

编委名单　朱艳艳　张文静　唐明生

　　魏东辉

目 录

第 1 章　量子力学基础知识 …… 1

1.1　薛定谔方程 …… 1

1.2　力学量算符 …… 12

1.3　量子力学的基本假设 …… 19

第 2 章　简单体系的薛定谔方程及其解 …… 32

2.1　箱中粒子的薛定谔方程及其解 …… 32

2.2　一维谐振子体系 …… 41

2.3　角动量 …… 50

2.4　氢原子和类氢离子 …… 70

第 3 章　量子力学中的近似方法 …… 99

3.1　变分法 …… 99

3.2　微扰理论 …… 108

第 4 章　多电子原子 …… 115

4.1　电子自旋和泡利原理 …… 115

4.2　角动量的相加 …… 127

第 5 章　计算化学简介 …… 142

5.1　计算化学发展简史 …… 142

5.2　计算化学方法分类 …… 143

5.3　常用计算程序简介 …… 163

参考文献 …… 166

ISBN 978-7-5645-7134-4

定价：36.00元

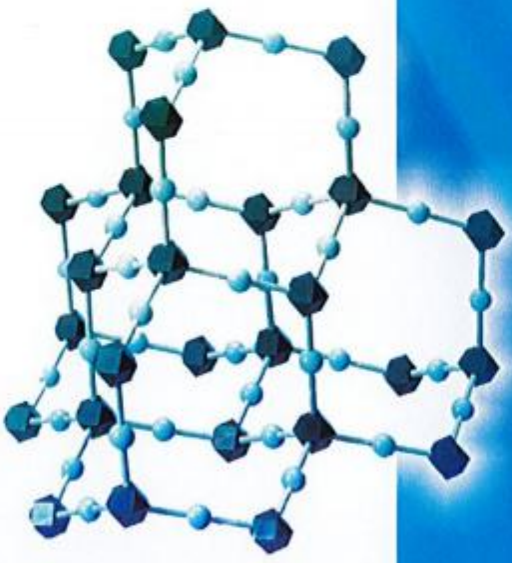
6. 教材成果

6.6 材料化学，郑州大学出版社，李恺，2021 年

“十四五”河南省重点出版物

材料化学

主编　李　恺　李媛媛

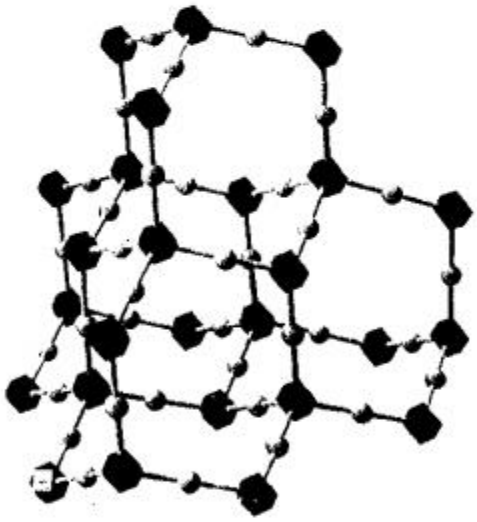


郑州大学出版社

"十四五"河南省重点出版物

材料化学

主编 李 恺 李媛媛



郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料化学 / 李恺，李媛媛主编. — 郑州 ：郑州大学出版社，2021.4
ISBN 978-7-5645-7800-8

Ⅰ. ①材… Ⅱ. ①李…②李… Ⅲ. ①材料化学-应用化学
Ⅳ. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 062994 号

材料化学
CAILIAO HUAXUE

策划编辑	李 蕊	封面设计	苏永生
责任编辑	李 蕊	版式设计	凌 青
责任校对	杨飞飞	责任监制	李瑞卿
出版发行	郑州大学出版社	地 址	郑州市大学路 40 号(450052)
出 版 人	孙保营	网 址	http://www.zzup.cn
经 销	全国新华书店	发行电话	0371-66966070
印 刷	郑州宁昌印务有限公司		
开 本	787 mm×1 092 mm 1 / 16		
印 张	20.75	字 数	481 千字
版 次	2021 年 4 月第 1 版	印 次	2021 年 4 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5645-7800-8	定 价	45.00 元

本书如有印装质量问题，请与本社联系调换。

目 录

第1章 绪论 …… 1
1.1 材料与化学 …… 1
1.2 材料的分类 …… 1
1.3 材料化学的特点 …… 4
1.4 材料化学的研究内容 …… 4
1.5 材料化学在各领域的应用 …… 6
第2章 材料的组成与结构 …… 8
2.1 元素和化学键 …… 8
2.2 材料的组成 …… 13
2.3 材料的结构 …… 15
2.4 晶体的缺陷 …… 20
2.5 固溶体 …… 23
第3章 材料的性能 …… 27
3.1 材料的物理性能 …… 27
3.2 材料的化学性能 …… 33
3.3 材料的力学性能 …… 36
第4章 金属材料 …… 41
4.1 金属材料概论 …… 41
4.2 金属单质的结构 …… 42
4.3 合金结构 …… 44
4.4 金属及合金的组织 …… 50
4.5 金属材料的热处理 …… 54
4.6 金属材料的性能 …… 57
4.7 常用金属材料 …… 63
4.8 金属材料的制备 …… 80
第5章 无机非金属材料 …… 90
5.1 无机非金属材料概论 …… 90
5.2 无机非金属材料的结构 …… 92
5.3 无机非金属材料的性能 …… 98
5.4 水泥 …… 101
5.5 玻璃 …… 112

5.6 陶瓷 …… 122
第6章 高分子材料 …… 149
6.1 高分子材料概论 …… 149
6.2 高分子材料的组成与结构 …… 152
6.3 高分子材料的性能 …… 157
6.4 常用高分子材料 …… 162
6.5 高分子材料的制备 …… 172
第7章 光功能材料 …… 176
7.1 发光材料 …… 176
7.2 激光材料 …… 180
7.3 光致变色材料 …… 186
7.4 导光材料 …… 191
7.5 电光材料 …… 194
7.6 声光材料 …… 198
7.7 磁光材料 …… 200
第8章 电功能材料 …… 204
8.1 半导体材料 …… 204
8.2 超导材料 …… 208
8.3 介电材料 …… 212
8.4 压电材料 …… 217
8.5 铁电和反铁电材料 …… 224
8.6 热释电材料 …… 230
第9章 磁功能材料 …… 233
9.1 磁学基本原理 …… 233
9.2 软磁材料 …… 237
9.3 硬磁材料(永磁材料) …… 240
9.4 磁致伸缩材料 …… 245
9.5 磁记录材料 …… 249
第10章 生物医用功能材料 …… 253
10.1 生物医用功能材料概述 …… 253
10.2 生物医用金属材料 …… 256
10.3 生物医用高分子材料 …… 263
10.4 生物医用无机非金属材料 …… 276
第11章 化学及特殊功能材料 …… 280
11.1 催化材料 …… 280
11.2 储氢材料 …… 287
11.3 亚稳态材料 …… 293
11.4 纳米材料 …… 303
11.5 液晶材料 …… 311
11.6 抗辐射材料 …… 318
参考文献 …… 324

第1章 绪 论

1.1 材料与化学

什么是材料化学？要想回答此问题，必须弄清楚什么是材料、什么是化学。具体来说，材料是指人类用来制造一切设施、工具、装备、器物和用品的化学物质；化学是一门中心的、实用的和创造性的科学，是在原子和分子水平上研究物质的组成、结构、性质以及结构与性质关系并探讨其应用的科学，是设计、合成、表征新物质并探讨其应用的科学。通俗点而言，材料化学是与材料问题相关的化学，即以材料为研究对象和研究目的的化学科学。

1957年，苏联首先将人造卫星发射到太空以后，美国朝野深受震动，经过总结后认为当时落后于苏联的原因主要在于先进材料的开发方面。1958年，美国就在全国建立了12所材料科学研究中心。一般来讲，材料科学包括材料化学、材料物理和材料工程几个方面。材料化学既是材料科学的一个重要分支，又是化学学科的重要组成部分，具有明显的交叉学科和前沿学科的性质。

材料化学是研究与材料问题相关的化学。材料化学的研究集中在以化学的手段在化学的研究水平和层次上研究优化现有材料，并主要聚焦于新材料的设计、制备和表征。它更加注重"结构—成分—合成—性能"之间的关系，所以能够更加有效地研究新材料、探索材料合成制备的新方法。作为材料科学与化学的交叉学科，材料化学是工程、信息、新能源等高新技术产业发展的重要基础，也是能取得突破性成果的热点领域。

1.2 材料的分类

材料是人类赖以生存和发展的物质基础，是科技进步的核心，是一个国家科学技术和工业水平的重要标志。因此，20世纪70年代人们把材料、信息和能源誉为当代文明的三大支柱，其后又把新材料、信息技术和生物技术并列为以高新技术群为代表的新技术革命的重要标志。大千世界中的材料无所不包、无处不在。通俗地讲，从鱼钩鱼线，到飞机导弹；专业地讲，从车辆的轻质复合材料，清洁能源中的固体氧化物燃料，到用于卫星天线的形状记忆合金，解决高速计算机发热问题的超导材料，应用于核磁共振仪的永磁材料，临床心外科手术用到的聚左旋乳酸材料（可溶解支架）等；我们所生活的时代，都离不开材料科学的研究成果。

目前，世界各国注册的材料已有几十万种，并还在不断增加。为了便于研究和应用，常将材料进行分类。材料的分类方法有多种，大致的分类如图1-1所示。按其化学组

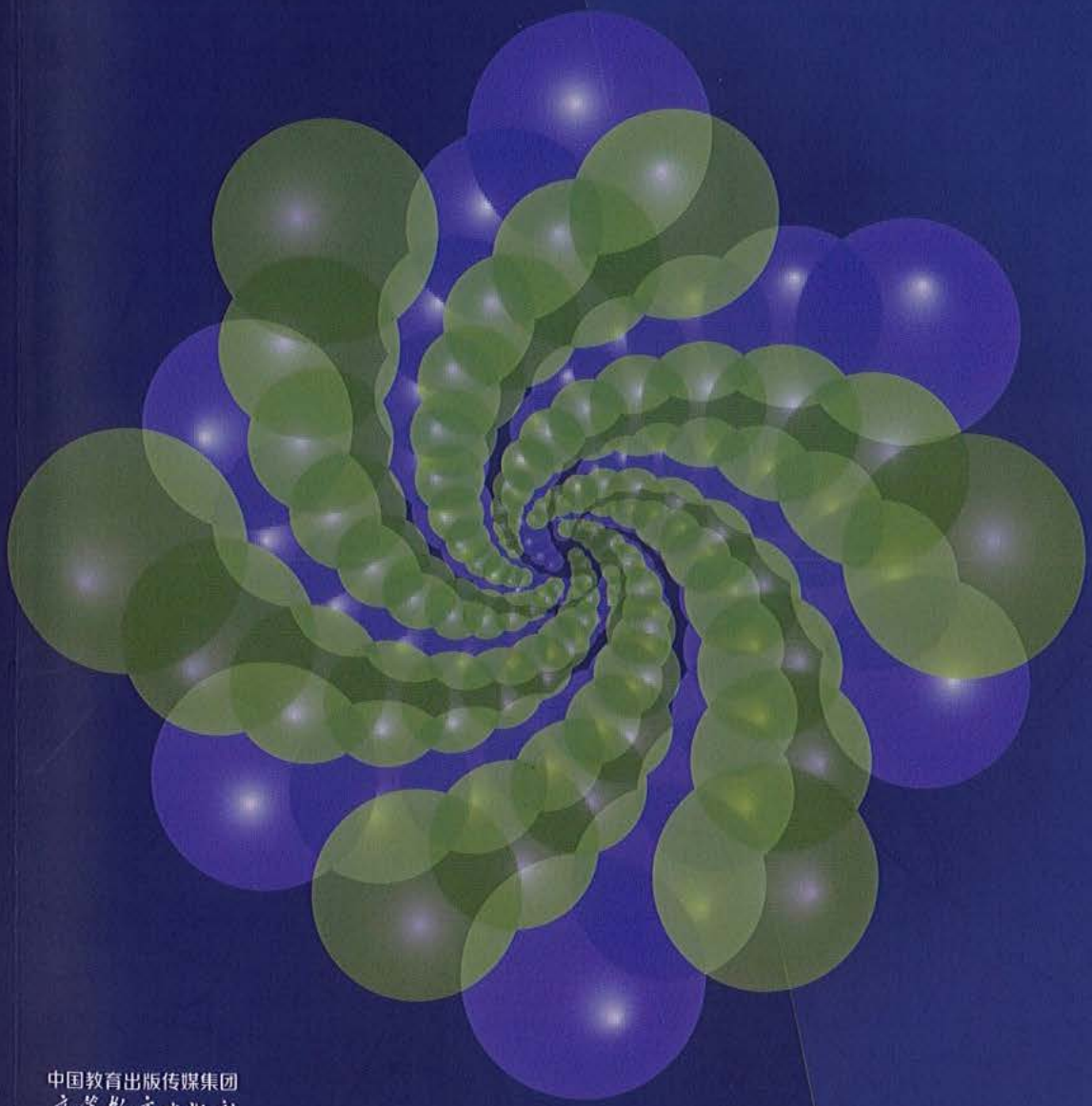
ISBN 978-7-5645-7800-8

9 787564 578008 >

定价：45.00元

6. 教材成果

6.7 大学化学基本原理， 高等教育出版社， 臧双全/武杰，2026 年



中国教育出版传媒集团
高等教育出版社

河南省“十四五”
普通高等教育规划教材

大学化学基本原理

臧双全 武杰 李恺 要红昌 张斌 编

中国教育出版传媒集团
高等教育出版社·北京

内容提要

本书为河南省"十四五"普通高等教育规划教材，以"夯实基础、贯通逻辑、启发思维"为编写宗旨，旨在为读者提供系统化的大学化学基本原理知识框架。全书共13章，分别为绪论、化学基础知识、化学反应过程中的能量变化、化学反应的方向、化学反应动力学初步、化学平衡、溶液的依数性及酸碱性、多相分散体系、现代原子结构理论与周期系、共价键理论和分子结构、离子键与晶体结构、分子间的相互作用、氧化还原反应与电化学初步。各章后编排相应的习题。

本书可作为高等学校化学类、近化学类各专业大学化学或普通化学课程教材，也可供其他相关专业参考。

图书在版编目（CIP）数据

大学化学基本原理 / 臧双全等编. -- 北京 : 高等教育出版社，2026. 1. -- ISBN 978-7-04-066178-1

Ⅰ. O6

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025F9J995 号

DAXUE HUAXUE JIBEN YUANLI

策划编辑 张 政　　责任编辑 李 颖　　封面设计 宫雨宁　　版式设计 杜微言
责任绘图 于 博　　责任校对 刁丽丽　　责任印制 刘思涵

出版发行 高等教育出版社
社　　址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印　　刷 三河市骏杰印刷有限公司
开　　本 787 mm×1092 mm 1/16
印　　张 34.5
字　　数 780千字
插　　页 1
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网　　址 http://www.hep.edu.cn
　　 http://www.hep.com.cn
网上订购 http://www.hepmall.com.cn
　　 http://www.hepmall.com
　　 http://www.hepmall.cn
版　　次 2026年1月第1版
印　　次 2026年1月第1次印刷
定　　价 82.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 66178-00

前　言

化学作为一门探索物质组成、结构、性质及变化规律的中心科学，是人类认识自然、改造自然的重要工具。大学化学基本原理属于化学学科的入门级课程，不仅承担着衔接中等教育与高等教育知识体系的重要功能，还致力于培养学生以化学视角认知世界的能力。编写一本既体现学科基础理论，又融合当代科研进展的教材，成为我们团队的重要使命。

本书以"夯实基础、贯通逻辑、启发思维"为编写宗旨，旨在为化学、材料、环境等相关专业的学生提供系统化的大学化学基本原理知识框架。大学化学基本原理是化学学科的核心基础，涵盖从微观结构到宏观反应的系统性知识，具体内容可分为以下三个模块：(1) 物质的状态、化学热力学和化学动力学基础；(2) 水溶液体系及化学平衡处理，介绍水溶液中的酸碱解离平衡、氧化还原平衡和多相分散体系（包含胶体、乳状液、结晶和沉淀溶解平衡）；(3) 物质结构基础，包含原子结构、分子结构和晶体结构理论。本书通过系统整合物质结构理论及元素化学知识、化学反应热力学/动力学原理和化学平衡构建起完整的化学认知框架，为后续物理化学、结构化学等理论课程以及分析化学、有机合成等应用性课程奠定理论基础。

本书区别于传统教材的独特之处体现在三方面：首先，在知识建构上借鉴"考镜源流"的编纂范式，系统梳理化学理论的发展脉络，完整呈现核心概念的演化轨迹；其次，在内容更新上持续吸纳学科前沿成果，实现经典理论与现代发展的有机融合；最后，强化经典理论推导与实验验证的互证关系，重点培养学生的化学思维范式、知识自主建构能力及创新思维，引导学生运用所学理论知识解释实验现象、解决实际问题，最终实现从知识传授到能力培养的目标。

本书编写团队由郑州大学化学学院五位资深教师组成，其中既有学科带头人，也有深耕讲坛三十载的教学名师。尽管编写团队倾注全力，限于学识水平，书中难免存在疏漏之处，恳请广大师生和读者不吝指正。

愿本书能如催化剂般，激发年轻学子探索化学世界的热情，在基础理论与科技创新的结合点上找到属于自己的研究方向。

编　者

2025 年 4 月

目　录

第 1 章　绪论 …… 1
1.1　化学是研究化学物质变化的科学 …… 1
1.2　化学研究对象的进化 …… 2
1.3　化学是一门满足社会需要的中心科学 …… 3
1.4　化学的重要作用 …… 4
1.5　大学化学原理课程内容 …… 5

第 2 章　化学基础知识 …… 6
2.1　量纲与单位 …… 6
2.1.1　物理量与量纲 …… 6
2.1.2　物质的量 …… 7
2.2　化学中的浓度表达 …… 9
2.3　反应进度 …… 11
2.4　气体的性质 …… 13
2.4.1　阿伏加德罗定律 …… 13
2.4.2　盖-吕萨克定律 …… 14
2.4.3　波义耳定律 …… 14
2.4.4　理想气体状态方程 …… 14
2.4.5　道尔顿分压定律 …… 16
2.4.6　阿马加分体积定律 …… 17
2.4.7　实际气体的状态方程 …… 17
2.4.8　气体扩散定律 …… 19
2.4.9　气体分子运动的速率分布和能量分布 …… 20
习题 …… 23

第 3 章　化学反应过程中的能量变化 …… 25
3.1　反应的广义性与本质 …… 25

目　录

第 1 章　绪论 …… 1
1.1　化学是研究化学物质变化的科学 …… 1
1.2　化学研究对象的进化 …… 2
1.3　化学是一门满足社会需要的中心科学 …… 3
1.4　化学的重要作用 …… 4
1.5　大学化学原理课程内容 …… 5

第 2 章　化学基础知识 …… 6
2.1　量纲与单位 …… 6
2.1.1　物理量与量纲 …… 6
2.1.2　物质的量 …… 7
2.2　化学中的浓度表达 …… 9
2.3　反应进度 …… 11
2.4　气体的性质 …… 13
2.4.1　阿伏加德罗定律 …… 13
2.4.2　盖-吕萨克定律 …… 14
2.4.3　波义耳定律 …… 14
2.4.4　理想气体状态方程 …… 14
2.4.5　道尔顿分压定律 …… 16
2.4.6　阿马加分体积定律 …… 17
2.4.7　实际气体的状态方程 …… 17
2.4.8　气体扩散定律 …… 19
2.4.9　气体分子运动的速率分布和能量分布 …… 20
习题 …… 23

第 3 章　化学反应过程中的能量变化 …… 25
3.1　反应的广义性与本质 …… 25

4.2.3 影响熵的因素 …… 62
4.2.4 可逆过程的热温商 …… 63
4.2.5 热力学第三定律和规定熵 …… 64
4.2.6 自发过程的熵判据 …… 67
4.3 影响化学反应方向的因素 …… 67
4.3.1 化学反应的熵变 …… 67
4.3.2 化学反应的焓变 …… 68
4.3.3 吉布斯自由能 G …… 69
4.4 埃林厄姆图 …… 75
4.4.1 温度对化学反应方向的影响 …… 75
4.4.2 埃林厄姆图及其应用 …… 76
4.5 吉布斯自由能的应用 …… 79
4.5.1 盐类的溶解性 …… 79
4.5.2 化合物稳定性的预判 …… 81
4.5.3 材料制备的可行性 …… 83
习题 …… 84

第5章 化学反应动力学初步 …… 87
5.1 化学反应速率 …… 88
5.1.1 平均反应速率 …… 88
5.1.2 瞬时反应速率 …… 92
5.2 速率方程 …… 95
5.2.1 速率方程的建立 …… 96
5.2.2 反应速率方程的运用 …… 99
5.2.3 反应的浓度与时间的关系 …… 102
5.3 化学动力学理论模型 …… 113
5.3.1 碰撞频率 …… 114
5.3.2 活化能 …… 115
5.3.3 能量因子 …… 118
5.3.4 概率因子 …… 119
5.4 基元反应 …… 120
5.4.1 质量作用定律 …… 120
5.4.2 反应分子数 …… 121
5.5 阿伦尼乌斯公式 …… 122
5.5.1 E_a值的获取 …… 123
5.5.2 T 对 k 的影响 …… 125
5.5.3 E_a对 k 的影响 …… 126

5.6 复杂反应 …… 127
5.6.1 典型的复杂反应 …… 128
5.6.2 近似处理方法 …… 131
5.6.3 拟定反应历程 …… 132
5.7 催化反应 …… 139
5.7.1 催化剂的定义 …… 139
5.7.2 催化作用本质 …… 140
5.7.3 催化剂特征 …… 141
5.7.4 催化反应类型 …… 141
习题 …… 145

第6章 化学平衡 …… 150
6.1 平衡常数 …… 150
6.1.1 平衡状态 …… 151
6.1.2 经验平衡常数 …… 152
6.1.3 K 的注意事项 …… 158
6.1.4 标准平衡常数 $K^{\ominus}$ …… 164
6.1.5 平衡转化率 …… 165
6.2 $K^{\ominus}$ 与 $\Delta_r G_m^{\ominus}$ 的关系 …… 169
6.2.1 化学反应等温式 …… 169
6.2.2 非标准态下反应方向判据 …… 173
6.3 化学平衡的移动 …… 176
6.3.1 反应商对平衡的影响 …… 176
6.3.2 温度对平衡的影响 …… 180
6.4 平衡及平衡移动的应用 …… 184
6.4.1 合成氨反应原理 …… 184
6.4.2 温度 T 的控制 …… 185
6.4.3 压强 p 的控制 …… 186
6.4.4 活化能 E_a 的控制 …… 187
6.4.5 工艺优化 …… 187
习题 …… 188

第7章 溶液的依数性及酸碱性 …… 191
7.1 液体 …… 191
7.1.1 液体的蒸气压 …… 192
7.1.2 液体的沸点 …… 197

7.1.3 液体的凝固点 …… 197
7.1.4 液体的相图 …… 199
7.2 溶液依数性 …… 201
7.2.1 难挥发性溶质的溶液蒸气压 …… 201
7.2.2 挥发性溶质溶液的蒸气压 …… 203
7.2.3 难挥发溶质的溶液沸点和凝固点 …… 204
7.2.4 溶液的渗透压 …… 209
7.3 电解质溶液的依数性 …… 213
7.3.1 电解质溶液 …… 213
7.3.2 电解质溶液的依数性 …… 217
7.4 酸碱质子理论 …… 218
7.4.1 酸碱质子理论概念 …… 219
7.4.2 质子酸碱反应本质 …… 220
7.5 水溶液的酸碱性 …… 221
7.5.1 水的质子自递常数 …… 221
7.5.2 水溶液的 pH …… 223
7.5.3 一元弱酸和一元弱碱的解离平衡 …… 225
7.5.4 一元弱酸或一元弱碱 pH 计算 …… 231
7.5.5 多元弱酸、弱碱水溶液 …… 237
7.5.6 其他常见酸碱溶液 …… 241
7.5.7 缓冲溶液 …… 245
7.5.8 质子酸碱强度影响因素 …… 251
7.6 其他重要酸碱理论 …… 253
7.6.1 酸碱溶剂体系理论 …… 253
7.6.2 酸碱电子理论 …… 255
7.6.3 软硬酸碱理论 …… 257
习题 …… 259

第 8 章 多相分散体系 …… 262
8.1 分散系 …… 262
8.1.1 分散系的定义及分类 …… 262
8.1.2 表面和界面 …… 263
8.2 胶体分散系 …… 265
8.2.1 胶体的基本概念和分类 …… 265
8.2.2 胶体的构造和双电层结构 …… 266
8.2.3 溶胶的基本性质 …… 269
8.2.4 Zeta 电势对溶胶动力学稳定性的核心影响 …… 271

8.2.5 胶体的制备方法 …… 272
8.2.6 胶体的破坏与聚沉 …… 273
8.3 乳状液 …… 275
8.3.1 乳状液的动力学稳定性 …… 277
8.3.2 表面活性剂的结构特点和分类 …… 277
8.3.3 胶束 …… 278
8.4 溶液中的结晶 …… 281
8.4.1 结晶的内在模型 …… 281
8.4.2 结晶速率 …… 282
8.5 沉淀溶解平衡 …… 283
8.5.1 溶度积 …… 284
8.5.2 溶度积规则 …… 286
8.5.3 影响沉淀溶解平衡的因素 …… 287
8.5.4 分步沉淀应用与限制 …… 288
8.5.5 沉淀的溶解 …… 291
8.5.6 沉淀的转化 …… 293
8.5.7 化学镀 …… 296
习题 …… 296

第9章 现代原子结构理论与周期系 …… 299
9.1 原子结构 …… 299
9.1.1 早期的原子学说 …… 299
9.1.2 电子的发现 …… 300
9.1.3 卢瑟福原子模型 …… 302
9.1.4 X射线和放射性的发现及莫塞莱定律 …… 303
9.1.5 质子和中子的发现 …… 303
9.2 氢原子光谱、量子论与玻尔理论 …… 304
9.2.1 氢原子光谱 …… 304
9.2.2 普朗克量子论 …… 306
9.2.3 爱因斯坦光子学说 …… 308
9.2.4 玻尔原子模型 …… 309
9.3 波粒二象性、不确定原理与德布罗意波 …… 311
9.3.1 光的波粒二象性 …… 311
9.3.2 德布罗意波 …… 311
9.3.3 不确定原理 …… 313
9.3.4 玻恩的统计解释 …… 315
9.3.5 驻波 …… 315

9.3.6 波强度与粒子密度 …… 315
9.4 单电子原子体系的薛定谔方程及其解 …… 316
9.4.1 薛定谔方程 …… 316
9.4.2 薛定谔方程求解的限制条件 …… 318
9.4.3 薛定谔方程解的物理意义 …… 319
9.4.4 四个量子数 …… 320
9.4.5 波函数图形 …… 323
9.5 多电子原子体系电子运动的描述 …… 327
9.5.1 中心力场模型的提出 …… 327
9.5.2 有效核电荷 …… 327
9.5.3 屏蔽效应与钻穿效应 …… 328
9.5.4 多电子原子电子组态分布原则 …… 331
9.5.5 原子构造原理 …… 332
9.5.6 多电子原子或离子电子组态分布的书写方法 …… 335
9.6 元素周期表 …… 336
9.7 原子性质的周期性 …… 338
9.7.1 原子半径 …… 338
9.7.2 电子亲和能 …… 341
9.7.3 电离能 …… 342
9.7.4 金属原子化焓 …… 344
9.7.5 元素电负性 …… 345
习题 …… 346

第 10 章 共价键理论和分子结构 …… 349
10.1 经典共价键理论 …… 350
10.2 现代价键理论处理小分子 …… 351
10.2.1 共价键的形成 …… 351
10.2.2 共价键的特点 …… 353
10.2.3 共价键的基本参数 …… 354
10.2.4 共价键的类型 …… 359
10.2.5 配位键 …… 360
10.2.6 共振论 …… 361
10.3 杂化轨道理论 …… 362
10.3.1 杂化轨道理论要点 …… 362
10.3.2 杂化轨道类型 …… 363
10.3.3 等性杂化和不等性杂化 …… 366
10.3.4 π键和大π键 …… 367

10.4 价层电子对互斥模型判断小分子构型 …… 369
10.4.1 中心原子价层电子对数的计算 …… 369
10.4.2 确定中心原子的杂化轨道形式和电子对的排布方式 …… 370
10.4.3 计算中心原子的孤电子对数并确定分子的几何构型 …… 371
10.4.4 键角畸变 …… 374
10.5 常见共价小分子结构解析 …… 374
10.6 分子轨道理论 …… 377
10.6.1 分子轨道的形成 …… 377
10.6.2 分子轨道的类型 …… 378
10.6.3 分子轨道的能级和电子在分子轨道中的填充 …… 380
习题 …… 383

第 11 章 离子键与晶体结构 …… 386
11.1 离子键 …… 386
11.1.1 离子键的形成 …… 386
11.1.2 离子键的性质 …… 387
11.1.3 影响离子化合物性质的主要因素 …… 392
11.1.4 离子极化 …… 394
11.2 晶体结构 …… 398
11.2.1 晶体的基本概念 …… 398
11.2.2 晶体的对称性和对称操作 …… 398
11.2.3 晶体的周期性 …… 400
11.2.4 等径圆球密堆积模型 …… 404
11.3 离子晶体 …… 406
11.3.1 离子晶体的性质 …… 406
11.3.2 几种典型的离子晶体结构 …… 406
11.3.3 鲍林离子晶体结构规则 …… 408
11.4 金属晶体和金属键 …… 410
11.4.1 金属键的自由电子理论 …… 410
11.4.2 金属键的能带理论 …… 411
11.4.3 金属晶体 …… 412
11.5 其他晶体结构及特性 …… 412
11.5.1 原子晶体 …… 412
11.5.2 分子晶体 …… 413
11.5.3 混合晶体 …… 413
习题 …… 414

369
369
370
371
374
374
377
377
378
380
383
386
386
386
387
392
394
398
398
398
400
404
406
406
406
408
410
410
411
412
412
412
413
413
414

第 12 章 分子间的相互作用 …… 416
12.1 范德华力 …… 416
12.1.1 分子的极性 …… 416
12.1.2 取向力 …… 417
12.1.3 诱导力 …… 418
12.1.4 色散力 …… 419
12.2 氢键 …… 420
12.2.1 氢键的定义 …… 420
12.2.2 氢键的形成、键能与键长 …… 421
12.2.3 氢键的几何形态 …… 422
12.2.4 氢键的分类 …… 423
12.2.5 氢键的形成对化合物性质的影响 …… 426
12.2.6 氢键的表征方法 …… 432
12.2.7 生命体系中的氢键 …… 433
习题 …… 435

第 13 章 氧化还原反应与电化学初步 …… 438
13.1 氧化还原反应 …… 439
13.1.1 氧化还原反应概念的发展历程 …… 439
13.1.2 化合价和氧化数 …… 440
13.1.3 氧化还原反应和氧化还原电对 …… 442
13.1.4 氧化还原反应方程式的配平 …… 443
13.2 原电池 …… 447
13.2.1 原电池的组成 …… 447
13.2.2 电极电势和电动势 …… 450
13.3 电池反应的热力学 …… 457
13.3.1 电动势 $E^{\ominus}$ 和电池反应 $\Delta_r G_m^{\ominus}$ 的关系 …… 457
13.3.2 电动势 $E^{\ominus}$ 与标准平衡常数 $K^{\ominus}$ 的关系 …… 459
13.3.3 电动势 E 和标准电动势 $E^{\ominus}$ 的关系——能斯特方程 …… 461
13.3.4 影响电极电势的因素 …… 463
13.4 图解法讨论电极电势 …… 466
13.4.1 拉蒂默图及其应用 …… 466
13.4.2 φ-pH 图及其应用 …… 468
13.4.3 自由能-氧化数图及其应用 …… 474
13.5 化学电源 …… 478
13.5.1 锌锰干电池 …… 479

13.5.2 锌银扣式电池 …… 480
13.5.3 铅酸蓄电池 …… 480
13.5.4 锂电池 …… 481
13.5.5 钠-硫电池 …… 482
习题 …… 482

附录 …… 485
附录 1 常用物理化学常数 …… 485
附录 2 常用换算关系 …… 486
附录 3 一些单质和化合物的热力学数据及一些物质的标准摩尔燃烧热（298.15 K，100 kPa） …… 487
附录 4 元素的原子半径 …… 504
附录 5 元素的第一电离能 …… 505
附录 6 元素的第一亲和能 …… 506
附录 7 元素的电负性 …… 507
附录 8 离子半径 …… 508
附录 9 一些弱酸的解离平衡常数 …… 512
附录 10 一些弱碱的解离平衡常数 …… 515
附录 11 常见难溶电解质的溶度积常数 …… 516
附录 12 标准电极电势 …… 524

元素周期表

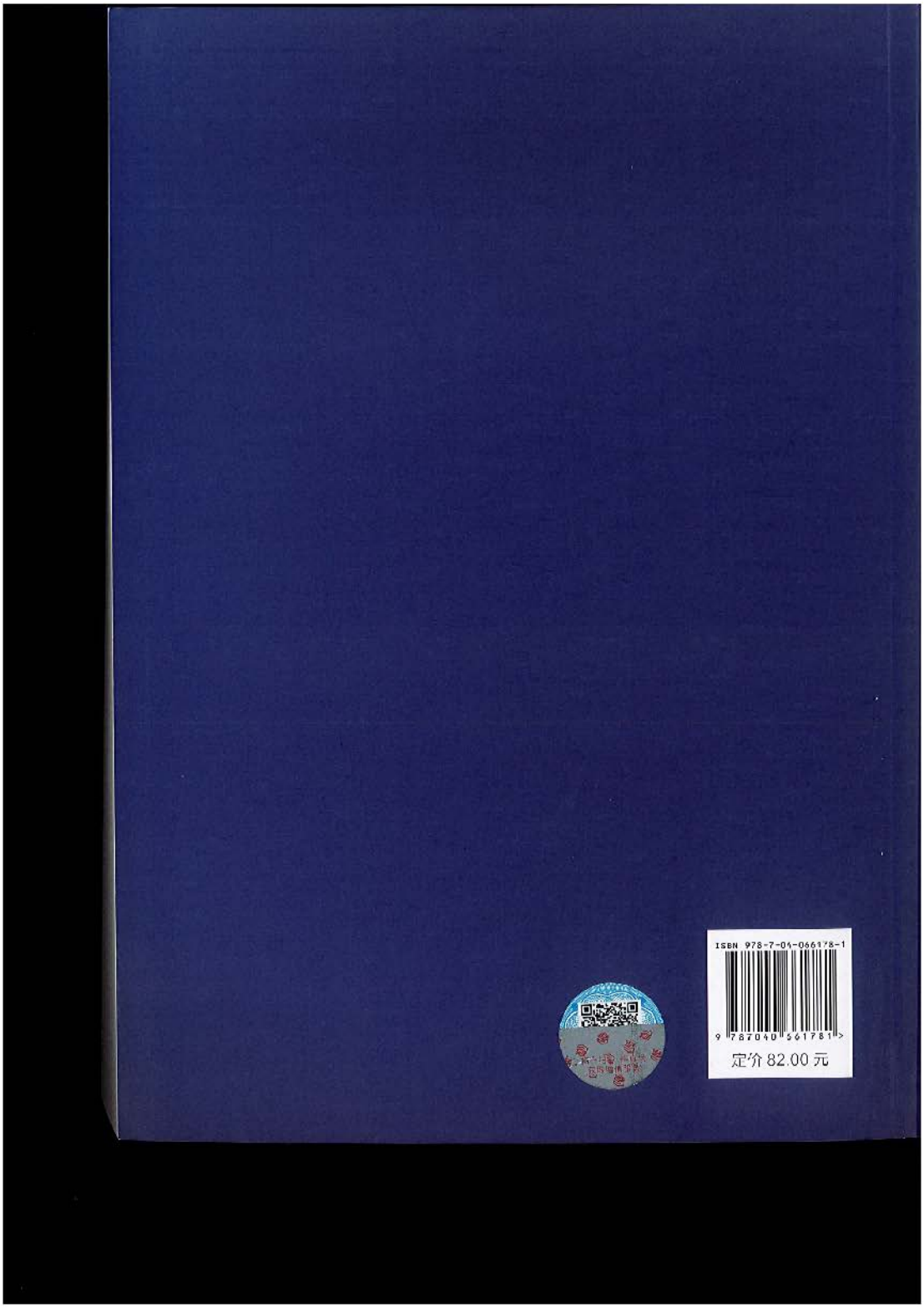
480
480
481
482
482
485
485
486
487
504
505
506
507
508
512
515
516
524

第1章 绪 论

化学是一门既传承悠久又不断创新的科学。化学的历史始于人类对物质转化的朴素探索。古代炼金术在矿物冶炼、酸碱制备等实践中积累关键经验，奠定实验化学的基础。自17世纪下半叶近代化学启蒙以来，化学不仅发展成为自然科学的重要分支，更成为物理学、生物学等领域的交叉枢纽，推动科学从现象描述转向规律推演。化学在工业化进程中扮演关键角色，通过技术转化推动社会生产力跃升。例如，合成氨工艺解决全球粮食危机；石油裂解技术支撑现代能源与材料产业；药物化学突破大幅提升人类寿命。20世纪后，化学与量子力学、材料科学的融合催生颠覆性技术。量子化学理论指导催化剂设计，使合成效率大幅提升；固态化学研究推动锂离子电池与高温超导体开发，成为新能源革命支柱；高分子材料支撑半导体、纳米技术等前沿领域，等等。化学的跨学科特性使其成为解决能源危机、环境污染等全球问题的核心工具。当前，人工智能（AI）与量子计算的引入正推动化学从经验科学向预测科学转型，不仅缩短了从分子设计到产业化的周期，更在能源、医药、环境等关键领域催生颠覆性创新，标志着人类对物质世界的探索进入智能时代。化学将继续以“解码微观”与“重构宏观”的双重使命，推动科学与文明的共同进化。下面将详细介绍现代化学的定义、研究对象和对社会发展的重要作用。

1.1 化学是研究化学物质变化的科学

自然界是由物质组成的，形形色色的物质处于永恒的运动之中。自然科学的研究对象是客观存在的物质，以物质的基本属性——运动作为研究的内容。目前，人们把客观存在的物质划分为实物和场（电磁场、引力场等）两种基本形态。实物具有静止质量，如原子、分子、电子等。场不具有静止质量，如电场、磁场、原子核内力场等。按照物质的构造来划分，从宏观的天体到微观的基本粒子，化学研究对象可分为若干层次（图1-1）。化学所研究的主要对象是单质、化合物与原子、分子和离子等这个层次的实物（习惯上把实物仍称为物质）。


ISBN 978-7-04-066178-1
9 787040 561781 >
定价 82.00 元

6. 教材成果

6.8 实验室安全技术与管理，郑州大学出版社，臧双全/郝新奇，2025年

实验室安全技术与管理
主编 臧双全 郝新奇
郑州大学出版社

实验室安全技术与管理

主编　臧双全　郝新奇

郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

实验室安全技术与管理 / 臧双全，郝新奇主编.
郑州 ：郑州大学出版社，2025. 8. -- ISBN 978-7-5773-1021-3

Ⅰ. G482;G311

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025YF0203 号

实验室安全技术与管理

SHIYANSHI ANQUAN JISHU YU GUANLI

策划编辑	袁翠红	封面设计	苏永生
责任编辑	杨飞飞	版式设计	苏永生
责任校对	崔　勇	责任监制	朱亚君
出版发行	郑州大学出版社	地　址	河南省郑州市高新技术开发区长椿路 11 号(450001)
经　销	全国新华书店		
发行电话	0371-66966070	网　址	http://www.zzup.cn
印　刷	郑州尚品数码快印有限公司		
开　本	787 mm×1 092 mm　1 / 16		
印　张	14.5	字　数	338 千字
版　次	2025 年 8 月第 1 版	印　次	2025 年 8 月第 1 次印刷
书　号	ISBN 978-7-5773-1021-3	定　价	49.00 元

本书如有印装质量问题，请与本社联系调换。

编委名单

主　编　臧双全　郝新奇

副主编　汪流明　武　杰　王秋灵　李　恺

编　委　（按姓氏笔画排序）

王志武　王秋灵　古　新　朱新举

李　恺　张田原　汪流明　武　杰

赵旭波　郝新奇　袁冰芯　晁瑞青

郭玉静　臧双全

前言

在当今科技迅猛发展的时代，实验室已成为科技创新的重要阵地，是无数科研成果诞生的摇篮。然而，随着实验室数量的增加和科研活动的日益复杂化，实验室安全问题也日益凸显。《实验室安全技术与管理》一书可以为实验室工作人员提供一个全面的安全指南、实用的安全知识和技能，帮助读者建立起坚实的安全基础，确保科研活动的顺利开展。

全书共分为七个部分，内容涵盖实验室安全的基础理论、风险评估与控制、安全操作规程、事故预防与应急响应、信息安全与环境保护、安全法规与标准，以及安全文化与持续改进。每一部分均经过精心设计，以确保内容的系统性与逻辑性，同时注重其实用性和可操作性。

书中不仅详细介绍了实验室安全的基础概念，还深入探讨了安全管理的基本原则和安全责任的分配。在实验室风险评估与控制部分，作者给出了风险识别、评估和控制的策略，以及化学品和生物废弃物的安全管理方法。这些内容对于确保实验室工作人员的安全至关重要。

在实验室信息安全与环境保护方面，书中探讨了实验室信息安全和环境保护的基本原则和实践。而在实验室安全法规与标准部分，则深入探讨了国内外实验室安全法规、安全标准与认证，以及法规遵循的案例分析。这些内容有助于读者了解并遵守相关的实验室安全法律法规，确保实验室活动的合法性。

在实验室安全文化与持续改进部分，作者讨论了实验室安全文化的建设与安全管理的持续改进。书中提供了安全文化的推广策略和持续改进的方法与工具，鼓励读者不断学习和实践，以提高实验室的安全管理水平。

总的来说，《实验室安全技术与管理》是一本全面、系统、实用的教材，它不仅为实验室工作人员提供了必要的安全知识和技能，还强调了安全文化的重要性，鼓励读者持续改进和提高安全管理水平。书中的内容既有理论的深度，又有实践的广度，是实验室工作人员不可或缺的参考资料。

参加本书编写工作的有臧双全、郝新奇、汪流明、武杰、王秋灵、李恺、王志武、古新、朱新举、张田原、赵旭波、袁冰芯、晁瑞青、郭玉静等，最后由臧双全、郝新奇、武杰、李恺统一定稿。各部分编写分工如下：第一部分由王志武、晁瑞青撰写，第二部分由王秋灵、郭玉静撰写，第三部分由汪流明、张田原撰写，第四部分由袁冰芯、朱新举撰写，第五部分由张田原、王秋灵撰写，第六部分由古新、赵旭波撰写，第七部分由赵旭波、郭玉静撰写。在本书编写过程中，得到了郑州大学“教材建设项目”资助，也得到了郑州大学化学学院、资产与财务部的大力支持，在此一并表示衷心感谢！

鉴于编者学识水平与经验有限，书中难免有不当之处，恳请有关专家和读者批评指正。

编　者

2025 年 1 月

目录

第一部分　实验室安全基础

第 1 章　实验室安全导论 …… 2
1.1　实验室安全的定义与范畴 …… 2
1.2　实验室安全的重要性 …… 5
1.3　安全文化与法规框架 …… 7
第 2 章　实验室安全管理原则 …… 10
2.1　实验室安全管理的基本原则 …… 10
2.2　实验室安全责任与角色定义 …… 13
2.3　实验室安全政策与程序 …… 18
第 3 章　实验室安全教育与培训 …… 22
3.1　实验室安全教育的重要性 …… 22
3.2　实验室安全培训的内容与方法 …… 23
3.3　持续教育与能力提升 …… 25

第二部分　实验室安全风险评估与控制

第 4 章　实验室风险评估与管理 …… 32
4.1　实验室风险识别与分析 …… 32
4.2　实验室风险评估方法 …… 36
4.3　实验室风险控制策略 …… 39
第 5 章　化学品安全管理 …… 44
5.1　化学品分类与标识 …… 44
5.2　化学品存储与处理 …… 51
5.3　化学品泄漏应急处理 …… 61

第 6 章　生物安全与废弃物处理 …… 67
6.1　生物安全等级与操作规程 …… 67
6.2　生物废弃物的分类与处理 …… 73
6.3　医疗废物管理 …… 76

第三部分　实验室安全操作规程

第 7 章　实验室通用安全操作 …… 81
7.1　个人防护装备使用 …… 81
7.2　实验室常规操作安全 …… 85
7.3　实验室 5S 管理 …… 103
第 8 章　实验室特殊设备与仪器的安全使用 …… 108
8.1　高压设备安全 …… 108
8.2　辐射设备安全 …… 111
8.3　高温设备安全 …… 115
8.4　高速设备安全 …… 118
8.5　特种设备操作规程 …… 120
第 9 章　实验室电气安全 …… 123
9.1　电气安全基础知识 …… 123
9.2　电气设备的安全使用 …… 126
9.3　电气火灾预防与应急 …… 127

第四部分　实验室事故预防与应急响应

第 10 章　实验室事故预防策略 …… 132
10.1　事故预防的基本原则 …… 132
10.2　安全检查与隐患排查 …… 134
10.3　安全标志与警示系统 …… 139
第 11 章　实验室事故应急响应 …… 142
11.1　实验室应急预案的制定与演练 …… 142
11.2　实验室事故报告与现场保护 …… 144
11.3　实验室常见事故的应急处理 …… 144
11.4　化学实验室紧急应变程序 …… 151

第五部分　实验室信息安全与环境保护

第 12 章　实验室信息安全管理 …… 159
12.1　信息安全概述 …… 159
12.2　数据保护与网络安全 …… 161
12.3　信息安全政策与培训 …… 164
第 13 章　实验室环境保护 …… 169
13.1　实验室环境保护的基本原则 …… 169
13.2　实验室排放控制 …… 173
13.3　绿色实验室实践 …… 178

第六部分　实验室安全法规与标准

第 14 章　实验室安全法规与标准 …… 183
14.1　国内外实验室安全法规 …… 183
14.2　实验室安全标准与规范 …… 188
14.3　法规遵循与案例分析 …… 189

第七部分　实验室安全文化与持续改进

第 15 章　实验室安全文化建设 …… 193
15.1　实验室安全文化的定义与价值 …… 193
15.2　实验室安全文化推广策略 …… 194
15.3　从事故中学习 …… 195
第 16 章　实验室安全管理的持续改进 …… 196
16.1　持续改进的概念 …… 196
16.2　持续改进的方法 …… 197
16.3　案例研究与最佳实践 …… 197
参考文献 …… 199
附录 …… 201

第一部分　实验室安全基础

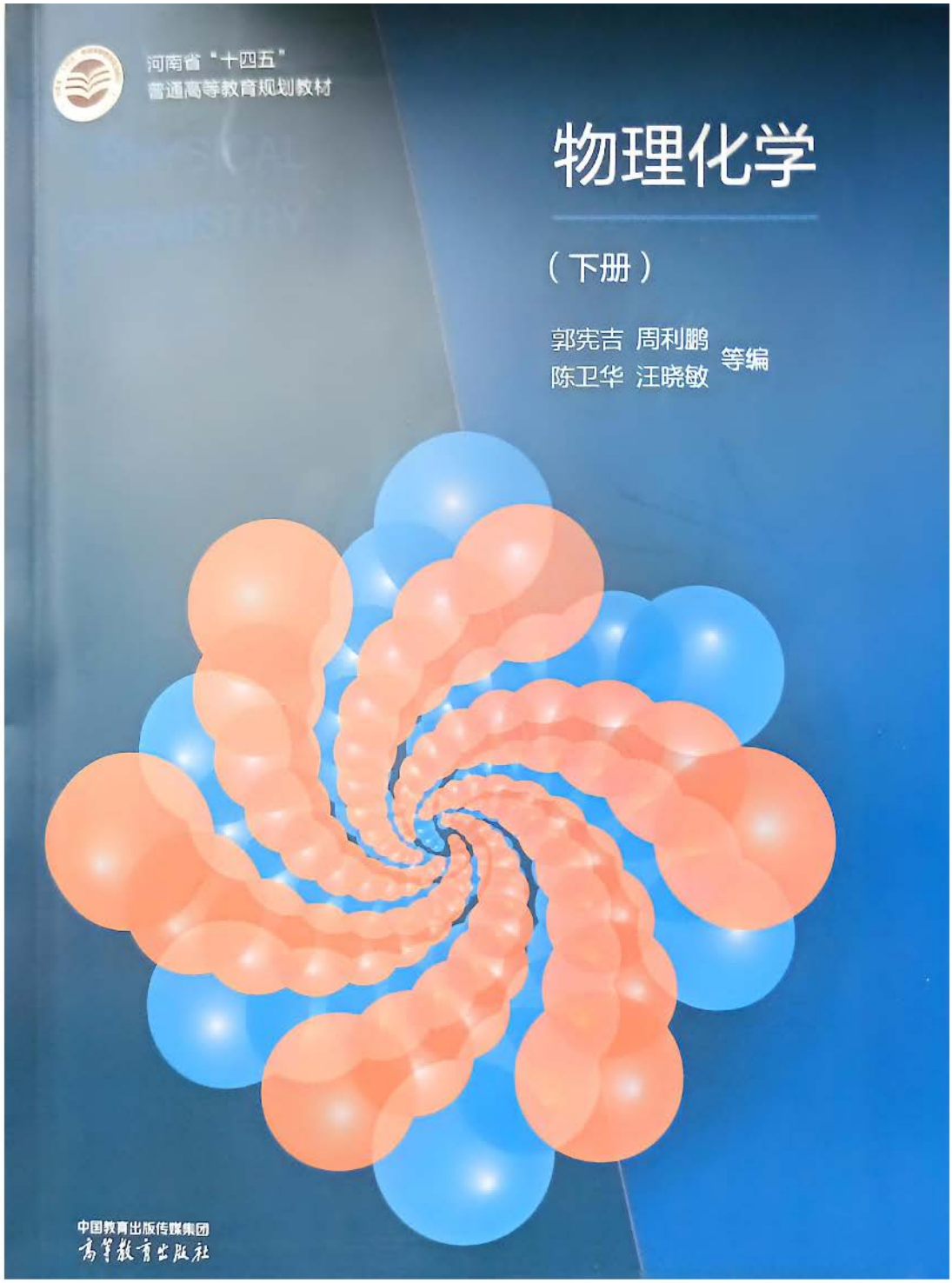
人是实验室安全事故中的主体。各种环境因素往往都是人为造成的，据不完全统计，安全事故中人为因素占50%以上，主要体现为实验过程中操作不当、违反操作规程等。其根源在于实验室的师生安全意识淡薄，对安全事故的警惕性不高，没有真正重视实验室安全的重要性。

为维护高等院校师生的安全，减少事故的发生，增强各高校实验室的安全责任意识和安全管理能力，相关部门高度重视实验室安全工作，国家陆续颁布了一系列文件，从责任体系、安全管理能力、应急能力、安全教育体系等多个方面做了详细的要求。因此，加强实验室安全体制建设，完善高校实验室安全管理工作，是每个高校实验建设中不可或缺的部分。

ISBN 978-7-5773-1021-3
9 787577 310213 >
定价：49.00元

6. 教材成果

6.9 物理化学下册， 高等教育出版社，郭宪吉，2025 年



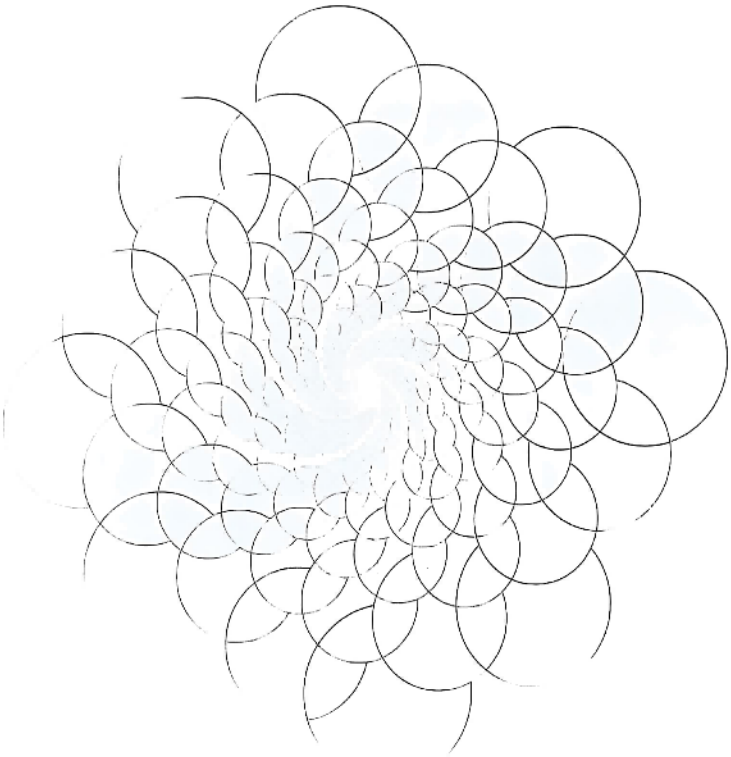
扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

河南省“十四五”
普通高等教育规划教材

物理化学

（下册）

郭宪吉 周利鹏
陈卫华 汪晓敏 等编



中国教育出版传媒集团
高等教育出版社·北京

CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

内容提要

本书分为上、下两册。下册包括8章，分别是化学动力学基础、典型复杂反应的动力学、化学反应速率理论与分子反应动态学技术、特殊反应的动力学、表界面物理化学、电解作用与电极界面过程、能源电化学系统、胶体分散系统。本书力求做到浅显易懂、注重对细节问题的讲述和解释，以及书本知识与科研工作之间的联系。本书提供丰富的典型例题和习题、各章后附有知识点总结和拓展学习资料。

本书可作为高等学校化学类及近化学类专业物理化学课程教材，也可供其他专业师生及相关教学、科研人员参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

物理化学. 下册 / 郭宪吉等编. -- 北京 : 高等教育出版社, 2025. 5. -- ISBN 978-7-04-064607-8

Ⅰ. O64

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025WH0511 号

WULI HUAXUE

策划编辑 李 颖　责任编辑 李 颖　封面设计 王凌波　版式设计 杜微言
责任绘图 李沛蓉　责任校对 张 然　责任印制 刘弘远

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 唐山市润丰印务有限公司
开 本 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 29.25
字 数 660千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 http://www.hep.edu.cn
http://www.hep.com.cn
网上订购 http://www.hepmall.com.cn
http://www.hepmall.com
http://www.hepmall.cn
版 次 2025年5月第1版
印 次 2025年5月第1次印刷
定 价 60.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 科 号 64607-00

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

目　录

第 10 章　化学动力学基础 …… 1
10.1　引论 …… 1
10.2　化学反应速率的表示 …… 3
10.3　化学反应速率方程 …… 7
10.4　具有简单级数的反应和 n 级反应的动力学 …… 11
10.5　反应级数的确定 …… 31
10.6　温度对反应速率的影响 …… 38
10.7　活化能的深入讨论 …… 42
*10.8　基元反应的微观可逆性原理 …… 49
10.9　综合性题目及其求解 …… 51
主要知识点概述 …… 55
科学问题 …… 58
习题 …… 58

第 11 章　典型复杂反应的动力学 …… 66
11.1　对峙反应 …… 66
11.2　平行反应 …… 70
11.3　连串反应 …… 74
11.4　链反应中的直链反应 …… 78
11.5　链反应中的支链反应 …… 85
*11.6　聚合反应 …… 86
*11.7　复杂反应的反应历程拟定 …… 91
11.8　综合性题目及其求解 …… 95
主要知识点概述 …… 103
科学问题 …… 105
习题 …… 105

CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

第 12 章 化学反应速率理论与分子反应动态学技术 …… 110
12.1 简单碰撞理论 …… 111
12.2 过渡态理论 …… 120
12.3 单分子反应速率理论 …… 136
*12.4 分子反应动态学及其实验技术简介 …… 141
主要知识点概述 …… 148
科学问题 …… 151
习题 …… 151

第 13 章 特殊反应的动力学 …… 154
13.1 极快速反应的实验方法 …… 154
13.2 溶液中进行的反应 …… 160
13.3 光化学反应 …… 169
13.4 催化反应概述 …… 182
13.5 均相催化反应 …… 190
13.6 酶催化反应 …… 198
*13.7 B－Z 振荡反应 …… 207
主要知识点概述 …… 214
科学问题 …… 217
习题 …… 217

第 14 章 表界面物理化学 …… 220
14.1 引论 …… 220
14.2 表面张力和表面吉布斯自由能 …… 221
14.3 弯曲液面的性质和亚稳态 …… 227
14.4 液体－液体界面的性质 …… 232
*14.5 其他表面膜及膜反应器 …… 235
14.6 固体－液体界面 …… 236
14.7 表面活性物质和表面活性剂 …… 239
14.8 固体表面的吸附 …… 248
14.9 表面催化反应 …… 268
附录 …… 274
主要知识点概述 …… 274
科学问题 …… 278
习题 …… 278

CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

第 15 章　电解作用与电极界面过程 …… 281
15.1　电极反应速率的表示 …… 281
15.2　电解作用与分解电压 …… 283
15.3　极化作用与超电势 …… 286
15.4　氢超电势的 Tafel 经验式及析氢反应的机制 …… 293
*15.5　浓差极化动力学及其在解析扫描伏安曲线方面的一些应用 …… 301
15.6　电解时电极上的竞争反应 …… 307
15.7　电解作用的其他应用——电解制备和电镀 …… 317
15.8　金属的腐蚀与防腐 …… 321
主要知识点概述 …… 329
科学问题 …… 331
习题 …… 331

第 16 章　能源电化学系统 …… 335
16.1　一些基本术语 …… 335
16.2　一次电池 …… 337
16.3　二次电池 …… 346
16.4　燃料电池 …… 376
*16.5　超级电容器 …… 390
主要知识点概述 …… 399
科学问题 …… 402
习题 …… 402

第 17 章　胶体分散系统 …… 403
17.1　引论 …… 403
17.2　分散系统分类 …… 404
17.3　溶胶的动力性质 …… 406
17.4　溶胶的电学性质 …… 413
17.5　双电层理论和 ζ 电势 …… 416
17.6　溶胶的稳定性和聚沉作用 …… 420
17.7　溶胶的光学性质 …… 424
17.8　溶胶的制备和净化 …… 428
17.9　乳状液 …… 433
17.10　凝胶 …… 435
*17.11　量子点——胶体化学发展进程中的里程碑 …… 438
17.12　大分子溶液的黏度及黏度法测定大分子的摩尔质量 …… 440

CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

17.13 大分子溶液的渗透压及大分子电解质溶液的唐南平衡 ……
主要知识点概述……
科学问题……
习题……

主要参考资料 ……

CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

ISBN 978-7-04-064607-8
定价 60.00 元

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

6. 教材成果

6.10 基础化学实验，高等教育出版社， 张剑荣，2025 年

"101 计划"核心教材
化学领域
基础化学实验
顾 问 郑兰荪
主 编 张剑荣 章文伟 邓顺柳 李维红 任艳平
李一峻 李厚金 淳 远 马 荔
中国教育出版传媒集团
高等教育出版社

AI 赋能

通过智能问答、智慧阅读、知识图谱和资源中心等功能和模块提供学习服务。通过访问 https://ai-101.hep.com.cn/chemistry/jchxsy，或扫描下方二维码访问平台。如平台部分功能无法在移动端显示，可通过计算机访问使用。

"101 计划"核心教材

化学领域

基础化学实验

顾　问　郑兰荪
主　编　张剑荣　章文伟　邓顺柳
李维红　任艳平　李一峻
李厚金　淳　远　马　荔

中国教育出版传媒集团
高等教育出版社·北京

内容提要

本书为化学"101计划"核心教材。"基础化学实验"是化学"101计划"专家组规划的四门实验课程之一，是培养化学基础研究创新人才的入门实验课程。通过本课程教学，激发学生做化学实验的兴趣，使学生学习后能够具备继续化学后续课程学习和从事化学研究的基本实验素养。本书为该课程配套教材，共选编了35个经典实验、20个前沿和特色实验。全书分为两部分：第一部分是基础知识与基本实验技能，介绍实验室安全与防护、化学实验基本操作、常用仪器设备与使用方法、实验结果的处理等；第二部分是实验部分，包含经典实验、前沿和特色实验。经典实验内容包含以操作和技术训练为主的原理性实验、无机化学和有机化学的基础合成实验、分析化学和物理化学的基础测量学实验等。前沿和特色实验内容包含：(1)从原子、原子团簇、超分子、纳米晶体到宏观晶体等一系列不同尺度物质的制备、结构或性质的实验；(2)强调"物质构效关系"的实验，如：过渡金属配合物配位数变化或配体取代导致的溶剂/热致变色效应、稀土发光配合物的长寿命荧光性质、自旋转换材料的热致变色性质、共轭有机极性分子在不同极性分子溶剂中的溶致变色效应；(3)反映最新的科技成就、研究热点或重大应用突破的实验，如与太阳能(风能)制氢储能并再转化为电能相关的实验。部分章节内容中还提供了数字化拓展资源和微视频，供需要背景知识和拓展阅读的读者使用。本书可作为高等学校化学类专业基础化学实验课程教材，也可供其他相关专业师生参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

基础化学实验 / 张剑荣等主编．— 北京 ：高等教育出版社，2025．9．— ISBN 978-7-04-065183-6

Ⅰ．O6-3

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025ST6289 号

JICHU HUAXUE SHIYAN

策划编辑 郭新华　责任编辑 郭新华　封面设计 王 洋　版式设计 徐艳妮
责任绘图 于 博　责任校对 刘娟娟　责任印制 赵义民

出版发行 高等教育出版社
社　　址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印　　刷 北京盛通印刷股份有限公司
开　　本 787 mm×1092 mm 1/16
印　　张 27
字　　数 640千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网　　址 http://www.hep.edu.cn
http://www.hep.com.cn
网上订购 http://www.hepmall.com.cn
http://www.hepmall.com
http://www.hepmall.cn

版　　次 2025年9月第1版
印　　次 2025年9月第1次印刷
定　　价 65.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 65183-00

本书编委会

顾　问：郑兰荪

主　编：张剑荣　章文伟　邓顺柳
李维红　任艳平　李一峻
李厚金　淳　远　马　荔

编　委：（按姓氏拼音排序）

淳　远（南京大学）　邓顺柳（厦门大学）
范　勇（吉林大学）　胡　锴（武汉大学）
姜文凤（大连理工大学）　李厚金（中山大学）
李　恺（郑州大学）　李　婉（中国科学技术大学）
李维红（北京大学）　李一峻（南开大学）
刘亚菲（同济大学）　刘　阳（南开大学）
刘永梅（复旦大学）　马　荔（上海交通大学）
马云飞（华东理工大学）　孟长功（大连大学）
欧阳津（北京师范大学）　邱晓航（南开大学）
任艳平（厦门大学）　石　梅（复旦大学）
苏海峰（厦门大学）　王海媛（天津大学）
王秀云（大连理工大学）　王翊如（厦门大学）
谢小敏（上海交通大学）　许新华（同济大学）
杨　立（上海交通大学）　杨　玲（北京大学）
杨　屹（北京化工大学）　姚奇志（中国科学技术大学）
俞寿云（南京大学）　袁汝明（厦门大学）

袁　廷（北京师范大学）	曾秀琼（浙江大学）
张慧君（厦门大学）	张剑荣（南京大学）
张树永（山东大学）	章文伟（南京大学）
赵发琼（武汉大学）	赵华绒（浙江大学）
周金梅（厦门大学）	朱平平（中国科学技术大学）
朱万春（吉林大学）	朱志伟（北京大学）

前　言

根据“教育部高等教育司关于做好基础学科相关领域本科教育教学改革试点工作(系列‘101 计划’)的通知”(教高司函〔2022〕12 号)精神，为着力培养基础学科拔尖创新人才，助力我国在 2035 年建成世界重要人才中心和创新高地，于 2023 年 4 月启动化学“101 计划”。中山大学高松院士牵头，成立化学“101 计划”专家组，进行“总体谋划，全面指导”。希望通过课程改革“小切口”带动解决基础研究人才培养“大问题”，实现化学学科高等教育改革创新发展的“强突破”。为此，专家组规划建设了 12 门核心课程，它们是：普通化学、无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、结构化学、高分子化学与物理、化学生物学、基础化学实验、合成化学实验、化学测量学实验、化学生物学实验。通过核心课程建设，推动一流核心教材与教案、核心实践项目、核心师资团队的建设，全面探索和实践化学领域人才培养的新理念、新内容、新模式，引领带动高等化学人才培养质量的整体提升。

“基础化学实验”课程建设的指导专家是化学“101 计划”专家组成员郑兰荪院士(厦门大学)，牵头高校为南京大学、南开大学和上海交通大学，牵头专家为张剑荣教授(南京大学)。30 所化学拔尖学生培养计划 2.0 基地建设高校和部分重点院校共同参与建设。

本课程是培养化学基础研究创新人才的入门实验课程。通过本课程学习，激发学生做化学实验的兴趣，使学生学习后能够具备继续后续化学课程学习和从事化学研究的基本实验素养，并可以达到：(1)掌握物质制备、组成测定、结构分析、性质表征的基本实验知识、操作技能和实验技术(包括相应的实验安全防护)，并能够灵活运用；(2)具备能够运用科学思维与方法进行化学研究的意识和初步能力，逐步养成独立思考的习惯；(3)树立和培育学生实事求是、求真务实、不畏困难、勇于探索的科学品德和精神，为培养具备国际竞争力的高素质化学创新人才筑好扎实基础。

本课程以化学“101 计划”专家组提出的“总体思路”为指导思想，通过守正创新，实现传承和发展，即守正“三基”实验训练，通过融入科学前沿、现代信息技术与学习方式等核心要素，创新“实验内容、教学方法和教学手段”，立德树人，为培养化学基础研究创新人才打牢基础。

本课程分为 6 个知识模块和 50 个知识点。6 个知识模块分别为实验

室安全与防护、基本操作、合成与制备、分离与纯化、测量与表征技术和仪器设备与软件等，如图1所示。设计必修内容为4学分，128学时，开设32个(4小时)或16个(8小时)实验。指定选修或选修内容为2学分，64学时。本课程建议开设时间是本科一年级的上、下两个学期。与课程相应的教材内容分为两大部分：第一部分是基础知识与基本实验技能，介绍实验室安全与防护、化学实验基本操作、常用仪器设备与使用方法、实验结果的处理等；第二部分是实验部分，共选编了35个经典实验，20个前沿和特色实验。通过以合成和测量为载体的单元实验或小综合实验，服务于基础单元操作学习、基础技能训练，或成为合成化学实验、化学测量学实验等后续课程必需的先导学习内容。

在实验项目编排上，每一类实验设计2~3个不同项目，分为经典实验内容载体、前沿实验内容载体或特色教学内容载体，例如：实验甲设计为大家公认的经典实验内容载体，实验甲A则设计为与实验甲教学目标类似的前沿实验内容载体或特色实验内容载体，供大家选用和有序过渡；在前沿和特色实验内容方面，有(1)从原子(实验6-10)、超分子(实验7-5B)、原子团簇(实验7-5C)、纳米晶体(实验7-7，7-8)到宏观晶体等一系列不同尺度物质的制备、结构或性质的实验内容；(2)强调了"物质构效关系"的实验内容，如：过渡金属配合物配位数变化或配体取代导致的溶剂/热致变色效应(实验7-5)、稀土发光配合物的长寿命荧光性质(实验7-5A)、自旋转换材料的热致变色性质(实验7-5D)、共轭有机极性分子在不同极性分子溶剂中的溶致变色效应(实验7-6B)；(3)反映最新的科技成就、研究热点或重大应用突破的实验内容，如与太阳能(风能)制氢储能并再转化为电能的实验(实验8-1)。

为了使大家更好地理解实验内容、组织实验教学、完成教学任务，达到教学目标，本教材还另外编写了主要实验项目的教案，也将结集出版。

化学实验基本操作、基本技术、常用仪器设备与使用方法等内容是基础化学实验课程的重要组成部分，为了使大家在教学中有所参照，本教材也将配套出版：(1)《无机化学实验操作规范建议》；(2)《分析化学实验操作规范建议》；(3)《有机化学实验操作规范建议》；(4)《物理化学实验操作规范建议》。这里所说的规范是指约定俗成或明文规定的标准。化学实验操作规范对通用化学实验技术作出规定，具有如下特点：(1)操作科学合理、高效且兼顾美感；(2)安全风险最低、成功率最高；(3)任何受训练的人按照该要求操作都能够成功达到目标。制定化学实验操作建议规范，可以规范实验教学、提高实验效率、减少安全风险和生命财产损失、保护学生并树立良好的工作形象，提高法律法规意识。

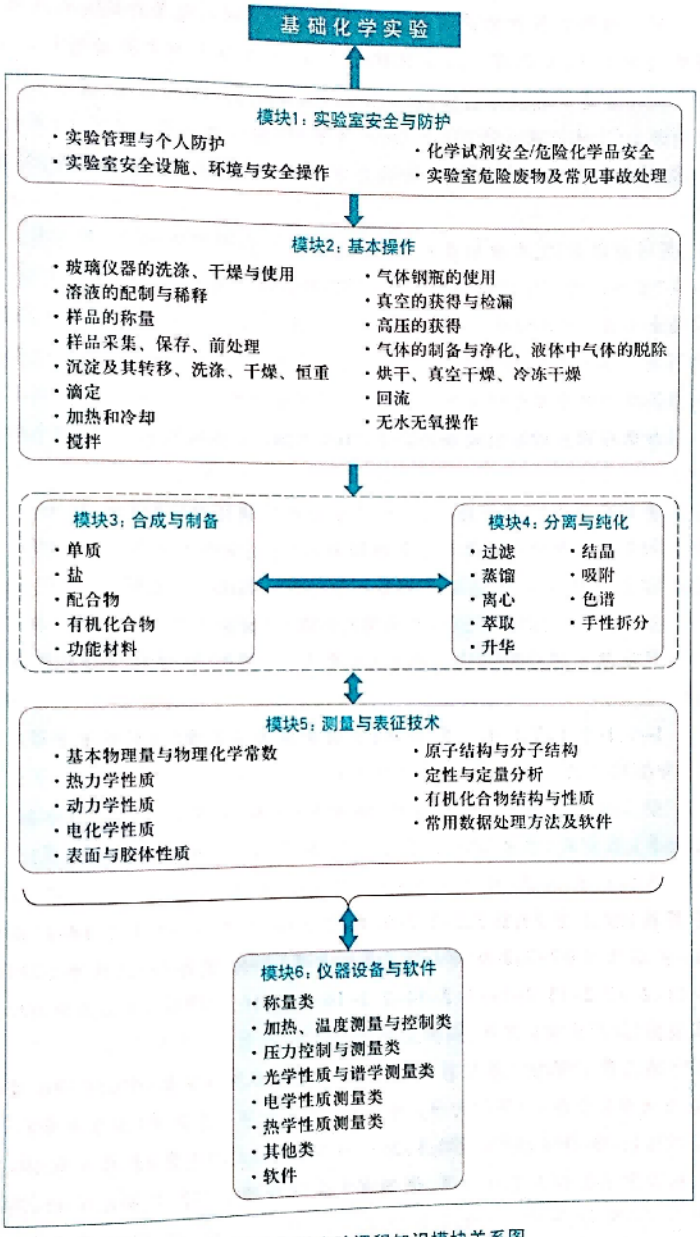


图 1 基础化学实验课程知识模块关系图

核心师资团队建设是课程和教材建设的根本。为了切实提升教师的教育教学水平，本课程成立了课程提升组，由大连大学孟长功教授牵头，南京大学俞寿云教授负责实施，欧阳津（北京师范大学）、杨屹（北京化工大学）、杨立（上海交通大学）、刘阳（南开大学）和俞寿云教授在全国30所拔尖2.0基地高校范围内，具体组织实验教学典型案例课堂观察学习活动，同时，鼓励各被观察的典型案例采取直播、录播等手段提高课堂观察的教师参与度，促进校际交流，有效地提升教学质量。

"课程质量评价标准"是为教师提供评价课程建设质量的参考依据，本课程也成立了"课程质量评价标准"建设组，由山东大学张树永教授、大连理工大学姜文凤教授负责制定课程质量的评价原则、方法和指标，以促进课程质量的持续改进和提高，确保学生能够接受优质的教学服务。

与课程相应的教材建设由化学"101计划"专家组成员、教育部化学类专业教学指导委员会主任郑兰荪院士负责总指导，教育部化学类专业教学指导委员会副主任孟长功教授、委员张树永教授指导，张剑荣、章文伟、邓顺柳和李维红教授总体策划了教材编写，包括制定教材大纲、规划内容、筛选实验项目、组织评审、修改书稿等。教材编写具体分工如下：

绪论，负责人：章文伟（南京大学）、张剑荣（南京大学）

第一章　实验室安全与防护，负责人：马蕊（上海交通大学）、张剑荣（南京大学）

1-1、1-2、1-3、1-4、1-5，马蕊（上海交通大学）、杨玲（北京大学）、朱平平（中国科学技术大学）

第二章　化学实验基本操作，负责人：任艳平（厦门大学）、李厚金（中山大学）、张剑荣（南京大学）

2-1-1，曾秀琼（浙江大学）、李厚金（中山大学）；2-1-2、2-1-3、2-5，曾秀琼（浙江大学）；2-2、2-3、2-6，任艳平（厦门大学）；2-4、2-14-4，赵发琼（武汉大学）；2-7、2-9，李一峻（南开大学）；2-8，胡锴（武汉大学）；2-10、2-11、2-12、2-13、2-14-1、2-14-2、2-14-3、2-16，李厚金（中山大学）；2-15周金梅（厦门大学）、李厚金（中山大学）

第三章　常用仪器设备与使用方法，负责人：李厚金（中山大学）、淳远（南京大学）、任艳平（厦门大学）、李一峻（南开大学）、张剑荣（南京大学）

3-1，李一峻（南开大学）；3-2-1、3-2-2、3-2-3，范勇（吉林大学）；3-2-4、3-2-5、3-2-6、3-2-9、3-3，任艳平（厦门大学）；3-2-7、3-8、3-11-2、3-11-3，李厚金（中山大学）；3-2-8，袁汝明（厦门大学）；3-2-10、3-2-11，曾秀琼（浙江大学）；3-2-12，李婉（中国科学技术大学）；3-5、3-11-1，赵发琼（武汉大学）；3-6、3-9，淳远（南京大学）；3-7、3-10，刘永梅（复旦大学）；

3-11-4，苏海峰（厦门大学）、邓顺柳（厦门大学）

第四章　实验结果的处理，负责人：李一峻（南开大学）

4-1、4-2、4-3，李一峻（南开大学）

第五章、第六章、第七章、第八章 负责人：章文伟（南京大学）、邓顺柳（厦门大学）、李维红（北京大学）、李厚金（中山大学）、淳远（南京大学）、张剑荣（南京大学）

第五章　基本操作实验

实验5-1、实验5-2、实验5-5、实验5-5A、实验5-5C，李维红（北京大学）；实验5-1A，李婉（中国科学技术大学）；实验5-2A，章文伟（南京大学）；实验5-2B，胡锴（武汉大学）；实验5-3、实验5-3A、实验5-6、实验5-7、实验5-8、实验5-8A、实验5-8B，李厚金（中山大学）；实验5-4，李一峻（南开大学）；实验5-5B，朱志伟（北京大学）；实验5-5D，赵华绒（浙江大学）；实验5-8C，谢小敏（上海交通大学）

第六章　化学原理与测量实验

实验6-1、实验6-4A、实验6-5，李维红（北京大学）；实验6-1A、实验6-1B，邓顺柳（厦门大学）；实验6-2、实验6-3、实验6-4、实验6-5A、实验6-7，章文伟（南京大学）；实验6-2A、实验6-6，淳远（南京大学）；实验6-6A，刘永梅（复旦大学）、淳远（南京大学）；实验6-8，刘永梅（复旦大学）；实验6-9，朱万春（吉林大学）；实验6-10，许新华（同济大学）

第七章　制备、表征与性质测试实验

实验7-1、实验7-8、实验7-9，邓顺柳（厦门大学）；实验7-2、实验7-7，王翊如（厦门大学）；实验7-3、实验7-4，章文伟（南京大学）；实验7-5，任艳平（厦门大学）；实验7-5A，石梅（复旦大学）；实验7-5B，王秀云（大连理工大学）；实验7-5C，李恺（郑州大学）；实验7-5D，邱晓航（南开大学）；实验7-6，李厚金（中山大学）；实验7-6A，张慧君、周金梅（厦门大学）；实验7-7A，王海媛（天津大学）；实验7-8A，袁廷、范楼珍（北京师范大学）

第八章　特色实验

实验8-1，刘亚菲（同济大学）；实验8-2，胡锴（武汉大学）；实验8-3，马云飞（华东理工大学）；实验8-4，姚奇志、李娇、刘红瑜、李玲玲（中国科学技术大学）

陈六平教授（中山大学）审阅了第一章、吴琳副教授（南京大学）审阅了李厚金编写的有机部分及相应仪器设备内容、陈六平和张树永教授审阅了淳远编写的物化部分及相应仪器设备内容、张剑荣和章文伟教授审阅了任艳平负责的无机部分及相应仪器设备内容、李维红教授审阅了李一峻负责的分析部分及相应仪器设备内容、邓顺柳教授审阅了李维红和章文伟编写

的实验，章文伟教授审阅了邓顺林、王翅之、任纯平编写的实验，20个前沿的实验，章文伟教授审阅了邓顺林、王翅之、任纯平编写的实验，20个前沿和特色实验由李维红、章文伟和张剑荣教授审阅。全书最后由张剑荣、章文伟、邓顺林和李维红教授修改定稿。

本课程是一门化学"101计划"专家组规划的全新实验课程。为了建设这门课程，建立了课程虚拟教研室、教材和教案编写组、化学实验操作规范编写组、课堂提升计划工作组、课程质量评价标准建设组，除全国30所化学拔尖学生培养计划2.0基地建设高校外，部分兄弟高校（如苏州大学姚建林、赵蓉教授，山西大学郝俊生教授）也参与了这门课程的建设。在此感谢所有参与化学"101计划"基础化学实验课程的建设者。在本书出版之际，还要感谢化学"101计划"、南京大学、南开大学和上海交通大学的支持，感谢高等教育出版社各级领导和编辑对本书出版的大力支持。

由于化学"101计划"建设周期短，加上编者知识水平所限，疏漏和不当之处，恳请读者批评指正，以便重印再版之际可以进一步修改提高。

编者

2024年10月