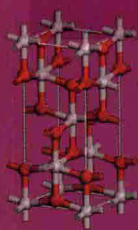




高等学校化学实验教材

张洪林 杜敏 魏西莲  
姬鸿巍 孙海涛

主编



# 物理化学 实验

Experimental Physical  
Chemistry  
(第3版)



中国海洋大学出版社  
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

高等学校化学实验教材

# 物理化学实验

(第3版)

主 编	张洪林	杜 敏	魏西莲
	姬泓巍	孙海涛	
副主编	秦 梅	刘 杰	殷保华
	杨仲年	孙晓日	王 文
	刘冬梅	张培青	曹晓荣
	蒋秀燕	游歌云	

中国海洋大学出版社

· 青 岛 ·

### 图书在版编目(CIP)数据

物理化学实验 / 张洪林等主编. —3 版. —青岛:  
中国海洋大学出版社, 2018. 1  
ISBN 978-7-5670-1923-2

I. ①物… II. ①张… III. ①物理化学—化学实验—  
高等学校—教材 IV. ①O64—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 185383 号

出版发行 中国海洋大学出版社  
社 址 青岛市香港东路 23 号 邮政编码 266071  
网 址 <http://www.ouc-press.com>  
电子信箱 [xianlimeng@gmail.com](mailto:xianlimeng@gmail.com)  
订购电话 0532-82032573(传真)  
丛书策划 孟显丽  
责任编辑 孟显丽 电 话 85901092  
印 制 日照日报印务中心  
版 次 2018 年 8 月第 3 版  
印 次 2018 年 8 月第 1 次印刷  
成品尺寸 170 mm×230 mm  
印 张 20.75  
字 数 373 千  
印 数 1~2000  
定 价 48.00 元

---

发现印装质量问题,请致电 18663037500,由印刷厂负责调换。

# 高等学校化学实验教材

## 编写指导委员会

主任 毕彩丰  
副主任 赵 斌  
委员 尤进茂 尹汉东 王怀生 任万忠 王林同  
何国芳 王立斌 张秀玲 薛兆民 魏培海  
刘雪静 陈万东 杨仲年 高之清 周西臣

## 《物理化学实验》(第3版)编委会

主编 张洪林 杜 敏 魏西莲 姬泓巍 孙海涛  
副主编 秦 梅 刘 杰 殷保华 杨仲年 孙晓日  
王 文 刘冬梅 张培青 曹晓荣 蒋秀燕  
游歌云

编委 (按姓氏笔画排序)

于 游 马令娟 卢金凤 包木太 刘光增  
刘春丽 乔 雁 许和允 阴军英 杜冬梅  
杜西刚 李 苓 吴义芳 张秀玲 陈桂芳  
高志崇 高荣杰 曹允洁 曹晓燕 靳 明  
曾涑源 潘晓茹

# 总序

化学是一门重要的基础学科,与物理、信息、生命、材料、环境、能源、地球和空间等学科有紧密的联系、交叉和渗透,在人类进步和社会发展中起到了举足轻重的作用。同时,化学又是一门典型的以实验为基础的学科。在化学教学中,思维能力、学习能力、创新能力、动手能力和专业实用技能是培养创新人才的关键。

随着化学教学内容和实验教学体系的不断改革,高校需要一套内容充实、体系新颖、可操作性强、实验方法先进的实验教材。

由中国海洋大学、曲阜师范大学、聊城大学和烟台大学等 12 所高校编写的《无机及分析化学实验》、《无机化学实验》、《分析化学实验》、《仪器分析实验》、《有机化学实验》、《物理化学实验》和《化工原理实验》7 本高等学校化学实验系列教材,现在与读者见面了。本系列教材既满足通识和专业基本知识的教育,又体现学校特色和创新思维能力的培养。纵览本套教材,有五个非常明显的特点:

1. 高等学校化学实验教材编写指导委员会由各校教学一线的院系领导组成,编指委成员和主编人员均由教学经验丰富的教授担当,能够准确把握目前化学实验教学的脉搏,使整套教材具有前瞻性。

2. 所有参编人员均来自实验教学第一线,基础实验仪器设备介绍清楚、药品用量准确;综合、设计性实验难度适中,可操作性强,使整套教材具有实用性。

3. 所有实验均经过不同院校相关教师的验证,具有较好的重复性。

4. 每本教材都由基础实验和综合实验组成,内容丰富,不同学校可以根据需要从中选取,具有广泛性。

5. 实验内容集各校之长,充分考虑到仪器型号的差别,介绍全面,具有可行性。

一本好的实验教材,是培养优秀学生的基础之一,“高等学校化学实验教材”的出版,无疑是化学实验教学的喜讯。我和大家一样,相信该系列教材对进一步提高实验教学质量、促进学生的创新思维和强化实验技能等方面将发挥积极的作用。

高从堉

2009年5月18日

# 总 前 言

实验化学贯穿于化学教育的全过程,既与理论课程密切相关又独立于理论课程,是化学教育的重要基础。

为了配合实验教学体系改革和满足创新人才培养的需要,编写一套优秀的化学实验教材是非常必要的。由中国海洋大学、曲阜师范大学、聊城大学、烟台大学、潍坊学院、泰山学院、临沂师范学院、德州学院、菏泽学院、枣庄学院、济宁学院、滨州学院 12 所高校组成的高等学校化学实验教材编写指导委员会于 2008 年 4 月至 6 月,先后在青岛、济南和曲阜召开了 3 次编写研讨会。以上院校以及中国海洋大学出版社的相关人员参加了会议。

本系列实验教材包括《无机及分析化学实验》、《无机化学实验》、《分析化学实验》、《仪器分析实验》、《有机化学实验》、《物理化学实验》和《化工原理实验》,涵盖了高校化学基础实验。

中国工程院高从堦院士对本套实验教材的编写给予了大力支持,对实验内容的设置提出了重要的修改意见,并欣然作序,在此表示衷心感谢。

在编写过程中,中国海洋大学对《无机及分析化学实验》、《无机化学实验》给予了教材建设基金的支持,曲阜师范大学、聊城大学、烟台大学对本套教材编写给予了支持,中国海洋大学出版社为该系列教材的出版做了大量组织工作,并对编写研讨会提供全面支持,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中不妥和错误在所难免,恳请同仁和读者不吝指教。

高等学校化学实验教材编写指导委员会

2009 年 7 月 10 日

# 序

化学是一门以实验为基础的学科,物理化学实验则是化学实验的重要组成部分,是培养学生动手能力、实验技能和创新意识的重要课程。

近年来,随着教学改革的深入发展,物理化学实验教学在内容、方法和设备方面都有了很大的改善和变化。为充分反映近年来实验教学改革的成果,充分发挥师生的能动性,提高学生分析问题、解决问题和动手操作的能力,培养学生的实践能力和创新意识,迫切需要对物理化学实验教学进行改革。

科学技术突飞猛进的发展,积累了许多科研成果,如果能将这些成果适当地转化为学生实验的内容,就可使学生从实验中领会科学探索和研究方法,创新意识和创新能力会得到更好的培养。

鉴于以上认识,由张洪林教授等为主编并联合八所院校几十位长期从事物理化学教学的教师,经过多年辛勤劳动,精心选材,精心设计,编写了这本很有特色的《物理化学实验》。

综观全书,该书具有如下特点:采取按实验测定专题内容为线索的编写方式,有助于学生全面掌握实验;在实验前集中介绍相关专题的基本概念、基础理论和实验方法,以利于解决理论课和实验课时间安排不同步的矛盾;在基础实验内容的安排上注意了内容的可选性,以利于教师可根据不同学科专业的要求进行选择;设计性实验是该书的创新点和重要组成部分,让学生在基本原理的提示下自行设计并完成专题实验,有助于培养学生的实践能力和创新能力。此外,该书还在仪器选择与专题内容的结合上,充分考虑常规仪器和近代大型仪器的结合,以利于体现教学促进科研、科研提升教学的理念。

该教材的编写符合“高等教育需要从以单纯的知识传授为中心转向以创新能力培养为中心”的教学改革理念。该书在编写上还具有思路清晰、方式新颖、内容丰富的特点,是一本值得推荐的物理化学实验教材。该书的出版将使物理化学实验教学的改革前进一大步,使实验教学水平不断提高,并对促进物理化学教学也会有重要贡献。

谨在此对该书的出版表示祝贺。

印永嘉

2009年2月

# 前 言

近年来,随着教学改革的深入发展,物理化学实验在教学内容、教学方法及教学设备等方面均有了很大的变化。为适应物理化学实验教学改革的需要,充分反映近年来实验教学改革成果,充分发挥师生的能动性,提高学生分析问题、解决问题和动手操作的能力,以培养学生的实践能力和创新意识,注重物理化学的设计性实验训练为指导思想编写了《物理化学实验》。本书内容由浅入深,由易到难,既有传统实验,也有反映现代物理化学的新进展、新技术和应用密切结合的设计实验,体现了基础性、应用性、综合性与设计性特点。

(1)在编写思路上,改变了一般物理化学实验书中以实验项目为线索的编写方式,而采取了按实验测定专题内容为主线的方式。本书共编写了热效应的测定、化学反应平衡常数的测定、电化学参数测定及其应用、相图的绘制、化学反应的速率常数的测定、活度因子的测定、表面与胶体化学参数的测定、摩尔质量的测定、物质结构参数的测定、热分析测定十个实验专题。

(2)在实验内容的安排上,包括三个方面的内容:第一,对每章中实验测定专题首先介绍基本理论和实验方法,使学生对这部分内容有一个全面系统的了解,有助于学生全面掌握实验理论和方法。这样可以解决理论课与实验课时间安排不同步的矛盾,就是说理论课还没有讲到的内容,通过这部分内容的学习,可以很顺利地完成实验内容。第二,对基础实验,选取了有代表性的常规典型实验30多个,在实验项目的安排上,注意了内容的可选性,教师可以根据不同学科专业的要求选择所做的实验项目,作为基本理论与性能的培养,这部分内容也可以单独作为物理化学实验教材用。第三,设计性实验是培养学生的实践能力和创新能力的实验,把科研内容渗透到设计实验中,强调开放式教学。设计性实验包括了一些常规参数测定和与本学科科研方面有关的设计实验。设计性实验只列出题目、设计要求、设计思路和参考文献,具体的实施方案由学生在查阅文献的基础上写出开题报告、设计报告,经教师批准后,在教师指导下完成。

(3)在实验手段的介绍上,强调知识的完整性。在实验项目的安排上,加强了内容的可选性,学生可以在完成要求的基础实验项目前提下,根据自身的能力和兴趣,选做不同的设计性实验。

本书由曲阜师范大学负责绪论和第一、二、八、九章;中国海洋大学负责第



三、五、十章；聊城大学负责第四、六、七章；另外五所院校分工情况为：菏泽学院负责基础实验四、十七、十八，潍坊学院负责基础实验十三、二十八、三十二，枣庄学院负责基础实验三、九、十五，滨州学院负责基础实验五、十六、二十三，济宁学院负责基础实验一、二、六。最后由张洪林统稿、定稿。

本书由长期从事物理化学实验教学的教师结合多年的教学经验，并参考国内外有关的实验教材编写而成。由于我们水平所限，书中难免存在不足和错误，敬请读者批评指正。

编者

2009年7月

# 目 次

## 第一部分 绪 论

第一章 实验数据的测量和误差	(3)
第二章 物理化学实验数据的表示法	(7)
第三章 实验数据的处理	(11)
第四章 物理化学实验安全知识	(14)
第五章 物理化学实验的目的和要求	(18)

## 第二部分 实验部分

第一章 热效应的测定	(23)
第一节 概述	(23)
第二节 基础实验	(28)
基础实验一 燃烧热的测定	(28)
基础实验二 溶解热的测定	(32)
基础实验三 液体饱和蒸气压的测定	(36)
第三节 设计实验	(40)
设计实验一 弱酸或弱碱的解离热测定	(40)
设计实验二 苯分子的共振能测定	(41)
设计实验三 化学反应的反应热测定	(42)
设计实验四 金属有机化合物的制备与各种热力学函数的测定	(43)
第二章 化学反应平衡常数的测定	(45)
第一节 概述	(45)
第二节 基础实验	(49)
基础实验四 甲基红溶液的电离平衡常数的测定(分光光度法)	(49)
基础实验五 难溶盐 AgCl 溶度积的测定	(54)
基础实验六 弱电解质溶液的电离常数的测定	(57)

基础实验七	氨基甲酸铵分解反应平衡常数的测定	(59)
基础实验八	溶液偏摩尔体积的测定	(63)
第三节	设计实验	(66)
设计实验五	BaSO <sub>4</sub> 溶度积的测定	(66)
设计实验六	复相反应(气、固相反应)的平衡常数的测定	(67)
设计实验七	液相反应平衡常数的测定(分光光度法)	(68)
第三章	电化学参数测定及其应用	(69)
第一节	概述	(69)
第二节	基础实验	(73)
基础实验九	离子迁移数的测定	(73)
基础实验十	电动势的测定及应用	(82)
基础实验十一	电势-pH 曲线的测定及其应用	(87)
基础实验十二	极化曲线的测定	(90)
第三节	设计实验	(96)
设计实验八	测定 Zn-AgCl 电池的电动势及电池反应的热力学参数	(96)
设计实验九	电动势法测量离子平均活度因子和标准电极电势	(97)
设计实验十	浓差电池的设计和电动势的测定	(98)
设计实验十一	电导滴定	(99)
设计实验十二	电池基本性能的测定	(99)
设计实验十三	不锈钢在海水中的钝化能力评价	(100)
第四章	相图的绘制	(102)
第一节	概述	(102)
第二节	基础实验	(108)
基础实验十三	二组分金属相图的绘制(热分析法)	(108)
基础实验十四	完全互溶双液体体系相图(折射率法)	(112)
基础实验十五	三组分等温相图的绘制(溶解度法)	(115)
第三节	设计实验	(119)
设计实验十四	差热分析法绘制萘-苯甲酸二组分相图	(119)
设计实验十五	两固体和一液体的水盐体系的三组分相图	(120)
第五章	化学反应速率常数的测定	(122)
第一节	概述	(122)
第二节	基础实验	(129)

基础实验十六 蔗糖的转化(旋光法)	(129)
基础实验十七 乙酸乙酯皂化反应(电导法)	(132)
基础实验十八 丙酮碘化(分光光度法)	(135)
基础实验十九 B-Z 化学振荡反应	(138)
基础实验二十 计算机模拟基元反应	(142)
第三节 设计实验	(146)
设计实验十六 复相催化甲醇分解	(146)
设计实验十七 催化动力学反应中铁的级数的测定	(148)
设计实验十八 固体在溶液中的吸附动力学曲线	(150)
第六章 活度因子的测定	(153)
第一节 概述	(153)
第二节 基础实验	(155)
基础实验二十一 测定萘在硫酸铵水溶液中的活度因子 (紫外分光光度法)	(155)
基础实验二十二 测定电解质溶液的活度因子	(159)
第三节 设计实验	(166)
设计实验十九 膜电势法测定电解质溶液的活度因子	(166)
设计实验二十 非电解质稀溶液中溶剂活度因子的测定 (凝固点降低法)	(167)
第七章 表面与胶体化学参数的测定	(169)
第一节 概述	(169)
第二节 基础实验	(174)
基础实验二十三 溶液表面张力的测定(最大气泡法)	(174)
基础实验二十四 固体比表面的测定	(178)
基础实验二十五 溶胶的制备及电泳	(185)
基础实验二十六 表面活性剂 cmc 值的测定(电导法)	(190)
第三节 设计实验	(193)
设计实验二十一 表面活性剂在固体表面吸附量的测定	(193)
设计实验二十二 表面活性剂在固体表面吸附量的测定	(195)
设计实验二十三 微量量热法测定 cmc 和热力学参数	(196)
第八章 摩尔质量的测定	(198)
第一节 概述	(198)
第二节 基础实验	(201)

基础实验二十七	凝固点降低法测定摩尔质量	(201)
基础实验二十八	黏度法测定高聚物的摩尔质量(乌氏黏度计法)	(204)
第三节	设计实验	(210)
设计实验二十四	沸点升高法测定摩尔质量	(210)
设计实验二十五	NaCl 注射液渗透压的测定	(211)
设计实验二十六	黏度法测定摩尔质量(奥氏黏度计法)	(212)
第九章	物质结构参数的测定	(214)
第一节	概述	(214)
第二节	基础实验	(218)
基础实验二十九	偶极矩的测定(小电容仪测定偶极矩)	(218)
基础实验三十	磁化率的测定	(221)
基础实验三十一	双原子气态分子 HCl 的红外光谱	(224)
第三节	设计实验	(229)
设计实验二十七	磁化率法研究 $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$ 的水解反应	(229)
第十章	热分析测定	(230)
第一节	概述	(230)
第二节	基础实验	(240)
基础实验三十二	差热分析法绘制 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的热谱图	(240)
基础实验三十三	差热-热重分析	(244)
第三节	设计实验	(248)
设计实验二十八	DTA 法测定固体分解动力学参数	(248)
设计实验二十九	DTA 法测定固体晶型转变温度	(249)

### 第三部分 常用仪器

仪器一	控温仪	(253)
仪器二	真空泵	(267)
仪器三	气体钢瓶	(269)
仪器四	电导率仪	(272)
仪器五	电位差计	(275)
仪器六	酸度计	(283)
仪器七	恒电位仪	(284)
仪器八	阿贝折射仪	(287)

仪器九 旋光仪 .....	(292)
仪器十 分光光度计 .....	(296)
附录 .....	(303)
附录 1 一些物理和化学的基本常数 .....	(303)
附录 2 常用的单位换算 .....	(304)
附录 3 国际单位制(SI) .....	(305)
附录 4 不同温度下水的蒸气压 .....	(306)
附录 5 有机化合物的蒸气压* .....	(307)
附录 6 有机化合物的密度 .....	(308)
附录 7 水的密度 .....	(309)
附录 8 乙醇水溶液的混合体积与浓度的关系* .....	(310)
附录 9 25℃下某些液体的折射率 .....	(310)
附录 10 水在不同温度下的折射率、黏度和介电常数 .....	(310)
附录 11 不同温度下水的表面张力 .....	(311)
附录 12 几种溶剂的冰点下降常数 .....	(312)
附录 13 金属混合物的熔点(℃) .....	(312)
附录 14 无机化合物的脱水温度 .....	(313)
附录 15 常压下共沸物的沸点和组成 .....	(313)
附录 16 无机化合物的标准溶解热* .....	(314)
附录 17 18℃~25℃下难溶化合物的溶度积 .....	(314)
附录 18 有机化合物的标准摩尔燃烧焓 .....	(314)
附录 19 18℃下水溶液中阴离子的迁移数 .....	(315)
附录 20 均相反应的速率常数 .....	(315)
附录 21 25℃下醋酸在水溶液中的电离度和离解常数 .....	(316)
附录 22 不同浓度不同温度下 KCl 溶液的电导率 .....	(316)
附录 23 高分子化合物特性黏度与分子量关系式中的参数 .....	(317)
附录 24 无限稀释离子的摩尔电导率 .....	(317)
附录 25 几种胶体的 $\zeta$ 电位 .....	(318)
附录 26 25℃下标准电极电势及温度系数 .....	(318)
附录 27 25℃不同质量摩尔浓度下一些强电解质的活度因子 .....	(319)
附录 28 几种化合物的磁化率 .....	(320)
附录 29 液体的分子偶极矩 $\mu$ 、介电常数 $\epsilon$ 与极化度 $P$ .....	(321)
参考文献 .....	(322)

# 第一部分

## 绪 论





# 第一章 实验数据的测量和误差

## 一、测量误差

由于实验方法的可靠程度、所用仪器的精密度和实验者感官的限度等方面条件的限制,使得测量均带有误差——测量值与真值之差。因此,必须对误差产生的原因及其规律进行研究,方可在合理的人力物力条件下,获得可靠的实验数据,再通过列表、作图、建立数学关系式等处理步骤,使实验数据变为有参考价值的资料,这在科学研究中是必不可少的。

### 1. 误差的分类

误差按其性质可分为如下三种:

(1)系统误差(恒定误差):系统误差是指在相同条件下,多次测量同一物理量时,绝对值和符号保持恒定的误差,或在条件改变时,按某一确定规律变化的误差。其产生的原因有:实验方法方面的缺陷,如使用了近似公式;仪器药品的不良,如电表零点偏差、温度计刻度不准、药品纯度不高等;操作者的不良习惯,如观察视线偏高或偏低。通过改变实验条件可以发现系统误差的存在,针对产生原因可采取措施将其消除。

(2)过失误差(或粗差):这是一种明显歪曲实验结果的误差。它无规律可循,是由操作者读错、记错所致,只要加强责任心,此类误差可以避免。发现有此种误差产生时,所得数据应予以剔除。

(3)偶然误差(随机误差):在相同条件下多次测量同一量时,误差的绝对值时大时小,符号时正时负,但随测量次数的增加,其平均值趋近于零,即具有抵偿性,此类误差称为偶然误差。它产生的原因并不确定,一般是由环境条件的改变(如大气压、温度的波动)、操作者感官分辨能力的限制(如对仪器最小分度以内的读数难以读准确等)所致。

### 2. 误差的表达方法

误差一般用以下三种方法表达:

#### (1)平均误差:

$$\delta = \frac{\sum |d_i|}{n}$$