



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

Inorganic and
Analytical Chemistry

无机及分析化学

(第四版)

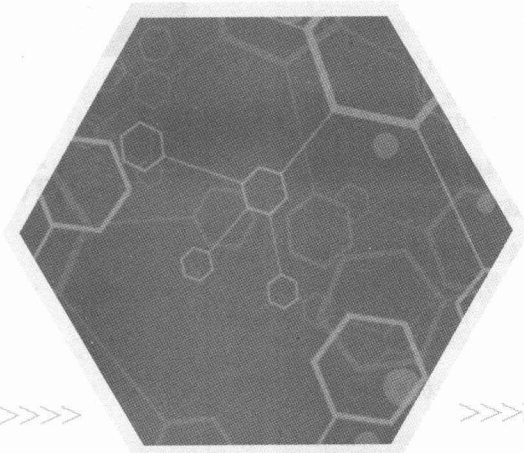
主编 呼世斌 王进义 吴秋华

高等教育出版社



"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材

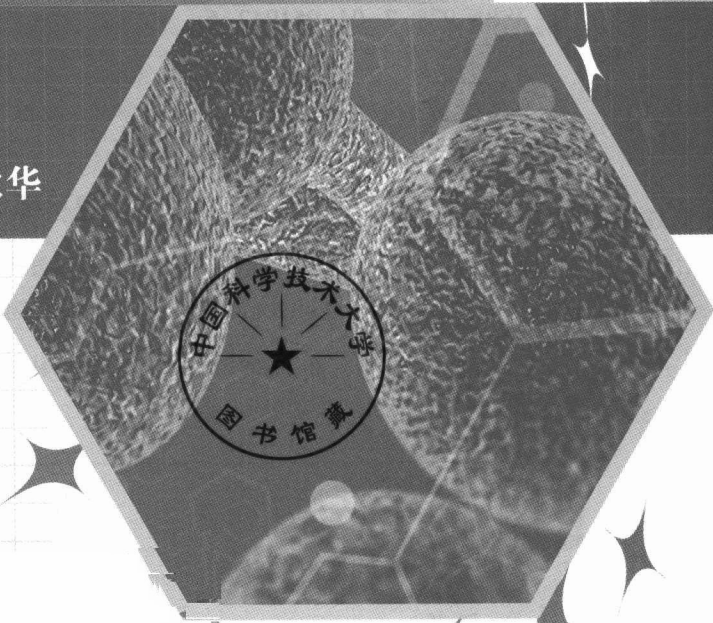
Inorganic and
Analytical Chemistry



无机及分析化学

(第四版)

主编 呼世斌 王进义 吴秋华



高等教育出版社·北京

内容简介

本书第一版是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,为面向 21 世纪课程教材;第二版为全国高等学校教学研究中心“21 世纪中国高等学校农林类专业数理化基础课程的创新与实践”国家级课题研究成果;第三版为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

本次修订保持原有框架和特点,围绕“突出重点,精讲难点”这一修订思路,对全书(包括思考题与习题)进行了调整,以适应新形势下的教学需要。

为便于教学,书中的拓展阅读、科学家小传、动画等内容可以通过扫描相关二维码查看,与本书配套的电子教案、习题解答及章节测试等资料也在网站上发布与分享。

本书可作为高等农林院校非化学化工类专业本科生的无机及分析化学课程教材,也可供相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学 / 呼世斌, 王进义, 吴秋华主编

· -- 4 版. -- 北京: 高等教育出版社, 2019. 7

ISBN 978-7-04-051942-6

I. ①无… II. ①呼… ②王… ③吴… III. ①无机化学-高等学校-教材②分析化学-高等学校-教材 IV. ①O61②O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 083338 号

Wuji ji Fenxi Huaxue

策划编辑 郭新华
插图绘制 于博

责任编辑 郭新华
责任校对 胡美萍

封面设计 王琰
责任印制 韩刚

版式设计 马敬茹

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 保定市中国美凯印刷有限公司
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 28.75
字数 700 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 2001 年 7 月第 1 版
2019 年 7 月第 4 版
印 次 2019 年 8 月第 2 次印刷
定 价 57.00 元

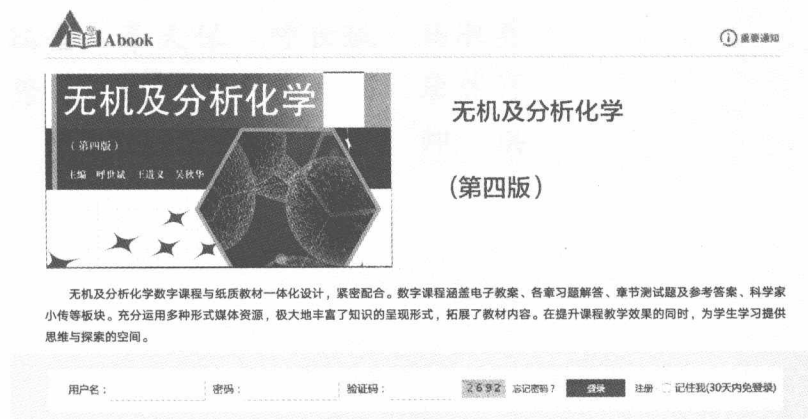
本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 51942-00

无机及分析化学

(第四版)

呼世斌 王进义 吴秋华

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1238013>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在
手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1238013>

第四版编写委员会成员

主 编	呼世斌	王进义	吴秋华			
副主编	张春荣	余瑞金	张冬暖	刘 红	许河峰	吴 瑛
编 委	王俊敏	王进义	王咏梅	王文己	许河峰	
	刘 红	刘伟华	吴秋华	吴 瑛	张春荣	
	张冬暖	余瑞金	李天保	呼世斌	杨淑英	
	杨正亮	杨秀敏	赵 影	夏新福	唐然肖	
	崔朋雷	龚 宁	彭庆蓉	李宇彬	帅 琪	

第四版前言

《无机及分析化学》自 2001 年出版以来,在国内多所高校教学实践中使用,受到广大师生的欢迎和好评。经过 2004 年和 2009 年的两次修订和完善,2014 年被教育部列为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。同时,本书还是高等农林院校有关专业研究生入学考试化学科目统考的重要参考教材。

为适应学科发展和教学改革的要求,以及结合各学校反馈的信息和专家意见,本书编写委员会于 2018 年 4 月 29 日至 5 月 1 日在西北农林科技大学召开了《无机及分析化学》(第四版)修订会,对教学内容进行了深入研讨,并就该教材的修订目的、原则、要求及安排达成共识。修订后的教材与第三版相比,内容有所增删,调整了部分章节结构,筛选了课后思考题与习题。为了更好地满足教学需要,本书配套了丰富的数字化教学资源,具体的使用方法,可阅读数字课程说明页。

全书共分十四章。第一、十四章由广东海洋大学许河峰、李宇彬编写;第二、五、八、十二章和附录由西北农林科技大学龚宁、李天保、呼世斌、王文己、杨正亮、杨淑英、王进义、余瑞金和帅琪编写;第三、十三章分别由石河子大学夏新福、刘红编写;第四、六、十一章由河北农业大学张冬暖、赵影、刘伟华、吴秋华、崔朋雷、杨秀敏、唐然肖和王俊敏编写;第七、十章分别由中国农业大学张春荣、彭庆蓉编写;第九章由塔里木大学吴瑛和王咏梅编写。由于部分编者工作变动,主编和部分参编人员与前三版有所不同。

在此向关心本书的各位同仁及高等教育出版社表示感谢,向曾经参与本书前三版编写工作的编者及提出修改意见和建议的专家和读者致谢。

由于编者的水平和经验有限,书中不妥之处恳请广大读者批评指正。

编者
2019 年 2 月

第三版前言

《无机及分析化学》自 2001 年出版以来,经过国内部分高校近十年的使用和第一、第二版的修订,2007 年被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材^①,并作为农林院校研究生化学统考重要参考教材。为了适应新形势的需要,我们于 2008 年 10 月 31 日至 11 月 2 日在西北农林科技大学召开《无机及分析化学》(第三版)修订会。参会院校编者一致认为,本教材结构和内容基本上能够符合当前农林院校的教学要求,本次修订原则上不再做大的改动,主要是精炼教材,规范数据。书中所用数据全部以附录数据为准,运算过程中不考虑数据修约,最终结果按有效数字运算规则取舍。并对全书的思考题与习题统一按照选择题、填空题、简答题和计算题四部分进行编排,以便于与本科和研究生考试题型相吻合。另外,为了方便教师的教学和学生的学习,对与本教材配套的多媒体课件进行重新编制,一并出版。

全书共分十四章。第一、十四章由广东海洋大学李先文、许河峰编写;第二、五、八、十二章由西北农林科技大学冯贵颖、龚宁、呼世斌、杨正亮、杨淑英、赵冉、赵晓农编写;第三、十三章分别由石河子大学夏新福、李炳奇编写;第四、六、十一章由河北农业大学翟彤宇、张冬暖、果秀敏、崔朋雷、臧晓欢、唐然肖、王俊敏和杨秀敏编写;第七、十章分别由中国农业大学张春荣、任丽萍编写;第九章由安徽工程科技学院陈宁生编写。由于部分编者的工作变动,主编和部分参编人员与前两版有所不同。

我们深信:《无机及分析化学》第三版及其配套多媒体课件的出版,将会距第二版提出的“结构和内容更加合理、完善;概念和文字更加准确、精炼;教者方便、学者轻松”的目标越来越近,但难以就此成为完美无缺的精品。在此,我们再次恳切希望同行专家和广大读者多提宝贵意见,以利提高。同时,我们也要对为本教材连续三次出版而付出辛劳的岳延陆编审、郭新华和董淑静编辑以及高等教育出版社的大力支持表示衷心的感谢。

编 者
2009 年 8 月

^① 本书 2014 年入选“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

第二版前言

《无机及分析化学》第一版于2001年出版以来,受到了国内同行的普遍好评,使用对象由原来单纯的农林、水产院校逐渐扩展到理工院校的生物化工、应用化学等专业。然而,当今世界科技的发展日新月异、突飞猛进,新知识、新理论的不断涌现,高校教学手段的改进,促使教材必须进行更新,以适应新形势的要求。为此,我们于半年前开始了本教材第一版的修编准备工作,在各院校和高等教育出版社的大力支持下,2004年5月在西北农林科技大学召开了第一次修编会议。会议充分肯定了第一版教材的成功之处以及它对高校化学教学改革推动作用,确定了第二版修编的指导思想,即保持原教材基本框架,适当调整个别节次;精炼传统教学内容,增补现代化学知识;主动适应高校教学手段改进,增加多媒体辅助教学光盘(包括本教材和与之配套的实验教材);引入化学在相关专业中的应用实例,加强基础课与后续课的衔接;根据普通生和考研生的不同要求,《〈无机及分析化学〉习题精解与学习指南》辅助教材,明确了本课程基本要求和深化学习的内容。

例如,重要生命元素一章,将原来分节介绍的p区金属、非金属元素合为一节,按族进行介绍,有利于学生认识元素性质的变化规律。由于篇幅的限制,在第一版中删除的重要生命元素B, Zn, Cu,在第二版中得以恢复,而对生命科学中不太常见的Tl等部分内容进行了删减。

全书共分十四章。第一、九、十四章分别由甘肃农业大学蒲陆梅、肖雯和赵国虎编写;第二、五、八、十二章分别由西北农林科技大学冯贵颖、呼世斌、杨淑英和赵晓农编写;第三、十三章分别由石河子大学夏新福、李炳奇编写;第四、六、十一章分别由河北农业大学黄蕾蕾、翟彤宇和唐然肖编写;第七、十章分别由中国农业大学张春荣、任丽萍编写。除第一、三、六、七和十一章编者有变动外,其余章节全部为原编写组成员。

《无机及分析化学》第二版及其辅助教材的出版,旨在通过多方位、立体化教学手段,实现教材结构更加合理,内容更加完善,文字更加准确、精炼,教和学更加自如、方便。本目标能否达到,还有待于实践的检验。在此,我们恳切希望广大读者不吝指正。同时,我们也要对岳延陆编审、郭新华和周传红编辑表示诚挚的谢意,他们为本教材第一版编写的成功、第二版编写的顺利进行做了大量工作。

编者

2004年12月

第一版前言

生命科学的发展,生物技术的进步,使化学在生物学科的重要性越来越突出。农、林、水院校研究的主要内容是生命科学,化学教育工作者如何面对现实,更新教学内容,改革和完善教学体系,使之适应于 21 世纪科技发展的需要,这是摆在我们面前的一项重要任务。为此,1996 年由中国农业大学朱寿珩教授牵头,国内 9 所农、林、水院校参加,共同承担了原国家教委“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”中高等农林院校本科化学系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践课题(04-8)。经过三年多的研究与实践,各校不同程度取得了一些成绩。《无机及分析化学》教材的编写,是近年来各校教学内容和课程体系改革的一项重要研究成果。它与农林院校传统的《普通化学》《分析化学》相比,具有以下特点:

1. 将原来分属于两门课程的教学内容融为一体,组成一个新的教学体系,有利于压缩篇幅,避免重复,补充新知识(如书中的小体字),扩大信息量。

2. 教材内容力争与农、林、水学科相结合,加强了化学与生命学科的联系,体现了农、林、水院校化学课程特色。

3. 精简了烦琐的计算推导,删除了过深的理论阐述,使教学内容更切合农、林、水院校实际。

4. 元素化学部分取消了与生命无关的内容,突出了生命元素化学及生物效应,使学生学习目标明确,兴趣浓厚。

5. 将长期从属于理论课程的化学实验独立出来,作为一门课程单独开设,不仅可以从根本上解决重理论、轻实践的教学弊端,而且可以有效缓解实验室紧缺矛盾,提高实验室利用率,使改革者受益。

6. 将定量化学分析中的四大滴定融入四大平衡,使无机化学及分析化学自然成为一体,实现了两门课程的有机结合。

全书共分十四章,第一、九、十四章分别由甘肃农业大学虎玉森、肖雯和赵国虎编写;第二、五、八和十二章分别由西北农林科技大学冯贵颖、呼世斌、杨淑英和赵晓农编写;第三和十三章分别由石河子大学张延金和李炳奇编写;第四、六、十一章分别由河北农业大学黄蕾蕾、果秀敏、贾欣欣编写;第七、十章分别由中国农业大学蔡亚岐和任丽萍编写。

教材初稿经副主编、主编审阅、修改,最后由主编通读、审定。为了保证教材质量,我们邀请了西北农林科技大学薛澄泽教授和中国农业大学赵士铎、赵义芳教授对本教材进行了全面审阅,他们提出的许多宝贵意见,为教材增色不少。在此,特表示衷心的感谢。

在申报“面向 21 世纪课程教材”过程中,得到了教育部面向 21 世纪“农林院校化学教学内容和课程体系改革”课题主持人、中国农业大学朱寿珩教授,以及高等教育出版社

的大力支持和帮助,在此,谨表示诚挚的谢意。

由于编者的水平所限,书中不尽完善和错漏之处敬请读者批评指正。

编者

2001年3月

目 录

第一章 溶液和胶体	1	§ 5-5 f 区元素	154
§ 1-1 物质聚集状态	1	思考题与习题	157
§ 1-2 分散系	2	第六章 分析化学概论	159
§ 1-3 溶液的浓度	4	§ 6-1 分析化学的任务、方法及 发展趋势	159
§ 1-4 稀溶液的依数性	6	§ 6-2 定量分析的一般程序	161
§ 1-5 胶体溶液	13	§ 6-3 定量分析的误差	163
§ 1-6 乳浊液	20	§ 6-4 有限数据的统计处理	168
思考题与习题	23	§ 6-5 滴定分析	176
第二章 化学反应的能量和方向	25	思考题与习题	185
§ 2-1 基本概念	25	第七章 酸碱平衡与酸碱滴定法	188
§ 2-2 化学反应过程的热效应	29	§ 7-1 酸碱质子理论	188
§ 2-3 热化学定律	32	§ 7-2 影响酸碱平衡的因素	193
§ 2-4 化学反应的方向	36	§ 7-3 酸碱水溶液酸度的计算	199
§ 2-5 生物质能简介	46	§ 7-4 酸碱指示剂	208
思考题与习题	47	§ 7-5 酸碱滴定曲线和指示剂 的选择	212
第三章 化学反应的速率和限度	50	§ 7-6 酸碱滴定法的应用	222
§ 3-1 化学反应速率	50	思考题与习题	227
§ 3-2 影响反应速率的因素	55	第八章 沉淀-溶解平衡与沉淀 滴定法	230
§ 3-3 化学反应的限度—— 化学平衡	63	§ 8-1 难溶电解质的沉淀-溶解 平衡	230
思考题与习题	73	§ 8-2 沉淀的生成与溶解	234
第四章 物质结构简介	77	§ 8-3 沉淀滴定法	242
§ 4-1 氢原子光谱	77	§ 8-4 重量分析法	246
§ 4-2 原子的量子力学模型	79	§ 8-5 应用实例	251
§ 4-3 原子核外电子结构	88	思考题与习题	253
§ 4-4 元素基本性质的周期性 变化	96	第九章 配位化合物与配位滴 定法	255
§ 4-5 离子键	100	§ 9-1 配位化合物的基本概念	255
§ 4-6 共价键	103	§ 9-2 配位化合物的化学键理论	260
§ 4-7 分子间力和氢键	109	§ 9-3 配位平衡	265
§ 4-8 晶体知识简介	116	§ 9-4 配位滴定法概述	271
思考题与习题	120	§ 9-5 配位滴定反应及影响因素	274
第五章 重要生命元素	124	§ 9-6 金属指示剂	282
§ 5-1 概述	124	§ 9-7 提高配位滴定选择性的	
§ 5-2 s 区元素	127		
§ 5-3 p 区元素	132		
§ 5-4 d 区元素	148		

方法	284	§ 14-1 原子发射光谱	390
§ 9-8 配位滴定方式及其应用	287	§ 14-2 原子吸收分光光度法	394
思考题与习题	289	§ 14-3 色谱分析	399
第十章 氧化还原反应与氧化还		§ 14-4 质谱分析法	409
原滴定法	292	§ 14-5 仪器分析的应用	410
§ 10-1 氧化还原反应	292	思考题与习题	415
§ 10-2 原电池与电极电势	297	附录	417
§ 10-3 氧化还原滴定法	315	附录一 物质的标准摩尔燃烧焓	
思考题与习题	330	(298 K)	417
第十一章 电位分析与电导分析	334	附录二 一些单质和化合物的	
§ 11-1 电位分析法及其原理	334	$\Delta_f H_m^\ominus, \Delta_f G_m^\ominus, S_m^\ominus$ 数据	
§ 11-2 离子选择性电极	336	(298 K)	417
§ 11-3 直接电位法	341	附录三 溶度积常数(298 K)	423
§ 11-4 电位滴定法	344	附录四 电极反应的标准电极	
§ 11-5 电导分析基本原理	347	电势(298 K)	424
§ 11-6 应用实例	349	附录五 条件电极电势	429
思考题与习题	350	附录六 配离子的标准稳定常数	
第十二章 吸光光度分析法	352	(298 K)	430
§ 12-1 基本原理	352	附录七 弱酸、弱碱在水中的解离	
§ 12-2 显色反应与测量条件的		常数(298 K, $I=0$)	433
选择	357	附录八 化合物的相对分子质量	435
§ 12-3 吸光光度分析的方法和		附录九 不同温度时水的饱和	
仪器	361	蒸气压	437
§ 12-4 应用实例	367	附录十 离子半径(Pauling)	438
思考题与习题	371	附录十一 元素的原子	
第十三章 分析化学中的重要		半径(pm)	439
分离方法	374	附录十二 元素的第一电离能	
§ 13-1 沉淀与共沉淀分离法	374	($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)	440
§ 13-2 溶剂萃取分离法	379	附录十三 元素的第一电子亲和能	
§ 13-3 离子交换分离法	383	($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)	441
§ 13-4 其他分离技术	386	附录十四 元素的电负性	
思考题与习题	388	(Pauling)	442
第十四章 其他仪器分析简介	390	主要参考书目	443

第一章

溶液和胶体

化学是在原子、分子水平上研究物质的组成、结构、性质和变化的自然科学；物质以不同的聚集状态与分散形式存在。聚集状态通常有气态、液态、固态三种，还有等离子态、液晶等；典型的分散形式有溶液和胶体。

溶液和胶体是物质在自然界中的存在形式，它们与日常生活和生产实践有着密切的联系。生物体内的各种无机盐、有机成分等均以溶液或溶胶（胶体溶液）的形式在体内存在。在工农业生产中，农药的使用、无土栽培技术的应用、组织培养液的配制、土壤的改良、工业废水的净化处理等都离不开溶液与溶胶的知识。本章简单介绍物质的聚集状态，主要讨论溶液和胶体。

§ 1-1

物质聚集状态

一、气体

1. 理想气体状态方程

气体的基本特征是它的扩散性和可压缩性。忽略气体分子本身占有的空间和分子间作用力，该气体就是理想气体；实际气体在低压高温条件下，才能被近似地看成理想气体。

理想气体状态方程是系统处于平衡态时，系统各性质间的数学关系式。理想气体状态方程为

$$pV = nRT \quad (1-1)$$

式中 R 为摩尔气体常数，其值 $R = 8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。由于 $1 \text{ J} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3$ ，所以 $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

针对不同的实际气体，人们总结出许多规律，主要有范德华方程、位力状态方程等。

2. 道尔顿分压定律

对两种或两种以上互不发生化学反应的理想气体的混合物，其状态方程是

$$pV = n_1RT + n_2RT + \cdots + n_iRT = \sum_B n_BRT \quad (1-2)$$

式中 n_B 表示理想气体混合物中任意理想气体 B 的物质的量； p, V, T 分别为混合气体的压力、体积和温度。混合气体中任意理想气体 B 在同一温度下占有混合气体的体积时所呈现的压力称为气体 B 的分压 p_B 。由式(1-2)可知：

$$p = \sum_B \frac{n_BRT}{V} = \sum_B p_B \quad (1-3)$$

由于混合气体中气体 B 的物质的量分数 x_B 为

$$x_B = \frac{n_B}{n} = \frac{p_B V/RT}{pV/RT} = \frac{p_B}{p} \quad (1-4)$$

所以混合气体中气体 B 的分压 p_B 为

$$p_B = x_B p \quad (1-5)$$

式(1-3)称为道尔顿(Dalton)分压定律,式(1-5)为道尔顿分压定律的另一种表达形式。

二、液体

液体也像气体一样,是一种流体。液体中的分子不像晶体中的分子排列得那样整齐,它们只在局部范围和短暂时间内保持一定程度的有序排列,仅具有一定的体积而无固定形状;通常,其可压缩性比气体小得多而略大于固体;液体具有相似相溶性;液体具有一定的表面张力。液体还有许多基本性质,如蒸气压、沸点、凝固点等。

常温常压下,纯水是液体。水蒸发或冰升华形成水蒸气。

三、固体

固体不仅具有一定的体积,还具有固定形状。固体可由分子、原子、离子等粒子组成,这些粒子靠得很近,彼此间有相当强的作用力,使固体表现出一定程度的坚实性(刚性);固体内部的粒子不能自由移动,只能在一定的位置上振动,所以固体的可压缩性很小。

固体可分为晶体和无定形体。晶体常具有规则的几何外形,如食盐呈立方体形。晶体的几何外形表明了晶体内部的分子、原子、离子等粒子都是按一定规则排列的,并贯穿于整个晶体,称为长程有序性;晶体的特征还有各向异性和具有一定的熔点。

无定形体没有规则的几何外形,如玻璃、石蜡。它们从熔融状态冷却下来时,内部粒子还来不及排列整齐,就冻结在无规则的状态之中,形成过冷的液体,只是由于黏度很大不能像液体那样流动,并最终形成固体。无定形体和晶体不同,它没有固定的熔点,只有软化温度范围,具有各向同性。

通常条件下,物质以固、液、气三态存在。在一定条件下,固、液、气三态具有平衡关系,而改变条件则发生三种状态的相互转化。纯水的固、液、气三态在温度和压力改变时的相互转化规律是最常见的例子。

§1-2

分散系

一、分散系的概念

一种或几种物质分散在另一种物质里所形成的系统称为分散系统,简称分散系。例如,黏土分散在水中成为泥浆,水滴分散在空气中成为云雾,奶油、蛋白质和乳糖分散在水中成为牛奶等都是分散系。在分散系中,被分散的物质叫作分散质(或分散相),而容纳分散质的物质称为分散剂(或分散介质)。在上述例子中,黏土、水滴、奶油、蛋白质、乳糖等是分散质,水、空气就是分散剂。分散质和分散剂的聚集状态不同,分散质粒子大小不

同,分散系的性质也不同。

二、分散系的分类

按照分散质和分散剂的聚集状态进行分类,可以把分散系分为九类,见表1-1。

表 1-1 分散系分类(一)

分散质	分散剂	实例
固	气	烟、灰尘
液	气	云、雾
气	气	煤气、空气、混合气
固	液	溶胶、油漆、泥浆
液	液	豆浆、牛奶、石油
气	液	汽水、肥皂泡沫
固	固	矿石、合金、有色玻璃
液	固	珍珠、硅胶
气	固	泡沫塑料、海绵、木炭

按照分散质粒子直径大小进行分类,可以将分散系分为三类,见表 1-2。

表 1-2 分散系分类(二)

类型	粒子直径 nm	分散系名称	主要特征	
分子、离子分散系	<1	真溶液	最稳定,扩散快,能透过滤纸及半透膜,对光散射极弱	单相系统
胶体分散系	1~100	高分子溶液	很稳定,扩散慢,能透过滤纸,不能透过半透膜,对光散射弱,黏度大	
		溶胶	较稳定,扩散慢,能透过滤纸,不能透过半透膜,光散射强	多相系统
粗分散系	>100	乳浊液 悬浊液	不稳定,扩散很慢,不能透过滤纸及半透膜,无光散射	

三、分散度和比表面积

分散系中分散质粒子直径不同,它的分散度就不同,分散系的性质也就不同。系统的分散度常以分散质粒子的总表面积与其总体积之比来表示,称为比表面积。如果 S 代表分散质粒子的总表面积, V 代表总体积, S_0 代表比表面积,则有

$$S_0 = \frac{S}{V}$$

比表面积 S_0 增大,系统分散度增加;分散质粒度减小,系统分散度 S_0 增大。例如, $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 方块切成 $0.1\text{ cm} \times 0.1\text{ cm} \times 0.1\text{ cm}$ 方块,比表面积从 $6 \times 1\text{ cm}^{-1}$ 增加为 $6 \times 10\text{ cm}^{-1}$ 。

§ 1-3 溶液的浓度

溶液的浓度是指溶液中溶质的含量,其表示方法可分为两大类,一类是用溶质和溶剂的相对量表示,另一类是用溶质和溶液的相对量表示。由于溶质、溶剂或溶液使用的单位不同,浓度的表示方法也不同。

一、物质的量及其单位

“物质的量”是国际单位制(SI)中的基本物理量之一,它表示系统中所含基本单元的数量,用符号“ n ”表示,单位为“mol”,叫作“摩尔”。国际计量大会正式通过的物质的量的单位“摩尔”的定义为:摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元与 $0.012\text{ kg}^{12}\text{C}$ 的原子数目相等。在使用摩尔时,应指明基本单元。这里所谓的基本单元可以是分子、离子、原子及其他粒子,或这些粒子的特定组合。基本单元要求用加圆括号的化学式(或化学式的组合)表示,而不宜用中文名称。例如,“1 mol 氢氧化钠”的含义就不确切,应该表示为 1 mol NaOH 或 $n(\text{NaOH}) = 1\text{ mol}$ 。同一系统中的同一物质,所选的基本单元不同,则其物质的量也不同。例如,若分别用 NaOH , $\frac{1}{2}\text{NaOH}$ 和 2NaOH 作基本单元,则相同质量的氢氧化钠的物质的量之间有以下关系:

$$n(\text{NaOH}) = \frac{1}{2}n\left(\frac{1}{2}\text{NaOH}\right) = 2n(2\text{NaOH})$$

可见,基本单元的选择是任意的,既可以是实际存在的,也可以根据需要人为设定。

已经证明, 1 mol 的任何物质均含有 6.02×10^{23} 个基本单元数, 6.02×10^{23} 称为阿伏伽德罗常量,用“ N_A ”表示。因此“物质的量”也可以认为是以阿伏伽德罗常量为计量单位,表示物质的基本单元数目的物理量。 1 mol 就是 6.02×10^{23} 个基本单元的集体。上例中, 1 mol NaOH 含有 N_A 个 (NaOH) , $1\text{ mol } \frac{1}{2}\text{NaOH}$ 含有 N_A 个 $\left(\frac{1}{2}\text{NaOH}\right)$, $1\text{ mol } 2\text{NaOH}$ 含有 N_A 个 (2NaOH) 。

摩尔质量是指物质的质量除以该物质的物质的量,即

$$M_B = \frac{m}{n_B}$$

式中 m 为物质 B 的质量, n_B 为物质 B 的物质的量, M_B 为物质 B 的摩尔质量,其单位是 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$,常用单位为 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

例 1-1 用分析天平称取 1.234 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$,溶解后转移至 100.0 mL 容量瓶中定容,试计算 $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ 和 $c\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right)$ 。

解:已知 $m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 1.234\text{ g}$, $M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 294.18\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,则

$$M\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = \frac{1}{6} \times 294.18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 49.03 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot V} = \frac{1.2346 \text{ g}}{294.18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 100.0 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ L} \cdot \text{mL}^{-1}}$$

$$= 0.04197 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = \frac{m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{M\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) \cdot V} = \frac{1.2346 \text{ g}}{49.03 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 100.0 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ L} \cdot \text{mL}^{-1}}$$

$$= 0.2518 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

可见

$$c\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = 6c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7), \quad n\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = 6n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$$

二、物质的量浓度

溶液中溶质 B 的物质的量 (n_B) 除以溶液的体积 (V), 称为溶质的物质的量浓度, 用符号 c_B 表示, 单位是 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 。化学上常采用前一种单位。表示式为

$$c_B = \frac{n_B}{V}$$

例 1-2 已知 80.0% 的硫酸溶液的密度为 $1.74 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 求该硫酸溶液的物质的量浓度 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 和 $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 。

解: 1 000 mL 该硫酸溶液溶质的质量为

$$m_B = 1000 \text{ mL} \times 1.74 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \times 80.0\% = 1392 \text{ g}$$

其物质的量浓度为

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1392 \text{ g}}{98.07 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1 \text{ L}} = 14.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2}c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$$

$$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 2c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \times 14.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 28.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

三、质量摩尔浓度

溶液中溶质 B 的物质的量 (n_B) 除以溶剂的质量 (m_A , 单位为 kg), 称为溶质 B 的质量摩尔浓度, 用符号 b_B 表示, 单位是 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。表达式为

$$b_B = \frac{n_B}{m_A}$$

例 1-3 在 50.0 g 水中溶有 2.00 g 甲醇 (CH_3OH), 求该溶液的质量摩尔浓度。

解: 甲醇的摩尔质量 $M(\text{CH}_3\text{OH}) = 32.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则

$$b(\text{CH}_3\text{OH}) = \frac{2.00 \text{ g}}{32.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 50.0 \text{ g}} = 0.00125 \text{ mol} \cdot \text{g}^{-1} = 1.25 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

质量摩尔浓度与体积无关, 故不受温度变化的影响, 常用于稀溶液依数性的研究。对于较稀的水溶液来说, 质量摩尔浓度近似等于其物质的量浓度。