



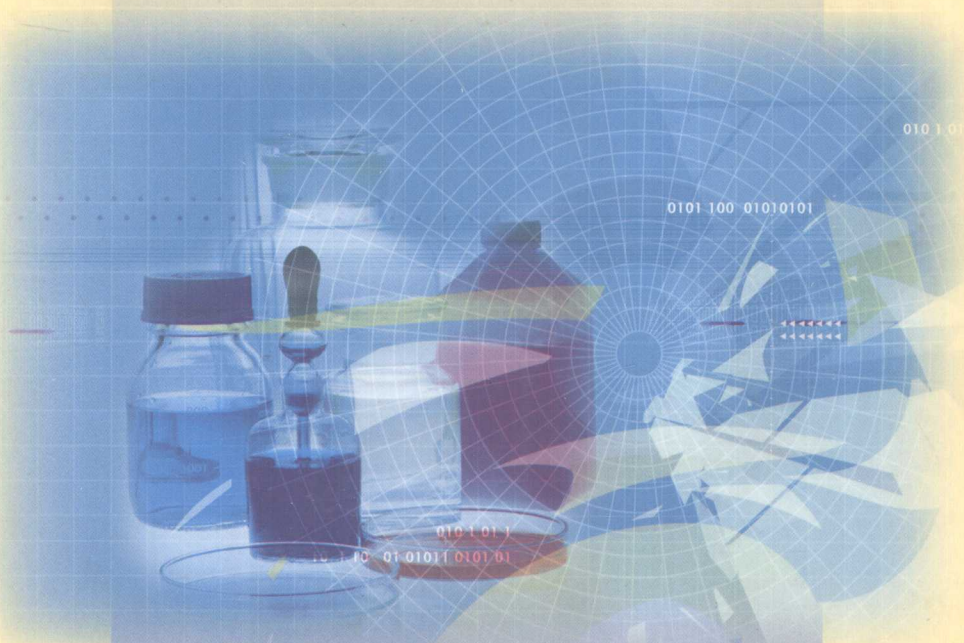
全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教学指导委员会审定

2005年全国高等农业院校优秀教材

无机及分析化学

黄蔷蕾 呼世斌 主编



中国农业出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

无机及分析化学

黄蔷薇 呼世斌 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

无机及分析化学 / 黄蔷蔷, 呼世斌主编. —北京: 中国农业出版社, 2004.6

全国高等农业院校教材

ISBN 7-109-08954-1

I. 无... II. ①黄... ②呼... III. ①无机化学-高等学校-教材②分析化学-高等学校-教材 IV. 06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 026325 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 曾丹霞

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2004 年 7 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 3 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/16 印张: 24.75

字数: 575 千字

定价: 30.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书是全国高等农业院校“十五”规划教材。根据 21 世纪农、林、水院校本科生普通化学和分析化学课程基本要求，以“精减经典、简介前沿、重基础理论、重实际应用”的原则，对教学内容进行适当的删减、革新和融合，组成了“无机及分析化学”新的课程体系。全书共分 13 章，前 8 章主要内容为溶液和胶体，化学反应速率，化学热力学基础及化学平衡，物质结构基础，酸碱平衡及沉淀溶解平衡，配位化合物，氧化还原反应，生命元素概述。后 5 章主要内容为：分析化学概论，滴定分析法，重量分析法，吸光光度法，电势分析法。每节后附有思考题，启发思维；每章后附有思考题与习题。

本书可作为农、林、水高等院校及其他生物类学科专业本科基础课教材，也可作为农、林、水科技工作者和函授生的自修教材。

主 编 黄蕾蕾 呼世斌
副主编 熊远福 杨 容 毛富春 李 华
编 者 (按汉语拼音字母排序)
呼世斌 黄蕾蕾 黄 森 雷 婷
李 华 李辉勇 梁淑芳 毛富春
王 彬 熊远福 杨 容 杨旭哲
翟彤宇 周 军
主 审 刘约权

前 言

为适应国家经济建设的腾飞和科教兴国对人才的需要，高等学校的教学改革正在深入开展，21世纪本科生培养目标是培养和造就一批“厚基础、强能力、高素质、广适应”的创造性人才。为此，全国高等农业院校教学指导委员会和中国农业出版社组织编写全国高等农业院校“十五”规划教材。本书作为“十五”规划教材，在原有教材的基础上进行了进一步的创新和改进。

长期以来，我国许多农、林院校本科教学中将必修的化学课程单独设课为“普通化学”、“分析化学”、“有机化学”及“物理化学”等。然而作为化学教育近代发展的趋势，国外发达国家即使化学专业也一般将“无机化学”与“分析化学”合并为“General Chemistry”中，不单设分析化学课，其中分析化学技术通过实验化学课学习。1996年，原国家教委组织全国九所农、林、水高校承担“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革的计划”中“高等农林院校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)。作为该课题成果，于2001年由西北农林科技大学呼世斌和河北农业大学黄蕾蕾主编，联合五所高校编写出版了“面向21世纪教材”——《无机及分析化学》。该教材将基础课中的独立的“普通化学”和“分析化学”整合为“无机及分析化学”新的课程体系，减少了重复，节省了学时，对经典内容有所删减，简介某些前沿领域学科的内容，拓宽了学生眼界。经过2年多使用，根据教学中发现的问题及学生的接受能力，在本教材的编写过程中，广泛收集借鉴国内外同类教材的优点，合理安排，重新组织教材内容，既考虑课程内容的整体性，又照顾各部分内容的特点，体现课程改革的精神，使教材既体现内容新、形式活，又考虑课程内容的系统性，使教学目标贯彻于教材的每一章节，并做到系统化、层次化、具体化。为保证教材质量，使概念阐述得准确，参编教师参阅了大量国内外相关教材和文献，做了大量艰苦的工作。

本教材有以下特点：

(1) 该教材在“精减经典，简介前沿，重基础理论，重实际应用”的原则基础上，从介绍化学基本原理过渡到滴定分析，在基本理论基础上，既保留原有知识点系统性和独立性，又将它们有机地融合。

(2) 在溶液平衡与滴定分析的内容处理上打破原有框架，将原普通化学中溶液平衡理论与分析化学中有关平衡体系中的一些计算融合在一起，将各类滴定方法、原理等共性集中讨论，内容大量精简，这样既减少了学时，又有利于培养学生概括、总结能力，符合当前教育发展要求。

(3) 精减了烦琐的计算推导，删除了过深的理论阐述，使教学内容更切合农、林院校实际，加强了化学与生命学科的联系，体现了农林院校化学课程的特点。

(4) 为便于学生自学和思考，教材在每章各节适当位置提出思考题，启发思维，引导学生对基本概念、基本理论的理解和认识，加强学生自学能力和思维能力的培养。

(5) 元素化学部分, 突出生命元素化学及其生物效应, 提高学生的学习兴趣。

(6) 教材文字精炼、表达严谨、层次分明、图文并茂, 基本概念和理论的表达力求准确。书中小字部分为不同层次、不同专业需要, 适当加深内容, 便于学生自学, 或教师组织教学。

(7) 教材所用符号、量和单位, 按照国家标准 (GB) 规定执行。

本教材是参加编写的各农业院校长期教学改革经验积累的产物, 编写教材的教师均是长期从事本课程教学工作的骨干教师。教材适用于高等农林院校生物类、食品类等各专业本科生使用, 也可作为考研参考资料。本书由湖南农业大学周军、李辉勇、雷婷、熊远福, 西北农林科技大学毛富春、梁淑芳、呼世斌、黄森, 河北农业大学黄蕾蕾、翟彤宇、杨容、杨旭哲, 新疆农业大学李华, 保定职业技术学院王彬编写。河北农业大学刘约权教授仔细审阅了全稿, 提出了许多宝贵意见, 教材编写中参阅了国内外出版的一些教材和著作, 从中得到了启发和教益, 在此一并表示衷心感谢。

尽管我们做了许多努力, 随着教学改革的深入, 教材中难免有不尽如人意的地方。同时限于编者水平, 错误和不当之处在所难免, 恳切期望专家、同行以及使用该教材的教师和同学们提出宝贵意见。

编者

2004年1月

目 录

前言

第一章 溶液和胶体	1
1.1 分散系及其分类	1
1.1.1 分散系的概念	1
1.1.2 分散系的分类	1
1.2 溶液的浓度	2
1.2.1 物质的量及物质的量浓度	3
1.2.2 质量摩尔浓度	4
1.2.3 摩尔分数	4
1.2.4 质量分数	5
1.2.5 质量浓度	5
1.3 稀溶液的依数性	5
1.3.1 水的相图	6
1.3.2 溶液的蒸气压下降	7
1.3.3 溶液的沸点升高和凝固点下降	8
1.3.4 渗透压	10
1.3.5 依数性的应用	12
1.3.6 强电解质理论	12
1.4 胶体溶液	14
1.4.1 溶胶的性质	14
1.4.2 溶胶粒子带电的原因	16
1.4.3 胶团结构	18
1.4.4 溶胶的稳定性和聚沉	19
1.4.5 表面活性物质和乳状液	21
思考题与习题	24
第二章 化学反应速率	26
2.1 化学反应速率	26
2.1.1 化学反应速率的表示方法	26
2.1.2 化学反应速率理论简介	28

2.2 影响化学反应速率的因素	31
2.2.1 浓度对化学反应速率的影响	31
2.2.2 温度对化学反应速率的影响	33
2.2.3 催化剂对化学反应速率的影响	36
思考题与习题	39
第三章 化学热力学基础及化学平衡	43
3.1 基本概念	43
3.1.1 系统和环境	43
3.1.2 状态和状态函数	43
3.1.3 过程和途径	44
3.1.4 热和功	45
3.1.5 热力学能	45
3.1.6 热力学的标准状态	45
3.1.7 反应进度	46
3.2 化学反应的反应热	47
3.2.1 热力学第一定律	47
3.2.2 化学反应热	48
3.2.3 热化学方程式	50
3.2.4 热化学定律 (盖斯定律)	50
3.2.5 标准摩尔生成焓	51
3.2.6 化学反应摩尔焓变的计算	51
3.3 化学反应的方向性	52
3.3.1 自发过程	52
3.3.2 熵	53
3.3.3 吉布斯自由能	54
3.4 化学反应的限度——化学平衡	59
3.4.1 化学平衡	59
3.4.2 标准平衡常数 (K^\ominus)	59
3.4.3 化学反应等温方程式	61
3.4.4 化学平衡的移动	64
思考题与习题	67
第四章 物质结构基础	72
4.1 核外电子运动的特殊性	72
4.1.1 氢光谱	72
4.1.2 微观粒子的波粒二象性	74
4.2 核外电子运动的近代描述	75
4.2.1 波函数与原子轨道	75

4.2.2	四个量子数	77
4.2.3	概率密度与电子云	78
4.2.4	原子轨道和电子云的图像	79
4.3	原子核外电子结构	82
4.3.1	多电子原子的能级	82
4.3.2	基态原子核外电子排布	85
4.3.3	原子的电子结构与元素周期律	90
4.4	元素重要性质的周期性变化	92
4.4.1	有效核电荷及原子半径	92
4.4.2	电离能和电子亲合能	94
4.4.3	电负性	96
4.5	离子键	96
4.5.1	离子键的形成和特点	97
4.5.2	离子的结构	98
4.5.3	离子键的强度	99
4.6	共价键	99
4.6.1	价键理论 (VB 法)	100
4.6.2	杂化轨道理论	102
4.7	分子间力和氢键	105
4.7.1	分子间力	105
4.7.2	氢键	108
4.8	晶体知识简介	111
4.8.1	各类晶体简介	112
4.8.2	离子极化及其对物质性质的影响	113
	思考题与习题	115
第五章	酸碱平衡与沉淀溶解平衡	119
5.1	酸碱质子理论	119
5.1.1	质子酸碱的概念和酸碱反应	119
5.1.2	酸碱的解离及相对强弱	120
5.2	酸碱水溶液酸度的计算	123
5.2.1	质子条件式	123
5.2.2	酸度对弱酸 (碱) 各型体分布的影响	124
5.2.3	一元弱酸 (碱) 水溶液酸度的计算	127
5.2.4	多元弱酸 (碱) 水溶液酸度的计算	129
5.2.5	两性物质水溶液酸度的计算	130
5.3	酸碱平衡的移动	132
5.3.1	稀释定律	132

5.3.2 同离子效应与盐效应	133
5.4 缓冲溶液	134
5.4.1 缓冲溶液的组成及缓冲原理	135
5.4.2 缓冲溶液 pH 计算	135
5.4.3 缓冲溶液的性质	136
5.4.4 缓冲溶液的配制	136
5.5 沉淀溶解平衡	138
5.5.1 难溶电解质的溶度积	138
5.5.2 沉淀的生成和溶解	141
思考题与习题	145
第六章 配位化合物	149
6.1 配位化合物的基本概念	149
6.1.1 配位化合物的组成	149
6.1.2 配位化合物的命名	151
6.1.3 配位化合物的种类	152
6.2 配位化合物的价键理论	153
6.2.1 价键理论	153
6.2.2 配位化合物的类型	156
6.3 配位平衡	157
6.3.1 配离子的稳定常数	157
6.3.2 配位平衡的计算	158
6.3.3 配位平衡的移动	159
6.4 螯合物	164
6.4.1 螯合物	164
6.4.2 螯合物的稳定性	165
6.5 配合物的应用及研究进展	166
6.5.1 配合物的应用	166
6.5.2 配位化学的研究进展	166
思考题与习题	166
第七章 氧化还原反应	169
7.1 氧化还原反应	169
7.1.1 基本概念	169
7.1.2 氧化还原反应方程式的配平	172
7.2 原电池与电极电势	174
7.2.1 原电池	174
7.2.2 电极电势与电池的电动势	176
7.2.3 标准电极电势的应用	179

7.3 影响电极电势的因素	182
7.3.1 能斯特 (Nernst) 方程式	182
7.3.2 影响电极电势的因素	183
7.4 元素电势图及其应用	187
7.4.1 元素电势图	187
7.4.2 元素电势图的应用	188
思考题与习题	190
第八章 重要的生命元素	194
8.1 概述	194
8.1.1 必需元素	194
8.1.2 有毒元素	194
8.1.3 有益元素	195
8.1.4 不确定元素	195
8.2 s 区元素	196
8.2.1 s 区元素的通性	196
8.2.2 钠和钾	197
8.2.3 镁和钙	198
8.3 p 区元素	199
8.3.1 p 区元素的通性	199
8.3.2 硼族元素	200
8.3.3 碳族元素	202
8.3.4 氮族元素	203
8.3.5 氧族元素	205
8.3.6 卤素	207
8.4 d 区元素	209
8.4.1 d 区元素的通性	209
8.4.2 重要化合物	210
8.4.3 生物效应	213
8.5 f 区元素	213
8.5.1 镧系元素的电子排布及颜色	213
8.5.2 镧系收缩	213
8.5.3 镧系元素的生物效应	214
思考题与习题	214
第九章 分析化学概论	216
9.1 分析化学的任务、方法及定量分析的程序	216
9.1.1 分析化学的任务和作用	216
9.1.2 分析方法的分类	216

9.1.3 分析化学的发展趋势	218
9.1.4 定量分析的一般程序	218
9.2 定量分析的误差	220
9.2.1 误差的表示方法	220
9.2.2 误差的来源及减免方法	224
9.3 有限数据的统计处理	226
9.3.1 有效数字及其运算规则	226
9.3.2 置信区间和置信概率	229
9.3.3 可疑值的取舍	231
9.4 滴定分析法概述	233
9.4.1 滴定分析基本概念	233
9.4.2 滴定分析法对化学反应的要求和滴定方式	233
9.4.3 标准溶液的配制与标定	234
9.4.4 滴定分析法的计算	236
思考题与习题	240
第十章 滴定分析法	244
10.1 酸碱滴定法	244
10.1.1 酸碱指示剂	244
10.1.2 酸碱滴定的基本原理	247
10.1.3 酸碱滴定法的应用	255
10.2 配位滴定法	257
10.2.1 配位滴定法概述	257
10.2.2 乙二胺四乙酸及其配合物的性质	258
10.2.3 影响金属-EDTA 配合物稳定性的因素	261
10.2.4 配位滴定的基本原理	263
10.2.5 金属指示剂	268
10.2.6 提高配位滴定选择性的方法	270
10.2.7 配位滴定的方式和应用	272
10.3 氧化还原滴定法	274
10.3.1 概述	274
10.3.2 氧化还原滴定的基本原理	275
10.3.3 氧化还原滴定法的指示剂	279
10.3.4 常用的氧化还原滴定法	280
10.4 沉淀滴定法	286
10.4.1 概述	286
10.4.2 沉淀滴定法的滴定曲线	286
10.4.3 确定终点的方法	287

10.4.4 银量法的应用	291
思考题与习题	291
第十一章 重量分析法	296
11.1 概述	296
11.1.1 重量分析法的一般程序	296
11.1.2 重量分析法的特点	296
11.1.3 重量分析法对沉淀形式和称量形式的要求	296
11.1.4 重量分析法的有关计算	297
11.2 沉淀的纯度及条件选择	297
11.2.1 沉淀的纯度	298
11.2.2 沉淀条件的选择	298
11.2.3 影响沉淀溶解度的因素	299
11.3 沉淀的过滤、洗涤、烘干与灼烧	301
11.4 沉淀分离法	302
11.4.1 利用无机沉淀剂进行沉淀分离	302
11.4.2 利用有机沉淀剂进行沉淀分离	304
思考题与习题	305
第十二章 吸光光度法	306
12.1 物质对光的选择性吸收	306
12.1.1 光的基本性质	306
12.1.2 物质对光的选择性吸收	307
12.2 光吸收的基本定律	308
12.2.1 朗伯-比尔定律	308
12.2.2 吸光系数和摩尔吸光系数	309
12.2.3 标准曲线的绘制及其应用	310
12.2.4 引起偏离朗伯-比尔定律的原因	311
12.3 吸光光度法的仪器	312
12.3.1 分光光度计的结构	312
12.3.2 分光光度计的类型及工作原理	314
12.4 吸光光度法分析条件的选择	315
12.4.1 显色反应及显色反应条件的选择	315
12.4.2 吸光光度法的测定误差及测定条件的选择	318
12.5 吸光光度法的应用	319
12.5.1 定量分析	319
12.5.2 配合物组成的测定	321
12.5.3 双波长分光光度法	322
思考题与习题	322

第十三章 电势分析法	325
13.1 电势分析法概述	325
13.1.1 电势分析法基本原理	325
13.1.2 电势分析法的优点	326
13.1.3 参比电极	326
13.1.4 指示电极	327
13.2 电势分析法的应用	330
13.2.1 pH 的测定	330
13.2.2 离子活(浓)度的测定	332
13.2.3 电势滴定法	334
思考题与习题	337
附录	338
附录一 一些重要的物理常数	338
附录二 一些物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$, $\Delta_f G_m^\ominus$ 和 S_m^\ominus (298.15 K)	338
附录三 元素的原子半径/pm	345
附录四 元素的第一电离能/ (kJ·mol ⁻¹)	346
附录五 元素的第一电子亲和能/ (kJ·mol ⁻¹)	347
附录六 元素的电负性 (Pauling)	348
附录七 离子半径 (Pauling)	349
附录八 一些质子酸的解离常数 ($I=0$, 25 °C)	349
附录九 溶度积常数 (298 K)	355
附录十 配离子的标准稳定常数 (298 K)	357
附录十一 电极反应的标准电极电势 (298 K)	360
附录十二 条件电极电势	365
附录十三 化合物的相对分子质量	367
附录十四 不同温度时水的饱和蒸气压	370
附录十五 常用的换算因数	370
索引	372
参考文献	378

第一章 溶液和胶体

溶液和胶体是物质的不同存在形式，在自然界中普遍存在，与工农业生产以及人类生命活动过程有着密切的联系。广大的江河湖海就是最大的水溶液，生物体和土壤中的液态部分大都为溶液或胶体。溶液和胶体是物质在不同条件下所形成的两种不同状态。例如氯化钠溶于水就成为溶液，把它溶于酒精则成为胶体。那么，溶液和胶体有什么不同呢？它们各自又有什么样的特点呢？要了解上述问题，需要了解有关分散系的概念。

1.1 分散系及其分类

1.1.1 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，被分散的物质叫做分散质（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。我们可以按照物质的聚集状态或分散质颗粒的大小将分散系进行分类。

1.1.2 分散系的分类

物质一般有气态、液态、固态三种聚集状态，若按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	液	糖水、溶胶、油漆、泥浆
液	液	豆浆、牛奶、石油、白酒
气	液	汽水、肥皂泡沫
固	固	矿石、合金、有色玻璃
液	固	珍珠、硅胶、肌肉、毛发
气	固	泡沫塑料、海绵、木炭
固	气	烟、灰尘
液	气	云、雾
气	气	煤气、空气、混合气

若按分散质粒子直径大小进行分类, 则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, 对光散射极弱, 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	乳状液 悬浊液	不稳定, 扩散慢, 不能透过滤纸及半透膜, 无光散射	

分子与离子分散系统中, 分散质粒子直径 <1 nm, 它们是一般的分子或离子, 与分散剂的亲和力极强, 均匀、无界面, 是高度分散、高度稳定的单相系统。这种分散系统即通常所说的溶液, 如蔗糖溶液、食盐溶液。

胶体分散系中, 分散质粒子直径为 $1\sim 100$ nm, 它包括溶胶和高分子化合物溶液两种类型。一类是溶胶, 其分散质粒子是由许多一般的分子组成的聚集体, 这类难溶于分散剂的固体分散质高度分散在液体分散剂中, 所形成的胶体分散系称为溶胶 (或称为胶体)。例如, 氢氧化铁溶胶、硫化砷溶胶、碘化银溶胶、金溶胶等。溶胶中, 分散质和分散剂的亲和力不强, 不均匀, 有界面。故溶胶是高度分散、不稳定的多相系统。由于亲和力不强, 故又称为疏液溶胶 (或憎液溶胶)。另一类是高分子化合物溶液, 如淀粉溶液、纤维素溶液、蛋白质溶液等。高分子溶液中, 分散质粒子是单个的高分子, 与分散剂的亲和力强, 故高分子溶液是高度分散、稳定的单相系统。高分子溶液在某些性质上与溶胶相似。由于高分子粒子与溶剂的亲和力强, 故又称为亲液溶胶。

粗分散系中, 分散质粒子直径 >100 nm, 用普通显微镜甚至肉眼也能分辨出, 是一个多相系统。按分散质的聚集状态不同, 粗分散系又可分为两类: 一类是液体分散质分散在液体分散剂中, 称为乳状液, 如牛奶。另一类是固体分散质分散在液体分散剂中, 称为悬浊液, 如泥浆。由于粒子大, 容易聚沉, 分散质也容易从分散剂中分离出来, 故粗分散系统是极不稳定的多相系统。

以上三类分散系之间虽然有明显的区别, 但没有明显的界线, 三者之间的过渡是渐变的, 某些系统可以同时表现出两种或者三种分散系的性质, 因此以分散质粒子直径大小作为分散系分类的依据是相对的。

本章将重点讨论溶液和胶体分散系的一些性质。

1.2 溶液的浓度

溶液的浓度是指一定量溶液或溶剂中所含溶质的量。由于“溶质的量”可取物质的量、质量、体积, 溶液的量可取体积, 溶剂的量可取质量、体积等, 所以在实际生活中我们所遇到的浓