

化学核心教程立体化教材系列

分析化学

核心教程

孟凡昌 潘祖亭 编

武汉大学化学与分子科学学院

A
nalytical
Chemistry:
A Key Course



科学出版社

www.sciencep.com

化学核心教程立体化教材系列

分析化学核心教程

孟凡昌 潘祖亭 编

武汉大学化学与分子科学学院

科学出版社

内 容 简 介

本书是根据教育部理工科化学教学指导委员会和化学化工教学指导委员会拟订的化学专业、应用化学专业、药学专业、临床医学类专业以及生命科学、农林、地学等专业化学教学基本内容的要求编写的,同时参考了近年来分析化学的学科进展综述和国内外最新的分析化学教材。

全书共 14 章,包括绪论,分析质量保证与质量控制,定量分析化学概论,酸碱平衡和酸碱滴定,络合平衡和络合滴定,沉淀滴定,氧化还原滴定,滴定分析小结,重量(称量)分析,分析化学中常用的分离与富集方法,原子光谱分析,分子光谱分析,电化学分析和分析化学中的色谱技术等。

本书可作为高等理工和师范院校化学、应用化学、化工、材料、生物、医药、环境、农林等专业的分析化学教材及考研参考书,也可供相关师生及分析测试工作者、自学者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

分析化学核心教程/孟凡昌,潘祖亭编. —北京:科学出版社,2005
(化学核心教程立体化教材系列)

ISBN 7-03-014716-2

I. 分… II. ①孟… ②潘… III. 分析化学-高等学校-教材 IV. O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 129619 号

责任编辑:王志欣 刘俊来 吴伶伶 / 责任校对:李奕莹

责任印制:安春生 / 封面设计:耕者工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 2 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005 年 2 月第一次印刷 印张:23

印数:1—4 000 字数:432 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

本书是根据教育部理工科化学教学指导委员会和化学化工教学指导委员会拟订的关于化学、应用化学、化工以及医药学、环境科学等专业化学教学基本内容的要求而编写的。它是近几年来我们完成教育部“国家理科基地创建分析化学名牌课程优秀项目”、武汉大学教材建设项目,进行分析化学教学内容、课程体系及教学方法改革和实践的经验总结。

分析化学已经发展成为一门以多学科为基础的综合性学科。诸多学科的理论 and 实际问题的解决越来越需要分析化学的参与。分析化学家的主导作用在生命科学、食品安全、环境科学、材料科学、突发事件处理等许多涉及人类健康和生命安全的领域得到了充分发挥。例如,生命过程是空间和时间的函数并受到生理甚至心理因素的影响,因此需要采用在体、原位、实时且最好是非侵入的方法进行检测。这就要求不断研究、采用各种高新仪器和技术以解决分析化学所面临的各种越来越复杂的挑战。

10年前,中国科学院院士梁树权教授就指出:分析化学是一个整体,化学分析和仪器分析构成分析化学的两大支柱^①,两部分内容相互补充,并在化学及相关专业人才培养中继续起着非常重要的作用。同样在10年前,美国*Analytical Chemistry*杂志两次刊登著名的分析化学家 Charles M Beck II 的长文^②,强调重视经典化学分析的重要性,加强经典化学分析人才培养的紧迫性。

本书的主要特色有以下5点。

1. 重点突出,同时各种分析方法的覆盖比较均衡。本书共分14章。它们是:绪论,分析质量保证与质量控制,定量分析化学概论,酸碱平衡和酸碱滴定,络合平衡和络合滴定,沉淀滴定,氧化还原滴定,滴定分析小结,重量(称量)分析,分析化学中常用的分离与富集方法,原子光谱分析,分子光谱分析,电化学分析,分析化学中的色谱技术等。

2. 重视“量”的概念。康德有一句名言:“在自然科学的各门分支中,只有那些能以数学表述的分支才是真正的科学。”“定量”是分析化学的核心之一。分析化学家所做的就叫分析化学,而分析化学家的“产品”和工作主要是分析测试数据和参与相关问题的解决:探讨从取样原则、试样的处理与分解、分析方法的

^① 梁树权. 分析化学过去、现在和展望. 分析试验室, 1993, 12 (1): 11

^② Charles M Beck II. Classical Analysis: a Look at the Past, Present and Future. *Analytical Chemistry*, 1991, 63: 20; 1994, 66: 4

选择、分离与富集、分析测量到误差与分析结果的统计处理等全过程，努力提高分析测试数据的可信度即分析质量的方法和途径，包括提出问题、分析和解决问题以及为什么要这么做的道理。举一反三，触类旁通，而这些正是实施素质教育所提倡和企盼的。

3. 理论与实际相联系，强调理论与实际应用两个方面。这也体现了分析化学是惟一能将无机化学、有机化学、物理化学、环境化学、临床化学、生物化学、材料化学等学科结合进行综合分析应用的学科。

4. 摆正化学平衡在分析化学中的地位与角色。化学平衡在探讨与处理分析化学所面临的复杂问题时很重要，但其毕竟不是分析化学的整体。通过合理解析、推导，综观全局，抓主要矛盾，让学生认识到一种更简便更好的近似才是合理的，或者说过于详细的面面俱到的计算通常也是不符合实际的。

5. 适用面广。主修化学、应用化学、生命科学、材料科学、环境科学等专业的学生及师范、农林、医药类学生皆可选作一学期教材（40~68学时）。编者希望较多的内容能满足不同导师和读者的要求，编者也希望本书对那些准备考研的学生是相当适合的。

书中各章末附有主要参考文献及思考题与习题，并给出习题的参考答案。有关习题可根据课程的要求与学生的学时情况作适当选择，以便学生对课程内容更好地理解与应用。另外，本书中的一些观点可能与传统教材不一致，例如缓冲容量、目测法终点误差、新引入的“变色区间”、参考水准以及络合滴定中的最适宜酸度等，可作比较与思考。

全书由潘祖亭（第一、二、三、九、十、十二章）和孟凡昌（第四、五、六、七、八、十一、十三、十四章）共同编写。

在本书的编写过程中，编者参考了国内外近期出版的有关教材或教学参考书，谨致谢意。

由于编者水平的限制，书中错误和问题在所难免。恳请有关专家、同行和同学批评指正。

编 者

2004年12月于武汉大学

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 分析化学的定义、任务和作用	1
1.2 分析方法的分类	2
1.2.1 化学分析和仪器分析	2
1.2.2 定性分析、定量分析和结构分析	3
1.2.3 无机分析和有机分析	3
1.2.4 常量分析、半微量分析和微量分析	3
1.3 发展中的分析化学	4
1.4 分析化学文献	5
1.4.1 推荐书目	5
1.4.2 推荐丛书和手册	6
1.4.3 推荐杂志	6
参考文献	7
第二章 分析质量保证与质量控制	8
2.1 分析化学中关于误差的基本概念	8
2.1.1 系统误差	8
2.1.2 随机误差	9
2.1.3 准确度与误差	9
2.1.4 精密度与偏差	10
2.1.5 准确度和精密度的关系	14
2.2 分析数据的统计处理	15
2.2.1 随机误差的正态分布	15
2.2.2 随机误差的区间概率	16
2.2.3 t 分布与平均值的置信区间	18
2.2.4 可疑值的取舍	20
2.2.5 显著性检验	22
2.3 提高分析结果准确度的方法	25
2.3.1 选择适当的分析方法	25

2.3.2 减小测量的相对误差	26
2.3.3 检查和消除系统误差	26
2.3.4 适当增加平行测定次数,减小随机误差	27
2.4 有效数字及随机误差的传递	28
2.4.1 有效数字	28
2.4.2 有效数字的修约规则	29
2.4.3 有效数字的运算规则	29
2.4.4 随机误差的传递	31
2.5 分析质量的保证与控制	32
2.5.1 质量保证体系和质量控制图	32
2.5.2 平均值质量控制图	33
思考题与习题	36
参考文献	40
第三章 定量分析化学概论	41
3.1 概述	41
3.2 滴定分析简介	48
3.2.1 滴定分析过程与术语	48
3.2.2 滴定分析法对滴定反应的要求	49
3.2.3 滴定分析方式	49
3.3 基准物质和标准溶液	50
3.3.1 基准物质	50
3.3.2 标准溶液	51
3.4 滴定分析中的计算	52
3.4.1 滴定分析计算的依据和常用公式	52
3.4.2 滴定分析法的有关计算	53
思考题与习题	56
参考文献	60
第四章 酸碱平衡和酸碱滴定	61
4.1 概述	61
4.1.1 酸碱平衡和酸碱滴定的内容	61
4.1.2 酸碱平衡的研究手段	61
4.1.3 浓度、活度和活度系数	62
4.1.4 酸碱反应的平衡常数——解离常数	64

4.2 分布系数 δ 的计算	64
4.2.1 一元弱酸及其共轭碱	65
4.2.2 多元弱酸及其共轭碱	66
4.3 质子条件与 pH 计算	67
4.3.1 质子条件	67
4.3.2 pH 的计算	68
4.4 对数图解法	78
4.4.1 H_2O 及强酸强碱的浓度对数图	79
4.4.2 一元弱酸及其共轭碱的浓度对数图	80
4.4.3 多元酸及其共轭碱的浓度对数图	81
4.4.4 对数图解法的应用	82
4.5 酸碱缓冲溶液	84
4.5.1 缓冲溶液 pH 的计算	84
4.5.2 缓冲指数 β	86
4.5.3 缓冲容量 α	87
4.5.4 重要缓冲溶液	88
4.6 酸碱滴定曲线	89
4.6.1 用强碱滴定强酸的滴定曲线	89
4.6.2 用强碱滴定一元弱酸的滴定曲线	91
4.6.3 用强碱滴定多元酸或混合酸的滴定曲线	92
4.7 酸碱指示剂	94
4.7.1 酸碱指示剂原理	94
4.7.2 指示剂的用量	96
4.7.3 混合指示剂	97
4.8 终点误差	97
4.8.1 强碱滴定强酸	97
4.8.2 强碱滴定一元弱酸	98
4.8.3 强碱滴定多元弱酸	98
4.9 酸碱滴定的应用	99
4.9.1 混合碱的测定	99
4.9.2 极弱酸(碱)的测定	100
4.9.3 铵盐中氮的测定	101
4.9.4 用酸碱滴定法测定磷	102

4.9.5 氟硅酸钾容量法测定硅	102
4.9.6 有机化合物中氮的测定——凯氏定氮法	103
4.10 非水溶液中的酸碱滴定	104
4.10.1 非水溶剂	104
4.10.2 非水滴定的条件选择	106
4.10.3 非水滴定应用示例	108
思考题与习题	108
参考文献	112
第五章 络合平衡和络合滴定	113
5.1 概述	113
5.1.1 无机络合剂	113
5.1.2 有机络合剂	113
5.2 络合平衡	116
5.2.1 络合物和稳定常数	116
5.2.2 逐级络合物的分布	117
5.3 副反应系数 α 与条件常数 K'	119
5.3.1 金属离子 M 的副反应系数 $\alpha_{M(L)}$ (络合效应)	120
5.3.2 EDTA 的副反应系数 $\alpha_{Y(H)}$ (酸效应)	121
5.3.3 EDTA 的酸效应曲线	121
5.3.4 用解析法计算副反应系数	122
5.3.5 EDTA 的条件稳定常数 K'_{MY}	123
5.4 络合平衡的浓度对数图	125
5.5 pH 及 pM 缓冲溶液	125
5.6 滴定曲线	126
5.7 金属指示剂	128
5.7.1 金属指示剂原理	128
5.7.2 金属指示剂颜色转变点 pM _i 的计算	129
5.7.3 常用金属指示剂	130
5.7.4 使用金属指示剂应注意的几个问题	130
5.8 络合滴定终点误差	131
5.8.1 络合滴定终点过程模型	131
5.8.2 无指示剂参与的终点误差公式——Ringbom 公式的推导	133
5.8.3 目测法的终点误差公式	135

5.8.4 校正终点的误差公式	137
5.9 络合滴定中的酸度问题	137
5.9.1 滴定单一离子时的最高酸度	137
5.9.2 滴定单一离子时的最低酸度	138
5.9.3 金属指示剂适宜的酸度范围	139
5.9.4 目测法的最佳酸度	140
5.9.5 用解析法求算最高酸度	140
5.9.6 络合滴定中的酸碱缓冲溶液	141
5.10 络合滴定中的干扰问题	142
5.10.1 判断 N_1 是否会干扰滴定	143
5.10.2 干扰离子与指示剂的反应	143
5.11 提高络合滴定选择性的途径	144
5.11.1 络合掩蔽	144
5.11.2 用解析法求算掩蔽剂的浓度 $[L]$	144
5.11.3 氧化还原掩蔽	146
5.11.4 沉淀掩蔽	146
5.11.5 用其他氨羧络合剂作为滴定剂	147
5.12 络合滴定的方式	149
5.12.1 直接滴定	149
5.12.2 返滴定	149
5.12.3 置换滴定	149
5.12.4 间接滴定法	150
5.13 目测法终点误差公式的推导	150
思考题与习题	153
参考文献	157
第六章 沉淀滴定	158
6.1 滴定曲线	158
6.2 终点误差	158
6.3 指示剂	159
6.3.1 莫尔法	159
6.3.2 福尔哈德法	159
6.3.3 法扬司法	161
6.3.4 混合离子的沉淀滴定	163

思考题与习题	163
参考文献	164
第七章 氧化还原滴定	165
7.1 氧化还原平衡	165
7.1.1 概述	165
7.1.2 条件电势	166
7.1.3 氧化还原平衡常数	168
7.1.4 化学计量点时反应进行的程度	170
7.1.5 浓度对数图	171
7.1.6 影响反应速率的因素	172
7.1.7 催化反应和诱导反应	173
7.2 滴定曲线	174
7.2.1 氧化还原半反应的滴定曲线	175
7.2.2 氧化还原(全反应)的滴定曲线	175
7.3 指示剂	177
7.4 终点误差	178
7.4.1 无指示剂参与的终点误差	178
7.4.2 有指示剂参与的终点误差	179
7.5 氧化还原滴定的预处理	180
7.5.1 氧化剂	180
7.5.2 还原剂	182
7.6 氧化还原滴定的应用	182
7.6.1 KMnO_4 法	183
7.6.2 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 法	185
7.6.3 碘量法	187
7.6.4 其他氧化还原滴定法	190
思考题与习题	192
参考文献	196
第八章 滴定分析小结	197
8.1 用林邦的副反应思想讨论滴定曲线和终点误差	197
8.1.1 四大滴定的共同之处	197
8.1.2 四大滴定的不同之处	198
8.1.3 终点误差	198

8.1.4 副反应在强碱滴定一元弱酸时的应用	199
8.2 有指示剂参与的酸碱滴定终点误差	200
8.3 有指示剂存在时的滴定曲线	201
8.4 对 Ringbom 公式的深入讨论	203
参考文献	205
第九章 重量(称量)分析	206
9.1 重量(称量)分析法的分类与特点	206
9.2 沉淀重量分析法对沉淀的要求	207
9.2.1 对沉淀形式的要求	207
9.2.2 对称量形式的要求	207
9.3 沉淀剂的选择	208
9.3.1 有机沉淀剂的特点	208
9.3.2 有机沉淀剂的类型与应用	208
9.4 重量分析结果的计算	209
9.5 沉淀的溶解度及其影响因素	211
9.5.1 沉淀的溶解度	211
9.5.2 影响沉淀溶解度的因素	214
9.6 沉淀的形成与影响沉淀纯度的因素	221
9.6.1 沉淀的类型与沉淀的形成	221
9.6.2 影响沉淀纯度的因素	223
9.7 沉淀条件的控制	225
9.7.1 晶形沉淀的沉淀条件	225
9.7.2 无定形沉淀的沉淀条件	225
9.7.3 均匀沉淀法	225
9.8 沉淀重量分析法应用	226
思考题与习题	228
参考文献	231
第十章 分析化学中常用的分离与富集方法	232
10.1 概述	232
10.2 沉淀分离法	233
10.2.1 常量组分的沉淀分离	233
10.2.2 痕量组分的共沉淀分离和富集	233
10.3 溶剂萃取分离法	234

10.3.1 萃取过程的基本原理	234
10.3.2 萃取类型及萃取条件	238
10.4 层析分离法	239
10.4.1 纸上层析分离法	240
10.4.2 薄层层析法	241
10.5 离子交换分离法	242
10.5.1 离子交换剂的种类和性质	242
10.5.2 离子交换的亲合力	244
10.5.3 交换和洗脱	245
10.5.4 离子交换法应用示例	246
10.6 其他分离与富集方法简介	247
10.6.1 超临界流体萃取分离法	247
10.6.2 毛细管电泳分离	248
10.6.3 膜分离	249
思考题与习题	250
参考文献	252
第十一章 原子光谱分析	253
11.1 仪器分析概述	253
11.1.1 仪器分析与化学分析	253
11.1.2 仪器分析的分类	253
11.1.3 仪器分析发展概况	254
11.2 原子发射光谱分析	256
11.2.1 概述	256
11.2.2 光谱分析的仪器设备	257
11.3 原子吸收光谱分析	258
11.3.1 概述	258
11.3.2 基本原理	258
11.3.3 仪器的构成	259
思考题与习题	260
参考文献	261
第十二章 分子光谱分析	262
12.1 概述	262
12.1.1 紫外-可见吸收光谱法	263

12.1.2 吸光光度法的仪器	266
12.1.3 吸光光度法的分析应用	267
12.2 红外光谱	273
12.2.1 概述	273
12.2.2 红外光谱的产生	274
12.2.3 红外光谱的测量	275
12.2.4 红外光谱的应用	276
12.3 荧光光谱	277
12.3.1 概述	277
12.3.2 荧光分析法的应用	280
12.4 核磁共振谱法	280
12.4.1 核磁共振谱法分析的原理	281
12.4.2 核磁共振谱法分析的应用	282
思考题与习题	282
参考文献	285
第十三章 电化学分析	286
13.1 电位分析	286
13.1.1 离子选择电极的响应机理	286
13.1.2 电位法测定溶液中的离子活度	290
13.1.3 电位滴定	291
13.2 极谱法	293
13.2.1 极谱法的基本原理	293
13.2.2 极谱定量分析	295
13.2.3 单扫描极谱	297
13.2.4 极谱络合物吸附波	300
13.3 电解分析和库仑分析	302
13.3.1 电解的基本原理	302
13.3.2 库仑分析	308
思考题与习题	312
参考文献	314
第十四章 分析化学中的色谱技术	315
14.1 气相色谱法	315
14.1.1 概述	315

14.1.2 气相色谱仪	316
14.1.3 气相色谱的固定相	316
14.1.4 气相色谱定性分析	318
14.1.5 气相色谱定量分析	318
14.2 高效液相色谱	320
14.2.1 概述	320
14.2.2 液相色谱的几种类型	321
14.2.3 高效液相色谱仪	322
14.3 毛细管电泳	324
思考题	326
参考文献	326
附录	327
附录 1 离子的 α 值	327
附录 2 离子的活度系数	328
附录 3 弱酸及其共轭碱在水中的解离常数	329
附录 4 常用缓冲溶液	331
附录 5 酸碱指示剂	332
附录 6 混合酸碱指示剂	333
附录 7 络合物的稳定常数	334
附录 8 羧基络合类螯合物的稳定常数	338
附录 9 EDTA 的 $\lg\alpha_{Y(H)}$ 值	339
附录 10 一些络合剂的 $\lg\alpha_{L(H)}$ 值	340
附录 11 金属离子的 $\lg\alpha_{M(OH)}$ 值	340
附录 12 校正酸效应、水解效应及生成酸式或碱式络合物效应后 EDTA 络合物的条件稳定常数	341
附录 13 常用金属指示剂	342
附录 14 标准电极电势	343
附录 15 某些氧化还原电对的条件电势 $E^{\ominus'}$	346
附录 16 微溶化合物的溶度积	347
附录 17 国际相对原子质量表(1997 年)	349
附录 18 一些化合物的相对分子质量	350

第一章 绪 论

1.1 分析化学的定义、任务和作用

什么是分析化学？要在本书的绪论部分回答这个问题并不容易。随着时代的进步和学科的发展，国内外对分析化学的定义也层出不穷，与时俱进。20 世纪后半叶，知名的分析化学家 C. N. Reilly 曾说过 “Analytical chemistry is what analytical chemists do”。

分析化学是发展和应用各种理论、方法、仪器和策略以获得有关物质在空间和时间方面组成和性质信息的一门科学。

分析化学是最早发展起来的化学分支学科，而且在早期化学的发展中一直处于前沿和主要地位，并被称为“现代化学之母”。化学是一门承上启下的中心科学，是一门社会迫切需要的中心科学，又是与信息、生命、材料、环境、能源、地球、空间和核能学等八大朝阳科学（sunrise science）都有密切联系、交叉和渗透的中心科学。1900 年，在 *Chemical Abstracts* (CA) 上登录的从天然产物中分离出来的和人工合成的已知化合物只有 55 万种。经过 45 年翻了一番，到 1945 年达到 110 万种。再经过 25 年，又翻一番，到 1970 年为 236.7 万种。以后新化合物增长的速度大大加快，每隔 10 年翻一番，到 1999 年 12 月 31 日已达 2340 万种。所以，在这 100 年中，化学合成和分析分离 2285 万种新化合物、新药物、新材料来满足人类生活和高新技术发展的需要，而在 1900 年前的历史长河中人们只知道 55 万种。从上面的数字还可以看出，化学是以指数函数的形式向前发展的。没有一门其他科学能像化学那样在过去的 100 年中创造出如此众多的新化合物。在化学发展的一个很长历史阶段中，化学的前沿一直是发现、合成、分析（分离）和研究新的元素和新的化合物。由美国科学院组织的以 Pimentel 教授为首的 350 位专家，经过调研和综合分析后，编写出版了《化学中的机会：今天和明天》(*Opportunities in Chemistry: Today and Tomorrow*) 一书，把分析化学列为美国化学 7 个需要优先发展的领域之一，并指出分析化学在推进人们弄清环境和生命有关的化学问题中起着关键作用。

据英国 2001 年 1 月公布的资料，全英国有半数科学家为化学家，其中大约 1/4 为分析化学家。目前对分析化学家的需求很旺盛，全英国化学方面的招聘广告中有一半都指明要求懂得分析化学。另据调查，在美国，疾病诊断有 70% 靠的是分析化验，只有 30% 靠医生经验。

更令人兴奋的是,2002年的3位诺贝尔化学奖得主全都是分析化学家。这也是诺贝尔奖历史上第一次把化学奖授予自称为分析化学家的学者。

在我国,国家自然科学基金委员会在21世纪中启动的第一项重大基金也是给分析化学家的(微流控芯片技术的基础研究),并且在2001年就批准成立了两个分析化学国家重点实验室。

分析化学的重要作用是不言而喻的。资源的勘探,产品的质量检查,商品检验与环境监测,工艺过程质量控制,水、大气、土壤和海洋调查,化肥及农药的残留量,植物的营养诊断等,其他许多部门如国防、公安、航天、医药、食品、材料、能源、环保、反恐、重大疾病和突发公共卫生事件的处理等都需要充分发挥分析化学的主导作用,而这是化学别的分支学科所不具备的。

分析化学是高等学校化学、生物学、材料学、医药学、环境科学等专业的主干基础课之一。分析化学讲授的是测定物质的化学组成、含量、结构和状态的各种理论、方法和仪器,既有很强的实用性,又有严密的和系统的理论,是理论与实际密切结合的学科,加之与其他学科的交叉渗透,分析化学又面临新的挑战,产生新的机遇和发展动力。通过学习本课程,学生可以掌握分析化学的基本理论和实验方法,培养严谨的科学态度和细致、踏实的作风及实事求是的科学道德,初步掌握科学研究的技能并提高从事科学研究综合素质与创新能力。不断造就大批具有创新能力的高素质人才,不断提高全民族的思想道德素质及科学文化素质,是实现中华民族伟大复兴的必然要求,也是我国社会主义教育事业的历史任务。

1.2 分析方法的分类

根据分析任务、分析对象、测定原理、试样用量及被测组分的含量等的不同有多种分类法。

1.2.1 化学分析和仪器分析

以物质的化学反应及其计量关系为基础的分析方法称为化学分析(chemical analysis)法。化学分析法是分析化学的基础,又称经典分析法,主要有重量(称量)分析法和滴定分析(容量分析)法等。

以物质的物理性质和物理化学性质为基础的分析方法称为物理和物理化学分析法。这类方法通过测量物质的物理或物理化学参数完成,需要较特殊的仪器,通常称为仪器分析(instrumental analysis)法。最主要的仪器分析法有以下四种。

1. 光学分析法

根据物质的光学性质和能量变化所建立的分析方法。主要包括:①分子光谱