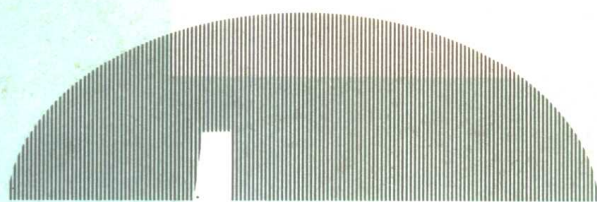


991094

建设部
高等学校



水分析化学

(第二版)

黄君礼 编著

1.1
3E2

中国建筑工程工业出版社

建设部“九五”重点教材

高等学校推荐教材

水 分 析 化 学

(第 二 版)

黄君礼 编著

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

水分析化学/黄君礼编著. - 2 版. - 北京: 中国建筑工业出版社,

1997

高等学校推荐教材

ISBN 7-112-03179-6

I. 水… II. 黄… III. 水质分析-高等学校-教材 IV. 0661.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 02171 号

本书根据全国高等学校给水排水工程学科专业指导委员会制订的《水分析化学》课程教学基本要求编写。

本书全面介绍了水质分析的各类基本知识和基本方法;注重基本理论、基本概念和基本技能的培养和训练;对各种水质指标的含义和测定方法做了系统介绍;尤其对各类化学滴定法、光谱法、电化学分析法以及气相色谱法和原子吸收光谱法等最常用的水质分析方法的原理及其应用作了详尽的叙述与介绍;增加了近年来发展起来的新技术、新方法和新的现代内容,并有所更新。全书内容丰富,理论密切联系水质分析实际。

书中思考题,计算习题和课堂实验部分,多结合水质分析中的实际问题,对于学习或参考有实际益处。

全书统一采用国家法定计量单位。

本书是教育部“九五”重点教材和全国高等学校给水排水工程学科专业指导委员会的教学推荐教材,也是同类专业及其工程技术人员学习、进修的参考书。

高等学校推荐教材

水分析化学

(第二版)

黄君礼 编著

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京二二〇七工厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 26 字数: 631 千字

1997 年 12 月第二版 1997 年 12 月第五次印刷

印数: 20971—25970 册 定价: 21.20 元

ISBN 7-112-03179-6

TU·2448 (8319)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

本教材是根据1995年7月全国高等学校给水排水工程学科专业指导委员会制订的《水分析化学》课程教学基本要求编写的。全书共分9章：第1章概论；第2~5章酸碱滴定法、络合滴定法、沉淀滴定法和氧化还原滴定法；第6~8章吸收光谱法、电化学分析法和气相色谱法与原子吸收光谱法；第9章课堂实验。

编写中注意了以下几个问题：

1. 编写的指导思想是立足于水分析化学的基本原理、基本理论、基本知识、基本概念和基本技能的培养和训练；力求理论联系实际；注意培养独立分析和解决水质分析中的问题的实际能力；强化并树立准确“量”的概念。全书适度地增加或反映了近年来水质分析中的新技术、新方法和新内容。

2. 全书采用了我国以SI制为基础的法定计量单位和概念。统一采用物质的量(单位为mol)、物质的量浓度(单位mol/L或mmol/L)以及摩尔质量、化学计量数(过去称摩尔比)、化学计量点(过去称等当点)……等。过去使用的当量、当量浓度、克分子浓度、克分子量、克原子量、克当量、克式量、摩尔比、等当点……等均不再采用。

3. 对水质分析中的一些水质指标名称均与国内外已统一采用的名称接轨，例如：

本书采用高锰酸盐指数(过去称耗氧量、 COD_{Mn} …)、化学需氧量—COD(过去称 COD_Cr)、总残渣(过去称总固体)、总可滤残渣(过去称溶解性固体)和总不可滤残渣(过去称悬浮物)……等。

同时还适当增加了一些水质指标，例如臭阈值、CCE、UVA……等。

4. 由于学时限制，本书中部分可供选择或学生自学的内容，用小1号字。

5. 全书的思考题和习题在数量上略有增加，在编写时注意到启发思考和扩大知识面。并统一在书后附有答案。

6. 课堂实验指示书收录了比较成熟的、基本技能训练效果比较好的、又切合课程基本要求的实验22个。编写时注重了培养基本操作技术和进行科学实验能力的训练。

7. 水质标准和水分析化学中的最基本常数，是学习过程和今后实践中需要掌握和经常应用的最重要数据；虽占篇幅较多，编写时也集中附在书后，以方便查找和使用。

在《水分析化学》编写过程中得到本学科教学指导委员会的热情关怀指导，并由清华大学博士生导师蒋展鹏教授和西安建筑科技大学金同轨教授初审以及中国科学院院士、中国科学院生态环境研究中心汤鸿霄研究员主审，对书稿的修改和完善提出许多宝贵意见。借此机会表示最诚挚的谢意。

同时还得到哈尔滨建筑大学各级领导和老师的支持和鼎力相助，以及哈尔滨师范大学吕玉芬教授等许多先生的指导和帮助；在书稿整理过程中还得到李海波、王丽、毕新慧、崔崇威等同志的全力帮助；在此一并致谢。

由于编者水平有限，对本书中存在的缺点和错误，恳请批评指正。

作者 黄君礼

目 录

第一章 概论	1
§ 1-1 水分析化学性质和任务	2
§ 1-2 水分析化学的分类	2
一、化学分析和仪器分析	3
二、常量分析、半微量分析和微量分析	5
§ 1-3 水质指标和水质标准	5
一、水质指标	5
二、水质标准	12
§ 1-4 水样的保存和预处理	14
一、水样的采集	14
二、水样的保存技术	16
三、水样的预处理	17
§ 1-5 水分析结果的误差及其表示方法	18
一、误差的来源	18
二、分析方法的误差与准确度	19
三、偏差与精密度	19
四、准确度与精密度的关系	21
五、提高准确度与精密度的方法	21
§ 1-6 数据处理	22
§ 1-7 标准溶液和物质的量浓度	28
一、标准溶液和基准物质	28
二、标准溶液的配制和标定	29
三、标准溶液浓度的表示方法	30
物质的量浓度 滴定度	
四、水质分析结果的表示方法	31
思考题	32
习 题	32
第二章 酸碱滴定法	33
§ 2-1 水溶液中的酸碱平衡	33
一、酸碱定义	33
二、酸碱反应	34
三、溶剂的质子自递反应	34
四、水溶液中的酸碱强度	35
五、共轭酸碱对 K_a 与 K_b 的关系	36
六、溶剂的拉平效应和区分效应	37
§ 2-2 酸碱平衡中有关组分浓度的计算	38
一、溶液中酸碱组分的分布	38
二、酸碱溶液 pH 值的计算	42

§ 2-3 酸碱指示剂	48
一、酸碱指示剂的作用原理	48
二、指示剂的变色范围	49
三、常用酸碱指示剂和混合指示剂	50
§ 2-4 酸碱滴定法的基本原理	52
一、强碱滴定强酸的滴定曲线	52
二、强碱滴定弱酸和强酸滴定弱碱	55
三、多元酸碱和混合酸碱滴定	59
四、酸碱滴定中 CO_2 的影响	63
§ 2-5 酸碱滴定的终点误差	64
§ 2-6 水中碱度和酸度	68
一、碱度	68
二、酸度	75
三、碱度和游离 CO_2 的精确计算	76
思考题	78
习 题	79
第三章 络合滴定法	81
§ 3-1 络合平衡	81
一、络合物的稳定常数	81
二、溶液中各级络合物的分布分数	83
§ 3-2 氨羧络合剂	84
一、无机络合剂	84
二、氨羧络合剂	84
三、EDTA 的离解平衡	85
四、EDTA 与金属离子络合物及其稳定性	86
§ 3-3 pH 对络合滴定的影响	88
一、EDTA 的酸效应	88
二、酸效应对金属离子络合物稳定性的影响	92
三、金属离子的络合效应及其对络合物稳定性的影响	95
§ 3-4 络合滴定基本原理	98
一、络合滴定曲线	98
二、影响滴定突跃的主要因素	100
三、计量点 pM_{sp} 的计算	101
四、金属指示剂	102
§ 3-5 提高络合滴定选择性的方法	109
一、用控制溶液 pH 值的方法进行连续滴定	109
二、用掩蔽和解蔽方法进行分别滴定	110
§ 3-6 络合滴定的方式和应用	113
一、络合滴定的方式	113
直接滴定法 返滴定法 置换滴定法 间接滴定法	
二、EDTA 标准溶液配制	117
§ 3-7 水的硬度	117
一、水的硬度分类	118
二、硬度的单位	118

三、天然水中硬度与碱度的关系	119
四、水中硬度的测定及其计算	119
思考题	120
习 题	121
第四章 沉淀滴定法	122
§ 4-1 沉淀溶解平衡与影响溶解度的因素	122
一、沉淀溶解平衡	122
二、影响沉淀溶解度的因素	124
§ 4-2 分步沉淀	130
一、分步沉淀	130
二、沉淀的转化	130
§ 4-3 沉淀滴定法的基本原理	131
一、沉淀滴定曲线	131
二、莫尔法	132
三、佛尔哈德法	134
四、法扬司法	136
思考题	137
习 题	138
第五章 氧化还原滴定法	139
§ 5-1 氧化还原平衡	139
一、氧化还原反应和电极电位	139
二、条件电极电位	140
三、影响条件电极电位的因素	142
§ 5-2 氧化还原反应进行的完全程度	146
一、氧化还原反应的平衡常数	146
二、计量点时, 反应进行的程度	147
§ 5-3 氧化还原反应的速度	149
§ 5-4 氧化还原滴定曲线	152
一、可逆氧化还原体系的滴定曲线	152
二、计量点时的电极电位 φ_p	155
三、终点误差	156
§ 5-5 氧化还原指示剂	157
一、自身指示剂	157
二、专属指示剂	157
三、氧化还原指示剂	157
§ 5-6 高锰酸钾法	160
一、高锰酸钾的强氧化性	160
二、高锰酸钾法的滴定方式	161
三、 KMnO_4 标准溶液的配制与标定	162
四、高锰酸盐指数的测定	163
§ 5-7 重铬酸钾法	165
一、重铬酸钾的特性	165
二、化学需氧量的测定原理	166
三、化学需氧量——COD的测定方法	166

§ 5-8 碘量法	167
一、碘量法	168
二、碘量法产生误差的原因	168
三、滴定终点确定	169
四、标准溶液的配制与标定	169
五、碘量法的应用	170
(一) 饮用水中余氯的测定	170
(二) 水中臭氧 O_3 的测定	171
(三) 溶解氧及其测定	172
(四) 生物化学需氧量的测定	175
(五) 水中二氧化氯的测定	179
§ 5-9 溴酸钾法	180
§ 5-10 水中有机物污染综合指标	182
一、高锰酸盐指数、COD 和 BOD_5^{20}	182
二、总有机碳(TOC)	185
三、总需氧量(TOD)	187
四、活性碳吸附萃取物(CCE)	188
五、污水的相对稳定度	189
§ 5-11 紫外吸光度—水中有机物污染的新综合指标	190
思考题	192
习 题	192
第六章 吸收光谱法	194
§ 6-1 吸收光谱	194
一、吸收光谱及其表示方法	194
二、电磁波谱	196
三、吸收光谱的来源	198
四、溶液的颜色	198
五、朗伯—比耳定律的适用范围	199
§ 6-2 比色法和分光光度法	201
一、比色法 (Colorimetry)	201
二、分光光度法 (Spectrophotometry)	203
三、可见-紫外分光光度计结构及其原理	204
四、可见-紫外分光光度计的光学系统和测量系统	205
五、分光光度计的校正	207
§ 6-3 显色反应及其影响因素	209
§ 6-4 吸收光谱法定量的基本方法	216
一、绝对法	216
二、标准对照法	216
三、比吸收系数法	216
四、标准曲线法	217
五、最小二乘法	217
六、解联立方程法	218
七、示差分光光度法	219
§ 6-5 多波长分光光度法	222
一、双波长分光光度法	222

二、三波长分光光度法	223
§ 6-6 应用实例	224
一、天然水中 Fe^{2+} 的测定	224
二、废水中镉的测定	225
三、水中微量酚的测定	225
四、水中氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮及总氮的测定	228
五、水中浊度的测定	232
六、水中颗粒物粒径和聚集状态的测定	232
思考题	233
习 题	233
第七章 电化学分析法	235
§ 7-1 电位分析法的原理	235
一、指示电极	235
二、参比电极	238
§ 7-2 直接电位分析法	239
一、pH 值的电位测定	239
二、离子活度的测定	241
§ 7-3 电位滴定法	247
一、电位滴定曲线和滴定终点的确定	247
二、电位滴定法的应用	249
§ 7-4 电导分析法	250
§ 7-5 极谱分析法	253
思考题	255
习 题	256
第八章 气相色谱法和原子吸收光谱法	257
§ 8-1 气相色谱法	257
一、色谱法概述	257
二、气相色谱法分离的基本原理	259
三、气相色谱的流程和装置	260
四、色谱流出曲线和基本术语	260
五、色谱柱效能	263
六、气相色谱仪的组成	263
七、气相色谱的定性与定量方法	269
八、气相色谱法在水质分析中的应用举例	274
(一) 溶剂萃取气相色谱法测定水中卤仿	275
(二) 气相色谱法测定水中的丙烯酰胺	276
(三) 气相色谱法测定水中的氯苯类化合物	276
(四) 废水中苯系物的测定	277
(五) 污水中酚类化合物的测定	278
(六) 厌氧处理中产气分析	279
§ 8-2 原子吸收光谱法	279
一、基本原理	280
二、原子吸收分光光度计	280
三、原子吸收光谱法的灵敏度或检出极限	282
四、定量分析方法	283

五、原子吸收光谱法在水质分析中的应用举例	283
(一) 水中镉、铜、铅和锌的测定	283
(二) 水中铁和锰的测定	285
§ 8-3 高压液相色谱法简介	286
一、高压液相色谱法的特点	286
二、高压液相色谱仪	286
三、高压液相色谱法的分类	288
四、高压液相色谱法在水质分析中的应用举例	288
§ 8-4 气相色谱—质谱法简介	291
§ 8-5 流动注射分析	292
一、流动注射分析的优点	293
二、流动注射分析的装置和基本原理	293
三、流动注射分析在水质分析中的应用举例	295
(一) 电镀废水中微量铬(VI)、锌和镍的顺序流动注射光度分析	295
(二) 工业废水中微量铜和氰化物的流动注射光度分析	296
(三) 连续膜流动注射紫外光度法测定水中二氧化氯	296
思考题和习题	297
习题答案	298
第九章 课堂实验	300
实验1 分析天平的称量练习	300
实验2 滴定分析基本操作	301
实验3 水中臭阈值的测定	305
实验4 水中碱度的测定(酸碱滴定法)	306
实验5 水中硬度的测定(络合滴定法)	308
实验6 水中 Cl^- 的测定(沉淀滴定法)	310
实验7 水中余氯的测定(氧化还原滴定法)	312
实验8 水中溶解氧的测定	316
实验9 水中高锰酸盐指数的测定(高锰酸钾法)	316
实验10 水中化学需氧量的测定(重铬酸钾法)	318
实验11 水中生物化学需氧量的测定(碘量法)	322
实验12 水中色度的测定(目视比色法)	324
实验13 水中浊度的测定(吸收光谱法)	326
实验14 吸收光谱的绘制	327
实验15 吸收光谱法的测定条件试验——邻二氮菲吸收光谱法测定水中铁	330
实验16 紫外吸收光谱法测定水中的总酚	333
实验17 水中挥发酚的测定(4-氨基安替比林萃取光度法)	336
实验18 水中氨氮的测定(纳氏试剂光度法)	338
实验19 水中 pH 值的测定(玻璃电极法)	341
实验20 水中 I^- 和 Cl^- 的连续测定(电位滴定法)	343
实验21 溶剂萃取气相色谱法测定饮用水中的氯仿	346
实验22 原子吸收光谱法测定水中镁的含量	348
附表1 我国生活饮用水水质标准	351
附表2 欧洲共同体理事会关于人类用水质量的指令(1987年)	352
附表3 世界卫生组织饮用水水质标准	355

附表4	对工业用水的水质要求	358
附表5	对锅炉用水的水质要求	358
附表6	半导体集成电路用高纯水水质要求	359
附表7	直流锅炉给水水质标准示例	359
附表8	一般工业对冷却用水水质的要求	359
附表9	冷却用水中碳酸盐硬度的最大容许含量	360
附表10	冷却用水水质要求(美国)	360
附表11	我国农田灌溉用水水质标准	361
附表12	渔业水质标准	363
附表13	按总可滤残渣对灌溉用水的分类	364
附表14	地面水中有害物质的最高容许浓度	364
附表15	我国地面水环境质量标准	366
附表16	地面水水质卫生要求	366
附表17	第一类污染物最高容许排放浓度	367
附表18	第二类污染物最高容许排放浓度	367
附表19	我国部分行业最高容许排放水定额及污染物最高容许排放浓度	368
附表20	弱酸、弱碱在水中的离解常数	376
附表21	络合物的稳定常数	379
附表22	氨羧络合剂类络合物的稳定常数	384
附表23	微溶化合物的活度积和溶度积	385
附表24	标准电极电位	387
附表25	一些氧化还原电对的条件电极电位	395
附表26	化合物的摩尔质量	398
附表27	国际相对原子质量表	401

第一章 概 论

水是人类生存和万物生长必不可少的物质。天然水是水的重要来源。天然水即使清澈透明，一般也都有某些物质溶于水中，因此，有的地方水质优良，如深山里的泉水，清澈可口，独具风味；而另一些地方，由于水中混入的物质或杂质含量过多，浊度升高，颜色加深，含有异味，使水的利用价值受到一定限制。如果水中还有对人体及周围环境有害的物质，饮用此水，则有害健康。当水中的杂质数量达到一定程度后，就会对人类环境或水的利用产生不良影响，水质的这种恶化称为水的污染。

自有生命特别是有人类以来，水立下了汗马功劳。水本来是纯洁无瑕的！随着科学技术发展，水受到了污染，水污染给人类带来不少忧虑和麻烦。

原来依赖于山川河流、海域获得持续发展和安全的人类文明，如今却在逐渐扼杀着这些水域。警钟在响：

地球上97.3%体积的水是在海洋里，应该承认海洋对维持地球上的生命、对人类文明持续发展起到了非常大的作用。但是人类一直随心所欲地利用海洋，同时又将废水废物直接或间接地排放到大海中，象英国这样著名的工业化国家中，沿海城区的3/4污水未经处理就被排入大海。深邃、湛蓝的海洋正在漂浮着石油液滴，仅1989年世界上共发生12起严重的油泄漏事故。50年代末，在瑞典沿海发现大批海鸥、海豹和水貂死亡，体内含有机氯的量非常高，比毗邻的北海高出3~10倍，而北海业已污染严重，1995年被宣布为环保“特别地区”；波罗的海在遭受有机氯污染，黄海、渤海在遭受重金属污染，1989年统计已有7510t 重金属沿渤海而流入黄海的污染物比渤海还高出1倍以上。

1995年有报道说：昔日丰富而又多样化的黑海生态系统已被疯狂生长的海藻取代，黑海90%的水体已经变成了动植物无法生存的死水。造成黑海目前状况的罪魁祸首是从西部注入黑海的多脑河、德涅斯特河和第聂伯河；随这些河流注入黑海的主要是化肥、洗涤废水、生活污水以及硝酸盐、磷酸盐等。第聂伯河目前仍然受到1986年初切尔诺贝利核电站爆炸事故释放的放射性尘降物的污染。

几年前，贝加尔湖已显露出受到南岸一个大型纸浆厂污染的迹象。

1995~1972年著名的“痛痛病”就是日本富山县神通川流域，含镉废水污染了稻田，使稻米含镉量高达4.23ppm，平均为0.99ppm。长期食用含镉米而引起“骨痛病”，这种病的患者全身各个部位剧烈疼痛，难以忍受，患者发出“痛、痛”的悲鸣，故称为“痛痛病”。

1953~1956年的水俣病，是在日本熊本县水俣市制造氮肥厂的乙醛生产流程中产生的甲基汞化合物排入不知火海，在鱼类体内形成高浓度积累，人食用了被污染的鱼类，而引起中毒。这是神经系统受到干扰所引起的感觉障碍和运动障碍的疾病。在发病初期的50年代，出现了许多全身痉挛以致死亡的重病患者，而且出现了一些具有先天性智能障碍和运动障碍的儿童等，危害十分悲惨。

人类在江河母体中吸取营养并又把一切包袱扔给江河，黑沫子、白沫子、红沫子，“五

颜六色”的污染向江河涌来。傍依江河两岸的造纸厂、化工业、电镀业等等的废水已形成一股难以遏止的污染大潮，使江河藏匿着深深的“隐患”，生态学家对以上深为忧虑。人类是该猛醒了！1995年我国山东关停50余家造纸厂，使淮河水变清；上海治理苏州河已初见成效……。

饮用水氯消毒已有90多年历史，它在杀灭伤寒、肠道传染病等方面发挥了重要作用，但自70年代中期以来，人们发现由于氯消毒产生了对人类有潜在危害的氯仿等有机卤代物。欧美一些国家已鉴定出饮用水中有机物质700多种，并对460多种进行了监测，还对350种有机污染物的毒性进行了鉴定，其中致癌物有18种，可疑致癌物50种，致突变物45种，其中大部分为有机氯代物。

松花江水哈尔滨江段，80年代，GC/MS监测出264种有机污染物，其中卤代烃、有机氯农药等15种。这些污染物已引起人们密切关注，并已采取了必要措施。

人类活动不仅从数量上消耗了占地表面的0.7%的淡水资源，而且对水的质量也带来了不良影响，这两种不适当行为同样都会对生态环境产生影响。因此，如果我们对水的重要性十分敏感，就会以行之有效的方式使用我们所拥有的水资源，并保护水质。但是，世界各地的地面水正在被来自人类、工业及农业废水所污染，而且今天被污染的地面水通常就是明天的受污染的地下水。例如，1990年，由于工业废水的渗入，安大略省的几个农村城镇作为供水水源的井水被关闭掉。

为了保护水源，防治水污染，必须加强水环境污染的分析工作，弄清污染物的种类、来源、分布迁移、转化及消长规律，为保护水环境提供监测手段和科学依据。因此，也就导致了水分析化学的产生。

§ 1-1 水分析化学性质和任务

水分析化学是研究水及其杂质、污染物的组成、性质、含量和它们的分析方法的一门学科。水分析化学是研究水中杂质及其变化的重要方法，在国民经济各个领域肩负着重要使命。水分析化学在种类繁多、且日趋严重的水环境污染治理与监测中起着“眼睛”和“哨兵”作用，要树立准确“量”的概念。给水排水设计、水处理工艺、水环境评价、废水综合利用效果等都必须以分析结果为依据，并作出正确判断和评价。

水分析化学是给水排水工程和环境工程专业学生的专业技术课之一。通过水分析化学学习，掌握水分析化学的四大滴定方法（酸碱滴定法、络合滴定法、沉淀滴定法和氧化还原滴定法）和主要仪器分析法（如吸收光谱法、气相色谱法和原子吸收光谱法等）的基本原理、基本理论、基本知识、基本概念和基本技能，掌握水质分析的基本操作，注重培养学生严谨的科学态度，培养独立分析问题和解决实际问题的能力。

§ 1-2 水分析化学的分类

研究水中杂质、污染物质的组分、含量等的方法是多种多样的。除了定性分析和定量分析外，按分析时所依据水中的物质的性质和水样用量等分为化学分析法、仪器分析法和常量分析、半微量分析、微量分析和超微量分析等。

一、化学分析和仪器分析

(一) 化学分析方法 (Chemical Analysis)

将水中被分析物质与一种已知成分、性质和含量的另一种物质发生化学反应，而产生具有特殊性质的新物质，由此，确定水中被分析物质的存在以及它的组成、性质和含量，这种方法称为化学分析法。我们称水中被分析物质为试样或水样，加入的这种已知成分、性质和含量的物质为试剂。简言之，以化学反应为基础的分析方法为化学分析方法。该分法历史悠久，是分析化学的基础，又称经典化学分析方法。这一方法主要有重量分析法和滴定分析法。

1. 重量分析方法 (Gravimetric Analysis)

将水中被分析组分与其中的其它组分分离后，转化为一定的称量形式，然后用称重方法计算该组分在水样中的含量。重量分析法按分离方法的不同又分为气化法、沉淀法、电解法和萃取法等。

气化法又称挥发法 (Vaporization Method or Volatilization Method)：靠被分析组分本身的挥发性进行测定的方法。例如，总残渣灼烧减重的测定。

沉淀法 (Precipitation Method)：靠被分析组分以微溶化物的形式沉淀出来，再将沉淀过滤、洗涤、烘干或灼烧，最后称重，计算其含量。例如水中 Ba^{2+} 的测定。

电解法 (Electrolytic Analysis)：利用电解原理，使金属离子在电极上析出，然后称重，求得其含量。例如水中 Cu^{2+} 的测定。

萃取法 (Extraction Method)：利用一种溶剂将水中被分析组分萃取出来，然后将有机溶剂蒸发干净后称重，求其含量。例如活性炭氟仿提取物 (CCE) 的测定。

重量分析法主要用于水中不可滤残渣或悬浮物 (SS)、总残渣 (蒸发残余量、溶解固形物)、总残渣灼烧减重、CCE、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Ba^{2+} 、可溶性 SiO_2 、硫酸盐等的测定。

重量分析法适用于常量分析，比较准确，相对误差 $0.1\% \sim 0.2\%$ ；但操作麻烦、费时较多，不适于水中微量组分测定。

2. 滴定分析法 (Titration Analysis)

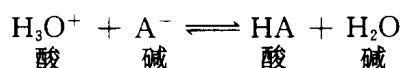
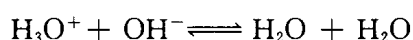
滴定分析法又叫容量分析法，将一已知准确浓度的试剂溶液和被分析物质的组分定量反应完全，根据反应完成时所消耗的试剂溶液的浓度和用量 (体积)，计算出被分析物质的含量的方法。

已知准确浓度的试剂溶液称为标准溶液或滴定剂；将标准溶液从滴定管计量并滴加到被分析溶液中的过程称为滴定；标准溶液与被测定物质定量反应完全时的那一点称为化学计量点 (Stoichiometric Point)，简称计量点 (过去称为等当点)，以 SP 表示。在滴定过程中，指示剂正好发生颜色变化的那点称为滴定终点，以 ep 表示。一般，滴定终点与化学计量点应该一致，但由于操作误差，往往使滴定终点与化学计量点不一致，此时所产生的误差为滴定误差或终点误差。

滴定分析法根据反应不同分为四大类：

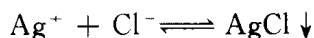
(1) 酸碱滴定法 (Acid-Base Titration)

利用质子传递反应进行滴定的方法。



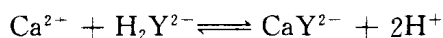
(2) 沉淀滴定法 (Precipitation Titration)

利用生成沉淀反应进行滴定的方法。例如银量法：



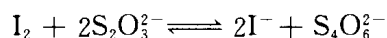
(3) 络合滴定法 (Complexometric Titration or Chelatometry)

利用络合反应对金属离子进行滴定的方法。



(4) 氧化还原滴定法 (Redox Titration, Oxidation-Reduction Titration)

利用氧化还原反应进行滴定的方法。



滴定分析法要求化学反应必须满足：

(1) 反应必须定量地完成，在化学计量点反应的完全程度一般应在99.9%以上。

(2) 反应必须具有确定的化学计量关系，即反应按一定的反应方程式进行，这是定量计算的基础。

(3) 反应能迅速地完成，否则，可加适当催化剂或加热来加快反应的进行。

(4) 必须有较方便、可靠的方法确定滴定终点。

凡满足上述要求的化学反应，都可用直接滴定法，即用适当的标准溶液直接滴定被分析组分。直接滴定法是滴定分析中最常用和最基本的滴定方式。满足不了上述要求的化学反应，可采用返滴定法、置换滴定法和间接滴定法。

滴定分析法用于水样中碱度、酸度、硬度、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Cl^- 、硫化物、溶解氧(DO)、生物化学需氧量(BOD)、高锰酸盐指数、化学需氧量(COD)等许多无机物和有机物的测定。该分析方法的优点是简便、快速，有足够的准确度，相对误差在0.2%左右，主要用于常量组分测定。缺点是对水样中微量组分测定受到限制。

(二) 仪器分析方法 (Instrumental Analysis)

以成套的物理仪器为手段，对水样中的化学成分和含量进行测定的方法。实际上，是以水样中被分析成分的物理性质(如光、电、磁、热或声的性质)和物理化学性质，来测定水样中组成和含量的方法。如光学分析法、电化学分析法、色谱分析法、质谱分析法和放射化学分析法等。

1. 光学分析法 (Optical Analysis)

利用被分析物质的光学性质来测定其组分含量的方法。是根据被分析物质对电磁波的辐射、吸收、散射等性质而建立的分析方法。是目前常用的微量和痕量分析方法。主要有比色法、吸收光谱法(又分光光度法)、发射光谱分析法、原子吸收光谱法、火焰光度法、荧光分析法和比浊分析法等。主要用于水中色度、浊度、 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 、 NO_3^--N 、余氯、 ClO_2 、酚、 CN^- 、硫化物、 Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Cr^{6+} 、 Cr^{3+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、砷化物、以及黄腐酸、木质素等许多微量成分的分析测定。原子吸收光谱法主要用于水中铅、锌、镉、锰、钴、镁、铜、镍等几十种金属元素的测定。冷式原子吸收光谱分析法适于测定水中汞。

2. 电化学分析法 (Electrochemical Analysis)

利用被分析物质的电学性质进行定量的方法。主要分为电位分析法、电导分析法、库仑

分析法和极谱分析法。本书主要介绍电位分析法,包括直接电位法、电位滴定法、电导分析法和极谱分析法。主要用于水中 pH 值、酸度和碱度的测定,可用于酸碱滴定、络合滴定、沉淀滴定和氧化还原滴定等。

此外还有电子探针 x 射线显微分析法和离子探针微区分析法等。

3. 色谱法(Chromatography)

以吸附或分配为基础的分析方法。包括气相色谱法、液相色谱法和离子色谱法等。本书主要介绍气相色谱法,该方法不仅可测定空气中的各种有害物质的浓度,而且用于水中许多成分的分离和超微量的测定。对水中 CHCl_3 、 CHCl_2Br 、 CHClBr_2 和 HCBBr_3 等有机卤代物以及有机磷农药、苯系化合物、丙烯酰胺等有机化合物都能测定。

另外气相色谱—质谱(GC/MS)、气相色谱—核磁共振(GC/NMR)及其计算机等的联用分析技术也得到了迅速发展。

二、常量分析、半微量分析和微量分析

根据试样的用量及操作规程不同,可分为常量、半微量、微量和超微量分析。

1. 按分析时所需试样的量分为

分类名称	所需试样质量 (mg)	所需试液体积 (mL)
常量分析 (Macro Analysis)	100~1000	10~100
半微量分析 (Semi-Micro Analysis)	10~100	1~10
微量分析 (Micro Analysis)	0.1~10	0.01~1

2. 按分析时组分在试样中的相对含量分为:

分 类 名 称	相对含量 (%)
常量组分分析 (Macro Component Analysis)	>1
微量组分分析 (Micro Component Analysis)	0.01~1
痕量组分分析 (Trace Component Analysis)	<0.01

还有在生产运行中,例如水处理厂的日常分析工作,统称为例行分析或常规分析;还有裁决是非所进行的分析工作,称为仲裁分析或裁判分析;还有水处理厂生产线上所进行的自动连续取样分析,称为在线分析等等。

§ 1-3 水质指标和水质标准

水质是指水及其中杂质共同表现的综合特性。水质好坏得有个衡量标准和尺度,又提出了水质指标,水质指标表示水中杂质的种类和数量,它是判断水污染程度的具体衡量尺度。同时针对水中存在的具体杂质或污染物,提出了相应的最低数量或浓度的限制和要求,即水质的质量标准。这些水质指标和水质标准是着重于保障人体健康和人的用水、保护鱼类和其它水生生物资源及其针对工农业用水要求而提出的。

一、水质指标(Water Quality Index)

(一) 物理指标(Physical Index)

1. 水温 (Temperature)