



“十四五”职业教育国家规划教材

“十三五”职业教育国家规划教材
“十四五”职业教育河南省规划教材
首届河南省教材建设奖一等奖
“互联网+”新形态教材

水质监测与评价

(第4版)

主 编	魏家红	崔 鹏	
副主编	孙书荃	陈西良	马桂贤
	陈亚萍	蒯圣龙	耿 悦
	刘 慧	储 娅	崔 岫
主 审	朱惠斌	张德喜	

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是“十四五”“十三五”职业教育国家规划教材、“十四五”职业教育河南省规划教材,是根据教育部关于“十四五”职业教育国家规划教材编写要求及相关行业课程标准编写完成的。本书对水质监测与评价的基本理论与实验做了较为全面和系统的介绍,全书由理论和实验两大部分组成。理论部分包括绪论和项目一到项目九,主要内容有:水资源及水体污染、水质指标和水质标准,水质分析方法,水质监测,水质评价,水质预测等;实验部分主要内容有:硬度的测定、氯化物的测定、高锰酸盐指数的测定、化学需氧量的测定、溶解氧的测定、五日生化需氧量的测定、氨氮的测定、水中六价铬的测定等 26 个实验。本书采用项目教学法进行编写,是传统纸质教材与数字资源相结合的融媒体新形态教材,配套建设了 PPT 课件、微课视频、动画等教学资源,融入了党的二十大精神等思政元素,方便教师的“教”与学生的“学”。

本书主要作为高等职业院校水文与水资源专业、城市水利专业、给水排水专业的教学用书,也可作为环境类专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水质监测与评价/魏家红,崔鹏主编.—4 版.—
郑州:黄河水利出版社,2023. 12
“十三五”职业教育国家规划教材
ISBN 978-7-5509-3513-6

I. ①水… II. ①魏… ②崔… III. ①水质监测-高等职业教育-教材 ②水质分析-高等职业教育-教材
IV. ①X832

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 012016 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail: hhsllwlp@163.com
田丽萍 66025553 912810592@qq.com

出版社:黄河水利出版社 网址:www. yrcp. com
地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003
发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsllcbs@126.com

承印单位:河南承创印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:20.5

字数:470 千字

版次:2002 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 2 版 印数:1—3 100

2019 年 1 月第 3 版 2023 年 12 月第 4 版 印次:2023 年 12 月第 1 次印刷

定价:58.00 元

(版权所有 盗版、抄袭必究 举报电话:0371-66025553)



第4版前言

本书是根据《中共中央关于认真学习宣传贯彻党的二十大精神的决定》，中共中央办公厅、国务院办公厅《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》，国务院《国家职业教育改革实施方案》，教育部《职业院校教材管理办法》《高等学校课程思政建设指导纲要》《“十四五”职业教育规划教材建设实施方案》，水利部、教育部《关于进一步推进水利职业教育改革发展的意见》等文件精神，在全国水利职业教育教学指导委员会指导下，组织编写的职业教育国家规划教材。教材注重吸收产业升级和行业发展的新知识、新技术、新工艺、新方法、新规范，丰富了课程思政案例、视频、微课、动画、题库等数字化教学资源，是理论联系实际、教学面向生产的高等职业教育精品规划教材，具有鲜明的时代特点，体现了实用性、实践性、创新性的特色。

2020年12月，本书第3版成功入选“十三五”职业教育国家规划教材；2021年7月，本书第3版在首届河南省教材建设奖评选工作中，被评为一等奖。2022年3月，本书第3版成功入选“十四五”职业教育河南省规划教材。2023年6月，本书第3版成功入选首批“十四五”职业教育国家规划教材。为了贯彻落实党的二十大精神，充分反映产业升级和行业发展最新进展，以及课程思政“立德树人”“三全育人”要求，及时吸收比较成熟的新知识、新技术、新工艺、新规范，对接科技发展趋势和市场需求，不断丰富数字化资源，编者在第3版的基础上，对全书进行了全面修订、补充和完善。

习近平总书记在二十大报告中指出：我们坚持绿水青山就是金山银山的理念，坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理，全方位、全地域、全过程加强生态环境保护，生态文明制度体系更加健全，污染防治攻坚战向纵深推进，绿色、循环、低碳发展迈出坚实步伐，生态环境保护发生历史性、转折性、全局性变化，我们的祖国天更蓝、山更绿、水更清。水质监测与评价工作是保护“青山绿水”不可或缺的重要一环。为拓展学生的专业知识面、增强学生的职业自豪感，本次再版在专业教学中每个理论项目后增加水质监测相关优秀科技工作者介绍，在实验部分增加实验室安全等相关知识，为树立学生社会主义核心价值观添砖加瓦。

此外，本次再版，一是推动教材配套资源和数字教材建设，探索纸质教材的数字化改造。对原教材中涉及的4个最新的国标、行标及较难理解的结构、原理、流程等进行立体化改革，用文本和动画的形式呈现出来，方便学生学习及加深理解。对容易出错的基础的实验操作及在实验过程中对准确度影响较大的操作，例如碱式滴定管排气、移液管的使用、容量瓶检漏、溶液转移及容量瓶定容、铂-钴标准色液的配制等进行真实工作场景的

分镜头拍摄,以二维码的形式在相关知识点中呈现,便于学生对照练习,使学生更好地掌握操作技巧。二是根据国家标准和相关环境标准的更新,补充完善部分实验步骤及增补新的实验。根据最新版国标要求,将实验 pH 值的测定——电位法改为 pH 值的测定——玻璃电极法,并补充完善三种缓冲溶液的配制步骤,还补充了两个微生物指标的测定实验,旨在使实验的练习部分更全面。

本书编写单位及编写人员如下:黄河水利职业技术学院魏家红、崔鹏、孙书荃、陈西良、耿悦,山西水利职业技术学院马桂贤,杨凌职业技术学院陈亚萍,安徽水利水电职业技术学院蒯圣龙,广西水利电力职业技术学院刘慧,云南水利水电职业学院储娅,辽宁生态工程职业学院崔岫,开封市城市水务集团有限公司孙凯、吴建磊。本书由魏家红、崔鹏担任主编,崔鹏负责全书内容规划和统稿、校订,由孙书荃、陈西良、马桂贤、陈亚萍、蒯圣龙、耿悦、刘慧、储娅、崔岫担任副主编,由黄河水利职业技术学院朱惠斌、河南水利与环境职业学院张德喜担任主审。

很多同仁对本次再版工作提出了宝贵意见,书中引用的各种资料出处也未能一一列出,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,错误和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2023 年 6 月



本书互联网全部资源二维码



目 录

第4版前言

绪 论	(1)
任务一 水资源及水体污染	(1)
任务二 水质指标和水质标准	(7)
小 结	(21)
复习思考题	(22)
项目一 分析方法概述	(23)
任务一 分析方法及其类型	(23)
任务二 标准溶液	(27)
任务三 滴定分析的计算	(29)
任务四 误差及其表示方法	(33)
任务五 分析结果的数据处理	(38)
小 结	(42)
复习思考题	(42)
项目二 酸碱滴定法	(45)
任务一 电解质溶液基础	(45)
任务二 酸碱指示剂	(50)
任务三 酸碱滴定曲线和指示剂的选择	(52)
任务四 酸碱滴定在水质分析中的应用	(58)
小 结	(62)
复习思考题	(62)
项目三 配位滴定法	(64)
任务一 配位化合物	(64)
任务二 影响配位滴定的因素及消除干扰方法	(67)
任务三 金属指示剂	(70)
任务四 配位滴定方式及其应用	(72)
小 结	(76)
复习思考题	(76)
项目四 沉淀滴定法	(78)
任务一 难溶电解质的溶度积及分步沉淀	(78)
任务二 银量法	(80)
小 结	(84)

复习思考题	(84)
项目五 氧化还原滴定法	(86)
任务一 氧化还原反应的方向及影响因素	(86)
任务二 影响氧化还原反应速度的因素	(88)
任务三 氧化还原终点的确定	(89)
任务四 氧化还原滴定法在水质分析中的应用	(91)
小 结	(94)
复习思考题	(95)
项目六 仪器分析法	(97)
任务一 分光光度法	(97)
任务二 原子吸收分光光度法	(106)
任务三 电位分析法	(113)
任务四 电导分析法	(121)
任务五 气相色谱法	(122)
任务六 原子荧光光谱法	(129)
小 结	(138)
复习思考题	(138)
项目七 水质监测	(143)
任务一 水质监测站网	(143)
任务二 地表水水质监测	(145)
任务三 地下水水质监测	(159)
任务四 水污染监测与调查	(162)
任务五 水质自动监测	(166)
任务六 水质资料整编	(171)
小 结	(172)
复习思考题	(173)
项目八 水质评价	(175)
任务一 概 述	(175)
任务二 地表水水质评价	(177)
任务三 水体质量综合评价	(187)
任务四 地下水水质评价	(192)
小 结	(196)
复习思考题	(196)
项目九 水质预测	(199)
任务一 概 述	(199)
任务二 水质数学模型	(200)
任务三 水质预测方法	(215)
小 结	(226)
复习思考题	(226)



教学实验	(228)
实验室常识简介	(228)
实验一 分析天平称量练习	(243)
实验二 盐酸标准溶液的配制和标定	(245)
实验三 色度的测定	(247)
实验四 浊度的测定	(250)
实验五 水中总碱度的测定	(251)
实验六 水中总硬度的测定	(253)
实验七 氯化物的测定——莫尔法	(255)
实验八 高锰酸盐指数的测定	(257)
实验九 化学需氧量的测定——重铬酸钾法	(260)
实验十 溶解氧的测定——碘量法	(263)
实验十一 五日生化需氧量的测定	(265)
实验十二 硫化物的测定——碘量法	(271)
实验十三 总铁的测定——邻二氮菲分光光度法	(274)
实验十四 氨氮的测定——纳氏试剂分光光度法	(275)
实验十五 亚硝酸盐氮的测定	(279)
实验十六 硝酸盐氮的测定——酚二磺酸比色法	(281)
实验十七 挥发酚的测定——4-氨基安替比林分光光度法	(284)
实验十八 水中六价铬的测定——二苯碳酰二肼比色法	(286)
实验十九 pH 值的测定——玻璃电极法	(289)
实验二十 水中微量氟的测定	(290)
实验二十一 水中金属锰、铜含量的测定	(292)
实验二十二 水中微量金属砷含量的测定	(295)
实验二十三 水中微量金属硒含量的测定	(297)
实验二十四 水中微量金属汞含量的测定	(299)
实验二十五 细菌菌落总数的测定	(301)
实验二十六 总大肠菌群的滤膜法测定	(303)
附 录	(305)
附录一 难溶化合物的溶度积常数(18~25 ℃)	(305)
附录二 标准电极电势(298.15 K)	(306)
附录三 国标原子量表	(308)
附录四 常用酸碱溶液的密度和浓度	(310)
附录五 常用的基准试剂	(310)
附录六 数据上报整汇编表	(311)
附录七 监测资料整汇编成果表式样	(314)
附录八 水样采集原始记录表式样	(316)
参考文献	(319)



绪 论

人口、资源与环境是当今世界面临的三大问题,水资源是各种资源中不可替代的一种重要资源。水资源与环境、人口密切相关,因此水资源问题已成为举世瞩目的重要问题之一。

我国目前的水资源不仅表现为数量严重不足,而且水体质量也越来越差,水质污染问题日益突出。水的质量状况日益受到人们的重视。为了达到了解、保护、管理和改良水体质量的目的,必须对影响水体质量的物质的形态、性质和含量进行有计划的调查研究和监测,以便得到明确的认识,进而借助于立法、经济、教育、行政和技术等手段,有效地控制和减少水质污染。

水质监测是进行水污染防治和水资源保护的基础,是贯彻执行水环境保护法规和实施水质管理的依据。通过水质监测,可以达到以下目的:

- (1) 提供代表水质质量现状的数据,供评价水体环境质量使用。
- (2) 确定水中污染物的时空分布规律,追溯污染物的来源、污染途径、迁移转化和消长规律,预测水体污染的变化。
- (3) 判断水污染对环境生物和人体健康的影响,评价污染防治措施的实际效果,为制定有关法规、水质标准等提供科学依据。
- (4) 为建立和验证水质模型提供依据。
- (5) 为进一步开展水环境及其污染的理论研究提供依据。

水质监测可分为环境水体监测和水污染源监测。环境水体包括地表水(江、河、湖、库、海水)和地下水;水污染源包括生活污水、医院污水、工业废水等。

水质监测的主要内容有站网布设、样品采集、确定监测项目、水质分析、数据处理及资料整编等。水质分析就是用化学或物理的方法,测定水中杂质的种类和含量,是水质监测的重要内容,也是水质监测的基础。

水质评价是水环境质量评价的简称,是根据水体的用途,按照一定的评价参数、质量标准和评价方法,对水体进行定性和定量评定的过程。水质评价是水资源保护工作的重要组成部分,它是一个综合性强、涉及面广的新兴学科。水质评价可分为现状评价和影响评价等多种类型。

任务一 水资源及水体污染

一、水资源分布与水分循环

地球表面约有 70% 为水所覆盖,其余约占地球表面 30% 的陆地也有水的存在。地球总水量为 138.6×10^8 亿 m^3 , 其中淡水储量为 3.5×10^8 亿 m^3 , 占总储量的 2.53%。由于开



发困难或受技术、经济条件的限制,到目前为止,海水、深层地下水、冰雪固态淡水等还很少被直接利用,比较容易开发利用的与人类生活生产关系最为密切的湖泊、河流和浅层地下淡水资源,只占淡水总储量的 0.34%,为 104.6×10^4 亿 m^3 ,还不到全球水总储量的万分之一。通常所说的水资源,主要指这部分可供使用的、逐年可以恢复更新的淡水资源。可见地球上的淡水资源并不丰富。全球各种水体储量见表 0-1。

表 0-1 全球各种水体储量

水的类型	分布面积/ 万 km^2	水储量/ 10^4 亿 m^3	占全球水总 储量/%	占全球淡水 总储量/%
1. 海洋水	3 613	1 338 000	96.5	
2. 地下水	13 480	23 400	1.7	
其中淡水		12 870	0.94	30.1
3. 土壤水	8 200	16.5	0.001	0.05
4. 冰川和永久雪盖	1 622.75	24 064.1	1.74	68.7
5. 永冻土底冰	2 100	300.00	0.222	0.86
6. 湖泊水	206.87	176.40	0.013	
其中淡水	123.64	91.00	0.007	0.26
7. 沼泽水	268.26	11.47	0.000 8	0.03
8. 河床水	14 880	2.12	0.000 2	0.006
9. 生物水	51 000	1.12	0.000 1	0.003
10. 大气水	51 000	12.90	0.001	0.04

2021 年度《中国水资源公报》相关数据显示,全国水资源总量为 29 638.2 亿 m^3 ,比多年平均值偏多 7.3%。其中,地表水资源量为 28 310.5 亿 m^3 ,地下水资源量为 8 195.7 亿 m^3 ,地下水与地表水资源不重复量为 1 327.7 亿 m^3 。地表水量少于巴西、俄罗斯、加拿大,居世界第四位。但我国人均占有水量只有 2 100 m^3 ,只有世界人均占有水量的 1/4。根据 149 个国家按 1990 年人口统计的人均占有水量由多到少排列,中国排在第 110 位。耕地每公顷平均水量 27 867 m^3 ,约为世界水平的 3/4。可见我国水资源总量不少,但人均占有水量及单位面积耕地拥有水量很少,是一个水资源比较贫乏的国家。

地球上的水不断地进行着两种循环。一种是在太阳辐射和地球引力的作用下,水不停地进行着蒸发、降水、下渗、径流的循环,称自然循环;另一种是人类社会为满足生活、生产的需要,从自然水体中取水,使用后的污水、废水又不断地排入自然水体,称社会循环。在水的自然循环和社会循环中,每个环节都有杂质混入,使水质发生变化,因此不同形态的水,其水质不同;水的社会循环总量仅占地球总水量的几百万分之一,但是,它对自然水体的污染是很严重的,并且有越来越严重的趋势。

二、水中杂质

(一)天然水中的杂质

天然水中的杂质很复杂,按其粒径大小可分为三类。



1. 悬浮物

悬浮物是指粒径大于 10^{-7} m 的物质。它在水中呈悬浮状态,不稳定,容易除去。当水静止时,密度大的会下沉,如泥沙、黏土类无机物等;密度小的会上浮,如腐殖质等有机物。

2. 胶体

胶体是许多分子和离子的集合体,其粒径为 $10^{-7} \sim 10^{-9}$ m。按性质分为无机胶体和有机胶体。前者主要是铁、铝、硅的化合物,后者主要是腐殖质等。这些胶体一般比较稳定,不能依靠重力自行下沉,常使水呈现颜色或产生混浊。

3. 溶解物

能溶解于水的物质统称为溶解物。其粒径小于 10^{-9} m,大都为离子或分子和一些溶解的气体。以离子状态存在的杂质主要有 8 种,即钠、钾、钙、镁 4 种阳离子和硅酸氢根、碳酸氢根、硫酸根、氯离子 4 种阴离子。还有一些不常见的阳离子和阴离子。表 0-2 列出了天然水中的离子概况,其中第 I 类最为常见,第 II 类不常见。

表 0-2 天然水中的离子概况

类别	阳离子	阴离子	浓度的数量级/ (mg/L)	类别	阳离子	阴离子	浓度的数量级/ (mg/L)
I	Na ⁺ K ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻ Cl ⁻ SO ₄ ²⁻ HSiO ₃ ⁻	由几至几万	III	Cu ²⁺ Zn ²⁺ Ni ²⁺ Co ²⁺ Al ³⁺	HS ⁻ BO ₂ ⁻ NO ₂ ⁻ Br ⁻ I ⁻ HPO ₄ ²⁻ H ₂ PO ₄ ⁻	小于 1/10
II	NH ₄ ⁺ Fe ²⁺ Mn ²⁺	F ⁻ NO ₃ ⁻ CO ₃ ²⁻	由十分之几至几				

天然水中常见的溶解气体有氧气、二氧化碳、氮气,有时还有硫化氢、二氧化硫和氨气等。另外,还有一些呈溶解状态的有机物。

(二) 生活污水和工业废水中的杂质

生活污水是指人们日常生活中用过的水,包括从厕所、浴室、厨房、洗衣房等处排出的水。它来自住宅、公共场所、机关、学校、医院、商场以及工厂的生活间。其成分复杂,杂质种类繁多。悬浮杂质有泥沙、矿物废料和各种有机物;胶体和高分子物质有淀粉、糖类、纤维素、脂肪、蛋白质、油类、洗涤剂;溶解物质有含氮化合物、硫酸盐、磷酸盐、氯化物、有机物的分解物等。另外,还有病原微生物,如寄生虫卵和肠道传染病菌等。

工业废水是指在工业生产中排出的废水。按污染程度又可分为生产污水和生产废水,前者的污染程度较大,后者的污染程度较小,如冷却水仅仅是水温发生了改变,属于生产废水。工业废水的主要来源是各种车间和矿场。由于各种工厂的生产类别、工艺过程、使用的原材料及用水成分不同,工业废水的成分千差万别,变化很大。表 0-3 列出了多种工业废水中常见的污染物。



表 0-3 工业废水中常见的污染物

有害物质	主要来源
汞	化工厂、氯碱厂、农药厂、冶炼厂、造纸厂、用汞仪表厂等
铅	颜料厂、涂料厂、铅蓄电池厂、有色金属矿山与冶炼厂、烷基铅制造厂等
铬	电镀厂、制革厂、颜料厂、冶炼厂等
镉	锌矿、炼锌厂、电镀厂、化工厂等
铜	有色金属矿山与冶炼厂、电镀厂、化工厂等
锌	有色金属矿山与冶炼厂、电镀厂、化工厂、黏胶纤维厂等
镍	冶炼厂、电镀厂等
钒	化工厂、染料厂、冶炼厂等
砷	农药厂、焦化厂、磷肥厂、染料厂、化工厂、砷矿、冶炼厂等
硒	制药厂、冶炼厂等
氰化物	焦化厂、煤气厂、炼油厂、化工厂、电镀厂、金属选矿、金属处理丙烯腈合成、有机玻璃制造等
氟化物	磷肥厂、炼铝厂、氟矿、玻璃制造、黄血盐制造、氟塑料制造等
硫化物	炼油厂、焦化厂、煤气厂、造纸厂、染料厂、印染厂、制革厂、化工厂、黏胶纤维厂等
亚硫酸盐	造纸厂、黏胶纤维厂等
游离氯	造纸厂、农药厂、氯碱厂、化工厂、织物漂白厂等
氨、铵盐	焦化厂、煤气厂、化工厂、氮肥厂等
苯	化工厂、橡胶厂、颜料厂等
氯苯	农药厂等
硝基苯	染料厂、炸药厂、农药厂等
苯胺	苯胺厂、染料厂等
酚类	焦化厂、煤气厂、炼油厂、化工厂、制药厂、染料厂、酚醛塑料厂、合成纤维厂、木材防腐厂等
吡啶	焦化厂、煤气厂、制药厂、化工厂等
醛	合成纤维厂、合成树脂厂、制药厂、染料厂等
油	炼油厂、机械厂、选矿厂、食品厂等
酸	化工厂、电镀厂、合成纤维厂、金属酸洗、矿山废水等
碱	造纸厂、制碱厂、印染厂、制革厂、电镀厂、合成纤维厂、化工厂等
合成洗涤剂	印染厂、电镀厂、洗涤剂厂等
多氯联苯	合成橡胶、塑料厂、电器工业、多氯联苯生产等
有机氯农药	农药厂等
有机磷农药	农药厂等
致癌物质	含焦油废水等
放射性物质	核电站、生产和应用放射性物质的机构等
病原微生物	制革厂、屠宰场、洗毛厂等

三、水体污染

水的污染,最终会引起水体的污染。水体就是自然水域,包括河流、湖泊、海洋以及地下水等。水体是自然环境的重要组成部分,而且是最活跃的部分。水体间互相连通,如同自然环境的血液,不断地在地球及生物圈间循环运行,在物质和能量迁移及转化过程中起着重要作用。



水在自然循环和社会循环过程中有多种多样的杂质混入,使其成分发生不同程度的变化。水体在一定程度上具有自净能力,即自然降低污染物的能力,当外来杂质即污染物超过水体的自净能力时,水质就会恶化,对人类环境和水的利用产生不良影响,水质的这种恶化称为水体污染。

水体污染大致可分为自然污染和人为污染两种。火山爆发污染、矿区地下水水源污染为自然污染;生活污水和工业废水及农业生产使用的化肥、农药所造成的污染为人为污染。

水体遭到污染,居民健康和工、农业生产以及自然环境都要受到危害。危害的程度取决于污染物质的浓度、特性等因素。现将各种杂质及污染物的污染效应分述如下。

(一) 悬浮固体污染

含有大量悬浮物和可沉固体的污水排入水体,不但增加了水体中悬浮物质的浓度,提高了水的浊度,而且会在河底形成污泥层,危害底栖生物的繁殖,影响渔业生产。河底泥层的增厚将使河床断面缩小,有碍通航。污泥层若主要由有机物组成,则可能出现厌氧情况,恶化水质。

(二) 有机物污染

这里所指的是以碳水化合物、蛋白质、氨基酸和脂肪等形式存在的自然有机物,是生活污水和部分生产污水的主要污染物质。它们的性质不稳定,随时随地都在转化。水体中的有机物常在微生物的参与下进行分解、转化。由于水环境条件和参与的微生物不同,有机物有两种分解形式,即好氧分解和厌氧分解。两种形式途径不同,得到的产物不同,对水体和环境的影响也不同。

1. 好氧分解

在有游离氧存在的条件下,进入水体的有机物在好氧微生物的参与下,进行氧化分解,反应的产物是 CO_2 、 H_2O 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 及 PO_4^{3-} 等。这些产物无色、无臭、无害,对水体或环境不会产生什么危害。只是好氧分解过程的反应速度快,要消耗水体或环境中的游离氧,故有机物也称耗氧物质。若进入水体的有机物量不多,水中既含有充足的溶解氧,又能不断地从大气中补充到氧,使水体中溶解氧含量保持在一定数量以上,则氧化分解对水体影响不大;反之,有机物量多,好氧分解时,大量消耗水中的溶解氧,而从大气中补充的氧不能满足需要,这时水体中溶解氧含量下降,长期处于 $4\sim 5\text{ mg/L}$ 以下时,一般的鱼类就不能生存,而好氧分解可能转为厌氧分解。

2. 厌氧分解

当水体中缺乏游离氧时,厌氧微生物对有机物的分解起主要作用。反应的产物主要是 CO_2 、 H_2O 、 NH_3 、 H_2S 等。厌氧分解进程缓慢,逸出的产物既有毒害作用,又有恶臭。例如,硫化氢是一种溶解性的毒性气体,具有臭鸡蛋的特殊气味,当它在空气中的稀释浓度为 0.002 mg/L 时,人就会感觉到。硫化氢和铁盐反应生成硫化亚铁,使水色变黑,严重地危害水环境卫生,造成公害。

(三) 有毒物质污染

1. 有机有毒物

有机有毒物主要是指酚类化合物及难以降解的蓄积性极强的有机农药和多联苯等,

主要来自农田排水和有关的工业废水,对环境危害大、时间长。有些是致癌物,如稠环芳香胺等。

2. 无机有毒物

无机有毒物主要是指重金属及其化合物。这类物质在水体中也能转移,但与有机物不同,其污染的特征如下:

(1) 重金属元素不易为生物所降解或完全不能为生物所降解,这方面已由众多实验结果所证实。

(2) 大多数的金属离子及其化合物,易为水中悬浮颗粒所吸附而沉淀至水底的沉淀层中,例如汞。河流泥沙对砷有很强的吸附能力,往往是含沙量越高,河水的含砷量也越高。

(3) 金属离子在水中迁移和转化与水体的酸、碱条件及氧化还原条件有关,例如,河底泥沙中的汞,只有在还原条件下,才能甲基化,而甲基汞造成的危害最大;毒性强的六价铬在碱性条件下的迁移能力强于酸性条件;在酸性条件下,二价镉离子易随水迁移而被植物所吸收。

(4) 某些金属离子及其化合物能被生物吸收并通过食物链逐渐富集到相当程度。

食物链是指生物群落中各种动植物由于食物的关系所形成的一种联系。例如,水体中的藻类可作为浮游动物的食物,浮游动物可作为昆虫幼虫、虾类、鱼类的食物,虾、鱼等水生动物又可作为鸟类、兽类及人类的食物。于是污染物质从水中经下列顺序富集:

植物性浮游生物→动物性浮游生物→小型鱼类→大型鱼类

富集作用是食物链的一种突出的特性。某些重金属元素或其他有毒物质在水中浓度不高,但一些微生物如藻类可能对它们有选择性地浓缩富集作用,通过食物链又一级级地富集起来,成为某些动物和人类的食物时,可能达到很高浓度,产生有害机体的作用。如 DDT 在海水中的浓度介于 $0.01 \sim 0.1 \text{ mg/L}$, 在浮游生物中约为 0.1 mg/kg , 贝壳类动物的检出量一般为 $1 \sim 10 \text{ mg/kg}$, 而在以鱼为食的鸟类和海产哺乳动物体内,能够高达 $10 \sim 100 \text{ mg/kg}$, 即浓缩了 10^3 倍甚至是 10^6 倍。又如甲基汞通过食物链在鱼体内富集,达到 $5 \sim 10 \text{ mg/kg}$ 的含量,这种鱼被人食用,在人体内富集,可达到损害人体健康的程度。

(四) 放射性污染

放射性污染分为人为放射性污染和天然放射性污染。目前,掌握的 1 000 多种放射性同位素中,仅有 60 多种是天然的。天然放射性同位素及裂变产物可蓄积在食物链中,某些放射性物质如镭(226)和铅(210)可被食用植物吸收,最后富集在哺乳动物骨骼中。

人为放射性物质的主要来源是核爆炸实验产生的沉降物及核电站、同位素医药、同位素工业排放的污水。放射性污染对环境的影响是很大的,对人体的危害最为严重。

(五) 病菌、病毒污染

水体中含有病菌和病毒,会影响当地居民或水源下游居民的身体健康。水常成为某些传染病的媒介。

世界卫生组织将水和疾病之间的关系分为以下三类:

第一类疾病肯定是由水传播的。例如伤寒、细菌性痢疾、霍乱和血吸虫病等。

第二类疾病无肯定资料证明,认为很可能是由水传播的某些病毒所致。例如传染性



肝炎、腹泻等病。

第三类疾病怀疑是由水传播的。例如胸膜病、小儿麻痹症等。因此,水中病菌、病毒的观察与研究是十分重要的。

污水排入水体,不但使水中原有的物质组成发生变化,而且由于污染物质也参与能量和物质的转化及循环过程,原来正常固定的食物链发生不同程度的变化,破坏了已有的生态平衡,这就是水体污染的主要危害。

任务二 水质指标和水质标准

一、水质指标

水质指标是衡量水中杂质的标度,能具体表示出水中杂质的种类和数量,是水质评价的重要依据。

水质指标种类繁多,可达百种以上。其中,有些水质指标就是水中某一种或某一类杂质的含量,直接用其浓度来表示,如汞、铬、硫酸根、六六六等的含量;有些水质指标是利用某一类杂质的共同特性来间接反映其含量,如用耗氧量、化学需氧量、生化需氧量等指标来间接表示有机污染物的种类和数量;有些水质指标是与测定方法有关的,带有人为性,如浊度、色度等是按规定配制的标准溶液作为衡量尺度的。水质指标也可分为物理指标、化学指标和微生物学指标三大类。

(一) 物理指标

反映水的物理性质的一类指标统称物理指标。常用的物理指标有温度、浊度、色度、臭和味、固体含量、电导率等。

(二) 化学指标

反映水的化学成分和特性的一类指标统称化学指标。常用的化学指标有以下几种类型:

(1) 表示水中离子含量的指标:如硬度表示钙镁离子的含量,pH 反映氢离子的浓度等。

(2) 表示水中溶解气体含量的指标:如二氧化碳、溶解氧等。

(3) 表示水中有机物含量的指标:如耗氧量、化学需氧量、生化需氧量、总需氧量、总有机碳、含氮化合物等。

(4) 表示水中有毒物质含量的指标:有毒物质分两类,一类是无机有毒物,如汞、铅、铜、锌、铬等重金属离子和砷、硒、氰化物等非金属有毒物;另一类是有机有毒物,如酚类化合物、农药、取代苯类化合物、多氯联苯等。

(三) 微生物学指标

反映水中微生物的种类和数量的一类指标统称微生物学指标。常用的微生物学指标有细菌总数、总大肠菌群等。

(四) 几个重要的水质指标

(1) 浊度:是表示水中悬浮物对光线透过时所发生的阻碍程度。浊度是由于水中含有泥沙、有机物、无机物、浮游生物和其他微生物等杂质所造成的,是天然水和饮用水的一

个重要水质指标。测定浊度的方法有分光光度法、目视比浊法、浊度计法等。

(2) 碱度:指水中能与强酸发生中和作用的物质的总量。这类物质包括强碱、弱碱、强碱弱酸盐等。天然水中的碱度主要是由重碳酸盐、碳酸盐与氢氧化物引起的,其中重碳酸盐是水中碱度的主要形式。引起碱度的污染源主要是造纸、印染、化工、电镀等行业排放的废水及洗涤剂、化肥与农药在使用过程中的流失。碱度常用于评价水体的缓冲能力及金属在其中的溶解性与毒性等。

(3) 酸度:指水中能与强碱发生中和作用的物质的总量。这类物质包括无机酸、有机酸、强酸弱碱盐等。地表水中,由于溶入二氧化碳或被机械、选矿、电镀、农药、印染、化工等行业排放的废水污染,使水体 pH 值降低,破坏了水生生物与农作物的正常生活及生长条件,造成鱼类死亡,作物受害。酸度是衡量水体水质的一项重要指标。

(4) 硬度:水中某些离子在水被加热的过程中,由于蒸发浓缩会形成水垢,常将这些离子的浓度称为硬度。对于天然水而言,这些离子主要是钙离子和镁离子,其硬度就是钙离子和镁离子的含量。硬度有总硬度、钙硬度、镁硬度、碳酸盐硬度(暂时硬度)、非碳酸盐硬度(永久硬度)等表示方式。

(5) 悬浮物(SS):又称总不可过滤残渣,指水样用 $0.45\ \mu\text{m}$ 滤膜过滤后,留在过滤器上的物质,于 $103\sim 105\ ^\circ\text{C}$ 烘至恒重所得到的物质的质量,用 SS 表示,单位:mg。它包括不溶于水的泥沙、各种污染物、微生物及难溶无机物等。悬浮物含量是指单位水样体积所含悬浮物的量,单位:mg/L。

(6) 矿化度:是水质含盐量的一种表示方法。即将一定体积的水样在 $105\sim 110\ ^\circ\text{C}$ 下蒸干后,所得到的矿物质残渣的质量,单位:mg/L。因为在 $105\sim 110\ ^\circ\text{C}$ 下,有些矿物质的水分不能除尽,有些有机物也会氧化,所以在一般情况下,用矿化度来表示水的含盐量是有误差的。

(7) 溶解氧(DO):指溶解在水中的分子态氧,用 DO 表示,单位:mg/L。水中溶解氧的含量与大气压、水温及含盐量等因素有关。大气压力下降、水温升高、含盐量增加,都会导致溶解氧含量降低。一般清洁的河流,溶解氧接近饱和值,当有大量藻类繁殖时,溶解氧可能过饱和;当水体受到有机物质、无机还原物质污染时,会使溶解氧含量降低,甚至趋于零,此时厌氧细菌繁殖活跃,水质恶化。水中溶解氧低于 $3\sim 4\ \text{mg/L}$ 时,许多鱼类呼吸困难,严重者窒息死亡。溶解氧是表示水污染状态的重要指标之一。

(8) 化学需氧量(COD):是指在一定的条件下,以重铬酸钾($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)为氧化剂,氧化水中的还原性物质所消耗氧化剂的量,结果折算成氧的量,用 COD 表示,单位:mg/L。

(9) 高锰酸盐指数(I_{Mn}):是指在一定的条件下,以高锰酸钾(KMnO_4)为氧化剂,氧化水中的还原性物质所消耗氧化剂的量,结果折算成氧的量,用 I_{Mn} 表示,单位:mg/L。

(10) 生化需氧量(BOD):是指水中有机物在有氧的条件下,被微生物分解,在这个过程中所消耗的氧气的量,用 BOD 表示,单位:mg/L。生化需氧量实验规定在温度为 $20\ ^\circ\text{C}$ 黑暗的条件下进行,在这样的环境中,微生物完全氧化有机物需 $21\sim 28$ 天。在实际应用中因时间太长有困难,常用 5 天作为测定生化需氧量的时间,此时测得的生化需氧量称五日生化需氧量,用 BOD_5 表示。

(11) 细菌总数:指 1 mL 水样在营养琼脂培养基中,在 $37\ ^\circ\text{C}$ 经 24 h 培养后,所生长



的细菌菌落的总数,单位:个/mL。

(12) 总大肠菌群数:指 1 L 水样中所含有的大肠菌群数目,单位:个/L。总大肠菌群指那些能在 37 ℃、48 h 之内发酵乳糖产酸、产气、需氧及兼性厌氧的、革兰氏阴性的无芽孢杆菌。粪便中存在大量的大肠菌群细菌,总大肠菌群数是反映水体受粪便污染程度的重要指标。

二、水质标准

水质标准是根据各用户的水质要求和废水排放容许浓度,对一些水质指标作出的定量规范。水质标准是环境标准的一种,是水质监测与评价的重要依据。现将国家标准的部分内容摘编如下。

(一) 饮用水卫生标准

生活饮用水包括自来水、井水和深井水等。生活饮用水直接关系到人们的日常生活和身体健康,其水质标准和卫生状况特别受到各国关注。我国 1956 年颁布《生活饮用水卫生标准(试行)》,2007 年实施《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),新国标《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)由国家市场监督管理总局和国家标准化管理委员会于 2022 年 3 月 15 日正式批准,于 2023 年 4 月 1 日起实施。水质指标由 GB 5749—2006 的 106 项调整为 GB 5749—2022 的 97 项,包括常规指标 43 项和扩展指标 54 项。



码 0-1 《生活饮用水卫生标准》
(GB 5749—2022)
的简要信息

《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)规定了生活饮用水水质要求、生活饮用水水源水质要求、集中式供水单位卫生要求、二次供水卫生要求、涉及饮用水卫生安全的产品卫生要求、水质检验方法。适用于各类生活饮用水。生活饮用水水质常规指标及限值见表 0-4,出厂水和末梢水中消毒剂限值、消毒剂余量均应符合表 0-5 的要求,生活饮用水水质扩展指标及限值见表 0-6。

表 0-4 生活饮用水水质常规指标及限值

序号	指标	限值
一、微生物指标		
1	总大肠菌群/(MPN/100 mL 或 CFU/100 mL) ^a	不应检出
2	大肠埃希氏菌/(MPN/100 mL 或 CFU/100 mL) ^a	不应检出
3	菌落总数/(MPN/mL 或 CFU/mL) ^b	100
二、毒理指标		
4	砷/(mg/L)	0.01
5	镉/(mg/L)	0.005
6	铬(六价)/(mg/L)	0.05
7	铅/(mg/L)	0.01
8	汞/(mg/L)	0.001



续表 0-4

序号	指标	限值
9	氰化物/(mg/L)	0.05
10	氟化物/(mg/L) ^b	1.0
11	硝酸盐(以N计)/(mg/L) ^b	10
12	三氯甲烷/(mg/L) ^c	0.06
13	一氯二溴甲烷/(mg/L) ^c	0.1
14	二氯一溴甲烷/(mg/L) ^c	0.06
15	三溴甲烷/(mg/L) ^c	0.1
16	三卤甲烷(三氯甲烷、一氯二溴甲烷、二氯一溴甲烷、三溴甲烷的总和) ^c	该类化合物中各种化合物的实测浓度与其各自限值的比值之和不超过1
17	二氯乙酸/(mg/L) ^c	0.05
18	三氯乙酸/(mg/L) ^c	0.1
19	溴酸盐/(mg/L) ^c	0.01
20	亚氯酸盐/(mg/L) ^c	0.7
21	氯酸盐/(mg/L) ^c	0.7
三、感官性状和一般化学指标 ^d		
22	色度(铂钴色度单位)/度	15
23	浑浊度(散射浑浊度单位)/NTU ^b	1
24	臭和味	无异臭、异味
25	肉眼可见物	无
26	pH	不小于6.5且不大于8.5
27	铝/(mg/L)	0.2
28	铁/(mg/L)	0.3
29	锰/(mg/L)	0.1
30	铜/(mg/L)	1.0
31	锌/(mg/L)	1.0
32	氯化物/(mg/L)	250
33	硫酸盐/(mg/L)	250
34	溶解性总固体/(mg/L)	1 000
35	总硬度(以CaCO ₃ 计)/(mg/L)	450
36	高锰酸盐指数(以O ₂ 计)/(mg/L)	3
37	氨(以N计)/(mg/L)	0.5



续表 0-4

四、放射性指标 ^e		
38	总 α 放射性/(Bq/L)	0.5(指导值)
39	总 β 放射性/(Bq/L)	1(指导值)

注：^a MPN 表示最可能数；CFU 表示菌落形成单位。当水样检出总大肠菌群时，应进一步检验大肠埃希氏菌；当水样未检出总大肠菌群时，不必检验大肠埃希氏菌。

^b 小型集中式供水和分散式供水因水源与净水技术受限时，菌落总数指标限值按 500 MPN/mL 或 500 CFU/mL 执行，氟化物指标限值按 1.2 mg/L 执行，硝酸盐（以 N 计）指标限值按 20 mg/L 执行，浑浊度指标限值按 3NTU 执行。

^c 水处理工艺流程中预氧化或消毒方式：

- 采用液氯、次氯酸钙及氯胺时，应测定三氯甲烷、一氯二溴甲烷、二氯一溴甲烷、三溴甲烷、三卤甲烷、二氯乙酸、三氯乙酸；
- 采用次氯酸钠时，应测定三氯甲烷、一氯二溴甲烷、二氯一溴甲烷、三溴甲烷、三卤甲烷、二氯乙酸、三氯乙酸、氯酸盐；
- 采用臭氧时，应测定溴酸盐；
- 采用二氧化氯时，应测定亚氯酸盐；
- 采用二氧化氯与氯混合消毒剂发生器时，应测定亚氯酸盐、氯酸盐、三氯甲烷、一氯二溴甲烷、二氯一溴甲烷、三溴甲烷、三卤甲烷、二氯乙酸、三氯乙酸；
- 当原水中含有上述污染物，可能导致出厂水和末梢水的超标风险时，无论采用何种预氧化或消毒方式，都应对其进行测定。

^d 当发生影响水质的突发公共事件时，经风险评估，感官性状和一般化学指标可暂时适当放宽。

^e 放射性指标超过指导值（总 β 放射性扣除 40 K 后仍然大于 1 Bq/L），应进行核素分析和评价，判定能否饮用。

表 0-5 生活饮用水消毒剂常规指标及要求

序号	指标	与水接触时间/ min	出厂水和末梢水 限值/(mg/L)	出厂水余量/ (mg/L)	末梢水余量/ (mg/L)
40	游离氯 ^{a,d}	≥30	≤2	≥0.3	≥0.05
41	总氯 ^b	≥120	≤3	≥0.5	≥0.05
42	臭氧 ^c	≥12	≤0.3	—	≥0.02 如采用其他协同消毒方式，消毒剂限值及余量应满足相应要求
43	二氧化氯 ^d	≥30	≤0.8	≥0.1	≥0.02

注：^a 采用液氯、次氯酸钠、次氯酸钙消毒方式时，应测定游离氯。

^b 采用氯胺消毒方式时，应测定总氯。

^c 采用臭氧消毒方式时，应测定臭氧。

^d 采用二氧化氯消毒方式时，应测定二氧化氯；采用二氧化氯与氯混合消毒剂发生器消毒方式时，应测定二氧化氯和游离氯。两项指标均应满足限值要求，至少一项指标应满足余量要求。



表 0-6 生活饮用水水质扩展指标及限值

序号	指标	限值
一、微生物指标		
44	贾第鞭毛虫/(个/10 L)	<1
45	隐孢子虫/(个/10 L)	<1
二、毒理指标		
46	锑/(mg/L)	0.005
47	钡/(mg/L)	0.7
48	铍/(mg/L)	0.002
49	硼/(mg/L)	1.0
50	钼/(mg/L)	0.07
51	镍/(mg/L)	0.02
52	银/(mg/L)	0.05
53	铊/(mg/L)	0.000 1
54	硒/(mg/L)	0.01
55	高氯酸盐/(mg/L)	0.07
56	二氯甲烷/(mg/L)	0.02
57	1,2-二氯乙烷/(mg/L)	0.03
58	四氯化碳/(mg/L)	0.002
59	氯乙烯/(mg/L)	0.001
60	1,1-二氯乙烯/(mg/L)	0.03
61	1,2-二氯乙烯(总量)/(mg/L)	0.05
62	三氯乙烯/(mg/L)	0.02
63	四氯乙烯/(mg/L)	0.04
64	六氯丁二烯/(mg/L)	0.000 6
65	苯/(mg/L)	0.01
66	甲苯/(mg/L)	0.7
67	二甲苯(总量)/(mg/L)	0.5
68	苯乙烯/(mg/L)	0.02
69	氯苯/(mg/L)	0.3
70	1,4-二氯苯/(mg/L)	0.3



续 0-6

序号	指标	限值
71	三氯苯(总量)/(mg/L)	0.02
72	六氯苯/(mg/L)	0.001
73	七氯/(mg/L)	0.0004
74	马拉硫磷/(mg/L)	0.25
75	乐果/(mg/L)	0.006
76	灭草松/(mg/L)	0.3
77	百菌清/(mg/L)	0.01
78	呋喃丹/(mg/L)	0.007
79	毒死蜱/(mg/L)	0.03
80	草甘膦/(mg/L)	0.7
81	敌敌畏/(mg/L)	0.001
82	莠去津/(mg/L)	0.002
83	溴氰菊酯/(mg/L)	0.02
84	2,4-滴/(mg/L)	0.03
85	乙草胺/(mg/L)	0.02
86	五氯酚/(mg/L)	0.009
87	2,4,6-三氯酚/(mg/L)	0.2
88	苯并(a)芘/(mg/L)	0.00001
89	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯/(mg/L)	0.008
90	丙烯酰胺/(mg/L)	0.0005
91	环氧氯丙烷/(mg/L)	0.0004
92	微囊藻毒素-LR(藻类暴发情况发生时)/(mg/L)	0.001

三、感官性状和一般化学指标^a

93	钠/(mg/L)	200
94	挥发酚类(以苯酚计)/(mg/L)	0.002
95	阴离子合成洗涤剂/(mg/L)	0.3
96	2-甲基异莰醇/(mg/L)	0.00001
97	土臭素/(mg/L)	0.00001

注：^a当发生影响水质的突发公共事件时，经风险评估，感官性状和一般化学指标可暂时适当放宽。

(二) 地表水环境质量标准

我国 1983 年首次颁布了《地面水环境质量标准》(GB 3838—83),并分别于 1988 年和 1999 年进行了两次修订,修订后分别颁布了《地面水环境质量标准》(GB 3838—88)和《地表水环境质量标准》(GHZB 1—1999)。目前使用的是第三次修订后颁布的《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),该标准由国家环境保护总局及国家质量监督检验检疫总局于 2002 年 4 月 28 日联合发布,自 2002 年 6 月 1 日起实施,《地面水环境质量标准》(GB 3838—88)和《地表水环境质量标准》(GHZB 1—1999)同时废止。



码 0-2 《地表水
环境质量标准》
(GB 3838—2002)
的简要信息

《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 适用于中华人民共和国领域内江河、湖泊、运河、渠道、水库等具有使用功能的地表水水域。具有特定功能的水域,执行相应的专业用水水质标准。依据地表水水域环境功能和保护目标,按功能高低依次划分为五类:

- I 类:主要适用于源头水、国家自然保护区;
- II 类:主要适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等;
- III 类:主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区;
- IV 类:主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区;
- V 类:主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。

例如,作为南水北调中线源头的丹江口水库自 1987 年开始有监测数据的连续 25 年来,水质一直稳定在国家 II 类以上标准,水质保持优良。

对应地表水上述五类水域功能,将地表水环境质量标准基本项目标准值分为五类,不同功能类别分别执行相应类别的标准值。水域功能类别高的标准值严于水域功能类别低的标准值。同一水域兼有多类使用功能的,执行最高功能类别对应的标准值。

地表水环境质量标准基本项目标准限值见表 0-7;集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值见表 0-8;集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值见表 0-9。

表 0-7 地表水环境质量标准基本项目标准限值 单位:mg/L

序号	项目		I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
1	水温/℃		人为造成的环境水温变化应限制在: 周平均最大温升≤1 周平均最大温降≤2				
2	pH 值(无量纲)		6~9				
3	溶解氧	≥	饱和率 90% (或 7.5)	6	5	3	2
4	高锰酸盐指数	≤	2	4	6	10	15
5	化学需氧量(COD)	≤	15	15	20	30	40
6	五日生化需氧量(BOD ₅)	≤	3	3	4	6	10



续表 0-7

序号	项目		I 类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	V 类
7	氨氮(NH ₃ -N)	≤	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
8	总磷(以 P 计)	≤	0.02 (湖、库 0.01)	0.1 (湖、库 0.025)	0.2 (湖、库 0.05)	0.3 (湖、库 0.1)	0.4 (湖、库 0.2)
9	总氮(湖、库,以 N 计)	≤	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0
10	铜	≤	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0
11	锌	≤	0.05	1.0	1.0	2.0	2.0
12	氟化物(以 F ⁻ 计)	≤	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5
13	硒	≤	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
14	砷	≤	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
15	汞	≤	0.000 05	0.000 05	0.000 1	0.001	0.001
16	镉	≤	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
17	铬(六价)	≤	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
18	铅	≤	0.01	0.01	0.05	0.05	0.1
19	氰化物	≤	0.005	0.05	0.2	0.2	0.2
20	挥发酚	≤	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
21	石油类	≤	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0
22	阴离子表面活性剂	≤	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
23	硫化物	≤	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0
24	粪大肠菌群/(个/L)	≤	200	2 000	10 000	20 000	40 000

表 0-8 集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值

单位:mg/L

序号	项目	标准值
1	硫酸盐(以 SO ₄ ²⁻ 计)	250
2	氯化物(以 Cl ⁻ 计)	250
3	硝酸盐(以 N 计)	10
4	铁	0.3
5	锰	0.1



表 0-9 集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值

单位:mg/L

序号	项目	标准值	序号	项目	标准值
1	三氯甲烷	0.06	29	六氯苯	0.05
2	四氯化碳	0.002	30	硝基苯	0.017
3	三溴甲烷	0.1	31	二硝基苯 ^④	0.5
4	二氯甲烷	0.02	32	2,4-二硝基甲苯	0.000 3
5	1,2-二氯乙烷	0.03	33	2,4,6-三硝基甲苯	0.5
6	环氧氯丙烷	0.02	34	硝基氯苯 ^⑤	0.05
7	氯乙烯	0.005	35	2,4-二硝基氯苯	0.5
8	1,1-二氯乙烯	0.03	36	2,4-二氯苯酚	0.093
9	1,2-二氯乙烯	0.05	37	2,4,6-三氯苯酚	0.2
10	三氯乙烯	0.07	38	五氯酚	0.009
11	四氯乙烯	0.04	39	苯胺	0.1
12	氯丁二烯	0.002	40	联苯胺	0.000 2
13	六氯丁二烯	0.000 6	41	丙烯酰胺	0.000 5
14	苯乙烯	0.02	42	丙烯腈	0.1
15	甲醛	0.9	43	邻苯二甲酸二丁酯	0.003
16	乙醛	0.05	44	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	0.008
17	丙烯醛	0.1	45	水合肼	0.01
18	三氯乙醛	0.01	46	四乙基铅	0.000 1
19	苯	0.01	47	吡啶	0.2
20	甲苯	0.7	48	松节油	0.2
21	乙苯	0.3	49	苦味酸	0.5
22	二甲苯 ^①	0.5	50	丁基黄原酸	0.005
23	异丙苯	0.25	51	活性氯	0.01
24	氯苯	0.3	52	滴滴涕	0.001
25	1,2-二氯苯	1.0	53	林丹	0.002
26	1,4-二氯苯	0.3	54	环氧七氯	0.000 2
27	三氯苯 ^②	0.02	55	对硫磷	0.003
28	四氯苯 ^③	0.02	56	甲基对硫磷	0.002



续表 0-9

序号	项 目	标准值	序号	项 目	标准值
57	马拉硫磷	0.05	69	微囊藻毒素-LR	0.001
58	乐果	0.08	70	黄磷	0.003
59	敌敌畏	0.05	71	钼	0.07
60	敌百虫	0.05	72	钴	1.0
61	内吸磷	0.03	73	铍	0.002
62	百菌清	0.01	74	硼	0.5
63	甲萘威	0.05	75	锑	0.005
64	溴氰菊酯	0.02	76	镍	0.02
65	阿特拉津	0.003	77	钡	0.7
66	苯并(a)芘	2.8×10^{-6}	78	钒	0.05
67	甲基汞	1.0×10^{-6}	79	钛	0.1
68	多氯联苯 ^⑥	2.0×10^{-5}	80	铊	0.000 1

注：①二甲苯：指对-二甲苯、间-二甲苯、邻-二甲苯。
②三氯苯：指 1,2,3-三氯苯、1,2,4-三氯苯、1,3,5-三氯苯。
③四氯苯：指 1,2,3,4-四氯苯、1,2,3,5-四氯苯、1,2,4,5-四氯苯。
④二硝基苯：指对-二硝基苯、间-二硝基苯、邻-二硝基苯。
⑤硝基氯苯：指对-硝基氯苯、间-硝基氯苯、邻-硝基氯苯。
⑥多氯联苯：指 PCB-1016、PCB-1221、PCB-1232、PCB-1242、PCB-1248、PCB-1254、PCB-1260。

(三) 地下水质量标准

为保护和合理开发地下水资源,防止和控制地下水污染,保障人民身体健康,促进经济建设,国家技术监督局于 1993 年 12 月 30 日批准了《地下水质量标准》(GB/T 14848—93),并于 1994 年 10 月 1 日实施,之后于 2017 年进行了第一次修订,目前使用的是修订后的《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)。该标准是国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会于 2017 年 10 月 14 日联合发布并于 2018 年 5 月 1 日实施的,《地下水质量标准》(GB/T 14848—93)同时废止。



码 0-3 《地下水质量标准》
(GB/T 14848—2017)
的简要信息

《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)是地下水勘查评价、开发利用和监督管理的依据,适用于一般地下水,不适用于地下热水、矿水、盐卤水。

依据我国地下水质量状况和人体健康风险,参照生活饮用水、工业、农业等用水质量要求,依据各组分含量高低(pH 除外),将地下水分为以下五类:

- I 类:地下水化学组分含量低,适用于各种用途。
- II 类:地下水化学组分含量较低,适用于各种用途。
- III 类:地下水化学组分含量中等,主要适用于集中式生活饮用水水源及工农业用水。



Ⅳ类:地下水化学组分含量较高,适用于农业和部分工业用水,适当处理后可作生活饮用水。

Ⅴ类:地下水化学组分含量高,不宜作为生活饮用水水源,其他用水可根据使用目的选用。

地下水质量指标分为常规指标和非常规指标,其分类及限值分别见表 0-10 和表 0-11。

表 0-10 地下水质量常规指标及限值(GB/T 14848—2017)

序号	指标	Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类
感官性状及一般化学指标						
1	色(铂钴色度单位)	≤5	≤5	≤15	≤25	>25
2	嗅和味	无	无	无	无	有
3	浑浊度/NTU ^a	≤3	≤3	≤3	≤10	>10
4	肉眼可见物	无	无	无	无	有
5	pH	6.5≤pH≤8.5			5.5≤pH≤6.5 8.5≤pH≤9.0	pH <5.5 或 pH >9.0
6	总硬度(以 CaCO ₃ 计)/(mg/L)	≤150	≤300	≤450	≤650	>650
7	溶解性总固体/(mg/L)	≤300	≤500	≤1 000	≤2 000	>2 000
8	硫酸盐/(mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
9	氯化物/(mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
10	铁/(mg/L)	≤0.1	≤0.2	≤0.3	≤2.0	>2.0
11	锰/(mg/L)	≤0.05	≤0.05	≤0.1	≤1.50	>1.50
12	铜/(mg/L)	≤0.01	≤0.05	≤1.00	≤1.50	>1.50
13	锌/(mg/L)	≤0.05	≤0.5	≤1.00	≤5.00	>5.00
14	铝/(mg/L)	≤0.001	≤0.05	≤0.20	≤0.50	>0.50
15	挥发性酚类(以苯酚计)/(mg/L)	≤0.001	≤0.001	≤0.002	≤0.01	>0.01
16	阴离子表面活性剂/(mg/L)	不得检出	≤0.1	≤0.3	≤0.3	>0.3
17	耗氧量(COD _{Mn} 法,以 O ₂ 计)/(mg/L)	≤1.0	≤2.0	≤3.0	≤10.0	>10.0
18	氨氮(以 N 计)/(mg/L)	≤0.02	≤0.10	≤0.50	≤1.50	>1.50
19	硫化物/(mg/L)	≤0.005	≤0.001	≤0.002	≤0.10	>0.10
20	钠/(mg/L)	≤100	≤150	≤200	≤400	>400
微生物指标						
21	总大肠菌群/(MPN ^b /100 mL 或 CFU ^c /100 mL)	≤3.0	≤3.0	≤3.0	≤100	>100
22	菌落总数/(CFU/mL)	≤100	≤100	≤100	≤1 000	>1 000



续表 0-10

序号	指标	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
毒理学指标						
23	亚硝酸盐(以 N 计)/(mg/L)	≤0.01	≤0.10	≤1.00	≤4.80	>4.80
24	硝酸盐(以 N 计)/(mg/L)	≤2.0	≤5.0	≤20.0	≤30.0	>30.0
25	氰化物/(mg/L)	≤0.001	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1
26	氟化物/(mg/L)	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤2.0	>2.0
27	碘化物/(mg/L)	≤0.04	≤0.04	≤0.08	≤0.50	>0.50
28	汞/(mg/L)	≤0.000 1	≤0.000 1	≤0.001	≤0.002	>0.002
29	砷/(mg/L)	≤0.001	≤0.001	≤0.01	≤0.05	>0.05
30	硒/(mg/L)	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.1	>0.1
31	镉/(mg/L)	≤0.000 1	≤0.001	≤0.005	≤0.01	>0.01
32	铬(六价)/(mg/L)	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.10	>0.10
33	铅/(mg/L)	≤0.005	≤0.005	≤0.01	≤0.10	>0.10
34	三氯甲烷/(μg/L)	≤0.5	≤6	≤60	≤300	>300
35	四氯化碳/(μg/L)	≤0.5	≤0.5	≤2.0	≤50.0	>50.0
36	苯/(μg/L)	≤0.5	≤1.0	≤10.0	≤120	>120
37	甲苯/(μg/L)	≤0.5	≤140	≤700	≤1 400	>1 400
放射性指标 ^d						
38	总 α 放射性/(Bq/L)	≤0.1	≤0.1	≤0.5	>0.5	>0.5
39	总 β 放射性/(Bq/L)	≤0.1	≤1.0	≤1.0	>1.0	>1.0

注:^aNTU 为散射浊度单位。
^bMPN 表示最可能数。
^cCFU 表示菌落形成单位。
^d放射性指标超过指导值,应进行核素分析和评价。

表 0-11 地下水质量非常规指标及限值(GB/ T 14848—2017)

序号	指标	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
毒理学指标						
1	铍/(mg/L)	≤0.000 1	≤0.000 1	≤0.000 2	≤0.06	>0.06
2	硼/(mg/L)	≤0.02	≤0.10	≤0.50	≤2.00	>2.00
3	锑/(mg/L)	≤0.000 1	≤0.000 5	≤0.005	≤0.01	>0.01
4	钒/(mg/L)	≤0.01	≤0.10	≤0.70	≤4.00	>4.00
5	镍/(mg/L)	≤0.002	≤0.002	≤0.02	≤0.10	>0.10



续表 0-11

序号	指标	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
6	钴/(mg/L)	≤0.005	≤0.005	≤0.05	≤0.10	>0.10
7	钼/(mg/L)	≤0.001	≤0.01	≤0.07	≤0.15	>0.15
8	银/(mg/L)	≤0.001	≤0.01	≤0.05	≤0.10	>0.10
9	铊/(mg/L)	≤0.000 1	≤0.000 1	≤0.000 1	≤0.001	>0.001
10	二氯甲烷/(μg/L)	≤1	≤2	≤20	≤500	>500
11	1,2-二氯乙烷/(μg/L)	≤0.5	≤3.0	≤30.0	≤40.0	>40.0
12	1,1,1-三氯乙烷/(μg/L)	≤0.5	≤400	≤2 000	≤4 000	>4 000
13	1,1,2-三氯乙烷/(μg/L)	≤0.5	≤0.5	≤5.0	≤60.0	>60.0
14	1,2-二氯丙烷/(μg/L)	≤0.5	≤0.5	≤5.0	≤60.0	>60.0
15	三溴甲烷/(μg/L)	≤0.5	≤10.0	≤100	≤800	>800
16	氯乙烯/(μg/L)	≤0.5	≤0.5	≤5.0	≤90.0	>90.0
17	1,1-二氯乙烯/(μg/L)	≤0.5	≤3.0	≤30.0	≤60.0	>60.0
18	1,2-二氯乙烯/(μg/L)	≤0.5	≤5.0	≤50.0	≤60.0	>60.0
19	三氯乙烯/(μg/L)	≤0.5	≤7.0	≤70.0	≤210	>210
20	四氯乙烯/(μg/L)	≤0.5	≤4.0	≤40.0	≤300	>300
21	氯苯/(μg/L)	≤0.5	≤60.0	≤300	≤600	>600
22	邻二氯苯/(μg/L)	≤0.5	≤200	≤1 000	≤2 000	>2 000
23	对二氯苯/(μg/L)	≤0.5	≤30.0	≤300	≤600	>600
24	三氯苯(总量)/(μg/L) ^a	≤0.5	≤4.0	≤20.0	≤180	>180
25	乙苯/(μg/L)	≤0.5	≤30.0	≤300	≤600	>600
26	二甲苯(总量)/(μg/L) ^b	≤0.5	≤100	≤500	≤1 000	>1 000
27	苯乙烯/(μg/L)	≤0.5	≤2.0	≤20.0	≤40.0	>40.0
28	2,4-二硝基甲苯/(μg/L)	≤0.1	≤0.5	≤5.0	≤60.0	>60.0
29	2,6-二硝基甲苯/(μg/L)	≤0.1	≤0.5	≤5.0	≤30.0	>30.0
30	萘/(μg/L)	≤1	≤10	≤100	≤600	>600
31	蒽/(μg/L)	≤1	≤360	≤1 800	≤3 600	>3 600
32	荧蒽/(μg/L)	≤1	≤50	≤240	≤480	>480
33	苯并(b)荧蒽/(μg/L)	≤0.4	≤0.4	≤4.0	≤8.0	>8.0
34	苯并(a)芘/(μg/L)	≤0.002	≤0.002	≤0.01	≤0.50	>0.50
35	多氯联苯(总量)/(μg/L) ^c	≤0.05	≤0.05	≤0.50	≤10.0	>10.0



续表 0-11

序号	指标	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
36	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯/($\mu\text{g/L}$)	≤ 3	≤ 3	≤ 8	≤ 300	> 300
37	2,4,6-三氯酚/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.05	≤ 20.0	≤ 200	≤ 300	> 300
38	五氯酚/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.05	≤ 0.90	≤ 9.0	≤ 18.0	> 18.0
39	六六六(总量)/($\mu\text{g/L}$) ^d	≤ 0.01	≤ 0.50	≤ 5.00	≤ 300	> 300
40	γ -六六六(林丹)/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.01	≤ 0.20	≤ 2.00	≤ 150	> 150
41	滴滴涕(总量)/($\mu\text{g/L}$) ^e	≤ 0.01	≤ 0.10	≤ 1.00	≤ 2.00	> 2.00
42	六氯苯/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.01	≤ 0.10	≤ 1.00	≤ 2.00	> 2.00
43	七氯/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.01	≤ 0.04	≤ 0.40	≤ 0.80	> 0.80
44	2,4-滴/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.1	≤ 6.0	≤ 30.0	≤ 150	> 150
45	克百威/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.05	≤ 1.40	≤ 7.00	≤ 17.0	> 14.0
46	涕灭威/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.05	≤ 0.60	≤ 3.00	≤ 30.0	> 30.0
47	敌敌畏/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.05	≤ 0.10	≤ 1.00	≤ 2.00	> 2.00
48	甲基对硫磷/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.05	≤ 4.00	≤ 20.0	≤ 40.0	> 40.0
49	马拉硫磷/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.05	≤ 25.0	≤ 250	≤ 500	> 500
50	乐果/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.05	≤ 16.0	≤ 80.0	≤ 160	> 160
51	毒死蜱/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.05	≤ 6.00	≤ 30.0	≤ 60.0	> 60.0
52	百菌清/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.05	≤ 1.00	≤ 10.0	≤ 150	> 150
53	莠去津/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.05	≤ 0.40	≤ 2.00	≤ 60	> 600
54	草甘膦/($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.1	≤ 140	≤ 700	$\leq 1\ 400$	$> 1\ 400$

注：^a三氯苯(总量)为1,2,3-三氯苯、1,2,4-三氯苯、1,2,5-三氯苯3种异构体加和。
^b二甲苯(总量)为邻二甲苯、间二甲苯、对二甲苯3种异构体加和。
^c多氯联苯(总量)为PCB28、PCB52、PCB101、PCB118、PCB138、PCB153、PCB180、PCB194、PCB206 9种多氯联苯单体加和。
^d六六六(总量)为 α -六六六、 β -六六六、 γ -六六六、 δ -六六六4种异构体加和。
^e滴滴涕(总量)为 o,p' -滴滴涕、 p,p' -滴滴伊、 p,p' -滴滴滴、 p,p' -滴滴涕4种异构体加和。

小 结

绪论主要介绍了水资源及水体污染、水质指标与水质标准等有关知识。通过绪论的学习,使学生了解水质指标、水质标准、水质分析、水质监测、水质评价等概念;理解水体污染的概念及危害;培养学生的环保意识,理解水质监测与评价工作的重要性。

复习思考题

一、填空题

1. 水质监测可分为环境水体监测和水污染源监测。环境水体包括_____和_____,水污染源包括_____,_____、_____等。
2. 水质评价是一个综合性强、涉及面广的新兴学科,它可分为_____评价、_____评价等多种类型。
3. 地球上的水不断地进行着两种循环。一种是_____循环,另一种是_____循环。
4. 水质指标种类繁多,可分为_____指标、_____指标和_____指标三大类。
5. 水体中的有机物常在微生物的参与下进行分解、转化。由于水环境条件和参与的微生物不同,有机物有两种分解形式,即_____分解和_____分解。
6. 我国水资源的特征是_____。
7. 水的类型可划分为_____,_____,_____,_____,_____,_____,_____,_____,_____,_____ 10 类。

二、名词解释

- | | | | | |
|---------|--------|---------|---------|---------|
| 1. 水质监测 | 2. 溶解物 | 3. 工业废水 | 4. 水体污染 | 5. 好氧分解 |
| 6. 碱度 | 7. 悬浮物 | 8. 溶解氧 | 9. 水质标准 | 10. 硬度 |

三、选择题

1. 比较我国饮用水执行标准 2006 版和 2022 版测定指标的异同,以下描述正确的是()。
A. GB 5749—2022 水质指标由 GB 5749—2006 的 106 项调整为 97 项
B. 微生物指标从 4 项增加到 6 项
C. 毒理学指标中有机物指标由 5 项增至 11 项
D. 饮用水消毒剂指标没有变化
2. 到目前为止,我国对 1983 年颁布的《地面水环境质量标准》进行了()次修订。
A. 4 B. 3 C. 2 D. 1
3. 依据我国地表水水域环境功能和保护目标,按功能高低依次划分为()类。
A. 三 B. 四 C. 五 D. 六
4. 依据我国地下水水质现状、人体健康基准值及地下水的的目标,将地下水质量划分为五类。其中规定前()类水可作为生活饮用水。
A. 二 B. 三 C. 四 D. 五

四、问答题

1. 水质监测的主要内容是什么?通过水质监测达到的目的是什么?
2. 水环境中有机物有两种分解形式,即好氧分解和厌氧分解。这两种形式得到的分解产物和它们对水体环境产生的影响有何不同?
3. 什么是水质标准?简述水质标准的作用及分类。



项目一 分析方法概述

任务一 分析方法及其类型

水质分析就是分析天然水、生活用水、生产用水、生活污水、生产废水等各类水体中有哪些成分、含量是多少等,是分析方法、分析技术在水质研究中的应用;是推进美丽中国建设,推进环境污染防治,统筹水资源及水环境治理,使我们的祖国“水更清”的重要学科。

分析化学是专门研究物质化学组成的分析方法及有关理论的一门学科。在分析化学中,根据分析目的及要求,将分析方法分为定性分析和定量分析两大类。定性分析就是鉴定物质有哪些组成成分;定量分析就是测定物质各组成成分的含量。在具体分析工作中,首先必须了解物质的定性组成,即试样的主要成分和主要杂质,必要时要做试样的全分析,然后根据测定要求选择适当的定量分析方法。对于水质分析,一般都事先知道被分析的水样含有什么杂质,工业废水尽管成分复杂,但也可根据生产工艺、所用原材料和产品等情况预测出来。所以,除特殊情况外,水的定性分析较少采用,因此本书主要讨论定量分析的常用分析方法。

根据分析方法的原理及特点,一般将水质分析的定量分析方法分为化学分析和仪器分析两大类。

一、化学分析方法

以物质的化学反应为基础的分析方法称为化学分析法。化学分析法历史悠久,是分析化学的基础,也称为经典化学分析法。主要有滴定分析法和重量分析法。

(一) 滴定分析法

滴定分析法又称容量分析法,这种方法是将一种已知准确浓度的试剂溶液滴加到被测物质的溶液中,直到所加的试剂与被测物质按化学计量关系定量反应完为止,再根据试剂溶液的浓度和用量,计算被测物质的含量。

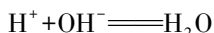
已知准确浓度的试剂溶液称为标准溶液(滴定剂),将滴定剂滴加到被测物质溶液中的过程,叫“滴定”。当加入的滴定剂与被测物质正好按化学计量关系定量反应完时,称为滴定的“化学计量点”(理论终点)。

在实际滴定过程中,利用指示剂在“化学计量点”附近发生颜色突变来确定“滴定终点”。由于指示剂并不一定恰好在“化学计量点”时变色,那么“滴定终点”与“化学计量点”之间可能会存在着一个很小的差别,由此而造成的分析误差称为“滴定误差”,但是如果选择合适的指示剂,该误差是可以忽略的。(详细讲解见酸碱滴定指示剂的选择)

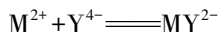
滴定分析法常用来测定一些常量组分,即被测组分的含量一般在1%以上,有时也可以测定微量组分。滴定分析法的准确度较高,一般测定时的相对误差在0.2%左右,而且所需的仪器设备简单,操作简便,测定快速,因此在水质分析中广泛采用,成为水质分析最基本的方法之一。

根据反应类型不同,滴定分析法主要分以下四类:

(1)酸碱滴定法(中和法)。利用酸碱反应进行滴定的方法。常用强酸、强碱作滴定剂来测定酸、碱以及能与酸、碱发生反应的物质的含量,其反应实质如下:



(2)配位滴定法。利用配位反应进行滴定的方法。常用乙二胺四乙酸二钠(EDTA)为滴定剂来测定金属离子,最后产物为配合物。其反应实质如下:

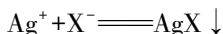


式中, M^{2+} 为二价金属离子; Y^{4-} 为EDTA的阴离子。

(3)氧化还原滴定法。利用氧化还原反应进行滴定的方法。其中包括高锰酸钾法、重铬酸钾法和碘量法等,用来测定一些能被氧化或能被还原的物质。例如:



(4)沉淀滴定法。利用沉淀反应进行滴定的方法。这类滴定中有沉淀产生,如用 AgNO_3 为滴定剂测定卤素离子。



以上四种方法各有其优点及其局限性,当同一物质可选用几种方法进行滴定时,必须根据被测物质的性质、含量、试样组分、是否有干扰离子以及分析结果的准确度要求等多种因素选用适当的测定方法。

化学反应类型较多,能适用于滴定分析的化学反应必须满足以下四个条件:

(1)反应要定量地完成。即被测物质与标准溶液所发生的反应要按一定的化学方程式进行,而且反应必须接近完全(要求达到99.9%),无副反应发生。

(2)反应迅速。要求反应在瞬间完成,对于速度较慢的反应可以通过加热或加催化剂等方法来加快反应速度。

(3)必须要有适当方法指示终点,即可选用适当指示剂。

(4)试液中不能有干扰性杂质。

凡是能完全满足上述要求的反应,都可以用标准溶液直接滴定被测物质。如果反应不能完全符合上述要求,则可采用返滴法、置换法以及间接法等滴定测试。

(二)重量分析法

重量分析法是通过一系列的操作步骤(如反应、沉淀、过滤、烘干、恒重等)使样品中的待测组分转化为另一种纯粹的、固定化学组成的化合物,再通过称量该化合物的质量,从而计算出待测组分的含量。重量分析法一般适用于高含量或中含量组分的测定,准确度比较高,常作为一些测定的仲裁方法,但由于分析过程烦琐、费时间,分析速度较慢,所以在水质常规分析中实际应用不多。

二、仪器分析法

通过用复杂或特殊的仪器设备,测试物质的某些物理或物理化学性质来进行分析的



方法叫仪器分析法,也称为物理或物理化学分析法。仪器分析法是从化学分析法发展变化而来的,起步较晚,在某些方面两种分析方法也没有绝对的界限(如目视比色法、分光光度法,有人把它归类于化学分析,也有人把它归类于仪器分析;有些仪器分析法的样品前期处理仍是化学分析法范畴),但经过近几十年的迅速发展,仪器分析法越来越成熟,确有其独特的地方,有的方法还成为水质分析的最常用方法及标准方法而取代化学分析法。

(一) 仪器分析法的种类

仪器分析法有多种分类方法,一般都是依据测定方法的原理分为光学分析法、电化学分析法、色谱分析法及其他分析法。

1. 光学分析法

光学分析法,又称光谱分析法,是以物质的光学光谱性质为基础的分析方法。它又可细分为吸收光谱和发射光谱(也有人根据测定光学性质时物质所呈状态,分为原子光谱和分子光谱),具体如下:

(1) 比色法。比较溶液颜色来确定物质含量的分析方法。实际上就是利用分子状态的物质对复合光的综合吸收效果来确定物质的含量。该方法正逐渐被分光光度法取代。

(2) 分光光度法。根据物质(分子或原子)对特定波长的光选择性吸收的程度来确定物质含量的分析方法。包括可见紫外分光光度法、红外分光光度法、原子吸收分光光度法。

(3) 原子发射光谱法。根据物质中的原子被激发所产生特征光谱的波长及强度进行定性定量分析。

2. 电化学分析法

电化学分析法是以电化学理论和物质的电化学性质为基础建立起来的分析方法。通常是将试样溶液作为化学电池的一个组成部分,研究和测量溶液的电物理量(电极电位、电导、电量、电流等),从而测定被测物的含量。具体分为下列方法:

(1) 电位分析法。包括直接电位法、电位滴定法。

(2) 电导分析法。包括直接电导法、电导滴定法。

(3) 库仑分析法。包括库仑滴定法、控制电位库仑法。

(4) 极谱分析法。包括经典极谱法、示波极谱法、阳极溶出极谱法。

3. 色谱分析法

色谱分析法,又称层析法,是根据试样在不同的两相中做相对运动时,由于不同的物质在两相中分配系数不同,从而达到分离效果,然后再用检测器测定各组分含量的分析方法。具体分为以下几种:

(1) 气相色谱分析法。流动相为气体,固定相为固体或液体。

(2) 液相色谱分析法。流动相为液体,固定相为固体或液体。

(3) 纸色谱分析法。以纸作载体,以纸纤维吸附的水分为固定相,样品点在纸条的一端,用流动相展开,从而使样品组分分离,然后进行定性定量分析。

4. 其他分析法

以上三类分析法是应用最广的仪器分析方法。随着仪器分析的迅速发展,又研制出

许多新的或有特殊用途的仪器分析方法。如差热分析法、质谱分析法、离子探针、X-射线荧光分析法、核磁共振、电子能谱等。这些分析方法,由于其用途特殊或仪器价格昂贵,一般普及率不太高。

(二) 仪器分析法的特点

一般来说,相对于化学分析法,仪器分析法有以下特点。

1. 灵敏度高

仪器分析法的灵敏度比化学分析法的灵敏度高得多,其检出量一般都在 ppm(百万分率)、ppb(十亿分率)级,甚至更高。因此,仪器分析法主要适用于微量成分的测定,如水中的铬、汞、铅、氰化物等毒理学指标的测定。

由于仪器分析法灵敏度高,外界因素有较小的变动,测定结果就会有很大的变化,导致相对误差较大,所以仪器分析法一般不适于常量、高含量分析。不过,随着科学技术的发展,也生产出了一些灵敏度不是太高,而自动化程度较高,用于常量分析的仪器。如自动电位滴定仪,通过事先调整好仪器,就可以自动滴定,不再需要人工判断终点。

2. 操作简便、分析速度快

由于仪器分析法的自动化程度较高,分析过程中的很多步骤由仪器自动完成,不需要人工参与,因此分析速度快,适用于批量试样的分析及连续分析。加上现在的很多仪器都带有自动记录、数字显示、微机技术,可以出测试结果,分析速度进一步加快。不过,一般仪器分析测试前往往需要做许多准备工作。例如仪器的调试和校正、标准曲线的制作等。这对于单个或少数试样的测试来讲,不但分析速度快体现不出来,反而显得复杂烦琐。所以,仪器分析特别适合于批量试样的测定。

3. 选择性好

色谱法、极谱法、原子吸收光谱法、分光光度法、离子电极法等几乎所有的仪器分析法都具有很好的选择性。只要调整到适当的条件,一些其他组分一般不干扰测定,这对于分析组成复杂的试样非常方便。如:水样有颜色时,很难用指示剂测定 pH 值,而用酸度计就很容易测定;测定水样中的铜、锌、铅、镉时,若用原子吸收法测定,不用分离试样,只要选取不同的灯就可以一一测出;若用极谱法测定则更容易,只要选定不同的电位,即可一一测出。

当然,仪器分析法选择性高,也不是说它本身能排除所有的干扰,实际工作中,在试样预处理时,也往往采用分离方法、掩蔽手段与之配合。

4. 仪器设备较复杂、价格昂贵

仪器分析法都需要使用特殊的、专用和成套的仪器设备,许多仪器结构复杂、价格昂贵。仪器设备需要安装调试、校正和维修保养,有的仪器对于使用条件要求较高,有的甚至要求恒温恒湿,有的则要求高纯的气体。正因为这样,使得某些仪器分析方法的普及推广使用受到了一定的限制。此外,仪器分析法对分析测试人员的要求也相应地较高,不但应具有化学分析知识,而且应了解仪器原理、适用范围、使用要求,掌握操作技能,并有一定的仪器维护保养能力。

随着电子技术的发展,制造仪器的成本降低,仪器的价格也相对下降,仪器的智能化程度也越来越高,使用方法也越来越简单,这对仪器分析的普及非常有利。



尽管仪器分析法有很多的优点,是分析测试的一个发展方向,但是,目前它还不可能完全取代化学分析法。因为相当一部分仪器分析还需要化学分析方法进行预处理(如消化、富集、稀释、排除干扰等),同时在建立测定方法的过程中,还需要用经典的化学方法验证、制备标准等。另外,一些大型仪器还无法在基层监测站普及。在实际分析测试工作中,应该根据具体情况和要求选用适当的方法。

考虑到学时的要求及学生可能从事的工作岗位,本书将主要讲解水质分析常用的、基本的分析方法。

任务二 标准溶液

水质分析方法大多是相对测量,即以某一标准物质为基准,测试计算被测组分的含量。而在具体分析时,为了便于使用,将标准物质配制成一定浓度的溶液,这种已知准确浓度的溶液称为标准溶液。因此,水质分析离不开标准溶液,否则便无法根据测量值计算分析结果。

一、标准溶液浓度表示方法

浓度用来表示单位体积溶液中所含溶质的多少,它的表示方法有很多种。为了便于计算,标准溶液的浓度一般采用以下两种表示方法。

(一) 物质的量浓度

物质的量浓度,是指单位体积溶液中含溶质的物质的量,用 C_B 表示。

$$C_B = \frac{n_B}{V}, n_B = \frac{m}{M_B}$$

式中 n_B ——溶质 B 的物质的量;

V ——溶液的体积;

m ——溶质的质量;

M_B ——物质 B 的摩尔质量。

“物质的量浓度”可简称为“浓度”,其法定计量单位为 mol/m^3 ,常用的化学计量单位是 mol/L 或 mmol/L 。

在使用浓度时,必须指明基本单元。基本单元可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子,或是这些粒子的特定组合。

例如,对于 H_2SO_4 ,基本单元可以是 H_2SO_4 ,也可以是 $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$;对于 Na_2CO_3 ,基本单元可以是 Na_2CO_3 ,也可以是 $\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3$;等等。

对同一种物质 B ,若设其基本单元分别为 B 和 bB (b 可以是整数或分数),则该物质在两种情况下的摩尔质量、物质的量、物质的量浓度之间有如下关系:

$$M(bB) = bM(B), n(bB) = \frac{1}{b}n(B), C(bB) = \frac{1}{b}C(B)$$

例如:对于硫酸,当分别以 H_2SO_4 和 $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ 为基本单元时,则有

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

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

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

此时, $C(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 若等于 1 mol/L , 表示每升 H_2SO_4 溶液中含有 $98.08 \text{ g}(\text{H}_2\text{SO}_4)$; 而 $C\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 等于 1 mol/L , 则表示每升 H_2SO_4 溶液中含有 $49.04 \text{ g}(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。

(二) 滴定度

滴定度是指每毫升标准溶液相当于被测物质的质量(g/mL 或 mg/mL), 用 $T_{A/B}$ 表示, 其中 B 代表滴定剂的分子式, A 代表被测物质的分子式。

例如每毫升 H_2SO_4 溶液可与 0.0400 g NaOH 作用, 则此 H_2SO_4 溶液对 NaOH 的滴定度为 $T_{\text{NaOH}/\text{H}_2\text{SO}_4}=0.0400 \text{ g/mL}$ 。若知道滴定度, 再乘以滴定中用去的标准溶液的体积, 就可以直接得到被测物质的质量, 即

$$m_A = T_{A/B} V_B$$

式中 V_B ——滴定中用去的标准溶液的体积, mL 。

【例 1-1】 用 $T_{\text{Cl}^-/\text{AgNO}_3}=0.0005 \text{ g/mL}$ 的 AgNO_3 标准溶液, 滴定某水样中 Cl^- 含量时, 取水样 50.00 mL , 以 K_2CrO_4 为指示剂滴定至终点, 耗用 AgNO_3 标准溶液 6.30 mL , 试计算水样中 Cl^- 的含量(以 g/L 表示)。

$$\text{解: } C(\text{Cl}^-) = \frac{0.0005 \times 6.30}{50.00} \times 1000 = 0.063 (\text{g/L})$$

水样中 Cl^- 的含量为 0.063 g/L 。

二、标准溶液的配制

2016 年 10 月 13 日, 国家质量监督检验检疫总局发布并于 2017 年 5 月 1 日实施《化学试剂 标准滴定溶液的制备》(GB/T 601—2016), 同时废止《化学试剂 标准滴定溶液的制备》(GB/T 601—2002)。

标准溶液的配制, 通常有两种方法, 即直接配制法和间接配制法(又称标定法)。

(一) 直接配制法

准确称取一定量的物质, 用适量的水溶解后移入容量瓶, 用水稀释至刻度, 然后根据称取物质的质量和容量瓶的体积即可算出该标准溶液的准确浓度。

例如, 欲配制 0.1000 mol/L 的 NaCl 标准溶液 100 mL , 则必须准确称量经干燥的分析纯 NaCl 5.845 g , 用少量的水溶解后, 移入 100 mL 容量瓶中并用水稀释至刻度。

许多化学试剂由于不纯或不易提纯, 或在空气中不稳定等原因, 不能准确称取其真实质量, 所以要想用直接配制法配制标准溶液, 化学试剂应满足以下条件:



(1) 纯度高, 杂质含量应低于滴定分析所允许的误差限度, 一般要求用分析纯和优级纯的试剂。

(2) 物质组成应与化学式完全相符。若含结晶水(如草酸 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等), 其结晶水的含量也应该与化学式完全相符。

(3) 性质稳定, 不论是固体或液体, 在保存时都稳定不变。如在加热干燥时不分解, 称量时不吸湿, 也不吸收空气中的 CO_2 , 不被氧化等。

凡符合上述条件, 能用直接配制法配制标准溶液的物质, 在分析化学中常称作“基准物质”或“基准试剂”。实际使用时, 如果有几种基准试剂可选用, 一般选择摩尔质量较大的那种, 这样称量的质量相对较大, 可以减少称量的相对误差。

(二) 间接配制法

有一些化学试剂不符合基准试剂的要求, 如 NaOH 易吸水和 CO_2 、浓 HCl 溶液易挥发、 KMnO_4 和 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 不易提纯且见光易分解等, 但在分析化学中又常常用到这些物质的标准溶液。对于这类物质一般采用间接配制法。具体做法是: 首先通过计算配制接近所需浓度的溶液, 然后再用基准试剂去校准它的准确浓度, 这种利用基准物质来确定标准溶液准确浓度的操作过程称为“标定”。

任务三 滴定分析的计算

各种水质分析方法数据计算, 以滴定分析法的计算最为典型, 涉及的计算问题最多, 也最为普遍, 如溶液的配制、标定以及测定结果的计算等。本任务主要集中讲解滴定分析

的计算, 其他分析方法的计算较简单或比较特殊, 将在相应任务中介绍。

一、配制溶液的计算

【例 1-2】 配制浓度 $C(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ 为 $0.050\ 0\ \text{mol/L}$ 的溶液 $500.00\ \text{mL}$, 需称取 Na_2CO_3 多少克?

解: $C(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.050\ 0\ \text{mol/L}$ $V = 500.00\ \text{mL} = 0.500\ \text{L}$

$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106.00\ \text{g/mol}$

由 $m = n(\text{Na}_2\text{CO}_3)M(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = C(\text{Na}_2\text{CO}_3)V$

得: $m = C(\text{Na}_2\text{CO}_3)VM(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.050\ 0 \times 0.500 \times 106.00 = 2.65(\text{g})$

【例 1-3】 准确称取 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $2.451\ 5\ \text{g}$ 溶于水配成 $500\ \text{mL}$ 溶液, 求 $C(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ 。

解: $V = 500\ \text{mL} = 0.500\ \text{L}$ $m = 2.451\ 5\ \text{g}$

$M(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{1}{6}M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{1}{6} \times 294.18 = 49.03(\text{g/mol})$

由 $n(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{m}{M(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}$

$C(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{n(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{V}$