



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国水利水电高职教研会推荐教材

水质监测与评价

(第2版)

张尧旺 主编



黄河水利出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国水利水电高职教研会推荐教材

水质监测与评价

(第2版)

主 编 张尧旺
副主编 茹玉英 于 玲 张永平
主 审 李党生 何晓科

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是按照国家对高职高专人才培养的规格要求及高职高专教学特点编写完成的。本书对水质监测与评价的基本知识、基本原理及基本实验作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第一章到第九章,主要内容有:水资源与水体污染、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、生化需氧量的测定、氨氮的测定、六价铬的测定等 20 个实验。

本书可作为高职高专院校水文与水资源专业、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,同时可供从事水文水资源、水环境等相关行业的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

水质监测与评价/张尧旺主编.—2版.—郑州:黄河水利出版社,2008.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-80734-375-2

I. 水… II. 张… III. ①水质监测-高等学校-教材
②水质分析-高等学校-教材 IV. X832

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 133006 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwp@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 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:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:16

字数:370 千字

印数:3 101—6 200

版次:2002 年 9 月第 1 版

印次:2008 年 9 月第 2 次印刷

2008 年 9 月第 2 版

定价:30.00 元

再版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据《国务院关于大力发展职业教育的决定》、教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等文件精神,以及教育部对普通高等教育“十一五”国家级规划教材建设的具体要求组织编写的。

本书是在全国水利水电类高职高专统编教材《水质监测与评价》的基础上,根据该课程目前发展的需求并结合该教材在使用中发现的问题经过修订、补充完善而成的。

本次修订,在绪论中对“水质指标与水质标准”进行了优化补充,将最新的水质标准引入教材;在第七章水质监测中增加了“水质自动监测”一节内容;在第八章水质评价中对“水质评价的方法、步骤”等内容作了进一步的细化,并增加了例题。除此之外,对第二、三、四、五、九章的内容也作了不同程度的补充、调整,并在各章后增加了小结与部分习题;对教学实验的内容也作了适当补充。本次修订,特邀了一些企事业单位的技术骨干参加了本书的编写与修订工作,把他们丰富的生产实践经验融入到教材中来,突出了实践性和应用性,使本书更加符合高职高专教学要求。

本书编写人员及编写分工如下:黄河水利职业技术学院张尧旺(绪论,第三、四章),黄河水利委员会黄河水利科学研究院茹玉英(第一、五章),黄河水利职业技术学院王雪平(第二章),黄河水利委员会上游水文水资源局张世军(第六章,第七章第五、六节),杨凌职业技术学院苏莹(第七章第一、二、三、四节),黄河水利委员会水文局张永平(第八章),安徽水利水电职业技术学院于玲(第九章),黄河水利职业技术学院魏家红(实验室常识简介,教学实验一~教学实验四,附录),黄河水利委员会河南水文水资源局张小军(教学实验五~教学实验二十)。本书由张尧旺担任主编并负责全书统稿,由茹玉英、于玲、张永平担任副主编,由黄河水利职业技术学院李党生、山东水利职业学院何晓科担任主审。另外,很多同仁对本次修订工作提出了许多宝贵意见,书中引用的各种资料也未能一一列出,在此表示衷心的感谢。

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

2008年5月

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,报水利部批准,用中央财政安排的“支持示范性职业技术学院建设”项目经费组织编写的水利水电类全国统编教材。

本教材主要是按照高职高专水文水资源专业指导性教学计划和“水质监测与评价”课程教学基本要求编写的。为了加强实践性教学,突出高职高专教学的特点,除了介绍必要的理论知识,还编写了大量的教学实验内容。全书主要内容有:水资源与水体污染、水质指标和水质标准;水质分析测试方法;水质监测;水质评价;水质预测;教学实验等。

本书由黄河水利职业技术学院张尧旺(绪论,第五、九章)、朱惠斌(第三、六章)、魏家红(第四章、教学实验)和黄河流域水环境监测管理中心吴青(第一、八章)、渠康(第二、七章)共同编写。全书由张尧旺任主编,吴青任副主编,黄河水利职业技术学院李党生副教授任主审。在编写过程中,得到有关部门和兄弟单位的大力支持,在此表示衷心感谢。

本书主要作为高职高专水文水资源专业、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。

由于编者水平有限,时间仓促,错误和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 6 月

目 录

再版前言

前 言

绪 论	(1)
第一节 水资源及水体污染	(1)
第二节 水质指标和水质标准	(7)
小 结	(19)
复习思考题	(19)
第一章 分析方法概述	(20)
第一节 分析方法及类型	(20)
第二节 标准溶液	(24)
第三节 滴定分析的计算	(26)
第四节 误差及其表示方法	(29)
第五节 分析结果的数据处理	(34)
小 结	(38)
复习思考题	(38)
第二章 酸碱滴定法	(40)
第一节 电解质溶液基础	(40)
第二节 酸碱指示剂	(45)
第三节 酸碱滴定曲线和指示剂的选择	(47)
第四节 酸碱滴定在水质分析中的应用	(53)
小 结	(56)
复习思考题	(56)
第三章 配位滴定法	(58)
第一节 配位化合物	(58)
第二节 影响配位滴定的因素及消除干扰方法	(61)
第三节 金属指示剂	(64)
第四节 配位滴定方式及其应用	(66)
小 结	(70)
复习思考题	(70)
第四章 沉淀滴定法	(71)
第一节 难溶电解质的溶度积及分步沉淀	(71)
第二节 银量法	(73)
小 结	(77)

复习思考题	(77)
第五章 氧化还原滴定法	(78)
第一节 氧化还原反应的方向及影响因素	(78)
第二节 影响氧化还原反应速度的因素	(80)
第三节 氧化还原终点的确定	(81)
第四节 氧化还原滴定法在水质分析中的应用	(83)
小 结	(86)
复习思考题	(86)
第六章 仪器分析法	(87)
第一节 分光光度法	(87)
第二节 原子吸收分光光度法	(96)
第三节 电位分析法	(102)
第四节 电导分析法	(110)
第五节 气相色谱法	(111)
小 结	(117)
复习思考题	(117)
第七章 水质监测	(119)
第一节 水质监测站网	(119)
第二节 地表水水质监测	(121)
第三节 地下水水质监测	(134)
第四节 水污染监测与调查	(136)
第五节 水质自动监测	(140)
第六节 水质资料整编	(144)
小 结	(145)
复习思考题	(145)
第八章 水质评价	(146)
第一节 概 述	(146)
第二节 地表水水质评价	(148)
第三节 水体质量综合评价	(158)
第四节 地下水水质评价	(163)
小 结	(166)
复习思考题	(166)
第九章 水质预测	(168)
第一节 概 述	(168)
第二节 水质数学模型	(169)
第三节 水质预测	(184)
小 结	(194)
复习思考题	(195)

教学实验	(196)
实验室常识简介	(196)
实验一 分析天平称量练习	(204)
实验二 盐酸标准溶液的配制和标定	(206)
实验三 色度的测定	(208)
实验四 浊度的测定	(209)
实验五 水中总碱度的测定	(210)
实验六 水中总硬度的测定	(212)
实验七 氯化物的测定——莫尔法	(213)
实验八 高锰酸盐指数的测定	(214)
实验九 化学需氧量的测定——重铬酸钾法	(216)
实验十 溶解氧的测定——碘量法	(218)
实验十一 五日生化需氧量的测定	(220)
实验十二 硫化物的测定——碘量法	(223)
实验十三 总铁的测定——邻二氮菲分光光度法	(224)
实验十四 氨氮的测定——纳氏试剂光度法	(226)
实验十五 亚硝酸盐氮的测定	(227)
实验十六 硝酸盐氮的测定——酚二磺酸比色法	(230)
实验十七 挥发酚的测定——4-氨基安替比林分光光度法	(232)
实验十八 水中六价铬的测定——二苯碳酰二肼比色法	(235)
实验十九 pH值的测定——电位法	(237)
实验二十 水中微量氟的测定	(238)
附 录	(240)
附录一 难溶化合物的溶度积常数(18~25℃)	(240)
附录二 标准电极电势(298.15 K)	(241)
附录三 国标原子量表	(243)
附录四 常用酸碱溶液的密度和浓度	(245)
附录五 常用的基准试剂	(245)
参考文献	(246)

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,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数量,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 and 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。

第一节 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%。由于开发困难或技术、经济的限制,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	0.0008	0.03
8. 河床水	14 880	2.12	0.0002	0.006
9. 生物水	51 000	1.12	0.0001	0.003
10. 大气水	51 000	12.90	0.001	0.04

我国水资源总量为28 124亿 m^3 ,其中河川径流27 115亿 m^3 ,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2 350 m^3 ,只有世界人均占有水量的27%。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。在自然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,其粒径在 $10^{-7} \sim 10^{-9}$ m 之间。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浑浊。

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 天然水中溶有的离子概况

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 ⁺	HCO ₃ ⁻	由几至几万	III	Cu ²⁺	HS ⁻	小于 1/10	
	K ⁺	Cl ⁻			Zn ²⁺	BO ₂ ⁻		
	Ca ²⁺	SO ₄ ⁻			Ni ²⁺	NO ₂ ⁻		
	Mg ²⁺	HSiO ₃ ⁻			Co ²⁺	Br ⁻		
II	NH ₄ ⁺	F ⁻	由十分之几至几		Al ³⁺	I ⁻		
	Fe ²⁺	NO ₃ ⁻			HPO ₄ ²⁻			
	Mn ²⁺	CO ₃ ⁻			H ₂ PO ₄ ⁻			

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的常见污染物。

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,而且是其中最活跃的部分。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。

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、粘胶纤维厂等
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、金属处理丙烯酸合成、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、粘胶纤维厂等
亚硫酸盐	造纸厂、粘胶纤维厂等
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

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。现将各种杂质即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,对水体或环境不会发生什么危害。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;反之有机污染量多,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,这时水体会由于溶解氧含量下降,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

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

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,其污染的特征是:

(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,例如汞就是这样。河流泥沙对汞有很强的吸附能力,往往是含沙量越高,河水的含汞量也越高。

(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的浓缩富集作用,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 ~ 0.1 mg/L 之间,在浮游生物中约为 0.1 mg/kg,从贝壳类动物的检出量一般为 1 ~ 10 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 ~ 100 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 ~ 10 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试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。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。

第二节 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,如浑浊度、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、浑浊度、色度、臭味、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 值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。地面水中,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 $103\sim 105\text{ }^\circ\text{C}$ 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 $105\sim 110\text{ }^\circ\text{C}$ 下蒸干后,所得到的矿物质残渣的质量,单位:mg/L。因为在 $105\sim 110\text{ }^\circ\text{C}$ 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减低。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。生化需氧量试验规定在温度为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 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。在应用中时间太长有困难,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 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 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、格兰氏阴性的无芽胞杆菌。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的关注。我国自 1956 年颁布《生活饮用水卫生标准(试行)》直至 2007 年实施《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的 50 年间,共进行了 5 次修订,水质指标项目不断增加。

表 0-4 是 2007 年 6 月 18 日国家标准委与卫生部联合发布的,并于 2007 年 7 月 1 日实施的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的主要内容。本标准适用于城乡各类集中式供水的生活饮用水,也适用于分散式供水的生活饮用水。生活饮用水水质应符合表 0-4(1)和表 0-4(2)卫生要求;集中式供水出厂水中消毒剂限值、出厂水和管网末梢水中消毒剂余量均应符合表 0-4(2)要求;小型集中式供水和分散式供水因条件限制,水质部分指标可暂按照表 0-4(4)执行,其余指标按表 0-4(1)、表 0-4(2)和表 0-4(3)执行。

表 0-4(1) 水质常规指标及限值

指标	限值
1. 微生物指标 ^①	
总大肠菌群(MPN/100 mL 或 CFU/100 mL)	不得检出
耐热大肠菌群(MPN/100 mL 或 CFU/100 mL)	不得检出
大肠埃希氏菌(MPN/100 mL 或 CFU/100 mL)	不得检出
菌落总数(CFU/mL)	100
2. 毒理指标	
砷(mg/L)	0.01
镉(mg/L)	0.005
铬(六价)(mg/L)	0.05
铅(mg/L)	0.01
汞(mg/L)	0.001
硒(mg/L)	0.01