

全国水利水电类高职高专统编教材

CHENGSHI SHUICHULI
城市水处理
工程技术 GONGCHENG JISHU

陈亚萍 徐欣 主编



 黄河水利出版社

全国水利水电类高职高专统编教材

城市水处理工程技术

主编 陈亚萍 徐 欣
主审 张朝晖

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是全国水利水电类高职高专统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的《城市水处理工程技术》课程教学大纲编写完成的。本书根据现阶段社会对专业技术人才的需求及高职教育人才的培养模式,结合近年来我国水处理行业相关的研究成果,对水处理的基本知识、基本原理及水处理技术作了全面系统的介绍。全书共分3篇13章。第一篇,水处理概论,主要内容有:水质与水质标准、水处理方法概论;第二篇,给水处理技术,主要内容有:混凝、沉淀和澄清、过滤、消毒、城市给水处理系统;第三篇,污水处理技术,主要内容有:污水的物理处理、活性污泥法、好氧生物膜法、污水的自然生物处理、污泥处理、污水处理工艺系统。

本书主要作为高职高专院校城市水利、给水排水工程及环境工程专业的教学用书,同时也可作为相关专业教学的参考用书以及给水处理厂和污水处理厂一线工作人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

城市水处理工程技术/陈亚萍,徐欣主编. —郑州:黄河水利出版社,2008. 8

全国水利水电类高职高专统编教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 370 - 7

I. 城… II. ①陈… ②徐… III. 给排水系统 - 水处理 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. TU991. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 114032 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail:hhsllwlp@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:hhsllcbs@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:17.5

字数:400千字

印数:1—4 100

版次:2008年8月第1版

印次:2008年8月第1次印刷

定价:31.00元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作意见》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,由全国水利水电高职教研会组织编写的水利水电类全国统编教材。

随着我国城市化进程的加快,城市水资源与水环境问题日益突出,社会对城市水利建设与管理技术人才的需求与日俱增,城市水利专业随之应运而生,其招生规模逐年扩大。为了满足我国高职院校城市水利专业教学的需要,全国水利水电高职教研会于 2007 年 6 月在郑州召开了关于城市水利专业主干课程教材建设会议,安排了由全国 6 所高职院校参与的《城市水处理工程技术》教材的编写工作。

根据现阶段社会对专业技术人才的需求及高职教育人才的培养模式,本着“特色明显、技术实用、易教易学”的原则,在有机整合相关课程内容的基础上,结合近年来我国水处理行业的相关研究成果,构建了新的课程体系和教学内容。本教材共分 3 篇 13 章:第一篇、水处理概论(2 章);第二篇,给水处理技术(5 章);第三篇,污水处理技术(6 章)。

本教材在编写过程中,对于基本概念和作用机理的介绍力求简明扼要,对部分繁杂的数学推导过程、物理化学过程进行了精简,重点突出了水处理实用技术;同时介绍了国内外水处理工程的新技术和新工艺,如我国第三代城市饮用水净化工艺。为了加深理解、巩固记忆和提高,书中编写了相当数量的插图,每一设计单元尽可能增加较多的计算示例,供学生在学习中参考。

本教材是我国高职院校城市水利、给水排水工程及环境工程专业教学用书,同时也可作为相关专业教学过程的参考书以及给水处理厂和污水处理厂一线工作人员的参考资料。

本书编写分工为:绪论、第三章、第四章、第五章、第十三章,由杨凌职业技术学院陈亚萍编写;第一章、第二章、第七章,由湖北水利水电职业技术学院徐欣编写;第六章,由安徽水利水电职业技术学院胡书民编写;第八章、第九章,由重庆水利电力职业技术学院马焕春编写;第十章、第十一章,由山西水利职业技术学院张晓斌编写;第十二章,由山东水利职业技术学院刘帅编写。本书由陈亚萍、徐欣担任主编,由陈亚萍统稿,杨凌职业技术学院张朝晖教授任主审。

在编写过程中,力求尽善尽美,但由于时间仓促,编者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,敬请广大师生、同行批评指正。

作 者

2008 年 5 月

目 录

前 言

绪 论 水资源与水环境	(1)
-------------------	-----

第一篇 水处理概论

第一章 水质与水质标准	(5)
第一节 水中杂质的种类与特点	(5)
第二节 水体自净	(12)
第三节 给水水质标准	(18)
第四节 污水排放标准	(22)
小 结	(23)
思考题与习题	(23)
第二章 水处理方法概论	(24)
第一节 给水处理的基本方法与系统	(24)
第二节 污水处理的基本方法与系统	(26)
小 结	(27)
思考题与习题	(28)

第二篇 给水处理技术

第三章 混 凝	(29)
第一节 胶体稳定性	(29)
第二节 胶体的凝聚和絮凝机理	(32)
第三节 混凝剂和助凝剂	(34)
第四节 影响混凝效果的主要因素	(41)
第五节 混凝过程	(43)
第六节 混凝设施	(48)
小 结	(56)
思考题与习题	(57)
第四章 沉淀和澄清	(58)
第一节 悬浮颗粒在静水中的沉淀	(58)
第二节 沉淀池的沉淀原理	(60)
第三节 沉淀池的类型及其适用性	(64)
第四节 斜管(板)沉淀池	(73)
第五节 澄清池	(82)

小 结	(87)
思考题与习题	(88)
第五章 过 滤	(89)
第一节 滤池的工作过程和类型	(89)
第二节 过滤原理	(91)
第三节 滤 料	(94)
第四节 快滤池反冲洗配水系统和承托层	(97)
第五节 滤池的冲洗	(101)
第六节 普通快滤池的设计	(106)
第七节 其他形式滤池	(108)
小 结	(117)
思考题与习题	(117)
第六章 消 毒	(119)
第一节 氯消毒	(119)
第二节 其他消毒方法	(124)
小 结	(125)
思考题与习题	(125)
第七章 城市给水处理系统	(126)
第一节 给水处理工艺系统的选择原则	(126)
第二节 一般地表水处理系统	(128)
第三节 地下水除铁、除锰和除氟	(129)
第四节 特种水处理系统	(137)
第五节 给水厂工艺设计实例	(144)
小 结	(153)
思考题与习题	(154)

第三篇 污水处理技术

第八章 污水的物理处理	(155)
第一节 格 栅	(155)
第二节 均和调节	(159)
第三节 沉淀池	(161)
第四节 沉砂池	(169)
小 结	(172)
思考题与习题	(172)
第九章 活性污泥法	(174)
第一节 活性污泥法的基本流程和活性污泥性质	(174)
第二节 活性污泥法的净化机理	(177)
第三节 曝气方法与曝气池的构造	(179)

第四节	活性污泥法的运行方式	(183)
第五节	活性污泥法处理系统的工艺设计实例	(186)
第六节	污水的生物除磷除氮技术	(191)
小 结	.....	(198)
思考题与习题	.....	(198)
第十章	好氧生物膜法	(200)
第一节	生物膜法及其净化机理	(200)
第二节	生物滤池	(202)
第三节	生物转盘	(211)
第四节	生物接触氧化法	(216)
第五节	生物膜法的运行管理	(221)
小 结	.....	(223)
思考题与习题	.....	(224)
第十一章	污水的自然生物处理	(225)
第一节	稳定塘	(225)
第二节	土地处理	(229)
小 结	.....	(233)
思考题与习题	.....	(234)
第十二章	污泥处理	(235)
第一节	概 述	(235)
第二节	污泥的脱水与干化	(238)
第三节	污泥的稳定处理	(243)
第四节	污泥的综合利用与最终处置	(245)
小 结	.....	(247)
思考题与习题	.....	(248)
第十三章	污水处理工艺系统	(249)
第一节	污水处理系统工艺设计	(249)
第二节	城市污水的深度处理与回用	(265)
小 结	.....	(267)
思考题与习题	.....	(268)
参考文献	.....	(269)

绪论 水资源与水环境

一、水资源的基本含义

水是人类生产和生活不可缺少的物质,是生命的源泉,也是工农业生产和经济发展不可取代的自然资源。

水资源是指人类长期生存、生活和生产过程中所需要的各种水,既包括了数量和质量定义,又包括了使用价值和经济价值。从水资源的定义可知,其含义很广。从广义来讲是指人类能够直接或间接使用的各种水和水中的物质,作为生活资料和生产资料的天然水,在生产过程中具有经济价值和使用价值的水都可为水资源;从狭义上讲,就是人类能够直接使用的淡水,这部分水主要指江、河、湖泊、水库、沼泽及渗入地下的地下水。目前,人类把它作为满足生活、农业、工业等方面的用水。不论从广义上还是狭义上讲,水资源都包含着“量与质”的要求,不同的用水对质与量有不同的要求,其在一定的条件下可以相互转化。

二、水循环

地球上的水时时刻刻都在运动中,而且可以相互转换。根据循环的方式可以分为自然循环和社会循环。我们生存的地球,总表面积为 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$,其中海洋面积占全球面积的 70.8%,陆地面积约占 29.2%。海洋水储量占地球水总量的 96.5%,陆地水量为 3.5%。如果没有水的运动,陆地的水很快就会枯竭。正是由于地心引力及太阳的辐射作用,使得各种状态的水从海洋、江河、湖泊、沼泽、水库及陆地表面的植被中,蒸发、散发变成水汽,上升到空中,一部分被气流带到其他区域,在一定条件下凝结,通过降水的形式落到海洋或陆地上;一部分滞留在空中,待条件成熟,降到地球表面。降到陆地上的水,在地心引力的作用下,一部分形成地表径流流入江河,最后流入海洋,还有一部分渗入地下,形成地下径流,另外,还有一小部分又重新蒸发回到空中。这种现象称之为水的自然循环(见图 0-1)。

水的社会循环是指人们在生活和生产过程中需要天然水体中的水,作为人类维持生命活动的基础物质以及生产过程的必需物质。这部分水,经过人们正常生活和生产过程使用后又重新排入自然环境中,这种循环方式即为社会循环(见图 0-2)。其主要是通过城市的供排水管网来实现,即人们通过城市供水系统的取水设施从水源中取出可用水,经过适当处理后,送入千家万户及工业生产的过程中,经使用后,水质受到不同程度的污染,后又经过城市排水管网输送到指定位置,经处理后排回自然水体。

三、水资源

地球表面的 70.8% 以上被水覆盖,总水量约为 $1.39 \times 10^9 \text{ km}^3$,其中海洋水占 96.5%,陆

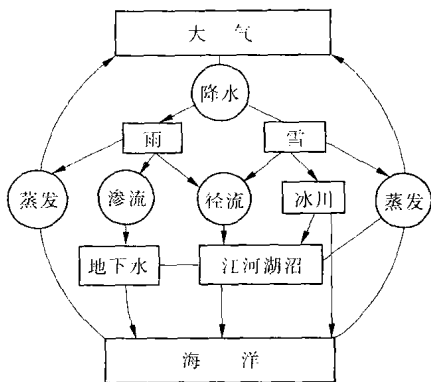


图 0-1 水的自然循环

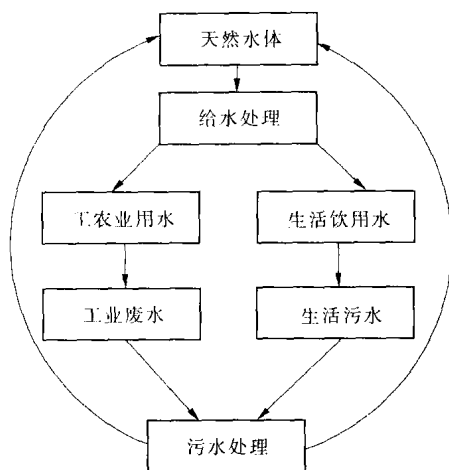


图 0-2 水的社会循环

地水中的地下水占 1.69%，冰川及永久积雪占 1.74%，湖泊水、水库水及沼泽水占 0.0138%，江河水占 0.0002%，大气水占 0.001%。其中在水的总储量中，咸水占 97.5%，淡水占 2.5%，而且仅有的淡水中又有 69.5% 为固态水，主要储存在高山及永冻层内，南北两极的储量最多，另一部分为地下水，占淡水的 30%。

(一) 我国水资源概况

我国国土面积为 960 万 km^2 ，由于地域辽阔，降水量地区分布不均匀，因此造成西北地区干旱，东南地区多雨，山区降雨多于平原，年降水量由西北内陆向东南沿海递增的趋势特点。

据统计，我国平均年降水量为 $6.2 \times 10^{13} \text{m}^3$ ，平均年降水深度 648 mm，与全世界陆地平均降水深度 798 mm 相比，小于世界平均降水量，也小于亚洲平均年降水深度 741 mm。多年河川年径流量为 $2.71 \times 10^{13} \text{m}^3$ ，多年平均地下水资源量 $8.29 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，扣除两者重复量，全国多年平均年水资源量为 $2.81 \times 10^{13} \text{m}^3$ 。从总淡水量上看，我国的水资源并不算缺乏，但我国人口众多，人均占有水资源量仅为 2360 m^3 ，相当于世界人均占有量的 1/4，美国的 1/6，巴西和俄罗斯的 1/11，加拿大的 1/50。人均占有水量为世界的 121 位，属贫水国。

(二) 我国水资源的特点

1. 水资源地区分布不均匀

从地表水资源看，东南地区丰富，西北地区缺乏。东南地区占有全国 90% 的地表径流和 70% 的地下径流，而西北地区只占有 10% 的地表径流和 30% 的地下径流。

2. 时间分布不均匀

我国大部分地区的降水年内分配不均，年际变化大。南方地区受东南季风影响，雨季一般长达半年，每年集中在 3~7 月份降水，占全年降水量的 50%~60%；北方地区，降水期较集中，一般在 6~9 月份，降水量占全年的 70%~80%。西北地区为最干旱区，主要位于新疆、宁夏、甘肃、内蒙古的西北部的沙漠地带，降水量的年际变化率大，因此上述地区大多干旱少雨，河流较少，且有较大面积的无径流区域。

(三) 我国水资源存在的问题

1. 水资源供需矛盾突出

随着人类社会经济的发展,各国的用水量迅速增加。据统计,20世纪初全世界的年用水量为4 000亿 m^3 ,到20世纪末增加到40 000多亿 m^3 ,我国在20世纪80年代初用水为450亿 m^3 ,到了20世纪末已达700亿 m^3 。工农业用水量增大,加剧了水资源的供需矛盾,再有污水排放量的增加,使得人类赖以生存的水资源环境受到了破坏,水体受到污染,环境恶化。虽然人类在积极地利用和改造并力争保持天然水源不受污染,但由于人类对自然环境的认识不深,不自觉地使天然水资源环境遭受破坏。目前,全国的日排污水量达1.26亿 m^3 ,而大多数污水未经处理直接排入水体,使地表水系统及近海受到污染。我国各流域的污水排放情况见表0-1。

表0-1 各流域废污水量和污径比

(水量单位:万 t/d)

流域片		黑龙江	辽河	海滦河	黄河	淮河	长江
废污水	工业废水	398.3	606.4	828.0	406.6	578.2	2 919.6
	占总量百分比(%)	86.5	85.7	82.0	81.9	82.8	81.8
	生活废水	62.2	100.9	182.1	89.7	120.3	649.4
	占总量百分比(%)	13.5	14.3	18.0	18.1	17.2	18.2
	废污水总量	460.5	707.3	1 010.1	496.3	698.5	3 569.0
	占全国百分数(%)	5.3	8.2	11.7	5.7	8.1	41.1
	顺序	8	4	3	7	5	1
污径比	污径比	0.014	0.053	0.128	0.027	0.034	0.014
	顺序	5	2	1	4	3	6
流域片		珠江	浙闽诸河	西南诸河	南陆河	全国	
废污水	工业废水	866.9	460.4	24.2	68.6	7 157.2	
	占总量百分比(%)	85.9	83.6	87.4	66.0	82.9	
	生活废水	142.5	90.2	3.5	35.3	1 476.1	
	占总量百分比(%)	14.1	16.4	12.6	34.0	17.1	
	废污水总量	1 009.4	550.6	27.7	103.9	8 633.3 ^{1,2}	
	占全国百分数(%)	11.7	6.4	0.3	1.2	100.0	
	顺序	2	6	10	9		
污径比	污径比	0.008	0.010	0.000 2	0.003		
	顺序	8	7	10	9		

注:1. 含额尔齐斯河;

2. 未统计台湾省的废污水量。

2. 河川的径流量减少,地面沉降

由于人类的活动,使得河川的径流量减少、地面沉降等。塔里木河为我国内陆河,流域人口 780 万人,由于这些年的大量引水灌溉和一些不合理的开发利用,使下游流量迅速减少,流域面积减小,1998 年统计,该河已缩短了 320 km 的径流。地下水的大量开采使得地面下沉,据统计我国有 50 多个城市出现地面下沉等地质灾害。

3. 水体污染危害严重

造成水体污染的主要因素是城市污水和工业废水的排放。生活污水中主要污染成分为有机物、无机盐类及病原菌和病毒,还含有较高浓度的氮、磷,氮、磷会使水体产生富营养化,造成水体污染;工业用水产生的废水中含有大量的有毒和有害物质,流入水体后,造成水体的严重污染;另外在农业灌溉中,由于在农业中使用了大量的化肥、农药,也会造成水体污染。而水体污染能使人类产生多种疾病,例如含镉水能使人体产生骨痛现象,饮用水含汞过高能引起水俣病。上述两种疾病在日本均发生过,造成 59 人死亡,上万人发病。

我国的污水年排放量为 460 亿 m^3 (2003 年统计,其中生活污水 247.6 亿 m^3 、工业废水 212.4 亿 m^3),这些污水绝大多数未经处理而直接排放,造成了江河、湖泊和地下水的污染。

第一篇 水处理概论

第一章 水质与水质标准

【教学目标】 本章介绍了水中杂质的种类与特点、水体自净规律、给水水质标准及污水排放标准。要求熟悉天然水体中杂质的种类;掌握水体污染物的种类及危害;熟悉水体自净的规律;掌握生活饮用水的常规指标,熟悉它们的限值;熟悉污水排放标准。

第一节 水中杂质的种类与特点

水是溶解能力很强的溶剂。水在自然环境中与空气、土壤等相接触,不可避免地会有各种杂质进入水中。在人类使用水的过程中,如人们的生活用水、工农业生产用水等过程中,更会带入水中众多的污染物质。因此我们在研究水处理技术之前,首先要了解水中的各种杂质。

一、天然水体中的杂质

天然水体是指河流、湖泊、水库等水域环境。天然水中存在的杂质主要来源于所接触的大气、土壤等自然环境,同时人类活动产生的各种污染物也会进入天然水体。按不同的原则,可以对天然水体中的杂质进行分类。

(1)按水中杂质的尺寸,可以分为溶解物、胶体颗粒和悬浮物3种,它们的尺寸和外观特征如表1-1所示。表中杂质的颗粒尺寸只是大体的概念,不是严格的界限。杂质在水中所呈现的性质往往还与其形状、密度等有关。①悬浮物。主要是泥沙类无机物质和动植物生存过程中产生的物质或死亡后的腐败产物等有机物。这类杂质由于尺寸较大,在水中不稳定,常常悬浮于水流中,当水静置时,相对密度小的会上浮于水面,相对密度大的会下沉,因此容易被除去。②胶体。主要是细小的泥沙、矿物质等无机物和腐殖质等有机物。胶体颗粒由于比表面积很大,显示出明显的表面活性,常吸附有较多离子而带电,从而由于胶体带有同性电荷而相互排斥,以微小的颗粒稳定存在于水中。③溶解物。主

表 1-1 水中杂质的尺寸与外观特征

项目	溶解物	胶体颗粒	悬浮物
颗粒大小	0.1 ~ 1.0 nm	1.0 ~ 100 nm	100 nm ~ 1 mm
外观特征	透明	光照下浑浊	浑浊甚至肉眼可见

要是呈真溶液状态的离子和分子,如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 等离子, HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 等酸根, O_2 、 CO_2 、 H_2S 、 SO_2 、 NH_3 等溶解气体分子。从外观看含有这些杂质的水与无杂质的清水没有区别。

(2)从化学结构上可以将水中杂质分为无机物、有机物、生物等几类。①无机杂质。天然水中所含有的无机杂质主要是溶解性的离子、气体及悬浮性的泥沙。溶解离子有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 等阳离子和 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等阴离子。离子的存在使天然水表现出不同的含盐量、硬度、pH 值和电导率特性,进而表现出不同的物理、化学性质。泥沙的存在使水浑浊。②有机杂质。天然水中的有机物与水体环境密切相关。一般常见的有机杂质为腐殖质类以及一些蛋白质等。腐殖质是土壤的有机组分,是植物与动物残骸在土壤中分解的产物,属于亲水的酸性物质,分子量在几百到数万之间。腐殖质本身一般对人体无直接的毒害作用,但其中的大部分种类可以与其他化合物作用,因而具有危害人体健康的潜能。例如,腐殖酸与氯反应会生成有致癌作用的三氯甲烷。③生物(微生物)杂质。这类杂质包括原生动物、藻类、细菌、病毒等。这类杂质会使水产生异臭异味,增加水的色度、浊度,导致各种疾病等。

(3)按杂质的来源可以分为天然的和污染性的物质。随着人类活动的不断拓展和人类社会生产种类及规模的不断扩大,导致天然水体中污染物的种类和数量不断增加,其中数量最多的是人工合成的有机物,以农药、杀虫剂和有机溶剂为主,如多氯联苯、滴滴涕、四氯化碳等。目前,全世界已在水中检测出 2 000 多种有机化合物。在美国,水中检出 700 多种有机污染物,其中 100 多种为致癌、促癌、致畸和致突变物质。

二、各种典型水体的水质特点

一般可以将天然水分为地表水和地下水两大类,地表水又可以分为江河水、湖泊水库水、海水等。各种不同的天然水水质因流域特征、受人类扰动程度等而各不相同。

(1)江河水。因各地区的自然条件和对水资源的利用情况不同,江河水的水质差别很大,即使同一条河流,也常常因上游和下游、夏季和冬季、雨天和晴天,水质有所不同。一般华东、中南和西南地区因为土质和气候条件较好,草木丛生,水土流失较少,江河水浊度较低,只在雨季较浑浊,年平均浊度在 100 ~ 400 NTU 之间或更低。东北地区河流的悬浮物含量也不大,一般浊度在数百浊度单位以下。华北和西北的河流,特别是黄土地区,悬浮物含量高,变化幅度大,暴雨时挟带大量泥沙,水中悬浮物含量在短短几小时内,可由每升水几百毫克骤增至几万毫克。最突出的是黄河,冬季河水浊度只有几十浊度单位,夏季悬浮物含量可达每升水几万毫克,甚至几十万毫克。

(2)湖泊、水库水。主要由江河水供给,水质特点与江河水类似。湖泊和水库水体大,水量充足,流动性小,停留时间长,水中营养成分高,浮游生物和藻类多,不利于水质处理。蒸发量大,使水体浓缩,因而含盐量高于江河水。沉淀作用明显,浊度较江河水低,水质、水量稳定,但在冬季易发生低温低浊水现象,这是水处理的一个难点。

(3)海水。海水的主要特点是高含盐量,在 7.5 ~ 43.0 g/L 之间。含量最多的是氯化钠 (NaCl),约占 83.7%,其他盐类还有 MgCl_2 、 CaSO_4 等。除了淡水特别缺乏的海岛、船舶等外,一般不以海水为生活饮用水源。在沿海地区,海水可作为某些工业用水的水源。

另外,地表水易受工业废水、生活污水、农药等污染,水中细菌、有毒物质、有机物含量高于地下水,水源保护难度大。

(4)地下水。地下水是由于降水和地表水经土壤地层渗透到地面以下而形成的。

地层是由透水性不同的黏土、砂石、岩石等构成。透水层由颗粒较大的砂、砾石组成,能渗水与存水;不透水层则由颗粒细小致密的黏土层和岩石层构成。地下水可分为浅层地下水、深层地下水和泉水。

浅层地下水是指潜藏在地表下第一个不透水层上的地下水,是我国广大农村最常用的水源,水质物理性状较好,细菌数较地面水少,但在流经地层和渗透过程中,可溶解土壤中各种矿物盐类,使水质硬度增加,水中溶解氧因被土壤中生物化学过程消耗而减少。

深层地下水是指在第一个不透水层以下的地下水,其水质透明无色,水温恒定,细菌数很少,但盐类含量高,硬度大。由于深层地下水水质较好,水量较稳定,常被用做城镇或企业的集中式供水水源。

泉水是通过地表缝隙自行涌出的地下水。浅层地下水由于地层的自然塌陷或被溪谷截断而使含水层露出,水自行外流即为潜水泉;深层地下水由不透水层或岩石的天然裂隙中涌出,称自流泉。两者的水质、水量的特点分别与浅层和深层地下水相似。

三、天然水物理性状指标

根据天然水的物理性状指标的测定结果,可判断水质的感官性状好坏,也可以说明水质是否受到污染。

(1)水温。水温与水的物理化学性质有关,气体的溶解度、微生物的活动及 pH 值、硫酸盐的饱和度等都受水温的影响。

(2)色度。色度表现在水体呈现不同的颜色。纯净的水是无色透明的,含有大量泥沙及腐殖质的水为褐色或黄褐色,含有藻类的水为绿色或褐色,饮用水的色度不能超过 15 度。

(3)臭和味。臭和味有时不易截然分开。洁净水无臭气和异味。天然水中臭和味的主要来源有:水生动植物或微生物的繁殖和衰亡;有机物的腐败分解;溶解的气体如硫化氢等;溶解的矿物盐或混入的泥土。

(4)浑浊度。水浑浊度是指悬浮于水中的胶体颗粒产生的散射现象,表示水中悬浮物和胶体物对光线透过时的阻碍程度。浑浊度主要取决于胶体颗粒的种类、大小、形状和折射指数,而与水中悬浮物含量的关系较小。浑浊度的标准单位是以 1 L 水中含有相当于 1 mg 标准硅藻土形成的浑浊状况,作为 1 个浑浊度单位,简称 1 度。

四、水体的污染源和污染物

水体污染是指人类活动排放的污染物进入水体,其数量超过了水体的自净能力,使水和水体底质的理化特性及水环境中的生物特性、组成等发生改变,从而影响水的使用价值,造成水质恶化,乃至危害人体健康或破坏生态环境的现象。

(一)水体污染的主要来源

1. 工业废水

工业废水是指工业生产所排放的废水。由于工业类型、生产工艺及用水水质、管理水

平的不同,使各类工业废水的成分与性质千差万别。工业废水除冷却水等较清洁的生产废水外,都含有各种各样的污染物,有的含有大量的有机污染物质;有的含有毒有害物质;有的物理性状十分恶劣,成分十分复杂。这类废水必须经过处理后方可排入水体或城市下水道系统。

2. 生活污水

生活污水是指人们日常生活的洗涤废水和粪尿污水等。生活污水中含有大量有机物如纤维素、淀粉、糖类、脂肪、蛋白质等及微生物包括肠道病原菌、病毒、寄生虫卵等。污水中还含有大量无机物质如氯化物、硫酸盐、磷酸盐、铵盐、亚硝酸盐、硝酸盐等。近年来,由于大量使用含磷洗涤剂,使污水中磷含量显著增加,为水生植物提供了充足的营养物质。水体受含磷、氮等的污水污染是造成湖泊水质恶化的主要原因之一。

3. 农业污水

农业污水是指农牧业生产排出的污水及降水或灌溉水流过农田或经农田渗漏排出的水。农业污水主要含有氮、磷、钾等化肥和农药、粪尿等有机物及人畜肠道病原体等。天然水体中的有机物质、植物营养素、农药等主要来源于农业污水。

(二) 水体污染物

通过各种途径进入水体的污染物种类繁多,性质各异,一般分为物理性、化学性、生物性污染物。

1. 固体污染物

固体物质在水中有三种存在形态:溶解态、胶体态、悬浮态。在水质分析中,常用一定孔径的滤膜过滤的方法将固体微粒分为两部分:被滤膜截留的悬浮固体(Suspended Solids, SS)和透过滤膜的溶解性固体(Dissolved Solids, DS),二者合称总固体(Total Solids, TS)。这时,一部分胶体包括在悬浮物内,另一部分包括在溶解性固体内。

悬浮物在水体中沉积后,会淤塞河道,危害水体底栖生物的繁殖,影响渔业生产。灌溉时,悬浮物会阻塞土壤的孔隙,不利于作物生长。大量悬浮物的存在,还干扰废水处理和回收设备的工作。在废水处理中,通常采用筛滤、沉淀等方法使悬浮物与废水分离而除去。

水中的溶解性固体主要是盐类,亦包括其他溶解的污染物。含盐量高的废水,对农业和渔业生产有不良影响。

2. 生物污染物

生物污染物系指废水中的致病微生物及其他有害的生物体。主要包括病毒、病菌、寄生虫卵等各种致病体。此外,废水中若生长有铁菌、硫菌、藻类、水草及贝壳类动物时,会堵塞管道、腐蚀金属及恶化水质,也属于生物污染物。

生物污染物主要来自城市生活废水、医院废水、垃圾及地面径流等方面。病原微生物的水污染危害历史最久,至今仍是危害人类健康和生命的重要水污染类型。洁净的天然水一般含细菌是很少的,病原微生物就更少,受病原微生物污染后的水体,微生物剧增,其中许多是致病菌、病虫卵和病毒,它们往往与其他细菌和大肠杆菌共存,所以通常规定用细菌总数和菌指数作为病原微生物污染的间接指标。病原微生物的特点是:数量大、分布广、存活时间较长、繁殖速度很快、易产生抗药性,很难消灭。因此,此类污染物实际上通

过多种途径进入人体,并在体内生存,一旦条件适合,就会引起人体疾病。

3. 需氧有机污染物

废水中能通过生物化学和化学作用而消耗水中溶解氧的物质,统称为需氧污染物。绝大多数的需氧污染物是有机物,无机物主要有 Fe^{2+} 、 S^{2-} 、 SO_3^{2-} 、 CN^- 等,仅占很少量的部分。因而,在水污染控制中,一般情况下需氧物即指有机物。

天然水中的有机物一般指天然的腐殖物质及水生生物的生命活动产物。生活废水、食品加工和造纸等工业废水中,含有大量的有机物,如碳水化合物、蛋白质、油脂、木质素、纤维素等。有机物的共同特点是这些物质直接进入水体后,通过微生物的生物化学作用而分解为简单的无机物质——二氧化碳和水,在分解过程中需要消耗水中的溶解氧,而在缺氧条件下污染物就发生腐败分解、恶化水质,因此常称这些有机物为需氧有机物。水体中需氧有机物越多,耗氧也越多,水质也越差,说明水体污染越严重。

由于有机物种类极其复杂,难于逐一测定。但上述有机物都有被氧化的共性,即在氧化分解过程中需要消耗大量的氧,所以可以用氧化过程消耗的氧量作为有机物的指标。所以在实际工作中经常采用化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)、总有机碳(TOC)、总需氧量(TOD)等指标来反映污水中有机物的含量。

(1) 化学需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD),指在一定条件下,用强氧化剂如高锰酸钾或重铬酸钾等氧化水中有机物所消耗氧的量。它是测定水体中有机物含量的间接指标,代表水体中可被氧化的有机物和还原性无机物的总量。化学需氧量的测定方法简便快速,但不能反映有机污染物的化学稳定性及其在水中降解的实际情况,因为有机物的降解主要靠水中微生物的作用。

(2) 生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD),指水中有机物在有氧条件下被需氧微生物分解时消耗的溶解氧量。水中有机物愈多,生化需氧量愈高。20 d 的生化需氧量可近似作为完全生化需氧量记做 BOD_∞ 。5 d 生化需氧量(BOD_5),是指 20 °C 培养 5 d 后,1 L 水中减少的溶解氧量。对于同一种水样,如果同时测定 BOD 和 COD 两个数值有较大的差别,如 COD 数值大于 BOD,两者的差值大致等于难于被生物降解的有机物量。差值越大,表明污水中难于被生物降解的有机物量越多,越不宜采用生物处理方法。所以, BOD_5/COD 的比值,是可以用来判别污水是否可以生化处理的标志。一般认为比值大于 0.3 的污水,基本能采用生物处理方法。据统计,城市污水 BOD_5/COD 的比值一般为 0.4 ~ 0.65。COD 的测试需要时间较短,一般需几个小时即可测得,较测得 BOD 方便。但只测得 COD 值,只能反映总有机物的含量,并不能判别易于被生物降解的有机物和难于被生物降解的有机物所占的比例,所以,在实际工程中,要同时测试 BOD_5 与 COD 两项指标作为污水处理领域的重要指标。

(3) 总有机碳和总需氧量。总有机碳(Total Organic Carbon, TOC)是指水中全部有机物的含碳量,它只能相对表示水中有机物的含量,单位为 mg/L,是评价水体有机需氧污染程度的综合性指标之一,但不能说明有机污染的性质。总需氧量(Total Oxygen Demand, TOD)指 1 L 水中还原物质(有机物和无机物)在一定条件下氧化时所消耗氧的毫升数,是评定水体被污染程度的一个重要指标。有机物的主要组成元素为碳、氢、氧、氮、硫等。将其氧化后,分别产生 CO_2 、 H_2O 、 NO_2 和 SO_2 等物质,所消耗的氧量称为总需氧量,以 mg/L

表示。

当在水质条件较稳定的污水中,其测得的 BOD、COD、TOD 和 TOC 之间,数值上有下列排序:

$$\text{TOD} > \text{COD}_{\text{Cr}} > \text{BOD}_{\text{u}} > \text{BOD}_5 > \text{TOC}$$

五者之间有一定的相关关系。生活污水 BOD_5/COD 为 0.4 ~ 0.65, BOD_5/TOC 比值为 1.0 ~ 1.6。工业废水上述两个比值决定于工业废水的性质。

4. 营养性污染物

营养性污染物是指可引起水体富营养化的物质,主要是指氮、磷等元素,其他尚有钾、硫等。此外,可生化降解的有机物、维生素类物质、热污染等也能触发或促进富营养化过程。

从农作物生长的角度看,植物营养物是宝贵的物质,但过多的营养物质进入天然水体,将使水质恶化,影响渔业的发展和危害人体健康。一般来说,水中氮和磷的浓度分别超过 0.2 mg/L 和 0.02 mg/L,会促使藻类等绿色植物大量繁殖,在流动缓慢的水域聚集而形成大片的水华(在湖泊、水库)或赤潮(在海洋);而藻类的死亡和腐化又会引起水中溶解氧的大量减少,使水质恶化,鱼类等水生生物死亡;严重时,由于某些植物及其残骸的淤塞,会导致湖泊逐渐消亡。这就是水体的营养性污染(又称富营养化)。

水中营养物质的来源,主要来自化肥。施入农田的化肥只有一部分为农作物所吸收,其余绝大部分被农田排水和地表径流携带至地下水和河、湖中。其次,营养物质来自于人、畜、禽的粪便及含磷洗涤剂。此外,食品厂、印染厂、化肥厂、染料厂、洗毛厂、制革厂、炸药厂等排出的废水中均含有大量氮、磷等营养元素。

5. 感官污染物

废水中能引起异色、浑浊、泡沫、恶臭等现象的物质,虽无严重危害,但能引起人们感官上的极度不快,被称为感官性污染物。对于供游览和文体活动的水体而言,感官性污染物的危害则较大。

异色、浑浊的废水主要来源于印染厂、纺织厂、造纸厂、焦化厂、煤气厂等。恶臭废水主要来源于炼油厂、石化厂、橡胶厂、制药厂、屠宰厂、皮革厂。当废水中含有表面活性物质时,在流动和曝气过程中将产生泡沫,如造纸废水、纺织废水等。

各类水质标准中,对色度、臭味、浊度、漂浮物等指标都作了相应的规定。

6. 酸、碱、盐类污染物

酸碱污染物主要由工业废水排放的酸碱以及酸雨带来。酸碱污染物使水体的 pH 值发生变化,破坏自然缓冲作用,消灭或抑制细菌及微生物的生长,妨碍水体自净,使水质恶化、土壤酸化或盐碱化。

各种生物都有自己的 pH 适应范围,超过该范围,就会影响其生存。对渔业水体而言,pH 值不得低于 6 或高于 9.2,当 pH 值为 5.5 时,一些鱼类就不能生存或繁殖率下降。农业灌溉用水的 pH 值应为 4.5 ~ 8.5。此外酸性废水也对金属和混凝土材料造成腐蚀。

酸与碱往往同时进入同一水体,从 pH 值角度看,酸、碱污染因中和作用而自净了,但会产生各种盐类,又成了水体的新污染物。无机盐的增加能提高水的渗透压,对淡水生物、植物生长都有影响。在盐碱化地区,地面水、地下水中的盐将进一步危害土壤质量,