

普通高等教育环境与市政类“十三五”规划教材

SHUIZHI GONGCHENGXUE

水质工程学（上）

主编 龚为进



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育环境与市政类“十三五”规划教材

水质工程学

(上)

主 编 龚为进

副主编 彭赵旭 刘 玥 程 静

陈启石 赵富旺 栗静静



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书分上下两册,上册1~6章,下册7~14章,上册主要内容为水质标准与水处理概论,格栅,混凝,沉淀、澄清和气浮,过滤,消毒。下册主要内容为污水生物处理——活性污泥法,污水脱氮除磷技术,污水生物处理——生物膜法,污水生物处理——稳定塘与人工湿地,污水厌氧生物处理技术,污水深度处理技术,污泥的处理与处置和水厂的设计。

本书不仅介绍给水、污水和废水处理的基本原理与方法,更注重其在水处理工程实践中的应用。书中将基本原理、基本知识和专业规范、设计手册以及工程实例紧密结合起来,每章均附有例题和练习题。

本书可作为给排水科学与工程专业、环境工程等相关专业教材,也可作为相关专业工程技术人员和决策、管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水质工程学. 上 / 龚为进主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016.9
普通高等教育环境与市政类“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-4767-4

I. ①水… II. ①龚… III. ①水质处理—高等学校—教材 IV. ①TU991.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第233167号

书 名	普通高等教育环境与市政类“十三五”规划教材 水质工程学(上) SHUIZHI GONGCHENGXUE
作 者	主编 龚为进
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.75印张 294千字
版 次	2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	32.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



随着我国社会经济水平的不断发展,水资源短缺和水环境污染问题日益严重,并且已经成为我国经济发展的重要制约因素之一。水危机问题的解决不仅需要国家从政治、经济各个方面投入大量的人力、财力和物力,而且需要水行业从业者不断研究、开发水处理技术,提高水环境治理的效果和水资源利用的效率。

“水质工程学”是给排水科学与工程专业核心主干课程,主要介绍给水、污水和废水处理的基本原理与方法。通过本课程的学习,使学生能够掌握水质指标的分类和含义、各种用水水质标准和污水排放标准的分类和适用对象,掌握各种水处理工艺单元(物理处理方法、化学处理方法和生物处理方法)的基本原理、基本知识和基本概念,并能根据水源水质、用水要求和排放标准设计水处理工艺流程,并能进行各种水处理工艺单元的设计计算。

本书在编写过程中参考了大量经典教材和文献,并结合水处理相关的国家标准和设计规范,强调理论联系实际,在介绍基本原理、基本概念的同时,注重其在水处理工程实践中的应用。将基本原理、基本知识和专业规范、设计手册以及工程实例紧密结合起来,每章均附有例题和练习题。

本书共分14章,分别为:水质标准与水处理概论,格栅,混凝,沉淀、澄清和气浮,过滤,消毒,污水生物处理——活性污泥法,污水脱氮除磷技术,污水生物处理——生物膜法,污水生物处理——稳定塘与人工湿地,污水厌氧生物处理技术,污水深度处理技术,污泥的处理与处置和水厂的设计。其中,第1、2、4、14章由中原工学院龚为进编写,第2、4章部分章节由山东建筑大学栗静静编写,第3、5章由中原工学院赵富旺编写,第6、12章由中原工学院刘玥编写,第7章由中原工学院陈启石编写,第8、9章由武汉理工大学程静编写,第10、11、13章由郑州大学彭赵旭编写。

本书在编写过程中汲取了许多同类优秀书籍的精华,引用了大量的文献资料,由于资料庞杂,文献名未能一一列出,特向这些文献作者们表示衷心感谢。

本书的出版得到国家自然科学基金项目(项目编号:U1404523;51308561),河南省科技攻关项目(项目编号:122102310561),及河南省高等学校重点科研项目计划(编号:15A560002)的资助,以及中国水利水电出版社

的大力支持，在此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，疏漏和错误之处在所难免，恳请同行及读者给予批评指正。

编 者

2016 年 3 月

前言

第 1 章 水质标准与水处理概论	1
1.1 给水水源与用水标准	1
1.1.1 给水水源的分类	1
1.1.2 典型给水水源的特点	1
1.1.3 给水水源的主要污染物	2
1.1.4 用水水质标准	2
1.2 污水的性质与排放标准	5
1.2.1 污水的分类与性质	5
1.2.2 水体污染与水质指标	5
1.2.3 污水排放标准	10
1.3 水体自净	11
1.4 水处理方法与反应器	13
1.4.1 水处理方法	13
1.4.2 反应器	14
1.5 水处理工艺流程	16
1.5.1 水处理工艺流程的概念	16
1.5.2 典型给水处理工艺流程	17
1.5.3 典型污水处理流程	18
习题	19
第 2 章 格栅	20
2.1 格栅的作用与分类	20
2.1.1 格栅的作用	20
2.1.2 格栅的分类	20
2.2 格栅的设计与计算	24
2.2.1 格栅的设计技术要求	24
2.2.2 格栅的设计计算	24
习题	26
第 3 章 混凝	27
3.1 混凝机理	27
3.1.1 水中胶体稳定性	27

3.1.2 硫酸铝在水中的化学反应	29
3.1.3 混凝机理	30
3.2 混凝剂和助凝剂	33
3.2.1 混凝剂	33
3.2.2 助凝剂	36
3.3 混凝动力学	37
3.3.1 异向絮凝	37
3.3.2 同向絮凝	37
3.3.3 混凝控制指标	42
3.4 影响混凝效果主要因素	42
3.4.1 水温影响	42
3.4.2 水的 pH 值和碱度影响	43
3.4.3 水中悬浮物浓度的影响	44
3.5 混凝剂的配制和投加	44
3.5.1 混凝剂溶解和溶液配制	44
3.5.2 混凝剂投加	45
3.6 混合和絮凝设备	48
3.6.1 混合设备	48
3.6.2 絮凝设备	50
习题	58
第 4 章 沉淀、澄清和气浮	59
4.1 沉淀类型	59
4.1.1 自由沉淀	59
4.1.2 拥挤沉淀	61
4.2 沉淀试验及沉淀曲线	63
4.2.1 自由沉淀试验	63
4.2.2 絮凝沉淀试验	67
4.3 理想沉淀池	68
4.3.1 理想沉淀池的原理	68
4.3.2 理想沉淀池与实际沉淀池的差别	72
4.4 平流式沉淀池	74
4.4.1 平流式沉淀池的构造	74
4.4.2 平流式沉淀池的设计计算	78
4.5 竖流式沉淀池	82
4.5.1 竖流式沉淀池的构造	83
4.5.2 竖流式沉淀池设计计算	83
4.6 辐流式沉淀池	84
4.6.1 辐流式沉淀池的构造	85
4.6.2 辐流式沉淀池设计计算	85

4.7 斜板(管)沉淀池	86
4.7.1 斜板(管)沉淀理论	86
4.7.2 斜板(管)沉淀池的构造	88
4.7.3 斜板沉淀池设计计算	88
4.8 沉砂池	89
4.8.1 平流式沉砂池	90
4.8.2 曝气沉砂池	92
4.8.3 旋流沉砂池	94
4.9 澄清池	98
4.9.1 泥渣悬浮型澄清池	98
4.9.2 泥渣循环型澄清池	99
4.10 气浮池	101
4.10.1 气浮的原理	102
4.10.2 加压溶气气浮法	103
4.10.3 压力溶气气浮法的组成和设计	104
习题	107
第5章 过滤	108
5.1 过滤概述	108
5.2 过滤理论	109
5.2.1 过滤机理	109
5.2.2 过滤水力学	113
5.3 滤料和承托层	116
5.3.1 滤料	116
5.3.2 承托层	121
5.4 滤池冲洗	121
5.4.1 高速水流反冲洗	121
5.4.2 气、水反冲洗	125
5.4.3 配水系统	126
5.4.4 冲洗废水的排除	134
5.4.5 冲洗水的供给	136
5.5 普通快滤池	137
5.5.1 单池面积和滤池深度	137
5.5.2 管廊布置	137
5.5.3 管渠设计流速	138
5.5.4 设计中的注意事项	139
5.6 无阀滤池	139
5.6.1 重力式无阀滤池的构造和工作原理	139
5.6.2 重力式无阀滤池设计要点	140
5.7 其他形式滤池	142

5.7.1 虹吸滤池	143
5.7.2 移动罩滤池	144
5.7.3 V形滤池	146
5.7.4 压力滤池	148
5.7.5 翻板阀滤池	148
5.7.6 连续过滤滤池	152
5.7.7 纤维过滤滤池	153
习题	154
第6章 消毒	156
6.1 液氯消毒	156
6.1.1 氯消毒的原理	156
6.1.2 折点加氯法	157
6.1.3 加氯点	159
6.1.4 氯化消毒副产物 (DBP) 的形成及控制	159
6.1.5 加氯设备、加氯间和氯库	160
6.2 二氧化氯消毒	163
6.2.1 二氧化氯的物理、化学性质	163
6.2.2 二氧化氯的氧化性	163
6.2.3 二氧化氯的制备	164
6.2.4 二氧化氯的消毒作用	164
6.3 次氯酸钠消毒	166
6.4 氯胺消毒	166
6.5 紫外线消毒	167
6.5.1 紫外辐射的来源	167
6.5.2 紫外消毒系统的构成及配置	168
6.5.3 紫外辐射的杀菌效果	169
6.5.4 紫外线剂量的计算	170
6.6 臭氧消毒	172
6.6.1 臭氧的性质	172
6.6.2 臭氧的制备	174
6.6.3 臭氧氧化的反应机理	176
6.6.4 影响臭氧氧化的主要因素	176
6.6.5 臭氧消毒	176
习题	178

第 1 章 水质标准与水处理概论

1.1 给水水源与用水标准

1.1.1 给水水源的分类

给水水源可分为地下水和地表水两大类。地下水水源包括潜水、自流水（承压水）和泉水。地下水具有水质清澈、无色无味、水温恒定、不易受到污染等特点，但它的径流量小，矿化度和硬度较高。地表水主要指江河、湖泊、水库的水。由于受流域内的自然环境影响较大，水质往往有很大的差异。例如，地表水的浑浊度与水温变化幅度都较大，水易受到污染，但是，水的矿化度、硬度较低，含铁量及其他物质含量较小，径流量较大，但季节变化性较强。

1.1.2 典型给水水源的特点

1. 江河水

因不同地区的自然条件和对水资源的利用情况不同，江河水质差别很大，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 100~400NTU 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，暴雨时携带大量泥砂，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。

江河水的含盐量和硬度都比较低。含盐量一般在 70~900mg/L 之间，硬度常在 50~400mg/L（以 CaCO_3 计）之间。

2. 湖泊、水库水

湖泊、水库水主要由江河水供给，水质特点与江河水类似。但是由于其流动性较小，且经过长期自然沉淀，浊度一般较低。水的流动性小和透明度低给水中的浮游生物，特别是藻类的生长繁殖创造了有利条件，尤其在受到生活污水污染的情况下，氮、磷等物质为浮游生物的生长提供了充分的营养源，促进其大量繁殖。湖泊、水库水的富营养化已成为严重的水源污染问题。

由于湖泊、水库较大的水面产生的蒸发，水中的矿物质不断浓缩，一般含盐量和硬度较江河水高。

3. 海水

海面约占地球表面积的 71%。海水总体积约 137 亿 km^3 ，是一取用不尽的资源，它不仅具有航运交通作用，而且经过淡化就能大量供给工业使用。海水的主要特点是含盐量高，在 7.5~43g/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。

4. 地下水

地下水通过地层时经过过滤，所以地下水没有悬浮物，通常是透明的。同时在通过土壤和岩层时溶解了其中的各种可溶性矿物质，所以含盐量、硬度等比地表水高。含盐量一般在 $100\sim 5000\text{mg/L}$ 之间，硬度在 $100\sim 500\text{mg/L}$ （以 CaCO_3 计）之间。地下水的水质和水温一般终年稳定，较少受外界影响。

受水体流经地区的地质条件、地形地貌以及气候条件的影响，地表水的水质会有较大差异。例如，一些流经森林、沼泽地带的天然水中腐殖质含量较高，流域的地表植被不好、水土流失严重，会使水的浊度较高且变化大。就地区而言，一般北方地下水的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及重碳酸盐含量高于南方地下水，因而北方地区地下水大多为硬度高的结垢型的水；而南方地区地表水中的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量高于北方地区，水的腐蚀性较强。

1.1.3 给水水源的主要污染物

取自任何水源的水都不同程度地含有各种各样的污染物。这些污染物一方面来源于自然过程，如地层矿物质在水中的溶解、水中微生物的繁殖与死亡以及地表径流带入的泥砂等；另一方面来源于人为因素，如工业废水、生活污水以及农业污水的污染等。这些杂质按尺寸的大小可以分为溶解物、胶体颗粒和悬浮物 3 种，见表 1-1。

表 1-1 水中杂质的尺寸与外观特征

杂质	溶解物 (低分子、离子)	胶体	悬浮物	
			1 μm 10 μm 100 μm	1mm
颗粒尺寸	0.1nm 1nm	10nm 100nm	1 μm 10 μm 100 μm	1mm
分辨工具	电子显微镜可见	超显微镜可见	显微镜可见、	肉眼可见
水的外观	透明	浑浊	浑浊	

悬浮物主要是泥砂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。

胶体颗粒主要是细小的泥砂、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，以微小的颗粒稳定地存在于水中。

溶解物主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。从外观上看，含有这些杂质的水与无杂质的清水没有区别。

1.1.4 用水水质标准

水质标准是用水对象（包括饮用和工业用水对象等）所要求的各项水质参数应达到的限值。水质参数是用以表示水环境（水体）质量优劣程度和变化趋势的水中各种物质的特征指标。各种用户对水质有特定的要求，就产生了各种用水的水质标准。水质标准是水处理的参考和依据。此外，水质标准同其他标准一样，可分为国际标准、国家标准、地区标准、行业标准和企业标准等不同等级。

1.1.4.1 世界各国生活饮用水卫生标准

世界各国对饮用水的水质标准极为关注，很多国家和地区都有不同的饮用水水质标准。



而最具有代表性和权威性的是世界卫生组织（WHO）水质准则，它是世界各国制定本国饮用水水质标准的基础和依据。另外，比较有影响的还有欧共体饮用水指令（EEC Directive）和美国安全饮用水法案（Safe Drinking Water Act）。

WHO 于 1992 年在日内瓦举行会议，讨论提出了《饮用水水质指南》第 2 版”（Guidelines for Drinking Water Quality 2nd Ed），包括与健康有关的水质指标 135 项，其中微生物学指标 2 项，化学物质指标 131 项（无机物 36 项、有机物 31 项、农药 36 项、消毒剂及副产物 28 项），放射性 2 项，有些指标暂未提出指导值，有指导值的指标共 98 项，135 项指标中由于感官可能引发消费者不满的指标 31 项。

欧洲共同制定的饮用水水质标准称为 EEC 饮用水指令。1998 年修订的指令（98/83/EEC）列出了 48 项水质参数，分为微生物学参数（2 项）、化学物质参数（26 项）、指示参数（18 项）和放射性参数（2 项），作为欧共体各国制定本国水质标准的重要参考，要求各成员国在 2003 年 12 月 25 日前确保饮用水水质达到标准的规定（溴仿、铅和三卤甲烷除外）。

美国联邦环境保护局（USEPA）于 1986 年颁布了《安全饮用水法案修正案》，规定了实施饮用水水质规则的计划，制定了《国家一级饮用水规程》和《国家二级饮用水规程》（NPDWRs）。该规程即为现行美国饮用水水质标准，对饮用水中的污染物规定了最大污染物浓度（MCL）和最大污染物浓度目标值（MCLG）。最大污染物浓度是指饮用水中污染物的最大允许浓度，是强制性标准；最大污染物浓度目标值是指饮用水中的污染物不会对人体健康产生未知或不利影响的最高浓度，是非强制性健康指标。《国家一级饮用水规程》是强制性标准，公共供水系统必须要满足该标准的要求。《国家二级饮用水规程》是非强制性的指导标准，主要制订了会引起皮肤或感官问题的参数。

世界各国（地区）基本上以上述 3 种水质标准为基础，制定本国（地区）的国家（地区）标准，如日本和南非参考了 WHO、EEC、EPA 这 3 种标准，欧洲共同体国家参考 EEC 标准，中国香港以 WHO 为标准。在制定本国国家标准的过程中，各国根据实际情况作了相应的调整，从而各具特色。

1.1.4.2 我国生活饮用水卫生标准

生活饮用水卫生标准是从保护人群身体健康和保证人类生活质量出发，对饮用水中与人群健康的各种因素（物理、化学和生物），以法律形式作的量值规定，以及为实现量值所作的有关行为规范的规定，经国家有关部门批准，以一定形式发布的法定卫生标准。

我国先后多次发布和修改饮用水卫生标准。1927 年上海市公布了第一个地方性饮用水标准，称为《上海市饮用水清洁标准》，从而上海成为我国最早制定地方性饮用水标准的城市之一；1937 年北京市自来水公司制定了《水质标准表》，包含有 11 项水质指标；1950 年上海市颁布了《上海市自来水水质标准》，有 16 项指标；1956 年我国颁布了第一部《饮用水水质标准》，有 15 项指标；1976 年我国颁布了《生活饮用水卫生标准》（TJ 20—76），有 23 项水质指标，以上标准着重技术要求，均未列为强制性卫生标准。

1985 年卫生部组织饮水卫生专家结合国情，吸取了 WHO 饮用水质量标准和发达国家饮用水卫生标准中的先进部分，制定了《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—85），将水质指标由 23 项增至 35 项，由卫生部以国家强制性卫生标准发布，增加了饮用水卫生标准的法律效力。该标准于 1985 年 8 月 16 日颁布，1986 年 10 月 10 日实施，共五章 22 条。



2001年6月,卫生部颁布了《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2001),自2007年7月1日起实施。它是在《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85)的基础上修改而成,其中水质指标共96项,常规检测项目34项,非常规检测项目62项。2006年《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85)修订为《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),2006年12月29日由国家标准委和卫生部联合发布。同时发布的还有13项生活饮用水卫生检验方法国家标准。新标准水质项目和指标值的选择,充分考虑了我国实际情况,并参考了世界卫生组织的《饮用水水质准则》,参考了欧盟、美国、俄罗斯和日本等国饮用水标准。新标准中加强了对水质有机物、微生物和水质消毒等方面的要求,新标准中的饮用水水质指标由原标准的35项增至106项,增加了71项。其中微生物学指标由2项增至6项,增加了对蓝氏贾第虫、隐孢子虫等易引起腹痛等肠道疾病、一般消毒方法很难全部杀死的微生物的检测。饮用水消毒剂由1项增至4项,毒理学指标中无机化合物由10项增至22项,增加了对净化水质时产生二氯乙酸等卤代有机物质、存于水中藻类植物微囊藻毒素等的检测。有机化合物由5项增至53项,感官性状和一般理化指标由15项增至21项,并且还对原标准35项指标中的8项进行了修订。同时,鉴于加氯消毒方式对水质安全的负面影响,新标准还在水处理工艺上重新考虑安全加氯对供水安全的影响,增加了与此相关的检测项目。新标准适用于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。

1.1.4.3 我国其他用水的水质标准

1. 其他饮用净水水质标准

随着人民生活水平的提高,对水质的要求越来越高,出现了小区直饮水、灌装水(桶装水、瓶装水)等各种高质饮水。我国先后颁布了《瓶装饮用纯净水》(GB 17323—1998)、《瓶(桶)装饮用水卫生标准》(GB 19298—2003)、《瓶(桶)装饮用纯净水卫生标准》(GB 17324—2003)以及《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)等标准。这些饮水的水质标准在生活饮用水水质标准的基础上又有所提高。但是由于饮用净水种类繁多,标准选择往往存在较多问题。2014年12月,《食品安全国家标准包装饮用水》(GB 19298—2014)正式颁布,并于2015年5月24日正式实施。本标准适用于直接饮用的包装饮用水,原有的《瓶装饮用纯净水》(GB 17323—1998)、《瓶(桶)装饮用水卫生标准》(GB 19298—2003)、《瓶(桶)装饮用纯净水卫生标准》(GB 17324—2003)全部作废。此次新国标明确规定,包装饮用水名称只有“饮用纯净水”“天然矿泉水”和“其他饮用水”三大类。在“其他饮用水”中,仅允许通过脱气、曝气、倾析、过滤、臭氧化作用或紫外线消毒杀菌过程等有限的处理方法,不改变水的基本物理、化学特征的自然来源饮用水。

2. 城市杂用水水质标准

城市杂用水是城市 and 人们日常生活经常涉及的一类用水,主要包括厕所便器冲洗、城市绿化、洗车、扫除、建筑施工及有同样水质要求的其他用途的水。

过去传统上采用城市管网水作为城市杂用水,对水质不另做规定。随着人们对水危机的忧患意识增强,节水措施逐步得到落实,污水资源化的兴起,人们越来越多地以城市污水再生回用或按水质要求的不同将城市管网水施行循序利用,作为城市杂用水。虽然城市杂用水的水质要求没有饮用水那样高,但是也应满足使用中的一定要求,做到既利用污水资源,又能切实保证安全与适用。为此,我国制定了《城市杂用水水质标准》(GB/T 18920—2002)。



3. 游泳池用水

游泳池用水与人体直接接触,也关系到人的身体健康,因此对水质也有严格的要求。我国建设部 2007 年 3 月 8 日批准发布了《游泳池水质标准》(CJ 244—2007) 城镇建设行业标准,于 2007 年 10 月 1 日起实施。

4. 工业用水水质标准

工业种类繁多,对用水的要求也不尽相同。例如,电子工业对水质要求极为严格,要求使用纯水、超纯水;而一般工业冷却用水对水质要求则十分宽松。因此各工业行业从保证产品质量和保障生产正常运行的角度,制定相应的水质标准。

1.2 污水的性质与排放标准

1.2.1 污水的分类与性质

污水,通常指受一定污染的、来自生活和生产的废弃水。污水根据其来源一般可以分为生活污水、工业废水和初期雨水。

1. 生活污水

生活污水主要来自家庭、商业、机关、学校、医院、城镇公共设施及工厂的餐饮、卫生间、浴室、洗衣房等,包括厕所冲洗水、厨房洗涤水、洗衣排水、淋浴排水及其他排水等。城市每人每日排出的生活污水量为 150~400L,其量与生活水平有密切关系。生活污水中含有大量有机物,如纤维素、淀粉、糖类和脂肪、蛋白质等;也常含有病原菌、病毒和寄生虫卵;无机盐类的氯化物、硫酸盐、磷酸盐、碳酸氢盐和钠、钾、钙、镁等。总的特点是含氮、含硫和含磷高,在厌氧细菌作用下,易生恶臭物质。

2. 工业废水

工业废水是指工业生产过程中产生的废水、污水和废液,其中含有随水流失的工业生产用料、中间产物和产品以及生产过程中产生的污染物。一般而言,工业废水污染比较严重,往往含有有毒有害物质,有的含有易燃、易爆、腐蚀性强的污染物,需局部处理达到要求后才能排入城镇排水系统,是城镇污水中有毒有害污染物的主要来源。随着工业的迅速发展,废水的种类和数量迅猛增加,对水体的污染也日趋广泛和严重,威胁人类的健康和安全。

3. 初期雨水

初期雨水,顾名思义,就是降雨初期时的雨水。但是,由于降雨初期,雨水溶解了空气中的大量酸性气体、汽车尾气、工厂废气等污染性气体,降落地面后,又由于冲刷沥青油毡屋面、沥青混凝土道路、建筑工地等,使得前期雨水中含有大量的有机物、病原体、重金属、油脂、悬浮固体等污染物质,因此前期雨水的污染程度较高,通常超过了普通的城市雨水的污染程度。如果将前期雨水直接排入自然承受水体,将会对水体造成非常严重的污染。

1.2.2 水体污染与水质指标

1.2.2.1 水体污染

水体污染,从不同的角度可以划分为各种污染类别。

环境污染物的来源称为污染源。从污染源划分,可分为点污染源和面污染源。点污染是指污染物质从集中的地点(如工业废水及生活污水的排放口门)排入水体。它的特点是排污经常,其变化规律服从工业生产废水和城市生活污水的排放规律,它的量可以直接测定或者



定量化,其影响可以直接评价。而面污染则是指污染物质来源于集水面积的地面上(或地下),如农田施用化肥和农药,灌排后常含有农药和化肥的成分,城市、矿山在雨季,雨水冲刷地面污物形成的地面径流等。面源污染的排放是以扩散方式进行的,时断时续,并与气象因素有联系。

从污染的性质划分,可分为物理性污染、化学性污染和生物性污染。物理性污染是指水的浑浊度、温度和水的颜色发生改变,水面的漂浮油膜、泡沫以及水中含有的放射性物质增加等;化学性污染包括有机化合物和无机化合物的污染,如水中溶解氧减少、溶解盐类增加、水的硬度变大、酸碱度发生变化或水中含有某种有毒化学物质等;生物性污染是指水体中进入了细菌和污水微生物等。

1.2.2.2 水质指标

水质指标是指水样中除去水分子外所含杂质的种类和数量,它是描述水质状况的一系列标准。污水中所含的污染物质千差万别,可以通过水质指标来评价水体的污染程度,即用分析和检测的方法对污水中的污染物质做出定性、定量的检测以反映污水的水质。国家对水质的分析和检测制定有许多标准,其指标可分为物理性指标、化学性指标和生物性指标三类。

1. 物理性指标

表示污水物理性质的污染指标主要有温度、色度、嗅和味以及固体物质等。

(1) 温度。水温影响水中的化学反应,包括生化反应、水生物的生命活动、可溶性盐类的溶解度、可溶性有机物的溶解度、溶解氧在水中的溶解度、水体自净及其速率、细菌等微生物的繁殖与生长能力及速度。

许多工业企业排出的污水都有较高的温度,排放这些污水会使水体水温升高,引发水体的热污染。氧在水中的饱和溶解度随水温升高而减少,较高的水温又加速耗氧反应,可导致水体缺氧与水质恶化。

(2) 色度。色度是一项感官性指标。纯净的天然水是清澈透明无色的,如果水带颜色或有异味,多是由于水中杂质引起的,有时还是水中存在有毒物质的标志,比如带有黄色或黄褐色的水,多是由腐殖质有机物所引起,各种藻类可以使水呈绿色、棕褐色、暗褐色,勃土使水呈黄色,氯化铁使水呈黄褐色,硫使水呈浅蓝色等。

水的颜色深浅,通常用色度来表示,色度的单位采用铂钴标准,它是将一定量的氯化铂酸钾和氯化钴溶液混合,其颜色(黄褐色)为1度,作为色度的基本单位。清洁天然水色度一般在15~25度,含较多腐殖质的湖水、水库水色度可以达到50度以上。

(3) 嗅和味。嗅和味同色度一样也是感官性指标。天然水是无臭无味的,当水体受到污染后会产生异样的气味。水的异臭来源于还原性硫和氮的化合物、挥发性有机物和氯气等污染物质。盐分会给水带来异味,如氯化钠带咸味、硫酸镁带苦味、铁盐带涩味、硫酸钙略带甜味等。

(4) 固体物质。水中所有残渣的总和称为总固体(TS),总固体包括溶解性固体(DS)和悬浮固体(在国家标准和规范中又称悬浮物,用SS表示)。水样经过滤后,滤液蒸干所得的固体即为溶解性固体(DS),滤渣脱水烘干后即是悬浮固体(SS)。

固体残渣根据挥发性能可分为挥发性固体(VS)和固定性固体(FS)。将固体在600℃的温度下灼烧,挥发掉的量即是挥发性固体,灼烧残渣则是固定性固体。溶解性固体一般表示盐类的含量,悬浮固体表示水中不溶解的固态物质含量,挥发性固体反映固体的有机成分含量。



2. 化学性指标

表示污水化学性质的指标可分为有机物指标和无机物指标。

生活污水和某些工业废水中所含的碳水化合物、蛋白质、脂肪等有机化合物在微生物作用下最终分解为简单的无机物质、二氧化碳和水等。这些有机物在分解过程中需要消耗大量的氧，故属耗氧污染物。耗氧有机污染物是使水体产生黑臭的主要原因之一。

污水的有机污染物的组成较复杂，现有技术难以分别测定各类有机物的含量，通常也没有必要。从水体有机污染物看，其主要危害是消耗水中溶解氧。在实际工作中一般采用生化需氧量（BOD）、化学需氧量（COD、OC）、总有机碳（TOC）、总需氧量（TOD）等指标来反映水中需氧有机物的含量。

（1）生化需氧量。生化需氧量，是水体中的好氧微生物在一定温度下将水中有机物分解成无机质，这一特定时间内的氧化过程中所需要的溶解氧量。以 mg/L、百分率或 ppm 表示。它是反映水中有机污染物含量的一项综合指标。它说明水中有机物出于微生物的生化作用进行氧化分解，使之无机化或气体化时所消耗水中溶解氧的总数量。其值越高，说明水中有机污染物质越多，污染也就越严重。加以悬浮或溶解存在于生活污水和制糖、食品、造纸、纤维等工业废水中的碳氢化合物、蛋白质、油脂、木质素等均为有机污染物，可经好氧菌的生物化学作用而分解，由于在分解过程中消耗氧气，故亦称需氧污染物质。若这类污染物质排入水体过多，将造成水中溶解氧缺乏，同时，有机物又通过水中厌氧菌的分解引起腐败现象，产生甲烷、硫化氢、硫醇和氨等恶臭气体，使水体变质发臭。

有机污染物被好氧微生物氧化分解的过程，一般可分为两个阶段。第一阶段为碳氧化阶段，第二阶段为硝化阶段。第一阶段主要是有机物被转化成二氧化碳、水和氨；第二阶段主要是氨被转化为亚硝酸盐和硝酸盐。污水的生化需氧量通常指第一阶段有机物生物氧化所需的氧量。微生物的活动与温度有关，测定生化需氧量时以 20℃ 作为测定的标准温度。生活污水中的有机物一般需 20d 左右才能基本上完成第一阶段的分解氧化过程，即测定第一阶段的生化需氧量至少需 20d 时间，这在实际应用中周期太长。目前以 5d 作为测定生化需氧量的标准时间，简称 5 日生化需氧量（用 BOD_5 表示）。根据试验研究，生活污水 5 日生化需氧量约为第一阶段生化需氧量的 70% 左右。

（2）化学需氧量。水样在一定条件下，以氧化 1L 水样中还原性物质所消耗的氧化剂的量为指标，折算成每升水样全部被氧化后需要的氧的毫克数，以 mg/L 表示。它反映了水中受还原性物质污染的程度。水中的还原性物质有各种有机物、亚硝酸盐、硫化物、亚铁盐等，但主要的是有机物。因此，化学需氧量又往往作为衡量水中有机物质含量多少的指标。化学需氧量越大，说明水体受有机物的污染越严重。一般测量化学需氧量所用的氧化剂为高锰酸钾或重铬酸钾，使用不同的氧化剂得出的数值也不同，因此需要注明检测方法。为了具有可比性，各国都有一定的监测标准。根据所加强氧化剂的不同，分别称为重铬酸钾耗氧量（习惯上称为化学需氧量，测得的值称 COD_{Cr} ，或简称 COD）和高锰酸钾耗氧量（习惯上称为耗氧量，测得的值称 COD_{Mn} 或简称 OC，也称为高锰酸盐指数）。

高锰酸钾（ $KMnO_4$ ）法的氧化率较低，但比较简便，在测定水样中有机物含量的相对比较值时可以采用。重铬酸钾（ $K_2Cr_2O_7$ ）法的氧化率高，再现性好，适用于测定水样中有机物的总量。有机物对工业水系统的危害很大。严格来说，化学需氧量也包括水中存在的无机性还原物质。通常，因废水中有机物的数量大大多于无机物的量，因此，一般用化学需氧



量来代表废水中有机物的总量。在测定条件下水中不含氮的有机物易被高锰酸钾氧化,而含氮的有机物就比较难分解。因此,耗氧量适用于测定天然水或含容易被氧化的有机物的一般废水,而成分较复杂的有机工业废水则常测定化学需氧量。

在污水处理中,通常采用重铬酸钾法。如果污水中有机物的组成相对稳定,则化学需氧量和生化需氧量之间应有一定的比例关系。一般而言,生化需氧量和化学需氧量的比值能说明水中的难以生化分解的有机物占比,微生物难以分解的有机污染物对环境造成的危害更大。通常认为废水中这一比值大于0.3时适合使用生化处理。

(3) 总有机碳与总需氧量。目前应用的5日生化需氧量测试时间长,不能快速反映水体被有机物污染的程度。可以采用总有机碳和总需氧量的测定,并寻求它们与5日生化需氧量的关系,实现快速测定。

总有机碳包括水样中所有有机污染物的含碳量,也是评价水样中有机污染物的一个综合参数。有机物中除含有碳外,还含有氢、氮、硫等元素,当有机物全都被氧化时,碳被氧化为二氧化碳,氢、氮及硫则被氧化为水、一氧化氮、二氧化硫等,此时需氧量称为总需氧量。

总需氧量和总有机碳的测定都是燃烧化学氧化反应,前者测定结果以碳表示,后者则以氧表示。总需氧量、总有机碳的耗氧过程与生物化学需氧量的耗氧过程有本质不同,而且由于各种水样中有机物质的成分不同,生化过程差别也较大。各种水质之间总需氧量或总有机碳与生物化学需氧量不存在固定的相关关系。在水质条件基本相同的条件下,生物化学需氧量与总需氧量或总有机碳之间存在一定的相关关系。

(4) pH值。pH值主要指示水样的酸碱性。 $\text{pH} < 7$ 呈酸性, $\text{pH} > 7$ 呈碱性。一般要求处理后污水的pH值在6~9之间。天然水体的pH值一般近中性,当受到酸碱污染时pH值发生变化,可杀灭或抑制水体中生物的生长,妨碍水体自净,还可腐蚀船舶。若天然水体长期遭受酸、碱污染,将使水质逐渐酸化或碱化,从而对正常生态系统产生严重影响。

(5) 植物营养元素氧、磷。污水中的氮、磷为植物营养元素,从农作物生长角度看,植物营养元素是宝贵的养分,但是大量的氮、磷、钾等元素排入到流速缓慢、更新周期长的地表水体,会破坏水生生态平衡的过程,进而会导致富营养化。

富营养化是指生物所需的氮、磷等营养物质大量进入湖泊、河口、海湾等缓流水体,引起藻类及其他浮游生物迅速繁殖,水体溶氧量下降,鱼类及其他生物大量死亡的现象。大量死亡的水生生物沉积到湖底,被微生物分解,消耗大量的溶解氧,使水体溶解氧含量急剧降低,水质恶化,以至影响到鱼类的生存,大大加速了水体的富营养化过程。水体出现富营养化现象时,由于浮游生物大量繁殖,往往使水体呈现蓝色、红色、棕色、乳白色等,这种现象在江河湖泊中叫水华(水花),在海中叫赤潮。在发生赤潮的水域里,一些浮游生物爆发性繁殖,使水变成红色,因此叫“赤潮”。这些藻类有恶臭、有毒,鱼不能食用。藻类遮蔽阳光,使水底生植物因光合作用受到阻碍而死去,腐败后放出氮、磷等植物的营养物质,再供藻类利用。这样年深月久,造成恶性循环,藻类大量繁殖,水质恶化而又腥臭,水中缺氧,造成鱼类窒息死亡。

水体富营养化过程与氮、磷的含量及氮磷含量的比率密切相关。反映营养盐水平的指标总氮、总磷,反映生物类别及数量的指标叶绿素a和反映水中悬浮物及胶体物质多少的指标透明度作为控制湖泊富营养化的一组指标。有文献报道,当总磷浓度超过 0.1mg/L (如果磷是限制因素)或总氮浓度超过 0.3mg/L (如果氮是限制因素)时,藻类会过量繁殖。