

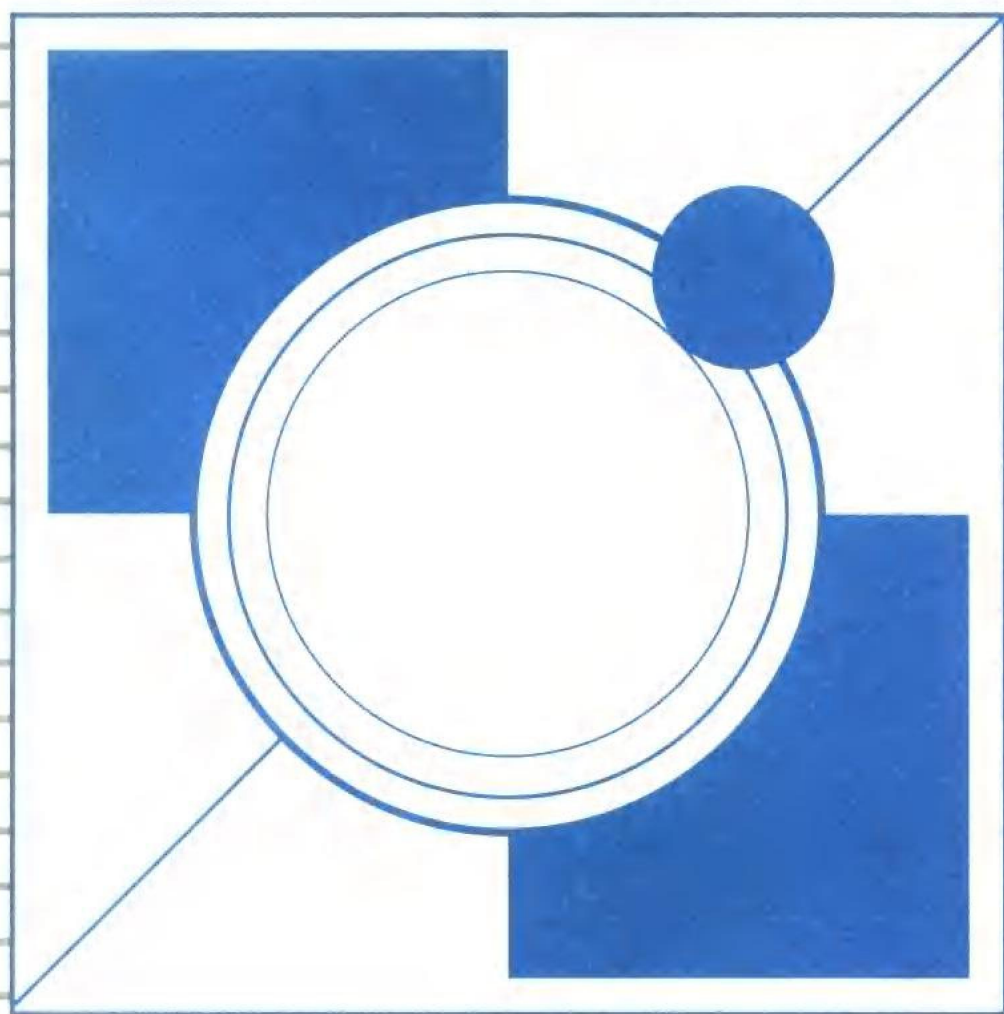
高职高专给水排水工程专业系列教材

# 水处理工程

符九龙 主编

符九龙 李东林 沈春花 谭德先 边德军 编

张自杰 主审



高职高专给水排水工程专业系列教材

# 水 处 理 工 程

符九龙 主编

符九龙 李东林 沈春花 谭德先 边德军 编

张自杰 主审

ND=3115

中国建筑工业出版社

## 前 言

本书是高等专科学校给水排水工程专业系列教材之一。它根据全国高等学校给水排水工程学科专业指导委员会专科组 1997 年沧州会议通过的“水处理工程”课程教学基本要求,按 100 学时编写。

本书是将给水处理及污水处理两部分合二为一编写的。

水处理工程学科的发展已有 100 多年的历史。由于原水及污(废)水各自水质特征、使用目的及处理方法的差异,该领域过去几十年均以各自的特点建立了单独的学术体系,即给水处理与污水处理两个分支,并在不断发展与完善之中。由于工业的迅速发展,尤其水污染的日益加重,水处理技术领域内两个分支的理论、方法等诸多共同性的地方越来越多。

随着我国高等教育改革的不断深入和科学技术的迅速发展,我国高等专科学校给水排水工程专业急需按照工程类专科学校的培养目标和教改需要,编写适应专科教学的教材以弥补本专业缺乏专科教材的缺陷。

沧州会议决定由河南城建高等专科学校、长春建筑高等专科学校、湖南城建高等专科学校共同编写此书。

本书的编写遵循如下的指导思想和原则:

一、本书应充分体现教育部对工程类专科人才培养模式的要求,即理论部分以够用为度,重在知识面拓宽和实际应用。

二、本书应把握好给水与污(废)水处理二者关系,既要保持给水处理和污(废)水处理各自成熟、完整独立性的一面;还要处理好二者相互联系和共同性的一面。

三、本书以处理水质为目标,以处理方法为主线,将长期使用的给水处理和污(废)水处理两个体系的主要内容既全面而又有机地融为一体。

四、本书尽量做到纲目清晰、简洁明确、工程应用实例充分,体现专科教材实用性强的特点,达到压缩理论、免去重复、精减学时的要求。

五、尽量反映现代水处理技术的发展与创新。《水处理工程》全书的主要内容包括:水处理概述、水处理的基本理论和处理方法、污泥的处置、给水及污水处理厂(站)的设计及运行管理、水处理工程技术经济比较,计十二章。

本书是给水排水工程专业的主干课之一,是专业必修课,在学生学完公共课和《给排水化学基础》、《水力学》、《水分析技术》、《水处理微生物基础》等课程的相关内容之后讲授。

本书在编写过程中,得到了给水排水专业指导委员会,尤其是专科指导组周虎城等有关教授的具体指导和帮助,哈尔滨建筑大学张自杰教授、武汉工业大学陈中正教授为本书进行了初审,提出了许多宝贵的修改意见;中国建筑工业出版社何苗博士为本书内容也提出了宝贵意见;中南市政工程设计研究院、中国科学院河南分院能源研究所、河南城建高等专科学校给水排水教研室等诸多单位和同志给予了许多热情帮助和支持,在此一并表示由衷的感谢。

本书由河南城建高等专科学校符九龙教授主编、哈尔滨建筑大学张自杰教授主审。参加编写人员及其分工编写内容如下:

河南城建高等专科学校符九龙(前言、第一、二章),李东林(第六、七、十一章),沈春花(第四、五、十章);湖南城建高等专科学校谭德先(第三、十二章);长春建筑高等专科学校边德军(第八、九章)。

限于编者水平,书中缺点、错误在所难免,敬请读者及同行批评、指正。

# 目 录

第一章 水处理概述 .....	1
第一节 水质与水质指标 .....	1
第二节 水质标准 .....	10
第三节 水体污染与自净 .....	15
第四节 水处理的基本方法 .....	22
第二章 水的预处理 .....	25
第一节 格栅 .....	25
第二节 调节池 .....	31
第三章 混凝、沉淀和澄清 .....	36
第一节 混凝机理 .....	36
第二节 混凝剂及其配制与投加 .....	43
第三节 混合及絮凝反应设施 .....	47
第四节 沉淀的基本理论 .....	54
第五节 沉砂池 .....	61
第六节 沉淀池 .....	65
第七节 除油池 .....	74
第八节 澄清池 .....	76
第四章 过滤 .....	82
第一节 过滤的基本概念 .....	82
第二节 滤料和承托层 .....	87
第三节 滤池冲洗 .....	91
第四节 普通快滤池的设计计算与维护管理 .....	100
第五节 几种常用型式的快滤池 .....	109
第六节 污(废)水的过滤处理 .....	120
第五章 消毒 .....	126
第一节 氯消毒 .....	126
第二节 其它消毒法 .....	131
第六章 水的好氧生物处理 .....	136
第一节 活性污泥法 .....	136
第二节 生物膜法 .....	185
第三节 自然生物处理法 .....	204
第七章 水的厌氧生物处理 .....	212
第一节 基本概念 .....	212
第二节 厌氧处理的工艺构造、设计与应用 .....	213
第八章 污泥的处理 .....	223

第一节	概述	223
第二节	污泥调节	225
第三节	污泥浓缩、脱水与干化	226
第四节	污泥的稳定	234
第五节	污泥输送与综合利用	243
第九章	水的化学与物理化学处理	247
第一节	化学沉淀与中和	247
第二节	氧化还原	249
第三节	气浮	251
第四节	吸附	257
第五节	电解	262
第六节	萃取	263
第七节	离子交换	265
第八节	除铁除锰	274
第九节	膜析	279
第十章	循环水的冷却与处理	286
第一节	水冷却的基础知识	286
第二节	冷却构筑物类型、工艺构造及选择	289
第三节	循环水处理的基本概念	298
第四节	冷却水系统的阻垢缓蚀和综合处理	304
第十一章	给水厂和污水厂(站)的设计与运行管理	309
第一节	原始资料	309
第二节	厂址选择	310
第三节	处理工艺流程选择	311
第四节	处理厂平面及高程布置	312
第五节	配水、量水设备	323
第六节	验收、运行管理、水质监测与自动控制	325
第十二章	水处理工程技术经济比较	329
第一节	水处理费用函数	329
第二节	水处理工程基建投资及运行维护费用估算	330
第三节	方案的技术经济比较	334
附录		344
参考文献		368

# 第一章 水处理概述

## 第一节 水质与水质指标

水是构成自然界生态系统的重要组成部分,是人类赖以生存不可替代的物质资源。

水是个极为复杂的综合体系,它大体可分为自然界生态系统原水(或叫水源水,如江、河、湖、海、地下水等)和通过人们生活及生产使用后排放的污(废)水(含生产和工业)。

无论取自何种原水或使用过的水,都程度不同的含有各种各样的杂质或污染物。水质指标是表示水中各种杂质或污染物的重要标志,是水质状况的综合反映。

人类社会为了满足生活和生产的需要,要从各种原水中取用大量的水,而水中含有的杂质,既有碍于人们的生活又影响生产使用,污(废)水的任意排放更是危害水体、破坏生态环境的。

水质与水质指标是水处理工程学科发展的基础。水处理工程的任务是根据水的水质指标,按不同要求,通过适当的处理方法以达到符合生活、工业使用、回收利用或达标排放的目的。

本节拟从水处理的观点对原水中的杂质及污(废)水的水质指标作简要综述。

### 一、原水中的杂质

自然界中的水,在太阳照射和地心引力等作用下不停地流动和转化,通过降水、渗透和蒸发等循环方式而形成多种形式的水源。水在自然循环中都不同程度地有各种各样的杂质混入,使水质发生变化。其杂质的来源基本分为两类:一是自然过程;如初期降水(包括雨、雪等)在到达地面之前对各种有害物质的溶入;水对地层矿物中某些易溶成分的溶解;水流对地表及河床冲刷所带入的泥砂和腐殖质;水中各类微生物、水生动植物繁殖及其死亡残骸等等。二是人为因素(即生活污水及工业废水)的污染。此时,水中杂质将更为复杂。

这些杂质按形态(主要是尺寸大小)可分为悬浮物、胶体和溶解物三类。见表 1-1。

水中杂质分类

表 1-1

杂 质	溶 解 物 (低分子、离子)		胶 体		悬 浮 物			
	0.1nm	1nm	10nm	100nm	1 $\mu$ m	10 $\mu$ m	100 $\mu$ m	1mm
颗粒尺寸								
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			

表中的颗粒尺寸系按球形计,且各类杂质的尺寸界限是大体的范围,而不是绝对的。一般说粒径在 100nm~1 $\mu$ m 之间属于胶体和悬浮物的过渡阶段。小颗粒悬浮物往往也具有一定的胶体特性,只有当粒径大于 10 $\mu$ m 时才与胶体有明显差别。

从水的生活饮用和水处理技术的观点看:

悬浮物的尺寸较大,易于在水中下沉或上浮。易于下沉的一般是大颗粒泥砂及矿物质废渣等;能够上浮的一般是体积较大而密度小于水的某些有机物。

胶体状的物质颗粒尺寸很小。水中胶体通常包括粘土、藻类、腐殖质及蛋白质等。它们在水中长期静放,既不能上浮水面也不能沉淀澄清。悬浮物和胶体往往造成水的浑浊,而有机物如腐殖质及藻类等还造成水的色、臭、味,是对工业使用和人类健康的主要影响,并给人以恶感和不快。水处理的首要任务就是将它们去除。

水中溶解杂质极为复杂,主要包括:

(1) 基本上以阳离子和阴离子存在形式的溶解性物质,如  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ ;而地下水还有  $\text{Fe}^{2+}$  和  $\text{F}^-$  等。

(2) 主要溶解在水中的  $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$  气体,有时还含有  $\text{N}_2$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{H}_2\text{S}$ 。这些物质用常规的混凝、沉淀、过滤等方法难以去除。值得注意的是,当天然水体中含有有机高分子物质,如腐殖酸等,以及有机杂质——活性生物体,如藻类、细菌、病毒、原生动物等,通过混凝、沉淀、过滤大多可以去除。但对人体健康构成威胁的病毒、细菌等必须通过消毒杀菌将其杀灭。

需要着重指出的是,由于现代工业的发展,水污染的程度日益加重,当水中含有 Hg、Cr、Cd、Pb、Se、As、氰化物等无机类有毒物质;多环芳烃、芳香族氨基化合物、有机汞、酚类化合物等有机类有害物质;以及人工合成的有机磷农药、有机氯等有毒物质时,水处理工艺将远比通常的处理方法复杂。

按照水源的分类,概括说来有以下几种情况:

江河水易受自然条件影响,水较混浊,细菌较多,含盐量和硬度较低。而地下水因受地层渗滤过程的净化,水质较清,细菌较少,特别是深层井水细菌更少,但含盐量和硬度较高。

由于湖泊及水库水多由河水供给形成,水质与河水类似。但由于湖(或水库)水流动性小,贮存时间长,经过长期自然沉淀,一般浊度较低,多数含藻类较多。湖(或水库)水受风浪冲击后水质变化较大,受生活污水污染后易产生富营养化。

海水含盐量高,而且所含各种盐类或离子的重量比例基本一定,这是海水与其它水源不同的一个显著特点。其中氯化物含量最高,约占总含量 89% 左右,硫化物次之,再次为碳酸盐,其它盐类含量极少。海水一般须经淡化处理后方可作为居民生活用水。

## 二、污水及水质指标

### (一) 污水概述

污水是人类在自己的生活、生产活动中用过并为生活或生产过程所污染的水。污水包括生活污水、工业废水、被污染的降水及各种排入管渠的其它污染水。

通常人们习惯地将污水分为如下几个名称:

生活污水,是指居民在日常生活中排出的废水。此种水的成分取决于居民的生活状况及生活习惯。我国地域广阔情况复杂,即使生活状况相似,但各地污水中杂质的成分和浓度也不尽相同。

工业废水,是在生产过程中排出的废水。其成分主要决定于生产工艺过程和使用的原料,其中也包括高温(水温超过  $60^\circ\text{C}$ )而形成热污染的工业废水。不同的工业生产产生不同性质的废水,同类工业采用不同的生产工艺过程,产生的废水也不相同。

工业废水性质各异,多半具有危害性,未经处理不允许排放。但冷却水和在生产过程中只起辅助作用,有的只是温度稍有上升的水,未被污染物污染或污染很轻,此时可采取冷却



或简单的处理后重复使用。这种较清洁不经处理即可排放的废水称为生产废水。而污染较严重,必须经处理后方可排放的工业废水称之为生产污水。

工业废水是生产污水和生产废水的总称。

城市污水是排入城镇排水系统污水的总称,是生活污水和工业废水的混合液。我国多数城市污水均属此类。在合流制排水系统中,此类污水还应包括降水。城市污水中各类污水所占的比例,因城市的排水体制不同而异。城市污水的水质指标、污染物组成、形态及含量也因城市不同而异。

排放水体、灌溉田地及重复使用是污水的最后三种处置途径。

排放水体是污水的自然归宿。水体对污水有一定的稀释与自净能力,可使污水得到处理,此法称为污水的稀释自净法,是常用的排放方式。其前提条件是接纳水体有足够的环境容量。但目前由于各种原因,未经处理或处理不善的污水直接排入水体,酿成了多数水体(或水系)遭到较为严重的污染。

灌溉田地是污水综合利用的一种方式,也是污水处理的一种途径,称作污水的土地处理法。

重复使用是最合理的污水处置方法。此法具有广阔的前景,随着我国水资源的短缺和水法的日臻完善,应是必须采用的方法。

## (二) 污水的水质指标

污水的水质指标是表示污水水质受污染情况的重要标志。由于污水中各类污染物质的组成、形态及含量极为复杂,其水质指标按物理方面的意义大体可分为:可生物降解的有机污染物;难生物降解的有机污染物;无直接毒害的无机污染物和有直接毒害的无机污染物四类。具体的水质污染指标分述如下:

### 1. 可生物降解的有机污染物

水体中可降解的有机污染物,在有氧的条件下,由好氧微生物的作用,进行好氧降解,使水中的溶解氧逐渐减少。当水中有机物较多时,好氧降解将进行得很快,而水体又不能及时从大气中吸收足够氧来补充消耗的氧时,水中的溶解氧就会消耗殆尽。这时,有机物开始腐化,发出臭气,破坏水体生态组成,影响环境卫生。因此,污水中有机物的浓度是一个重要的水质指标。

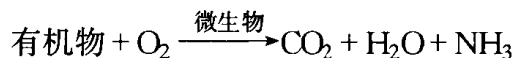
由于有机物的种类繁多,组成比较复杂,现有的分析技术难以将其严格区分和定量。但它们的共性是:在微生物的作用下被降解时,都要消耗水中的溶解氧,工程实践中一般采用以下几个综合污染指标予以表述:

#### (1) 生物化学需氧量(Bio-chemical Oxygen Demand 缩写 BOD)。

生物化学需氧量,简称生化需氧量。生化需氧量是指在有氧的条件下,由于微生物(主要是细菌)的作用,降解有机物所需的氧量称为生化需氧量,常以 BOD 表示,单位为 mg/L 或 kg/m<sup>3</sup>。

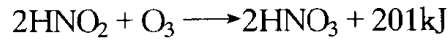
生化需氧量(BOD)是表示污水被有机物污染的综合指标。它表示污水中有机污染物在生化分解过程中所需的氧量。BOD 值的高低间接地反映了可被微生物氧化分解的有机物(称可降解有机物)的量。从卫生意义来说,BOD 值能直接说明水体的有机物污染情况。

污水中有机物的氧化分解过程可分为两个阶段:第一阶段叫碳氧化阶段,也就是有机物中碳氧化为二氧化碳的过程。用简单的化学方程式表示为:



在自然条件下(温度为 20℃),一般有机物第一阶段的氧化分解可在 10~20 天内完成。该阶段的生化需氧量记作 BOD<sub>u</sub> 或(BOD<sub>20</sub>)。

第二阶段的氧化分解叫硝化阶段,主要是将 NH<sub>3</sub> 氧化为亚硝酸盐和硝酸盐:



在 20℃ 的自然条件下,第二阶段的氧化分解需百日才能最终完成。

由于 BOD<sub>u</sub> 测定需要 20 天时间,对指导生产不利,经过长期实践并考虑到好氧分解速度一般在开始几天最快,因此,目前都用 5 天的生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)作为有机污染指标。对生活污水来讲,BOD<sub>5</sub> 约为 BOD<sub>20</sub>(或 BOD<sub>u</sub>)的 70% 左右。生活污水的 BOD<sub>5</sub> 值一般介于 100~400mg/L 之间。各种工业废水的 BOD<sub>5</sub> 值相差很大。

图 1-1 为生活污水和不同工业企业的工业废水的 BOD<sub>5</sub> 值。

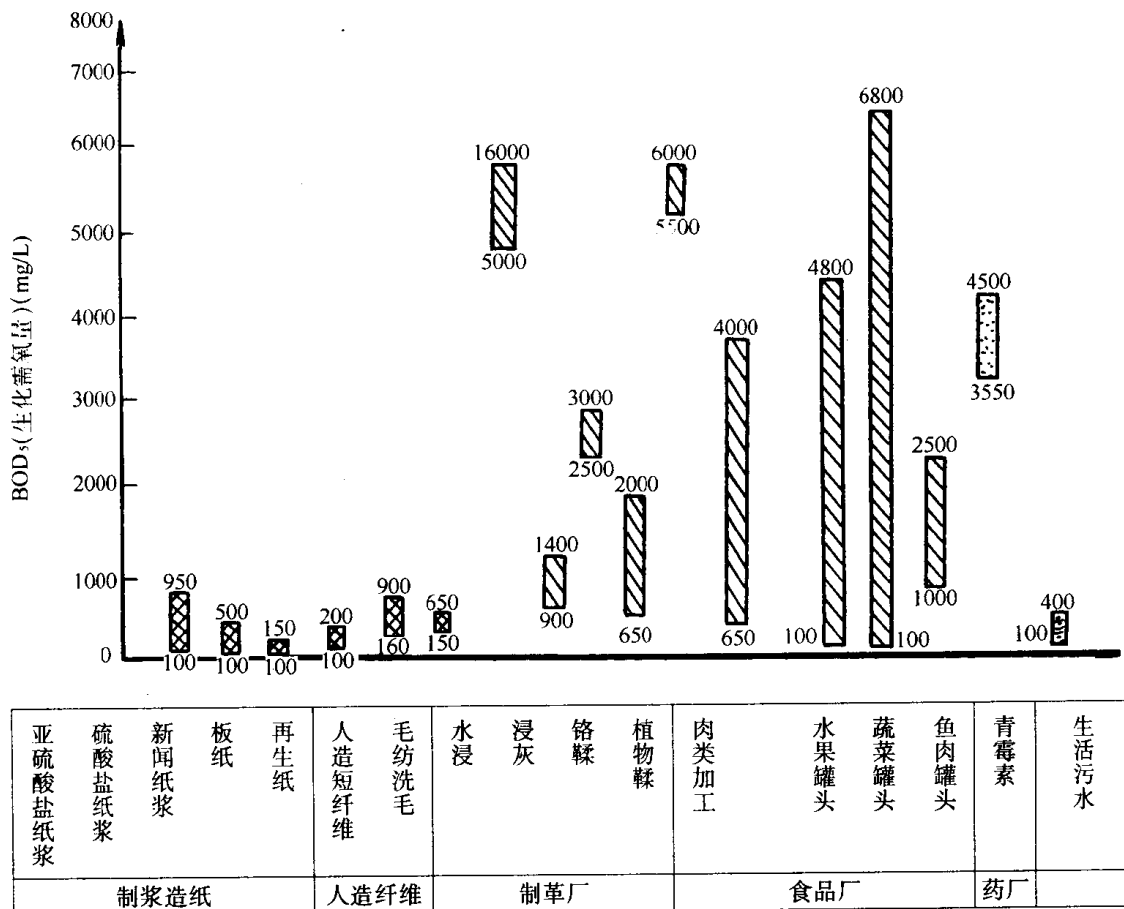


图 1-1 生活污水及不同工业企业的工业废水 BOD<sub>5</sub> 值

城市污水的 BOD<sub>5</sub> 值决定于工业废水所占的比例及性质。

## (2) 化学需氧量(Chemical Oxygen Demand 缩写 COD)

BOD<sub>5</sub> 值作为衡量污水中有机物浓度指标,仍存在某些问题:如①测定时间还嫌过长,指导实践不力;②当污水中难生物降解的物质含量过高时,测定出的 BOD<sub>5</sub> 值与实际的有机污染物含量误差较大;③某些工业废水不含微生物生长所需的营养物质或含有抑制微生物生长繁殖的物质时,测定比较困难或无法测定。

这时,可采用另一种指标—化学需氧量(COD)。

化学需氧量是化学氧化剂氧化有机物时所需的氧量。

用强氧化剂(我国法定用重铬酸钾),在酸性条件下,将有机物氧化为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  所消耗的氧量称为化学需氧量,用  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  表示,一般写成 COD。由于重铬酸钾的氧化作用极强,所以它不但能较完全地氧化污水中的各种性质的有机物,且能氧化水中一些无机物(如亚硫酸、硫代硫酸钠、亚铁盐、亚硝酸盐)。

用高锰酸钾作为氧化剂,测得的耗氧量称为高锰酸钾耗氧量,用  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  (或 OC) 表示。由于高锰酸钾的氧化性较弱,有一部分有机物未被氧化,所以测定的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  小于  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 。 $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的值越大,水中的有机物量越高。

化学需氧量的优点能较精确地表示污水中有机物的含量,并且测定时间短,不受水质的限制,缺点是不能像 BOD 那样表示出微生物氧化的有机物量,直接从卫生学方面阐明水质的污染情况。此外,由于污水中存在的还原性物质也能被氧化而消耗一部分氧,因此 COD 值存在一定误差。

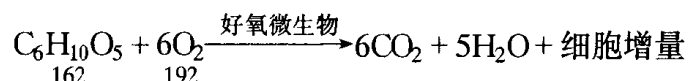
COD 值一般大于  $\text{BOD}_{20}$ , 两者的差值大致等于难于生物降解的有机物量。成分较稳定的污水,  $\text{BOD}_5$  值与 COD 值之间保持着一定的相关关系。对生活污水来说,  $\text{BOD}_5$  与 COD 的比值大致为 0.4~0.8 之间。

$\text{BOD}_5/\text{COD}$  可作为污水是否适宜于采用生物化学处理法的一个衡量指标,故把  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  的比值叫可生化性指标。比值越大越容易被生化法处理。一般认为  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  值大于 0.3 的污水才适于采用生化法处理。

### (3) 总需氧量(Total Oxygen Demand 缩写 TOD)

有机物主要由 C、H、O、N、S 等元素组成,当被氧化后,分别产生  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NO}_2$ 、和  $\text{SO}_2$  所消耗的氧量称为总需氧量 TOD。

可生物降解的有机污染物的特征就是耗氧,故也称为耗氧物质或需氧物质。以葡萄糖  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$  在好氧微生物的作用下被降解为例:



当污水中葡萄糖含量为 50mg/L,全部被降解需消耗的氧量为:

$$50\text{mg/L} \times \frac{192}{162} \approx 60\text{mg/L}$$

近年来开发应用的总需氧量 TOD 指标是水分析技术不断发展的结果。

TOD 的测定原理是:向已知氧含量的氧气流中注入一定数量的污水水样,使其送入以铂钢为触媒的燃烧管中,在 900℃ 的高温下燃烧水样中的有机物即被氧化消耗掉氧气流中的氧,剩余氧量可用电极测定并自动记录。氧气流原有的氧量减去剩余的氧量即为总需氧量 TOD。

TOD 的测定迅速简捷,仅需几分钟。同一水样在一般情况下的 TOD 值大于 COD 值。

### (4) 总有机碳(Total Organic Carbon 缩写 TOC)

总有机碳 TOC 是目前国内外开始使用的表示污水被有机物污染的综合指标。它是总含碳量值表示污水中有机物的含量。

TOC 的测定原理是:先将污水水样酸化,通过压缩空气吹脱水中的无机碳酸盐,排除干

扰,然后向已知含氧量气流中注入一定数量的水样,并将其送入以铂钢为触媒的燃烧管中,在 900℃ 的高温下燃烧,燃烧过程中产生的 CO<sub>2</sub> 量用红外气体分析仪测定,并用自动记录仪记录,再折算出其中的含碳量,即为总有机碳 TOC 值。

生活污水中的 TOC 值介于 100~350mg/L,一般略高于 BOD<sub>5</sub> 值。

TOD 和 TOC 的测定都是化学燃烧氧化反应。表示污水中有机物的含量,前者测定结果用消耗的氧量表示,后者测定结果用碳的含量表示。

水质比较稳定的污水,BOD<sub>5</sub>、TOD 和 TOC 之间存在着一定的相关关系。

## 2. 难生物降解的有机污染物

污水中化学性质比较稳定,不易被微生物降解的有机物称为难生物降解有机污染物。

工业废水中难生物降解的有机污染物有:农药(DDT,有机氯及有机磷等)、酚类化合物、聚氯联苯、芳香族氨基化合物、稠环芳烃(如苯并芘)、高分子合成聚合物(塑料、合成橡胶、人造纤维、合成染料、合成洗涤剂等)。以有机氯农药为例,由于它具有很强的化学稳定性,在自然环境中的半衰期为几十年。此外,它们都可通过食物链在人体内富集危害人体健康,如聚氯联苯、联苯胺多环芳烃等,都是较强的三致物质(致癌、致突变、致畸)。有机氯农药是疏水亲油物质,能够为胶体颗粒所吸附并随它们在水中扩散,还能在水生生物体内大量富集,使富集在水生生物体内的浓度几千倍甚至几百万倍于水体,然后经食物链进入人体,积累在脂肪含量高的组织中,在达到一定浓度后,即显示出对人体的毒害作用。难生物降解的有机污染物,不能用 BOD<sub>5</sub>、BOD<sub>20</sub>表示,只能用 COD、TOC、TOD 等表示或用 DDT 等专用指标表示。

## 3. 无直接毒害作用的无机污染物

此类物基本上可分为三类。一是地面覆盖物,如泥砂、矿渣等颗粒状无机物质;一类是酸、碱及其无机盐类;一类是氮、磷等植物营养物质。

### (1) 颗粒状无机物质

泥砂、矿渣等属于颗粒状无机物质,无毒害作用,它们和有机性颗粒状污染物习惯称之为悬浮固体或悬浮物。悬浮固体在水中的状态分为:比重小于水的颗粒物易浮于水面形成浮渣;比重大于水的颗粒物易沉于水底,称可沉固体或污泥;比重接近或等于水的是悬浮物,在水中呈悬浮状态。

悬浮固体的测定可用过滤法,被滤膜或滤纸截留的物质即为悬浮固体,又叫悬浮总固体,其中包括的部分胶体和有机性物质又叫挥发性固体。

可沉固体是用沉淀筒(或量筒)测定,沉淀时间取 1~2h。生活污水的可沉固体一般在千分之一以下(重量比),而工业废水则因生产性质、工艺的不同,情况极其复杂。图 1-2 所示为生活污水与工业废水的悬浮固体一般含量。

以有机污染物为主要成分的可沉物质称为污泥,以无机污染物为主要成分的可沉物质称为沉渣。

### (2) 酸、碱度

污水的酸、碱度一般用 pH 值表示。pH 值对环境保护、给水与污水处理的影响很大。当 pH 值超过 6~9 的范围,对人、畜特别是对水生生物将造成危害。对水处理的物理化学及生物化学处理也会产生影响。尤其是当 pH 值低于 6 的酸性污水,对下水管道、污水处理构筑物与设备(如水泵)有腐蚀作用。

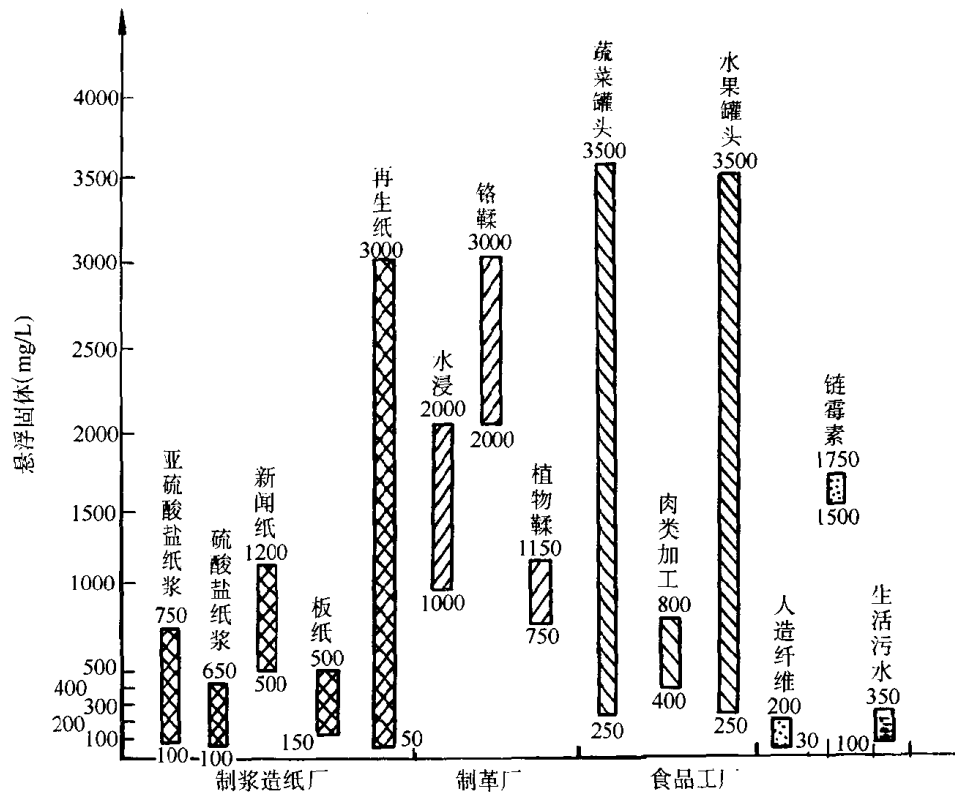


图 1-2 生活污水及不同工业企业的工业废水悬浮固体量

生活污水一般呈中性或弱碱性,而工业废水则既有酸性也有碱性,甚至具有强酸性、强碱性。

### (3) 氮、磷等植物性营养物质

氮、磷污染物主要来源于城市污水及部分工业废水。氮、磷属植物性营养物质,是导致湖泊、海湾、水库等缓流水体“富营养化”的主要物质,受到人们的关注。表 1-2 列出我国几座城市的城市污水中植物性营养物质的含量。

我国几座城市污水中植物性营养物质的含量(mg/L)

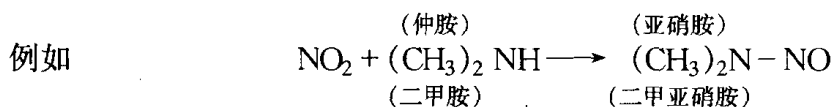
表 1-2

城市	总氮	氨氮	磷	钾
北京市	26.7~5.4	22~48	11~39	5.2~11.7
上海市	93	—	—	19.5
天津市	50	29	3.2	10.0
南京市	33	—	11	15
武汉市	27.8~7.5	25.2~40.3	11.5~34.5	29.1
西安市	36	3.7~4.8	4~21	13.4
成都市	43.7	—	—	微
哈尔滨市	66~67	25~30	—	19.5

需要着重说明的是:氮、磷等植物性营养物质大量而连续地进入湖泊、海湾、水库等缓流水体,将导致各种水生植物(主要是藻类)的急剧繁殖与增长。而水生植物死亡后,细菌将其分解,造成水中溶解氧急剧降低,酿成在一定时间内使水体处于严重缺氧状态,使鱼虾大量死亡。

近年来,我国香港、渤海湾、莱洲湾及东南沿海地域等发生的“赤潮”造成大量鱼类死亡事件;南方一些水网地区的某些水体河段,由于水生生物的大量繁殖影响航运;云南昆明“滇池”以及沿黄河一些主要城市水源水的藻类繁殖影响给水处理工艺的正常运行等情况的发生,均是由水体“富营养化”产生的,对国民经济已造成巨大的经济损失。因此,污水处理过程中的脱氮、除磷已成为亟待解决的课题。

还应该特别指出,在含氮物质中硝酸盐对人体健康的危害。在水中检出硝酸盐说明蛋白质已经降解。现已发现硝酸盐在人体胃中可还原为亚硝酸盐(在酸性、厌氧的条件下),亚硝酸盐与仲胺( $R_2 = NH$ )作用会形成亚硝胺,反应如下:



亚硝胺是三致物质之一。

工业废水中氮可分为有机氮(如氮化合物、多肽、氨基酸和尿素)、无机氮(如氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮等)。

表 1-3 所列为几种工业废水中植物性营养物质含量。

工业废水	总氮	氨氮	磷	钾
洗毛废水	584~997	120~640	—	—
含酚废水	140~180	2~10	3~17	8~23
制革废水	30~37	16~20	6~8	70~75
造纸废水	20~22	4~8	8~12	10~15
化工废水	30~76	28~56	1~12	1~6

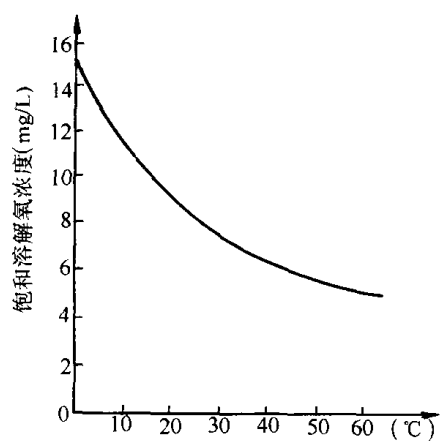


图 1-3 水中饱和和溶解氧浓度和水温的关系

#### (4) 热污染

温度超过 60℃ 的工业废水(如直接冷却水)排入水体后,会引起水体的水温升高,形成热污染效应。

热污染主要产生的现象有:①由于水体水温升高,使水体溶解氧浓度降低(水中饱和和溶解氧浓度与水温的关系见图 1-3)。由于溶解氧浓度降低,亏氧量(一定温度下水中饱和和溶解氧与实际溶解氧浓度之差值称为亏氧量)随之减少,故大气中的氧向水体传递速度也减慢;另一方面,还会导致水生生物耗氧速度加快,促使水体中溶解氧更快地被消耗殆尽,造成鱼类和水生生物因缺氧而窒息死亡,水质迅速恶化。②由于温度升高,导致水体中的化学反应加快,水温每升高 10℃,化学反应速度加快一倍,并会导致水体的离子浓度、电导率、溶解度、腐蚀性的变化,臭味加重。③使水体中的细菌繁殖加快,并加速藻类的繁殖等不良后果。因此,热污染也会加快水体富营养化的进程。

此外,无直接毒害作用的无机污染物还往往造成水体的感官性状指标——色、嗅、味加

重。

#### 4. 有直接毒害作用的无机污染物

此类污染物主要有氰化物、砷化物和重金属离子,如汞、镉、铬、铅以及锌、铜、钴、镍、锡等。重金属以汞的毒性最大,其次是镉、铅、铬、砷(称五类重金属),被称做“五毒”,加上氰化物,被国际公认为“六大毒性物质”。

##### (1) 氰化物(CN)

氰化物是剧毒物质,人体摄入 0.05~0.12g 便可致死。急性中毒抑制细胞呼吸,造成人体组织严重缺氧而窒息死亡。低浓度的氰化物会引起慢性中毒,对鱼类的致死氰离子浓度为 0.04mg/L。

电镀工业、焦化工业、高炉煤气的洗涤、金、银选矿和某些化工工业等,都排放含氰废水。电镀废水的含氰浓度一般为 20~70mg/L 之间,多为 30~35mg/L。焦化或高炉煤气洗涤水的含氰浓度为 80mg/L。金、银选矿工艺多以氰化钾或氰化钠为浸出剂。

有机氰化物称为腈,是化工产品的原料,如丙烯腈( $C_2H_3CN$ )是制造合成纤维聚丙烯腈的原料。有少数腈类化合物在水中能离解为氰离子( $CN^-$ )和氢氰酸(HCN),因此其毒性与无机氰化物同样强烈。

##### (2) 砷(As)

砷多以有机或无机化合物的状态存在,有三价与五价之分,具有强烈的毒性。三价砷的毒性远大于五价砷。对人体和水生动植物来说,亚砷酸盐的毒性比砷酸盐大 60 倍,这是由于亚砷酸盐能和蛋白质中的巯基反应,而三甲基砷(有机砷)的毒性比亚砷酸盐更大。砷会在人体内累集,研究表明,砷也是致癌元素(主要致皮肤癌)。化工工业(硫酸氮肥)、有色冶金、锰铁合金冶炼工业废水的含砷浓度较高,火力发电、造纸、皮革工业也有含砷废水排除。

##### (3) 汞(Hg)

汞是对人体毒害较严重的重金属。汞可在肝、肾和脑中积累,使细胞的新陈代谢失常而产生病变。自然界的水中仅有微量汞存在,汞分无机和有机的状态存在,无机汞在人体内,通过厌氧微生物的作用,转化为有机甲基汞( $CH_3Hg$ ),毒性大大地超过无机汞。甲基汞在体内,特别在脑组织中积累,侵入中枢神经系统,破坏神经功能,无法用药物治疗。

氯碱工业中,以金属汞作阴电极,生产氯气和苛性钠,聚氯乙烯、乙醛、醋酸乙烯的合成均以汞作为催化剂,仪表电气等工业企业也排出含汞废水。

##### (4) 镉(Cd)

镉是典型的累积富集型毒物,镉有许多特性类似铅和锌,易溶于无机酸,是一种广泛的污染物,镉的毒性主要积累在肾脏和骨骼中,引起肾功能失调,骨质中钙被镉取代,使骨骼疏松、骨折,疼痛难忍。此种病的潜伏期长,约 10~30 多年,发病后难以治疗。

采矿、冶金、电镀、玻璃、陶瓷、塑料等工矿企业均产生含镉废水。

##### (5) 铬(Cr)

铬在废水中常以六价铬和三价铬的形态存在。六价铬的毒性大于三价铬的毒性。六价铬在水中以铬酸盐或铬酸形式存在,非常稳定,能被植物吸收。铬被人体摄入后,能引起中枢神经系统中毒。

电镀、制革、铬酸盐生产以及铬矿开采等工矿企业均产生含铬废水。

## (6) 铅(Pb)

铅也是积累性毒物。成年人每日摄取少量铅(低于0.32mg)可正常排出体外而不积累,且不危及健康,但超过1.0mg,则会在人体内产生明显积累作用,铅离子与人体内多种酶络合,从而干扰机体的生理功能,危及神经、造血、循环和消化系统,引起慢性中毒。

采矿、冶炼、化学化工、蓄电池、塑料等工矿企业产生含铅废水。

此外,其它重金属:锌、铜、钴、镍、锡等重金属离子,对人体也有一定的毒害作用。

来自钢铁工业、化学化工、石油工业、煤气厂等生产过程中产生的含酚废水,亦对人的神经、肝、肾等造成危害,长期饮用含酚量高的水可使人头晕、脱发、失眠;有酚味的鱼类不能食用,当水中酚含量达1~10mg/L时,可使河中鱼类绝迹。水中含酚加氯消毒时,能产生难闻的氯酚味。

表1-4示出水生生物对常见重金属的平均富集倍数。该表是以水中的重金属含量为1单位计算出的水生生物对重金属的富集倍数,它们通过食物链可转移到人体。

水生生物对常见重金属的平均富集倍数

表 1-4

重金属	淡水生物			海水生物		
	淡水藻	无脊椎动物	鱼类	海水藻	无脊椎动物	鱼类
汞	1000	100000	1000	1000	100000	1700
镉	1000	4000	300	1000	250000	3000
铬	4000	2000	200	2000	2000	400
砷	330	330	330	330	330	230
钴	1000	1500	5000	1000	1000	500
铜	1000	1000	200	1000	1700	670
锌	4000	40000	1000	1000	100000	2000
镍	1000	100	40	250	250	100

## 第二节 水质标准

水质标准是水中各项水质参数应达到的指标和限值,而水质参数是水质指标的具体体现。

随着科学技术的进步和水中污染物的日益增多,以及人们对各类有毒有害物质认识的深化,水质参数的数量和它们应达到的指标和限值,总在不断修改补充之中。

我国现行的水质标准包括:生活饮用水卫生标准、工业用水水质标准、水环境质量标准及污水排放标准等。现分述如下。

### 一、生活饮用水卫生标准

生活饮用水卫生标准是各种水质标准中最基本的标准。由于饮用水水质直接关系到人们的生活使用和人类健康,故世界各国对饮用水水质标准均极为重视。

20世纪初,饮用水水质标准主要包括水的外观和预防传染病的项目,以后开始重视重金属离子的危害。80年代则侧重于有机污染物的防止。

我国自1956颁发《生活饮用水卫生标准(试行)》至1986年,实施《生活饮用水卫生标



准》(GB 5749—85)的30年间,共进行4次修订,水质指标项目不断增加,所增加的基本上均是有关化学污染物(主要指有机、无机及农药等有毒有害物质)的项目。尽管现在实施的《生活饮用水卫生标准》(以下简称《标准》)由最初的23项改为35项,增加了不少项目,但对污染较严重的水源由于目前传统的给水处理工艺的局限,在卫生安全方面还不能说是绝对安全的,有些有毒有害物质尚未列入《标准》。

我国《标准》与世界发达国家相比,所规定的项目尚欠少些。例如:农药、多环芳烃及有机氯化物的总量限制值等均未列入。因此,某些水源污染较严重而我国《标准》中尚未列入的水质项目,可参考国外有关标准并经综合评价后确定。表1-5为我国现行实施的《标准》。

**生活饮用水卫生标准** 表 1-5  
(GB 5749—85) (1986—10—01 实施)

生活饮用水水质,不应超过下表所规定的限量:		
项	目	标 准
感官性状和一般化学指标	色	色度不超过15度,并不得呈现其他异色
	浑浊度	不超过3度,特殊情况不超过5度
	臭和味	不得有异臭、异味
	肉眼可见物	不得含有
	pH值	6.5~8.5
	总硬度(以碳酸钙计)	450 mg/L
	铁	0.3 mg/L
	锰	0.1 mg/L
	铜	1.0 mg/L
	锌	1.0 mg/L
	挥发酚类(以苯酚计)	0.002 mg/L
	阴离子合成洗涤剂	0.3 mg/L
	硫酸锰	250 mg/L
	氯化物	250 mg/L
	溶解性总固体	1000 mg/L
	毒理学指标	氟化物
氰化物		0.05 mg/L
砷		0.05 mg/L
硒		0.01 mg/L
汞		0.001 mg/L
镉		0.01 mg/L
铬(六价)		0.05 mg/L
铅		0.05 mg/L
银		0.05 mg/L
硝酸盐(以氮计)		20 mg/L
氯仿*		60 μg/L
四氯化碳*		3 μg/L
苯并(a)芘*		0.01 μg/L
滴滴涕*		1 μg/L
六六六*		5 μg/L