

水
污
染
控
制

胡
侃
主
编



出
版
社



前 言

《水污染控制》为中等职业教育环保专业系列教材之一,本教材主要讨论水污染的来源、危害,有关水质指标和水质标准,以及水污染防治技术。

为了使本教材能够适应中等专业学校环保专业教学需要和学生自学需要,在基础理论上尽可能由浅入深,由易到难。对国外报导的先进技术作了适当的介绍。由于内容广泛,所以在教学过程中,可根据专业需要,选择教学内容。本教材经过三年试用经修订后正式出版,并补充了一些新的内容。

本教材由赵安芳(第一、二、三、四、十二章)、刘瑞芳(第五、七、九章)、胡侃(第六章)、胡伟华(第八、十、十一章)等同志编写,由胡侃同志担任主编。

由于我们的理论和实践水平有限,本教材并不成熟,还可能有错误,热忱希望读者提出批评和意见。

编者

1998年3月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 水资源与循环.....	(1)
第二节 水的性质.....	(3)
第三节 水体污染与自净	(10)
第四节 污水处理的基本原则与基本方法	(15)
第二章 水质的预处理	(22)
第一节 格栅	(22)
第二节 筛网	(23)
第三节 调节	(26)
第三章 水的混凝	(30)
第一节 胶体的特性	(30)
第二节 胶体的结构	(32)
第三节 胶体的稳定性及其凝聚	(34)
第四节 水混凝的机理与过程	(36)
第五节 混凝剂种类和助凝剂	(39)
第六节 水与混凝剂的混合与絮凝反应	(41)
第四章 沉淀与澄清	(46)
第一节 沉淀理论与沉砂池	(46)
第二节 沉淀池	(48)
第三节 澄清池	(62)
第四节 隔油池	(63)
第五章 过 滤	(66)
第一节 快滤池	(66)
第二节 滤料及承托层	(68)
第三节 快滤池的冲洗	(72)
第四节 快滤池的设计	(81)
第六章 好氧生物处理	(84)
第一节 活性污泥法	(85)
第二节 生物膜法.....	(123)
第七章 厌氧生物处理和污泥的处理与处置	(146)
第一节 厌氧生物处理.....	(146)
第二节 污泥的处理——脱水干化.....	(155)
第三节 污泥的最终处置——综合利用.....	(159)
第八章 水的软化与除盐	(162)

第一节	水的药剂软化法·····	(162)
第二节	离子交换的基本知识·····	(164)
第三节	水的离子交换软化·····	(167)
第四节	水的离子交换除盐·····	(170)
第五节	离子交换法处理工业废水的特点·····	(172)
第九章	循环冷却水的冷却和处理·····	(177)
第一节	工业冷却水的冷却·····	(177)
第二节	湿式冷却塔分类、构造和水的冷却机理·····	(180)
第三节	敞开式循环冷却水系统的水质控制·····	(182)
第四节	循环冷却水系统的结垢和腐蚀·····	(183)
第五节	循环冷却水系统的阻垢·····	(188)
第六节	循环冷却水系统的缓蚀·····	(189)
第十章	水处理的其他方法·····	(192)
第一节	中和法·····	(192)
第二节	气浮法·····	(195)
第三节	离心分离法·····	(199)
第四节	吹脱·····	(203)
第五节	氧化还原法·····	(204)
第六节	化学沉淀法·····	(210)
第七节	吸附·····	(218)
第十一章	废水的深度处理与再用·····	(230)
第一节	概述·····	(230)
第二节	废水深度处理的方法·····	(231)
第十二章	污水处理厂(站)的规化与设计·····	(238)
第一节	处理厂厂址的选择·····	(238)
第二节	处理工艺流程的选择·····	(239)
第三节	处理厂的总体布置·····	(240)
参考文献 ·····		(242)

第一章 绪 论

水是自然界里最普遍存在的物质之一。没有水就没有生命。水对于人类来说是一种片刻也不能离开,不可缺少的重要物质,它是人类环境的一个重要组成部分。

第一节 水资源与循环

一、水资源

地球上的水,是由于太阳辐射使海洋和陆地水蒸发,水蒸气在大气中凝结成雨、雪降落到地球上来的。降落下来的水一部分渗入地下成为地下水,大部分流入河流汇入海洋。

地球上约有 $1.4 \times 10^{15} \text{m}^3$ 的水,但其中绝大部分为海洋水,能够供人类使用的淡水,只占 3% 左右,而且淡水中的 70% 是以冰雪的形式存在于南极与北极,人类实际上能够利用的只占地球上总水量的 0.8%。

我国水资源形势是比较严峻的。尽管我国有许多河流、湖泊和水库,总水面占 $1.67 \times 10^8 \text{m}^2$,年均径流量 $2.8 \times 10^{12} \text{m}^3$,在世界居第六位,但人均仅为 2545m^3 ,不到世界人均值的 1/4。特别是我国的水资源在全国范围内分布极不均衡,长江以南地区,降水充沛,水资源丰富,而北方广大地区,降水时间集中,水资源匮乏,在一定程度上已经成为经济建设和人民生活提高的制约因素。扩大水资源,势在必行。

二、水循环

地球上水的储量是有限的,水是不能新生的,只能通过大循环而再生。水的循环分为自然循环和社会循环两种。

(一)自然循环

自然界中的水在太阳照射和地心引力等的影响下不停地流动和转化,通过降水、径流、渗透和蒸发等方式循环不止,构成水的自然循环(图 1-1),形成各种不同的水源。

在自然循环中几乎在每个环节都有杂质混入,使水质发生变化。

(二)社会循环

人类社会为了满足生活和生产的需求,要从各种天然水体中取用大量的水。生活用水和工业用水在使用后,就成为生活污水和工业废水,它们被排出后,最终又流入天然水体。这样,水在人类社会,构成的局部循环体系,被称为社会循环。

人们的日常生活需要水。人体中的水约占体重的 2/3。因此水是构成人类机体的基础,又是传输营养和新陈代谢过程的一种介质。水还起着放散热量,调节体温的作用。从医学卫生的观点看,人类为维持正常生命,每人每天至少需要 5L 水,如果加上卫生方面的需要,全部生活用水量每人每天约需 40~50L 以上。一般来说,人们的生活水平越高,生活用水量也越大,目前,发展中国家平均每人每日用水量为 40~60L,而发达国家则达每人每天 200~300L,在一

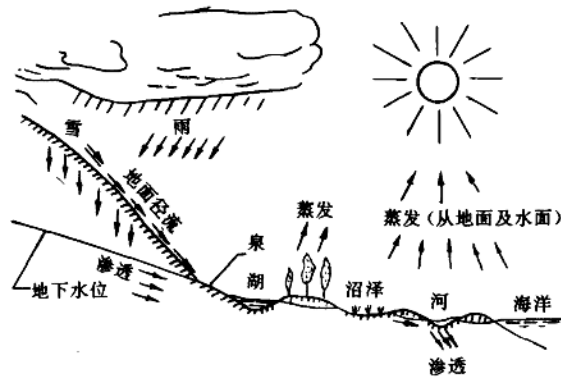


图 1-1 自然界中水的循环

些现代化的大城市里还要更高一些。表 1-1 列出了某些城市的生活用水量。

表 1-1 某些城市的生活用水量

城 市	人均日用水量(L)	城 市	人均日用水量(L)
北京	148	巴黎	450
上海	150	伦敦	277
天津	80	罗马	442
广州	295	莫斯科	600
青岛	50	列宁格勒	530
大连	80	华沙	235
华盛顿	700	贝尔格莱德	248
纽约	670	斯德哥尔摩	437
芝加哥	824	日内瓦	590
旧金山	620	苏黎世	417
东京	492	维也纳	380
大阪	600	马德里	305
名古屋	423	都灵	413

工业生产更是离不开水。据统计,工业用水一般要占城市用水量的 70%~80%左右。各种工业,无论是电力、冶金、化工、石油,还是纺织、印染、食品、造纸等等,可以说,几乎没有一种工业不需要水。各类工业产品的单位用水量可因原料、工艺过程、管理水平等而有所不同。表 1-2 列出了各类产品的单位用水量可供参考。

表 1-2 各类产品的单位用水量(m³/t)

产 品	用水量	产 品	用水量	产 品	用水量
苛性钠	100~150	纸浆	200~250	白铁皮	50
苏打	50	报纸	280	铝	160
90%硫酸	30	毛织品	150~350	煤炭	1~5
硫酸铵	50~250	棉纱	200	石油	4
液氨	30	皮革	50~125	汽油	10~20
电石	60	人造丝浆料	660	水泥	1~4
丙酮	360	粘胶人造丝	2400	炸药	800
醋酸	400~1000	玻璃	70	合成橡胶	1250~2800
乙醇	200~500	甜菜糖	100~200	电力	0.02m ³ /(kW·h)
啤酒	20~80	钢铁	300	汽车	40m ³ /辆
肉类加工	8~35	钢板	70~75		

水是农业的命脉。水对农、林、牧、渔各业十分重要。不少国家尽管工业用水量很大,但用于农田灌溉的水量仍远远超过工业用水量。即使是一些工业发达的国家,如日本和美国的农业用水量通常是工业用水量的2~3倍。我国向来以农业为基础,农业是主要的用水和耗水部门。据统计,长江流域每亩水稻田的需水量约为250~500m³。北方地区主要农作物小麦、玉米和棉花每亩的需水量分别为200~300m³、150~250m³和80~150m³。

随着世界人口的增长和工农业的发展,用水量也在日益增加。据统计和预测,全世界的总用水量将由1980年的3000(km³)增加到2000年的6000(km³)。另一方面,用水量增加的结果会使污水量也相应地增加。未经妥善处理的污水如果任意排入水体就会造成严重的污染,使本来已经并不充裕的水资源更加紧张。因此,我们在合理开发利用水资源的同时,必须有效地控制水体污染。

第二节 水的性质

一、天然水中的杂质

水是一种极易与各种物质混杂,溶解能力又较强的溶剂。因此,水在自然界循环过程中会混入各种各样的杂质,其中包括各种地球化学和生物过程的产物,如岩石风化而形成的砂、粘土及易溶于水的盐类,动植物残骸及微生物等有机体腐败分解而形成的腐殖质,也包括人类生活生产所形成的各种废弃物,如生活污水中所含的大量废弃有机物和微生物,工业废水中所含的各种生产废料、残渣、原料等。这些杂质,尤其是生活和生产污水中所含的杂质进入天然水体,都会引起各种污染,甚至完全改变天然水体原有的物质平衡状态,破坏人类周围的自然环境,给人类社会的生活和生产带来极其恶劣的影响。

水中的各种杂质按其存在状态通常分为悬浮物、胶体物质和溶解物三类,如表1-3。

表 1-3 水中杂质分类

分散颗粒	溶解物		胶体颗粒		悬浮物			
颗粒大小	0.1 nm	1 nm	10 nm	100 nm	1 μm	10 μm	100 μm	1 mm
外观	透 明		光照下浑浊		浑 浊		(肉眼可见)	

一般说来,地面水较浑浊,细菌较多,硬度较低,而地下水则较清,细菌较少,特别是深层井水,细菌更少,但硬度较高。表 1-4 给出了天然水中通常可能含有的杂质及其对工业使用和人类健康的主要影响。

表 1-4 天然水中的杂质

悬浮物质及胶体物质	细菌——有致病的和对人体无害的		
藻类及原生动物——臭味、色度和浑浊度			
泥砂、粘土——浑浊度			
溶胶——如硅酸胶体等			
高分子化合物——如腐殖质胶体等			
其他不溶性物质			
溶解物质	盐	钙	重碳酸盐——碱度、硬度
		镁	碳酸盐——碱度、硬度
			硫酸盐——硬度
			氯化物——硬度、腐蚀锅炉
	类	钠	重碳酸盐——碱度、有软水作用
			碳酸盐——碱度、有软水作用
硫酸盐——锅炉内汽水共腾			
氯化物——致病			
质	气	氯化物——味	
		铁盐、锰盐——味色、硬度、腐蚀金属	
体	氮	氧——腐蚀金属	
		二氧化碳——腐蚀金属、酸度	
		硫化氢——臭味、酸度、腐蚀金属	
		氮	
其他溶解性物质			

二、污水的来源及分类

污水是生活污水、工业废水、被污染的降水和流入排水管渠的其他污染水的统称。

(一) 生活污水

生活污水,是人类在日常生活中所用过,并为生活废料和人们的排泄物所污染的水。包括厨房洗涤、沐浴、衣物洗涤和冲洗厕所的污水等。

生活污水的特征是水质比较稳定,含有机物和氮、磷等营养物较高,一般不含有毒物质。由于生活污水极适于各种微生物的繁殖,因此含有大量的细菌(包括病原菌)、病毒,也常含有寄

生虫卵,生活污水中还含有大量的合成洗涤剂。

生活污水中的有机成分,包括糖类、各种氨基酸,非挥发性及挥发性有机酸、醇、醛、酮和洗涤剂等均可为可溶性物质。在悬浮物中,以蛋白质、碳水化合物和脂肪为主,生活污水中还含有多种微生物。

(二)工业废水

工业废水,是在工矿企业生产过程中所产生和排放的水。工业废水分为生产污水和生产废水两类。生产污水是在生产过程中所形成,被有机或无机性的生产废料所污染,其中也包括温度过高能够造成热污染的工业废水。生产废水也是在生产过程中形成,但未直接参与生产工艺,在生产中只起辅助性作用,未被污染物所污染或污染很轻,有的只是温度稍有上升。前一种废水是需要处理的,后者则不需要处理或只需要进行简单的处理。

工业废水是水体的主要污染源。它量大、面广,含污染物质多,组成复杂,有的毒性大,处理较困难。

表 1-5 给出了某些工业废水排放量参考指标。

表 1-5 工业废水排放量参考指标

工业分类	废水来源	单位产品废水量(m ³)	
		国内资料	国外资料
钢铁	冷却、锅炉、工艺、冲洗	40~347	4.3~688
石油加工	冷却、锅炉、工艺、冲洗	1.2~71	0.8~91
印染	工艺、空调、冲洗、锅炉、冷却	13~36	17~44
棉纺织	空调、锅炉、工艺、冷却	6.3~40	25~45
造纸	工艺、水力、锅炉、冲洗、冷却	910~1610	10~450
皮革	工艺、冲洗、冷却、锅炉	95~190	28~164
罐头	原料、冷却、锅炉、工艺、冲洗	5.8~42	0.3~45
饮料、酒	原料、冷却、锅炉、冲洗、工艺	2.1~96	2.8~24
制药	冷却、工艺、冲洗、空调、锅炉	138~38000	152~760
水力发电	冷却、水力、锅炉	133~444	9~167
机械	冷却、锅炉、工艺、冲洗	13~96	

表 1-6 给出了某些工厂废水中的主要有害物质。

造纸、纺织、印染、制革、食品加工等轻工业部门,在生产过程中常排出大量废水,并且这些行业几乎都以农副产品为原料,因此废水中含有大量的有机物质,在水中降解时消耗大量的溶解氧,易引起水质发黑变臭等现象。轻工业废水中含有颜料和色素,易使水体出现各种颜色。此外,还常含有大量悬浮物、硫化物和重金属等。

表 1-6 某些工厂废水中的主要有害物质

工厂类别	废水中的主要有害物质
焦化厂	酚类、苯类、氰化物、硫化物、焦油、吡啶、氨等
化肥厂	酚类、苯类、氰化物、铜、汞、氟、碱、氨等
电镀厂	氰化物、铬、锌、铜、镉、镍等
化工厂	汞、铅、氰化物、砷、萘、苯、硫化物、硝基化合物、酸、碱等
石油化工厂	油、氰化物、砷、吡啶、芳烃、酸、碱等
合成橡胶厂	氯丁二烯、二氯丁烯、丁间二烯、苯、二甲苯等
树脂厂	甲酚、甲醛、汞、苯乙烯、氯乙烯等
化纤厂	二硫化碳、胺类、酮类、丙烯腈、乙二醇等
纺织厂	硫化物、纤维素、洗涤剂
皮革厂	硫化物、碱、铬、甲酸、醛、洗涤剂
造纸厂	碱、木质素、硫化物、氰化物、汞、酚类等
农药厂	各种农药、苯、氯醛、氯苯、磷、砷、氟、铅、酸、碱等
油漆厂	酚、苯、甲醛、铅、锰、铬、钴等
钢铁厂	氰化物、酚、吡啶、酸等
有色冶金厂	氰化物、氟化物、硼、锰、铜、锌、铅、镉、锑、其他稀有金属等

钢铁工业排出大量直接冷却水，因直接与产品接触，含有大量油、铁的氧化物、悬浮物等。

除尘和净化煤气、烟气的废水中含有多种物质，如酚、氰、硫氰酸盐、硫化物、铵盐、焦油、悬浮物、氧化铁、石灰、氟化物、硫酸、氢氟酸等。

有色冶金工业排出的废水含有多种重金属，为水体重金属的主要来源。冶炼过程产生的熔渣，经雨水淋溶，将各种重金属带入地表水和地下水中。

化学工业排出的废水中常含有多种有毒物质或剧毒物质，如氰、酚、砷、汞等。有的物质不易降解，且能在生物体内积累如 DDT、多氯联苯等。有的为致癌物质，如多环芳烃和含氮杂环等化合物。化工废水中有的为强酸性，有的为强碱性，pH 值不稳，对水生生物、构筑物 and 农作物都有危害。

(三)降水

降水包括降雨、降雪等。一般来说，初期降水中的污染物浓度一般比后期降水的污染物浓度高出十几倍或者更多。这是由于初期降水时，雨和雪的淋洗和冲刷作用，将大气中的污染物（降尘、飘尘、氮氧化物、二氧化硫等）、各种构筑物表面的腐蚀锈蚀物和附着物、地面残土、植物枝叶、工业固体废物及人类活动等造成的有机和无机污染物带入其中所致。初期降水经过排水系统汇入受纳水体，使受纳水体的水质受到污染。

初期降水中的主要污染物有有机物、固体悬浮物、植物营养物质、重金属、放射性物质、油类、酚类、病原微生物及一些无机盐类。初期降水中的污染物含量与当地大气污染的程度、地表覆盖率和环境卫生条件等有密切的关系，降水对受纳水体的水质影响最大的是固体悬浮物、有机物和重金属。

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体。在合流制排水系统中还包括降水。城市污水中生活污水和工业废水所占比例,则因城市不同而异。

三、污水的水质指标

水质是指水和其中杂质共同表现的综合特征。水中杂质的具体衡量尺度称为水质指标。污水和受纳水体的物理、化学、生物等方面的特征是通过水污染指标来表示的。常用的水污染指标有生化需氧量、化学需氧量、悬浮物、总需氧量、总有机碳、有毒物质、pH值、水温、大肠菌群等,现分别简述如下:

(一)生化需氧量

生化需氧量(BOD)表示在有氧条件下,好氧微生物氧化分解单位体积水中有机物所消耗的游离态氧的数量,常用单位为 mg/L。

生化需氧量测定的标准温度规定为 20℃,在此温度下,好氧微生物氧化分解一般有机物(将其转化为 CO₂、H₂O 和 NH₃)的过程需要 20d 左右时间。为了缩短测定时间,又使测定值具有一定的代表性,目前通常以 5d 作为测定的标准时间,其测定结果为 5d 生化需氧量,用 BOD₅ 表示。图 1-2 给出了生活污水和一些工业废水的 BOD₅ 值。

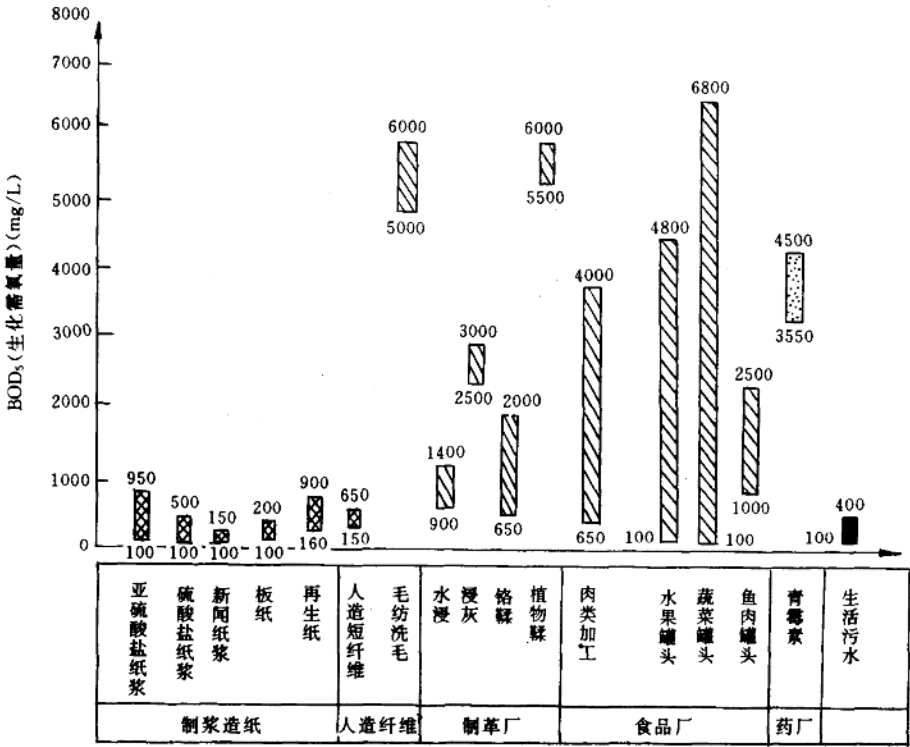


图 1-2 生活污水及不同工业企业的工业废水 BOD₅ 值

(二)化学需氧量

化学需氧量(COD)表示用化学氧化剂氧化单位体积水所消耗的氧量,常用单位为 mg/L。

根据所用氧化剂的不同,化学需氧量可分为重铬酸钾法和高锰酸钾法两种。重铬酸钾法能比较迅速、完全地氧化水中的有机物,因此,目前常用重铬酸钾法测定污水的化学需氧量,该法用 COD_{Cr} 表示。用高锰酸钾作氧化剂测定化学需氧量时,测定值较重铬酸钾法低,用 COD_{Mn} 来表示。

BOD_5 与 COD 的比值是衡量污水可生化性的一项主要指标,比值越高,可生化性越好。一般认为该值大于 0.3,即是可生化的。

(三)悬浮物

悬浮物(SS)是指不能通过过滤器(滤纸或滤膜)的固体物质。污水及水体中悬浮物由浮于水面的漂浮物质、沉于水底的可沉物质及悬浮于水中的悬浮物质三部分组成。悬浮物可使水质浑浊,透光性差,影响水生生物的生长,大量的悬浮物还会造成河道阻塞。

悬浮物采用过滤法测定,单位为 mg/L 。

图 1-3 所示为不同工业企业排放的废水和生活污水的悬浮固体含量。

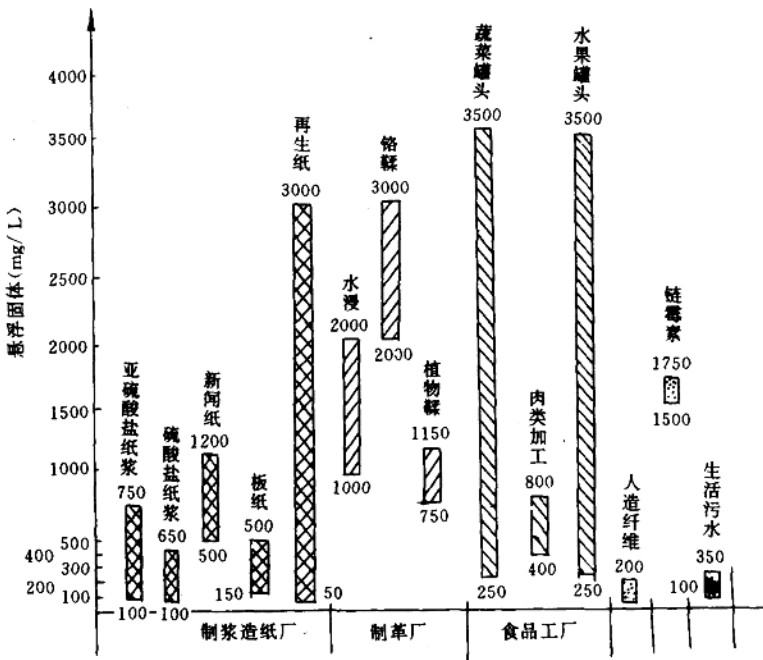


图 1-3 生活污水及不同工业企业的工业废水悬浮固体含量

(四)总需氧量

有机物主要是由 C、H、N、S 等元素组成。当有机物完全被氧化时,C、H、N、S 分别被氧化为 CO_2 、 H_2O 、 NO 和 SO_2 ,此时的需氧量称为总需氧量(TOD)。

总需氧量测定原理和过程是:向氧含量一定的氧气流(作为氧的载气)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,以 $900^{\circ}C$ 的高温加以燃烧,水样中的有机物因被燃烧而消耗了载气中的氧,剩余的氧用电极测定之,并用自动记录器加以记录,从载气原有的氧量中减去水样燃烧后剩余的氧,即为总需氧量。

(五)总有机碳

总有机碳(TOC)表示水中有机物的总含碳量,它是一种较新的有机污染物的综合测定指标。其测定结果以C含量表示,单位为mg/L。

它的测定原理与过程是:将水样加酸,通过压缩空气吹脱水中的无机碳酸盐,以排除干扰,然后将水样定量地注入以铂钢为触媒的燃烧管中,在氧的含量充分而且一定的气流中,以900℃的高温加以燃烧,在燃烧过程中产生二氧化碳,经红外气体分析仪测定,以自动记录器加以记录,然后再折算其中的C量。

(六)有毒物质

有毒物质是指其达到一定浓度后,对人体健康、水生生物生长造成危害的物质。由于这类物质的危害较大,因此,有毒物质含量是污水排放、水体监测和污水处理中的重要水质指标。有毒物质种类繁多,要检测哪些项目,应视具体情况而定。

(七)pH值

pH值是反映水的酸碱性强弱的重要指标。生活污水一般呈弱碱性。某些生产污水的pH值变化极大,应充分掌握其变化规律。强酸性的污水对混凝土管道有腐蚀作用。pH值对水中生物及细菌的生长活动也有影响,因而影响污水处理和水体自净过程。

(八)温度

根据污水的温度,可以确定在回用或处理之前是否需要冷却或加热。对于冷却塔,水温的测定也是很重要的。

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,使水体溶解氧浓度降低,导致水体中的化学反应加快,亦会加速细菌和藻类的繁殖,加快水体富营养化进程。

(九)大肠菌群数

大肠菌群数是指单位体积水中所含的大肠菌群的数目,单位为个/L。

大肠菌本身虽非致病菌,但由于它的生存条件等与肠道病原菌比较接近,因此,可以间接表明水体有无受病原菌污染的可能,或判断污水有无病原菌的可能。

比较常见的病原微生物有伤寒、副伤寒、霍乱、细菌性痢疾等病原细菌,还有一些病毒,如肝炎病毒、腺病毒,同时也存在某些寄生虫,如阿米巴、血吸虫、钩端螺旋体等。

四、水质的标准

为了保护水资源,控制水污染,保障人体健康和促进经济发展,制定各种水质标准是一项很重要的水质管理工作。水环境保护标准主要可分为水域水质标准和排水水质标准等两大类。水域水质标准是根据人类对水体的使用要求制定的,而排水水质标准则是根据水体的环境容量和现代技术经济条件而制定的。

(一)水域水质标准

水域水质标准是依据自然水体的用途制定的。自然水体的主要用途有:饮用水水源、公共用水水源、工业用水水源、农业用水、渔业用水、游览、航运、水上运动等。由于各种用水所服务的对象和内容不同,因此,对水体水质的要求也不同。一般饮用、公共用水水源和游览用水等要求水质较高;农业、渔业用水水质则以不影响动植物生长和不使动植物体内残毒超标为限;工业用水水源要满足生产用水的要求;而只用于航运等水体则对水质的要求相对较低。

根据人类对自然水体的使用要求,目前我国已颁布了《地面水环境质量标准(GB3838—

88)》,《渔业水质标准(GB11607—89)》,《景观娱乐用水水质标准(GB12941—91)》,《农田灌溉水质标准(GB5084—92)》。

(二)排水水质标准

要防止水体的污染,保持水体达到一定的水质标准,必须对排入水体的污染物种类和数量进行严格控制。为此,我国制定了污水的各种排放标准。可分为一般排放标准与行业排放标准两类。

一般排放标准有《工业“三废”排放试行标准(GBJ4—73)》,《污水综合排放标准(GB8978—88)》,《农业污泥中污染物控制标准(GB4284—84)》等。

有关污水排放的行业标准涉及各类工业,如《制革工业水污染物排放标准(GB3549—83)》,《石油炼制工业水污染物排放标准(GB3551—83)》,《医院污水排放标准(GBJ48—83)》,《造纸工业水污染物排放标准(GB3544—92)》,《纺织染整工业水污染物排放标准(GB4287—92)》,《钢铁工业水污染物排放标准(GB13456—92)》,《肉类加工工业水污染物排放标准(GB13457—92)》,《合成氨工业水污染物排放标准(GB13458—92)》等,可作为规划、设计、管理与监测的依据。

第三节 水体污染与自净

一、水体污染

水体是指地表被水覆盖的自然综合体,是河流、湖泊、沼泽、水库、地下水、海洋、冰川等的总称。水体污染是指排入水体的污染物在数量上超过了该物质在水体中的本底含量和水体的环境容量,从而导致水体中的水产生了物理和化学上的变化,破坏了水体中固有的生态系统,破坏了水体的功能及其在经济发展和人民生活中的作用。

造成水体污染的因素是多方面的。向水体排放未经妥善处理的城市污水和工业废水,这是水体污染的主要因素;施用的化肥、农药以及城市地面的污染物,被雨水冲刷,随地面径流而进入水体;随大气扩散的有毒物质通过重力沉降或降水过程而进入水体等。

这些污染物按照其种类和性质,一般可分为四大类,即无机无毒物、无机有毒物、有机无毒物和有机有毒物。除此以外,对水体造成污染的还有放射性物质、生物污染物质和热污染等。

(一)无机无毒物

无机无毒物主要指氮、磷、无机酸、无机碱及一般无机盐。当水体中氮、磷等植物营养物质增多时,可导致藻类等水生植物过量繁殖,形成水华或赤潮,引起“富营养化”污染。这种污染除可导致水中溶解氧减少,危害鱼类和水生动物的生存,恶化水质外,过多的藻类残体,还会减少水体容量,使湖泊变浅,最后形成水体老化和沼泽化。

酸性和碱性污水,会使水体的pH值发生变化,破坏其自然缓冲作用,消灭或抑制细菌及微生物的生长,妨碍水体自净。还可腐蚀排水管道及水工构筑物、船舶等,对人体健康也产生危害。

酸性污水与碱性污水相互中和可产生一般盐类,酸、碱性污水之间或与地表物质之间相互反应均可生成无机盐类,使水中的无机盐量 and 水的硬度大大增加,给工业和生活用水带来不利因素。

(二)无机有毒物

无机有毒污染具有较强的生物毒性,根据毒性发作的情况,又可分为急性中毒和慢性中毒(积累到一定浓度后才显示中毒症状)两类。

无机有毒物主要有非重金属的氰化物、砷化物及重金属中的汞、镉、铬、铅等六大国际上公认的毒性物质。

1.非重金属毒性物质

(1)氰化物 氰化物(CN^-)是剧毒物质,对人的口服致死量为 $0.05\sim 0.12\text{mg/L}$ 。低浓度的氰化物会引起人的慢性中毒,对鱼类和其他水生生物也有很大危害,一般认为使鱼类致死的氰离子浓度为 0.04mg/L ,对甲壳类动物和浮游生物的致死浓度,则更低。

(2)砷 砷(As)是累积性中毒的毒物,当饮用水中砷含量大于 0.05mg/L 时,就会导致累积,近年来还发现砷也是致癌元素。三价砷的毒性大大高于五价砷,对人体来说,亚砷酸盐的毒性作用比砷酸盐大60倍。

2.重金属毒性物质

重金属污染的特点是,在水中只要有微量浓度即可产生毒性效应(一般在 $0.01\sim 10\text{mg/L}$ 之间);某些重金属还可以在微生物的作用下转化为毒性更强的金属化合物;重金属不但不能被生物降解,相反却能在食物链的生物放大作用下,成千百倍地富集,最后进入人体;重金属在人体内能和蛋白质及酶等发生强烈的相互作用,使它们失去活性,也可能在人体的某些器官中累积,造成慢性中毒。

(1)汞 汞(Hg)进入水体,易沉于水底并长期存留。在厌氧微生物的作用下,可转化成甲基汞。甲基汞的毒性比无机汞更大,著名的日本“水俣病”就是由甲基汞造成的。

(2)镉 镉(Cd)是一种比较广泛的污染物质,是一种典型的累积型毒物,特别易于富集于粮食籽粒中。日本的“骨痛病”就是由食用含镉稻米,其中的镉取代了骨质中的钙,使骨骼软化,自然折断所致。这种病潜伏期长,疼痛难忍,很难治疗。

(3)铬 铬(Cr)是一种较普遍的污染物,铬在水中以六价和三价两种形态存在,三价铬的毒性低,作为污染物质所指的主要是六价铬。

(4)铅 铅(Pb)对人体也是累积性毒物,当每日摄入量超过 1.0mg 时,即可在体内产生明显累积作用,铅离子与人体内多种酶络合,从而干扰了机体多方面的生理功能,危及神经系统、造血系统、循环系统和消化系统,长期摄取会引起慢性中毒。

(三)有机无毒物

有机无毒污染物多属于碳水化合物、蛋白质、脂肪等自然生成的有机物。这类物质是不稳定的,在任何条件下,它们都要向稳定的无机物质转化,转化是在微生物作用下,借助于微生物的新陈代谢功能而产生的。在有氧条件下,由好氧微生物作用下进行转化,这一转化进程快,产物多为 CO_2 、 H_2O 等稳定物质;在无氧条件下,则在厌氧微生物作用下进行转化,这一进程较慢,而且分两个阶段进行,首先在产酸菌的作用下,形成脂肪酸、醇等中间产物,继之则在另一种厌氧微生物——甲烷菌的作用下形成 H_2O 、 CH_4 、 CO_2 等稳定物质,同时放出硫化氢、硫醇、粪臭素等具有恶臭的气体。

在一般情况下,进行的都是好氧微生物起作用的好氧转化,由于好氧微生物的呼吸,要消耗水中的溶解氧,因此,这类物质的污染特征就是耗氧,称之为耗氧物质。所以,在实际应用中多采用BOD、COD、TOC和TOD等指标间接表示其含量。

(四)有机有毒物

这一类物质多属于人工合成的有机物质,如农药(DDT、六六六及有机氯农药等)、醛、酮、酚以及聚氯联苯、芳香族氨基化合物、高分子合成聚合物(塑料、合成橡胶、人造纤维)、染料等。

这一类物质的主要污染特征之一是比较稳定,不易被微生物所分解,所以称之为难降解有机污染物,其另一污染特征是它们都有害于人类健康,只是危害程度和作用方式不同而已。这一类物质中有些是致癌、致畸、致突变物质。

有机氯农药,如六六六,毒性较缓慢,残留时间长,并且能在水生生物体内高度富集。

聚氯联苯是近年来新提出的一类有机有毒物质。稠环芳烃是早已发现的一类致癌物质,其中较主要的是苯并芘等。这些物质都具有较强的稳定性,很难由微生物分解,并且可以通过食物链高倍地富集于营养级生物(鱼、家禽、家畜和人)中。

有机氰化物(腈),可在水中离解为氰离子或氰氢酸,因此,其毒性与无机氰化物同样强烈。

(五)其他污染物

1. 放射性物质

水中所含有的放射性核素(放出 α 、 β 、 γ 等射线)构成一种特殊的污染,它们总称为放射性污染。水体中的放射性污染物通过食物链进入人体,损害人体组织,并可以蓄积在人体内部,造成长期危害,促成贫血、白血球增生、恶性肿瘤等各种放射性病症,严重者可危及生命。

2. 生物污染物质

生物污染物质主要是动物和人排泄的粪便,其中含有的细菌、病菌及寄生虫等,它能引起各种疾病的传染。这类污染物质往往与耗氧有机物混合在一起,耗氧有机物能提供病原微生物生存所需的营养。

3. 热污染

水体热污染指天然水体接受“热流出物”而使水温升高的现象。热污染使水体温度升高,增加其化学反应速率,导致水中有毒物质的毒性作用加大;水温升高还会降低水生动物的繁殖率,并使氧的溶解度下降。

二、水体自净

自然环境,包括水环境对污染物质都具有一定的承受能力,即所谓环境容量。水体能够在其环境容量的范围以内,经过水体的物理、化学和生物的作用,使排入的污染物质的浓度,随着时间的推移在向下游流动的过程中自然降低,这就是水体的自净作用。

水体自净过程很复杂,按其机理,可分为:

1. 物理过程

包括稀释、混合、扩散、挥发、沉淀等过程。污染物质在这一系列的作用下,其浓度得以降低。

2. 化学及物理化学过程

污染物质通过氧化、还原、吸附、凝聚、中和等反应使其浓度降低。

3. 生物化学过程

污染物质中的有机物质,由于水中微生物的代谢活动而被分解、氧化并转化为无害、稳定的无机物,从而使其浓度降低。

(一)酸、碱的水体自净

酸性污水和碱性污水相互中和产生各种盐类,它们与地表物质相互反应,也可能生成无机盐类,因此,酸和碱的污染必然伴随着无机盐类的污染,增加水中的无机盐和水的硬度。

天然水体对酸、碱是有同化作用的,也就是说酸排入水体后与水体中的长石、粘土和石灰岩、白云岩等作用而被同化,而碱则通过与硅石和游离碳酸的反应而被同化。

(二)氮、磷等植物营养物的水体自净

1. 含氮化合物在水体中的转化

含氮化合物在水体中的转化分为两步进行,第一步是含氮化合物如蛋白质、多肽、氨基酸和尿素等有机氮转化为无机氮中的氨氮;第二步则是氨氮的亚硝化和硝化,使无机氮进一步转化。这两步转化反应都是在微生物作用下进行的。

蛋白质的降解首先是在细菌分泌的水解酶的催化作用下,进行水解而形成氨,这个过程称之为氨化。氨进一步在亚硝化菌的作用下,被氧化为亚硝酸,继之亚硝酸在硝化菌的作用下,进一步氧化为硝酸。

在缺氧的水体中,硝化反应不能进行,却可能在反硝化细菌的作用下,产生反硝化作用,而形成氮气,返回到大气中。

2. 含磷化合物在水体中的转化

水体中的可溶性磷很容易与 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等离子生成难溶性沉淀物而沉积于水体底泥中。沉积物中的磷,通过湍流扩散再度释放到上层水体中去。或者当沉积物中的可溶性磷大大超过水中磷的浓度时,则可能再次释放到水层中去。这些磷又会被各种水生生物加以利用。

(三)重金属等有毒物质的水体自净

1. 重金属在水体中的迁移转化规律

重金属在水体中不能为微生物所降解,只能产生各种形态之间的相互转化以及分散和富集,这种过程称之为重金属的迁移。

重金属在水体中可以化合物的形态存在,也可以离子形态存在。在地表水体中,重金属化合物的溶解度很小,往往沉积于水底。

重金属离子由于带正电,在水中易于被带负电的胶体颗粒所吸附,吸附重金属离子的胶体,可以随水流向下游迁移,但大多会很快地沉降下来。因此,重金属一般都富集在排水口下游一定范围内的底泥中。沉积在底泥中的重金属是一个长期的次生污染源,很难治理,容易造成二次污染。

重金属在水体中的另一个特点是可以转化。无机汞在水体底泥中或在鱼体中,在微生物的作用下,能够转化为毒性更大的有机汞(甲基汞);六价铬可以还原为三价铬,三价铬也可能转化为六价铬,主要取决于水体的氧化还原条件。

地表水体中的重金属可以通过食物链,成千上万倍地富集,而达到相当高的程度。如汞,淡水鱼可富集 1000 倍;铬,藻类可富集 4000 倍。

2. 氰化物的水体自净

水体对氰化物的自净作用通过以下两个途径:

(1) 氰化物的挥发逸散 氰化物与水中的 CO_2 作用生成氰化氢气体逸入大气。

(2) 氰化物的氧化分解 氰化物与水中溶解氧作用生成铵离子和碳酸根。

(四)有机物的水体自净

河水中的有机污染物在水体中扩散、稀释和沉淀,只是降低它们在水中的浓度,本身并