

废水处理
技术培训
系列教材



废水生化处理

上海市环境保护局 编

同济大学出版社

废水处理技术培训

废水生化处理

上海市环境保护局 编

同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

废水生化处理/上海市环境保护局编.-上海:同济大学出版社,1999.11

ISBN 7-5608-2105-7

I. 废… II. 上海… III. 废水-生化处理 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 60950 号

废 水 生 化 处 理

上海市环境保护局 编

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号 邮编 200092)

新华书店上海发行所发行

常熟市印刷八厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:9.875 字数:280 千字

1999 年 11 月第 1 版

1999 年 11 月第 1 次印刷

印数:1—6000

定价:16.00 元

ISBN7-5608-2105-7/X·23

如遇印装质量问题,可直接向承印厂调换

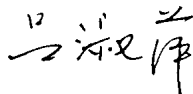
地址:常熟市梅李镇通江路21号 邮编:215511

序

由上海市环境保护局组织专家、教授编写的废水处理系列培训教材终于问世。该套书是我国实施环保操作人员培训工作的成果展示,又是环境教育百花园中一枝盛开的鲜花。

90年代初,上海市环境保护局会同市经委、市劳动局、市工业技术发展基金会和高等院校等单位,开展了上海市环保设施操作工技术等级标准的调研,并编制了相应的标准草案。经多方协调后,上海市劳动局和环境保护局联合颁发了上海市《工业废水生化法处理操作工技术等级标准》和《工业废水物化法处理操作工技术等级标准》(试行),为废水处理设施操作人员的培训工作提供了法规依据,在该领域里堪称范例。在总结培训实践经验的基础上,历时两年,数易其稿,编写成选材恰当、内容丰富、通俗易懂且具有可操作性的系列培训教材。

众所周知,工欲善其事,必先利其器,器欲尽其利,必先习其技。有了系统的教材,加上良好的培训,可以较大程度地提高环保操作工的知识、技能,更好地发挥环保设施的效益。我相信,这套教材的推广,必将对完成上海市乃至全国各地的工业污染源达标排放的任务产生巨大的推动作用,进而为环境保护与经济建设的协调发展作出贡献。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '王先' (Wang Xian), with a stylized flourish at the end.

1999年10月

目 录

序	吕淑萍
第一章 绪 论	(1)
1-1 水循环与水资源	(1)
1-2 水污染及其危害性	(4)
1-3 控制水体污染的途径	(9)
1-4 废水处理的方法	(10)
1-5 操作管理人员的职责	(11)
第二章 废水的性质	(16)
2-1 废水的性质及指标	(16)
2-2 废水的浓度指标和净化度指标	(20)
第三章 废水生物处理的原理	(27)
3-1 微生物的特点与废水的生物处理	(27)
3-2 天然污染水体的自净现象	(30)
3-3 有机污染物的生物降解性	(33)
3-4 有机污染物生物降解性的测试方法	(35)
3-5 污染物的微生物降解与转化	(40)
3-6 废水好氧生物处理的作用原理	(45)
3-7 废水厌氧生物处理的原理	(57)
第四章 废水生物处理的方法	(52)
4-1 活性污泥法	(52)

4-2	生物膜法	(64)
4-3	氧化塘	(82)
4-4	土地处理法	(84)
4-5	厌氧生物处理	(93)
4-6	废水生物处理的新进展	(100)
第五章 废水生物处理中主要的微生物类群		(129)
5-1	细菌	(130)
5-2	真菌	(140)
5-3	微型动物	(141)
5-4	微型藻类	(145)
第六章 环境因子对污泥微生物及处理效果的影响		(148)
6-1	温度	(148)
6-2	酸碱度	(150)
6-3	营养物质	(152)
6-4	毒物	(153)
6-5	溶解氧	(156)
第七章 活性污泥的培养和驯化		(158)
7-1	培菌前的准备工作	(158)
7-2	培菌方法	(158)
7-3	培菌过程中生物相的演替	(160)
7-4	驯化	(161)
7-5	挂膜	(163)
第八章 废水生物处理系统运行状况的评价		(164)
8-1	巡视	(165)

8-2	污泥性状	(166)
8-3	活性污泥生物相的观察及其对运行状况 的指标作用	(175)
8-4	水质的化学测定及其对运行的指导意义	(178)
第九章 活性污泥系统的调节与控制		(185)
9-1	气——维持曝气池合适的溶解氧	(185)
9-2	水——保持匀质匀量地进水及合适的营养	(188)
9-3	泥——改善污泥的质量,维持系统中污泥合 适的数量	(195)
第十章 废水生物处理系统的运行管理		(209)
10-1	生物膜系统微生物的特点及与运行管理的关系	(209)
10-2	生物滤池的运行及管理	(214)
10-3	生物转盘的运行管理	(222)
10-4	氧化塘的运行管理及异常问题的解决对策	(228)
10-5	土地处理场的运行及管理	(238)
10-6	生物脱氮系统的运行管理	(240)
10-7	生物除磷系统的运行管理	(245)
10-8	厌氧生物处理的运行管理方法	(247)
第十一章 生物处理系统运行中的异常问题及 解决对策		(255)
11-1	污泥性状异常及解决对策	(255)
11-2	机械设备异常及解决对策	(257)
11-3	水质测定中的异常现象及解决对策	(258)
11-4	工业废水处理中生产不正常时的运行对策	(260)
11-5	沉淀池的操作管理、异常现象及解决对策	(262)

第十二章 废水生物处理生产实例	(274)
12-1 上海石化总厂水质净化厂简介	(274)
12-2 塔式滤池处理腈纶废水(高桥石化公司化 工二厂)	(279)
12-3 对苯二甲酸生产废水处理(上海石化总厂 涤纶厂)	(283)
12-4 屠宰废水的处理(龙华肉类联合加工厂)	(288)
12-5 上海试剂总厂污水的处理	(292)
附录	(298)
实验一 活性污泥生物相观察	(298)
实验二 废水生化处理的模型试验	(301)
实验三 活性污泥耗氧速率、废水可生化性及毒 性的测定	(304)
参考文献	(307)

第一章 绪 论

废水生物处理是 19 世纪末出现的治理污水的技术,发展至今已成为世界各国处理城市生活污水和工业废水的主要手段。目前,国内已有近万座污水生物处理厂(站)投入运行。但调查数据显示,这些污水生物处理厂运行情况良莠不齐,从存在的问题分析有:原设计工艺不当;投入运行后水质水量与原设计指标有较大出入;设备质量差、损坏后未及时修复等。此外,其存在的问题均与操作管理不当有关。国内工业废水生物处理系统大多从 80 年代以后投入运行,操作人员绝大多数由本厂其他工种人员转行而来,未经系统培训,故大多以主观经验来进行运行管理,因此有必要对上岗操作人员进行系统的培训,以提高操作管理水平,为达标运行提供必要的保证。

1-1 水循环与水资源

水是地球上人类最宝贵的一种自然资源,生命起源于古代的海水之中,一切生物皆离不开水。水既是人体组成的基础物质,又是新陈代谢的主要介质,其含量占体重的 $\frac{2}{3}$ 。生物体内的化学反应皆在水溶液中进行。由于水有极大的热容量,因此,水在调节地球上的气温起着巨大的作用,它可以避免温度的剧变。

1-1-1 水循环

地球表面的水在太阳照射下,不断地被蒸发,并汽化为水蒸气,植物亦可借助蒸腾作用进行这一过程。水蒸气上升到空中形成云,又在大气环流的作用下飘移到各处,遇适当的条件时,即成为雨或雪等而降落到海洋和陆地。由于陆地地形的关系,迎风坡

等地面降水量大于其他地面,陆地地表降水量大于海洋洋面。这些降下来的水分一部分渗入地下成为土壤水或地下水;一部分可顺着地表径流汇入江河、湖泊,并最终汇入海洋。因此,在陆地表面存在着水向海洋的流动,在大气高空水蒸气从海洋上空向陆地运动。地表水经植物吸收后再经枝叶蒸腾进入大气层,地面、洋面水又可经蒸发进入大气层。这种过程循环往复,永无止境,构成了自然界中的水循环(图 1-1)。

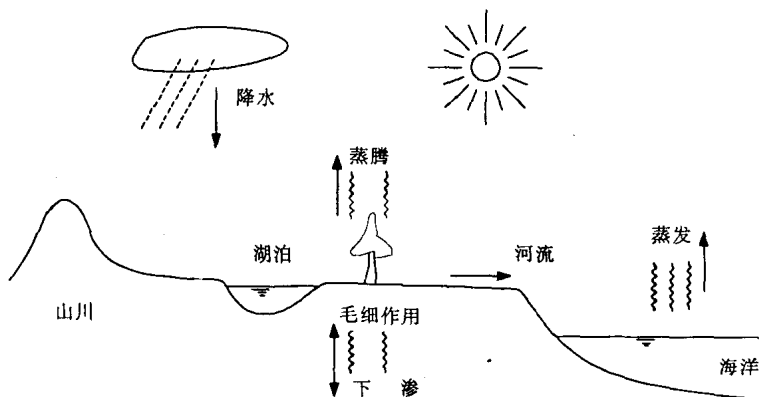


图 1-1 自然界中的水循环

1-1-2 水资源

地球上的水总量为 $1.36 \times 10^9 \text{ km}^3$, 似乎是取之不尽、用之不竭的, 但其中 97% 以上为海洋的咸水, 地球上淡水总量为 $3.8 \times 10^7 \text{ km}^3$, 只占全球总水量的 3%。在这些淡水中, 南、北极的冰帽和冰川又占去了 3/4, 江、河、湖泊等地面水总量约为 $2.3 \times 10^5 \text{ km}^3$, 约占全球总水量的 0.01%, 地表土壤和地下岩层中含有多层淡水, 总计约为 $8.4 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。因此, 人类易于利用的淡水约占全部淡水的 20% 左右, 而直接能取用的江、湖淡水仅占全部淡水的 0.5%, 可见, 能供人类直接利用而且易于取得的淡水资源是十分有限的(表 1-1)。

表 1-1

地球上水资源的分布

分布类型	体积(km ³)	%
地表水		
淡水湖	125000	0.009
咸水湖	104000	0.008
河 流	1250	0.0001
地表以下的水		
土壤及渗透水	67000	0.005
地下水(地面至地下 800m)	4170000	0.31
地下水(深层)	4170000	0.31
其他水		
冰帽及冰川	29200000	2.15
大气	13000	0.001
海洋	1320000000	97.2
生物体内	6000	0.0005
总计	1357856250	100

1-1-3 我国水资源的特点

(一) 水量在地区上分布不平衡

我国年均降水总量约为 6×10^4 亿 m^3 , 其中约有 56% 的水量为植物蒸腾或地表水分蒸发所消耗, 只有 44% 形成径流。全国河川年均径流量约为 2.6×10^4 亿 m^3 , 加上冰川融雪和地下水补给, 初步估算全国水资源总量约为 2.7×10^4 亿 m^3 。

与世界各国相比, 我国河川年径流总量虽占第六位, 但如按人口平均占有径流量计算, 每人每年平均约为 2670m^3 , 只相当于世界人均占有量的 $1/4$, 位于世界各国的第 88 位, 因此, 我国水资源并不丰富。

此外, 由于我国地域辽阔, 地形复杂, 南北、东西气候差异大,

水资源还存在如下特点:水资源分布与降水分布基本一致,呈东南多、西北少,由东南沿海地区向西北内陆递减,分布不均匀。

(二) 水量在时程分配上很不均匀

由于受季风气候影响,降水量在年内分配不匀,年际变化很大。我国大部地区冬春少雨,多春旱;夏秋多雨,多洪涝。全年降水多集中在夏季。此外年际变化也很大,丰水年、枯水年降水量可相差 5~6 倍之多。

(三) 水土资源组合不相适应

东北、西北、黄淮河流域径流量只占全国总量的 17%,但土地面积却占全国的 65%;长江以南江河径流量占全国的 83%,土地面积仅占 35%。此外,对水资源的开发利用各地也很不平衡,南方多水地区水的利用程度较低,北方少水地区地表水、浅层地下水开发利用程度较高。

1-2 水污染及其危害性

人类对水的使用主要是生活用水、工业用水及农业灌溉用水。其中除极少一部分被饮用、进入产品、锅炉蒸发、植物吸收、蒸腾以外,大部分仅是用于地面冲刷、洗涤或简单地用于冷却,在这过程中,又混入了一部分工业生产中的原料、中间体、产物及各类污染物等,它们重新排入受纳水体,并造成污染。随着工农业生产的增长、人口的增长,造成了所谓的“环境危机”。水资源的不足,加上地表水、浅层地下水的污染又减少了可供利用水资源的数量,形成了所谓的污染性缺水,造成了“水荒”。水污染对人体健康及工农业生产的持续发展带来了极大的危害。

1-2-1 水污染现状

我国水污染现状是“局部有所改善,整体仍在恶化”。目前,我国大江大河干流水质尚好,但临近大城市河段及城市附近的小河支流均已程度不同地受到了污染,严重的已成了臭水沟。目前,随着乡镇企业的发展和工业重心的转移,污染已有向农村、向内地转移的趋势,由地表水受污染向地下水受污染转移。目前,我国的湖泊大多呈富营养化,面积也不断萎缩,近海水域亦因受污染,赤潮频发。

例如,由于沿淮河数省数千家工厂的废水未经处理直接排放,使淮河水质已劣于三类水标准,有时污水团沿河下溯时迫使水厂暂时关门,老百姓饮用水都发生问题;太湖、滇池、巢湖等富营养化日趋严重,有时疯长的藻类使水厂的取水管道造成堵塞;上海的苏州河及大多数支流均已终年黑臭。为此,我国政府已下决心在“九五”期间治理辽河、海河、淮河、太湖、巢湖、滇池等水域,上海市政府也提出了彻底综合整治苏州河的总体规划。

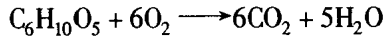
1-2-2 水污染的危害性

水体受污染后,对环境的生态系统会造成很大的危害,严重时会使水体生态平衡破坏,物质循环中止,水生动物因急性或慢性中毒而死亡,甚至危及人类生命,并使经济严重受损。据专家预测,我国每年由于水污染造成的直接经济损失约 150 亿元,在 1985—2000 年间,水污染造成的损失将达 2735 亿元。

(一) 需氧污染物

生活污水和某些工业废水中所含的碳水化合物、蛋白质、脂肪和木质素等有机化合物可在微生物作用下最终分解为简单的无机物质,这些有机物在分解过程中要消耗大量的氧气,故被称为需氧污染物。以淀粉、纤维素为例,其被微生物彻底氧化分解时反应式

如下：



所以,这类化合物耗氧量比值为 $(32 \times 6) : (12 \times 6 + 10 \times 1 + 16 \times 5)$,即大致为 1.2:1。蛋白质、脂肪被氧化分解时耗氧量还要高些。

此外,某些还原性无机物在水体中也会耗氧,如 $\text{NH}_3\text{H}_2\text{S}$ 、亚硫酸盐等。其中, $\text{NH}_3\text{—N}$ 在自养性硝化细菌作用下被氧化成 $\text{NO}_3^-\text{—N}$,同时耗去 4 个氧,按重量比为 $\text{NH}_3\text{—N}$ 重量的 4.57 倍。

这些污染物进入水体后会耗去水中大量的溶解氧,甚至使水生动物大批死亡;污染严重时,还会使溶解氧降至零,造成水体厌氧细菌活跃,有机物分解产生 $\text{NH}_3\text{—N}$, H_2S 等,导致水体发黑发臭,迫使物质循环中止,水体自净作用功能几近丧失。

(二) 植物营养物

所谓植物营养物,主要是指氮、磷等元素,其他尚有钾、硫等。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。

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、化肥厂的染料厂、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。

水体中植物营养物质的存在,将导致水生藻类及蓝细菌大量繁殖。它们过度旺盛的生长繁殖会造成水中溶解氧急剧变化,藻类的夜间呼吸及死亡藻体的微生物分解作用又会使水体严重缺氧,并而造成鱼类大量死亡。某些藻类及蓝细菌的蛋白类毒素,可富集在水产生物体内,并通过食物链使人中毒。大量藻类遗体可使湖、河变浅,最终成为沼泽地。自来水源水的富营养化会使加氯量成倍增

加,并生成卤代烃之类的有害物质;为了脱色、除嗅、除味而使化学药剂投加量增加,滤池的反冲亦增加,从而增加了给水处理的成本。化合态的氮对人及生物有毒害作用,如亚硝酸胺等有致癌、致畸作用,饮用水中 NO_3^- —N 含量高可引起高铁血红蛋白症等。

(三) 有毒物质

污染的水体中含有多种对人及生物有毒的物质,轻则引起种种慢性疾病和急性疾病,重则危及生命。例如汞、镉、铅、铬、砷等重金属毒性较大,还有锌、铜、钴、锡等重金属也有一定的毒性,这些重金属污染物主要的特征是在水体中不能被微生物所降解,可因沉淀作用、吸附作用沉积于水体底泥中造成长期的危害。有些重金属还可经微生物作用发生甲基化而变得毒性更大。此外,还可通过食物链的生物放大作用,被迁移和富集,并最终通过食物进入人体,危及人体健康。如闻名于世的水俣病就是因为受汞污染的水体通过藻类、浮游生物、贝类、鱼类食物链不断放大,并最终进入人体,引起中毒;“骨痛病”也是因镉积累过多而使骨中钙被镉取代所致;氟可引起软骨病;长期饮用含铬水,可致人口角糜烂、腹泻和消化道机能紊乱等。

炼焦、煤气、冶金、石化、塑料等工业所排放的废水中含有酚,它是分布最广、影响最大的一类有机污染物。水体遭受酚污染后,会影响水产品的产量和质量,可使贝类减产、海带腐烂,可影响鱼类的回流,用氯消毒含酚的水会产生具恶臭的氯酚。人体摄入酚,少量时可引起呕吐、腹泻、头疼头晕、精神不安等慢性中毒症状,量多时,会因急性中毒而死亡。

在电镀、化工、煤气、炼焦等工业废水中含有氰。氰化物是剧毒物质,一般人只要误服 0.1g 氰化物便立即死亡,当水中 CN^- 含量达 0.3~0.5mg/L 时,鱼可死亡。氰进入生物体内可抑制细胞内呼吸酶系。

此外,在工业废水中还含有联苯胺、吡啶、硝基苯、多环芳烃等

各种致癌、致畸的有毒物质。

(四) 油类

目前,因人类活动而进入水体的石油每年多达 $1000 \times 10^4 \text{t}$, 约占全世界石油总产量的 $0.3\% \sim 0.5\%$ 。其主要来自于石油化工, 炼油废水, 油船的压舱水、洗舱水, 石油在运输过程中的海损、触礁事故泄漏, 海底油田开采时井喷等。石油进入水体后会沿水面扩散, 使鱼、鱼卵、海鸟等死亡。这些油在水中被微生物氧化分解会耗去大量溶解氧。海洋油污染还会破坏风景优美的海滨环境。

(五) 酸碱及无机盐类

矿山排水中含硫化合物经氧化可产生酸性废水, 冶金和金属加工工业也有大量酸洗废水排放, 雨水淋洗含 SO_2 烟气后形成酸雨。在碱法造纸、人造纤维、制碱、制革、纺织、煮炼等工业的废水中含碱。酸、碱废水彼此中和可产生各种盐类。此外, 合成洗涤剂、化工等废水中也含有各种盐类, 它们可腐蚀管道, 增加水的硬度, 若用以灌溉会引起土壤的盐碱化。

(六) 色度

印染、造纸、染化等工业排放的废水中含有各种有色物质, 它可破坏景观, 影响水质, 降低水的使用价值。

(七) 病原微生物

医院、生活、制革、屠宰、禽畜等污水中含有病原微生物, 主要有引起疾病的各种致病菌、病毒和寄生虫等。它可引起疾病的传播, 流行病的暴发, 甚至人的死亡。

(八) 热污染

水在工业或人类生活使用过程中往往使之增加温度后排放,

其中工业生产中的冷却水,尤其是核电厂、火力发电厂排放水量特别大,进入水体后使水温升高、饱和溶解氧值下降、水中需氧污染物耗氧速率加快,导致水体溶氧量急剧下降,并危及水生生态系统的平衡,造成一系列危害。

1-3 控制水体污染的途径

1-3-1 采用清洁生产工艺,减少或消除污水的排放

控制污染物排放量是控制水体污染的最关键问题。根据国内外经验,可有以下措施:

(一) 采用清洁生产工艺,尽量不用水或少用易产生污染的原料及生产工艺

如采用无氰电镀工艺代替有氰电镀工艺,可使废水中不含氰化物;采用无水印染工艺(转移染色)代替有水印染工艺,可从根本上消除印染废水的排放。

(二) 重复用水及循环用水,使废水排放量减至最少

重复用水系根据不同生产工艺对水质的不同要求,将甲工段排出的废水送往乙工段,将乙工段的废水排入丙工段,实现一水多用。如碱法造纸中,造纸机废水及炼焦厂的熄焦废水可循环使用。

(三) 回收有用物质

尽量使流失在废水中的原料或成品与水分离,既可减少生产成本或增加经济收益,又可降低废水中污染物质的浓度,或减轻污水处理的负担。

(四) 高浓度有机废水的资源化

不少食品行业的废水浓度高,内含有大量未予充分利用的有