

煤炭工业环保安全培训教材

煤矿矿井水及废水处理 利用技术



煤炭工业出版社

煤炭工业环保安全培训教材

煤矿矿井水及废水处理利用技术

编写 胡文容

审稿 高廷耀

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书叙述了水的物理处理、生物处理、化学处理及物理化学处理的基本原理、工艺及主要设备结构和设计,结合煤矿目前实际生产情况,介绍了煤矿矿井水处理利用技术、选煤排水处理及循环利用技术以及煤矿焦化废水、煤气发生站废水和矿区生活污水的处理技术。

本书可作为煤矿环境工程教学用书,可供相关专业研究人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿矿井水及废水处理利用技术/胡文容编. —北京:

煤炭工业出版社, 1997

ISBN 7-5020-1484-5

I. 煤… II. 胡… III. ①煤炭工业—废水处理

②煤炭工业—废水综合利用 IV. X752

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 13488 号

煤炭工业环保安全培训教材

煤矿矿井水及废水处理利用技术

编写 胡文容

责任编辑: 李振祥 黄朝阳

编 辑: 宫月华

*

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区霞光里 8 号 100016)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092mm¹/₁₆ 印张 18

字数 421 千字 印数 1—2,500

1998 年 2 月第 1 版 1998 年 2 月第 1 次印刷

书号 4253 定价 38.00 元



版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

煤炭工业环保安全培训教材编委会

主 任 王显政

副主任 王乃新 王久明 范世义 陈立良 王邦君
孔 青 高廷耀 崔继宪 戚颖敏

委 员 (以姓氏笔划为序)

小野寺太郎 (日) 山口幸夫 (日) 王文龙
王金石 刘光荣 刘 洪 任守政 孙福珠
李文林 李中和 李树志 杨 江 宫月华
张长海 张庆杰 张怀新 张 策 胡文容
酒井正和 (日) 高岗久美男 (日) 晏学民
展良荣 黄福明 廖灿平 戚宜欣
曾我敬部 (日) 管延明 藤濑孝 (日)

44570

序

环境问题已为世人瞩目，能源使用对环境的影响已经超越了国界，成为重大国际性问题。煤炭工业是我国的基础工业，我国连续多年位居世界第一的煤炭生产量和使用量，已经并将继续对我国的环境产生巨大影响。煤炭工业环境保护是我国和全球能源—环境协调发展战略的重要组成部分，也是煤炭工业实施可持续发展战略的必由之路。煤炭工业有责任通过发展洁净煤技术，推行清洁生产、控制污染和保护矿区生态，对全国乃至全球的环境保护作出较大贡献。

安全生产是煤炭工业的生命线，煤炭生产必须坚定不移地贯彻落实“安全第一、预防为主”的方针，坚持“管理、装备、培训并重”的原则，认真抓好安全工作，确保国家财产和人民群众生命的安全，保证经济快速增长，维护社会稳定，保护劳动者的健康，努力实现全国煤矿安全的稳定好转是煤炭工业各级领导的重要职责，是必须认真对待和解决好的头等大事。

长期的实践使我们认识到，通过加强教育，提高全体从业者，特别是各级领导者的环保意识、安全意识和技术素质，是搞好煤矿环保、安全工作的关键之一。

近年来，煤炭工业的环保、安全干部专业培训，已经取得了可喜的成果并产生了积极的作用。中日合作建设的煤炭工业环保安全培训中心，是一个具有 90 年代先进技术装备和良好教学条件的培训基地，同时也开辟了学习国外，特别是日本煤炭工业环保、安全先进技术与管理经验的窗口。

我高兴地看到，煤炭部环境保护办公室与安全司联合组织行业有关专家、技术人员编写的《煤炭工业环保安全培训教材》，从基础理论、法律法规、管理制度和实用技术等多方面，围绕中国煤炭工业的实际，比较系统地阐述了煤矿环保、安全工作的任务、内容、理论、方法和措施，反映了 90 年代国内外煤矿环保、安全工作的发展水平。教材内容注重理论联系实际，普及兼顾提高，并吸收了日本方面的先进经验，把科学性、知识性和实用性较好地结合了起来。

我相信，这套教材的出版和使用，对于提高煤矿干部、职工环保安全理论水平和专业技术素质，进而推动煤炭工业环保、安全事业的发展必将起到积极的作用。



1998 年 2 月

前 言

根据中国、日本两国政府间协议，双方合作在山东兖州矿业（集团）有限责任公司建设煤炭工业环保安全培训中心。培训中心是为适应我国煤炭工业环保安全工作的需要而建立的，中心将以我国煤炭工业环保、安全工作的丰富实践为基础，引进日本的先进设备，有针对性地开展继续教育工作。

为作好培训工作，煤炭工业部组织有关专家和专业技术人员编写了这套煤炭工业环保安全培训教材，共计七册。其中环保教材六册，分别为《煤矿环境管理》、《洁净煤技术与矿区大气污染防治》、《煤矿矿井水及废水处理利用技术》、《矿区生态破坏防治技术》、《煤矿固体废物治理与利用》和《煤矿环境监测》。安全教材一册，为《煤矿通风安全技术与管理》。

这套教材的编写指导思想是，坚持科学性、先进性和实用性统一及理论联系实际的原则，突出行业特点，密切结合国情，注意吸收、借鉴日本煤炭工业的成功经验和先进理论与技术，面向基层，为煤矿生产建设和实现可持续发展服务。

教材内容上，在保证必要的基础知识和理论的系统性、完整性的前提下，突出重点，删繁就简，针对不同学员的实际情况，普及与提高并重。

本教材不仅是环保安全培训中心的专用教材，也可以作为各种形式的环保、安全学习班和有关人员自学的教材。

这套教材的编写尚属首次，由于时间和水平所限，教材中在所难免地会存在许多不足之处，希望广大读者多提宝贵意见，以期进一步修改完善。

教材编委会

1998年2月

目 录

第一章 水体污染与净化规律	(1)
第一节 水污染指标与水质标准	(1)
第二节 水体污染物	(5)
第三节 水体自净规律	(7)
第二章 水的物理处理	(12)
第一节 格栅及捞毛机	(12)
第二节 沉淀	(16)
第三节 气浮	(30)
第四节 过滤	(35)
第三章 废水的生物处理	(53)
第一节 基本概念	(53)
第二节 稳定塘	(59)
第三节 活性污泥法	(64)
第四节 几种新型生物膜法	(96)
第五节 活性污泥法与生物膜法的比较	(97)
第六节 厌氧生物处理法	(97)
第七节 废水生物脱氮除磷	(104)
第八节 污泥处理处置与利用	(114)
第四章 水的化学处理	(122)
第一节 化学混凝法	(122)
第二节 中和法	(137)
第三节 化学沉淀法	(139)
第四节 氧化还原法	(141)
第五章 水的物理化学处理	(157)
第一节 吸附法	(157)
第二节 离子交换法	(163)
第三节 膜分离法	(166)
第六章 煤矿矿井水及废水处理概论	(202)
第一节 煤矿矿井水及废水的性质和处理意义	(202)
第二节 煤矿矿井水及废水处理利用技术现状及展望	(205)
第七章 煤矿矿井水处理技术	(207)
第一节 概况	(207)
第二节 含悬浮物矿井水处理技术	(208)

第三节	高矿化度矿井水处理技术	(213)
第四节	煤矿酸性矿井水处理技术	(219)
第五节	含重金属矿井水处理技术	(232)
第六节	含放射性污染物矿井水处理技术	(236)
第七节	碱性矿井水处理技术	(238)
第八节	含氟矿井水处理技术	(239)
第八章	煤炭洗选加工废水处理利用技术	(242)
第一节	选煤废水处理循环利用技术	(242)
第二节	焦化厂废水处理技术	(254)
第三节	煤矿煤气发生站废水处理技术	(265)
第九章	煤矿生活污水处理利用技术	(269)
第一节	概况	(269)
第二节	煤矿生活污水的处理技术	(270)
第三节	潞安矿务局五阳煤矿生活污水处理实例	(272)
参考文献		(276)

第一章 水体污染与净化规律

〔提要〕本章简要叙述了水污染指标和水质标准，对水中污染物进行较为详细分类，并指出每一类污染物的危害。结合水体的物理自净、化学自净和生物自净过程，论述了河流污染和自净规律的数学模型。

第一节 水污染指标与水质标准

一、水污染指标

废水是雨水、工业废水和生活污水的总称。废水和接纳水体的物理、化学、生物等方面的特征是通过水污染指标来表示的。水污染指标又是掌握废水处理构筑物的处理效果和控制运行状态的重要依据。

水污染指标概括起来有化学、物理、生物学性质三个方面，并通过不同的指标定性定量地反映。水污染指标的检测方法国家已有明确规定，检测时应当按国家规定的方法进行。由于废水的性质受污染物的种类和性质、污染程度等影响，使得水污染指标数目繁多，但总体上可分为二类：一类是直接用污染物来表示的指标，如酚、铅等；另一类是用一个或多个间接或综合性指标来反映某类污染物的多少，如生物化学需氧量、pH 值等。在废水处理工程中，检测何种指标或采用何指标表示废水特性，应根据具体情况而定。其中，最常用最基本的指标有生物化学需氧量、化学需氧量、悬浮固体、总有机碳、pH 值、大肠菌群数等，下面作简要的叙述。

（一）生物化学需氧量

生物化学需氧量 (Biochemical Oxygen Demand) 简称为生化需氧量，以 BOD 表示。它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溶解氧的数量，是一个反映水中可生物降解的含碳有机物的含量以及排入接纳水体后所产生的耗氧影响的指标，单位 mg/L，由于废水和水体中有机物的种类繁多，很难也没有必要直接测定其各种有机物的绝对含量，所以一般是通过测定 BOD 来间接表示有机物的含量。

目前，BOD 测定的标准温度为 20℃，在此温度下，微生物分解有机物质的过程相当缓慢，若将水中可分解的有机物彻底分解为 CO₂、H₂O 和 NH₃，约需 20 d 时间。为了缩短测定时间而又能保证测定值具有一定的代表性，国内外普遍采用 20℃ 培养 5 d 的生物化学过程需要氧的量作为指标，记为 BOD₅，以氧的 mg/L 表示。

（二）化学需氧量

生化需氧量 BOD₅ 能真实地反映生物降解有机物时所需的氧量，但是 BOD₅ 测定时间长。有些工业废水含有毒物质时会对微生物的活动产生抑制作用，需要投加经过驯化的微生物接种，所以测定 BOD₅ 既费时又麻烦，且只反映水中可生物降解的有机物。在工程上，需要一些其他指标，以反映水中有机物的量，其中最常用和最重要的是化学需氧量。

化学需氧量 (Chemical Oxygen Demand) 表示用化学氧化剂氧化单位体积水所消耗的氧量, 用 COD 表示, 单位为 mg/L。它反映在高温、催化剂及强酸环境下, 强氧化剂氧化有机物所消耗的氧量。其有机物包括微生物可分解的和无法分解的。COD 值比 BOD₅ 值高。目前, 根据所用氧化剂的不同, COD 测定分为重铬酸钾法和高锰酸钾法。重铬酸钾能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废水的化学需氧量, 用 COD_{Cr} 表示。在 COD_{Cr} 测定中要求加热回流 2 h, 测定所需时间仍较长。所以, COD 另一种测定方法是以高锰酸钾为氧化剂, 加热 30 min, 其结果用 COD_{Mn} 表示。高锰酸钾测定法的氧化深度不及重铬酸钾。所以, 对于同一种废水, 其 COD_{Cr} 值大于 COD_{Mn} 值。

总的来说, COD 测定时间短, 既反映了水中微生物降解的有机碳, 又包括了微生物不能分解的有机物。但是, 一些难分解的有机物 (如苯等) 在 COD 的测定条件下也无法被氧化。另一方面, 废水中的亚硝酸盐、硫化物、亚铁盐等还原性物质及氧化剂均能影响 COD 的测定值, 因而它不能象 BOD 那样表示出微生物氧化的有机物的量。

(三) 悬浮固体

悬浮固体 (Suspended Solid) 是水中未溶解的非胶态的固体物质, 用 SS 表示, 单位为 mg/L。悬浮固体包括浮于水面的悬浮物质、沉于水底的可沉淀物质和悬浮于水中的悬浮物三个部分。悬浮固体可使水质浑浊, 降低透明度, 影响水生生物呼吸和代谢, 悬浮物多时, 还可能造成河道阻塞等。

(四) pH 值

pH 值是反映水的酸碱性强弱的重要指标。通常采用玻璃电极法和比色法测定水的 pH 值。控制废水的 pH 值处于适当的范围, 对于保障废水处理设施正常运行, 防止运输及处理设施的腐蚀, 保护受纳水体水生生物的正常生长具有重要意义。

(五) 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, 在废水排放和处理、处置时要严格加以控制。因此, 有毒物质是水体监测、废水处理和排放的重要水质指标。有害物质的种类繁多, 有些项目的测定较为困难, 在实际工作中, 检测项目应视具体情况而定。

(六) 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。大肠菌是一群需氧又兼厌氧的, 在 37℃ 生长时能使乳糖发酵, 在 24 h 内产酸、产气的革兰氏阴性无芽胞杆菌。大肠菌群数是常用的细菌学指标, 测定方法有多管发酵法和滤膜法。大肠菌虽然是一种非致病菌, 但是由于其生长的环境与肠道病原菌相近, 故在水污染控制工程中, 用以间接判断废水是否含有病原菌。

二、水质标准

天然水体是人类生存的第一资源, 为了保护水资源, 控制水污染, 必须制定合理的水环境标准。标准制定要考虑二个问题: ①人群健康及与其利益有密切关系的生态系统和财产不受损失和适应环境条件; ②人们的生产、生活活动对环境的影响、干扰应控制的限度和数量。具体对水污染控制来说, 一是水环境质量; 二是废水排放标准。所以, 水环境质量保护标准可分为水环境水质和排放水水质标准。

表 1-1 地面水环境质量三级标准

(mg/L)

项 目	分 类				
	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
基本要求	所有水体不应有非自然因素导致的下述物质：a. 凡能沉淀而形成令人厌恶的沉积物；b. 漂浮物，诸如碎片、浮渣、油类或其他的一些引起感官不快的物质；c. 产生令人厌恶的色、臭、味或浑浊度的；d. 对人类、动物或植物有损害、毒性或不良生理反应的；e. 易滋生令人厌恶的水生生物的				
水温 (℃)	人为造成的环境水温变化应限制在：夏季周平均最大温升 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ ，冬季周平均最大温降 $\leq 2^{\circ}\text{C}$				
pH 值	6.5~8.5				6~9
硫酸盐* (以 SO_4^{2-} 计) $\leq$	250 以下	250	250	250	250
氯化物* (以 Cl^- 计) $\leq$	250 以下	250	250	250	250
溶解性铁* $\leq$	0.3 以下	0.3	0.5	0.5	1.0
总锰* $\leq$	0.1 以下	0.1	0.1	0.5	1.0
总铜* $\leq$	0.01 以下	1.0 (渔 0.01)	1.0 (渔 0.01)	1.0	1.0
总锌* $\leq$	0.05	1.0 (渔 0.1)	1.0 (渔 0.1)	2.0	2.0
硝酸盐 (以 N 计) $\leq$	10 以下	10	20	20	25
亚硝酸盐 (以 N 计) $\leq$	0.06	0.1	0.15	1.0	1.0
非离子氨 $\leq$	0.02	0.02	0.02	0.2	0.2
凯氏氮 $\leq$	0.5	0.5	1	2	2
总磷 (以 P 计) $\leq$	0.02	0.1 (湖、库 0.025)	0.1 (湖、库 0.05)	0.2	0.2
高锰酸盐指数 $\leq$	2	4	6	8	10
溶解氧 $\geq$	饱和率 (90%)	6	5	3	2
化学需氧量 (COD_{Cr}) $\leq$	15 以下	15 以下	15	20	25
生化需氧量 (BOD_5) $\leq$	3 以下	3	4	6	10
氟化物 (以 F^- 计) $\leq$	1.0 以下	1.0	1.0	1.5	1.5
硒 (四价) $\leq$	0.01 以下	0.01	0.01	0.02	0.02
总砷 $\leq$	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
总汞** $\leq$	0.000 05	0.000 05	0.00 01	0.001	0.001
总镉*** $\leq$	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
铬 (六价) $\leq$	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
总铅** $\leq$	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
总氰化物 $\leq$	0.005	0.05 (渔 0.005)	0.2 (渔 0.005)	0.2	0.12
挥发酚** $\leq$	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
石油类** (石油醚萃取) $\leq$	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0
阴离子表面活性剂 $\leq$	0.02 以下	0.2	0.2	0.3	0.3
总大肠菌群*** (个/L) $\leq$			10 000		
苯并(a)芘*** ($\mu\text{g/L}$) $\leq$	0.002 5	0.002 5	0.0025		

* 允许根据地方水域背景特征做适当调整的项目；

* * 规定分析检测方法的最低检出限，达不到基准要求；

* * * 试行标准。

(一) 水环境质量标准

水环境质量标准是依据天然水体的用途制定的，天然水体的主要用途可分为：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、水上运动、航运游览等。由于各种用水所服务的对象和内容不同，对水体水质的要求也不同。其中饮用水水源要求水质较高；公共用水、游览用水要求水质次之；农业、渔业用水水质以不影响动植物生长和不引起动植物体内残留毒物超标为限；工业用水水源要满足不同工业生产的要求。

目前，我国根据人类对天然水体的使用要求，颁布了《地面水环境质量标准》、《农田灌溉水水质标准》、《渔业水质标准》、《海上水质标准》。同时，各地依据具体情况，制定了一些地方标准。表 1-1 为《地面水环境质量三级标准》。

(二) 排放标准

为了保护天然水体的水质达到一定的水质标准，不能任意地向水体排放废水，必须对排入水体的污染物种类和数量进行严格控制，制定严格的排放标准是非常重要的。

目前，我国废水排放标准可分为三个层次，一是全国性的，二是地方性的，三是行业性的。全国性排放标准适用于我国每一地区和行业，地区性或行业性标准只能适用于相应的地区或行业。在我国的《工业废水排放标准》中，把工业废水中污染物质分为两类，并制定了最高允许排放标准。第一类污染物是指能在环境或动植物体内蓄积的，对人类健康产生长远影响的物质（表 1-2）。第二类污染物是指长远影响小于第一类的有害物质（表 1-3）。该标准规定：对于表 1-2 中的第一类污染物，因危害性大要严格控制，车间或车间处理设备排出口，必须符合规定要求，并不得采用稀释的方法进行处理。

表 1-2 第一类污染物最高允许排放浓度 (mg/L)

序 号	污 染 物	最高允许排放浓度	序 号	污 染 物	最高允许排放浓度
1	总汞	0.05*	6	总砷	0.5
2	烷基汞	不得检出	7	总铅	1.0
3	总镉	0.1	8	总镍	1.0
4	总铬	1.5	9	苯并(a)芘**	0.00003
5	六价铬	0.5			

* 烧碱行业（新建、扩建、改建企业）采用 0.005 mg/L。

** 为试行标准，二级、三级标准区暂不考核。

表 1-3 第二类污染物最高允许排放标准 (mg/L)

标准值 污 染 物	一 级 标 准		二 级 标 准		三级标准
	新 扩 改	现 有	新 扩 改	现 有	
pH 值	6~9	6~9	6~9	6~9 ⁽¹⁾	6~9
色度（稀释倍数）	50	80	80	100	—
悬浮物	70	100	200	250 ⁽²⁾	400
生化需氧量（BOD ₅ ）	30	60	60	80	300 ⁽³⁾

续表

标准值 污 染 物	标准分级 规 模	一 级 标 准		二 级 标 准		三级标准
		新 扩 改	现 有	新 扩 改	现 有	
化学需氧量 (COD _{Cr})		100	150	150	200	500 ^③
石油类		10	15	10	20	30
动植物油		20	30	20	40	100
挥发酚		0.5	1.0	0.5	1.0	2.0
氰化物		0.5	0.5	0.5	0.5	1.0
硫化物		1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
氨氮		15	25	25	40	—
氟化物		10	15	10	15	20
		—	—	20 ^④	30 ^④	—
磷酸盐 (以 P 计) ^⑤ —		0.5	1.0	1.0	2.0	—
甲醛		1.0	2.0	2.0	3.0	—
苯胺类		1.0	2.0	2.0	3.0	5.0
硝基苯类		2.0	3.0	3.0	5.0	5.0
阴离子合成洗涤剂 (LAS)		5.0	10	10	15	20
铜		0.5	0.5	1.0	1.0	2.0
锌		2.0	2.0	4.0	5.0	5.0
锰		2.0	5.0	2.0 ^⑥	5.0 ^⑥	5.0

① 现有火电厂和粘胶纤维工业，二级标准 pH 值放宽到 9.5。

② 磷肥工业悬浮物放宽至 300 mg/L。

③ 对排入带有二级污水处理厂的城镇下水道的造纸、皮革、食品、洗毛、酿造、发酵、生物制药、肉类加工、纤维板等工业废水，BOD₅ 可放宽至 600 mg/L；COD_{Cr} 可放宽至 1000 mg/L；具体限度还可以与市政部门协商。

④ 为低氟地区（系指水体含氟量 < 0.5 mg/L）允许排放浓度。

⑤ 为排入蓄水河流和封闭性水域的控制指标。

⑥ 合成脂肪酸工业新扩改为 5 mg/L，现有企业为 7.5 mg/L。

第二节 水 体 污 染 物

一、水体污染物的分类

污染水体的污染源通常是指向水体中排放污染物导致水体的某些物理、化学、生物变化，并使水质恶化的场所、设备和装置等。污染源可分为点污染源（如生活污水、工业污水等）和非点污染源（如农田径流、大气降水等）。水中的污染物主要来自于污染源，水中污染物按照其种类和性质分为五类：无机有毒物无机无毒物、有机无毒物、有机有毒物和其他污染物。如图 1-1 所示。

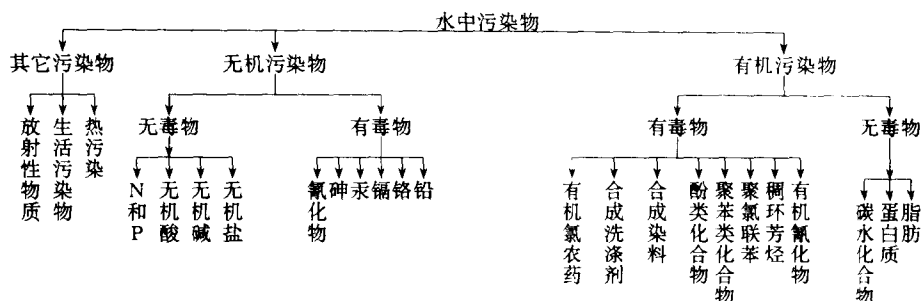


图 1-1 水中污染物的主要类型

二、水中污染物的危害

(一) 无机无毒物

无机无毒物包括 N、P、无机酸、无机碱及无机盐。它对水体水质的影响表现在三个方面：①水中 N、P 等营养物增多，即“水体富营养化”，引起水中藻类水生植物过量繁殖，其结果不但减少水中溶解氧，危害鱼类和水生动物的生存，恶化水质，而且过多的藻类残体减少了水体容量，使湖泊变浅，造成水体老化和沼泽化。②无机碱或无机酸排入水中，引起水体 pH 值变化，破坏其自然缓冲作用，杀灭微生物或抑制微生物的生长，降低了水体自净能力。一般认为，水体 pH 值小于 5.0 或大于 9.0 时，鱼类就难以生存。这种水还腐蚀排水管道及水工构筑物、船舶等，也对人体造成危害。③水中无机盐增加到一定程度，同样可导致鱼类死亡和腐蚀取水管。当用这种水灌溉时，可导致植物死亡和土壤盐碱化。

(二) 无机有毒物

无机有毒物包括氰化物、砷化物及汞、镉、铬、铅六大毒性物质，均具有较强毒性。下面简要叙述其污染特征和对人类的危害情况。

1. 氰化物 (CN⁻)

氰化物是剧毒物质，主要来自焦化、化工、制药、电镀等工业废水。一般认为使鱼类致死的 CN⁻浓度为 0.04 mg/L。对甲壳类和浮游生物的致死浓度则更低。

2. 砷 (As)

砷是一种累积性中毒的毒物，主要来自化工、农药、制药等工业废水。近年来研究发现，当饮用水中砷含量高于 0.05 mg/L 时，可导致累积，而且可以致癌。砷的毒性是三价砷高于五价砷，亚砷酸盐高于砷酸盐。

3. 汞 (Hg)

汞是一种重金属毒性物质，主要来自有色冶金、制药等工业废水。当汞进入水体后，很快沉积于水底，并长期存留。汞在底泥中受厌氧微生物作用可转化成毒性更大的甲基汞。

4. 镉 (Cd)

镉是一种典型的累积性毒物，特别易于富集粮食籽粒中。主要来自于电镀、有色冶金、染料、铅锌矿等工业生产废水。当人摄入镉后，镉将取代骨质中的钙，使骨骼软化、自然折断。这种病潜伏期长，疼痛难忍，很难治愈。

5. 铬 (Cr)

铬是一种较普遍的重金属污染物，主要来自于制革、电镀、纺织印染、油漆、铅锌等

工业废水。铬在水中以两种价态形式存在：三价铬和六价铬，其中三价铬的毒性低。

6. 铅 (Pb)

铅也是一种累积性重金属毒物，在水体中稳定存在，不能被生物分解，主要来自铅锌矿、有色冶金、油漆等工业废水。人体长期摄入微量的铅可引起慢性中毒。

(三) 有机无毒物

有机无毒污染物主要包括碳水化合物、蛋白质、脂肪等自然生成的有机物。这些化合物均为生物可降解有机物，排入受纳水体后，在微生物作用下发生分解，消耗水中的溶解氧。当其浓度达到一定程度后，微生物分解这些有机物耗氧量增大，往往会使水中溶解氧耗尽，导致鱼类及其他水生生物死亡。

由于有机无毒物的组成复杂，很难也没有必要对其每一种成分进行测定。在实际工作中，均采用 BOD、COD、TOC 等指标来间接表示。

(四) 有机有毒物

有机有毒物主要是人工合成的有机物。如有机氯农药、合成洗涤剂、合成染料及酚类化合物，取代苯类化合物、聚氯、联苯和稠环芳烃等。

有机有毒物有两个污染特征：一个特征是这些污染物均为生物难溶解物质，在水中比较稳定，不易被微生物分解；另一特征是这些物质大部分为致癌、致畸、致突变物质，如稠环芳烃是一类早已被证实的致癌物质。有机有毒物具有较强的稳定性，难被微生物分解，而且可经食物链高倍地富集于鱼、家禽、家畜和人体中，具有很大的危害性。

(五) 其他污染物

这类污染物主要包括放射性污染物质、生物污染物质和热污染。

放射性污染物也是通过食物进入人体中，主要危害是放出 α 、 β 、 γ 等射线，损害人体组织，促使人体组织发生病变。

生物污染物质主要是指动物、人排泄的粪便中含有的细菌、病毒及寄生虫等。它们生存于耗氧有机物提供的营养物质环境中，往往与耗氧有机物混合在一起，可引起各种疾病的传染。

水体的热污染是指天然水体接受“热流出物”，使水温升高的现象。热污染可引起水体温度升高，降解水生生物的繁殖率，降低其溶解氧。

第三节 水体自净规律

一、水体自净过程

水体是海洋、湖泊、河流、沼泽、水库、地下水的总称。废水排入水体使水体受到污染，经过一段时间后，由于物理、化学、生物等方面的作用，使污染物浓度逐渐降低，水体又逐渐恢复原有的状态，这种现象称为水体的自净。水体自净规律或机理是一个非常复杂的过程，同一种废水排入不同的受纳水体，如海洋、湖泊、河流、沼泽等，其自净过程是不一样的，其中对污水排入河流中的自净过程作了较多的调查研究，已有一定的认识。煤矿废水经处理后，排入煤矿区附近的河流是煤矿废水的主要出路，所以，本节主要叙述污染河流的自净规律。

河流污染是指排入河水中的污染物在数量上超过了该物质在河水中的环境容量，从而

导致河水发生物理、化学上的变化，使水质恶化，破坏了河水固有的生态系统，影响了河水的正常功能。河流自净机理或自净规律包括：沉淀、稀释、混合、挥发等物理过程；氧化还原、分解化合、吸附、凝聚、离子交换等化学和物理化学过程；以及厌氧、好氧的生物同化过程，下面就这三个自净过程作一简要介绍。

(一) 物理自净过程

物理自净过程是指废水排入河流带入的可沉淀固体在重力作用下，逐渐沉积于水底形成底泥，以及因混合稀释使胶体和溶解性物质浓度逐渐降低的过程，影响河流物理自净能力的因素很多，主要有废水排入量、河流水文条件及废水排放口的位置（岸边或河中）和形式（单点或多点排放）等。

(二) 化学自净过程

化学自净过程是指废水排入河流带入的污染物受河水稀释、混合等作用，某些污染物发生化学或物理化学反应而被去除的过程。例如，煤矿外排的酸性矿井水含有大量 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等，当排入河流时，由于河流稀释和缓冲作用，pH 值升高，在河水中溶解氧氧化作用下，被氧化形成三价铁和四价锰的氢氧化物或水合氧化物沉积于河底而得到去除。又如，随生活污水排入河流的洗涤剂、肥皂等表面活性剂，不但能彼此聚集形成泡沫浮至水面而从水中去除，而且还能捕集和挟带重金属、放射性物质等，对水中放射性物质和重金属的富集倍数可达 2~4 个数量级。

(三) 生物自净过程

废水中呈悬浮胶体和溶解状态的有机污染物排入河流后，随河流向下游流动，微生物氧化降解这些污染物成简单和稳定的无机物，在污水排入口某一下游处，河流恢复到原来状态，这一过程称为河流的生物自净过程。

废水排入河流后，引起溶解氧的变化，生物自净过程与河流水中溶解氧变化密切相关。所以，用河水中溶解氧变化过程能清楚地说明生物自净过程，图 1-2 表示河流受纳废水后，

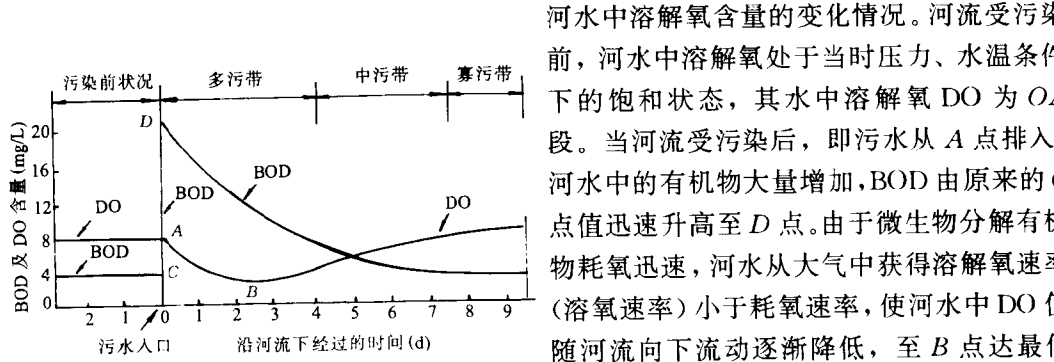


图 1-2 DO 与 BOD 变化曲线

河水中溶解氧含量的变化情况。河流受污染前，河水中溶解氧处于当时压力、水温条件下的饱和状态，其水中溶解氧 DO 为 OA 段。当河流受污染后，即污水从 A 点排入，河水中的有机物大量增加，BOD 由原来的 C 点值迅速升高至 D 点。由于微生物分解有机物耗氧迅速，河水从大气中获得溶解氧速率（溶氧速率）小于耗氧速率，使河水中 DO 值随河流向下流动逐渐降低，至 B 点达最低值，称最缺氧点。在此过程中，有机物逐渐被消耗，BOD 值逐渐降低。B 点以后因有机物浓度降低分解速度减少，微生物分解有机物耗氧速率小于溶氧速率，结果河水中 DO 逐渐升高，达到 F 点，恢复原来状态。图 1-2 中 DO 曲线呈下垂状，故称氧垂曲线。当排入河流中有机物浓度超过河流的自净能力时，河流中 DO 将被耗尽，出现无氧的河段，这时有有机物分解转为厌氧分解，有机物中的硫元素在厌氧菌作用下转化为硫化氢，与河水中的某些金属（如铁）结合，形成黑色的硫化物沉淀，过饱和的硫化氢则从水面逸出，散发臭气，河流就出现黑臭现象。这时，河流的氧垂曲线出

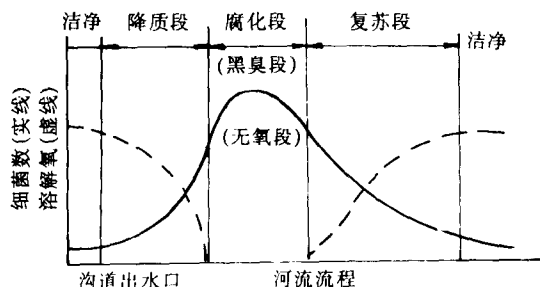


图 1-3 严重污染河流的细菌总数和溶解氧变化过程示意曲线

二、水体自净的数学模式

当废水排入河流后，在河流产生的自净过程中，物理自净和生物自净占主导作用。因此，人们进行了大量研究，设法定量地计算水体经过混合稀释的自净能力，水体中有机污染物消耗水中溶解氧以及氧的补充与废水的浓度关系。也就是说，人们希望能用数学模型来定量描述河流受污染后，其物理和生物净化过程。但是，从目前报道的一些研究结果来看，尚不能彻底反映实际情况，其中一个很重要的原因是数学模型所要求的有关数据的数量准确性与实际上可能有的数据在数量上和准确性上相差较大。例如，要定量描述污水排入河流后，对河水局部影响和自净过程，必须耗费大量的人力、物力、财力来对现场长期调查研究，取得大量有效的数据。有时，由于各种原因包括缺乏历史上积累的资料，仅凭一、二次大规模现场测定建立起来的数学模型来比较确切地定量分析河流自净过程是很困难的。但是，数学描述作为一种研究工具，仍然是非常有意义的。如上所述，河流受污染后，河水中

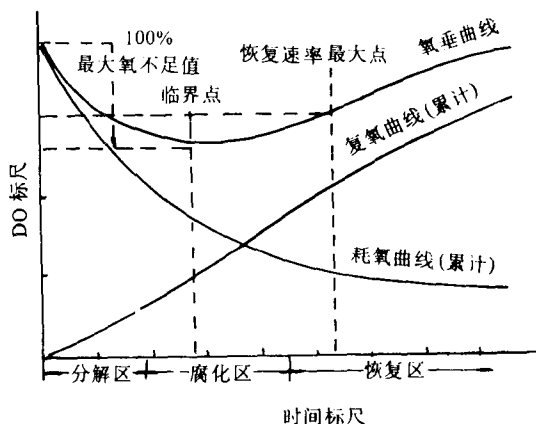


图 1-4 耗氧曲线复氧曲线和氧垂曲线

溶解氧的变化趋势能很好地说明河流自净的过程。对这种过程的定量描述则是实际应用自净能力的很重要的方面。下面简要介绍一下污染河流溶解氧曲线的数学模型。对一条受污染河流，其耗氧曲线、复氧曲线、氧垂曲线可用图 1-4 表示。Streeter 和 Phelps 用数学模式描述了河流中溶解氧的变化过程。

现假设一条河流在河水排入初始时刻（即 $t=0$ ）时，水中溶解氧为饱和状态，这条河流断面上每一点的流速都相等，并且只有一个点污染源，那么河水中溶解氧的亏缺量 D （即饱和溶解氧量与实际溶解氧量之差，简称亏氧量），随时间 t 变化率 dD/dt 可用下式表示：

$$\frac{dD}{dt} = k_1 (L_a - y) - k_2 D \quad (1-1)$$