

何绪文 肖宝清 王 平 编著

废水处理与 矿井水资源化



煤炭工业出版社

4.4
77

T0994.4

C20020077

废水处理与矿井水资源化

何绪文 肖宝清 王平 编著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

废水处理与矿井水资源化/何绪文, 肖宝清, 王平编著.

—北京: 煤炭工业出版社, 2002

ISBN 7-5020-2168-X

I. 废… II. ①何…②肖…③王… III. ①废水处理②煤矿—废水处理 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 030096 号

废水处理与矿井水资源化

何绪文 肖宝清 王平 编著

责任编辑: 李振祥

*

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 850×1168mm¹/₃₂ 印张 9

字数 250 千字 印数 1—1,000

2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

社内编号 4939 定价 20.00 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

前 言

环境是人类赖以生存、繁衍和发展的基本条件。为了避免环境污染和生态破坏，给子孙后代留下一个美丽的家园，人们努力寻找一条人口、经济、资源和环境相互协调发展之路，认识到实施可持续发展战略的重要性。

煤炭作为我国的主要能源将持续相当长的时间，采煤的同时必须排水，矿井水的排放是煤炭工业具有行业特点的污染源之一，量大面广，年矿井水排放量超过 20 亿 m^3 。随着国民经济的发展，煤炭消耗量的增长，势必造成矿井水排放量的不断增多。一方面，我国大部分矿区严重缺水，另一方面大量矿井水未经处理直接排放。矿井水的直接排放，不仅对环境产生直接的影响，如高矿化度矿井水会严重污染地面环境、淤塞河流湖泊、破坏地表景观、抑制水生生物的生长和繁衍、使土地板结和盐渍化等，而且是水资源的严重浪费。因此，实现矿井水的资源化，不仅能缓解矿区严重缺水状况，提高煤矿职工的生活质量，也是保护环境，实现煤炭工业可持续发展的需要。

目前，有关水处理的科学研究及实用技术发展很快，将这些研究进展、技术、原理系统地加以总结，并在煤矿矿井水资源化方面得到实用化的指导，以满足广大煤矿环保工作者的实际需要，提高煤炭工业在环境治理方面的理论及技术水平，是我们编写此书的主要目的。

本书的主要内容结合了作者从事多年煤矿环境教育、科研及工程开发的经验，并注重吸收外界同行最新的研究成果，以便读者能够在跟踪、运用矿井水处理的先进技术及工程方法方面起到积极的参考作用。

本书第一章、第四章（第一、二、三、四、五节）、第五章（第一、三节）、第六章由何绪文编写，第二章（第一、二、四节）、第

三章（第四、五节）、第四章（第六、七节）由肖宝清编写，第二章（第三节）、第三章（第一、二、三节）、第五章（第二、四节）由王平编写。全书由何绪文统稿。在编写过程中，得到了王培京、王通、桑义敏、宋志伟等同志的大力帮助，李文林教授在百忙之中仔细审阅了全部书稿，在此向他们表示衷心的感谢。

本书作者参考引用了大量的文献资料，没有这些文献资料，要完成本书的编写工作是不可能的。对于他们的劳动成果，作者在此表示衷心的感谢。

在日新月异的科技时代，有关水处理及矿井水资源化的理论与技术必将层出不穷，限于作者的知识水平，本书很难以一概全，有许多不足乃至错误之处，希望专家同行及广大读者批评指正。

编 者

2002 年 5 月

目 录

前 言

第一章 水污染及其治理的基本概念	1
第一节 水资源与水危机	1
第二节 水污染指标及水质标准	1
第三节 污水中主要污染物对人体的危害	12
第四节 水体自净	15
第五节 废水污染防治主要原则	23
第二章 废水处理的基本方法	24
第一节 概 述	24
第二节 物理处理法	26
第三节 化学处理法	54
第四节 物理化学处理	83
第三章 废水生物化学处理	100
第一节 生化处理中的微生物基础	100
第二节 生化处理分类	108
第三节 好氧生物处理	117
第四节 厌氧生物处理	136
第五节 生物处理组合工艺	143
第四章 煤矿矿井水资源化技术	156
第一节 概 述	156
第二节 含悬浮物矿井水处理	160
第三节 酸性矿井水处理	165

第四节	煤矿高矿化度矿井水处理	170
第五节	含氟矿井水处理	181
第六节	含重金属离子的矿井水处理	189
第七节	游泳池循环水处理	201
第五章	煤炭深加工废水处理	210
第一节	选煤厂煤泥水处理	210
第二节	焦化厂废水治理	222
第三节	煤气站废水处理	251
第四节	炸药厂废水处理	258
第六章	煤矿生活污水处理	262
第一节	概 述	262
第二节	煤矿生活污水处理技术	265
主要参考文献		276

第一章 水污染及其治理的 基 本 概 念

第一节 水资源与水危机

水是人类消耗最多的自然资源，全世界煤炭、石油、金属矿物、非金属矿物等消耗总量每年 80 多亿吨，而每年用水量接近 50000 亿 t。水资源的可持续利用是所有自然资源可持续开发利用中的重要问题之一。

中国地表水资源总量为 28124 亿 m^3 ，人均水资源量从 1900 年的 7031 m^3 到现在约 2299 m^3 ，居世界第 109 位。中国占世界人口的 22%，淡水仅占世界的 8%，不足世界人均水平的 1/4，是世界 13 个贫水国之一。此外，中国人口每年净增 1500 万，经济和消费水平几年翻一番，对水需求量越来越大。而我国水资源可抽取总量约 1.1 亿 m^3 ，且水资源分布具有巨大的南北差异。占我国耕地面积仅 1/3 的南方占 4/5 的水，占 2/3 耕地面积的北方仅占 1/5 的水。特别是处于干旱、半干旱的我国西北地区，1982 年的人口密度就已经达到 22 人/ km^2 。按照联合国的环境承载力标准，干旱地区为 7 人/ km^2 ，半干旱地区是 20 人/ km^2 。可见，我国西北地区就有大批人口正在忍受着饮水不安全的威胁。

第二节 水污染指标及水质标准

一、水污染指标

反映水体被污染的程度通常用水质指标来表示。水质指标涉及化学、物理、生物学等各个方面，主要有悬浮物、有机物、无机污

染物、生物污染物和有毒物质等。

(一) 固体污染物

固体污染物常用悬浮固体和浊度两个指标表示。

1. 悬浮固体 (SS)

悬浮固体是水中呈固体状的不溶性物质，如淤泥、黏土、微生物体、不溶性有机物、无机物等，结果以 mg/L 表示。

2. 浊度

浊度是对水的光传导性能的一种测量，其值可表征废水中胶体和悬浮物的含量。

固体污染物在水中以溶解态（直径小于 1nm ）、胶体态（直径介于 $1\sim 100\text{nm}$ 之间）和悬浮态（直径大于 100nm ）3 种形式存在。水质分析中把固体物质分为两部分：能透过滤膜（孔径约为 $3\sim 10\mu\text{m}$ ）的叫溶解固态，不能透过的叫悬浮固体 (SS)，两者总称为总固体。

(二) 需氧污染物

废水中能通过生物化学和化学作用而消耗水中溶解氧的物质，统称为需氧污染物。绝大多数需氧污染物一般是指有机物，无机物主要有 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 S^{2-} 、 CN^- 等。

有机物组成比较复杂，要想分别测定各种有机物浓度的含量比较困难，一般采用一些综合指标来表示有机物的浓度。如果水中有有机物含有毒性，必须分别测定这些有毒物质的含量。

1. 化学需氧量

化学需氧量或耗氧量是指在一定严格条件下，水中有机物与强氧化剂（如重铬酸钾、高锰酸钾等）作用所消耗的氧量。当用重铬酸钾作为氧化剂、硫酸银作为催化剂时，水中有机物几乎可以全部（约 $90\%\sim 95\%$ ）被氧化，这时所测得的耗氧量称为重铬酸钾耗氧量，以 COD_{Cr} 或 COD 表示。如用高锰酸钾作为氧化剂，所测得的耗氧量常称为耗氧量，以 OC 或 COD_{Mn} 表示。

COD 测定能反映几乎所有有机物，但是难分解的有机物（如苯）在此测定条件下也无法被氧化。另外，污水中的还原剂、氧化剂也会影响 COD 的值。

2. 生化需氧量 (BOD)

在有氧条件下，由于微生物的活动，可降解的有机物稳定化所需的氧量，常以 BOD 表示。最常用的为五日生化需氧量，以 BOD_5 表示。它表示废水在微生物存在下进行生化降解 5 日内所需要的氧的当量。

生化需氧量是一种生物学的测定方法，能在尽可能与天然条件相似的情况下，确定有机生物利用废水中的有机物所消耗的氧量，从而间接表示有机物的含量。

由于 COD 值粗略表示了水中所有有机物化学氧化时的需氧量，而 BOD_5 值为水中可以生物氧化的有机物被降解时的需氧量，因此 COD 与 BOD_5 的差值可以粗略地表示废水中不可生物降解部分的有机需氧量。而 BOD_5/COD 的比值则可以大致表示废水的可生化降解特性，一般认为 BOD_5/COD 大于 0.3 的废水才适宜采用生化处理。

3. 总需氧量 (TOD)

有机物中主要元素 C、H、O、N、S 等在高温下燃烧后，将分别产生 CO_2 、 H_2O 、 NO_2 和 SO_2 等，所消耗的氧量称为总需氧量以 TOD 表示。TOD 的值一般大于 COD 的值。

TOD 的测定方法是：向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样，并将其送入以铂为触媒的燃烧管中，在 $900^\circ C$ 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气，剩余氧气可利用电极测定并自动记录。氧气流原有氧量减去剩余氧量即得总需氧量 TOD。本法测定迅速。

4. 总有机碳 (TOC)

将水样在高温下燃烧，有机碳即被氧化为 CO_2 ，测定所产生的 CO_2 量，便可求得水样中的总有机碳 (TOC)。为排除无机碳酸盐的干扰，应先将水样酸化，再通过压缩空气吹脱水中的碳酸盐。本法测定迅速。

(三) 无机污染物

1. 酸、碱污染物

在水质标准中以 pH 值来反映酸、碱污染物的含量水平。酸、碱

污染物不仅使水质恶化、土壤酸化或盐碱化，而且能破坏水体的自然缓冲作用，抑制微生物生长。当 pH 值小于 5 时，就能使一般鱼类致死或生殖率下降。

2. 氮、磷化合物

废水中所含的氮和磷是植物和微生物的主要营养物质。当废水排入受纳水体，使水中 N 和 P 的浓度分别超过 0.2mg/L 和 0.02mg/L 时，就会引起受纳水体的富营养化，促进各种水生生物（主要是藻类）的活性，致使它们异常繁殖，并带来一系列的危害。

3. 硫化合物

水体中常含有硫酸盐，它在厌氧的作用下还原成硫化物及硫化氢，产生的硫化氢可能再被生物所氧化而生成硫酸，造成对水管的腐蚀。当硫化物浓度大于 200mg/L 时，还会导致生化过程的失败。

4. 其他有毒、有害污染物

主要指对生物体有害的有害化合物、重金属离子等，如酚类、氰化物、汞、铬等。

（四）生物污染物

生物污染物主要是指废水中的致病性微生物，它们包括原生动物，藻类，病毒，及细菌等。

水质标准中的卫生学指标有细菌总数和总大肠菌群数，后者反映水体受到动物粪便污染的状况。

除上述主要指标外，还有温度、色度、放射性物质浓度等污染物指标。

二、废水的排放标准

水体是国家重要的自然资源，必须严格保护，免受污染。废水排放必须满足对水质的要求，并尽可能地循环再利用。按照我国有关部门指定的废水排放标准，按适用范围来分，有国家标准、地方标准或行业标准；按照标准的用途来分，则有环境质量标准、污染物排放标准等。

（一）环境质量标准

环境质量标准是为了保障人群健康和社会物质财富、维护生态

平衡而对环境有害物质和因素所做的限制性规定，是一定期限内衡量环境状况优劣的尺度和进行环境评价、规划、管理的依据。目前环境质量标准有 6 个，分别是《地面水环境质量标准》、《海水水质标准》、《渔业水质标准》、《景观娱乐用水水质标准》、《农田灌溉水质标准》和《地下水质量标准》。根据对环境质量的不同要求，可分为一级、二级、三级环境质量标准。下面重点介绍一下《地面水环境质量标准》。

《地面水环境质量标准》规定了水域功能分类、水质要求、标准的实施，适应于我国内江、河、湖泊、水库等具有适用功能的地面水水域。根据地面水使用目的和保护目标，将其分为 5 类：

I 类——主要适用于源头水、国家自然保护区；

II 类——主要适用于集中式生活饮用水源地一级保护区、珍贵鱼类保护区、鱼虾产卵场等水源地一级保护区；

III 类——主要适用于集中式生活饮用水源地二级保护区，一般珍贵鱼类保护区及游泳区；

IV 类——主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区；

V 类——主要适用于农业用水区及一般景观要求的水域。

同一水域兼有多类功能的，依最高功能划分类别。有季节性功能的，可分季划分类别。

（二）污染物排放标准

污染物排放标准是指为了实现环境质量要求而对污染源产生的排入环境的污染物质或有害因素所做的限制性规定。污染物排放标准是以环境质量标准为基础，以污染防治技术、经济可行性为依据，为实现环境质量标准目标而制定的，是对污染物排放行为进行直接管理、监督，实现环境质量标准水平的基本途径和手段。目前，污染物排放标准共 13 个，它们分别是：GB8978—1996《污水综合排放标准》，GB15580—1995《烧碱聚氯乙烯工业水污染物排放标准》，GB15581—1995《磷肥工业水污染物排放标准》，GB14374—3—1993《航天推进剂水污染物排放标准》，GB13458—1992《合成氨工业水污染物排放标准》，GB13456—1992《肉类加工业水污染物排放标准》，

GB13456—1992《钢铁工业水污染物排放标准》，GB3544—1992《造纸工业水污染物排放标准》，GB4287—1992《纺织染整工业水污染物排放标准》，GB4914—1984《海水石油开发工业含油污水排放标准》和GB4286—1984《船舶工业污染物排放标准》。按照国家综合排放标准与国家行业排放标准不交叉执行的原则，上述12个行业执行原标准，其他水污染物排放均执行GB8978—1996《污水综合排放标准》。因此，GB8978—1996标准应用最广泛，下面予以介绍。

(三) GB8978—1996《污水综合排放标准》

GB8978—1996《污水综合排放标准》按地面水域使用功能要求和污水排放去向，把向地面水水域和城市下水道排放的污水分为3级。

(1) 排向重点水域的污水执行一级标准。

(2) 排向一般保护水域的污水执行二级标准。

(3) 排入城镇下水道并进入二级污水处理厂进行生物处理的污水执行三级标准。

按排放污染物性质将其分为两类：第一类污染物，能在环境或动物体内积蓄，对人体产生长期不良影响者；含有此类有害物的污水，一律在车间或车间处理设施排放口取样；第二类污染物，指其长远影响小于第一类的污染物质，在排污单位排放后取样。其最高允许排放浓度和部分最高允许排放定额分别见表1-1、表1-2和表1-3。

表1-1 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	8	总镍	1.0
2	烷基汞	不得检出	9	苯并芘	0.00003
3	总镉	0.1	10	总铍	0.005
4	总铬	1.5	11	总银	0.5
5	六价铬	0.5	12	总(α)放射性	1Bq/L
6	总砷	0.5	13	总(β)放射性	10Bq/L
7	总铅	1.0			

表 1-2 第二类污染物最高允许排放浓度 (mg/L)

(1997 年 12 月 31 日之前建设的单位)

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
1	pH	一切污染单位	6~9	6~9	6~9
2	色 度 (稀释倍数)	污染工业	50	80	—
		其他排污单位	50	80	—
3	悬浮物 (SS)	采矿、选矿、选煤工业	100	300	—
		脉金选矿	100	500	—
		边远地区沙金选矿	100	800	—
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	70	200	400
4	五日生化需氧量	甘蔗制糖、麻脱胶、湿法纤维板工业	30	100	600
		甜菜制糖、酒精、味精、皮革、化纤浆粕工业	30	150	600
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	30	60	300
5	化学需氧量 (COD)	甜菜制糖、焦化、合成脂肪酸、湿法纤维板、染料、洗毛、有机磷农药工业	100	200	1000
		酒精、味精、医药原料药、生物制药、麻脱胶皮革、化纤浆粕工业	100	300	1000
		石油化工工业 (包括石油炼制)	100	150	500
		城镇二级污水处理厂	60	120	—
		其他排污单位	100	150	500
6	石油类	一切排污单位	10	10	30
7	动植物油	一切排污单位	20	20	100
8	挥发酚	一切排污单位	0.5	0.5	2.0
9	总氰化合物	电影洗片 (铁氰化合物)	0.5	5.0	5.0
		其他排污单位	0.5	0.5	1.0
10	硫化物	一切排污单位	1.0	1.0	2.0
11	氨 氮	医药原料药、染料、石油化工工业	15	50	—
		其他排污单位	15	25	—

续表

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
12	氟化物	黄磷工业 低氟地区 (水体含氟量 < 0.5mg/L) 其他排污单位	10 10 10	20 20 10	20 30 20
13	磷酸盐 (以 P 计)	一切排污单位	0.5	1.0	
14	甲醛	一切排污单位	1.0	2	5.0
15	苯胺类	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
16	硝基苯类	一切排污单位	2.0	3.0	5.0
17	阴离子表面活性剂 (LAS)	合成洗涤剂工业 其他排污单位	5.0 5.0	15 10	20 20
18	总 铜	一切排污单位	0.5	1.0	2.0
19	总 锌	一切排污单位	2.0	5.0	5.0
20	总 锰	合成脂肪酸工业 其他排污单位	2.0 2.0	5.0 2.0	5.0 5.0
21	彩色显影剂	电影洗片	2.0	3.0	5.0
22	显影剂及氧化剂总量	电影洗片	3.0	6.0	6.0
23	元素磷	一切排污单位	0.1	0.3	0.3
24	有机磷农药 (以 P 计)	一切排污单位	不得检出	0.5	0.5
25	粪大肠菌群数	医院 ^① 、兽医院、医疗机构含病原体水 传染病、结核病医院污水	500 个/L 100 个/L	1000 个/L 500 个/L	5000 个/L 1000 个/L
26	总余氯 (采用氯化消毒的医院污水)	医院 ^① 、兽医院、医疗机构含病原体水 传染病、结核病医院污水	<0.5 <0.5	>3 (接触时间 ≥ 1h) >6.5 (接触时间 ≥ 1.5h)	>2 (接触时间 ≥ 1h) >5 (接触时间 ≥ 1.5h)

①指 50 个床位以上的医院；加氯消毒后进行脱氯处理，达到本标准。

表 1-3 部分行业最高允许排水量

(1998 年 1 月 1 日后建设的单位)

序号	行 业 类 别		最高允许排水量或最低 允许水重复利用率	
1	矿 山 工 业	有色金属系统选矿	水重复利用率 75%	
		其他矿山工业(采矿、选矿、选煤等)		水重复利用率 90% (选煤)
		脉金选矿	重 选	16.0m ³ /t (矿石)
			浮 选	9.0m ³ /t (矿石)
			氰 化	8.0m ³ /t (矿石)
碳 浆	8.0m ³ /t (矿石)			
2	焦化企业 (煤气厂)		1.2m ³ /t (焦炭)	
3	有色金属冶炼及金属加工		水重复利用率 80%	
4	金属炼制工业 (不包括直接排水炼油厂) 加工深度分类: A. 燃料型炼油厂 B. 燃料+润滑油型炼油厂 C. 燃料+润滑油型炼油+化工型炼油厂 (包括加工高含硫原油、页岩油和石油添加剂生产基地炼油厂)		A >500 万 t, 1.0m ³ /t (原油) 250~500 万 t, 1.2m ³ /t (原油) <250 万 t, 1.5m ³ /t (原油)	
			B >500 万 t, 1.5m ³ /t (原油) 250~500 万 t, 2.0m ³ /t (原油) <250 万 t, 2.0m ³ /t (原油)	
			C >500 万 t, 2.0m ³ /t (原油) 250~500 万 t, 2.5m ³ /t (原油) <250 万 t, 2.5m ³ /t (原油)	
5	合成洗涤剂工业	氯化法生产烷基苯	200.0m ³ /t (烷基苯)	
		裂解法生产烷基苯	70.0m ³ /t (烷基苯)	
		烷基苯生产合成洗 涤剂	10.0m ³ /t (产品)	
6	合成脂肪酸工业		200.0m ³ /t (产品)	
7	湿法生产纤维板工业		30.0m ³ /t (板)	
8	制糖工业	甘蔗制糖	10.0m ³ /t (甘蔗)	
		烷基苯制糖	4.0m ³ /t (甜菜)	
9	皮革工业	猪盐湿皮	60.0m ³ /t (原皮)	
		牛干皮	100.0m ³ /t (原皮)	
		羊干皮	150.0m ³ /t (原皮)	

续表

序号	行 业 类 别			最高允许排水量或最低 允许水重复利用率
10	发酵酿造工业	酒精工业	以玉米为原料	100.0m³/t（酒精）
			以薯类为原料	80.0m³/t（酒精）
			以糖蜜为原料	70.0m³/t（酒精）
		味精工业		600.00m³/t（味精）
		啤酒工业（排水量不包括麦芽水部分）		16.0m³/t（啤酒）
11	铬盐工业			5.0m³/t（产品）
12	硫酸工业（水洗法）			15.0m³/t（硫酸）
13	麻脱胶工业			500.0m³/t（原麻） 750.0m³/t（精干麻）
14	化纤浆粕			本色 150.0m³/t（浆） 漂白 240.0m³/t（浆）
15	粘胶纤维工业 （单纯纤维工业）	短纤维（棉型中长 纤维、毛型中长纤维）		300m³/t（纤维）
		长纤维		800m³/t（纤维）
16	制药工业 医药原料药	青霉素		4700m³/t（青霉素）
		链霉素		1450m³/t（链霉素）
		链霉素		1300m³/t（链霉素）
		四环素		1900m³/t（四环素）
		洁霉素		9200m³/t（洁霉素）
		金霉素		3000m³/t（金霉素）
		庆大霉素		20400m³/t（庆大霉素）
		维生素 C		1200m³/t（维生素 C）
		氯霉素		2700m³/t（氯霉素）
		新诺明		2000m³/t（新诺明）
		维生素 B1		3400m³/t（维生素 B1）
		安乃近		180m³/t（安乃近）
		非那西汀		750m³/t（非那西汀）
		呋喃酮		2400m³/t（呋喃酮）
		咖啡因		1200m³/t（咖啡因）