

# 冶金工业污水处理技术 及工程实例

张景来 王剑波 常冠钦 刘平 编著



化学工业出版社  
环境科学与工程出版中心

# 冶金工业污水处理技术及工程实例

张景来 王剑波 常冠钦 刘平 编著

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

冶金工业污水处理技术及工程实例/张景来等编著.  
北京:化学工业出版社,2003.6  
ISBN 7-5025-4449-6

I. 冶… II. 张… III. 冶金工业-污水处理  
IV. X756.031

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 031595 号

---

**冶金工业污水处理技术及工程实例**

张景来 王剑波 常冠钦 刘平 编著

责任编辑:刘俊之

文字编辑:林媛

责任校对:凌亚男

封面设计:郑小红

\*

化学工业出版社 出版发行  
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 21 1/4 字数 525 千字

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4449-6/X·288

定 价:46.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

# 前言

随着现代科学技术的进步和社会发展，人与环境的关系越来越密切，严重的生态破坏和资源衰竭已严重危害了人类生活。人们深切地感受到，保护环境就是保护我们自己。因此，保护环境已成为当前一个十分迫切的任务。

钢铁是人类生活、生产中不可或缺的重要原材料之一，我国钢铁产量居世界第一位，在铁矿石的开采、洗选、冶炼及制成品的加工等各个环节均产生生产废水，且水量很大。另外，许多工厂往往设在中心城市，由于城市化的进度较快，现在许多工厂已处于城市中心区，对环境的负面影响比较严重，近年来，对钢铁冶金废水治理的工艺及设备在不断的进行着更新改造，因此也需要一本完整的、系统的介绍钢铁冶金废水治理技术的著作，以便指导钢铁冶金过程生产废水治理的研究和实践。

本书详细介绍了包括金属矿山开采、选矿、烧结、炼铁、炼钢、轧钢、有色冶金等过程产生的工业废水治理的原理、工艺与设施，重点论述了近几年冶金工业废水治理出现的新技术、新工艺、新设备等内容。在专题介绍中，着重阐述应用实例的基本过程及依据的环境工程原理，以便读者既能加深对理论的理解，又能灵活地结合实际应用。

本书由张景来主编，参加本书编写人员有张景来（第2章、第3章、第4章、第7章）、王剑波（第1章、第10章、第11章）、常冠钦（第5章）、刘平（第6章）、李正要（第9章）、李桂春（第8章），全书由张景来统稿。

本书在编写过程中得到许多有关单位和个人的大力协助，在此一并表示衷心的感谢。限于作者水平，书中难免有不当甚至错误之处，恳请各位专家和学者批评指正。

作者

2003年5月

## 内 容 提 要

本书系统介绍了冶金工业污水的性质、基本处理方法、国内外水污染防治对策。内容包括冶金矿山及选矿厂、烧结厂、焦化厂、炼铁厂、炼钢厂、轧钢厂、有色冶金工厂等不同种类污水的特性、来源、治理方法，并列举了大量污水处理工程设计实例。本书最后还介绍了清洁生产技术、污水处理工程设计的相关内容。

本书内容详尽、系统全面，具有较高的工程实用性，可供从事水处理和环境保护的研究、设计人员以及环境工程专业师生参考使用。

# 目 录

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第 1 章 绪论            | 1  |
| 1.1 工业污水的性质与特征      | 1  |
| 1.1.1 工业污水的分类       | 1  |
| 1.1.2 污水指标          | 2  |
| 1.1.3 天然水体的污染与自净    | 6  |
| 1.2 工业水污染的防止与控制     | 8  |
| 1.2.1 污染现状          | 8  |
| 1.2.2 工业水污染的防止与控制   | 11 |
| 1.2.3 国外水污染防治对策     | 14 |
| 1.2.4 我国工业污水治理的发展方向 | 15 |
| 1.3 冶金工业污水处理概况      | 17 |
| 1.3.1 冶金工业污水的性质     | 17 |
| 1.3.2 冶金工业的污水处理     | 19 |
| 第 2 章 工业污水的基本处理方法   | 22 |
| 2.1 处理方法的分类         | 22 |
| 2.1.1 按治理程度         | 22 |
| 2.1.2 按治理方法         | 22 |
| 2.2 化学处理            | 23 |
| 2.2.1 混凝            | 23 |
| 2.2.2 中和            | 27 |
| 2.2.3 化学氧化还原        | 30 |
| 2.2.4 电解            | 32 |
| 2.3 物理处理            | 33 |
| 2.3.1 沉淀与过滤         | 33 |
| 2.3.2 气浮            | 35 |
| 2.4 物理化学法处理         | 36 |
| 2.4.1 吸附            | 36 |
| 2.4.2 离子交换          | 38 |
| 2.4.3 膜分离           | 40 |
| 2.5 生物处理            | 48 |
| 2.5.1 活性污泥法         | 48 |
| 2.5.2 生物膜法          | 53 |
| 2.5.3 生物滤池          | 54 |
| 2.5.4 生物转盘          | 54 |
| 2.5.5 生物接触氧化        | 55 |
| 第 3 章 冶金矿山及选矿厂污水处理  | 57 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 3.1 矿山污水处理                     | 57         |
| 3.1.1 中和法                      | 57         |
| 3.1.2 硫化法                      | 64         |
| 3.1.3 置换中和法                    | 65         |
| 3.1.4 沉淀浮选法                    | 66         |
| 3.1.5 萃取电积法                    | 67         |
| 3.1.6 生化法                      | 68         |
| 3.1.7 联合处理法                    | 75         |
| 3.2 选矿厂污水处理                    | 77         |
| 3.2.1 黄金矿山选矿厂的污水处理             | 77         |
| 3.2.2 其他金属矿山选矿厂的污水处理           | 110        |
| <b>第4章 烧结厂污水处理</b>             | <b>116</b> |
| 4.1 概述                         | 116        |
| 4.1.1 烧结厂废水来源及危害               | 117        |
| 4.1.2 烧结厂用水的特点                 | 117        |
| 4.1.3 烧结厂废水特点                  | 120        |
| 4.1.4 烧结厂废水处理要求                | 121        |
| 4.1.5 废水治理进展                   | 122        |
| 4.2 生产废水处理工艺                   | 122        |
| 4.2.1 “沉淀-干化”流程                | 123        |
| 4.2.2 “浓缩池-浓泥斗”处理流程            | 123        |
| 4.2.3 “浓缩池-水封拉链机”处理流程          | 125        |
| 4.2.4 “浓缩池-过滤脱水”处理流程           | 125        |
| 4.2.5 “浓缩池-混合用水”处理流程           | 126        |
| 4.2.6 “冲洗废水-浓缩池、除尘废水-混合用水”处理流程 | 126        |
| 4.3 实例                         | 127        |
| 4.3.1 实例一                      | 127        |
| 4.3.2 实例二                      | 131        |
| 4.3.3 实例三                      | 132        |
| 4.3.4 实例四                      | 136        |
| 4.3.5 实例五                      | 137        |
| <b>第5章 焦化厂污水处理</b>             | <b>141</b> |
| 5.1 焦化污水处理的几种常用方法              | 141        |
| 5.1.1 焦化污水的预处理技术               | 141        |
| 5.1.2 焦化污水的二级处理技术              | 142        |
| 5.1.3 焦化污水深度处理技术               | 143        |
| 5.2 新物化法处理焦化污水                 | 143        |
| 5.2.1 工艺路线与参数工业性试验             | 144        |
| 5.2.2 新物化法处理焦化污水的总结            | 146        |
| 5.3 焦化污水处理工艺清洁生产技术             | 146        |

|              |                             |            |
|--------------|-----------------------------|------------|
| 5.3.1        | 某焦化厂含酚污水处理工艺流程及存在的问题 .....  | 146        |
| 5.3.2        | 处理工艺运行中存在的问题 .....          | 147        |
| 5.3.3        | 采用清洁生产手段及工艺处理焦化污水 .....     | 147        |
| 5.4          | 提高焦化污水中有机污染物降解效率的新方法 .....  | 148        |
| 5.4.1        | 生物处理方法的改进 .....             | 148        |
| 5.4.2        | 物理化学新技术 .....               | 150        |
| 5.4.3        | 其他方法 .....                  | 150        |
| 5.4.4        | 结论 .....                    | 151        |
| 5.5          | 光合细菌法处理焦化污水 .....           | 151        |
| 5.5.1        | 焦化污水的生物氧化法 .....            | 151        |
| 5.5.2        | 光合细菌处理有机污水的机理 .....         | 152        |
| 5.5.3        | 光合细菌活性污泥法处理焦化污水的研究 .....    | 152        |
| 5.5.4        | 生产实践 .....                  | 153        |
| 5.5.5        | 结论 .....                    | 153        |
| 5.6          | 焦化污水专用混凝剂对污染物的去除效果与规律 ..... | 153        |
| 5.7          | SBR 法处理焦化污水的试验研究 .....      | 155        |
| 5.7.1        | SBR 处理焦化污水工艺流程 .....        | 155        |
| 5.7.2        | 进水缺氧搅拌的作用 .....             | 156        |
| 5.7.3        | 处理焦化污水过程中的微生物种群特征 .....     | 156        |
| 5.7.4        | SBR 系统的 COD 去除能力 .....      | 156        |
| 5.7.5        | SBR 的系统除氨脱氮效果 .....         | 157        |
| 5.7.6        | 工程投资及污水处理成本预测 .....         | 157        |
| 5.8          | 焦化污水处理存在的问题及其解决对策 .....     | 157        |
| 5.8.1        | 现有焦化厂污水排放及处理情况 .....        | 157        |
| 5.8.2        | 拟定的解决对策 .....               | 158        |
| 5.9          | 焦化污水处理技术研究进展 .....          | 160        |
| 5.9.1        | 生物强化技术 .....                | 161        |
| 5.9.2        | 生物脱氮技术 .....                | 162        |
| 5.9.3        | 烟道气处理焦化污水方法 .....           | 162        |
| 5.9.4        | 国外焦化污水处理技术现状 .....          | 162        |
| 5.10         | 焦化厂污水处理应用实例 .....           | 163        |
| 5.10.1       | 福建某钢铁厂焦化污水治理 .....          | 163        |
| 5.10.2       | 上海某焦化污水处理新工艺探索 .....        | 166        |
| 5.10.3       | 湖北某焦化公司酚氰污水治理现状及改进措施 .....  | 168        |
| <b>第 6 章</b> | <b>炼铁厂废水处理 .....</b>        | <b>172</b> |
| 6.1          | 概述 .....                    | 172        |
| 6.1.1        | 炼铁厂废水来源及其危害 .....           | 172        |
| 6.1.2        | 废水特点 .....                  | 174        |
| 6.1.3        | 废水的水量与水质 .....              | 174        |
| 6.1.4        | 治理现状及存在问题 .....             | 178        |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 6.1.5 炼铁厂废水治理技术的发展趋势 .....   | 180 |
| 6.2 高炉煤气洗涤废水处理 .....         | 180 |
| 6.2.1 生产工艺流程及废水来源 .....      | 180 |
| 6.2.2 煤气洗涤废水组成及特性 .....      | 181 |
| 6.2.3 废水治理现状、采用技术和存在问题 ..... | 185 |
| 6.2.4 实例 .....               | 191 |
| 6.2.5 高炉冲渣废水处理 .....         | 199 |
| 6.2.6 炉渣粒化用水要求 .....         | 199 |
| 6.2.7 冲渣废水组成及特性 .....        | 199 |
| 6.2.8 废水治理现状、采用技术和存在问题 ..... | 199 |
| 6.2.9 实例 .....               | 200 |
| <b>第7章 炼钢厂污水处理</b> .....     | 206 |
| 7.1 炼钢工艺及污水特性概述 .....        | 206 |
| 7.1.1 炼钢工艺简介 .....           | 206 |
| 7.1.2 炼钢厂的污水特性 .....         | 206 |
| 7.2 烟气除尘污水处理 .....           | 206 |
| 7.2.1 烟气除尘工艺 .....           | 206 |
| 7.2.2 除尘污水特性 .....           | 208 |
| 7.2.3 转炉除尘污水的治理 .....        | 209 |
| 7.2.4 转炉烟气净化污泥的处置和利用 .....   | 212 |
| 7.3 连铸污水处理 .....             | 213 |
| 7.3.1 连铸机工艺简述 .....          | 213 |
| 7.3.2 连铸生产中的污水 .....         | 213 |
| 7.3.3 连铸污水处理工艺 .....         | 214 |
| <b>第8章 轧钢厂污水处理</b> .....     | 219 |
| 8.1 概述 .....                 | 219 |
| 8.1.1 轧钢生产简介 .....           | 219 |
| 8.1.2 轧钢厂污水的特点与危害 .....      | 220 |
| 8.2 热轧污水处理 .....             | 220 |
| 8.2.1 浊环水处理系统 .....          | 221 |
| 8.2.2 细粒铁皮和污泥的处理 .....       | 223 |
| 8.2.3 含油污水废渣处理 .....         | 224 |
| 8.3 冷轧污水处理 .....             | 225 |
| 8.3.1 含油及乳化液污水的处理 .....      | 225 |
| 8.3.2 含铬污水的处理 .....          | 232 |
| 8.3.3 含酸或碱污水的中和处理 .....      | 233 |
| 8.3.4 实例 .....               | 234 |
| 8.4 酸洗废液的再生 .....            | 236 |
| 8.4.1 含硫酸污水的回收处理 .....       | 236 |
| 8.4.2 含盐酸污水的处理 .....         | 240 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 8.4.3 硝酸-氢氟酸的回收 .....            | 241 |
| <b>第9章 有色冶金工厂的污水处理</b> .....     | 243 |
| 9.1 概述 .....                     | 243 |
| 9.2 铜冶炼厂污水处理 .....               | 244 |
| 9.2.1 污水处理工艺 .....               | 244 |
| 9.2.2 污水处理工业实践 .....             | 247 |
| 9.3 铅锌冶炼厂污水处理 .....              | 261 |
| 9.3.1 污水处理工艺 .....               | 261 |
| 9.3.2 污水处理工业实践 .....             | 263 |
| 9.4 黄金冶炼厂污水处理 .....              | 273 |
| 9.4.1 黄金冶炼工艺 .....               | 273 |
| 9.4.2 黄金冶炼厂污水处理的工业实践 .....       | 273 |
| 9.5 展望 .....                     | 277 |
| <b>第10章 环境保护与冶金工业的清洁生产</b> ..... | 279 |
| 10.1 清洁生产概论 .....                | 279 |
| 10.1.1 清洁生产的由来 .....             | 279 |
| 10.1.2 清洁生产的目标和内容 .....          | 282 |
| 10.1.3 实现清洁生产的主要途径 .....         | 283 |
| 10.1.4 清洁生产评价和审核 .....           | 285 |
| 10.1.5 ISO14000 与清洁生产 .....      | 291 |
| 10.1.6 国内外清洁生产发展现状与趋势 .....      | 294 |
| 10.2 钢铁工业清洁生产技术 .....            | 299 |
| 10.2.1 钢铁工业的清洁生产 .....           | 299 |
| 10.2.2 钢铁工业清洁生产技术 .....          | 299 |
| 10.2.3 我国钢铁工业清洁生产的措施要求 .....     | 301 |
| 10.3 有色冶金工业清洁生产 .....            | 303 |
| 10.3.1 有色冶金工业对环境的影响 .....        | 303 |
| 10.3.2 有色冶金工业清洁生产技术 .....        | 304 |
| <b>第11章 污水处理工程设计</b> .....       | 306 |
| 11.1 设计资料的收集及厂址选择 .....          | 306 |
| 11.1.1 资料的收集 .....               | 306 |
| 11.1.2 工程勘测资料 .....              | 307 |
| 11.1.3 厂址的选择 .....               | 308 |
| 11.2 污水处理工程设计步骤和内容 .....         | 309 |
| 11.2.1 可行性研究 .....               | 309 |
| 11.2.2 初步设计 .....                | 311 |
| 11.2.3 施工图设计 .....               | 315 |
| 11.3 废水处理工艺流程的选定 .....           | 318 |
| 11.4 废水处理厂的平面布置和高程布置 .....       | 318 |
| 11.4.1 平面布置的一般原则和要求 .....        | 318 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 11.4.2 高程布置.....            | 320 |
| 11.5 废水处理厂的水质监测与自动控制设计..... | 322 |
| 11.5.1 概 论.....             | 322 |
| 11.5.2 监测控制参数及一般要求.....     | 322 |
| 11.5.3 自动控制系统设计.....        | 325 |
| 参考文献.....                   | 326 |

# 第1章 绪 论

## 1.1 工业污水的性质与特征

水是人类生活和生产活动不可缺少的一个重要物质资源。作为可持续发展的一个必要条件，维持洁净而充实的水源是摆在我国乃至全世界各国政府和政治家面前的一个难题。我国是一个发展中大国，人均水资源远远低于世界平均水平，并且有进一步恶化的趋势。因此，节约用水、防止水污染、加强水污染治理措施对于我国具有更重大的意义。

### 1.1.1 工业污水的分类

在工业生产中，水常作为生产原料、溶剂、洗涤剂、冷却（加热）介质或传送介质。水在使用过程中，除消耗一小部分以外，大部分水逐渐改变其原有性质，如混入其他杂质（污染物）、温度升高等。这种性质的改变使其难以继续使用，只有经过处理才能再投入使用或排放。

工业污水性质差别很大，其性质取决于生产过程中采用的原料以及应用的工艺。工业污水按污染程度和危害可分为生产污水和洁净污水。

生产污水是直接从工业生产过程中排出的污水。该类污水在使用过程中直接与原材料、药剂、设备、产品或半成品直接接触，其主要特征是其中含有大量化学物质。这类污水污染严重，对环境危害较大，是水污染治理的主要对象。主要包括来自生产过程、洗涤过程、冲洗设备和车间地板的污水。

洁净污水是指较清洁、不经处理即可回用或排放的工业污水。其主要来自工业企业中的间接冷却水系统，只是温度有所变化。这类污水应循环使用或梯级使用。

工业污水按所含污染物的化学成分可以分为无机污水、有机污水、无机/有机混合污水等三类。

无机污水是指污水中的主要污染物是无机物，主要来自冶金、建材工业的生产过程，以及化学工业中的酸、碱、盐生产过程。

有机污水是指污水中的主要污染物是有机化合物，包括食品、塑料、毛皮、石油和石油化工等工业污水。

第三类是指既含有大量有机污染物又含有大量无机污染物的污水，如焦化、煤气、氮肥、制药、皮革、造纸等工业污水。

在长期污水处理实践中，将主体污染物与采用的治理方法相结合，可以把工业污水分为四类。

第一类是含悬浮物和含油的工业污水。这类污水主要包括湿法除尘水、煤气洗涤水、选煤洗涤水、轧钢污水等。一般采用自然沉降、絮凝沉淀、气浮和过滤等方法进行净化。一般经过处理后，水可以循环使用。

第二类污水中主要含无机污染物（溶解），这类污水包括化学工业中的酸、碱、盐生产污水，金属加工酸洗污水，矿山酸性污水、有色冶金污水和电镀污水等。污水中的污染物以

酸、碱、盐和重金属离子为主，对环境危害严重，处理工艺复杂。一般采用物化方法进行处理。

第三类污水中的主要污染物是有机物。这类污水包括造纸黑液、印染污水、石化污水和焦化污水等，污水多采用物化法和生化法的组合工艺进行处理。

第四类是冷却水。在工业生产中，冷却水用量占工业用水总量的 60% 以上。直接排放或低循环使用，一方面造成生产成本增加，另一方面也使受纳水体遭受热污染。

表 1-1 列出主要工业污水及其来源。

表 1-1 主要工业污水及其来源

| 污水种类  | 污 水 的 主 要 来 源                    |
|-------|----------------------------------|
| 重金属污水 | 采矿、冶炼、金属处理、电镀、电池、特种玻璃及化工生产等      |
| 放射性污水 | 铀、钍、镭矿的开采加工，医院及同位素实验室            |
| 含铬污水  | 采矿、冶炼、电镀、制革、颜料、催化剂等工业            |
| 含氟污水  | 电镀、金银提取、选矿、煤气洗涤、核电站焦化、金属清洗、有机玻璃等 |
| 含油污水  | 炼油、机械厂、选矿厂及食品厂                   |
| 含酚污水  | 焦化、炼油、化工、煤气、染料、木材防腐、塑料、合成树脂等     |
| 有机污水  | 化工、酿造、食品、造纸等                     |
| 含砷污水  | 制药、农药、化工、化肥、采矿、冶炼、涂料、玻璃等         |
| 酸性污水  | 化工、矿山、金属酸洗、电镀、钢铁等                |
| 碱性污水  | 制碱、造纸、印染、化纤、制革、化工、炼油等            |

### 1.1.2 污水指标

了解污水特性（即其中污染物的种类、性质和浓度），对于污水的收集、处理和处置设施的设计和操作以及环境质量的技术管理都是重要的。

污水中的污染物种类大致可区分如下：固体污染物、需氧污染物、营养性污染物、酸碱污染物、有毒污染物、油类污染物、生物污染物、感官性污染物和热污染等。

为了表征污水水质，规定了许多水质指标。主要有有毒物质、有机物质、悬浮物、细菌总数、pH 值、色度、温度等。一种水质指标可能包括几种污染物；而一种污染物也可以属于几种水质指标。

#### 1.1.2.1 固体污染物

固体污染物常用悬浮物和浊度两个指标来表示。

悬浮物是一项重要水质指标，它的存在不但使水质浑浊，而且使管道及设备阻塞、磨损，干扰污水处理及回收设备的工作。由于大多数污水中都有悬浮物，因此去除悬浮物是污水处理的一项基本任务。

浊度是对水的光传导性能的一种测量，其值可表征污水中胶体和悬浮物的含量。

固体污染物在水中以三种状态存在：溶解态（直径小于 1 nm）、胶体态（直径介于 1~100 nm）和悬浮态（直径大于 100 nm）。水质分析中把能透过滤膜（孔径约 3~10  $\mu\text{m}$ ）的固体污染物叫溶解团体（DS）；不能透过的叫悬浮固体或悬浮物（SS），两者合称为总固体（TS）。必须指出，这种分类仅仅是为了水处理技术的需要。

#### 1.1.2.2 需氧污染物

污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，统称为需氧悬浮物。

绝大多数的需氧污染物是有机物，无机物主要有  $\text{Fe}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{CN}^-$  等。因而在一般情况下，需氧物即指有机物。

由于有机物的种类非常多，现有的分析技术难以将其区分与定量。在工程实际中，采用以下几个综合水质污染指标来描述。

(1) 生化需氧量 (BOD) 在有氧条件下，由于微生物的活动，降解有机物所需的氧量称为生化需氧量，单位为单位体积污水所消耗的氧量 (mg/L)。图 1-1 表示有机物氧化过程的需氧关系。

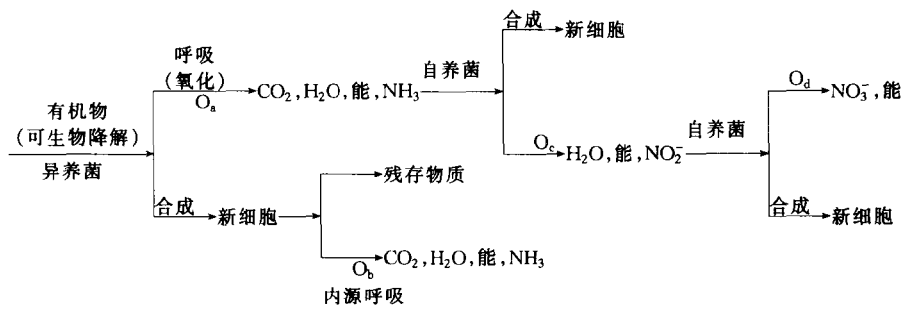


图 1-1 好氧生物降解示意图

假定有机物仅含 C、H、O、N 元素，因 P、S 等极少，未予考虑；  
内源呼吸产生的氨的氧化和硝化菌内源呼吸消耗的氧未考虑

可见，污水中有机物的分解，一般可分为两个阶段。第一阶段（碳化阶段）是有机物中的碳氧化为二氧化碳，有机物中的氮氧化为氨的过程。碳化阶段消耗的氧量称为碳化需氧量，用  $L_a$  或  $BOD_u$  表示，其值等于  $O_a$  和  $O_b$  之和。第二阶段（硝化阶段），氨在硝化细菌作用下，被氧化为亚硝酸根和硝酸根。硝化阶段的耗氧量称为硝化需氧量，用  $L_N$  或  $NOD_u$  表示，其值等于  $O_c$  和  $O_d$  之和。

上述有机物生化耗氧过程与温度、时间等因素有关。在一定范围内温度越高，微生物活力越强，消耗有机物越快，需氧越多；时间越长，微生物降解有机物的数量和深度越大，需氧越多。由于温带地区地面平均温度接近于  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，故在实际测定生化需氧量时，温度规定为  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。此时，一般有机物需 20 d 左右才能基本完成第一阶段的氧化分解过程，其需氧量用  $BOD_{20}$  表示，它可视为完全生化需氧量  $L_a$ 。在实际测定时，20 d 仍嫌太长，一般采用 5 d 作为测定时间，称为  $BOD_5$ 。各种污水的水质差别很大，其  $BOD_{20}$  与  $BOD_5$  相差悬殊，但对某一种污水而言，比值相对固定，如生活污水的  $BOD_5$  约为  $BOD_{20}$  的 0.7 左右。因此把  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，5 d 测定的  $BOD_5$  作为衡量污水的有机物浓度指标。

$BOD_5$  作为有机物浓度指标，基本上反映了能被微生物氧化分解的有机物的量，较为直接、确切地说明了问题。但仍存在一些缺点：①当污水中含大量的难生物降解的物质时， $BOD_5$  测定误差较大；②反馈信息太慢，每次测定需 5 d，不能迅速及时指导实际工作；③污水中如存在抑制微生物生长繁殖的物质或不含微生物生长所需的营养时，将影响测定结果。

(2) 化学需氧量 (COD) 化学需氧量是指在酸性条件下，用强氧化剂将有机物氧化为  $CO_2$ 、 $H_2O$  所消耗的氧量。氧化剂一般采用重铬酸钾。由于重铬酸钾氧化作用很强，所以能够较完全地氧化水中大部分有机物和无机性还原物质（但不包括硝化所需的氧量），此时化学需氧量用  $COD_{Cr}$  或  $COD$  表示。如采用高锰酸钾作为氧化剂，则写作  $COD_{Mn}$ 。

与  $BOD_5$  相比， $COD_{Cr}$  能够在较短的时间内（规定为 2 h）较精确地测出污水中耗氧物质的含量，不受水质限制。缺点是不能表示可被微生物氧化的有机物量，此外污水中的还原性

无机物也能消耗部分氧，造成一定误差。

如果污水中各种成分相对稳定，那么 COD 与 BOD 之间应有一定的比例关系。一般说来， $COD > BOD_{20} > BOD_5 > COD_{Mn}$ 。其中  $BOD_5/COD$  比值可作为污水是否适宜生化法处理的一个衡量指标。比值越大，越容易被生化处理。一般认为  $BOD_5/COD$  大于 0.3 的污水才适于生化处理。

(3) 总需氧量 (TOD) 组成有机物的主要元素是 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  $SO_2$ ，所消耗的氧量称为总需氧量 TOD。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，并将其送入以铂为催化剂的燃烧管中，在  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  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，剩余的氧量可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。TOD 的测定约需几分钟。

(4) 总有机碳 (TOC) 有机物都含有碳元素，通过测定污水中的总含碳量可以表示有机物含量。总有机碳 (TOC) 的测定方法是：向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样，并将其送入以铂为催化剂的燃烧管中，在  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  高温下燃烧，用红外气体分析仪测定在燃烧过程中产生的  $CO_2$  量，再折算出其中的含碳量，就是总有机碳 TOC 值。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。TOC 的测定时间也仅需几分钟。

#### 1.1.2.3 营养性污染物

污水中所含的 N 和 P 是植物和微生物的主要营养物质。当污水排入受纳水体，使水中 N 和 P 的浓度分别超过  $0.2\text{ mg/L}$  和  $0.02\text{ mg/L}$  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，刺激它们的异常增殖，这样会造成一系列的危害。

① 藻类占据的空间越来越大，使鱼类活动空间越来越小，衰死藻类将沉积水底，增加水体有机物含量。

② 藻类种类逐渐减少，从以硅藻和绿藻为主转为以繁殖迅速的蓝藻为主。蓝藻不是鱼类的良好饲料，并且有些还会产生毒素。

③ 藻类过度生长，将造成水中溶解氧的急剧减少，使水体处于严重缺氧状态，造成鱼类死亡，水体腐败发臭。

N 的主要来源是氮肥厂、洗毛厂、制革厂、造纸厂、印染厂、食品厂和饲养场等。P 的主要来源是磷肥厂和含磷洗涤剂等。生活污水经普通生化法处理，也会转化出无机 N 和 P。此外 BOD、高温、维生素类物质也能促进和触发营养性污染。

#### 1.1.2.4 酸碱污染物

酸碱污染物主要由工业污水排放的酸碱以及酸雨带来。水质标准中以 pH 值来反映其含量水平。

酸碱污染物使水体的 pH 值发生变化，破坏自然缓冲作用，抑制微生物生长，妨碍水体自净，使水质恶化、土壤酸化或盐碱化。各种生物都有自己的 pH 值适应范围，超过该范围，就会影响其生存。对渔业水体而言，pH 值不得低于 6 或高于 9.2，当 pH 值为 5.5 时，一些鱼类就不能生存或生殖率下降。农业灌溉用水的 pH 值应为 5.5~8.5。此外酸性污水也对金属和混凝土材料造成腐蚀。

#### 1.1.2.5 有毒污染物

污水中能对生物引起毒性反应的化学物质，称有毒污染物。工业上使用的有毒化学物已

经超过 12 000 种，而且以每年 500 种的速度递增。

毒物是重要的水质指标，各类水质标准对主要的毒物都规定了限值。污水中的毒物可分为三大类：无机化学毒物、有机化学毒物和放射性物质。

(1) 无机化学毒物 无机化学毒物包括金属和非金属两类。金属毒物主要为汞、铬、镉、铅、锌、镍、铜、钴、锰、钛、钒、铝和铅等，特别是前几种危害更大。如汞进入人体后被转化为甲基汞，在脑组织内积累，破坏神经功能，无法用药物治疗，严重时能造成死亡。镉中毒时引起全身疼痛、腰关节受损、骨节变形，有时还会引起心血管病。金属毒物具有以下特点：

① 不能被微生物降解，只能在各种形态间相互转化、分散，如无机汞能在微生物作用下，转化为毒性更大的甲基汞；

② 其毒性以离子态存在时最严重，金属离子在水中容易被带负电荷的胶体吸附，吸附金属离子的胶体可随水流迁移，但大多数会迅速沉降，因此重金属一般都富集在排污口下游一定范围内的底泥中；

③ 能被生物富集于体内，既危害生物，又通过食物链危害人体，如淡水鱼能将汞富集 1000 倍、铜 300 倍、铬 200 倍等；

④ 重金属进入人体后，能够和生理高分子物质，如蛋白质和酶等发生作用而使这些生理高分子物质失去活性，也可能在人体的某些器官积累，造成慢性中毒，其危害有时需 10~20 年才能显露出来。

重要的非金属毒物有砷、硒、氰、氟、硫、亚硝酸根等。如砷中毒时能引起中枢神经紊乱，诱发皮肤癌等。亚硝酸盐在人体内还能与仲胺生成亚硝胺，具有强烈的致癌作用。

必须指出的是，许多毒物元素往往是生物体所必需的微量元素，只是在超过一定限值时才会致毒。

(2) 有机化学毒物 这类毒物主要是人工合成有机物，难以被生化降解，并且大多是较强的三致物质（致癌、致突变、致畸），毒性很大。主要有：农药（DDT、有机氯、有机磷等）、酚类化合物、聚氯联苯、稠环芳烃（如苯并芘）、芳香族氨基化合物等。有机化学毒物往往具有很强的化学稳定性，在自然环境中的半衰期较长，它们都可能通过食物链在人体内富集，危害人体健康。如 DDT 能蓄积于鱼脂中，浓度可比水体中高 12 500 倍。

(3) 放射性物质 放射性是指原子核衰变而释放射线的物质属性。主要包括 X 射线、 $\alpha$  射线、 $\beta$  射线、 $\gamma$  射线及质子束等。污水中的放射性物质主要来自铀、镭等放射性金属生产和使用过程，如核试验、核燃料再处理、原料冶炼厂等。其浓度一般较低，主要引起慢性辐射和后期效应，如诱发癌症、对孕妇和婴儿产生损伤、引起遗传性伤害等。

#### 1.1.2.6 油类污染物

油类污染物包括“石油类”和“动植物油”两项。油类污染物能在水面上形成油膜，隔绝大气与水面，破坏水体的复氧条件。它还能附着于土壤颗粒表面和动植物体表，影响养分的吸收和废物的排出。当水中含油 0.01~0.1 mg/L，对鱼类和水生生物就会产生影响。当水中含油 0.3~0.5 mg/L，就会产生石油气味，不适合作为饮用水使用。

#### 1.1.2.7 生物污染物

生物污染物主要是指污水中的致病性微生物，它包括致病细菌、病虫卵和病毒。未污染天然水中细菌含量很低，当城市污水、垃圾淋溶水、医院污水等排入后将带入各种病原微生物。如生活污水中可能含有能引起肝炎、伤寒、霍乱、痢疾、脑炎的病毒和细菌以及蛔虫

卵和钩虫卵等。生物污染物污染的特点是数量大、分布广、存活时间长、繁殖速度快，必须予以高度重视。

水质标准中的卫生学指标有细菌总数和总大肠菌群数两项，后者反映水体受到动物粪便污染的状况。

#### 1.1.2.8 感官性污染物

污水中能引起异色、浑浊、泡沫、恶臭等现象的物质，虽无严重危害，但能引起人们感官上的极度不快，被称为感官性污染物。对于供游览和文体活动的水体而言，感官性污染物的危害则较大。

异色、浑浊的污水主要来源于印染厂、纺织厂、造纸厂、焦化厂、煤气厂等。恶臭污水来源于炼油厂、石化厂、橡胶厂、制药厂、屠宰厂、皮革厂等。当污水中含有表面活性物质时，在流动和曝气过程中将产生泡沫，如造纸污水、纺织污水等。

各类水质标准中，对色度、臭味、浊度、漂浮物等指标都作了相应的规定。

#### 1.1.2.9 热污染

污水温度过高而引起的危害，叫做热污染，热污染的主要危害有以下几点。

① 由于水温升高，使水体溶解氧浓度降低，相应的亏氧量随之减少，故大气中的氧向水体传递的速率也减慢；另一方面，水温升高会导致生物耗氧速度加快，促使水体中溶解氧更快被耗尽，水质迅速恶化，造成鱼类和水生生物因缺氧而死亡。

② 由于水温升高，加快藻类繁殖，从而加快水体富营养化进程。

③ 由于水温升高，导致水体中的化学反应加快，使水体的物化性质如离子浓度、电导率、腐蚀性发生变化，可能对管道和容器造成腐蚀。

④ 由于水温升高，加速细菌生长繁殖，增加后续水处理的费用。如取该水体作为给水水源，则需要增加混凝剂和氯的投加量，且使水中的有机氯化物量增加。

### 1.1.3 天然水体的污染与自净

#### 1.1.3.1 水体污染

水体是指地面水（河流、湖泊、沼泽、水库）、地下水和海洋的总称。在环境科学领域，水体不仅仅就是水，它还包括水中的溶解物、悬浮物、水生生物和底泥，被当作一个完整的生态系统看待。水体污染是指因外界物质以不恰当的种类、数量、浓度、价态、速率进入水体后，超过了水体的本底值或水体的自净能力，从而使得该水体部分或全部失去它的功能或用途。在环境污染的研究中，区分“水”和“水体”两个概念十分重要。例如，重金属污染物易于从水中转移到底泥里，水中的重金属含量一般都不高，若着眼于水，似乎水污染并不严重，但是从整个水体看，污染就可能很严重。可见，水体污染不仅仅是水污染，还包括底泥污染和水生生物污染。随着工农业的迅速发展，废水的数量日益增加，性质越来越复杂。若对其不进行必要的处理而直接排入水体，不仅会造成巨大的经济损失，而且也会造成水体的污染，进而危害农、牧、渔业及人类的健康，破坏了自然生态环境和景观，以及造成其他方面的不同程度的间接危害。

#### 1.1.3.2 水体富营养化

富营养化是湖泊分类和演化学的一个概念，它指的是当湖泊水中的 N、P 等植物营养物（如氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、尿素、磷酸盐）的浓度超过一定数值时引起的湖泊生态系统的一种恶性循环。地面天然水体中的总氮和总磷含量一般都较低，因而湖泊生态系统的生产能力被限制在一个较低的水平。然而，当大量含有氮磷的污水进入一个湖泊时会大大提