

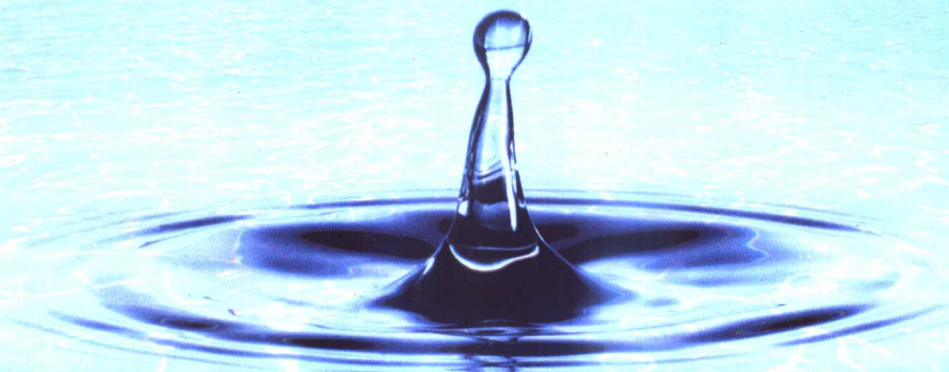


# 水污染

# 控制工程

Water Pollution Control Engineering

缪应祺 主编



东南大学出版社

高等学校教学参考书

# 水污染控制工程

缪应祺 主编

东南大学出版社

## 内 容 提 要

本书分为5大部分,内容分别为:概论;物理化学控制技术;生物化学控制技术;污水处理工程的设计与管理;典型特种废水处理技术选讲等。本书共分为18章,内容为:水体污染及控制策略,水污染控制的标准及途径,物理控制法,化学控制法,物化控制法,生化控制法,污水控制的生化基础,活性污泥法,生物膜法,厌氧处理技术,废水的自然处理,污泥的控制与处置,污水厂的设计,污水厂的运行管理,有机废水控制技术,无机及综合废水的控制技术等。

本书的编写是以全国高等工业学校环境工程专业教材编审委员会制定的《水污染控制工程课程教学基本要求》等文件作为依据进行的。本书的特点是精练、新颖、理论与实际相联系,适用于高等院校的环境工程专业和给排水专业的100~120学时的本科教学,部分章节内容可供研究生教学参考,同时,本书还可供有关工程技术人员和管理人员进修和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

水污染控制工程/缪应祺主编. —南京:东南大学出版社,2002.12

ISBN 7-81050-789-3

I.水... II.缪... III.水污染—污染控制—高等学校—教材 IV.X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 052495 号

东南大学出版社出版发行  
(南京四牌楼2号 邮编210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 大丰市科星印刷有限责任公司印刷  
开本:787mm×1092mm 1/16 印张:26.75 字数:665千字

2002年12月第1版 2002年12月第1次印刷

印数:1-3000册 定价:40.00元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3795802)

# 前 言

30年前的今天,人类才真正醒悟过来,认识到环境保护的重要性。1972年6月5日,斯德哥尔摩的《人类环境宣言》向各国政府和人民敲响了警钟,号召大家来拯救地球、治理污染和保护环境。而水污染控制是环境保护的一项重要任务。

自19世纪中期以来,由于工业的发展和人口的膨胀,环境问题、环境事件、环境灾难不断地发生,其中水污染是一个突出的内容。工业污水、面源污水和生活污水构成了对生态系统的严重污染,使地表水急剧恶化,地下水也受到影响,从而威胁着动植物的生命和人类的安全。

我国从20世纪80年代以来,开始明显感受到环境污染的威胁,每年的工业污水和城市污水合计排放量达到400亿 $\text{m}^3$ 以上,即每天要排放1亿 $\text{m}^3$ 以上。大量的污水排放到我国长江、黄河、辽河、淮河、珠江、海河、松花江等七大水系,使我国80%以上的河流、湖泊受到不同程度的污染,水体污染已成为我国面临的严重问题之一,水污染的控制已成为摆在我国政府和人民面前的重大课题之一。

自1996年以来,国家对水污染的控制投入增多,力度加大,在治理三河(淮河、辽河、海河)、三湖(太湖、巢湖、滇池)、一海(渤海湾)及南水北调等工程实施中,污水处理的各种工艺和设备得到更广泛的应用,国内外新技术的传播更加迅速,各地对水污染控制专门人才的需求更加迫切。本书正是在这种日益发展的形势下,系统地介绍了国内外水污染控制工程的理论与实践、工艺与设备、设计与运行、操作与管理等,让初学者获得较为系统的理论知识和实用技能,增强他们分析问题、解决问题以及独立工作和创新的能力。

本书的编写是以全国高等工业学校环境工程专业教材编审委员会制定的《水污染控制工程课程教学基本要求》等文件作为依据进行的,适用于高等院校的环境工程专业和给排水专业的100~120学时的本科教学。部分章节内容亦可供研究生教学参考。

本书的编写分工如下:第1、2、3章(缪应祺);第4章(陈剑波、张波);第5章(赵如金);第6章(储金宇);第7、8章(李潜);第9章(艾凤祥);第10章(岳强、缪应祺、甘欣欣);第11章(赵丽珍);第12章(倪国);第13章(岳强);第14、15章(缪应祺);第16章(倪国、缪应祺、夏阳);第17章(陈一良、况武、缪应祺);第18章(邹小玲)。全书由缪应祺负责统稿,倪国、岳强和况武协助统稿。此外,还有朱永强、郑丽蕊、马利、陈伟、周加倍等同志参加了校对工作。肖爱辉、孙选卫、丁建华、陈卫玮等同志参加了部分审稿工作。

本书取材广泛,许多中外参考文献的研究成果给本书输入了丰富的营养,我们从内心向文献的作者表示感激。本书在编写过程中得到了国际知名学者、新加坡国立大学 Ng wun jem 教授和 Ong Sea Leo 教授的友好帮助,得到了江苏大学赵杰文教授、吴春笃教授、李龙海副教授等的大力支持,还得到国内外许多专家和同志的关心,谨在此一并表示衷心的感谢。本书的编写限于水平有限,时间仓促,仍有不少错漏之处,热忱欢迎广大读者及同行专家批评指正。

缪应祺

2002年7月

# 目 录

## 第 1 篇 概 论

|                        |                                   |
|------------------------|-----------------------------------|
| 第 1 章 水体污染及控制策略 …… (1) | 1.5 我国的水污染控制策略 …… (10)            |
| 1.1 水资源与水环境 …… (1)     | 第 2 章 水污染控制的标准及途径 … (12)          |
| 1.1.1 水资源 …… (1)       | 2.1 污水的性质与水质指标 …… (12)            |
| 1.1.2 水环境 …… (1)       | 2.1.1 污水的物理性质及指标 …… (12)          |
| 1.1.3 水循环 …… (2)       | 2.1.2 污水的化学性质及指标 …… (13)          |
| 1.1.4 世界各大陆的水资源 …… (2) | 2.1.3 污水的生物性质及指标 …… (18)          |
| 1.1.5 我国水资源 …… (3)     | 2.2 污水排放标准 …… (19)                |
| 1.2 水体污染 …… (4)        | 2.3 水环境质量标准 …… (20)               |
| 1.2.1 天然水质背景值 …… (4)   | 2.4 水污染控制技术 …… (20)               |
| 1.2.2 水体污染的概念 …… (4)   | 2.5 污水处理系统 …… (22)                |
| 1.2.3 水体污染源 …… (5)     | 2.6 污水处理方法与污染物粒径的关系<br>…………… (23) |
| 1.3 水体污染物 …… (6)       |                                   |
| 1.4 水体的自净作用 …… (6)     |                                   |

## 第 2 篇 物理化学控制技术

|                        |                                   |
|------------------------|-----------------------------------|
| 第 3 章 物理控制法(一) …… (26) | 3.5 隔油法 …… (44)                   |
| 3.1 均化法 …… (26)        | 3.5.1 含油废水的来源及污染特征 … (44)         |
| 3.1.1 均化池类型 …… (26)    | 3.5.2 除油装置 …… (44)                |
| 3.1.2 均化池中的混合 …… (26)  | 3.5.3 污油的脱水 …… (46)               |
| 3.2 拦截法 …… (28)        | 3.5.4 乳化油及破乳 …… (48)              |
| 3.2.1 格栅 …… (28)       | 第 4 章 物理控制法(二) …… (50)            |
| 3.2.2 筛网 …… (30)       | 4.1 沉淀法概述 …… (50)                 |
| 3.3 过滤法 …… (31)        | 4.1.1 沉淀类型 …… (50)                |
| 3.3.1 过滤的含义及分类 …… (31) | 4.1.2 沉淀法的应用 …… (50)              |
| 3.3.2 过滤理论 …… (32)     | 4.2 沉淀理论 …… (51)                  |
| 3.3.3 滤池的结构 …… (34)    | 4.2.1 自由沉淀理论及斯托克斯公式<br>…………… (51) |
| 3.3.4 滤池的设计 …… (38)    | 4.2.2 絮凝沉淀 …… (54)                |
| 3.3.5 其他滤池 …… (39)     | 4.2.3 区域沉淀与压缩 …… (55)             |
| 3.4 离心分离法 …… (41)      | 4.3 沉砂池 …… (56)                   |
| 3.4.1 离心力分离原理 …… (41)  |                                   |
| 3.4.2 离心分离设备 …… (42)   |                                   |

|                                    |       |                               |       |
|------------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| 4.3.1 平流式沉砂池 .....                 | (56)  | 6.1.7 高级氧化技术的发展及其特点 .....     | (107) |
| 4.3.2 其他形式沉砂池 .....                | (59)  | 6.2 化学还原法 .....               | (108) |
| 4.4 沉淀池 .....                      | (60)  | 6.2.1 药剂还原法 .....             | (108) |
| 4.4.1 平流式沉淀池 .....                 | (61)  | 6.2.2 金属还原法 .....             | (109) |
| 4.4.2 辐流式沉淀池 .....                 | (66)  | 6.3 电解法 .....                 | (109) |
| 4.4.3 竖流式沉淀池 .....                 | (69)  | 6.3.1 概述 .....                | (109) |
| 4.4.4 斜板(管)装置的运用 .....             | (72)  | 6.3.2 电解槽的结构形式 .....          | (109) |
| 第5章 化学控制法(一) .....                 | (75)  | 6.3.3 电解法分类 .....             | (110) |
| 5.1 混凝法 .....                      | (75)  | 6.3.4 电解法在废水处理中的应用 .....      | (110) |
| 5.1.1 胶体的结构 .....                  | (75)  | 第7章 物化控制法(一) .....            | (112) |
| 5.1.2 混凝原理 .....                   | (76)  | 7.1 吸附法 .....                 | (112) |
| 5.1.3 混凝剂与助凝剂 .....                | (77)  | 7.1.1 吸附机理及分类 .....           | (112) |
| 5.1.4 影响混凝效果的因素 .....              | (78)  | 7.1.2 吸附平衡与吸附等温线 .....        | (112) |
| 5.1.5 化学混凝的设备 .....                | (79)  | 7.1.3 影响吸附的因素 .....           | (114) |
| 5.1.6 混凝法在汽车工业涂装法水处理<br>中的应用 ..... | (82)  | 7.1.4 吸附剂及其再生 .....           | (115) |
| 5.2 中和法 .....                      | (82)  | 7.1.5 吸附工艺及设备 .....           | (116) |
| 5.2.1 概述 .....                     | (82)  | 7.1.6 吸附法在废水处理中的应用 .....      | (119) |
| 5.2.2 酸性废水的中和处理 .....              | (83)  | 7.1.7 大孔树脂吸附法的新进展 .....       | (120) |
| 5.2.3 碱性废水的中和处理 .....              | (86)  | 7.2 离子交换法 .....               | (120) |
| 5.3 化学沉淀法 .....                    | (87)  | 7.2.1 离子交换剂 .....             | (120) |
| 5.3.1 概述 .....                     | (87)  | 7.2.2 离子交换工艺与设备 .....         | (122) |
| 5.3.2 氢氧化物沉淀法 .....                | (88)  | 7.2.3 离子交换器的设计计算 .....        | (124) |
| 5.3.3 硫化物沉淀法 .....                 | (89)  | 7.2.4 离子交换法在废水处理中的应用<br>..... | (124) |
| 5.3.4 碳酸盐沉淀法 .....                 | (90)  | 7.3 气浮法 .....                 | (125) |
| 5.3.5 铁氧体沉淀法 .....                 | (91)  | 7.3.1 概述 .....                | (125) |
| 5.3.6 钡盐沉淀法 .....                  | (92)  | 7.3.2 基本原理 .....              | (126) |
| 5.3.7 卤化物沉淀法 .....                 | (92)  | 7.3.3 气浮的类型 .....             | (127) |
| 5.4 消毒 .....                       | (92)  | 7.3.4 涡凹气浮(CAF)的新进展 .....     | (130) |
| 第6章 化学控制法(二) .....                 | (94)  | 7.4 其他相转移分离法 .....            | (131) |
| 6.1 化学氧化法 .....                    | (94)  | 7.4.1 萃取法 .....               | (131) |
| 6.1.1 臭氧氧化法 .....                  | (94)  | 7.4.2 吹脱与汽提 .....             | (133) |
| 6.1.2 过氧化氢氧化法 .....                | (98)  | 7.4.3 蒸发法 .....               | (135) |
| 6.1.3 二氧化氯氧化法 .....                | (99)  | 7.4.4 结晶法 .....               | (137) |
| 6.1.4 湿式氧化法 .....                  | (102) |                               |       |
| 6.1.5 光化学氧化法 .....                 | (105) |                               |       |
| 6.1.6 超临界水氧化技术 .....               | (106) |                               |       |

|                          |       |                          |       |
|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
| 第8章 物化控制法(二).....        | (140) | 8.1.7 纳滤 .....           | (151) |
| 8.1 膜分离法 .....           | (140) | 8.1.8 液膜分离技术 .....       | (152) |
| 8.1.1 膜的定义和分类 .....      | (140) | 8.1.9 膜分离技术的联合使用 .....   | (152) |
| 8.1.2 膜分离的概念、特点和分类 ..... | (141) | 8.2 磁分离法 .....           | (153) |
| 8.1.3 扩散渗析 .....         | (143) | 8.2.1 磁分离的基本原理 .....     | (153) |
| 8.1.4 电渗析 .....          | (144) | 8.2.2 磁分离装置 .....        | (153) |
| 8.1.5 反渗透 .....          | (147) | 8.2.3 磁分离在废水处理中的应用 ..... | (154) |
| 8.1.6 超滤 .....           | (150) |                          |       |

### 第3篇 生物化学控制技术

|                           |       |                             |       |
|---------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| 第9章 废水生化处理基础.....         | (156) | 10.1.1 活性污泥 .....           | (175) |
| 9.1 微生物基础 .....           | (156) | 10.1.2 活性污泥中的微生物及其特性 .....  | (175) |
| 9.1.1 微生物的营养 .....        | (156) | 10.2 活性污泥法的工艺过程及原理 .....    | (178) |
| 9.1.2 微生物的新陈代谢 .....      | (157) | 10.2.1 活性污泥系统的组成 .....      | (178) |
| 9.1.3 微生物的呼吸作用与产能代谢 ..... | (159) | 10.2.2 活性污泥工艺的机理 .....      | (179) |
| 9.1.4 微生物生长的环境因子 .....    | (159) | 10.3 曝气理论 .....             | (181) |
| 9.1.5 微生物的生长规律 .....      | (160) | 10.3.1 氧转移原理 .....          | (181) |
| 9.2 酶 .....               | (163) | 10.3.2 氧转移的影响因素 .....       | (184) |
| 9.2.1 酶的化学本质 .....        | (163) | 10.3.3 有机污染物降解与需氧量 .....    | (186) |
| 9.2.2 酶的组成 .....          | (163) | 10.3.4 氧转移速率与供气量的计算 .....   | (187) |
| 9.2.3 酶的特点 .....          | (163) | 10.4 曝气设备和曝气池 .....         | (188) |
| 9.2.4 酶的命名与分类 .....       | (163) | 10.4.1 鼓风曝气设备 .....         | (188) |
| 9.2.5 米氏方程 .....          | (164) | 10.4.2 机械曝气设备 .....         | (191) |
| 9.2.6 多酶体系 .....          | (166) | 10.4.3 曝气池 .....            | (192) |
| 9.2.7 酶制剂 .....           | (166) | 10.5 活性污泥法的传统工艺和演变 .....    | (195) |
| 9.2.8 适应酶 .....           | (167) | 10.6 活性污泥处理系统的工艺设计 .....    | (198) |
| 9.3 废水的生化处理 .....         | (168) | 10.6.1 活性污泥系统的物料平衡 .....    | (198) |
| 9.3.1 废水的好氧生化处理 .....     | (168) | 10.6.2 活性污泥工艺的设计参数 .....    | (199) |
| 9.3.2 废水的厌氧生化处理 .....     | (168) | 10.6.3 活性污泥法工艺设计 .....      | (204) |
| 9.4 莫诺特(Monod)方程式 .....   | (169) | 10.6.4 曝气系统与空气扩散装置的设计 ..... | (206) |
| 9.5 基因工程与工程菌 .....        | (171) | 10.6.5 处理水的水质 .....         | (208) |
| 9.5.1 质粒 .....            | (171) | 10.6.6 设计举例 .....           | (208) |
| 9.5.2 基因工程 .....          | (171) |                             |       |
| 9.5.3 工程菌的构建 .....        | (173) |                             |       |
| 第10章 活性污泥法 .....          | (175) |                             |       |
| 10.1 活性污泥的成分和作用 .....     | (175) |                             |       |





|                                      |       |                              |       |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|-------|
| 14.5 污水处理工艺的选定 .....                 | (291) | 15.5.4 剩余污泥排放系统的控制 ...       | (316) |
| 14.6 污水处理的平面布置与高程<br>布置 .....        | (292) | <b>第 16 章 污泥的控制与处置</b> ..... | (324) |
| 14.6.1 污水处理厂的平面布置 .....              | (292) | 16.1 污泥的通性 .....             | (324) |
| 14.6.2 污水处理厂的高程布置 .....              | (295) | 16.1.1 分类 .....              | (324) |
| 14.7 城市污水处理厂的实例 .....                | (296) | 16.1.2 特性 .....              | (324) |
| 14.7.1 北京市高碑店污水处理厂一期<br>工程设计简介 ..... | (297) | 16.2 污泥的调理 .....             | (326) |
| 14.7.2 征润州污水处理厂 .....                | (300) | 16.2.1 化学调理 .....            | (326) |
| <b>第 15 章 城市污水处理厂的运行与管理</b><br>..... | (302) | 16.2.2 热调理 .....             | (326) |
| 15.1 污水厂运行前的验收 .....                 | (302) | 16.2.3 淘洗 .....              | (326) |
| 15.1.1 工程验收组织与程序 .....               | (302) | 16.3 污泥的输送 .....             | (327) |
| 15.1.2 工程验收的准备 .....                 | (302) | 16.3.1 污泥输送的方法 .....         | (327) |
| 15.1.3 工程验收的内容 .....                 | (303) | 16.3.2 污泥输送设备 .....          | (328) |
| 15.2 污水处理厂的运行管理 .....                | (304) | 16.4 浓缩理论和浓缩池 .....          | (329) |
| 15.2.1 试运行 .....                     | (304) | 16.4.1 污泥的重力浓缩 .....         | (329) |
| 15.2.2 运行管理 .....                    | (304) | 16.4.2 气浮浓缩法 .....           | (338) |
| 15.2.3 水质管理 .....                    | (305) | 16.4.3 离心浓缩法 .....           | (339) |
| 15.3 培菌和驯化 .....                     | (306) | 16.5 污泥的稳定和消化池 .....         | (340) |
| 15.3.1 活性污泥的培养和驯化 .....              | (306) | 16.5.1 概述 .....              | (340) |
| 15.3.2 活性污泥的观察和述评 .....              | (308) | 16.5.2 污泥的化学稳定 .....         | (340) |
| 15.4 沉淀池的运行与管理 .....                 | (310) | 16.5.3 污泥的好氧消化 .....         | (340) |
| 15.4.1 沉淀池的运行管理 .....                | (310) | 16.5.4 污泥的厌氧消化 .....         | (341) |
| 15.4.2 沉淀池的异常问题及解决对策<br>.....        | (311) | 16.6 脱水 .....                | (346) |
| 15.5 活性污泥法运行的控制 .....                | (312) | 16.7 浓缩脱水一体机 .....           | (352) |
| 15.5.1 曝气池的日常管理 .....                | (312) | 16.8 污泥的干燥 .....             | (352) |
| 15.5.2 曝气系统的控制 .....                 | (312) | 16.8.1 污泥干燥器的分类 .....        | (352) |
| 15.5.3 回流污泥系统的控制 .....               | (313) | 16.8.2 干燥器的干燥流程 .....        | (353) |
|                                      |       | 16.8.3 干燥器的比较与选用 .....       | (355) |
|                                      |       | 16.9 污泥的综合利用及处置 .....        | (355) |
|                                      |       | 16.9.1 综合利用 .....            | (355) |
|                                      |       | 16.9.2 污泥的处置 .....           | (356) |

## 第 5 篇 典型特种废水控制技术选讲

|                              |       |                          |       |
|------------------------------|-------|--------------------------|-------|
| <b>第 17 章 有机废水控制技术</b> ..... | (360) | 17.1.3 黑液碱回收原理 .....     | (363) |
| 17.1 造纸工业废水控制技术<br>.....     | (360) | 17.1.4 草浆黑液碱回收 .....     | (365) |
| 17.1.1 制浆造纸工业水污染概况 ...       | (360) | 17.1.5 中段废水的处理 .....     | (367) |
| 17.1.2 制浆造纸工业废水的产生 ...       | (360) | 17.1.6 造纸废水(白水)的处理 ..... | (368) |
|                              |       | <b>17.2 酒精工业废水的控制技术</b>  |       |

|                             |       |                     |       |
|-----------------------------|-------|---------------------|-------|
| .....                       | (369) | 18.1.2 冷却水循环系统的除垢技术 |       |
| 17.2.1 酒精生产工艺               | (369) | .....               | (380) |
| 17.2.2 废水来源                 | (370) | 18.1.3 冷却水循环系统的防腐技术 |       |
| 17.2.3 清洁生产                 | (371) | .....               | (382) |
| 17.2.4 酒精废糟液常用处理技术和设备       |       | 18.1.4 冷却循环水系统的防臭技术 |       |
| .....                       | (372) | .....               | (387) |
| 17.2.5 玉米酒精糟液控制技术           | (375) | 18.2 炼钢工业转炉除尘废水控制技术 |       |
| 17.2.6 薯干酒精糟液控制技术           | (375) | .....               | (388) |
| <b>第 18 章 无机及综合废水控制技术</b>   |       | 18.2.1 概述           | (388) |
| .....                       | (378) | 18.2.2 转炉除尘废水治理     | (389) |
| 18.1 冷却循环水控制技术              | (378) | 18.3 机械工业电镀废水的控制技术  |       |
| 18.1.1 冷却循环水的水质变化           | (378) | .....               | (393) |
|                             |       | 18.3.1 电镀废水的来源及性质   | (393) |
|                             |       | 18.3.2 电镀废水的处理技术    | (394) |
| <b>附录</b>                   |       |                     |       |
| 附录 1 地面水环境质量标准              | (402) |                     |       |
| 附录 2 污水综合排放标准               | (404) |                     |       |
| 附录 3 污水排入城市下水道水质标准(CJ18—86) | (411) |                     |       |
| 附录 4 氧在蒸馏水中的溶解度             | (411) |                     |       |
| 附录 5 常用专业术语(英汉对照)           |       |                     |       |
| .....                       | (412) |                     |       |
| <b>参考文献</b>                 |       |                     |       |
| .....                       | (415) |                     |       |

# 第 1 篇 概 论

## 第 1 章 水体污染及控制策略

### 1.1 水资源与水环境

#### 1.1.1 水资源

水是地球上分布最广和最重要的物质,是参与生命的形成和地表物质能量转化的重要因素,也是人类社会赖以生存和发展的自然资源。

地球上的水以气态、液态和固态三种形式存在于空中、地表与地下,成为大气水、海水、陆地水(包括河水、湖水、沼泽水、冰雪水、土壤水、地下水),以及存在于生物体内的生物水,这些水不停运动和相互联系构成了水圈。

地球上水的总储量约为  $1.38 \times 10^9 \text{ km}^3$ ,其中海洋占 97.41%,覆盖了地球表面积的 71%。淡水仅占地球总水量的 2.59%。而其中又大约有 70% 以上属固态水——冰,储存在极地和高山上,只有不到 30% 的淡水存在于地下、湖泊、土壤、河流、大气等之中(见图 1-1)。水圈是指地球上被水和冰雪所占有或覆盖而构成的圈层。考虑到大气水与地下水,水圈的上限可到对流层顶,下限为深层地下水所及的深度。地球上的水循环是形成水圈的动力。在地球上只有在水循环的作用下,才能把各个特征不同的水体联系起来形成水圈。水圈的水与大气圈、生物圈、岩石圈、土壤圈之间有极密切的关系,并形成各种方式的水交换。

#### 1.1.2 水环境

##### 1. 水体

在自然界中水的积聚体称为水体,具体地讲,它是指地面上的各种水体,如河流、湖泊、水库、池塘、沼泽、海洋、冰川等。水体是一个完整的生态系统,其中包括水、水中的悬浮物、溶解物、底质和水生生物等。水体类型可划分为海洋水体(包括海、洋)和陆地水体(如河流、

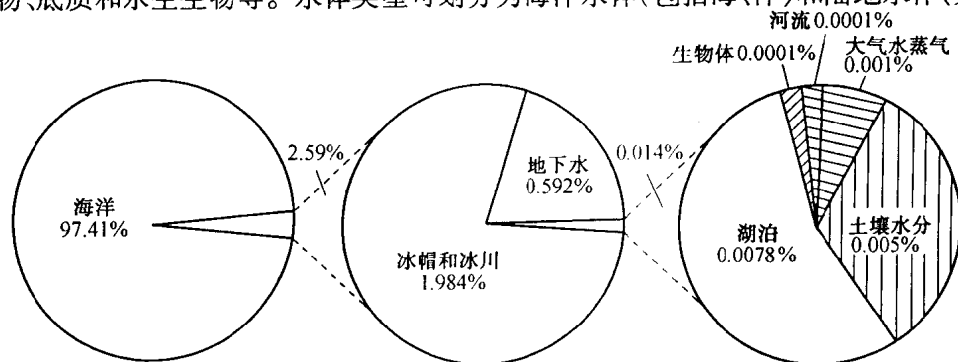


图 1-1 全球水分布

湖泊等)。水体也可以按其流动性划分为流水水体和静水水体,前者如河流,后者如湖泊、沼泽。从广义上理解,水体也可以包括地下水体。

海洋、河流、湖泊和地下水是地球上水的重要组成部分,也是组成地理环境的基本要素。

## 2. 水环境

水环境一词是在 20 世纪 70 年代出现的,关于它的定义有许多的说法。通常认为,水环境是地球上分布的各种水体以及与其密切相连的诸环境要素如河床、海岸、植被、土壤等。水环境是构成环境的基本要素之一,是人类赖以生存和发展的重要场所,也是受人类干扰和破坏最严重的区域之一。

水环境可根据其范围的大小分为区域水环境(如流域水环境、城市水环境等)和全球水环境。对某个特定的地区而言,该区域内的各种水体如湖泊、水库、河流和地下水等,应视为该水环境的重要组成部分,因此,水环境又可分为地表水环境和地下水环境。地表水环境包括河流、湖泊、水库、池塘、沼泽等;地下水环境包括泉水、浅层地下水和深层地下水等。

当前,水环境污染已成为世界上重要的环境问题之一。所以,对水环境进行合理利用和保护是环境保护和研究的主要内容之一。

### 1.1.3 水循环

地球上各种形态的水,在太阳辐射和地心引力作用下,不断地运动循环、往复交替。在太阳辐射作用下,洋面受热开始蒸发,蒸发的水分升入空气中并被气流输送至各地,在适当条件下凝结而成降水,其中降落在陆地表面的雨雪,经截留、下渗等环节而转化为地表与地下径流,最后又回归海洋,这种不断蒸发、输送、凝结、降落的往复循环过程就称为水循环。水循环是一个巨大的动态系统,它将地球上各种水体连接起来构成水圈,使得各种水体能够长期存在,并在循环过程中渗入大气圈、岩石圈和生物圈,将它们联系起来形成相互制约的有机整体。水循环的存在使水能周而复始地被重复利用,成为可再生资源。水循环的强弱直接影响到一个地区水资源开发利用的程度,进而影响到经济的持续发展。据估计,每年从地球表面蒸发的水量大约为  $520\ 000\ \text{km}^3$ 。

### 1.1.4 世界各大陆的水资源

各大陆河流的总径流量、保证程度及其变化特性见表 1-1。

表 1-1 各大陆河流径流量及保证程度(1976 年)

| 大陆    | 年径流量(1918~1967)( $10^8\ \text{m}^3$ ) |                                   |         |             | 偏差系数 | 极限偏差 (%) | 保 证 程 度                    |  |                |                              |
|-------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------|-------------|------|----------|----------------------------|--|----------------|------------------------------|
|       | 最大                                    | 最小                                | 平均      | 占全大陆百分数 (%) |      |          | 面积 ( $10^3\ \text{km}^2$ ) | 单位面积流量 [ $\text{L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ] | 人口 ( $10^6$ 人) | 人均 ( $\text{m}^3/\text{年}$ ) |
| 欧洲    | $\frac{38\ 000}{1926\ \text{年}}$      | $\frac{24\ 100}{1921\ \text{年}}$  | 32 100  | 7           | 0.09 | +18 -25  | 10 500                     | 9.7  | 654            | 4 910                        |
| 亚洲    | $\frac{159\ 500}{1959\ \text{年}}$     | $\frac{123\ 700}{1935\ \text{年}}$ | 144 100 | 31          | 0.05 | +11 -14  | 43 475                     | 10.5   | 2 161          | 6 670                        |
| 非洲    | $\frac{49\ 300}{1935\ \text{年}}$      | $\frac{41\ 400}{1943\ \text{年}}$  | 85 700  | 10          | 0.04 | +8 -9    | 30 120                     | 4.8  | 290            | 15 800                       |
| 北美与中美 | $\frac{89\ 100}{1960\ \text{年}}$      | $\frac{71\ 700}{1940\ \text{年}}$  | 82 000  | 17          | 0.05 | +9 -12   | 24 200                     | 10.7   | 327            | 25 100                       |
| 南美    | $\frac{128\ 800}{1934\ \text{年}}$     | $\frac{105\ 700}{1936\ \text{年}}$ | 117 600 | 25          | 0.04 | +10 -10  | 17 800                     | 21   | 185            | 63 600                       |

续表 1-1

| 大陆       | 年径流量(1918~1967)( $10^8 \text{ m}^3$ ) |                   |         |             | 偏差系数 | 极限偏差 (%) | 保 证 程 度                    |  |                |                              |
|----------|---------------------------------------|-------------------|---------|-------------|------|----------|----------------------------|--|----------------|------------------------------|
|          | 最大                                    | 最小                | 平均      | 占全大陆百分数 (%) |      |          | 面积 ( $10^3 \text{ km}^2$ ) | 单位面积流量 [ $\text{L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ] | 人口 ( $10^6$ 人) | 人均 ( $\text{m}^3/\text{年}$ ) |
| 澳大利<br>利 | 9 180<br>1956 年                       | 1 380<br>1961 年   | 3 480   | 1           | 0.43 | +164 -60 | 7 680                      | 1.44   | 12.7           | 27 400                       |
| 大洋洲      | 29 400<br>1946 年                      | 11 850<br>1940 年  | 20 400  | 4           | 0.17 | +44 -42  | 1 276                      | 51.1   | 7.1            | 28 700                       |
| 南极洲      | —                                     | —                 | 23 100  | 5           | —    | —        | 13 980                     | 5.2  | —              | —                            |
| 全部大<br>陆 | 496 500<br>1927 年                     | 437 300<br>1940 年 | 468 000 | 100         | 0.03 | +6 -6    | 149 000                    | 10.0   | 3 637          | 12 860                       |

由表 1-1 可知,世界河流平均年径流量为 468 000 亿  $\text{m}^3$ ,其中亚洲的径流量最大,占 31%;其次是南美,占 25%;最小的是澳大利亚,只占 1%。单位面积上拥有的径流量即径流模数是:全部大陆为  $10 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ,欧洲为  $9.7 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ,亚洲为  $10.5 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ,北美与中美为  $10.7 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ,南美为  $21 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ,大洋洲为  $51.1 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ 。各大陆水资源的分布都是不均匀的。一方面,欧洲和亚洲集中了世界上 77%的人口,而仅拥有河流径流量的 38%;另一方面,南美人口占全球人口的 5%,却拥有世界河流径流量的 25%。

### 1.1.5 我国水资源

我国的水资源总量为 2.7 万亿  $\text{m}^3$ ,居世界第 5 位,但人均占有水量仅为 2 500  $\text{m}^3$ ,远远低于世界人均占有水量 10 240  $\text{m}^3$  的水平。我国与其他国家水资源的比较见表 1-2。

表 1-2 我国人均径流量与世界各国比较

| 国 家   | 年 径 流 量                    |      | 1979 年   |                                 |      | 2000 年    |                                 |
|-------|----------------------------|------|----------|---------------------------------|------|-----------|---------------------------------|
|       | 径流量 ( $10^8 \text{ m}^3$ ) | 世界名次 | 人 口 (万人) | 人均径流量 ( $\text{m}^3/\text{年}$ ) | 世界名次 | 推算人口 (万人) | 人均径流量 ( $\text{m}^3/\text{年}$ ) |
| 巴西    | 56 680                     | 1    | 12 288   | 46 126                          | 19   | 21 731    | 26 083                          |
| 前苏联   | 47 100                     | 2    | 26 350   | 17 875                          | 39   | 33 000    | 14 273                          |
| 加拿大   | 31 220                     | 3    | 2 369    | 131 786                         | 6    | 3 296     | 94 781                          |
| 美国    | 29 702                     | 4    | 22 029   | 13 483                          | 44   | 26 086    | 11 386                          |
| 印度尼西亚 | 28 100                     | 5    | 14 847   | 18 926                          | 38   | 22 737    | 12 359                          |
| 中国    | 26 380                     | 6    | 97 093   | 2 717                           | 84   | 120 386   | 2 191                           |
| 印度    | 17 800                     | 7    | 67 823   | 2 624                           | 87   | 105 673   | 1 684                           |
| 哥伦比亚  | 11 120                     | 8    | 2 625    | 42 362                          | 22   | 4 942     | 22 501                          |
| 缅甸    | 10 820                     | 9    | 3 443    | 31 426                          | 28   | 5 130     | 21 092                          |
| 扎伊尔   | 10 190                     | 10   | 2 752    | 37 028                          | 25   | 2 944     | 34 613                          |

我国的水资源具有如下特点:(1) 水资源总量多,但人均占有量少;(2) 地区分布不均匀,长江以南水资源丰富,但北方地区相当缺水,人均占有量仅为全国平均占有量的 1/5,世界人均占有量的 1/21;(3) 季节分配不均,年际变化很大,雨水集中程度很高,常常引起洪涝、干旱灾害;(4) 部分河流含沙量大,尤以黄河最为突出,黄河年径流量为 543 亿  $\text{m}^3$ ,而年平均输沙量达 26 亿 t,平均含沙量为  $37.6 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,居世界之冠;(5) 水污染日益严重,尤其是

在工业比较集中的大中城市附近水域;(6) 地下水开采过量,某些地区出现地面下沉现象。

## 1.2 水体污染

### 1.2.1 天然水质背景值

天然水从本质上看,应属于未受人类排污影响的各种天然水体中的水。这种水目前的范围在日益减少,只有在河流的源头、荒凉地区的湖泊、深层地下水、远离陆地的大洋等处,才可能取得代表或近似代表天然水质的天然水。尽管如此,我们仍可以从这样的天然水中,发现一些有用的规律。

水是自然界中最好的溶剂,天然物质和人工生成的物质大多数可溶解在水中。因此可以认为,自然界并不存在由  $H_2O$  组成的“纯水”。在任何天然水中,都含有各类溶解物和悬浮物,并且随着地域的不同,各种水体中天然水含有的物质种类不同,浓度各异,但它却代表着天然水的水质状况,故称其为天然水质背景值,或水环境背景值。

从水循环来看,天然水是在其循环过程中改变了其成分与性质的。在太阳辐射的热力作用下,由海洋水面蒸发的水蒸气,虽接近纯水,但它在空中再凝结成雨滴时,则需有凝结核。在大气层中可作凝结核的物质有海盐微粒、土壤的盐分、火山喷出物和大气放电产生的  $NO$  和  $NO_2$  等。因此,从雨水开始天然水中已含有各种化学成分,如  $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $NO_3^-$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $NH_4^+$ 、 $I^-$ 、 $Br^-$  等。雨水补给到各水体中,其化学成分会进一步增多。表 1-3 列出了天然水中含有的各种物质:

表 1-3 天然水中的物质

|         |  |   |
|---------|--|---|
| 天然水中的物质 | 溶解气体                                     | 主要气体—— $N_2$ 、 $O_2$ 、 $CO_2$   |
|         |  | 微量气体—— $H_2$ 、 $CH_4$ 、 $H_2S$  |
|         | 溶解物质                                     | 主要离子—— $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $CO_3^{2-}$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  |
|         |  | 生物生成物—— $NH_4^+$ 、 $NO_3^-$ 、 $NO_2^-$ 、 $HPO_4^{2-}$ 、 $H_2PO_4^-$ 、 $PO_4^{3-}$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$<br>微量元素—— $Br^-$ 、 $I^-$ 、 $F^-$ 、 $Ni$ 、 $Ti$ 、 $V$ 、 $Au$ 、 $Ba$ 、 $Rn$ 等 |
| 胶体物质    | 无机胶体—— $SiO_2$ 、 $Fe(OH)_3$ 、 $Al(OH)_3$ |   |
|         | 有机胶体——腐殖质胶体                              |   |
| 悬浮物质    | 细菌                                       |   |
|         | 藻类及原生动物                                  |   |
|         | 泥土、粘土                                    |   |
|         | 其他不溶物质                                   |   |

受到人类活动影响的水体,其水中所含的物质种类、数量、结构均会与天然水质有所不同。以天然水中所含的物质作为背景值,可以判断人类活动对水体的影响程度,以便及时采取措施,提高水体水质,使之朝着有益于人类的方向发展。

### 1.2.2 水体污染的概念

当前对水体污染的概念有几种,一种意见是:水体受人类活动或自然因素的影响,使水的感官性状、物理化学性能、化学成分、生物组成以及底质情况等方面产生了恶化,称为“水污染”。第二种意见是:排入水体的工业废水、生活污水及农业径流等的污染物质,超过了该水体的自净能力,引起的水质恶化称为“水污染”。第三种意见是:污染物质大量进入水体,使水体原有的用途遭到破坏谓之“水污染”。

自然界各种水体均为成分复杂的溶液,其中含有各类溶解物质,而并非纯的  $H_2O$ 。因此,对水污染的定义,不能仅从其含有什么物质及其含量来界定。其次,我们研究水污染的目的是为了**保护水源,以便更好地利用水资源**,因此,水污染定义又必须与**水的使用价值**联系起来。这样水体污染可以定义为:污染物进入河流、海洋、湖泊或地下水等水体后,使水体的水质和水体沉积物的物理、化学性质或生物群落组成发生变化,从而降低了水体的使用价值和**使用功能**的现象。这样就同我们的用水要求**联系起来**了,也使我们**保护水体**有一定的目的,即不使其失去使用价值。

### 1.2.3 水体污染源

#### 1. 水体污染源的**含义和分类**

水体污染源是指造成水体污染的**污染物的发生源**。通常是指向水体排入污染物或对水体产生有害影响的**场所、设备和装置**。按污染物的来源可分为天然污染源和人为污染源两大类。

水体天然污染源是指自然界自行向水体释放有害物质或造成有害影响的场所。诸如岩石和矿物的风化和水解、火山喷发、水流冲蚀地表、大气飘尘的降水淋洗、生物(主要是绿色植物)在地球化学循环中释放物质等都属于天然污染物的来源。例如,在含有萤石( $CaF_2$ )、氟磷灰石[ $Ca_5(PO_4)_3F$ ]等矿区,可能引起地下水或地表水中氟含量增高,造成水体的氟污染。长期饮用此种水可能出现氟中毒。

水体人为污染源是指由人类活动形成的污染源,是环境保护研究和水污染防治的主要对象。人为污染源体系很复杂,按人类活动方式可分为工业、农业、交通、生活等污染源;按排放污染物种类不同,可分为有机、无机、放射性、病原体等污染源,以及同时排放多种污染物的混合污染源;按排放污染物空间分布方式,可以分为点源和非点源。

水污染点源是指以点状形式排放而使水体造成污染的发生源。一般工业污染源和生活污染源产生的工业废水和城市生活污水,经城市污水处理厂或管渠输送到水体排放口,作为重要污染点源向水体排放。这种点源含污染物多,成分复杂,其变化规律依据工业废水和生活污水的排放规律,即有季节性和随机性。

水污染非点源,在我国多称为水污染面源,是以面积形式分布和排放污染物而造成水体污染的发生源。坡面径流带来的污染物和农田灌溉水是水体污染的重要来源。目前造成湖泊水体的富营养化主要是由面源带来的大量氮、磷等所造成的。

#### 2. 几种水体污染源的特点

##### (1) 生活污染源

这是指由人类消费活动产生的污水,城市和人口密集的居住区是主要的生活污染源。人们生活中产生的污水包括由厨房、浴室、厕所等场所排出的污水和污物。生活污水中的污染物,按其形态可分为:①不溶物质,这部分约占污染物总量的40%,它们或沉积到水底,或悬浮在水中;②胶态物质,约占污染物总量的10%;③溶解质,约占污染物总量的50%。这些物质多为无毒的无机盐类如氯化物、硫酸盐和钠、钾、钙、镁等重碳酸盐。有机物质有纤维素、淀粉、糖类、脂肪、蛋白质和尿素等。此外,还含有各种微量金属(如Zn、Cu、Cr、Mn、Ni、Pb等)和各种洗涤剂、多种微生物。一般家庭生活污水相当浑浊,其中有机物约占60%,pH值多大于7,BOD<sub>5</sub>为100~700 mg/L。

##### (2) 工业污染源

工业污水是目前造成水体污染的主要来源和环境保护的主要防治对象。在工业生产过程中排出的废水、废液等统称工业废水。废水包括工业用冷却水和与产品直接接触、受污染较严重的排水。工业废水由于受产品、原料、药剂、工艺流程、设备构造、操作条件等多种因素的综合影响,所含的污染物质成分极为复杂,而且在不同时间里水质也会有很大差异。工业污染源如按工业的行业来分,则有冶金工业废水、电镀废水、造纸废水、无机化工废水、有机合成化工废水、炼焦煤气废水、金属酸洗废水、石油炼制废水、石油化工废水、化学肥料废水、制药废水、炸药废水、纺织印染废水、染料废水、制革废水、农药废水、制糖废水、食品加工废水、电站废水等,各类废水都有其独特的特点。

### (3) 农业污染源

是指由于农业生产而产生的水污染源,如降水所形成的径流和渗流把土壤中的氮、磷和农药带入水体;牧场、养殖场的有机废物排入水体。它们都可使水体水质恶化,造成河流、水库、湖泊等水体污染甚至富营养化。农业污染源的特点是面广、分散,难于治理。

## 1.3 水体污染物

造成水体的水质、底质、生物物质等质量恶化或形成水体污染的各种物质或能量均可能成为水体污染物。从环境保护角度出发,可以认为任何物质若以不恰当的数量、浓度、速率、排放方式排入水体,均可造成水体污染,因而就可能成为水体污染物。所以水体污染物包括的范围非常广泛。另外,在自然物质和人工合成物质中,都有一些对人体或生物体有毒、有害的物质,如 Hg、Cr、As、Cd 和酚、氰化物等,均为已确认的水体污染物。在第一届联合国人类环境会议上提出的 28 类环境主要污染物中,有 10 类属于水体污染物。

由于水体污染物的种类繁多,因此可以用不同方法、标准或根据不同的角度将其分成不同的类型。如按水体污染物的化学性质,可分为有机污染物和无机污染物;如按污染物的毒性,可分为有毒污染物和无毒污染物。从环境保护的角度,根据污染物的物理、化学、生物学性质及其污染特性,可将水体污染物分为以下几种类型:(1)无机无毒物质;(2)无机有毒物质;(3)有机无毒物质;(4)有机有毒物质。

## 1.4 水体的自净作用

污染物随污水排入水体后,经过物理的、化学的与生物化学的作用,使污染的浓度降低或总量减少,受污染的水体部分地或完全地恢复原状,这种现象称为水体自净或水体净化,水体所具备的这种能力称为水体自净能力或自净容量。若污染物的数量超过水体的自净能力,就会导致水体污染。

水体自净过程非常复杂,按机理可分为 3 类:①物理净化作用:水体中的污染物通过稀释、混合、沉淀与挥发,使浓度降低,但总量不减;②化学净化作用:水体中的污染物通过氧化还原、酸碱反应、分解合成、吸附凝聚(属物理化学作用)等过程,使存在形态发生变化及浓度降低;③生化净化作用:水体中的污染物通过水生生物特别是微生物的生命活动,使其存在形态发生变化,有机物无机化,有害物无害化,浓度降低,总量减少。生物化学净化作用是水体自净的主要原因。

### 1. 物理净化作用

物理净化作用如图 1-2 所示。



### 1) 稀释

污水排入水体后,在流动的过程中,逐渐和水体水相混合,使污染物的浓度不断降低的过程称为稀释。在下游某个断面处污水与河水完全混合,该断面称为完全混合断面(见图 1-2, B-B 断面)。大江大河的河床宽阔,污水与河水不易达到完全混合,而只能与一部分河水相混合,并在排污口的一侧形成长度与宽度都较稳定的污染带。

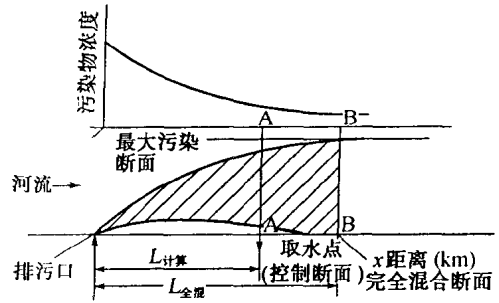


图 1-2 水体的物理净化作用过程

稀释效果受两种运动形式的影响,即对流与扩散。

#### (1) 对流(或称平流)

污染物随水流方向(即纵向  $x$ )运动称为对流(或称为平流)。对流是沿纵向  $x$ , 横向  $y$  (即河宽方向)和深度方向  $z$  (竖向)运动的统称。污染物在水体内的任意单位面积上的移流率可用下式推求:

$$O_1 = U(x, t) \cdot C(x, t)$$

或

$$O_1 = U(x, y, z, t) \cdot C(x, y, z, t) \quad (1-1)$$

式中,  $O_1$ ——污染物在对流时的移流率,  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

$U, C$ ——分别为水体断面平均流速与污染物平均浓度,  $\text{m}/\text{s}, \text{mg}/\text{L}$ 。

#### (2) 扩散

扩散有 3 种方式:①分子扩散,由于污染物分子的布朗(Brown)运动引起的物质分子扩散使浓度降低称为分子扩散;②紊流扩散,由于水体的流态(紊流)造成的污染物浓度降低称为紊流扩散;③弥散,由于水体各水层之间的流速不同,使污染物浓度分散称为弥散。湖泊、水库等静水体,在没有风生流、异重流(由温度差、浓度差引起)、行船等产生的紊动作用时,扩散稀释的主要方式是分子扩散。流动水体的扩散方式主要是紊动扩散与弥散,分子扩散可忽略不计。

紊流扩散与弥散作用符合虎克定律,可用式(1-2)推求污染物在纵向  $x$  的扩散通量:

$$O_2 = -D_x \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \quad (1-2)$$

式中,  $O_2$ ——纵向  $x$  的扩散通量值,  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

$D_x$ ——纵向  $x$  的紊动扩散系数,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

$\frac{\partial C}{\partial x}$ ——纵向  $x$  的浓度梯度,  $\text{mg}/\text{m}^4$ ;

“-”——表示沿污染浓度减少方向扩散。

三维方向的扩散通量为:

$$O_2' = -(D_x \frac{\partial C}{\partial x} + D_y \frac{\partial C}{\partial y} + D_z \frac{\partial C}{\partial z}) \quad (1-3)$$

式中,  $O_2'$ ——三维综合的扩散通量值,  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

$D_x, D_y, D_z$ ——分别为  $x, y, z$  方向的紊动扩散系数,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

$\frac{\partial C}{\partial x}, \frac{\partial C}{\partial y}, \frac{\partial C}{\partial z}$ ——分别为  $x, y, z$  方向的浓度梯度,  $\text{mg}/\text{m}^4$ ;