



· 水利学科学术著作丛书 ·

# 水污染的工程风险分析

Engineering Risk Analysis of Water Pollution

Jacques G. Ganoulis 著

彭静 廖文根 李锦秀 等译



清华大学出版社



· 水 利 学 科 学 术 著 作 丛 书 ·

---

# 水 污 染 的 工 程 风 险 分 析

Engineering Risk Analysis of Water Pollution

Jacques G. Ganoulis 著

彭 静 廖文根 李锦秀 等 译



清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书包括水污染风险分析的理论、方法和实例研究三个方面,系统地介绍了风险分析理论及量化分析方法在水环境保护中的应用。全书共分6章。第1章论述风险分析对水质管理的重要性;第2章风险的基本定义及风险识别,讲述概率方法和模糊数学的基本理论,介绍水污染的风险问题;第3章系统地介绍了风险量化分析的方法;第4章总结风险的量化分析方法在环境水质风险评价中的应用过程;第5章从管理应用的角度,阐述风险管理价值、效益和对决策的支持;第6章结合希腊和澳大利亚实际水域的水污染,实例分析沿海水污染、河流水污染和地下水污染的风险问题。

本书由国际水利工程与研究协会中国分会引进版权,由中国水利水电科学研究院专家群翻译,是该领域内有国际声誉的版本,可供水利、环境及相关专业科研人员及高等院校师生阅读参考。

Engineering Risk Analysis of Water Pollution

Jacques G. Ganoulis

Copyright © 1994 by VCH

Translation Copyright © 2004 by Tsinghua University Press

All Rights Reserved

本书中文简体字版由 VCH 授权清华大学出版社在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)独家出版发行

未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何内容。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2004-6629

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

水污染的工程风险分析/(希腊)甘乌利斯(Ganoulis, J. G.)著;彭静等译. —北京:清华大学出版社, 2005. 1

(水利学科学术著作丛书)

书名原文: Engineering Risk Analysis of Water Pollution

ISBN 7-302-09451-9

I. 水… II. ①甘… ②彭… III. 水污染—风险分析 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 091437 号

出 版 者: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 汪亚丁

文稿编辑: 梁广平

版式设计: 刘祎森

印 刷 者: 北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 165×240 印 张: 14.75 字 数: 247 千字

版 次: 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-09451-9/TV·41

印 数: 1~2500

定 价: 36.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770175-3103 或 (010)62795704

# 译者序

水污染问题是我国目前面临的严峻的生态环境问题之一。水污染加剧了水资源短缺的矛盾,严重制约着国民经济与社会的可持续发展。对水质进行有效管理,越来越成为水环境保护工作的重点。

风险分析是研究具有不确定性系统的有效的技术工具,在社会科学和经济学领域有着较为广泛的应用。但将风险分析技术引入水资源和水环境科学领域,尚处于起步阶段。由于水污染问题的不确定性,应用风险量化、风险评价及风险管理技术研究水污染问题,对水质进行有效的管理具有重要的指导意义。

本书是希腊塞萨洛尼基市亚里士多德大学土木工程学院水利与环境工程系 Jacques G Ganoulis 教授的著作,于 1994 年由 VCH 出版社第一次出版。Jacques G Ganoulis 教授现任国际水利工程与研究协会理事会成员,是环境水利学方面的知名学者。书中介绍的风险分析方法是作者多年从事水环境风险和可靠性分析的教学及科研工作的经验总结。全书从理论、方法和实例研究三个方面,系统介绍了水污染问题的风险分析技术,并着重从水质管理的角度,介绍了风险分析技术在实际水域中的应用,反映了丰富的环境水质风险分析的科研成果,值得向我国读者推荐。

全书分 6 章。第 1 章引言,论述风险分析对水质管理的重要意义。第 2 章风险识别,介绍风险的基本定义、概率方法和模糊数学的基本理论,以及水污染的风险问题。第 3 章风险量化分析,系统介绍风险量化分析的方法。第 4 章环境水质的风险评价,介绍风险量化分析方法在环境水质风险评价中的应用,其中包括沿海水污染风险评价、河流水污染风险评价和地下水污染风险评价三部分内容。第 5 章风险管理,从水质管理的角度介绍风险决策理论。第 6 章实例研究,结合希腊及澳大利亚水域的实际水污染问题,介绍了沿海水污染、河流水污染和地下水污染三种典型的水污染风险分析实例。书

中还附有大量参考文献,提供了进一步查询的信息。

本书由国际水利工程与研究协会中国分会引进版权,由中国水利水电科学研究院多年从事水环境学科研究的科研人员合作翻译。参加翻译的有:前言,王连祥;第1章、第2章、第6章,彭静;第3章,廖文根、贺祝琳;第4章,李锦秀、杜强;第5章,禹雪中。全书由彭静、王连祥、廖文根统稿校译,最后由李桂芬教授审核定稿。

在本书的翻译过程中,邵冬冬、马莉青同志协助完成了绘图及部分文字编辑,在此对他们的辛勤劳动表示诚挚的谢意。

由于时间和水平有限,不免有疏漏之处,敬请读者不吝指正。

译者

2004年1月于北京

# 前 言

本书讨论了天然水环境系统中与水质相关的量化分析问题,从工程观点出发对风险与可靠性进行了分析,介绍了对河流、地下水和污水排放海域的环境风险评价方法。

在一个存在有许多风险和不可预知事件的生物环境中,想要对不确定的和复杂的环境问题进行严格的分析是极其困难的。事实上,水资源的环境问题十分复杂,例如,当河流入海排污量成倍增加时,可能会对海域中的水华和富营养化产生什么样的影响?当气候变化和大气中二氧化碳成倍增加时,怎样预测近岸海域的水质变化?

在大多数情况下,由于缺乏完整的资料,不可能对水污染问题进行精确描述。水环境不同类型的过程(如水动力学的、物理化学的和生物的)及其相互影响,使对过程的数值模拟非常困难。而且,要描述生态系统的运动过程及时空变化,需要大量的参数,由此提出了许多具有挑战性的错综复杂的问题。

要研究水质的变化和水利工程对环境的影响,需要有合适的工具。工程风险和可靠性分析提供了一种识别不确定性和量化风险分析的一般性技术框架。本书描述了对自然风险进行分析的方法:(1)随机方法;(2)模糊集合论。随机变量和概率分析的概念基于事件出现的频率,需要大量的资料。任意变量和随机函数的可靠性之间互不相关,在大多数情况下难以求解,用众所周知的统计归纳法分析也很困难。模糊集合论和模糊计算可以作为所谓“不精确理论”的基础。本书讲述了在没有资料或只有极少资料的情况下,如何应用模糊数和模糊变量来进行风险模拟。当用统计归纳法分析有困难时,模糊归纳法是一种较好的替代方法。

不确定性的分析和风险的量化对于实现改善水质的环境工程来说还远远不够,同样重要的是应考虑与风险相关的工程成本和效益的变化,这就是

风险管理。本书讨论了与风险的后果及决策过程相关的这一问题。

本书的编写始于水资源风险和可靠性分析的研究生课程讲义,当时作者在希腊塞萨洛尼基市亚里士多德大学土木工程学院水利与环境工程系执教。书中的一些例子和案例研究源自 20 多年来的积累,其中应用随机模拟方法对多孔介质中流体入侵的风险评价则来自于作者的博士学位论文。

编写本书的目的并不是要毫无遗漏地包括水污染问题的各个方面,书中未涉及湖泊和水库的水污染问题,尽管湖泊和水库与半封闭海湾和泻湖有相似之处。

本书的部分章节是作者在澳大利亚墨尔本大学土木农业工程系(1991 年)和法国波尔多市 ENSAM 能源输送实验室(1992 年)从事客座研究工作期间编写的。作者特别感谢澳大利亚 T MacMahon 教授和法国 M Combarous 教授对作者在上述两地工作期间所给予的帮助。

模糊集合论应用于水资源问题的概念,是作者在同美国亚利桑那大学 Lucien Duckstein 教授和内布拉斯加大学 Istvan Bogardi 教授的友好讨论中开始形成的。作者对两位教授提供的包括论文和讲义在内的所有信息表示诚挚的谢意。

作者对 VCH 出版社第三分部的 Hans-Joachim Kraus 博士为本书的出版提供了机会表示感谢。

亚里士多德大学土木工程系 Eli Meimaroglou 小姐完成了本书部分章节的打字工作,作者对她谨表谢忱。最后,作者十分感谢亚里士多德大学土木工程系 A Papalopoulou, P Anagnostopoulos, S Richardson 和 S Rafailidis, 感谢他们对本书的审阅、校对以及提供的许多建设性意见和技术性帮助。

Jacques G. Ganoulis

1994 年 5 月于希腊 Thessaloniki

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 译者序 .....                 | I   |
| 前 言 .....                 | III |
| <br>                      |     |
| 第 1 章 引言 .....            | 1   |
| 1.1 水污染问题中工程风险分析的作用 ..... | 2   |
| 1.1.1 自然资源的重要性 .....      | 3   |
| 1.1.2 水质的重要性 .....        | 4   |
| 1.1.3 水环境污染 .....         | 7   |
| 1.1.4 水质与水量管理 .....       | 10  |
| 1.1.5 水资源管理中的不确定性 .....   | 12  |
| 1.2 环境风险评价及管理 .....       | 12  |
| 1.3 编写目的及章节安排 .....       | 14  |
| <br>                      |     |
| 第 2 章 风险识别 .....          | 17  |
| 2.1 风险的定义 .....           | 18  |
| 2.2 水污染问题中的不确定性 .....     | 21  |
| 2.2.1 偶然性或随机的不确定性 .....   | 21  |
| 2.2.2 认识上或人为的不确定性 .....   | 21  |
| 2.3 概率方法 .....            | 24  |
| 2.3.1 基本概率 .....          | 24  |
| 2.3.2 概率风险及可靠性 .....      | 37  |

|            |                        |            |
|------------|------------------------|------------|
| 2.4        | 模糊集合论的应用 .....         | 39         |
| 2.4.1      | 基本定义 .....             | 39         |
| 2.4.2      | 模糊风险及模糊可靠性 .....       | 55         |
| 2.5        | 水质规范 .....             | 56         |
| 2.5.1      | 水质标准 .....             | 57         |
| 2.5.2      | 排放标准 .....             | 59         |
| <b>第3章</b> | <b>风险量化分析 .....</b>    | <b>60</b>  |
| 3.1        | 随机方法 .....             | 60         |
| 3.1.1      | 直接估算 .....             | 60         |
| 3.1.2      | 二阶矩公式 .....            | 68         |
| 3.1.3      | 数据频率分析 .....           | 69         |
| 3.1.4      | 随机模型 .....             | 79         |
| 3.1.5      | Monte-Carlo 仿真 .....   | 84         |
| 3.2        | 模糊集合论 .....            | 87         |
| 3.2.1      | 模糊回归 .....             | 87         |
| 3.2.2      | 模糊模型 .....             | 94         |
| 3.3        | 时间相关与系统风险 .....        | 95         |
| 3.3.1      | 事故函数与可靠度函数 .....       | 95         |
| 3.3.2      | 事故率与危险函数 .....         | 97         |
| 3.3.3      | 预期使用期限 .....           | 98         |
| 3.3.4      | 系统风险与可靠度 .....         | 100        |
| <b>第4章</b> | <b>水质问题的风险评价 .....</b> | <b>103</b> |
| 4.1        | 海岸水污染的风险 .....         | 104        |
| 4.1.1      | 近海水质的不确定性 .....        | 104        |
| 4.1.2      | 数学模型 .....             | 107        |
| 4.1.3      | 随机游动模拟 .....           | 118        |
| 4.1.4      | 风生流产生的扩散 .....         | 122        |
| 4.2        | 河流水质风险 .....           | 125        |
| 4.2.1      | 引言 .....               | 125        |
| 4.2.2      | 数学模型及模拟 .....          | 126        |

|              |                                            |            |
|--------------|--------------------------------------------|------------|
| 4.2.3        | 水质资料的时间系列 .....                            | 130        |
| 4.2.4        | 风险评价 .....                                 | 130        |
| 4.3          | 地下水污染风险分析 .....                            | 131        |
| 4.3.1        | 地下水资源的重要性 .....                            | 132        |
| 4.3.2        | 地下水系统的特性和现场调查 .....                        | 135        |
| 4.3.3        | 含水层水力特性 .....                              | 139        |
| 4.3.4        | 概念模型和数学模型 .....                            | 143        |
| 4.3.5        | 空间变化及随机模型 .....                            | 147        |
| 4.3.6        | 地下水污染的风险评估 .....                           | 150        |
| <b>第 5 章</b> | <b>风险管理 .....</b>                          | <b>155</b> |
| 5.1          | 性能指标及价值指数 .....                            | 155        |
| 5.2          | 目标函数及其优化 .....                             | 156        |
| 5.2.1        | 连续决策问题 .....                               | 156        |
| 5.2.2        | 最优化方法 .....                                | 159        |
| 5.2.3        | 不连续决策问题 .....                              | 164        |
| 5.3          | 基本决策理论 .....                               | 167        |
| 5.3.1        | 决策基本要素 .....                               | 167        |
| 5.3.2        | 决策标准 .....                                 | 170        |
| 5.3.3        | Bayes 分析及信息价值 .....                        | 173        |
| 5.4          | 效用理论的要素 .....                              | 175        |
| 5.5          | 多目标决策问题 .....                              | 177        |
| <b>第 6 章</b> | <b>工程实例 .....</b>                          | <b>179</b> |
| 6.1          | 近海岸水域污染: Thermaikos 海湾(希腊 Makedonia) ..... | 180        |
| 6.1.1        | Thermaikos 海湾概况 .....                      | 180        |
| 6.1.2        | 环流特性 .....                                 | 184        |
| 6.1.3        | 水质评价 .....                                 | 185        |
| 6.1.4        | 气候变化条件下的污染风险 .....                         | 191        |
| 6.2          | 河流水质: Axios 河(希腊 Makedonia) .....          | 196        |
| 6.2.1        | 当前状况 .....                                 | 197        |
| 6.2.2        | 数学模拟 .....                                 | 200        |

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| 6.3 地下水污染：Campaspe 河地下含水层(澳大利亚 Victoria) ..... | 201 |
| 6.3.1 研究区域 .....                               | 202 |
| 6.3.2 盐化风险 .....                               | 204 |
| <b>参考文献</b> .....                              | 209 |
| <b>英中词汇对照</b> .....                            | 215 |

# 第 1 章 引 言

在水利工程如大坝、水库、河堤的设计中,目前主要考虑的是其成本、效益及安全性,而对这些工程建设的环境影响及相关的生态保护问题关注甚少。一些以改善水质为目的的工程,如污水处理、废弃物处置以及污染地的环境修复等,其本身就蕴含着各种各样的环境危害及风险,因此,对实际的水利工程,有效地应用环境影响评价是十分重要的。这里所指的环境影响评价包括了数据采集、风险分析及制度法规制定等多方面。在本书中,“水资源”这一术语包括了地表水、地下水及近岸海水等不同水域的淡水资源和海水资源。

近年来,针对水的不同用途(如供水、灌溉及工业用水),在美国和欧洲,都发展了一些风险分析的定量化技术(Duckstein and Plate 1987, Ganoulis 1991c, Haimes et al 1992)。但是,这些新近发展的技术还较少融入到工程规范中,在工程实践中的实际应用就更少。因此,本书致力于提供一套自成一体的工程风险及可靠性分析的理论、方法和技术,并用以评价用水及污水处理对环境水质的影响。

风险及可靠性分析也已经用于除工程领域之外的其他领域,如社会、经济以及健康科学,对诸如公众政策、行政管理、金融或健康科学中的相关风险进行分析,主要课题包括公众风险意识、风险条件下的社会行为及态度、风险成本及风险评价等。

本书主要讨论风险及可靠性分析的工程方法,此方法专门应用于自然环境中的水污染风险问题,为工程项目的安全性评价提供了一种一般性方法。对于水污染问题,风险与污染物质衰变的不确定性相关。风险及可靠性评价是量化这些不确定性,从而评估水污染对水资源影响的有效技术手段。由此,水系统(如河流、湖泊、地下含水层及近海岸海域)管理的重要技术环节包括充分考虑水质状况、环境影响、环境舒适性设计、废弃物管理、污水处理厂的优化运行,以及污染地的修复等。

本书的主要内容包括:

- 工程风险性分析中模糊集合论的应用
- 水量水质的不确定性分析
- 水系统的随机模拟：模型选择、水量及水质评价、由于气候变化导致的近岸海水水质变化、地下水及河流污染风险
- 不确定风险下的决策理论：风险管理、风险-成本权衡
- 实例研究

水环境污染会导致公共健康危害(健康风险)、水质恶化及生态系统破坏(环境风险),并会造成经济上的损失(经济风险)。因此,环境风险及可靠性分析属于多学科领域,需要工程师、化学家、生物学家、医学专家、经济学家及社会学家们的参与。这些学科之间相互影响,对于实际的应用,应该有各方面专家的共同协作。本书主要侧重于从技术及工程角度来探讨环境风险。

在本引言中,阐明了水污染问题中工程风险及可靠性分析的作用。首先强调的是自然水资源及水质的重要性,然后介绍了工程风险评价及风险管理概念,最后概括了全书各章内容的编排方式。

## 1.1 水污染问题中工程风险分析的作用

在不同的学科领域,如工程学、统计学、经济学、医学及社会科学领域,风险与可靠性具有不同的含义和不同的应用方式。在不同学科之间的相互引用中,由于相关的术语或者符号没有经过适当修改或者调整,可能会导致一定程度的混淆。而且,由于科学家对风险的认知不同,所采用的分析工具也不同,往往还会加剧这种混淆的程度。

工程风险不同于经济风险、社会风险或健康风险。工程风险分析主要建立在对自然发展过程中呈现出各种不确定性进行定量化分析的基础上。应用模型分析技术量化这些不确定性,是工程风险分析的核心内容。此外,工程项目的建设,要预测在未来不确定的条件下自然过程是如何发展的,因此,概率论方法,以及新近发展起来的模糊集合论,是量化这些不确定性的合适的技术工具。

水量和水质这两个问题相互依存,因此应在一个综合的框架下进行研究。本书采用的就是这种综合研究的方法。在回顾了水资源的重要性以及优良水质对经济可持续发展的必要性之后,对水资源管理展开分析。水资源管理是设计和决策的基础,其中存在着各种各样的不确定性。下面首先给出了不确定性量化的概念,以及从风险评价到风险管理的实施过程。详细的论述见第2章及第3章。

1.1.1 自然资源的重要性

据估计,全球总的水体积约为  $13.6 \times 10^8 \text{ km}^3$  (Wilson 1994),其中,海水占 97.25%,以冰态存在的水占 2.1%,湖泊、河流及地下水中的淡水资源仅占 0.62%,还有一小部分的水存在于生物系统中,或以蒸汽的形式存在于大气中。值得注意的是,在全球的总供水量中,仅有 2.72%的水为淡水。如果去掉极地冰川与冰层部分(占 2.1%),那么,最重要的河流与湖泊的淡水储量只占剩余部分(0.62%)的 1.5%,其余的都以地下水的形式存在。

对于某一地区水资源开发起重要影响的不是该地区的降雨量,而是所谓的有效降雨量,即从总降雨量中减去蒸发量后剩余的径流量,这一水量代表潜在的水资源量,它包括了地表径流及渗透到土壤中的水量。就整个欧盟而言,降雨的年平均数估计为  $1375 \text{ km}^3/\text{a}$  ( $97 \text{ cm}/\text{a}$ ),其中有效降水量为  $678 \text{ km}^3/\text{a}$  ( $48 \text{ cm}/\text{a}$ ) (Bodelle and Margat 1980)。

在当今复杂的经济条件下,水资源起着关键性的作用。淡水不仅对所有的生命是必不可少的,对农业与工业生产也同样如此。在大都市中,人们需要淡水供给以满足生活需要(见图 1-1),在城市污水处理系统、工业废水处理厂以及农业生产中,也需要用淡水以溶解并去除污垢及废弃物。充足的淡水供给已成为确保经济发展与增长的必要条件。同时,保护河流、湖泊、地下含水层及近海岸海水水质,对于保障公众健康及生态系统也是十分必要的。

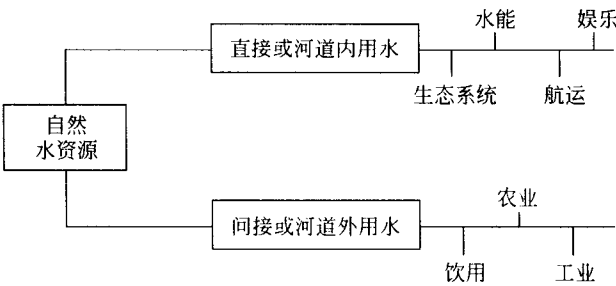


图 1-1 水资源的直接与间接用途

由于各种用途的水需求量的增加,再加上污染恶化了水质,直接与间接用水之间的矛盾加剧,使经济发展面临压力(见图 1-1)。在长期干旱地区,由于可用水资源量的减少和需水量的增加,这一矛盾表现得尤其严重。

通过分析水资源在经济发展中的重要作用及水市场中新的机遇,我们可以更好地理解水资源和水质水量问题的重要性。据估计,在欧盟,仅城市供水及污水系统的年运行成本就达 140 亿欧元(Williams and Musco 1992)。

对于城市饮用水及污水处理设施的建设,据估计,到 1995 年为止,总投资将达到 200 亿欧元。为满足人口增长对用水的需求,解决未来的供水问题,可以预料,本来已相当庞大的水市场将随着新技术、新投资及新的管理方法的出现而进一步扩大。

与水相关的管理问题,不仅与科学、技术有关,还与社会、经济及体制等有密切关系(见图 1-2)。

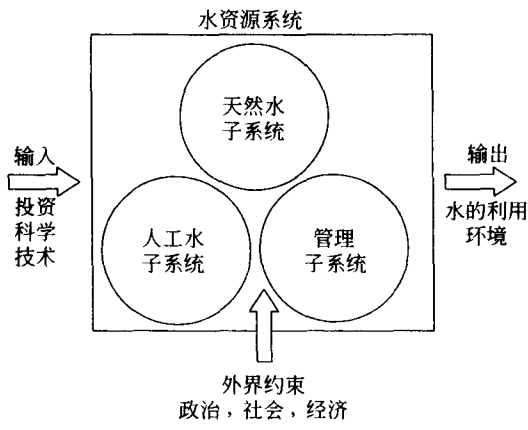


图 1-2 水资源系统

如果将水资源定义为一个系统(见图 1-2),除天然水子系统外,这一系统还应包含人工水子系统(渠道、分配系统、人工湖等)及管理子系统。这三个子系统相互关联,并受制于不同的约束条件,如社会、政治及经济等。输入该系统的为数据、投资、科学及技术等,系统输出的主要有水的利用、环境保护、新技术等。

### 1.1.2 水质的重要性

在水资源管理中,水质起着越来越重要的作用,目前已成为与水量同等重要的要素。事实上,当地表水、近海岸海水及地下水污染加重时,采用解决水质与水量问题的综合方法是非常必要的(见图 1-3)。同时,对水生态系统的保护也需要将水资源系统视为由生物与非生物单元组成的系统。

例如,在近海岸区域,环境问题按其重要性由大到小的排列顺序是:

(1) 由于高浓度有机质、悬浮物质及营养物质而造成的水体透明度的下降。

(2) 由于有机物质、氮与磷等物质的过度耗氧而造成的溶解氧的枯竭。

由于肉食性与非肉食性生物都需要氧气,因此,溶解氧浓度过低对海洋生物来说是危险的。

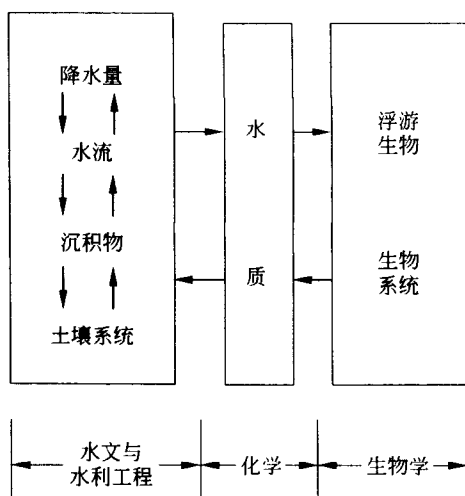


图 1-3 水系统的生物与非生物单元

(3) 细菌污染。这不但对水体,而且对贝类及牡蛎都是一大威胁。它是公众健康面对的主要危险。

(4) 生存空间变小及热带物种的入侵。在地中海,新种类水藻的生长是由于过度污染而造成的。

(5) 由于氮与磷等营养物质的增多而造成的富营养化现象。

上述环境问题的社会根源是近海岸区域污染的增加以及近海岸区域高强度的农业与工业及海港旅游业活动。

保护水质才能保障人们的生活及健康并维护生物群落的多样性。在近海岸水域,尤其是在岛屿地区,渔业及其他的水文化是传统且重要的经济活动,滋养着大量的人口。旅游业也是许多欧洲国家的基本经济要素,这些都与海洋水资源的水质直接相关,其重要性将在下面进行讨论。

### 1. 人类生活及健康

水质状况对城市人口的健康有直接的影响,而通过食物链引发的间接影响也同样不可忽视。在受污染的近海岸区域进行捕鱼或牡蛎养殖,可能会将细菌及有毒金属污染引入到人们的食物链中,从而引发各种流行疾病。在某一地区,即使污染尚处于可接受的水平,但污染物质的出现将会造成水体中某一种藻类的过度生长,从而造成溶解氧浓度的下降,产生富营养化。以这种藻类养鱼,鱼类会有异味,不再适合于人们食用。另外,藻类死亡后会产生  $H_2S$  及其他有气味的物质,对水域附近居民的生活产生不利影响。死海周围没有永久性居民,就是一个很好的事实,证明海域水质与周边居民的相互作用

用关系。在死海周围,恶劣的水质让居民退避三舍。

## 2. 生态影响及生物多样性

丰富多样的生命体生活在地球上的淡水、近海岸海域及深海之中。通常,我们将其分成如下两类:有机物质的生产者(如浮游植物、硅藻、鞭毛虫等)和消费者(如浮游动物、自游生物、底栖生物等)。另外,在其中还有不同种类的细菌生长,其浓度在每升1个到每毫升 $10^8$ 个之间变化。通常情况下,水体中的细菌对营养物质再循环的意义并不重要,但在沉积物中,则起着主要的作用(Odum 1971)。

水体面积对太阳能的吸收和生物物质的迁移转换起着重要作用。水体中的物种多样性与水质状况密切相关。Copeland及Bechtel(1971)的研究表明:靠近排放口处的生物物种单一,随着离排放口距离的增加,水质对物种的影响逐渐减弱。同时,研究还发现水的毒性水平与水体中的物种多样性呈反比关系。

Copeland(1966)的研究表明,即使排放废水没有到达毒性水平,污染水体中鱼类的新陈代谢速率也将增加。在排放口附近,由于各种生物物质的同步排放,造成溶解氧浓度的下降。因此,海洋生物不得不吸入更多的水以获得足够的氧,同时也吸入了更多的污染物质,并且通过捕食,对其他的生物造成连锁效应。

## 3. 渔业与牡蛎养殖

水质对渔业及水产业,尤其是对贝类养殖非常重要。众所周知,水中生活的有机体会从周围的水体中积累污染物质,并将它们传入食物链中。生活在污染水体中的蚝、牡蛎及其他的不移动海洋动物尤其如此。基于这一原因,现在对牡蛎养殖的水域水质做出了明确的法律规定。

## 4. 旅游业

如果一个地区有宜人的气候和丰富的文化遗产,那么它将吸引旅游者前来旅游。地中海沿岸国家各旅游胜地就吸引了大量的游人。据估计,世界上约有1/3的游人到地中海旅游(Golfi et al 1993)。对于游人,海岸带已成为主要的活动娱乐场所,他们在这里游泳、垂钓、进行水上运动等。旅游业是当地经济的一个重要支柱产业。

然而,由于水的基础设施,如城市供水系统、便捷式污水处理设施的匮乏,这些地方的旅游业已面临威胁。由于这些设施的匮乏,导致沿海岸水质的恶化,而水质正是吸引游人的主要因素之一。如在20世纪80年代后期,由于异常高的富营养化及适宜的温度环境,Adriatic海北岸水域出现海藻的季节性过度繁殖,极大地破坏了这里的旅游业。