

# 水污染控制原理

WATER POLLUTION CONTROL PRINCIPLE

谢 嘉 主编

成都科技大学出版社

# 水污染控制原理

曾皖美 王向东

编著

黄方 谢嘉

成都科技大学出版社

(川) 新登字 015 号

责任编辑 葛人仪

### 内容简介

本书对废水特性与反应器分析作了详细介绍,深入地论述了水污染控制原理和设计方法,尤其对水体污染物的资源化技术从原理到实际运用作了突出的阐述。每章都有例题、习题。

该书内容新颖,系统性强,深入浅出,可作高等理工院校环境工程、化学工程、冶金工程、给排水等专业研究生、本科生的教材或参考书。也可供从事环保、化工、给排水、冶金等工作的有关技术人员参考。

## 水污染控制原理

谢 嘉 主编

---

成都科技大学出版社出版发行  
四川省新华书店经销  
成都科技大学科一实业公司照排部照排  
四川大学印刷厂印刷  
开本 787×1092 1/16 印张:26.5  
1994年12月第1版 . 1994年12月第1次印刷  
字数:645千字 印数:1—1000册  
ISBN 7—5616—1286—9/F·308

---

定价:18.00元

## 前 言

本书是为环境工程专业本、专科生编写的教材，也可作为给排水专业、化学工程、冶金、食品工程等专业学生的教学参考书，亦对从事环保实际工作的技术人员系统了解水污染防治理论和应用知识也会有一定价值。

由于工业及生活废水的产生和污染的特殊性，决定了本课程的综合性和复杂性。如何有效地处理千差万别的各种废水，绝不仅仅是单一的技术问题，它还涉及到产生的原因、生产原料的变化、生产工艺技术特点、废水处理经济性、处理水的出路、环境水体的状况和容量、当地环境法规等一系列问题，要协调好和处理好这些问题之间的相互关系的确不是一件容易的工作。因此要求我们的水处理工作者不仅要有广博的知识，而且要有较高的分析能力和组织协调能力。

为了使学生能更好地掌握水污染控制方面的专门知识，在学习本课程前应尽量具备有关化学（无机化学、有机化学、分析化学和物理化学）、工程学（化工原理、电工学以及基础的建筑工程和机械工程学）和生物学（生物化学及环境微生物学）等方面的知识。另外，考虑到我国目前尚有多年积累的非国际单位制技术资料，学生尚需对它们有一定了解，因此本教材中还保留了少量非SI制的计算内容，这样可更有利于适应实际工作的需要。为了更方便与SI制换算，在书后附录五中给出了SI制与工程单位制及CGS制的基本单位换算表。

众所周知，一个好的工程方案和设计的完成，仅仅靠精深的专业理论知识是远远不够的，更重要的往往是工程实际经验和经济头脑。而这方面的知识能力对于学生来说，在课堂上和书本上又都是最难传授或理解的，只有到实践中去体会、磨炼才能真正了解到它的关键和精髓。对于这一点教师要时时提醒学生鼓励学生重视实践，抓住一切学习实践知识的机会，努力地到实际中去应用、检验和补充自己的理论知识。考虑到学生实践的不足，本课程还辅以一定的专业实验和课程设计予以配合，这可使学生在水污染控制领域内得到初步的、却是较系统的实际锻炼。

考虑到前期已修课程的内容，为了避免重复，本书未编入离心分离法、蒸发法、汽提法、磁选法、过滤器过滤法以及土地处理法等篇章。同时考虑到提高学生对于资源综合利用和再生资源开发利用的能力，增加了化学沉淀法、化学氧化还原法、吸附法、离子交换法和萃取法的内容。

本教材经六届本科生和四届专科生实际使用和两次修改，普遍反应良好，并有不少读者希望购置，为满足众多同行的需要，特再次进行修定，并正式出版。由于编者的学识和经验有限，书中难免有不当之处，希望读者给予指正和切磋。参加本次编写修定的人员有：曾抗美 第一章、第十二章；黄方 第八章、第九章；王向东 第十章、第十五章；谢嘉 第二至七、十一、十三章、十四章和十六章。全书由谢嘉主编，朱联锡教授任主审。在本次编写和修定中朱联锡、杨靖霞、史建福等老师都提出了许多宝贵意见，成都科技大学出版社的王宗年、葛人仪老师对本书的编辑和出版给予了大力支持、付出了辛勤劳动，借此深表谢意。

编者

1994年10月于成都

## 引 言

环境与发展，是当今国际社会普遍关注的重大问题。保护环境和发展经济，关系到人类的前途和命运。经济发展与环境保护的失调造成的水污染已成为世界公害。六十年代以前在一些工业化国家曾出现过震撼社会的严重后果。如日本的水俣病，英国的泰晤士河、欧美的莱茵河、美国的底格律河都曾成为无鱼虾的“死河”。这一系列严重的环境污染问题，使人们开始醒悟到单一发展经济的严重后果。严酷的事实，提高了人们对发展经济和人类生存与环境之间关系的认识。因此美国在六十年代里每年都用了近 50 亿美元投资于废水处理。日本同期也投资近 20 亿美元作同样用途。从而开始了以对付排出“三废”采取应急措施的“排出口处理”技术为特征的三废处理第一阶段。在这一期间内一些工业化国家的污染状况得到了一定改善，如水污染方面因有机物污染造成的缺氧死鱼问题有了明显好转。但是，这种排出口处理技术耗资巨大，整体经济效能低，甚至可能陷入恶性循环，即不断扩大污染和增加处理“排出口”的投资，使大量的能源和资源消耗于治理过程之中。

随着环境问题与经济发展造成的矛盾的不断深化，也不断促使人们逐步深入全面地看待和思考如何才能使环境与发展相协调。从而在六十年代末开始进入了一个环境污染控制的较高级阶段，即综合防治环境污染的新阶段，这一阶段的主要特征是：

1. 开展环境影响的预评价；
2. 开发无污染工艺，采用先进技术，淘汰落后技术，实行闭路循环及开发废物资源化技术；
3. 开展区域综合治理；
4. 加强环境管理，完善环境保护法规，研究环境保护与经济关系的相互关系等。

我国十分重视在发展经济的过程中保护环境。并根据我国和世界的长远利益，把保护环境确定为一项基本国策，并为此进行了不懈的努力。从我国的实际情况出发，制定了经济建设、城乡建设和环境建设同步规划、同步实施、同步发展，实现经济、社会和环境效益相统一的战略方针；实行预防为主、谁污染谁治理和强化环境管理三大政策。改革开放推动了我国的经济建设，也给环境保护事业带来了生机。

我国没有选择先污染后治理的老路，也不可能采取目前发达国家实行的“高技术、高投入”的模式，而是根据中国的国情，在投入有限的情况下，主要依靠强化环境管理，走出了一条具有中国特色的环境保护道路。在 1983~1987 年五年中，共投资 400 多亿元用于环保，其中用于水体保护的为 200 多亿元。用于控制环境污染的投入也在逐年增加，由 1981 年的 19 亿元增长到 1991 年的 150 多亿元，占国民生产总值的比例由 0.4% 提高到 0.7% 以上。由于作了这样的努力，十年中，国民生产总值增加 1.36 倍，而环境质量仍保持在比较稳定的状态，没有出现令人担心的“随经济翻番，环境污染也翻番”的严重局面。

但是，也必须清醒地看到，我国环境形势依然十分严峻。水污染问题相当突出，如 1990 年全国各类废水排放量约 354 万吨，大部分未经处理直接排入水体。经对 532 条河流的监测，有 436 条河流受到不同程度的污染。而水污染严重的河流、湖泊又主要分布在工业发达的大中城市附近和北方水资源缺乏的地区。水质污染和水量萎缩不仅严重威胁饮用水源的安全，而且对渔业生态的破坏造成巨大损失，据估计我国每一年这一项损失可达几十亿

元。另据对 11 省市、自治区 29 条江河的不完全统计，有 2800 公里长的河段鱼类绝迹，无鱼可捕。

因此在水污染已成为世界公害的今天，处理各种工业废水是最大最急的环境问题，除政策法规必须全面贯彻执行外，培养废水处理技术方面的专门人才则是当务之急。生产废水的产生和来源千差万别，各种生产中所造成的水体污染更是形态万千，在处理中还要受到经济性的制约，这就决定了生产废水处理的复杂性和艰巨性。由此可见水污染控制必然涉及多学科、多专业的理论基础、实用技术以及工程特点。否则就无法经济有效地完成废水处理这包罗万象的复杂课题。

废水处理故然是一门复杂的综合学科，若仅仅停留在废水的处理排放上，在科学技术快速发展的今天，则是远远不够的。作为一个环境工作者或废水处理工作者，还应把自己的眼光看得更远，目标定得更高。在考虑和研究废水处理时，要时时不忘水的再用、污染物的资源化、因地制宜、以及参与生产工艺技术的革新改造。这样才能不断提高废水处理水平和增大废水处理的价值，并起到推动生产技术全面进步的作用。这就是历史赋予我们的伟大使命，这就是时代向我们提出的挑战！在当前“改革开放”的大好形势下，我们一定能闯出一条具有中国特色的水污染控制道路。

# 目 录

引言 .....	(VI)
第一章 水污染控制系统及其规划原则 .....	(1)
§ 1-1 水污染控制系统的分类和组成 .....	(1)
§ 1-2 水污染控制系统规划的经济评价 .....	(4)
§ 1-3 经济分析简介 .....	(8)
§ 1-4 水污染控制的途径和水质管理 .....	(25)
习题 .....	(27)
第二章 废水特性和反应器工程基础 .....	(28)
§ 2-1 废水特性 .....	(28)
§ 2-2 酶反应动力学 .....	(41)
§ 2-3 反应器工程基础 .....	(43)
§ 2-4 水体自净 .....	(60)
习题 .....	(67)
第三章 废水的预处理 .....	(70)
§ 3-1 格栅 .....	(70)
§ 3-2 筛网 .....	(70)
§ 3-3 废水的流量及流量调节 .....	(71)
习题 .....	(76)
第四章 沉降分离 .....	(78)
§ 4-1 颗粒的沉降速度和沉降过程分析 .....	(78)
§ 4-2 沉淀池设计 .....	(84)
§ 4-3 非理想沉淀池 .....	(94)
§ 4-4 凝聚与絮凝的原理和凝聚剂 .....	(96)
§ 4-5 凝聚动力学 .....	(110)
§ 4-6 凝聚沉清设备 .....	(117)
§ 4-7 凝聚沉清设备的合理选用 .....	(120)
习题 .....	(123)
第五章 上浮分离 .....	(125)
§ 5-1 油水分离 .....	(125)

§ 5-2 气浮和浮选的理论基础.....	(128)
§ 5-3 加压溶气气浮设备及其设计.....	(132)
§ 5-4 其它浮选法.....	(138)
习题.....	(139)
<b>第六章 过滤法.....</b>	<b>(140)</b>
§ 6-1 颗粒材料滤池 (普通快滤池) .....	(140)
§ 6-2 虹吸滤池.....	(142)
§ 6-3 无网滤池.....	(144)
§ 6-4 过滤阻力及冲洗阻力的计算.....	(146)
习题.....	(150)
<b>第七章 废水生物化学处理法——(I) 活性污泥法.....</b>	<b>(151)</b>
§ 7-1 活性污泥法的原理.....	(151)
§ 7-2 活性污泥法的废水净化原理.....	(155)
§ 7-3 活性污泥法的设计和运行参数.....	(156)
§ 7-4 活性污泥法废水净化理论的应用.....	(167)
§ 7-5 活性污泥法的运行方式和处理设计方法.....	(171)
§ 7-6 曝气与曝气方式.....	(190)
§ 7-7 生物脱氮.....	(204)
§ 7-8 好氧活性污泥法运行要点.....	(206)
习题.....	(209)
<b>第八章 废水生物化学处理法——(I) 生物膜法.....</b>	<b>(210)</b>
§ 8-1 生物膜及其生物相.....	(211)
§ 8-2 生物滤池的构造和设计.....	(213)
§ 8-3 生物转盘的构造和设计.....	(221)
习题.....	(225)
<b>第九章 废水生物化学处理法——(II) 氧化塘处理法.....</b>	<b>(226)</b>
§ 9-1 氧化塘的特征.....	(226)
§ 9-2 好氧塘和兼性塘.....	(227)
§ 9-3 氧化塘的构造.....	(229)
§ 9-4 藻类的去除.....	(230)
§ 9-5 厌氧塘.....	(231)
§ 9-6 曝气氧化塘.....	(232)
习题.....	(236)



<b>第十章 废水生物化学处理法——(V) 厌氧处理法</b> .....	(237)
§ 10-1 厌氧消化的反应过程 .....	(237)
§ 10-2 厌氧消化的影响因素 .....	(238)
§ 10-3 厌氧消化理论设计计算 .....	(241)
§ 10-4 厌氧消化处理工艺及其装置 .....	(244)
§ 10-5 厌氧消化池的运行要点 .....	(250)
习题.....	(251)
<b>第十一章 废水的化学处理方法</b> .....	(252)
§ 11-1 中和法 .....	(252)
§ 11-2 化学沉淀法 .....	(254)
§ 11-3 氧化还原法 .....	(256)
习题.....	(267)
<b>第十二章 吸附</b> .....	(269)
§ 12-1 活性炭的吸附机理 .....	(269)
§ 12-2 吸附性平衡与吸附等温式 .....	(271)
§ 12-3 吸附速度 .....	(275)
§ 12-4 固定床吸附 .....	(279)
§ 12-5 移动床吸附装置 .....	(286)
§ 12-6 流动床吸附装置 .....	(287)
§ 12-7 再生方法 .....	(287)
§ 12-8 活性炭在给水和污水处理中的应用 .....	(290)
习题.....	(295)
<b>第十三章 离子交换法</b> .....	(297)
§ 13-1 离子交换树脂及结构特点 .....	(297)
§ 13-2 离子交换反应 .....	(300)
§ 13-3 离子交换动力学 .....	(303)
§ 13-4 离子交换装置及其设计 .....	(306)
§ 13-5 离子交换法的应用 .....	(311)
§ 13-6 离子交换的试验方法 .....	(317)
习题.....	(320)
<b>第十四章 溶剂萃取法</b> .....	(322)
§ 14-1 萃取平衡及萃取体系 .....	(322)
§ 14-2 溶剂萃取工艺 .....	(327)
§ 14-3 传质基本方程式及传质系数 .....	(346)

§ 14-4 萃取设备及其设计 .....	(350)
§ 14-5 萃取过程中的相分离 .....	(362)
§ 14-6 萃取在废水处理中的应用 .....	(366)
习题 .....	(367)
<b>第十五章 膜法</b> .....	<b>(369)</b>
§ 15-1 反渗透法 .....	(369)
§ 15-2 超滤 .....	(378)
§ 15-3 电渗析 .....	(381)
习题 .....	(389)
<b>第十六章 污泥处理</b> .....	<b>(391)</b>
§ 16-1 污泥的稳定处理 .....	(391)
§ 16-2 污泥浓缩 .....	(395)
§ 16-3 污泥的调质和脱水 .....	(401)
§ 16-4 干化、焚化和永久处置及处理 .....	(403)
习题 .....	(405)
<b>附录一 工业中常见有机化合物的一些有关参数</b> .....	<b>(407)</b>
<b>附录二 国家的其它水质标准</b> .....	<b>(410)</b>
表 1 生活饮用水水质标准 .....	(410)
表 2 渔业水域水质标准 .....	(411)
表 3 农田灌溉用水水质标准 .....	(412)
<b>附录三 水的物理性质</b> .....	<b>(413)</b>
表 1 水的饱和蒸汽压 .....	(314)
表 2 水的密度 .....	(413)
表 3 水的粘度 .....	(413)
<b>附录四 空气和氧的某些性质</b> .....	<b>(414)</b>
表 1 干空气的密度和粘度 .....	(414)
表 2 空气和氧在水中的溶解度 .....	(414)
<b>附录五 单位换算系数</b> .....	<b>(414)</b>
<b>主要参考文献</b> .....	<b>(415)</b>

# 第一章 水污染控制系统及其规划原则

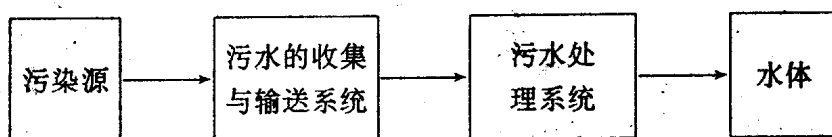
水污染控制系统是环境污染控制系统的重要组成部分。我们的目的是运用系统工程的方法分析和协调水污染控制系统中各组成因素之间的关系，以便用较小的代价达到有效控制水污染的目的。

通过水污染控制系统的模拟与规划，可以制订切实可行的水环境目标 and 水质标准，选择最佳污染控制方案与治理设施，设计最优化的废水处理厂，预测建设项目的环境影响及制定相应的对策等等，避免管理和建设上的决策失误。

## § 1—1 水污染控制系统的分类和组成

### 一、水污染控制系统的组成

由于自然条件和社会经济条件的不同，水污染控制系统的组成也不尽相同。一般情况下，可以将水污染控制系统分为污染源子系统（污染物产生子系统）、污染物的收集与输送子系统、污水处理子系统和接受污水的水体子系统。各子系统的关系可简化表示为：



污染源是污水的发生源。工业生产过程中产生的污水和城镇人民生活中产生的污水是主要的污水来源。这类污水一般可以进行集中处理后再排放，因而称为点源。在农村，随着农药、化肥使用量的增加，农业污染也日益严重。由于农田面积广阔，排放的污水难以进行集中处理，因而称为非点源或面源。各类污染源排放的污染物有多种多样，水污染控制系统研究的主要是具有普遍意义的污染物的治理与控制，目前国内外研究较多的是有机污染物。

污水收集与输送系统，是指将污水集中起来并输送到集中处理点的各种设施组成的系统，如集水井、污水管道、提升泵等。污水收集与输送系统将污染源系统与污水处理系统联系起来，对于拥有多个处理系统的大系统，还可通过污水输送系统进行处理水量的分配和调节。

污水处理系统是水污染控制系统的核心部分，根据水体水质的要求和技术经济条件，可采用不同的方法去除污水中的污染物，使排放的污水达到预定的标准。

水体是污水的最终接受体，包括河流、湖泊、海湾等。保护水体的水质是水污染控制系统的核心目标。

水污染控制系统是一个有机的整体，各子系统之间相互联系、相互影响。水体水质目标是影响整个系统状况的主要目标，这一目标的确定，既要充分考虑到水体水质的要求，又

要考虑到当时当地的技术经济条件。根据水体水质目标，可以确定出水体在一定条件下所能接纳的污物量，相应地，可以确定出污染源允许排放的污物量和需要去除的污物量，从而达到控制污染的总目标。

## 二、水污染控制系统的分类

划分水污染控制系统的目的，是进行水污染控制系统的规划和管理。根据规划和管理的要求，水污染控制系统可以从不同角度进行分类，常用的是从规划层次和规划方法两个方面。

### (一) 按规划层次分类

1. 流域规划 流域规划的目的，是在一条河流流经的范围内确定水污染控制的战略目标，包括环境目标和经济目标。流域规划的主要内容是协调流域内各个重要污染源（城市或区域）之间的关系，根据相应河段（支流）的地理位置、水文状况、水体功能及其与系统总目标的关系，确定该河段（支流）的水质目标。

流域规划确定的目标可以作为各个污染源进行污染物排放总量控制的依据，也是区域规划和设施规划的依据。

流域规划一般是跨省市、跨地区的规划，要求相应的高层次的部门主持进行。

图 1-1 是一个流域水污染控制系统示意图。德国鲁尔河水质控制系统；美国芝加哥河人工充氧系统及广东佛山的引水治污工程都属较成功的实例。

2. 区域规划 区域规划是指流域内有复杂的城镇和工业点污染源的区域的水质规划。其目的是制定控制水质的方案，并作出管理部门可以执行的计划。由此可得出更合理的区域排放标准和水质管理办法。

城市和工业废水处理是该规划中的重要部分。图 1-2 是城市给水与污水排放、处理系统的例子。

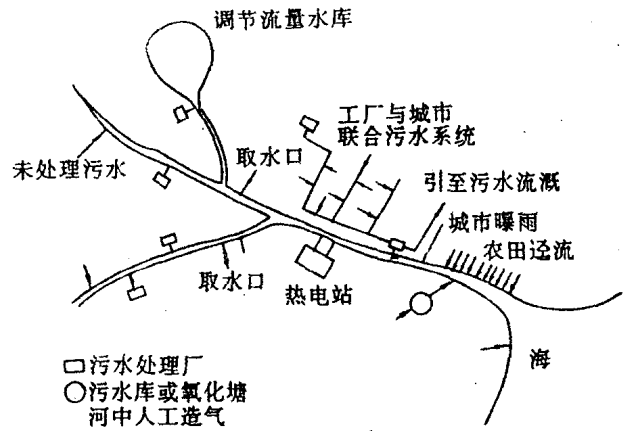


图 1-1 河流流域污染控制系统组成结构示意图

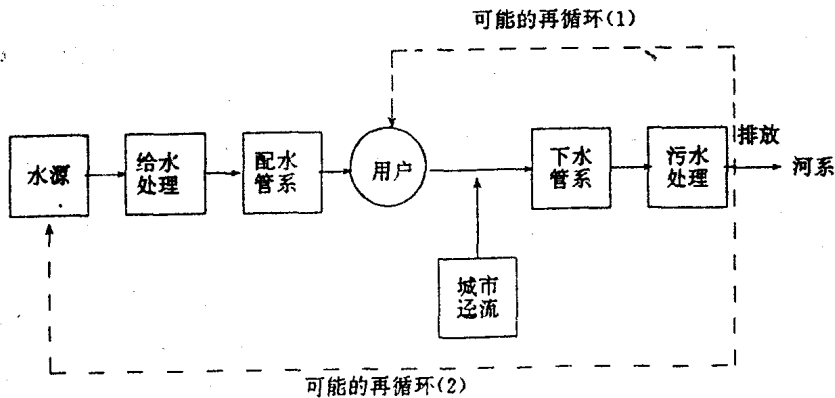


图 1-2 城市给水与污水系统

3. 污水处理设施规划 在制定出合理的水体水质标准和污染源排放标准后,如何实现这些目标,则需要通过污水处理设施规划来实现。一般情况下,去除某种污染物有多种可供选择的技术路线和相应的设施,通过污水处理设施规划进行技术经济分析,可选择出去除效果和经济指标都比较好的技术路线和处理设施,以保证总体目标的实现。

## (二) 按规划方法分类

从水污染控制系统规划解决问题的途径来看,它可以分为两个类型,第一类是水污染控制系统的最优规划问题;第二类是可选择方案的模拟选优问题。

1. 水污染控制系统的最优规划问题 这类方法是应用数学规划方法,科学地组织污染物的排放或协调各个治理环节,以便用尽量小的代价达到规定的水质目标。目前已经得到不同程度应用或具有研究成果的最优规划问题有:

### (1) 区域规划方面

排放口处理最优规划——60年代国外开始采用这种规划方法,其背景是将整个城市的污水网分成若干小区,每个小区产生的污水量基本恒定,每个小区内建有一座污水处理厂,处理该小区的污水。排放口处理最优规划以每个小区污水厂的排放口为基础,在水体水质条件的约束下,求解各排放口污水处理效率的最佳组合,目标是各个小区污水厂的污水处理费用之和最低(各个污水处理厂的规模不变)。

均匀处理最优规划——这一规划的目的,是在区域范围内寻求各个污水处理厂的最佳位置和最佳规模的组合,其方法是在各个厂污水处理效率不变的条件下,寻求全区域污水处理费用最低的方案。在一些工业发达国家和地区,法律规定所有排入水体的污水都必须经过二级处理(即机械处理+生化处理),尽管有的水体有充裕的自净能力,也不允许降低污水的处理程度,因而在规划中可保持污水处理效率不变。

区域处理最优规划——这种规划方法是排放口处理最优规划和均匀处理最优规划的组合,既要寻求污水处理厂最佳位置和最佳规模,又要寻求各个污水处理厂最佳处理效率的组合,既充分发挥污水处理系统的效能,又合理利用水体的自净能力。区域处理最优规划更为科学、更为合理,但由于涉及多方面的问题,目前还没有成熟的数学求解方法。

区域最优化综合治理——除了考虑污水的输送和处理这些污染治理技术外,七十年代以来还有人多种治理技术(如河流人工曝气、河流流量调节等)进行综合最优化的研究。目前还基本上处于研究探索阶段。

城市给水与废水处理的综合最优化——一个城市如何综合考虑水源、给水、水环境容量、污染源控制和废水处理以及水的再用诸方面都求得满足用户水质要求和废水排放标准下的最优安排。这就是该系统的最优规划问题。美国洛杉矶市在1974年曾应用过这种最优规划求解。

### (2) 设施规划问题

废水处理系统最优工艺流程——在一定的水量、水质条件下,从各种不同处理方法中寻求总费用最省的最优工艺流程。

废水处理系统的最优设计——在一定的水量、水质条件下,按整个系统费用最小来设计废水处理系统的各单元设备的最优化。

2. 规划方案的模拟选优问题 能够一次求出整个水污染控制系统最优解,则是规划方案最理想的结果。但是,鉴于环境问题,又特别是环境预测问题的复杂性,因此实际上

人们只是从一个大为简化了的水污染控制系统的模型来研究河流水质的规划问题。为此上述最优规划所得的“最优”结果，很难是真正的“最优”。但是如果简化合理，处理得当，从模型得到的数学规划结果对于实际水体而言，至少还是“合理”的或令人满意的。这就是说，在进行水质规划时，不必过分追求最优化，而要寻求一定条件下的合理化。

在很多实际情况下，往往不完全具备进行最优规划所要求的条件，因此无法把问题纳入到最优规划的目标与约束之中；另一方面也可能由于我国的现实条件不能建立前述规划问题的目标函数、约束条件和过程关系式等，因此无法应用上述最优规划方法。这时，规划方案的选优比较就成为水污染控制系统规划的主要途径。规划方案的模拟优选与最优规划方法不同，在作区域规划时，其工作程序是先进行污水输送与处理设施规划研究，提出各种可供选择比较的可能方案，这时可先不考虑污水输送和处理系统与水体之间的关系，然后对各种方案中的污水排放与水体之间的关系进行水质模拟计算，检验规划方案的可行性，最后从可行方案中找出比较好的方案（或修正方案）。这是一种定性分析与定量计算相结合的方法，即先定性确定模拟的范围，再进行定量的模拟计算，最后选优确定最佳实用方案。这种模拟规划法虽难以得到“最优”解（因为解的好坏在相当程度上取决于规划人员的经验），但却比较充分地发挥了现有专家的经验，在限于时间或研究水平等条件无法取得最优规划所需的数据时，乃不失其为节省人力、物力和计算工作量的有效方法。只要注意尽可能多提出一些待选方案进行选优，往往也能获得与最优规划方法相近的结果。特别是在进行较高层次的战略性研究时，它更有其独到的优越性。如美国著名咨询机构兰德公司提出的 Delphi 法就是用向专家们反复提出咨询要求，再多次整理综合而最终得到方案评价结论的选优方法，这一类方法较充分地发挥了专家们的集体智慧。

这种模拟选优若使用不当也可产生很大的决策失误，如我国 1965 年以后进行的大小三线建设的“靠山、分散、进洞”布局原则，把一些重点项目摆在相距很远的山沟里，造成了联系、交通、防洪诸方面的巨大困难和高额的投资，同时造成了环境污染的灾难性后果（因为这些工厂所处的自然环境不利于污染物扩散，即使花了大力气治理，也难达预期目标）。

## § 1—2 水污染控制系统规划的经济评价

以最小的经济代价达到理想的水环境质量目标，是水污染控制系统规划的指导思想，因而进行经济评价是进行水污染控制系统规划不可分割的部分。

水污染控制的收益和费用可分为两大部分：

人为活动的收益和费用——包括污染源的回收、处理活动、管道输送、废水处理活动。

水资源的污染及其控制造成的社会收益和费用——水资源污染的社会影响可分为直接影响和间接影响两种。直接影响如：鱼种降低、水体丧失天然再生能力、渔场破坏、农业用水受阻、给水受阻等等。这部分损失费用一般可通过补偿或替代的方法来推算作为污染控制的收益。间接影响包括人们生活环境的破坏和社会环境变化的影响，如：对人体健康与生命、自然风光与古迹等等的影响，目前还难以定量估算。

### 一、水污染控制系统的费用构成

这里所指的费用，主要是直接用于污水的收集、输送和处理的费用。处理费与输送费

之间的关系如图 1-3 所示。从图中可知,如果以一个区域所建污水处理厂的数量为自变量,系统污水的处理费和输送费都可以表示为处理厂数量的函数。随着污水处理厂数量减小,即由分散处理过渡到集中处理,系统的污水处理费将下降,而污水的输送费将上升。这两种费用之和称为水污染控制系统的总费用。总费用曲线的最低点,就是系统费用目标的最优点。从数学上也可以证明总费用曲线存在最低点。

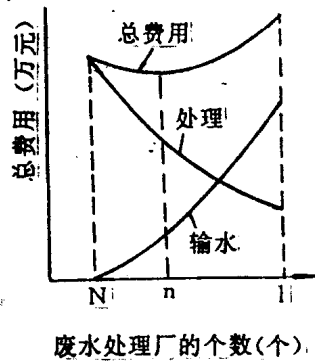


图 1-3 区域废水处理系统处理厂个数与费用的关系

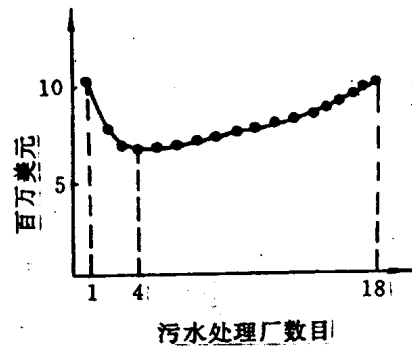


图 1-4 马力马可河规划结果

美国康维尔斯(A. Converse)1972年对美国新英格兰地区马力马可河进行了最优规划,用实际数据证明了总费用曲线存在最小值(图 1-4)。图 1-4 中对应于某一污水厂数目所需的费用,是指对应于该工厂数目的所有可能方案中费用最低的方案所需费用。康维尔斯的结论是在 18 个潜在的污水处理厂中,建 4 座污水处理厂的方案最为经济。

对水污染控制系统总费用有着决定性影响的因素主要有三个方面:水体的自然净化能力、污水处理与输送的规模经济效应和污水处理效率的经济效应。

## 二、水体的自然净化能力

水体的自然净化能力是指水体在接纳污染物后,通过一系列物理、化学、生化等作用后,使污染物得以稀释、分解或转化,使水体保持原有的或较好的水质的能力。

水体的自净能力主要取决于其水力、水文、化学、生物等方面的特性,还与污水排放方式(如排放位置,分散排放或集中排放)等因素有关。水体的自净能力是一种自然环境资源,合理利用这一资源,可以降低污水处理的费用。

## 三、污水处理与输送的规模经济效应

污水处理的费用函数反映了污水处理的规模和效率的经济特征。目前,污水处理的费用函数还只能作为经验模型来处理,表达形式多种多样,应用较为普遍的函数形式为:

$$C = K_1 Q^{K_2} + K_3 Q^{K_3} \eta^{K_4} \quad (1-1)$$

式中, C——污水处理费用(基建费用或年运行费); Q——污水处理规模;  $\eta$ ——污水中污染物去除率(污水处理效率);  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 、 $K_4$ ——待定参数。

式(1-1)的图形表达如图 1-5。

在污水处理效率  $\eta$  不变时,式(1-1)可写作:

$$C = a_1 Q^{K_2} \quad (1-2)$$

式中,  $a_1 = K_1 + K_3 \eta^k$  (符号意义同前), 对于特定的污水厂为常数。

污水输送管道, 也存在着类似的经济效应。对于一条线路确定的污水管道, 输水费用可表示为:

$$C_L = K_5 Q^{K_6} \quad (1-3)$$

式中,  $C_L$ ——输水费用;  
 $Q$ ——输水量;  $K_5$ ,  $K_6$ ——待定参数。

根据对现有资料的研究, 一般  $K_6 < 1$ , 可知随着输水量的增加, 输送单位污水的费用将下降。输水费用与输水量之间的这种关系, 称为污水输送规模的经济效应。

污水处理规模经济效应和污水输送规模经济效应确立了大型污水处理厂在经济上的优势地位, 是建立集中的区域污水处理厂的经济依据。

另一方面, 从式 (1-2) 和 (1-3) 可以看出, 污水的处理费用和输送费用将随规模的增大而增加, 因此, 除了考虑单位污水的处理 (输送) 费用, 还应结合总费用和图 1-4 所示的关系进行综合分析, 确定合理的污水处理规模和输送规模。

#### 四、污水处理效率的经济效应

如果污水处理规模不变, 式 (1-1) 可写作:

$$C = a_2 + b\eta^{K_4} \quad (1-4)$$

式中,  $a_2 = K_1 Q^{K_2}$ ,  $b = K_3 Q^{K_2}$  (其余符号同前)。在  $Q$  一定时, 对特定的厂,  $a_2$ 、 $b$  均为常数。大量研究表明,  $K_4 > 1$ , 即去除单位污染物所需的费用, 将随污水处理效率的增加而增加。污水处理费用与处理效率之间的这种关系, 称为污水处理效率的经济效应。 $K_4$  称为污水处理效率的经济效应指数。

对于污水处理效率的经济效应, 还可以用图 1-6 作进一步说明。由图可见, 废水处理费用随 BOD 去除率的增加而呈指数增长。有时去除最后 10% 污染物的费用可能相当于去除前 90% 的费用。

由于污水处理效率经济效应的存在, 在规划水污染控制系统时, 应首先考虑对那些尚未处理的污水进行低级处理, 或有限提高那些进行低级处理污水的处理程度, 然后再考虑较高程度的处理。

#### 五、污水处理的“代用技术”

七十年代以来, 工业发达国家大多采用二级生化处理技术, 对城市污水进行集中处理。这种措施对保护水体水质起到了很大作用, 但所需的资金投入也十分巨大。

据美国环保局统计, 1980 年美国有一级废水处理厂 1043 个, 高级一级处理厂 2360 个; 二级处理厂 7853 个, 高级二级处理厂 2443 个; 三级处理厂 251 个; 零排放处理厂 1361 个,

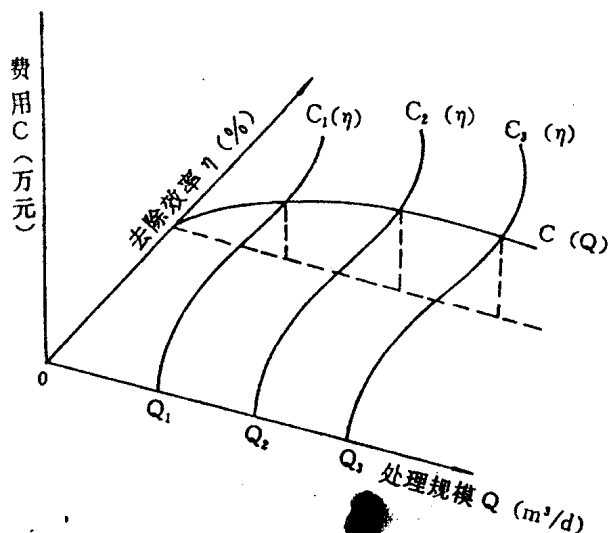


图 1-5 废水处理费用与规模 and 效率的关系



总计 15310 个。至本世纪末, 预计二级处理厂为 11903 个; 高级二级处理厂 6543 个; 三级处理厂 826 个; 零排放处理厂 2366 个, 共 21638 个。为此, 1977~1987 十年内, 用 1983 年最好的处理技术, 需耗资 4000 亿美元以上 (1975 年规划)。预计 1981~2000 年二十年间共需基建投资 2479 亿美元, 运行管理费 2055 亿美元, 合计 4534 亿美元, 每年平均 226 亿美元。美国 1972 年用于污水处理的电耗约占全国总发电量的 1.8% 和约占生产用电的 20%。

日本 1975 年用于城市废水设施总投资为 20 亿美元, 占国民总产值的 0.5%。

法国近年来每年用于水污染控制的费用占国民生产总值的 0.5~1.5%, 废水处理电耗占城市用电量的 2%。

原联邦德国 1980~1983 年中用于水体保护的投资为 158.58 亿马克, 约占环境保护总投资的 83%, 占工业总投资的 4.2%。

可见这是一项巨额的投资, 连经济发达的美国也深感财力不支。为此 1977 年美国对“水污染控制法”进行了修订, 另行颁布了“水清洁法”, 通过增加联邦补助金的办法来鼓励发展“革新技术”和“代用技术”, 部分地替代传统的城市废水二级处理技术。所谓“代用技术”主要指:

1. 出水采用土地处理、回灌地下、水产业利用、造林业利用、非饮用水再利用、风景和园艺业利用、破坏了的田地垦殖与再种植等等;
2. 污泥堆肥预处理、污泥脱水与干化, 然后施用于土地或田间;
3. 能回收能量的污泥与城市有机垃圾的联合处理、可回收 90% 以上沼气的污泥厌氧消化以及能源自给的污泥焚烧和热解处理;
4. 小型独立的就地处理系统, 如化粪池处理系统和小区域废水收集的代用系统等。

这些措施大大促进了美国替代技术的发展, 仅在以后的一两年就有 2000 个此类项目被提供补助基金。

前苏联是当前世界上污水灌溉面积最大的国家, 而且还在扩大。前苏联规定的国家下水设施设计规范中明确指出: “只有当没有条件实现自然生物处理时才能考虑人工生物处理”。目前污灌面积达 800~1200 万公顷, 处理污水 30~40 立方公里/年, 约相当于年污水总量的 25%, 其中农业污灌面积为 150 万公顷, 消耗污水 60 亿吨, 相当于年污水总量的 3.6%。

我国有几千年利用城市污水灌溉的传统, 但真正形成大规模污灌系统和科学试验, 是五十年代后期才开始并推广的。六十年代后期至七十年代初, 随着世界环境问题的出现, 以及不合理的污灌带来某些严重问题, 七十年代初, 我们开展了“全国主要污灌区环境性质普查”和“农田灌溉水质标准”研究, 基本查清了全国污灌情况、污灌效益、主要污染物种类及对土壤、地面水、地下水及人体健康的影响。经二十多年的污灌, 绝大部分土地尚未发现污染。由于有的工业废水未经处理, 带毒超标和盲目污灌确也污染了少部分地段, 有的还相当严重。为此国家建委、经委和农业部于 1979 年共同颁发了“农田灌溉水质标准”,

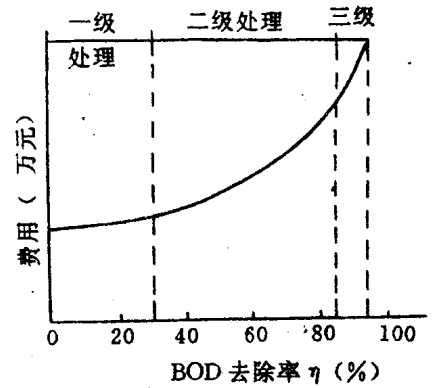


图 1-6 废水处理效率的经济性