



# 汤逊湖流域纳污能力模拟 与水污染控制关键技术研究

王浩 秦大庸 肖伟华 褚俊英 严登华 等/著



科学出版社

# 汤逊湖流域纳污能力模拟 与水污染控制关键技术研究

王浩 秦大庸 肖伟华 褚俊英 严登华 等/著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书介绍有关湖泊流域水体纳污能力的基础知识、研究现状与进展; 汤逊湖流域水环境状况评价与问题诊断, 水域叶绿素浓度遥感估测实验; 流域污染负荷评价, 湖泊水力水质模型和纳污能力评价模型构建; 流域污染物总量控制目标与分配指标确定; 流域水污染控制措施经济分析; 流域排污权交易体系框架设计; 相关理论、方法、模型和技术在保护武汉市汤逊湖湖泊水资源与水环境中的应用实例等。

本书可供湖泊流域水环境评价、湖泊水域纳污能力评价、水污染总量控制与分配和排污权交易等领域的工作人员, 以及水利、环境、湖泊管理相关专业科研人员 and 高等院校师生阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

汤逊湖流域纳污能力模拟与水污染控制关键技术研究 / 王浩, 秦大庸, 肖伟华等著. —北京: 科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-034031-3

I. 汤… II. ①王…②秦…③肖… III. 湖泊污染-污染防治-研究-武汉市 IV. X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 067782 号

责任编辑: 李 敏 张 菊 / 责任校对: 朱光兰

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏志印刷厂印刷



科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012 年 5 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2012 年 5 月第一次印刷 印张: 15 3/4 插页: 8

字数: 320 000

定价: 80.00 元

如有印装质量问题, 我社负责调换

## 前 言

湖泊无论是对社会经济的发展,还是对生态系统功能的维持,都有着极其重要的意义。然而随着经济的快速发展,我国湖泊开始面临一个前所未有的挑战:数量迅速减少、面积日益萎缩、水质急剧恶化、水生态功能退化。随着太湖、巢湖和滇池相继暴发大规模的水华,危及周边群众的饮水安全,湖泊水污染危机成为一个引起全社会高度关注的问题。湖泊不仅具有维持相关自然资源的功能,更为人类提供长期水源、灌溉、防洪、发电、交通、调节气候与径流、观光游憩等服务。作为世界上湖泊比较集中的地区之一,我国共有两万多个湖泊,其中面积 $1\text{km}^2$ 以上的有2700多个,总面积约9万 $\text{km}^2$ 。其中淡水湖泊面积为3.6万 $\text{km}^2$ ,淡水储量2260亿 $\text{m}^3$ 。长江中下游平原和青藏高原是我国湖泊最为集中的区域。尽管湖泊众多,但随着经济迅猛发展、人口集聚以及不合理的开发利用,近50年来,在我国东中部地区因围垦造成湖泊面积减小约1.3万 $\text{km}^2$ ,超过了五大淡水湖的面积总和。在我国湖泊数量急剧减少的同时,由污染而导致的水质恶化是湖泊面临的最严重问题。由于大量工业污染物以及面源污染进入,目前有75%的湖泊出现不同程度的富营养化。因此,进行湖泊纳污能力评价与湖泊流域水污染调控关键技术研究具有很重要的意义,它不仅对发展和完善湖泊纳污能力评价的理论与方法有重要意义,而且在实际管理中对有效地控制湖泊流域水污染也具有十分重要的应用价值。

目前,国内对于湖泊保护还没有形成一个系统的湖泊保护治理模式。湖泊治理条块分割,以湖泊本身作为治理主体和以工程措施为主要手段,只能治标不能治本,因此仍然存在不少问题。本书力图以流域角度的视野,从湖岸入手,与湖泊水体结合,运用湖泊水动力水质与纳污能力集成模型等辅助手段进行湖泊水污染总量控制研究。这种模式以湖泊流域“自然-社会”二元水循环为基础,综合考虑湖泊治理的工程措施、非工程措施和生物措施等,结合污染物在湖泊水体中的降解转化过程、反应动力学和水体耗氧与复氧等规律,形成一个完整的体系,能有效地缓解水环境污染,减轻湖泊水环境治理的压力,从而促进湖泊保护,改善湖泊水环境质量。

全书共分为11章。第1章概述本书研究的背景和意义,综述湖泊纳污能力评价与湖泊流域水污染调控研究的现状与进展,阐述本书研究的目标、内容和技

术路线。第2~4章在分析湖泊水体纳污能力影响因素和汤逊湖流域特征的基础上,对汤逊湖流域水环境状况进行了评价,指出了汤逊湖流域水环境状况的主要影响因素;并运用遥感估测法对汤逊湖水体叶绿素浓度进行了实验研究。第5~8章构建针对湖泊流域特点的汤逊湖流域水环境模拟与纳污能力评价集成模型平台,并应用该模型平台对汤逊湖流域污染负荷进行计算分析,对汤逊湖湖泊水体平面二维水流运动和水污染物转化与归趋的特征进行反演,在此基础上,对汤逊湖湖泊水体纳污能力进行了分区评价。第9~10章提出汤逊湖湖泊水体污染物总量控制目标,应用三级分配的方法在污染源之间、湖泊流域分区和排污口三个层面进行污染负荷的分配,设计汤逊湖流域水污染防治保障体系和控制措施,并对汤逊湖流域水污染控制措施进行经济比较分析。第11章主要对汤逊湖流域排污权交易的关键技术进行了初步研究。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金创新群体研究基金(51021066)、国家自然科学基金课题(51009150)、国家重点基础研究发展计划课题(2010CB951102)和武汉市汤逊湖纳污能力研究项目(ZJ0203012007, Z0202112009)的共同资助。本书编写的具体分工如下。第1章由王浩、肖伟华和褚俊英执笔;第2章由肖伟华和褚俊英执笔;第3章由秦大庸、褚俊英和涂金花执笔;第4章由肖伟华和黄耀欢执笔;第5章由王浩、肖伟华、严登华和褚俊英执笔;第6章由褚俊英、秦大庸和李玮执笔;第7章由肖伟华、王浩、严登华和庞莹莹执笔;第8章由秦大庸、肖伟华和庞莹莹执笔;第9章由王浩、肖伟华和王海潮执笔;第10章由秦大庸、李玮、褚俊英和肖伟华执笔;第11章由肖伟华、涂金花和王鹏执笔。全书由王浩、秦大庸与肖伟华统稿。

本书在研究和写作过程中,得到了武汉市水务局和武汉市水利规划设计与研究院相关领导和研究课题组成员的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢!感谢课题组的所有成员!

由于湖泊水资源与水环境系统问题本身存在复杂性,且数学模拟与风险管理学科交叉,加之时间和水平有限,书中错误在所难免,敬请读者批评指正。

作者

2012年3月于北京

# 目 录

序

前言

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 第 1 章 绪论 .....                    | 1   |
| 1.1 湖泊纳污能力与水污染控制研究需求 .....        | 1   |
| 1.2 湖泊纳污能力与水污染控制研究进展 .....        | 4   |
| 1.3 主要研究内容 .....                  | 8   |
| 第 2 章 湖泊流域水体纳污能力的影响机理 .....       | 10  |
| 2.1 湖泊纳污能力的基本概念与构成 .....          | 10  |
| 2.2 纳污能力的影响因素分析 .....             | 11  |
| 2.3 纳污能力计算的主要方法 .....             | 14  |
| 第 3 章 汤逊湖流域特征与水环境问题诊断 .....       | 16  |
| 3.1 汤逊湖流域的基本特征 .....              | 16  |
| 3.2 汤逊湖流域水环境状况评价 .....            | 21  |
| 3.3 汤逊湖流域水环境问题归因分析 .....          | 37  |
| 第 4 章 汤逊湖水体叶绿素浓度遥感估测分析 .....      | 40  |
| 4.1 湖泊水体叶绿素分析概述 .....             | 40  |
| 4.2 实验概况与数据说明 .....               | 41  |
| 4.3 实验数据分析 .....                  | 42  |
| 第 5 章 汤逊湖流域水环境模拟与纳污能力评价集成模型 ..... | 50  |
| 5.1 汤逊湖流域水环境模拟与纳污能力评价综合模型 .....   | 50  |
| 5.2 汤逊湖流域水量平衡分析模型 .....           | 51  |
| 5.3 汤逊湖流域污染负荷模型 .....             | 56  |
| 5.4 汤逊湖水体水环境模型 .....              | 64  |
| 5.5 汤逊湖水体纳污能力评估模型 .....           | 69  |
| 第 6 章 汤逊湖流域污染负荷全方位评价技术 .....      | 71  |
| 6.1 流域污染负荷的影响因素分析 .....           | 71  |
| 6.2 流域现状与未来水平年入湖污染负荷分析 .....      | 84  |
| 6.3 流域污染负荷的不确定性分析 .....           | 112 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 第7章 汤逊湖水体水力水质模拟计算 .....           | 119 |
| 7.1 湖泊流域水量平衡模拟 .....              | 119 |
| 7.2 汤逊湖平面二维水动力模拟 .....            | 124 |
| 7.3 汤逊湖平面二维水质模拟 .....             | 131 |
| 第8章 汤逊湖水体纳污能力评价 .....             | 143 |
| 8.1 汤逊湖水环境保护目标 .....              | 143 |
| 8.2 汤逊湖纳污能力的评估结果 .....            | 143 |
| 第9章 汤逊湖流域污染物总量控制与分配技术 .....       | 172 |
| 9.1 汤逊湖流域水污染物入湖总量控制与削减 .....      | 172 |
| 9.2 汤逊湖流域水污染物控制总量的分配 .....        | 173 |
| 9.3 汤逊湖流域水污染调控的方案设计 .....         | 186 |
| 9.4 构建汤逊湖流域水污染防治综合保障体系 .....      | 189 |
| 第10章 汤逊湖污染控制措施的经济分析技术 .....       | 192 |
| 10.1 汤逊湖污染控制措施的经济分析方法 .....       | 192 |
| 10.2 重点措施的成本效益 .....              | 193 |
| 10.3 污染控制措施模型优选 .....             | 200 |
| 第11章 汤逊湖流域排污权交易关键技术研究 .....       | 205 |
| 11.1 排污权交易概述 .....                | 205 |
| 11.2 汤逊湖流域排污权交易的必要性与可行性 .....     | 209 |
| 11.3 汤逊湖流域排污权交易体系的框架设计与关键技术 ..... | 211 |
| 11.4 排污权交易的保障体系 .....             | 217 |
| 参考文献 .....                        | 220 |
| 附录 .....                          | 226 |
| 彩图 .....                          |     |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 湖泊纳污能力与水污染控制研究需求

### 1.1.1 实践需求分析

湖泊是我国许多城市重要的取水水源地和备用水源地，湖泊水资源保护是建立水资源保护和河湖健康保障体系的一个重要内容。同时，湖泊是一种宝贵的自然资源和具有复杂结构的生态系统，具有不可替代的多方面价值和功能，如调节径流、供应水源、水产养殖、调节生态环境和气候、水运功能以及娱乐功能等。我国是一个湖泊众多的国家，湖泊水体作为我国水资源赋存的重要形式，其生态健康与安全是 21 世纪我国经济社会发展的重要保障。自 20 世纪 80 年代以来，我国许多湖泊水体污染和富营养化状况呈现明显加重趋势。从根本上讲，湖泊水污染以及富营养化问题是跨越时空的自然演变与社会经济发展共同作用的结果，它伴随着流域水文循环过程以及人类长期、持续的社会经济活动而不断强化。当前湖泊水环境污染以及富营养化问题发展快、危害大、处理难、恢复慢，已成为世界范围内最为严重的环境问题之一（Jørgensen, 1999; Rast and Holland, 1988; 刘凌和崔广柏, 2004）。

世界各国的实践表明，湖泊水污染问题的产生与发展，表面上是资源与环境危机，实质上是治理与调控危机（赵生才, 2004）。面临湖泊萎缩和水质恶化的严峻形势，如何合理、有效、可持续地保护和利用湖泊水资源，是我国社会经济与资源环境科学发展的必然要求。长期以来，在湖泊水环境管理方面，我国主要以污染物的排放标准作为主要依据实行浓度控制占据主导地位的湖泊管理。由于流域可纳污量日益减小，即使污染源全部达标也难以满足水环境功能目标的要求。因此，实行以纳污能力为核心的污染物总量控制与管理势在必行。纳污能力的核算是污染物总量控制的科学基础，是保证污染物总量控制制度规范性、系统性和可操作性的重要环节。

根据 2009 年 2 月全国水资源工作会议的精神，在当前及今后一个时期，以水资源配置、节约和保护为重点的水资源管理工作要在 2020 年初步形成与全面

建设小康社会相适应的现代化水资源管理体系,努力实现六项目标。其中之一就是基本建成水资源保护和河湖健康保障体系。重要城市供水水源地水质全面达标,主要江河湖泊水功能区水质达标率提高到80%以上。重点地区水生态状况明显改善,地下水超采现象得到有效治理,严重超采区状况根本好转,河流生态用水基本得到保障,部分生态严重损坏的河流得到逐步修复,生态严重退化的状况得到显著改善。因此,要全面落实最严格的水资源管理制度,围绕水资源的配置、节约和保护,明确水资源开发利用红线,严格实行用水总量控制;明确水功能区限制纳污红线,严格控制入河排污总量;明确用水效率控制红线,坚决遏制用水浪费。

实现基本建成水资源保护和河湖健康保障体系,水资源管理部门要按照“三条红线”严格执法监督,以水功能区管理为载体,进一步加强水资源保护。主要强调三个方面的工作:①加强饮用水水源地保护。各地要按照水法和国务院批准的《全国城市饮用水安全保障规划(2006—2020)》的要求,制定水源地保护的监管政策与标准,强化饮用水源保护监督管理,完善水源地水质监测和信息通报制度。要加快重要饮用水水源地综合治理,推进农村饮水水源保护,进一步建立和完善水污染事件快速反应机制。②强化水功能区监督管理。进一步完善水功能区管理的各项制度,科学核定水域纳污能力,根据国家节能减排总体目标,研究提出分阶段入河污染物排放总量控制计划,依法向有关部门提出限制排污的意见。严格监督入河排污口的管理,加强省界和重要控制断面的水质监测,强化入河排污总量的监控,及时将有关情况通报各级政府和有关部门。③加强水生态系统保护与修复。抓紧建立生态用水及河流健康指标体系,加强水利水电工程生态影响评估论证,对不符合生态用水指标要求的,一律不得审批取水许可。开发利用水资源要维持河流合理流量,维持湖泊、水库和地下水的合理水位,防止水源枯竭和水体污染。

武汉市水域面积约占全市总面积的25.6%,以长江和汉江为干流,组成了庞大的河湖水网。当前,武汉市在湖泊开发利用过程中面临着三个突出的问题,即水污染严重、湖泊萎缩和水量锐减以及湖泊生态系统退化(汪常青等,2004),因此武汉市湖泊水资源保护和河湖健康保障体系的形势非常严峻。从整体上讲,湖泊水资源污染以及生态系统的退化日益严重,直接威胁区域经济社会的可持续发展和湖泊流域内人们的生存环境。特别是位于武汉东南部、面积占中心城区38个湖泊总面积18.7%的汤逊湖,随着周边工业、产业和园区的建设,水体污染严重,整体已为V类水质,不能满足Ⅲ类水功能区的要求,水生态系统退化,严重威胁到武汉市备用水源地的水质安全(涂金花等,2006)。

汤逊湖具有我国长江中下游平原湖泊的一些共性,即停留时间较长,面宽水

浅（平均水深 1.85m），易受风生环流、动力作用影响导致底泥悬浮，河湖水力调度关系复杂。因此，研究浅水湖泊的物理过程、营养物生物地球化学循环、富营养化发生机制以及生态系统响应、水污染与富营养化调控与可持续管理，是当前迫切需要回答的主要科学问题。对这些机理、机制、过程进行深入分析，对于发展具有中国特色的湖泊水环境污染控制的理论与方法，推动我国湖泊水环境管理实践具有十分重要的意义。

为此，本书从系统的流域思想出发，融合多学科发展的最新进展，以汤逊湖及其流域作为典型剖析对象，从流域水质、水量统一的角度出发，基于水污染“源-汇”全要素过程，构建湖泊流域水环境污染模拟平台，并在此基础上，以纳污能力的研究为核心，探索湖泊流域水资源保护的新思路。湖泊流域纳污能力与水污染控制是当前武汉市乃至我国湖泊流域水污染与水体富营养化防控领域所面临的关键技术问题。总体上，本研究具有迫切的现实背景和深远的理论意义。

### 1.1.2 科技需求分析

经过 30 多年的努力，我国虽然形成了一批行之有效的水处理技术与设备，对我国水污染控制发挥了重要的作用，但我国水污染状况不容乐观，水资源短缺的矛盾日益突出，水污染控制的任務日益艰巨，依靠科技、实施科技创新是控制与保护我国水环境质量的必由之路。未来很长一段时间，我国经济将进入持续快速发展阶段，社会也将随之快速进步，人们对水环境的要求将越来越高，水污染控制与治理的科技需求日益紧迫。

为实现我国经济社会又好又快发展，调整经济结构，转变经济增长方式，缓解能源资源和环境的瓶颈制约，《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》确定了“水体污染控制与治理”科技重大专项的实施，其中包括：“研究流域水污染控制、湖泊富营养化防治和水环境生态修复关键技术，开展流域水污染治理技术集成示范；研究多尺度水质在线监测、遥感遥测和水质水量优化调配技术，开展流域水质监控、预警和综合管理示范。”

国家科技重大专项“水体污染控制与治理”的实施方案指出，为了实现水环境改善的目标，政府在充分运用行政手段的基础上，将更大程度地依靠科技进步，实行流域层面的水环境管理法规、经济政策，以先进的水污染控制与监管技术作为实现水环境持续改善的重要手段。实现国务院确定的水污染物减排目标迫切需要科技创新作为支撑。并且，随着我国水污染控制工作的力度不断加强，流域水污染防治与监控技术的市场需求非常强烈。国家把水环境质量改善、保障人民饮用水安全作为地方政府的重要考核指标，国家和地方政府将投入大量资金控

制污染物排放、修复遭破坏的水环境、保障饮用水安全,一大批污染治理、水体修复、饮用水安全保障的项目和工程将得到逐步实施。这些项目与工程的实施对农业面源污染控制技术、水体生态修复技术、湖泊富营养化控制技术、供水水质监控与预警技术、流域水环境监控与预警技术等污染防治与监控技术有很大需求。因此,我国水污染控制与纳污能力研究的需求主要体现在两个方面:重点流域水污染治理规划实施的技术支撑需求和流域水污染防治与监控的科技支撑需求。

同时,《国家“十二五”科学和技术发展规划》和国家科技重大专项“水体污染控制与治理”的实施方案的“十二五”目标中指出,要突破水体“减负修复”关键技术,形成水环境污染治理示范,示范流域水质得到明显改善,并在继续攻克污染负荷削减关键技术的基础上,重点突破面源污染控制、有毒有害污染物控制、水体生态修复和饮用水净化关键技术;突破示范流域水环境监控技术体系与开展业务化运行的关键技术,完善流域水环境监控与综合管理技术体系和水污染治理技术体系,在流域尺度上开展综合技术示范;全面提升我国水环境科技研发能力;全面提升流域水污染控制与治理技术水平和流域水环境监控能力,示范流域水环境监控、预警实现业务化运行,确保示范流域污染物排放总量得到有效削减、水环境质量得到明显改善、饮用水安全得到有效保障,促进流域社会经济可持续发展。

因此,湖泊流域纳污能力模拟与水污染控制关键技术研究有着广泛的科技需求。

## 1.2 湖泊纳污能力与水污染控制研究进展

### 1.2.1 湖泊纳污能力研究进展

根据水质目标,计算水体的环境容量,并进一步实施水污染物总量控制,是保证水环境质量的根本方法,也是水污染防治量化的依据。从我国“六五”科技攻关计划开始,通过五年计划,在“六五”期间对水环境容量进行了研究(张永良和刘培哲,1991;夏青,1996);“七五”、“八五”期间,对排放水污染物许可证、水环境保护功能区划分和水环境综合整治规划等技术进行了研究;“九五”和“十五”期间,推行污染物排放目标总量控制制度。目前开始进行以容量总量为基础的总量核定工作。总体上,在概念内涵、理论方法、模型技术和规律认识方面都取得了丰富的理论研究与研究成果。

水体的纳污能力是指水域使用功能在不受破坏的条件下接纳污染物的最大数

量,即在一定设计水量条件下,满足水功能区水环境质量标准要求的污染物最大允许负荷量(邢文刚等,2007)。纳污能力是指水体在满足一定功能要求、设计水文条件和水环境目标下所允许容纳的污染物质,与水体水力学特征、污染物性质、水质目标、排污口位置以及排污方式等诸多因素有关,这些因素直接影响入流污染物的稀释降解能力以及污染物质在水体中的时空分布(张永良和刘培哲,1991;杨迪虎,2005)。规划水域纳污能力分析是水资源保护研究的关键技术,是总量控制的依据。其控制标准以《地表水环境质量标准(GB3838—2002)》中的相应级别表达,根据实际情况设定。

有研究认为水环境容量与水体纳污能力的定义有所不同(廖文根等,2002)。水环境容量是指在给定的水环境保护目标、设计水文条件和水体的自然背景值条件下水域能够容纳污染物的最大数量;水体纳污能力主要针对污染控制区,是指在给定水域的水文、水动力条件、水质标准、排污口位置及排放方式的情况下,水域能够容纳污染物的最大量。但是,二者的核心内容都是一致的,都是在一定的边界条件下确定水域能够容纳的污染物的最大量。同时,也有研究认为河流纳污能力(也称河流水环境容量)计算是水环境管理工作的一项重要内容(李如忠等,2003)。因此,我们在研究水环境容量与水体纳污能力的手段与方法上基本都是相同的。

水环境容量的研究对象是污染物在水环境中的自净能力。水环境容量是水环境研究领域的一个基本理论问题,是水环境管理的一个重要应用技术环节,也是水污染物总量控制的依据。20世纪80年代初期,对水环境容量的研究多采用相对较为简单的水质模型。经过十几年的研究和发展,水环境容量的研究范围也从一般耗氧有机物和重金属扩展到N、P负荷和油污染的研究;研究空间也从小河流扩展到大水系,从单一河流扩展到湖泊、河口海岸及复杂的平原河网地区;模型状态也从稳态或准动态发展为动态模型(张永良和刘培哲,1991)。目前,河流水环境容量的计算方法主要有三种,分别为解析公式法、模型试错法和系统最优化分析方法(徐祖信等,2003)。

水环境容量反映污染物在环境中的迁移、转化和积存规律,是水环境对污染物的承受能力和在规定环境目标下所能容纳的污染物质。自然水体具有存储、输移、降解或使污染物无害化的能力,因此,水环境容量由以下三个部分组成:

- ①存储容量。污染物由于稀释和沉积作用逐渐分布于水和底泥中,其浓度达到基准或标准值时水体所能容纳的污染物质。
- ②输移容量。进入流动水体之中的污染物随着水体向下游移动,随水和底泥迁移的量,它表示水体输移污染物的能力。
- ③自净容量。水体对污染物进行降解或无害化处理的能力。若污染物为有机物,自净容量也常称为同化容量。其中,自净容量主要表现为水生生物对水质的净化

作用,尤其对滞流和缓流水体,即可将进入水体的有毒有害物通过生物转化变为无害化状态,不断将污染物吸收同化而形成一定的生物量,且可不断再生。

## 1.2.2 水污染总量控制研究进展

### 1.2.2.1 国际上的研究进展

从国际研究发展来看,环境容量和污染物排放总量控制的概念首先是日本学者提出的。在20世纪60年代末,日本为改善水和大气环境质量状况,提出了污染物排放总量控制问题,即把一定区域内的大气或水体中的污染物总量控制在一定的允许限度内。1984年日本将第一个水污染总量控制目标规划实际运用于水质污染控制。日本在实施污染物总量控制后,污染控制及生态环境保护效果非常明显,环境质量得到明显改善。

美国环境保护署(EPA)于1972年在《水清洁法》303条款中,提出TMDL(Total Maximum Daily Loads)计划的概念,即最大日负荷量,也可以用TMYL表示为最大年负荷量。美国从1972年开始在全国范围内实行水污染物排放许可证制度,并使之在技术路线和方法上不断得到改进和发展。1983年又正式立法,实施以水质限制为基点的排放总量控制。美国是总量控制比较完善的国家,建立了由联邦制定基本政策和排放标准,由各州实施的强制性管理制度;基本上形成了以基于污染控制技术的排放标准管理为主,以水质标准管理为补充,以总量控制和排污许可证为主要内容的水污染防治机制。

20世纪80年代联邦德国以及欧共体其他各国采用水污染物排放总量控制管理方法后,使60%以上排入莱茵河的工业废水和生活污水得到处理,莱茵河水质有了明显好转。其他国家如瑞典、苏联、韩国、罗马尼亚、波兰等也都相继实行了以污染物排放总量为核心的水环境管理方法,取得了一定的效果。近几年,瑞典实施广泛的氮削减总量控制计划,到2000年,30%~35%的城市污水处理厂设有除氮工艺过程,使氮的排放量在1985年的基础上削减了40%(徐树媛,2006)。澳大利亚也以污染物排放总量控制为核心制定环境保护法令和制度,在污染控制和改善环境质量上也取得了良好效果。

### 1.2.2.2 国内的研究进展

从国家政策层面上看,我国的水环境污染总量控制研究始于20世纪70年代末,以制定第一松花江BOD总量控制标准为先导,进行了最早的探索和实践;接着在“六五”期间,以沱江为对象,进行了水环境容量、污染负荷总量分配的研究和水环境承载力的定量评价;“七五”期间,陆续在长江、黄河、淮河的

一些河段和白洋淀、胶州湾、泉州湾等水域,以总量控制规划为基础,进行了水环境功能区划和排污许可证发放的研究。到了20世纪80年代中期,我国开始对中国近海海域环境污染物自净能力和环境容量进行一些有益的探索,国家环境保护局从“七五”开始组织海洋环境污染物自净能力研究。1988年3月,国家环境保护局关于以总量控制为核心的《水污染物排放许可证管理暂行办法》和《开展排放许可证试点工作通知》的下达,标志着我国开始进入总量控制、强化水环境管理的新阶段。在1996年全国人民代表大会通过的《关于国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要的报告》中,污染物总量控制正式成为中国环境保护的一项重大措施。国家环境保护局为落实“九五”环保计划,特编制了《“九五”期间全国主要污染物排放总量控制计划》,在“九五”期间对环境危害较大的12种污染物实行总量控制,这是控制我国环境恶化加剧趋势的重要举措,也是我国环境管理工作的一次重大转轨。针对在总量控制实施中的问题和情况,国务院于2000年3月20日颁布了《中华人民共和国水污染防治法实施细则》,在其中用多项条款对总量控制作了细化和更具有可操作性的规定。国家海洋局“九五”期间也在大连湾、胶州湾和长江口组织实施了以中国近海环境容量计算为目标的有关研究计划。在国家出台总量控制工作相关政策的同时,各省、市也相继开展了关于总量控制的研究工作。例如,沈阳市化工行业污染物流失量的控制,对市西部污染系统的总量控制;辽宁省的点源排放总量指标管理;松花江水系的污染物总量控制;天津市的重金属排放总量控制等。水污染物总量控制已逐渐成为我国实施水环境管理的重要措施,并且将在经过浓度控制、目标总量控制两个阶段之后,逐渐过渡到容量总量控制阶段。

同时,在总量控制的实施、政府决策与排污权交易方面,我国研究者也做了大量工作。例如,张天柱(1990)对区域水污染物排放总量控制的系统理论模式进行了探讨,提出把水污染物排放总量控制作为一个涉及经济、法律、行政、技术等多方面综合的水环境管理体系进行研究;施晓清和王华东(1996)提出了按环境区划和按政府行政分级的多层分区排污交易体系;王勤耕等(2000)对总量控制区域排污权的初始分配方法进行了研究,最终提出以排污权交易为核心的总量控制技术路线应包括排污权初始分配、排污权交易、总量控制管理三个环节;李嘉和张建高(2001,2002)在充分考虑各污染源对容量资源竞争的意识下,推导并建立了排污量限制和排污浓度限制的协同控制模型;张明旭(2003)基于环境经济学的最优化原则,对上海市推行的排污总量控制、超量排污罚款和对允许排放量限度内的排污征收生态环境补偿费进行了探讨;杨姝影(2004)对在我国刚刚起步的排污权交易制度,包括其历史、经济学原理、可行性、必要性、基本作用以及面临的困难和问题进行了初步探讨。

### 1.3 主要研究内容

本书以汤逊湖湖泊水体为重点区域,在考虑水体水质和湖泊流域土地利用、水力调度等强关联的背景条件下,利用数学模拟技术,进行现状和未来水平年水体动态纳污能力的模拟计算。同时,提出湖泊流域污染控制与削减的目标、措施等。围绕四个方面提出一个湖泊水污染控制的范式,分别是:①通过现场勘察、实际分析把握汤逊湖水体水质形势,评价湖泊水体水环境状况,识别汤逊湖水环境演变的原因和趋势;②构建汤逊湖水环境模拟与纳污能力评估综合模拟平台,根据汤逊湖面宽水浅的特点,建立二维水动力、水质模型、湖泊流域污染负荷模型和纳污能力评估模型,并耦合形成集成模型框架,完成模型在汤逊湖流域的应用;③提出基于水体纳污能力的汤逊湖湖泊流域水污染物控制总量指标及其层层分配方案,并针对保障污染物总量控制的措施进行经济性定量评价;④构建汤逊湖流域排污权交易的框架体系。围绕四个方面的目标,研究内容主要包括如下四个方面。

1) 基于原型观测试验的汤逊湖水环境状况与纳污能力的影响机制研究。汤逊湖湖泊水体的局部与整体水环境的状况受到沿湖周边污染物的排放入湖方式与过程,以及湖泊水体动力学过程的影响,它们是汤逊湖水质与纳污能力的关键影响因素。本书在大量原型观测试验的基础上,研究上述因素与汤逊湖水环境质量和纳污能力的互动关系。具体包括:①研究排污口不同布置方案对湖泊水体纳污能力的影响;②根据湖泊流域内土地利用进一步分析汤逊湖流域内的陆域产流过程;③完善污染源的产生与入湖过程的研究,尤其是面源与内源;④开展湖泊水体流场对纳污能力影响的研究;⑤研究汤逊湖水体的污染物输移扩散规律,识别局部重污染区及敏感区的形成原因与变化趋势。

2) 汤逊湖流域水环境模拟与纳污能力的综合模拟平台开发与应用技术研究。构建汤逊湖流域水环境模拟模型,依据湖泊水体水环境评价结果建立汤逊湖水体纳污能力评价指标体系。主要研究内容包括:①建立汤逊湖流域河网与二维湖泊水动力学与水质模拟一体化的模型;②研究流域污染负荷全方位模拟模型;③模型参数率定与模型验证。

3) 汤逊湖水污染负荷总量控制指标与分配方案研究。以汤逊湖水质与纳污能力的影响机制为基础,深入研究汤逊湖纳污能力的水质标准,根据流域内不同污染源的特点提出污染负荷分配方案。主要内容包括:①按地表水水环境Ⅲ类水质标准要求,基于综合模拟平台,通过模拟计算汤逊湖流域的纳污能力;②设置情景,提出合理的污染负荷分配方案;③基于科学性、系统性与合理性原则,将

主要污染物在不同污染源之间、不同地区之间以及不同排污口之间进行分配，并提出水污染削减的主要策略。

4) 基于纳污能力的汤逊湖流域污染控制关键技术体系研究。主要内容包括：①完善保障分配成果实施与水质目标实现的技术措施与管理措施；②评价不同方案下的工程与技术措施的成本与效益，进行水污染防治措施经济性的定量化识别；③在污染负荷分配的基础上，探索新的管理模式，构建汤逊湖流域排污权交易的方法框架。

## 第2章 湖泊流域水体纳污能力的影响机理

### 2.1 湖泊纳污能力的基本概念与构成

从本质上说,水体的纳污能力是由水环境系统结构决定的。一般而言,水体对外界污染负荷的冲击具有一定的同化能力,这种同化能力是水环境系统与外界物质输送输入、能量交换、信息反馈的能力和自我调节能力的表现。为维持人类生存并使生态系统不致受到损害,水体中所能容纳的污染物数量是有一定限度的。只有污染物侵入量在这一限度内,水体的功能才能有效发挥,并可被人们循环、持续地利用;一旦污染物侵入超过这一限度,水体功能就会受到损坏,甚至彻底性破坏。这种限度不仅包括自然界固有的净化污染的能力,也包括人类活动对污染物净化能力的扩充。

目前,对于纳污能力还没有统一的定义,通常包括狭义和广义的两大类。

1) 狭义的纳污能力主要是考虑排污口的空间位置的影响,是人类一定开发利用模式条件下水体的纳污能力,其比较有代表性的定义是,水体纳污能力特指“水体在设计水文、规定环境保护目标和排污口位置条件下,所能容纳的最大污染物量”(廖文根,2003);根据排污口的布置和特点,狭义的纳污能力还可细分为所利用的纳污能力和可优化利用的纳污能力(考虑了成本与效益的因素)。

2) 广义的纳污能力的内涵与水环境容量近似,不考虑排污口的真实的、具体的位置,该纳污能力在实践中应用也尤为广泛。比较有代表性的,例如,水利部2006年颁布了《水域纳污能力计算规程(SL348—2006)》,其中将纳污能力定义为“在设计水文条件下,某种污染物满足水功能区水质目标要求所能容纳的该污染物的最大数量”。再比如,水功能区纳污能力是指“满足水功能区水质目标要求的污染物最大允许负荷量,即在满足水域功能要求的前提下,按给定的水功能区水质目标值和设计水量,功能区水体所能容纳的最大污染物量(叶青季和孔繁力,2005)。按照是否考虑人类活动的影响,广义的纳污能力又可分为理想的纳污能力(原始本底)和现实的纳污能力(考虑人类活动的影响)两类。

湖泊水体的纳污能力通常由三部分构成,即水体对污染物的稀释能力、自净能力和输移能力三部分构成:①稀释能力是水环境对污染物进行稀释的物理过程