



湖泊富营养化

控制和管理技术

● 金相灿 主编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

湖泊富营养化控制和管理技术

金相灿 主编

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

湖泊富营养化控制和管理技术/金相灿主编. 北京:
化学工业出版社, 2001.9
ISBN 7-5025-3398-2

I. 湖… II. ①金…②尚… III. 湖泊-富营养
化-污染防治 IV. X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 048831 号

湖泊富营养化控制和管理技术

金相灿 主编

责任编辑: 侯玉周

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 于 兵

*

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)64918013

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 360 千字

2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-3398-2/X·111

定 价: 38.00 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

《湖泊富营养化控制和管理技术》

编写人员

主 编 金相灿：国际湖泊环境委员会，理事
中国环境科学研究院水研究所，所长，研究员
副 主 编 尚榆民：云南省大理州城乡建设环保局，局长，高工
徐南妮：中国环境科学研究院环境生态研究所，副研究员
屠清瑛：中国科学院南京地理与湖泊研究所，研究员

主要编写人员

金相灿	尚榆民	徐南妮	屠清瑛	胡小贞
叶 春	柳惠青	李文朝	金丹越	高庆先
赵晓宏	颜昌宙	舒俭民	杜宝汉	荆一凤
刘文祥	沈 兵	罗增寿	李锦秀	刘 敏

前 言

我国是一个多湖泊国家,大于 1km^2 的天然湖泊有 2300 余个,湖泊面积为 70988km^2 ,湖泊总贮水为 $7077 \times 10^8\text{m}^3$,其中淡水贮量为 $2250 \times 10^8\text{m}^3$,水库共 86852 座,总库容 $4130 \times 10^8\text{m}^3$ 。湖泊和水库总贮水可达 $6380 \times 10^8\text{m}^3$,是我国最重要的淡水资源之一,为人们提供了水利防洪、用水供水、水产养殖以及气候调节等多种功能,对社会和经济的发展起到了不可估量的作用,是人民生活不可缺少的宝贵资源。因此,湖泊水资源与我国经济持续发展以及人民生活休戚相关。

随着我国工农业的迅速发展和城市化进程,工业废水和生活污水排放量日益增加,湖泊流域开发活动加剧,加之人们一个时期以来,环境意识淡薄,将湖泊用作工业废水、生活污水纳污和农业灌溉退水的场所,一些不合理的人为开发活动如:围湖造田、森林砍伐、网箱养鱼以及湖滨带破坏等给诸多湖泊环境造成了不良影响。全国性的湖泊富营养化、干旱地区湖泊水质咸化、湖泊淤积或萎缩、湖泊生态破坏以及水质恶化等环境问题不断出现和发生,致使我国许多湖泊生态系统出现障碍,给湖区的人民生产和生活造成了巨大损失。因此富营养化已成为我国湖泊当今重大环境问题。

近十多年,在湖泊污染尤其富营养化的治理及控制技术研究和开发方面,已取得了丰富的经验和丰硕的成果,在点污染源治理方面,已有系列工程技术可供各个湖泊治理时选用,然而相对非点源的治理难度较大,在发达国家的湖泊污染治理中,由于非点源污染问题不十分突出,因而可借鉴的技术十分有限,幸运的是在我国“九五”与“八五”国家科技攻关项目“中国湖泊生态恢复工程及综合治理技术研究”与“滇池城市饮用水源地污染防治技术研究”中开展了深入细致的研究,建立了一系列的示范工程,在我国其他湖泊污染治理中也积累了一些经验。在湖内污染源治理方面,滇池和巢湖已完成了若干个污染底泥疏浚工程的设计和实施,在污染底泥的疏挖、处置方面已有了成功的实践。在湖泊大型水生生态系统恢复工程技术与管理技术方面,洱海、滇池、于桥水库及太湖等湖泊均有不同程度的研究和实践,开展了工程可行性研究和设计,有的已经建成了示范基地或小规模工程。上述各种工程技术和实践为本著作的编写奠定了基础。

本著作是针对我国湖泊富营养化与污染控制及管理方面的专门的技术性指南。本书以湖泊富营养化控制最新理论——控源(控制污染源)和生态修复相结合,从湖泊流域系统出发保护与治理湖泊,以控制与管理相结合作为主体思想,提出了湖泊富营养化控制总体方案制定技术,湖泊污染源控制技术,湖泊流域生态恢复技术与湖泊环境管理技术。内容包括湖泊及其流域各种各样的治理和控制技术,涉及面十分广泛,许多内容是首次提出,因此本书是我国在湖泊富营养化及污染治理和控制方面的第一部系统化的技术性指南。正由于如此,本书在湖泊富营养化与污染治理与控制方面是首次尝试,尚有许多不足之处有待完善,恳请同行与专家批评指正。

本技术指南集我国众多湖泊和水库富营养化与污染治理和控制的技术成果与经验,是一大批同行专家多年实践的技术结晶和劳动成果,因此我们在此向所有为本技术指南作过努力和贡献的同行专家表示深切的谢意,对支持和关心本技术指南编写与出版的各位领导和同行

表示衷心感谢。

中国水利水电科学研究院刘树坤教授、中国林业大学余新晓教授、中国农业大学张福锁教授，对本书有关章节进行了认真审阅，付出了辛勤的劳动；贺艳梅同志为本书的录入和计算机排版等做了大量工作，在此一并致以谢意。

作 者

2001 年 8 月

于北京

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 湖泊富营养化控制方案制定

第一章 环境问题诊断与治理目标确定	7	二、总体方案制定程序	31
第一节 主要环境问题诊断	7	第二节 总体方案制定的基础资料	34
一、诊断分析的前期调查	7	一、湖泊环境特征参数	34
二、诊断分析的前期初步调查	11	二、湖泊污染源特征参数	34
三、湖泊环境问题的诊断分析	11	三、湖泊水体特征参数	35
第二节 湖泊富营养化控制目标确定	12	四、湖泊水生生物资料	35
一、控制目标确定的指导思想和原则	12	第三节 重点污染控制区	35
二、目标的主要指标	13	第四节 综合治理方案制定	35
第二章 湖泊污染负荷计算方法	15	一、总体方案制定	35
第一节 入湖污染负荷及其计算	15	二、综合治理措施	36
一、点源污染负荷及其计算	15	三、综合治理对策	38
二、非点源污染负荷及其计算	17	第五节 综合治理方案的优化	39
三、流域入湖污染负荷及其计算	24	一、优化原则	39
第二节 主要污染物允许入湖负荷量	28	二、方案优化	39
第三节 主要污染物削减负荷量	30	第六节 投资估算与效益评估	39
第三章 湖泊富营养化综合治理方案制定	31	一、投资估算	39
第一节 总体方案制定的原则和程序	31	二、效益评估	41
一、总体方案制定的原则	31		

第二篇 湖泊污染源控制

第四章 湖泊点污染源控制技术	45	二、含氮工业废水处理工艺	50
第一节 点污染源系统	45	三、含磷工业废水处理工艺	51
一、点污染源污染特征和污染负荷调查	45	第五章 非点源污染控制技术	52
二、点污染源污染控制的排放标准	46	第一节 非点源问题描述	52
三、目标总量确定与分配	46	一、非点源的定义	52
四、处理方案优化	46	二、非点源污染特征	52
第二节 生活污水治理技术	46	三、非点源污染物的来源	53
一、生活污水处理系统	46	四、非点源治理的必要性和迫切性	53
二、城镇污水集中处理技术	47	第二节 非点源治理总体方案设计	54
三、分散式生活污水处理技术	48	一、总体设计指导思想及原则	54
四、生活污水脱氮脱磷工艺	49	二、总体设计目标体系	54
五、临湖宾馆饭店污水处理技术	49	三、总体设计中主要考虑的因素	55
第三节 主要污染行业工业废水控制		四、总体设计程序	56
技术	49	五、总体设计中非点源允许负荷的	
一、主要行业废水厂内处理方案	49	确定	56

六、非点源污染控制技术	56	二、工艺流程及组成	85
七、非点源的管理技术	57	三、主要类型	85
第三节 农田径流污染控制技术	58	四、主要技术特点及应用范围	85
一、农田径流污染根源及基本特征	58	第六章 湖泊内污染源控制技术	87
二、农田径流污染控制技术及其适用范围	59	第一节 湖内污染源的分类及特征	87
三、坡耕地改造技术	59	第二节 湖泊底泥环境疏浚技术	89
四、水土保持农业技术	60	一、概述	89
五、农田田间控制技术	60	二、环境疏浚的技术特点	89
六、农田少废管理技术	61	三、湖泊污染底泥的调查与勘测	90
第四节 农村村落污染控制技术	61	四、湖泊污染底泥疏浚工程的现场调查与勘测	91
一、村落废水的收集	61	五、底泥疏挖工艺与设备选型	91
二、农村固体废弃物处理技术	65	六、堆场余水及污染底泥处置	103
三、农村村落环境管理技术	69	七、环境监测方案制定	104
第五节 强侵蚀区污染控制技术	70	第三节 湖内网箱养鱼污染控制技术	105
一、概述	70	一、湖内网箱养鱼污染控制原则	105
二、强侵蚀区污染控制原理	70	二、网箱密度确定原则	105
三、强侵蚀区污染控制原则	70	三、渔种的选择	106
四、强侵蚀区污染控制工程技术	71	四、饵料的选择	106
五、强侵蚀区生物防治技术	72	第四节 湖内旅游污染控制技术	106
第六节 小流域生态工程技术	75	一、湖内旅游废水收集系统设计	106
一、生态工程设计原理	75	二、湖内旅游垃圾收集系统设计	107
二、生态工程系统结构	76	三、湖内旅游废水贮存、运输和处理方案设计	107
三、小流域生态工程方案的总体设计	76	四、湖内旅游垃圾贮存、运输和处理方案设计	108
四、小流域生态环境净化系统	79	第五节 船舶污染控制技术	109
五、小流域生态环境的管理措施	81	一、船舶垃圾收集、贮存、运输、处理系统设计	109
六、投资效益评估	81	二、船舶生活废水收集、贮存、运输、处理系统设计	109
第七节 非点源前置库工程技术	82	三、船舶含油污染物收集、贮存、运输、处理系统设计	110
一、概述	82		
二、前置库工作原理	82		
三、前置库工艺流程及组成	83		
四、前置库技术要点	83		
第八节 非点源污染河流控制技术	84		
一、技术原理	84		

第三篇 湖泊流域生态恢复技术

第七章 湖泊水生植被恢复与管理技术	112	四、湖泊水生植被恢复的理论基础	121
第一节 湖泊水生植被恢复的技术基础	112	第二节 湖泊水生植被恢复技术	125
一、湖泊中大型水生植物的主要类群及其生态学特性	112	一、恢复水生植被的基本条件	125
二、大型水生植物在湖泊生态系统中的功能	115	二、水生植被的优化设计	129
三、湖泊中水生植被与环境的协同演替	118	三、恢复水生植被的技术途径	136
		四、水生植物的引种栽培技术	140
		第三节 大型水生植物资源的管理与利用技术	142

一、收割利用技术	143	三、人工浮岛工程技术	151
二、渔业利用技术	144	四、仿自然型堤坝工程技术	152
三、畜牧业利用技术	145	五、人工介质岸边生态净化工程技术	152
四、农田施肥	145	六、防护林或草林复合系统工程技术	152
五、沼气利用技术	146	七、河流廊道水边生物恢复技术	152
六、环保管理技术	146	八、湖滨带截污及污水处理工程技术	152
第八章 湖滨带生态恢复技术	147	九、林基鱼塘系统工程技术	152
第一节 湖滨带的定义	147	十、湖滨带的管理技术	153
第二节 湖滨带的功能	147	第九章 陆地生态系统恢复技术	154
第三节 湖滨带生态恢复的目标、原则 和主要内容	148	第一节 流域山地侵蚀区生态恢复技术	154
一、湖滨带生态恢复的基本目标	148	一、流域山地的侵蚀类型	154
二、湖滨带生态恢复的基本原则	148	二、流域山地侵蚀区的生态恢复技术	154
三、湖滨带生态恢复的主要内容	149	第二节 农作区的生态保护技术	160
第四节 湖滨带生态环境调查	150	第三节 水源涵养林恢复技术	161
一、调查范围	150	一、水源涵养林的生态恢复及其理论 基础	161
二、调查内容	150	二、水源涵养林生态恢复的评价标准	162
第五节 湖滨带类型划分	150	三、水源涵养林恢复前期工作	163
一、湖滨带类型划分的原则	150	四、水源涵养林生态恢复技术	165
二、湖滨带的主要类型	151	第四节 矿山生态恢复技术指南	166
第六节 湖滨带生态恢复工程技术	151	一、矿山生态恢复的计划	166
一、湖滨湿地工程技术	151	二、恢复技术	168
二、水生植被恢复工程技术	151	三、矿山恢复后的跟踪监测与保持	174

第四篇 湖泊环境管理技术

第十章 湖泊污染物总量控制技术	175	第十一章 流域生态工程管理技术	185
第一节 湖泊污染物总量控制指标 体系	175	第一节 湖泊流域生态系统的结构与 功能	185
第二节 湖泊允许负荷量的确定	177	一、湖泊流域生态系统的结构	185
一、影响湖泊容许负荷量的主要因素	177	二、湖泊流域生态系统的功能	186
二、计算湖泊允许负荷量的技术要点	177	第二节 生态工程设计原则	186
三、湖泊允许负荷量的计算模型	178	一、因时因地因类因物制宜原则	186
第三节 总量控制经济优化与分配方法及 程序	180	二、生态修复技术优先原则	186
一、水污染防治的总量控制与浓度 控制	180	三、生物多样性原则	186
二、总量控制类型和分配原则及方法	180	第三节 生态农业工程	186
三、削减总量分配必须遵循的原则	181	第四节 生态渔业工程	188
四、削减总量分配的程序	182	一、隔湖渔业生态工程	188
五、沿湖各个排污口优化污染物削减总 量分配	182	二、桑基鱼塘生态工程	188
六、各沿湖排污口入湖污染物排放标 准的确定	183	第五节 城镇生态工程	189
第四节 环境目标可达性及经济论证	183	一、以人为中心的人工建造系统	189
		二、城镇生态系统是一个开放系统	189
		三、城镇生态系统的功能具有多样化	189
		第六节 湖泊保护条例与法规	190
		一、政策、条例与法规	190

二、国外自然资源的环境管理 192

三、以洱海为例的湖泊环境管理 193

第十二章 湖内污染源管理技术 196

第一节 湖内旅游污染管理技术 196

一、污染源来源 196

二、污染管理技术 196

第二节 船舶污染管理技术 198

一、船舶污染来源及其特征 198

二、船舶污染管理技术 198

第三节 网箱养殖污染管理技术 199

一、科学管理技术 199

二、定期监测、合理配置 201

第十三章 水资源管理技术 202

第一节 湖泊水量调控技术方案设计
思想 202

一、湖泊水量调控目的 202

二、湖泊水量调控技术方案制定原则 202

三、水量调控工程技术路线 202

第二节 污水截排工程系统设计 203

一、流域污染负荷调查预测 203

二、截排工程系统设计 203

三、截排工程施工运行管理 204

第三节 调水工程方案设计 204

一、调水水源条件评估 204

二、调水工程输水系统优化设计 205

三、调水工程运行方案设计 205

四、调水工程投资效益评估 206

第四节 湖泊水位控制优化设计 206

一、湖泊水位控制优化的一般原则 206

二、湖泊水位控制优化设计的方法 207

三、实例介绍 207

第十四章 湖泊环境管理信息系统 209

第一节 系统目标和设计方法 209

一、系统的总体框架的设计 209

二、系统的建立 209

三、系统的实施 210

第二节 系统总体设计 210

一、湖泊水质指标体系的确定 210

二、湖泊流域管理模型的设计 210

三、数据库的建立 212

第三节 湖泊环境管理系统功能及
应用 212

一、技术层面的功能 212

二、中国湖泊富营养化管理与治理技术
信息系统 213

三、中国湖泊环境信息检索系统 216

四、洱海生态环境管理系统 218

主要参考文献 223

绪 论

一、我国湖泊富营养化控制的目的和意义

湖泊以其巨大的蓄水能力，为人们提供了水利防洪、供水用水、水产养殖以及气候调节等多种利用功能，在社会和经济的发展中发挥着极为重要的作用。

随着中国经济迅速发展，排污量日益增加，以及一些不合理的开发活动等给诸多湖泊环境造成了不良影响，湖泊富营养化、水质恶化、淤积或萎缩，生态破坏与水质咸化等环境问题不断出现和发生，给湖区人民生产和生活造成了巨大损失。因此流域生态与湖泊水质恢复和保护已成为我国目前紧急课题，开展湖泊富营养化与水污染控制与治理意义重大。

二、我国湖泊富营养化及其分类

在湖泊环境问题中，富营养化是一个最为突出的问题，它已成为我国湖泊最重要的环境问题。

（一）我国湖泊富营养化的现状

1. 富营养化湖泊的地理分布

根据 20 世纪 80 年代后期与 90 年代前期的调查结果，我国富营养化湖泊主要分布在长江中下游湖区、云贵湖区，部分东北山地及平原湖区与蒙新湖区。城市湖泊由于湖小受城市废水的影响大，无论地理位置如何几乎都已达到富营养化或严重富营养化的程度。

2. 我国主要湖泊富营养化水平

我国主要淡水湖泊除处于人烟稀少地区的与原始状态的部分湖泊外，其营养盐水平基本上达到了富营养化发生的标准浓度，水体的富营养化在多数湖泊中已处于相当水平，其主要特征如下。

（1）五大淡水湖均已具备发生富营养化条件

我国五大淡水湖水体中的营养盐均大大超过氮磷富营养化发生浓度，尤其总氮浓度高达 10 倍以上，目前太湖和巢湖已进入富营养化状态，部分水体已达严重富营养化水平。其他三湖只要某些条件一具备，水体的富营养化的现象就会显露出来，见表 1。

表 1 我国五大淡水湖泊的营养状态/(mg/L)

湖 名	T-P	D-P	DO	Chl-a	SD ^①	T-N
太 湖	0.052	0.05	9.00	5.35	0.50	2.14
洪泽湖	0.180		7.06		0.80	1.39
鄱阳湖	0.148		7.87	1.05	0.55	2.38
洞庭湖	0.190	0.046	9.71	1.38	0.35	1.11
巢 湖	0.204		7.95	14.98	0.25	2.30

① SD 单位为 m。

（2）城市湖泊富营养化严重

城市湖泊由于地处城区，被街区包围，大量城市废水入湖，造成水体严重富营养化，其特征表现如下。

- ① 总氮和总磷浓度异常高；
- ② 透明度很低；
- ③ 水体叶绿素 a 极高。见表 2。

表 2 我国主要城市湖泊的营养状态/(mg/L)

湖 名	T P	D-P	DO	Chl-a	SD ^①	T-N
广州东山湖	0.420	0.051	6.93	132.03	0.29	6.10
黄石磁湖	0.090	0.015	7.33	12.21	0.67	2.20
杭州西湖	0.170	0.070	8.28	56.58	0.55	3.10
广州麓湖	0.220	0.024	9.66	86.41	0.37	3.00
九江甘棠湖	0.240	0.130	8.03	43.23	0.55	1.70
长春南湖	0.310	0.049	8.85		0.36	4.80
广州流花湖	0.530	0.037	1.14	239.53	0.19	6.40
广州荔湾湖	0.620	0.118	4.75	149.65	0.30	8.30
新疆蘑菇湖	0.600	0.036	7.40	30.21	0.64	2.40
滇池草海	0.083	0.270	4.93	138.64	0.36	8.60
武汉墨水湖	0.740	0.1222	4.52	153.59	0.24	20.80
南京玄武湖	0.970	0.180	8.31	99.28	0.27	3.90

① SD 单位为 m。

(3) 中型湖泊大部分均已处于富营养化状态

中型湖泊的氮磷已接近或超过富营养化发生浓度，同时这些湖泊滞留时间较长，水体浅，所以大部分湖泊已进入富营养化状态，部分水体已达严重富营养化水平，如滇池、洱海等，见表 3。

表 3 我国主要中型湖泊的营养状态/(mg/L)

湖 名	T-P	D-P	DO	Chl-a	SD ^①	T-N
滇池外海	0.097	0.008	7.22	23.75	0.68	1.20
洱海	0.050		6.10		1.0	0.56
博斯腾湖	0.018	0.007	7.47	4.02	1.50	0.92
于桥水库	0.020	0.001	10.78	6.07	2.60	1.20
乌梁素海	0.067	0.045	6.43	4.45	0.70	1.87
高州水库	0.025	0.005	7.91	0.91	1.90	0.40
固城湖	0.055	0.005	9.59	3.32	0.34	1.70
淀山湖	0.088	0.044	8.97	5.98	0.53	1.90
呼伦湖	0.140	0.056	9.56	5.95	0.64	1.90
邛海	0.140	0.026	6.67	0.67	2.10	1.30
南四湖	0.210	0.021	7.37	4.27	0.56	3.40
镜泊湖	0.400	0.130	9.45	3.62	1.80	1.00
白洋淀	0.082		11.68			2.30
千岛湖	0.050		8.05		5.83	0.40

① SD 单位为 m。

由上可见，我国湖泊已经普遍面临富营养化问题，富营养化已成为我国水环境的最为重要的环境问题。

(二) 湖泊污染分类

我国湖泊面临着五大环境问题，即富营养化、有机污染、西部湖泊咸化、生态环境以及湖泊萎缩与水量减少等问题，但是目前对众多湖泊水资源影响最严重的是富营养化，并伴随有机污染。一般情况，只要富营养化能得到控制，有机污染也可以随之消除，因此湖泊污染

分类的重点应当突出营养类型。

1. 湖泊环境污染分类

我国湖泊污染类型见图 1。

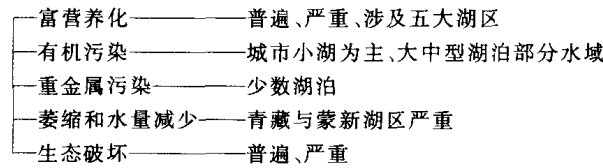


图 1 我国湖泊污染类型示意图

2. 我国湖泊营养类型分类

富营养化在我国湖泊中存在两种类型，即响应型湖泊与非响应型湖泊，在响应型中又可分为“藻型”和“草型”两类，详见图 2。

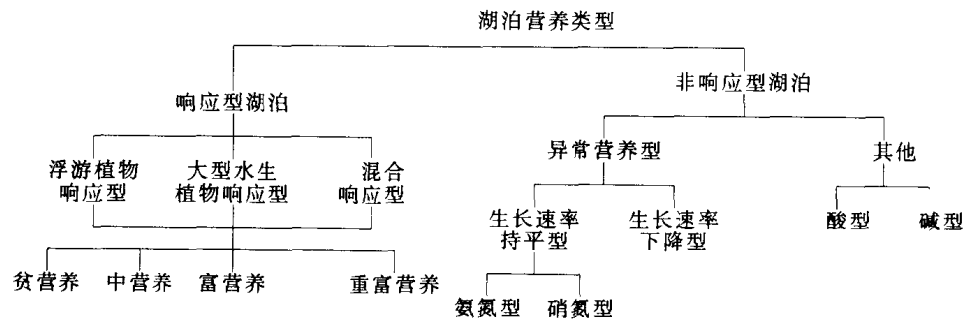


图 2 我国湖泊营养类型示意图

(三) 我国湖泊的主要环境问题

1. 大量湖泊萎缩消亡，湖泊贮水量急剧减少

据不完全统计，经过 30 多年的变化，湖泊减少近 500 个，面积缩小了 18639km²，占现有湖泊面积的 26.3%，湖泊贮水量由原来的 7590×10⁸m³ 减少到现在的 7077×10⁸m³，占现在湖泊贮水量的 7.2%。影响湖泊水量变化的原因，主要有如下几点。

- ① 气候变迁的影响；
- ② 泥沙淤积的影响；
- ③ 围湖垦殖等不合理开发活动。

2. 湖泊水质遭受污染

随着工农业生产的发展，大量未经处理的生活污水、流域非点源与工业废水等排入湖内，引起了湖泊水体的污染，据 1986~1990 年对全国 26 个湖泊水质调查资料的分析，约有半数以上湖泊（占 61%）受到有机物和营养盐（N、P）较严重的污染，尤以城郊湖泊较为突出。据初步估计，我国受污染或达中-富营养化的湖泊水域面积，可达淡水湖泊总面积的一半左右。

根据当前我国的国民经济发展速度和污水治理的经济技术水平，到本世纪末，凡是流域人口每平方公里超过 1200 人的湖泊，其水体将达富营养化水平。我国湖泊富营养化发展趋势十分严峻。

(四) 湖泊污染控制的主要对象

根据多年的调查研究和现场监测，我国湖泊污染控制的主要对象如下。

1. 主要污染源

① 目前磷和氮是我国湖泊富营养化的主要诱因，控制排磷、排氮的点污染源、非点污染源以及内源是我国湖泊污染控制的主要污染源；

② COD 是我国部分湖泊、部分湖泊水体污染的主要污染物，控制排放 COD 的主要污染源也是湖泊污染控制的主要对象；

③ 排放有毒有机物的污染源也应是我国湖泊污染控制的主要污染源之一。

2. 不合理的人类活动

造成湖泊污染与富营养化的人类活动十分繁多，在此列出一些对湖泊环境影响严重的活动，严格加以限制。

- ① 湖泊网箱养殖污染；
- ② 湖面、湖周旅游污染；
- ③ 含磷洗涤剂；
- ④ 破坏湖泊生态的活动；
- ⑤ 流域盲目开发及植被破坏；
- ⑥ 水资源不合理开发；
- ⑦ 城镇未处理废水、污水的排放；
- ⑧ 流域村落污水排放和固体废弃物污染。

三、我国湖泊污染源特征分析

(一) 湖泊污染源分类

造成湖泊和水库污染与富营养化的污染源类型很多，大致可分为点污染源和非点污染源两大类，每一大类又可划分为若干子类，见图 3。

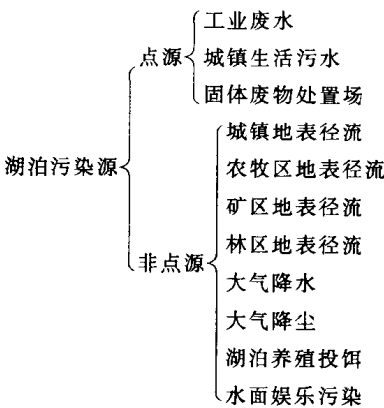


图 3 湖泊污染源分类

(二) 污染源分类

1. 点污染源

点污染源主要指通过排放口或管道排放污染物的污染源。它的量可以直接测定或者定量化。主要的点污染源包括工业废水、城镇生活污水、污水处理厂与固体废物处理场的出水以及流域其他固定排放源。

2. 非点污染源

通常把点污染源以外的污染源统称非点污染源。它没有固定的发生源，污染物的运动在时间和空间上都有不确定性和不连续性，污染物的性质和污染负荷受气候、地形、地貌、土壤、植被以及人为活动等因素的综合影响。

就湖泊富营养化而言，非点污染源主要包括如下几点。

- ① 城镇地表径流；
- ② 农牧区地表径流（包括农村村落污染）；
- ③ 林区地表径流；
- ④ 矿区地表径流；
- ⑤ 大气降水、降尘；
- ⑥ 湖水养殖业和水上娱乐污染等。

为了便于污染控制，污染源又可分为点污染源、非点污染源和内源，内源主要包括湖内

旅游、水产养殖、运输船只造成的污染及污染底泥等。

(三) 污染物入湖途径

湖泊和水库的污染物质的输入，不外乎自然输入和人为输入两种形式。不论是以人为的形式，还是以自然的形式向水体输入营养物质，其入湖途径主要有两种，一种是直接入湖，如库区降水、降尘、人工投饵、岸边水面废弃物和直接排入湖泊的排放口。另一种形式为间接入湖，即点污染源或非点污染源产生的污染物经排水渠或流域地表先汇入湖泊和水库的支流，最后再进入湖泊和水库。另外，污染物渗入地下水，通过地下水流入湖泊，也是污染物进入湖泊的途径之一。污染物入湖途径见图 4。

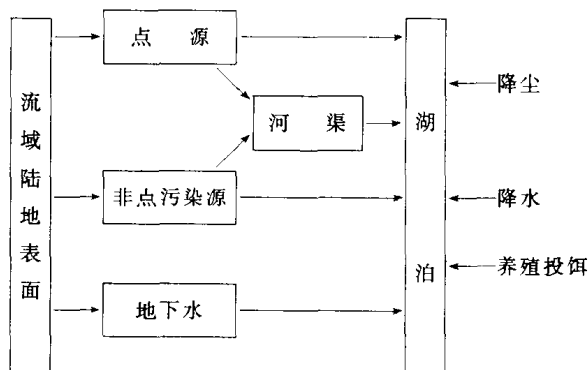


图 4 污染物入湖途径

由于污染物入湖途径不同，在计算污染源的污染负荷时，必须区分直接入湖与间接入湖的方式。这是因为间接入湖的污染物由于迁移路途较远，中间可能发生各种变化，如：物理沉积、化学氧化和分解及生物化学转化过程，而使污染物的浓度降低，致使最后入湖量与发生量有很大的不同。因此，对于间接入湖的污染源，在确定其对于湖泊污染总负荷的贡献时，需要考虑污染物在迁移过程中的入损失量。

四、湖泊富营养化控制理论与防治对策

(一) 湖泊富营养化与污染控制理论

1. 控源（控制污染源）和生态修复相结合

根据国内外众多实践经验，湖泊与河流水体不同，湖泊富营养化与污染控制应当遵循控源（控制污染源）和生态修复相结合的理论。

2. 从流域入手，保护湖泊

湖泊是湖泊流域大系统中一个部分，若要有效地保持湖泊良性生态系统，必须把流域作为一个生态系统，对湖泊进行治理与保护。

3. 治理与管理相结合

治理与管理相结合，优化规划，综合治理是防治湖泊污染的有效途径。只重视治理而忽视管理工作，湖泊富营养化的控制则难以奏效。

4. 生态修复的三圈理论

在湖泊生态修复中，应当着重对浅水区的水生植物生长带，水陆交错的湖滨带和侵蚀区的陆生生态带进行生态修复。

总之，我国湖泊环境脆弱，污染严重，应当在保护湖泊生态环境的前提下，合理科学地开发利用湖泊自然资源。

(二) 富营养化防治对策

按照湖泊富营养化与污染控制理论，富营养化防治对策主要有控源（控制污染源）对策、生态修复对策和管理对策。

1. 控源（控制污染源）对策

湖泊富营养化发生的主要原因是外界环境输入到湖泊的营养物质过量，在湖泊中累积，因而最根本的控制措施是减少湖泊营养负荷的输入量，即通过对湖泊外源负荷和内源负荷的

控制来实现。

(1) 减少氮、磷的入湖排放量

首先应该计算湖泊氮、磷环境容量，采取总量控制。削减点污染源和非点污染源的入湖负荷，同时，由于磷是产生富营养化的关键因素，因此限制含磷洗涤剂在湖区的使用也是一项重要措施。

(2) 控制湖内污染源

湖泊内源是湖泊污染的又一重要污染源，控制湖内污染底泥、旅游污染、船舶污染和养殖污染等是控制湖内污染源的主要任务。

2. 湖泊生态修复对策

生态修复是湖泊富营养化控制必不可少的措施，湖泊是有生命的水体，只有修复湖泊良性生态系统，湖泊富营养化才能真正得到控制。

建立湖泊生态系统的良性生态平衡，包括建立湖泊周围的缓冲带，保护湖区周围及上游的森林植被，防止营养物质的过多流失，以及保持良性水生生态系统，是湖泊治理的最终目标。

3. 湖泊管理对策

湖泊污染治理既需要工程措施又不能缺少管理对策，因此，根据国情和经济实力提出切实可行的、有效的管理对策，也是湖泊污染控制的关键任务之一。

首先应对湖区制订出水质量管理规划，确定水环境和湖泊生态目标，同时制订保护湖泊的法规，加强对群众的宣传教育，建立湖区管理机构，切实保证治理措施和管理措施的实施。

特别应当指出的是，对于已经富营养化的湖泊应当进行综合的工程治理和有效的管理，这是湖泊水质恢复最有效的措施。

第一篇 湖泊富营养化控制方案制定

第一章 环境问题诊断与治理目标确定

第一节 主要环境问题诊断

环境问题诊断是制定湖泊富营养化控制方案的基本前提之一。只有深入了解湖泊的主要环境问题及其原因,才有可能做到“对症下药”,有的放矢地进行湖泊污染控制方案规划及其适用治理技术的筛选。这里所说“环境问题诊断”包括以下两个层次的含义:一是湖泊环境问题诊断分析的前期调查,二是引起湖泊环境问题的诊断分析。

诊断分析的前期调查又可分两种,对有长期资料积累和研究基础的湖泊,可以进行全面的、系统的调查,在此称为“诊断分析的前期调查”;对缺乏资料积累和研究基础的湖泊,同时又没有足够经费支持时,可以选择主要内容和指标进行调查,在此称为“诊断分析的前期初步调查”,下文将分别论述。

一、诊断分析的前期调查

湖泊环境问题诊断分析的前期调查是了解和诊断湖泊环境问题的基础。诊断分析的前期调查大体上可包括以下两个方面:湖泊水体调查与评价和流域环境状况分析。前者包括水质或富营养化状态调查及评价、生态系统状况评价及湖泊水体使用功能评价三个内容,后者主要包括流域污染源、生态环境评价与社会经济环境分析评估。

(一) 湖泊水体调查与评价

水质现状或富营养化状态调查及评价是定量了解湖泊水质状况是否符合国家(或地方)地面水水质标准和水体富营养化标准的必要手段,也是湖泊环境问题诊断的最基础的资料和信息。

1. 水质现状或富营养化状态调查

要掌握湖泊水质污染、富营养化现状和发展趋势,一般应开展三个方面的调查。即污染源调查、湖泊环境基本特征调查及湖泊水体特征调查。调查方式一般为资料收集和现场调查两种,后者的调查内容和指标有如下几个。

(1) 污染源调查

在湖泊富营养化调查中,首要任务是应查明湖泊流域周围的主要污染源和污染物,特别是营养性物质(氮、磷、碳等)排入湖内的种类、数量以及排放方式和排放规律等。其中应特别重视非点源污染物的排入。该项调查的目的与意义对于环境保护工作者来说是勿需多言的,主要调查内容见表 1-1-1。

(2) 湖泊环境基本特征调查

湖泊及其流域是各种环境因子长期综合作用的自然体,每个湖泊都有其明显的特征,并以各自的方式经历着自己的发生、发展及消亡的演变过程。因此,湖泊环境基本特征调查是一项基础工作,也是判断水体富营养化起因、现状及发展趋势必不可少的依据,主要调查内