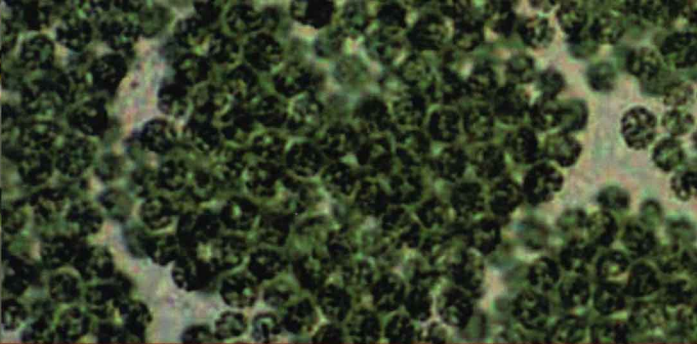
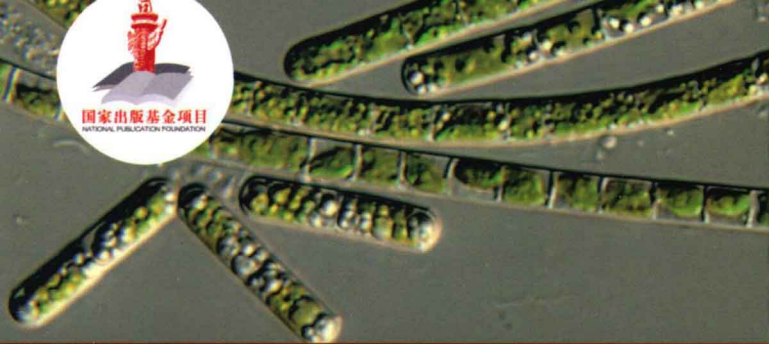
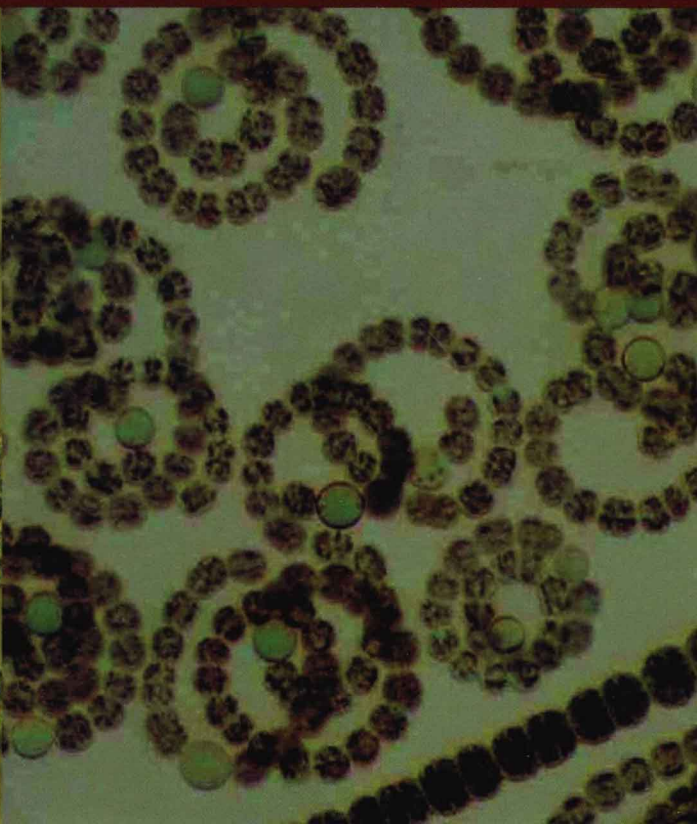
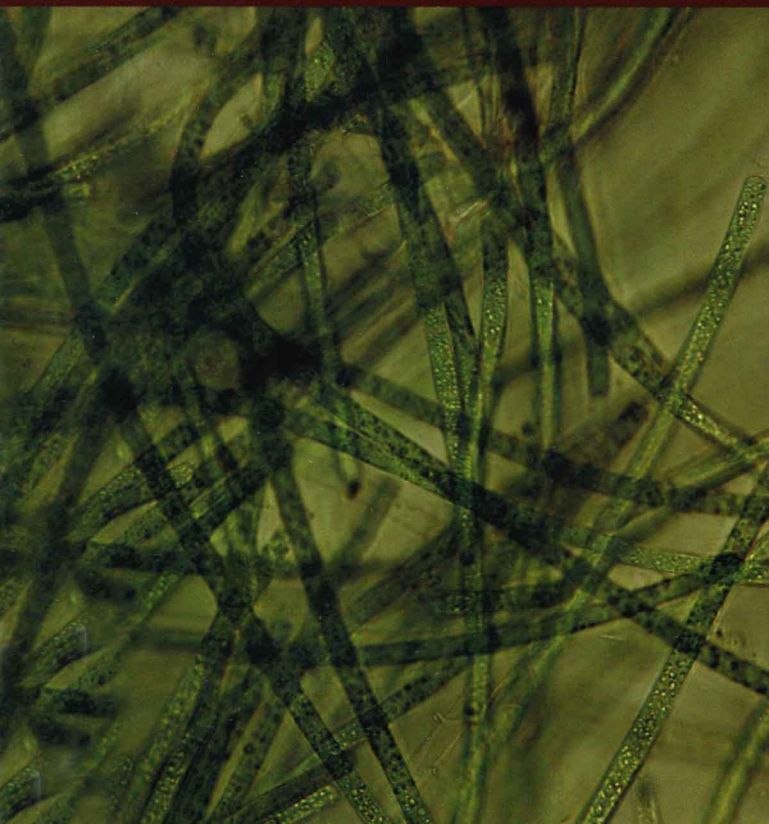




任文伟 屈铭志 屈云芳 林怡 吴千红 著

蓝藻水华 生态防治新理论与新技术

上海科技教育出版社



蓝藻水华 生态防治新理论与新技术

任文伟 屈铭志 屈云芳 著
林怡 吴千红

上海科技教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

蓝藻水华生态防治新理论与新技术 / 任文伟等著. —
上海: 上海科技教育出版社, 2012.12
ISBN 978-7-5428-5589-3

I. ①蓝… II. ①任… III. ①蓝藻纲—藻类水华—
生态防治 IV. ①X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 300925 号

责任编辑 叶剑 傅勇 伍慧玲 王洋 裴剑 王世平 姚建国
装帧设计 汤世梁

蓝藻水华生态防治新理论与新技术

任文伟 屈铭志 屈云芳 林怡 吴千红 著

出版发行 上海世纪出版股份有限公司
上海科技教育出版社
(上海市冠生园路 393 号 邮政编码 200235)

网 址	www.sste.com www.ewen.cc
经 销	各地新华书店
印 刷	上海中华印刷有限公司
开 本	889 × 1194 1/16
字 数	410 000
印 张	16.5
插 页	4
版 次	2012 年 12 月第 1 版
印 次	2012 年 12 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5428-5589-3/N·866
定 价	120.00 元

蓝藻水华
生态防治新理论与新技术

内容提要

本书前半部分(第一章至第三章)介绍了水体富营养化过程,以及蓝藻水华的类型、暴发机制及危害,比较了治理蓝藻水华的不同途径,然后从生态治理和生物操作技术角度,结合水文动力学,提出了生态治理蓝藻水华的新思路,即“生态陷阱”治理蓝藻水华。该技术利用风场、水体流场和蓝藻自身水平迁移规律,在蓝藻水华暴发的早期,识别出大面积水体蓝藻控制的关键区域(这些关键区域是蓝藻早期暴发的重点区域,相对整个水域而言,面积较小,易于实行低成本的人工控制),并在这些关键区域内利用水流流量调控结合食物链控藻方法,建立了蓝藻、滤食鱼类、底栖动物三者的全新动态关系模式;同时发展出水体浊度调控技术,充分发挥了滤食鱼类形成泥质含藻粪便的作用,使大量蓝藻随之沉至库底而不致再度随机扩散,并被底栖动物消化、分解,最终达到有效、完全地控制蓝藻水华灾害的目的。本书的后半部分(第四章至第六章)分别从三类水体,即浅水滩涂水库式的封闭水体、人工圩区内的半开放式自然水体、自然湖泊式的开放式水体,详细分析了如何利用“生态陷阱”思路来进行蓝藻水华早期治理的成功案例。全书注重理论与实践相结合,写作风格通俗易懂、图文并茂,对于广大从事蓝藻治理的工作者来说,是一本很好的技术参考书。

作者简介



任文伟 博士,复旦大学—女王大学中加环境与可持续发展中心执行主任。主要从事土地利用/覆盖与水质关系研究、流域生态学研究。主持和参与多项上海市重大重点水环境相关课题,主持科技部中加蓝藻治理国际合作项目。发表学术论文 30 余篇,出版著作 4 部。



屈铭志 加拿大女王大学生物系在读博士。主要研究方向为食物链作用及蓝藻水华生态治理,曾参与跃进圩区、淀山湖等水体的蓝藻治理工作。



屈云芳 复旦大学生态与进化生物学系教师,高级工程师。主要从事节水减排技术及蓝藻生态治理相关的科研和工程,担任多个蓝藻生态治理项目的主要负责人,发表学术论文近 30 篇,专利 4 项,曾获上海市科技进步二等奖。



林怡 博士,同济大学遥感技术应用研究中心副教授。国际摄影测量与遥感科学学会第三委员会成员,复旦大学—女王大学中加环境与可持续发展中心客座研究员。长期从事遥感影像分析与应用、数字摄影测量、地理信息系统(GIS)应用的研究工作。作为负责人和主要参加者承担并完成了 30 多项各类国家级和省部级项目。发表学术论文 60 余篇。



吴千红 复旦大学生态与进化生物学系教授,中国生态学会常务理事。曾创办复旦大学生物多样性科学研究所,发表学术论文 80 余篇,出版专著 4 部。

致 谢

本书中的研究得到以下项目支持,特此致谢:

1. 国家科学技术部中加国际合作项目,项目编号:2009DFA92310
2. 上海市科学技术委员会重大项目,项目编号:08DZ1203105
3. 上海市科学技术委员会“登山行动计划”,项目编号:062312016

另外,感谢水库 A(合同号:K05DSBF280)、水库 B(合同号:05215)的相关单位,青浦区水务局(合同号:07187),上海港城开发(集团)有限公司(合同号:07003)对本研究的支持;感谢加拿大女王大学的王宇翔教授、勒菲弗(Dan Lefebvre)教授对本书提出的建议;感谢潘琛博士在模型和算法上(第三章)的贡献。

序

蓝藻水华的防治是一个全球性的环境问题,已引起了广泛重视。近10多年来,随着我国许多水体向富营养化方向发展,蓝藻水华暴发日益成为各级政府不可避免的环境问题,相关部门在蓝藻水华防治方面不断增加投入,国家水专项也把其作为湖泊治理的一个重要的研究方向,但目前均未取得理想效果。

复旦大学课题组承担了国家科学技术部、上海市科学技术委员会及水务部门的10多项蓝藻水华治理课题,在长达16年的研究工作中,已有了不少成功案例。课题组从生态治理和生物操作技术角度,结合水文动力学等工程措施,总结并提出了设计“生态陷阱”进行蓝藻水华生态防治的新思路。本书理论和案例分析相结合,分析了不同类型水体的成功案例,具有非常强的实用价值。同时,为了吸引更多读者,本书尽可能以科普的写作风格行文,并配以大量的显微及野外实拍照片,注重图文并茂和可读性。

虽然这些成果相对于太湖、滇池、巢湖等大型水体,还仅属于中小尺度的实验,但是,完全可以把这些中小尺度的成功经验运用到三大湖泊的蓝藻水华治理中去,如根据水流场、风力、风向等跟踪蓝藻水平漂移,确定其规律,找出关键控藻区域,设置控藻生态陷阱,开发一些高通量蓝藻生态陷阱构建技术和专利。我想这将是蓝藻治理的一个福音,将为我国大型湖泊的蓝藻水华治理提供有益思路。



2012年12月10日于北京

目 录

前言 / 1

第一章 水体富营养化和蓝藻水华的暴发及控制 / 3

1.1 水体污染与富营养化形成 / 3

1.2 水体富营养化与水体浮游藻类及水生维管植物群落的演替 / 7

1.3 蓝藻水华 / 11

1.4 国内外控藻、除藻技术的研究进展 / 13

第二章 基于生态陷阱理论的蓝藻水华治理新思路 / 33

2.1 治理蓝藻水华的传统思路及本书的创新思路 / 33

2.2 控藻生态陷阱的食物网构建技术 / 34

2.3 控藻生态陷阱技术总结 / 39

2.4 展望:一种基于多元养殖工艺的高效控藻生态陷阱技术 / 42

2.5 以环棱螺为例的微囊藻水华控制的生态机理初步研究 / 44

2.6 基于生态陷阱理论治理蓝藻水华的成功案例 / 52

第三章 水域蓝藻控制的关键区域识别及监测技术体系的构建 / 57

3.1 水体富营养化遥感定量监测 / 57

3.2 基于遥感的大面积水源藻类分布关键区域高效监测技术 / 64

3.3 蓝藻生物量时空变化仿真系统 / 84

3.4 展望 / 89

第四章 浅水滩涂水库蓝藻水华治理案例:长江口水库 / 91

4.1 概述 / 91

4.2 水库 A 的蓝藻生态治理 / 92

4.3 水库 B 的蓝藻生态治理 / 113

第五章 半开放式自然水体蓝藻水华治理案例:滴水湖、青浦跃进圩区 / 129

5.1 概述 / 129

5.2 滴水湖的蓝藻生态治理 / 129

5.3 青浦跃进圩区的蓝藻生态治理 / 150

5.4 半开放式自然水体蓝藻水华治理的总结和启示 / 170

第六章 开放式自然水体蓝藻水华治理案例:淀山湖 / 173

6.1 概述 / 173

6.2 调查方法的改进及采样点设置 / 176

6.3 淀山湖微囊藻种群多样性 / 188

6.4 淀山湖微囊藻种群时空分布特征 / 198

6.5 淀山湖外源性微囊藻时空分布特征 / 206

6.6 淀山湖蓝藻治理之“物理阻隔技术” / 210

参考文献 / 237

前言

看着厚厚的《蓝藻水华生态防治新理论与新技术》手稿时,心情非常复杂,既兴奋,又有点忐忑不安。兴奋的是,这个凝聚了复旦大学蓝藻治理团队 10 多年心血的成果,终于可以面世了;不安的是,在繁琐的日常工作中,挤出时间整理资料,在出版社同志一再督促下,仿佛匆忙交了一份不太满意的答卷,等待世人和同行们的评价。

本书的书名《蓝藻水华生态防治新理论与新技术》,是一年多前编写组与出版社一起论证选题时拟定的。使用“新理论”,是因为我们觉得国内在治理蓝藻的实践中,可能有个误区——过度强调“治根”,即治理富营养化,花了很多精力与财力去治理面源污染。但是富营养化治理是个长期过程,而蓝藻水华暴发却是每年要面临的棘手问题,所以我们思考,是否能找到一种“标本兼治”的方法,即在短期不能有效治理富营养化的情况下,找到一种有效防治蓝藻水华暴发的思路。本书案例正是基于此点而成功,所以我们认为可以把以上思路姑且称之为“新理论”。为什么又是“新技术”呢?是因为我们发现,在治理蓝藻水华的实践过程中,治理工艺的价值有时候胜于治理理论。国内不少案例在运用“生物操纵法”进行蓝藻水华控制时,技术原理都没有问题,但是治理效果不理想,我们认为这是治理工艺上有些欠缺。经过多年的实践和摸索,我们提出的“生态陷阱”技术正是治理工艺的体现。所以,也姑且称之为“新技术”。但是后来觉得“新理论”、“新技术”这顶帽子太大了,我们的口气也似乎太“狂妄”了些,曾考虑是否换个提法。然而出版社对我们的成果十分肯定,认为目前的书名更能吸引读者,而且基本客观。于是这个书名就保留下来了。

借这本书出版之际,我们回顾了过去近 16 年从事蓝藻水华治理工作的经历,该经历大致可以分为三个阶段:(1)摸索阶段(1996—2003);(2)“生态陷阱”思路的构成阶段(2003—2008);(3)经验完善与总结阶段(2008 年至今)。

1996 年,一个偶然的的机会,课题组屈云芳老师与复旦大学其他一些老师参与了上海宝山钢铁总厂原水、生物本底及工业水质的调研与分析工作,并开始探讨运用淡水生态系统中 Top-Down 效应等生态学原理,筛选并利用麦穗鱼清除宝钢配水池中的丝状蓝藻,为宝钢水源污染和管道阻塞问题的综合整治提供了可行的手段和方法。其间,我们也开始逐步探索如何用生态学方法在一个可控的水体中,开展蓝藻治理工作。

2003 年起,由于长江口的两个水库陆续出现了蓝藻水华暴发的现象,相关单位力邀复旦大学承担蓝藻水华生态治理工作。这次的工作经历,对我们来说是一个十分宝贵的探索与学习的机会。在水库工作的日日夜夜,我们逐步观察到了蓝藻,特别是微囊藻的迁移规律;观察

到了滤食鱼类与蓝藻之间的关系,以及含藻鱼粪导致蓝藻再次暴发的问题;尝试了利用底栖生物配合滤食鱼类提高灭藻效率的实验;更为重要的是,在相关单位的大力配合下,我们通过调节水位、水流,发现了如何使得鱼类种群与藻类种群的分布空间相重叠从而提高取食效率的生态调度法,以及通过控制水体浑浊度制造泥性鱼粪,从而解决含藻鱼粪再次暴发的问题,等等。在这些尝试和思考过程中,我们逐渐形成了在水体总氮、总磷短时间无法降低的情况下,通过早期、关键区域控制蓝藻水华暴发的“生态陷阱”思路。由于在这些水库成功地治理了蓝藻,我们的工作逐渐得到越来越多的认可,其他一些单位碰到蓝藻水华问题时,开始主动找到我们寻求帮助,涉及上海青浦区的夏阳湖、浦东南汇临港新城的滴水湖等。在这些水体的治理过程中,我们同样尝试利用“生态陷阱”的思路,由于面临的是半开放水体,所以我们尝试利用风力风向、水流方向,并配合水闸等的调度,“制造”出可设置“生态陷阱”的关键区域,在这些关键区域利用传统生物操纵方法有效地控制了蓝藻水华的暴发。这些成功经验使我们的“生态陷阱”思路越来越清晰,信心也越来越强。

2008年起,上海市水务局、上海市科学技术委员会开始立项,对上海唯一的天然湖泊——淀山湖,开始蓝藻水华治理。复旦大学参与并承担了“淀山湖物理—生物控藻试验工程研究”的任务,但是试验区是指定区域,不能自由选择。根据实际情况,我们通过围隔,调控蓝藻水华在整个试验区进出,即利用风流场与围隔进行自主“纳藻”、“排藻”及“灭藻”的试验。在这种复杂的、开放式的天然湖泊中,成功地构建了一个“生态陷阱”,这使得我们对“生态陷阱”控制蓝藻水华的思路信心更足,也使系统技术更加成熟。2009年,在过去的成功经验与基础上,我们在科学技术部中加国际合作项目的支持下,开展了一些国际合作,希望总结生态控藻技术,借鉴国际上在湖泊富营养化治理和蓝藻水华控制方面的先进技术手段,进一步完善“生态陷阱”控藻的技术体系,并与同济大学林怡老师等合作,开展利用遥感技术进行“大面积水域蓝藻控制的关键区域识别技术”的研究。目前,该项工作已取得了一定的进展,一些论文和成果正在整理中。

回顾 16 年的蓝藻治理研究历程,一方面,我们很欣慰地发现,利用“生态陷阱”思路治理蓝藻水华已取得不少成效;另一方面,我们又有点惶恐,因为这个新思路虽然有效,却还有太多东西值得去总结和发掘。用一个不恰当的比喻,好像是一个老中医,医好了一个顽疾,但是目前只能用一种经验性的理论去阐述它。如何更加科学、准确、系统地去阐述和完善“生态陷阱”理论,还有很长的路要走。另外,目前我们治理成功的水体,相对于太湖、滇池、巢湖等大型水体,仍仅属于中小尺度。如何把这些中小尺度的成功经验运用到更大湖泊的蓝藻水华治理中去,也还有许多工作需要深入研究。

复旦大学蓝藻水华治理课题组

第一章 水体富营养化和蓝藻水华的 暴发及控制

1.1 水体污染与富营养化形成

水多(洪灾)、水少(旱灾)及水脏(水体污染)已经成为水资源的三大问题。随着工农业生产的发展、城镇的扩增、人口的增多,人类对水的需求量日益增加,同时废水排放量也不断增加。未经处理的废水会使某些有害物质进入水体,引起天然水体发生物理和化学上的变化,使水质变坏,即水体受到污染。

水体污染一般是指由于人类活动或自然过程导致污染物进入天然水体,使水质感官性状(颜色、气味、味道、浑浊度等)、物理化学性质(酸碱度、氧化还原电位、放射性等)、化学组成(无机组成和有机组成)、生物组成(群落结构、种群数量、个体形态等)和底质状况上发生恶化,使天然水体失去正常功能,造成对水生生物及人类生活、生产的不良影响(李青山, 2003)。根据污染源的形态特征,又可分为点源污染和非点源污染。点源污染的特点是排放地点固定,可进一步区分为工业废水污染和生活废水污染;非点源污染也叫面源污染,特点是没有固定的排放点,而是形成地表径流顺着地势高低漫流,可简单分为城市径流污染和农村径流污染。根据污染物的来源,又可分为自然污染和人为污染。自然污染是自然原因造成的,如特殊地质条件、植物腐烂等;人为污染是人类生活和生产活动中产生的废水对水体的污染,它也是水污染的主要污染源。根据污染物产生的来源,人为水体污染可分为工业污染源、生活污染源、农业污染源及其他污染源污染。工业污染源主要来自工业废水的排放;生活污染源主要来自居民日常生活排放的各种废水;农业污染源主要来自农药和化肥的不正确使用。

世界各国水体污染形势严峻。据联合国环境规划署提供的资料,自 20 世纪 80 年代以来,发展中国家水体污染日趋严重。印度大约 70% 的地表水已被污染;马来西亚有 40 多条主要河流污染严重,致使鱼虾绝迹。全世界有 10 亿人由于饮用水受到污染而感染疾病。发展中国家儿童的死亡,大约 80% 是由与水污染有关的疾病造成的。我国的水体污染形势也非常严峻。根据国家环境保护总局 2001 年的统计,七大江河水系 752 个重点监测断面中,Ⅴ类和劣Ⅴ类占 58.9%。

1.1.1 什么是富营养化

目前,富营养化已经成为全球水体污染的主要病症。国际经济合作与发展组织(OECD)把水体富营养化(eutrophication)定义为:水体中由于营养盐增加而导致的藻类和其他水生植物生产力增加、水质下降等一系列变化,从而使水的用途受到影响(OECD,1982)。具体来说,水体富营养化是过量的氮、磷等营养物质进入水体,促使藻类及其他浮游生物迅速繁殖,使水中溶解氧含量急剧下降,导致水质恶化。其实质就是水体营养物大量蓄积而促使藻类等自养型生物大量生长的一种过程。在自然条件下,湖泊从贫营养湖→富营养湖→沼泽→陆地的演变过程极为缓慢;而目前在人类活动日益加剧的情况下,大量工业废水、生活污水及农药和化肥通过地表径流进入江河湖泊等水体后,大大加速水体的富营养化进程。水体富营养化后,由于浮游生物大量繁殖,水体往往呈现蓝色、红色等各种颜色。这种现象在江河湖泊等淡水生态系统中称为水华,在海洋生态系统中则叫做赤潮。水体富营养化的结果,不仅会使水体因藻类的迅速繁衍而污浊发臭、透明度下降、水质感官性状恶化,还会因这些藻类及其他生物死亡之后被需氧微生物分解,使水中溶解氧不足,造成鱼类及其他生物大量死亡。生物残体或排泄物沉积水底,加速了水体的消亡过程。

水体富营养化导致了一系列生态环境问题,已引起人们的广泛关注,成为当前水污染防治与控制的重要课题与研究重点。目前我国许多城市近郊区的湖泊、海湾都出现不同程度的水体富营养化。

1.1.2 湖泊富营养化问题

湖泊富营养化是湖泊水体中由于营养盐增加而导致藻类和其他水生生物过度繁殖、死亡并消耗水体中大量溶解氧,引起水质下降,从而使水生态及水体功能受到影响的现象。营养盐的富集,包括外源输入(人类活动和干、湿沉降)和内源释放(物理、化学、生物等过程),是湖泊富营养化发生的根本要素;水质恶化是湖泊富营养化的结果,它直接影响生产、生活用水及水生生物的生存。据1993年的统计结果,亚洲超过54%的湖泊受到富营养化的困扰,这一数据在欧洲、北美洲、南美洲和非洲也分别达到了53%、48%、41%和28%(ILEC/LBRI,1994)。例如,德国、瑞士、奥地利交界处的博登湖中氮、磷等营养盐浓度曾急剧上升,威胁到德国南部地区的供水。20世纪80年代,匈牙利的巴拉登湖同样因湖水富营养化引起蓝藻暴发。20世纪50年代后期,日本的琵琶湖因人类活动加剧引起富营养化,至90年代琵琶湖南湖水质出现富营养化引起蓝藻繁衍,影响了供水,这与琵琶湖上游集水区快速的工业化、城市化过程密切相关。

湖泊富营养化问题在快速城市化与工业化的中国尤其突出,近年来年均总氮和总磷排放量约为 4.8×10^6 t和 4.3×10^5 t,大量的氮和磷通过不同方式输入河流及湖泊,使水体呈现高氮磷的富营养化特征。中国50个主要湖泊和水库中,66%的水体已呈高氮磷为主的富营养化水质(《中国环境状况公报》,2009;金相灿,2003,2005),其中重富营养化和严重富营养化的占22%;各地的城市湖泊则都已达到富营养化或严重富营养化的水平。可以说,水体富营养化已成为中国湖泊最重要的环境问题(余德辉等,2001)。

2000年前后,国家环境保护总局对我国67个主要湖泊的水质和富营养化现状进行了调查和评价,得出的结论是:近20%的湖泊水质较好(Ⅱ类至Ⅲ类),80%以上的湖泊受到污染(Ⅳ类至劣Ⅴ类),湖泊污染问题十分严重。按照湖泊水体以氮、磷含量为代表的营养化程度来看,属贫营养型的湖泊数量为零;属中营养型的湖泊有18个,占调查湖泊总数的26.9%,面积超过7000 km²,占调查湖泊总面积的37.6%;属富营养型的湖泊为49个,占调查湖泊数量的73.1%,面积近12 000 km²,占调查湖泊总面积的62.4%。从数量上来看,有近3/4的湖泊已达富营养化程度,所占的面积也接近总面积的2/3,表明当前中国湖泊富营养化问题十分突出,对富营养化湖泊的治理迫在眉睫。湖泊富营养化不仅与流域内社会经济发展密切相关,也与湖泊的自然地理特征有着直接的关系。湖泊富营养化演变过程有一定的自然因素,但流域内人类活动导致氮、磷等加速进入水体,对加快湖泊富营养化起着主导作用。

1.1.2.1 长江中下游湖泊及水库都面临不同程度的富营养化

长江中下游平原是浅水湖泊分布最集中的地区,五大淡水湖中的鄱阳湖、洞庭湖、太湖和巢湖分布于此。浅水型湖泊因为流域内拥有广大的冲积平原而具备了营养盐富集的条件。湖泊冲积平原自古以来就是人类可利用的良田,其开垦历史悠久,是人类生产、生活最集中的地区。人类以点源、面源形式通过河渠或者径流向湖泊水体排放废水,引起营养盐在湖泊蓄积。这些湖泊在20世纪80年代以前,除一些城郊湖泊外,湖水水质普遍较好。80年代后期至今,大部分湖泊已呈现不同程度的中营养化或富营养化水平,湖泊水环境日趋恶化。

从表1.1中可以看出,中国五大淡水湖水体中的营养盐浓度均大大超过氮、磷富营养化发生浓度(富营养化发生浓度:总氮 ≥ 0.2 mg/L,总磷 ≥ 0.02 mg/L),尤其总氮浓度超出10倍以上。太湖和巢湖早已进入富营养化状态,太湖100多个水质监测点中,V类和劣V类水质断面约占65.4%,Ⅱ类至Ⅳ类水质断面仅为34.6%;巢湖11个水质监测点中,7个属V类和劣V类。另外,从2003—2006年在长江口监测到的长江及附近水库的总氮和总磷的数据(表1.2)来看,其浓度也大大超过水体富营养化发生浓度。

表 1.1 我国五大淡水湖泊的营养状态(引自:余德辉等,2001)

湖泊	总氮/(mg/L)	总磷/(mg/L)	溶解氧/(mg/L)	叶绿素 a /(mg/L)*	透明度/m
太湖	2.14	0.052	9.00	5.35	0.50
洪泽湖	1.39	0.180	7.06	—	0.80
鄱阳湖	2.38	0.148	7.87	1.05	0.55
洞庭湖	1.11	0.190	9.71	1.38	0.35
巢湖	2.30	1.204	7.95	14.98	0.25

* 原文叶绿素 a 含量单位为 mg/L,笔者认为印刷错误,应为 mg/m³。表 1.3 和表 1.4 也有类似问题。

1.1.2.2 主要城市景观湖泊也处于富营养化状态

由于中国正在经历史无前例的快速城市化进程,人类活动使得大量生活、生产废水流入景观湖泊,造成了这些水体的富营养化。这些富营养化的湖泊蓝藻严重暴发(图 1.1 和图 1.2),

表 1.2 长江干流(河口段)及附近水库的营养状态

	长江干流(河口段)	附近水库
pH	8.1±0.1	7.9±0.2
总氮/(mg/L)	2.32±0.37	3.49±0.33
总磷/(mg/L)	0.10±0.03	0.14±0.01
透明度/cm	~30	~60
浊度/NTU	42±5	11±11
高锰酸盐指数	2.29±0.43	4.78±0.17
生化需氧量/(mg/L)	1.43±0.45	0.63±0.02



图 1.1 南京玄武湖蓝藻暴发



图 1.2 云南滇池蓝藻暴发

又使得原来以这些湖泊为景、为亮点的城市,面临着巨大的挑战(表 1.3)。

1.1.2.3 其他中型湖泊也面临富营养化挑战

从表 1.4 也可以看出,其他一些中型湖泊也处于不同程度的富营养化状态。

我国水体富营养化形势非常严峻,已是富营养化问题最严重的国家之一。2001 年,我国 66%以上的湖泊、水库处于富营养化状态,其中重富营养化和超富营养化的占 22%(黄漪平,