

巢湖富营养化的 评价与控制对策研究

A STUDY ON EVALUATION AND CONTROL
INSTRUMENTS OF CHAO LAKE EUTROPHICATION

殷福才 著



中国环境科学出版社

安徽省环境科学研究院基金文库

巢湖富营养化的评价 与控制对策研究

A Study on Evaluation and Control Instruments of Chao
Lake Eutrophication

殷福才 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

巢湖富营养化的评价与控制对策研究/殷福才著. —北京: 中国环境科学出版社, 2011.9
(安徽省环境科学研究院基金文库)
ISBN 978-7-5111-0714-5

I. ①巢… II. ①殷… III. ①湖泊—富营养化—污染防治—巢湖市 IV. ①X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 186961 号

责任编辑 贾卫列
责任校对 唐丽虹
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2011 年 9 月第 1 版
印 次 2011 年 9 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 10.25
字 数 190 千字
定 价 25.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

序

近年来，安徽环保科技工作者紧紧围绕全省经济社会发展大局，立足本职，不断探索，开拓创新，为污染防治、生态保护、节能减排工作提供了有力的技术支撑。同时，紧密结合全省环保工作实际，积极关注国内外环保科技研究动态，形成了一批具有较高学术及应用价值的科研成果。

“十一五”期间，安徽省正确处理经济发展与环境保护的关系，大力推进主要污染物总量减排，全面实施重点流域水污染防治，深入开展农村环境综合整治，切实加强环境执法监管，着力解决影响可持续发展和危害群众健康的突出环境问题，在经济持续增长、工业化和城镇化加快推进的背景下，全省环境保护工作取得了显著成效。一是全面完成全省主要污染物总量减排目标，为“十二五”可持续发展打下了坚实的基础；二是巢湖、淮河等重点流域水污染防治进一步加强，水环境质量有所改善；三是发挥环评“闸门”调控作用，落实同级审批制度，环评审批效率进一步提高；四是环境执法监督与环境安全监管力度进一步加大，通过持续开展环保专项行动，严厉查处环境违法案件，解决了一批突出环境问题；五是组织编制并认真实施《安徽省农村环境污染防治规划》，农村环保工作稳步推进；六是环境宣教领域继续拓展，政风行建设和机关效能建设扎实开展。

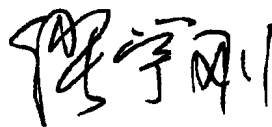
“十二五”是安徽省环保工作攻坚克难的关键时期，面临诸多严峻挑战。一是治污减排压力继续加大。全省工业化、城镇化将保持快速发展，经济总量将保持高速增长，能源资源消耗还要增加，而减排力度在加大、潜力在减小，消化增量、削减存量的任务十分艰巨。二是改善环境质量的压力继续加大。虽然常规环境污染因子恶化势头得到遏制，但是重金属、持久性有机污

染物、土壤污染、危险废物和化学品污染问题还很突出，全面改善水、空气和土壤环境质量的任务依然繁重。三是防范环境风险的压力继续加大。环境违法行为时有发生，影响环境安全的不确定因素增多，安全生产事故和自然灾害引发的次生环境问题不容忽视。这些问题需要采取综合措施加以解决。在解决这些问题方面，环境科技将发挥重要作用。

安徽省环境科学研究院组织出版的这套科研成果丛书，是该院首次组织出版的环保科技类图书，是精心筛选出来的优秀科研成果，是安徽省环保科技事业蓬勃发展的一个缩影。这些科研成果，针对环境监管、污染防治、生态保护等领域，作了较深层次的理论探讨和实践总结，提出了针对性较强的思路与对策，对做好安徽省环保工作具有一定的指导意义和较高的参考价值。

希望安徽省环保科技工作者多出科研成果，为整体推进全省“十二五”环境保护工作发挥更大的作用。

安徽省环境保护厅厅长



2011年9月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 湖泊富营养化的概念	1
1.2 湖泊富营养化的危害及防治	4
1.3 湖泊富营养化的评价和预测	11
1.4 研究的目的是意义	25
1.5 小结	29
第 2 章 巢湖的富营养化问题	31
2.1 巢湖流域概述	31
2.2 巢湖流域地表水资源	35
2.3 巢湖的富营养化成因	39
2.4 巢湖的富营养化现状	51
2.5 巢湖富营养化研究历史与现状	57
2.6 小结	62
第 3 章 巢湖的评价指标和标准	63
3.1 评价指标的选取	63
3.2 评价标准	64
3.3 评价因子和标准评述	70
3.4 巢湖营养状况评价指标	71
3.5 小结	73
第 4 章 巢湖的营养状况评价	74
4.1 人工神经网络原理	74
4.2 神经网络的应用	77
4.3 巢湖营养状况评价神经网络构建	78
4.4 评价结果分析	88
4.5 小结	93

第 5 章 巢湖的富营养化评价	95
5.1 评价因子	95
5.2 评价基准	95
5.3 巢湖富营养化评价标准和分级	96
5.4 巢湖富营养化评价方法	97
5.5 巢湖富营养化评价结果	97
5.6 小结	102
第 6 章 巢湖富营养化预测	103
6.1 巢湖流量和污染负荷	103
6.2 基本数学模型	103
6.3 计算方法和计算条件	105
6.4 计算结果	106
6.5 巢湖叶绿素 a 预测	110
6.6 小结	111
第 7 章 巢湖富营养化控制对策	113
7.1 巢湖的营养盐负荷控制	113
7.2 生态水位调控与引江济巢	123
7.3 流域控制和管理对策	131
7.4 小结	136
第 8 章 研究总结和展望	137
8.1 研究总结	137
8.2 展望	141
参考文献	147
后 记	158

第1章 绪论

1.1 湖泊富营养化的概念

富营养化是全球水生生态系统目前普遍存在的环境问题^①。20 世纪初,一些湖泊学者为了区分贫营养湖泊和富营养湖泊就开始对其进行研究。^②“富营养化”(eutrophication)一词原用于描述植物营养物浓度增加对水生生态系统的生物学效应。1907 年,Weber 最初将形容词富营养(eutrophe)、中营养(mestrophe)和贫营养(oligotrophe)用于描述决定泥炭沼泽发展初期植物群落的营养状态。^③Naumann (1919)用贫、中、富这 3 个词分别描述含有低、中或高浓度营养物质的淡水湖泊类型,他认为富营养化是湖泊发展过程中的自然过程。^④湖泊的自然演化过程一般是从贫营养向富营养方向发展,但这一演化过程相当漫长。人类工农业生产活动的开展,加速了湖泊的自然演化过程,在自然状态下需要历经数百年甚至上万年的时间,在人类活动的影响下只需几年或几十年,一个贫营养湖泊就可能转变成富营养化湖泊。例如,我国的巢湖、太湖、滇池都是在很短的时期内发生了富营养化。巢湖在 20 世纪 60—70 年代初期还处于中贫营养状态,到 80 年代中期就已经演替为富营养化湖泊了。^⑤20 世纪中后期,富营养化问题越来越严重,其影响也越来越大,淡水湖泊经常发生“水华”,海湾经常发生“赤潮”,富营养问题已经成为人们关注的焦点。人为富营养化(artificial eutrophication)已越来越引起人们的重视,人们开始研究富营养化的发生机理,对湖泊富营养化的程度进行评价

① Bennett E M, Carpenter S R, Caraco N F. Human Impact on Erodable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective[J]. Bioscience, 2001, 51 (3): 227-234.

② 钱凯先. 国内外湖泊富营养化研究及对策[J]. 环境科学, 1988, 9 (2): 59-63.

③ 赵生才. 我国湖泊富营养化的发生机制与控制对策[J]. 地球科学进展, 2004, 19 (1): 138-140.

④ Naumann E. Some aspects of the limnoplankton with special consideration of the phytoplankton[J]. Svensk Botanisk Tidskrift, 1919 (13): 129-163; Goldman C R. Primary productivity, nutrients, and transparency during the early onset of eutrophication in ultra-oligotrophic Lake Tahoe[J]. California-Nevada, Limnol.Oceanogr, 1988, 33 (6): 1321-1333.

⑤ 殷福才, 张之源. 巢湖富营养化研究进展[J]. 湖泊科学, 2003, 14 (4): 377-384.

和预测,并极力寻求富营养化控制的对策。^①

湖泊富营养化的定义有许多种不同的提法,经济合作与发展组织(OECD)在世界湖泊富营养化规划报告中将湖泊富营养化定义为:富营养化的形成既有自然因素又有人为影响,它是营养物过量而引起的一种水体效应,特别是氮、磷元素。^②在对水体没有采取控制措施的情况下,“人为”富营养化比自然作用更快,是水污染的主要类型。

我国“全国主要湖泊、水库富营养化调查研究”课题组在湖泊富营养化调查规范中将湖泊富营养化定义为:湖泊等水体接纳过多的氮、磷等营养物质,使藻类以及其他水生生物过量繁殖,水体透明度下降,溶解氧降低,造成湖泊水质恶化。^③

金相灿等在《中国湖泊环境》中的定义与此基本一致:湖泊水体接纳过量的氮、磷等营养性物质,使水体中藻类以及其他水生生物异常繁殖,水体透明度和溶解氧变化,造成湖泊水质恶化,加速湖泊老化,从而使湖泊生态和水功能受到阻碍和破坏。^④严重的甚至发生“水华”,给水资源的利用造成破坏,给湖泊水环境及其生态系统带来严重的后果。

一般教科书中认为湖泊富营养化是一个自然过程^⑤,它是湖泊分类与演化方面的一个概念,是水体衰老的一种表现,是营养物质在湖泊中富集到一定程度及其所引起的后果。在湖泊的自然演化过程中,逐渐累积起来的淤泥、有机质使得湖泊演变成沼泽,然后,由沼泽地演变成平地,湖泊也就消亡了。

日本机械工业联合会主编的《水域的富营养化及其防治对策》一书中的定义是:所谓“富营养化”是指在水中,由于硅酸盐、磷酸盐、硝酸盐和铵盐等相互的关联作用,给农业、水产业带来各种灾害。^⑥

① Vezjak M, Savsek T, Stuhler E A. System dynamics of eutrophication process in lakes[J]. European Journal of Operational Research, 1998 (1098): 442-451; Joseph H, Lee W, Arega F. Eutrophication Dynamics of Tolo Harbour, Hongkong[J]. Marine Pollution Bulletin, 1999, 39 (1-12): 187-192; 全国主要湖泊、水库富营养化调查研究课题组. 湖泊富营养化调查规范[R]. 1987: 9-29.

② Vollenweider R A. The scientific basis of lake and stream eutrophication with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors. Technical report OECD, DAS/C81/68, Paris, France, 1968; OECD, Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. OECD, Paris, 1982; [NRC]National Research Council. Restoration of aquatic ecosystems: Science, technology, and public policy. Washington (DC): National Academy Press, 1992.

③ 全国主要湖泊、水库富营养化调查研究课题组. 湖泊富营养化调查规范[R]. 1987: 9-29.

④ 金相灿,等. 中国湖泊环境[M]. 北京:海洋出版社,1995: 234-244.

⑤ 窦贻俭,李春华. 环境科学原理[M]. 南京:南京大学出版社,2000: 63-70.

⑥ 日本机械工业联合会. 水域的富营养化及其防治对策[M]. 杨楨奎,胡保林,译. 北京:中国环境科学出版社,1987: 1-14.

美国地质勘探局(USGS)定义富营养化是湖泊、河口和流动缓慢的溪流等水体接纳过量的营养物质的过程,这些过量的营养物质刺激植物极度生长(如藻类、藻类附着物和有害水生植物等)。由于植物极度生长,经常形成水华,在死亡分解时又会导致水中溶解氧下降,进而引起其他生物死亡[Eutrophication is a process whereby water bodies, such as lakes, estuaries, or slow-moving streams receive excess nutrients that stimulate excessive plant growth (algae, periphyton attached algae, and nuisance plants weeds) . This enhanced plant growth, often called an algal bloom, reduces dissolved oxygen in the water when dead plant material decomposes and can cause other organisms to die]。

欧盟委员会在城市废水处理指令(Urban Waste Treatment Directive 91/271 EEC)中的定义为:水的营养富集,尤其是氮和磷的化合物在水中的富集导致藻类和其他高等植物的加速繁殖,从而对存在于水中的生物平衡和有关水质产生了不良干扰(The enrichment of water nutrients especially compounds of nitrogen and phosphorus, causing an accelerated growth of algae and higher forms of plant life to produce an undesirable disturbance to the balance of organisms and the quality of the water concerned)。欧盟的定义在成员国的水质研究和管理中起到了政策导向作用,因为富营养化的概念是被作为政策指令而定义的。因此,具有一定的法律规范性,避免了对富营养化理解的歧义。欧盟对富营养化的定义包括三层含义:一是水的营养富集,尤其是氮和磷的化合物的富集,它给出了富营养化产生的原因,事实上,所有研究都证实富营养化是由氮和磷的化合物富集所引起的。二是营养富集导致了藻类和其他高等植物的加速繁殖,给出了富营养化的现象。三是富营养化对水中的生物平衡和有关水质产生了不良干扰,给出了富营养化的结果。定义中强调对“生物平衡(balance of organisms)和有关水质产生了不良干扰”,之所以提生物平衡,而不提生态平衡(balance of ecology),说明只要对局部的有机生物产生了不良干扰,就可以认为是富营养化,而不必要对整个生态系统产生了干扰,才认为是富营养化,它给富营养化的研究和认定提供了定性的标准,也就是说湖泊的富营养化可能是分区域的,不同的区域富营养化的程度会有很大差别。

尽管对湖泊富营养化的定义有一些差异,但对湖泊富营养化发生的原因、过程和危害的认识是一致的。湖泊富营养化是一种结果,也可以认为是一种水质变化后的状态,而这种结果是由湖泊的营养状况引起的,湖泊富营养化与湖泊水体中的营养状况既有联系,又有区别。营养状况好,并不一定会发生湖泊富营养化。因此,在进行湖泊的富营养化评价和预测时,首先要区分湖泊的营养状况水平和富营养化程度,不能把原因指标和结果指标混为一体评价。

1.2 湖泊富营养化的危害及防治

河流流域往往是人类的发源地，而湖泊流域一直是人类的聚居地，湖泊在人类社会的发展中，在人类的生产和生活活动中起到重要作用。世界上许多城市和人口是在湖泊周围发展的，如我国的五大淡水湖——洞庭湖、鄱阳湖、太湖、洪泽湖和巢湖，其流域都是我国的重要经济发展带。北美的五大淡水湖形成了世界上独特的大湖区，由于地理气候条件优越，社会经济发展也更加迅速，许多城市在大湖区发展起来，形成了北美五大湖城市群，分布于五大湖沿岸，从芝加哥向东到底特律、克利夫兰、匹兹堡，并一直延伸到加拿大的多伦多和蒙特利尔。欧洲的俄罗斯、德国等湖泊流域基本都是社会经济发达地区。为什么会发生这种情况呢？这主要是湖泊的巨大功能和特殊的地理环境所引起的。由于湖泊水资源便于人们开发利用，储量又很丰富，因此，湖泊流域最容易发展工农业生产。水是生命之源，湖泊是生物资源储存库，它可以为人类提供丰富的生物资源，在原始和渔猎时代，人类靠湖泊的气候调节和提供的天然食物，得以长久繁衍。随着人类社会的发展，湖泊的功能越来越多，作用也越来越大，例如，航运、灌溉、渔业、蓄洪和娱乐等。湖泊富营养化的危害主要表现在对湖泊一些功能的损害，甚至导致一些功能的丧失。^①

1.2.1 湖泊富营养化的危害

(1) 对水生生物的危害

湖泊富营养化对水生生物的危害，研究报道较多。其主要危害机理有两个方面：一是破坏水中的溶解氧平衡，主要是耗氧导致溶解氧下降。湖泊富营养化以后，表层有大量藻类存在。在白天，藻类的光合作用会使湖泊出现氧过饱和现象，但到夜晚，由于藻类光合作用停止，而呼吸作用仍在进行，水中溶解氧将降低，严重时会将溶解氧消耗殆尽。湖泊底层的腐烂有机物的分解也会消耗大量的溶解

① Smith V H. Phytoplankton responses to eutrophication in inland waters[M]//Akatsuka I, ed. Introduction to Applied Phycology. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1990: 231-249; Lawton L A, Codd G A. Cyanobacterial (blue-green algae) toxins and their significance in UK and European waters[J]. Journal of the Institute of Water and Environment Management, 1991 (5): 460-465; Gleick P H. Water in crisis: Paths to sustainable water use[J]. Ecological Applications, 1998, 8 (3): 571-579; [NRC]National Research Council. Soil and water quality: An agenda for agriculture[M]. Washington: National Academy Press, 1993; Carpenter S R, Caraco N F, Correll D L, et al.. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen[J]. Ecological Applications, 1998, 8 (3): 559-568; Smith V H. Cultural eutrophication of inland, estuarine, and coastal waters[M]//Pace M L, Groffman P M, et al.. Successes, Limitations, and Frontiers in Ecosystem Ecology. New York: Springer-Verlag, 1998: 7-49.

氧。二是富营养化湖泊中有大量的藻类,有些藻类本身含有藻类毒素,许多国家都有研究报道。如挪威弗罗伊兰德斯洼特恩湖,在1982年因铜色微蓝藻和颤藻大量繁殖,覆盖整个湖面,许多牛羊直接食用后死亡,同样的例子英国也有报道。由于耗氧和藻类毒素的影响,湖泊中的水生生物就会受到危害,水生生物的群落、种群结构发生变化。一些正常物种会消失,少数适应性物种会疯长,耐污染的物种的个体数量猛增,相反地,一些非耐污物种数量会急剧减少,甚至消失。对鱼类等较高等的生物危害最明显,由于缺氧,可直接导致鱼类死亡;水生群落结构的变化会产生鱼类食物链的断裂,水产养殖的经济效益将大幅度下降。

(2) 对饮用水和供水水质的影响

藻类的一般生长期为1周,其不断生长死亡、在富营养化湖区淤积,形成氮、磷和有机污染的高浓度区。如果这一区域为饮用水源和城市集中供水源,必须加大净化处理深度,增加供水成本。污染严重时,如果水质达不到国家规定的饮用水质标准,该水源地就会丧失原有功能。我国的三湖——太湖、巢湖和滇池等湖泊,由于富营养化严重,不得不花费大量投资来寻找新的水源。巢湖原先是合肥市的主要饮用水源,在1998—2000年间,巢湖的富营养化严重,该市数次向大别山的水库买水,每年都要花费数千万元。合肥人戏称:守着水缸没水吃。由于富营养化水域浊度高,藻类浓度高时会形成“水华”,富营养化不仅对饮用水水质产生影响,对一般的供水也会产生严重影响。

(3) 对湖泊美学价值的影响

湖泊的美学价值主要体现在以下几方面:首先,湖泊可以作为观光对象,为人们提供休闲旅游的场所,湖光倒影、坦荡雄浑的优美风景可以吸引各方游客。其次,湖泊还是运动场所,是帆船、滑水和游泳运动最佳的场地,高纬度湖泊,冬季还是天然的溜冰场。再次,近湖滨区是潜在优质的房地产开发区,具有比其他地方更高的开发效益。

如果湖泊受到了污染,尤其是富营养化,其美学价值就会大打折扣,直接接触的运动和娱乐项目根本不能开展。由于藻类死亡后,会散发出“腥藻”味,在附近数公里范围都能嗅到,不仅如此,藻类无论在生长时,还是死亡后,都会影响感官,因此对于房地产开发来讲,将产生十分不利的影响。

(4) 对交通运输的影响

富营养化将加速湖泊的淤积,因此最早将湖泊富营养化看成是湖泊自然消亡的一般过程,人为富营养化将会大大加速这一过程。尤其是河流入湖的河口地区,湖湾在泥沙的综合作用下,淤积速度最快,对交通运输产生严重影响。

1.2.2 湖泊富营养化的防治

由于湖泊富营养化会使湖泊的功能受到影响,甚至丧失部分功能,给流域的社会经济发展带来十分不利的影响,因此,国内外对湖泊富营养化的防治一直十分重视。世界上大多数湖泊富营养化发生的原因和后果相似,但富营养化发生的机理却不完全相同,此外,湖泊一旦富营养化,要对其进行治理也绝非一朝一夕之事,要经过长期不懈的努力,才能见效。不同地区的湖泊其富营养化防治方法也不完全一样。

(1) 富营养化的预防与控制

富营养化防治的最好办法是预防,但遗憾的是目前许多国家和地区并不能意识到这一点,即使意识到了,为了经济和其他利益,很难做到真正意义上的预防。尤其是发展中国家,往往把发展作为第一要务,治理的速度赶不上污染的速度。但是,如果能对区域的发展和环境保护给予足够的重视,湖泊的富营养化是能够预防与控制的。目前主要的措施有:

第一,制定湖泊污染防治规划。湖泊污染防治规划是富营养化防治相结合的措施,目前,大多数湖泊在开展防治前都要制定完善的规划。一般是从整个流域来统筹考虑,防止在防治过程中出现“头痛医头,脚痛医脚”的现象。流域的污染防治规划一般包括:规划的期限,是近期、中期还是远期;规划的目的和目标;流域的范围;规划的原则和方法;湖泊富营养化原因分析;规划目标的可达性分析和经济论证;可以预见的工程和其他措施;结论和建议等。

第二,总量控制技术。控源技术和生态修复相结合是湖泊富营养化控制的最新理论^①,控源技术即是控制污染源的技术,它是湖泊污染和富营养化防治的最重要的技术手段之一。湖泊富营养化的主要原因是氮、磷的各种盐类和其他营养物质在湖泊中的富集,这些营养物质的来源:一是工业企业的废水排入,如化肥和农药生产企业,磷矿开采等。二是城镇居民的生活废水,居民的生活废水含有大量的氮磷物质,据统计合肥市居民平均每月排放 0.8 g 磷和 12.0 g 氮,按全市人口 120 万统计,每年合肥市排放的磷约 350 t、氮约 5256 t。根据巢湖流域管理研究,对于氮磷来说,城市生活污水的来量要比城市工业废水中的来量多。^②三是流域的非点源污染,非点源污染又称面源污染,这类污染范围大,污染原因复杂,在湖泊富营养化的所有污染源中是最难以控制的。如施用的化肥农药、农村分散畜禽

① 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2001.

② Naumann E. Some aspects of the limnoplankton with special consideration of the phytoplankton[J]. Svensk Botanisk Tidskrift, 1919 (13): 129-163.

养殖废水、作物秸秆等废弃物等都可能随水土流失进入湖泊水体。有些湖泊流域天然的磷背景值很高,如巢湖流域北岸的肥东县和巢湖市的居巢区一带,广泛分布着古老的含磷变质岩系,总面积达 500km^2 以上,大小磷矿星罗棋布。该区分布着三种类型的磷矿石:磷灰岩、硅质磷灰岩和钙质磷灰岩,三种矿石的 P_2O_5 含量分别为:20%~30%、10%~20%和 20%~30%。^①由于有些藻类可以固定空气中的氮,大多数湖泊的富营养化是磷限制型。因此,对于巢湖这样的湖泊来说,流域磷的高背景值无疑是雪上加霜。四是内源污染,包括水产养殖和底泥的释放。了解了湖泊富营养化的主要污染源,湖泊富营养化的控制针对性就强了,不外乎是控制它们,要控制它们就要有依据,如何控制?各湖区能容纳多少污染物?各污染源如何来削减才能达到区域最佳效果?这些都是总量控制技术需要回答的问题。总量控制技术关键是要掌握不同功能区的环境容量,环境容量的计算方法已比较成熟,关键是要准确取得湖泊的各种参数。按照约束条件的不同,环境容纳总量可分为容量总量和目标总量。以环境目标(湖泊水质标准)为约束条件,建立污染源与湖泊水环境质量之间的输入响应关系从而确定的污染物容纳总量成为容量总量;以排污总量为控制条件,先确定排污水平或是污染物总量削减目标,然后,计算出目标期需要把污染物总量控制在什么水平之内。目标总量实际上是一种人为的总量,在污染比较严重的情况下,不可能一下达到环境容量的要求,根据经济可行性,来确定一个比较合理的目标,围绕目标容量来进行控制和削减是一种最实际的做法。

对于湖泊来说,总量研究和控制的关键是富营养化的指标,如氮和磷等。总量控制对于湖泊富营养化的预防主要体现在它可以明确湖泊能容纳多少富营养物质,在哪些污染源上进行控制,有效地切断污染物排入湖泊,防治湖泊富营养化。当然,总量控制技术对于富营养化湖泊的治理也是非常有效的。

第三,加强流域的环境管理。湖泊的富营养化总是与流域的整体分不开的,在上述总量控制一节中论述了湖泊的污染源多起源流域,因此,对流域的环境管理尤为重要。流域的环境管理主要包括:

加强地方法规建设 我国的三湖——太湖、滇池和巢湖富营养化都比较严重,地方立法开展得比较早。1982年5月30日江苏省第五届人大常委会第十四次会议批准了《太湖水源保护条例》;1988年云南省颁布了《滇池保护条例》,2002年云南省九届人大对该条例进行了修订;《巢湖水源保护条例》是1987年安徽省人大通过实施的,1999年修订为《巢湖流域水污染防治条例》。“三湖”有关立法

① 屠清瑛,顾丁锡,尹澄清,等.巢湖富营养化研究[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1990:1-20.

的贯彻实施,在保护和合理开发利用流域资源、防治污染、改善生态环境、促进流域的经济社会发展方面发挥了重要的作用。

管理机构能力建设 流域的环境管理机构对湖泊的污染防治至关重要,国内外许多大型湖泊都设有流域管理机构,以管理协调湖泊流域的环境与发展、污染防治等问题。北美的大湖区于 1955 年成立了大湖管理委员会 (GLC),其主要职责是协调、政策制定和咨询建议等。我国的太湖流域管理局是水利部在太湖流域、钱塘江流域和浙江省、福建省 (韩江流域除外) 范围内的派出机构,代表水利部行使所在流域内的水行政主要职责,为具有行政职能的事业单位。为了加强对巢湖流域的管理,安徽省 1986 年成立了巢湖水源保护办公室,1996 年扩大到淮河流域,重组成立了巢湖淮河水环境保护办公室。此外,对于湖泊来说,监测能力的建设也很重要,没有监测数据为依据,管理工作就不可能有效开展。云南省为了加强对滇池、程海、泸沽湖、抚仙湖、杞麓湖、异龙湖、星云湖、阳宗海、洱海等九大高原湖泊的管理,成立了具有一定行政管理职能的“九湖管理办公室”。昆明市为了加强对滇池的环境保护和污染治理,于 2002 年 4 月在滇池管理委员会的基础上成立了滇池管理局,作为滇池管理委员会的常设办事机构,又是昆明市政府滇池污染治理和保护的行政执法部门。

合适的政策措施 环境保护的政策很多,不一定都适合湖泊的富营养化防治,对于不同的湖泊流域,政策措施也不同。必须寻求合适的政策措施,有针对性地解决实际问题。常用的政策措施有:流域禁磷、改变农业耕作方式、湖泊水产养殖的限制等。

流域禁磷措施 引用比较常见,早在 20 世纪 60 年代,人们开始重视环境水体富营养化问题。此后美国、日本和欧洲等国家对洗衣粉中的磷酸盐进行限量和禁止使用,同时进行了大量的科学研究和监测工作。日本从 1975 年开始禁磷,重点治理水体富营养化问题。欧洲各国中,比利时、丹麦、爱尔兰、法国、葡萄牙等国不禁 (限) 磷。瑞士 1986 年禁磷。瑞典 1992 年开始禁磷,1995 年取消禁磷。德国 1975 年 8 月开始限制磷酸盐。荷兰只在北部的波河地区有富营养化,1989 年实行禁磷。意大利是欧洲较早限磷的国家,1991 年 7 月认为禁磷对湖泊及亚德里亚海的富营养化无明显影响。加拿大 1972 年要求禁磷,主要集中在五大湖泊地区。美国从 1971 年开始禁磷,到 1993 年美国 50 个州中,有 25 个州禁磷,2 个州限磷,23 个州未通过禁 (限) 磷法规或不限磷。1978 年美国对一些地区调查结果表明,水体中磷含量 12% 来源于工业污水,88% 来源于农业等非点源,洗涤剂中磷占总磷负荷的 2.5%。为汲取国外的富营养化防治经验,国内的一些湖泊流域也实施了禁磷政策,1999 年 1 月 1 日起太湖流域地区实施禁磷,2000 年 1 月 1

日起巢湖流域内禁止销售、使用含磷洗涤用品。此后滇池、深圳、厦门相继提出“禁磷”。为评估禁磷对防治水体富营养化的作用与效果,中国洗涤用品协会对太湖禁磷进行了跟踪调查。调查数据表明,禁磷后第一年入湖河道、湖体、水域中磷浓度和富营养化指数,较禁磷前分别下降了16.78%、16.07%和3.29%,但第二年又有所上升,上升幅度分别为17.45%、18.72%和6.75%,表明“禁磷”措施效果不是很明显(《经济日报》2004年3月10日报道)。由于湖泊富营养化发生机理的复杂性以及对禁磷措施效益评估的不完善,近年来,人们对禁(限)磷问题的认识和摸索还在进一步深入,对禁磷在富营养化防治中的效果认识不完全一致。

非点源污染在湖泊总体污染负荷中占有很大的比例,如巢湖氮占74%、磷占68%。^①非点源涉及的面广,既有城区,又有农村。城区主要是径流通过雨水管道或不经雨水管道带入湖泊的,农村的非点源来源途径更加复杂,如村落、农田区、畜禽基地、荒山及坡耕地、林地与草场等。农村非点源都可以通过地表径流带入湖泊,尤其是农田区,化肥农药的大量施用,无疑是湖泊的一大污染源。防治非点源污染的措施有很多,如增加绿化率,防止水土流失;合理安排土地利用;科学施用化肥农药;发展农村沼气等。

其他 湖泊富营养化的预防和控制措施很多,除了上述几项以外,还有水资源管理技术、湿地保护与人工湿地技术、生态工程技术等。它们都可以在一定程度上预防或减轻湖泊的富营养化程度。

(2) 富营养化的治理与恢复

点源污染治理 湖泊一旦富营养化以后,必须采取工程措施对其进行治理,切断点源是首选的措施。点源污染治理之前要开展流域的污染源调查,对所有的污染源进行污染负荷排序,确定出主要污染负荷和主要污染源。然后,对照目标总量确定各污染源需要削减的污染负荷。对于湖泊初步污染控制来说,往往是统一要求流域工业企业废水先达标排放。点源污染控制技术不是什么问题,关键是流域的一些化工、磷矿、化肥和食品加工等企业的废水可能含有较高的氮磷物质,处理工艺与一般的废水处理有所不同。

兴建市政污水处理厂 市政污水处理厂是解决人口或工业企业集中区域废水排放的根本办法,又可解决城镇区的非点源污染。同样,湖泊流域的污水处理工艺要选高效的脱磷除氮工艺。

非点源污染控制 非点源污染负荷在湖泊富营养化中占的比例较大,因而对湖泊的生态恢复至关重要。非点源污染控制措施有:①开展小流域综合整治,尽可能

① 屠清瑛,顾丁锡,尹澄清,等.巢湖富营养化研究[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1990:1-20.

地减少水土流失强度。由于水土流失在任何土地利用类型都是避免不了的,只不过水土流失的强度不同而已,防止水土流失一般先从强度较大的流域着手,循序渐进,容易取得较好的效果。②利用湿地的阻滞作用,减少氮磷等营养物的入湖量。③处理好农作物秸秆等废弃物。④做好规模化畜禽养殖废水处理。⑤湖泊流域其他水体水产养殖的控制。⑥开展农村技术培训,提高化肥农药的利用率。

生物操纵 生物操纵是利用湖泊中水生生物对营养元素进行吸收利用和代谢,从湖泊中去除营养物质,从而达到减轻湖泊中污染负荷或调节生态平衡的目的。在北美的大湖区进行了较多的相关研究,取得了很多成果。①国内关于生物控藻也做过一些试验研究,如巢湖、太湖、滇池和武汉东湖等湖泊。巢湖的生物控藻试验研究从1994年开始,利用围栏放养鲢鱼来控制藻类的大量繁殖。对于大型湖泊生物操纵技术的应用必须十分小心,因为万一操纵失控,会导致整个湖泊生态系统的破坏。

底泥疏浚 对湖泊富营养化发生的机理研究证明仅靠流域的外源污染控制,由于湖泊内生物和底泥对N、P的释放,湖泊的富营养化状况会出现反复波动。②因此,在湖泊管理上,需要对湖泊的内源污染进行控制。底泥清淤是一种快速去除湖底沉积物中N、P等营养元素的物理方法。我国的巢湖、太湖和滇池等富营养化严重的湖泊,均采取底泥清淤的方法对湖泊局部地区的底泥进行了清淤疏浚。底泥疏浚技术工程量大,需要大量的资金投入,一般适用面积较小的湖泊或区域,对于大范围的富营养化不宜采用。Kleeberg等(1999)研究认为如果湖泊内的总体污染负荷不能降低,清淤只能产生暂时的效应,不久,湖泊就会恢复原状。③

人工湿地 牛青音研究了地处亚热带沿海气候地区杭州的人工湿地(绿地)生态工程对富营养化污水的净化效果、植物在营养去除方面的作用以及系统的可持续运作能力。④结果表明:该生态工程的入水比国家V级标准差,出水达I、II类水标准。水质净化效果随季节的变化、水力负荷的大小及植物生长状况的优劣而表现出一定的差异。就总体平均去除率来看,TN、COD、BOD₅均在40%~50%,TP为60%~70%,NH₄⁺-N达90%以上,⑤表明人工湿地可以滞留部分营养物质,减轻富营养物质的入湖量。

① 殷福才,张之源.巢湖富营养化研究进展[J].湖泊科学,2003,14(4):377-384; Kleeberg A, Kohl J G. Assessment of the long-term effectiveness of sediment dredging to reduce benthic phosphorus release in shallow Lake Mueggelsee (Germany) [J]. Hydrobiologia, 1999, 394 (1-3): 153-161.

② 柘元蒙.滇池富营养化现状、趋势及其综合防治对策[J].云南环境科学,2002,21(1):35-38.

③ Kleeberg A, Kohl J G. Assessment of the long-term effectiveness of sediment dredging to reduce benthic phosphorus release in shallow Lake Mueggelsee (Germany) [J]. Hydrobiologia, 1999, 394 (1-3): 153-161.

④ 牛青音.人工湿地生态工程净化原理及应用研究[D].杭州:浙江大学,2001:3-5.

⑤ 同上.