构建多元化控制体系防治巢湖水污染

陈 卫[1], 郑志侠[2,3], 林 涛[1], 许 航[1], 邹 琳[1]

(1. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 安徽省环境科学研究院, 安徽 合肥 230061; 3. 安徽省污水处理技术研究重点实验室, 安徽 合肥 230061)

摘要: 在分析巢湖水污染控制的研究现状与存在问题的基础上, 指出在现有的巢湖水环境污染问题研究中基础性与系统性研究不足, 科技成果转化率低, 关键理论与技术问题亟待解决。提出从技术基础研究、应用技术开发和建立示范工程三个层面开展研究, 构建"污染源头控制、本体释磷控制、过程削减控制、末端强化控制、管理系统控制"的巢湖水污染多元控制防治体系的建议。

关键词: 巢湖; 水污染; 富含磷; 多元化控制体系
中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2007)02-0070-04

Establishing multiple control system for water pollution control of Chaohu Lake

CHEN Wei[1], ZHENG Zhi-xia[2,3], LIN Tao[1], XU Hang[1], ZOU Lin[1]

(1. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Anhui Institute of Environmental Sciences, Hefei 230061, China; 3. Key Laboratory of Anhui Technological Research of Sewage Treatment, Hefei 230061, China)

Abstract: It was pointed out that there was lack of fundamental and systemic research in the present study on water pollution control of Chaohu Lake based on the study of problems on water pollution control. The application efficiency of achievements was relatively low and the key problems of theory and technology should be solved. It was put forward that the research should be carried out in three aspects, i. e. the technological fundamental research, the application technique exploitation, and demonstration project establishment. A multiple control system for water pollution control of Chaohu Lake should be established, including the pollution source control, the control of endogenous phosphorus release, the course reduction management, the end reinforcement control, and the management system manipulation.

Key words: Chaohu Lake; water pollution; abundant phosphorus; multiple control system

巢湖是我国五大淡水湖之一, 具有蓄洪、灌溉、航运、渔业、城市供水、旅游观光等多种功能, 是合肥市和巢湖市的主要饮用水源。巢湖流域是安徽省经济和社会发展水平较高地区之一, 流域内由于独特的自然生态环境特征, 湖内氮、磷等营养盐的背景值较高; 加之近年来人口急剧增加, 工农业生产快速发展, 大量工业、农业、生活污废水排入湖中, 使巢湖成为单位湖泊容积中接纳废水量最大(位居五大淡水湖泊之首), 湖泊呈严重富营养化状态, 给沿湖城镇生活和工农业生产带来很大影响。

1 巢湖水质明显恶化

1.1 水污染不断加重

当地城市环境基础设施滞后于建设发展, 污水与污物大量排放, 湖周围湿地面积减少, 水土流失, 湖盆淤积速度加快, 致使巢湖水污染不断加重。根据巢湖湖体 12 个国控监测点位监测结果表明, 整体水质常年总体为劣 Ⅴ类, 其中, 西半湖污染程度严重, 为劣 Ⅴ类水质, 东半湖为 Ⅴ类水质。环湖河流劣 Ⅴ类水质占 43%、Ⅴ类水质占 8%、Ⅳ类水质占

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50638020)

作者简介: 陈卫(1958—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博士生导师, 从事水污染控制理论与技术、饮用水安全保障理论与技术研究。
E-mail: cw5826@hhu.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

33%，Ⅱ类和Ⅲ类水质共占 16%[1]。巢湖主要超标项目为总磷和总氮，其变化趋势见图 1。水环境污染日益严重，湖内生物种群多样性大幅度下降，巢湖曾有各种鱼类达 49 种，虾类 8 种，各种水鸟 44 种，由于生态系统破坏和水污染等因素，部分名贵鱼种绝迹，湖面水鸟甚少①。

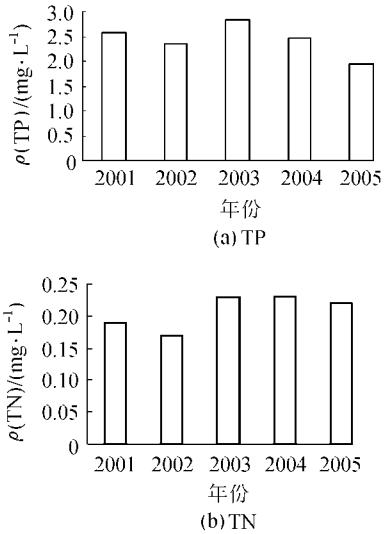

图 1　巢湖主要超标项目的历年变化

1.2　水源地功能退化，饮用水安全受到极大威胁

巢湖频繁爆发大面积蓝藻水华，从西半湖蔓延至东半湖龟山一带。合肥市巢湖水源地水质恶化，不得不放弃从巢湖水源地取水，而另辟水源，给生产和生活带来极大损失。巢湖市水源水质及供水安全面临严峻考验。

1.3　巢湖水污染治理投入及实施明显不足

巢湖、太湖和滇池三大湖泊流域是我国重要的鱼米之乡和经济发展区，由于人类活动影响，这三大湖泊都发生了严重的富营养化现象，其污染程度由重到轻依次为滇池、巢湖和太湖（根据各年份中国环境状况公报），三湖的水质营养状态指数见图 2。从“十五”期间全国污染防治重点项目“三湖”的污染防治计划项目与投资比较来看（表 1），相对于太湖和滇池而言，巢湖污染治理力度明显不足。

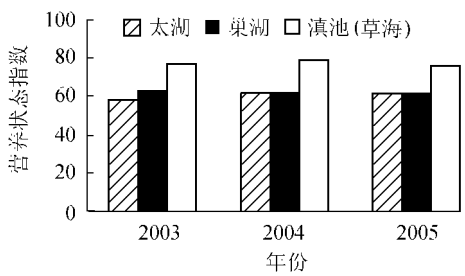

图 2　三湖营养状态比较

表 1　“三湖”的“十五”计划项目与投资

湖泊	水域面积/km²	投资/亿元	规模投资/（元·m⁻²）
太湖	2 338	220.10	9.41
滇池	300	77.99	26.00
巢湖	700	48.70	6.95

2　巢湖水污染成因复杂且特殊

2.1　半封闭型水域自净能力低

巢湖为半封闭型水域，入湖河流多，但出湖河流单一。湖岸线总长度 184.7 km，相应湖泊面积 770 km²，主要入湖河流有杭埠河、丰乐河、派河、南淝河等 9 条（见图 3），湖水由巢湖闸经唯一的出流河道裕溪河注入长江，湖口距长江 60.4 km。为满足城市供水、航运、农业灌溉、防洪抗旱等需要，设置了巢湖闸和裕溪闸等控制工程，使巢湖由过水性河流型浅水吞吐湖变为人工控制水位的半封闭型水域。闸坝控制也给巢湖水生态系统和水环境带来了一定的负面影响。

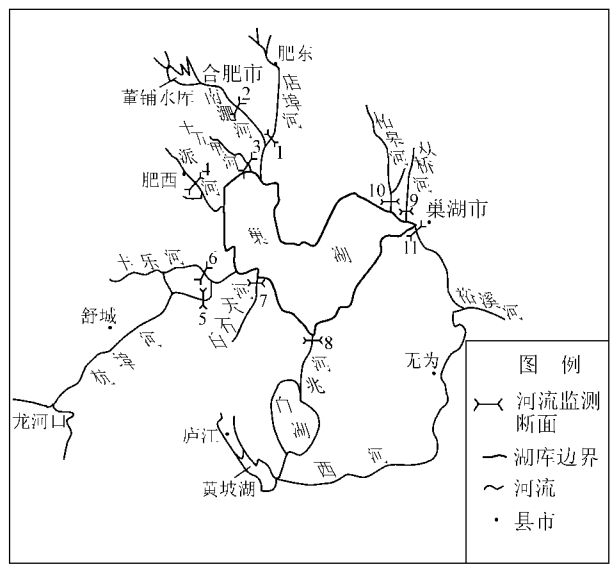

图 3　巢湖水系

巢湖在东口门建闸之前属于过水性河流型浅水吞吐湖，水量吞吐能力较大。流域形成的径流量多年平均为 30.3 亿 m³，长江经裕溪河入巢湖的交换水量多年平均为 13.6 亿 m³，二者比值为 1∶0.45[2]。建闸后，巢湖变为人工控制水量的半封闭型水体，与长江的交换水量减少了 88.24%，几乎丧失了原来的自然吞吐能力。流域形成的径流量与入湖交换水量的比值为 1∶0.05。巢湖通过裕溪河向长江输沙量减少了 26.9%，由此导致湖内每年增加淤积量 30 万 t 左右。同时，巢湖水位常年维持在 8.0 m 左右，使占湖面积 20% 左右的湖滩失去晒滩条件，影

① 巢湖流域水污染防治“十五”计划，2002。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

响高等水生植物的生长, 数百平方千米的湖面呈现明水状态, 风大浪高, 湖水混浊, 土岸崩塌, 岸线后移, 生态退化严重。巢湖闸虽有过鱼道, 但过鱼效果不佳, 使巢湖鱼类种群缺少补充群体, 造成鱼群结构简单化。巢湖交换水量减少, 换水周期延长, 污染物质滞留湖内, 水体环境容量和自净功能降低, 加剧了湖泊富营养化污染程度。

2.2 湖底富含磷层的特殊贡献

巢湖是浅水型的沉积湖泊, 湖底为富含磷的地层, 构成了巢湖富营养化的本底条件。巢湖龟山附近的湖滨, 二叠纪孤峰层内有 1m 厚的磷质结核层, 含 P_2O_5 为 6.95% ~ 28.4%, 该层位在湖的南岸重复出现。在肥东县与巢湖市交界处的桥头集至西山驿一带, 分布着约有 40 km^2 古老的含磷变质岩系[2]。巢湖沿岸的各时代地层中, 很多层位都不同程度地含有磷。由于地质构造和地貌的影响, 源于磷矿区并以含磷层出露区地表径流补给的水系大部分汇入巢湖。对巢湖沿湖地区地表水和地下水自然本地的调查表明, 地表径流的总磷质量浓度为 0.05 mg/L, 矿区及其周围地区的地下水本底中含磷质量浓度为 0.04 mg/L[3], 如此高的自然本底磷浓度, 使巢湖具备了富营养化的基础背景, 更是巢湖水污染的一个重要诱因。

巢湖多年沉积的底泥中含有大量的营养盐, 且逐年积累。在风浪作用下, 底泥受扰动而悬浮, 促使底泥中氮和磷的二次释放, 由沉积物向水中释放的总磷每年约 228 t, 总氮每年约 2100 t[3]。每年 7 至 9 月份的温度和日照最适宜藻类生长, 随着湖体内敏感生物物种的消亡和藻类的繁衍, 湖区水华爆发。藻类的爆发消耗了水中的大量溶解氧, 随之藻类大量死亡及藻毒素释放, 同时, 底泥的厌氧状态加速了底泥中磷的释放, 又为藻类生长繁殖提供了有效的内源供给, 致使内源污染恶性循环。

2.3 外源污染控制有限

外源污染是造成巢湖富营养化的主要原因之一, 主要包括点源污染和非点源污染。从点源污染看, 2004 年, 流域内工业污水排放量为 6893 万 t, 工业化学需氧量、氨氮排放量分别为 8814.4 t, 1464.2 t; 生活污水排放量为 20125 万 t, 生活化学需氧量、氨氮排放量分别为 57537 t, 6127.8 t[4]。虽然工业废水排放量小于生活污水排放量, 但工业废水的污染贡献和危害大。从非点源来看, 农田化肥施用量逐年增加, 而化肥利用率很低。大量泥沙、土壤有机质、残留的化肥农药、人畜粪便、城市地面废弃物等污染物被暴雨径流冲入湖泊。初步估算, 每年全流域农田流失的化肥为 27 万~ 30 万 t, 按流域土壤背景下限值计算, 至少携带氮 6000 t/a, 磷 2800 t/a。可见, 半封闭型的巢湖水域接纳了大量城市生活污染物和农业非点源污染物, 而受湖体水动力学条件限制其水体自净能力有限, 外源污染又加剧了内源恶化。

3 巢湖水污染防治科学研究对策

3.1 研究现状与问题分析

巢湖富营养化和生态破坏制约了该区的社会和经济发展, 引起了各级政府的极大关注和高度重视。从“六五”至“七五”期间, 巢湖水环境问题研究获得了巢湖及其流域的生态环境、湖泊淤积、污染状况、富营养化状况、陆源污染等方面的资料, 为巢湖富营养化防治提供了科学依据。“八五”期间, 安徽省环境保护计划和碧水蓝天工程计划中都将巢湖富营养化防治作为重点内容。“九五”期间, 国家又将巢湖列入“三湖三河”重点水污染治理项目, 全面实施巢湖水污染治理。20 年来取得的研究成果在巢湖的污染防治中得到应用, 取得了初步成效。但是, 巢湖水质改观并不明显。“八五”以来, 巢湖水污染治理主要集中在巢湖富营养化防治项目的建设和融资上, 而技术基础性专项研究本上处于停滞状态, 造成巢湖富营养化研究背景资料的不延续, 而 10 多年前的背景资料已不能完全满足当今巢湖富营养化防治的需要。目前, 巢湖水污染治理科学研究的主要问题如下:

a. 早期研究成果难以解决新问题。早期的研究基于当时的问题和条件, 随着时间的推移、社会经济发展的新要求和科学研究的深入, 流域经济结构、水生态系统和水环境均发生了很大的变化, 早期研究成果已经不能满足巢湖水生态与水环境问题彻底根治的需求。

b. 对湖本体的技术基础研究尚存许多空白。巢湖流域富含磷地层的地质特点和半封闭水域的地理条件使巢湖水污染具鲜明的个性特征, 但尚未开展巢湖地质构造富磷层分布及释磷规律与水体富营养化的相关性研究; 非点源污染控制在湖泊综合治理中的地位愈发受到重视, 而巢湖非点源污染模型研究尚属空白, 使非点源污染治理缺乏基础依据; 河湖与地下水互换及污染物迁移转化规律研究、湖周边湿地生态功能研究、水源地保护与长效运行管理机制研究、微污染水的饮用水安全保障技术、巢湖污染防治决策支持系统的开发等都没有全面展开。技术基础研究不足, 致使污染治理技术措施针对性不强或治标不治本。

c. 流域水环境综合整治协调不够, 人力、物力与财力投入严重缺乏。已有的研究多按政府职能分

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

别立项,将水域的系统性综合问题分离研究,河道整治、污染治理、生态修复等实施相脱离;以流域为对象的一体化系统研究不足,关键科学问题研究不够深入,技术集成与成果转化率低,尚没有系统性强、技术经济合理、具有可操作性的流域水环境综合整治规划和实施方案,致使水环境污染总体没有明显改观,且有局部恶化趋势。

d. 水污染监控监管系统不健全,对环境执法支撑不足。到目前为止,巢湖流域共有22个监测站点,其中湖区12个,东西半湖各6个站点。由于东西半湖水质不同(西半湖水质较差),均衡设置监测点位显然欠妥。环湖河流也均衡设置10个站点,而杭埠河三河镇新大桥和丰乐河三河镇大桥两处是环湖河流的环境敏感处,却没有设置监测点。针对富营养化和有机污染物的监测指标较少。现状监测点位、监测指标和监测装备对反映巢湖水环境状况尚有差距,监测监管系统尚不健全,对环境执法支撑不足,对环境保护与管理极其不利。

综上所述,巢湖水环境污染问题的研究开展较早,但基础性与系统性研究不足,科技成果转化率低,关键理论与技术问题亟待解决。

3.2 研究方向与技术路线

3.2.1 构建多元化控制防治体系

巢湖流域水污染成因复杂且特殊,其污染防治研究思路为:构建"污染源头控制、本体释磷控制、过程削减控制、末端强化控制、管理系统控制"的巢湖水污染多元化控制防治体系(图4),保障实现巢湖水污染有效控制。

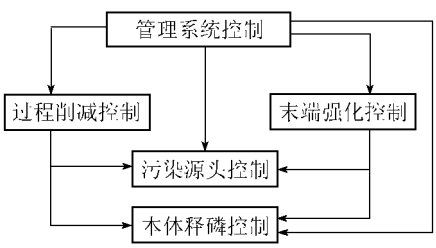

图4 巢湖水污染多元化控制防治体系

研究技术路线:从技术基础研究、应用技术开发、建立示范工程三个层面开展研究,即开展相关技术基础性研究、攻克关键技术、深化和完善已有研究成果、优化综合整治系统方案、强化技术集成及工程示范与应用。通过研究成果实施,攻克巢湖水污染内外源控源、饮用水源保护、受污染水体修复、湖泊生态系统建设与水环境综合整治、水环境安全控制决策支持系统开发研究等关键技术问题,构建巢湖湖泊生态系统建设与水环境综合整治及富营养化治理的模式,强化多元化控制技术集成及工程示范,建立流域水环境长效运行管理机制,带动平原河网地区湖泊水污染控制整体技术水平的提高,形成具有湖泊水污染控制与生态系统建设核心技术的研发基地和自主创新体系,为发展有中国特色的湖泊生态学理论,为巢湖流域生态环境与社会经济的持续发展提供全面、系统的理论依据和应用工程范例。

3.2.2 深入基础研究与强化工程示范

a. 富含磷地层释磷基础研究与控制技术开发。针对巢湖流域富含磷地层个性特征开展研究,为本体磷源头控磷阻磷提供技术支撑。①研究巢湖地质构造富磷层分布及释磷规律,本体释磷与水体富营养化的相关性;②在富磷层本体释磷研究基础上,研究与开发湖底基质磷释放抑制工程技术、湖底基质磷释放生物控制技术;③研究陆源—地下水—湖体系统磷输移规律,研发磷源阻隔阻断技术等。

b. 入湖污染负荷控制技术。重点针对城镇点源、农业面源、城镇尾水等主要入湖污染源控制与治理开展研究,旨在最大限度地截流入湖污染负荷。①研究巢湖流域水污染成因及入湖总量控制系统:研究水污染源探源技术及污染成因识别,内源磷的释放规律,水动力学条件改善技术系统及"引江济巢"对策,流域河网与湖体水量水质耦合模拟及入湖总量控制方案。②城镇与农村非点源污染控制技术研究:研究和实施农村循环经济体系、新型生态农业技术系统、城镇非点源污染截留—输导—处理系统、多种非点源污染控制途径相耦合的综合治理技术集成等及其工程示范。③典型点源治理技术集成及工程示范:在城镇污水达标处理基础上,研究和实施达标尾水的自然或人工生态净化技术及示范、污水再生利用技术及示范、污水处理厂污泥处理处置与资源化技术及示范。

c. 湖区生态修复技术及工程示范。旨在本体释磷控制、削减内源负荷的同时,通过河湖连通、重建湖滨带、湖心区、底泥的水生态系统等,最大限度地提升巢湖水体对污染物的自净能力。①湖区底泥疏浚、处置及农田利用关键技术研究:研究湖底泥疏浚、处置及农田利用关键技术,研究疏浚清污湖底生态系统重构技术、湖底基质改造与稳定构建技术及工程示范。②污染物入湖传输环节与湖区生态控制技术研究:构建健康河湖模式,研究入湖河流(或河网)水量调配与水质控制技术,与实施河流、浜、岔与塘生物强化净化组合技术,不同尺度和功能河道生态修复技术与重污染河道生态重构技术,入湖河口生态净化工程技术,以及湖滨带生态修复与重建技术等。

(下转第76页)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

m^3/s; C_0 为来水污染物质量浓度, mg/L; x_i 为断面距离, m; u 为流速, m/s。

辽河辽宁境内主要接纳了铁岭的城市污水, 珠尔山断面为铁岭与沈阳市界断面, 该断面以上完全接纳来自铁岭市的废污水, 因此主要对该断面进行水质模拟, 水质参数选择 COD, COD 模拟值与实测监测值误差在 0~ 31.8% 之间, 水质模拟结果见图 2。从模拟结果看, 模拟值与实测结果较为一致, 只是在放水初期误差较大, 其主要原因为供水前(枯水期) 河流流量小, 流速缓慢, 造成河道内(坑洼) 积存一定量的污水, 河床底泥含有大量的有机污染沉积物, 随着供水后流量的突然加大, 致使这一部分污水及污染物集中下泄, 从而导致污染物的浓度突然升高。

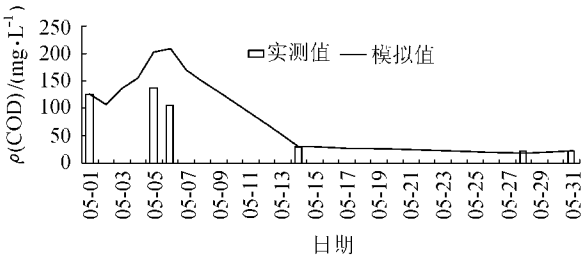

图 2　辽河铁岭珠尔山断面水质模拟值与实测值比较

5　灌溉期冲污水量的确定

冲污水量, 即灌溉期间, 能够使河流水质由劣变优达到不同水质类别所需的水量。以铁岭出界断面珠尔山断面为例, 采用累积流量法, 计算水质由劣 Ⅴ 类水质改善为不同水质类别所需的水量。模拟计算结果: 珠尔山断面水质达到 Ⅴ 类标准所需水量 8 668 万 m^3, 水质达到 Ⅲ~ Ⅳ类标准, 并趋于稳定所需水量 9 303 万 m^3。

6　结果与讨论

从以上分析评价结果可以得出以下结论: ①辽河水质从水体变化总体上看, 灌溉期水质呈逐渐改善趋势, 即水质由严重污染改善到一般污染; ②灌溉期供水初期, 由于河道内积累的大量污水以及河床底泥中的污染物随着流量突然加大而集中下泄, 致使水质恶化; ③灌溉期放水期间, 在城市污水正常排放的情况下, 河流水质变化规律是: 水库供水前, 辽河各断面水质较差, 基本为劣 Ⅴ 类水质; 水库供水后, 供水上断面水质污染略有改善, 但污染仍十分严重, 仍为劣 Ⅴ类水质, 在供水下断面, 放水初期随着流量的增大水质反而恶化, 经过 5 d 左右, 水质开始逐渐好转并趋于稳定, 供水期间(5 月 10 日以后) 辽河水质满足或优于农业灌溉用水水质要求, 尤其供水后期水质可以达到 Ⅲ~ Ⅳ类水质标准。

根据以上分析, 笔者提出下列建议:

a. 加大工业废水和城市生活污水的控制和治理力度, 减少废污水排放量, 并实施河流清淤工程。

b. 在农业灌溉供水前后, 加大入河排污口的监督监测力度, 保证城市污水处理厂的正常运行, 确保废污水达标排放。

c. 在农业灌溉供水前, 按照市河流水质状况, 以一定的水量对灌溉河道进行冲污, 迅速改善河流水质。

d. 在农业灌溉供水期间, 提高水质监测频次, 及时提供供水水质信息, 并视水质变化情况科学合理地进行水量调度, 满足农业灌溉用水水质要求。

参考文献:

[1] 方子云. 水资源保护工作手册[M]. 南京: 河海大学出版社, 1988: 375-434.

[2] 王华东. 水环境污染概论[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1984: 190-247.

(收稿日期: 2005-08-18　编辑: 高渭文)

(上接第 73 页)

d. 饮用水源地保护与供水安全保障关键技术。饮用水安全是湖泊水污染治理和水环境改善的首要目标。系统深入地研究湖泊水源水质保护对策, 并针对巢湖水源水质污染特征, 研究制水供水全过程"多级保安"关键技术, 即研究水源地清淤、控污、抑制水华等关键技术, 实施受污染水源地水质生物强化净化技术及示范、受污染源水安全净化技术优化集成及工程示范, 建立水源地和供水系统安全预警预报系统与应急控制技术及措施。

e. 流域水环境管理决策支持系统与水污染防治长效管理机制

建立流域水污染防治技术经济政策体系, 以流域生态文化理念构建流域水环境综合整治一体化和水污染控制多元化模式, 开发水质管理决策支持系统及应用, 研究水污染防治长效管理机制及示范。

参考文献:

[1] 国家环保总局. 2005 年中国环境状况公报[R].

[2] 何开丽. 巢湖富营养化现状与治理对策[J]. 环境保护, 2002(4): 22-24.

[3] 屠清瑛, 顾丁锡, 尹澄清, 等. 巢湖——富营养化过程[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1990.

[4] 国家环保总局. 2004 年全国环境统计年报[R].

(收稿日期: 2006-06-25　编辑: 高渭文)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net