

南宁市南湖富营养化综合防治对策的研究

Countermeasures on the Nanhu Lake's Eutrophication of Nanning

陈 周云新* 谢宏斌 刘文炜
Chen Hong Zhou Yunxin Xie Hongbin Liu Wenwei
梁雪强 范宇航 陈宗永** 马海霞**
Liang Xueqiang Fan Yuhang Chen Zongyong Ma Haixia

(南宁市环保监测站 南宁 530012)

(Nanning Environmental Protection Monitoring Station, Nanning, 530012)

摘要 针对南宁市南湖(下简称南湖)的水质保护目标,利用数学模型,计算出南湖富营养化的主要污染物氮、磷的环境容量,提出 5 个南湖富营养化综合防治方案。应用经济、技术和其它因素对各个方案进行优化后,推荐方案 2(全程截污+琅东污水处理厂二级生化处理出水再经生态工程净化作为南湖补水+干塘分片清淤)和方案 4(部分截污+部分污水资源化作为南湖补水+生态工程+干塘分片清淤)作为南湖富营养化综合整治方案,其中方案 4 作为首选方案,方案 2 作为次选方案。

关键词 富营养化 防治对策 经济技术优化 综合整治

中图法分类号 X 524

Abstract The environmental capacity of the main pollutants such as nitrogen and phosphorus was calculated by utilizing mathematical models for the water protection of Nanhu Lake, then five comprehensive control options were put forward. After optimized option II (whole interception plus the effluent of Langdong Sewage Disposal Plant, secondary biochemical treatment plant is purified by ecological project as supplying water of Nanhu Lake plus partial dehydration-pool dredging in sections) and option IV (partial interception plus partial waste water resource for Nanhu Lake plus partial dehydration-pool dredging in sections) were recommend and option IV shall be the first choice and option II shall be the second choice.

Key words eutrophication, countermeasures, economical and technological optimization, comprehensive control

南湖位于南宁市东部,面积约 1 km^2 ,是南宁市最大的湖泊,目前主要有养鱼、水上娱乐

1998-06-27 收稿,1998-07-26 修回

* 南宁市环保局,南宁,530012; ** 南宁市南湖公园,南宁,530012

等功能, 并有调节小气候和滞洪蓄水等作用。南湖作为南宁市主要的风景游览地之一及商品鱼养殖基地, 多年来为丰富人民群众的业余文化生活及南宁市的菜篮子工程作出了巨大贡献。然而, 由于近年来随着南宁城市化进程的加快, 已逐步成为城市湖泊。大量未经处理的城市污水源源不断地流入, 大大超过南湖本身的环境容量, 湖泊富营养化迅速发展, 水质恶化, 发黑变臭, 透明度下降, 底质淤积现象严重, 藻类疯长, 死鱼现象时有发生。尤其 1996 年初全湖大面积死鱼多达 10 万多千克, 死鱼时间持续几天, 造成较严重的社会影响和经济损失。目前南湖的景观功能已受到严重影响, 养鱼及其他功能也受到极大限制, 治理南湖已刻不容缓。随着南宁市国民经济的迅速发展及对外开放的不断扩大, 南湖流域作为南宁市政治、文化及商业中心, 其环境地位日益重要, 综合整治南湖将不仅有利于改善南宁市投资环境, 促进对外开放, 也有利于促进南宁市社会经济环境可持续发展战略的实施, 因此控制南湖富营养化, 改善南湖水环境质量, 已是当务之急。

南湖的污染引起了社会的广泛关注, 南宁市政府已下决心治理好南湖, 恢复其美丽原貌, 并把南湖综合治理作为政府工作重点, 截污工程也已开工建设, 但如何科学有效地治理南湖至今仍无定论。“七五”、“八五”期间我国曾进行了全国范围的湖泊富营养化及其防治的系统的调查与研究^[1], 但取得的成功经验不多。本文着重对南湖富营养化防治进行研究, 制定因地制宜而又切实有效的综合整治方案, 为治理南湖污染、控制水体富营养化提供科学的决策依据, 供政府管理部门决策参考。

1 南湖水质目标及主要控制因子氮和磷的环境容量

1.1 南湖的水质目标

根据南湖的主要功能对水质的要求, 南湖水质已确定按国家《景观娱乐用水标准 (GB12941-91)》B 类要求执行, 未彻底治理前按 C 类要求。南湖水质现状 (表 1) 从指标上看, 水质营养物指标氮、磷, 有机污染综合指标 COD_{Mn}、BOD₅ 及氨氮超标非常严重, 透明度不及 C 类标准的一半。综合整治南湖将是一项艰巨而持久的任务。

表 1 景观娱乐用水标准主要指标及南湖水质现状

	透明度 (m)	高锰酸盐 指数 (mg/L)	生化需氧量 (mg/L)	溶解氧 (mg/L)	总 磷 (mg/L)	氨 氮 (mg/L)
景观 B 类	1.2	6	4	4	0.02	0.5
景观 C 类	0.5	10	8	3	0.05	0.5
南湖现状 (1996 年均值)	0.20	15.0	27	4.9	1.879	9.648

氮和磷是南湖富营养化的主要控制因子, 因此总氮、总磷的控制是南湖水环境综合整治规划中的主要目标。根据南湖现状、现行的技术条件及实际可能性, 我们制订了分 3 个阶段的控制目标: 近期即 2000 年氮、磷的控制目标分别为 4.36 mg/L、0.40 mg/L; 中期 2005 年为 0.60 mg/L、0.05 mg/L (景观 C 类); 远期 2010 年为 0.50 mg/L、0.02 mg/L (景观 B 类)。

1.2 南湖氮和磷的环境容量

.....

虑在满足水质目标情况下所允许的最大磷负荷。南湖目前年入湖氮、磷量分别为 495.67 t 和 69.46 t, 湖水总氮、总磷年平均浓度高达 16.32 mg/L、1.879 mg/L, 单位面积氮、磷负荷高达 460.66 g/m²·a 和 64.55 g/m²·a。南湖氮磷负荷之高, 国内外湖泊罕见。

为选择适用于南湖的总磷水质模型, 采用南湖水质参数: 湖泊面积 1.076×10⁶ m²; 湖泊容积 1.883×10⁶ m³; 平均水深 1.75 m; 年度入湖水量 24.393×10⁶ m³/a; 年度出湖水量 24.393×10⁶ m³/a; 水利冲刷系数 12.954 1/a; 年水量负荷 22.670 m³/m²·a; 年度入湖磷量 69.46 t/a; 年度入湖氮量 495.67 t/a; 磷滞留系数 70.8%; 氮滞留系数 65.9%; 磷面积负荷 64.55 g/m²·a; 氮面积负荷 460.66 g/m²·a; 湖水滞留时间 0.0772 a, 对各种模型进行验证^[2]。验证结果 (表 2-3) 表明合田健模型的计算结果与实测值较为接近, 误差仅为 5.2%, 故选择作为南湖磷预测模型。氮预测模型建立从机理上看比磷模型要复杂, 我们借用磷预测模型的形式通过比较选择误差小的模型作为氮预测模型。Vollenweider 模型误差为 -2.0%, 最小, 选择作为南湖氮预测模型。

表 2 南湖氮磷水质模型验证

模型名称	公式	营养盐	计算值 (mg/L)	实测值 (mg/L)	相对误差 (%)
Vollenweider	$P = P_i \left[1 + \frac{Z}{q_s} \right]^{-1}$	P	2.229	1.879	18.6
		N	15.90	16.23	-2.0
Dillon	$P = \frac{L_p(1-RP)}{d_w Z}$	P	0.831	1.879	-55.8
		N	6.93	16.23	-57.3
合田健	$P = \frac{L_p}{Z \left(\frac{q}{V} + \frac{10}{Z} \right)}$	P	1.976	1.879	5.2
		N	14.10	16.23	-13.1
OECD	$P = P_i \left[1 + \frac{1}{f_w} \left(\frac{V}{Q_{in}} \right)^{0.6} \right]^{-1}$	P	1.605	1.879	-14.6
		N	11.45	16.23	-29.5
玄武湖	$P = \frac{L_p}{11.6 + 1.2q_s}$	P	1.663	1.879	-11.5
		N	11.87	16.23	-26.9

注: 模型中: P : 湖水平均总磷浓度 (mg/L); P_i : 平均入湖水总磷浓度 (mg/L); L_p : 磷面积负荷 (g/m²·a); q_s : 单位湖泊面积上的水量负荷 m³/m²·a; d_w : 水力冲刷系数 $d_w = q/V$ (1/a); Q_{in} : 湖泊入湖水量 (m³/a); q : 湖泊出湖水量 (m³/a); A : 湖泊面积 (m²); Z : 湖泊平均深度 (m); V : 湖泊容积 (m³); f_w : 湖水滞留时间 (a) $f_w = V/Q$; R_p : 磷滞留系数 $R_p = 1 - \text{出湖总磷量} / \text{进湖总磷量}$ 。

从表 3 可见, 目前南湖要达到景观 C 类标准, 则氮、磷的允许排放量只能为每年 18.78 t 和 1.75 t, 这意味着南湖年入湖氮磷量必须削减 96.2% 和 97.5%, 此外还需削减内负荷。南湖富营养化防治工作非常艰巨。

表 3 南湖氮、磷的环境容量

目标名称	水质标准 (mg/L)		允许负荷 (g/m ² ·a)		允许排放量 (t/a)		入南湖水平均浓度 (mg/L)	
	氮	磷	氮	磷	氮	磷	氮	磷
富营养化危险值	4.50	0.413	130.35	13.49	140.26	14.52	5.75	0.595
富营养化允许值	1.38	0.120	39.90	3.92	42.93	4.22	1.76	0.173
近期环境目标	4.36	0.40	126.27	13.07	135.87	14.06	5.57	0.576
中期环境目标	0.60	0.05	17.45	1.63	18.78	1.75	0.77	0.072
远期环境目标	0.50	0.02	14.51	0.65	15.61	0.70	0.64	0.029

2 南湖综合整治方案的确定

2.1 富营养化防治措施的选择

对湖泊富营养化的防治关键是从湖泊生态系统中除去氮、磷和有机物,从外环境(截断或减少水体的外来污染负荷)和内环境(对湖泊生态系统进行干预)两条基本途径去控制^[1]。防治南湖富营养化,必须把上述两条途径结合起来才能取得较好效果。南湖可采用的外环境的控制措施主要有:污水截流、筹建污水处理厂、分散污水处理设施、补水、设置前蓄水池、修建氧化沟、湖泊防护带技术、限制合成洗涤剂中的含磷量等,内环境的防治措施主要有:冲洗法、人工循环抑制法、曝气法、底泥疏浚法、以及生态调控措施等。根据不同富营养化防治措施的条件和效益分析,适合于南湖富营养化防治的主要措施有:

(A) 污水截流——全部截污(A1),是指环湖修建截污管道,把污水经管道及泵站送到琅东污水处理厂;部分截污(A2),是指只从南湖正门及以北的污水口截入管道,送至琅东污水处理厂处理。

(B) 底泥疏浚——干塘清淤(B1),是指湖水放干后,一次性或分片清挖淤泥;水下清淤(B2),是指不放水而用挖泥船逐年清淤。

(C) 补水措施——琅东污水处理厂出水(C1),是指琅东污水处理厂二级生化处理后的水直接用于南湖补水;邕江水(C2),是指采用从邕江抽水的办法给南湖补水;部分污水就地处理后出水(C3),是指用A2方案所指桃源路、滨湖路的污水用氧化沟或地埋式无动力污水处理系统处理后供南湖补水;琅东污水处理厂三级处理后出水(C4),是指琅东污水处理厂二级处理出水再经三级生化处理、前置库技术或生态工程处理后供南湖补水。

(D) 生态调控——EM生物菌群(D1),是指用日本比嘉照夫的EM生物菌群专利技术,不采取任何工程措施进行南湖的直接治理;生态工程等综合措施(D2),是指(1)建立水生植物系统及“水面绿化”工程等;(2)采用中国河海大学陈鸣钊教授发明的有助于轮虫生长而清除藻类的专利技术;(3)合理搭配鱼种,控制鱼产量6kg/m²左右;(4)湖泊防护带技术控制面源污染;(5)用行政性措施在指定片区强制推广使用低磷、无磷洗衣粉等综合性措施。

2.2 综合整治方案

根据可以采用各单项措施,形成的综合方案有:A1+B1+C1(方案1)、A1+B1+C4(方案2)、A1+B1+C2(方案3)、A2+B1+C3+D2(方案4)、D1(方案5)。

将现流入南湖的污水全部截流,对南湖进行干塘分片清淤,然后依靠1998年10月建成的琅东污水处理厂二级生化处理的出水补水。预计污水截流管道工程耗资1425万元(注:本文所提及的价格为1996年已考虑价格上涨因素。下同),污水泵站工程耗资250万元,加上其他配套工程总投资约3300万元。

全程截污基本截走所有污染源,但同时也截走绝大部分补给水源,工程量大,一次投资也最大,建成后由于截污管道是采用二级泵送的办法而非重力流,因此运行的成本大(主要耗电),也存在一定风险,例如由于停电或设备故障的原因会造成污水仍流入南湖。方案未考虑琅东污水厂的出水如何进入南湖,经提出后修改的方案为原南湖出水口改为进水口,排水口选择从桃源路附近选一近点打通邕江泄水。该工程估计耗资也在300万元以上。本方案建成后年运转费用估计在60万元左右,主要用于泵站电费及人工工资。

2.2.2 A1+ B1+ C4 (方案2)

该方案与方案1的区别只在补水。主要考虑琅东污水处理厂二级生化处理的出水TN、TP分别为4 mg/L和3 mg/L,与南湖要求的景观C类水标准差距较大,因此提出经化学除磷、前置库技术或生物工程深度处理后再进入南湖。如果南湖北端的土地近年内不作它用,利用现有水塘(面积10万多平方米)建设水生植物净化区,构成南湖的前置库,应是最好选择。由于目前大部分水塘已被填平,建议利用剩余部分水塘(2万多平方米)及南湖北边的鱼种塘(4万多平方米)建设成莲藕区,再利用6万多平方米水面建设‘水面绿化’工程——经济植物净化区^[3,4],设计采用水蓴菜、西洋菜、金针菜、多花黑麦草、美人蕉、水草等多种经济景观植物合理搭配,整个水生植物净化区设计成景观形式,水力停留时间约19 d。既净化水质,又构成南湖新的风景。

2.2.3 A1+ B1+ C2 (方案3)

该方案与方案2意义相同,区别只在补水。采用邕江补水主要问题在于投资及运行费用都很高,其中仅仅建设浮船式泵房和给水管道的需投资385万元,尚未考虑征地、施工难度等因素。由于邕江凌铁断面年平均水位只有61.47 m,而南湖常年水位为70.3 m,再考虑水力损失等因素,提升泵的扬程至少也要达到10 m,运转费仅电费一项每年达10万元以上(电价按工业基本电价0.515元/度),另外泵房的管理维护工作量也较大。此方案对南湖水质改善应是最好选择,但邕江水丰水期(每年约4个月时间)期间,水质泥沙量大,悬浮物高达300 mg/L,混浊度最高可达600度,因此直接抽水会对南湖的水质、景观产生不利的影响,需考虑建设沉沙池等设施,对邕江水进行沉清后方可作为南湖补水。

2.2.4 A2+ B1+ C3+ D2 (方案4)

该方案与上述3个方案有很大差别,既选择部分截流,使截流管道工程减少将近一半,可基本利用重力流而去掉泵站;补水采用原桃源路与滨湖路两个排污口的生活污水经地埋式无动力污水处理系统处理后再经‘水面绿化’工程及挺水和沉水植物深度处理,也可建设景观式喷水池使入湖水体得到充氧处理,效果得到更好保证。这样:一是减少了近一半的截污工程;二是空出1.7万多吨污水指标,无形中增加琅东污水处理厂的处理能力及其服务范围;三是地埋式污水处理系统为南宁市增加了每天1.7万多吨的污水处理能力;四是解决了南湖的补水问题。清淤采用干塘式分片清淤,保证南湖景观在逐步中改善,减少一次性全面清淤带来的景观破坏及工程浩大引起的诸多困难及对环境的较大影响。该方案的污水处理费用初步

2.2.5 D1 (方案 5)

采用日本比嘉照夫 EM 生物菌群专利技术, 既不用截污, 也不用清淤, 更无需补水, 是一种投资最省的方案, 但预期效果尚未得到证明。

3 方案的优化比较

3.1 经济技术优化比较

上述各方案从经济、技术及其他因素指标进行比较分析 (表 4)。从分析可以看出方案 3 最差, 且存在拆迁等问题, 其实行的难度最大。方案 5 虽是投资最省、操作最易的方案, 但技术指标上存在许多不确定因素, 因此也基本被搁置。代表性的方案应为方案 1、2、4。

表 4 5 种方案的经济技术指标及其他因素分析

		方案 1 (A1+ B1+ C1)	方案 2 (A1+ B1+ C4)	方案 3 (A1+ B1+ C2)	方案 4 (A2+ B1+ C3+ D2)	方案 5 (D1)
经济指标	总投资	很大 (7 300万元)	很大 (7 300万元)	很大 (7 300万元)	中 (6 000万元)	较小
	运行费用	较大	较大	很大	小	不详
	占地	较大	较大	很大	较大	小
	养鱼效益	一般	一般	一般	中	不详
	旅游效益	中断	中断	中断	中断	保持
技术指标	COD	一般	较好	较好	较好	较好
	BOD	一般	较好	较好	较好	较好
	SS	好	好	好	好	较好
	TN	差	较好	很好	好	较好
	TP	差	较好	很好	好	较好
	透明度	好	好	不详	较好	较好
	达标概率	低	高	高	高	中
其他因素	施工难度	大	大	很大	中	小
	建设年限	长	长	长	中	短
	正常运行概率	中	中	低	高	高

3.2 目标可达性分析

从采用不同治理方案治理南湖后, 南湖水质状况的预测结果 (表 5) 看琅东污水处理厂二级生化处理出水作为南湖补水, 南湖水质有所改善, COD_{Mn} 基本符合景观娱乐用水 C 类标准, TP、TN 指标也有一定幅度的下降。补水对南湖水质的改善

表 5 采用不同治理方案治理南湖后南湖水质状况预测

方 案	TP	TN	COD _{Mn}
方案 1(A1+ B1+ C1)	0.903	5.45	8.2
方案 2(A1+ B1+ C4)	0.049	0.60	6.3
方案 3(A1+ B1+ C2)	0.012	0.66	3.5
方案 4(A2+ B1+ C3+ D2)	0.027	0.40	6.0

起到一定的积极作用,但由于琅东污水处理厂二级生化处理出水 TR TN 指标仍然很高,输入南湖的氮、磷负荷远超过南湖环境容量,南湖仍然处于严重富营养化状态,达不到治理目标。但是琅东污水处理厂二级生化处理出水经水生植物净化区净化处理后作为南湖补水,南湖水质可达到景观 C 类标准。若适当扩大水生植物净化区以增加削减氮磷效率并加上严格管理则南湖水质达到景观 B 类标准是完全可能的。

采用邕江补水方案,南湖水质可达到景观娱乐用水 B 类标准。采用方案 4 对南湖进行综合治理,南湖水质可达到景观 C 类水质标准,并达到控制南湖富营养化、改善水环境质量的治理目标。如辅以适当扩大水生植物区、或在桃源路、滨湖路一带推广无磷或低磷洗衣粉等措施,加上严格管理,南湖水质完全可以达到景观 B 类水质标准。

方案 1、2 均以邕江作为南湖的泄水容纳体,虽然排水处为城市的下游,不影响南宁的饮用水源水质,但邕江同样也是南宁的重点保护水体,以及考虑到河流跨地市边界水质达标管理,因此,该两方案的影响仍有待进一步研究。

4 结论

琅东污水处理厂二级生化处理的出水作为南湖补水对南湖水质改善有一定积极作用,但不能改变南湖富营养化的实质,南湖仍处于严重富营养化状态,也达不到控制南湖富营养化、改善水环境质量的的目标。因此南湖的富营养化综合治理以截污、清淤、补水、生物净化四大工程为主,是一个系统工程。经全面权衡分析各种方案的优缺点及可行性后,把方案 2 和方案 4 推荐作为南湖综合整治方案。其中方案 4 (A2+ B1+ C3+ D2(即部分截污+ 部分污水资源化作为南湖补水+ 生态工程+ 干塘分片清淤))为优选方案,方案 2 (A1+ B1+ C4(即全程截污+ 琅东污水处理厂二级生化处理出水再经生态工程净化作为南湖补水+ 干塘分片清淤))为次选方案。

参考文献

- 1 金相灿.中国湖泊富营养化.北京:中国环境科学出版社,1990.
- 2 顾丁锡,舒金华.湖泊水污染预测及其防治规划方法.北京:中国环境科学出版社,1988.
- 3 戴全裕.水培经济植物对酿酒废水净化与资源化生态工程研究.科学通报,1996,41(6): 547~ 551.
- 4 戴全裕.多花黑麦草对啤酒废水净化功能的研究.应用生态学报,1993,4(3): 334~ 337.

(责任编辑: 邓大玉)

国际知名猕猴桃专家梁畴芬先生逝世

中国著名的植物分类学家、中国共产党党员、广西壮族自治区、中国科学院广西植物研究所原所长、研究员、《广西科学院学报》原副总编梁畴芬同志因病,于 1998 年 10 月 18 日上午 11 时 35 分在桂林不幸逝世,享年 77 岁。