

贵州高原“两湖一库”富营养化防治途径探讨

夏品华, 李秋华, 张明时

(贵州师范大学贵州省山地环境信息系统和生态环境保护重点实验室, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 通过分析目前贵州高原红枫湖、百花湖和阿哈水库(简称“两湖一库”)水环境状况及污染特征,探讨了湖泊环境保护模式和途径。结果表明,“两湖一库”的水质、生物、底质在同期内表现出截然不同的污染状态,水质的污染滞后于生物和底质;外源输入N和P的营养负荷高,底质营养盐累积量大;湖泊环境保护是一个系统工程,需要体制、机制创新,治理、管理、宣传教育与科技并重才能实现。

关键词: 富营养化; 贵州高原; 阿哈水库; 红枫湖; 百花湖

中图分类号: X506

文献标识码: B

文章编号: 1006-2009(2011)06-0073-04

Approaches of Eutrophication Control for “Hongfeng Lake, Baihua Lake and Aha Reservoir” in Guizhou Plateau

XIA Pin-hua, LI Qiu-hua, ZHANG Ming-shi

(Key Laboratory for Information System of Mountainous Area and Protection of Ecological Environment of Guizhou Province, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: Water environmental quality and the pollution character of deep-reservoirs were analyzed by the Hongfeng Lake, Baihua Lake and Aha Reservoir (referred to as “two lakes and one reservoir”) located in Guizhou plateau of China, to find the protective way for those lakes. The results showed that the water quality, living beings, sediment were in different pollution situation in the same period, and water pollution fall behind bio-contamination and sediment pollution. High load of exogenous nitrogen and phosphorus entered those lakes and high concentration of nutrients were accumulated in sediment. Environmental protection for those lakes was a system engineering in relating mechanism innovation, management, education, science and technology.

Key words: Eutrophication; Guizhou plateau; Aha Reservoir; Hongfeng Lake; Baihua Lake

水库、湖泊水体富营养化逐年加剧,由其引发的“水华”灾害是当今重大的水环境问题,已经引起世界各国和联合国环境规划署(UNEP)等国际组织的高度关注^[1-3]。水体的富营养化,正常的生态平衡被破坏,水生生物的稳定性和多样性降低,水生生态环境向不利于人类生存和发展的方向演变,严重影响着经济社会的可持续发展^[4-7]。国内外的科学工作者对水体富营养化综合防治和“水华”控制技术进行了大量的研究^[8-9],水库、湖泊富营养化的防治和水华蓝藻控制的方法,主要有物理法^[10-12]、化学法^[13-14]和生物法^[15-18]等。目前,综合运用几种方法降低水体富营养化程度,控制蓝藻水华的发生^[19-21]。

贵州地处云贵高原石漠化地区,地质构造上属于喀斯特地貌,水资源时空分布不均匀,地下水也相对比较贫乏。水库有近2 000座,许多水库的功能由发电与防洪为主转变为以供水为主,兼顾发电和防洪。水体富营养化是该地区水环境污染的主要表现形式,水华发生的频率和规模在逐年加大。由于不同区域水库、湖泊的富营养化成因、类型、演

收稿日期: 2011-01-12; 修订日期: 2011-10-03

基金项目: 贵州省科技厅社会发展攻关基金资助项目(SZ 20093002, SY20103176); 贵阳市科技局社会发展攻关基金资助项目(2010503)

作者简介: 夏品华(1981—),男,贵州黔西人,讲师,硕士,从事环境评价规划与管理。

变过程以及物理、化学、生物学特性等方面存在显著差异,水体的营养物水平和营养化效应具有很大的区域差异性^[22-23]。目前,国内外对高原深水喀斯特型水库研究较少^[24-29]。红枫湖、百花湖和阿哈水库(简称“两湖一库”),均位于贵阳市,属高原深水喀斯特型水库,其富营养化防治方式和管理模式不同于其他水库,因此有必要对这类型的水库进行深入研究。

1 “两湖一库”基本情况

红枫湖位于 106°19'E—106°28'E,26°26'N—26°35'N,流域面积 1 596 km²,正常水位时湖泊水面面积 57.2 km²,总库容 6.01 亿 m³,最大水深 45 m,平均水深 11 m,总有效库容 4.42 亿 m³,为猫跳河梯级电站的龙头水库,具有发电、防洪、工农业用水、饮用水源、旅游等多种功能。

百花湖是红枫湖建成蓄水后,在猫跳河的干流上建成的梯级水库,位于 106°27'E—106°34'E,26°35'N—26°42'N,集水面积为 299 km²,最高水位海拔 1 195 m,总库容 1.91 亿 m³,最大水深 42 m,平均水深 9.5 m。

阿哈水库是一个断裂沟谷—山涧河流型水库,平均水深 13 m,最大水深 24 m,集水面积为 190 km²,洪水位 1 116.13 m,总库容 8 658 万 m³,正常蓄水位 1 110 m,是以城市供水和防洪为主的中型水库。

“两湖一库”位于喀斯特地区。在这类地区,碳酸盐岩峰体形态的差别主要受岩性和地质构造的控制。该地貌特有的生态脆弱性客观上决定了在其区域内易发生严重的水土流失和石漠化,水体中钙的含量较高。红枫湖水库和百花湖水库属于重碳酸盐类,Ca 组,Ⅲ型水,水质硬度中等。阿哈水库属于硫酸盐类,Ca 组,Ⅲ型水,水质硬度极硬,阿哈水库出现这样的情况主要受上游流域内大量的煤矿开采活动影响^[30]。

2 “两湖一库”水环境状况

1996 年—1998 年水体处于贫营养状态,根据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002),属Ⅲ类水质,生物多样性及浮游植物已经处于重度富营养化状态,底质已经处于严重污染状态。2003 年—2005 年水库底质进一步恶化,生物多样性也降低,水质等级也转变化为Ⅳ类、Ⅴ类,而水体营养状态

也由贫营养向中营养化转变。

2007 年—2008 年污染程度加剧,水质指标和生物指标都显示红枫湖和百花湖处于严重污染状态,以水体富营养化最突出,浮游植物优势种类以蓝藻门的水华束丝藻(*Aphanizomenon flos-aquae*)、水华鱼腥藻(*Anabaena flos-aquae*)、铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)为主。以红枫湖为例,2006 年浮游植物平均丰度为 $7.3 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$,变化幅度为 $7.2 \times 10^6 \text{ L}^{-1} \sim 2.8 \times 10^8 \text{ L}^{-1}$ 。从水体的营养状态、水质状态、生物多样性及底质观察,红枫湖和百花湖先发生底质污染,水体的营养状态、水质、生物多样性随后发生恶化。高原深水喀斯特型水库的水体(水质)、生物(多样性)、库基(底质)在相当时期内表现出截然不同的污染状态,水质的污染远远滞后于生物和底质。1996 年—2008 年红枫湖和百花湖水环境演替情况见表 1。

表 1 红枫湖和百花湖水环境状况			
Table 1 Water environment change in Hongfeng Lake and Baihua Lake			
年度	1996—1998	2003—2005	2007—2008
营养状态	贫营养	中营养	中营养
水质级别	Ⅲ	Ⅳ、Ⅴ	Ⅳ、Ⅴ、劣Ⅴ
生物多样性	重度富营养	重富营养	重富营养
底质	严重污染	严重污染	严重污染

与红枫湖和百花湖有所不同,阿哈水库周边农田少,直接面源污染少。通过近 8 年来对阿哈水库水质状况分析,按照对阿哈水库水质达Ⅲ类标准参考(TN 不参与评价时),主要是 TP 和 DO 影响水质等级,枯水期,丰水期和平水期,TN 超标倍数分别为 1.9 倍,1.9 倍,1.8 倍。阿哈水库库心水质变化情况见表 2。

表 2 阿哈水库库心水质状况		
Table 2 Water quality change in middle of Aha Reservoir		
年度	水质级别	超标项目
2000	Ⅱ	无
2001	Ⅲ	粪大肠菌群、硫酸盐
2002	Ⅱ	无
2003	Ⅲ	DO
2004	Ⅲ	粪大肠菌群
2005	Ⅱ	无
2006	Ⅲ	COD、I _{Mn} 、TP、粪大肠菌群、硫酸盐、Mn
2007	Ⅲ	DO、TP

3 “两湖一库”污染特征

近十年来,“两湖一库”水质恶化严重,水体富营养化程度逐年增大,水华发生的频率和规模也在

加大。引起“两湖一库”水体富营养化程度加剧的原因主要是入库营养盐 N 和 P 未得到有效控制和湖内污染负荷较大,见表 3。

表 3 2008 年“两湖一库”湖污染物 N 和 P 年入湖量
Table 3 TN and TP loading into Hongfeng Lake, Baihua Lake and Aha Reservoir in the year 2008

污染源	红枫湖、百花湖				阿哈水库			
	m(TN) /t	占总量/%	m(TP) /t	占总量/%	m(TN) /t	占总量/%	m(TP) /t	占总量/%
工业污染	1 392	21.8	115	9.2	15.3	1.3	3	1.2
城市生活污染	628	9.8	100	8.0	311	26.4	50	19.6
农村生活污染	523	8.2	46	3.7	130	11.0	11	4.5
农业生产面源	400	6.3	33	2.7	35	3.0	3	1.2
城市径流	61.8	1.0	0	0.0	62	5.3	0	0.0
畜禽养殖	26	0.4	9.7	0.8	2.7	0.2	1	0.4
红枫湖底泥悬浮层	1 888	29.5	561	45.1				
百花湖底泥悬浮层	1 471	23.0	379	30.5				
阿哈水库底泥悬浮层					623	52.8	187	73.3
合计	6 390	100	1 244	100	1 179	100	255	100

由表 3 可见,“两湖一库”的外源 N 和 P 输入负荷和内源 N 和 P 负荷较大,红枫湖、百花湖外源 N 和 P 输入分别为 3 031 t/a 和 304 t/a、内源 N 和 P 负荷为 3 359 t/a 和 940 t/a,阿哈水库外源 N 和 P 输入分别为 556 t/a 和 68 t/a、内源 N 和 P 负荷为 623 t/a 和 187 t/a。底泥悬浮层和工业污染源是红枫湖、百花湖 N 和 P 的主要污染源,分别占总量的 52.5% 和 21.8%,而阿哈水库则以底泥悬浮层和城市生活污染源为主,尤其是底泥悬浮层的 N 和 P 占入湖总量的 52.8% 和 73.3%。可见,“两湖一库”均遭受严重的内源和外源污染。值得注意的是,尽管底泥 N 和 P 污染负荷较高,但湖泊水质相对较好,这与浅水湖泊不一样。

4 “两湖一库”富营养化防治途径

“两湖一库”的治理模式既无法单纯引进国外深水湖泊的治理模式,更不能照搬国内浅水型湖泊的治理办法,必须根据自身特点,在治理思路 and 治理技术上创新。

4.1 创新 3 个体制

创新行政手段,成立贵阳市“两湖一库”管理局,通过授权或委托等方式,履行涉水环境保护的行政许可、行政处罚等职能,实现“一门牵头,合力治水”。

创新法律手段,成立了贵阳市中级人民法院环境保护审判庭和清镇市人民法院环境保护法庭,负

责统一审理及执行涉及“两湖一库”环境保护的民事、行政案件和相关案件,实现“专业审理,依法保水”。

创新经济手段,成立了贵州省贵阳市“两湖一库”环境保护基金会,倡导社会积极参与“两湖一库”保护和治理工作,实现“依靠社会,全民护水”。

4.2 建立 3 个机制

建立目标责任绩效考核机制,科学确定考核目标,层层落实工作责任,做到目标明确、责任到人、奖惩分明。

建立生态补偿机制,按照谁受益谁补偿,谁污染谁付费的原则,贵阳市财政从 2009 年起,在整合各项生态补偿专项资金的基础上,从预算中再安排 1 000 万元,用于生态环境保护和治理,并根据财力增长情况逐年增加;从市级和各区(市、县,含非建制区)每年的土地出让金收入(入市、县级金库数)中集中 3% 纳入生态补偿专项资金。

建立投融资机制,按照政府主导、市场运作、社会参与的原则,推动国有资源、资产、资金、资本整合运作,构建多元化投融资平台,解决“两湖一库”保护和治理资金问题的思路,并积极进行了实践。

4.3 实施 4 项举措

项目治理,实施工业污染治理、城镇生活污水治理、农业农村面源污染治理、生态修复、生物净化 5 大治理工程,有的放矢科学治湖。

执法管理,开展以打击非法排污、打击违法违

章建筑、打击非法捕捞、打击破坏森林资源、打击非法取水为主要内容的5大执法战役,严堵外源污染。

科技攻关,组织以内源治理技术研究、农业农村面源污染防治技术研究、湖滨水淹区生态修复治理技术研究、入湖库支流治理技术研究为重点的4大科技攻关,为保护治理搭建科学平台。

强化“保湖、爱湖、惜湖”宣传,拓宽新闻媒体,网络,公益活动,“进广场、进库区、进农村、进社区、进学校”等4个宣传渠道,广泛提升全民意识,用科学的办法保护和治理“两湖一库”。

[参考文献]

- [1] GULATI R D, DONK E. Lake in the Netherlands their origin, eutrophication and restoration: state of the art review [J]. *Hydrobiologia*, 2002(478) : 73 – 106.
- [2] 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探[J]. *湖泊科学*, 2002, 14(3) : 197 – 201.
- [3] SCHINDER D W. Recent advances in the understanding and management of eutrophication [J]. *Limnology and Oceanography*, 2006, 51(1) : 356 – 363.
- [4] LEWIS W M. Basis for the protection and management of tropical lakes [J]. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 2000(5) : 35 – 48.
- [5] 谢平. 论蓝藻水华的发生机制 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [6] 朱广伟, 秦伯强, 高光. 风浪扰动引起大型浅水湖泊内源磷爆发性释放的直接证据 [J]. *科学通报*, 2005, 50(1) : 66 – 71.
- [7] 李秋华, 韩博平. 基于 CCA 的典型调水水库浮游植物群落动态特征分析 [J]. *生态学报*, 2007, 27(6) : 2355 – 2364.
- [8] 郭培章, 宋群. 中外水体富营养化治理案例研究 [M]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [9] 李小平. 美国湖泊富营养化的研究和治理 [J]. *自然杂志*, 2003, 24(2) : 63 – 68.
- [10] ASAEDA T, PRIYANTHA D G N, SAITOH S, et al. A new technique for controlling algal blooms in the withdrawal zone of reservoirs using vertical curtains [J]. *Ecological Engineering*, 1996(7) : 95 – 104.
- [11] ASAEDA T, PHAM H S, PRIYANTHA D G N, et al. Control of algal blooms in reservoirs with a curtain: a numerical analysis [J]. *Ecological Engineering*, 2001(16) : 395 – 404.
- [12] PUTZ K, BENNDORF J. The importance of pre-reservoirs for the control of eutrophication of reservoir [J]. *Wat Sci Tech*, 1998(37) : 1317 – 1324.
- [13] DEPPE T, BENNDORF J. Phosphorus reduction in a shallow hypereutrophic reservoir by in-lake dosage of ferrous iron [J]. *Water Research*, 2002(36) : 4525 – 4534.
- [14] 肖利娟, 韩博平, 林秋奇, 等. HA1 絮凝剂在供水水库水华应急处理中的应用研究 [J]. *环境科学*, 2007, 28(10) : 2192 – 2197.
- [15] LUGO A, BRAVO-INCLAN L A, ALCOER J, et al. Effect on the planktonic community of the chemical program used to control water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Guadalupe dam, Mexico [J]. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 1998(1) : 333 – 343.
- [16] MATVEEV M, MATVEEV L. Grazer control and nutrient limitation of phytoplankton biomass in two Australian reservoirs [J]. *Hydrobiologia*, 1997(38) : 49 – 65.
- [17] MATYAS K, OLDALI I, KORPONAI J, et al. Indirect effect of different fish communities on nutrient chlorophyll relationship in shallow hypertrophic water quality reservoirs [J]. *Hydrobiologia*, 2003(504) : 231 – 239.
- [18] KARJALAINEN H, SEPPALA, WALL M. Nitrogen, phosphorus and Daphnia grazing in controlling phytoplankton biomass and composition—an experimental study [J]. *Hydrobiologia*, 1998(363) : 309 – 321.
- [19] SEDA J, KUBECKA J. Long-term biomanipulation of Rimov Reservoir (Czech Republic) [J]. *Hydrobiologia*, 1997(345) : 95 – 108.
- [20] GOLDYN R, KOZAK A, ROMANOWICZ W. Food-web manipulation in the Maltánski Reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 1997(342/343) : 327 – 333.
- [21] BARRETT P R F, LITTLEJOHN J W, CURNOW J. Long-term algal control in a reservoir using barley straw [J]. *Hydrobiologia*, 1999(415) : 309 – 313.
- [22] 秋华. 大镜山水库水质改善生态工程效果及浮游植物群落动态特征 [D]. 广州: 暨南大学, 2008.
- [23] 郑晓红, 汪琴. 淀山水库水质状况及富营养化评价 [J]. *环境监测管理*与技术, 2009, 21(2) : 68 – 70.
- [24] 王雨春, 马梅, 万国江, 等. 贵州红枫湖沉积物磷赋存形态及沉积历史 [J]. *湖泊科学*, 2004, 16(1) : 21 – 27.
- [25] 林高松, 黄晓英, 李娟. 人工神经网络在深圳市水库富营养化评价中的应用 [J]. *环境监测管理*与技术, 2010, 22(1) : 59 – 63.
- [26] 刘丛强. 生物地球化学过程与地表物质循环 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [27] 王云中, 杨成建, 陈兴都, 等. 西安市景观水体营养状态调查及浮游藻类多样性研究 [J]. *环境监测管理*与技术, 2010, 22(3) : 22 – 26.
- [28] ZHANG R Y, WU F C, LIU C Q, et al. Characteristics of organic phosphorus fractions in different tropic sediments of lakes from the middle and lower reaches of Yangtze River region and Southwestern Plateau, China [J]. *Environmental Pollution*, 2008(152) : 366 – 372.
- [29] 张利民, 刘伟京, 尤本胜, 等. 洪泽湖流域生态环境问题及治理对策 [J]. *环境监测管理*与技术, 2010, 22(4) : 30 – 35, 39.
- [30] 吴丰昌. 云贵高原湖泊沉积物 – 水界面碳、氮和磷生物地球化学循环和环境效应研究 [D]. 广州: 中国科学院地球化学研究所, 1995.