

石溪水库水环境容量研究

莫明浩^{1,2}, 李 宁³, 涂安国^{1,2}, 宋月君^{1,2}

(1.江西省水土保持科学研究院, 江西 南昌 330029;

2.江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 江西 南昌 330029; 3.南昌大学建筑工程学院, 江西 南昌 330031)

摘要: 分析了江西宜春石溪水库的水环境状况, 运用沃伦威德尔模型和狄龙模型等水库水环境容量计算方法, 对石溪水库 COD_{Mn}、NH₃-N、TN、TP 的水环境容量进行了计算。结果表明: 石溪水库 2012 年水质为 IV 类, 营养状态为中营养, 入库的污染物量超出其自净能力。将水环境容量按照 III 类和 II 类水标准分为近期目标和远期目标, 接近期目标 COD_{Mn}、NH₃-N、TN、TP 的超标率分别为 7.6%、86.1%、121.1%、40.7%。在此基础上, 分析了石溪水库水污染原因, 提出了水污染控制方案。

关键词: 石溪水库; 水质; 富营养化; 水环境容量; 水污染控制

中图分类号: X524

文献标志码: A

Research of Water Environmental Capacity of Shixi Reservoir

Mo Minghao^{1,2}, Li Ning³, Tu Anguo^{1,2}, Song Yuejun^{1,2}

(1. Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029, China; 2. Key Laboratory of Soil Erosion and Prevention of Jiangxi Province, Nanchang 330029, China; 3. School of Civil Engineering and Architecture, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: In this paper, the status of water environment of Shixi Reservoir was analyzed. By use of the calculation methods such as Vollenweider model and Dillion model, water environmental capacity for COD_{Mn}, NH₃-N, TN and TP in Shixi Reservoir was calculated. The results showed that water quality of Shixi reservoir in 2012 was Class IV and the nutritional status was in an intermediate level. The amount of pollutants discharged into Shixi reservoir exceeded its self-purification capacity. With regard to the water environmental capacity, a short-term goal was set to reach the Class III water standard and a long-term goal was set to reach the Class II water standard. According to the short-term goal, the standard rates of COD_{Mn}, NH₃-N, TN and TP were 7.6%, 86.1%, 121.1% and 40.7% respectively. On the basis of the above, the causes for water pollution in Shixi Reservoir were analyzed and measures for water pollution control were proposed accordingly.

Keywords: Shixi Reservoir; Water Quality; Eutrophication; Water Environmental Capacity; Water Pollution Control

CLC number: X524

水环境容量是指在满足水环境质量的要求下, 水体容纳污染物的最大负荷量。水环境容量的大小不仅取决于自然环境条件, 以及水体自身的物理、化学和生物学方面的特性, 而且与水质要求和污染物的排放方式有密切关系^[1]。水环境容量是环境目标管理的基本依据, 也是污染物总量控制的关键技术手段, 在社会经济快速发展的同时, 合理利用水环境容量保证区域水体水质目

标能够实现是水环境容量研究的重要内容。

水库是陆地生态系统水环境要素的重要组成部分, 具有提供农业灌溉用水、城乡生活用水、水利发电、养殖、航运、调节区域小气候等综合功能, 在区域社会经济发展和生态环境建设中发挥着举足轻重的作用。伴随库区人口快速增长和工农业发展, 我国水库环境面临严峻的挑战, 农田径流、水土流失、畜禽养殖等导致的水体污染

收稿日期: 2014-01-11

基金项目: 江西省水利科技项目 (KT201011); 江西省科技支撑计划项目 (20122BBG70083); 水利部公益性项目 (201001055); 农业部公益性项目 (201203072) 基金资助

作者简介: 莫明浩 (1981-), 男, 博士、高级工程师。研究方向: 流域生态环境。E-mail: mominghao@126.com

成为影响水库水质的主要污染源^[2]。本文以江西宜春石溪水库为例,结合水资源和水环境特征,对石溪水库进行水环境容量及允许排污量进行计算,可为水库流域的污染物总量控制和管理、决策提供科学依据。

1 石溪水库环境状况

1.1 自然地理

石溪水库位于江西省宜春市袁州区西村镇石溪村境内,属赣江水系袁河支流石溪水,距市区25 km。库区地处亚热带季风湿润气候区,具有气候温和、光照充足、雨量充沛、四季分明、无霜期长等特点。库区年平均气温为17.2℃,年平均雨量1608.7 mm,年平均日照时数为1809 h,年平均相对湿度83%,年平均蒸发量1382.9 mm,库区地质构造主体由一系列大致走向为北西~南西的褶皱挤压和压扭断裂构造,属华夏构造体系,区域构造位置位于萍乐凹陷带袁水复向斜中部偏南。

石溪水库枢纽工程始建于1958年6月,1965年扩建为中型水库,1976年由原宜春县水电局按暴雨复核进行加固扩建达到现有规模。设计供水人口2.2万人,是一座以灌溉、供水为主,兼顾防洪、发电及养殖等综合利用的水利工程。

1.2 库区水质评价

宜春水文局2012年对石溪水库水质进行了监测,水质指标平均值见表1。

根据《地表水环境质量标准》^[3](GB3838—2002),对石溪水库进行水质评价,评价结果表明,2012年石溪水库各指标中除总氮(TN)为Ⅳ类,氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)为Ⅲ类,高锰酸盐指数(COD_{Mn})为Ⅱ类外,其余都为Ⅰ类,由此可以看出TN是石溪水库主要超标污染物。采用单因子评价法,库区水质为Ⅳ类。

表1 石溪水库2012年水质监测数据

指标	平均值/mg·L ⁻¹
DO	6.2
NH ₃ -N	0.71
挥发酚	<0.002
BOD ₅	2.4
TP	0.04
pH	7.2
TN	1.21
氰挥发	<0.004
COD _{Mn}	2.5
硝酸盐氮	<0.004
亚硝酸盐氮	2.5
硫酸盐	7.29
铁	0.27
锰	0.08
铜	<0.001
砷	<0.0002
氯化物	1.47

1.3 库区富营养化评价

采用国家环保部公布的《湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定》中的湖泊营养综合状态指数法对石溪水库水体进行富营养化评价。评价指标为叶绿素a(Chl-a)、总磷(TP)、总氮(TN)、透明度(SD)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})等5个指标。水库综合营养状态指数计算公式为:

$$TLI(\sum) = \sum_{j=1}^m W_j g TLI(j) \quad (1)$$

式(1)中TLI(Σ)表示综合营养状态指数;W_j表示第j种参数的营养状态指数的相关权重;TLI(j)代表第j种参数的营养状态指数。

参考文献[4-5],进行富营养状态评价,见表2。得出的结果综合状态指数为47,30≤TLI(Σ)≤50,因此水库的状态等级为中营养。

表2 石溪水库2012年富营养化指标及营养状态评价

COD _{Mn} /mg·L ⁻¹		TP/mg·L ⁻¹		TN/mg·L ⁻¹		Chl-a/mg·m ⁻³		SD/m		营养状态评价			
浓度	评分值	浓度	评分值	浓度	评分值	浓度	评分值	深度	评分值	总评分值	贫营养	中营养	富营养
											轻	中	重
											度	度	度
2.5	25	0.04	42	1.21	57	12.4	52	0.80	56	47	√		

2 石溪水库水环境容量

计算水环境容量所使用的方法是各类水质模型, 然后根据水质模型反推求得, 一般计算模型分为营养盐模型和耗氧有机物模型。在绝大多数情况下, 湖泊、水库被视为“混合反应器”, 在国内, 绝大部分封闭、半封闭性水体的水质模型都以“混合反应器”为假设而建立。

2.1 有机物水环境容量模型

由于石溪水库水的停留时间很长、水质基本处于稳定状态, 可以被作为一个均匀混合的水体进行研究。因此根据沃伦威德尔 (R. A Vollenweider) 模型^[6]假定, 水库中某污染物的浓度随时间的变化率, 是输入、输出和在水库内沉积的该种污染物质量的函数: 可以用下述质量平衡方程表示:

$$V \frac{dc}{dt} = Qc_r - c_c q - KcV \quad (2)$$

式(2)中 V 为水库的容积, m^3 ; c_r 为入库水中污染物平均浓度, mg/L ; c_c 为出库水中污染物平均浓度, mg/L ; c 为水库中污染物平均浓度, mg/L ; Q 为水库入库水量, m^3/a ; q 为水库出库水量, m^3/a ; K 为污染物生化降解参数, d^{-1} 。当水库水质处于稳定状态时,

$$\frac{dc}{dt} = 0, \text{ 则 (2) 式变为:}$$

$$Qc_r - c_c q - KcV = 0 \quad (3)$$

由(3)式可知, 当时 $c_s = c_r$ (c_s 为水库中污染物的水质标准), 水库的水环境容量 W 为:

$$W = KVc_s + qc_s \quad (4)$$

2.2 总磷、总氮的水环境容量模型

水库中总磷、总氮等营养物的浓度随时间的变化率是输入、输出和在库内沉积的该营养物质量的函数, 因此采用狄龙 (Dillion) 模型^[5]。

水库中氮、磷的水环境容量计算公式为:

$$[m] = L_s \cdot A \quad (5)$$

$$L_s = \frac{[P]_s h Q}{(1 - R_p) V} \quad (6)$$

$$R_p = 1 - \frac{\sum q_a [P]_a}{\sum q_i [P]_i} \quad (7)$$

以上3个式中 $[m]$ 为水库中 TN、TP 的水环境容量; L_s 为单位水面积中氮、磷最大允许负荷量, mg/m^2 ; A 为水库面积, km^2 ; $[P]_s$ 为 TN、TP 的平均控制浓度, mg/L ; h 为水库平均水深, m ; Q 为水库出水量, m^3/a ; R_p 为氮、磷在水库中的滞留系数; V 为水库容积, m^3 ; q_a 、 q_i 分别为出流和入流的流量, m^3/d ; $[P]_a$ 、 $[P]_i$ 分别为出流和入流的 TN、TP 平均浓度, mg/L 。

2.3 水库水质控制指标

水质控制浓度按照《地表水环境质量标准》^[9] (GB3838—2002), 分别以 II 类水质和 III 类水质作为控制水环境容量的标准, 地表水环境质量标准 II 类和 III 类控制浓度见表 3。

表3 地表水环境质量标准 (II、III类) $mg \cdot L^{-1}$

参数	标准等级	
	II	III
COD _{Mn}	4	6
NH ₃ -N	0.5	1.0
TN	0.5	1.0
TP	0.025	0.05

2.4 模型参数的选取

水体污染物降解系数与湖库的水文条件、水深、湖库表面积、湖库的污染程度、温度、溶解氧含量等因素有关。现行的较可靠的确定方法是水团追踪法, 其他方法有实测资料反推法、类比法、经验估值法、分析借用法。参考文献[7]缓慢流动的河流和湖库污染物降解系数一般取值为 $0.10 \sim 0.15 d^{-1}$, 为保证计算结果的准确性, 计算中取保守值。氮、磷在水库中的滞留系数不但与温度、湖库的水文条件、溶解氧等因素有关, 还与水库的污染程度有关。滞留系数公式 $R = 1 - Q_{out} C_{out} / Q_{in} C_{in} = 1 - W_{out} / W_{in}$, 式中, W_{out} 为出库污染物总量, W_{in} 为入库污染物总量。因未测试出流和入流的 TN、TP 浓度, 此次计算滞留系数的选取结合水文资料和经验估值法, 经参阅国内、省内同类水库的研究成果, 总磷滞留系数为 0.57, 总氮滞留系数为 0.55^[8]。模型主要参数见表 4。

表4 水环境容量模型的主要参数

参数	单位	数值
COD降解系数 K_{COD}	1/d	0.14
氮氨降解系数 $K_{\text{NH}_3\text{-N}}$	1/d	0.13
水库面积 A	km^2	0.792
水库容积 V	m^3	9.52×10^6
总磷滞留系数 R_{TP}	-	0.57
总氮滞留系数 R_{TN}	-	0.55

根据水库设计, 水库水位与水库面积呈正相关, 与蓄水容积呈正相关, 蓄水位至156 m后, 随着水位的增加, 水库面积和蓄水容积迅速增大, 见图1。石溪水库正常高水位(蓄水位)170 m, 相应库容952万 m^3 , 相应水库面积0.792 km^2 。

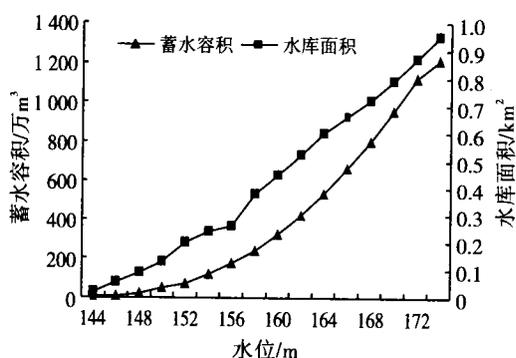


图1 石溪水库水位与蓄水容积、水库面积关系曲线

2.5 水库水环境容量计算

通过计算, 可以得出石溪水库 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 水环境容量值, 见表5。

表5 石溪水库水环境容量计算结果 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$

水库水质	COD_{Mn}	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
Ⅱ类	14.7	1.8	2.6	0.13
Ⅲ类	22.1	3.6	5.2	0.27

2.6 计算结果分析

由以上结果可以看出, 近期目标按Ⅲ类水标准来计算, 石溪水库 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 的水环境容量分别为 COD_{Mn} : 22.1 t/a , $\text{NH}_3\text{-N}$: 3.6 t/a , TN : 5.2 t/a , TP : 0.27 t/a ; 远期目标按Ⅱ类水标准来计算, COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 的水环境容量分别为 COD_{Mn} : 14.7 t/a , $\text{NH}_3\text{-N}$: 1.8 t/a , TN : 2.6 t/a , TP : 0.13 t/a 。石溪水库现状纳污量各项指标分别为 COD_{Mn} : 23.8 t/a , $\text{NH}_3\text{-N}$: 6.7 t/a , TN : 11.5 t/a , TP : 0.38 t/a , 已远远超过Ⅱ类控制水环境容量, 也超过了Ⅲ类控制水环境容量。按Ⅲ类

水的控制目标, COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 的超标率分别为 COD_{Mn} 7.6%、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 86.1%、 TN 121.1%、 TP 40.7%, 表明石溪水库入库的污染物量超出其自净能力, 为保证水库满足近期目标, 可计算出需年消减 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 的入库排放量分别为1.7、3.1、6.3、0.11 t 。

3 水库污染原因分析

(1) 上游来水减少, 水库水体更新减慢。由于近几年连续干旱, 石溪流域降雨量明显偏少, 致使石溪水库来水量锐减, 水库库存水量不足, 水体不能得到及时更新, 污染物质和营养物质长期富集, 尤其总氮偏高。

(2) 养猪场与水产养殖加剧水体污染。养殖过程中, 猪产生的粪便排入水库, 造成水体污染; 鱼养殖过程中密度大且大量投放高含磷、氮饵料、渔药, 少数水库投放化肥、酒基等各种饵料, 造成水体污染及水体富营养。

(3) 水库小流域坡地开发水土保持标准不高, 使得山地土层疏松、地表裸露, 遇强降雨地表易受径流冲刷, 造成水土流失, 营养物质伴径流泥沙进入水库, 形成面源污染。

(4) 水库上游村民大量生活废水未经处理直接或间接排入水库, 加重了水库污染。

(5) 由于缺少经费, 水库无必备的水质监测仪器设备, 水环境实时监测缺项, 无法及时掌握水质状况。

4 水库污染控制方案

通过对石溪水库水环境容量计算结果、水库污染原因、水库水质现状及水质近期目标的综合分析, 对石溪水库水污染控制提出以下几点建议。

(1) 严格执法, 保护好水库水生态环境。为实现社会经济可持续发展, 确保水资源合理的开发利用, 必须严格执行国家的法律法规, 坚持社会经济发展与库区生态环境保护相结合, 加强预防和监督, 突出重点, 建立执法队严厉打击污染和破坏水库水环境的行为, 确保水库良好的生态环境。

(2) 提倡绿色生态养殖, 避免水库水华发生。水华是一种水体自然生态现象, 大部分水华是由水体富营养化引起。水华造成的直接危害是

(下转第69页)

表2 动力学方程拟合结果

T/℃	Q _{e,exp} /mg·g ⁻¹	准一级动力学			准二级动力学		
		Q _{e,cal} /mg·g ⁻¹	K ₁ /h	R ²	Q _{e,cal} /mg·g ⁻¹	K ₂ /g·(mg·h) ⁻¹	R ²
20	20	12.11	0.2188	0.9975	18.59	0.05274	0.9919
40		11.37	0.3307	0.9623	20.16	0.06831	0.9872
60		8.68	0.9957	0.9681	20.75	0.2490	0.9997

注: Q_{e,exp}为实验值, Q_{e,cal}为准二级动力学方程计算值。

3 结论

吸附剂量、初始pH值、反应温度与反应时间均对沸石吸附Zn²⁺去除效果影响显著。沸石对Zn²⁺的去除率随着吸附剂量的增大不断提高,而单位质量沸石吸附剂对Zn²⁺的吸附容量逐渐下降。酸性条件不利于沸石吸附Zn²⁺,最佳初始pH值为7。随着反应温度的上升与反应时间的延长,沸石对Zn²⁺的吸附效果大幅度提高。当反应温度为60℃,反应时间为6h时,沸石对Zn²⁺的吸附去除率高达99%。沸石对Zn²⁺的吸附过程符合Langmuir吸附等温式,其对Zn²⁺的吸附为单分子层吸附。沸石吸附Zn²⁺的动力学符合准二级反应动力学方程。

参考文献

- [1]饶品华,张文启,李永峰,等.氧化铝对水体中重金属离子吸附去除研究[J].水处理技术,2009,35(12):71-74
- [2]龚安华,孙岳玲.盐酸改性凹凸棒土对铜离子的吸附性能[J].湖北农业科学,2013,52(2):313-315.
- [3]朱映川,刘 雯,周道品,等.水体重金属污染现状及其治理方法研究进展[J].广东农业科学,2008,(8):143-146.
- [4]相 波,刘亚非,李义久,等.壳聚糖及其衍生物对重金属吸附性能的研究[J].工业水处理,2004,24(5):10-12、20.
- [5]周利民,刘峙嵘,黄群武.粉煤灰对二价金属离子的吸附特性[J].煤炭学报,2007,32(4):416-419.
- [6]崔杏雨,陈树伟,闫晓亮,等.粉煤灰合成Na-X沸石去除废水中镍离子的研究[J].燃料化学学报,2009,37(6):752-756.
- [7]Wei Q, Ying Z. Removal of lead, copper, nickel, cobalt, and zinc from water by a cancrinite-type zeolite synthesized from fly ash [J]. Chemical Engineering Journal, 2009, 145(3): 483-488.
- [8]MIYAJI F, MuRAKAMI T,SUYAMA Y. Formation of linde F zeolite by KOH treatment of coal fly ash[J]. Journal of the Ceramic Society of Japan, 2009, 117(5): 619-622.
- [9]Chen C, Cheng T. Application of Avrami Equation to Kinetics Analysis of Fly Ash Based Linde F (K) Zeolite [J]. Asian Journal of Chemistry, 2013, 25(4):1811-1813.
- [10]Hui K S, Chao C Y H, Kot S C. Removal of mixed heavy metal ions in wastewater by zeolite 4A and residual products from recycled coal fly ash [J]. Journal of Hazardous Materials, 2005, 127(1-3): 89-101.

(上接第18页)

使饮用水源受到威胁,藻毒素通过食物链影响人类健康。应提倡新的养殖方式,禁止猪肥、氮磷肥养殖,化肥养殖,取消库内网箱养鱼,实行绿色生态养殖。

(3)加大水土流失治理力度。面源污染与水土流失是一对共生现象^[9],所以实施水土保持工程是解决面源污染问题的有效途径,建议加大对石溪水库流域水土保持工程的资金投入,工程中应大力推广生态清洁小流域治理模式,提高小流域治理在防治面源污染方面作用^[10]。

(4)加强水库水环境监测分析。多年来水库水质常年监测欠缺,应加强对水库水质的实时监测分析,定期公布水库水环境质量状况,确保水库水环境质量达标。对于水环境质量未达标的区域,应监督其采取措施,限期整改,消除对水环境污染的隐患。

5 结语

基于石溪水库水质水量资料,采用单因子评

价法得出石溪水库水质为Ⅳ类,采用湖泊营养综合状态指数法得出其营养状态等级为中营养,利用沃伦威德尔模型和狄龙模型计算出其水环境容量。将水环境容量按照Ⅲ类水和Ⅱ类水标准分为近期目标和远期目标,计算结果有助于对污染物总量控制,从而满足水库水环境容量要求。

参考文献

- [1]陆渝蓉.地球水环境学[M].南京:南京大学出版社,1999.
- [2]王晓燕,王一响,王晓峰,等.密云水库小流域土地利用方式与氮磷流失规律[J].环境科学研究,2003,16(1):30-33.
- [3]中国环境科学研究院.地表水环境质量标准(GB3838-2002)[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [4]金相灿.中国湖泊环境[M].北京:海洋出版社,1995.
- [5]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.
- [6]王宝贞.水污染控制工程[M].北京:高等教育出版社,1990.
- [7]蒋展鹏.环境工程学[M].北京:高等教育出版社,2005.
- [8]宓永宁,王 鑫,刘清石,等.柴河水库水环境容量研究[J].水电能源科学,2011,29(11):40-43.
- [9]袁爱萍.小流域综合治理环境效益分析方法探讨[J].水土保持研究,2001,8(4):165-169.
- [10]王 星,李占斌,李 鹏,等.陕西省丹汉江流域面源污染现状及防治对策[J].水土保持通报,2011,31(6):186-189.