

牛栏江-滇池补水工程改善滇池水环境效果预测

徐 天 宝¹, 马 巍², 黄 伟²

(1. 中国水电顾问集团 昆明勘测设计研究院, 昆明 云南 650000; 2. 中国水利水电科学研究院 水环境所, 北京 100038)

摘要: 以适宜滇池水流水质输移扩散特点的滇池水环境数值模拟技术为手段, 综合分析了牛栏江补水对滇池水体交换性能、湖区湖流形态和水流流速的影响, 模拟预测了滇池补水前后入湖污染物滞湖量的变化, 对比分析了补水入湖线路对湖区水质的影响差异, 预测了2020年不同治污情景下滇池可能出现的水质状况。该研究成果可为滇池流域水污染综合治理和牛栏江-滇池补水工程设计及运行管理提供科学依据。

关 键 词: 引水; 水动力特性; 水环境改善; 牛栏江-滇池补水工程; 滇池

中图法分类号: TV67 文献标志码: A

滇池是我国云贵高原上著名的大型浅水湖泊, 北邻昆明市区, 呈南北向分布, 南北长40 km, 东西平均宽7.5 km(最宽处约12.5 km), 正常高水位(1 887.0 m)下, 湖泊平均水深4.4 m, 水面面积300 km², 库容12.9亿m³。滇池具有城市供水、工农业用水、调蓄、防洪、旅游、水产养殖等多种功能。由于滇池位于昆明城区下沿, 消纳了城市发展所产生的大量废污水, 湖泊水质逐年变差。20世纪60年代, 滇池水质为Ⅱ类, 70年代降为Ⅲ类, 70年代后期水质进一步恶化, 基本上10 a下降一个等级, 自20世纪90年代起, 滇池草海和外海水质均为劣Ⅴ类, 水体富营养化异常严重, 蓝藻水华常年发生, 完全丧失城镇供水功能。

自20世纪80年代起, 各级部门陆续投入大量人力、物力和财力治理滇池水污染问题。90年代, 滇池被纳入国家“三湖三河”重点治理对象。但城市化的快速推进导致城镇生活污染源快速增加, 入湖污水和污染物总量显著增长, 水质污染日益严重。由于流域非点源污染负荷所占比重较大, 加之流域水资源匮乏, 河湖生态环境用水被严重挤占, 导致滇池流域污染源治理难度大、周期长、水质改善进程缓慢。牛栏江流域与滇池流域相邻, 修建调水工程从牛栏江上游引水, 具有工程实施条件相对简单、水资源条件相对较好等特点, 是加快改善滇池水环境的一项切实措施。本文依据滇

池流域水污染综合治理的总体思路和实施方案, 分析预测牛栏江-滇池补水工程引水入湖对滇池湖泊水动力条件及水环境质量的改善效果, 为牛栏江-滇池补水工程规划、设计及运行管理提供科学依据。

1 滇池流域水污染综合治理总体思路

为加快滇池流域水污染综合治理, 实现2020年滇池外海水质基本好转(年均水质达到Ⅳ类标准)、湖泊水生态环境基本恢复的总体目标, 昆明市人民政府于2008年提出了“滇池流域水环境综合治理总体方案”, 运用工程措施和非工程措施, 从流域污染源治理、湖泊水生态修复和补充流域水资源量等几个方面构建滇池流域治污工程体系。重点实施环湖截污工程、入河河道治理工程、农业农村非点源治理工程、湖泊水生态修复工程、湖泊底泥生态疏浚工程及外流域调水工程等六大重点工程^[1]。其中, 流域污染源治理, 旨在从源头上阻断流域污染物进入湖泊, 是滇池流域水污染综合治理的关键, 将直接关系到滇池水污染治理的成败; 水生态修复与重建, 旨在减少(或阻断)流域污染物入湖负荷量, 是环湖入湖污染物的末端拦截技术, 可进一步巩固流域污染源治理的效果, 并逐步恢复湖滨带水生态环境, 是流域水污染综合治理效果可持续性的有效保证; 外流域调水及节水减排工程是缓解滇池流域

收稿日期: 2013-04-22

作者简介: 徐天宝, 男, 工程师, 主要从事环境影响评价和环境保护工程设计研究。E-mail: xutianbao00@163.com

内水资源匮乏、滇池流域河湖生态环境用水严重被挤占、湖泊水动力交换不畅和湖水换水周期过长的重要举措,是维持滇池流域水污染综合治理效果的重要保证,从而可实现党中央、国务院提出“三先三后原则”(“先节水后调水,先治污后通水,先环保后用水”),并形成“治理、截污、导流、回用、整治”的治污工程体系。

2 补水工程概况

牛栏江位于云南省东北部,系金沙江干流下游溪洛渡库区右岸的一条较大的支流,流域面积 13 672 km²,多年平均年径流量 49.8 亿 m³。牛栏江—滇池补水工程位于云南省曲靖市沾益县、会泽县以及昆明市寻甸县、嵩明县、盘龙区境内(工程示意图见图 1)。工程由德泽水库枢纽、干河泵站和输水线路组成。工程输水线路起点为德泽水库干河泵站出水池出口,输水线路末端位于昆明市松华坝水库下游 2.2 km 的盘龙江左岸,补水经盘龙江进入滇池,输水线路总长约 115.8 km。输水线路设计引水流量为 23 m³/s,多年平均引水入湖水量约为 5.67 亿 m³。工程水源地德泽水库坝址断面多年平均水质状况为 COD_{Mn} 1.71 mg/L,TP 0.055 mg/L,TN 0.76 mg/L,其规划水质目标为湖库Ⅲ类水质标准,目前除 TP 指标略有超标外,COD_{Mn}和 TN 均基本满足其水质保护要求。

3 补水工程改善滇池水环境效果预测

3.1 滇池水流水质模型参数率定

滇池属大型的宽浅型淡水湖泊,风是湖体水流运动的主驱动力,进出湖泊的水量对湖泊水流影响很小,从而形成以风生湖流为主、吞吐流为辅的混合湖流形态。国内外大量宽浅型湖泊的研究成果表明,水体垂向混合相对较为均匀,空间平面的不均性分布比较显著^[2-6]。因此,从反映研究区域水流水质总体变化特征,以及满足实际需求角度考虑,采用水深平均的二维浅水动力学与污染物迁移扩散方程来描述滇池的水流运动特点是适宜的。结合滇池湖泊的特征污染物情况和科研需求,牛栏江—滇池补水工程改善滇池水环境

效果预测的水质指标主要包括 COD_{Mn}、TP、TN。各污染物指标的生化反应项均作一级简化处理,COD_{Mn}考虑自净衰减,通过自净衰减系数反映;TP、TN 考虑各种因素引起的释放与沉降,通过综合沉降和释放系数反映。

滇池水流水质模型涉及的参数较多,这些参数综合反映了各指标在湖体中复杂的物理、化学及生物反应过程,因此模型参数率定与模型验证的难度较大。本研究利用滇池湖区 2006 年和 2007 年两年共 10 个常规水质监测点每月一次的水质监测资料,及同期的污染源和水文气象监测资料,对滇池水流水质模型进行了参数率定与验证工作。

验证结果表明,滇池水流水质数学模型具有较高的模拟精度,能够较好地反映滇池水流水质自然动态演变规律。滇池水流水质模型参数率定结果如下。

糙率 n : 0.02 ~ 0.04

纵向和横向扩散系数: 4.0 m²/s

COD_{Mn} 衰减系数: $0.002 \times 1.047^{T-20}$ 1/d

底泥释放 TN 速率: 10 mg/(m²·s)

风应力系数 γ_a^2 : 1.63×10^{-3}

TN 沉降速率: 0.008 1/d

底泥释放 TP 速率: 2 mg/(m²·s)

TP 沉降速率: 0.01 1/d

3.2 对水动力特性的影响

滇池主要入湖河流有 20 多条,呈向心状注入湖区。由于流域水资源匮乏,滇池弃水量小,湖水置换周期长,湖流缓慢,已演变成半封闭人工调节湖泊。据相关资料统计,滇池流域多年平均水资源量约为 5.5 亿 m³,外加近年来实施的掌鸠河、清水海引水工程(年引水量合计约为 2.6 亿 m³),滇池流域的水资源总量增加到 8.1 亿 m³。目前滇池外海的换水周期约为 3 a,考虑到滇池北岸环湖截污工程实施后,滇池外海的入湖水量将进一步减少,如不考虑牛栏江来水补给影响,则外海湖水的滞留期将进一步延长,达到 4~5 a,湖泊的水动力条件将进一步被削弱。

受滇池周边独特的地形地势特

征影响,滇池湖面风场相对较为稳定。在常年主导风向(西南风,出现频率为 50%,风速约为 2.28 m/s)作用下,滇池草海与外海的平均流速分别为 0.60、2.07 cm/s;次主导风(西南偏西风,出现频率为 25%,风速约为 2.97 m/s)作用下,草海与外海的平均流速分别为

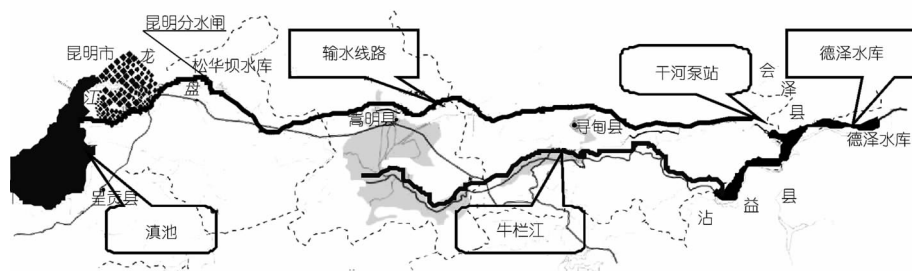


图 1 牛栏江引水工程布置示意^[4]

0.94 2.88 cm/s; 南风向(出现频率为 17% ,风速约为 1.65 m/s) 作用下草海与外海的平均流速分别为 0.20 1.45cm/s。

基于滇池多年平均水资源量状况 ,同时考虑水源工程及环湖截污对环湖入湖水量的影响 ,牛栏江 - 滇池补水工程实施后 ,将显著加快滇池湖体的水量交换 ,使湖泊平均换水周期由环湖截污工程实施前的 2.73 a 缩短为 1.34 a。湖泊换水周期的大幅度缩短将有利于滇池水体交换性能的提高及湖泊水质的改善 ,并增加湖泊水体的水环境容量。受滇池湖泊水动力特性影响 ,牛栏江来水进入滇池后 ,除引排水口局部区域水动力条件有一定变化外 ,引水对全湖环流形态及湖区整体水流流速的影响基本可忽略; 同时引水线路变化对湖区水动力特性的影响也基本可以忽略。

3.3 对入湖污染物滞留的影响

当前滇池外海的绝大部分污染物来自于滇池北部的盘龙江、宝象河、大清河 ,其入湖污染量约占外海总入湖量的 60% 左右 ,而外海唯一出口 - 海口河位于滇池的西南侧 ,污染物出湖输移路线较长 ,加之水流运动缓慢 ,使入湖污染物大量沉积到湖底而滞留湖区。2010 年滇池流域降雨量偏少 ,且外海因蓄水需要出湖水量很小(最大月出湖流量仅为 2.43 m³/s) ,故绝大部分入湖污染物均滞留在湖中 ,COD_{Mn}、TP、TN 三指标入湖污染负荷量滞湖比例均超过 90% 以上; 牛栏江补水入湖后 ,受出湖水量大幅度增加并携带大量污染负荷出湖双重因素影响 ,COD_{Mn} 指标的滞湖比例下降到 33.3% ,TP、TN 指标的滞湖比例均分别下降 25.3 和 21.4 个百分点(见表 1) 。由此可见 ,牛栏江补水滇池可有效减轻滇池湖体的内源污染程度 ,在改善湖泊水质的同时有利于湖泊水生态恢复。

表 1 牛栏江补水前后滇池外海入湖污染

		负荷量滞湖比例			%
年份	工况	COD _{Mn}	TP	TN	
2010 年	无引水	90.9	96.5	97.0	
2010 年	引水	33.3	71.2	75.6	

3.4 对湖区水质改善效果的影响

在现状年(2007 年) 来水条件下 ,以设计的牛栏江多年平均入流过程和年均污染浓度条件为边界条件 ,不同引水入湖方案(包括盘龙江、盘龙江 + 大清河、盘龙江 + 大清河 + 宝象河 3 种情景) 下 ,牛栏江补水将使滇池外海 COD_{Mn}、TP、TN 三指标浓度分别改善 11.97% ~ 12.10%、3.74% ~ 3.92%、7.06% ~ 7.26%。相比较而言 ,盘龙江单口入湖方案的水质改善效果最好 ,3 条河分流入湖方案的水质改善效果相

对较差 ,但不同方案的差异不显著(见图 2) 。

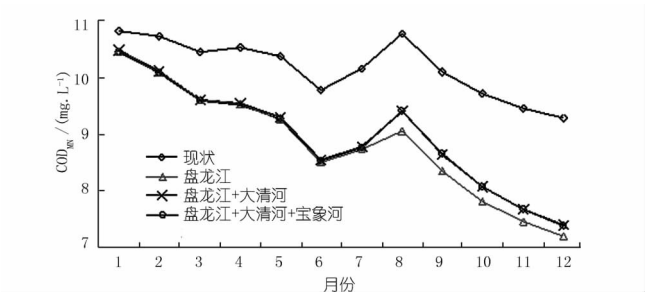


图 2 现状年不同引水线路对滇池年内水质改善过程比较(COD_{Mn})

至 2020 年 ,如果滇池流域各项水污染综合治理对策尚未落实 ,仅实施牛栏江 - 滇池补水工程 ,滇池外海 COD_{Mn}、TP、TN 三指标浓度分别约为 10.28 ~ 10.92 mg/L、0.198 ~ 0.209 mg/L、2.91 ~ 3.00 mg/L ,总体水质类别仍为劣 V 类 ,其中 COD_{Mn}、TP、TN 三指标分别超Ⅳ类标准约 2.8% ~ 9.4%、98% ~ 119%、94% ~ 100%。可见 ,仅靠牛栏江引水仍无法改变滇池水质继续变差趋势 ,故滇池流域应加大流域水污染综合治理强度 ,以减少滇池流域入湖污染负荷 ,并达到规划入湖负荷量水平 ,是控制规划水平年 2020 年滇池外海水质是否达标的关键性因素。

至 2020 年 ,若滇池流域各项水污染综合治理对策都全部落实 ,且牛栏江引水入湖水质在满足 TP 浓度不大于 0.05 mg/L、TN 浓度不大于 1.00 mg/L ,滇池外海总体水质基本达标。

4 结 语

(1) 滇池属典型的大型宽浅型湖泊 ,风是湖流运动的主驱动力 ,吞吐流对滇池湖流形态和环流结构影响甚小 ,从而形成风生流为主、吞吐流为辅的混合湖流形态。牛栏江补水滇池后 ,受湖泊进出水量显著增加影响 ,湖泊换水周期显著缩短 ,水体的交换性能得到显著增加 ,但除出入湖口局部区域水动力条件影响相对明显外 ,补水对湖区整体流速影响甚小。

(2) 滇池流域绝大部分污染物来自东北岸的入湖河流 ,而湖水出口位于西南侧的海口河 ,入湖污染物出湖输移路线较长 ,加之湖流运动十分缓慢 ,湖区水质空间分布梯度明显 ,致使入湖污染物大量沉积到湖底而滞留湖区。牛栏江来水将极大改善滇池入出湖水量严重失衡的状态 ,可有效减轻湖体的内源污染程度 ,在改善湖泊水质的同时有利于湖泊水生态恢复。

(3) 牛栏江水进入滇池后 ,在加快湖区水体循环

(下转第 40 页)

动支座、固定支座及适应变形能力较强的复式万向型波纹管伸缩节配套协调布置的方案。断裂带的变位均由复式万向型波纹管伸缩节承担。采用数值分析方法深入研究了结构方案适应较大构造变形的能力和抗震性能。结果表明,该结构方案可以较好地适应活动断裂的大变形和强地震作用。

参考文献:

- [1] 唐文清,刘宇平,陈智梁,等.云南小江断裂中南段现今活动特征[J].沉积与特提斯地质,2006,26(2):21-24.
- [2] 林向东,徐平,葛洪魁,等.小江断裂中段及其邻近地区应力场时

间变化分析[J].地震学报,2011,33(6):21-24.

- [3] 张文甫.川、滇毗邻地区新构造运与活动断裂[J].四川地震,1994,(4):34-43.
- [4] 龚红胜,朱杰勇,陈刚,等.昆明市活动断裂与地质灾害关系的探讨[J].中国地质灾害与防治学报,2006,17(3):161-164.
- [5] 黄光明,李云.掌鸠河引水供水工程关键技术问题研究[J].水力发电,2006,(11):12-13.
- [6] 李云,黄光明,凌云,等.掌鸠河引水工程穿越断裂带工程措施[J].水力发电,2006,(11):69-70.

(编辑:李慧)

Scheme study of water conveyance structure crossing Xiaojiang active fault zone

ZHU Guojin, LI Yun, LING Yun

(HydroChina Kunming Engineering Corporation, Kunming 650051, China)

Abstract: Niulan River - Dianchi Lake Water Supplement Project crosses the east and west branches of the middle section of Xiaojiang active fault zone in Yunnan Province, which are holocene active fault with large structural deformation and high seismic intensity. On the basis of analyzing the influence of active fault zone in Xiaojiang Region on the water conveyance structure, the special structural scheme for the water conveyance structure crossing the Xiaojiang active fault zone is proposed. For the structural scheme, its ability of adapting to large structural deformation and the seismic behavior are further studied. It shows that this scheme can adapt to the large deformation of the active fault zone and strong seismic action.

Key words: tectonic deformation; high seismic intensity; inverted siphon; Xiaojiang active fault zone

(上接第13页)

与交换的同时,不仅可提高水体的稀释和自净能力,清洁水入湖经湖区掺混后排出湖外时还将携带大量的污染物出湖,从而达到改善湖区水质的效果。至2020年,如果滇池流域各项水污染综合治理对策都全部落实并达到预期治理效果,且牛栏江引水水质在满足TP浓度不少于0.05 mg/L、TN浓度不少于1.00 mg/L条件下,滇池外海总体水质浓度可基本达标。

参考文献:

- [1] 罗佳翠,马巍,禹雪中,等.滇池环境需水量及牛栏江引水效果预测[J].中国农村水利水电,2010,(7):25-28.

- [2] 李锦秀,马巍.污染物排放总量控制定额确定方法[J].水利学报,2005,36(7):812-817.
- [3] 马巍,廖文根,匡尚富,等.大型浅水湖泊纳污能力核算的风场设计条件分析[J].水利学报,2009,40(11):1313-1318.
- [4] 马巍,廖文根,李锦秀,等.引水调控改善太湖湖湾水环境及其效果预测[J].长江流域资源与环境,2007,16(1):52-56.
- [5] 马巍,禹雪中,翟淑华,等.太湖限制排污总量及其管理应用研究[J].科技导报,2008,26(18):49-53.
- [6] 马巍,李锦秀,田向荣,等.滇池水污染治理及防治对策研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2007,5(1):8-14.

(编辑:胡旭东)

Effect prediction of improving water environment by Niulan River - Dianchi Lake Water Supplement Project

XU Tianbao¹, MA Wei², HUANG Wei²

(1. HydroChina Kunming Engineering Corporation, Kunming 650051, China; 2. Department of Water Environment, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: On the basis of the water environment numerical simulation technology, which is suitable for the analysis of water movement and diffusion of Dianchi Lake, the influence of water supplement from Niulan River on water exchange characteristics, flow pattern and flow velocity were comprehensively analyzed. The variation of the pollutant amount into the Dianchi Lake and retention state before and after the water supplement were simulated and predicted, the influence of different water supplement line entering into the lake on water quality was compared and analyzed; the different water quality status in different pollution treatment conditions at 2020 are predicted. The study result can offer scientific basis for water pollution comprehensive treatment of Dianchi Basin, design and operating management of Niulan River - Dianchi Lake Water Supplement Project.

Key words: water diversion; hydrodynamic characteristics; water environment improvement; Niulan River - Dianchi Lake Water Supplement Project; Dianchi Lake