

设计经验

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.20.019

# 肇庆市九坑河水源环境综合整治工程设计

马加加<sup>1</sup>, 纪燕萍<sup>2</sup>, 周双玉<sup>3</sup>

(1. 广州科学城水务投资集团有限公司, 广东 广州 510010; 2. 广东省冶金建筑设计研究院, 广东 广州 510020; 3. 广东省建筑设计研究院, 广东 广州 510060)

**摘要:** 肇庆市九坑河水源总面积为 46.42 km<sup>2</sup>, 作为城市的饮用水源保护区、备用水源地, 其水质保护目标为地表水Ⅱ类。近年随着人类经济活动的快速发展, 水质常年出现超标情况。为解决水污染问题, 针对项目工程范围广、水域面积大、水量时空变化量剧烈、污染源数量多但分散的特点, 对主要超标对象氨氮和总氮进行处理。设立了从散居污染点设置单独的处理设施, 到集中污染点设置的污水处理站, 再到入库前设立的前置库处理系统, 最后到库区内设置的深度活水系统的 4 层处理体系, 再辅以垃圾处理、清淤等配套措施, 全方位对工程范围内的污染源进行拦截和处理, 最终达到了恢复Ⅱ类水体的目标, 为国内同类型综合整治工程提供了示范与参考。

**关键词:** 水源; 综合整治; 截污控源; 前置库

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)20-0113-06

## Design of Comprehensive Improvement Project of Jiukenghe Water Source Environmental Protection in Zhaoqing City

MA Jia-jia<sup>1</sup>, JI Yan-ping<sup>2</sup>, ZHOU Shuang-yu<sup>3</sup>

(1. Guangzhou Science City Water Investment Group Co. Ltd., Guangzhou 510010, China; 2. Guangdong Metallurgical and Architectural Design Institute, Guangzhou 510020, China; 3. Architectural Design and Research Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510060, China)

**Abstract:** The total area of Jiukenghe drinking water source in Zhaoqing City is 46.42 km<sup>2</sup>. As drinking water source protection area and reserve water source in the city, the water quality is required to meet class II surface water standard. In recent years, with the rapid development of human economic activities, water quality frequently exceeds the required standard. In order to solve the water pollution problems, ammonia nitrogen and total nitrogen, as two main objects exceeding standard, have been removed according to the characteristics of wide project scope, large water area, dramatic change of water volume in time and space as well as large quantity and scattered pollution sources. The separated treatment facilities were built in scattered pollution sources points and the centralized wastewater treatment station was built in concentrated pollution source. Moreover, the pre-storage treatment system had been built before entering the reservoir and finally the deep active water system was set up in the reservoir area. In this way, the four-layer treatment system was established. In addition, the supporting measures such as garbage treatment and desilting were adopted to intercept and treat the pollution sources within the scope of the project in all directions, and finally the goal of restoring class II water bodies was achieved, which provided demonstration and reference for the same kind of comprehensive improvement in China.

**Key words:** water source; comprehensive improvement; intercepting pollution and controlling source; pre-storage

肇庆市九坑河水源地作为广东省人民政府划定的饮用水源保护区、肇庆市的备用水源,水质保护目标为地表水Ⅱ类。近年来随着旅游经济和居民生活水平的快速提高,污染源的数量和浓度急剧增加,导致水质常年超标。因此,通过采用截污控源、前置库集中处理、垃圾处理、清淤等多种措施对库区周边进行综合整治,最终达到恢复Ⅱ类水体的目标。

1 项目概况

九坑河水库位于肇庆市鼎湖区凤凰镇,其上游为西江干流羚羊峡下左岸一级支流九坑河(见图1)。水库建于1958年,1960年投入使用,库区集雨面积为145 km<sup>2</sup>,多年平均降雨量为1 700 mm,平均径流量为1.3×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,总库容为3 390×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,有效库容为3 010×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。水库设计灌溉面积为4 000 hm<sup>2</sup>。水源保护区总面积为46.42 km<sup>2</sup>,其中一级保护区面积约为38.13 km<sup>2</sup>,二级保护区面积约为8.29 km<sup>2</sup>。陆域范围是一级保护区水域400 m等高线内的集雨区范围。



图1 九坑河水库位置

Fig.1 Location of Jiukenghe Reservoir

由于库区现状水质常年在地表水环境质量的Ⅲ类水质徘徊,为保障水源地的水质安全,同时提升九坑河水库作为旅游景区的形象要求,鼎湖区水务局开展了九坑河水源地综合整治工程,工程范围为水源保护区区域范围,工程目标为恢复并保持水

源地Ⅱ类水质,因此工程包含建设和维护运营两部分内容。

2 现状摸查

通过现场摸查,发现该区域基本由山地、农田、村落构成,无工业企业和规模化养殖业,因此可认为其污染源主要为集中生活污染源和面源污染。

2.1 集中生活污染源

集中生活污染源主要有3类:餐饮企业、居民集中居住地、旅游景点。根据现场调查分析,本工程集中生活居住点共分为9个大点、32个小点,总人口约1.2万人。餐饮企业27家,其中24家位于一级保护范围内,3家在二级保护范围内。旅游景点(含住宿)10家,其中7家位于一级保护范围内,3家在二级保护范围内。

由于辖区内无污水管网和处理设施,居民、游客产生的生活污水通过合流排水渠散流入水体。同时垃圾收集点和转运设施严重不足,导致垃圾散置和长期堆放问题突出,遇雨天则随径流流入库区。

2.2 面源污染

面源污染主要来自农业种植及初雨污染。该区域属于重酸雨区,上游来水随降雨和地表径流流入水库,水库水质整体pH值偏酸性,在6.4~7.3左右。库区内共种植农作物约879 hm<sup>2</sup>,其中水稻约294 hm<sup>2</sup>,玉米20 hm<sup>2</sup>,薯类约97 hm<sup>2</sup>,蔬菜类202 hm<sup>2</sup>,水果266 hm<sup>2</sup>。农作物养殖过程中使用的肥料、农药是造成水质富营养化的主要影响因素。

3 水质、水量分析

3.1 污水量

根据对现状污染源摸查的情况,污水量统计数据见表1。可见,九坑河区域的生活污水量约为1 740 m<sup>3</sup>/d。

表1 污水量统计

Tab.1 Statistics of sewage quantity

项 目	人口/人	生活污水量定额/(L·人 <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	污水综合排放系数	设计水量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )
居民集中居住区	12 424	150	0.8	1 490
旅游企业	2 000	100	—	200
餐饮企业	—	—	—	50
合计				1 740

3.2 雨水量

工程通过九坑河多年平均各月降雨量计算的年内各月的分配系数计算各月径流量。九坑河水库流域多年平均 12 月降雨量最小,为 26.3 mm,6 月降雨量最大,为 306.5 mm,见表 2。按广东省平均径流系数  $\alpha=0.52$  计,九坑河水库地区多年平均降雨量为 1 700 mm,多年平均径流量为  $1.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此据降雨面积测算,本工程竹坝、同古两处入库河平均径流量分别为  $0.72 \times 10^8$ 、 $0.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表 2 九坑河水库多年平均各月降雨量

Tab.2 Average monthly rainfall of Jiukenghe Reservoir

月份	降雨量/mm	多年平均分配系数/%
1	50	2.87
2	70.2	4.60
3	80.2	5.18
4	206	11.82
5	223.4	12.97
6	306.5	17.59
7	284.5	16.33
8	224.2	12.87
9	126.5	7.26
10	63.9	3.67
11	38.3	2.77
12	26.3	2.08
合计	1 700	100

3.3 设计进、出水水质

工程前期,对水库的几个主要断面进行了水质监测,结果表明约 70% 的被监测断面 TN 超标,50% 的 TP 超标,20% 的 COD 超标,具体见表 3、4。

表 3 九坑河流域现状水质情况统计

Tab.3 Statistics of current water quality of Jiukenghe Basin

项 目	COD	氨氮	总氮	总磷
南坑村断面	15.36	0.564	0.716	0.209
良田村断面	16.76	0.611	0.734	0.134
鹿暗村断面	9.76	0.515	0.726	0.090
桃金坑断面	11.17	0.653	0.658	0.076
英仔岭断面	9.776	0.202	0.821	0.028
同古仔断面	6.983	0.068	0.758	0.012
菠萝坑口断面	1.396	0.103	0.443	0.018
蛇应断面	4.19	0.065	0.485	0.012
抽水口断面	6.983	0.098	0.516	0.014
竹坝村断面	4.19	0.081	0.474	0.024
地表Ⅱ类水水质标准	15	0.5	0.5	0.025

表 4 九坑河水库水源保护区污染物产生总量统计

Tab.4 Statistics of total amount of pollution produced in Jiukenghe Reservoir water source protection area

污染源	COD	TN	TP
外源	1 583.63	1 864.93	31.95
内源	4.0	1.2	1.6

根据实测的水质数据,采用 85% 的保证率确定设计进水水质<sup>[1]</sup>,具体设计进、出水水质见表 5。

表 5 设计进、出水水质

Tab.5 Design influent and effluent quality

项 目	COD	氨氮	总氮	总磷
设计进水	15.17	0.622	0.756	0.058
设计出水(Ⅱ类水质)	15	0.5	0.5	0.025

4 工程方案设计

4.1 水环境综合整治设计思路

水环境治理通常具有流域广、污染源分散、水量不均匀、治理环境差异大等特点,而水体污染,根源在岸上,因此常规思路是以岸上整治为主、水体中整治为辅,双管齐下达到整治目标。但本工程由于身处山地水库范围,相较其他同类型工程,地域更广、人口更为分散,且山地河流坡度陡、河宽窄、易受山洪影响,截污难度大,虽无工业,但农业及养殖业分布范围广,难以有效收集。因此,不但需要对居民聚居地的污水进行收集处理,也需要在河流的汇入口对水体来水进行处理。

4.2 总体方案

为达到恢复Ⅱ类水体的目的,根据进出水水质情况分析,本工程主要的处理对象为氨氮和总氮,次要处理对象为总磷。为此拟采取源头减排、末端处理的方式解决污染问题:在各个集中居住点设置污水、垃圾收集处理系统,提高各集中居住点的环境水平;在入库处配置前置库工程,解决面源污染问题。

4.3 重点难点分析

本工程具有水质标准高(Ⅱ类水体)、水量大、处理水质浓度低的特点,因此主要的难点在于氨氮和总氮的去除。对于生活污水可以集中收集处理,面源污染则很难进行收集处理,只能随径流入库区后再进行处理,而在库区进行水环境处理,如何保证足够的水力停留时间和较高的脱氮效率及总去除量,是本工程的重点和难点。



由于地处山地,径流量受季节、天气影响较大,体现为春夏两季径流量大、水位高、污染物浓度低,秋冬两季径流量小、水位低、污染物浓度高,最大水位差约4 m,且山区河流存在汇流时间短、洪峰流速大的特点,在考虑延长水力停留时间时必须优先满足行洪功能。本工程通过设置带自动翻板闸的高位拦水陂,保障基本的水力停留时间( $>16\text{ h}$ )的同时,在山洪来临时能在最短时间内将闸门放平,不影响行洪通道。

为提高脱氮效率和总去除量,工程通过精细的生物脱氮量计算,充分利用不同生物的特性,从水面、水中、水底到护坡护岸为各类动植物、微生物搭建立体式、覆盖式的生长平台,在充分利用每一寸空间的同时,通过合理搭配,保障各生物群之间达到互惠互利的效果。再通过水力计算优化的成果及育种、养护基地的建设,将各平台受水力冲击的影响降到最小。

#### 4.4 主要工程内容

工程内容包括生活污水处理系统、生活垃圾处理系统、前置库工程、清淤工程及在线监测工程。生活污水处理:设置截污管道,收集生活污水,经处理设施处理后达到一级A排放标准后排放;前置库工程:采取前置库水质修复措施,使水质达到地表水Ⅱ类标准;清淤工程:对水库受污染腐殖质底泥进行清淤、脱水处理,解决底泥污染物的释放问题;垃圾处理:设置垃圾收运点、垃圾压缩站,将垃圾压缩处理后送至垃圾填埋场;在线监测系统:设置在线监测点,实时监测水质情况。

工程共铺设DN300~DN500污水管道约14.7 km,设置25个集中式污水处理站,240个分散式污水处理点,5道拦水陂(“水陂”是坝的一种,也叫低坝),2套前置库水质净化系统,3座垃圾压缩站点及5座在线水质监测系统。

##### 4.4.1 生活污水处理

点源污染主要集中在居民聚集地和相关旅游度假、餐饮企业。除部分比较邻近水库主体外,大部分与库体仍有一定距离。同时因本工程所在地区为山地,居民多集中居住于山间的平原地带,部分零星居住于山间,居民点之间相距甚远。为此,需根据不同的居住环境采取不同的应对策略,对较为集中、具备管网铺设条件的地区,通过对住户排水立管的改造,将污水接入新建的污水收集系统,污水经统一收集

后进入污水处理站,每个处理站内布置有集成A/O+MBBR+过滤系统+电解除磷+消毒于一体的处理装置,并带有远程视频监控及操作功能,通过中控室进行统一管理。部分有土地条件的区域后续设置了人工湿地,处理后出水水质可达到一级A标准或更优。

对于距离集中居住点较远、居住密度极低、无法铺设管网的地区,为每个居住点设置独立的多级同步A/O+化粪池的处理系统,出水水质达到一级B标准。

##### 4.4.2 前置库处理系统

为处理径流面源污染,工程在水库的两处河流入库口分别建设前置库处理系统,每套系统分为坝体工程以及水质修复措施两部分。

工程总平面布置见图2。



图2 工程总平面布置

Fig.2 General layout of the project

库区共设3处高位拦水陂、两处低位拦水陂。为保证行洪功能,高位拦水陂采用自动翻板闸,综合水深约3 m,长度分别为45、50、55 m。高位拦水陂保持上游最适正常蓄水位约为35.5 m,低位拦水陂保持后续区域最适低水位约为33.5 m。低位拦水陂为混凝土坝体,长度分别为80、155 m。其中同古前置库包含两个区域,总水域面积约 $16.72 \times 10^4\text{ m}^2$ ;竹坝前置库水域面积约 $3.6 \times 10^4\text{ m}^2$ 。高位拦水陂示意图见图3。

通过设置前置库坝体,使水位、水量稳定后,在前置库库区设置初步滤水系统、强化净水系统、深度活水系统、景观提升工程(见图4),对来水进行处理。

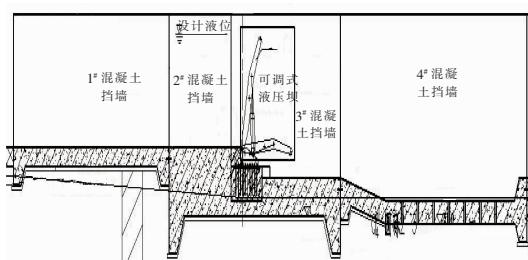


图3 高位拦水陂示意

Fig. 3 Schematic diagram of perch retaining dam

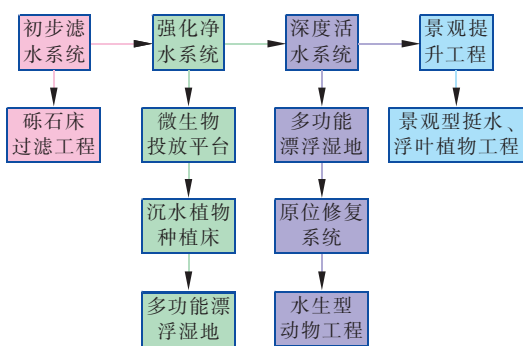


图4 水质修复系统流程

Fig. 4 Flow chart of water quality restoration system

## ① 初步滤水系统

在前置库区域入库口设置砾石床,砾石床以粒径为10~20 cm的河川流域鹅卵石为主,砾石床设计厚度约1.0 m。

砾石床对COD及氨氮、总磷有一定去除效果,对总氮几乎无去除效果。在低污染水体中,对上述指标的去除率分别在36.8%、80%、52.4%、5.3%左右<sup>[2]</sup>。

## ② 强化净水系统

依次在前置库中投放微生物功能菌、工程菌及光合细菌,铺设沉水植物种植平台、搭建沉水植物种植床、布设多功能净化生态漂浮湿地,构建成强化净水系统(见图5),立体式运用水体的空间,对水中总氮进行去除。经过微生物强化后的沉水植物去除水体总氮量可达0.52 g/(m<sup>2</sup>·d),沉水植物种植面积约占水域面积的40%,沉水植物种植床种植面积约占水域面积的20%,多功能净化生态漂浮湿地约占水域面积的30%。本工程种植的水生植物主要有水下草坪、黄菖蒲、旱伞草、再力花、千屈草、睡莲、香蒲、梭鱼草、常绿水生鸢草、刺苦草、菖齿眼子菜、金鱼藻、黑藻等。总水力停留时间为10~18 h,该系统对总氮、总磷的去除率在春冬较低,夏秋较高,总氮

年平均去除率约为35%,总磷年平均去除率约为40%<sup>[3]</sup>。

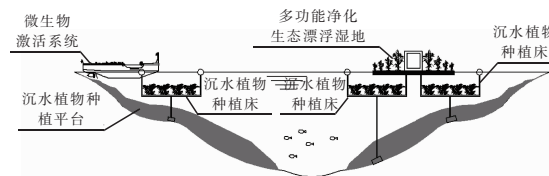


图5 水质修复系统剖面

Fig. 5 Profile diagram of water quality restoration system

## ③ 深度活水系统

从前置库进入主库区后,平均水深变为5~15 m,水深超出沉水植物生存区域,会导致沉水植物叶绿素含量明显减少,甚至因光照不足而死亡<sup>[4]</sup>。为此通过在表层布设多功能净化漂浮湿地,中上层布设土著微生物激活系统及原位修复装置,中下层引入水生动物构建食物链,以达到净化水质的效果。多功能净化漂浮湿地可提供0.84 g/(m<sup>2</sup>·d)的总氮去除能力,微生物激活设备对总氮的去除能力为0.52 kg/(台·d),原位修复装置对总氮的去除能力为1.1 kg/(台·d),由鱼类、底栖动物(主要是软体螺贝类)、虾类及浮游动物组成的生物链对总氮的去除能力为0.6 g/(m<sup>2</sup>·d)。该系统的总氮综合去除率约为5.8%。

## ④ 景观提升工程

通过驳岸挺水植物、水面的浮叶植物及水下的沉水植物组成的湿地系统,构成飞禽、鱼类、底栖生物的栖息地,再搭配或精致或粗放的景观小景和亲水平台,形成多层次的立体景观,不但对水质具有净化作用,还起到阻截外源污染的作用。同时也能提升水域景观品质,打造生态景观。

## 5 配套设施

## ① 垃圾压缩站

工程配套建设3座垃圾压缩站,采用整体式水平压缩机,总装机容量为30 t/d。垃圾经压缩后运输至30 km外的垃圾填埋场。

## ② 在线监测系统

沿库区主要水流汇集点设置5套水质在线监测系统,对温度、电导率、溶解氧、pH值、浊度、总磷、总氮、氨氮、COD等进行监测,通过无线网络传输至监控中心进行实时监控。

## 6 工程运行效果及存在问题

经上述工程措施处理后,设置于水库中下游的

检测点的水质监测结果见表6。可见,已达到恢复Ⅱ类水质的既定目标。但实际运行中发现还存在若干问题,如未考虑湿地植物的检修通道、未考虑植物的育种和培养场地、拦水陂检修及清空通道预留不充分、处理站来水量的波动性考虑不够、独立处理设施维护量较大等,这些都是需要在设计中反思和完善的。

表6 工程处理效果

Tab.6 Treatment effect of the project  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD	氨氮	总氮	总磷
实际监测水质	7.07	0.02	0.50	0.018
设计出水水质	15	0.5	0.5	0.025

## 7 结论

肇庆市九坑河水源环境综合整治工程是响应水十条、保护西江流域、建设生态文明城市的重要举措。工程从源头控制、末端综合整治、全过程实时监控三方面着手,能够有效减少库区污染,恢复库区水质,同时起到美化环境的作用,达到景观和功能兼顾的目的。工程总投资约为3亿元,作为一个综合性项目,该工程可为同类型综合整治工程提供示范与参考。

## 参考文献:

- [1] 鞠兴华,王社平,彭党聪. 城市污水处理厂设计进水水质的确定方法[J]. 中国给水排水,2007,23(14):48-51.  
Ju Xinghua, Wang Sheping, Peng Dangcong. Determination methodology for design influent quality of municipal wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater,2007,23(14):48-51(in Chinese).
- [2] 朱宝玉,刘洋,林武. 生态砾石床在低污染水体治理中的应用研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(11):6746,6750.

Zhu Baoyu, Liu Yang, Lin Wu. Study on application of the ecology gravel bed in treatment of the low-pollution water body[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012,40(11):6746,6750(in Chinese).

- [3] 靳同霞,张永静,王程丽,等. 2种人工湿地的水力停留时间及净化效果[J]. 环境工程学报,2012,6(3):883-890.

Jin Tongxia, Zhang Yongjing, Wang Chengli, et al. Hydraulic retention time and purification effect of two kinds of constructed wetlands[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012,6(3):883-890(in Chinese).

- [4] 赵丽娜. 人工湿地植物去除生活污水中污染物效果的研究[D]. 南京:南京农业大学,2007.

Zhao Lina. Research on Removal Efficiency of Constructed Wetland Plants for Domestic Sewage[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007(in Chinese).



作者简介:马加加(1984-),男,广东广州人,硕士,高级工程师,研究方向为给排水工程技术应用与管理。

E-mail:an.ki@163.com

收稿日期:2019-10-16

贯彻落实《中华人民共和国河道管理条例》