

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.10.025

洱海流域截污治污体系设计与施工及运维技术探讨

方涛, 李朝辉, 杨成, 李馥, 何异
(中建五局第三建设有限公司, 湖南长沙 410000)

摘要: 近年来随着高原湖泊区域旅游业的快速发展,对其周边的生态保护刻不容缓。以洱海流域污水治理为例,介绍了一种从农户到污水厂闭合、全覆盖的新型截污治污体系,并对该体系设计、施工、运营中出现的问题进行探讨,优化工艺及加强技术措施。工程实践表明,2019年洱海水质有7个月达到地表Ⅱ类水标准、5个月达到地表Ⅲ类水标准,对洱海流域的保护治理工作取得了阶段性成效。该工程不仅有效提升了洱海水质,而且取得了良好的社会与经济效益,可为后续高原湖泊生态治理提供借鉴。

关键词: 洱海流域; 截污治污体系; 设计与施工; 运营维护

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)10-0147-06

Discussion on Design, Construction, Operation and Maintenance Technology of Wastewater Interception and Treatment System in Erhai Lake Basin

FANG Tao, LI Zhao-hui, YANG Cheng, LI Fu, HE Yi

(Third Construction Co. Ltd. of China Construction 5th Engineering Bureau, Changsha 410000, China)

Abstract: In recent years, the ecological protection of plateau lakes is becoming urgent with the rapid development of regional tourism. We expounded a new type of closed and full coverage sewage treatment system from farmers to sewage treatment plants taking Erhai Lake basin sewage treatment as an example, and discussed the problems in system design, construction, operation and maintenance, as well as optimized technology and strengthened technical measures. It was verified by the project that the protection and treatment of Erhai Lake basin have achieved phased results. In 2019, the water quality of Erhai Lake reached the class II surface water standard in 7 months and class III surface water standard in 5 months. The project not only effectively improved the water quality of Erhai Lake, but also achieved good social and economic benefits, and provided guidelines for the subsequent ecological treatment of plateau lakes.

Key words: Erhai Lake basin; sewage interception and treatment system; design and construction; operation and maintenance

近年来随着旅游业的快速发展,云南高原湖泊旅游景区越来越受欢迎,而此类区域一般位于乡镇,无法对其周边旅游开发管控到位,环湖生态易遭到破坏,进而水质下降。而对于乡镇区域污水治理,村民环保意识不高^[1],到处堆放垃圾,泼洒生产、生活

污水,行政执法约束力不强,致使污水治理效果不明显。

原先乡村污水治理根据村落聚集的特点,通过新建一体化污水处理设施的形式进行治污,处理出水排入沟渠,进而进入农田或其他区域,最终流入洱

海。由于这些处理设施处理效果有限^[2],出水水质通常达不到湖泊水质要求。以洱海流域污水治理为例,阐述一种从农户到污水厂闭合的新型截污治污体系,实现洱海流域内所有自然村管网全覆盖和污水全收集、全处理。除此之外,通过湿地净化、生态塘库生化、环湖风景观光带、入河流域两侧种植苗木等体系措施,实现隔离、净化水质。该截污治污体系正常运营后,洱海水水质得到大幅提升,2019年洱海水水质实现7个月的地表Ⅱ类水标准、5个月的地表Ⅲ类水标准,表明对洱海流域的保护治理工作取得了阶段性成效,可为后续高原湖泊生态治理提供借鉴。

1 截污治污体系建立

按照云南省省政府“采取断然措施,开启抢救模式,保护好洱海流域水环境”的重要决策部署,本着对子孙后代高度负责的态度,大理州全面打响洱海保护治理攻坚战,在2 565 km²洱海流域内构建了截污治污“五大体系”。

① 生活污水收集处理体系

“从农户到村镇、收集到处理、尾水排放利用、湿地深度净化”构建覆盖全流域城乡一体的生活污水收集处理体系。

② 城乡生活垃圾收集处置体系

户清扫→组保洁→村收集→镇乡清运→县市处理,实现生活垃圾全收集、全处理和资源化利用,现已完成900 t/d城乡生活垃圾的资源化处置。

③ 农业面源污染防治体系

为减少洱海流域农业面源污染负荷,在洱海流域推进以“三禁四推”为主的农业面源污染防治工作,推行有机肥替代化肥,建立生态补偿机制,减少大蒜种植面积,关停搬迁禁养区内畜禽养殖场。

④ 环湖生态防护体系

通过生态蓝线、绿线、红线的划定,将洱海全流域划分为一级、二级、三级保护区进行分級管控,修复洱海湖滨缓冲带,建设洱海绿道,使流域生态空间管控变得更加有利。

⑤ 清水入湖工程体系

持续整治大理市无序取水问题,封堵城市建成区地下井和苍山十八溪无序取水口。并建成流域内“三库连通”清水直补工程、13座城乡自来水厂,实施了27条主要入湖河道生态化治理、洱海海西五

镇清水疏导、农业面源污染末端拦截消纳等工程建设,实现了亿方清水入湖。

“五大体系”的建立,加快推进了洱海流域截污治污工程的建设,也对环湖截污治污体系闭合运营提出更高的要求,在确保工程质量和施工安全的前提下,不断优化施工组织,采用新工艺、新措施,再次对截污治污工程进行提速,完成环湖周边生产生活污水全部收集及处理,不让生活污水直接进入洱海。

2 污水收集处理系统的设计与施工

2.1 污水收集处理系统的设计

为保证洱海环湖截污治污体系的运营,2016年—2019年在洱海流域新建污水收集管网2 221.16 km,化粪池9.03万个,城镇污水处理厂13座,新建及迁建分散型村落污水处理设施82座,尾水塘库45座,与既有工程设施并网运行后,整个洱海流域污水处理能力达到239 000 m³/d^[3-5],初步构建覆盖全流域的从农户到村镇、收集到处理、尾水排放利用、湿地深度净化的污水收集处理系统。污水收集处理系统设计及运营如图1所示。

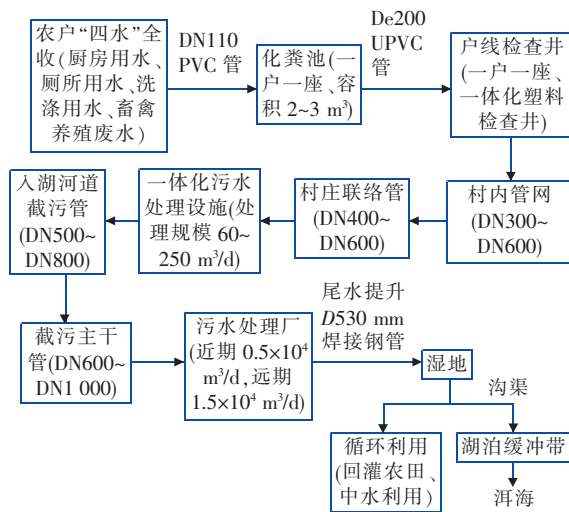


图1 洱海流域污水收集及处理系统

Fig.1 Schematic diagram of wastewater collection and treatment system in Erhai Lake basin

2.2 环湖截污治污管网的施工

2.2.1 多种类支护形式

由于施工区域位于洱海边,且大多位于农田中,地下水位较高,土质较差,致使明挖沟槽埋管时基坑极易发生垮塌现象,而沟槽支护施工质量关乎

后续沟槽开挖、管道铺设、沟槽回填等关键工序的施工,所以对支护工艺的选择至关重要。在本工程中,主要涉及拉森钢板桩、高压旋喷插芯桩和钢花管注浆等三类支护桩的选用。

① 拉森钢板桩

拉森钢板桩是明挖沟槽埋管最常见的支护方式,效益较好,且较易施工,特别适于施工区域内土层含石量不高的情况。若遇孤石等特殊无法施打时,可采取先行换填黏土再施打。施工前为保证施工质量,需进行测量放线,并做好导桩施工;到位置施工钢管对撑,再进行下部土方开挖。但其缺点也较为明显:首先,由于板桩隔断,且需大型机械进场,所以不适于上部有障碍物、下部管线复杂区域施工;其次,施工工艺所产生的振动极易对周围的房屋或路面产生较大破坏,所以在施工前需做好证据保存;最后,在施工过程中若遇特殊地质,易出现“包饺子”现象,需注意施工安全。

② 高压旋喷插芯桩

高压旋喷插芯桩简称SMW工法桩,由高压旋喷桩和工字钢组合而成。高压旋喷桩施工几乎不受限制,机械小巧,且施工速度快,止水效果较佳。在其内打设工字钢,待达到强度后可以形成很好的支护体系,且工字钢可以分段打设。由于地质条件特殊,需考虑工字钢循环利用的问题。此类支护质量把控主要体现在以下几个方面:a. 依据地勘报告计算或做先导段以确定实际水泥用量;b. 过程严格把控施工队伍,测试水灰比、注浆压力、旋转速度等;c. 工字钢打设前在其表面涂抹润滑剂。

③ 钢花管注浆

钢花管注浆施工是通过钢管体系利用压力将水泥浆注入到地层空隙中,从而形成具有止水功能的有效支护。它所需工作面小,适用面广,在本工程中多用于村道或地下石层较多处。施工过程中主要把控:钢管上注浆孔的布置、先导段施工控制注浆所使用的水泥用量、注浆压力等。但施工机械产生的噪声较大,夜间无法施工,不宜连续作业,且现场安全文明施工较差,特别是村道中运输车辆不易进入。若出现渗漏量较大时,可采用泵送水泥水玻璃双液浆,水玻璃浓度采用35或40波美比,水泥浆比例1:1(水:水泥),水泥浆与水玻璃的体积比为1:0.3或1:0.4(由现场试验确定),注浆压力保持0.8 MPa;若地下有较大裂隙则适当增大注浆量至

孔顶返浆为止。

2.2.2 沉井及顶管施工

① 施工工艺

经造价比对,埋深为5.5 m的明挖开槽管道平均造价约为14 205.06元/m(采用12 m拉森钢板桩支护),而顶管平均造价约为13 166.29元/m,故采用顶管施工可节约投资1 038.77元/m。

采用顶管施工对地勘资料要求较高,特别是针对洱海复杂地质条件,由于地下水位较高,提前按设计进行高压旋喷桩止水帷幕施工;除此之外,在沉井施工时遇流砂地层,采取不排水下沉及水下封底工艺;顶管施工中遇毛石挡墙、钢筋混凝土箱涵等障碍物时,施工周期延长,安全风险加大;从施工节点工期角度考虑,遇复杂地层不宜采用顶管施工。

② 有限空间作业操作流程^[6]

下井前,严格按有限空间作业流程实施,经过入场安全教育登记、方案及安全技术交底、班前活动后,再次对施工区域内火源进行“清缴”确认,人员穿戴好防静电服、安全帽、安全带、安全绳、防毒面具等防护用品(安全带、安全绳固定可靠,连接牢固;同时,安全绳加设防坠器,并延伸至井底),经气体检测合格并做好有限空间作业审批后,方可下井。特别是沉井内作业,若为预制井盖,则一定要揭开井盖作业;同时,在施工过程中,积极与设计对接,将沉井变为“井中井”,避免后期运营过程中的封闭空间作业;若无法变更,则要求设计井盖上至少有2个检查孔。

上下井采用木梯,同时留有1部软爬梯用于紧急撤离;在上下井过程中上部必须有专人进行引导,井内操作人员必须配备专人监测,并根据工作服或安全绳上的编号按顺序进行检测,与监护者进行有效的信息沟通,作业严格执行“挂牌”的管理制度,作业负责人、作业监护人、作业者必须严格执行;下井后,井内必须连续通风,直到操作人员上井,作业人员在井内操作时间不能超过半小时,必须施行换班作业。

气体检测仪分三个方向吊在井内时刻监测井内气体,一旦井内出现气体超标的情况,所有作业人员必须立刻撤离。具体气体监测项目及标准见表1。

同时,现场加强管理,一方面是井口安全员要

增强作业责任心,传递物料要稳妥可靠,防止滑落,避免出现坠落砸伤事件;另一方面在作业过程中,作业人员所使用的全部机具均为塑料或木制品,严禁在封闭空间内使用铁器,井内照明采用防爆矿灯。

表1 气体检测数据

Tab.1 Gas detection data

项目	预报值	预警值	说明
硫化氢	3 mg/m ³	10 mg/m ³	
一氧化碳	6 mg/m ³	20 mg/m ³	非高原
可燃气体	5%LEL	10%LEL	LEL为爆炸下限
氧气		缺氧 19.5%, 富氧 23.5%	

2.2.3 水平定向钻施工

在施工过程中需要穿过河流或者道路,周围车流量较大,且环保要求较高,采用水平定向钻施工,管材选用PN-1.0 MPa级给水用钢丝网骨架塑料(聚乙烯)复合管,管径DN500~DN600,管长10 m/节,热熔机粘接,于管道两端设置混凝土检查井。混凝土井做法详见图集《排水检查井》(06MS201-3),具体可根据管径不同分别参照图集124、126页做法。水平定向钻施工工艺见图2。

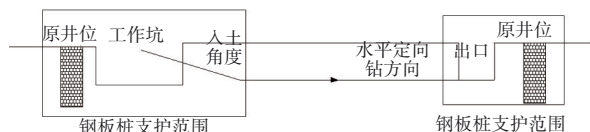


图2 水平定向钻施工示意

Fig.2 Construction diagram of horizontal directional drilling

2.2.4 管道接口

HDPE螺旋波纹管采用热熔+热收缩套连接,管径 ≥ 800 mm的管道采用双层热收缩套连接;HDPE双壁波纹管采用承插接口;PE管采用热熔焊接;钢管采用焊接,管道内防腐采用普通三油环氧沥青,外防腐采用石油沥青涂料,按加强级四油三布;3级混凝土管采用F型接口;U-PVC管采用承插接口。部分区域地下水位较高,对检查井采取抗浮措施,采用C25混凝土包封加固。

2.2.5 管道基础及回填

管道基础持力层设在承载力特征值 >80 kPa的地层上,一般采用150 mm厚的中粗砂垫层;当地基土质较差时,采用二层铺设,下层为150 mm厚的5~30 mm碎石层,上层为150 mm厚的中粗砂;当基底

不易排水、易扰动软化或遇到暗滨淤泥或泥炭土时,须将其挖除,采用级配砾石砂垫层回填,并在换土的两个检查井之间的基础下相应做600 mm厚的级配砂砾石垫层。

回填前必须对沟槽进行认真清理,排除积水,若遇排水困难,在回填过程中为防止漂管,须先回填至管顶0.5 m,并夯实;回填先从管底与基础结合部位开始,沿管胸腔两侧同时对称分层回填并夯实;管顶50 cm范围内,必须用人工对称回填,严禁机械推土回填,其他采用人工打夯机分层夯实;每层回填材料质量、厚度、压实度均满足设计及规范要求。

3 污水处理厂的设计

污水处理厂布置方式为半下沉式,主要处理设施位于半地下箱体中,上部开发景观绿化;进水量近期5 000 m³/d,远期15 000 m³/d,处理设计标准如表2所示。

表2 污水处理厂设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality of

wastewater treatment plant mg·L⁻¹

项目	BOD ₅	COD	SS	TN	NH ₃ -N	TP
进水	150	280	240	35	15	3
出水	10	50	10	15	5(8)	0.5

处理后尾水除用作再生水利用外,其余均排入厂外尾水管网,作为湿地补充用水,出水水质满足国家一级A标准。具体工艺流程见图3。

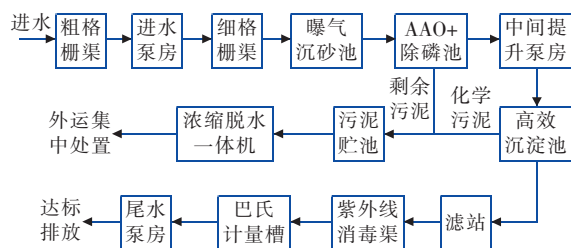


图3 AAO生物脱氮除磷工艺流程

Fig.3 AAO biological nitrogen and phosphorus removal process

污泥处理方式:①重金属含量符合堆肥要求的污泥进入堆肥厂进行好氧发酵,发酵成熟产物符合国家标准,作为一种很好的土壤改良剂供绿化园林土使用;②重金属含量超标的污泥进入污泥干化厂,经干化处理后运至热电厂焚烧处置,防止二次污染。

4 管网运营维护^[7]

洱海流域截污治污工程体系是一项复杂的系统工程,是对流域内不同时期、多种标准、多种工艺、多个项目设施的总集成,需要在调试运行过程中不断进行磨合、修正、完善和提升,才能充分发挥体系的整体效益。目前项目已运营近2年,针对调试运行过程中出现的问题,按照国家规范和标准的要求,委托第三方技术服务单位对截污治污体系进行评估、评价项目绩效、全面排查隐患,为系统更好地运行提供保障,为以后污水管网运营维护提供借鉴。

4.1 CCTV检测

① 潜水员水下封堵

针对管网已运营且水位较高的情况,采用潜水员水下封堵作业,具体封堵方式依水位高低决定,主要为高压防爆气囊或采用砌砖并结合水下专用堵漏剂的方式进行。为避免管内水位急剧变化,影响水下作业人员安全,在进行水下作业前一定提前与运营单位报备,封堵过程中密切关注水位变化;同时,封堵位置分别为清淤管段前一个检查井的上游,后一个检查井的下游。

② 抽排水及临时提升

封堵完成后,抽排封堵管道污水;同时,由于管道已运营,中间出现封堵会让上游管道发生“冒井”等现象,故立即搭设临时提升系统进行24 h不间断抽排水工作,若下游管网不满足排水要求,则采用水车外运至临时沉淀池或就近运至污水处理厂进行排放处理。

③ 机械和人工清淤

抽排结束后进行管网清淤工作,采用高压清洗车和专用吸污车相结合方式,高效便捷;对于所产生的污水,有条件则直接运至污水厂处理,否则应经三级沉淀后注入下游管网;其中,高压清洗车软管接驳长度约400 m,下游需用污水泵配合抽取污泥。若清淤管网位于较远农田或机械无法到达处,可采用人工清淤方式,利用穿管器的引导进行人工清淤。

④ CCTV检测

清淤完成后立即进行CCTV检测。采用先进的CCTV管道内窥电视检测系统,对管道内的锈层、结垢、腐蚀、穿孔、裂纹等状况进行探测和摄像,依据

检测技术规程再进行评估,为确认管道修复效果提供重要依据。

4.2 非开挖修复

① CIPP局部树脂固化点状修复

将涂抹一定树脂的玻璃纤维材料缠绕于可膨胀的气囊上,再在CCTV引导下到达需修复的地点,接着向气囊充气,使“补丁”被压覆在管道上,保持压力待树脂固化,生成玻璃纤维增强塑料;固化完毕,将气囊泄压缩小并拉出管道,最后进行CCTV质量检视。此类修复成本较低,依管径大小每个修复点约0.3~0.6万元,且全程机械操作,无需操作人员进入管道内施工,是最常用的修复方式,主要适用于渗漏、破裂等管道的修复。

② 不锈钢双胀圈套环局部修复

施工人员先对管道接口或局部损坏部位进行清理,然后将环状橡胶带和不锈钢片带入管道内,在管道接口或局部损坏部位安装环状橡胶止水密封带,橡胶带就位后用2~3道不锈钢胀环固定,安装时先用螺栓、楔形块、卡扣等构件使套环连成整体,再紧贴母管内壁,使用液压千斤顶设备,对不锈钢胀环施压。此类修复成本较高,每个修复点约1.2~1.8万元,只能适用于管径较大管道,需要操作人员进入管内操作,主要适用于变形、错口、渗漏严重及破裂等管道的修复。

③ 管道还原预处理工艺修复

该工艺适于变形、错口、破裂等缺陷较为严重且管径较大的情况。具体做法是先依据现场情况,在管内进行人工或管外旋喷注浆,待地下水被封住后,再安排操作人员进入管道,使用分离式液压千斤顶,先将缺陷处缓慢恢复至管道原有形状,然后对管道进行清洗、清淤预处理,最后按短管内衬的方式进行修复施工。此类工艺修复成本较高,且耗时较长,每个修复点费用约3.0~5.0万元,且安全风险极高。

5 结语

按照云南省政府的决策部署,大理州实施了洱海流域保护治理工程。通过建设从农户到污水厂闭合的污水管网全覆盖及污水全收集、全处理的新型截污治污体系,洱海水质得到有效提升,2019年洱海水质有7个月达到地表Ⅱ类水标准、5个月达到地表Ⅲ类水标准,表明洱海流域保护治理工作取得

了阶段性成效。同时,该工程还取得了良好的经济效益和社会效益。该工程的设计、施工及运维经验,可为后续高原湖泊生态治理提供借鉴。

参考文献:

- [1] 庞燕,项颂,储昭升,等. 洱海流域城镇化对农村生活污水排放量的影响[J]. 环境科学研究, 2015, 28(8): 1246-1252.
- PANG Yan, XIANG Song, CHU Zhaosheng, *et al.* Impacts of urbanization on rural domestic sewage emissions in Erhai Lake Basin [J]. Research of Environmental Sciences, 2015, 28(8): 1246-1252 (in Chinese).
- [2] 窦嘉顺,卫志宏,吕兴菊,等. 洱海流域分散型村落污水处理工艺特征与适用性浅析[J]. 环境科学导报, 2017, 36(5): 13-19.
- DOU Jiashun, WEI Zhihong, LÜ Xingju, *et al.* Brief talk on engineering characters and feasibilities of distributed village sewage treatment in the Erhai Lake basin [J]. Environmental Science Survey, 2017, 36(5): 13-19 (in Chinese).
- [3] 李梁,曹欣然,庞燕,等. 洱海流域农村生活污水治理技术评价[J]. 环境工程技术学报, 2019, 9(4): 349-354.
- LI Liang, CAO Xinran, PANG Yan, *et al.* Evaluation of rural domestic wastewater treatment technologies in Lake Erhai basin [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2019, 9(4): 349-354 (in Chinese).
- [4] 叶桦,胡椿,杨绪东. 水污染治理工程管理体制与机制研究——以洱海流域污染源治理工程为例[J]. 大理大学学报, 2017, 2(11): 18-24.
- YE Hua, HU Chun, YANG Xudong. On the management system and mechanism of water pollution control: a case study of pollution control project of Erhai Lake basin [J]. Journal of Dali University, 2017, 2(11): 18-24 (in Chinese).
- [5] 李凤香. 洱海面源污染治理现状及对策[J]. 环境科学导刊, 2008, 27(增刊): 82-84.
- LI Fengxiang. Present situation of treatment of non-point source pollution and countermeasures in Erhai Lake [J]. Environmental Science Survey, 2008, 27(Z1): 82-84 (in Chinese).
- [6] 方涛,覃川,杨成,等. 沉井工程有限空间内清淤检测修复安全技术措施[J]. 山西建筑, 2019, 45(20): 193-194.
- FANG Tao, QIN Chuan, YANG Cheng, *et al.* Analysis on safety technical measures of silt cleaning, detection and repair in limited space of open caisson project [J]. Shanxi Architecture, 2019, 45(20): 193-194 (in Chinese).
- [7] 方涛,覃川,何异,等. 西南地区某多种类市政管网非开挖修复技术探讨[J]. 山西建筑, 2019, 45(18): 86-88.
- FANG Tao, QIN Chuan, HE Yi, *et al.* Discussion on trenchless repair technology of municipal pipeline network in southwest China [J]. Shanxi Architecture, 2019, 45(18): 86-88 (in Chinese).

作者简介:方涛(1995-),男,安徽六安人,大学本科,工程师,项目技术负责人,主要从事市政工程建设工作。

E-mail:2923212871@qq.com

收稿日期:2020-02-24

修回日期:2020-02-26

(编辑:丁彩娟)

加强水土保持, 打造绿水青山