

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.22.012

# 湛江市黑臭水体治理中暗渠清污分流设计与思考

周 蓉, 王绍贵, 陈冬育, 张炜璇

(广东省冶金建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510080)

**摘 要:** 以湛江市霞山区黑臭水体治理中暗渠清污分流为例,从分析暗渠及排口特性、水质黑臭成因出发,确定暗渠清污分流总体设计思路和技术路线,总结了排口摸查、一渠一策、分类截污、防海水倒灌、清淤、修复及设备材料选择与保护等设计要点。根据建设条件,因地制宜创新性地提出了缩小暗渠纳污面积、渠内包管清洗检修、交通干道下泵闸设置等工程难点解决方案,针对溯源摸查、施工质量安全、清污分流的重要性等问题提出思考,并对城市防洪和第二阶段水系治理工作提出了建议。本项目的实施实现了中心城区水系消黑初见成效的阶段性目标,为滨海城市暗渠化黑臭水体治理协同污水收集与处理系统提质增效提供了参考。

**关键词:** 暗渠; 黑臭水体; 清污分流; 一渠一策; 提质增效

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)22-0072-08

## Design and Thinking of Clean Water and Sewage Diversion in Culvert for the Treatment of Black and Smelly Water in Zhanjiang City

ZHOU Rong, WANG Shao-gui, CHEN Dong-yu, ZHANG Wei-xuan

(Guangdong Metallurgical and Architectural Design Institute Co. Ltd., Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** Starting from the analysis of the characteristics of culverts and outlets and the causes of black and smelly water, the overall design idea and technical route of clean water and sewage diversion in culvert for the treatment of black and smelly water in Xiashan District, Zhanjiang City was determined, and the key points of design such as sewage outlets investigation, one-culvert-one-plan, classified sewage interception, seawater backflow prevention, dredging, remediation, selection and protection of equipment and materials were summarized. According to the construction conditions, innovative solutions for engineering problems were proposed, such as reducing the sewage receiving area of the culverts, maintenance and cleaning of pipes laid in the culverts, and setting up pump sluice under the traffic trunk road. The importance of tracing, construction quality and safety, clean water and sewage diversion and other problems were considered, and suggestions for urban flood control and the second stage water treatment were proposed. The implementation of this project achieved the phase goal of primarily eliminating black and smelly water in the central urban area, and provided a reference for improving the quality and efficiency of the treatment of black and smelly water in culverts combined with sewage collection and treatment system in coastal cities.

**Key words:** culvert; black and smelly water; clean water and sewage diversion; one-culvert-one-plan; quality and efficiency improvement

近年来湛江市按照住建部、生态环境部和广东省《城市黑臭水体治理攻坚战实施方案》《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》等工作部署,系统有序推进城市黑臭水体治理工作,取得明显成效。随着治理攻坚战的深入,水环境治理中“最难啃的硬骨头”<sup>[1]</sup>——暗渠化黑臭水体,逐渐浮出水面。由于治理难度大,湛江市中心城区暗渠已成为城市水环境痛点。

为巩固近年来的治理成果,加快改善城市及滨海水环境质量,同时实现污水收集与处理系统提质增效,2020年初湛江市打响了中心城区水系治理攻坚战。

1 工程概况

湛江市中心城区水系综合治理工程分两阶段实施:一阶段总投资 19.68 亿元,建设时间为 2020 年 2 月—2021 年 10 月,主要建设内容为暗渠清污分流、市政污水管网补空白、污水处理厂建设等;二阶段工程总投资约 80.0 亿元,建设时间为 2023 年 1 月—2025 年 5 月,主要建设内容为现状市政管网检测修复、社区雨污分流改造、排水单元达标改造、合流渠溢流污染控制、城市防洪排涝提标、农村种植养殖等面源污染治理、海绵城市建设等。目前一阶段工程已陆续进入竣工阶段,二阶段工程正在启动 PPP 前期工作。

一阶段工程目标:河道及暗渠消黑比例高于 90%,实现黑臭水体治理初见成效。其中暗渠清污分流为工程目标可达性最根本的保障,可谓重中之重。本研究以湛江市霞山区暗渠为例,总结暗渠清污分流工程设计要点,并提出思考,为滨海城市中心城区暗渠化黑臭水体治理提供思路 and 方向。

1.1 暗渠概况

霞山区暗渠共七条,总长 12.4 km,隶属于绿塘河及南柳河流域,为湛江市霞山区污水处理厂纳污范围。暗渠基本无上游来水,功能为城市排雨行洪和生活污水排放通道,在确保城市水安全方面发挥着重要的作用。暗渠上覆情况主要为城市主次干道,局部为建筑、广场、铁路等。为减少污水直排,改善滨海水环境质量,暗渠整治以总口截污为主。渠内排口依然污水直排,且淤积严重,水质普遍呈现不同程度的黑臭。霞山区暗渠分布及特性概况分别见图 1 和表 1。

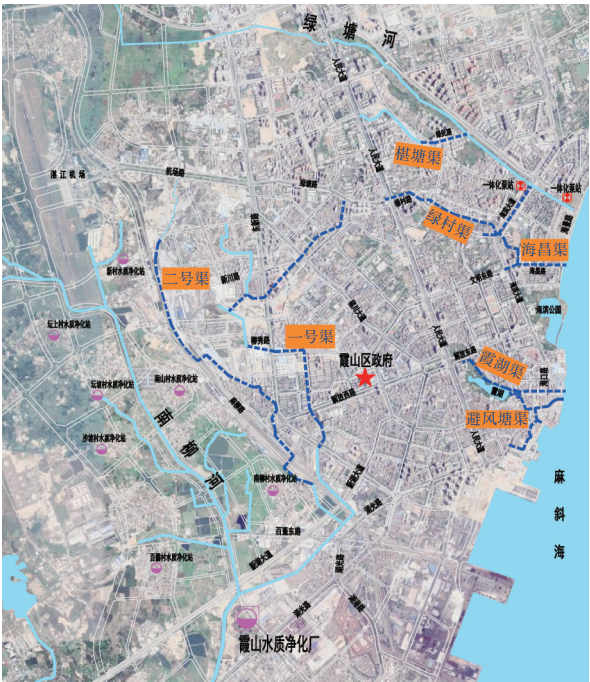


图 1 霞山区暗渠化黑臭水体分布  
Fig.1 Layout of black and smelly water in culvert in Xianshan District

表 1 暗渠特性(治理前)

Tab.1 Characteristics of the culverts before treatment

项目	起终点	断面尺寸/(m×m)	长度/km	渠内排口数量/个	淤积厚度/m	黑臭状况
樁塘渠	绿塘北三路—绿民路绿塘河出水口	3.5×2.5	0.6	合流:21	0.2~0.5	重度黑臭
绿村渠	人民大道—海滨大道绿塘河出水口	2.0×2.5~双孔 2.5×1.8	2.1	合流:19,污水:54	0.2~0.6	重度黑臭
海昌渠	文明东路—观海长廊出海口	1.6×1.8	1.5	合流:9 污水:21	0.2~0.5	重度黑臭
霞湖渠	解放东路—东堤—横路出海口	3.0×2.0	1.4	合流:50	0.4	重度黑臭
避风塘渠	霞湖公园—渔人码头出海口	3.0×2.0~4.0×2.5	0.70	合流:35	0.4	重度黑臭
二号渠	机场路—湖光路	3.3×1.6~8.0×2.0	4.1	合流:70 污水:67	0.90	重度黑臭
一号渠	柳秀路—湖光路	8.0×2.0~10×3.0	2.0	合流:85,污水:46	0.95	重度黑臭

## 1.2 黑臭成因分析

① 城市规划未能跟上社会经济人口高速增长的步伐。规划缺位,一是导致城市建设混乱失序,天然河道被挤占、覆盖,成为暗渠;二是污水收集管网覆盖率低,出现大量管网空白区,带来雨污混流、污水直排等问题,导致水体尤其是暗渠成为城市排污通道,随之出现一系列水环境污染问题,逐渐演变为黑臭水体。

② 暗渠全封闭结构,导致渠内溶解氧、光照先天不足。水生植物和好氧微生物无法生存,加上大量污染物过度消耗水体中的溶解氧,形成厌氧环境。随着厌氧微生物在河流底泥上大量繁殖,分解代谢产生黑色絮状物,释放有毒、有害气体,暗涵式河流逐渐成为黑臭水体<sup>[2]</sup>。

③ 总口截污是投资受限、工期紧迫等条件下的权宜之计,旱季能部分缓解暗渠下游水体污染,但也带来一系列问题,如渠内仍然污水直排,且流速过缓,污染物沉积在渠底造成淤积,加剧渠内黑臭;雨季渠内混合污水及沉积物随雨洪冲出,导致下游水体返黑返臭。

④ 海水随涨潮倒灌入暗渠,咸淡混合水经总口截污进入污水主管,导致干管常年处于高水位运行,影响暗渠总口截污效果,即使是旱季也无法实现完全截污。同时污水处理厂进厂水中氯离子浓度异常,研究表明:盐度的增加会改变污水处理系统微生物群落结构,降低微生物的丰富度、多样性和生物酶活性,导致A<sup>2</sup>/O工艺污染物去除率下降<sup>[3]</sup>。同时,氯离子会对部分水质监测项目造成干扰,尤其是化学需氧量、氨氮、高锰酸盐指数等<sup>[4]</sup>。因此必须采取有效的防海水倒灌措施,减少海水对污水管网的侵入。

⑤ 中心城区暗渠普遍建设年代久远、建设标准低,长年累月在外荷载、人为活动等不利因素叠加影响下,形成各种本体结构性及功能性缺陷,包括墙体垮塌变形、钢筋锈蚀裸露、墙体及顶板裂缝、异物穿透、渠底坑洼不平等,导致渠内外地下水、地表水互相渗透,同时暗渠底坡被破坏,排水不畅,即使在旱季,渠内也常年污水淤泥集存。

⑥ 渠内结构封闭、空间狭窄、环境恶劣,给排污规范化管理和维护管养工作造成极大困难。渠内排口雨污错混接普遍,商业、工业偷排行为等时有发生,暗渠黑臭状态无法得到改善,成为城市水

环境痛点。

## 2 暗渠清污分流总体设计思路及技术路线

一阶段工程围绕城市水环境痛点和污水系统提质增效开展,暗渠清污分流是重点,旨在进一步提高污水收集率,削减入海污染量,实现城市污水系统提质增效。清污分流总体设计思路为:旱季污水不入渠、淤泥外水清出渠、雨季污水少溢流。消除暗渠黑臭,恢复暗渠城市防洪排涝通道功能。暗渠清污分流技术路线见图2。

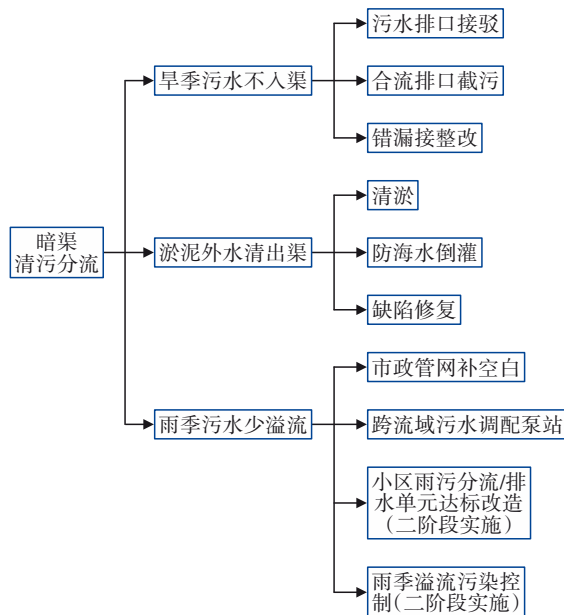


图2 暗渠清污分流技术路线

Fig.2 Technical route of clean water and sewage diversion in culvert

## 3 暗渠清污分流设计要点

中心城区暗渠流经区域房屋密集、管线复杂、交通繁忙,渠内排口密布、环境恶劣、空间狭窄,给暗渠清污分流设计和施工带来极大困难。暗渠清污分流设计要点包括暗渠本体与排口调查、一渠一策、分类截污、防倒流措施、暗渠修复、清淤、管道与设备材料选择及保护等。

### 3.1 暗渠本体与排口调查

由于暗渠具有复杂性、隐蔽性,加之基础资料严重缺失,暗渠本体结构、路由及排口等综合信息不明,因此必须对暗渠开展调研排查。调查要素包含四个方面:①暗渠位置(路由)、本体尺寸、涵室数量、渠内水深及淤积情况;②暗渠排口坐标、高程、尺寸、材质和排口水质、水量、水深及是否有附属设



施如拍门等;③暗渠起止点及检查井位置平面坐标、高程等;④暗渠内部结构性缺陷(如破裂、变形、腐蚀、错口、起伏、脱节、接口材料脱落、异物穿入、渗漏等)、功能性缺陷(如沉积、结垢、障碍物、残墙坝根、树根、浮渣等)<sup>[5]</sup>。

针对大型合流排口,尤其是路由不明、检查井位置不明、标高低的排口还需进行溯源调查。主要采取现场踏勘、水质示踪剂、探测仪器(QV、CCTV、三维激光扫描仪、地质雷达等)结合蛙人等技术手段,彻底查明排口上游污染源接入及运行工况,进行准确定位<sup>[6]</sup>,为溯源截污做准备。

同时需及时整理统计暗渠内部各类排口的位置、尺寸、标高、水质等重要信息,并列表建档(见表2)。其中水质采用COD、NH<sub>3</sub>-N两项指标指示污染程度,并结合现有市政排水管线图、管线探查和排口影像资料判断排口类型。

表2 某暗渠部分排口信息

Tab.2 Information of partial outlets of a culvert

排口编号	排口尺寸/mm	排口底标高/m	晴天是否有水流	水质/(mg·L <sup>-1</sup> )	排口类型
LC1	d800	9.070	有	NH <sub>3</sub> -N:8	混流
				COD:450	
LC2	500×800	5.520	有	NH <sub>3</sub> -N:15	混流
				COD:260	
LC3	d500	4.840	有	NH <sub>3</sub> -N:24	混流
				COD:322	
LC4	d400	3.450	有	NH <sub>3</sub> -N:29	混流
				COD:220	
LC5	d600	1.840	有	NH <sub>3</sub> -N:29	混流
				COD:358	
LC6	d1 000	1.790	有	NH <sub>3</sub> -N:32	混流
				COD:356	

3.2 一渠一策

① 截污原则。根据暗渠路由两侧及上覆情况,合理确定截污原则。如暗渠两侧有足够施工空间,则以渠外截污为主,将截污管设置在渠外市政道路、绿化带或人行道下;暗渠两侧无施工空间的,以渠内截污为主,采用渠内包管方式设置截污管;暗渠空间狭小,截污管径受限,无法满足纳污范围内污水收集与输送要求的,采用渠外市政污水管道补充空白与渠内截污管结合的形式实现渠内外同步截污(见图3),减小暗渠纳污面积,控制渠内管径,

从而减少雨季溢流量。需要特别注意的是,渠内包管会占用过水断面,给城市防洪带来负面影响,必须先进行防洪影响评价,经有关部门评审同意后方可实施。

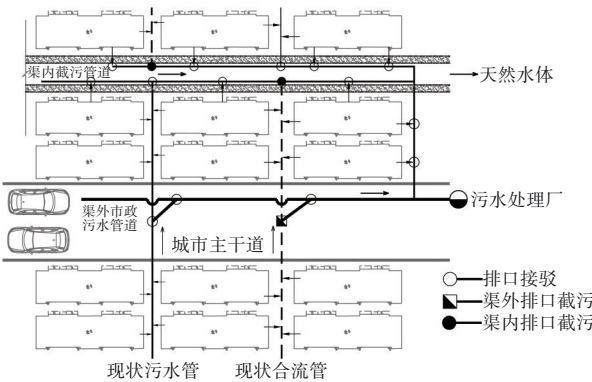


图3 暗渠内外同步截污示意

Fig.3 Schematic diagram of simultaneous interception inside and outside the culvert

② 渠内截污管性质。根据暗渠纳污面积、周边市政污水干管布置、暗渠本体结构尺寸等,综合确定截污管性质。暗渠结构尺寸足够大( $B \geq 5.0$  m),周边无现状市政污水干管,也无建设条件的,渠内截污管可作为区域污水干管;暗渠结构尺寸小( $B < 5.0$  m),渠内设管对防洪影响大的,渠内截污管只能作为收水支管,分段出渠接入市政污水干管,不承担污水转输功能。

③ 管道附属构筑物设置方式。渠外截污管及作为区域污水干管的渠内截污管、检查井等附属构筑物按标准设置;作为污水收集支管的渠内截污管通过设置冲洗口和检修口替代传统检查井(见图4),既可解决管道疏通检修维护的问题,又能减少对暗渠断面的侵占,减小防洪影响。

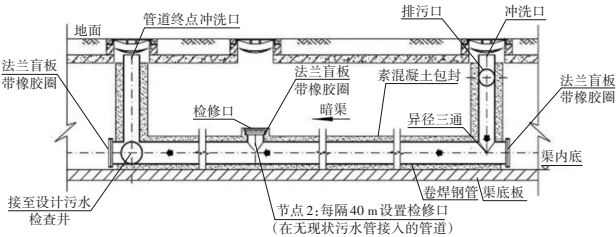


图4 渠内截污管冲洗口、检修口设置

Fig.4 Setting of flushing port and maintenance port of sewage interceptor in the culvert

综上,表3总结了根据“一渠一策”原则,霞山区七条暗渠采取的截污思路及方案。

表3 “一渠一策”总结  
Tab.3 One-culvert-one-plan summary

项目	暗渠路由两侧及上覆情况	渠内施工条件	截污原则	渠内截污管性质	管道附属构筑物设置方式
榭塘渠	中心城区,上覆市政道路或建筑	空间狭窄,施工困难	渠内外同步截污	收水支管	冲洗口+检修口
绿村渠	中心城区,上覆市政道路或建筑	空间狭窄,施工困难	渠内外同步截污	收水支管	冲洗口+检修口
海昌渠	两侧及上覆均为市政道路	空间狭窄,施工困难	渠外截污	区域污水次干管	按标准设置检查井
霞湖渠	中心城区,上覆市政道路或建筑	空间狭窄,施工困难	渠内外同步截污	收水支管	冲洗口+检修口
避风塘渠	中心城区,上覆市政道路或建筑	空间狭窄,施工困难	渠内外同步截污	收水支管	冲洗口+检修口
二号渠	城郊,上覆市政道路或建筑	空间宽敞,施工条件好	渠内截污	区域污水干管	按标准设置检查井
一号渠	城郊,上覆市政道路或建筑	空间宽敞,施工条件好	渠内截污	区域污水干管	按标准设置检查井

3.3 分类截污分门别类,不同类型的排口采用不同的接驳、截污和溢流方式。

排口截污是暗渠清污分流的关键。现场排口性质、形状、标高、水量等五花八门,根据排口特性分类截污原则见表4。

表4 分类截污原则  
Tab.4 Principle of classified sewage interception

排口性质	排口断面/mm	排口标高	暗渠断面宽度/m	截污方式	备注
污水	$D/B \leq 300$			渠内接驳	封堵排口
	$D/B > 300$		$< 5$	渠外接驳	
			$\geq 5$	渠内接驳	
雨污合流	$D/B \leq 500$	排口较高		渠内截污(见图5)	溢流口设拍门
		排口较低	$< 5$	渠外截污	
			$\geq 5$	渠内截污	
	$500 < D/B \leq 1\,000$	排口较高	$< 5$	渠外截污	溢流口设拍门
		排口较低	$\geq 5$	渠内截污	
				渠外截污	
	$D/B > 1\,000$			渠外溯源截污	溢流口设闸门
	短距离内多个小型排口( $D/B \leq 200$ )			采用横管串联后渠内截污(见图6)	溢流口设拍门

注: 排口断面, $D$ 为圆形排口径径; $B$ 为方形排口宽度。

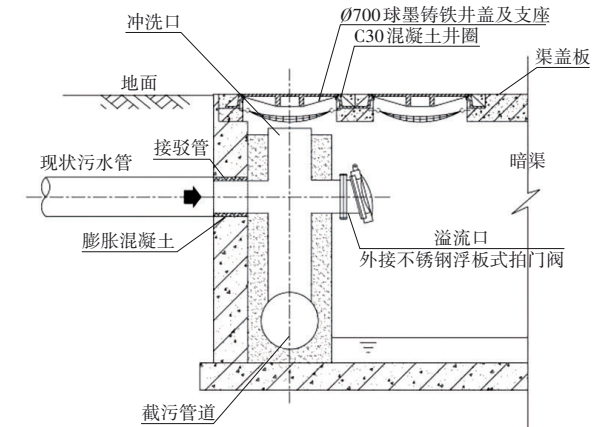


图5 小口径高排口渠内截污大样图  
Fig.5 Detailed drawing of sewage interception in small diameter high outlet in culvert

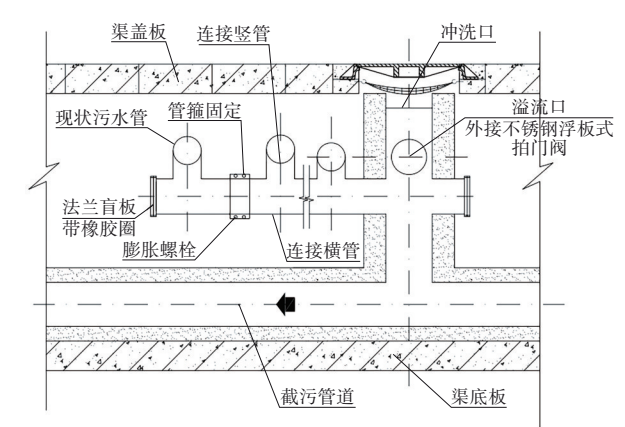


图6 多排口串联截污大样图  
Fig.6 Detailed drawing of sewage interception with multiple outlets in series

### 3.4 防倒灌措施

为解决污水主干高水位运行问题,降低污水厂进水氯离子浓度,同时腾出渠容,保障城市防洪安全,在暗渠出海口设置挡潮闸,防止海水倒灌,是实现污水收集处理系统提质增效的重要举措。

根据现场条件,暗渠出海口处上覆面为城市干道、市民广场、公交站场,无法采用传统升降式闸门,而下开式闸门设备昂贵且不具备安装排淤设施

条件。经过调研和比较,采用了全埋地平推式泵闸一体化设计。泵闸一体化挡潮闸集成强排、泄洪、防倒灌等功能,根据天气预报、闸前渠道水位、闸后洪潮水位,通过就地控制或远程遥控实现智能化启停泵和开闭闸管理。设备高度集成,占地面积小,无需设进水前池,全部设备处于地下,正常工况运行不影响上部使用功能,适用于用地紧张的中心城区。泵站一体化防倒灌设施设计见图7。

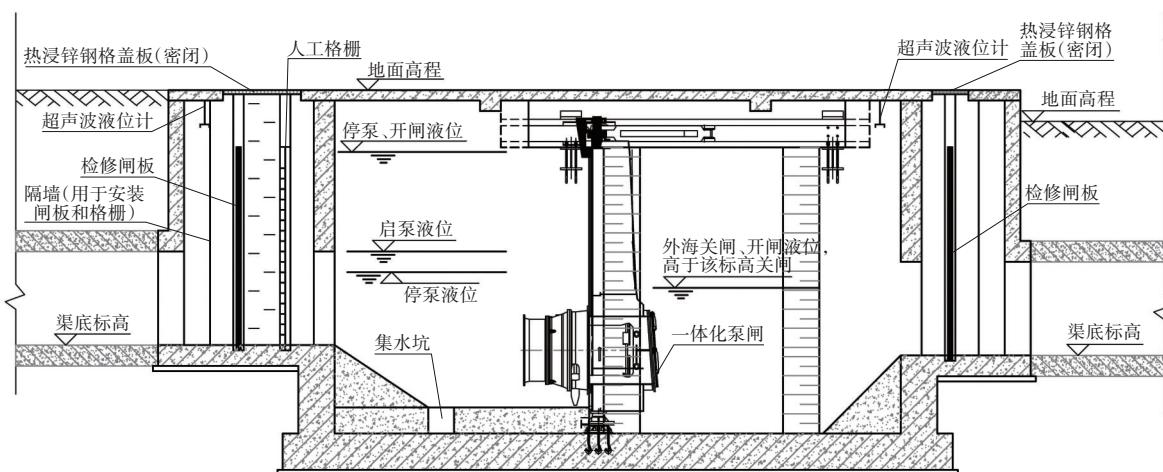


图7 全埋地泵闸一体化防倒灌设施剖面图

**Fig.7 Profile of buried pump–gate integrated backflow prevention facilities**

### 3.5 暗渠修复

根据调查资料,中心城区暗渠不同程度存在结构性和功能性缺陷。依据“调查—详细勘察—鉴定评估—隐患治理—长效管控”的工作步骤及“轻重缓急”的工作原则,对暗渠Ⅰ、Ⅱ级结构安全缺陷及排水功能缺陷进行修复<sup>[7]</sup>。包括盖板与墙体塌陷修复、地基加固、墙体裂缝修补止水、裸露锈蚀钢筋保护和加固、树根等侵入异物铲除、渠道底坡修整保证排水坡度等。

### 3.6 清淤

清淤作为巩固清污分流成效的附加手段,有利于防止黑臭底泥形成二次污染,但暗渠清淤作业难度大,危险系数高,清淤时机、清淤方式和底泥处置是关键。清淤应与排口摸查同步实施,利用暗渠现状检查井或人工开挖检修口的方式,打开入渠作业通道,严格按照《有限空间作业安全指导手册》开展渠内作业。清淤方式根据暗渠特性采用一渠一策。绿村渠、霞湖渠、避风塘渠等周边建筑密集、断面狭窄、作业环境恶劣的暗渠,采用人工和小型吸泥泵、可远程操控的清淤机器人相结合的方式,一、二号

渠等周边建筑相对稀疏、断面宽阔、作业环境相对有利的暗渠,以机械清淤为主,清泥、输送、泥分离自动作业。暗渠垃圾底泥含水量一般大于80%,污染物成分复杂、浓度高,不能随意弃置或者用于城市绿化,必须经过妥善处理。本项目中的暗渠淤泥经湛江市污泥处理处置专业机构统一收集,运至处理厂进行减量化、稳定化、无害化和资源化处置。

### 3.7 管道与设备材料选择与保护

滨海地区地下水和地表水氯离子含量高,管道与设备均应充分考虑材料的抗腐蚀性能及防腐保护措施。渠内截污管设计采用钢管,机械喷涂水泥砂浆内防腐,环氧煤沥青特加强级外防腐(六油二布),外包防渗等级P6的C25素混凝土作为保护层,厚度10~15 cm;市政污水管道DN≤800 mm的采用HDPE缠绕结构壁C型管材, DN>800 mm的采用球墨铸铁排水管,顶管段采用顶管专用Ⅲ级钢筋混凝土管;拍门、下开式堰门采用SS316不锈钢;泵闸一体化挡潮设施中的闸体、泵壳、泵轴、液压传动装置等直接接触海水的核心设备采用2507双相不锈钢。



## 4 几点思考

### 4.1 先摸查,后设计

俗话说“磨刀不误砍柴工”,暗渠内部情况复杂,切忌在资料不明的情况下盲目开展设计。暗渠本体及排口溯源是暗渠清污分流改造的第一步,只有建立在准确的勘测资料基础上的设计方案才能实现科学决策、精准治污,保证工程建设目标可达。

### 4.2 先安全,后施工

摸查、清淤、截污、修复等暗渠施工均为有限空间作业,作业环境恶劣,安全隐患多,危险性高。在设计和施工中均应重点关注安全风险及应对措施。设计说明中应有安全专篇,设计交底中应有安全专项,设计方案中应体现安全技术措施,如渠内包管采用的是钢管,为避免在有限空间中焊接,借鉴建筑消防给水管道的连接方式,设计采用钢套环连接。施工方案和组织管理应严格遵守《有限空间作业指导手册》中的步骤与规定,如“通风—有毒有害气体检测—下人”原则、安全作业票制度、安全培训与事故应急演练、持证上岗、配齐安全装备、全程监控,做足安全措施后方可施工。

### 4.3 先检验,后覆盖

暗渠内部施工属于隐蔽工程,一经覆盖将很难检验和评估施工质量。而施工质量直接影响暗渠清污分流效果,因此监理单位应对施工进行全过程监控,并保留过程视频。分段施工结束后,应采用QV或CCTV对渠内所有排口及接驳管进行扫描,针对排口摸查信息表逐一消项,确保按图施工且无遗漏,方可覆盖渠顶工作井。

### 4.4 先分清污,后分雨污

暗渠化黑臭水体治理是系统性工程,应站在流域视角通过分析各类污染源污染贡献率,结合水环境容量,采取针对性的治理措施。对湛江市中心城区来说,主要污染源为城市生活污水,排水单元雨污分流是彻底解决水体黑臭、实现长制久清的关键。这项工作工程量浩大、实施难度高、历时长。在资金短缺、考核压力大的前提下,分阶段实施,率先对黑臭水体进行清污分流改造,实现水质消黑初见成效的阶段性目标,也能取得极大的环境和社会效益。

### 4.5 弥补防洪影响建议

暗渠截污管的敷设可以有效消除渠内黑臭水

体,但包封截污管占用了暗渠的行洪断面,降低了防洪标准,会对城市防洪带来负面影响。建议:①中心城区水系治理二阶段工程采用污涝同治思路,根据《湛江市中心城区水系综合治理规划(2019—2030年)》,尽快落实防洪排涝系统工程建设,确保城市水安全。②构建信息采集—分析评价—预警—决策调度—联控联动的水系智慧管理平台,全面提升城市水环境、水生态、水安全管理和应急能力。③结合海绵城市理念,在排水单元内大力推行海绵化改造,实现雨水源头减量,同时充分利用闲置或公共用地,打造雨水花园、湿塘系统,调蓄雨水,增强城市防洪排涝能力<sup>[8]</sup>。

## 5 运行效果

### 5.1 水体水质改善

通过对暗渠进行清污分流改造,实现了晴天污水不入渠、雨天污水少溢流。暗渠在晴天基本处于断流状态,中心城区绿塘河、南柳河等地表水系水质状态得到全面改善,实现了中心城区水系消黑初见成效的阶段性目标。绿塘河、南柳河治理前、后水质对比见表5。

表5 绿塘河、南柳河治理前、后水质对比

Tab.5 Comparison of water quality before and after treatment of Lütang River and Nanliu River

mg·L<sup>-1</sup>

河段	取样点	取样时间	COD	NH <sub>3</sub> -N
绿塘河	绿1 乐金路	2020年3月2日	90	7
		2022年3月22日	22	1
	绿2 绿民路	2020年3月2日	125	10
		2022年3月22日	27	1
	绿3 海滨大道	2020年3月2日	168	17
		2022年3月22日	42	2
南柳河	南1 机修厂	2020年3月2日	156	15
		2022年3月24日	71	4
	南2 汇流渠	2020年3月2日	100	9
		2022年3月24日	40	2
	南3 中桥	2020年3月2日	89	10
		2022年3月24日	42	3

### 5.2 污水厂进水水质、水量变化

暗渠清污分流改造对湛江市中心城区污水系统提质增效具有积极意义。治理前、后霞山污水处理厂进水水质与水量对比见表6。可见,治理后,霞山污水处理厂2021年进水污染物浓度月均值较2020年均不同程度提高,其中COD提高2.4%,

TN提高13.2%,TP提高29%;进水氯离子浓度大幅下降,月均值下降83.5%;2021年进水量月均值较2020年增长25%。

表6 治理前、后霞山污水厂进水水质与水量对比

Tab.6 Comparison of influent quality and quantity of Xiashan sewage treatment plant before and after treatment

项 目	2020年月均值	2021年月均值
COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	363.14	372.00
TN/(mg·L <sup>-1</sup> )	31.02	35.13
TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	10.47	13.51
氯离子/(mg·L <sup>-1</sup> )	2 237	369
进水量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20.57	25.62

## 6 结语

湛江市暗渠清污分流工程的实施有效削减了排海污染量,实现了中心城区暗渠化黑臭水体治理协同污水收集与处理系统提质增效的阶段性工程目标,为保护和提升近海海域环境质量作出了积极贡献。同时,暗渠清污分流仅是湛江市水系综合治理的第一步,下一步应大力推进社区雨污分流或排水单元达标改造、合流区溢流污染控制、厂站建设、入海河口生态修复、工业结构调整及布局优化、农业面源污染治理等工程,以实现中心城区水系的长制久清。

## 参考文献:

- [1] 张旭滨,任学焄. 治理黑臭河道暗渠工程的技术措施[J]. 工程建设与设计,2021(21):129-131,163.  
ZHANG Xubin, REN Xuetao. Technical measures for the control of black and odorous river culverts [J]. Construction & Design for Engineering, 2021 (21): 129-131, 163(in Chinese).
- [2] 王娇娇. 暗涵式黑臭水体治理措施及效果评价研究[J]. 中国市政工程, 2021(5): 46-50, 116.  
WANG Jiaojiao. Study on treatment measures & effect evaluation of concealed culvert black odor water body [J]. China Municipal Engineering, 2021 (5): 46-50, 116(in Chinese).
- [3] 张兰河,田蕊,陈子成,等. NaCl盐度对A<sup>2</sup>/O工艺去除废水污染物和系统微生物的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(10): 231-237.  
ZHANG Lanhe, TIAN Rui, CHEN Zicheng, et al. Effects of NaCl salinity on wastewater pollutants removal

and microorganism in A<sup>2</sup>/O technology process [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(10): 231-237(in Chinese).

- [4] 陈金鹏,孙娜,刘传秋,等. 东营市河流中氯离子浓度特征及其对水质监测质量的影响[J]. 山东科学, 2020, 33(2): 113-120.  
CHEN Jinpeng, SUN Na, LIU Chuanqiu, et al. Chloride ion concentration characteristics in rivers and its effect on water quality monitoring in Dongying [J]. Shandong Science, 2020, 33(2): 113-120(in Chinese).
- [5] 李乐,赵光竹,周成龙,等. 城市排水暗涵全面调查技术研究[J]. 城市勘测, 2021(4): 154-157.  
LI Le, ZHAO Guangzhu, ZHOU Chenglong, et al. Research on comprehensive investigation technology of urban drainage culvert [J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2021 (4): 154-157 (in Chinese).
- [6] 廖治中,张俊波. 管道暗涵排口排查溯源及治理技术研究[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(7): 51-54.  
LIAO Zhizhong, ZHANG Junbo. Research on the investigation, traceability and treatment technology of the pipeline concealed culvert outlet [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2021, 39 (7): 51-54(in Chinese).
- [7] 马国骏. 深圳市暗渠化河道安全隐患分析及防治对策[J]. 中国水利, 2021(5): 40-42.  
MA Guojun. Analysis and countermeasures of underdrain safety hazard in Shenzhen [J]. China Water Resources, 2021(5): 40-42(in Chinese).
- [8] 孙鹏宇,肖生明,牛春良,等. 基于海绵城市理念探讨暗渠在防洪排涝中的优化设计[J]. 给水排水, 2020, 46(S01): 286-288.  
SUN Pengyu, XIAO Shengming, NIU Chunliang, et al. Optimal design ideas for underground canal flood control and drainage based on sponge city concept [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(S01): 286-288 (in Chinese).

作者简介:周蓉(1969- ),女,江西南昌人,工程硕士,高级工程师,主要从事水污染控制工程设计工作。

E-mail: zhourong2000@126.com

收稿日期:2022-04-28

修回日期:2022-08-15

(编辑:孔红春)