

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.06.020

## 紧邻水源保护区的沿江城市截污干管改造

祖义梅<sup>1</sup>, 黄凌<sup>2</sup>, 陈晴空<sup>1</sup>, 郭倩<sup>3</sup>, 范剑平<sup>4</sup>

(1. 重庆交通大学 环境水利工程重庆市工程实验室, 重庆 400074; 2. 中铁大桥勘测设计院集团有限公司 重庆分公司, 重庆 400026; 3. 林同棧国际工程咨询<中国>有限公司, 重庆 401121; 4. 重庆文理学院 环境材料与修复技术重庆市重点实验室, 重庆 402160)

**摘要:** 紧邻水源保护区的沿江城市截污干管改造如何避免污水溢流和改善水环境质量是此类工程的设计难点。以泸州二道溪污水处理厂截污干管改造为例,创新性地提出了截污干管功能复线方案,通过在新旧截污干管间预留连通管和开闭闸阀的方式充分利用旧管的容积,保证新管在流量过载和检修时,污水不间断、不溢流;还增设了排泥事故多功能检修井,避免泥渣直排入江,改善了沱江水环境质量,提升了工程的环保性和经济性。此外,该项目设置了一座 $10\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 的污水泵站,其穿越滨江公园、西南商贸城、老旧小区及工房拆迁区等施工环境敏感区的控制性因素、施工方式,以及新旧截污干管和污水泵站的运行模式等可为后续相似排水工程项目提供参考。

**关键词:** 截污干管; 饮用水源保护区; 功能复线

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)06-0122-05

## Reconstruction of Sewage Interceptors in Cities along the River Close to Water Source Protection Areas

ZU Yi-mei<sup>1</sup>, HUANG Ling<sup>2</sup>, CHEN Qing-kong<sup>1</sup>, GUO Qian<sup>3</sup>, FAN Jian-ping<sup>4</sup>

(1. Chongqing Engineering Laboratory of Environmental & Hydraulic Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. Chongqing Branch of China Railway Major Bridge Reconnaissance & Design Institute Co. Ltd., Chongqing 400026, China; 3. T. Y. Lin International Engineering Consulting <China> Co. Ltd., Chongqing 401121, China; 4. Key Laboratory of Environmental Materials & Remediation Technologies, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China)

**Abstract:** How to avoid sewage overflow and improve water quality is the difficulty of engineering design for reconstruction of sewage interceptors in cities along the river close to water source protection areas. Taking the reconstruction of sewage interceptor of Luzhou Erdaoxi wastewater treatment plant (WWTP) as an example, this paper innovatively puts forward the multi-functional line scheme of sewage interceptor, which makes full use of the volume of the old pipe by reserving the connecting pipe and the gate valve between the old and new sewage interceptors, so as to ensure that the sewage will not be interrupted and overflow when the new pipe is overloaded and overhauled. Furthermore, a multifunctional

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(42007352); 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2019jcyj-msxmX0389); 重庆市教委科技项目(KJQN201801309); 重庆文理学院人才引进项目(2017RCH05)

通信作者: 陈晴空 E-mail: chenqingkong@126.com

manhole for sludge discharge accident is also added to avoid sludge directly discharged into the river, which enhances environmental protection and economy. In addition, a 100 000 m<sup>3</sup>/d sewage pump station is set up in this project. The control factors and construction methods of the project crossing the construction environment sensitive areas such as Binjiang Park, Southwest Trade City, old community and workshop demolition area, as well as the operation mode of the old and new sewage interceptors and sewage pump stations, can provide reference for subsequent similar drainage projects.

**Key words:** sewage interceptor; drinking water source protection area; functional double line

目前我国部分城市随着城区面积扩大和人口增多,产生的污水量和地面径流量急剧增加,导致原有截污干管的过流能力不足。同时,部分老旧管网溢流、乱接和混接等问题严重,大量污水直排入江导致水环境恶化<sup>[1]</sup>,亟需进行升级改造。若截污干管紧邻国家水源保护区,则给工程设计带来巨大挑战。根据《中华人民共和国水污染防治法》《四川省饮用水水源保护管理条例》等规定,一级饮用水水源保护内区禁止新建、扩建与供水设施和保护水源无关的项目,禁止向水域排放污水,二级饮用水水源保护区内不准新建、扩建向水体排放污染物的建设项目<sup>[2]</sup>。因此,饮用水源保护区对截污干管工程线位及技术方案的要求更加严格。例如,重庆市悦来污水厂配套一级截污干管工程,前期选线沿嘉陵江(长江一级支流)布置,其中部分管道紧邻但并未穿越一级水源保护区,由于技术方案无满足环保要求的应急预案,无法解决事故时大量污水排放问题,直接威胁饮用水源安全,其选址方案被环保一票否决。以泸州市二道溪污水处理厂截污干管复线工程为例,讨论如何在紧邻水源保护区进行沿江城市截污干管改造工程的设计,创新性地提出了截污干管功能复线,利用现状截污干管(旧管)容积接收新建功能复线(新管)检修和过载流量的思路,保证了过载时无污水溢流,在检修时不发生间断;还设置了排泥事故多功能检修井,避免泥渣直排入江。该项目建设后,有效解决了现有截污干管过流能力不足而导致污水溢流进入沱江问题,并承接上游区域雨污分流改造后的截流污水,为区域环境改造打下了坚实基础,进而改善了本段长江与沱江的污染现状。

## 1 工程概况

泸州市是典型的沿江城市,二道溪污水处理厂截污干管复线工程位于龙马潭区,正好在沱江和长

江的交汇处(见图1)。新建截污干管情况见图2。



图1 新建截污干管服务范围

Fig.1 Service scope on newly-built sewage interception trunk pipe

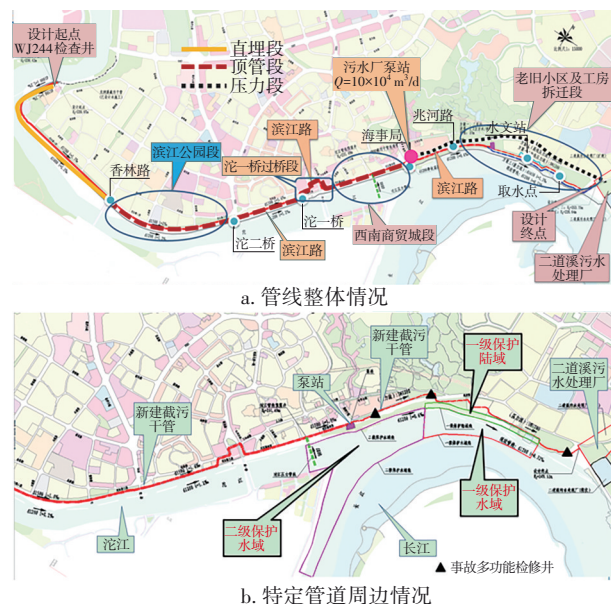


图2 新建截污干管设计

Fig.2 Design of new sewage interception trunk pipe

由于城市发展,现有截污干管的污水截流能力不足,大量污水直排入江导致沱江水质恶化。为提

升污水处理能力,二道溪污水处理厂进行了扩建,本工程即是为解决现 $d1\ 200\text{ mm}$ 截污干管过流能力不足而增设的复线干管,设计范围为龙洞溪截污干管WJ244检查井至新厂进水处,沿沱江贯穿龙马潭区,主要收集龙洞溪、玉带河、沱江西分区、半岛北分区的截流污水。新截污干管沿线相继穿越了滨江公园、滨江路、西南商贸城和老旧小区及工房拆迁区,且项目紧邻沱江饮用水源保护区,环保压力大。因此,设计选线只能从主城区沿江地段与水源保护区之间狭小地带选择,设计管道总长 $8.39\text{ km}$ ,管道直径为 $d1\ 200\sim 1\ 650\text{ mm}$ ,设计流量为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,其中明挖段 $1.95\text{ km}$ ,顶管段 $3.91\text{ km}$ ,压力管段 $2.53\text{ km}$ ,同时在泸州海事局对面设置1座规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的污水泵站,这是目前该市最大的单体提升泵站。

## 2 环境敏感段的设计与运行

### 2.1 滨江公园影响段

滨江公园段的主要环境敏感点是绿化带存在古树保护群及高级景观带,且施工噪声和扬尘等可能扰民。该段为设计起点—沱二桥段的一部分,需穿越的景观滨江公园约有 $2.8\text{ km}$ ,即香林路—沱二桥段。该公园建成不久,是周边居民的重要休闲娱乐场所。因此,为减少对滨江公园的破坏,在截污干管进入公园段前,将管道局部加深至满足顶管暗挖施工条件,并尽量将顶管需明挖的工作井和接收井布置在景观人行道上,以尽可能减少对景观的破坏,即香林路南侧为顶管敷设(见图3)。

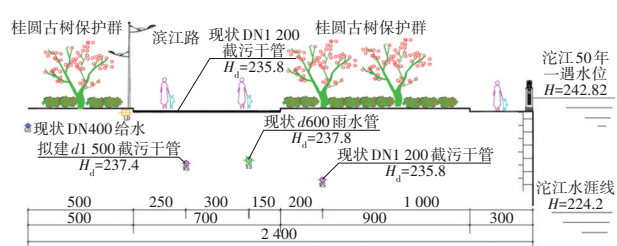


图3 滨江公园段新建截污干管横断面

Fig.3 Cross-section of newly-built sewage interception trunk pipe in Binjiang Park section

同时,根据当地居民在公园活动的主路线、施工范围及管线选线,项目尽量靠近公园相对隐蔽区域,做到了施工期间周边居民基本无感施工。此外,新建截污干管穿越的西南商贸城(沱一桥过桥段)(见图4)和滨江路(沱二桥—沱一桥段)工程段由于地势狭窄和交通繁忙等限制因素,在西南商贸

城段选择了绕行,并选择了顶管施工。

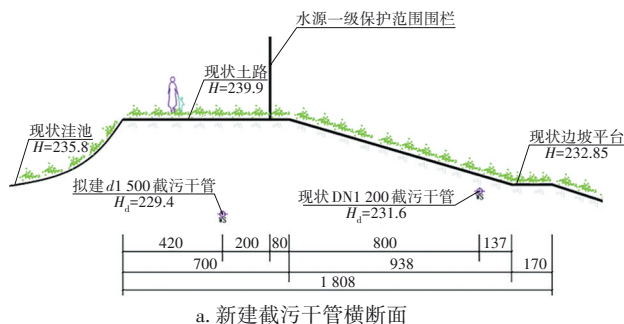


图4 西南商贸城段现状

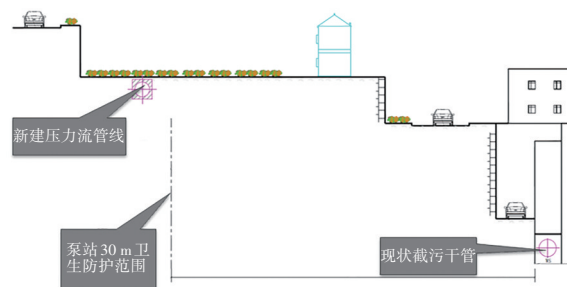
Fig.4 Current status of Southwest Trade City section

### 2.2 饮用水源保护区影响段

老旧小区及工房拆迁区(“兆河路—设计终点”)工程段已进入沱江一级和二级水源保护区范围,因此,设计上本段管线沿水源一级保护范围的围栏外土路敷设,为 $d1\ 200\text{ mm}$ 压力管道,见图5(a)。沿取水泵站内部绿地的地面线敷设见图5(b)。



a. 新建截污干管横断面



b. 对取水点的处理

图5 “老旧小区及工房拆迁区”段新建截污干管横断面和对取水点的处理

Fig.5 Cross-section of newly-built sewage interception trunk pipe and treatment of water intake point in old residential area and workshop demolition section

针对水源保护区对水质的要求,本项目采取了三项水污染防治及应急措施。①结合项目特点,在



压力管道最低处分别设置了3处排泥井以维持管道的畅通,并将其改造成“事故多功能检修井”(见图6),兼具事故排放和储泥功能,直径为 $1.2\text{ m}^{[3]}$ ,进水管与溢流管高差设置为 $0.9\text{ m}$ ,有效事故检修容积为 $1.017\text{ m}^3$ 。压力管道检修时,3处闸阀开启,上游来水被导入旧管,泥渣排入事故检修池,待检修完成后由吸泥车统一收集,避免直排入江。②实现新旧双管功能复线运行。新管选线结合旧管现状线位、建设条件综合确定,并总体形成平行走向,设置3处新旧管之间的连通管和开闭闸阀,可实现新管道流量过载或者事故检修期间新旧管道交互运行,保证污水不间断、不溢流,大大降低了事故风险,增强了风险应急能力。③在 $d1\ 200\text{ mm}$ 压力管道的顶管区域,由于钢管直接顶进容易变形发生破裂,因此采用了 $d1\ 500\text{ mm}$ 混凝土顶管专用管道作为套管,预埋轨道,再拖曳钢管完成管道安装,进一步降低了干管运行过程中的污水渗漏风险。

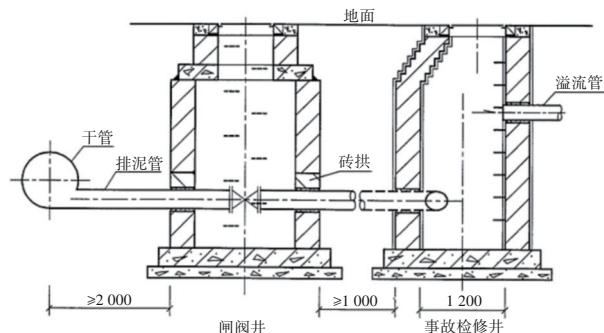


图6 事故多功能检修井

Fig.6 Accident multi-functional inspection well

此外,由图1可知,另两段滨江路(“沱一桥—海事局段”的一部分和“海事局—兆河路段”全部)也在水源保护区范围内,如果施工不慎也可能造成污染。地勘发现滨江路局部含有块石、漂石,顶管施工过程中易发生受力不均,且管顶埋深约 $7.0\text{ m}$ ,顶进过程易发生坍塌、变形等事故,针对滨江路上的软基及回填土处理,采用了超前小导管注浆工艺,待顶管施工完成后,对该段超挖部位进行注浆回填<sup>[4]</sup>。

### 2.3 功能复线运行模式

本工程旧管只作为转输污水通道,不再承接上游污水。新旧管之间的3处连通管和闸阀分别设在1#旧管起点、2#沱二桥和3#泵站进水井前。首先,1#旧管起点处实际无污水接入,此处接入连通管,

过流能力较好。同时,新截污干管本处至泵站前,若发生事故或者平时检修时,可将污水切换入旧管。其次,2#沱二桥处的接入条件较好,又正好位于起点与泵站前距离中心处,且旧管起点至本处为新管的主要支管接入处,是承前启后的一处关键性连通节点。最后,3#泵站进水井前处连通管为新管收水终点(后端为压力管道,不再收集周边污水),是本段截污干管流量最大处。在该处设置连通管,能有效将新管过载流量导入旧管,同时也可在泵站检修或事故时,污水有临时排放出口,避免溢流。

新管日常检修时可利用旧管约 $0.4$ 的充满度,将新管流量全部导入旧管。超载工况是该片区上游雨污分流不彻底,导致暴雨时雨水渗入量较大,超过了新管的设计能力( $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ )。为保证新管排水顺畅,不产生溢流,需将多余水量导入旧管。因此,本工程在设计中考虑了 $30\%$ 的最大入渗量,约 $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,而旧管的过流能力为 $4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,大于新管的超载流量。

连通新旧管的开闭阀门为 $d1\ 500\text{ mm}$ 的电动阀门,通过水位监测系统来保证恒定的过流量,阀门启动模式为自动开启和手工开启两种,以自动开启为主,手动开启为辅。检修和事故工况时,先确定检修及事故点位置,不同位置开启不同阀门,若发生在1#、2#阀门之间,则将1#阀门全开,将污水全部导入旧管;若发生在2#、3#阀门之间,则将2#阀门全开,将污水全部导入旧管;若发生在3#阀门之后,则将3#阀门全开,将污水全部导入旧管。此外,1#阀门之前由于无旧管,故不具备这样的应急检修及事故处理能力。超过最大过流能力时,按实际运营监测数据,进行合理调配,阀门开启度与实际流量超最大过流能力之比保持一致。

### 2.4 污水泵站的设计与运行

污水提升泵站位置在泸州市环境卫生管理二所,正好处于沱江与长江交汇处、二级饮用水源保护区陆域边缘,规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。由于一体化泵站埋深为 $26\text{ m}$ ,地下水深为 $16\text{ m}$ ,下部为卵石透水层,常规施工工艺无法实施或代价过大,故采用沉井工艺进行施工,既保证了泵体顺利安装,又大幅节省了工程投资,降低了施工风险,也是泸州市首次采用沉井工艺。此外,为保障污水正常排放,对泵站供电系统按一级负荷考虑,采用两根不同源的 $10\text{ kV}$ 电缆进行供电,保证泵站不会因断电而出现

泄漏的风险。为满足环保除臭要求,泵站设备电气为手自一体两控模式,手动时离子除臭、光催化除臭、风机各自独立启停,自动控制时通过风机的启停控制离子和光催化的联动。依据泵站环境、恶臭浓度,可以24 h连续运行,也可以设置风机的启停时间进行间歇运行。运营期间经实测,泵站无组织废气监测项目中 $\text{H}_2\text{S}$ 最大值为 $0.09 \text{ mg/m}^3$ 、 $\text{NH}_3$ 最大值为 $0.27 \text{ mg/m}^3$ 、臭气浓度最大值为16,符合《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)表1中新扩建二级标准限值的规定。

针对城市长距离截污干管实际运营期间,雨季大量雨水会通过污水检查井上的小孔混入截污干管,进而造成污水泵站功率需加大的情况,将泵站相关实施数据分享到泵站控制平台及主管人员的手机APP。同时,根据大数据采集情况,泵站可通过人工智能对水泵功率进行实时调节,实现最贴近实际情况的水泵功率运营,将泵站运营成本降低40%以上。此外,针对城市污水的进水水量不稳定,进而导致污水处理厂生物处理工艺运行情况不佳或运行调整难度大的情况,采取源端控制思路,在提升泵站系统中引入“可学习化”的中控设备系统。将试运营期的进水量大数据记录在系统数据库,并将泵站的各项调整参数与之匹配,待试运营期结束后,泵站可根据运营期间的实时数据对其自身参数进行调整,保证泵站出水量能在一个相对平稳的区间,且日后有变化的数据均补充进入数据库。

### 3 结语

该工程是典型的沿江城市截污干管复线工程,其难点在于如何在紧邻饮用水源保护区的情况下,利用沿江狭窄地段进行管道选线与敷设,保证污水不溢流。为此,本工程首先从设计上提出了“功能复线”的思路,利用旧干管的容积接收新管过载和检修时的污水,避免产生溢流;还将压力管道的排泥井改成事故多功能检修井,避免污泥直排入江;同时还通过在压力管段采用混凝土管套钢管的形式减小了运行过程中污水渗漏的风险,强化了管线运行过程中对突发污染事故的应急能力。其次,在施工过程中,为减少工程对环境的不利影响以及对人们生活和交通的干扰,大量使用了顶管施工,并通过超前小导管注浆工艺对滨江路段进行加固,防

止施工事故对环境产生不利影响。最后,在泵站的建设和运行方面,本工程通过沉井工艺保证了泵体的安全施工,并在泵站运行过程中严格控制了臭气浓度,通过智能化学习方式降低了泵站的运行成本,提升了二道溪污水厂进水的水量稳定性。该工程建成后带动了上游主城区雨污分流改造的建设与下游二道溪污水处理厂扩容的运营,可为类似项目提供参考。

### 参考文献:

- [1] 邢玉坤,曹秀芹,柳婷,等.我国城市排水系统现状、问题与发展建议[J].中国给水排水,2020,36(10):19-23.  
XING Yukun, CAO Xiuqin, LIU Ting, et al. Current situation, problems and development suggestions of urban drainage system in China [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36 (10): 19-23 (in Chinese).
- [2] 王彬,梁璇静.我国饮用水水源保护制度现状及完善建议[J].环境保护,2016,44(21):29-35.  
WANG Bin, LIANG Xuanjing. Thoughts on the improvement of drinking water sources protection system [J]. Environmental Protection, 2016, 44 (21): 29-35 (in Chinese).
- [3] 蒋建林,谷艳芬,何际勋.董箐水电站导流洞冒顶塌方处理施工技术[J].人民长江,2008,39(9):48-50.  
JIANG Jianlin, GU Yanfen, HE Jixun. Construction technology for roof fall and collapse treatment of diversion tunnel of Dongqing hydropower station [J]. Yangtze River, 2008, 39(9): 48-50 (in Chinese).
- [4] 熊建新.小导管超前注浆工艺在顶管施工中的应用[J].国防交通工程与技术,2004(3):58-60.  
XIONG Jianxin. The application of the technology of squeezing cement liquid into the soil in advance with small conduits to the pushing concrete piping construction [J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2004(3): 58-60 (in Chinese).

作者简介:陈晴空(1983—),男,湖北襄阳人,博士,副教授,主要从事水污染控制教学及科研工作。

E-mail:chenqingkong@126.com

收稿日期:2021-11-02

修回日期:2021-12-15

(编辑:衣春敏)