

# 武汉市大东湖核心区污水深隧传输系统工程设计

杜立刚<sup>1</sup>, 邹惠君<sup>1</sup>, 饶世雄<sup>1</sup>, 石亚军<sup>1</sup>, 吴志高<sup>1</sup>, 李尔<sup>1</sup>, 雷晶<sup>2</sup>

(1. 武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430023; 2. 泛华建设集团有限公司  
湖北设计分公司, 湖北 武汉 430023)

**摘要:** 随着城市开发建设的迅速推进,污水处理厂等环境敏感排水设施与城市用地相互制约的问题日益突出,采用排水深隧技术外迁现有污水处理厂日益重要。武汉市大东湖核心区污水传输系统工程利用地下深层空间采用排水深隧技术将沙湖、二郎庙、落步咀三厂污水转输至城市外围,汇入规划的北湖污水处理厂进行集中处理,以释放现状污水处理厂土地资源存量。工程包括地表完善系统和污水深隧系统。地表完善系统中采用了强化的污水预处理工艺和涡流式入流竖井。污水深隧系统采用压力流输送方式,设计正常运行流速为  $0.7 \text{ m/s} \leq v \leq 2.5 \text{ m/s}$ ,最低流量时流速  $\geq 0.65 \text{ m/s}$ 。主隧直径为  $D3\ 000 \sim D3\ 400 \text{ mm}$ ,埋深为  $30 \sim 42 \text{ m}$ ,坡度为  $0.000\ 65$ ,采用盾构法施工;支隧直径为  $2 - D1\ 500 \text{ mm}$ ,埋深约  $20 \sim 21 \text{ m}$ ,坡度为  $0.000\ 5$ ,采用顶管法施工。

**关键词:** 大东湖; 污水传输; 深隧传输

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)02-0074-05

## Design of Dadonghu Core Area Wastewater Deep Tunnel Transmission System Project in Wuhan

DU Li-gang<sup>1</sup>, ZOU Hui-jun<sup>1</sup>, RAO Shi-xiong<sup>1</sup>, SHI Ya-jun<sup>1</sup>, WU Zhi-gao<sup>1</sup>, LI Er<sup>1</sup>,  
LEI Jing<sup>2</sup>

(1. Wuhan Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430023, China;  
2. Hubei Design Branch of Pan-China Construction Group Co. Ltd., Wuhan 430023, China)

**Abstract:** With the fast advance of urban development and construction, the mutual restriction between environment-sensitive wastewater treatment facilities such as wastewater treatment plant and urban land have been becoming outstanding increasingly. The wastewater transmission system project of Dadonghu core area in Wuhan used the deep underground space to transfer the wastewater from Shahu, Erlangmiao and Luobuzui three WWTPs to the outskirts of the city by using the deep tunnel technology, and then to the planned Beihu wastewater treatment plant for centralized treatment, so as to release the existing land of the WWTPs. This project included surface improvement system and wastewater deep tunnel system. The enhanced wastewater pretreatment process and vortex flow shaft were adopted in the surface improvement system. The wastewater deep tunnel system adopted pressure flow transport mode, the designed normal flow rate was  $0.7 \text{ m/s} \leq v \leq 2.5 \text{ m/s}$ , and the minimum flow rate was not less than  $0.65 \text{ m/s}$ . The main line tunnel, diameter was  $D3\ 000 - D3\ 400 \text{ mm}$ , buried depth was  $30 - 42 \text{ m}$  and slope was  $0.000\ 65$ , both of which adopted shield construction. The branch line tunnel, diameter was  $2 - D1\ 500 \text{ mm}$ , buried depth was  $20 - 21 \text{ m}$  and slope was  $0.000\ 5$ , adopting pipe jacking construction.

**Key words:** Dadonghu; wastewater transmission; deep tunnel transmission

## 1 工程概况

为改善武汉市水环境生态状况,创建“两型”社会示范区,武汉市提出建设大东湖生态水网的方案,其中,沙湖、二郎庙和落步咀三座污水处理厂位于“大东湖生态水网”的核心区内,另外还有一座白玉山污水处理厂正处于准备建设阶段。

沙湖污水处理厂位于武昌东沙湖地区,目前进厂水量已超出处理能力,由于用地条件限制,已有搬迁沙湖污水厂并将污水纳入二郎庙污水厂处理的规划,且配套管道工程已实施。二郎庙污水厂地处二环,属于杨园组团范围,随着生态环境要求越来越高,同样与地区发展和环境保护存在矛盾。落步咀污水厂位于城市副中心杨春湖东侧,紧邻武汉火车站,也是未来区域发展的重点。因此,这三座污水厂都面临区域发展导致污水厂中心化的问题。

为满足国家、省政府对污水处理和污染物总量减排要求,沙湖、二郎庙及落步咀厂都需要尽快完成提档升级,北湖污水处理厂亟需马上建设。现状市政道路下浅层空间已被电力、通信、燃气、给水、排水及轨道交通等设施占据,因此确定利用地下深层空间采用排水深隧技术将沙湖、二郎庙、落步咀三厂污水转输至城市外围,汇入规划的北湖污水厂进行集中处理,释放现状污水处理厂土地资源存量,环境效益明显,社会效益巨大。工程总体布置见图1。



图1 工程总体布置

Fig. 1 General layout of the project

## 2 传输系统的建设规模

### 2.1 服务范围及排水体制

大东湖核心区污水传输系统工程,近期服务范围包括大东湖核心区内的沙湖、二郎庙、落步咀及白玉山污水系统约130.35 km<sup>2</sup>,远期控制服务范围加上武钢和龙王嘴污水系统约200.25 km<sup>2</sup>。

工程服务范围内,近期沙湖及二郎庙系统、部分落步咀系统仍采用截流式合流制,其余均为分流制;

远期除规划武昌老城区4.6 km<sup>2</sup>范围保留合流制外,其余区域均为分流制。

### 2.2 主要建设内容

工程建设内容主要包括以下两个系统:

① 地表完善系统。沙湖污水提升泵站(1 m<sup>3</sup>/s)及配套管网、二郎庙预处理站(9.8 m<sup>3</sup>/s)及配套管网、落步咀预处理站(5.7 m<sup>3</sup>/s)及配套管网、武东预处理站(2.4 m<sup>3</sup>/s)及配套管网。

② 污水深隧系统。二郎庙预处理站至北湖污水处理厂主隧工程,长约17.6 km,直径D3 000~D3 400 mm;落步咀预处理站至三环线支隧工程,长度为1.7 km,直径2-D1 500 mm。

### 2.3 污水传输系统的规模

本工程采用人均综合生活用水量指标预测法、分类水量预测法和单位分项建设用地指标法三种方式对各站点污水量进行了预测。考虑工程服务范围内,近期和远期排水体制之间的差别,过渡阶段存在一定范围的混流,近期初雨需截流。目前,初雨的后续处理缺少相关规范指导,初雨经过预处理后便溢流排放。考虑到远期规划另新建雨水深隧,故本工程中超标的初雨经预处理后,近期溢流排放,远期排入规划雨水深隧。因此,泵站及污水预处理站规模按雨季截流量设计,污水深隧传输规模按旱季最大时流量设计。各站点设计流量见表1,污水深隧系统主隧和支隧近期、远期各种工况下流量见表2。

表1 各站点设计流量

Tab. 1 Flow rate for each station m<sup>3</sup> · s<sup>-1</sup>

项目	近期			远期	
	旱季平均时	旱季最大时	雨季	旱季规模	旱季最大时
沙湖泵站	0.77	1.0	1.0	0.77	1.0
二郎庙预处理站	5.67	7.37	9.8	6.37	8.28
落步咀预处理站	2.3	3.0	3.0	4.4	5.72
武东预处理站	0.4	0.52	2.4	0.81	1.05

表2 系统各工况流量

Tab. 2 Flow rate of the system under various conditions

m<sup>3</sup> · s<sup>-1</sup>

项目		二郎庙~三环	三环~武东	武东~泵站	落步咀~三环
近期	旱季平均流量	5.67	7.97	8.37	2.3
	旱季最大流量	7.37	10.37	10.89	3.0
	雨季流量	7.37	10.37	10.89	3.0
远期	旱季平均流量	6.37	10.77	11.58	4.4
	旱季最大流量	8.28	14.00	15.00	5.72

### 3 地表完善系统设计

#### 3.1 地表完善系统组成

地表完善系统主要由污水预处理站/污水泵站和入流竖井组成(见图2)。

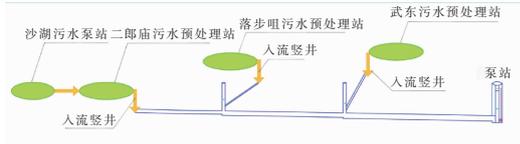


图2 地表完善系统组成示意

Fig. 2 Schematic diagram of surface improvement system composition

##### 3.1.1 污水预处理站/污水泵站

污水预处理站主要功能是对服务范围内的污水进行预处理,去除污水中的漂浮物、悬浮物和无机颗粒,避免它们沉积在污水深隧内。

沙湖污水泵站主要是对沙湖系统内沙湖大道下重力流干管来水进行提升,使其通过现状压力管道输送至二郎庙预处理站进行预处理。

##### 3.1.2 入流竖井

入流竖井设置在各预处理站内,作用是将经预处理后的污水从地表系统引入到深层污水隧道系统中,并尽量消除水流的动能和势能,且在水流下降时去除其夹带的气体。

#### 3.2 预处理工艺方案设计

##### 3.2.1 预处理工艺

预处理工艺流程见图3。

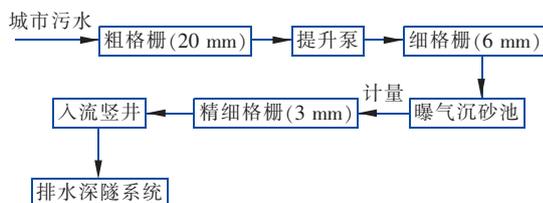


图3 预处理工艺流程

Fig. 3 Flow chart of pretreatment process

国内城市污水处理厂采用的污水预处理工艺一般为:粗格栅(20 mm) + 提升泵 + 细格栅(6 mm) + 沉砂池。香港污水深隧预处理站为尽量减少悬浮物及砂砾进入深隧系统,防止沉积在深隧中,采用的细格栅标准均较高。通过对大东湖核心区污水转移系统工程服务区内现状沙湖、二郎庙及落步咀污水处理厂的运行情况的调研,结合本工程服务范围内近期存在混流区、雨污混接及施工工地多等特点,本工

程拟采用强化污水预处理工艺:粗格栅(20 mm) + 提升泵 + 细格栅(6 mm) + 沉砂池 + 精细格栅(3 mm)。

##### 3.2.2 预处理主要设备选型

###### ① 粗格栅除污机

钢丝绳牵引式格栅除污机运行可靠,管理方便,被大量运用在武汉市现有污水厂、污水泵站及雨水泵站,且运行状况良好。结合本工程的特点,污水预处理站粗格栅采用钢丝绳牵引式格栅除污机。

沙湖污水泵站所处地理位置较为敏感,故设计为全地下式,沙湖污水提升泵站粗格栅采用粉碎格栅机,后续拦渣和捞渣在二郎庙预处理站完成。

###### ② 细格栅除污机及精细格栅除污机

本工程对细格栅和精细格栅的拦渣要求高,且各预处理站占地较少,故本工程细格栅和精细格栅均采用截污效率高、过水能力强、结构密封的内进流孔板式格栅除污机。

###### ③ 沉砂池

曝气沉砂池具有较好的耐冲击性,去除的砂粒中有机物含量少,对较小粒径砂粒的去除率较高,同时具有除油除渣等优势,在国内大型污水厂中运行稳定,除砂效果好,故各预处理站采用曝气沉砂池。

#### 3.3 入流竖井方案设计

##### 3.3.1 入流竖井类型

入流竖井的形式主要有涡流式、直落式和折板式。目前,在排水隧道内,几种竖井均有应用。直落式竖井占地面积较大,且对隧道冲击也较大,不适合本项目。参考国内外深隧运行经验,折板和涡流两种入流竖井在适应性、耐久性、对隧道冲洗、入流稳定性要求、占地、排气、水位控制等方面各有优缺点。

##### 3.3.2 入流竖井的选择

针对本工程入流竖井水力运行条件,采用三维计算流体力学模型对涡流式与折板式两种类型入流竖井进行了模拟研究。入流竖井三维模型采用 realizable  $k-\varepsilon$  气液两相紊流模型,利用控制体积法对方程组进行离散,流速和压力耦合采用 SIMPLER 算法,竖井上游明渠的入口处设置流量边界,出流处设置压力边界。模拟研究结论如下:

① 涡流式入流竖井方案下,井内可形成较稳定的贴壁旋流,井壁受力条件较好;竖井中央空芯率较大,设计水位未见空气进入深隧。

② 折板式入流竖井方案下,各层折板压力分

布不均,水流冲击区压力较大,其他区域压力相对较小;设计水位下可见少量气体聚集于深隧入口。

③ 在设计工况下两方案均能满足竖井消能要求。

结合国内外经验及三维模型结论,涡流式与折板式两种竖井均能满足用地条件、维护检修要求,但考虑折板竖井排气条件较差及长时间运行对结构受力均匀性、耐久性和防腐要求较高,且竖井上部水位较不稳定,不利于运行监控,因此本工程采用涡流式入流竖井。

## 4 污水深隧系统设计

### 4.1 输送方式设计

深隧传输系统主要有压力流和重力流两种输送方式。相对重力流,压力流输送方式具有埋深灵活、土建投资低、末端提升泵站运行费用省、通风除臭简单等优点,结合本工程的特点,污水深隧采用压力流输送方式。

### 4.2 设计参数

传输系统需要避免传输管涵内发生沉积事件,隧道输送系统由于埋深较深、维护管理较难,因此尤其需要避免在输送管涵内发生沉积,影响输送系统的正常运行。为避免隧道输送系统发生沉积现象,系统内流速需设置合理。流速过小,水流难以将污水内的杂质带走,以致杂质在隧道内发生沉积;流速过大,将导致隧道内水位坡降(压力流)或物理坡降(重力流)过大,最终导致隧道系统及末端深隧泵站埋深增大,使整个系统工程造价增加,泵站扬程增高,泵站运行费用增加。因此,合理确定隧道内的流速非常关键。

本项目根据规范要求<sup>[1]</sup>,结合深层排污隧道系统水流运动特性专项课题研究结论,参考国内外经验<sup>[2-3]</sup>,传输系统设计正常运行流速为 $0.7 \text{ m/s} \leq v \leq 2.5 \text{ m/s}$ ,最低流量时流速 $\geq 0.65 \text{ m/s}$ 。

综合确定本项目主隧断面:二郎庙~三环线段的隧道断面为 $D3\ 000 \text{ mm}$ ,长约 $6.9 \text{ km}$ ;三环~武东的隧道断面为 $D3\ 200 \text{ mm}$ ,长约 $4.2 \text{ km}$ ;武东~深隧泵站的隧道断面为 $D3\ 400 \text{ mm}$ ,长约 $6.5 \text{ km}$ ;确定本项目支隧落步咀~三环的断面为 $2-D1\ 500 \text{ mm}$ ,长约 $1.7 \text{ km}$ 。

### 4.3 水力计算

采用InfoWorks ICM 5.5软件对污水深隧系统各段流速及水位进行计算,计算结果如表3和表4

所示。

表3 压力流系统各管段流速

Tab.3 Flow rate for each section of the pressure flow system  
 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

工 况		二郎庙~ 三环	三环~ 武东	武东~ 泵站	落步咀~ 三环
近期	旱季平均流量	0.80	0.99	0.92	1.28
	旱季最大流量	1.04	1.28	1.19	1.66
远期	旱季平均流量	0.90	1.34	1.28	1.25
	旱季最大流量	1.17	1.74	1.66	1.62

表4 压力流系统各主要节点水位

Tab.4 Water level for main nodes of the pressure flow system  
 $\text{m}$

工 况		三环线汇 流竖井	武东入 流竖井	深隧 泵站	落步咀入 流竖井
近期	旱季平均流量	10.85	9.85	8.63	12.80
	旱季最大流量	10.06	8.37	6.31	13.36
远期	旱季平均流量	10.55	8.71	6.35	12.40
	旱季最大流量	9.55	6.44	2.45	12.67

注: 污水深隧起端控制水位为 $12 \text{ m}$ 。

### 4.4 平面路由设计

结合现状污水系统布局及沿线现状地形,综合考虑规划布局和用地性质,尽量避开人口密集的居住小区,如武钢工业区等现状区域,处理好与地铁四号线、青化立交、武鄂高速等重大市政设施的关系,确保污水深隧顺利实施,确定了污水深隧路由,见图4。污水主隧起于二郎庙预处理站,沿拟建沙湖大道和沙湖港敷设,至礼和路附近向南延伸至欢乐大道,再沿欢乐大道敷设至三环线,转至武鄂高速公路至武东明渠排口,再经严西湖和北湖公园内敷设至北湖污水处理厂。污水支隧起于落步咀预处理站,经三环线东侧绿化带敷设至三环线青化立交处入污水主隧。



图4 平面路由

Fig.4 Planar routing

### 4.5 竖向设计

污水深隧的竖向设计需合理避让现状及规划构(建)筑物的基础、结构及河、湖、渠等水利设施,减

少实施时的相互影响。同时,需结合沿线的工程地质、水文条件,确定合理的埋深,以利于施工和后期的运营维护管理。

污水深隧下穿现状地铁4号线,为保证污水深隧施工时不对现状地铁造成影响,污水深隧顶部与地铁盾构区间底部净间距应不小于6 m。沙湖港和欢乐大道段地下25 m内地质变化较大,污水深隧需避开该地质层,敷设在较均匀地质层内,以减小施工和后期运营风险。

综合考虑上述因素及排水隧道维护需求,结合国内外的深层隧道研究和建设的经验<sup>[4]</sup>,确定污水主隧起点埋深约30 m,终点埋深约42 m,坡度为0.000 65;污水支隧起点埋深约20 m,终点埋深约21 m,坡度为0.000 5。

## 4.6 施工工法设计

### 4.6.1 主隧施工工法

污水主隧断面为D3 000~D3 400 mm,埋深为30~42 m,主要位于现状及规划道路下,多处穿越市政桥梁、铁路、轨道交通、湖泊等重要风险源,深隧曲线段较多,最小转弯半径为R300 m,穿越的土层主要为细砂夹砾卵石层、老黏土层、强风化泥质粉砂岩及中风化泥质粉砂岩层,围岩等级从II~V级均有分布。若采用明挖法施工,管线改迁量大,交通疏解难,基坑深度大,施工风险高。若采用矿山法施工,辅助工法较多,且施工机械化程度低,施工速度慢,施工风险大。若采用顶管法施工,部分线路曲线半径不满足工法要求,且工作井设置较多,布置场地受限。

目前,盾构法施工在国内市政工程中应用比较广泛,其对周围建筑及地面变形控制较好,施工速度快,施工环境好,施工工作井少,对地面交通影响小,且技术成熟,故污水主隧采用盾构法施工。

### 4.6.2 支隧施工工法

污水支隧断面为2-D1 500 mm,埋深为20~21 m,采用顶管法施工。

## 5 结语

随着城市化水平和环境要求的不断提高,污水处理厂等环境敏感排水设施与城市用地相互制约的问题日益突出,采用排水深隧技术外迁现有污水处理厂,解决了污水处理厂用地与城市格局、环境保护要求的矛盾,同时也避免了传统排水管涵施工对现状市政设施的影响,其社会效益和环境效益都十分

明显,具有迫切的现实需求和应用前景。

目前,武汉市大东湖核心区污水传输系统工程正处于施工阶段。

## 参考文献:

- [1] GB 50014—2006,室外排水设计规范[S]. 2016年版. 北京:中国计划出版社,2016.  
GB 50014-2006, Code for Design of Outdoor Wastewater Engineering [S]. 2016 ed. Beijing: China Planning Press, 2016 (in Chinese).
- [2] 张英普,何武全,蔡明科,等. 关于浑水管道输水系统临界不淤流速的试验研究[J]. 灌溉排水学报,2004, 23(6):34-36,40.  
Zhang Yingpu, He Wuquan, Cai Mingke, et al. Experimental study on non-depositing critical velocity of muddy water delivery in pipeline system [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2004, 23(6): 34-36, 40 (in Chinese).
- [3] Ackers J, Butler D, Leggett D, et al. Designing sewers to control sediment problems [J]. Urban Drainage Model, 2001. DOI:10.1061/40583(275)77.
- [4] 王广华,李文涛,陈贻龙,等. 广州市东濠涌深层排水隧道工程前期研究[J]. 中国给水排水,2016, 32(22):7-13.  
Wang Guanghua, Li Wentao, Chen Yilong, et al. Preliminary study on deep tunnel drainage engineering at Donghao Creek in Guangzhou [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(22): 7-13 (in Chinese).



作者简介:杜立刚(1987- ),男,湖北武汉人,硕士,工程师,从事水污染控制工程设计及研究工作。

E-mail: ligang\_du2010@sina.com

收稿日期:2019-07-31