

设计经验

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.24.008

达州市仙鹤路涵洞合流制溢流污染控制系统设计

金世怀, 罗 枫

(中国华西工程设计建设有限公司, 四川 成都 610031)

摘 要: 合流污水收集及治理是当下旧城区改造的重点及难点,通过新建截流泵站、压力污水管及末端调节池,将达州市仙鹤路涵洞合流制溢流污水截流至达州第二污水处理厂进行处理。根据现状溢流监测数据,确定泵站规模为 $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,调节池有效容积为 $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。采用密闭式一体化污水截流泵站解决防洪及占地问题;调节池采用集约化设计,将附属设施及建筑布置在调节池上部,池内采用超长冲洗廊道并配备真空冲洗系统,运行效果良好。项目建成后有效解决了仙鹤路涵洞溢流污染严重的问题,同时提高了州河左岸污水系统的受纳能力,实现了占地省、设备少、造价低的设计目标。

关键词: 合流制溢流污染; 一体化泵站; 调节池; 压力污水管; 真空冲洗

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)24-0056-07

Design of the Combined Sewer Overflow Pollution Control System for Xianhe Road Culvert in Dazhou

JIN Shi-huai, LUO Feng

(China Huaxi Engineering Design & Construction Co. Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: The collection and treatment of combined sewage is a key and challenging aspect in the current reconstruction of old urban areas. By constructing a new interception pump station, pressure sewage pipelines, and terminal regulating tank, the combined sewer overflow from Xianhe road culvert in Dazhou was intercepted and conveyed to the Dazhou No.2 wastewater treatment plant. Based on current overflow monitoring data, the size of the pump station was determined to be $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, with an effective regulating tank volume of $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3$. An enclosed, integrated sewage interception pump station was adopted to address flood control and space constraints. The regulating tank featured a compact design, with ancillary facilities and structures arranged on its upper level. The tank was equipped with extra-long flushing galleries and a vacuum flushing system, which has demonstrated good operational performance. Upon completion, the project has effectively resolved the severe overflow pollution issue at the Xianhe road culvert, while also enhancing the assimilative capacity of the sewage collection system on the left bank of the Zhou River. The design achieves the goals of minimized land use, reduced equipment requirements, and lower construction costs.

Key words: combined sewer overflow pollution; integrated pump station; regulating tank; pressure sewage pipeline; vacuum flushing

1 工程背景及总体布局

1.1 工程背景

四川省达州市南城片区(位于州河左岸)仙鹤路涵洞、南城泵站以及达州第二污水处理厂(简称达州二污)前端的截污管道溢流现象频繁,特别是仙鹤路涵洞的溢流问题尤为严重。仙鹤路上游段起源于七里沟,是城区排水的主要行泄通道,受历史遗留问题影响,该区域逐渐形成了雨污水混流排放至涵洞的现状,并在涵洞末端采用截流方式对污水进行收集。现状临时泵站的截流污水量已达 $(5.5\sim 7.2)\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,污水经提升后输送至州河左岸既有的DN1 200截污干管,最终汇入下游污水系统统一处理。一般情况下,晴天时仙鹤路涵洞基本无溢流发生;但在降雨期间,涵洞会出现溢流现象,对州河水环境造成显著影响。该涵洞上方为市民广场,溢流问题已引发周边居民的强烈反应,并被纳入环保督察的重点整改清单。仙鹤路涵洞及临时泵站现状见图1。



图1 仙鹤路涵洞及临时泵站现状

Fig.1 Current situation of Xianhe road culvert and temporary pump station

为避免仙鹤路涵洞溢流对州河的污染,同时提高州河左岸污水系统的受纳能力,新建截流泵站(规模 $8.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)、压力污水管及调节池(有效容积 $4.0\times 10^4\text{ m}^3$),最终将污水输送至达州二污进行处理。

1.2 总体布局

该工程包含截流泵站、压力污水管、调节池3部分,其中截流泵站位于仙鹤路现状临时泵站处,压力污水管主要沿州河左岸岸边敷设,调节池位于达州二污外侧并紧邻州河。

工程总体平面布置如图2所示。

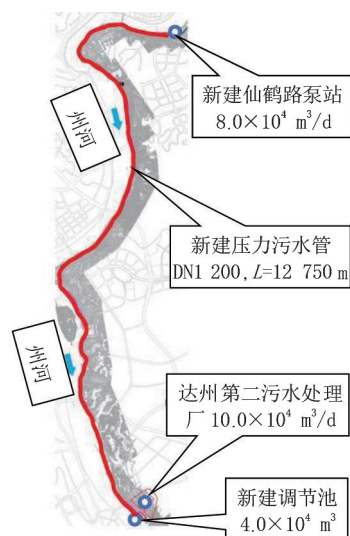


图2 工程总体平面布置

Fig.2 Overall layout plan of the project

2 设计规模

2.1 仙鹤路泵站及污水管

为准确核算仙鹤路涵洞的实际溢流量,前期已在涵洞溢流口处布设1个“排水物联网监测系统”监测点位。基于所获取的溢流监测数据及对应气象信息,经剔除无效与不连贯记录后,共提取2022年5月6 d、6月15 d,每天24 h的监测数据,合计579组有效样本。监测结果显示,涵洞出流量最小值为 $171.25\text{ m}^3/\text{h}$,最大值为 $5\,562.54\text{ m}^3/\text{h}$ 。

仙鹤路涵洞设计污水量与污水流量保证率的关系如图3所示。

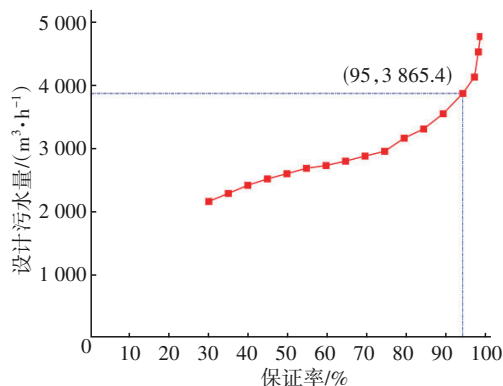


图3 设计污水量与污水流量保证率的关系

Fig.3 Relationship between designed sewage volume and sewage flow guarantee rate

此次污水量保证率取95%,对应的设计污水量为 $3\,865.4\text{ m}^3/\text{h}$,可确保在旱流及小雨条件下均能将

污水有效提升,避免溢流现象发生。为进一步提高系统可靠性,在设计中同时考虑以时变化系数作为安全系数,该系数的确定同样基于监测数据分析。

仙鹤路现有泵站的时变化系数分析结果如图4所示。

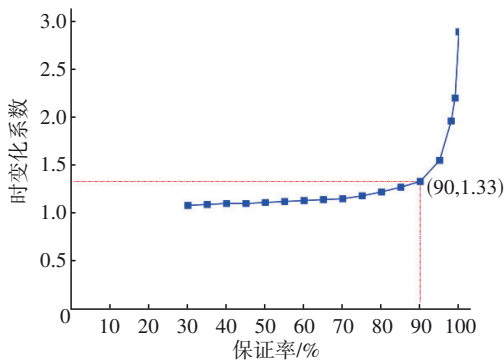


图4 仙鹤路现有泵站的时变化系数

Fig.4 Hourly variation coefficient of the existing pump station of Xianhe road

结合工程实际情况,泵站设计流量的时变化系数按90%保证率取值为1.33,故仙鹤路泵站为解决涵洞溢流问题的设计流量为5 141 m³/h。远期实现雨污分流后,仙鹤路泵站服务范围主要包括泵站及上游区域,根据规划及污水量预测,该服务区域的日均污水量为8.0×10⁴ m³/d,对应的总变化系数为1.50,其设计流量为5 000 m³/h。该远期设计流量(5 000 m³/h)与现阶段为解决仙鹤路涵洞溢流的设计流量(5 141 m³/h)基本一致,能够实现合理匹配。综上,确定仙鹤路泵站及压力污水管的设计规模为8.0×10⁴ m³/d,总变化系数1.50。

2.2 调节池

调节池通常设于污水处理厂前端,用于均衡进水量与水质波动,为后续处理构筑物创造稳定的运行条件。调蓄池则主要用于控制城镇径流污染^[1],暂时储存雨水或合流污水。该工程结合两者功能:新建池体近期作为调蓄池,服务于仙鹤路涵洞的径流污染控制;远期则转为调节池,用于污水处理厂的进水调节,从而实现近、远期功能的有效衔接。该调节池的规模可通过以下两种方式预测。

① 按接纳溢流污水方式计算:调节池容积基于监测所得的溢流有效数据确定^[2],并参考达州二污的实际进水量进行对比复核。2022年5月—6月污水处理厂实测进水量超过设计规模的时段共2 d(分别为6月21日与22日),若按最极端情况考虑,

假设该时段内全部溢流污水均需由调节池接纳,即污水不进入达州二污,计算调节池容积为38 433.70 m³。仙鹤路涵洞溢流量统计见图5。

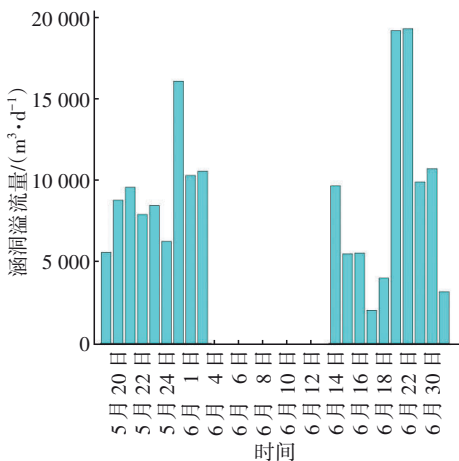


图5 仙鹤路涵洞溢流量统计

Fig.5 Overflow quantity statistics of Xianhe road culvert

② 按污水处理厂水力停留时间计算:现状达州二污设计规模为10.0×10⁴ m³/d,调节池容积按污水处理厂设计规模对应水力停留时间8~12 h计,则其容积为(3.3~5.0)×10⁴ m³。

该调节池的功能以减少溢流风险为主,故考虑按仙鹤路涵洞两日的最大溢流量核算,同时留有适当余量,最终确定调节池容积为4.0×10⁴ m³。

3 截流泵站及管网设计

3.1 截流泵站建设形式

结合仙鹤路涵洞周边的特殊环境——其上部为市民广场,出口连接州河,且溢流口竖向标高较低,泵站建设受规划“邻避”条件、州河洪水位以及现场开挖条件等多重限制,传统混凝土湿式泵站方案难以实施。因此,采用一体化泵站形式,具有占地面积小、施工周期短、建设成本低以及不受洪水水位限制等优点,尤其契合该工程的实际建设条件。

3.2 压力污水管管材及管径选择

根据工程实际情况,污水干管沿州河岸边敷设,因涉及较多结构措施,经综合比选后确定全线采用钢管。污水管整体按加压输水方式设计,并已完成水力计算。该段污水管总长12.75 km,敷设于野外(州河左岸),在综合考虑工程实施难度与经济性后,最终选用管径DN1 200的焊接钢管。不同管径方案的设计参数对比见表1。

表1 不同管径方案的设计参数对比
Tab.1 Comparison of design parameters for different pipe diameter schemes

项目	管径		
	DN1 000	DN1 200	DN1 400
设计流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	5 140	5 140	5 140
设计流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	1.81	1.26	0.92
管长/km	12.75	12.75	12.75
水头损失/m	51.8	19.7	9.0
泵站设计扬程/kPa	700	360	280
运行电费/(万元 $\cdot \text{a}^{-1}$)	556.2	302.1	222.4
工程直接费/万元	6 375	7 650	9 562
20年运营及建设费/万元	17 499	13 692	14 010
综合比较	较差	优	良好

注: 电价以0.7元/($\text{kW} \cdot \text{h}$)计。

3.3 管道防腐

钢管内壁防腐采用无溶剂环氧涂料进行内喷衬处理,一次成膜厚度不低于400 μm ,防腐做法执行《无溶剂环氧液体涂料的防腐蚀涂装》(GB/T 31361—2015)。钢管外壁防腐采用三层结构聚乙烯(3PE)常温普通级涂层,可显著提升管道的耐腐蚀性、抗水汽渗透性及力学性能等。外防腐层的结构做法执行《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》(GB/T 23257—2017)。

3.4 截流泵站工艺设计

一体化泵站设计规模 $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用2套一体化泵站筒体,单套直径5.0 m,单套筒体设置4台潜污泵,3用1备,单台 $Q=860 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=360 \text{ kPa}$ 、 $N=132 \text{ kW}$ 。泵站设置于州河岸边,根据地质勘察报告及结构计算,在一体化泵站四周采用支护桩支护,保障泵站安装及运行安全。一体化泵站平面布置见图6。

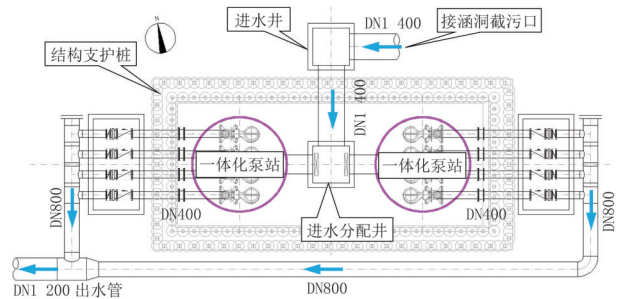


图6 一体化泵站平面布置

Fig.6 Layout plan of integrated pump station

3.5 污水管道竖向设计

压力污水管道管径DN1 200,起点泵站水位

269.60 m,终点调节池进水井最高水位283.30 m。经水力计算及沿线高程复核,确定仙鹤路截污泵站设计扬程为360 kPa。管道在沿线高点设置排气阀,低点设置泄水阀,泄水阀在检修时所排污水由市政吸污车收集后送至污水处理厂处理。此外,管道沿线按一定间距设置检修阀门。

4 调节池设计

4.1 调节池选址

基于达州市城市用地规划、达州二污用地范围及州河蓝线控制要求,将调节池选址在州河左岸防洪导线与达州二污之间的空地内。调节池选址见图7。

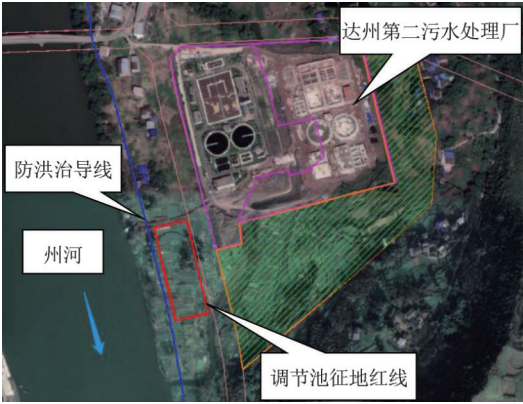
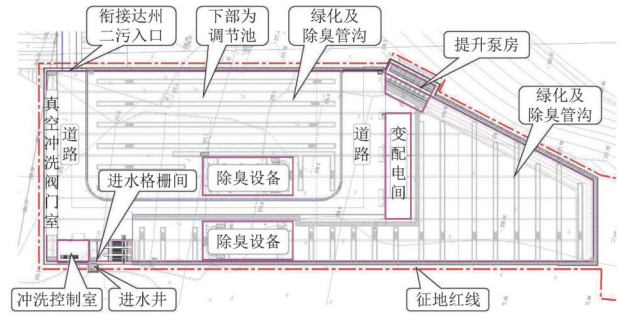


图7 调节池选址

Fig.7 Site selection for regulating tank

4.2 调节池平面布置

根据征地红线范围,调节池平面布置为直角梯形,平面尺寸为(95+155) m $\times$ 54 m。池体采用双层结构,下层为调节池主体,共设9条冲洗廊道,每条廊道根据冲洗长度配备1~2套真空冲洗装置;上层为配套附属用房及设备区,包括变配电间、提升泵房、冲洗控制室、除臭设备及真空冲洗阀门室等。调节池平面布置见图8。



a. 上层

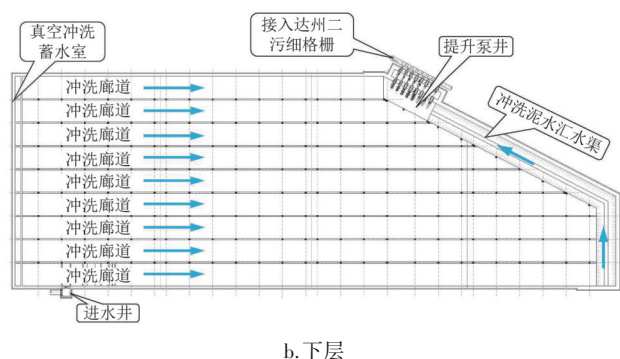


图8 调节池平面布置

Fig.8 Layout plan of regulating tank

4.3 调节池竖向布置

调节池池顶设计标高 284.50 m, 满足州河 100 年一遇洪水位 (283.90 m) 的防洪要求, 且与现状达州二污厂坪标高基本一致, 便于道路平顺衔接及运营车辆通行。调节池池底标高 276.30 m, 有效水深约 5.0 m, 为满足地基承载力与抗浮稳定性需求, 池体底部设置抗浮桩基础。

调节池竖向布置见图 9。

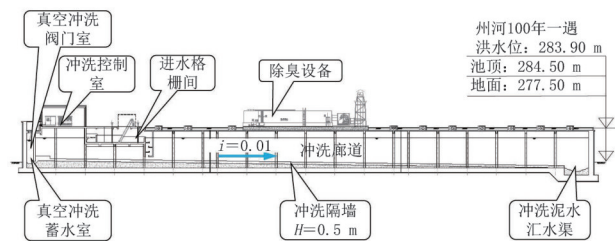


图9 调节池竖向布置

Fig.9 Vertical layout of regulating tank

4.4 调节池工艺设计

上游压力污水管来水进入调节池进水井后, 首先流经并联设置的 3 道机械细格栅, 以去除直径 ≥ 5 mm 的杂物, 从而有效减少池内漂浮物, 保障真空冲洗系统与潜污泵的正常运行。调节池设计有效容积 $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3$, 主体结构尺寸 $L \times B \times H = 155.00 \text{ m} \times 94.00 \text{ m} \times (7.70 \sim 10.20) \text{ m}$, 有效水深 4.70~6.15 m。池内共设置 9 条冲洗廊道, 廊道底坡 $i=0.01$, 采用真空冲洗隔膜阀进行蓄水冲洗。

在雨季正常运行工况下, 池内出水经廊道末端的潜污泵提升, 输送至达州二污的细格栅进水井进行处理。而在雨后冲洗阶段, 真空泵启动并产生负压, 将蓄水室内的水吸入并维持至设定液位; 待调节池由潜污泵排空时, 控制系统开启真空隔膜阀, 破坏蓄水室真空状态, 水从蓄水室中迅速涌出, 形

成高强度冲洗波, 彻底清除廊道底部积存的泥渣等沉积物。冲洗产生的污物随水流进入末端汇集渠, 最终进入排水泵坑排出。

冲洗系统共设 9 条廊道, 每条设置 1 个蓄水室。廊道起端共配备真空冲洗隔膜阀 14 套, 其中 5 条较长廊道各设 2 套, 其余廊道各设 1 套。真空冲洗系统隔膜阀根据廊道末端汇集渠的水位, 联动控制起端蓄水室的填充液位与真空冲洗液位。系统配置真空泵 5 台, 单台 $Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $N=3 \text{ kW}$, 每台真空泵负责为 1~2 条廊道 (其中 1 台负责 1 条廊道) 的冲洗阀提供动力, 并共用 1 套控制系统。真空泵启停、真空冲洗隔膜阀启闭及蓄水室抽真空操作均由同一动力单元集中驱动。

调节池下部为密闭单元, 由于来水为污水或雨污混流污水, 池内会产生 H_2S 、 CH_4 、 NH_3 等有毒有害气体。为防止臭气对周围环境造成影响, 并保障运行维护人员检修时的人身安全, 需设置通风除臭系统。采用设置于池顶砖砌管沟内的除臭收集管收集调节池及格栅间的臭气, 通过除臭风机输送至除臭设备进行处理^[3]。根据《城镇污水处理厂臭气处理技术规程》(CJJ/T 243—2016) 进行臭气风量计算, 除臭风量约 $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。设置 2 套生物除臭系统, 单套处理风量 $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。尾气通过 15 m 高的排气筒有组织排放, 排放量和浓度执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93) 中表 1 和表 2 的标准值要求。在调节池长期不使用的情况下, 可通过定期投加营养液以喷淋形式喷到生物除臭滤料层上, 以维持生物活性。

配电间设置于 2 套除臭设备和提升泵房之间, 便于就近接线。配电间包括高压室、低压室及控制室等, 土建尺寸 $L \times B \times H = 30.0 \text{ m} \times 7.2 \text{ m} \times 5.1 \text{ m}$ 。

5 运行模式

5.1 系统运行模式

整个系统分为 2 种模式运行: 旱季模式及雨季模式^[4]。

① 旱季模式: 阀门 A 关闭, 阀门 B 打开, 调节池停止运行, 上游旱季污水直接进入达州二污进行处理。此外, 在该模式下, 若达州二污进水量超负荷或发生事故, 也可利用调节池对多余水量进行暂存调节, 此时阀门 A 打开, 阀门 B 关闭。

② 雨季模式: 阀门 A 打开, 阀门 B 关闭, 上游

混流污水首先进入调节池进行水量、水质调节。在污水处理厂进水量较小时,再通过调节池内潜污泵提升至达州二污进一步处理。

两种运行模式均设置为全自动运行^[3]。潜污泵出水根据达州二污的实际进水量进行动态调整,通过厂区PLC控制系统与调节池水泵的联动机制实现,从而避免因提升水量过大而对污水处理厂造成较大的冲击负荷。

运行控制系统如图10所示。

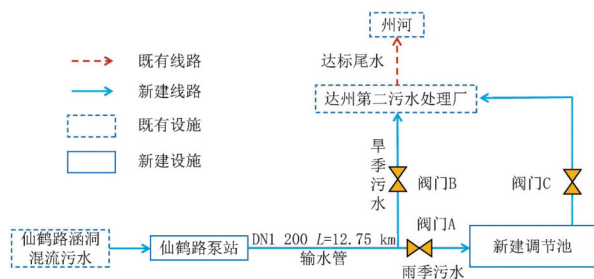


图10 运行控制系统示意

Fig.10 Schematic of operation control system

5.2 调节池运行模式

调节池运行分为晴天模式及雨天模式^[5]。其中雨天模式包括进水、放空和冲洗3种情况,调节池内设备均由PLC控制。

① 晴天模式:不使用调节池,关闭调节池进水阀门A,可对调节池内部进行检修及清理。

② 雨天模式:阀门A打开,阀门B关闭,上游混流污水首先进入调节池进行水量、水质调节。

a. 进水模式:降雨期间,调节池收集仙鹤路涵洞混流污水。若调节池蓄满而降雨持续,则启动池内潜污泵开始提升。此时,提升流量需与上游仙鹤路泵站的入流量实时匹配,并确保污水处理厂的进水总量不超负荷。

b. 放空模式:雨停后,由调节池中潜污泵将池内初期雨水排入达州二污。

c. 冲洗模式:待调节池内初期雨水排空后,开启真空控制系统进行清洗,由池中潜污泵抽送至达州二污进行处理。

远期作为污水处理厂污水调节池使用时,将根据达州二污实际进水水质、水量等情况,定期对调节池进行放空冲洗。

6 设计特点

① 兼顾近、远期的统筹需求:该工程的实施

近期可解决仙鹤路涵洞的溢流问题;远期待雨污分流后,泵站及截污管道系统可对上游规划区的全部污水进行收集与提升,整体上确保工程方案有效并节省投资。

② 密闭式一体化提升泵站可实现防洪功能:州河常水位270.00 m,城市防洪水位283.54 m,泵站位于州河岸边,泵站顶设计标高273.00 m,采用密闭形式可保证处于洪水淹没状态时也能正常运行,故不受州河洪水位影响;泵站控制柜等附属设施则设置在高于防洪水位的仙鹤路广场上。该工程充分利用一体化泵站占地小、设置高程不受限的特点,相较于传统土建形式,节省了投资。

③ 充分发挥潜污泵的最大扬程:对于市政污水常用的潜污泵而言,扬程基本在100~300 kPa,特别是在流量较大($Q=860 \text{ m}^3/\text{h}$)的情况下,潜污泵扬程不会太高。该工程一体化泵站至调节池的压力污水管长12.75 km,属于长距离输水管道,设计时管道的局部水头损失一般按沿程水头损失的百分比确定。但为使潜污泵扬程更准确,该工程按沿程水头损失和局部水头损失分别进行了详细计算,最终确定一体化泵站潜污泵的设计扬程为360 kPa,基本达到潜污泵扬程的极限。

④ 调节池集约化布置:受场地及征地红线限制,在充分利用可用土地的条件下,调节池主体净高已达7.7 m(最深处为10.2 m)。因此,此次设计将细格栅间、配电间、提升泵房、冲洗设备间、除臭设备、真空冲洗阀门室等配套功能单元与调节池合建,集中布置于池体上部。该方案有效解决了防洪、与达州二污道路高程衔接、除臭管线及设备布置等问题,并节省了占地。

⑤ 调节池超长冲洗廊道设计:调节池采用梯形平面布置,共设9条冲洗廊道,最短廊道长95 m,最长廊道达150 m。设计前期由专业机构进行模拟试验,确定采用真空冲洗阀,并优化了蓄水室水深与容积等工程设计参数,从而确保冲洗效果^[6]。建成后的实际运行情况表明,廊道冲洗效果与预期目标基本一致。

7 工程投资及运行效果

该工程总投资约2.15亿元,其中一体化泵站部分工程费约0.21亿元,输水管道部分工程费约0.80亿元,调节池部分工程费约0.69亿元。

该工程已于2023年7月通水运行,目前已运行1年有余,仙鹤路涵洞雨季溢流问题基本得到解决,系统整体运行效果良好,基本达到设计预期。

8 结语

该工程建成后有效解决了达州市南城片区仙鹤路涵洞溢流问题,对保护州河水质起到了积极作用,改善了达州城区的河道景观,为仙鹤路广场创造了良好的城市环境。此外,远期实施雨污分流后,可满足仙鹤路涵洞及其上游片区所有污水($8.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)的收集提升。远期调节池的主要作用转变为均质调量、储存污水处理厂事故污水等,以保证达州第二污水处理厂的稳定运行。

参考文献:

- [1] 笪健,王德生,曹兴坤,等. 潍坊市超大型调蓄池工艺设计与建设特点[J]. 中国给水排水, 2020, 36(18): 85-89.
- DA Jian, WANG Desheng, CAO Xingkun, *et al.* Process design and construction characteristics of super large adjusting tank in Weifang city[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(18): 85-89 (in Chinese).
- [2] 姚永连,杨新宇,周琪皓,等. 基于合流制年溢流频次控制的调蓄池优化设计[J]. 净水技术, 2021, 40(7): 79-85.
- YAO Yonglian, YANG Xinyu, ZHOU Qihao, *et al.* Optimal design of adjusting tank based on annual frequency control of combined sewer overflows [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(7): 79-85 (in Chinese).
- [3] 中国工程建设标准化协会. 城镇径流污染控制调蓄池技术规程:CECS 416:2015[S]. 北京: 中国计划出

版社, 2015: 5-14.

China Association for Engineering Construction Standardization. Technical Specification for Detention Tank Controlling Urban Stormwater Pollution: CECS 416: 2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015: 5-14 (in Chinese).

- [4] 李昀涛. 广州市马涌涌底调蓄系统工程设计[J]. 中国给水排水, 2020, 36(16): 86-90.
- LI Yuntao. Design of Machong River bottom regulation system project in Guangzhou city [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(16): 86-90 (in Chinese).
- [5] 王艳芳,段梦. 镇江市边检站多功能调蓄池的工艺设计与优化[J]. 中国给水排水, 2023, 36(6): 83-87.
- WANG Yanfang, DUAN Meng. Process design and optimization of Bianjianzhan multi-functional adjusting tank in Zhenjiang city [J]. China Water & Wastewater, 2023, 36(6): 83-87 (in Chinese).
- [6] 周传庭,杨殿海,赵金保. 天津市中心城区合流系统末端调蓄工程的设计要点[J]. 中国给水排水, 2020, 36(16): 91-94.
- ZHOU Chuanting, YANG Dianhai, ZHAO Jinbao. Design key points of terminal regulation and storage project of combined drainage system in central urban area of Tianjin [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(16): 91-94 (in Chinese).

作者简介:金世怀(1993-),男,四川成都人,本科,工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事市政给排水相关设计工作。

E-mail:742480421@qq.com

收稿日期:2024-09-20

修回日期:2024-10-12

(编辑:沈靖怡)