

# 某大型雨水泵站与调蓄池合建工程设计

梁飞鹏, 谭显英, 顾 潇

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘 要:** 在排水系统末端建设雨水泵站及调蓄池是提高城市排水防涝能力,同时控制初期雨水污染的有效途径。随着城市建设用地日益紧张,越来越多的雨水泵站和调蓄池开始采用合建的形式。现以上海市某雨水泵站及调蓄池合建设计为例,分析泵站与调蓄池合建形式的选择,详细介绍工程设计方案及建成后的运行模式。该泵站设计流量  $22.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,调蓄池设计规模  $11\,000 \text{ m}^3$ ,结合用地条件及周边环境,泵站及调蓄池选用“平铺设置式”方案。针对项目建设用地小、周边环境复杂、景观要求高的特点,将各构筑物同基坑进行集约化布置,采用“两墙合一”的地下连续墙,建设一座花园型、海绵型泵站,并结合水力模型、BIM 等新技术,对设计方案进行优化。此案例可为其他雨水泵站与调蓄池合建工程提供一定的借鉴。

**关键词:** 雨水泵站;调蓄池;合建;工程设计;排水模型

**中图分类号:** TU992.25

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2021)06-0146-05

## 0 引言

全球气候变化、城市化进程加快和社会经济的发展等多种因素使得城镇暴雨内涝问题日益凸显。为此,国务院连续发文要求提高排水防涝标准。近日上海市批复同意了《上海市城镇雨水排水规划(2020—2035年)》,旨在全面提高本市排水标准,指导全市形成布局合理、安全可靠、环境良好、管理有效、智慧韧性的现代化排水体系。在排水系统末端建设雨水泵站,发挥灰色基础设施蓄排功能,是其中重要的一环。

同时,为消除黑臭水体,全面提升水环境质量,初期雨水径流污染控制成为城镇排水的重要关注点。初期雨水治理措施包括源头控制、中途削减及末端治理,在排水系统末端设置调蓄池截流初期雨水是其中重要的举措<sup>[1-3]</sup>。为兼顾排水系统提标和初期雨水的治理,通常可在建设雨水泵站的同时设置雨水调蓄池<sup>[4]</sup>。泵站与调蓄池有分建和合建两种形式,在城市建设用地紧张及地块条件复杂的情况下,泵站与调蓄池合建成了首选。表1列举了上海市几个已建的典型泵站及调蓄池建设案例,这些泵站及调蓄池的建成在提升区域防汛能力的同时,显著改善了区域水环境质量。

现以上海市某雨水泵站及调蓄池合建设计为

表1 上海市典型泵站及调蓄池合建案例一览表

| 序号 | 泵站名称     | 雨水泵站设计流量 / ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 调蓄池容积 / $\text{m}^3$ | 泵房、调蓄池设置型式 |
|----|----------|-------------------------------------------------|----------------------|------------|
| 1  | 世博浦明雨水泵站 | 22                                              | 8 000                | 分建式        |
| 2  | 世博后滩雨水泵站 | 11                                              | 2 800                | 上下叠加式      |
| 3  | 新宛平雨水泵站  | 17.2                                            | 9 000                | 上下叠加式      |
| 4  | 南码头雨水泵站  | 11.5                                            | 3 500                | 上下叠加式      |

例,分析了泵站与调蓄池合建型式的选择,详细介绍了工程设计方案、运行模式、设计的重点难点及注意事项、新技术在设计过程中的应用。目前该项目已经进入施工阶段,该项目建成后能有效地兼顾地区排水系统提标和初期雨水的治理,同时也可可为其他工程提供一定的借鉴。

## 1 工程概况

该工程所在排水系统位于上海市宝山区东北部,系统服务面积为  $2.95 \text{ km}^2$ ,区域内主要为伴随大型工业集团开发建设而配套的居住社区及服务设施。目前,系统内采用雨、污分流体制,管网较为完善,雨水排水以自排为主,但排水标准较低(低于1a一遇标准),同时该区域地势较低(标高约  $3.4 \sim 4.2 \text{ m}$ ,绝对标高,吴淞高程系),与区域内河道最高水位接近(除涝最高水位为  $3.9 \text{ m}$ ,最低水位  $2.0 \text{ m}$ ,常水位  $2.5 \sim 2.8 \text{ m}$ )。因此,暴雨时地区积水严重,严重影响居民的人身和财产安全。

该工程结合区域控、详规,根据地区排水专业规划对区域排水系统进行提标改造,同时对区域内的初

收稿日期: 2021-02-08

作者简介: 梁飞鹏(1988—),男,工学硕士,工程师,从事排水工程设计工作。

期雨水截流治理。拟在系统内设置雨水泵站 1 座,设计流量 22.2 m<sup>3</sup>/s,区域内雨水经过泵站系统后排入附近河道,雨水泵房内设置污水截流设施,设计规模为 7 900 m<sup>3</sup>/d,截污设施可在区域内管网完善及小区雨污混接改造完成后逐步取消。为兼顾初期雨水治理需求,结合雨水泵站设置 1 座初雨调蓄池。调蓄池设计规模为 11 000 m<sup>3</sup>,截流的污水及初期雨水纳入区域污水排水系统,雨水泵站及调蓄池总平面布置图见图 1 所示。

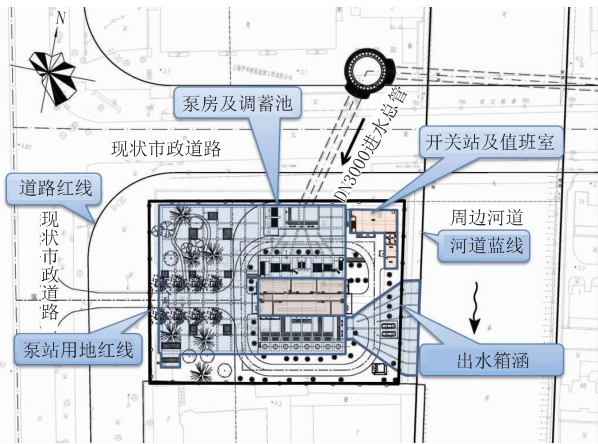


图 1 雨水泵站及调蓄池总平面布置图

2 设计标准及规模确定

根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)(2016 版)及相关规划,该工程设计暴雨重现期取 3 a 一遇;同时根据区域地形图资料对其下垫面进行解析,通过对不同用地的面积和相应的径流系数分析,经加权平均计算,区域内综合径流系数为 0.6。利用 InfoWorks ICM 水力模型进行分析,在 3 a 一遇的设计工况下,区域排水系统管网末端的峰值流量为 22.2 m<sup>3</sup>/s,因此雨水泵站设计流量取 22.2 m<sup>3</sup>/s(见图 2)。

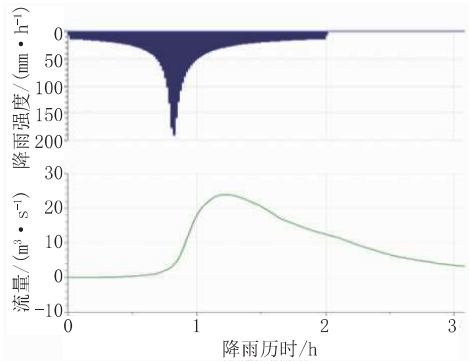


图 2 排水系统末端流量变化曲线图(P = 3a)

该工程所属区域采用雨污分流制,初期雨水截流按照 5 mm 标准。用于分流制排水系统径流污染控

制时,雨水调蓄池的有效容积可按式计算:

$$V = 10 DF\psi\beta \tag{1}$$

式中:V 为调蓄池有效容积,m<sup>3</sup>;D 为调蓄量,mm,取 5 mm;F 为汇水面积,hm<sup>2</sup>; $\psi$  为地面综合径流系数,取 0.60; $\beta$  为安全系数,取 1.2。

经计算,初期雨水调蓄池的容积为 11 000 m<sup>3</sup>。

3 雨水泵站及调蓄池设计要素分析

3.1 雨水泵站及调蓄池合建形式的选择

雨水泵站及调蓄池的合建形式主要分为“平铺设置式”和“上下叠加式”两种。“平铺设置式”是指将雨水泵站和调蓄池平铺设置,此布置方式具有雨水泵站及调蓄池整体基坑较浅、施工难度较小,工程投资较少、景观效果较好(调蓄池上方可设置景观绿化)等优点;“上下叠加式”是指将调蓄池设置于雨水泵站下方,该种布置形式可减小占地面积,特别适用于用地面积紧张的工程,但雨水泵站及调蓄池基坑深度较大,增加施工难度及工期,工程投资较多。在具体设计时,采用何种布置形式,需根据泵站与调蓄池的用地条件,以及周边环境确定。

此次雨水泵站及调蓄池项目选址及用地条件见图 3 所示。项目建设用地面积约为 5 413.3 m<sup>2</sup>,其中:市政公用设施用地为 3 572.80 m<sup>2</sup>(可设置地上建、构筑物),防护绿地为 1 840.50 m<sup>2</sup>(除部分通风孔、透气孔、吊装孔外不可设置地上建、构筑物)。考虑工程选址中包含防护绿地且南侧紧邻现状医院,基坑深度不宜过深,否则会对医院内已建建筑产生较大影响,增加基坑事故风险。因此,该工程中泵站及调蓄池选用“平铺设置式”方案(见图 3)。

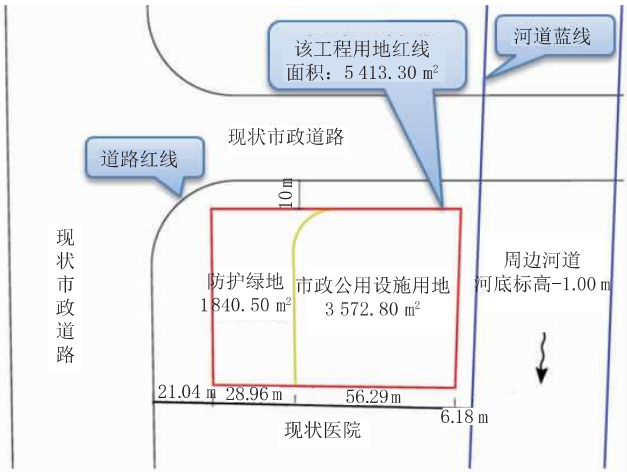


图 3 泵站选址及用地条件示意图

3.2 整体布局

该工程由雨水泵房及调蓄池、出水箱涵、开关站

及值班室、变配电所等组成,主要构(建)筑物规格尺寸及数量见表2所列。

表2 主要构(建)筑物一览表

| 序号 | 构(建)筑物名称       | 规格尺寸/(m×m)                 | 数量/座 | 备注       |
|----|----------------|----------------------------|------|----------|
| 1  | 进水闸门井(含调蓄池格栅井) |                            |      |          |
| 2  | 调蓄池            | 64.10×51.45                | 1    | 同基坑合建    |
| 3  | 雨水泵房(含进水箱涵)    |                            |      |          |
| 4  | 截污泵房           |                            |      |          |
| 5  | 出水箱涵及排放口       | 2孔3.0×3.0~<br>8孔3.7×3.3    | 1    |          |
| 6  | 变配电所           | 29.84×12.22                | 1    | 位于雨水泵站上方 |
| 7  | 开关站及值班室        | 15.98×7.80~<br>15.98×20.16 | 1    |          |

雨水泵房及调蓄池采用平铺设置、同基坑合建的结构形式,矩形布置(见图4),内部包含进水闸门井、调蓄池(含调蓄池格栅井)、截污泵房、雨水泵房(含进水箱涵)等。其中:调蓄池位于西侧防护绿地内,其余构筑物位于东侧市政设施用地。雨水泵房的出水高位井布置于泵房集水池上部,出水箱涵位于泵站东侧,雨水经泵提升后向东排入河道。

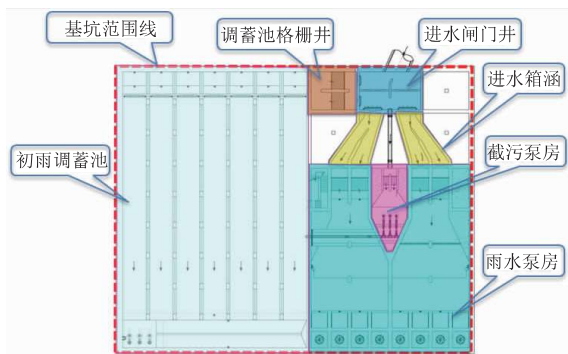


图4 泵房及调蓄池布置图

### 3.3 竖向设计

结合周边市政道路,站坪设计标高为4.80 m。根据整个排水系统设计方案,泵站DN3500进水总管内底标高为-7.00 m。进水闸门井底标高为-7.80 m,雨水泵房底标高为-10.00 m。为节省用地,雨水泵房上方为设备夹层和出水高位井,底板标高均为-1.00 m,设隔墙隔断,设备夹层用于除臭设备的放置,设备夹层上方为变配电间及变压器室,出水高位井的顶标高为6.80 m,见图5(a)所示。

调蓄池拟采用全地下设置,局部设置透气孔及设备吊装孔,调蓄池的底板标高为-11.80 m,最高水

位标高为-3.70 m,调蓄池顶板标高为-2.50 m,上部覆土约7.30 m,上部空间可恢复种植大型乔木和灌木等绿化,见图5(b)所示。

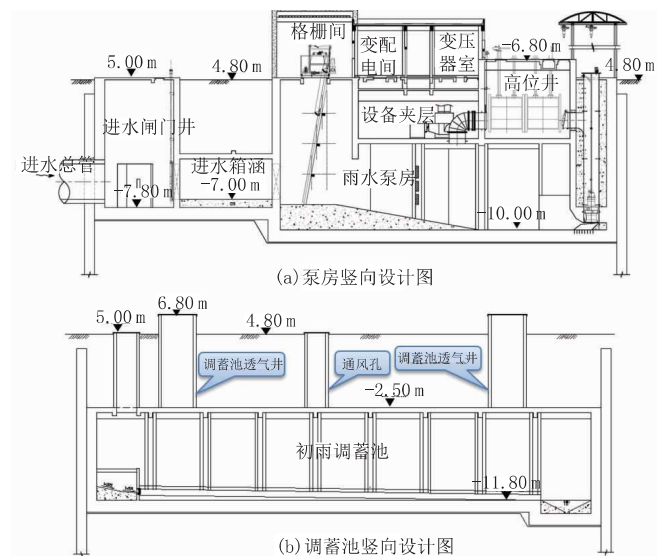


图5 雨水泵房及调蓄池竖向设计图

### 3.4 工艺设计

#### 3.4.1 进水闸门井

进水闸门井主要用于调蓄池、雨水泵房、截污泵房运行模式的切换。井内安装2套1600 mm×3500 mm速闭闸(用于调蓄池进水)、2套3000 mm×3500 mm手电二用双吊点铸铁镶铜方闸门(用于雨水泵房进水)、1套DN600 mm手电二用铸铁镶铜圆闸门(用于截污泵房进水)。

#### 3.4.2 初期雨水调蓄池

在排水系统末端布置初期雨水调蓄池,减少初期雨水直接排河造成的污染。初期雨水调蓄池包括格栅井和调蓄池。格栅井内设置2组固定式钢丝绳牵引格栅除污机,格栅宽度为3100 mm,栅条间隙为20 mm,安装角度为80°,配置螺旋输送、压榨一体机。考虑到调蓄池瞬间进水流量较大,因此格栅必须具有一定的强度,可抗水流冲击。

调蓄池平面尺寸为51.45 m×34.00 m,结合结构柱网布置将调蓄池划分7个廊道,经过综合比选后,选用门式冲洗系统(门体宽度为2800 mm,高度为400 mm)作为调蓄池冲淤设备。其具有如下优点:(1)无需电力或机械驱动,无需外部供水,控制系统简单;(2)冲洗距离长,可达100 m以上<sup>[5]</sup>;(3)运行成本低、使用效率高。

调蓄池末端设置3台调蓄池放空泵,单泵流量为550 m<sup>3</sup>/h,平均扬程为15.02 m(11.22~20.62 m),功率为45 kW,晴天时用于将调蓄池初期雨水提升

至市政污水管网后至污水处理厂处理。根据对下游污水设施输送能力的核算,近期考虑 20 h 放空调蓄池(调蓄池放空泵 1 用 2 备),远期待下游污水设施按规划扩建后,调蓄池放空时间调整为 10 h(调蓄池放空泵 2 用 1 备)。

3.4.3 截流污水泵房

利用雨水泵房扩散角多余的区域设置截污泵房,截污泵房的功能可在区域内管网完善及小区雨污混接改造完成后逐步取消。截污泵房内设置 2 台回转式固液分离机,格栅宽度为 1 000 mm,栅条间隙为 20 mm,安装角度为 80°,配置螺旋输送、压榨一体机。回转式固液分离机后设置 3 台截污泵,2 用 1 备,单泵流量为 165 m³/h,平均扬程为 13.02 m (12.72 ~ 14.62 m),功率为 11 kW,截流污水经泵提升后排入市政污水管道。

3.4.4 雨水泵房

雨水泵房尺寸为 33.95 m × 30.10 m,房前部为格栅井,中部为集水井,后部为出水高位井。格栅井内设置 2 组移动式格栅除污机,每组 2 仓 4 工位,每仓宽度为 3 000 mm,栅条间隙为 60 mm,安装角度为 80°,配置螺旋压榨机。在大型泵站的前池,为了使水流顺畅、流速均匀、池内不产生涡流,一般会设置扩展角。根据《城镇排水泵站设计标准》(DGJ 08-22—2018),泵站的扩展角应 ≤ 50°。结合实际用地条件,该工程泵站前池扩散角取 24°,满足规范要求。雨水泵房内共设 8 台雨水泵,单泵流量为 2.775 m³/s,平均扬程为 9.38 m (7.03 ~ 11.99 m),功率为 420 kW。

3.4.5 出水箱涵及排放口

出水箱涵及排放口尺寸为 2 孔 3.0 m × 3.0 m ~ 8 孔 3.7 m × 3.3 m,排放口流速为 0.23 m/s,满足相关规范要求。

3.5 除臭设计

截污泵房及初雨调蓄池中的含碳、氮、硫的有机物在低氧条件下会被微生物还原为氨、硫化氢等恶臭气体。考虑到泵站及调蓄池与周边道路和建筑物距离较近,需采取必要的工程措施,以减小臭气对周边环境的影响。泵站常用除臭方法有生物滤池法、离子除臭法、活性炭吸附法、化学洗涤法等<sup>[6]</sup>。

根据构筑物所产生臭气的特点、数量,以及除臭标准,截污泵房及调蓄池均采用离子除臭工艺。截污泵房的除臭系统设计风量为 7 000 m³/h,调蓄池的除臭系统设计风量为 24 000 m³/h。同时,考虑到调蓄池进水时会有大量的废气被挤出,来不及收集的废气

容易从透气井或检修孔处泄露,因此在调蓄池透气孔上内置活性炭吸附设备,风量按照调蓄池除臭排风量的 80% 计,取 20 000 m³/h,分为 4 个透气井,单个透气井设计除臭风量为 5 000 m³/h。

3.6 运行模式

在该工程中,泵站与调蓄池运行模式见图 6 所示。

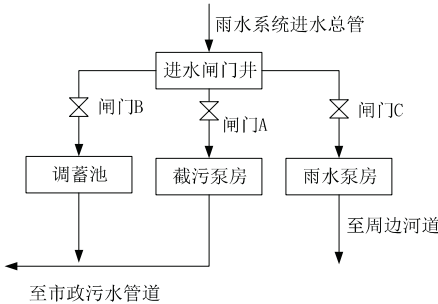


图 6 泵站及调蓄池运行模式示意图

3.6.1 晴天运行

晴天运行时,闸门 A 处于开启状态,闸门 B、C 关闭。当截污泵房集水池水位逐渐升高至开泵水位时,开启截污泵;当进水量减少,水位逐渐下降至停泵水位时,截污泵关闭。截流污水经泵提升后进入市政污水管道。

3.6.2 雨天运行

下小雨时,闸门 B 处于开启状态,闸门 A、C 关闭。降雨过程中,初期雨水进入雨水调蓄池,调蓄池水位不断上升,此时截污泵房内根据水位情况停止运行。

下大雨时,雨水调蓄池中水位不断上涨,待调蓄池蓄满后,闸门 B 关闭,同时开启闸门 C,雨水进入雨水泵房,8 台雨水泵根据不断上升的水位依次开启,出水排入附近河道。

3.6.3 调蓄池放空及廊道冲洗

根据外部污水管网运行情况,利用晴天污水量排放低谷时段(一般为夜间),人工控制调蓄池的放空。初期雨水经放空泵提升后接入市政污水管道。

调蓄池放空后,根据出水收集渠内浮球开关的信号反馈,由控制系统触发,门式自冲洗系统将依次对各廊道进行自动冲洗。冲洗门瞬间将储水释放,形成为门底部喷射出的水动能,形成强力、席卷式的射流。射流形成的波浪将池底的沉积物卷起,冲流到调蓄池末端的收集渠,通过泵排出。第 1 条廊道冲洗完成后,由控制系统触发第 2 组冲洗程序,顺序而作。

### 3.7 设计重点、难点及解决措施

#### 3.7.1 用地面积狭小,需进行集约化布置

根据上海市规划和国土资源管理局 2016 年 12 月印发的《上海市控制性详细规划技术准则》(2016 年修订版),该工程雨水泵站设计规模  $22.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,泵站用地面积控制在  $4\,480 \sim 5\,600 \text{ m}^2$ ,调蓄池用地面积控制在  $3\,850 \sim 4\,400 \text{ m}^2$ 。该工程为雨水泵站与初雨调蓄池合建,建设用地仅  $5\,413.3 \text{ m}^2$ ,远小于相关用地指标,且建设用地内包括防护绿地  $1\,840.50 \text{ m}^2$  (除部分通风孔、透气孔、吊装孔外不可设置地上建、构筑物)。

考虑到用地条件,该工程采用了多构筑物合建的布置方案,同时因地制宜,将全地下调蓄池放置在防护绿带范围内,变配电间放置在雨水泵房上方,节约了宝贵的土地资源。

#### 3.7.2 周边条件复杂,需精心考虑结构设计

工程周边条件复杂,有 DN800 超高压燃气管,南侧紧邻现状医院(离施工场地仅  $10 \text{ m}$ ),泵站基坑深达  $19 \text{ m}$ ,结构复杂,下层水池部分层高  $9 \text{ m}$ ,中间无楼板,不具备换撑条件。因此如何保证安全尤为重要。该工程采用基坑的地下连续墙与构筑物外池壁两墙合一的布置,在有效控制造价的同时,做到结构的安全可靠。

#### 3.7.3 景观要求高,需融入海绵城市理念

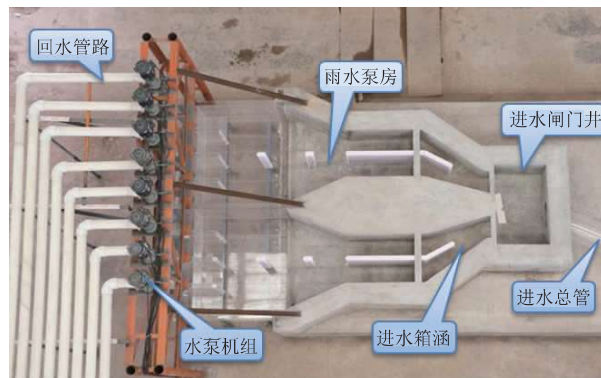
该工程西侧为防护绿带,景观要求较高,故方案设计围绕“海绵城市”的先进理念,建设 1 座花园型、海绵型泵站,将海绵城市的低影响开发的核心思想贯穿整个设计之中。通过广场的透水铺装与下凹式绿化设计,合理地布置适合净化空气、抗污染的植物,建设自然渗透、自然净化的“海绵泵站”。同时,为提升环境品质,该工程应加强绿化景观设计,具体措施如下:(1)泵站进出通道(兼做防护绿地养护通道)设置为林荫大道;(2)地下调蓄池的透气孔周围设置绿篱,美化环境;(3)设备吊装孔、阀门井顶部设置可移动绿化装置;(4)泵站内阳光棚等处设置垂直绿化;(5)泵站内停车位设置植草砖,体现海绵城市理念。

### 3.8 新技术应用

#### 3.8.1 水力模型技术的应用

该项目用地面积狭小,整个泵站集约化布置,主进水管为斜向进流,进、出水条件均较差。为更好地向泵站的设计提供技术指导,保证泵站建成后较好的运行,该项目与河海大学合作,进行了整体物理

模型试验,模型分为进水系统水力模型(模型几何比尺  $\lambda_L=10$ )和出水系统水力模型(模型几何比尺  $\lambda_L=15$ ),见图 7 所示。经过初步模型验证和多次局部增加导流措施的优化,最终得到较好的水力流态,为泵房的设计提供了有利的支撑。



(a) 泵站进水系统水力模型



(b) 泵站出水系统水力模型

图 7 泵站进、出水系统水力模型

#### 3.8.2 BIM 技术的应用

工程设计过程采用了 BIM 技术,该技术基于 Revit 平台,以全专业协同工作的方式完成设计图模型,通过工艺、建筑、结构、自控及仪表、电气、暖通多专业协同工作的多阶段 BIM 模型,可检查设计过程中的错漏碰缺,处理解决各类冲突问题,同时基于设计模型导出可供漫游的三维模型,直观地展示设计效果,可用于沟通及优化方案。泵房及总平 BIM 设计图见图 8 所示,通过 BIM 三维设计可实现“未建先见”,大大提高了设计质量及效率。

### 4 结 语

本文以上海市某雨水泵站及调蓄池合建设计为例,分析各设计要素,详细介绍工程设计方案。针对建设用地小、周边环境复杂、景观要求高的特点,提出将各构筑物与基坑一同布置,采用“两墙合一”的地下连续墙,建设 1 座花园型、海绵型泵站的解决方案,并结合水力模型、BIM 等新技术,对设计方案进

(下转第 160 页)

#### 4.4.2 施工方案选取

由于路基占用自然冲沟,施工时应重点关注水对施工的影响,因此在进行此段路基填筑及加大排水沟施工时应特别考虑施工方案的选择。根据施工图阶段现场勘测及调查访问,拟定具体施工方案如下:

(1)施工时间尽量选择在秋冬季的枯水季节;

(2)在进行排水沟施工时首先要考虑不能中断现状排水,故在原排水沟范围内填筑块石,形成填石路基,同时填石路基要具备排水功能,即将原排水沟范围改造为大型排水渗沟;

(3)在对原排水沟进行填石处理前应先进行清淤整修处理,清除沟内各种垃圾及部分淤积浅层软土。

(4)在实施此段填石式渗沟时采用填石渗沟加管式渗沟组合类型,在填石路堤的下部——原排水沟底埋设1根15 cm的软透水管;同时在沟底铺设单一粒径的碎石层,层厚为50 cm,形成一道渗沟以满足施工期过水断面及施工后运营期的排水要求。具体方案如图3所示。

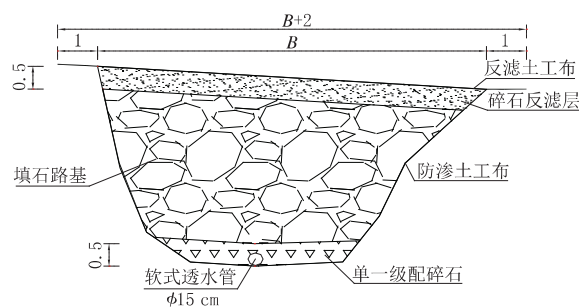


图3 填筑自然冲沟设计图

## 5 结语

本文以G319瑞金至兴国(兴国段)改线工程起点段设计方案为例,详细介绍了项目两阶段设计过程中对路线方案的比选,进一步阐述了在路线方案确定沿山谷布设,占用自然冲沟的情况下,路基排水系统的设计以及特殊部位的施工方案。可为类似的特定建设条件下的公路排水系统的设计提供一定程度的参考。

#### 参考文献:

- [1] JTG D30—2015,公路路基设计规范[S].
- [2] JTG F10—2016,公路路基施工技术规范[S].
- [3] JTG/T D33—2012,公路排水设计规范[S].

(上接第150页)

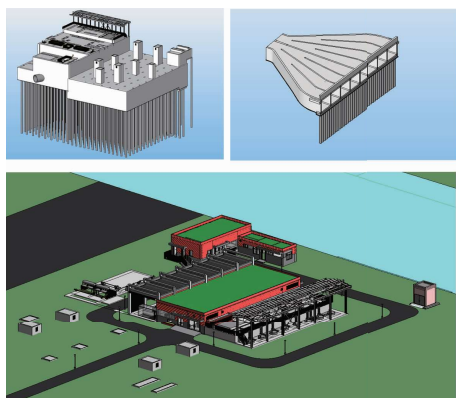


图8 泵房及总平的BIM设计图

行了优化。项目建成后,可有效缓解地区积水问题,提高地区防汛排涝能力,兼顾初期雨水治理,同时为

类似工程设计提供思路和借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 徐祖信,张辰,李怀正.我国城市河流黑臭问题分类与系统化治理实践[J].给水排水,2018,54(10):1-5,39.
- [2] 陈嫣.日本大城市雨水综合管理分析和借鉴[J].中国给水排水,2016,32(10):42-47.
- [3] 陈华.上海中心城区两类雨水调蓄池污染减排效应研究[J].中国给水排水,2012,28(15):45-48.
- [4] 王绕.雨水泵站和调蓄池联合运行策略研究[D].北京:北京建筑大学,2015.
- [5] 肖艳,徐建初.世博浦东园区雨水泵站初期雨水调蓄池冲洗方式设计[J].给水排水,2009,45(3):50-52.
- [6] 施烽.上海某污水泵站除臭工程设计[J].净水技术,2019,38(S1):173-178.