

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.18.014

深圳市前海—南山排水深隧系统工程设计

宋嘉美¹, 高 祯¹, 杨园晶¹, 张小妹², 马之光¹, 黄 鹄¹

(1. 中国市政工程西北设计研究院有限公司 深圳分公司, 广东 深圳 518027; 2. 深圳市前海建设投资控股集团有限公司, 广东 深圳 518054)

摘 要: 深圳市前海—南山排水深隧系统工程是我国首个集旱季污水收集、雨季污染控制及排涝安全保障三种功能于一体的复合型深隧工程。该工程为老城区和中心城区解决排水问题提供了一个新的思路,为发达城市探讨地下空间的综合利用提供了一个鲜活的案例。该工程中污染浓度最高的旱季漏失污水和雨季初小雨在预处理站处理后转输到南山水质净化厂,经强化处理后排放;后续雨水利用隧洞容积进行调蓄,然后转输至南山水质净化厂经一级强化处理后排海;当降雨继续增大,隧洞内水位超过枢纽泵站排涝泵启动水位时开启排涝泵,涝水直接排海。介绍了深隧系统的进水竖井、预处理站、主隧、枢纽泵站等的设计,并总结了工程设计重点、难点。通过对设计方案的数学模型模拟,得出前海深隧及相关工程建设完成后,可将前海片区的排涝标准提升至50年一遇,并可有效改善大铲湾片区的水环境质量。

关键词: 排水深隧系统; 复合型深隧; 排涝; 跌水竖井

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)18-0076-06

Design of Qianhai – Nanshan Deep Tunnel Drainage System in Shenzhen

SONG Jia-mei¹, GAO Zhen¹, YANG Yuan-jing¹, ZHANG Xiao-mei², MA Zhi-guang¹, HUANG Gu¹

(1. Shenzhen Branch, CSCEC AECOM Consultants Co. Ltd., Shenzhen 518027, China; 2. Shenzhen Qianhai Construction & Investment Holding Group Co. Ltd., Shenzhen 518054, China)

Abstract: Qianhai – Nanshan deep tunnel drainage system in Shenzhen is the first complex deep tunnel project in China, which integrates three functions: sewage collection in the dry season, pollution control and urban flood drainage security in the rainy season. The project provides a new option to solve the drainage problem in old cities and central urban areas, and provides a typical case for exploring the comprehensive utilization of underground space in developed cities. In the project, the leaked sewage in the dry season and the initial rainwater in the rainy season with the highest pollution concentration are treated by the pretreatment station and transferred to Nanshan wastewater treatment plant. The effluent is discharged after enhanced treatment. The subsequent rainwater is regulated and stored by the volume of the tunnel, and then transferred to Nanshan wastewater treatment plant and discharged into the sea after primary enhanced treatment. When the rainfall continues to increase and the water level in the tunnel exceeds the starting water level of the drainage pump of the hub pump station, the drainage pump starts

基金项目: 中建股份科技研发计划资助项目

通信作者: 高祯 E-mail:gaozhen007@126.com

and the flood is directly discharged into the sea. The design of the inlet shaft, pretreatment station, main tunnel, hub pumping station of the system were introduced in detail, and the key points and difficulties of the design were summarized. The mathematical model simulation indicated that the drainage standard of Qianhai area will raise to 50-year return period after the completion of the relevant projects, and the water environment quality of Dachanwan Bay Area will be effectively improved.

Key words: deep tunnel drainage system; complex deep tunnel; flood drainage; drop shaft

排水深隧工程在一些发达国家和城市已得到一定程度的应用,但已有案例多以单一功能为主,或为排洪隧洞,或为污水转输隧洞,或为合流制溢流污染(CSO)控制隧洞^[1-2]。深圳市前海—南山排水深隧系统工程(以下简称前海深隧工程)是我国首个集旱季污水收集、雨季污染控制及排涝安全保障三种功能于一体的复合型深隧工程。该工程位于深圳市前海合作区,服务于前海和南山两个辖区,主要为截流南山片区的漏失污水及初小雨进入前海,保障前海片区水环境,同时排出南山片区的超标暴雨,解决南山片区的排涝问题。

前海深隧工程研究过程中,运用 MIKE11、MIKE21、FLOW-3D、TAP 瞬变流等数值模拟工具对深隧项目的规模、水质保障效果、泵站 CFD、浪涌、通风除臭等进行分析,以指导工程设计;通过搭建水力物理模型,模拟深隧系统在不同运行条件下的运行状态,从水流流态、压力分布、泥沙淤积、冲淤效果等方面论证深隧方案的合理性,为深隧工程方案比选、设计和运行方式的优化提供科学依据。

1 工程范围及设计标准

排涝工程服务范围:桂庙路明渠上游关口渠、郑宝坑渠及桂庙渠的汇水范围,总面积为 8.02 km²。旱季污水收集、雨季污染控制范围:关口渠、郑宝坑渠及桂庙渠的汇水范围,面积为 10.94 km²。

工程设计防潮标准为 200 年一遇,防洪标准为 100 年一遇,防涝标准为 50 年一遇,初小雨截流标准为 10 mm。

2 工程总体设计方案

前海深隧系统工程中污染浓度最高的旱季漏失污水和雨季初小雨在预处理站处理后通过水泵提升至专用转输管转输到南山水质净化厂,经强化处理后排放,该部分雨季处理规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。后续雨水利用隧洞容积进行调蓄,调蓄后的雨水通过泵站转输至南山水质净化厂经一级强化处理后排海,隧洞调蓄容积为 $10.8 \times 10^4 \text{ m}^3$,初小雨排空时间为 24 h。降雨继续增大,当隧洞内水位超过枢纽泵站排涝泵启动水位时开启排涝泵,涝水直接排海,排涝泵设计总规模为 $86 \text{ m}^3/\text{s}$ ^[3]。工艺流程见图 1。

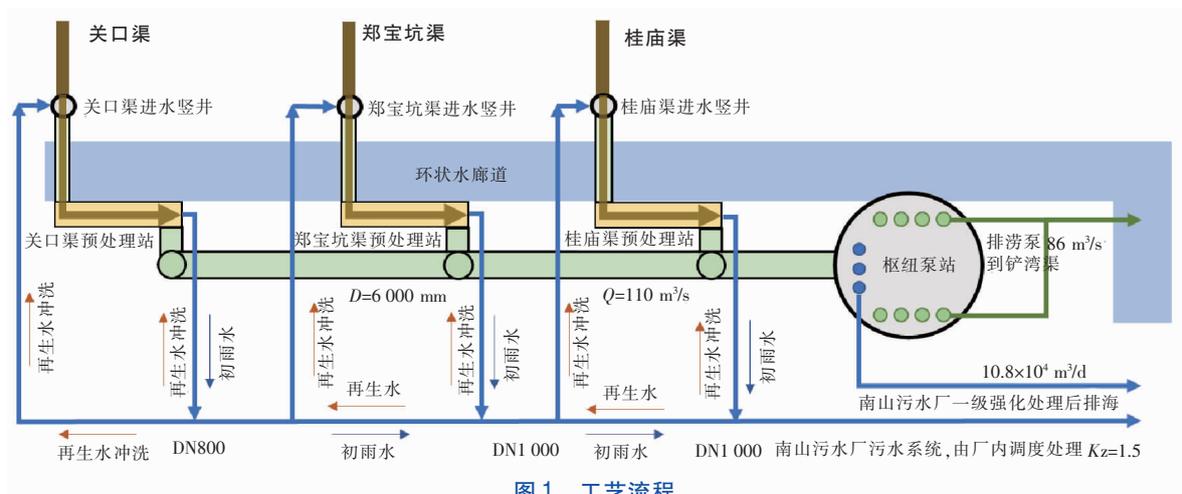


图 1 工艺流程

Fig. 1 Process flow chart

前海深隧工程设计内容包括进水接驳工程、主隧竖井、主隧洞、枢纽泵站。其中进水接驳工程主要包括浅层进水竖井、浅层支隧、预处理站、深层支隧。

关口渠、郑宝坑渠、桂庙渠进水接驳工程设计流量分别为 32、65 和 55 m³/s,主隧洞设计流量 110 m³/s。

前海深隧工程主线位于月亮湾大道西侧,规划

环状水廊道东侧。起点为现状关口渠,终点为铲湾渠水廊道,总长度 3.74 km。沿途分别收集关口渠、郑宝坑渠、桂庙渠三条雨水箱涵的来水,雨水箱涵与主隧的连接处设置浅层进水竖井、预处理站等构筑物,并在主隧末端设置出水枢纽泵站。前海深隧工程平面布置如图 2 所示。

根据月亮湾大道快速化改造工程、桂庙路—月亮湾立交工程、平南铁路入地还建工程等项目的资料,月亮湾大道将改造为下沉式隧道,截断了关口渠、郑宝坑渠、桂庙渠三条雨水箱涵,使得前海深隧工程必须在月亮湾大道东侧完成雨水接驳。考虑现状雨水渠道周边密布高层建筑物,同时在地下空间竖向分布上受下沉式月亮湾大道和平南铁路的影响,前海深隧工程采用二次跌水设计完成接驳。即在月亮湾大道东侧、现状雨水箱涵上设置浅层进水竖井,进行第一次跌水,雨水通过浅层进水竖井接入浅层支隧。浅层支隧下穿快速化改造后的月亮湾大道,上跨规划平南铁路,接入预处理站。雨水在预处理站经沉砂预处理后进入深层进水竖井,二次跌水

后接入主隧。工程与相关构筑物空间关系见图 3。

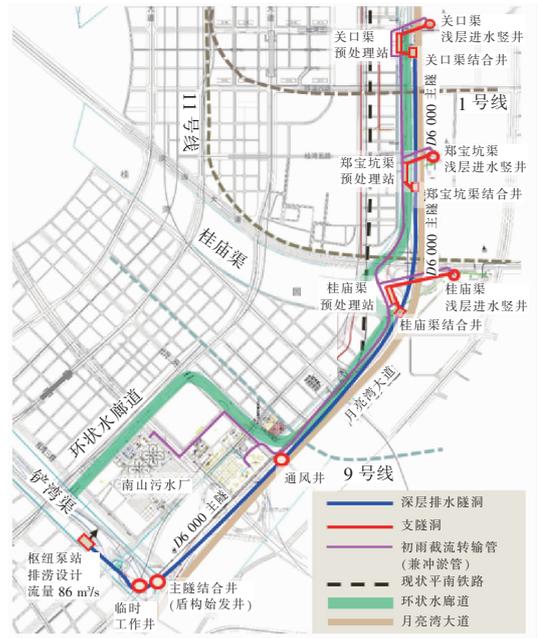


图 2 深隧系统总平面布置

Fig. 2 Plane layout of deep tunnel drainage system

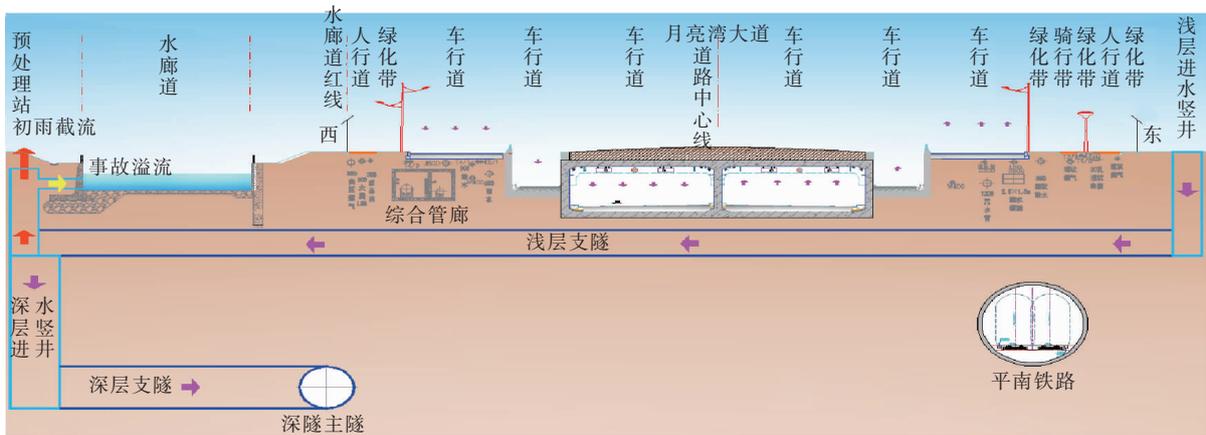


图 3 接驳工程排水通道横断面

Fig. 3 Cross-section of drainage channel for transferring engineering

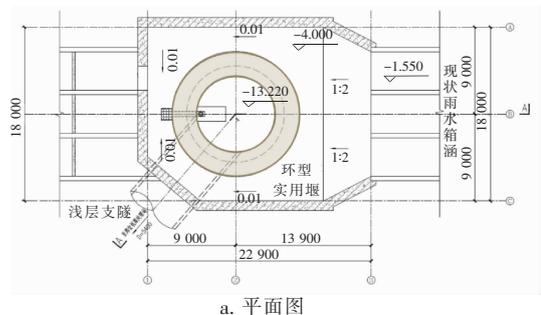
3 工程设计

3.1 浅层进水竖井

浅层进水竖井设置于现状雨水箱涵上,上部顺接箱涵,下部连接浅层支隧,雨水在此处完成第一次跌水,跌深约 10 m。竖井采用直落式跌水设计,内部设置环型实用堰,堰高 1.50 m,底部设置齿状消能环及缓冲垫层,以减少下落水流对竖井底部的冲击。井内设置 DN500 的小流量管道系统,将旱季漏失污水排入浅层支隧。竖井顶面设置通风口及清淤设备吊装孔。在浅层支隧施工时,浅层进水竖井的

基坑兼作顶管/盾构接收井。

进水竖井示意图 4。



a. 平面图

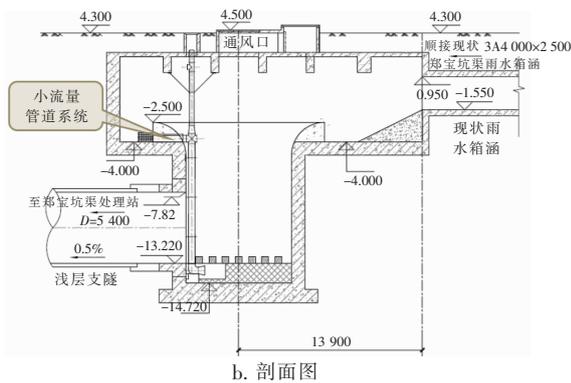


图4 郑宝坑渠浅层进水竖井示意

Fig. 4 Schematic diagram of shallow inlet shaft of Zhengbaokeng canal

关口渠浅层进水竖井长 25.15 m, 宽 17.70 m, 深 15.23 m; 郑宝坑渠浅层进水竖井长 24.40 m, 宽 20.00 m, 深 17.52 m; 桂庙渠浅层进水竖井长 22.50 m, 宽 15.00 m, 深 18.55 m。

3.2 浅层支隧

浅层支隧主要功能为连接浅层进水竖井与预处理站, 设计为重力流与压力流复合运行。关口渠浅层支隧内径 4 m, 隧洞长 184.24 m, 埋深 15.01 ~ 18.32 m, 坡度为 0.5%, 采用顶管法施工。郑宝坑渠浅层支隧内径 5.4 m, 隧洞长 196 m, 埋深 17.37 ~ 19.28 m, 坡度为 0.5%, 采用盾构法施工。桂庙渠浅层支隧内径 5.4 m, 隧洞长 413 m, 埋深 20.79 ~ 21.31 m, 坡度为 0.5%, 采用盾构法施工。

3.3 预处理站

前海深隧工程设置关口渠预处理站、郑宝坑渠预处理站、桂庙渠预处理站, 沿月亮湾大道、规划环状水廊道西侧布置, 分别位于桂湾三路南侧、学府路南侧、桂庙路南侧的现状市政绿化带内, 占地面积分别约为 1 547、1 759、1 765 m²。预处理站的主要功能是截流旱季漏排污水、雨季初小雨水和完成雨水排入主隧的第二次跌水。为减少对前海环状水廊道的景观影响, 预处理站采用地埋式设计, 分两层, 负二层为进水结合井、沉砂池及深层进水竖井, 负一层为设备层, 其中负一层又分为干区及湿区两部分。

进水结合井设置 2 台进水闸门和 2 台溢流闸门(液压闸门), 用以切换深隧系统的不同运行工况, 结合井顶部设置小型维修车辆检修孔。在支隧施工阶段, 进水结合井基坑兼作顶管/盾构始发井。干区设置控制房、变配电房、水质监测房、液压机房、除臭

设备房、风机房, 地面设置两个进出楼梯及设备吊装孔。湿区设置污水提升泵、粉碎格栅、砂水分离器等, 并设置检修孔、清渣孔与负二层连通, 地面设置两个进出楼梯及设备吊装孔、清渣孔。深层进水竖井跌深约 30 m, 采用旋流式跌水竖井, 竖井进水喉道按 1:2 的坡比控制, 水流切向进入进水竖井, 竖井上部设有通风井, 底部设有齿状消能环及缓冲垫层。关口渠、郑宝坑渠、桂庙渠预处理站进水竖井内径分别为 3、4.2、3.8 m, 底部净水池内径均为 12 m。郑宝坑渠预处理站示意如图 5 所示。

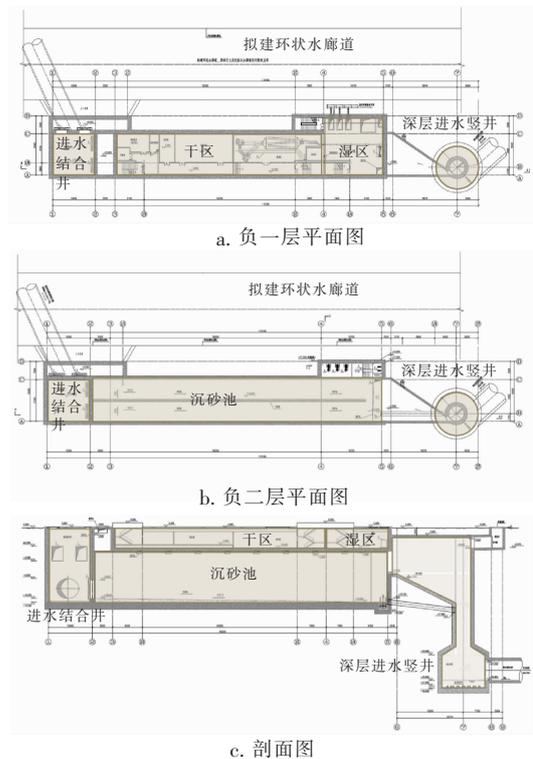


图5 郑宝坑渠预处理站示意

Fig. 5 Schematic diagram of Zhengbaokeng canal pretreatment station

3.4 深层支隧

深层支隧主要功能为连接深层进水竖井与主隧, 设计为重力流与压力流复合运行。关口渠深层支隧内径 4 m, 隧洞长 32.03 m, 埋深 40.30 ~ 41.16 m, 坡度为 0.2%, 采用矿山法施工。郑宝坑渠深层支隧内径 5.4 m, 隧洞长 49.45 m, 埋深 41.61 ~ 42.15 m, 坡度为 0.2%, 采用矿山法施工。桂庙渠深层支隧内径 5.4 m, 隧洞长 15.10 m, 埋深 42.46 ~ 42.76 m, 坡度为 0.2%, 采用矿山法施工。

3.5 主隧及主隧竖井

主隧设计流量为 110 m³/s, 为重力流与压力流

复合运行。主隧设计使用年限为 100 年,环境作用等级为结构外侧 III - D 级、结构内侧 V - D 级。主隧盾构法段长度 3 528 m,埋深 40.23 ~ 43.55 m,坡度为 0.1% ~ 0.2%,内径为 6 m,外径为 6.7 m,衬砌厚度为 0.35 m,管片结构采用预制钢筋混凝土,混凝土强度等级为 C50。主隧矿山法段长度 209.56 m,埋深 43.65 ~ 46.04 m,坡度为 0.3%,内径为 6 m。主隧起点绝对标高为 -35.05 m,终点绝对标高为 -40 m,沿途下穿现状深圳地铁 1 号线、9 号线、11 号线,其中与地铁 11 号线交汇处竖向净距为 5.42 m,为主隧的控制点之一。主线设置 6 座竖井,分别为关口渠结合井(兼作主线盾构接收井)、郑宝坑渠结合井、桂庙渠结合井、通风井、主隧结合井(兼作主线盾构始发井)、临时工作井。

3.6 枢纽泵站

枢纽泵站位于月亮湾大道西侧、铲湾渠水廊道南侧,是深隧系统的终端泵站,主要功能为截流初雨水和排放涝水。枢纽泵站主要建筑物包括格栅清污间、初雨泵房、排涝泵房及出水箱涵、叠梁闸启闭间、除臭设备房、通风机房、变配电室、调度室以及生产和办公用房等。泵房与格栅清污间合建,格栅安装在泵房内部,初雨、中间泵组合建在初雨泵房内,采用干式泵房,初雨、中间泵组电机工作环境为干式环境,排涝泵房为湿式环境,出水渠位于枢纽泵房两侧,呈翼型布置。初雨泵房和排涝泵房相邻布置,平面形状均为长方形,排涝泵电机安装于地面层,排涝泵和初雨泵的电机起吊层、变配电室以及生产和办公用房均位于地面层。

深层排水隧洞接入枢纽泵站处底高程为 -40.0 m,隧洞内径为 6.0 m,枢纽泵站厂区地面高程为 5.0 m,泵房建筑首层地面标高为 5.20 m。初雨泵房平面净尺寸为 22.0 m × 12.0 m,深度为 48 m。排涝泵房分两侧布置,单侧平面净尺寸为 29.0 m × 20.0 m,深度为 23.2 m。主泵井位于泵房中心,其平面净

尺寸为 42.8 m × 22.0 m,深度为 52 m。排涝泵出水池分两侧对称布置,池长为 49.5 m,宽度为 6.6 ~ 14.6 m,深度为 6.7 m;排涝出水箱涵分两侧对称布置,单孔箱涵断面尺寸为 4.0 m × 4.5 m,长度为 56 m。调蓄前池位于泵房外围,为全地下式构筑物,顶标高为 -1.5 m,其平面由矩形和半圆形合并而成,其中矩形平面尺寸为 100 m × 50 m,半圆形直径为 100 m,池体净高为 9.2 m。枢纽泵站示意图见图 6。

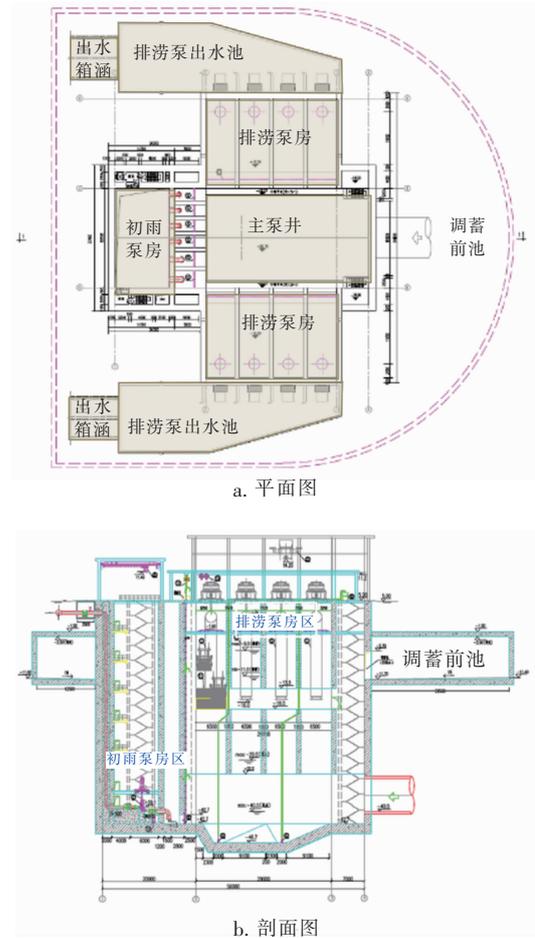


图 6 枢纽泵站示意

Fig. 6 Schematic diagram of hub pumping station
枢纽泵站泵组相关设计参数见表 1。

表 1 枢纽泵站泵组设计参数

Tab. 1 Design parameters of pump set in hub pumping station

项 目	单泵设计流量	设计扬程/m	功率/kW	数量/台	水泵泵型
初雨泵组	1 388 m ³ /h	46	260	3 用 1 备	立式蜗壳泵(干式安装)
中间泵组	4 700 m ³ /h	34	640	2 用	立式蜗壳泵(干式安装)
排涝泵组	10.75 m ³ /s	9.4	1 600	8 用	立式混流泵

枢纽泵站共设置三组水泵,分别为初雨泵组、中间泵组和排涝泵组。初雨泵组设计总规模为 10 ×

10⁴ m³/d,提升至南山水质净化厂一级强化处理设施处理。调蓄池内水位绝对标高 -29.0 ~ -11.0 m

的水体体积约为 $2.35 \times 10^4 \text{ m}^3$,通过中间泵组提升至南山水质净化厂一级强化处理设施处理,设计总流量 $9\,400 \text{ m}^3/\text{h}$ 。排涝泵组设计总规模为 $86 \text{ m}^3/\text{s}$,泵组垂直流道尺寸为 $36 \text{ m} \times 22 \text{ m}$,水平流道设计长度为 20 m ,泵组出水渠道宽度为渐变的 $6.60 \sim 14.60 \text{ m}$,渠道顶高程 6.0 m ,同时设防海水倒灌设施。

4 运行工况

前海深隧工程的运行工况分为以下5种:

初小雨运行工况:污染浓度最高的旱季漏失污水和雨季初小雨在预处理站处理后经水泵提升并转输到南山水质净化厂,经生物处理后排放。

调蓄运行工况:降雨继续增大,在预处理站溢流至深层隧洞,转输至枢纽泵站,后续雨水可利用隧洞容积进行调蓄,雨水通过初雨泵组及中间泵组转输至南山水质净化厂经一级强化处理后排海。

排涝运行工况:降雨继续增大,隧洞内水位超过排涝泵启动水位时进入排涝工况。

事故工况:当枢纽泵站发生事故时,关闭三个预处理站的隧洞进水闸门,打开溢流闸门,雨水通过环状水廊道排放。

水力冲淤工况:将南山水质净化厂尾水接入深隧系统冲淤点冲洗隧洞,冲洗水通过末端枢纽泵站初雨泵组提升,进入南山水质净化厂经一级强化处理后排海。

5 工程设计重点、难点

① 前海深隧工程是集多功能于一体的复合型深隧工程。预处理站的设计需要兼顾初小雨截流、雨水预处理、事故检修等。为实现5种不同运行工况的切换,需要三座预处理站、枢纽泵站及南山水质净化厂综合调度,运行工况复杂,对工艺及电气、自动化专业的要求较高。

② 工程主线用地非常紧张,与周边工程交叉较多。浅层支隧的设计标高、转弯半径、施工工法和竖井的跌水形式、平面尺寸、通风设计等都需要结合周边工程及用地条件,综合设计确定。

③ 工程建设场地原始地貌主要为滨海滩涂地,局部为伸向海内的半岛,后经填海造地形成如今地貌,地质复杂,地下水位高。主线隧洞下穿现状深圳地铁1号线、11号线、9号线、沿江高速,距地铁11号线净距仅 5.42 m 。主线隧洞的设计要结合周边待建、已建工程,合理布置线位、竖向标高,综合地

质条件,选择适合的工法。

④ 前海合作区作为粤港现代服务业创新合作示范区,对环境要求较高,臭气排放执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)一级标准,旱、雨季臭气浓度相差较大,对除臭工艺提出的要求更高。

6 结语

前海深隧工程在工程设计前期运用了大量数学模型进行分析,为工程设计提供设计依据和设计参数,并搭建水力物理模型验证设计方案,为工程设计的方案比选、设计优化提供科学依据。

目前工程正处于主体隧洞施工阶段,根据前海深隧工程设计方案,通过数学模型模拟,得出在前海深隧及相关工程建设完成后,可将前海片区的排涝标准提升至50年一遇;可使水廊道北环、桂庙渠、水廊道南环、铲湾渠的水质超标天数分别减少92.4、206.8、245.1、253.8 d,有效改善大铲湾区水环境。

参考文献:

- [1] 刘家宏,夏霖,王浩,等. 城市深隧排水系统典型案例分析[J]. 科学通报,2017,62(27):3269-3276.
LIU Jiahong, XIA Lin, WANG Hao, et al. Typical case analysis of deep tunnel drainage system in urban area [J]. Chinese Science Bulletin, 2017, 62(27): 3269-3276 (in Chinese).
- [2] 林忠军. 深层隧道排水系统在城市排水规划中的应用[J]. 城市道桥与防洪,2014(5):143-147.
LIN Zhongjun. Application of deep tunnel drainage system in urban drainage planning [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2014(5): 143-147 (in Chinese).
- [3] 高祯,宋嘉美,杨园晶,等. 深圳市前海—南山排水深隧系统工程方案研究[J]. 中国给水排水,2020,36(13):96-100.
GAO Zhen, SONG Jiamei, YANG Yuanjing, et al. Analysis of Qianhai - Nanshan deep tunnel drainage system project scheme in Shenzhen [J]. Chinese Water & Wastewater, 2020, 36(13): 96-100 (in Chinese).

作者简介:宋嘉美(1988-),女,河南洛阳人,硕士,工程师,注册公用设备工程师,主要从事市政工程研究与设计工作。

E-mail:351029705@qq.com

收稿日期:2021-03-15

修回日期:2021-04-11

(编辑:孔红春)