

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.13.016

深圳市前海—南山排水深隧系统工程方案研究

高 祯, 宋嘉美, 杨园晶, 马之光, 黄 鹄

(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)

摘 要: 通过建立深圳市前海—南山排水深隧系统的水力模型,模拟了现状排水系统的运行情况,确定了排水深隧系统的建设规模,研究了深隧系统对前海地区水质保障的影响。结果表明,通过排水深隧系统及相关工程的建设,可以将前海片区的排涝标准提升至50年一遇;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和253.8 d;深隧系统在典型年最不利降雨情况下,对COD和TN的截留率均达到了80%以上,对TP的截留率达到了68.99%,有效地保障了前海地区的水环境质量。

关键词: 排水深隧系统; 水质模型; 排涝; 水环境

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)13-0096-05

Analysis of Qianhai – Nanshan Deep Tunnel Drainage System Project Scheme in Shenzhen

GAO Zhen, SONG Jia-mei, YANG Yuan-jing, MA Zhi-guang, HUANG Gu
(Shenzhen Branch, CSCEC AECOM Consultants Co. Ltd., Shenzhen 518027, China)

Abstract: A hydraulic model of Qianhai – Nanshan deep tunnel drainage system in Shenzhen was built. The operation of the current drainage system was simulated, the construction scale of the deep tunnel drainage system was determined, and the influence of the system on water quality in Qianhai area was systematically studied. The drainage standard of Qianhai area could be raised to 50-year return period through construction of the deep tunnel drainage system. The number of days with water quality exceeding the standard in north ring of the water corridor, Guimiao canal, south ring of the water corridor and Chanwan canal was reduced by 92.4 days, 206.8 days, 245.1 days and 253.8 days, respectively. Under the extreme rainfall event in a typical year, the interception rate of COD and TN reached above 80%, and the interception rate of TP reached 68.99%, which effectively improved the water environment quality in Qianhai area.

Key words: deep tunnel drainage system; water quality model; drainage; water environment

前海合作区位于深圳市蛇口半岛西部,呈半月形,西侧环拥大铲湾,东侧与南山区相邻,北侧与宝安中心区接壤,是粤港澳大湾区的核心地区和前沿地带。前海合作区由于其特殊的地理位置和行政定位,被称为是“特区中的特区”、未来大湾区的“曼哈顿”。然而,前海的水环境现状与其高规格定位之间存在很大差距。上游南山片区的内涝问题和大铲湾及前海水体的水质保障是前海实现规划蓝图所面

临的重大难题。

深层排水隧道作为一种有效的雨洪控制措施,尤其适合城市中心区,在发达国家和地区已有了广泛的应用,是破解“前海水城”建设所面临问题的重要途径之一^[1-2]。

1 前海片区水环境现状

1.1 排涝现状

前海片区的排水主要由双界河、桂庙路明渠及

铲湾路明渠 3 大排水系统组成。桂庙路明渠系统包括 12 号路明渠、关口渠、郑宝坑渠、桂庙渠、大南山 3[#]排洪渠。其中关口渠、郑宝坑渠、桂庙渠汇入 12 号路明渠,再进入桂庙渠明渠,该片区是南山片区受涝严重的区域。

区域内有板桥泵站和前海泵站,对应的排洪渠分别为郑宝坑渠和桂庙渠,其中前海泵站为合建的排涝泵站和污水泵站,关口渠目前没有排涝泵站。板桥泵站的规模为 21.2 m³/s,服务面积为 238.0 hm²,占地面积为 643 m²,设计标准为 1 年一遇;前海泵站的规模为 22.0 m³/s,服务面积为 205.6 hm²,占地面积为 6 215 m²,设计标准为 1 年一遇。

虽然目前前海片区旧城区已建排涝泵站,但建设规模偏小,同时由于外江水位顶托和上游涝区的高水汇流至下游区域,造成下游区域常常出现洪涝灾害。

1.2 水环境现状

前海合作区水系在上游南山区范围内的汇水面积共 18.12 km²,整个汇水范围大部分为建成区(主要为南山旧村)。

目前片区内关口渠、郑宝坑渠和桂庙渠均存在大量的漏排污水。漏排污水主要通过桂庙渠水系临时截污工程在关口渠、郑宝坑渠和桂庙渠 3 个渠口设置的总口截污闸,将旱季漏排污水收集、转输至南山污水处理厂进行处理。临时截污工程设计规模为 10×10⁴ m³/d,该工程已正常运行并发挥作用,但是雨季上游混流污水会随着河口闸的打开进入前海,造成前海水环境污染。

大铲湾湾区的实测水质见表 1。可知,西乡河入口、新圳河入口水质远低于地表水 V 类水质;大铲湾湾中、湾口的 BOD₅、活性磷酸盐、无机氮等指标都远低于海水第四类标准值。

表 1 大铲湾湾区水质

Tab. 1 Water quality of Dachanwan

mg·L⁻¹

项 目	DO	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TP	活性磷酸盐	无机氮	TN
西乡河入口	1.40	369.00	138.00	6.70	0.97	0.480	7.16	8.29
新圳河入口	0.20	156.50	56.50	12.60	1.55	1.020	12.65	13.56
双界河入口	0.32	120.50	30.00	11.94	1.50	1.240	11.98	12.95
湾中	6.35	2.66	14.00	1.64	0.24	0.210	2.45	3.95
湾口	5.58	1.95	8.00	1.67	0.23	0.080	2.63	3.86
海水第四类标准值	3.00	5.00	5.00	—	—	0.045	0.50	—

1.3 大铲湾湾区水质超标天数分析

在湾区的不同区域设置采样点进行取样分析,采样点位置如图 1 所示。

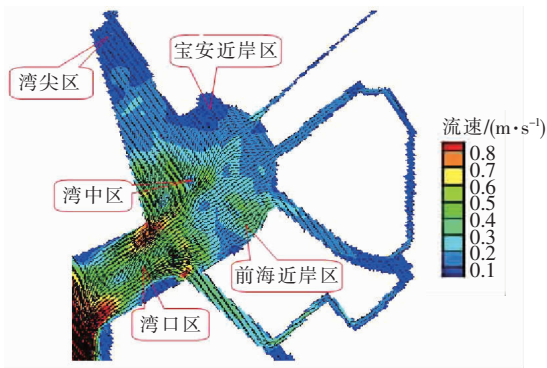


图 1 大铲湾湾区采样点示意

Fig. 1 Schematic diagram of sampling points in Dachanwan

对采样点数据进行对比分析,得出湾区的水质年超标天数,结果表明,湾口区在丰水年、平水年和枯水年的 COD 超标天数分别为 0.20、0、0 d, TN 超

标天数分别为 3.21、2.01、0 d, TP 超标天数分别为 1.08、0.74、0 d, 合计丰水年、平水年、枯水年的超标天数分别为 3.21、2.01、0 d;湾中区在丰水年、平水年和枯水年的 COD 超标天数分别为 1.07、0.77、0 d, TN 超标天数分别为 4.96、3.85、0.86 d, TP 超标天数分别为 2.45、1.26、0 d, 合计丰水年、平水年、枯水年的超标天数分别为 4.96、3.85、0.86 d;湾尖区在丰水年、平水年和枯水年的 COD 超标天数分别为 4.52、4.21、3.39 d, TN 超标天数分别为 201.10、151.20、68.22 d, TP 超标天数分别为 22.32、18.05、10.24 d, 合计丰水年、平水年、枯水年的超标天数分别为 201.10、151.20、68.22 d;前海近岸区在丰水年、平水年和枯水年的 COD 超标天数分别为 3.00、1.14、0 d, TN 超标天数分别为 8.52、6.68、3.11 d, TP 超标天数分别为 4.68、2.87、0 d, 合计丰水年、平水年、枯水年的超标天数分别为 8.52、6.68、3.11 d;宝安近岸区在丰水年、平水年和枯水年的 COD 超标天数分别为 8.00、3.64、2.08 d, TN 超标天数分别为

39.16、37.16、19.16 d, TP 超标天数分别为 13.00、12.84、6.01 d, 合计丰水年、平水年、枯水年的超标天数分别为 39.16、37.16、19.16 d。

可以看出, 湾区不同位置的水质超标天数由外向内逐渐增加, 湾口区超标天数最小, 枯水年为 0, 丰水年为 3.21 d。湾尖区超标天数最大, 枯水年为 68.22 d, 丰水年为 201.10 d。超标天数长短与入湾污染负荷量以及水体交换能力密切相关, 入湾污染负荷量越大, 水体交换能力越弱, 超标时间越长。同时, 从地域分析, 西乡河、新圳河及双界河是湾区的主要污染源, 因此需要对西乡河、新圳河及双界河进行水体治理, 以减少进入湾区的污染物总量。

2 基础数据及研究方法

2.1 设计降雨

降雨雨型采用深圳市气象局发布的“深圳市城市设计暴雨雨型”, 该雨型是利用深圳市累计 51 年的降雨资料, 并结合深圳市最新的暴雨强度公式 (2015 版) 得出的不同重现期的降雨过程线, 如图 2 所示。

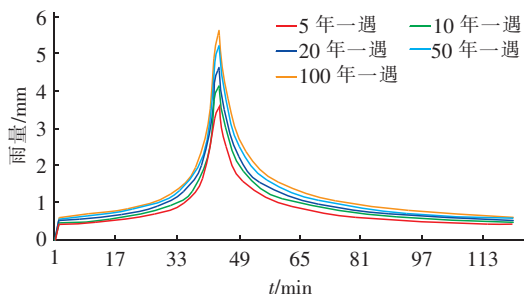


图2 各设计重现期雨型

Fig. 2 Hyetograph of different return periods

2.2 下垫面解析

结合本研究范围内的实际情况, 将下垫面分为绿地、水体、屋面、路面、裸土和铺装 6 类。采用 GIS 的数据管理功能, 对不同下垫面进行分类, 形成不同矢量图层数据, 作为水力模型分析城市降雨产流和汇流机制的基础, 表 2 为下垫面解析结果。

表2 下垫面解析结果

Tab. 2 Analytic results of underlying surface hm^2

项 目	绿地	屋面	路面	铺装	合计面积
关口渠	88.9	75.2	47.3	124.7	336.1
郑宝坑渠	55.7	69.1	27.2	94.1	246.1
桂庙渠	40.0	78.5	23.2	93.8	235.5
分类面积	184.6	222.8	97.7	312.6	817.7

从表 2 可以看出, 绿地、屋面、路面和铺装的分

类比例分别为 23%、27%、12% 和 38%。

2.3 管网模型

管网的基础数据主要来自现状前海—南山片区排水 (雨水) 管渠 GIS 数据, 导入模型的数据包括地面标高、雨水井底标高、管线上下游标高、管径和管长。数据导入前对普查结果进行核对, 剔除错误的数, 缺失的数据通过实地测量或内插赋值获得。现状模型共建立 2 334 个节点、2 353 段管段、2 363 个子汇水分区。

2.4 系统规模模型的建立及验证

深隧系统规模模型在《深圳市排水 (雨水) 防涝综合规划》中 MIKE FLOOD 平台的基础上, 采用 MIKE URBAN 城市排水模拟软件进一步搭建以用于研究深隧系统。MIKE URBAN 城市排水软件整合了 ESRI 的 ArcGIS 以及排水管网模拟软件, 形成了一套城市排水模拟系统, 其水动力学模块可以准确地描述管网中各种水流现象, 通过求解圣维南方程组, 准确地解析管网中的水流状态。

系统模型建立后, 采用深圳市气象局提供的 2014 年 5 月 11 日南山站实测降雨过程作为输入条件, 模拟当日暴雨积涝情况, 并与实际内涝情况进行比对。模型运行结果显示, “5·11”暴雨当天, 前海路、南新路、南山大道、学府路、桂庙路均发生不同程度的积水内涝, 模拟结果与三防部门收集到的内涝数据基本一致。采用市水务局提供的 2014 年 3 月 30 日降雨数据模拟前海泵站排涝泵的运行情况, 运行结果显示“3·30”降雨过程中, 模拟泵站启泵过程与实际情况接近, 泵站当日实际总外排水量为 118 033 m^3 , 模型模拟外排水量为 125 924 m^3 , 二者误差为 6.7%。通过对以上两次暴雨过程的模拟和对比, 基本验证了模型的可信度。

2.5 系统水质模型的建立

本次水质模型采用的计算软件为丹麦国家水力学研究所研发的 MIKE ZERO 集成工具包中的 MIKE21 模块。模型建成后通过分析排水管网现状及水环境情况验证模型的可信度, 然后通过边界条件的输入, 对拟建深隧的不同工况进行运行模拟, 可为深隧的建设规模及设计细节提供参考^[3]。

3 设计方案及效果评估

3.1 设计标准

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。

3.2 设计方案

隧道主体线路布置于月亮湾大道西侧,位于规划环状水廊道红线以内,起点为关口渠,终点为铲湾渠水廊道。沿途分别收集关口渠、郑宝坑渠、桂庙渠的初(小)雨水以及涝水。深层排水隧道起点高程为 -35.05 m ,终点高程为 -40.00 m 。图3为深隧系统总平面布置。

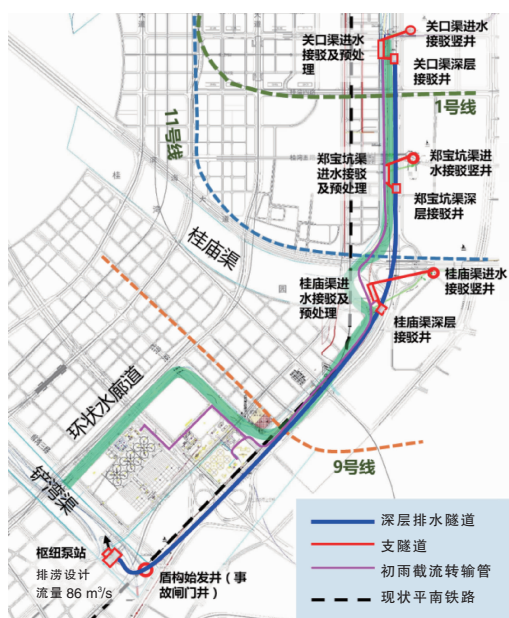


图3 深隧系统总平面布置示意

Fig. 3 Schematic diagram of deep tunnel drainage system

关口渠支隧的内径为 4.0 m ,长为 190.34 m ;郑宝坑渠支隧的内径为 5.4 m ,长为 255.50 m ;桂庙渠支隧的内径为 5.4 m ,长为 650.17 m 。支隧出水经过预处理站处理后进入主隧,预处理站设置进水结合竖井、沉砂池、变配电间、除臭设备间、水泵设备间和深层进水旋流竖井。

枢纽泵站设置于铲湾渠水廊道上游人工湖南侧,泵站设计排涝规模为 $86\text{ m}^3/\text{s}$,初(小)雨抽排系统规模为 $10 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。排涝系统共设置8台排涝泵,根据不同液位控制水泵的启停,Pump01 ~ Pump08的启泵水位分别为 -10.31 、 -9.63 、 -8.94 、 -8.25 、 -7.56 、 -6.88 、 -6.19 、 -5.50 m ;停泵水位分别为 -11.00 、 -10.31 、 -9.63 、 -8.94 、 -8.25 、 -7.56 、 -6.88 、 -6.19 m 。

工程的运行调度分为3个工况,详述如下。

收集旱季漏排污水:近期,在上游南山片区雨污分流不彻底、排水管网正本清源工作逐步推进的情

况下,旱季漏排污水通过进水接驳竖井截流到深隧系统,由各支隧预处理泵站及深隧末端枢纽泵站内的初(小)雨提升泵提升后进入南山污水处理厂;远期,漏排污水将随片区雨污分流改造接驳至市政污水管网,进入南山污水处理厂。

收集初(小)雨:初(小)雨通过截污设施截流至竖井,通过隧道调蓄,由各支隧预处理泵站及深隧末端枢纽泵站内的初(小)雨提升泵在 24 h 内提升至南山污水处理厂。

排涝:①近期,在南山片区雨污分流不彻底、城市更新未完成的情况下,深隧优先解决南山片区内涝及初(小)雨问题。此时浅层排水系统为深隧的补充,作为超标涝水和深隧系统事故时的排水通道。②远期,南山片区完成雨污分流改造及城市更新以提高片区竖向高程后,区域内清洁雨水和洪水将优先通过浅层排水系统进入环状水廊道。此时,深层隧道为浅层排水系统的补充,作为超标洪水和面源污染收集排放通道^[4]。

近期排涝时,雨水进入竖井,当降雨强度 ≤ 50 年一遇的标准时,通过深隧末端枢纽泵站内的排涝泵组排入铲湾渠水廊道;当发生超标暴雨或泵站事故时,排涝泵站同上游竖井闸门、事故检修闸门及外江水位联动,将非常规工况下的涝水排至外海。

3.3 深隧系统运行效果评估

3.3.1 防洪排涝运行效果分析

采用以浅层系统改造后的管网模型为基础,内涝50年一遇重现期、设计降雨过程线 2 h 雨型作为输入条件,模拟深隧系统建成后的效果。

在50年一遇的降雨条件下,深隧系统各主要节点水位均满足系统要求,关口渠主隧竖井、关口渠进水竖井、郑宝坑渠主隧竖井、郑宝坑渠进水竖井、桂庙渠主隧竖井、桂庙渠进水竖井、泵站竖井节点的最高水位分别为 -1.699 、 -1.487 、 -2.110 、 -1.879 、 -2.516 、 -2.277 、 -5.468 m 。枢纽泵站 Pump01 ~ Pump07 均启动1次,Pump08 启泵2次。

3.3.2 水质改善效果分析

本研究主要利用数据统计分析及平面二维潮流水质数学模型探讨深隧系统对前海水质的改善效果,计算工程前后典型平水年全年环状水廊道各片区污染物超标情况。

图4为工程前后典型年最不利降雨后第5天的COD浓度分布情况。

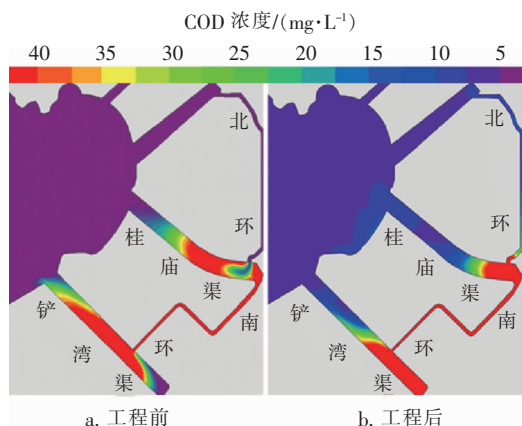


图4 工程前后典型年最不利降雨后第5天的COD浓度分布

Fig.4 COD concentration distribution on the fifth day after worst rainfall before and after project

分析工程前后典型平水年环状水廊道各片区水质超标天数可知,工程前后COD的超标时间最长,TP超标时间最短。北环COD超标时间由工程前的113.2 d降至工程后的20.8 d;TN由88.7 d减少至17.6 d;TP由59.1 d减少至16.5 d。桂庙渠COD、TN、TP超标天数分别由工程前的221.5、158.8、125.5 d降低至工程后的14.7、13.8和8.6 d。环状水廊道各片区中铲湾渠超标时间最长,工程前COD、TN、TP超标时间分别为285.6、227.7和199.4 d,工程后分别为31.8、24.5及21.7 d。南环COD、TN、TP超标天数分别由工程前的264.6、192.3、158.5 d降低至工程后的19.5、17.3和9.3 d。

深隧系统的运行截留了大部分进入环状水廊道的污染负荷,对50年一遇设计暴雨单场COD、TN、TP的截留率均达到41%以上,其中对TN的截留率最高达到48.62%;对典型年最不利单场降雨COD、TN的截留率均达到80%以上,对TP的截留率达到68.99%;典型平水年,对COD、TN、TP的全年削减率达到了88.0%左右。

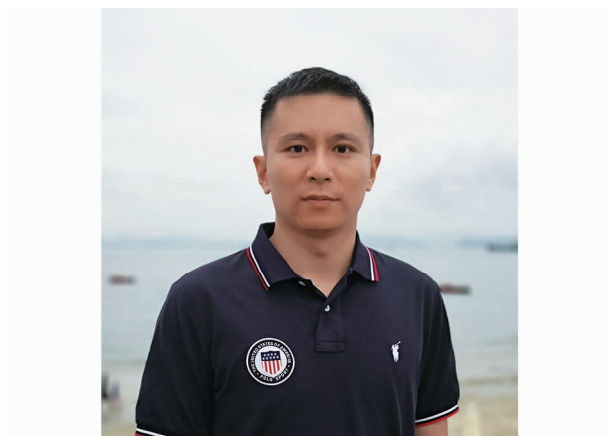
4 结论

通过深层隧道系统及相关工程的建设,可以将前海片区的排涝标准提升至50年一遇;使水廊道北环、桂庙渠、水廊道南环、铲湾渠的COD超标天数分别减少92.4、206.8、245.1和253.8 d;深隧系统在典型年单场最不利降雨情况下,对COD、TN的截留率均达到80%以上,对TP的截留率达到68.99%,

有效保障了前海地区的水环境质量。

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] 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).
- [4] 汤舒,吴学伟,孙志民,等. 国外深隧排水系统调度运行方案的启示[J]. 隧道建设,2017,37(4):449-454.
Tang Shu, Wu Xuewei, Sun Zhimin, *et al.* Inspirations from management and operation of deep tunnel drainage systems abroad [J]. Tunnel Construction, 2017, 37(4): 449-454 (in Chinese).



作者简介:高祯(1988-),男,山东济南人,硕士,工程师,研究方向为水污染控制研究与设计。

E-mail: gaozhen007@126.com

收稿日期:2020-01-02