

梁飞鹏. 老城区雨水排水系统改造工程设计案例[J]. 净水技术, 2021, 40(1):140-145, 154.

LIANG F P. An engineering design case of renovation of rainwater drainage system in old urban district[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(1):140-145, 154.



扫我试试?

老城区雨水排水系统改造工程设计案例

梁飞鹏

(上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要 为提高城市排水防涝能力,满足国家、地方政策及标准要求,老城区低标排水系统提标改造需求日益迫切。但许多老城区存在现状条件复杂、地下公用管线多、道路狭窄、施工条件苛刻等问题,提标改造难度较大。文中以上海市宝山区月浦城区雨水排水系统提标改造工程为例,详细介绍工程设计方案,结合 InfoWorks ICM 排水模型对系统内积水风险、管网水力条件进行分析,结果表明:提标改造后的管网系统在 3 年一遇设计降雨时,可保证城区内无积水产生,系统内大部分管道的水力坡度与管道坡度接近,基本未出现非满管或超载的情况;在 100 年一遇的设计降雨时,城区内积水深度普遍在 0.15 m 以下。针对排水系统改造中的重点、难点,提出充分利用现状设施、合理选择顶管与开槽埋管相结合的施工方案、减少骑马井数量、利用已建雨水管道收集路面雨水、合理确定井位管位,减小管线搬迁工程量等解决方案,同时,对关键节点进行具体分析。案例可为其他老城区的雨水排水系统提标改造工程提供一定的借鉴。

关键词 老城区 雨水排水系统 提标改造 工程设计 排水模型

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2021)01-0140-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2021.01.023

An Engineering Design Case of Renovation of Rainwater Drainage System in Old Urban District

LIANG Feipeng

(Shanghai Municipal Engineering Design and Research Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract To improve drainage capacity and waterlogging resistance in urban area, and meet national and local policies and standards, upgrading and renovation of low-standard drainage system in old urban district is increasingly urgent. However, there are many problems that are not conducive to renovation in old urban district, such as recently complicated conditions, intricate underground public pipelines, narrow roads and harsh construction conditions. Taking Yuepu rainwater drainage system in Baoshan District of Shanghai as an example, engineering design scheme is introduced in detail. InfoWorks ICM drainage model is used to analyse the risk of road waterlogging before and after renovation, as well as the hydraulic conditions of sewerage network. Simulation results show that drainage system after upgrading and renovation can eliminate rainwater accumulation in the downtown and drainage pipeline is basically in a state of full flow when it meets the design rainfall frequency of once every 3 years. Hydraulic slope of most pipelines in the system is close to the gradient of pipeline, and there is no non-full pipe flow or overload condition. When it meets design rainfall frequency of once every 100 years, seep depth is generally below 0.15 m. Engineering measures are taken to resolve key and difficult points in drainage system renovation, such as making full use of existing facilities, reasonable selection of pipe-jacking and slotted buried pipe construction, reducing the number of riding wells by collecting rainwater through existing rainwater pipes, proper determination of well position and pipe position and reducing the engineering quantities of pipeline relocation. Key nodes are also analyzed in detail. This design case can provide a reference for other rainwater drainage system upgrading projects in old urban district.

Keywords old urban district rainwater drainage system upgrading and renovation engineering design drainage model

[收稿日期] 2020-06-22

[作者简介] 梁飞鹏(1988—),男,工程师,主要从事市政排水设计工作。电话:021-55008369;E-mail:liangfeipeng@smedi.com。

随着城市化进程加快和社会经济发展,高度城市化导致建筑林立、大规模地面硬化,地表径流不断增加,城市暴雨内涝问题愈发显著等。尤其是南方大部分老城区,由于建设年代久远,雨水排水设计标准较低(低于1年一遇),加之近年来气候变化,暴雨频发,区域内积水常有发生,严重影响地区防汛安全^[1-2]。近年来,国家、地方发布了系列条文、规范,旨在全面提高城市排水防涝标准,并加强水环境保护和治理。但是,许多老城区存在建筑物密集、道路狭窄、现状条件复杂、地下公用管线众多、施工条件苛刻等问题^[3],雨水排水系统提标改造难度较大。

上海市具有平原感潮河网和高度城市化的特点,中心城区以强排水模式为主、缓冲式排水模式为辅,截至2015年,已建排水系统或地区322个,其中,强排系统或地区268个,暴雨重现期 $P > 1$ a和 $P = 1$ a的分别占10.8%和89.2%;自排系统或地区54个, $P > 1$ a和 $P = 1$ a的分别占5.6%和94.4%。已建雨水管长度和合流管长度分别为9 799 km和1 103 km,合计10 902 km。近日,上海市人民政府批复同意了《上海市城镇雨水排水规划(2020-2035年)》,提出要形成布局合理、安全可靠、环境良好、管理有效、智慧韧性的现代化排水体系,排水系统基本达到3~5年一遇能力,50~100年一遇内涝可控,对排水系统设计提出了新要求。

本文以上海市宝山区月浦城区雨水排水系统提标改造工程为例,详细介绍了工程设计方案,结合InfoWorks ICM排水模型对系统内积水风险、管网水力条件进行分析。针对排水系统改造中的重点、难点提出解决方案,对关键设计节点进行具体分析。目前,该项目已经进入施工阶段,建成后能有效改善地区积水问题,提高地区防汛排涝能力,同时,也可为其他老城区的雨水排水系统提标改造工程提供一定借鉴。

1 区域概况

月浦城区位于宝山区东北部,自20世纪80年代以来,随着宝钢一、二、三期开发建设,各项公建配套设施已较为完善,现状以居住用地和公共服务设施用地为主。地区大部分地面高程约3.4~4.2 m(绝对标高,吴淞高程系,下同),整体呈现周边骨干道路高、中间地块低的趋势,是上海市宝山区地势最低洼的地区。区域内主要河流包括杨盛河、马路河、

马路支河,规划除涝最高水位为3.9 m,最低水位为2.0 m,常水位为2.5~2.8 m。

月浦城区排水系统服务面积为2.95 km²,采用雨、污分流制。目前,月浦城区基本以自排为主,系统内现状道路下均敷设有雨水管,管网普及率较高,雨水管径大多为DN450~DN1350。但是管网达标率较低,仅有25.5%的管道可达1年一遇标准,加之该地区地势低洼,地面标高与河道最高水位相差无几,甚至更低。雨水自排难度较大,暴雨时积水常有发生,严重影响地区防汛安全,给居民的日常生活带来不利影响。以2013年10月7日“菲特”及2016年9月17日“莫兰蒂”大暴雨天积水情况为例,城区普遍积水深度约15~30 cm,局部地区甚至达50~60 cm。

2 总体设计方案及模型评估

2.1 设计标准

根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)^[4]及上海市、月浦城区相关规划成果,针对月浦城区区位特点,得出:排水标准采用3年一遇,小时降雨量约为51.2 mm;内涝防治标准为100年一遇,小时降雨量为98.1 mm。

暴雨强度公式采用上海市最新修订的短历时暴雨强度公式^[5],如式(1)。

$$q = \frac{1\ 600(1 + 0.846 \lg P)}{(t + 7.0)^{0.656}} \quad (1)$$

其中: q ——暴雨强度,L/(s·hm²);

P ——暴雨重现期,a;

t ——降雨历时,min。

综合径流系数的选取遵循《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)规定,按不同地面种类的汇水面积和径流系数的加权平均计算,月浦城区排水区域内的综合径流系数为0.6。

2.2 总体方案设计

作为宝山区防洪排涝的重点地区,月浦城区每年汛期均要接受严峻考验,因此,急需完善本地区雨水排水系统。地区地势较低(与系统内河道最高水位相差无几、低于系统周边的道路、地块),难以采用自排模式,因此,采用强排模式,同时需严格划清系统边界,形成“封闭排水系统”,保证区域排水安全。根据月浦城区雨水泵站的选址(杨盛河西岸,四元路南侧,蕴川路东侧),本工程分两路雨水干管、一路雨水总管汇集,其中北干管沿北安路→龙镇

路→宝泉路→四元路敷设,雨水干管管径为 DN1650~DN2200;南干管沿绥化路→庆安路→四元路敷设,雨水干管管径为 DN1500~DN3000;自江杨北路沿四元路由东向西敷设 DN1800~DN3500 雨水总管,其余道路分别新建 DN1000~DN2200 雨水支管,均就近接入以上三路雨水干管或总管。排水系统内雨水最终经四元路雨水总管进入月浦城区雨水泵站(设计流量为 $22.2 \text{ m}^3/\text{s}$,截流污水配泵流量为 $7900 \text{ m}^3/\text{d}$,初雨调蓄池容积为 11000 m^3),本工程新建雨水管道总长约 8.13 km 。月浦雨水排水系统方案设计如图 1 所示。

由于新建雨水管道在现状道路下实施,进行海绵城市改造的条件较差,建议后续在月浦城区内老旧小区改造过程中,通过设置透水性路面、滞蓄型植草沟、雨水花园广场等海绵型措施,进一步城市生态环境,推进城市绿色发展。

2.3 排水模型评估分析

2.3.1 地面积水风险

排水模型是评估内涝风险和排水系统防汛能力的精细化手段之一^[6-7]。利用 InfoWorks ICM 水力模型软件建立排水模型,对月浦城区降雨事件及其对应的积水风险进行评估。模型参数参照上海市现行暴雨强度公式,采用降雨历时为 120 min、雨峰位



图 1 雨水排水系统方案设计图

Fig. 1 Scheme Design of Rainwater Drainage System

置系数 $r=0.4$ 的芝加哥雨型,分析月浦城区雨水排水系统改造前后的地面积水风险。当设计重现期为 3 年一遇时,对应最大小时降雨深度和峰值降雨强度分别为 51.2 mm 和 $12.8 \text{ mm}/(5 \text{ min})$;当设计重现期为 100 年一遇时,对应最大小时降雨深度和峰值降雨强度分别为 98.1 、 $24.0 \text{ mm}/(5 \text{ min})$ (图 2)。

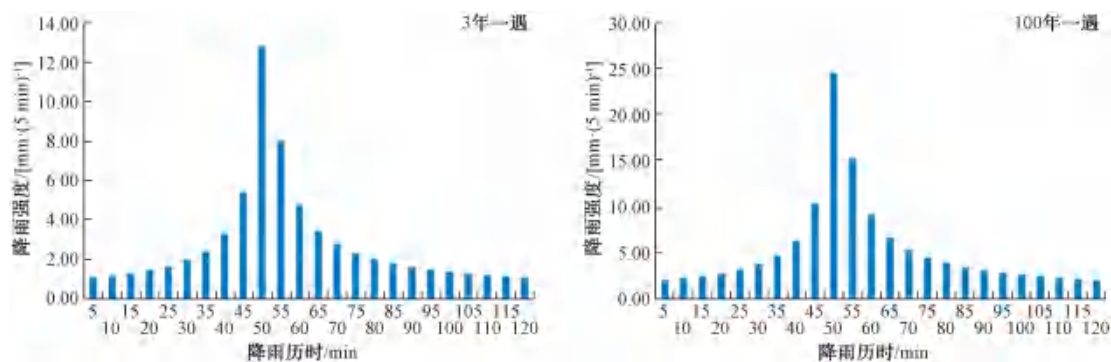


图 2 120 min 芝加哥雨型 ($r=0.4$)

Fig. 2 Chicago Rain Patterns for 120 min ($r=0.4$)

评估区域内涝风险时,以路面积水深度作为依据,当路面积水深度超过 0.05 m 时,则认为此处为易涝点。排水系统改造前、后设计降雨模拟积水状况如图 3 所示。现状管网系统在 3 年一遇设计降雨时,积水主要发生在地块内低洼地带,绥化路、春雷路、德都路和龙镇路均产生了积水,大部分积水深度在 0.15 m 以下;龙镇路和宝

泉路之间的部分低洼区域、绥化路部分区域的积水深度超过了 0.15 m ,系统内道路积水深度超过 0.05 m 的路段占所有路段的比例约为 62% [图 3(a)]。在设计降雨 100 年一遇的工况下,月浦城区内的主要道路均发生了积水情况,其中,绥化路、德都路以及春雷路上的积水范围明显增加,积水深度均超过 0.15 m ;地块内的积水范围和积

水深度也增加明显,系统内道路积水深度超过 0.05 m 的路段占所有路段的比例约为 89% [图 3 (b)]。模拟结果与现场踏勘所见地区积水现状基本吻合。

提标改造后的设计管网系统在 3 年一遇设计降雨时,可保证月浦城区内无积水产生 [图 3 (c)]。在设计降雨 100 年一遇的工况下,部分地区有少量的积水,积水主要发生在绥化路和春雷路,积水深度普遍在 0.15 m 以下;只有绥化路和春雷路上少部分区域的积水达到了 0.15 m,与系统改造前相比,易涝点明显消除 [图 3 (d)]。

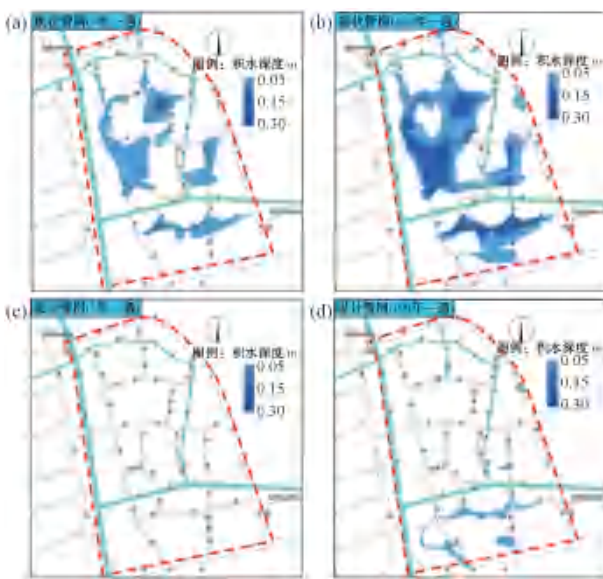


图 3 现状、设计管网系统 3 年一遇、100 年一遇设计降雨模拟积水图

Fig. 3 Simulated Road Waterlogging Situations before and after Renovation

2.3.2 系统水力条件

本工程新建雨水管道管径较大 (DN1000 ~ DN3500),设计标高受马路河、马路支河、杨盛河的影响,不可避免的存在多处倒虹。在设计过程中,需合理确定管道的管径、埋深,既要避免管道非满流运行(浪费工程投资,又会造成地下水渗入,增加泵站运行费用),又要避免雨水管道超载运行(可能造成排水不畅,地区出现积水)。根据系统水力条件(图 4),在 3 年一遇设计降雨条件下,排水管道基本处于满流状态,总管网水力坡度相对平滑,大部分管道的水力坡度与管道坡度接近,基本未出现非满管或超载的情况。

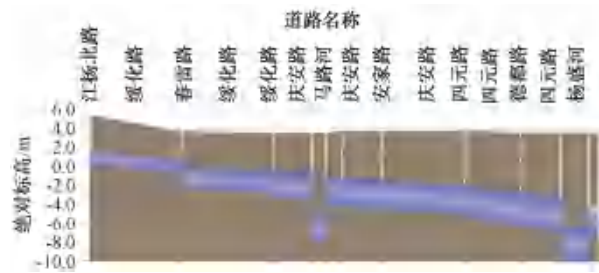


图 4 月浦城区内部分管道水力坡降线

Fig. 4 Hydraulic Grade Line of Some Pipelines in Yuepu District

3 设计重点、难点分析及解决方案

月浦城区为典型的老城区,建筑密集,现状道路狭窄,而工程需在现状道路下新建 DN1000 ~ DN3500 雨水管道约 8.13 km,因此,在提标改造过程中会遇到以下重点、难点问题:(1)提标改造过程中,对现状排水系统影响较大;(2)老城区人流、车流量较大,工程施工会对周边的居民生活和交通产生较大影响;(3)现状道路下各类公用管线错综复杂,工程实施难度大,对各类管线的影响也较大。

针对上述重点及难点问题,本工程针对性提出了应对措施,同时也对关键节点的设计进行了分析。

3.1 充分利用现状设施,减小对现状排水系统的影响

由于本工程为现状排水系统改造,应充分利用现状已达标的排水市政设施,既可以减小投资,也可以减小对现状的影响。按照 3 年一遇标准核算,龙镇路、德都路现状 DN1800 雨水管、安家路 DN1350 现状雨水管可达设计标准,予以保留利用。春雷路(马路河-绥化路)现状雨水管管径为 DN2200,但是流向与规划流向相反,本段新建 1 根 DN1350 雨水管即可满足要求。考虑到现状雨水管管径较大,埋深较深,且排水管段不长,经水力计算可满足排水要求,因此,该段雨水管考虑利用。同时,在施工期间,需做好临排措施,减少本工程改造过程中对现状排水系统的影响。

3.2 采用科学、合理的施工方案,减少对周边居民及交通的影响

本工程新建管道管径大小不一 (DN1000 ~ DN3500),埋深深浅不一 (3.0 ~ 15.0 m),加之本工程位于已建月浦城区,地区人、车流量较大,因此,施工方法的选择尤为重要。

3.2.1 施工方法的选择

管道常用的施工方法包括开槽埋管、牵引管施工和顶管施工等。在管道埋设深度不深和施工作业面条件许可的条件下,开槽埋管施工简而易行,工程造价较低;但不足是施工占地较大,周期较长,对周围环境以及交通影响较大,雨天易翻浆,晴天常扬尘。牵引管施工和顶管施工均属于非开挖施工,可远离现有建筑和地下管线,避免大面积破坏路面,降低对现状交通的不利影响。牵引管施工常用于管径 ≤ 600 mm的管道施工,为传统施工方法,成熟可靠,管材相对便宜,但检查井基坑须采用造价较高的钻孔灌注桩施工。当管道管径 ≥ 800 mm或不具备开槽埋管条件时,可采用顶管施工。根据本工程特点,经过综合比较,为减少对现状道路及交通的影响,雨水总管、两路雨水干管及过河处采用顶管施工,其余采用开槽埋管施工。

3.2.2 顶管井的设置

在顶管设计中,顶管井的数量直接决定工程造价,同时,顶管井的设置对现状交通和地下公用管线影响较大。为减少顶管井的数量,加快施工进度,降低工程造价,本工程采用长距离顶管的布置方案,经过多次现场踏勘和方案比选,最终确定顶管井最长距离为500 m。

但顶进间距加大,随即带来了管道沿线用户支管难以接入的问题,为解决此问题,采用顶管的过程中,每相距一定长度顶进1节特殊管节,然后在特制顶管管节上直接加做特殊窨井(俗称“骑马井”)的方法,井盖采用卸荷板防护措施。特殊窨井采用钢

筋混凝土结构,外采用高压旋喷桩或水泥搅拌桩做隔水帷幕,管道底部采用高压旋喷桩或压密注浆加固,特殊窨井下的管道外表面采用钢板加固,如图5所示。

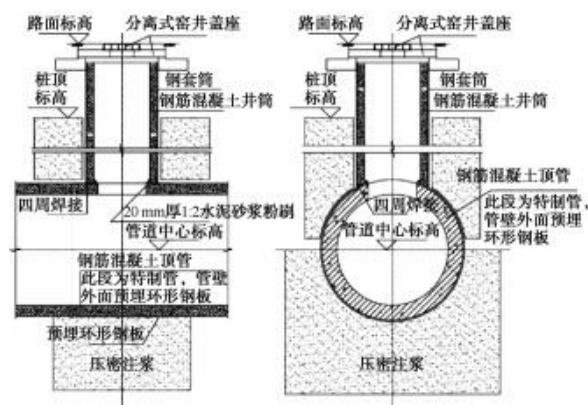


图5 长距离顶管特殊窨井示意图

Fig. 5 Specific Inspection Well of Long-Distance Jacking Pipe

3.3 减少骑马井数量,利用已建雨水管道收集路面雨水

本工程新建雨水总管、干管管径较大,埋深较深,且均采用顶管施工,若每隔30~40 m设置骑马井用于收集道路雨水,则顶管沿线骑马井数量较多,导致顶管开口较多,影响结构稳定性,且施工时也会严重影响道路交通及周边管线,失去的顶管施工的优势,同时工程造价较大。因此,本工程拟利用道路上已建雨水管作为道路雨水收集管道,将地面雨水分段接入新建雨水总管,既可节省工程造价,又可减少地面开挖,新建雨水管道与已建雨水管的衔接如图6所示。

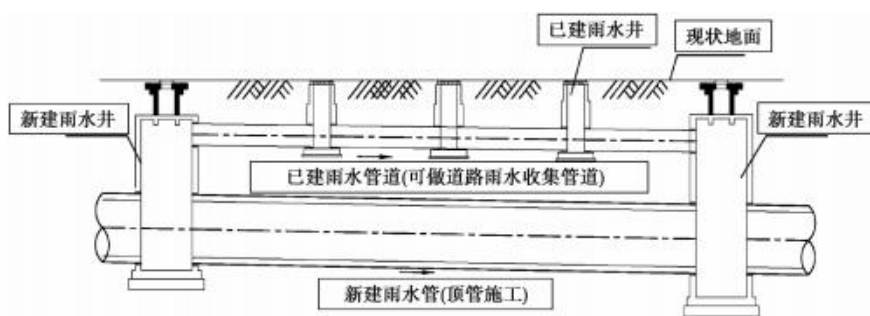


图6 新建雨水总管与已建雨水管衔接图 (顶管段)

Fig. 6 Connection between New Pipeline and Constructed Pipeline (Jacking Pipe Section)

已建管道接入新建检查井时,需先将已建雨水管道临时封堵,然后将已建管道接入新建检查井的预留孔,管道和和预留孔间的缝隙封堵后,

破除已建检查井的临时封堵,上述施工期间需考虑临时调水。已建雨水管与新建检查井的衔接如图7所示。

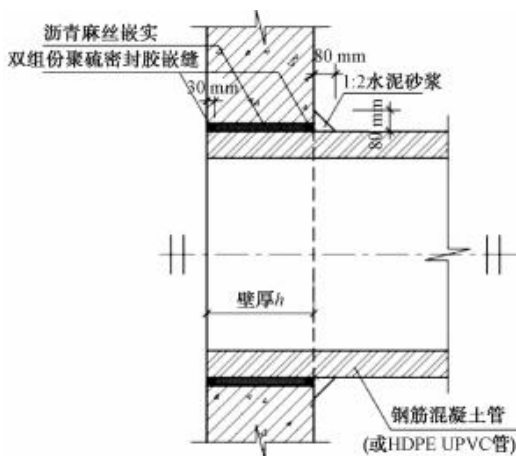


图7 已建雨水管与新建检查井衔接示意图
Fig.7 Connection between Constructed Pipeline and New Inspection Well

3.4 合理确定井位、管位,减小管线搬迁工程量

月浦城区现状道路下各类公用管线错综复杂,设计过程中不可避免会涉及到管线搬迁。本工程开槽埋管段基本为原管位翻建,对公用管线相对影响较小;顶管段管道埋深较深,各类公用管线一般位于顶管上方。因此,影响公用管线的位置主要集中在顶管井、骑马井设置的位置。在井位设置时,应尽量避免公用关系密集的位置,一定要进行管线搬迁时,需优先搬迁工程费用较低、施工难度小的管线。以龙镇路-北安路路口顶管井为例(图8),将井位向南优化调整6.2m后,避开了电信管道(18孔)、给水管道(DN300)、信息管道(20孔),减少了管线搬迁工程量,节省了投资。工程通过类似方法多次优化顶管的井位、管位,共节省管线搬迁费约1.5亿元。

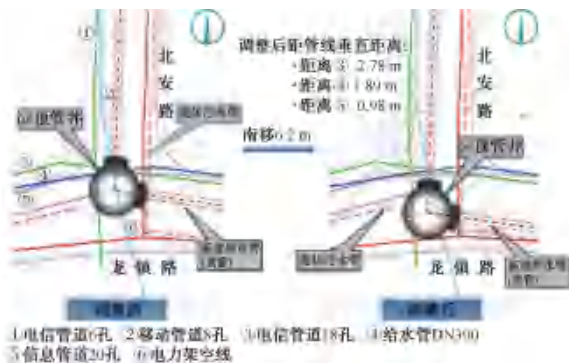


图8 顶管井井位优化示意图
Fig.8 Optimization of Jacking Pipe Well Position

3.5 关键节点设计

新建雨水管道共4次穿越马路河、马路支河、杨盛河,均采用顶管施工,以DN3500雨水总管穿越杨盛河为例,介绍关键节点设计方案。

根据月浦雨水泵站的选址及雨水总管走向,四元路上DN3500雨水总管需穿越杨盛河,拟采用顶管穿越。杨盛河位于月浦城区西部,规划河底宽度为20m,规划河口宽度为47.5m,规划河底标高为-1.0m, DN3500雨水倒虹管的管内底标高约为-10.0m,管道覆土约为5.2m,满足《顶管工程施工规程》(DG/TJ 08-2049-2016)^[8]中顶管施工时的安全覆土深度。设计雨水总管穿越杨盛河如图9所示。

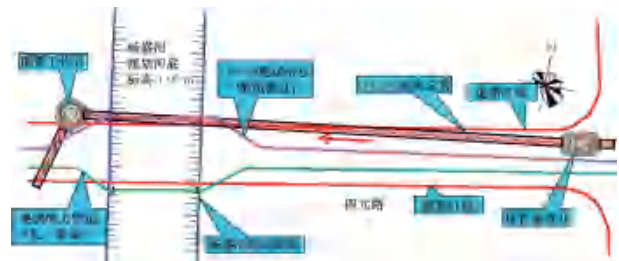


图9 雨水总管穿越杨盛河平面图
Fig.9 Planar Graph of Main Pipe Crossing Yangsheng River

根据相关规划,新建DN3500雨水总管在穿越杨盛河时与现状DN500给水管道管位重合,现状给水管道下为给水管道桥,给水管道桥有4个支墩基础,每个基础下方2根桩,共8根混凝土灌注桩,桩径约 $\varphi 800$ mm,桩长约10m。施工时首先需对现状给水管道进行搬迁,同时,考虑到在河道中的 $\varphi 800$ mm混凝土灌注桩通过直接排除的方案难度非常大,本工程采用带滚刀的顶管机头进行磨桩穿越,具体施工方法为:给水管道搬迁完成后,首先派潜水员将管道支墩在河底位置凿断外运;然后采用带滚刀的顶管机头顶进磨桩穿越。

4 结语

本文以上海市宝山区月浦城区雨水排水系统提标改造工程为例,详细介绍工程设计方案,结合InfoWorks ICM排水模型对系统内积水风险、管网水力条件进行分析,模拟结果表明,雨水排水系统改造后道路易涝点明显消除,总管网水力坡度相对平滑,基本未出现非满管流或超载的情况。针对老城区存
(下转第154页)

- [2] 张勤,李俊奇.水工程施工[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [3] 葛一楠,唐毅谦,喻晓红,等.自动化控制原理[M].北京:清华大学出版社,2011.
- [4] 陈超.控制消毒副产物的顺序氯化消毒及水处理工艺优化研究[D].北京:清华大学,2005.

【编辑推荐】供水企业的运营成本中,增压泵站的能耗占关键份额,对增压泵站能耗的优化,将极大提升供水企业的效益。文中结合实际案例,在充分研判能耗现状的基础上,研究串联叠压供水模式以及优化泵站选址对能耗优化的效果,提出方案,并通过运行进行验证,具有较强的实践指导价值。

(上接第 133 页)

参考文献

- [1] 李激,王燕,罗国兵,等.城镇污水处理厂一级 A 标准运行评估与再提标重难点分析[J].环境工程,2020,38(7):1-12.
- [2] 牟晋铭.上海某污水处理厂提标改造工程案例[J].净水技术,2020,39(3):48-52.
- [3] 周菴.活性污泥工艺简明原理及设计计算[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [4] 中华人民共和国建设部.室外排水设计规范:GB 50014—2006[S].北京:中国计划出版社,2016.
- [5] 王金翠,孙宝盛.污水生物处理中微生物次级代谢产物的研究进展[J].给水排水,2007,33(s1):165-169.
- [6] 杨枫,王圣瑞,郭伟,等.滇池入湖污水处理厂尾水 COD 降解过程及光谱特征[J].环境工程技术学报,2017,7(5):558-564.
- [7] 张玲玲,尚巍,孙永利,等.高标准下天津市津沽污水处理厂提标改造效果分析[J].给水排水,2019,45(10):37-41.
- [8] 孙欣,崔洪升. Bardenpho+深床滤池工艺用于半地下污水处理工程[J].中国给水排水,2017,33(16):82-85.
- [9] 李国金,李霞,王万寿,等.活性焦吸附工艺在市政污水深度处理中的应用[J].给水排水,2018,44(5):28-30.
- [10] 刘兴安,冯凌溪,王平,等.高出水标准下北京门头沟地下式再生水厂的设计[J].中国给水排水,2018,34(2):73-75,90.
- [11] 张鹤清,朱帅,吴振军,等.城镇污水处理厂“准IV类”标准提标改造技术简析[J].环境工程,2019,37(6):26-30,36.
- [12] 杜创,雷振,张铁源.深床滤池在污水厂地表IV类水提标改造中的应用[J].中国给水排水,2017,33(8):99-103.
- [13] ALTMANN J, JEKEL M, SPERLICH A, et al. Combination of granular activated carbon adsorption and deep-bed filtration as a single advanced wastewater treatment step for organic micropollutant and phosphorus removal[J]. Water Research: A Journal of the International Water Association, 2016(1):131-139.
- [14] 刘成,黄廷林,赵建伟.混凝、粉末活性炭吸附对不同分子量有机物的去除[J].净水技术,2006,25(1):31-33.

(上接第 145 页)

在现状条件复杂、地下公用管线多、道路狭窄、施工条件苛刻等问题,提出充分利用现状设施、顶管和开槽埋管相结合进行施工、合理确定井位管位,减小管线搬迁工程量等解决方法。对雨水总管倒虹穿越河道的关键节点进行具体分析。本工程建成后,能有效解决地区积水问题,提高地区防汛排涝能力,同时,也可对类似的已建城区排水的提标改造的设计提供思路和借鉴。

参考文献

- [1] 张辰.基于海绵城市建设理念的排水工程设计[J].给水排水,2019,55(6):1-5.
- [2] 车伍,杨正,赵杨,等.中国城市内涝防治与大小排水系统分析[J].中国给水排水,2013,29(16):13-19.
- [3] 李冰,李亚,俞露.老城区海绵城市建设指标制定和管控方法分析[J].净水技术,2019,38(s1):389-395.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.室外排水设计规范:GB 50014—2006[S].北京:中国计划出版社,2016.
- [5] 上海市质量技术监督局.暴雨强度公式与设计雨型标准:DB31/T 1043—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [6] 陶贤成.排水模型在排水系统提标改造中的应用[J].净水技术,2019,38(s1):364-367.
- [7] 娄富豪.模型技术在排水防涝双排水系统设计计算中的应用研究[D].北京:北京工业大学,2017.
- [8] 上海市住房和城乡建设管理委员会.顶管工程施工规程:DG/TJ 08-2049—2016[S].上海:同济大学出版社,2017.