DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.250346

运行工况下大型污水管涵非开挖修复技术应用

王志全
(上海市城市排水有限公司,上海市 200233)

摘　要: 随着城市的发展,城市污水输送总管在经过一定年限的运行使用后,管道老化、腐蚀严重,地基不均匀沉降加剧,以及周边环境变化,导致管道损伤破坏。污水输送总管作为城市水环境治理体系的核心设施,对污水输送总管在正常运行情况下实施修复已成为排水行业迫切需要攻克的技术难点[1-2]。以上海市已经施工完成的白龙港片区南线西段老箱涵修复、南干线改造工程箱涵修复和正在施工的合流污水一期干线修复工程为例,总结在不同的运行工况下大型污水管涵修复中应用的临排设计及施工、止水带修复、不锈钢内衬修复等技术,为类似工程提供参考和借鉴。

关键词: 大型污水管涵;临排;中导管;内衬修复;止水带
中图分类号: TU94+1　　**文献标志码:** B　　**文章编号:** 1009-7716(2026)01-0283-06

Application of Trenchless Repair Technology for Large Sewage Pipe Culverts under Operating Conditions

WANG Zhiquan
(Shanghai Urban Drainage Co., Ltd., Shanghai 200233, China)

Abstract: With the development of the city, after a certain number of years of operation and use, the main pipe for urban sewage conveyance is aging and seriously corroded, the uneven settlement of the foundation is aggravated, and the surrounding environment changes, which lead to the damage and destruction of the pipeline. As the core facility of the urban water environment management system, the repair of the main pipe for sewage conveyance under the normal operation has become an urgent technical difficulty to be overcome in the drainage industry. Taking the completed repair projects of the old box culvert in the western section of the south line, the box culvert in the south trunk line reconstruction project, and the trunk line in the Combined Sewage Phase I Repair Project under construction in Shanghai as the examples, the technologies such as temporary drainage design and construction, waterstop repair and stainless steel lining repair applied in the repair of large sewage pipe culvert under different operating conditions are summarized, which provide reference and insights for similar projects.

Keywords: large sewage pipe culvert; temporary drainage; guide pipe; lining repair; waterstop

0　引　言

运行工况下大型污水管涵的修复工程,受不同的施工条件的制约,会采取不同的施工措施。运行工况下大型污水管涵的修复首先要考虑解决的是采取措施提供原有管道的使用功能,不影响污水的排放,再根据管道的实际损坏情况采取合适的修复工艺,以保证有效延长管道的使用年限。本文根据实例,对白龙港片区南线西段老箱涵修复、南干线改造工程箱涵修复和合流污水一期干线修复工程在临排措施和管涵修复中应用的技术进行梳理及总结[3-4]。

收稿日期:2025-04-01
作者简介:王志全(1992—),男,硕士,工程师,从事排水工程建设管理工作。

1　白龙港片区南线西段老箱涵修复工程

白龙港片区南线西段老箱涵修复工程是双孔箱涵利用单孔运行条件,不新增临排设施,修复了箱涵伸缩缝漏水,防止箱涵继续不均匀沉降的工程案例,体现了双孔箱涵在后期运行检修上的优势[5]。

1.1　工程概况

白龙港片区南线西段老箱涵,为 3 300 mm×3 300 mm 的双孔箱涵,每 25 m 设一伸缩缝,全长约 4.7 km。自 1999 年建成投入使用后,始终是北孔箱涵运行状态。

1.2　工程施工条件

白龙港片区南线西段老箱涵北孔箱涵虽能保障日常输水功能,但受中隔墙多道伸缩缝严重渗漏影

响,导致南孔箱涵处于同步运行状态。如图1所示,箱涵的结构强度情况尚好,伸缩缝处存在严重渗漏现象。此类病害主要源于箱涵基础的不均匀沉降,致使相邻节段间伸缩缝产生结构性错位,缝口扩张引发渗漏通道,渗漏水体的持续冲刷会加剧地基土体流失,形成"沉降—渗漏—加剧沉降"的恶性循环,最终导致伸缩缝开度持续扩大并引发更严重的渗漏问题。

图1　中隔墙伸缩缝瀑布状渗漏

1.3　修复技术

1.3.1　临排措施

由于双孔箱涵单孔能满足日常运行需求,工程首先对箱涵中渗漏严重的中隔墙伸缩缝进行水下临时封堵,使箱涵单孔运行,对干仓箱涵进行清淤、通风,并彻底清理,达到相对较好的修复工作环境。

1.3.2　伸缩缝止水带修复

箱涵内壁渗漏的伸缩缝处采用两侧带锯齿的"Ω"形外贴橡胶止水带进行修复,橡胶止水带的锯齿部位在不锈钢化学螺栓和不锈钢压条的挤压下产生更好的水密性,"Ω"隆起部位为伸缩缝预留了变形空间,防止止水带因应力集中发生撕裂破坏[6-8]。

1.3.3　箱涵底部土体加固

如图2所示,工程对箱涵伸缩缝处两侧各3m范围内的底部进行土体加固,在箱涵两侧打两排ϕ800的高压旋喷桩,箱涵底板下打三排斜打的压密注浆桩。在土体加固过程中,需严格控制压力,并密切关注箱涵顶部标高的监测数据,防止箱涵的隆起或位移。

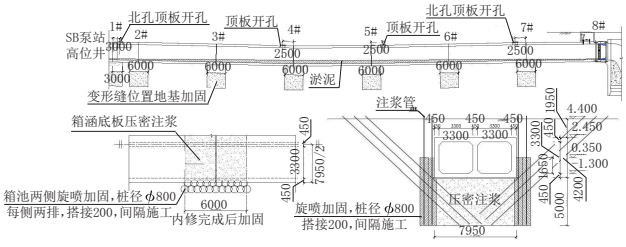

图2　箱涵顶部底部土体加固(单位:mm)

2　南干线改造工程箱涵修复

南干线改造工程箱涵修复工程是国内首次在大型污水箱涵中运用非开挖不锈钢内衬修复技术的工程。受城市干道交通组织及市政管线搬迁的影响,临排的施工进度不够理想,同时水下封堵,管道清淤安全风险高。但在临排施工完成后,干仓条件下采用不锈钢内衬修复可节约一定工期,且修复效果好[9]。

2.1　工程概况

上海市南区污水输送干线是上海市中心城区建设的第一条污水输送干线,全长约32 km,使用已超过45年。南干线1号泵站至3号泵站间的塘子泾路段及成山路路段约2 250 m 2 400 mm × 1 800 mm的污水输送箱涵受周边建设条件限制,不具备另外选线新建的可行性,需对老箱涵进行修复。

2.2　工程施工条件

南干线污水输送基本为满管运行,修复范围内的箱涵位于城市干道下,交通流量大,地下管线复杂。如图3所示,顶板底部混凝土腐蚀较严重,混凝土保护层厚度明显减少,横向钢筋已经腐蚀,部分顶板腐蚀严重,粗骨料外露,钢筋普遍外露。如图4所示,侧壁主要缺陷为保护层剥落,粗骨料外露,未露筋。箱涵底板未发生明显腐蚀。

图3　检查井处箱涵图

图4　检查井处箱涵图

2.3　修复技术

2.3.1　临排措施

根据污水流量和地下管线分布情况,将成山路段约 1 770 m 的箱涵分为 4 个修复段,减少每个修复段的污水输送距离,提高运行安全。箱涵顶板表面埋深约为 2 m,在箱涵正上方浅埋敷设 3~4 根 DN500 钢管,上游设置临泵井并配备两台冷备用泵,污水抽至高位水箱通过临排管排至下游入流井中。如图 5 所示,临排管施工完成投入使用后,对箱涵进行封堵,封堵时内嵌钢管在堵头内,应急时开启钢管进行临时排放,确保汛期污水输送安全有序。封堵完成并清淤通风后使箱涵达到干仓条件。

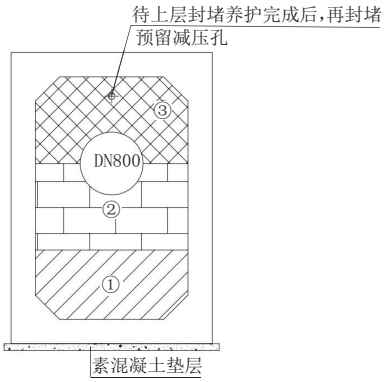

图 5　箱涵封堵截面图

2.3.2　顶板修复

顶板修复前,对箱涵内壁四周凿毛洗净,去除松散混凝土。工程对顶板修复采用植筋→焊接钢筋网片→喷涂高强砂浆进行处理,以此恢复顶板的承载能力。

2.3.3　伸缩缝修复

如图 6 所示,为减少对原有混凝土结构的破坏,工程采用非破坏伸缩缝修复技术,即在保留原有中埋式止水带的基础上,于箱涵内侧增设“Ω”形橡胶止水带形成复合防水体系。原中埋式止水带作为堵漏层,新设“Ω”形橡胶止水带作为防水层,确保防渗效果[6-8]。两者间设置的泡沫板以及止水带“Ω”形构造,以维持伸缩缝的变形适应能力。该修复技术在实现零结构损伤的前提下,成功维持了伸缩缝的原有功能与长期稳定性。

2.3.4　不锈钢内衬施工

在顶板和伸缩缝修复完成后,依次安装焊接不锈钢侧板和顶板。安装完成后,对箱涵底板进行铺钢筋网,浇筑无机防腐砂浆修复。灌浆时,如图 7 所示,侧板分层及两侧同步灌浆使灌浆更为密实,减小侧板水平受力,使两侧压力保持一致,减少不锈钢内

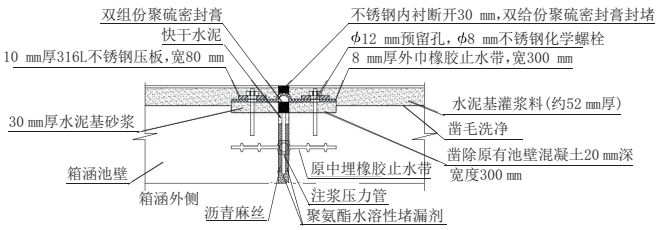

图 6　非破坏伸缩缝修复详图

衬的变形。如图 8 所示,不锈钢顶板采用分层浇筑,使砂浆得到充分流动,砂浆中的气泡能够尽可能排出,且防止砂浆中的大颗粒集中在底部,避免砂浆层的强度在高度方向上差异较大。图 9 所示为箱涵修复完成后的照片,不锈钢内衬无变形鼓包,施工效果良好[10-12]。

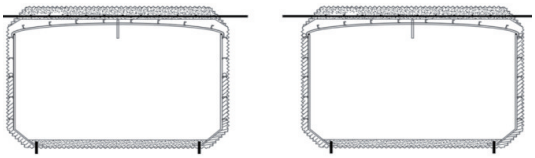

图 7　不锈钢侧板灌浆示意图

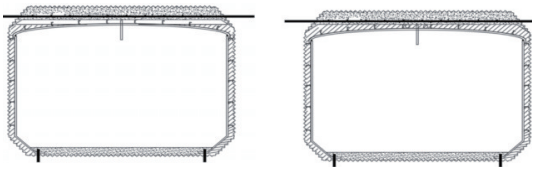

图 8　不锈钢顶板灌浆示意图

图 9　修复完成照片

3　合流污水一期干线修复工程

合流污水一期干线修复工程在较大的污水输送需求和复杂的外界条件下,临排措施首次采用了中导管加地面浅埋或明排临排管道相结合的方式营造管道干仓环境,管道修复采用了不锈钢内衬修复技术,修复效果良好。

3.1　工程概况

合流污水治理一期工程是为了解决上海市中心区河道的污染而进行的污水工程,于 1993 年 12 月

29 日建成通水,运行至今已接近 30 年,运行期间曾多次因渗漏水等隐患进行过抢修,受限于总管水位限制,基本均采用外部维修的形式,并未对管道内部进行修复。合流污水一期干线修复工程是对彭越浦泵站上游 16#至 11a#的现状约 2 433m 的 DN3500 钢筋混凝土管道进行运行工况下的非开挖不锈钢内衬修复。

3.2　工程施工条件

合流污水一期管道运行 16#井至 14#井间旱季峰值流量为 5.8 m^3/s,14#井至武 1#井旱季峰值流量为 9 m^3/s,下游管道旱天平均水深达到 1.8m。如图 10 所示,管道顶部腐蚀较严重,混凝土保护层有损失;侧面、底部腐蚀一般,混凝土强度尚好。如图 11 所示,工程沿线市政设施多;管道全线被内环高架“骑跨”;地下管线复杂,与轨交 14 号线、武宁路隧道等重要市政设施并行、交叉;沿线交通繁忙。

图 10　管道钢筋裸露

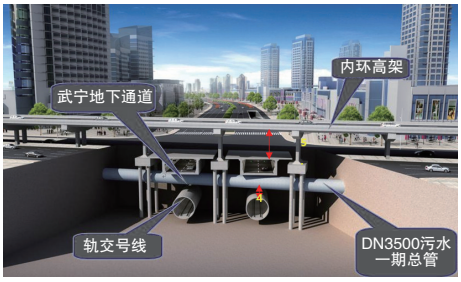

图 11　管道周边环境

3.3　修复技术

3.3.1　临排措施

工程沿线受市政设施多、地下管线复杂、被内环高架“骑跨”、沿线交通繁忙、现有设施侵占井位等周边环境影响,地面或浅埋排管应尽量减少。工程首次采用中导管临排+地面临排相结合的形式确保污水输送。在现状合流污水一期总管内设置一根 DN1400 中导管,转输来自上游的合流污水,为合流总管修复创造干仓条件。中导管可提供一定的临排输水能力,同时留给了工人施工的空间。如图 12 所示,工程地面临排管采用 1 根 DN1600 钢管,设置 8 座临泵井根据输送流量配泵,每个临泵井配一台冷备用水泵。8 个污水输送段,配备 8 个高位水箱,上游合流污水经临泵提升后排入高位水箱,再通新建地面临排管接入下游接收井内,为了保证在大水量下临排的运行安全,施工阶段将高位水箱尺寸增大,给予更大的容量缓冲。

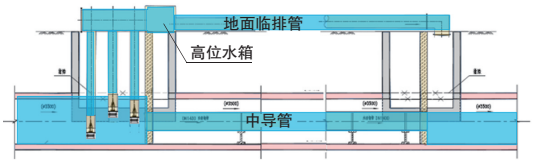

图 12　中导管+地面临排措施

如图 13 所示,干线总管输送不确定因素较多,为了保证污水输送安全,在施工段临泵井和接收井内设置插板门,在总管顶部标高上设置电动闸门,打开闸门用于污水应急输送,可恢复总管的输送能力。

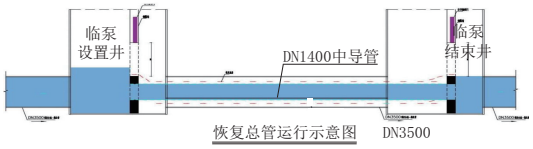

图 13　应急恢复总管运行示意图

在上游泵站夜间停泵水位降低后,开始中导管施工,工作井间距约 200 m。如图 14 所示,DN1400 钢管两侧安装法兰,并焊接,每节管长 3 m;通过 15 t 折臂吊车或自制龙门吊把 DN1400 钢管从下游井吊装至井底,在不断流管道带水的情况下将中导管用运输小车推送就位连接固定。

图 14　中导管吊装运送

3.3.2　管道检测

工程设计阶段,分别采用高清长距离 CCTV 游筏摄像、CCTV 游筏摄像及 QV、无人机飞行球等措施对合流一期管道进行了总体探检,管道在 12 点方向管道露筋率 52%,3 点、9 点方向管道露筋率 24%,6 点方向管道露筋率 10%。管段腐蚀、强度降低、井壁及顶板钢筋或卵石完全显露,部分管段已达到 3 级重度腐蚀。

管道干仓后,进行钢筋保护层厚度检测、回弹仪测管壁强度检测、取样抗压强度检测等二次探检,经检测发现 2 条变形缝处锈蚀严重;管道 3 点和 9 点方

向混凝土抗压强度推定值在 50.3~58.3 MPa 之间;管道 3 点、9 点和 12 点方向内表面混凝土腐蚀严重,粗骨料外露,钢筋未外露部分实际有效的保护层厚度比检测值低 5~20 mm。管道 12 点方向管道露筋率 52%;3 点、9 点方向管道露筋率 24%;6 点方向管道露筋率 10%。二次检测表明:管道顶部腐蚀较严重,混凝土保护层有损失;侧面、底部腐蚀一般,混凝土强度尚好。

3.3.3　不锈钢内衬施工

在原管道变形缝处有地下水渗漏时,先进行堵漏,如原管道有较大破损、凹陷、先采用环氧类材料(必要时贴钢板)进行局部修复。工程在原 DN3500 混凝土管道内采用 8 mm 不锈钢内衬分块焊接成环作为内衬,不锈钢管片内直径约 3 400 mm,每环不锈钢内衬由 4 片组成,每片环宽约 750 mm,长约 2 670 mm,重约 127 kg,垂直运料采用定制龙门吊或吊车,管内水平运料采用定制小车。

如图 15 所示,不锈钢内衬拼装前在弧形外侧(与壁后浆体接触侧)加焊栓钉,以增加不锈钢内衬与壁后注浆体的整体性,栓钉采用 HBB400 短钢筋,每块不绣钢板内衬不少于 6 根栓钉。如图 16 所示,不锈钢内衬拼缝之间采用等强度手工满焊连接,焊缝等级为一级,相邻环的纵缝应保持错缝拼接。不锈钢内衬之间设置一组变形缝,与原管道接缝位置对齐,缝内填充嵌缝材料并设置一道钢边橡胶止水带。

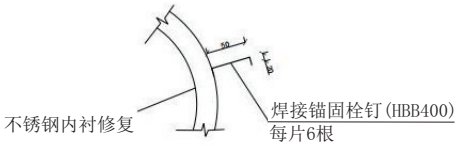

图 15　不锈钢管片锚固栓钉详图

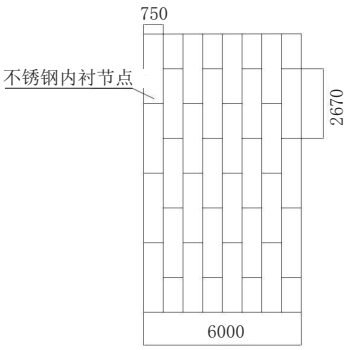

图 16　不锈钢管片错缝平铺图(单位:mm)

在不锈钢内衬安装完成后,采用自密实微膨胀水泥基灌浆料进行壁后注浆,厚度约为 5 cm。如图 17 所示,支撑采用满堂式支撑,在管道上半部分等间距设置 5 道支撑,下半部分利用中导管支架,钢管与不锈钢接触部分采用定制弧形垫片,防止钢管的滑移和对不锈钢管片的磨损。将注浆料按规定比例拌和,以变形缝止水带为界,6 m 一个区间,上下左右四点分三阶段逐步注浆,保障内衬与原管道间的注浆饱满,注浆体凝固后与不锈钢内衬和原管道一起构成复合内衬[10-12]。

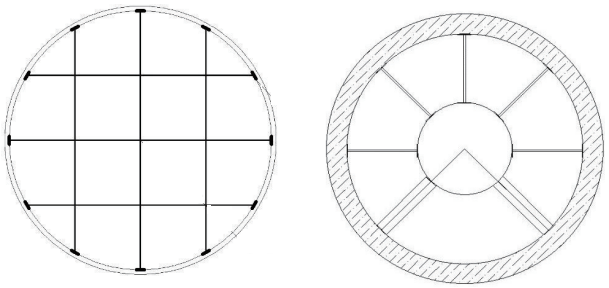

图 17　满堂式钢管支撑示意图

4　结　语

运行工况下大型污水管涵修复主要涉及临排措施和管涵修复。通过对三个不同施工条件下大型污水管涵修复技术的研究,得出以下结论为类似工程提供参考和借鉴。

(1)留有一定污水输送余量的双孔管涵可减少管涵修复时对临排设施的要求,提高管道运行安全,对管涵的检维修和修复提供便利。

(2)大型污水管涵修复采用不锈钢板内衬具有较高的强度,防腐能力与耐久性,在污水环境中服役使用寿命更长,且表面较为光滑,流动阻力小,可有效减少管道过流断面损失。

(3)管道结构检测结果是设计修复方案的依据,由于设计前期管道在运行情况下条件受限,检测报告是局部的不完整的,必须在干仓情况下进行详细探检,明确检测内容和要求,对管道腐蚀程度,结构受损情况做出科学的判断,为管道修复方案的优化完善提供依据[13-15]。

(4)合流污水一期干线修复工程成功运用地面临排+中导管输送的形式作为临排措施,是一种创新模式,可为类似工程提供指导和借鉴。

(5)在管道内通风情况良好,材料运输便利的情况下,可以适当延长作业井间距,减少井位数量,但壁后注浆距离仍应根据注浆效果确定,不宜过长。

(6)临排管道是运行工况下大型污水管涵非开挖修复工程的重要设施,在做交通组织方案时,要留有足够空间布置防撞设施保护管道。

(7)运行工况下大型污水管涵非开挖修复施工

工人作业安全风险大，且修复工艺工序单一，在后续工程中应积极探索不锈钢管片机械运输、自动化安装焊接等机械化施工方法，提高安全及效率。

参考文献：

[1] CJJ/T210—2014，城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程[S].
[2] DB11/T 1594—2018，城镇排水管道检查技术规程[S].
[3] 徐春蕾．大口径排水箱涵常见损伤及修复技术浅谈[J]．城市道桥与防洪，2018(8)244-246.
[4] 范旭．箱涵渗漏防治施工技术浅析[J]．四川建筑，2019(2)：301-302；305.
[5] 白占伟．运行中双孔污水箱涵修复技术[J]．城市道桥与防洪，2015(7)：199-202.
[6] 王非．大型排水箱涵变形缝修复技术浅谈[J]．城市道桥与防洪，2016(7)：216-217.
[7] 张鸣洲，唐文武，卢振江．运行中水下排水箱涵变形缝渗漏防治施工技术[J]．珠江水运，2024(9)：140-143.
[8] 卢军燕．中埋式止水带的施工方案．科技传播，2012(13)：149.
[9] 王志全．非开挖修复技术在大型排水箱涵修复中的应用[J]．城市道桥与防洪，2022(9)：166-168.
[10] 李瑞典．不锈钢内衬修复技术及其应用研究[J]．河南城建学院学报，2022(6)：59-64.
[11] 冯峻．不锈钢全断面内衬技术对重大排水管道保护的应用[J]．山西建筑，2023(10)：193-195.
[12] 赵泽鹏，朱钢，聂青．浅谈城镇排水管道非开挖修复技术[J]．城市勘测，2023(增刊1)：76-81.
[13] 余凯华，鲍月全，谢永健，等．既有大口径排水箱涵结构检测及其安全性分析[J]．给水排水，2017，43(2)：119-122.
[14] 谢永健，鲍月全，李宁．大口径排水箱涵混凝土结构腐蚀实例研究[J]．给水排水，2019(9)：121-123.
[15] 江章景．矩形排水管道结构检测评价与修复技术研究[D]．北京：中国地质大学(北京)，2020：105.

(上接第282页)

等多方面的内容与思考。以期为类似工程项目的推进提供有力地支撑和借鉴。助力更多城市建设高效、安全的市政排水系统，为中国式现代化发展贡献更多力量。

参考文献：

[1] 华建集团上海建筑设计研究院．轨道上的紧凑城市-高铁站枢纽区域的站城融合设计[EB/OL].(2024-11-28)[2025-02-10]. https://mp.weixin.qq.com/s/wVUaqlwvdKBPFGXTA2RxXg/20241128/20250210.
[2] 汕头日报，站城融合、零换乘！汕头高铁站将建成粤东规模最大、交通接驳功能最齐全的铁路枢纽站[EB/OL].(20200531)[2025-02-10]https://mp. weixin. qq. com/s/yjv3HH9qrGqYxcaUHZVeXw/20200531/20250210.
[3] 陈东华．城镇雨水系统构建浅谈[J]．城市道桥与防洪，2023(1)：118-121.
[4] 宋德琴．站城融合背景下综合交通枢纽投资控制要点[J]．城市道桥与防洪，2022(8)：250-252.
[5] 胡国文．城市轨道交通站城一体化综合开发研究[J]．城市道桥与防洪，2024(12)：154-156.
[6] GB 50014—2021，室外排水设计标准[S].
[7] GB 50289—2016，城市工程管线综合规划规范[S].
[8] 张莹，徐明．旧路改造中的排水问题方案研究——以西宁湟中路改造工程为例[J]．城市道桥与防洪，2022(11)：122-124；160.
[9] 袁晓宇，刘晓天，刘克达，等．针对新建给排水管线接入现状市政管网系统的设计与思考[J]．城市道桥与防洪，2023(11)：114-117.
[10] 薛百良．雄安高铁片区市政排水管网设计经验总结[J]．城市道桥与防洪，2023(2)：120-122.