

基于模块化拼装综合管廊防水技术研究

李 鹏¹, 杨志远², 杨建华², 李 亮³

(1.湖北省城建设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430050; 2.华中科技大学, 湖北 武汉 430070;
3.中信建筑设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘 要:近年来,随着国家绿色、优质及创新理念的推进和发展,在综合管廊的建设中,预制拼装技术的占比逐年增高,它克服了现浇地下综合管廊在施工、运营方面的诸多不足。地下综合管廊及其构筑物作为地下工程,防水措施可靠一直是人们所关注的核心,而作为具有更多拼缝和接头的预制拼装管廊,其防水问题更为突出。现通过对采用不同拼装方式的矩形、圆形、梨形等预制拼装综合管廊的防水技术进行分析和讨论,探究了模块化管廊多种拼接缝和变形缝的防水措施,重点讨论了管廊组合结构形式、防水工艺、防水材料及其防水性能,总结提出合理有效的防水成套技术,并分析其经济效益。该研究成果在一定程度上改善了预制拼装管廊的防水性能,有望在模块化预制拼装管廊、地铁管片拼装等类似工程应用中推广。

关键词: 预制拼装综合管廊;模块化结构组合;防水性能;变形缝;拼装接头;放水试验

中图分类号: TU94+3.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)05-0237-05

0 引 言

综合管廊是在城市规划预留的地下建造一个管线隧道空间,将给排水、供热、电力、通信、燃气等各类管线集于一体,设置有专项检修口、吊装口,以及系统监测设施^[1]。以预制件为主体的管廊结构,不仅降低了成品材料消耗,整体结构受力合理、抗腐蚀能力和使用寿命也显著提高;而且预制件的生产可实现标准化、工厂化,现场拼装可大大提高施工的效率,建设成本可得到有效降低。预制管廊工厂化生产能够保证结构尺寸精度,同时也可以提高城市综合管廊安装中的施工质量;这种施工方式无需周转施工设备,也不会占用大片场地堆料,施工周期明显减少并且可控,从而达到减少建设成本的目的。但由于预制综合管廊是拼装构件,存在诸多接头和接缝,其防水技术一直是阻碍预制综合管廊发展的重要难题^[2]。因此,综合管廊在设计建造时,必须从实际出发,优化结构组合骨架,充分综合考虑其结构体系防水、防渗问题。这对减少综合管廊的运营成本、延长使用寿命具有重要的意义。国内外诸多学者对综合管廊特别是预制拼装综合管廊的标准化建设、建成后运营和防水等开展了一些研究工作^[3-5]。李辉^[6]对管廊不同部分防水技术及施工方法进行了总结,认为按照

其设计标准和结构要求选用管廊防水材料时,还应当综合考虑材料的耐腐蚀性和耐水压,以及抗渗性;严林^[7]通过研究预制综合管廊采用多道防水的结构设计,总结了管廊接头的防水密封与后期的维护防水密封的技术方案,具有较大的工程应用价值。

巴黎已建成了长达2 100 km的地下综合管廊系统,是目前世界上建成综合管廊里程最长的城市^[8]。日本已建成了近1 100 km的共同沟,是目前世界上建设速度较快,法规较完善,技术较先进的国家^[9];前苏联在列宁格勒与基辅市的重建过程中,首次使用了预制拼装技术现场装配综合管廊,这一技术的出现,对世界城市地下管廊建设具有深远的影响。国内自二十世纪五十年代开始就着手对装配式综合管廊进行了研究。但由于装配式管廊接口处密封性能较差,漏水、渗水现象时有发生等原因,预制拼装综合管廊的建设在比较长的一段时间内发展几乎停滞。预制拼装管廊接头防水密封性能已成为制约综合管廊建设和发展的一个重要因素之一。故如何提高预制综合管廊的防水密封性能,确保管廊在长期使用过程中不出现渗漏现象,已成为当前需要克服的重要难题^[10]。

现基于矩形模块化预制拼装管廊结构组合分析,探究预制管廊多种拼接缝和变形缝等防水措施,对管廊组合结构、防水材料、防水措施、防水性能进行了重点分析,总结得到合理有效的防水成套技术,并分析其经济效益,以期在预制拼装管廊的防水难题和经济

收稿日期: 2022-01-19

作者简介: 李鹏(1965—),男,硕士,教授级高级工程师,从事道路交通工程设计与研究工作。

效益上有所突破,并为地铁管片及管廊模块化拼装在工程建设上的推广应用提供参考。

1 预制拼装管廊结构型式和防水模式

1.1 普通预制管廊结构型式

综合管廊主体工程采用 C30 抗渗混凝土,其抗渗等级主要依据地下水位情况、结构抗渗要求来确定。一般来说,预制拼装综合管廊防水等级通常都采用二级防水标准,若有高压电缆、通讯传输线路、弱线路等重要线路进入管廊则应该将防水等级设为一级。目前,综合管廊的施工方法主要为现浇法和预制拼装法。其中,预制拼装法组合方式如图 1 所示:采用可自由拼装的定制铝模板,通过模数化的预制底板、预制顶板、预制外墙、预制 U 型板等自由组合,通过后浇段、现浇带及台阶式连接方式,以快速适应综合管廊各种断面尺寸,同时采用自动控制蒸汽养护措施,可以有效保证管廊组合节段预制质量。预制管廊拼装节段采用柔性承插口代替传统刚性承插口,企口连接处设置遇水膨胀橡胶圈和弹性橡胶密封圈。这样可较好地适应构件地基沉降等影响。

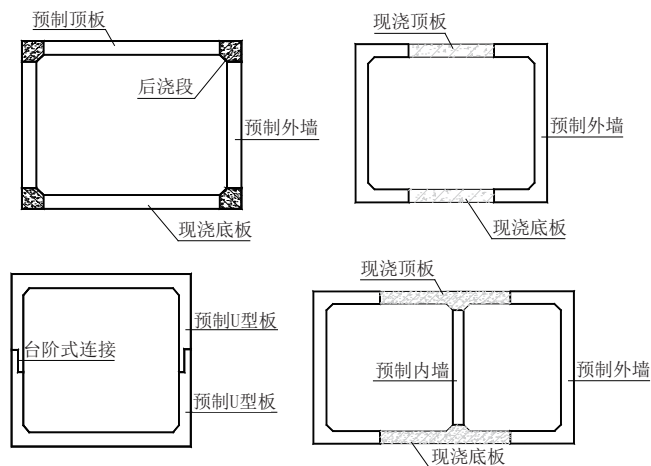


图1 方形管廊拼装组合示意图

预制拼装综合管廊的型式多种多样,孙蓓^[1]等对管廊连接节点的应力分布进行了分析,得出结论:“当接口节点采用双橡胶圈时,应力集中现象不明显,相较于刚性连接的方式,管廊采用这种柔性连接方式承载能力更高,且在软土基础中管廊结构的稳定性有更充分的保证”。依据预制管廊模块化组合空间单元分析、模块组合计算、拼装后的防水措施等综合因素,确定预制管廊单元组合,综合考虑节点受力分析、拼装工艺、接缝防水及施工方便等要求,最终确定最实用、最经济的拼装形式为图 2 所示。

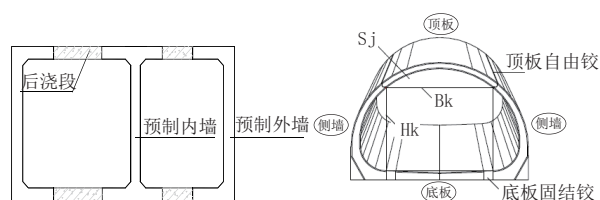


图2 不同组合优化后计算模型简图

1.2 预制管廊防水设计

综合管廊主体工程防水施工技术根据建筑材料特性分为涂料式防水和卷材防水两种方式,通过构建内部、外部防水体系达到防水效果。其中,重点是横向的沉降缝、纵向的水平施工缝,以及垂直施工缝是最主要的结构接缝,也是综合管廊防水核心。管廊构件现浇法主要采用预埋止水带密封条加填充沥青棉絮,以及外刷沥青等措施进行防水密封处理。即是:管廊按照规范要求节段设置沉降缝,相邻两节采用预埋桥式橡胶止水带连接,沉降缝内用沥青麻絮填充,在管廊外壁刷沥青布封闭及盖板上表面刷密封胶,以期达到防水目的;但该多道防水措施存在可靠性差、耐久性不足、施工不便、工艺繁多及防水成本大等缺点。预制管廊拼装法采用柔性连接,即是双橡胶密封圈密封加双组份密封膏的接头型式^[7]。采用这种拼装组合连接具有可靠性高、耐久性强、施工安装方便,以及防水性价比高等诸多优点。其中,双层橡胶圈模式在纵向上缺乏弹性活动空间,在发生沉降变形时容易产生轻微错位,致使两节段间出现孔隙,导致漏水。因此,采用这种连接方式往往需要和后张拉工艺配合,以提高其防水能力。模块化拼装法是总结两种防水方法优缺点,在综合拼装的组合结构、防水材料及连接方式的基础上进一步提升结构的防水性能。现通过模块化结构优化,并参照地铁管片错缝拼装做法,在全断面结构拼接缝、变形缝、施工缝防水措施上寻求突破。模块化拼装法中横向接头采用凹凸榫槽或承插形式的企口型接头,增加了接头间接触面,延长了防水路径,可有效提升防水密封性。同时,在接头处使用复合型遇水膨胀型橡胶条,这种橡胶条在防水过程中,橡胶会吸水使其自身体积膨胀增大,并与混凝土产生较大的接触压力,从而达到防渗的目的。

2 模块化拼装管廊结构型式及防水措施

2.1 模块化预制管廊结构型式

现以某城市综合管廊工程为例。该项目地下管廊设计总长 1.73 km,管廊布置在北侧绿化分隔带

内,管廊断面尺寸 $B\times H=10.4\text{ m}\times 4.8\text{ m}$ 双仓结构,容纳给水管、10~110 kV 电力、110~220 kV 电信及部分中水管。结构防水等级不低于二级,主要包括混凝土结构自防水、变形缝、施工缝防水及结构外侧防水涂料、卷材防水;抗渗等级 P8。根据综合管廊施工现场的水文地质条件及相关抗渗要求,综合管廊主体结构选用 C30 抗渗混凝土。通过计算最终确定双仓预制管廊形式(如图 3 所示),采用 $1.65\text{ m}+7.1\text{ m}+1.65\text{ m}=10.4\text{ m}$ 组合。

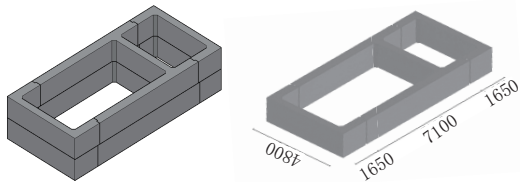


图 3 方形管廊拼装示意图

2.2 模块化拼装管廊结构选型

先通过管廊结构分析计算,综合考虑结构整体性和结构受力性能,选择力学性能最优的分块方式,将管廊分片拼装组合,然后研究上下管片接缝衔接,选择防水性能最优的接缝构造形式和连接方式,最后模拟节段接头及企口纵横向拼装连接。模块化拼装管廊采用双橡胶密封圈密封加双组份密封膏的柔性接头型式。设计从结构自防水层、施工缝防水措施、结构外包防水及预制拼装管廊接片连接四个方面进行综合考虑。如图 4、图 5 所示,构件块与块横向往之间设置 4 个手孔通过弧形螺栓连接,节段间纵向设置 3 个手孔通过弧形螺栓连接。设置手孔数量和位置是在保证构件防水、防渗特殊要求的前提下,通过空间受力分析避免应力集中优化后确定的。

2.3 模块化拼装管廊防水设计

2.3.1 结构自防水设计

该综合管廊结构采用 WHDF 刚柔结合防水方案。该防水措施是以具有抗裂抗渗(抗渗等级不低于

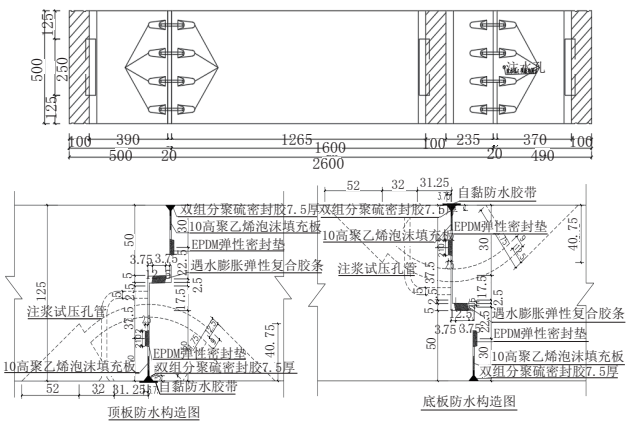


图 4 管廊 1:4 缩尺模型弧形螺栓连接图(横向往缝)

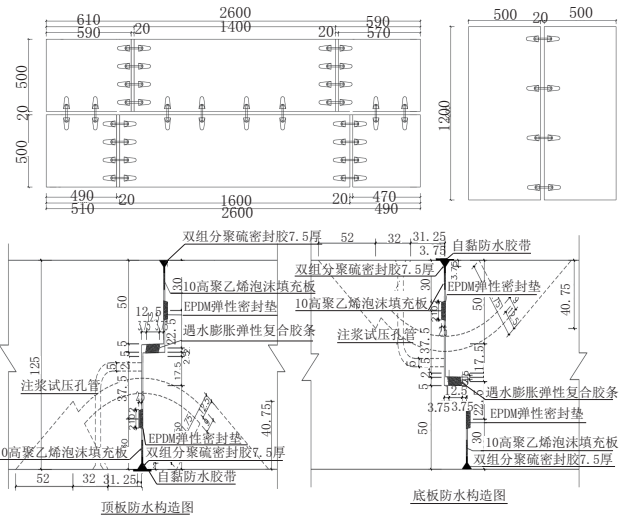
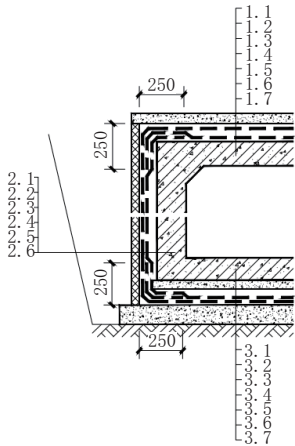


图 5 管廊 1:4 缩尺模型弧形螺栓连接图(纵向接缝)

P12) 自防水能力的地下结构混凝土为防水主体,以抗裂防水砂浆为附加外防水层,辅以细部处理的防水体系。具体做法:20 cmWHDF(防水)砂浆抗裂防水层+细部处理层+抗裂防水混凝土底板(侧墙或顶板)+100 cmC15 或 C20 细石混凝土垫层。在防水卷材、防水涂料、塑料防水板、膨润土防水材料、防水砂浆、金属防水板等六种防水材料中选一至二种即可,如图 6 所示。



3. 1-WHDF抗裂防水混凝土底板

3. 2-50厚C20细石混凝土保护层

3. 3-20厚WHDF-S抗裂防水砂浆防水层

3. 4-卷材或涂料防水层

3. 5-刷基层处理剂一遍

3. 6-100厚C20混凝土垫层(原浆表面抹平)

3. 7-素土夯实
1. 1-覆土或面层按工程设计

1. 2-50~70厚C20细石混凝土保护层

1. 3-0.4厚聚乙烯膜

1. 4-卷材或涂料防水层

1. 5-刷基层处理剂一遍

1. 6-20厚WHDF-S抗裂防水砂浆防水兼找平层

1. 7-WHDF抗裂防水混凝土顶板
2. 1-黏土分层夯实

2. 2-30厚挤塑聚苯乙烯泡沫板保护层用建筑胶粘贴

2. 3-卷材或涂料防水层

2. 4-刷基层处理剂一遍

2. 5-20厚WHDF-S抗裂防水砂浆防腐水兼找平层

2. 6-WHDF抗裂防水混凝土侧墙

图 6 WHDF 刚柔结合防水作法图示

2.3.2 结构外包防水措施

保证综合管廊防水性能,除了要提高混凝土材料的防水能力外,还要对管廊外包防水材料。外包防水措施使用的材料根据力学特性可以分为刚性材料和柔性材料。刚性材料以砂浆和混凝土等为主,柔性材料包括结构表面涂膜和防水卷材等。

该管廊采用混凝土有机硅防水剂+复合自粘防水卷材的防水构造形式。在进行管廊施工中,使用有机硅防水剂和复合自粘防水卷材,将管廊底板、顶板、侧壁进行全方位覆盖,在结构外层形成一层防水包裹层。注意在施工过程中,在施工有机硅混凝土防水剂时,先在管廊钢筋混凝土外表面涂抹两遍,待其深入表面一定深度再进行复合自粘防水卷材的施工;在结构的接缝处要实施两层防水卷材,防水卷材的设置宽度要根据工程的实际情况而决定。实施完卷材的防水程序后,还需要在卷材外铺设一层厚泡沫板材,用来作为卷材的保护层,防止卷材因外力破损导致管廊整体的防水功能受到减弱、破坏。

2.3.3 接头防水构造

该综合管廊采用柔性的接头型式,其具有可靠性高、耐久性强、安装方便与性价比高等诸多优点^[12]。这种连接的管廊接口内层有三元乙丙(EPDM)橡胶密封垫密封,外层有双组份聚硫密封膏(如图4所示)。其中,EPDM密封垫是主要的防水材料,其防水机理是利用接触界面的压应力从而达到防水目的。同时,管廊接头处具有较大的变形能力,在拼缝发生错动时,依旧保证拼缝的密封性,具有抵抗不均匀沉降、变形、倾斜地基的能力;管廊拼接后呈柔性结构,无需要纵向约束,可满足纵向上的抗震要求。

2.3.4 密封垫防水试验

弹性密封垫的截面一般为多孔梳形,这种截面形式可以使弹性密封垫具有较大的压缩性和较高的弹性,该管廊采用了图7所示的密封垫截面形式。预制拼装综合管廊接头处是否具有良好的防水性能是首要考虑的问题,而接头企口内层的密封垫又是防水的主要部分,其防水性能是否满足要求至关重要。为此,将通过试验来验证所设计的接头防水构造的防水性能。

密封垫防水试验采用图8所示装置。该装置具有以下特点:(1)试验装置的沟槽尺寸与分块式预制管廊接缝密封垫沟槽尺寸一致,用密封垫填充沟槽,形成一个密封环境;(2)试验装置的模拟接缝张开量

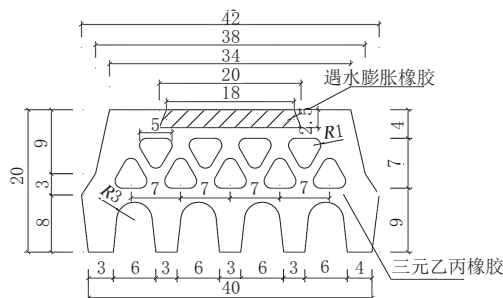


图7 密封垫尺寸图

可用塞尺调节和测量(3)试验装置上配备1个压力表,测量精度大于0.01 MPa。

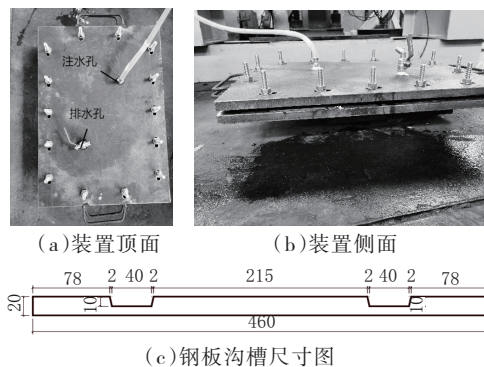


图8 试验装置示意图

试验中,通过紧固直螺栓来控制上下钢板的间距。根据实际管廊接缝的情况,该项试验钢板间距选取12 mm,而初始水压则选取0.05 MPa、0.10 MPa、0.15 MPa、0.20 MPa这四种工况,试验过程记录每种工况下0~30 min的水压表读数,以及渗水情况。实验结果如图9所示,各个工况下均未出现渗水现象。

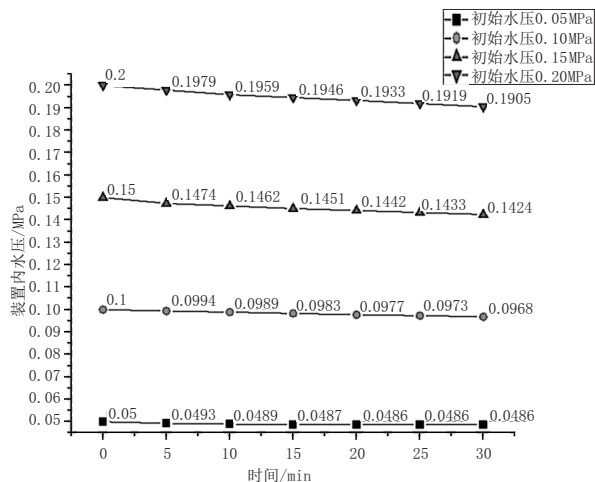


图9 装置内水压时程变化图

分析试验结果可以得知,随着初始水压的增加,初始水压从0.05 MPa加到0.2 MPa,30 min内水压损失不断上升,30 min左右曲线已变得很平缓,说明密封垫的抗渗防水能力在减弱,但均处在一个很小的范围内(2%~5%);同时,根据相关规范,混凝土P8抗渗等级的要求是混凝土在能抵抗1.0 MPa的静水

压力而不渗水,在 0.02 MPa 初始水压工况下 30 min 后,密封垫仍然能维持 0.1905 MPa;因此,密封垫的防水性能能够满足要求。

3 模块化预制管廊经济社会效益分析

预制拼装综合管廊与现浇式综合管廊具有不同的生产模式,其技术要点、施工技术、施工管理与组织等方面均有显著不同,导致在建设过程中所发生的费用类型与数量也有很大的不同^[13]。综合管廊的建设总成本应当包括直接建设成本和间接影响成本两个方面。直接建设成本主要为土建成本,主要包括综合管廊结构建设成本和基坑开挖与支护成本。对于预制拼装综合管廊,结构建设可分为部品的工厂预制、现场拼装施工成本与基坑开挖与支护成本三个主要部分。间接成本主要是由于采用预制拼装综合管廊后,相比现浇式综合管廊所需工期大大减少,工期减少可以对很多方面产生联动效应。同时综合管廊的修建不可避免地会带来城市占道的问题。占道施工会使交通拥堵、交通延误、自由度降低。因交通拥堵而产生的成本应算到综合管廊修建的成本效益当中,其可分为时间延误成本、额外燃油消耗成本、环境污染排放及噪声成本、运营成本、绿色施工管理成本和其他成本。

预制拼装管廊与现浇管廊防水对比具有以下优点:(1)预制管廊接缝处止水材料成本较现浇管廊接缝低;(2)预制管廊结构采用工厂预制,构件尺寸精度高、防水效果好,施工安装快速高效;(3)现浇管廊结构需现场浇筑混凝土,受人工浇筑、养护环境等多种因素影响,施工质量不及预制管廊;(4)现浇混凝土易出现离析渗漏现象从而增加后期维修成本。综合对比,综合管廊采用预制拼装相比采用现浇施工,能够有效节约项目成本;从绿色环保效益方面,预制拼装综合管廊施工工法,废弃物排放少,对周围环境影响小,更符合未来城市的发展;从社会效益方面,预制综合管廊接缝防水与现浇综合管廊相比,具有防水性能好,施工操作简便等优点,能够在各种地质环境中广泛应用。

4 结 语

本文总结了模块化拼装综合管廊的优势,较为系统地分析和讨论了模块化拼装综合管廊结构组合类型、拼接缝和变形缝防水的构造措施。在此基础上,总结提出了一套模块化拼装综合管廊防水技术,并对其经济社会效益进行了研究。论文所提防水措施经已有试验验证是可行的,可供类似工程参考。模块化综合管廊接缝防水较现浇综合管廊接缝防水更经济,可有效节约项目成本,同时可减少现场湿作业工作量,有助于大幅降低工程施工碳排放。考虑到模块化管廊组合比较复杂,纵横拼接接口、接头较多(包括与现浇段的衔接),其防水设计和施工组织达到精细化程度还有待时日。对模块化拼装综合管廊接头组合防水构造与优化设计仍有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 张迎新,奚晓鹏,许萌,等.预制拼装综合管廊防水设计与施工技术探讨[J].中国建筑防水,2016(20):38-41.
- [2] 夏葵,胡刚,侯正国,等.预制综合管廊接缝防水施工技术[J].混凝土与水泥制品,2018(2):39-42.
- [3] 侯正国,夏葵,黄尚珩,等.预制综合管廊接缝处防水施工技术[J].建筑安全,2017,32(11):35-39.
- [4] 陈柱先,刘永祯.预制拼装城市综合管廊防水技术探讨[J].中国建筑防水,2017(22):34-37.
- [5] 胡君,谢菲,赵世强.现浇与预制城市综合管廊的综合对比分析[J].工程建设与设计,2016(6):20-23.
- [6] 钟晖,田继强,潘盛龙.青岛市地下综合管廊防水技术现状及问题[J].中国建筑防水,2019(12):27-30.
- [7] 严林.预制拼装综合管廊发展现状及接头防水密封性能的探讨[J].混凝土与水泥制品,2017(1):31-34.
- [8] 李辉.城市地下综合管廊防水的设计与施工方法[J].科技经济导刊,2016(14):55-56.
- [9] 李志宏.综合管廊防水探讨[J].建设科技,2015(9):104-105.
- [10] 池美林,韦芳,仇偲勤.防水问题在综合管廊中的设计应用[J].现代经济信息,2017(23):316-317.
- [11] 孙蓓,田强,郑立宁,等.预制综合管廊连接节点应力分析[J].《工业建筑》,2016 46(SII):191-193+190.
- [12] 周健民.综合管廊变形缝接头的设计形式及适用性分析[J].特种结构,2016,33(2):60-65.
- [13] 李欣,陆文浩,马智周,等.装配式综合管廊施工社会经济效益综合分析[J].可持续性发展,2018,3:231-239.