

基于 BIM 及物联网的城市地下综合管廊建设^{*}

陈苏

(平潭综合实验区城市投资建设集团有限公司, 福建 平潭 350400)

摘 要:城市地下综合管廊建设对城市管线的建设、运行、维护及安全具有重要意义。本文以平潭市地下综合管廊建设为例,针对地下综合管廊传统施工技术存在的施工周期长、施工环境污染等缺点,提出采用刚柔复合防渗漏可回收支护技术及预制叠合装配式技术,实现了缩短施工周期、减少环境污染及节约资源的绿色建造理念。同时,基于 BIM 及物联网技术,通过地下综合管廊监控系统建立城市地下综合管廊数据平台,精准控制及管理,显著减少了人为操作误差,实现物物相连、信息共享和交换功能,解决了地下综合管廊项目生命周期全阶段数据链断链及管理低效的问题,降低了维护管理成本,实现了城市地下综合管廊智能化、信息化的智慧运维。

关键词:城市地下综合管廊;BIM 及物联网技术;绿色建造;智慧运维

中图分类号:TU990.3

文献标识码:A

文章编号:1673-0836(2018)06-1445-07

Urban Underground Composite Pipe Gallery Construction Based on BIM and IOT Technology

Chen Shu

(Pingtan Comprehensive Experimental District Urban Investment Construction Group co., Ltd. Pingtan,
Fujian 350400, P. R. China)

Abstract: Urban underground composite pipe gallery is of great significance to the construction, operation, maintenance and security of city pipeline. Taking urban underground composite pipe gallery construction in Pintan as an example, for the defects of long construction period and environmental pollution of traditional construction technology in underground composite pipe gallery, here to puts forward a recycling support technology of the rigid-flexible, compound and impermeable character, as well as prefabricated assembly technology, to shorten construction period and reduce environmental pollution, to realize the concept of green construction project. At the same time, on the basis of BIM technology and the IOT, through the monitoring system of composite pipe gallery, we set up its data platform with precise control and management, significantly reduce the artificial operation error, to realize object-linking, information sharing and exchange function, to solve the problem of data chain broken and inefficient management during the full life cycle phases of the project, then to realize the wisdom of the urban underground pipe gallery intelligence and information operations.

Keywords: urban underground composite pipe gallery; BIM and IOT technology; green construction; intelligent operations

^{*} 收稿日期:2018-06-23(修改稿)

作者简介:陈苏(1984-),男,福建平潭人,高级工程师,主要从事道路工程养护技术及城市地下空间开发技术与应用等方面的研究。E-mail:7684038@qq.com

0 引言

随着人与自然和谐发展现代化建设新格局的推进,国家倡导“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念,综合管廊作为绿色智慧城市建设的的重要组成部分,迎来了前所未有的机遇和挑战。综合管廊实现了电力、通信、给水、燃气等各种管线集约化管理,可以有效解决反复开挖路面,防止管线破裂引起的水蚀塌陷、爆炸、断水停网等事故发生,对城市管线的正常建设、运营、维护和安全意义重大^[1-6]。在发达国家,综合管廊已经存在了一个多世纪,在系统日趋完善的同时规模也越来越大。世界上第一条城市地下综合管廊由法国巴黎于1833年建造,至此开始了现代城市地下空间规模化、系统化的开发利用,至2000年,巴黎的综合管廊已超过100 km,形成了较为完善的共同管沟网络^[7]。1926年,日本开始建设地下共同沟,东京国道事务所公布的数据显示,在东京市区100 km的干线道路下已修建了总长度约为126 km的地下综合管廊。在东京主城区内还有162 km的地下综合管廊正在规划修建^[8]。北京早在1958年就在天安门广场下铺设了1000 m的综合管廊。1994年,上海市政府规划建设了大陆第一条规模最大、距离最长的综合管廊——浦东新区张杨路综合管廊。该综合管廊全长11.125 km。2006年,中关村西区建成了我国大陆地区第二条现代化的综合管廊。城市综合地下管廊建设已在我国全方位展开,在国家政策引导下,即将迎来又一轮的城市建设新高潮。但城市地下管线分布错综复杂,铺设、管理、运营和维护都有一定难度,因此,对地下综合管廊的施工技术及管理水平的要求提出了更高层次的要求。本文以平潭市地下综合管廊建设为例,展开了城市地下综合管廊的绿色建造和智慧运维相关的探索及实践。

1 城市综合管廊绿色建造

综合管廊是在我国倡导“可持续发展”和“循环经济”等大背景下提出的,是国际上普遍倡导的建造模式。绿色建造,即在施工图设计及施工全过程中,从城市综合管廊工程建设整体出发,确保工程安全和质量的前提下,利用科学技术和科学管理,提高土地及空间资源的利用效率,节约资源,减少环境污染,实现可持续发展^[9-10]。其指导思想是可持续发展,基本理念是“环境友好、资源节约、过程安全、品质保证”。所以,绿色建造必将是今后

工程建设的必然趋势。

城市综合管廊属于地下工程,其施工方法根据工程地质条件、工程造价、施工环境等实际情况,分为明挖法、暗挖法和盖挖法。暗挖法适用于城市交通紧张繁忙、景观视觉要求高、且无法实施开挖作业的地方,多采用盾构和矩形顶管等施工技术,但其施工周期长,造价高,管廊断面选择少。目前,正常路段基本以明挖法为主,明挖法选择直接放坡开挖或者基坑围护等方法,其造价低,施工工艺简单,质量能得到保证。盖挖法兼具了明挖法和暗挖法的优点,在浅层开挖路段、交通不能中断、景观要求较高、经费紧张的情况下均可采用。不论采用哪种施工技术,绿色施工理念都不可忽视。

综合管廊的绿色建造应该融入到规划、设计及施工的全过程,同时,在保证安全和质量前提下,通过科学管理和技术进步,提升资源利用效率,节约资源和能源,减少环境污染,践行可持续绿色建设理念。

1.1 刚柔复合防渗漏可回收支护技术

在地下管廊现行明挖建造工艺中,传统的支护结构主要分为刚性支护结构和柔性支护结构,但这两种支护结构存在各自的缺陷。刚性支护结构应力过大,比较耗费材料而且容易出现事故;而柔性支护结构则由于变形过大,对于密集的城市建筑来说是不允许的。常见的基坑支护方法有水泥搅拌桩、地下连续墙等,这些类型的支护方法造价高、防渗效果差。刚柔复合支护结构则充分发挥了上述两种结构的优势,并有效地避免了其不足。基于刚柔复合支护思想,综合利用高聚物柔性防渗技术^[11]与钢拱架支撑方式,建立刚柔复合防渗漏可回收支护体系(图1),可实现装配式施工,具有施工快捷、防渗漏及钢材可回收等特点。在地下管廊明挖修建工艺中,采用刚柔复合防渗漏可回收支护对基坑进行支护,很好地践行了绿色建造理念。

1.2 预制叠合装配式管廊

目前,在施工场地条件允许的情况下,综合管廊施工工艺基本上以大开挖现浇为主,虽然能最大程度地保证施工质量,确保结构的防水要求,但是具有施工工期长、现场施工设备要求多、粉尘大、噪音大、对周边居民影响大、社会影响不良等诸多缺点,与绿色建造的理念相差甚远。近几年,预制装配管廊这种相对比较生态环保的施工工艺在全国各地慢慢兴起^[12]。所谓预制装配技术,是指将构筑物结构主体分块或分节段在预制厂制作(图2),



图 1 刚柔复合防渗漏可回收支护体系

Fig 1 System of recycling support technology by rigid-flexible, compound and impermeable system

再运输到施工现场拼装的一种快捷施工绿色技术。预制装配技术一般因受制于吊装重量,采用短节段(长 1.5~3 m)或者分块预制,这种方式可以明显节省工期,减少模板,现场施工环境整洁。但是管廊拼接缝太多,防水质量很难得到保证。为解决这个难题,提出了预制叠合装配技术(如图 3(a)、(b)、(c))。



图 2 节段预制管廊图

Fig 2 Section prefabricated pipe gallery

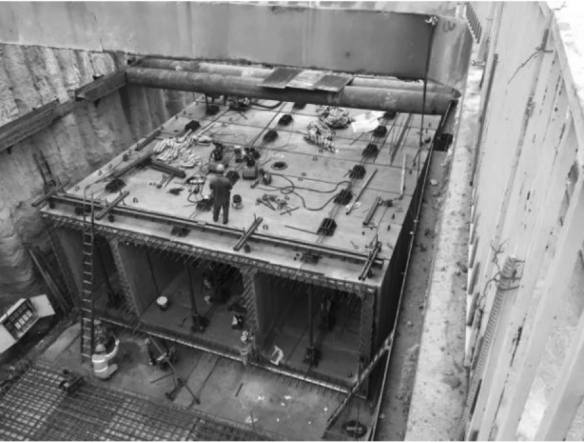
所谓预制叠合装配式管廊,就是在工厂预制叠合夹心墙,单层顶、底叠合板,在现场安装后,在夹心墙灌注自密实混凝土,顶、底叠合板通过现场绑扎钢筋和现浇混凝土有效结合,形成等同于整体现浇的结构新体系。为了确保防水质量,夹心墙灌注自密实高强度混凝土,所有预制叠合板拼接部分均有现浇混凝土作为过渡,现浇混凝土采用高质量的自防水混凝土,在拼接缝和伸缩缝处理中使用了密封膏、钢条止水带、遇水膨胀橡胶条等材料,来进一步确保防水功能。结构全部拼接完成后,在外表面喷涂防水涂料或者安装防水卷材,最后通过水泥砂



(a) 样板示意



(b) 预制件放置



(c) 预制件拼装叠合

图 3 预制叠合装配式管廊示意图

Fig 3 Prefabricated assembly line

浆、素混凝土垫层或者聚乙烯泡沫等方式加以保护。这类预制结构具有以下优点:质量好,顶底板密度高,表面无需抹灰,防水性好,可以有效缩短工期 60%~80%,相比于整体现浇,速度快 5 倍,用工减少 3 倍;直接成本低于全现浇成本;减少了模板、脚手架和砌体抹灰的用量,同时减少了人工措施,

进而真正做到了文明施工、绿色建造。因此,预制叠合装配式管廊是符合“绿色建造”的一种新结构新工艺,值得推荐和推广。

2 综合管廊智慧运维

综合管廊最大的优点在于:在不毁坏路面的前提下,开展地下管线施工维护,这意味着管廊维护技术员的绝大多数作业要在地下进行。而城市地下综合管廊内干线与支线交织分布,距离长,通风不畅,且光线昏暗,一旦出现事故,人员和设备设施的安全都将遭受巨大的威胁。所以,为提升地下综合管廊运维的应急安全防控能力,提出对城市地下综合管廊管线运行状态采取实时监控和专业安全防护措施,进而保证其安全运维^[13]。

2.1 地下综合管廊监控的信息化技术

BIM 技术可以将工程项目生命期各个阶段的数据连接在一起,它是一种基于三维数据建筑模型的建设工程信息集成和管理技术,能够全方面描述工程特性。运用 BIM 优越的可视化 3D 空间表现功能,将综合管廊建设、管理及运维阶段的各种建筑参数、结构参数、设备参数等进行一体化整合。该技术引入 GIS 数据,用以标定城市地下综合管廊与城市地面其他专业和建筑的关系,并在地下管廊整体数据中整合地理数据信息,可使城市地下管廊实现透明化管理。

物联网是利用各种信息传感器,实时采集所需连接、互动、监控的物体或过程等各类信息,并与互联网结合成的一个大型网络。以 BIM 为核心的物联网技术,实现了构筑体三维可视化信息管理,并且赋予了构筑体所有组件及设备生命感知力,从而将构筑体运维提升到智慧运维的新高度。BIM 与物联网技术在智慧运维中缺一不可,缺少物联网技术,运维只是依靠人为的简单操控,无法形成统一高效的管理平台,缺少 BIM 技术,构筑物相关数据就无法在运维管理中相互关联,也无法系统考虑周边环境状况^[14]。

基于智慧城市理念,以“云(云计算)、大(大数据)、物(物联网)、移(移动互联网)”为科技特征^[15,16],使用先进的手持图像标识、智能终端、GPS 定位及自动感知技术,同时,基于 BIM+GIS 构建综合管廊全过程管理平台,实现城市地下综合管廊的智能化、信息化,让城市地下综合管廊数字体系融入智慧城市,实现了以下目标:

(1)完成对管廊管线周边施工项目、结构变形

等数据的动态更新,通过建立各管线的问题成因故障分析树,保证在问题发生时,能快速地发现并查找原因。

(2)对管廊管线的安全运营风险进行自动化预报警及推送,并预留应急反应的时间。

(3)集成各类管线及其附属设施的应急预案,不同的专业管线在事故发生后,可以准确定位事故发生的位置、周边敏感源和应急资源分布情况,及时处理事故。

2.2 平潭地下综合管廊综合监控系统

平潭地下综合管廊建设发展较晚,多数地下管线以直埋方式敷设,高压电缆及通信线路则高空架设。因受特殊的滨海盐雾环境及土壤中高含量氯离子等因素影响,使得直埋地下各类管线腐蚀严重,故常常以破路挖沟方式进行检修及维护,造成“马路拉链”及“交通堵塞”现象严重。而每年频繁的台风常损坏架空线缆设施,造成不可估量的经济损失。长此以往,大大增加了城市市政道路、管线及电力通信维护成本的负担,且影响了城市市容市貌和居民生活。为改善这一现象,平潭于 2011 年着手筹划并推进建设全岛地下综合管廊工程,在汲取了我国台湾、深圳、广州、大连等地区相关经验的基础上,探索建设平潭南北走向主干道坛西大道约 25 km 地下综合管廊,至 2016 年初已完成主体工程约 23 km^[17]。同年 4 月,平潭成功申报入选为全国第二批地下综合管廊建设试点城市,并于 11 月完成了“综合管廊专项规划”修编工作,拟规划至 2030 年末完成建设地下综合管廊干、支线 126.24 km,电力隧道 30.86 km,规划 4 处监控中心(1 处主控中心,3 处分控中心),将分中、远期建设完成^[18]。依据规划修编方案,最终将电力、通信、广电、给排水、燃气等市政管线综合容纳于一起,形成辐射整个实验区的两横、两纵、四环的环结网状综合管廊体系。目前,正在建设的平潭综合实验区地下综合管廊干线工程(一期)项目,管廊全长 26.9 km,包含环岛路绿道及管线工程、坛西大道南段电力管廊及市政化改造工程,主体工程于 8 月底全部完工,分控中心建设也即将结束,10 月底可全部完成安装任务,未来将集“管、控、营”一体化,实现综合管廊智能化和自动化^[19-20]。

平潭综合试验区地下综合管廊的综合监控系统由监控中心(图 4)、环境与设备监控系统(图 5)、安防系统、通信系统、电力监控系统、结构健康



图4 综合管廊综合监控中心
Fig.4 Monitoring center of composite pipe gallery

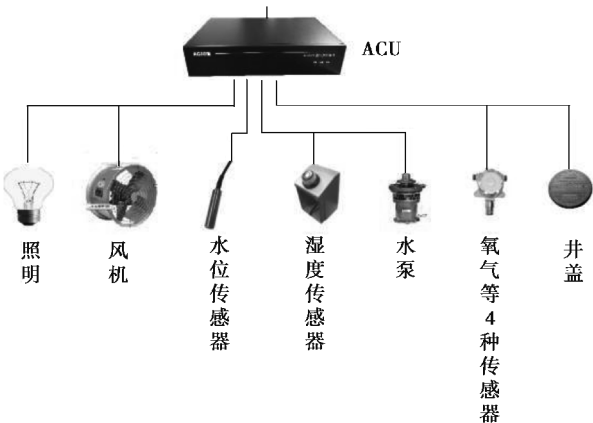


图5 地下综合管理环境与设备监控系统
Fig.5 Monitoring system for conditions and devices of composite pipe gallery

监测系统、智能机器人巡检系统(图6)、火灾自动报警系统和统一管理平台(图7)组成。该综合监控系统平台建立的总体结构设计框架是以“物联网技术”为骨架,以“云计算技术”为核心,将数据与信息高效整合管理,详细分析数据,汇总结果,及时为用户提供相关服务,方便用户及时调整、优化整个系统,从而提高管理效率,降低维护管理成本^[21]。云计算和物联网的基本平台框架建立,是以信息管理为基础的精准控制及管理,显著减少了人为操作误差,实现了物物相连、信息共享和交换功能(图8)。

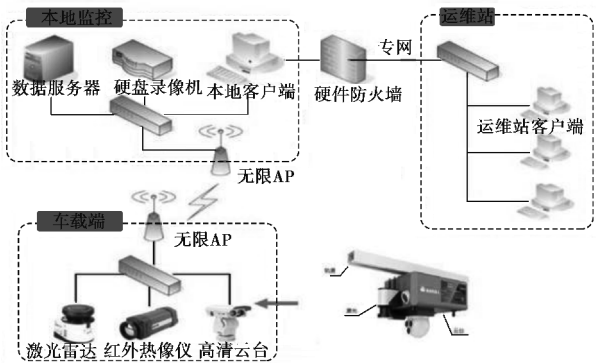


图6 智能巡检机器人系统构成
Fig.6 Consists of intelligent inspection robot system

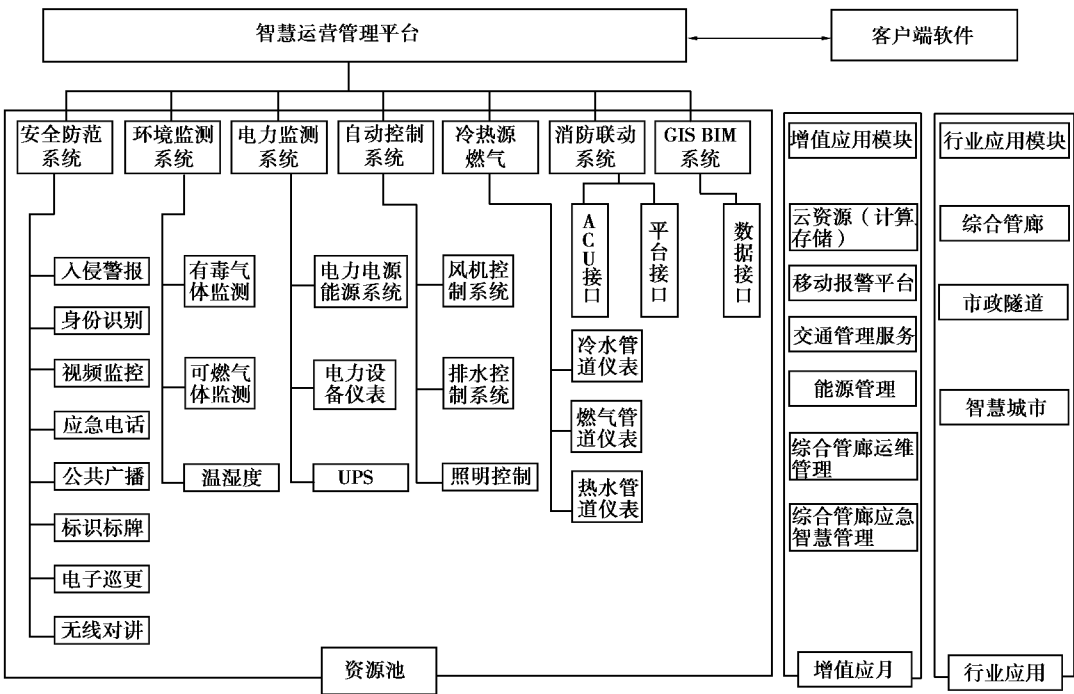


图7 综合管廊统一管理平台架构
Fig.7 Management platform of composite pipe gallery

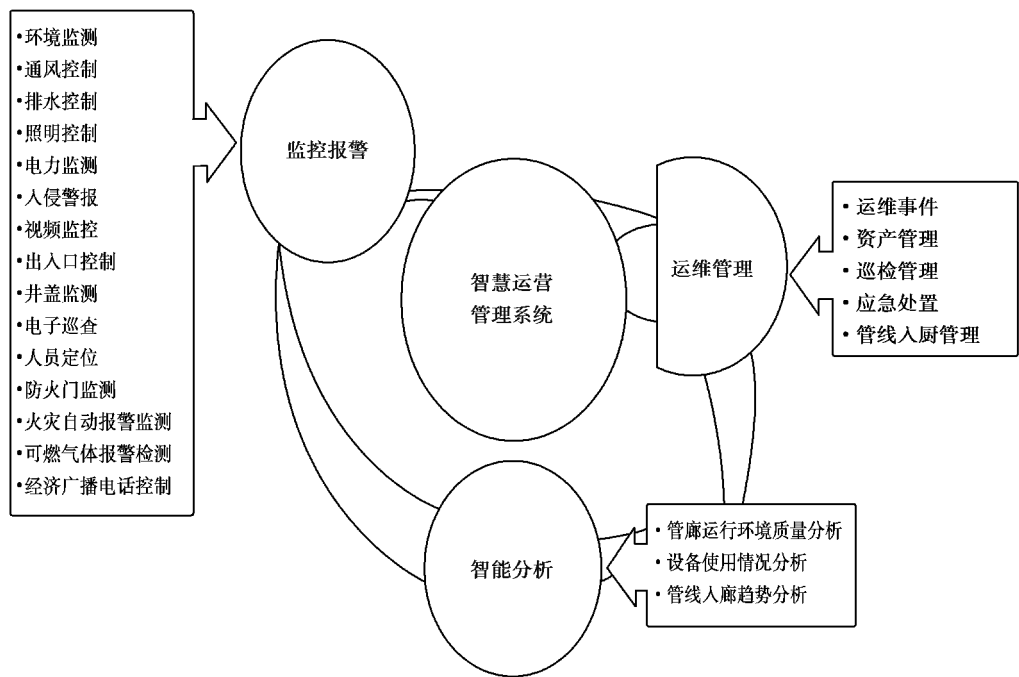


图 8 综合管廊统一管理平台功能

Fig 8 Management platform function of composite pipe gallery

3 结语

绿色建造是建设工程施工的一项重要举措,比起传统的地下综合管廊施工技术,采用刚柔复合防渗漏可回收支护技术及预制叠合装配式技术,能有效缩短施工周期、减少环境污染,实现了城市地下综合管廊绿色建造理念。同时,协同 BIM 与物联网技术,建立城市地下综合管廊数据平台,大大提高了项目管理水平,实现城市地下综合管廊智能化、信息化的智慧运维。

城市地下综合管廊的建设应立足于长远规划理念,最大限度尊重城市建设发展规律,统一规划地上地下空间的路网建设。经过 6 年多的城市地下综合管廊建设,平潭已大致形成以“一横一纵两条主干线”为主,岚城、金井湾片区支线为辅的综合管廊系统,将电力、通信、给水、燃气等各种管线实现集约化管理及后期的高效运维,为改善城市居民生活的便利奠定了坚实的基础。

参考文献(References)

[1] 梁荐, 郝志成. 浅议城市地下综合管廊发展现状及应对措施[J]. 城市建筑, 2013(14):286-287. (Liang Jian, Hao Zhicheng. The current development situation and countermeasures of city underground pipe gallery

[J]. Urbanism and Architecture, 2013(14):286-287. (in Chinese))

[2] Canto-Perello J, Curiel-Esparza J. Human factors engineering in utility tunnel design[J]. Tunnelling & Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research, 2001, 16(3):211-215.

[3] Legrand L, Blanpain O, Buyle-Bodin F. Promoting the urban utilities tunnel technique using a decision-making approach [J]. Tunnelling & Underground Space Technology, 2004, 19(1):79-83.

[4] 牟秋, 石玉竹. 城市地下综合管廊规划布局方法研究[J]. 地下空间与工程学报, 2018, 14(S1):1-5. (Mu Qiu, Shi Yuzhu. Study on Layout Method of Urban Utility Tunnel Planning [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2018, 14(S1):1-5. (in Chinese))

[5] Hunt D V L, Nash D, Rogers C D F. Sustainable utility placement via multi-utility tunnels [J]. Tunnelling & Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research, 2014, 39(1):15-26.

[6] 朱安邦, 汪叶萍. 深圳前海合作区综合管廊规划实践与思考[J]. 地下空间与工程学报, 2018, 14(S1):12-14. (Zhu Anbang, Wang Yeping. Practice and Thinking of Multi-Utility Tunnels Planning n Shenzhen-Hong Kong Cooperation Zone [J]. Chinese Journal of

- Underground Space and Engineering, 2018, 14(S1): 12-17.(in Chinese))
- [7] 白海龙. 城市综合管廊发展趋势研究[J]. 中国市政工程, 2015(6): 1-2. (Bai Hailong. A study on the development trend of urban underground comprehensive pipe gallery[J]. China Municipal Engineering, 2015(6): 1-2.(in Chinese))
- [8] 何雨. 地下综合管廊系统提升日本城市综合功能[OL]. 中国经济网, 2015.8. (He Yu. The underground integrated pipe corridor system improves the comprehensive functions of Japanese cities[OL]. ce.cn, 2015.8(in Chinese))
- [9] 肖绪文, 冯大阔. 我国推进绿色建造的意义与策略[J]. 施工技术, 2013, 42(7): 1-4. (Xiao Xuwen, Feng Dakuo. Practical significance and implementation strategy of green construction in China[J]. Construction Technology, 2013, 42(7): 1-4.(in Chinese))
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑工程绿色施工评价标准(GB/T 50640-2010)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2011. (Ministry of Housing and Urban-Pural Development of the People's Republic of China. Evaluation standard for green construction of building (GB/T 50640-2010) [S]. Beijing: China Planning Press, 2011.(in Chinese))
- [11] 孟美丽, 王复明. 高聚物注浆材料介电特性及其与工程特性关系的研究[J]. 公路, 2015(7): 251-254. (Meng Meili, Wang Fuming. The study of dielectric properties of high polymer grouting materials and their characteristics in engineering[J]. Highway, 2015(7): 251-254. (in Chinese))
- [12] 胡翔, 薛伟辰. 预制预应力综合管廊受力性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2010, 43(5): 29-37. (Hu Xiang, Xue Weichen. Experimental study of mechanical properties of PPMT [J]. China Civil Engineering Journal, 2010, 43(5): 29-37.(in Chinese))
- [13] 周亮. 城市地下综合管廊安全监测系统建设关键技术研究[J]. 现代测绘, 2016, 39(6): 39-41. (Zhou Liang. Research on key technologies of urban underground comprehensive tunnel safety monitoring system building[J], Modern Surveying and Mapping, 2016, 39(6): 39-41.(in Chinese))
- [14] 陈兴海, 丁烈云. 基于物联网和BIM的建筑安全运维管理应用研究——以城市生命线工程为例[J]. 建筑经济, 2014, 35(11): 34-37. (Chen Xinghai, Ding Lieyun. Research on construction safety operations management based on the Internet of things and BIM—a case of urban lifeline engineering [J]. Construction Economy, 2014, 35(11): 34-37.(in Chinese))
- [15] 李德仁, 姚远, 邵振峰. 智慧城市中的大数据[J]. 中国建设信息化, 2014, 58(3): 1-12. (Li Deren, Yao Yuan, Shao Zhenfeng. Big data of intelligent city[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2014, 58(3): 1-12.(in Chinese))
- [16] 杨正洪. 智慧城市: 大数据、物联网和云计算之应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014. (Yang Zhenghong. Intelligent city: Applications of big data, IOT and cloud computing [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2014.(in Chinese))
- [17] 平潭综合实验区申报地下综合管廊试点城市实施方案[R]. 平潭综合实验区管理委员会, 2016. (Pingtan comprehensive experimental area application underground comprehensive corridor pilot city implementation plan [R]. Pingtan Comprehensive Experimental Area Management Committee, 2016. (in Chinese))
- [18] 平潭综合实验区综合管廊专项规划(修编)[R]. 深圳市市政设计研究院有限公司, 中兴工程顾问股份有限公司, 2016. (Special plan for comprehensive pipe gallery of Pingtan comprehensive experimental area (Revised) [R]. Shenzhen Municipal Design & Research Institute Co., Ltd., Sinotech Engineering Consultants, Ltd. 2016.(in Chinese))
- [19] 平潭地下综合管廊主体工程8月底可全部完工[N]. 平潭时报, 2018. 7. (The main project of Pingtan underground comprehensive pipe gallery can be completed by the end of August [N]. Pingtan Times, 2018.7.(in Chinese))
- [20] 平潭综合地下管廊预计今年10月底可全部完成安装任务[N]. 中国管道商务网, 2018. 9. (Pingtan underground comprehensive pipe gallery installation is expected to be completed at the end of October of 2018 [N]. Chinapipe.net, 2018.9.(in Chinese))
- [21] 李爽. 基于云计算的物联网技术研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2014. (Research on the technology of iot based on cloud computing [D]. Hefei: Anhui University, 2014. (in Chinese))