

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.14.015

双层多舱综合管廊适建性分析

白鹤瀛, 安然, 王长祥, 吕彦, 徐爽, 高聪聪
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

摘要: 双层多舱综合管廊适用于入廊管线种类及数量较多、建设用地空间紧张或道路通行要求较高的工程建设条件。结合管线属性及工程实际应用, 总结得出, 电力、燃气等管线必须布置于管廊上层舱室, 排水管线更适用于下层舱室。对双层多舱综合管廊的空间利用特点、建设成本的相对增加进行了比较分析, 可供设计人员参考。

关键词: 双层多舱综合管廊; 管线属性; 管线布置

中图分类号: TU990.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)14-0093-06

Construction Suitability Analysis of Double-layer Multi-compartment Utility Tunnel

BAI He-ying, AN Ran, WANG Chang-xiang, LÜ Yan, XU Shuang, GAO Cong-cong
(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

Abstract: Double-layer multi-compartment utility tunnel is suitable for engineering construction conditions where there are many types and quantities of pipelines and limited construction land space or high requirements of road traffic. Combined with pipeline attributes and practical engineering application, it was summarized that power cable and natural gas pipelines should be arranged in the upper compartment of the utility tunnel and the sewerage pipeline was more suitable to be located at the lower compartment. Characteristics of space utilization and relative increase of construction cost of double-layer multi-compartment utility tunnel were compared and analyzed, which aims to provide reference for designers.

Key words: double-layer multi-compartment utility tunnel; pipeline attributes; pipeline layout

综合管廊分为干线综合管廊、支线综合管廊及缆线管廊。干线综合管廊主要用于容纳城市主干工程管线, 干线综合管廊中的管线主要连接原站和支线综合管廊, 不为周边居民及用户直接提供服务。通常管径较大, 舱室规模较大。支线综合管廊主要用于容纳城市配给工程管线, 其管线分支口较多, 主要为沿线地块或用户提供市政能源供给服务。缆线管廊主要用于容纳电力电缆和通信线缆, 其采用浅

埋沟道方式建设, 设有可开启盖板, 但其内部空间不能满足人员正常通行要求^[1]。

早期综合管廊, 多为支线综合管廊或干支混合综合管廊, 因入廊管线少, 断面尺寸小, 随道路敷设难度不大。随着综合管廊建设的快速发展, 多种类、多专业管线同时入廊, 造成管廊断面尺寸不断增加, 舱室数量逐渐增多, 管廊断面布置形式日趋复杂, 逐步向着多舱化、大型化、综合化的方向发展。在城市

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC080500)

道路及绿化用地宽度有限或者地下设施较多的条件下,若各舱室仍按“一字型”直线布置,势必造成管廊宽度过大、占用路下空间过多,甚至在道路红线内无法满足管廊的布置,因此,必须对管廊断面进行集约化设计,双层管廊即是断面集约化设计的一种形式,将不同舱室竖向重叠布置,以节省用地空间,充分利用地下空间。

1 双层管廊建设适宜性分析

1.1 管廊舱数及空间需求

随着入廊管线种类及数量的增加,小尺寸、功能性单一的管廊已满足不了城市基础设施的快速发展,目前满足入廊技术条件的市政管线,按照专业性质可包括:电力电缆、通信线缆、给水管线、再生水管线、热力管线、蒸汽管线、燃气管线、供冷管线、污水管线、雨水管线、真空垃圾输送管线^[2]共 11 类管线;按照输送功能又可分为:干线、支线;按照压力等级划分为:高压、中压、低压管线等。

因此当某条道路下的大部分市政管线均纳入综合管廊敷设,且考虑其使用年限内的管线增容可能性,将使得管廊舱室尺寸及数量均大幅增加,根据《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015),管廊断面布置有以下要求:天然气管道应在独立舱室内敷设;热力管道采用蒸汽介质时应在独立舱室内敷设;热力管道不应与电力电缆同舱敷设。

同时根据当前各地电力部门要求,110 kV 以上高压电力电缆不与其他管线同舱,因此当考虑 220、110、10 kV 高压电力电缆,通信线缆,给水管线,再生水管线,热力管线,燃气管线及排水管线同时入廊敷设时,管廊舱室数量约为 4~6 个,横向尺寸约为 12 m 以上。

1.2 建设条件适宜性分析

综合管廊通常在道路红线以内布置,主要布置于人行道或绿化带下,空间受限时可考虑布置于机动车道下。

城市道路主要分为主干道、次干道及支路,按照板块可划分为单块板、二块板、三块板等多种形式。同时,道路下仍有可能直埋雨水、污水等部分市政管线,因此管廊断面布置也将受限于道路红线宽度、板块划分形式、人行道及绿化带宽度、其他直埋市政管线、其他建筑物等。

特别是现状道路改造条件下的管廊建设,管廊的断面布置,需考虑管廊整体施工场地的条件限制,

包括现状建筑物、现状管线、预留通行空间与管廊施工作业面等(见图1)。

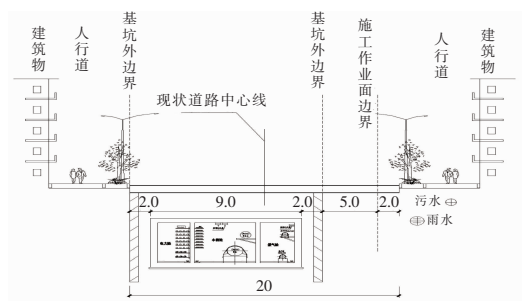


图1 现状道路改造综合管廊施工面示意

Fig.1 Schematic diagram of utility tunnel under the present road reconstruction

如图 1 所示,当道路红线不宽,但管廊舱室数量较多,断面较宽时,则施工作业面相应增加,势必对周边现状管线、现状建筑物产生不利影响,尤其对现状道路的通行条件产生严重干扰,可能造成整条道路的断交,同时管廊施工周期相对较长,对周边居民的生活造成长期困扰,社会影响不佳。

优化管廊断面设计方案,采用双层管廊断面布置形式,将管廊断面宽度技术性降低,进而缩减施工作业面宽度,则为有效手段之一。

1.3 国内工程案例

以苏州城北路项目为例,示范段入廊管线包括 220、110、10 kV 高压电力电缆,通信线缆,给水管线,再生水管线,蒸汽管线,燃气管线及有压污水管线,规划断面尺寸 13.25 m \times 5.2 m(宽 \times 高),断面见图 2。

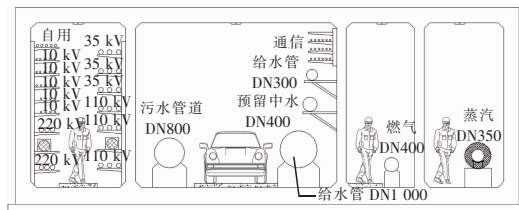


图2 规划标准断面(一字型布置)

Fig. 2 Planning standard section(line pattern layout)

城北路为现状 302 国道,将提升改造为城市快速路,车行道下若干路段规划为下穿隧道,综合管廊则规划布置于道路南侧绿化带内,原规划三维控制图见图 3。工程实际中,管廊建设先于道路提升改造施工,因此涉及道路部分的拆迁工作暂无法实施,管廊施工需占用现状车行道、人行道、绿化带的空间,且 302 国道交通压力大,不得断交施工,且需最

大限度保证交通通行能力。因此必须根据现场条件对管廊断面进行优化,采用双层管廊断面布置优化设计后,标准段断面尺寸调整为 $9.7\text{ m} \times 4.8\text{ m}$ (宽 \times 高),见图4。

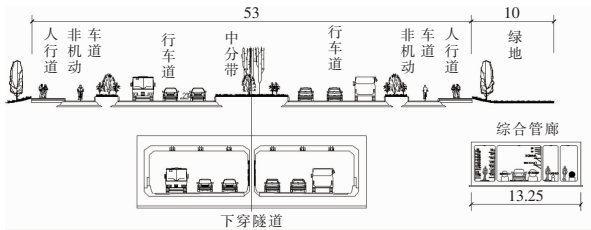


图3 规划三维控制图

Fig. 3 Planning 3D control drawings

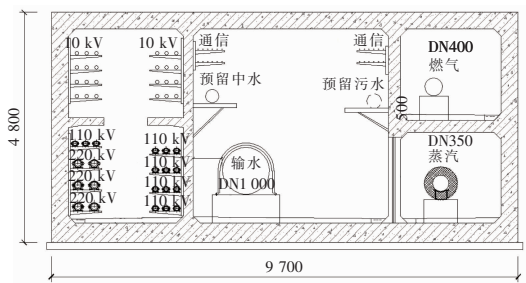


图4 优化设计双层断面(双层布置)

Fig. 4 Section of double-layer tunnel after optimized design (double-layer layout)

路下三维布置见图5。

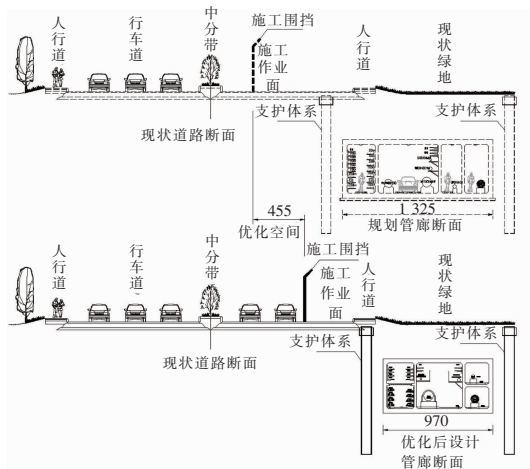


图5 断面对比

Fig. 5 Section comparison

现状302国道宽度约为26 m,采用双层管廊断面布置形式代替常规“一字型”断面布置形式,使断面宽度由13.25 m减至9.7 m,基坑支护采用三轴水泥搅拌桩形式,整体施工场地作业面宽度比规划阶段减少4.5~5 m,大大节省路下及道路通行空

间,大部分路段施工作业面避免了占用现状车行道空间,不利路段少量占用现状车行道空间,最大限度确保302国道交通畅通。

1.4 国外工程案例

在国外的综合管廊建设工程中,双层综合管廊也有多个工程案例,且各具特点。临海副都心的地下管廊^[3](共同沟)总长为16 km,标准断面(见图6)中纳入的管线包括:给水管道4根,电力管线3回,电信管线若干,热水管道为 $2 \times \text{DN}800$ 和 $2 \times \text{DN}400$,冷水管包括 $2 \times \text{DN}1200$,垃圾真空输送管道为 $2 \times \text{DN}600$,燃气管道 $\text{DN}400$,设置在单独封闭的管沟之中。

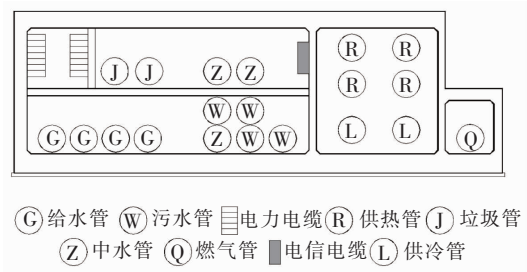


图6 临海副都心管廊标准断面

Fig. 6 Utility tunnel standard section of Linhai subcenter

日本小田井山田共同沟^[3]是采用盾构法施工的典型双层综合管廊,电力与通信管线分别单独成舱,布置于管廊上层。供水管线管径较大,单独布置于管廊下层舱室。通常情况下,采用盾构或顶推法进行工程建设时,以圆形断面居多,此类断面面积较大,但有效可利用空间相对偏小,空间利用率偏低。双层管廊断面布置,通过对管廊断面的上下分隔,增加舱室数量,可更多布置不同种类管线,达到增加管廊空间利用率的效果。

1.5 双层管廊的建设适宜性归纳

双层管廊布置的适宜性条件:①入廊管线种类及数量众多,需多舱室布置;②规划绿化带及人行道宽度不足,难以满足管廊布置空间;③车行道下无条件布置管廊;④市政道路地下空间整体综合利用。

2 双层管廊管线布置适宜性分析

双层管廊舱室管线布置根据管线性质、火灾危险性程度、检修逃生要求、进排风等因素综合考虑,针对每种管线分别进行分析。

2.1 电力电缆

电力电缆根据电压的不同,分为高压线和低压线,高压线包括10、35、110、220 kV等级别;电缆回

路多时,电缆数量密集;电缆敷设是根据用户用电量的情况,逐步敷设到位,因此,电力电缆是管廊内敷设、增设最频繁的管线,其投料口使用也最为频繁,同时因电缆转弯半径较大,质量较大,通常需牵引敷设,因此若敷设在埋深较深的下层管廊,则不利于安装操作。

同时根据工程实际经验,10 kV 电缆相对 110 kV 或 220 kV 高压电缆,更容易受自身条件及周边环境产生火花,从而造成一定程度的火灾隐患,因此电力电缆安装操作难度加大,同时其火灾危险性相对较高,安全风险较大,不建议布置在下层。

2.2 通信线缆

通信线缆的科学技术水平近年来得到飞跃式发展,已由传统的对称铜回路及同轴铜回路发展为目前的通信光缆,光缆特点为体积小、质量轻,无电磁干扰,进出线缆比较频繁,但其体积小、转弯半径小,维护管理均比较方便,安全风险较低,即使敷设于下层管廊,对安装操作也不会产生大的影响。

通信线缆舱室火灾危险性等级分类为丙级,危险特征为可燃固体,规范规定通信线缆应采用阻燃线缆,使火灾隐患大幅降低,另外规范规定,其逃生口、进排风口均可间隔 400 m 布置。

因此通信电缆在双层管廊布置方式比较灵活,布置于管廊上层、下层舱室均可。

2.3 给水、再生水管线

给水及再生水管线均属压力管线,按类型可分为输水管线和配水管线。输水管线管径大、距离长,直接连接供水厂和加压泵站等设施,无接户,不必考虑管廊中途的支管连接,运行维护比较方便,管理时可通过数据反馈实时监控;配水管线主要服务于用户,覆盖面积大,大多呈环形布置,连接用户的支管较多,因此接出支管较多,但支管管径较小,运行维护比较便利,安全风险较低。相对电力及通信管线,给水、再生水管线的安装扩容并不频繁,特别是输水管线,沿线不连接用户,因此敷设于管廊下层时,施工难度会稍稍增大,但并不会产生过多不利影响。

该类管线,舱室火灾危险性分类为戊类,为不燃烧物质,没有火灾隐患,其逃生口、进排风口均可间隔 400 m 布置,因此给水、再生水管线布置于管廊上、下层均可。

2.4 热力管线

热力管线根据热媒介质不同可分为热水管线及

蒸汽管线。

热水管线管径大,且为双管布置,同时要求补偿量大,需设置伸缩器;蒸汽管线为单管布置,但同样需考虑补偿器及冷凝水管布置,建设安装难度相对稍大。热力管线的用户连接,与给水管线基本相当,其运行管理便利,安全风险较低,布置于管廊下层时,须考虑管线对管廊空间的灵活性要求。

热力管线舱室火灾危险性分类为丙类,危险特征为可燃固体,即管道保温材料,规范明确要求,热力管道及配件保温材料应采用难燃或不燃材料,将使火灾隐患大大降低,其逃生口、进排风口均可间隔 400 m 布置,但蒸汽管线所在舱室逃生口间距不应大于 100 m,因此热力管线具备在下层管廊敷设的一定条件,但应结合工程实际情况具体考虑。

2.5 燃气管线

燃气管道是一种安全性要求较高的压力管道,容易受外界因素干扰和破坏而造成泄漏,引发安全事故;空气密度通常情况下为 1.293 kg/m^3 ,天然气密度约为 0.717 kg/m^3 ,相对密度 0.554 5,约比空气轻一半,因此产生泄漏时,为向上的扩散过程,若布置于下层,在天然气泄漏扩散状态下^[4],将对上层管廊及管线产生安全隐患。

燃气管线舱室火灾危险性分类为甲类,易造成火灾甚至爆炸隐患,因此《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)第 7.1.6 条明确规定:天然气管道舱室应每隔 200 m 采用耐火极限不低于 3.0 h 的不燃性墙体进行防火分隔;并要求天然气舱室必须设置可燃气体探测报警系统,并应符合多条相关规定,同时规定,敷设天然气管道的舱室,逃生口间距不宜大于 200 m。可见燃气舱室火灾危险性等级及安全监控措施较其他舱室均高,同时在实际工程中还应充分考虑其调压装置、分段阀设置、放散功能等配套设施,因此复杂程度较高。

综上所述,燃气管线不适宜布置在下层管廊。

2.6 排水管线

排水管线包括雨水及污水管线,均为重力流管线,受系统标高影响较大,当入廊管线处于排水分区下游时,宜布置在下层管廊,以满足排水竖向需求;《城市综合管廊工程技术规范》第 4.3.9 条规定:进入综合管廊的排水管道应采用分流制,雨水纳入综合管廊可利用结构本体或采用管道方式;第 4.3.10 条规定:污水纳入综合管廊应采用管道排水方式,污

水管道宜设置在综合管廊的底部,由此可见,排水管线宜敷设在下层管廊。

污水管道舱室火灾危险性分类为丁类,雨水管道舱室火灾危险性分类为戊类,属于难燃或不燃物质,因此基本没有火灾隐患,同时,排水舱室逃生口、进排风口间距均可间隔 400 m 设置,特别是逃生口可考虑与检修口等其他口部合建,符合管廊集约化设计思路,但排水管线设计特别是污水管线设计的附属设施较为复杂,包括管线入廊前的闸门或闸槽,管廊沿线设置的检查井、清污口、通气口等,将排水管线布置于下层管廊,必将增大管廊设计难度。

由此可见,按照管线性质分析,排水管线适宜敷设于下层管廊,但针对特殊节点,必须根据工程实际情况,制定可行的技术方案,深化设计,以确保排水管线在管廊内正常运行。

2.7 小结

综上所述,管线敷设于下层舱室的适宜性分析见表 1,下层舱室布置见表 2。

表 1 管线布置位置适宜性分析

Tab. 1 Suitability analysis of pipeline layout location

管线种类	是否适宜 下层布置	原因分析
电力电缆	否	电缆多,质量大,安装操作复杂,火灾危险性相对较高,配套口部间距小,不利于集约化设计
通信电缆	是	安装简便,火灾危险性较低,配套口部间距大,利于集约化设计
给水、再生水管线	是	安装简便,无火灾隐患,配套口部间距大,利于集约化设计
热力管线	根据实际 工程确定	管径大,管线布置不够灵活,火灾危险性较低,配套口部间距大,利于集约化设计
燃气管线	否	天然气性质决定其火灾危险性较高,影响较大,管线附属设施复杂,配套口部间距小,不利于集约化设计
排水管线	是	因重力流的管线性质可布置于下层管廊,无火灾隐患,配套口部间距大,利于集约化设计,特殊节点需做针对性深化设计

表 2 管廊下层舱室布置

Tab. 2 Layout of the lower compartment of utility tunnel

管线种类	舱室布置形式
通信电缆	水 + 通信舱 水 + 热力舱 污水舱 雨水舱
给水、再生水管线	
热力管线	
排水管线	

3 双层综合管廊的建设特点及使用特点

3.1 双层管廊建设特点

双层综合管廊的布置特点,主要在于充分利用地下空间,缩减横向断面尺寸,增加竖向埋深,因此其建设的首要特点在于基坑设计与施工,与普通管廊的建设成本差异也主要在于基坑支护工程。

常规管廊高度主要由入廊管线的数量、规模决定,而双层管廊的断面布置由单层舱室 + 双层舱室共同组成,管线入廊布置的灵活性更高,其高度主要由双层布置方式决定,至少包括上下层管廊净空间约 5 m,顶板、底板、中间层板厚度约 1 m,双层管廊高度约 6 m;考虑相同入廊管线规模的“一字型”常规断面管廊,净空以 3 m 计,顶板及底板以 0.8 m 计,其管廊高度也在 4 m 左右。由此,双层管廊仅比单层管廊高约 2 m,但宽度也将随之减少至少 2 ~ 3 m,并非简单的舱室尺寸叠加,见图 7、8。

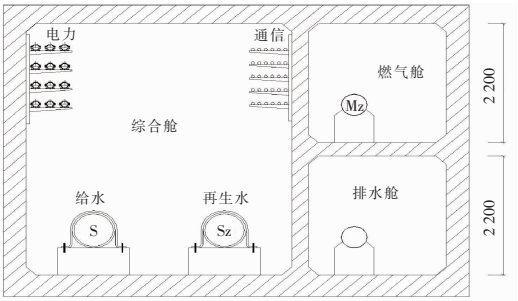


图 7 典型三舱室双层管廊断面

Fig. 7 Section of typical three compartments double-layer tunnel

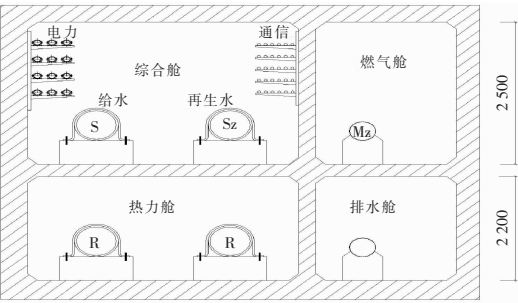


图 8 典型四舱室双层管廊断面

Fig. 8 Section of typical four compartments double-layer tunnel

当管廊采用大开挖形式建设时,双层管廊竖向土方量增加,但横向土方量减少,总体而言管廊的断面形式不会对土方量产生大的影响。但管廊高度的变化,会影响管廊的基坑支护形式。通常情况下管

廊埋深超过5 m时,需考虑基坑支护方案,以拉森钢板桩支护为例,常规选择桩长为12、15、18 m钢板桩,为最经济方案;对于土质情况不佳或管廊埋深过大的基坑,可选择SMW工法桩或其他支护形式。不同类型支护方式的建设成本差异很大(见表3)。

表3 造价差异

Tab.3 Cost difference

支护类型	管廊埋深/m	综合单价/(元·m ⁻¹)
大开挖	5	800~1 100
拉森钢板桩	10	10 000~15 000
SMW工法桩	15	36 000~50 000

由表3可见,不同的支护形式对建设成本的影响较大,采用双层管廊时,管廊高度通常更高,节点设置也相对更复杂,埋深需相应增加,需进行深基坑支护形式时,其建设成本也将大幅上升。

3.2 双层管廊的使用特点

与普通管廊相比,双层管廊仅仅是断面布置形式不同,而管线分舱形式、管线种类及数量都没有变化,且管廊的防火系统、供电系统、监控系统、通风系统、排水系统、逃生系统设置齐全,因此对于管廊维护而言,并无区别。

但对双层管廊的下层舱室而言,其管线吊装系统、逃生系统,都属特殊节点设计,需在运维阶段了解其位置、深度、特点,以便在需要时顺利启用。

综上,双层综合管廊优势和劣势分析见表4。

表4 双层综合管廊特点分析

Tab.4 Characteristic analysis of double-layer utility tunnel

项目	优势	劣势
双层管廊	充分利用地下空间,特别是在道路红线横向空间有限的条件下,可更充分利用地下竖向空间	建设成本相对较高
	城市老城区改造条件下,可一定程度保障现状交通通行条件	管廊产生交叉时,节点设计会有一定难度
	舱室空间尺寸更经济合理,上下层断面布置形式灵活	
	运行维护与常规管廊相似,无特殊难度	

4 结语

在市政道路用地条件有限、入廊管线种类及数量众多且地下空间紧张时时,可将给水、中水、通信、排水等适宜管线,以水信舱、雨水舱等舱室形式布置于管廊下层,采用双层综合管廊的断面形式进行开发建设,使综合管廊更加具备集约性、经济性,可更加高效有序地利用城市地下空间。

参考文献:

- [1] 王璇,陈寿标. 对综合管沟规划设计中若干问题的思考[J]. 地下空间与工程学报,2006,2(4):523-527.
WANG Xuan, CHEN Shoubiao. Several considerations on the planning and design of utility tunnel in China[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2006,2(4):523-527(in Chinese).
- [2] 王恒栋. 市政综合管廊容纳管线辨析[J]. 城市道桥与防洪,2014(11):208-209.
WANG Hengdong. Analysis of pipelines in municipal engineering tunnel[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2014(11):208-209(in Chinese).
- [3] 王长祥,屈凯,李云飘,等. 国外综合管廊建设概览[J]. 特种结构,2019,36(4):49-57.
WANG Changxiang, QU Kai, LI Yunpiao, et al. Introduction of foreign utility tunnel construction[J]. Special Structures, 2019,36(4):49-57(in Chinese).
- [4] 王奔. 综合管廊内天然气泄漏及爆炸过程数值模拟分析[J]. 武警学院学报,2019,35(2):22-26.
WANG Ben. Numerical simulation analysis on natural gas leakage and explosion process in utility tunnel[J]. Journal of Chinese People's Armed Police Force Academy, 2019,35(2):22-26(in Chinese).

作者简介:白鹤瀛(1980-),男,天津人,大学本科,高级工程师,主要从事总图、综合管廊、结构等多专业设计研究工作,多次获得省部级勘察设计奖项。

E-mail:cranew@126.com

收稿日期:2020-05-07

修回日期:2020-08-13

(编辑:孔红春)