

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.16.013

长距离暗挖综合管廊设计关键技术研究

强 健, 高程鹏, 康明睿

(上海市工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘 要: 暗挖工法是老旧城区建设综合管廊行之有效的方法,然而,由于综合管廊有自身的功能系统和特点,长距离暗挖综合管廊工程不能直接参照暗挖隧道技术。长距离暗挖综合管廊技术的关键是要在暗挖工程中实现综合管廊必需的功能要求。基于大量工程实践的总结与思考,给出了长距离暗挖综合管廊技术主要关键问题的对策方案:通过“区间设计”技术实现综合管廊功能系统的整合,形成断面单一连续的长距离暗挖区间和综合管廊复合功能节点;采用暗挖施工井与综合管廊复合功能节点结合的设计方案,形成综合井设计技术;通过方案优化,解决长距离暗挖区间的通风与逃生问题。结合上述技术方案,可以合理地将暗挖隧道技术应用到综合管廊建设中,为推动暗挖综合管廊技术的应用与发展提供借鉴。

关键词: 综合管廊; 长距离; 暗挖

中图分类号: TU990.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)16-0077-06

Research on Key Technology for Design of Long-distance Utility Tunnel Constructed by Underground Excavation Method

QIANG Jian, GAO Cheng-peng, KANG Ming-rui

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

Abstract: Underground excavation method is an effective method for construction of utility tunnel in old urban areas. However, utility tunnel has its own function system and characteristics, resulting in underground tunneling technology can not directly apply in the long-distance underground utility tunnel engineering. The key of long-distance underground excavation of utility tunnel is to meet its necessary functional requirements in underground excavation project. Based on the summary and thinking of a large number of engineering practices, the countermeasures for the main problems of long-distance underground utility tunnel constructed by underground excavation method were introduced. First, the integration of the functional system of the utility tunnel was achieved by using “interval design” technology, and composite functional nodes with single continuous section in the long-distance underground utility tunnel were formed. Second, the integrated well design technology was formed by using the design scheme of underground construction well combined with composite function node of the utility tunnel. Finally, ventilation and escape problems of long-distance underground excavation were solved by optimization of the scheme. Combined with the above technical schemes, the underground tunneling technology can be reasonably applied to utility tunnel constructions, which provides reference for promoting the application and development of utility tunnel constructed by underground excavation technology.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0805000)

Key words: utility tunnel; long-distance; underground excavation

在旧城区以综合管廊方式集约化敷设城市工程管线,是保障城市地下管线安全运营的重要手段,也是城市更新行动、加强“韧性城市”建设的重要内容。在旧城区建设综合管廊,由于交通、周边环境保护的要求,往往需要采用暗挖工法,把工程建设对周边环境的影响降低到可接受的限度。一般可采用顶管、盾构、矿山法等施工方法^[1]。

王恒栋^[2]介绍了我国建设城市地下综合管廊工程发展的背景以及《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)的修订情况,简要阐述了地下综合管廊附属配套设施的排水、消防等技术要求。油新华^[3]从我国城市综合管廊的建设发展历程入手,结合一些典型工程,重点论述了城市综合管廊在建设模式、规划设计、施工、运营管理等方面的发展现状,对目前我国综合管廊建设的重大技术进展进行了详细阐述。刘冬冬等^[4]结合成都天府新区兴隆86路综合管廊下穿天府大道工程,通过管幕设计、顶进设计等,探索钢管管幕施工工艺在综合管廊下穿既有城市主干道时的应用技术。吴余海^[5]以北京市通州综合管廊上穿地铁6号线暗挖施工为工程背景,采用ABAQUS软件对暗挖施工过程进行有限元建模,分析管廊开挖过程对隧道结构及周边土体的影响。柳宪东^[6]介绍了盾构综合管廊的主要组成及各组成部分的功能,盾构综合管廊与地铁的结合形式,防火分区长度划分原则和出地面口部间距要求,大型供水管线入廊的安装、运营维护和防爆管措施,隧道内部结构体系的型式,盾构综合管廊管线灵活出线的解决方式等关键技术问题。潘学斌等^[7]结合包头新都市区项目综合管廊经十二路、经三路顶管工程,介绍了预制顶推施工技术的控制要点。叶丽宏等^[8]结合杭州市德胜路(机场路—九环路)地下综合管廊工程Ⅱ标段项目,分析了大截面矩形顶管的施工特点,同时介绍了施工过程中的关键技术。刘俊奇等^[9]在四平市矿山法综合管廊项目的实际施工中,探索出在管廊中隔墙处加入永久支撑,以代替临时支撑的施工方法。

从土建角度,综合管廊的结构本体属于地下隧道类构筑物。在多数穿越障碍性的短距离暗挖综合管廊工程中,可直接采用暗挖隧道技术。然而,

综合管廊有其自身的技术特点,根据《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)等有关技术标准的要求,综合管廊除需满足自身运营的功能要求外,还需满足入廊管线的安装、检修与运营要求。实践中可以发现,在长距离暗挖综合管廊工程中,难以将暗挖隧道技术与综合管廊技术简单结合。

笔者基于工程实践,认为综合管廊功能节点布置、通风与防火等是制约长距离暗挖综合管廊工程发展的关键技术问题。为此,对这些问题给出对策,提出长距离暗挖综合管廊设计技术。

1 综合管廊功能实现分析

为了保障入廊管线的安装、检修与运营,综合管廊需要设置相应的功能系统。依据《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015),综合管廊工程需具备的功能系统有:消防系统、通风系统、配电系统、监控与报警、排水系统等。同时,综合管廊还需具备紧急情况下的人员逃生功能、管线与设备安装所需的吊装功能、管线分支引出功能等。

根据“区间设计”理论,综合管廊的上述各种功能系统在物理形式上可以通过“功能区间”来实现。对应这些功能系统,功能区间可分为防火区间、通风区间、配电区间、监控区间、排水区间、逃生区间、吊装区间和管线分支区间等8种^[10]。进一步地,以“功能区间”构建具备完善系统功能、可复制的“单元区间”,再将单元区间首尾相接进行串联,辅以特殊功能节点,就可形成功能齐全的综合管廊工程系统^[11]。

图1给出了在当前技术标准体系下,实现全部功能需求的一个单元区间的纵向示意图,这也是当前综合管廊系统布置的主流方案。

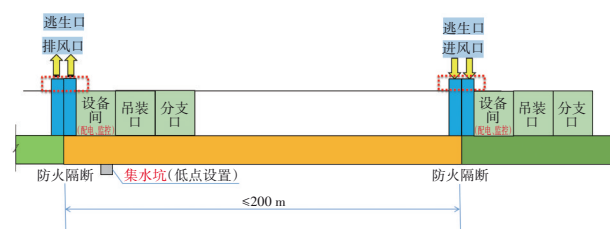


图1 综合管廊单元区间主流方案纵向示意

Fig.1 Longitudinal diagram of mainstream scheme in unit section of utility tunnel

从图1可见,该单元区间复合了实现综合管廊全部功能系统的上述8种功能区间。在这个 ≤ 200 m的长度范围,以两端设置的防火隔断形成防火区间;以防火隔断上方设置的通风口(排风口、进风口)与逃生口,形成了通风区间和逃生区间;在这个单元区间一侧的上方,设有配电与监控合建的设备间,为区间提供配电,建立这个区间范围的监控与报警系统,形成了配电区间和监控区间;区间内部的低点设有集水坑,与沿底板的排水沟,形成排水区间;靠近区间一侧的位置设置了吊装口和管线分支口,与相邻的另一区间相同位置的吊装口和管线分支口,组成了吊装区间和管线分支区间。

同时,可以看到,这种主流系统方案布置,在沿综合管廊纵向 ≤ 200 m的间隔范围内,有管线分支口、防火隔断、通风口、设备间(配电与监控)、逃生口、吊装口、集水坑等较多的功能节点。

在传统明挖法下,一般考虑尽量将综合管廊布设在城市道路的绿化带、机非分隔带或人行道下方,可以方便地布置上述各类功能节点,尤其是可以很方便地实现通风口、逃生口和吊装口等各类出地面口部的布置和建设。

在长度 ≤ 200 m的短距离暗挖法下,考虑将各类功能节点集约布置在可以明挖的两端,暗挖工法仅需实现区间内的标准段建设。管廊的标准段的断面单一、连续,可直接采用常规的隧道暗挖技术。

而在长距离暗挖综合管廊工程中,结构形式各异、小间距布置的功能节点难以采用暗挖工法实施,这是长距离暗挖综合管廊工程技术的难点和关键点,也是当下鲜见长距离暗挖综合管廊实践案例的主要原因。一般来说,结合顶管法、盾构法等暗挖工法的技术特点,暗挖工法更适用于如城市地铁区间那样的长距离、连续的隧道结构建设。因而,需要研究在综合管廊的技术标准体系下,通过技术方案的改进与优化,在长距离、连续的暗挖工程中,建设综合管廊的功能节点,实现综合管廊的功能需求。

2 长距离暗挖综合管廊的功能整合

为了将综合管廊技术与暗挖技术合理结合,根据长距离暗挖工法的特点,基于“区间设计”理论,构建具有长距离连续标准区间的、具备完善综合管廊功能系统的“单元区间”,以集约化布置功能节点

为手段,实现综合管廊基于暗挖特点的功能整合。

对比在老旧城区大规模建设的城市地铁工程,综合管廊的功能整合后集约化布置的功能节点对应城市地铁的站点,长距离连续的标准段对应城市地铁的区间隧道。以此思路为出发点,可把图1所示的单元区间进行拓展,给出符合暗挖特点的单元区间纵向示意(见图2)。

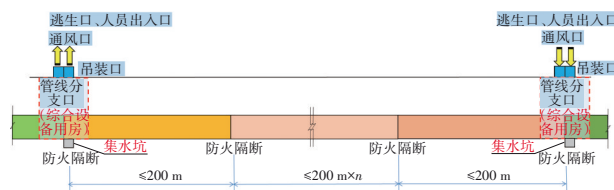


图2 长距离暗挖综合管廊的单元区间纵向示意

Fig.2 Longitudinal diagram of unit section of long-distance underground excavation utility tunnel

图2中,将结构形式各异的功能节点如逃生口、人员出入口、通风口、吊装口、管线分支口、设备用房、集水坑等集中布置在单元区间的两端,区间的中间仅布置了不影响结构形式的防火隔断,区间中部为长距离、断面单一、连续的标准段。可以看到,这种设计策略延续了城市地铁的设计理念,集中布置的功能节点可与暗挖施工井相结合,采用城市地铁地下站点的建设方式;两个站点之间的标准段,即两个施工井之间的区间隧道,采用顶管、盾构、矿山等暗挖方式掘进施工。

图2所示的单元区间,可较完善地实现综合管廊的功能需求。以“功能区间”的组成来说明:在长为 $n \times 200$ m的区间内,以间隔 ≤ 200 m设置的防火隔断,形成了 n 个200 m的防火区间;同时,防火隔断与综合井设置的逃生口,共同组成了 n 个逃生区间;综合井设置了通风口,形成了长为1个 $n \times 200$ m通风区间;在每个防火分区中,通过配电与监控设备的小型化处理,挂在断面的富余空间处,形成了基于防火区间的 n 个200 m的配电区间和监控区间;为便于区间排水,可要求区间线路采用单方向坡度,并沿区间结构底板设置排水沟,这样与综合井低点设置的集水坑,组成了1个 $n \times 200$ m的排水区间;在综合井中设置的吊装口和管线分支口,与相邻综合井中的吊装口和管线分支口,组成了1个 $n \times 200$ m的吊装区间和管线分支区间。

3 以功能为导向的综合井设计

为了便于交流和概念明确,将区间两端集中布

置功能节点的构筑物称为“综合井”,其定义为:“在施工期间用于暗挖设备(顶管机、盾构机等)安装调试、结构拼装及暗挖施工的地下作业空间,在使用期间作为实现综合管廊的通风、消防排水、吊装、管线分支、逃生、附属设备设置等功能综合构筑物。”根据前述的分析和图2的区间设计方案,给出综合井的功能示意(见图3)。

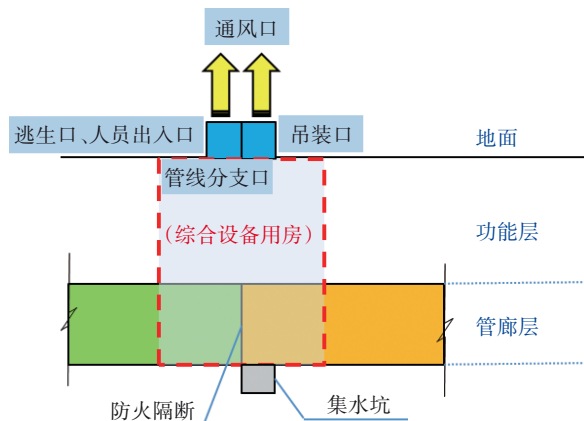


图3 综合井功能示意

Fig.3 Function diagram of the integrated well

长距离暗挖综合管廊,由于暗挖工法的特点,管廊标准段均有一定厚度的覆土深度,因而具备一定深度的综合井,可分为“管廊层”和“功能层”等两大功能层,如图3所示。进一步地,当功能层平面紧凑且高度足够紧凑时,可进一步拆分两层或更多结构层。综合井的功能要素见表1。

表1 综合井的功能要素

Tab.1 Functional elements of integrated well

阶段	性质	功能要求
施工阶段	基本功能	暗挖施工工艺功能要求,应具备暗挖机械吊入安装、出土、预制结构构件吊装运输、始发顶进工作面、辅助施工设施空间、施工人员及材料进出口等功能
		防火隔断设施
使用阶段	基本功能	逃生通道及逃生口
		通风机房及风井
		配电设施用房
		自控设备用房
		集水坑及排水装置
		吊装设施、通道及口部
		管线分支通道及口部
		管廊交叉节点
	可选功能	高压电力引出通道
		人员出入口
		监控中心
		备品备件仓库

综合井的设计技术要求:

① 综合井的布局,应符合城市规划、城市综合管廊规划、环境保护和城市景观的要求,妥善处理与地面建筑、地下构筑物及施工时交通组织之间的关系。

② 综合井井位选择,应结合人员出入、风亭设置条件确定,满足综合管廊消防、通风、配电、监控、逃生、吊装、管线分支、排水等功能要求,满足综合管廊的安全防护、防洪及管理需求。

③ 综合井的纵横向尺寸及内部结构布置除满足综合井的功能需求外,还应满足顶管、盾构、矿山等暗挖工法的施工要求。

④ 综合井宜布置在暗挖综合管廊线路纵断面平坡或凹型部位上。

⑤ 综合井应有完善的排水系统,并宜与市政排水设施相结合。

⑥ 综合井设计应集约化布置防火分隔、逃生通道、通风机房、配电间、监控与报警设备间、管线联络与分支等功能设施,应采用集约化设计。

⑦ 考虑暗挖区间结构埋深、周边环境及城市景观因素,综合井竖向布置可选取地下一层、地下多层等形式。

⑧ 综合井平面布置可采用管廊层与功能层叠加式布置,也可采用分离式布置。

4 长距离暗挖区间的通风与逃生

通过进一步研究各个功能区间的“兼容”关系,可以发现,与如图1所示的综合管廊单元区间主流方案不同的是,在如图2所示的长距离暗挖综合管廊单元区间方案中,构成防火区间的防火隔断,与通风与逃生存在着矛盾。

图4给出了图1所示主流管廊方案中常见的防火隔断设计,可以看到,防火隔断一般由防火门和防火隔板组成:在对应检修通道的位置设置了防火门,在入廊管线对应的位置设置了防火隔板和孔口的柔性防火封堵。

此外,综合管廊属于狭长构造物,在其通风系统的设计中,一般将综合管廊的整个断面作为通风风道^[12]。

对于长距离暗挖综合管廊工程,通风区间必然跨越防火区间,而构成防火区间的防火分隔设置必然出现在通风区间的中部。虽然通过防火门“平时

常开、灾时关闭”的设置可以保证正常运营工况下的通风,但“灾时关闭”的防火门阻断了灾后通风排烟的通风风道。另一方面,《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)给出了综合管廊逃生的技术要求。由于入廊电力管线也成为综合管廊工程最普遍的工程因子^[13],逃生一般需满足“设电力电缆的舱室,逃生口间距不宜大于200 m”的规定。这种“灾时关闭”的防火门却为长距离暗挖区间里的逃生提供了符合规范要求的逃生方案。

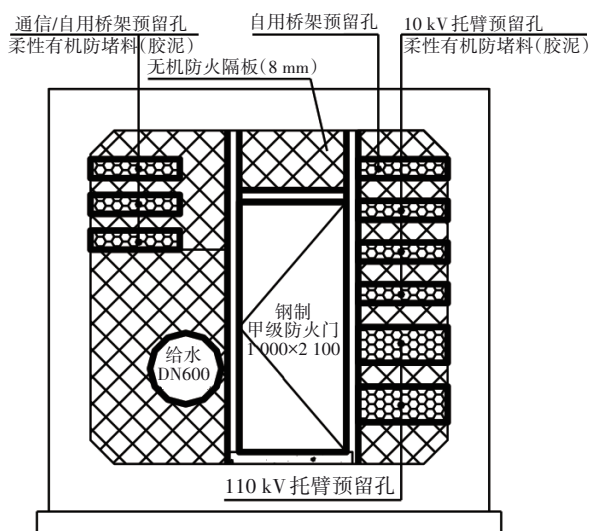


图4 常见的防火隔断设计示例

Fig.4 Common examples of fire partition design

为了保证防火、通风、逃生等功能在长距离暗挖区间中“兼容性”的实现,提出以下技术方案:

① 分隔为两舱及以上舱室的长距离暗挖综合管廊区间,采用有防止窜烧措施、不设防火门的防火分隔方式,以保证通风风道不受防火门的影响。

② 分隔为两舱及以上舱室的长距离暗挖综合管廊区间,利用分隔舱室的隔墙、隔板,按规范规定的逃生口间距设置连通人孔或通道,人孔或通道口部设置防火盖板或防火门,以将相邻舱室互相作为逃生意义下的安全区域。

③ 单舱、不能相互连通的多舱长距离暗挖综合管廊区间,防火分隔应设置“平时常开、灾时关闭”的防火门,以保证逃生口的有关要求。

④ 单舱、不能相互连通的多舱长距离暗挖综合管廊区间,应设置与结构具备相同耐火等级的土建风道或在防火隔断上增设可靠的风阀系统,以便

迅捷地进行灾后排烟通风和抢修;当不具备土建风道及风阀的设置条件时,应进行灾后救援与抢修的技术性评估,并有消防部门认可的灾后救援与抢修的预案。

5 结语

为了将综合管廊技术与暗挖技术合理结合,解决长距离暗挖综合管廊工程中功能节点难以实现的问题,以综合管廊的功能实现分析为基础,以功能整合为手段,给出适用于长距离暗挖工程的、以“单元区间”表述的综合管廊系统设计方案。并进一步分析该系统方案设计中的关键技术,给出综合井设计技术要求;通过防火隔断方案和舱室连通要求的优化与组合,解决长距离暗挖区间中防火区间与通风、逃生存在的矛盾关系,可为长距离暗挖综合管廊工程的设计提供实践意义上的参考。

参考文献:

- [1] 王恒栋. 我国地下综合管廊工程技术进展[J]. 城乡建设, 2017(9): 55-57.
WANG Hengdong. Technical progress of underground utility tunnel in China [J]. Urban and Rural Development, 2017(9): 55-57(in Chinese).
- [2] 王恒栋. GB 50838—2015《城市综合管廊工程技术规范》解读[J]. 中国建筑防水, 2016(14): 34-37.
WANG Hengdong. Interpretation of GB 50838-2015 “Technical Code for Urban Utility Tunnel Engineering” [J]. China Building Waterproofing, 2016(14): 34-37 (in Chinese).
- [3] 油新华. 我国城市综合管廊建设发展现状与未来发展趋势[J]. 隧道建设, 2018, 38(10): 1603-1611.
YOU Xinhua. State-of-art and prospectives of urban utility tunnels in China [J]. Tunnel Construction, 2018, 38(10): 1603-1611(in Chinese).
- [4] 刘冬冬, 周鑫, 杨柠菠, 等. 管幕法在综合管廊暗挖施工中的应用研究[J]. 施工技术, 2019, 48(12): 75-79.
LIU Dongdong, ZHOU Xin, YANG Ningbo, et al. Application research on pipe-roof method used in utility tunneling construction [J]. Construction Technology, 2019, 48(12): 75-79 (in Chinese).
- [5] 吴余海. 综合管廊暗挖施工对地铁隧道影响的数值分析[J]. 施工技术, 2017, 46(17): 105-109.
WU Yuhai. Numerical simulation of influence of the underground construction of the utility tunnel to

- underneath shield tunnel[J]. Construction Technology, 2017, 46(17):105-109(in Chinese).
- [6] 柳宪东. 与地铁结合的地下盾构综合管廊设计方法研究[J]. 隧道建设, 2018, 38(7):1196-1203.
- LIU Xiandong. Research on design method for underground shield utility tunnel combined with metro [J]. Tunnel Construction, 2018, 38(7):1196-1203 (in Chinese).
- [7] 潘学斌, 袁梅, 李海清, 等. 矩形管廊预制顶推施工技术重难点控制[J]. 施工技术, 2017, 46(1):112-115.
- PAN Xuebin, YUAN Mei, LI Haiqing, et al. Key points control of precast jacking construction technology of prefabricated rectangular pipe gallery [J]. Construction Technology, 2017, 46(1):112-115 (in Chinese).
- [8] 叶丽宏, 蒋少伟. 超长大截面矩形城市综合管廊“盾构式”顶推施工技术[J]. 浙江建筑, 2019, 36(5):38-41.
- YE Lihong, JIANG Shaowei. Construction technology of the “shield”-top-pushing construction of the super long rectangular urban integrated pipe gallery with large section[J]. Zhejiang Construction, 2019, 36(5):38-41 (in Chinese).
- [9] 刘俊奇, 张世杰. 浅论管廊暗挖临时支撑变更永久支撑的可操作性[J]. 施工技术, 2019, 48(S01):719-722.
- LIU Junqi, ZHANG Shijie. The operability of changing permanent support to temporary support in pipe gallery underground excavation [J]. Construction Technology, 2019, 48(S01):719-722 (in Chinese).
- [10] 强健. 综合管廊的功能区间及应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(18):45-50.
- QIANG Jian. Functional section in the utility tunnel and its application [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(18):45-50 (in Chinese).
- [11] 强健, 王恒栋, 祁峰. 综合管廊的区间设计[J]. 隧道建设, 2019, 39(9):1480-1485.
- QIANG Jian, WANG Hengdong, QI Feng. Section design of utility tunnel [J]. Tunnel Construction, 2019, 39(9):1480-1485(in Chinese).
- [12] 陈小峰, 郭春, 郑鑫, 等. 矩形断面综合管廊线缆舱通风阻力系数数值仿真研究[J]. 隧道建设, 2019, 39(6):953-959.
- CHEN Xiaofeng, GUO Chun, ZHENG Xin, et al. Numerical simulation of ventilation resistance coefficient of utility tunnel cable cabin with rectangular cross-section [J]. Tunnel Construction, 2019, 39(6):953-959 (in Chinese).
- [13] 强健. 综合管廊技术标准体系应用现状浅析[J]. 城市道桥与防洪, 2019(3):195-198.
- QIANG Jian. Elementary analysis on current application of technical standard system for utility tunnel [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2019(3):195-198 (in Chinese).

作者简介:强健(1979-),男,安徽芜湖人,硕士,高级工程师,一级注册结构工程师,一级建造师,副总工程师,主要从事市政工程设计与研究,曾主编标准2项、参编标准6项、授权专利12项,撰写并发表学术论文约20篇。

E-mail: qiangjian@smedi.com 275034544@qq.com

收稿日期:2021-03-29

修回日期:2021-04-09

(编辑:孔红春)

实施国家节水行动,建设节水型社会