

山地城市复杂地质条件下综合管廊岩土工程设计 ——以重庆市九龙坡区科学大道工程为例

陈 军¹, 成青明², 吴 桐¹, 乔玉英¹, 张 宇¹, 朱语聪¹

(1. 重庆市设计院有限公司, 重庆市 400015; 2. 重庆市沙坪坝区城市排水设施管理处, 重庆市 400031)

摘 要: 以重庆市九龙坡区科学大道综合管廊工程为研究对象, 系统分析山地城市复杂地质条件下综合管廊岩土工程设计的关键技术及工程实践方法。基于项目实证, 重点阐述了软弱地基、邻近既有建构筑物、深基坑及高填方等典型地质环境中的基坑支护技术、地基处理措施及河道穿越施工方案, 进而提出适应山区城市复杂地质特征的综合管廊设计与施工优化策略。通过工程案例解析, 系统阐述了该工程在结构体系优化、防水系统设计、地基处理技术及安全防护体系等方面的创新实践, 为类似地质条件下市政基础设施的建设提供了重要工程参考。

关键词: 山地城市; 综合管廊; 复杂地质; 岩土工程设计; 基坑支护; 地基处理

中图分类号: TU992

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)09-0246-06

Geotechnical Engineering Design of Utility Tunnel under Complex Geological Conditions in Mountain City of Chongqing

CHEN Jun¹, CHENG Qingming², WU Tong¹, QIAO Yuying¹, ZHANG Yu¹, ZHU Yucong¹

(1. Chongqing Architectural Design Institute Co., Ltd., Chongqing 400015, China; 2. Chongqing Shapingba District Urban Drainage Facility Management Office, 400031, China)

Abstract: Taking the Chongqing Jiulongpo District Kexue Avenue Utility Tunnel Project as the research object, the key technologies and engineering practice methods of geotechnical engineering design of utility tunnel under the complex geological conditions in mountain cities are systematically analyzed. Based on the project demonstration, the focus is on expounding the foundation pit supporting technology, foundation treatment measures and river crossing construction scheme in typical geological environments such as soft foundation, adjacent existing structures and buildings, deep foundation pits and high fills, and then the design and construction optimization strategy of utility tunnel adapted to the complex geological characteristics of mountain cities is put forward. Through the analysis of engineering cases, the innovative practice of the project in structural system optimization, waterproof system design, foundation treatment technology and safety protection system is systematically expounded, which provides an important engineering reference for the construction of municipal infrastructures under similar geological conditions.

Keywords: mountain city; utility tunnel; complex geology; geotechnical engineering design; foundation pit supporting; foundation treatment

0 引 言

随着城市化进程的加速推进, 城市地下空间的高效开发利用已成为推动城市基础设施建设的关键一环^[1-2]。山地城市因其独特的地貌和复杂多变的

地质条件, 给市政公用工程的设计与施工带来了巨大挑战。综合管廊作为智慧城市建设和城市可持续发展的关键要素, 凭借其对多种市政管线的集约布置能力以及对管线维护效率的提升作用, 得到了广泛的推广和应用^[3]。重庆, 作为中国典型的山地城市, 地形起伏显著, 地质条件极为复杂, 地表标高变化多端, 地质结构多样。这里广泛分布着软弱土层、厚填方区、高边坡以及邻近的建(构)筑物等复杂地质条件, 给地下综合管廊的建设带来了诸多技术上的挑战。这些复杂地质问题不仅影响基坑开挖和支护的安全, 也对地基处理、防渗防水、结构稳定和后

收稿日期: 2025-08-09

基金项目: 重庆市设计院有限公司科研项目(2024-NBKY-058)

作者简介: 陈军(1974—), 男, 硕士, 正高级工程师, 注册道路工程师, 重庆市设计院有限公司市政一院院长, 从事市政工程相关设计和研究工作。

通信作者: 朱语聪(1996—), 男, 硕士, 工程师, 从事市政工程相关设计和研究工作。电子邮箱: 446729004@qq.com

期运维等形成了多重挑战^[4]。

国内外学者已对平原城市综合管廊设计积累了大量经验,而针对山地、丘陵等复杂地形城市的研究尚不充分。国内山地城市综合管廊岩土工程设计聚焦于地基稳定性、基坑支护及防水处理,采用地形分区、分层处理及多元支护等技术手段^[5-6]。然而,在穿越软弱地基、高填方区、深基坑及水体等复杂地质条件时,仍面临基坑稳定性、临近建筑保护及水文环境适应等技术挑战。国外在特殊地质条件下的地下管道与隧道工程实践中,同样注重结构安全、施工工艺的适应性及环境保护^[7-8]。针对山地城市复杂地质条件下综合管廊的结构与岩土设计进行研究,对于提升城市基础设施安全性和耐久性、推动地下空间科学开发利用具有重要战略意义和理论价值^[9-10]。通过系统地梳理和总结重庆市九龙坡区科学大道综合管廊工程的实践经验,可为在类似地貌和地质环境下的城市综合管廊设计提供宝贵的技术储备和管理经验,从而推动山地城市地下工程技术的持续进步。

本文以重庆市九龙坡区科学大道综合管廊工程为对象,重点围绕综合管廊在复杂地质条件下的选线布局、横断面构造、基坑支护、地基处理和穿越河道等岩土工程关键技术,结合工程具体做法进行系统论述和归纳,为山地城市综合管廊建设技术体系

完善和工程实践提供参考。

1 工程概况

科学大道综合管廊工程位于重庆市九龙坡区,如图1所示,该项目北起白彭路立交,南至牟家湾立交,呈南北向纵贯全区;管廊沿科学大道道路西侧辅道布置,全长7 003.556 m。科学大道作为重庆市的主要交通动脉,沿线密布着关键公共设施、居民住宅区、蜿蜒河流及繁忙的工业园区,是区域内市政基础设施建设的重点项目,对健全区域管线网络、提高市政管理水平发挥着至关重要的作用。

该项目主要特征表现为线路延伸距离长、穿越地质条件复杂多变且结构形式多样。具体而言,复杂地质条件包括:软弱地基分布区段(如鱼塘、藕塘及粉质黏土层),其地基承载力低且沉降控制标准严格;高填方路堤区段,存在地基稳定性不足及显著差异沉降风险;邻近既有建构筑物区段,对基坑支护结构安全性与施工扰动控制要求较高;高陡边坡与深大基坑区段,需采用复杂支护体系及边坡防护措施;穿越河道区段涉及复杂水文地质条件,对结构防渗性能提出较高要求。针对上述难题,工程实施了差异化岩土处治与支护技术,依据不同区段地质特征,针对性设计了地基加固、基坑支护及防水系统等技术方案。

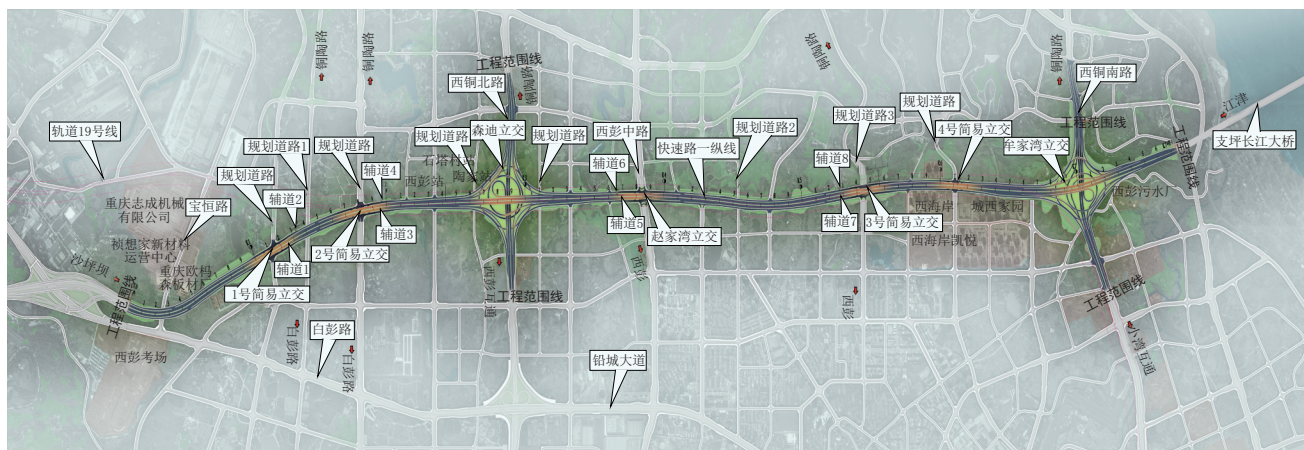


图1 科学大道九龙坡段区总平面图

2 综合管廊概况

2.1 平面设计

科学大道综合管廊主线采用线性布局,沿道路西侧辅道下方敷设,以最大限度降低对主线快车道交通的影响。全线施工采用现浇与装配式相结合的方式,其中装配式结构占比达52.7%,有效提升了施工进度与工程质量^[11]。各类节点段(如变电所、通风

口、吊装口)均布置于直线段位置,有利于管线引出、维护作业及后期扩展。其中,变电所与通风口紧邻道路红线外缘设置,促进了交叉口交通组织优化并增强了管廊运行的独立性。

在平面线形设计方面,综合管廊整体线形与道路走向高度一致,并在必要处采用直折沟形设计以适应道路曲线与转角,确保各类管线能够顺利过渡、满足最小弯曲角度要求,便于日常检修维护。依据

相关技术规范,防火分区间距不得大于200 m,投料口(吊装口)间距不大于400 m,逃生口间距不大于200 m^[12],以确保应急疏散与物资投送的安全需求。综合管廊沿线共计设置79个逃生口、40个进排风口、22个管线分支口及21个投料口(吊装口)等设施。上述设施的合理配置有效保障了综合管廊的安全性、功能性及运维便利性。

2.2 横断面构造设计

图2展示综合管廊内部构造及标准横断面。入廊管线主要为市政设备类管线。管廊为双舱矩形断面,含综合舱与高压舱,纳入管线包括110 kV及220 kV高压电力电缆、24回通信电缆、24回10 kV电力电缆、DN300及DN1200给水管、DN300再生水管。内部净尺寸(4.6 m+2.4 m)×3.3 m,总宽8.1 m,高4.1~4.5 m。结构分A、B、C、D型,顶底板厚度分别为0.4、0.5、0.6 m。管线双层布置:大管径在下层,小管径在上层,依据规范^[13-14]设置安装与检修空间,固定于钢结构支架。火灾危险性分类为丙类。

综合舱内,电力与通信电缆敷设于舱壁支架;给水干管置于底板,每3 m用C20混凝土支墩固定;消防管道吊装于顶部。强电支架9层(层间距0.3 m),弱电支架7层(层间距0.3 m),检修通道宽1.5 m;强电与弱电管线分置两侧,支架间距3.4 m。高压舱内设高压电缆支架,两侧各6层(层间距0.5 m),支架宽度分别为0.7 m和0.6 m。

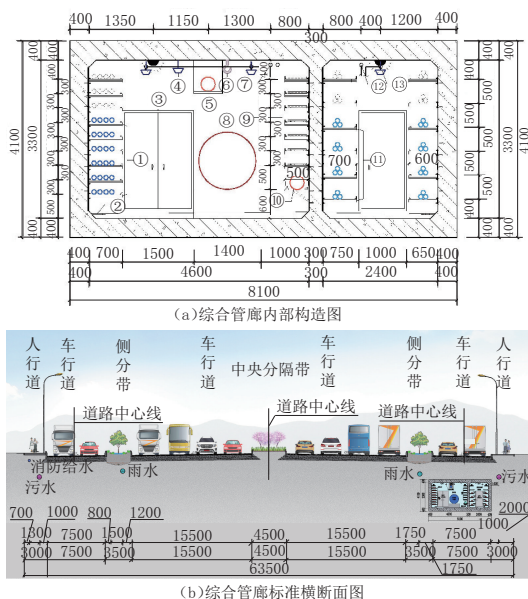


图2 综合管廊内部构造及标准横断面图

2.3 管线布置与舱室功能

该项目管道接入方案具体方案为:综合舱内敷设10 kV电力电缆、通信线缆、城市供水管及中水管;

高压舱集中布置220 kV和110 kV高压输电电缆,并首次在综合管廊中应用气体绝缘输电线路(GIL)技术。为有效抑制电磁干扰,强电与弱电路实施分侧布置,采用隔离支架分层安装,并合理设定支架层间距,既保障日常运维便利性,亦提升事故抢修效率。全线通风口、逃生口及吊装口均依据规范设置,充分兼顾应急安全与常态管理需求。管廊整体防水等级为一级,采用隧道专用复合防水体系,从防水材料选型至细部节点接缝密封处理均执行严格标准,显著提升结构耐久性能。

3 基坑支护设计

3.1 支护形式选择原则

基坑支护类型的选择必须严格依据地质条件、结构布局及周边环境因素进行综合考量,整体坚持安全性、经济性与可施工性相统一的原则。本工程结合不同段落地质及环境实际,针对性地引入了多种支护形式:对于软弱地基分布区段,采用清淤换填、翻挖换填及必要的强夯等地基加固措施;在邻近既有建(构)筑物的段落,采用桩板挡墙等刚性支护体系以有效控制基坑变形对周边的影响;高边坡和深基坑区段,则实施垂直肋柱式锚杆挡墙与护坡复合支护,保障边坡和基坑的稳定性;一般挖方段则视实际情况采用分级放坡与临时支护相结合的方法。这些定制化、多样化的支护体系,充分应对了山地城市复杂地质环境下综合管廊施工的安全与技术需求。

3.2 软弱地基段处理

对于鱼塘、藕塘、水田等存在粉质黏土和极软土的地段,需进行全面的清淤换填与强夯处理。具体施工过程中,先彻底清除表层软土,直至基底满足设计承载力要求,然后回填中粗砂或级配碎石并分层碾压密实;如有必要,再采用强夯法对基底土体进行进一步加固,以提升基础承载力和整体稳定性。待基底验槽合格后,方可开展后续的管廊开挖与基础施工。通过上述处理,有效防止了管廊后期可能出现的不均匀沉降及软土流变问题。

3.3 邻近建构筑物段支护

对于靠近住宅、厂房等建筑物的段落,通常采用由灌注桩配合钢筋混凝土板墙构成的桩板挡墙进行临时支护,如图3所示。具体做法是,先在基坑外缘施工钻孔灌注桩或钢板桩作为主要承重结构,随后在内侧设置与桩体结合的混凝土板墙,使其整体受

力、共同抵抗土压力,必要时还可配合内支撑结构或斜拉锚固以提高刚度,并通过实时监测相邻建筑的沉降与位移,及时调整支护措施。该支护体系能有效控制基坑开挖引起的水平位移和地基沉降,确保周边建筑物结构的安全稳定。

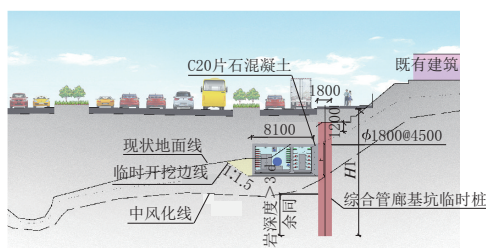


图3 邻近构筑物旁板桩挡墙支护示意图

3.4 高边坡段支护

针对高边坡段基坑开挖的高风险特点,推荐采用垂直肋柱式锚杆挡墙进行支护,如图4所示。肋柱间距2.0 m,截面尺寸500 mm×500 mm,配筋率 $\geq 0.8\%$,锚杆采用2 ϕ 28HRB400钢筋,嵌固长度不小于5 m,倾角 15° ,间距为2.0 m,通过现场载荷试验验证其抗拔承载力可达180 kN。其施工流程为:首先在边坡转角预先布置肋柱和挡墙,并按设计间距安装锚杆,边坡分级开挖与锚杆及支护板墙施工同步进行,形成多层防护体系;在管廊两侧侧墙采用C20片石混凝土分层回填,以增强侧墙结构刚度;顶部边坡则用喷射混凝土封闭,防止因降雨等因素引发的表土滑移。该工艺有效提升了边坡的稳定性,降低边坡下滑风险,确保基坑开挖过程的安全。

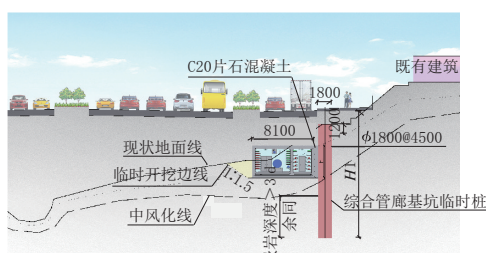


图4 锚杆挡墙支护示意图

3.5 防水与降排水设计

综合管廊全线均为一级防水,综合管廊结构采用C40P10防渗混凝土,结构外侧表面整体满涂6 mm厚有机聚合物水泥基防水涂料及找平层,以及增设350 g/m²无纺布和1.5 mm防水板加强防护,形成坚实的多重防水屏障,基坑外缘及边墙采用20 mm厚喷射混凝土密封。基底渗水段设置排水盲沟引流至集水坑,必要时增设主动降水井以加强排水能力。

4 填方路段设计

4.1 填方段地基处理

填方路段是工程地质领域的重点关注对象,其地基承载力和沉降控制直接关系到结构的安全性。对于节点填方断面,本工程在节点顶面采用气泡混合轻质土(W8, CF1.6),防止上部荷载过大导致结构顶板破坏,如图5所示。

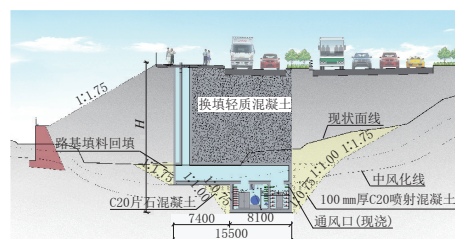


图5 节点高填方设计示意图

此外,该工程对厚度大于3 m的填土段,采用梅花形布置的高压旋喷桩进行地基加固。旋喷桩直径为1 m,桩间距1.5 m,如图6所示。高压旋喷桩加固技术通过高压设备使水泥浆液喷射冲击土体,形成固结体,显著提高地基土体的强度与密实度,增强承载力,并有效控制不均匀沉降。例如,在淤泥土质高压旋喷桩复合地基承载力成果中,通过高压旋喷桩的施工,实现了对地基的加固,桩身强度、完整性、桩径大小随地质环境变化而变化,体现了旋喷桩加固的适应性和效果。加固区上部再铺设级配碎石垫层,增强管廊基底支撑能力。

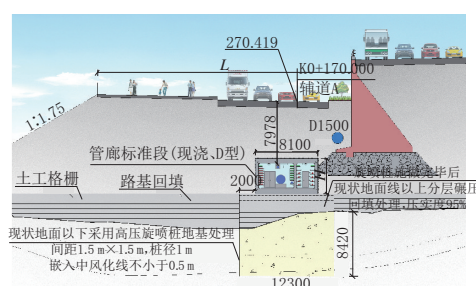


图6 高压旋喷桩设计示意图

4.2 级配碎石垫层工艺

管廊基底50 cm范围,采用级配碎石进行换填,粒径范围5~40 mm,要求分层铺筑、反复碾压,压实度不小于95%,形成坚实均匀的承载层。碎石层能够有效分散上部荷载,缓解管廊结构沉降带来的冲击,同时有效阻隔地表水的渗透,为后续的主体结构施工奠定坚实的基础。

4.3 施工质量控制

工过程中,应严格控制旋喷桩质量(垂直度、桩

径、加固深度、间距)和碎石层压实度。在施工现场,通过设置试桩及试填区,运用静载试验和贯入试验等方法,对桩基强度和地基承载力进行精确检测。这些检测方法不仅符合设计和规范要求,而且通过实际工程案例分析,验证了其在确保工程质量方面的有效性。同时,需持续监测填方路段的结构沉降变形情况,一旦发现异常,应立即采取加固和纠偏措施,以保障整个段落工程的安全稳定性。

5 穿越河道设计

5.1 设计原则与难点

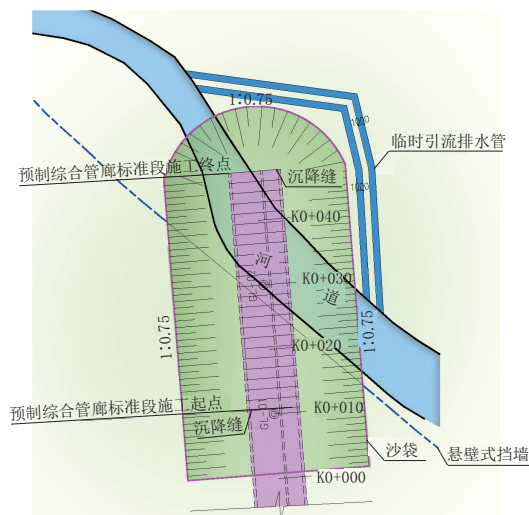
综合管廊穿越河道段面临基坑开挖、水流阻断、防渗处理及基底稳定等多项岩土工程难题,技术目标是确保管廊施工和运营期间河道始终畅通,严格防范基坑突水和渗水对管廊及周边环境造成不良影响,河道底部及侧墙需具备良好的防渗和抗冲刷性能,以防长期渗漏和侵蚀危及管廊结构安全,同时在各施工阶段合理引导和防护水流,统筹兼顾临时措施与最终结构的耐久性。

5.2 施工工艺及顺序

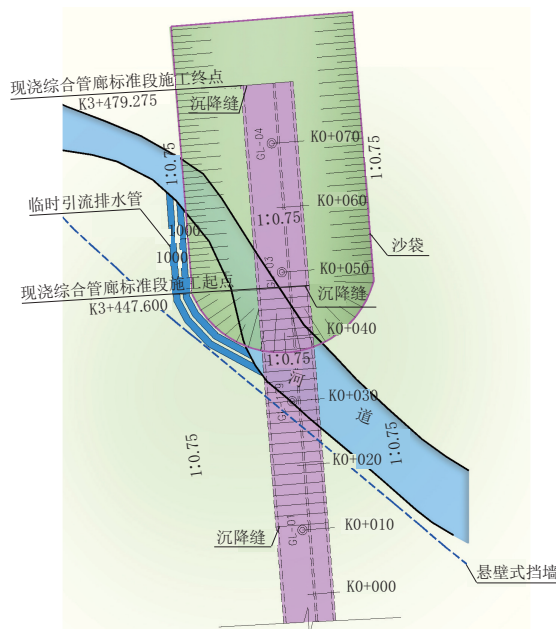
河道段施工按照明确的顺序分步推进,如图7所示。首先,在管廊穿越区域两侧布置临时引流排水系统,保证主河道水流畅通,避免基坑开挖期间对施工区形成冲刷及渗漏风险。然后,坑开挖后按综合管廊标准段进行钢筋混凝土结构现浇,分段施工。东侧完工后,立即进行基坑回填并恢复部分地表,同时对临时排水系统进行优化,为西侧施工做好准备。接着,西侧重复放坡开挖、防护和基坑预制管廊段及桥台施工,实现两侧结构整体贯通。全部结构建成后,基坑按照设计分层回填夯实,并在河底加铺300 mm厚浆砌片石进行加固防渗,最终全面恢复河道通航及功能。

5.3 防水结构与安全性

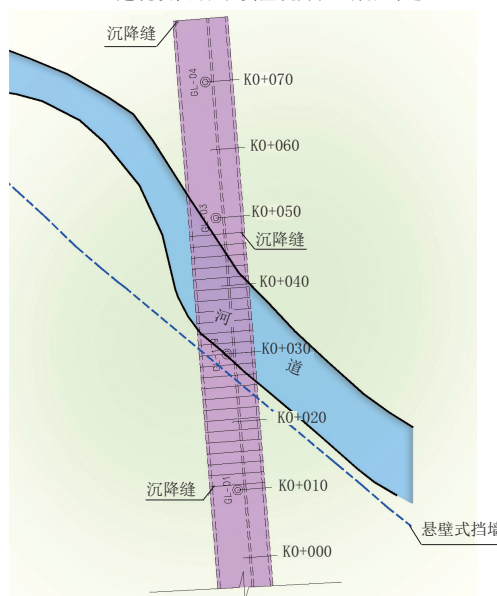
河道穿越段防水方案主要采取多重举措,其中管廊底板及两侧墙体设有与主体结构一体化的复合防水体系,结合高性能无纺布防水层和聚合物水泥基涂料,实现多层次防护;河道底部采用厚浆砌片石进行加固防渗,最终全面恢复河道通航及功能。同时,施工及运营各阶段均配备独立排水系统,确保在遇到突发水位上涨时能及时疏排保障安全。此外,穿越段结构还需充分考虑洪峰期水流冲击、河床稳定和周边地基加固等问题,必要时采用抗滑桩、加长锚固或护岸加固等措施,以保障结构的长期稳定和



(a)南侧基坑开挖,破除现状挡墙,引流河道



(b)还建现状挡墙,北侧基坑开挖,引流河道



(c)施工完成

图7 综合管廊穿越河道施工设计示意图

安全运行。

6 结 语

本论文以重庆市九龙坡区科学大道综合管廊工程为实例,系统梳理了山地城市复杂地质条件下综合管廊的岩土工程设计与施工技术。主要结论如下。

(1)山地城市综合管廊项目需应对软弱地基、高填方、深基坑、邻近构筑物及河道穿越等特殊地质条件,采用多元地基处理与支护技术:弱地基以清淤换填与强夯为主,高填方段实施旋喷桩加固,邻近构筑物采用桩板挡墙,高边坡则运用垂直肋柱锚杆挡墙与喷射混凝土支护。

(2)综合管廊采用双舱矩形断面设计,合理分隔市政管线及高压输电线缆,确保结构高效安全;同时,消防、逃生、通风等设施均严格按照规范设置。

(3)全线防水体系实施严格分级管理,采用全包裹式复合防水措施,有效提升了结构的耐久性和可靠性。

(4)河道穿越施工分阶段配合临时排水、标准段现浇、基坑防渗和河道还建等措施,整体工艺科学高效。

(5)工程实践总结出一套适用于山地城市复杂地质条件的综合管廊岩土工程设计技术体系,对类似环境城市地下工程建设具有较高指导意义。

参考文献:

- [1] 沈钰琳.山地城市综合管廊相关问题探讨[J].给水排水,2017,53(8):112-117.
- [2] 顾宽海,张逸帆,叶上扬.地下城市综合管廊设计技术要点及案例分析[J].建筑结构,2018,48(增刊1):833-838.
- [3] 强健,康明睿,朱玉龙.长距离顶管综合管廊工程设计关键技术研究——以黄冈新港北路顶管综合管廊工程为例[J].隧道建设(中英文),2022,42(增刊2):287-293.
- [4] 刘文,袁红.综合管廊与地下空间一体化建筑设计模式研究[J].地下空间与工程学报,2021,17(5):1362-1375.
- [5] 陈思,张曦,胡伟峰,等.杭州市艮山路综合管廊设计要点探讨[J].给水排水,2023,59(增刊1):457-461;467.
- [6] 葛晓光,陈颖青,谢璞,等.重力流污水管道纳入综合管廊设计要点分析[J].隧道建设(中英文),2024,44(增刊1):327-333.
- [7] 张桐,李辰星,钟晓琳,等.某高校综合管廊设计及人防通道改造利用方案研究[J].中国给水排水,2025,41(4):86-91.
- [8] Xiaojiang L, ZhaoDong X, Tong S Q, et al. Simple Model for Longitudinal Temperature Distribution of Utility Tunnel Fire with Double Fires and End Wall Fire[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2025, 39(3).
- [9] WANG J, FENG X, ZENG X, et al. Research on the effectiveness of ventilation and dehumidifier on preventing condensation risk of urban utility tunnel[J]. International Journal of Ventilation, 2025, 24(2): 277-291.
- [10] ZUO K, HUANG Z, YANG Y, et al. Mechanical performance of early-age corbels in composite plate utility tunnels: Experimental and numerical study [J]. Structures, 2025(75): 108651-108651.
- [11] GB 50838—2015,城市综合管廊工程技术规范[S].
- [12] GB 50140—2005,建筑灭火器配置设计规范[S].
- [13] GB 50007—2011,建筑地基基础设计规范[S].
- [14] GB 50015—2019,建筑给水排水设计标准[S].
- [15] GB/T 38550—2020,城市综合管廊运营服务规范[S].

(上接第234页)

- 路,2014,34(5):1671-2579.
- [4] 朱涛,訾娟,范瑞朋,等.弹性地基梁法在箱涵中的应用[J].水利水电工程设计,2016,35(2):7-11.
 - [5] GB 50021—2001,岩土工程勘察规范[S].
 - [6] 常士骧,张苏民.工程地质手册[M].5版.北京:中国建筑工业出版社,2007.
 - [7] 陈定安,茅加峰.室内基床系数测试方法研究[J].岩土工程学报,2011,33(2):281-284.
 - [8] GB 50307—2012,城市轨道交通岩土工程勘察规范[S].
 - [9] GB 50007—2002,建筑地基基础设计规范[S].
 - [10] Beer E D, Martens A. Discussion of "Penetration Tests and Bearing

- Capacity of Cohesionless Soils"[J]. ASCE Soil Mechanics and Foundation Division Journal, 1956, 82(4).
- [11] Terzaghi K, Peck R B, Mesri G. Soil Mechanics in Engineering Practice[J]. Soil Science, 1996, 68(5): 149-150.
 - [12] JTG 3363—2019,公路桥涵地基与基础设计规范[S].
 - [13] 何坚.基于欧洲规范的钢筋混凝土箱涵结构设计与计算[J].中外公路,2015,35(2):138-142.
 - [14] 于永堂,唐浩.西安黄土基床系数变化规律及其测试方法的相关性分析[J].岩石力学与工程学报,2017,36(10):2563-2571.
 - [15] 肖鸿斌.原位测试基床系数探讨[J].工程勘察,2022,50(9): 25-32.