

雄安新区综合管廊与供排水协同设计研究

张路, 张茵, 李路路

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京市 100082)

摘要: 雄安新区作为国家级战略新区,其地下基础设施的高标准建设对打造绿色智慧城市标杆至关重要。聚焦于新区重点片区综合管廊与供排水管线协同设计中的关键技术难题,旨在解决传统经验式入廊决策依据不足、有限舱室内多管线排布冲突、综合管廊标准化低及多权属协同运维困难等核心问题。研究构建了融合技术-经济-运维三维度的综合评价体系,实现了给水、再生水、热力等管线入廊的量化决策。设计阶段,通过数学模型和BIM技术实现舱室断面与管线排布的精细化优化,并形成模块化、标准化技术体系。运维层面,构建了基于智慧化平台的“统一运营、专业维护”协同机制。工程应用实践表明,该体系有效缩短建设周期约33%,将给水管网漏损率降至5%以内,显著提升了城市基础设施的系统韧性与运维效率,为新建城区提供了可推广的实践范例。

关键词: 综合管廊;供排水管线;协同设计;雄安新区;入廊决策;智慧运维

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0146-06

Research on Collaborative Design of Utility Tunnels and Water Supply and Drainage Systems in Xiongan New Area

ZHANG Lu, ZHANG Yin, LI Lulu

(Beijing General Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Beijing 100082, China)

Abstract: As a national strategic new area, the high-standard construction of underground infrastructure in Xiongan New Area is crucial for building a benchmark for a green and smart city. Focusing on the key technical challenges in the collaborative design of utility tunnels and water supply and drainage pipelines in key areas of the New Area, aiming at addressing the insufficiency of traditional empirical decision-making basis for entering utility tunnel, the conflicts in the layout of multiple pipelines within limited cabin space, the low standardization of utility tunnel and the difficulties in collaborative operation and maintenance among multiple ownership units, a comprehensive evaluation system integrating three dimensions of technology, economy and operation / maintenance is studied and established to achieve the quantitative decision for the pipelines of water supply, reclaimed water and heating power into utility tunnel. During the design stage, the refined optimization of the cabin cross-section and pipeline layout is achieved through mathematical models and BIM technology, leading to the formation of a modular and standardized technology system. At the operation and maintenance level, a collaborative mechanism of “unified operation, specialized maintenance” based on an intelligent platform is established. The engineering application practice shows that this system effectively shortens the construction period by approximately 33% and reduces the water pipeline leakage rate to less than 5%, significantly enhancing the system resilience and operation/maintenance efficiency of urban infrastructure, which provides a replicable practical example for the construction of new urban areas.

Keywords: utility tunnel; water supply and drainage pipelines; collaborative design; Xiongan New Area; decision-making into utility tunnel; intelligent operation and maintenance

0 引言

随着国内城市化不断推进,城市地下空间资源的统一规划与高效利用已成为基础设施建设的重要

组成部分。综合管廊作为能够集约化敷设多种专业市政管线的地下构筑物,通过优化布局,集中管理以及智慧化运维等方式进行操作,不仅能够有效解决因反复开挖路面所导致的“马路拉链”问题,还能够较为明显地提升城市基础设施系统整体的安全性,韧性以及运行效率^[1-2]。

雄安新区是承担国家“千年大计”使命的战略新

收稿日期: 2025-12-29

作者简介: 张路(1985—),男,本科,工程师,从事综合管廊、给排水设计工作。

区,致力于打造绿色智慧城市示范区,因此其建设对综合管廊的体系化设计以及全生命周期管理提出了较高的标准和要求^[3-4]。特别是供排水系统,是城市运行的基础命脉,其与综合管廊的协同设计水平,直接和城市供水是否安全,水资源能否综合利用,雨洪能否管理良好以及生态治理有无成效等相关^[5-7]。与传统城市不同,雄安新区的供排水系统注重多水源协同协作,分级供水以及再生水深度利用等先进理念,给水,再生水,雨水,污水这类许多管线在管廊中一同布置便更为复杂,对于入廊决策,排布优化以及节点衔接等技术环节便有了更高的挑战。

1 工程概况与设计难点

雄安新区容东片区与启动区的综合管廊建设规模大、系统复杂,代表了新建城市高标准地下基础设施的发展方向。雄安新区综合管廊形成干支结合的网络化格局。基于“窄密路网”、“地下空间开发”、“多种新能源耦合”特征下的综合管廊网络体系,实现了城市基础设施的“韧性”与“弹性”^[8]。容东片区作为先行建设的安置区,规划面积约12.7 km²,综合管廊采用“一环七支”的平面布局,总长约15 km;启动区作为非首都功能疏解的核心载体,规划面积约38 km²,综合管廊采用“两横四纵”主干综合管廊骨架系统,干支综合管廊总长超60 km。

综合管廊按照“系统网络化、空间弹性化、运行智能化”的先进理念和标准建设。根据竖向分层管控原则,通过地下空间竖向管控,将市政设施、综合管廊、轨道交通、地下空间、智能基础设施进行了有序协调,并在此基础上与同步推进的道路工程、城市水系、雨污水管线、人防工程、地下停车场同步建设,确保了雄安新区各项地下基础设施“高起点、高标准、高质量”的建成。

在此复杂工程背景下,管廊与供排水管线协同设计面临以下核心难点。

(1)多类供排水管线运行机理差异显著,传统入廊策略适应性不足。给水管线为压力流,工作压力常为0.3~0.6 MPa,爆管风险高;再生水管线对防腐有特殊要求;雨水管线属重力流,管径大且流量在暴雨时剧增,峰值可达常态数十倍,极大考验管廊排水能力;污水管线则存在沼气积聚与堵塞风险,通风与安全检修要求高^[9]。这些差异迫切要求建立可量化的技术经济综合入廊评价体系,以替代传统经验决策^[10-12]。

(2)有限舱室空间与多管线排布需求之间存在突出矛盾。舱室断面需在有限空间内统筹管线敷设、检修通道、设备操作及未来扩容。其净高需满足公式:

$$H = D + H_s + H_p + H_m \quad (1)$$

式中: H 为舱室净高; D 为管线最大外径; H_s 为支架高度; H_p 为人员通行净空(不小于2.2 m); H_m 为安全余量。净宽设计同样需考虑管线总宽、检修通道及安全距离。在高密度开发条件下,仅凭经验难以实现安全、检修与空间效率的平衡,必须借助BIM与多目标优化方法进行精化解算^[13]。

(3)统一运营与多权属管理间的协同机制亟待完善。管廊本体由运营公司统一管理,而入廊供排水管线分属不同单位,在突发事件处置、巡检作业、数据共享等方面存在协同壁垒。智慧城市发展要求管廊实现全域感知、预测性维护与多系统联动,亟需通过智慧化监控平台与高效管理机制破除信息孤岛,提升整体运维效能^[14-15]。

雄安新区综合管廊工程具有典型性与前瞻性,如果能将相关技术难点妥善解决,这对于新区乃至全国城市基础设施建设均具有较为重要的示范作用。

2 管线入廊标准确定方法

在大规模建设雄安新区的背景下,需要科学确定供排水管线是否入廊,这是在综合管廊设计中首先要进行决策的问题。其直接与管廊的功能如何定位,断面规模有多大以及投资效益等事项相关联。为此本文构建了融合技术、经济以及运维这三方面的综合评价体系,并且提出了分区分级的入廊策略。

2.1 技术-经济-运维三维度综合评价体系

本研究构建的综合评价体系以技术适应性为核心,经济合理性与运维可行性为支撑,通过量化指标与层次分析(AHP)相结合的方式系统进行评估。

经济合理性基于全生命周期成本(LCC)分析原理,对比直埋与入廊两种模式在建设、运维、更新及社会成本方面的差异。入廊初期投资通常比直埋高出20%~50%,但运维成本可降低30%~60%,并能有效避免道路反复开挖产生的社会成本。本研究采用净现值(NPV)模型进行长期经济性评估:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (2)$$

式中: C_i 为第*i*年成本; r 为折现率; n 为设计使用年

限。计算表明,给水及再生水管线在50年周期内入廊的全生命周期成本显著低于直埋,而雨、污水管线因舱室空间占用大、事故风险高,经济性相对较差。

运维可行性则侧重于评估管线入廊后对日常巡检、故障处置及长期运营管理的支持程度。为整合三个维度,研究采用AHP法确定指标权重(技术适应性0.40、经济合理性0.35、运维可行性0.25),并通过模糊综合评价得到0~1区间的量化得分。结果显示:给水管线得分约0.82,再生水约0.78,雨水与污水分别约为0.60与0.45,清晰反映了各类管线的入廊优先度。

3 舱室布局与管线排布优化设计

在综合管廊体系中,舱室断面设计与管线排布方式是决定工程建造成本、安全性能及后期运维效率的核心环节。雄安新区作为全新建设的城市,具备较高的设计自由度,这对舱室体系设计提出了更高要求:既要实现结构可靠与空间高效,又要满足多类型管线并行敷设下的安全、检修与未来扩容需求。本研究结合容东片区与启动区的工程实践,通过数学模型与三维协同设计,构建了适用于新区大规模建设的舱室布局与管线排布优化方法。

3.1 基于数学模型的舱室断面优化

综合管廊主要设置燃气舱、能源舱、水信舱、综合舱、电力舱等舱室,通过不同舱室的组合,结合单建、共建结构体系,满足不同的功能需求。不同性质的管线被严格分舱安置,特别是燃气舱全密闭,与其他舱室物理隔离,大大降低了交叉风险。标准断面的模数化也为雄安新区开展大节段预制综合管廊的研究奠定了基础,见图1。

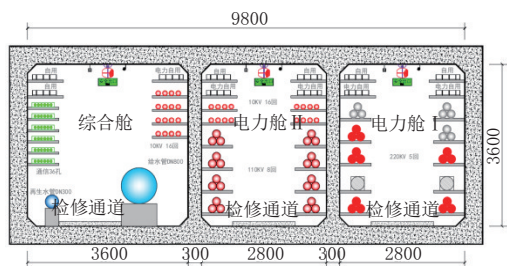


图1 综合管廊标准断面图(单位:mm)

雄安首创了长节段、大吨位装配式综合管廊施工技术。在启动区NA8路建设了长节段、大吨位整体式预制拼装综合管廊试验段,最大节段重402t。

启动区EA4路综合管廊采用了预制装配综合管廊盾架一体化施工。通过U盾架管机实现了移动支

护,代替了传统支护形式,较好地解决了基坑工程中开挖量大、占地广、成本高、周期长的问题(见图2)。



图2 雄安新区U型盾架管机

3.2 基于BIM与排布规则的管线协同排布

在断面优化的基础上,管线在舱室内的具体排布直接影响系统的安全性、可靠性与可维护性。不同管线在温度、压力、腐蚀性及运行风险方面差异显著,必须遵循科学的排布规则。

本研究明确了一系列关键排布原则:压力管道(如给水、再生水)宜布置于舱室下部,以减少事故时泄漏物对其他管线的影响;高温管线(如热力管道)需设置独立舱室或采取有效隔热措施,防止舱内环境温度过高。此外,检修频繁的管线应靠近检修通道布置,长期稳定运行的管线可靠墙布设,从而显著提升日常检修效率。

为精准解决多专业管线间的空间冲突与净距不足问题,本研究在全设计周期引入BIM技术进行三维协同设计与碰撞检测(见图3)。在容东片区某工程中,通过BIM模型于施工图阶段共发现83处潜在碰撞点,包括管线交叉净距不足、阀门操作空间受限等问题。经模型优化与标高调整,所有冲突得以解决,优化后的舱室空间利用率提升至约72%,较传统二维设计提高约15%。

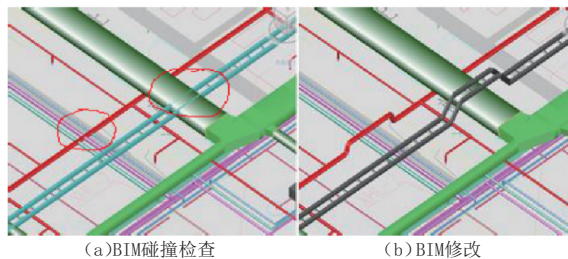


图3 BIM检测碰撞示意图

与此同时,对于大型阀门,流量计这类附属设施,通过三维模型,能精准地预留出安装以及检修的空间。为了应对未来可能出现的扩容情况,在舱室关键的区域预先埋设设备用的支架孔以及空管通道,由此达成增强管廊系统可持续更新能力的效果。

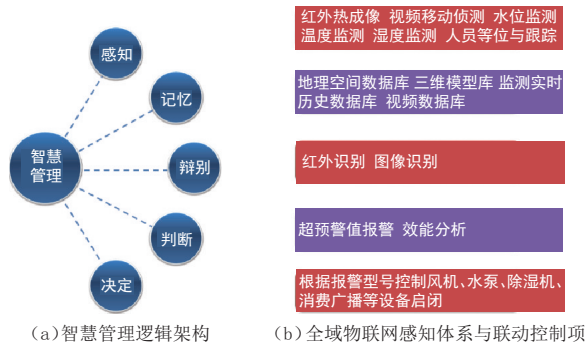
将数学模型与 BIM 技术进行深度融合,并且依照科学的管线排布原则,在此情况下,本研究形成了一套能够使空间利用达到最大化,风险处于最小化,运维较为高效的舱室布局以及管线排布优化方法,如此便为雄安新区后续片区的综合管廊建设提供了较为可靠的技术支撑。

4 智慧化设计与运维管理协同机制

综合管廊的实际价值,就体现在其长时间运行的时候,能够使城市基础设施的安全性、韧性以及服务品质得以提升。雄安新区先是构建起“统一运营,专业维护”的体制,进而将智慧化设计与应急联动机制进行深度融合,在此之后于多权属、多专业、多场景下实现了高效协同管理,并且对传统运营模式开展了系统性的重构。

4.1 智慧化设计

雄安管廊最显著的特点是“聪明”,其布设了 20 多种、近万套前端感知设备,构建了覆盖全廊的物联网感知体系(见图 4)。



综合管廊每 30 m 设一个沉降传感器,每 100 m 装一组摄像头,每 200 m 装一个环境传感器。监控中心可以实时查看管廊内的温度、湿度、氧气浓度、可燃气体浓度等数据。

智能处置:一旦检测到火灾、可燃气体泄漏或水位异常,系统会自动启动声光报警、开启风机排烟、关闭防火门或启动排水泵,实现“无人化”应急处置。

智能巡检:结合人工巡检与机器人/无人机巡检,大大降低了人力成本,仅需少量运维人员即可管理庞大的管廊网络,见图 5。

防倒灌措施:管廊口部距离地面不低于 0.5 m,出入口风亭安装专门的防倒灌设施,底部设有排水沟,确保城市内涝时雨水不会倒灌入廊。

4.2 运维管理协同机制

管廊运营公司负责廊体及附属设施的全局管

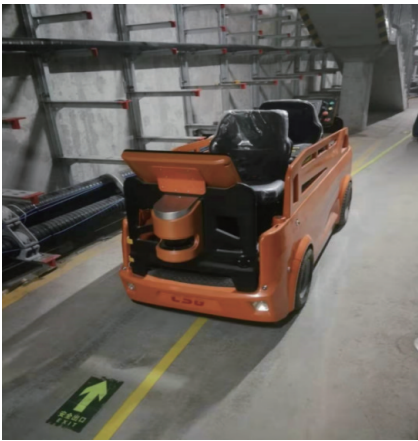


图 5 智能巡检系统

理,包括环境监控、设施养护、应急响应与作业许可;各管线权属单位则负责其专业管线的巡检、维护与抢修。双方职责以“分界点”制度清晰界定,通常设于接驳节点或阀门控制点,有效消除了管理盲区,为协同作业奠定了制度基础。

为实现多源信息畅通与高效响应,新区构建了综合管廊智慧化监控与信息共享平台。该平台集成并融合了多种实时数据:环境监测系统持续采集舱内温湿度、氧气及有害气体浓度;给水管线布设的压力传感器与流量计可即时捕捉泄漏迹象;电力管线敷设的温度光纤能预警电缆过载;给水与再生水管线则通过监控节点进行水质与流态分析。所有数据通过通信网络汇聚至统一数据中心,并进行可视化展示,使运营人员与各权属单位能够实时掌握系统状态,实现跨部门透明化管理。

平台还内嵌了工单管理与作业审批系统,将入廊作业流程数字化、规范化。管线单位在线提交电子工单,运营公司审核通过后生成电子许可,实现了作业全过程留痕与动态监控。该流程将传统 1~2 d 的人工审批时间缩短至数小时,显著提升了效率与安全性。

4.3 应急联动与预测性维护机制

高效处置突发事件是检验协同管理成效的关键。新区制定了层级清晰的《综合管廊应急预案》,将事件划分为特别重大、重大、较大和一般四个等级,并明确了各级事件的指挥主体与协同单位。

例如,发生给水管爆裂时,水务单位负责立即关闭事故段阀门并启用备用线路,同时运营公司组织舱内排水与抽排,防止事故扩大;电力电缆故障则触发电力公司的负荷转移与隔离操作,运营公司同步加强通风与气体检测,预防二次灾害;燃气泄漏需燃气公司、消防部门与运营公司三方协同,通过关

阀、气体置换、区域封锁与疏散等手段消除风险。容东片区的实践表明,该机制将突发事件从发现到处置的响应时间从传统模式的30 min以上缩短至5 min以内,极大提升了系统韧性。

运维管理的未来方向是实现从“被动响应”到“主动预警”乃至“预测性维护”的转变。基于BIM、GIS与IoT数据融合构建的数字孪生管廊模型,是实现这一目标的核心。该模型能够动态映射舱室环境、管线状态与设备运行,通过分析水压异常、流量突增、电缆温升等数据模式,提前识别潜在故障点,辅助维修决策。展望未来,融入AI识别与大模型推理技术后,综合管廊将有望实现通风系统自动优化、管线老化预测、事故路径模拟等高级智能功能,为智慧城市运营提供更强支撑。

雄安新区通过制度创新、智慧赋能以及流程再

造等措施,构建起高效的综合管廊运维管理协同机制,从而使其从传统的地下构筑物转变为具备实时感知、智能调度以及预测性维护能力的智慧基础设施系统,为国内同类项目打造可复制的成功范例。

5 工程应用效果分析

在雄安新区容东片区以及启动区的规模化应用当中,协同设计关键技术体系从建设到运营的全过程被予以检验。通过跟踪实际运行的数据并进行多维度评估,本研究的工程效用得以充分验证,在效率、性能、经济以及社会效益等方面均明显显现出优势。

5.1 运行性能提升

在运行阶段,优化后的管廊环境显著提升了供排水系统的稳定性与效能。具体性能对比见表1。

表1 关键运行性能指标对比

性能指标	传统直埋方式	雄安新区管廊协同设计	提升效果
给水压力波动范围	±0.05 MPa	±0.02 MPa	稳态性显著增强
给水管网漏损率	8%~12%	降至5%以内	年节水量超过50万m ³
平均抢修时间	8~12 h	2~4 h	效率提升约70%
人工巡检效率	—	路线平均缩短70%	巡检频次增加2~3倍,人力投入下降约40%

此外,智慧化监控系统实现了从“被动响应”到“主动预警”的运维模式转变。通过传感器与平台告警,多起压力波动与电缆温升异常事件均在5 min内实现现场干预,远快于传统模式下30 min以上的反应时间。两年运行统计期内,片区综合管廊未发生任何安全责任事故,系统可靠性得到充分印证。

5.2 综合效益评估

协同设计体系在经济效益方面表现出突出的全生命周期价值。尽管管廊单位长度建设成本较传统方式高出约30%,但在100年的运营周期内,通过减少道路修复、降低管线维护费用及减少水资源漏损,实现了显著的成本节约。

社会效益方面的提升也颇为明显。综合管廊这样工作,有效减少了所谓的“马路拉链”情况,片区内的交通延误损失随之降低,噪声以及扬尘污染也得到了明显控制。另外该项目还间接地带动了装配式构件、智能传感和系统集成这类相关产业的发展,为区域产业结构优化带来了新的动力。

雄安新区内协同设计技术体系成功应用,不仅验证其技术上较为先进且具有可行性,并且在经济以及社会福利方面创造了巨大价值,为国内未来城市基础设施建设树立了一个标杆。

6 结 语

本文依托雄安新区的高标准建设,围绕综合管廊与供排水协同设计方面存在的难点开展系统探究,得出如下结论。

(1)构建了一套科学且可量化分析的入廊决策模式。所提出的“技术-经济-运维”三维评价体系,成功将全生命周期成本(LCC)与层次分析法(AHP)有机整合起来,突破传统经验决策的限制,为国内城市在复杂状况下开展管线入廊的筛选工作提供一种通用的量化参考依据。

(2)构建起一种具有精细特质的空间设计方式。验证了数学模型以及BIM技术在断面优化中的关键功能,借助标准化的排布解决了有限空间中多专业间的冲突,大大提高了空间的利用程度,并且为预制装配式技术大规模应用提供了必要的技术基础。

(3)对“统一运营,专业维护”这一机制的优越性进行验证,彰显该机制在相关方面具有的良好特性以及积极效能。借助智慧平台成功破除权属方面的障碍使突发事件响应时间缩减至分钟级别,较大程度地提升系统韧性。该模式成功解决了行业中广泛存在的“重建设,忽视运营”以及多头管理的难题。

参考文献:

[1] 陈刚,张培兴,王博冉,等.国内城市地下综合管廊文献计量可视化分析[J].建筑经济,2022,43(增刊2):461-466.

[2] 曾强.城市综合管廊可持续发展评价研究[D].广州:华南理工大学,2022.

[3] 郝文彬,吕志成,杨京生.河北雄安新区综合管廊系统性建设关键经验[J].给水排水,2025,61(6):117-122.

[4] 徐爽,高聪聪,王晓丽,等.雄安新区雄东片区综合管廊工程总体设计[J].中国给水排水,2024,40(10):81-85.

[5] 高士岗,高登彦,欧阳一博,等.煤矿智能一体化辅助生产系统及关键技术[J].煤炭科学技术,2020,48(7):150-160.

[6] 黄宏斌,董泉,刘慧捷.客户低碳转型的溢出效应案例研究[J].财会月刊,2025,46(12):103-110.

[7] 赵月,孟丹,丁凤,等.基于GEE云平台的2000—2022年雄安新区生态质量动态评价[J].地球物理学进展,2023,38(5):2023-2036.

[8] 张敏,王艳明,梁斌,等.临海富水软弱地层综合管廊施工进度优化[J].河南科技大学学报(自然科学版),2021,42(3):58-63;71.

[9] 陈渤,刘宏伟,保铮.一种融合核优化算法[J].西安电子科技大学学报,2007(4):509-513;582.

[10] 严亚丹,李晓慧,王东炜.城市综合管廊工程质量管理标准化评价方法[J].郑州大学学报(理学版),2021,53(2):117-126.

[11] 赵景伟,李浩琦,孙雨.我国城市地下空间发展质量评价及其驱动力研究[J].隧道建设(中英文),2025,45(11):1994-2006.

[12] 冯宇韬,李维滨.基于响应面模型法的地下综合管廊结构优化方法研究[J].云南大学学报(自然科学版),2022,44(4):791-799.

[13] 王浩爽,陈云娟,李波,等.新建综合管廊下穿既有管道最小安全埋深解析求解方法及工法优化[J].山东科技大学学报(自然科学版),2025,44(2):76-85.

[14] 马光红,吴怡.智慧城市地下综合管廊工程监管模型与仿真[J].上海大学学报(自然科学版),2022,28(6):981-995.

[15] 王鹏,杨林,张冬阳,等.矿山智能化数据战略研究[J].中国煤炭,2023,49(10):1-10.

(上接第 135 页)

1824-1833.

[7] 赵雯雯,龚剑,焦华喆,等.基于尖点突变理论的矿柱失稳预测研究[J].中州大学学报,2025,42(4):124-128.

[8] 尚向凡,苗胜军,于兆新,等.基于突变理论的采空区顶板安全厚度多因素预测模型[J].中国矿业,2021,30(12):76-82.

[9] 陈明辉,袁利伟,刘尉俊,等.基于尖点突变理论的采场台阶边坡稳定性研究[J].黄金科学技术,2025,33(3):605-614.

[10] 施烨辉,黄月馨,沈宇鹏.基于双树复小波变换的探地雷达图像随机噪声压制方法研究[J].信息技术,2025(11):22-27.

[11] 李宝新,陈辉.基于小波变换与Lipschitz指数的水电站传感器异常数据检测与分类方法研究[J].西北水电,2025(5):132-136;141.

[12] 聂治豹,郑宏,张谭.基于强度折减法确定边坡临界滑面的小波变换法[J].岩土力学,2017,38(6):1827-1831.

[13] 黄肖,王蒙蒙,赵薇,等.倾斜层状节理岩体隧道开挖围岩应力拱效应研究[J].中国矿业,2025,34(11):173-181.

[14] 丁晨.软岩巷道底鼓机理及控制技术研究[J].煤炭科技,2025,46(4):62-68.

[15] 邵天睿,尚涛,姜亚彤,等.基于多分辨率分析的医疗图像大数据差分隐私保护方案[J].电子科技大学学报,2025,54(4):604-617.

[16] 刘露,戴一鸣,郑智坤,等.双基地CSAR系统分辨率分析与仿真验证[J].信息技术与信息化,2024(10):48-53.