

文章编号: 1007-2993(2026)05-0711-06

新建暗挖隧道穿越上覆雨水箱涵与下卧既有隧道施工影响研究

罗云华¹ 周向国¹ 李堂磊¹ 张永兴² 张学民³

(1. 广东天信电力工程检测有限公司, 广东广州 510000; 2. 南京林业大学, 江苏南京 210037;
3. 中南大学, 湖南长沙 410018)

【摘要】 新建地下工程近接既有地下结构的工程类型愈发普遍, 严格控制该类新建地下工程施工对既有地下结构的影响是工程建设成功的关键。某地铁站新建换乘通道暗挖隧道穿越上覆雨水箱涵与下卧既有隧道, 以该暗挖工程为背景, 基于现场实测与三维有限元分析, 研究中洞法施工工艺对地表沉降、新建隧道及既有结构物变形的影响规律。研究表明: 新建暗挖隧道采用中洞法分层、分块、分区、分段施工, 并结合水平旋喷桩超前预加固不良地层, 可有效控制地层沉降及结构物变形; 中洞法施工的开挖进尺对既有隧道与雨水箱涵变形影响较大, 施工中需要严格控制开挖进尺, 以减小对既有结构的影响。研究成果可为同类地下工程建设提供借鉴。

【关键词】 新建暗挖隧道; 穿越施工; 上覆雨水箱涵; 下卧既有隧道; 中洞法; 扰动控制

【中图分类号】 U45

【文献标识码】 A

doi: 10.20265/j.cnki.issn.1007-2993.2025-0276

Construction impact of a new mined tunnel undercrossing an overlying stormwater box culvert and an underlying existing tunnel

LUO Yunhua¹ ZHOU Xiangguo¹ LI Tanglei¹ ZHANG Yongxing² ZHANG Xuemin³

(1. Guangdong Tianxin Electric Power Engineering Testing Co., Ltd., Guangzhou 510000, Guangdong, China; 2. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3. Central South University, Changsha 410018, Hunan, China)

【Abstract】 New underground projects in close proximity to existing underground structures are becoming increasingly common. Strictly controlling the impact of the construction of such new underground works on existing structures is the key to the success of the project. Taking the construction of a new transfer passage tunnel at a subway station, which underpasses an existing tunnel and passes beneath an overlying stormwater box culvert, as a case study, this paper investigates the influence laws of the Center Diaphragm (CD) method on surface settlement and the deformation of both the new tunnel and existing structures. The study is based on field monitoring data and three-dimensional finite element analysis. The results indicate that adopting the CD method—characterized by layered, block, zoned, and segmented excavation—combined with advance horizontal jet grouting for ground improvement, can effectively control ground settlement and structural deformation. Furthermore, the excavation footage in the CD method significantly affects the deformation of the existing tunnel and the stormwater box culvert; therefore, the excavation footage must be strictly controlled during construction to minimize impacts on existing structures. The findings of this study can provide valuable references for the construction of similar underground projects.

【Key words】 newly built mined tunnel; undercrossing construction; overlying stormwater box culvert; underlying existing tunnel; Center Diaphragm (CD) method; disturbance control

0 引言

随着城市地下空间利用率的不断提高, 新建地下工程近接隧道、管线、建筑物桩基等既有结构的情形已较为常见^[1-2]。然而, 新建地下工程开挖引起土

体扰动, 打破原有地应力平衡^[3-4], 致使邻近既有结构物产生变形并承受附加应力, 易引起既有结构物损伤并影响其安全运营^[5]。

国内外学者就新建隧道近接施工对既有地下结

作者简介: 罗云华, 男, 1978 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事地基基础等方向研究工作。E-mail: 26789132@qq.com

通信作者: 张永兴, 男, 1981 年生, 博士, 教授, 主要从事隧道与地下工程等方向研究工作。E-mail: zhanguongxing81@aliyun.com

构的影响及变形控制技术开展了较多研究。苗晨阳等^[6]以西安地铁 5 号线盾构下穿既有管廊工程为依托,基于理论解析与有限元模拟,揭示盾构下穿施工对上部既有管廊受力与变形的影响规律。Lin 等^[7]通过数值模拟研究双隧道斜交穿越施工对既有隧道的影响,研究表明既有隧道变形和内力表现出明显不对称特性。Yin 等^[8]针对盾构隧道下穿既有隧道施工进行有限元模拟,研究表明填充材料强度对既有隧道变形影响显著。孙武鹏^[9]以甬金高速公路明挖深埋隧道下穿杭温高速铁路桥梁为背景开展研究,研究表明对既有高速铁路桥墩基础采用钻孔桩隔离并结合搅拌桩止水帷幕可有效减小隧道开挖对桥梁的影响。欧阳鸿志等^[10]依托南昌地铁 4 号线下穿京九铁路青山路立交桥工程,通过分析施工过程中轨道沉降规律,验证了地表注浆和现浇筏板基础框架涵加固的有效性。李清菲^[11]以青岛某新建隧道下穿既有车站为背景,分析硬岩地层新建隧道采用型钢格栅密贴下穿和 CRD 法近距离下穿施工工艺对既有车站底板变形的影响规律。万良勇等^[12]以北京地铁 7 号线下穿既有 10 号线双井站为背景,分析全断面法、台阶法、CRD 法等不同开挖方法对既有车站主体结构及区间隧道支护结构变形和受力的影响。

然而,地下工程结构型式及环境日益复杂^[13-14],致使不同地下工程建设对既有结构物的影响差异较大^[15-16]。某地铁站新建换乘通道暗挖段下穿雨水箱涵并上跨既有运营地铁隧道,本文以该工程为研究背景,基于现场实测及三维有限元分析,研究新建暗挖隧道中洞法施工工艺及开挖进尺对地表沉降及既有地下结构变形的影响规律,以期为同类地下工程建设提供借鉴。

1 工程背景

1.1 工程概况

某地铁站新建换乘通道暗挖段下穿雨水箱涵并上跨既有运营地铁隧道。新建暗挖隧道洞身全长 16.0 m,宽 10.4 m,高 4.87~5.13 m。上方雨水箱涵宽度 12.3 m,高 6.15 m,顶板和外侧墙厚度皆为 0.45 m,中隔墙厚度 0.40 m,底板厚度 0.50 m,底板下垫层厚度 0.30 m,采用单箱双室形式,钢筋混凝土结构。下方既有运营地铁隧道直径 6.0 m,管片厚度 0.3 m,拱顶与新建暗挖隧道拱底相距 7.12 m(见图 1)。

1.2 地质条件

新建暗挖隧道所在区域工程地质情况如图 2 所示,隧道主要穿越地层为②₂淤泥质黏性土、③₄粉质黏土,上覆地层主要为第四系全新统素填土,下伏地

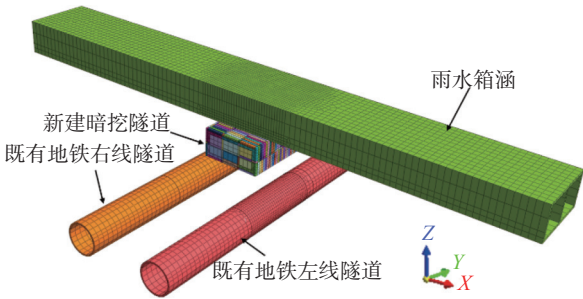


图 1 新建暗挖隧道布置图
Fig. 1 Layout plan of newly built underground tunnel

层依次为③₈粗砂层、⑧₁全风化花岗岩、⑧₂₋₁强风化花岗岩、⑧₃中等风化花岗岩。主要地层物理力学参数如表 1 所示。暗挖隧道周围地表水不发育,地表水主要为坑洼地带的积水。地下水主要为松散岩类孔隙水(赋存于上方素填土、淤泥质地层)、基岩裂隙水(赋存于花岗岩地层)。暗挖隧道所在场地地下水水位高于南侧河流水位,场地地下水在开挖施工前需对河流进行排泄。

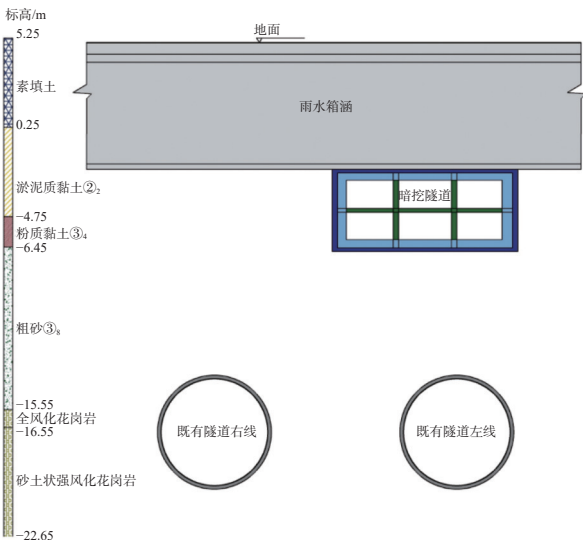


图 2 工程地质剖面图
Fig. 2 Engineering geological profile

表 1 主要地层物理力学参数
Tab. 1 Physical parameters of soil

地层	厚度 /m	密度 /(kg·m ⁻³)	弹性模量 /MPa	泊松比	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)
素填土	5.0	1800	7	0.35	10	10
淤泥质黏土② ₂	5.0	1740	4	0.43	5	3
粉质黏土③ ₄	1.7	1950	25	0.30	25	25
粗砂③ ₈	9.1	1960	50	0.26	0	28
全风化花岗岩⑧ ₁	1.0	2000	80	0.28	28	35
砂土状强风化花岗岩⑧ ₂₋₁	14.0	2200	100	0.28	37	45

1.3 施工工艺

新建暗挖隧道采用中洞法开挖, 洞身分为 6 个导洞, 图中数字序号为相应的导洞施工顺序, 施工前采用水平旋喷桩对隧道周边及开挖轮廓线内淤泥质黏土层和粉质黏土层进行超前预加固处理, 加固范围为暗挖隧道开挖各导洞中线位置以及隧道轮廓线外 1 m (拱顶轮廓线外不加固), 加固区覆盖整个暗挖隧道洞身区域, 每个导洞开挖完成进尺后立即喷射早强混凝土临时封闭掌子面, 上下导洞掌子面错开不小于 3 m, 左右导洞掌子面错开不小于 5 m。初支变形基本稳定后拆除临时支撑并施作二衬混凝土支护 (见图 3)。

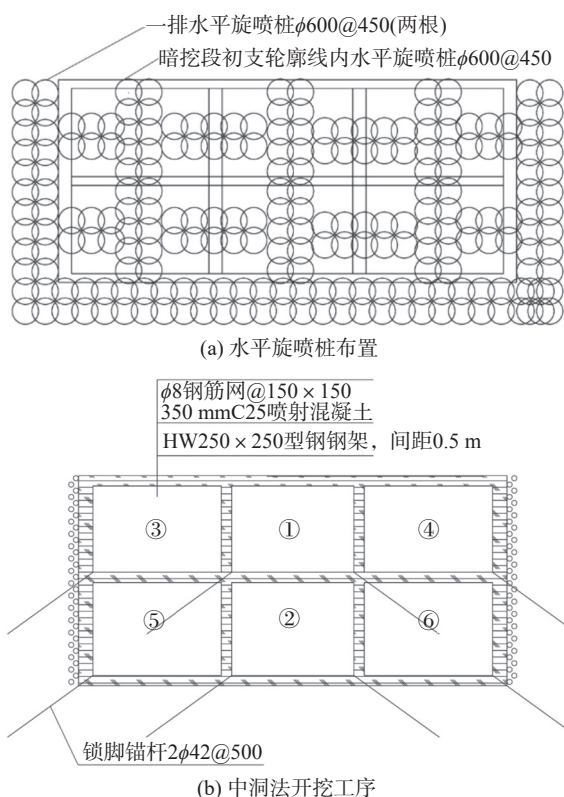


图 3 暗挖隧道超前加固与施工工艺

Fig. 3 Advance reinforcement and construction technology for tunnel

2 现场监测点布置与三维有限元模型

2.1 现场监测点布置

新建隧道拱顶及地表沉降监测点布置如图 4 所示。暗挖隧道上方地表共布置 9 个沉降测点 (编号 JHGH01—JHGH09) 进行地表沉降监测 (见图 4(a)); 此外, 于隧道拱顶沿隧道开挖方向每 3 m 设置 1 个监测断面, 每个监测断面设 3 个拱顶沉降测点进行隧道拱顶沉降变形监测 (见图 4(b))。

2.2 三维有限元模型

图 5 为新建暗挖隧道下穿雨水箱涵并上跨既有



图 4 暗挖隧道地表及拱顶沉降监测点布置

Fig. 4 Monitoring points layout for ground surface and tunnel arch settlements

运营隧道数值计算模型, 模型顶部取至地表, 计算范围为 $100 \text{ m}(x) \times 5 \text{ m}(y) \times 36 \text{ m}(z)$ 。模型四周表面施加水平约束, 底面施加水平与纵向约束, 顶面无约束。地层、雨水箱涵、既有隧道管片、初期支护、中隔墙、底板、二次衬砌均采用三维实体单元模拟, 锁脚锚杆、钢筋网采用二维线单元模拟, 模型共包含 173644 个节点、268023 个单元。此外, 开挖前通过改变超前预加固区土体网格单元物理力学参数模拟水平旋喷桩超前预加固。

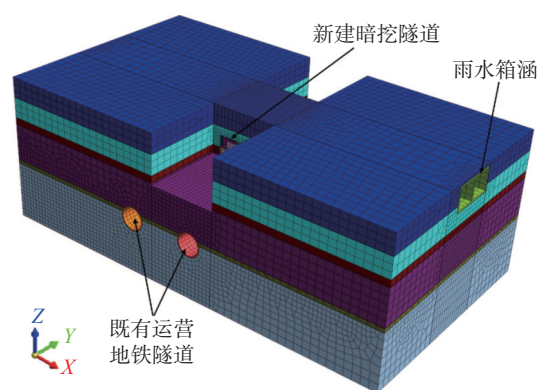


图 5 数值计算模型

Fig. 5 Numerical calculation model

根据弹性模量等效的原则, 对模型中钢拱架的作用采用模量等效处理, 即在开挖过程中按每段开挖进尺依次将钢拱架弹性模量折算给初期支护的喷射混凝土, 如式(1)所示:

$$E' = E_0 + S_g E_g / S_c \quad (1)$$

式中: E' 为折算后的混凝土弹性模量, GPa; E_0 为原混凝土弹性模量, GPa; S_g 为钢拱架截面积, mm^2 ; E_g 为钢拱架的弹性模量, GPa; S_c 为混凝土截面积, mm^2 。

3 多孔顶管下穿顺序扰动影响分析

3.1 地表沉降与新建隧道拱顶沉降

图 6 为现场实测(数据源自测点 JHGH01, JHGH04, JHGH07)与有限元分析所得新建暗挖隧道上方地表沉降(对应于现场所采用的中洞法施工开挖进尺 0.5 m)。箱涵变形及新建暗挖隧道拱顶沉降设计控制值分别为 30, 10 mm。由图 6 可见, 测点 JHGH01, JHGH04, JHGH07 在暗挖施工过程中的实际监测和有限元分析所得沉降变化规律基本一致, 沉降量整体上都呈现逐步增大的趋势, 且沉降监测点最大累计沉降量约 6 mm。

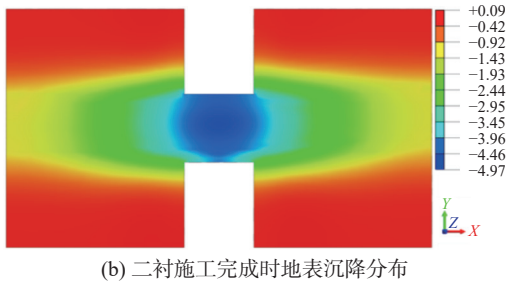
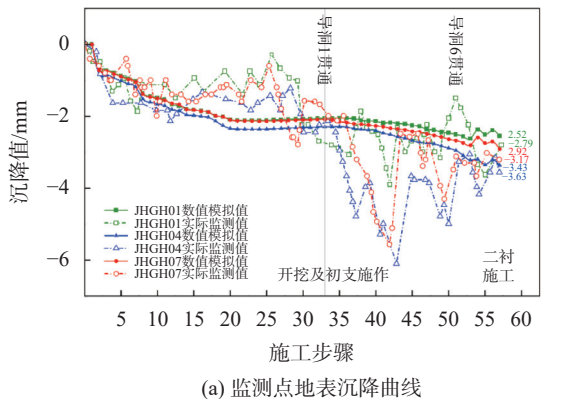


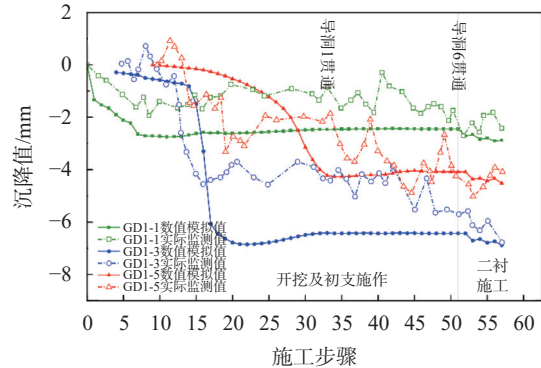
图 6 新建暗挖隧道上方地表沉降

Fig. 6 Surface subsidence above newly constructed tunnel

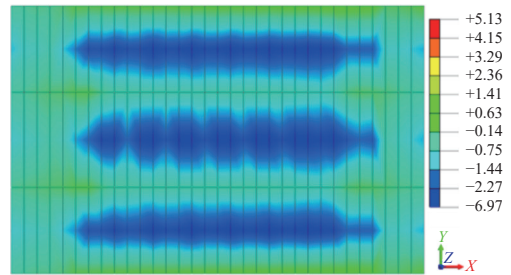
此外, 地表沉降从新建暗挖隧道正上方向四周逐渐递减, 且地表最大累计沉降仅为 4.97 mm, 可见中洞法分层、分块、分区、分段施工可以较好地控制地层变形。

图 7 为现场实测(数据源自测点 GD1-1, GD1-3, GD1-5)与有限元分析所得新建暗挖隧道拱顶沉降(对应于现场所采用的中洞法施工开挖进尺 0.5 m)。由图 7 可见, 测点 GD1-1, GD1-3, GD1-5 在暗挖隧道施工过程中的现场实测和有限元分析所得沉降总体上呈现增大的趋势并趋于收敛, 且沉降监测点最大累计沉降约 7 mm, 小于拱顶沉降控制值。此外, 新

建暗挖隧道拱顶沉降主要位于各导洞中心线上方, 向导洞左右两侧依次递减。



(a) 监测点拱顶沉降曲线



(b) 二衬施工完成时拱顶沉降分布

图 7 新建暗挖隧道拱顶沉降

Fig. 7 Arch settlement of newly constructed tunnel

3.2 既有隧道与雨水箱涵变形

图 8 为有限元分析所得新建暗挖隧道施工完成后既有隧道与雨水箱涵竖向变形分布情况(对应于现场所采用的中洞法施工开挖进尺 0.5 m)。从图中可见, 雨水箱涵最大竖向变形 4.98 mm, 满足设计控制值要求。

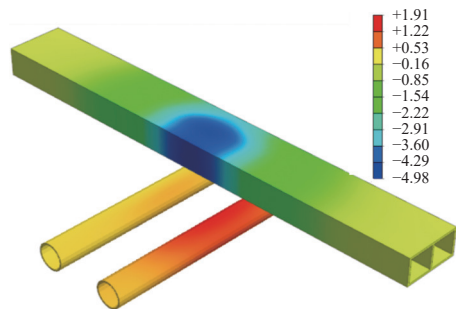


图 8 既有隧道与雨水箱涵竖向变形

Fig. 8 Vertical deformation of tunnel and rainwater tank culverts

图 9 为有限元分析所得各进尺工况下中洞法施工新建暗挖隧道过程中既有隧道与雨水箱涵竖向变形变化曲线, 其中 0.5 m 进尺与现场开挖进尺相同, 图中横坐标 25%, 50%, 75% 分别对应于中洞法施工的导洞 1 开挖至 25%, 50%, 75%。从图中可见, 既有

隧道与雨水箱涵竖向变形均随中洞法施工开挖进尺增大而增加,表明中洞法施工新建暗挖隧道的开挖进尺对既有隧道与雨水箱涵变形影响较大,需要严格控制其开挖进尺,降低施工风险。根据图 9(a),1.2 m 开挖进尺下雨水箱涵累计沉降约为 6 mm,满足设计要求。

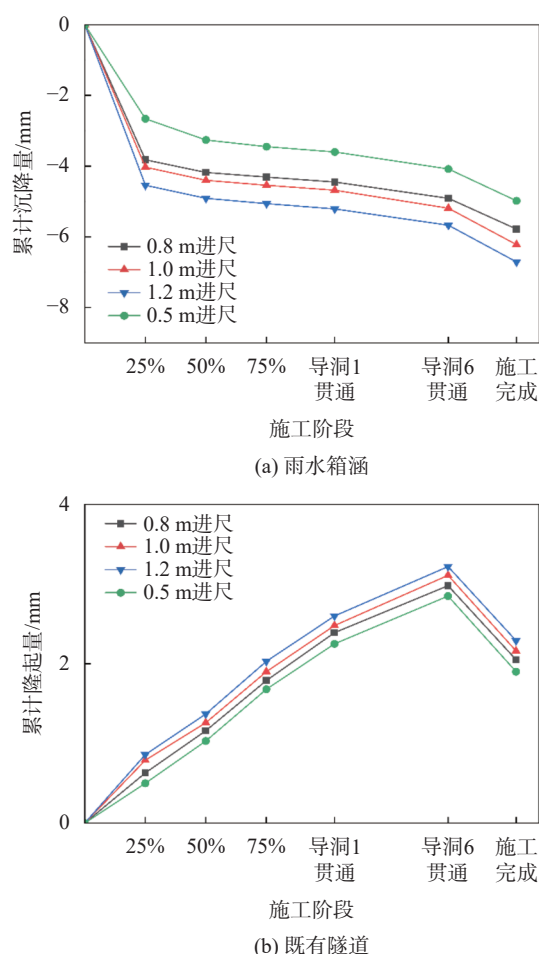


图 9 不同开挖进尺下既有结构物竖向变形曲线
Fig. 9 Vertical deformation curve of existing structure under different excavation depths

4 结论

某地铁站新建换乘通道暗挖隧道穿越上覆雨水箱涵与下卧既有隧道,通过现场实测与三维有限元分析,研究中洞法施工工艺对地表沉降、新建隧道及既有结构物变形影响,得到以下主要结论:

(1)新建暗挖隧道穿越上覆雨水箱涵与下卧既有隧道,采用中洞法分层、分块、分区、分段施工,并结合水平旋喷桩超前预加固不良地层,可有效控制地层沉降及隧道变形。

(2)采用中洞法开挖穿越上覆雨水箱涵与下卧既有隧道的新建暗挖隧道,地表沉降从新建暗挖隧道正上方向四周逐渐递减,且新建暗挖隧道拱顶沉降主要

位于各导洞中心线上方,沉降分布呈向导洞左右两侧逐渐递减的趋势。

(3)数值分析表明,新建暗挖隧道(富水淤泥质土层与粉质黏土层)中洞法施工的开挖进尺对既有隧道与雨水箱涵变形影响较大,实际施工需要严格控制开挖进尺,以满足对既有结构的变形控制要求。

参 考 文 献

- [1] 李晓峰,王炳华,徐建航,等. 近距离双孔隧道地表沉降预测与应用[J]. 岩土工程技术, 2025, 39(3): 353-360. (LI X F, WANG B H, XU J H, et al. Surface settlement prediction and application of short-distance twin-bore tunnels[J]. Geotechnical Engineering Technique, 2025, 39(3): 353-360. (in Chinese))
- [2] 王 睿,苗龙刚,章慧健,等. 砂卵石地层新建通道施工对上覆既有地铁车站的变形影响研究[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(6): 129-136,154. (WANG R, MIAO L G, ZHANG H J, et al. Study on influence of new transfer channel construction on deformation of overlying existing metro station in sandy pebble stratum[J]. Modern Tunnelling Technology, 2021, 58(6): 129-136,154. (in Chinese))
- [3] DING Z, ZHANG M B, ZHANG X, et al. Theoretical analysis on the deformation of existing tunnel caused by under-crossing of large-diameter slurry shield considering construction factors[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2023, 133: 104913.
- [4] 韩 焯,王 鑫. 北京地区深基坑工程引起地表沉降规律研究[J]. 建筑科学, 2020, 36(S1): 185-190. (HUAN X, WANG X. Ground surface settlement profiles caused by deep excavation in Beijing[J]. Building Science, 2020, 36(S1): 185-190. (in Chinese))
- [5] 丁祖德,彭立敏,施成华. 地铁隧道穿越角度对地表建筑物的影响分析[J]. 岩土力学, 2011, 32(11): 3387-3392. (DING Z D, PENG L M, SHI C H. Analysis of influence of metro tunnel crossing angles on ground buildings[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(11): 3387-3392. (in Chinese))
- [6] 苗晨阳,黄强兵,苟玉轩,等. 地裂缝场地盾构隧道下穿施工对既有管廊的影响研究[J]. 现代隧道技术, 2022, 59(3): 155-165,171. (MIAO C Y, HUANG Q B, GOU Y X, et al. Study on the impact of shield tunnel under-crossing at ground fissure site on existing utility tunnels[J]. Modern Tunnelling Technology, 2022, 59(3): 155-165,171. (in Chinese))
- [7] LIN X T, CHEN R P, WU H N, et al. Deformation behaviors of existing tunnels caused by shield tunneling undercrossing with oblique angle[J]. Tunnelling and

- [Underground Space Technology](#), 2019, 89: 78-90.
- [8] YIN M L, JIANG H, JIANG Y S, et al. Effect of the excavation clearance of an under-crossing shield tunnel on existing shield tunnels[J]. [Tunnelling and Underground Space Technology](#), 2018, 78: 245-258.
- [9] 孙武鹏. 明挖深埋隧道下穿施工对高速铁路桥梁的影响 [J]. [铁道建筑](#), 2023, 63(3): 113-117. (SUN W P. Influence of underpass construction of deep-covered tunnel with open-cut method on high speed railway bridge[J]. [Railway Engineering](#), 2023, 63(3): 113-117. (in Chinese))
- [10] 欧阳鸿志, 朱定桂, 安 斌, 等. 富水砂层盾构隧道下穿独立浅基础铁路桥加固方案比选研究 [J]. [现代隧道技术](#), 2022, 59(5): 246-253. (OUYANG H Z, ZHU D G, AN B, et al. Comparative study on reinforcement schemes for shield tunnel under-crossing railway bridge with isolated shallow foundation in water-rich sand stratum[J]. [Modern Tunnelling Technology](#), 2022, 59(5): 246-253. (in Chinese))
- [11] 李清菲. 新建地铁线路下穿既有车站的仿真模拟分析 [J]. [隧道建设](#), 2015, 35(12): 1275-1280. (LI Q F. Numerical simulation for new metro tunnel passing underneath existing metro station[J]. [Tunnel Construction](#), 2015, 35(12): 1275-1280. (in Chinese))
- [12] 万良勇, 宋战平, 曲建生, 等. 新建地铁隧道“零距离”下穿既有车站施工技术分析 [J]. [现代隧道技术](#), 2015, 52(1): 168-176,183. (WAN L Y, SONG Z P, QU J S, et al. Anaysis of construction techniques for a metro tunnel approaching an existing station[J]. [Modern Tunnelling Technology](#), 2015, 52(1): 168-176,183. (in Chinese))
- [13] 陈爱青. 多线并行顶管穿越堤防沉降影响分析及应对措施研究 [J]. [陕西水利](#), 2021(6): 19-21,27. (CHEN A Q. Recent progress and outlook of deep learning in the field of hydrological prediction model[J]. [Shaanxi Water Resources](#), 2021(6): 19-21,27. (in Chinese))
- [14] 仇文革, 万世付, 高刚刚, 等. 砂卵石地层盾构隧道下穿铁路咽喉区地表沉降控制研究 [J]. [现代隧道技术](#), 2021, 58(5): 37-45. (QIU W G, WAN S F, GAO G G, et al. Study on the control measures against ground settlement induced by shield tunnel construction underneath railway throat in sandy cobble stratum[J]. [Modern Tunnelling Technology](#), 2021, 58(5): 37-45. (in Chinese))
- [15] 陈 旺, 彭焱锋, 刘维正, 等. 三孔顶管上穿施工对既有隧道与地表变形影响分析 [J]. [现代隧道技术](#), 2025, 62(1): 170-182. (CHEN W, PENG Y F, LIU W Z, et al. Analysis of the impact of the three pipe jacking over-crossing construction on existing tunnel and surface deformation[J]. [Modern Tunnelling Technology](#), 2025, 62(1): 170-182. (in Chinese))
- [16] 易 立. 城市新建隧道下穿既有道路影响分区研究 [J]. [地下空间与工程学报](#), 2020, 16(5): 1490-1497. (YI L. Study on the influence zoning of the new urban tunnel under the existing road[J]. [Chinese Journal of Underground Space and Engineering](#), 2020, 16(5): 1490-1497. (in Chinese))

收稿日期: 2025-06-20