

一次扣拱管廊暗挖施工优化方案研究

盖 文¹, 张 鹏², 易领兵³, 霍正威⁴, 李俊昊⁴

(1. 众生设计集团有限公司吉林省分公司, 吉林 长春 130021; 2. 中铁隧道局集团(上海)特种高新技术有限公司, 上海 201306; 3. 中国交建轨道交通事业部, 北京 100088; 4. 中国建筑第七工程局有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要:为研究一次扣拱管廊暗挖施工引起的变形特征,以某侧穿高架桥地下管廊施工项目为工程背景,采用有限元软件 Midas GTS 对一次扣拱暗挖施工过程进行数值模拟,分析一次扣拱暗挖管廊施工对拱顶、地表及桥梁承台的沉降变形影响。通过改变扣拱顺序及扣拱进尺建立不同的数值模型,对比相同监测点位沉降值,对施工方案进行优化,得到最佳的扣拱顺序和扣拱进尺,并将数值计算结果与现场监测数据对比,验证数值模型的准确性。结果表明:在实际施工过程中,从中部向两端依次扣拱对沉降影响较小,沉降量比正序施工小 5% ~ 10%;采用 6 m 进尺方案扣拱施工对地表及桥墩均有影响,地表沉降最大值增大 3.7 mm,拱顶沉降量达到 2.2 mm。本文结果可为类似工程提供一定的借鉴和参考。

关键词:PBA 法; 管廊; 一次扣拱; 侧穿桥桩; 变形

中图分类号:TU990.3

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)10-0031-07

doi:10.13402/j.gcjs.2024.10.129

Research on the optimisation scheme of concealed excavation construction of once-buckled arch pipe gallery

GAI Wen¹, ZHANG Peng², YI Lingbing³, HUO Zhengwei⁴, LI Junhao⁴

(1. Zhongsheng Design Group Co., Ltd., Jilin Branch, Changchun 100088, Jilin, China; 2. China Railway Tunnel Bureau Group (Shanghai) Special High-Tech Company Limited, Shanghai 201306, China; 3. CCCC Rail Transit Division, Beijing 100088, China; 4. China Construction Seventh Engineering Company Limited, Zhengzhou 450000, Henan, China)

Abstract: In order to study the deformation characteristics caused by the concealed excavation of a once-buckled arch pipe gallery, the construction project of an underground pipe gallery on a side piercing viaduct is taken as the engineering background, the finite element software Midas GTS is adopted to numerically simulate the construction process of the once-buckled arch concealed excavation, and the effects of the once-buckled arch concealed excavation pipe gallery construction on the settlement deformation of the vault, the ground surface and the bridge abutment are analyzed. Different numerical models are established by changing the buckling arch sequence and buckling arch feed, comparing the settlement values of the same monitoring points, optimizing the construction scheme, and obtaining the best buckling arch sequence and buckling arch feed, and comparing the numerical calculation results with the on-site monitoring data to verify the accuracy of the numerical model. The results show that: in the actual construction process, from the middle to the ends of the sequential buckling arch on the settlement impact is small, settlement is smaller than the positive order of the construction

收稿日期:2024-04-17

基金项目:河南省科技厅自然科学基金资助项目(162102210188);河南省建筑业协会科研开发项目(YJX-2023-K01、YJX-2023-K02)

作者简介:盖 文(1982—),男,高级工程师,从事地下工程、岩土工程及基础工程方面的研究。

通信作者:张 鹏(1999—),男,硕士研究生,从事地铁隧道及地下空间工程方面的研究。

of 5% ~ 10%; using 6 m footage program buckling arch construction on the surface and abutments have an impact on the surface of the surface settlement of the maximum increase of 3.7 mm, the top of the arch settlement amount reached 2.2 mm. the results of this paper can be a certain reference and reference for similar projects.

Key words: PBA method; pipe Gallery; primary buckled arch; side-through pile; deformation

随着城市的发展,开发地下空间资源已经成为城市规划与建设的重要组成部分,地下空间结构暗挖施工由于对地面交通影响小、施工灵活性强等特点,在城市地下工程建设中得到了广泛应用。任伟明^[1]以“洞桩法”地铁车站暗挖施工工法为基础,采用有限差分法对“洞桩法”暗挖地铁车站的施工工序进行优化设计,得到了“洞桩法”施工的最优组合,并分析了不同加固措施对周围土体的变形控制效果。史磊磊等^[2]以北京地铁 12 号线安贞桥站侧穿安贞西桥和安贞东桥为工程背景,采用数值模拟的方法,从车站主体结构建造方案、洞内超前注浆加固地层以及在地面设置隔离桩等角度探讨对邻近桥梁的保护措施,最后给出桥梁变形超过变形控制标准情况下的保护措施。刘石等^[3]以长春市轨道交通 5 号线人民广场站为工程背景,采用有限元软件 Midas GTS 对一次扣拱暗挖逆作法隧道开挖全过程进行模拟分析,针对一次扣拱暗挖逆作法施工工序优化和地表沉降预测等问题进行了研究。

上述成果集中于地铁车站暗挖施工,而针对暗挖管廊一次扣拱施工的研究鲜有,本文以某地下管廊一次扣拱施工为工程背景,采用 Midas GTS 有限元软件进行数值模拟,分析管廊施工对拱顶、地表以及桥梁承台的沉降影响。通过改变不同的扣拱施工顺序和扣拱进尺,得到最佳的施工顺序和进尺,结合实际施工监测数据,验证优化方案的可行性,以期可为后续类似工程提供参考依据。

1 工程概况

某地下管廊工程整体呈南北走向,在桩号 K3 至 K4 之间,与高架桥立面相交。高架桥下地面道路宽 78.0 m,高架桥墩柱间宽 23.7 m,桥下净空 7.9 m。工作井桩外侧距西边高架桥承台垂直净距 2.3 m,距东边高架桥承台垂直净距 2.4 m。高架桥桥桩位于地面道路下 4.0 m,桩长 40.0 m。管廊宽度为 15.4 m 高度为 9.7 m,埋深为 17.05 m,管廊呈 S 型暗挖下穿立交桥。平面图如图 1 所示,工程剖面图如图 2 所示。

2 施工方案

为了保证施工安全,提出在紧邻桥桩段增设长度为 20 m、宽度为 15.4 m 的接收井,明挖逆作综合管廊。远离桥桩段由两端工作井暗挖施工,完成与中间接收井内管廊的对接。工作井和接收井基坑围护桩为 $\varnothing 1\,300\text{ mm}$,深度均为 17.05 m,工作井外径尺寸长为 12 m $\times$ 26 m(长 $\times$ 宽),接收井外径尺寸 17 m $\times$ 26 m(长 $\times$ 宽)。从上到下分别设置混凝土支撑、环梁、钢支撑,支撑、环梁间距为 4 ~ 4.5 m。

为提高施工效率拟定一次扣拱方案,断面横向净跨达 18 m,一次扣拱施工作业安全风险极大且极难浇筑成型。方案最终确定随施工步序边拆初支部分边撑临时钢柱,并动态监测变形情况,保证拱顶危险部位沉降始终位于安全可控范围内。

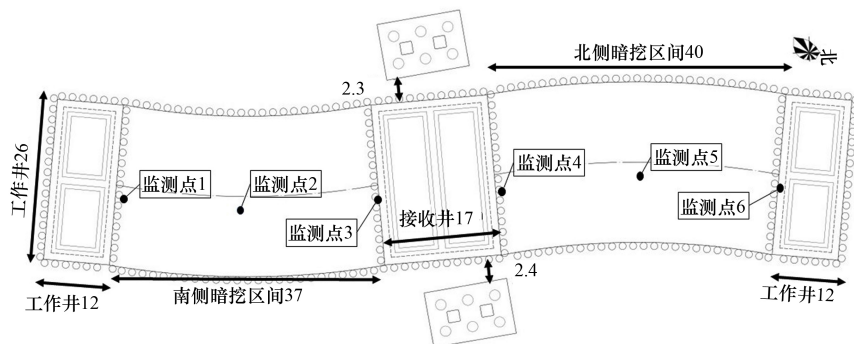


图 1 平面位置关系

工况序号	内容
1	建立土体-结构模型,施加承台上 800 kN/m ² 面荷载后整体位移归零
2	建立接收井灌注桩及支撑等
3	建立大管棚、超前小导管等
4	开挖边导洞土体并施作初支
5	导洞内依次施作灌注桩及冠梁等
6	施作中导洞
7	施作工字钢支撑
8	扣拱完成

3.2 计算参数的选取

土体采用实体单元模拟,本构模型采用修正莫尔-库伦弹塑性模型,选取模型土体材料参数如表 2 所示。

计算模型中结构采用弹性本构模型模拟,结构尺寸及计算参数如表 3 所示。

4 计算结果分析

4.1 一次扣拱施工影响

施工过程中扣拱采用由外而内分段施工,每段长度为 4~6 m,具体长度根据所处位置和结构决定。扣拱前后拱顶、地表和桥梁承台沉降云图如图 5~7 所示。

由图 5 可知,扣拱前拱顶最大沉降值为 5.22 mm,扣拱施工完成后,拱顶最大沉降值为 11.07 mm。

拱顶中部沉降值较大,两边沉降值较小,拱顶最大沉降值均发生在始发井拱顶中间位置。

由图 6 可知,扣拱前地表最大沉降值为 49.86 mm,扣拱施工完成后,地表最大沉降值为 53.27 mm。地表沉降呈槽型,中部沉降值较大,两边沉降值较小,地表沉降最大值均发生在始发井中间位置。

由图 7 可知,扣拱前桥梁承台最大沉降值为 10.36 mm,扣拱施工完成后,地表最大沉降值为 12.03 mm,沉降最大值发生在承台靠管廊一侧。

4.2 不同扣拱步序影响

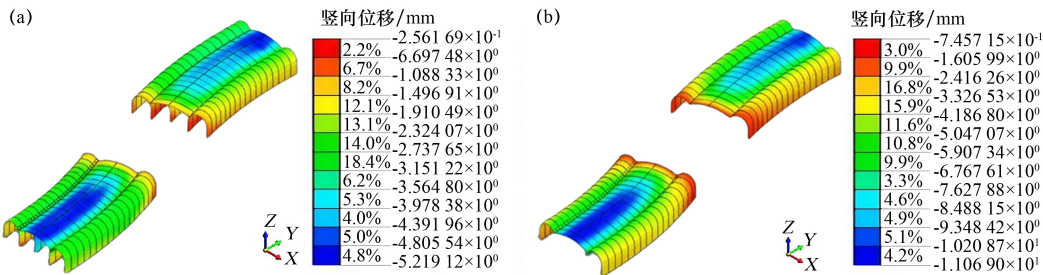
为研究不同扣拱步序对沉降的影响,以北暗挖段为例,进尺为 6 m 设置不同的扣拱步序模拟一次扣拱施工,根据计算结果对比分析不同扣拱步序对拱顶沉降的影响。扣拱步序分为 3 种方案。

表 2 材料力学性能参数

地层编号	土层名称	厚度/m	重度/(kN·m ⁻³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	泊松比
1	杂填土	3.0	16.8	9.8	6.4	0.26
2	粉土	6.5	18.4	12	16.1	0.28
3	粉土	4.6	19.6	16.6	19.8	0.29
4	粉土	9.6	20.2	17.2	20.6	0.30
5	粉质黏土	16.8	20.1	18.4	21.5	0.33
6	粉质黏土	19.5	20.4	19.0	22.8	0.31

表 3 围护结构计算参数

结构	材料	重度/(kN·m ⁻³)	弹性模量/MPa
围护桩	C30	25.0	2.6×10 ⁴
管棚和导管	C42.5	28.0	3.1×10 ⁴
支撑、冠梁	C30	25.0	3.0×10 ⁴
地下连续墙、衬砌	C30	25.0	3.0×10 ⁴
二衬	C40	25.0	3.5×10 ⁴
临时支撑	型钢	78.5	2.1×10 ⁵
桥梁结构	C30	25.0	2.5×10 ⁴



(a) 扣拱前拱顶沉降云图; (b) 扣拱后拱顶沉降云图

图 5 拱顶沉降云图

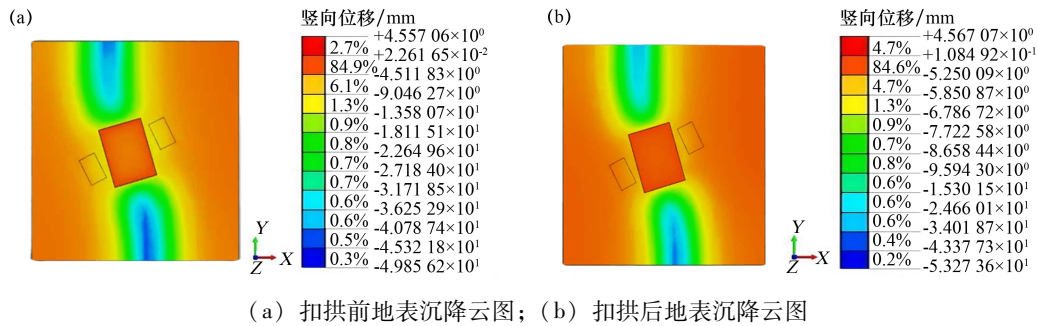


图 6 地表沉降云图

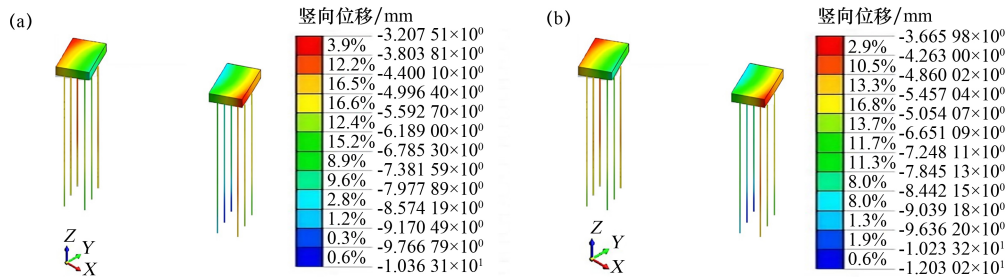


图 7 桥梁承台沉降云图

方案一(正序): 由北边向接收井方向进行扣拱作业。

方案二: 由中部向南进行扣拱作业, 后由中部向北进行扣拱作业。

方案三(逆序): 由接收井向北进行扣拱作业。

通过提取相同点位的数据对照分析 3 个方案, 如图 8 所示。

		暗挖段区间						北
方案一	工作井	1	2	3	4	5	6	接收井
方案二	工作井	6	5	4	1	2	3	接收井
方案三	工作井	6	5	4	3	2	1	接收井

图 8 三方案扣拱步序示意

分别选取管廊始发井、接收井以及暗挖段中间位置监测点位对扣拱后拱顶沉降值变化进行监测。其中施工步序 1~6 为北段暗挖段施工过程, 施工步序 7~12 为南段暗挖段施工过程, 监测点编号对应位置示意如图 1 所示。相同监测点位不同扣拱顺序扣拱前后拱顶沉降值变化曲线如图 9 所示。

由图 9 可知, 采用方案一进行扣拱施工, 拱顶沉降最大值为 11.07 mm; 采用方案二进行扣拱施工, 拱顶沉降最大值为 10.51 mm; 采用方案三进行扣拱施工, 拱顶沉降最大值为 11.53 mm, 均

发生在监测点 1 处。方案二较方案一、方案三能有效的控制沉降, 施工过程中的沉降值方案二均小于方案一、三, 沉降差控制在 5%~10% 左右。

4.3 不同扣拱进尺影响

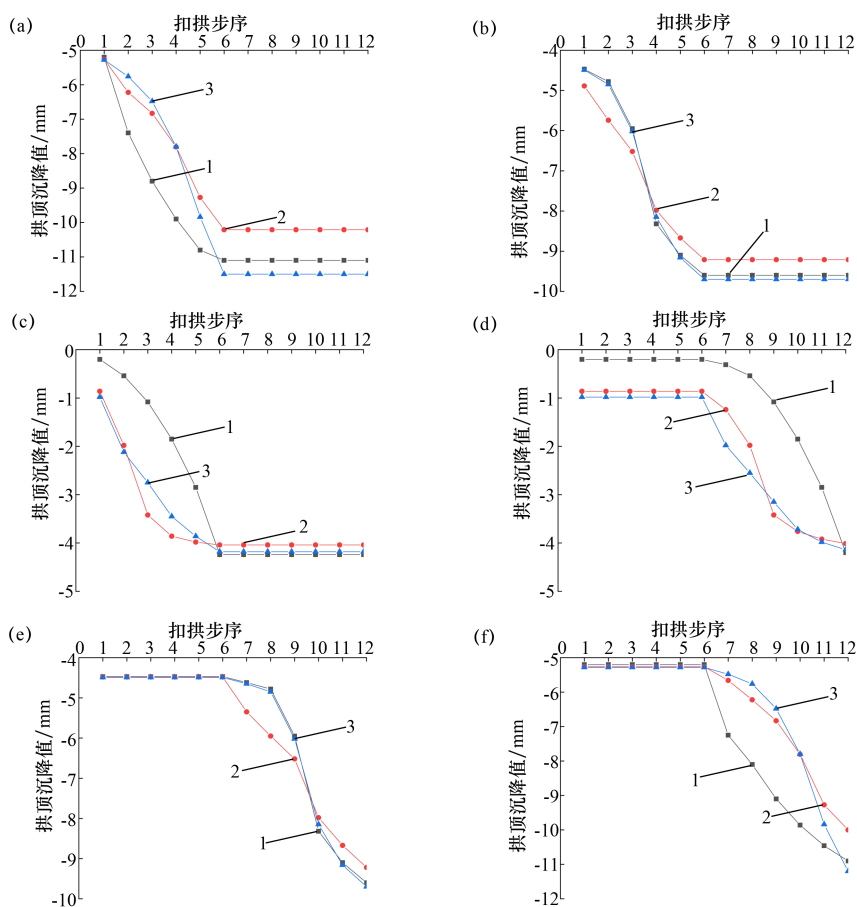
设置 3 个不同扣拱进尺(4、6、8 m)模拟扣拱施工过程, 为便于描述, 定义 4 m 进尺为 a 方案, 6 m 进尺为 b 方案, 8 m 进尺为 c 方案。对比分析模型相同监测点位的位移变形值, 结果如下(见图 10)。

分析以上数据可知: 方案 a、b、c 扣拱前后拱顶沉降最大值分别为 10.57、10.9、11.77 mm。采用 c 方案产生沉降值最大, a 方案和 b 方案沉降较小, c 方案沉降量比 b 方案高 7%~10%, a 方案和 b 方案沉降相差在 3%~5% 范围内。综合工期、安全及经济等多因素考虑, 一次扣拱作业采取 b 方案即进尺 6 m 为最优。

5 实际施工监测分析

实际施工时, 扣拱施工顺序采用方案二由北边中部向接收井方向进行扣拱作业, 后由中部向北进行扣拱作业, 最后同理施作南边扣拱; 一次扣拱进尺选为 6 m。

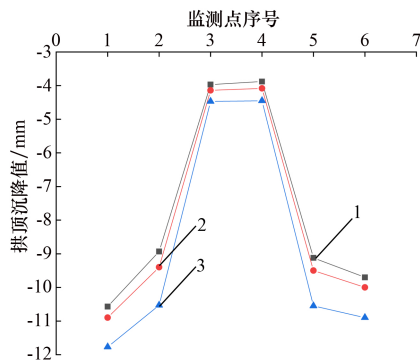
地表变形监测点布设在暗挖管廊区间上方,



监测点: (a) 1; (b) 2; (c) 3; (d) 4; (e) 5; (f) 6

1—方案 a; 2—方案 b; 3—方案 c。

图 9 不同扣拱顺序拱顶沉降对比



1—方案 a; 2—方案 b; 3—方案 c。

图 10 不同扣拱顺序拱顶沉降对比

以纵横 5 m 间距布设水平、竖向监测点,地表变形监测点示意如图 11 所示。

为节约篇幅,选取监测点 1 位置在实际施工时地表和拱顶沉降的监测数据,扣拱施工过程中地表和拱顶实际沉降监测数据变化如图 12 所示。

分析以上数据可知:施工扣拱作业时沉降趋势都有陡降点出现,分析原因为施工扣拱作业期

间进行扣拱环节是引起沉降突然增大的主要原因。但沉降值均在 3 ~ 5 mm 范围,沉降可控。一次扣拱施工地表沉降最大值增大 3.7 mm,拱顶沉降量达到 2.2 mm。实际监测值均小于仿真计算结果,符合设计施工要求。

6 结 论

(1) 一次扣拱施工对地表及拱顶的影响较大,导致桥承台沉降最大值增大 2.7 mm,模拟施工完成后,地表总沉降最大值为 53.27 mm,既有构筑物桥基沉降最大值为 12.8 mm。暗挖段沉降呈槽型,中部沉降大两侧小,洞内初衬破除换撑施作扣拱引起较大变形约 2.5 mm。

(2) 从中部向两端依次扣拱对沉降影响较小,沉降量比正序和逆序施工小 5% ~ 10%。一次扣拱作业进尺 6 m 相较于一次扣拱 4 m 沉降量大 3% ~ 5%,相较于一次扣拱进尺 8 m 沉降量小 7% ~ 10%。

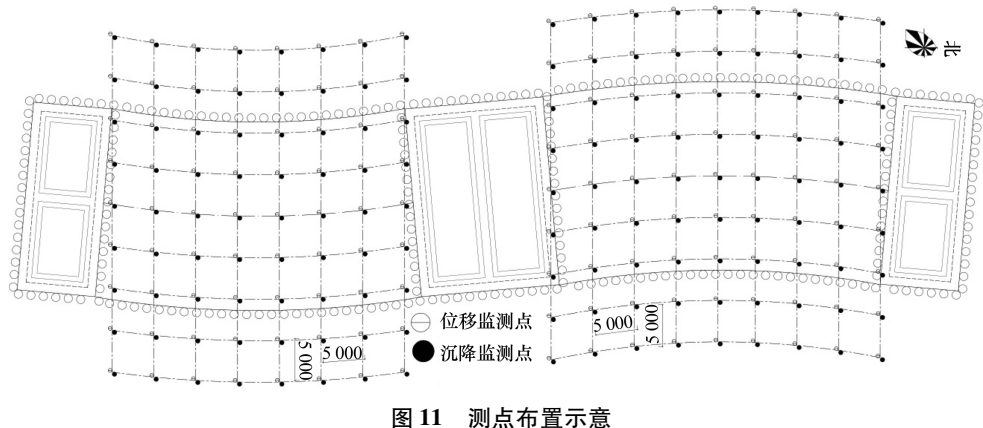
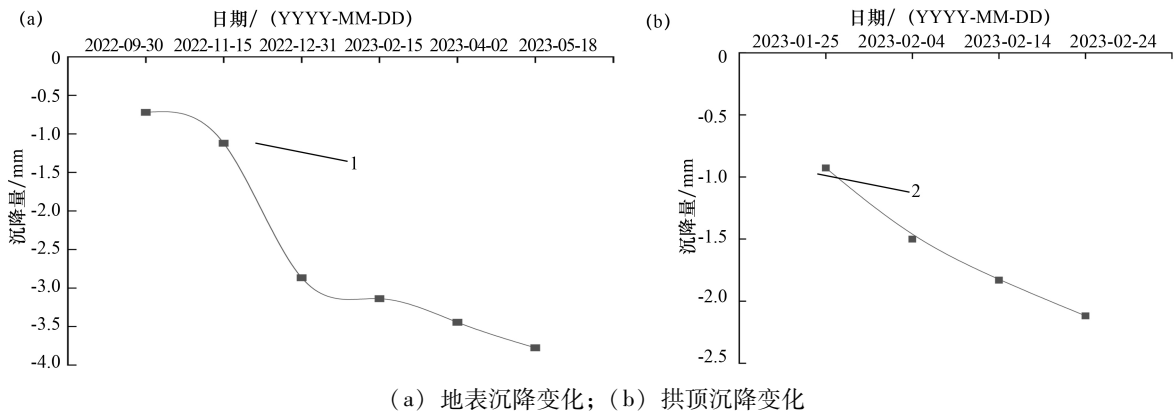


图 11 测点布置示意

mm



(a) 地表沉降变化；(b) 拱顶沉降变化

1—监测点 1 现场实际监测数据；2—拱顶现场实际监测数据。

图 12 实际施工沉降监测数据

(3) 采用从中部向两端依次扣拱的施工顺序，扣拱进尺选为 6 m，能够保证施工效率及施工安全。施工监测结果显示，扣拱施工过程中，地表沉降最大值增大 3.7 mm，拱顶沉降量增大 2.2 mm。实际监测值小于仿真计算结果。

参考文献：

[1] 任伟明. PBA 工法地铁车站下穿桥梁影响分析[J].

工程建设,2022,54(12):48-55.

[2] 史磊磊,王凯,李兆平,等. 暗挖地铁车站侧穿特殊结构桥梁保护措施研究[J]. 都市快轨交通,2020,33(2):103-110.

[3] 刘石,姜巍,宫亚峰,等. 一次扣拱暗挖法隧道开挖步骤优化与地表沉降预测[J]. 现代隧道技术,2022,59(增刊2):44-53.