

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2025.01.016

# 黄土区地铁暗挖隧道密贴下穿既有车站变形控制措施研究

程 龙<sup>1</sup>, 谭智鹏<sup>2</sup>, 皇甫深洲<sup>1</sup>, 和锋刚<sup>1</sup>, 韩亚旭<sup>1</sup>, 高 斌<sup>1</sup>, 甄福龙<sup>2</sup>

(1. 中铁电气化局集团有限公司铁路工程公司, 北京 100071; 2. 长安大学公路学院, 西安 710064)

**摘 要:** 针对黄土地区新建地铁暗挖隧道密贴下穿既有车站, 引起车站沉降过大的问题, 依托西安地铁 8 号线密贴下穿 2 号线会展中心站工程, 采用数值模拟与现场监测的方式, 分析下穿施工时各项控制措施对既有车站变形的控制效果, 给出了黄土区暗挖隧道密贴下穿既有车站施工参数建议值。研究表明: 密贴下穿时, 施工工法和开挖进尺对车站变形控制效果较为关键, 施工工法从上下台阶法调整为现场 CRD 法后, 车站最大沉降减少 50%; 开挖进尺从 1.5 m 调整为 0.5 m 后, 车站最大沉降减少 30%。上下导洞错距和临时钢支撑架设对车站变形控制效果较弱, 可依据工程地质与现场监测情况进行适当调整。依托工程采用现场 CRD 法+0.5 m 开挖进尺+5 m 单侧洞室上下导洞错距+5 m 间距临时钢支撑施工方案, 现场监测数据与数值计算得到的变形规律基本相同, 车站侧墙、道床与轨道最大沉降分别为-3.76、-2.91、-2.51 mm, 变形缝处最大差异沉降为 3.54 mm, 均符合车站变形控制标准要求。

**关键词:** 城市轨道交通; 暗挖隧道; 控制措施; 密贴下穿; 既有车站; 变形控制

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2025)01-0120-09

## Study of Deformation Control Measures for Concealed Underground Tunnels in Loess Areas Through Existing Stations in Close Proximity

CHENG Long<sup>1</sup>, TAN Zhipeng<sup>2</sup>, HUANGFU Shenzhou<sup>1</sup>, HE Fenggang<sup>1</sup>, HAN Yaxu<sup>1</sup>, GAO Bin<sup>1</sup>, ZHEN Fulong<sup>2</sup>

(1. Railway Engineering Company of China Railway Electrification Bureau Group Co., Ltd., Beijing 100071;

2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064)

**Abstract:** Aiming at the problem of excessive settlement of the station caused by the new tunnel close to the existing station, relying on the project of Xi'an Metro Line 8 close to the Convention and Exhibition Center Station of Line 2, the numerical simulation and on-site monitoring are used to analyze the control effect of various control measures on the deformation of the existing station during the construction of the underpass. The recommended values of construction parameters of the tunnel in the loess area are given. The results show that: (1) The construction method and excavation footage have obvious effect on the deformation control of the station when it is close to the underpass. After the construction method is adjusted from the upper and lower step method to the on-site CRD method, the maximum settlement of the station is reduced by 50%. After the excavation footage is adjusted from 1.5 m to 0.5 m, the maximum settlement of the station is reduced by 30%. (2) The staggered distance between the upper and lower pilot tunnels and the erection of temporary steel support have a weak effect on the deformation control of the station, which can be appropriately adjusted according to the engineering geology and on-site

收稿日期: 2024-05-31 修回日期: 2024-09-05

第一作者: 程龙, 男, 本科, 工程师, 主要研究方向为隧道与地下工程, 632036937@qq.com

通信作者: 甄福龙, 男, 硕士研究生, 主要研究方向为隧道与地下工程, 466908530@qq.com

基金项目: 陕西省科学技术研究发展计划项目(2024KJX-53); 中铁电气化局集团有限公司铁路工程公司科研项目(XADTKY001)

引用格式: 程龙, 谭智鹏, 皇甫深洲, 等. 黄土区地铁暗挖隧道密贴下穿既有车站变形控制措施研究[J]. 都市轨道交通, 2025, 38(1): 120-128.

CHENG Long, TAN Zhipeng, HUANGFU Shenzhou, et al. Study of deformation control measures for concealed underground tunnels in loess areas through existing stations in close proximity[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(1): 120-128.

monitoring. (3) Based on the project, the construction scheme of on-site CRD method +0.5 m excavation footage +5 m single-side cavern upper and lower guide hole staggered distance +5 m spacing temporary steel support is adopted. The on-site monitoring data are basically the same as the deformation law obtained by numerical calculation. The maximum settlement of the station side wall, ballast bed and track is -3.76, -2.91, -2.51 mm respectively, and the maximum differential settlement at the deformation joint is 3.54 mm, which meets the requirements of the station deformation control standard.

**Keywords:** urban rail transit; bored engineering; control measures; closely-attached intersecting; established stations; deformation control

随着城市轨道交通网络的不断完善,为满足不同线路的快捷换乘需求,新建地铁隧道密贴下穿既有车站的工程案例不断增多<sup>[1-3]</sup>。但密贴下穿施工对既有车站的正常运营和结构安全产生影响,因此如何保障密贴下穿过程中车站的正常运营和结构安全已成为研究热点。

为了保障下穿施工时既有结构的安全,针对新建隧道下穿既有结构变形控制措施方面,国内外学者已展开广泛研究。孙会良等<sup>[4]</sup>通过素桩加固、袖阀管注浆、洞内注浆、渣土改良等措施,保证了盾构隧道近距离下穿既有车站的安全性问题。来弘鹏等<sup>[5]</sup>通过数值模拟对砂土地层盾构小角度下穿既有隧道施工参数进行研究,提出适当增大注浆范围是控制既有隧道沉降和轨道高差的有效方法。寇鼎涛等<sup>[6]</sup>以浅埋暗挖隧道下穿既有车站工程为背景,分析不同注浆加固范围与注浆强度下的沉降变形特征,发现增大注浆范围比增大注浆强度更有效。邓文彬等<sup>[7]</sup>提出“注浆加固、隔震减震、匀速掘进”的盾构下穿古建筑施工思路。李媛<sup>[8]</sup>提出对下穿隧道周边土体采用深孔注浆技术加固,保证了既有车站的稳定性。陈湘生等<sup>[9]</sup>针对隧道下穿既有车站的安全性问题,采用冻结法加固车站周边土体。陶连金等<sup>[10]</sup>分析了增加临时立柱、千斤顶和初支后回填注浆等辅助措施对既有地铁车站变形控制效果。梁尔斌<sup>[11]</sup>开展了隧道密贴下穿既有车站及变形缝沉降控制研究,发现施加千斤顶后既有车站沉降降低了58%。于军<sup>[12]</sup>提出对下穿段土体进行全断面注浆和采用千斤顶提供支撑反力可将既有结构变形控制在3 mm以内。杨子璇等<sup>[13]</sup>分析了洞桩法施工密贴下穿既有车站的沉降规律,提出优化洞桩法施工工序的沉降控制措施。彭宇一<sup>[14]</sup>提出零距离暗挖下穿既有车站托举法施工理念,将新建结构与既有结构连成整体,实现新建结构对既有结构的托举作用。杨凤梅等<sup>[15]</sup>依托实际下穿工程,发现分段法施工较导洞法施工能满足既有车站的结构变形、承载力及裂缝控制要求。王明

均等<sup>[16]</sup>采用数值模拟对比三台阶法、CRD法、侧壁导洞法对既有车站的结构变形影响,发现采用侧壁导洞法施工能够更好地控制车站结构的变形。

目前,下穿工程中一般采用优化施工工法、调控开挖进尺、施作临时支撑和超前注浆加固等变形控制措施,强化地层参数,减少新建隧道施工扰动,进而达到控制既有结构变形的目的。黄土地区类似下穿工程多采用浅埋暗挖法施作,但目前针对黄土区隧道密贴下穿既有车站工程的研究相对较少,不同措施对黄土区车站变形的控制效果尚不清楚,施工参数选取也大多依靠以往施工经验,易造成工程成本增加、施工进度延缓等问题。

本文依托西安地铁8号线密贴下穿2号线会展中心站工程,基于FLAC3D有限差分软件针对下穿施工工艺中采用的施工工法、开挖进尺、导洞错距等控制措施的具体效果进行深入研究,为日后黄土区类似工程提供指导。

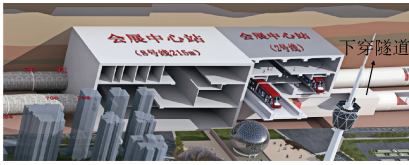
## 1 工程概况

### 1.1 工程简介

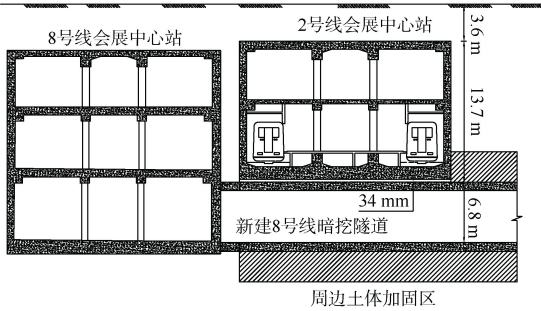
西安地铁2号线会展中心站主体结构长293.6 m,覆土深度约3.6 m,下穿段宽约20.7 m、高约13.7 m,中段为8号线预留三层T形换乘节点。西安地铁8号线左线已成功抵达换乘区间,右线由于8号线地铁车型变化,原预留换乘区间不能满足设计要求,需垂直密贴下穿2号线会展中心站,如图1所示。下穿段右线隧道采用平顶直墙现场CRD法施工,隧道横断面中心上方为2号线会展中心站诱导缝,隧道顶部与车站底部最小净距为34 mm。

### 1.2 下穿工法简介

西安地铁8号线右线下穿区间采用平顶直墙断面,现场采用WSS深孔注浆对下穿段土体进行加固,并采用优化后的现场CRD法密贴下穿2号线会展中心站,具体施工步骤如表1所示。



(a) 新建8号线密贴下穿既有2号线会展中心站平面示意

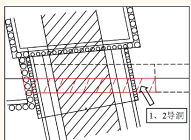



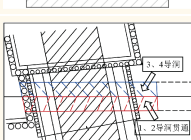



(b) 新建8号线密贴下穿既有2号线会展中心站剖面示意

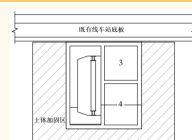
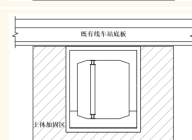

图 1 新建 8 号线密贴下穿既有 2 号线会展中心站示意  
Figure 1 A plane position diagram of the newly built Line 8 underneath the existing Line 2 Convention and Exhibition Center Station

表 1 新建 8 号线右线下穿段隧道具体施工步骤

Table 1 The specific construction steps of the tunnel under the right line of the new Line 8

图示	施工说明
	第 1 步：隧道开挖至标准暗挖断面与矩形断面接口处，静力破除前方既有 2 号线围护桩，并对 1、2 号导洞前方土体进行 WSS 深孔注浆
	第 2 步：开挖 1 号导洞，并施做初期支护及中隔壁，开挖时掏除既有线路底板与隧道初期支护间的土体，填充钢筋混凝土，初支与既有线路垫层密贴
	第 3 步：1 号导洞开挖 5 m 后，开挖 2 号导洞，并施做初期支护及中隔壁，待 1、2 号导洞贯通，临时封端
	第 4 步：拆除水平中隔壁，铺设 1、2 号导洞室防水层，浇筑侧墙及部分顶、底板结构，环向分 2 次施工，纵向每段 4~6 m，二衬混凝土达到强度后，拆除模板，并架设临时钢支撑
	第 5 步：静力破除 3、4 号导洞范围内前方既有 2 号线围护桩，并对 3、4 号导洞前方土体进行 WSS 深孔注浆
	第 6 步：开挖 3 号导洞，并施做初期支护及临时仰拱，开挖时掏除既有线路底板与隧道初期支护间的土体，填充钢筋混凝土，初支与既有线路垫层密贴

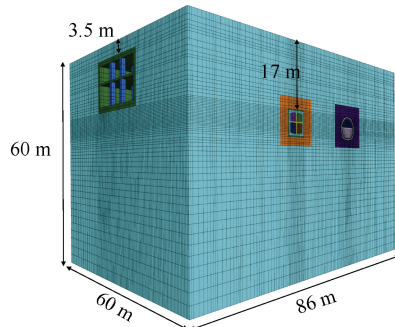
续表

图示	施工说明
	第 7 步：3 号导洞开挖 5 m 后，开挖 4 号导洞，并施做初期支护，待 3、4 号导洞贯通，临时封端
	第 8 步：拆除水平及竖向临时中隔壁，铺设 3、4 号洞室防水层，浇筑侧墙及部分顶、底板结构，环向分 2 次施工，纵向每段 4~6 m，二衬混凝土达到强度后，拆除模板
	第 9 步：根据监测情况拆除临时钢支撑(建议一次性拆除长度不超过 6 m)，下穿段隧道施工完成

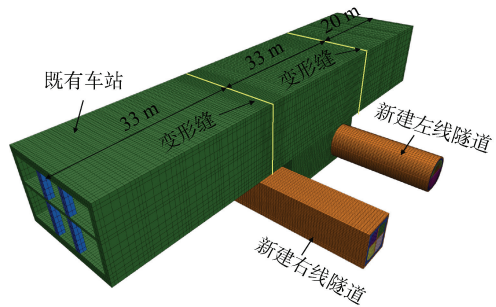
## 2 密贴下穿既有车站变形控制效果

### 2.1 模型建立和参数确定

建立三维计算模型，模型整体长、宽、高分别为 86、60、60 m，如图 2 所示。既有车站区间埋深为 3.5 m，新建隧道区间埋深为 17 m，其中矩形隧道宽 6.3 m，高 6.8 m，圆形隧道宽 6.6 m，高 6.7 m，两隧道轴线净距为 23.5 m，既有车站底板与新建矩形隧道拱顶间距为 0。土体单元采用 Mohr-Coulomb 本构模型，结构单元采用 Elastic 本构模型，开挖单元采用 Null 本构



(a) 模型尺寸



(b) 空间关系

图 2 模型示意

Figure 2 Model diagram

模型,对模型四周及底部进行法向位移约束,上表面设置为自由面,假定地表水平,忽略地下水对地层的作用。

根据相关工程地质报告,模型土层物理力学参数如表 2 所示,根据工程经验预估弹性模量,并结合现场实际情况进行反复试算。

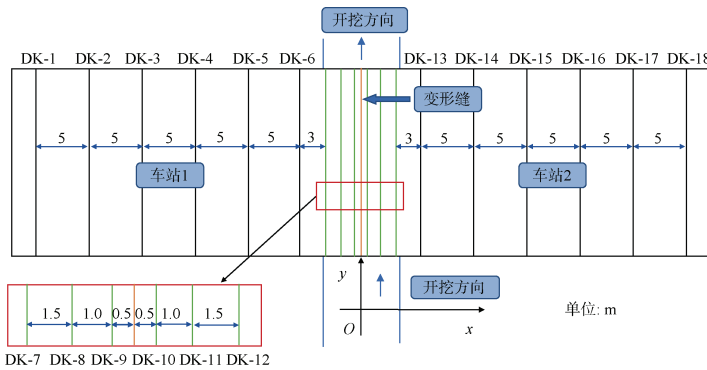
表 2 土层物理力学参数

Table 2 Physical and mechanical parameters of soil layer

地层名称	压缩模量/ MPa	泊松比	密度/ (g/cm <sup>3</sup> )	黏聚力/ kPa	摩擦角/(°)	埋深/ m
素填土	6.0	0.35	1.56	15	16.0	1.5
新黄土	6.6	0.30	1.65	24	23.0	6.0
古土壤	7.3	0.29	1.85	32	23.0	4.0
老黄土	14.6	0.29	1.70	29	23.0	1.0
老黄土(水下)	10.0	0.30	1.98	34	22.0	8.0
古土壤(水下)	15.1	0.28	1.98	35	22.0	13.5
粉质土	19.5	0.28	2.00	37	22.0	26.5

本文采用等效折减法对初期支护的混凝土、钢拱架和钢筋网的弹性模量进行折减,混凝土和钢筋弹性模量参考《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2016),详见表 3。为准确模拟变形缝两侧车站结构的沉降,在变形缝两侧车站结构、周围土体与车站结构之间建立接触面。接触面参数应参考以往文献资料进行选取,详见表 4。

数值模拟开挖实施步骤为:进行 WWS 深孔注浆→开挖 1 号导洞→1 号导洞开挖 5 m 后,开挖 2 号导洞→1、2 号导洞贯通,拆除水平中隔壁,施作二次衬砌并设置临时钢支撑→开挖 3 号导洞→3 号导洞开挖 5 m 后,开挖 4 号导洞→3、4 号导洞贯通,拆除水平与竖向中隔壁,施作二次衬砌,如图 3 所示。



(a) 既有车站纵断面测点布置

表 3 支护结构力学参数

Table 3 Mechanical parameters of supporting structure

材料类型	弹性模量/GPa	泊松比	密度/(g/cm <sup>3</sup> )
格栅钢架	210	0.30	7.85
临时钢支撑	210	0.30	7.85
既有车站(折算后)	30.0	0.20	2.50
初期支护(折算后)	31.5	0.20	2.50
二次衬砌(折算后)	33.5	0.20	2.50

表 4 接触面物理力学参数

Table 4 Physical and mechanical parameters of contact surface

接触面类型	法向刚度/ (GPa/m)	切向刚度/ (GPa/m)	黏聚力/ kPa	摩擦角/ (°)
变形缝接触	20	20	5	2
土体-结构接触	20	20	20	18

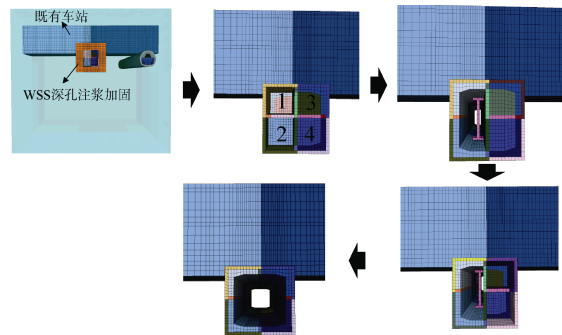
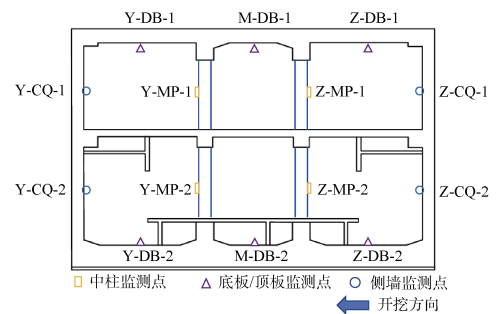


图 3 开挖模拟过程示意

Figure 3 Excavation simulation process diagram

## 2.2 测点布置

为监测车站结构变形,本文基于下穿开挖扰动的影响范围,共设置 18 个监测断面,如图 4(a)所示,每个监测断面设置 14 个监测点,具体位置如图 4(b)所示。



(a) 既有车站横断面测点布置

图 4 新建右线隧道密贴下穿段测点布置

Figure 4 The layout of the measuring points of the new right line tunnel close to the underpass section

## 2.3 计算结果分析

### 2.3.1 施工工法对既有车站变形控制效果研究

为探究不同工法对既有车站的变形控制效果,设

计 3 种浅埋暗挖常用工法,详见表 5。不同施工工法下既有车站结构变形如图 5 所示。由 5(a)可知,DK-9 断面各点竖向沉降值为上下台阶法>CD 法>现场 CRD

法。选取 Z-DB-2 点观测车站纵向变形, 由 5(b)可知, 各工法下车站纵向沉降趋势基本相同, 其中上下台阶法>CD法>现场 CRD 法, 最大沉降依次为-7.00、-4.68、-3.51 mm, 不同工法的最大沉降发生在变形缝左侧的 DK-9 断面, 且在变形缝处均产生差异沉降, 可能导致车站结构破坏。

表 5 施工工法工况设计

Table 5 Working condition design of construction method

工况	施工工法	开挖进尺/m	前后错距
工况 1	上下台阶法	0.5	上下台阶错距 10 m
工况 2	CD 法		左右导洞错距 20 m
工况 3	现场 CRD 法		1、2 导洞错距 5 m, 贯通后施作 3、4 导洞

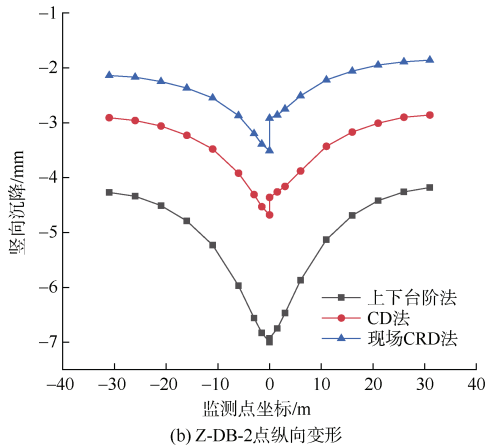
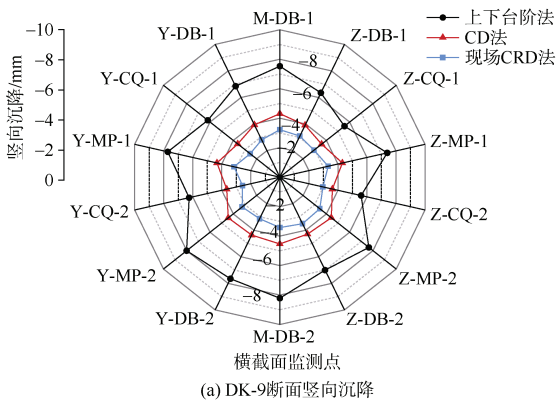


图 5 不同施工工法下既有车站结构变形

Figure 5 Structural deformation of the existing station under different construction methods

上下台阶法、CD 法、现场 CRD 法产生的最终差异沉降分别为 0.1、0.35、0.60 mm, 这是由于上下台阶法同时开挖变形缝下方两侧土体, 而 CD 法和现场 CRD 法为左侧导洞先行施工, 继而导致变形缝左侧车站结构所受扰动大于右侧结构。

### 2.3.2 开挖进尺对既有车站变形控制效果研究

为探究不同开挖进尺对既有车站的变形控制效果, 按照常用开挖进尺设置 0.5、0.75、1.0 和 1.5 m 共 4 种工况, 见表 6, 并对数值结果展开对比分析。

表 6 开挖进尺工况设计

Table 6 Design of excavation footage condition

工况	开挖进尺/m	导洞错距	施工工法
工况 1	0.5	1、2 导洞错距 5 m, 贯通后施作 3、4 导洞	现场 CRD 法
工况 2	0.75		
工况 3	1.0		
工况 4	1.5		

监测点选取同 2.2 节, 由图 6(a)可知, DK-9 断面各点沉降随着开挖进尺的增加而增大, 其中左侧沉降增长均匀, 右侧沉降在 0.5~1.0 m 时增长较小, 在 1.0~1.5 m 时有着明显提升。由图 6(b)可知, 随着开挖进尺的不断增大, 车站 Z-DB-2 点竖向沉降逐渐增大, 进尺

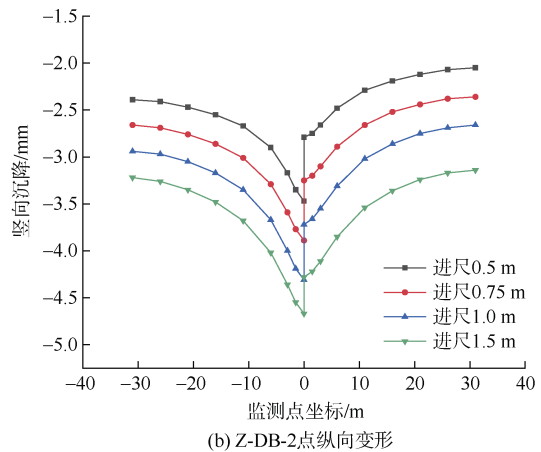
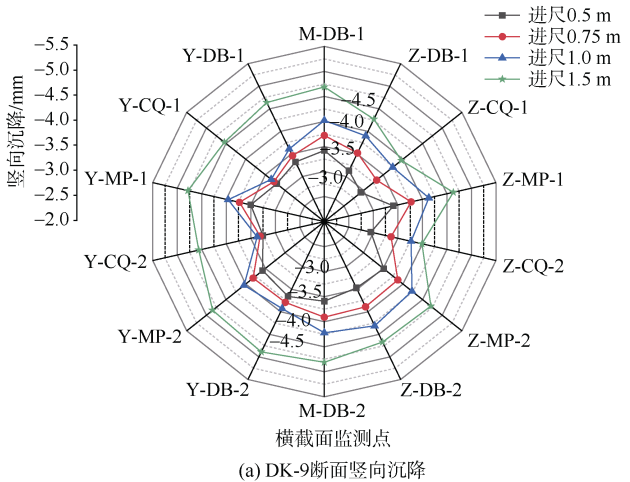


图 6 不同开挖进尺下既有车站结构变形

Figure 6 Structural deformation of the existing station under different excavation footage

为 0.5、0.75、1.0、1.5 m 时, 对应的纵向最大沉降依次为 -3.51、-3.89、-4.31、-4.67 mm, 但车站差异沉降基本一致, 约为 0.5 mm, 这表明施工过程中适当调整开挖进尺能够有效减少车站纵向沉降。

开挖进尺从 1.5 m 降为 1.0 m 后, DK-9 断面右侧沉降减少 1.0 mm, 从 1.0 m 降为 0.5 m 后, DK-9 断面右侧沉降仅减少 0.25 mm, 这表明随着开挖进尺的不断减小, 其对既有车站沉降的控制效果逐渐减弱。

### 2.3.3 导洞错距对既有车站变形控制效果研究

现场 CRD 法单侧洞室采用上下台阶法施工, 如导洞错距过近, 作业时干扰大; 导洞错距较远, 则支护闭合时间长。为探究上下导洞错距对既有车站变形的具体影响, 本文设置上下导洞错距 3、5、7、10 m 共 4 种工况, 如表 7 所示。

表 7 上下台阶错距工况设计

Table 7 Upper and lower step stagger distance working condition design

工况	上下台阶错距/m	开挖进尺/m	施工工法
工况 1	3	0.5	现场 CRD 法
工况 2	5		
工况 3	7		
工况 4	10		

由图 7 可知, 不同错距下的车站沉降曲线变化幅度较小。上下导洞错距为 3、5、7、10 m 时, 纵向最大沉降值分别为 -3.38、-3.51、-3.58、-3.61 mm, 变形缝处车站最终差异沉降分别为 0.56、0.59、0.62、0.61 mm。

随着上下导洞错距的逐渐增加, 车站各点沉降值几乎不变, 这表明采用现场 CRD 法施工时, 缩短上下导洞错距无法对车站变形起到良好的控制效果。因此实际施工中, 可依据现场监测情况适当调整上下导洞开挖错距。

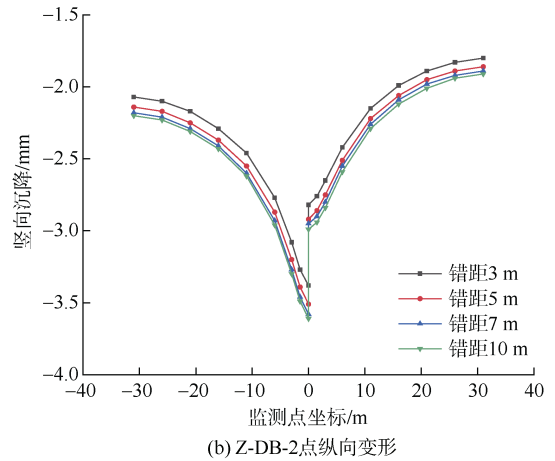
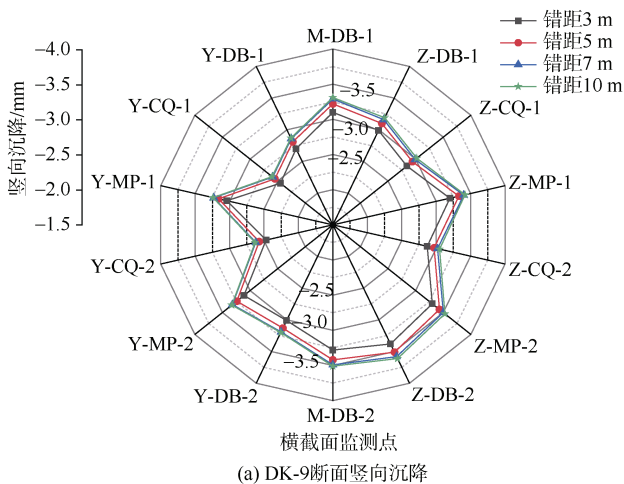


图 7 不同开挖进尺下既有车站结构变形

Figure 7 Structural deformation of the existing station under different excavation footage

### 2.3.4 临时支撑对既有车站变形控制效果研究

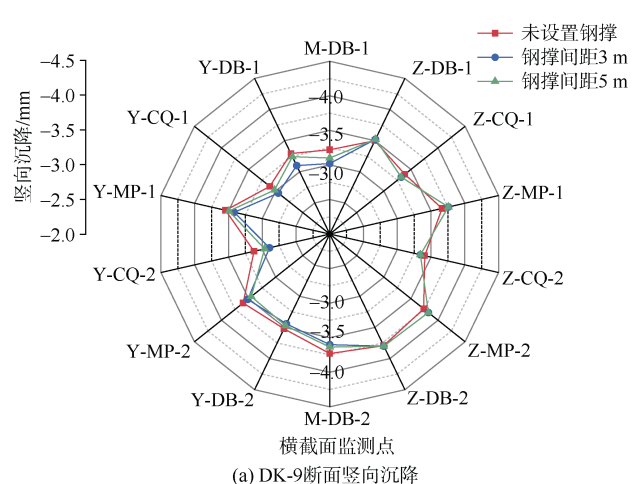
为避免中隔壁拆除引发车站的突然沉降, 设计时增加临时钢支撑。为探究临时钢支撑对车站的变形控制效果, 设置不加临时钢支撑、施加临时钢支撑(间距 3 m)、施加临时钢支撑(间距 5 m)共计 3 种工况, 详见表 8。

表 8 临时钢支撑工况设计

Table 8 Temporary steel support working condition design

工况	临时钢支撑方案	开挖进尺/m	导洞错距	施工工法
工况 1	不加临时钢支撑	0.5	1、2 导洞错 5 m, 贯通后施 作 3、4 导洞	现场 CRD 法
工况 2	临时钢支撑间距 3 m			
工况 3	临时钢支撑间距 5 m			

由图 8 可知, 设置了临时钢支撑后, 车站变形曲线基本贴合, 纵向上最大沉降为 -3.61 mm, 当钢支撑间距从 3 m 变为 5 m 时, 车站变形也基本不变, 这表明架设临时钢支撑及调整钢撑间距对车站沉降控制效果并



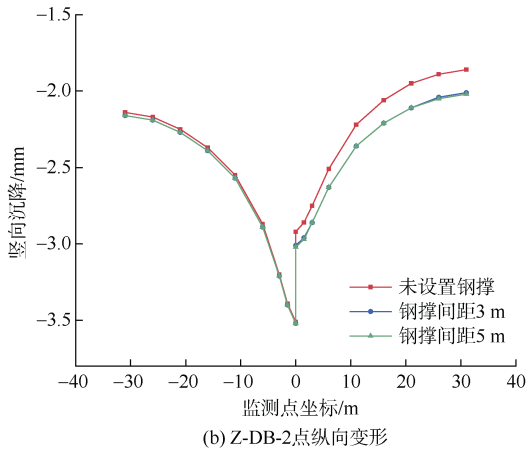


图 8 不同临时支撑方案下既有车站结构变形  
Figure 8 Structural deformation of the existing station under different temporary support schemes

不明显。因此，在下穿施工过程中，可依据车站现场监测情况适当减少临时钢支撑的设置，以提升施工效率。

### 3 密贴下穿既有车站现场沉降控制措施

#### 3.1 现场监测点布置

密贴下穿过程中易造成既有车站轨道结构沉降，会展中心站下穿段主要监测断面与数值模拟相同，共布设 18 个监测断面，其中下穿段正上方断面编号为 DK20+211 和 DK20+210，对应数值模拟中 DK-9 与 DK-10 断面。既有车站轨行区左右线轨道与侧墙各布设 1 个变形监测点，具体见图 9。

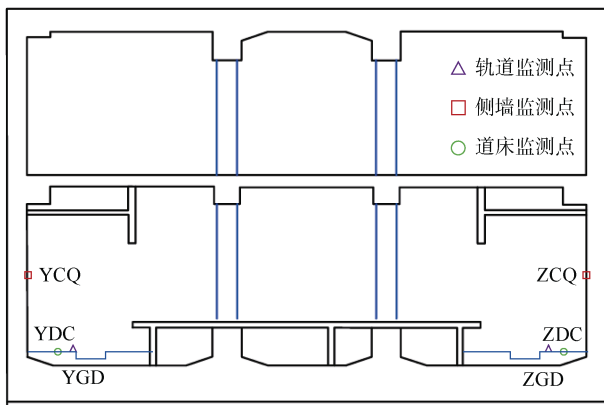


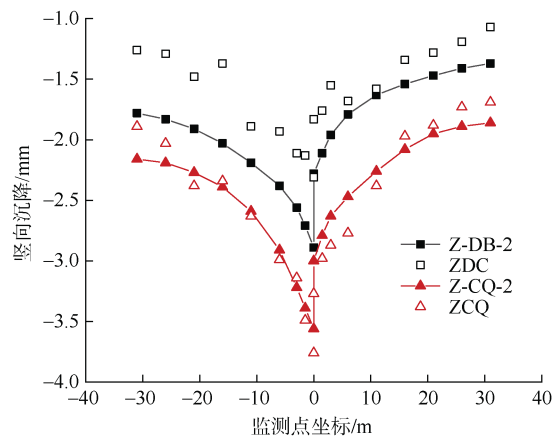
图 9 既有车站现场监测点布置  
Figure 9 Site monitoring point layout of the existing station

#### 3.2 现场数据与数值模拟对比分析

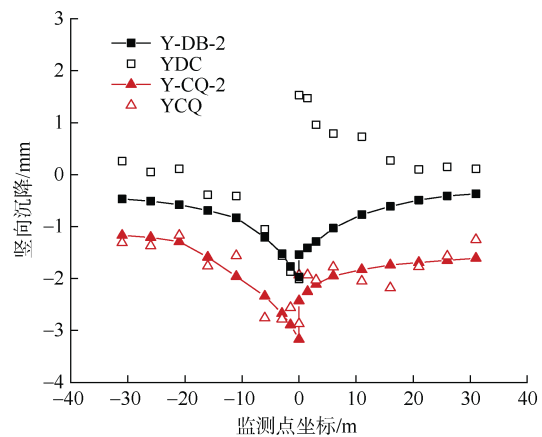
基于数值模拟得出的各项措施沉降控制效果，并结合实际施工过程中的安全储备，建议西安地铁 8 号线密贴下穿 2 号线会展中心站的现场施工参数组合为：现场 CRD 法+0.5 m 开挖进尺+5 m 单侧洞室上下

导洞错距+5 m 间距临时钢支撑。由于既有车站轨道结构的沉降难以在数值模拟中实现，文中不予对比。

将现场侧墙与道床监测数据与数值模拟侧墙与底板测点监测数据进行对比分析。由图 10 可知，现场实测结果与数值模拟预测得到的变形规律基本相同，数值计算与现场监测得到的车站底板沉降值均小于侧墙沉降值，说明注浆压力会导致车站底板产生一定的隆起。而车站底板的现场监测沉降值均小于数值计算的沉降，在施工过程中车站右线底板在变形缝右侧发生隆起，进一步说明了注浆压力会对车站产生一定的扰动作用，且具有不可预测性，数值计算很难完全模拟注浆效果。



(a) 既有车站左线沉降变形对比



(b) 既有车站右线沉降变形对比

图 10 既有车站沉降变形对比  
Figure 10 Comparison of settlement deformation of the existing station

既有车站轨行区左线侧墙最大竖向沉降为 -3.76 mm，底板最大竖向沉降为 -2.91 mm，右线侧墙最大竖向沉降为 -3.25 mm，底板最大沉降为 -2.27 mm，均发生在车站变形缝左侧，且变形缝两侧均存在一定的差异沉降。由图 10(b)可知，在注浆压力作用下车站

右线底板发生 1.53 mm 的隆起, 造成变形缝处产生 3.54 mm 的最大差异沉降。总之, 现场实测沉降值与数值计算值均小于规范<sup>[17]</sup>要求的沉降值, 因此采用现场 CRD 法能够有效控制既有车站的竖向沉降及变形缝处的差异沉降, 保证既有车站的结构稳定性。

### 3.3 现场实施效果

施工过程现场监测数据如图 11、图 12 所示, 在注浆阶段, 2 个断面各监测点均呈现不同程度的隆起, 隆起值在 0.34~2.51 mm, 符合车站竖向隆起控制值 +5 mm 的要求。

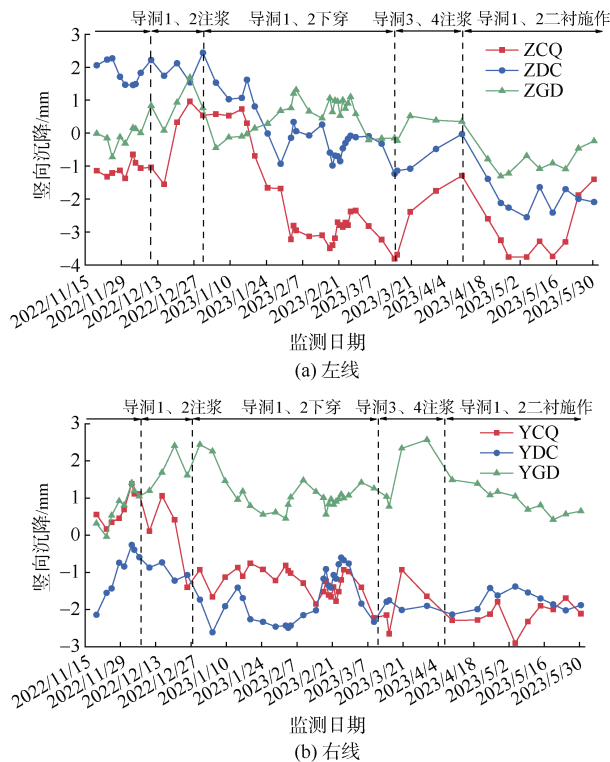


图 11 会展中心站 DK20+211 轨行区测点沉降时程曲线  
Figure 11 The settlement time history curve of DK20+211 track area of the exhibition center station

在导洞 1、2 下穿阶段, 2 个断面各监测点均呈现不同程度的沉降, 且随着导洞初支和水平中隔壁的施作, 各点沉降基本趋于稳定。DK20+211 断面轨行区左线侧墙、道床、轨道最大沉降依次为 -3.76、-2.55、-1.19 mm, 右线侧墙、道床、轨道最大沉降依次为 -2.90、-2.49、0.45 mm。DK20+210 断面轨行区左线侧墙、道床、轨道最大沉降依次为 -2.60、-2.01、-2.51 mm, 右线侧墙、道床、轨道最大沉降依次为 -1.80、-0.35、1.16 mm, 均符合车站竖向沉降控制值 -10 mm 的要求<sup>[17]</sup>, 说明在新建隧道下穿阶段既有车站整体结构与轨道结构均能够保持稳定, 不发生破坏。

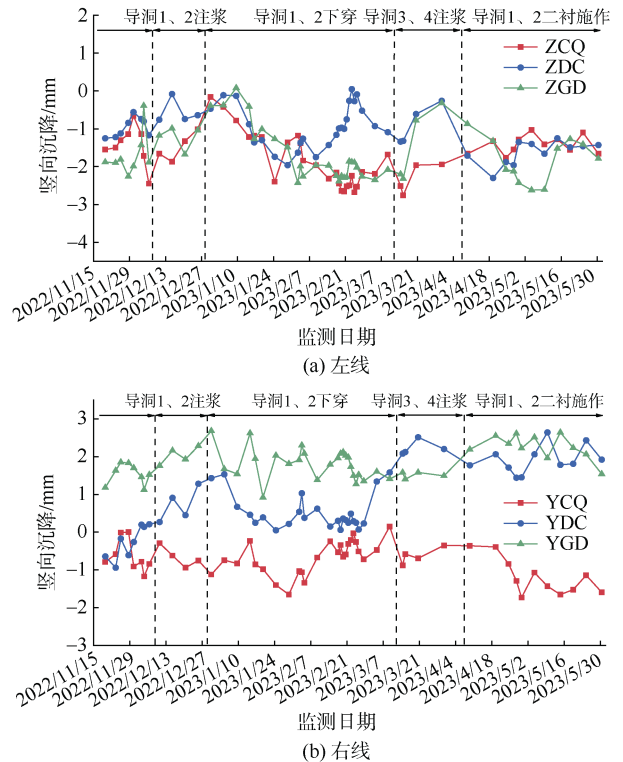


图 12 会展中心站 DK20+210 轨行区测点沉降时程曲线  
Figure 12 The settlement time history curve of DK20+210 track area in the exhibition center station

## 4 结论

- 1) 新建隧道密贴下穿既有车站施工过程中, 车站纵向沉降基本呈现典型的“V 形”曲线, 诱导缝处差异沉降过大, 易出现车站结构破坏的问题。
- 2) 施工工法和开挖进尺对车站变形控制效果较为明显, 施工工法从上下台阶法调整为现场 CRD 法时, 车站最大沉降从 -7.00 mm 降至 -3.51 mm; 当开挖进尺从 1.5 m 调整为 0.5 m, 车站最大沉降从 -4.67 mm 降至 -3.51 mm。
- 3) 调整上下导洞错距和架设临时钢支撑对车站的变形控制效果较弱, 下穿施工时可依据工程地质与现场监测情况适当进行调整, 提高施工效率。
- 4) 基于各项控制措施的变形控制效果提出现场 CRD 法 +0.5 m 开挖进尺 +5 m 单侧洞室上下导洞错距 +5 m 间距临时钢支撑的控制措施, 现场监测数据与数值模拟得到的车站变形规律基本相同, 既有车站侧墙、道床与轨道最大沉降分别为 -3.76、-2.91、-2.51 mm, 变形缝处最大差异沉降为 3.54 mm, 均符合车站沉降控制要求, 证明本文提出的控制措施能够有效抑制既有车站变形, 维持结构稳定。

## 参考文献

- [1] 刘翔. 新建隧道下穿既有隧道力学响应分析[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.  
LIU Xiang. Mechanical response analysis of new tunnel under existing tunnel[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [2] 张振波, 王煦霖, 郑凯, 等. 双层车站零距离下穿既有车站变形控制技术[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(2): 727-733.  
ZHANG Zhenbo, WANG Xulin, ZHENG Kai, et al. Control technology of zero-distance under-passing existing station in new two layers station[J]. Science technology and engineering, 2022, 22(2): 727-733.
- [3] 王剑晨, 张顶立, 张成平, 等. 浅埋暗挖隧道近距施工引起的上覆地铁结构变形分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(1): 90-97.  
WANG Jianchen, ZHANG Dingli, ZHANG Chengping, et al. Analysis of structural deformation of overlying subway station induced by approaching tunnel excavation in shallow depth[J]. Chinese journal of rock mechanics and engineering, 2014, 33(1): 90-97.
- [4] 孙会良, 胡盛斌, 肖鹏飞, 等. 地铁曲线接收段盾构近距离斜穿既有车站施工风险控制: 以南宁轨道交通5号线下穿既有1号线广西大学站为例[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(7): 1206-1217.  
SUN Huiliang, HU Shengbin, XIAO Pengfei, et al. Construction risk control of a metro shield tunnel in a curved receiving section obliquely crossing an adjacent existing station: a case study on Nanning rail transit line 5 crossing underneath Guangxi University Station on existing line 1[J]. Tunnel construction, 2021, 41(7): 1206-1217.
- [5] 来弘鹏, 郑海伟, 何秋敏, 等. 砂土地层盾构隧道小角度斜下穿既有隧道施工参数优化研究[J]. 中国公路学报, 2018, 31(10): 130-140.  
LAI Hongpeng, ZHENG Haiwei, HE Qiumin, et al. Investigation into parameter optimization of existing metro tunnel for shield tunnel closely undercrossing it at small angle in sand stratum[J]. China journal of highway and transport, 2018, 31(10): 130-140.
- [6] 寇鼎涛, 高太平, 闫建龙, 等. 四线隧道密贴下穿既有地铁车站注浆加固圆砾石地层效果研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(12): 94-100.  
KOU Dingtao, GAO Taiping, YAN Jianlong, et al. Research on the effect of grouting reinforcement of gravel stratum in the four-line tunnel closely undercrossing the existing metro station[J]. Railway standard design, 2020, 64(12): 94-100.
- [7] 邓文彬, 孙常康, 杨丽, 等. 地铁盾构下穿古建筑振动监测与保护研究[J]. 都市轨道交通, 2024, 37(3): 75-81.  
DENG Wenbin, SUN Changkang, YANG Li, et al. Vibration monitoring and protection for ancient buildings under a metro shield[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(3): 75-81.
- [8] 李媛. 暗挖隧道下穿既有车站的深孔注浆及保护措施[J]. 都市轨道交通, 2014, 27(5): 76-79.  
LI Yuan. Deep hole grouting and protective measures of underground tunnel beneath existing station[J]. Urban rapid rail transit, 2014, 27(5): 76-79.
- [9] 陈湘生, 丁航, 李方政, 等. 地铁双线隧道下穿既有车站冻结加固冻胀控制措施[J]. 煤炭学报, 2024, 49(1): 172-180.  
CHEN Xiangsheng, DING Hang, LI Fangzheng, et al. Frost heave control measures for the frozen double-line tunnel undercrossing an operation station[J]. Journal of China coal society, 2024, 49(1): 172-180.
- [10] 陶连金, 李积栋, 汪国峰. CRD+顶撑控制技术在密贴下穿工程中的应用[J]. 铁道工程学报, 2013, 30(7): 74-79.  
TAO Lianjin, LI Jidong, WANG Guofeng. Application of CRD+top-bracing control technology in close-attached under-crossing engineering[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2013, 30(7): 74-79.
- [11] 梁尔斌. 隧道密贴下穿既有车站变形缝沉降控制研究[J]. 现代隧道技术, 2022, 59(2): 182-191.  
LIANG Erbin. Study of the settlement control of deformation joints of tunnels passing closely under the existing station[J]. Modern tunnelling technology, 2022, 59(2): 182-191.
- [12] 于军. 浅埋暗挖隧道零距离下穿既有地铁车站施工方案优化研究[J]. 隧道建设, 2013, 33(1): 22-26.  
YU Jun. Study on construction scheme optimization of shallow-buried tunnel undercrossing existing metro station with zero-clearance[J]. Tunnel construction, 2013, 33(1): 22-26.
- [13] 杨子璇, 姚爱军, 张东, 等. 隧道密贴下穿既有地铁车站沉降控制研究[J]. 地下空间与工程学报, 2020, 16(S1): 442-449.  
YANG Zixuan, YAO Aijun, ZHANG Dong, et al. Study on Settlement Control of Tunnel Closely Passing through Existing Metro Station[J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2020, 16(S1): 442-449.
- [14] 彭宇一. 零距离暗挖下穿既有车站控沉效果研究[J]. 铁道工程学报, 2024, 41(4): 96-101.  
PENG Yuyi. Research on the effect of zero distance underground excavation through existing stations to control settlement[J]. Journal of railway engineering society, 2024, 41(4): 96-101.
- [15] 杨凤梅, 叶至盛. 成都地铁19号线天府商务区站矩形断面矿山法零距离下穿既有车站施工方案[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(12): 171-176.  
YANG Fengmei, YE Zhisheng. Chengdu metro line 19 Tianfu commercial district station construction with rectangular section mining method zero-distance under-passing existing station[J]. Urban mass transit, 2022, 25(12): 171-176.
- [16] 王明均, 崔文辉, 赵向忠, 等. 小净距隧道下穿既有地铁车站施工方法研究[J]. 地下空间与工程学报, 2018, 14(S1): 200-204.  
WANG Mingjun, CUI Wenhui, ZHAO Xiangzhong, et al. Study on construction method of neighborhood tunnel underpass existing subway station based on FLAC3D[J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2018, 14(S1): 200-204.
- [17] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 城市轨道交通设施运营监测技术规范 第3部分: 隧道: GB/T 39559.3—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.

(编辑: 傅依萱)