

文章编号: 1005-0523(2022)01-0019-10



高铁悬臂式挡墙路基对既有路基变形控制研究

徐鑫洋^{1,2,3,4}, 金超奇^{1,2,3,4}, 祝俊华^{1,2,3,4}, 程超^{1,2,3,4}

(1. 华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013; 2. 华东交通大学江西省防灾减灾及应急管理重点实验室, 江西 南昌 330013; 3. 华东交通大学江西省岩土工程基础设施安全与控制重点实验室, 江西 南昌 330013; 4. 华东交通大学江西省地下空间技术开发工程研究中心, 江西 南昌 330013)

摘要: 对于运营期间的铁路, 在其路基外侧新建悬臂挡墙式高速铁路路基等新增荷载必然会对既有路基产生一定的位移变形, 影响轨道的平顺性。以昌景黄铁路邻近悬臂挡墙式路基段施工为背景, 结合实际工况, 基于小应变刚度(HSS)模型, 采用有限元分析平台(PLAXIS 3D)分析了不同控制手段下新建悬臂挡墙式路堤对邻近既有线的扰动变形影响, 并对各种措施的控制效率进行评估, 提出了对于并线新建路堤需要重点关注的控制点。计算结果表明: 高压旋喷桩和隔离桩手段能够有效控制新建线对既有线路所带来的扰动, 且采用“8 m 高压旋喷桩+4 m 隔离桩”方案控制变形效果最佳。研究成果既可直接应用于铁路标段工程, 又可应用于今后的高速铁路新建工程, 提供建设经验。

关键词: 高速铁路; 悬臂挡墙式路基; 沉降控制标准; 高压旋喷桩; 隔离桩; HSS 模型

中图分类号: U215; TU472

文献标志码: A

本文引用格式: 徐鑫洋, 金超奇, 祝俊华, 等. 高铁悬臂式挡墙路基对既有路基变形控制研究[J]. 华东交通大学学报, 2022, 39(1): 19-28.

DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.2022.01.014

Optimization of Deformation Control Technology for Cantilever Retaining Wall Subgrade of New High-Speed Railway to Adjacent Existing Subgrade

Xu Xinyang^{1,2,3,4}, Jin Chaoqi^{1,2,3,4}, Zhu Junhua^{1,2,3,4}, Cheng Chao^{1,2,3,4}

(1. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. Jiangxi Key Laboratory of Disaster Prevention-Mitigation and Emergency Management, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 3. Jiangxi Key Laboratory of Infrastructure Safety Control in Geotechnical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 4. Jiangxi Underground Space Technology Development Engineering Research Center, Nanchang 330013, China)

Abstract: For the railway in operation period, the high-speed railway subgrade outside its subgrade with the new cantilever retaining wall and other new loads will inevitably produce a certain displacement deformation on the existing subgrade and affect the smoothness of the track. In this paper, based on the construction of the cantilever retaining wall subgrade section of the Nanchang-Jingdezhen-Huangshan railway, combined with the actual conditions, the finite element analysis platform (PLAXIS 3D) is used to establish a three-dimensional numerical analysis model, and the HSS model is adopted to analyze the influence of the new cantilever retaining wall

收稿日期: 2021-08-24

基金项目: 国家自然科学基金-高铁联合基金项目(U1934208); 江西省自然科学基金重点项目(20192ACB20001); 江西省交通运输厅重点工程科技项目(2019C0010, 2019C0011)

embankment on the adjacent existing lines, and the causes of the disturbance are explained. The actual construction standard value is used to control, and high-pressure jet grouting pile and isolation pile are applied to solve the disturbance caused by the new line to the existing line. Then the control efficiency of various measures is evaluated, and the key control points that need to be focused on for the new embankment of the parallel line are put forward. The calculation results show that the scheme of "8 m high pressure jet grouting pile + 4 m isolation pile" can effectively reduce the deformation of adjacent existing lines. The research results can not only be directly applied to the railway project, but also to the new high-speed railway project in the future, providing construction experience.

Key words: high speed railway; cantilever retaining wall subgrade; settlement control standard; high pressure jet grouting pile; isolation pile; HSS model

Citation format: XU X Y, JIN C Q, ZHU J H, et al. Optimization of deformation control technology for cantilever retaining wall subgrade of new high-speed railway to adjacent existing subgrade[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2022, 39(1): 19-28.

随着高速铁路网不断发展完善,新建铁路不可避免会与既有铁路发生并行、交叉或帮宽。这些临近既有铁路的施工,不可避免会对既有铁路产生扰动。

目前在新建并行铁路路基的研究,Caverson等^[1]针对加拿大多伦多西区GO Transit铁路线路路基扩建工程,采用了仓式重力式挡土墙和土工合成材料加筋土对新建路基边坡进行加固,实践效果表明其加固效果良好。刘俊飞^[2]通过对复合地基中附加应力的分布特征和路基外侧新增荷载的附加应力分布特征的分析,提出外侧堆土对路基沉降的影响机理和沉降变形估算方法。李帆等^[3]分析并线高速铁路间的隔离桩桩长、桩径、桩间距、排数对既有路基附加沉降隔离效果的影响,提出并线高速铁路隔离桩关键设计参数确定方法。宋绪国等^[4]研究复杂工况下的既有高铁沉降评估问题,采用数值模型确定地基附加应力,基于分层总和法实现对既有并线高铁附加沉降的精准评价。

对于大部分岩土工程问题,Attewell等^[5]认为土体在工作荷载下实际上处于小应变状态。Bens^[6]提出了HSS模型(小应变刚度模型)。有学者采用HSS对实际工程进行数值模拟,并与现场实测数据对比分析,证实了HSS模型的优越性^[7-10]。除此之外,王卫东等^[11]和木林隆等^[12]根据位移反分析结果确定了较为完整的HSS模型参数。

目前大部分研究^[13-22]基于有限元法软件进行数

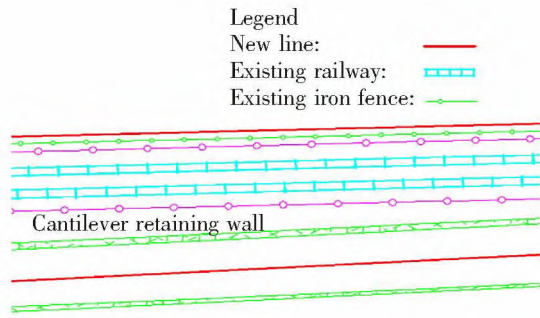
值模拟,然而对于高于既有线的悬臂挡墙式路基的案例较少。另外在进行施工控制分析时,仅以《铁路路基设计规范》^[23]等为控制标准值,导致所提出的措施方案不合理。针对上述研究存在的问题,本文以南昌昌景黄铁路邻近悬臂挡墙式路基段施工为背景,以施工单位的专项施工方案短期沉降值进行控制。其次结合实际工况,基于有限元分析平台(PLAXIS 3D)建立三维数值模型,采用HSS模型分析了新建悬臂挡墙式路堤对邻近既有线的影响,对扰动产生的原因进行解释,并进一步分析了地基处理,隔离桩等手段对既有线路所带来的扰动,基于控制效率进行评估,提出了对于控制邻近既有线路沉降的施工措施建议。研究成果既可直接应用于昌景黄铁路标段工程,又可为今后的高速铁路新建工程,提供建设经验。

1 工程背景

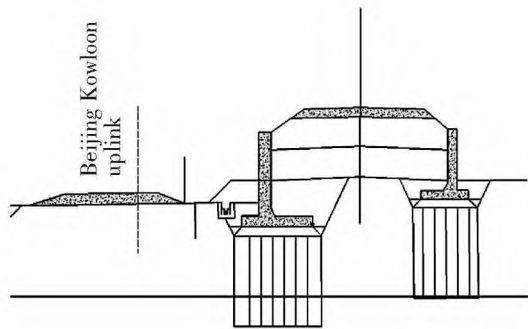
新建昌景黄铁路为南昌经景德镇至黄山高速铁路,设计时速350 km/h,CJHZQJX-7标为连接新建南昌东站和既有南昌西站的联络线工程,设计时速200 km/h;联络线从南昌东站由横岗联络线分左右线,分别与京九上下行线并行接入横岗站,再由向莆联络线左右线引出横岗站。

横岗右线上跨京九线后,以路基形式顺接沿京九上行线接入横岗站,路基顺接高出营业线部分采用悬臂挡墙式路基,见图1。设置范围位于京九上行侧

K1460+230~K1461+570, 悬臂挡墙高度 2.6~6.6 m, 挡墙底面位于既有路基面以下 0.8 m, 底部以下设 0.5 m 垫层, 墙顶高出既有路基面 5.8 m, 与京九上行线中心距为 4.1~9.7 m。邻近范围营业线地形地貌: 邻近营业线范围高差起伏不大, 表层多为杂填土和粉质黏土, 为挖填施工。



(a) Cantilever retaining wall layout



(b) Section of cantilever retaining wall embankment

图 1 悬臂挡墙图

Fig.1 Cantilever retaining wall

2 模型及控制标准

由于结构和土相互作用的复杂性, 本文采用有限元分析平台 (PLAXIS 3D) 建立三维数值模型, 分析新建悬臂挡墙式路堤对邻近既有线的影

2.1 HSS 模型参数选取

图 2 为 HSS 模型主应力空间中的屈服面, 引入式 (1), 进一步考虑了小应变阶段时土体刚度增加的特性。对于位移和沉降预测以及土体与结构相互作用分析, 研究表明^[16], 宜采用 HSS 模型较为合理。

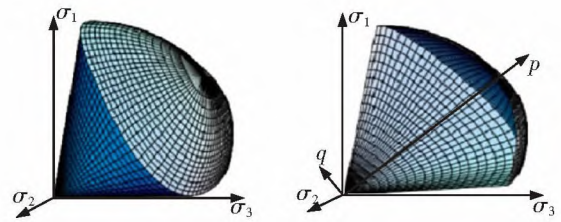


图 2 HSS 模型主应力空间中的屈服面^[9]

Fig.2 Yield surface of principal stress space in HSS model^[9]

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + 0.385 \left| \frac{\gamma}{\gamma_{0.7}} \right|} \quad (1)$$

式中: G_0 为初始剪切模量, 可由参考初始剪切模量 G_0^{ref} 根据土体的应力状态推出; $\gamma_{0.7}$ 为割线剪切模量衰减到初始剪切模量 70% 时所对应的剪应变。

HSS 考虑土体小应变刚度特性, 尤其是小应变状态下的高度非线性和高模量, 可以更加合理地描述施工时引起的土体变形。为了更好地模拟土体沉降变形, 本文模型中的土体采用小应变硬化模型进行模拟土层模型中土体物理力学参数, 见表 1。另外 HSS 模型参数中的 K_0, p^{ref}, v_w 和 m 可参照已有的研究成果取值^[22], 如表 2 所示。剩余参数中 c', φ' 可根据工程地质勘察报告取得, p^{ref} 可参照 PLAXIS 参考手册建议取 0.9。

2.2 计算模型及参数

模型既有路基左侧是路堑开挖, 右侧是悬臂挡墙式路基填筑, 与既有线相距 4.53 m。本文模型路基填土部分则采用摩尔-库伦模型, 物理参数详见

表 1 地基土小应变刚度模型参数

Tab.2 Parameters of small strain stiffness model for foundation soil

Model	H/m	$\gamma/(\text{kN/m}^3)$	$E_{50}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	$E_{\text{occl}}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	c/kPa	$\varphi/(\text{°})$	$E_{50}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	$\gamma_{0.7}$
Silty clay	7.70	16.00	6.19	7.19	18.57	20.00	18.00	27.90	0.000 2
Fine sand	13.00	19.00	16.70	20.00	49.98	5.00	28.00	75.00	0.000 2

表2。挡墙底面位于既有路基面以下0.8 m,底部以下设0.5 m垫层,悬臂挡墙采用线弹性模型,重度24 kN/m³,弹性模量28 MPa,垫层采用摩尔—库伦模型。

在数值模型建立中,为减少模型边界对仿真分析结果的影响,需要限制模型边界条件,另外数值模型的竖向及水平向尺寸必须满足一定范围,模型尺寸过大或过小均会引起数值仿真分析结果的差异。故本文模型边界条件分别为X,Y方向法向固定,Z_{min}完全固定,Z_{max}空闲;大小取100 m×10 m×30 m,如图3所示,模型网格划分时,对路基本体、桩和地

基处理桩侧部分土体进行加密,生成15 405个单元,29 694个节点。X方向为路基横向方向,Y方向为路基纵向方向,Z方向为路基高度方向,如图3所示。

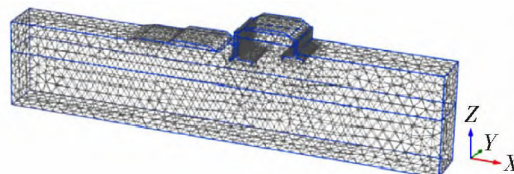


图3 悬臂挡墙式路堤 PLAXIS 模型网格划分
Fig.3 Mesh generation of PLAXIS model for cantilever retaining wall embankment

表2 既有线与新建线路基参数汇总
Tab.2 Summary of foundation parameters of existing and new lines

Foundation	$G/(\text{kN/m}^3)$	E/MPa	ν	c/kPa	$\varphi/(\text{°})$
Existing subgrade	19	98	0.3	21.8	22
Surface layer of subgrade bed	24	158	0.24	22	32
Bottom layer of subgrade bed	19	116	0.3	21.5	22
Cushion	20	400	0.15	0	25

2.3 荷载施加及具体施工步骤

考虑到既有路基的应力历史,即既有线在长期运营下本身发生的固结沉降;因此在既有线上施加列车荷载计算,并将位移重置为零后再进行新建线施工阶段的模拟。施加的荷载换算为荷载土柱^[13],高铁无砟列车荷载分布宽度为3.1 m,荷载强度为64.1 kPa;高铁有砟列车荷载分布宽度为3.4 m,荷载强度为63.3 kPa;联络线的列车荷载分布宽度3.3 m,荷载强度为68.02 kPa。

具体数值模拟施工步骤如下:第1步,初始应力平衡;第2步,既有线的长期沉降,激活荷载;第3步,冻结既有线荷载;第4步,土体开挖,冻结两侧土体;第5步,新建线路基分层填筑,依次激活两侧路基土层。

2.4 位移变形控制标准

在进行施工控制分析时,目前研究仅以《铁路路基设计规范》为控制标准值^[13];有砟轨道铁路路基工后沉降,当既有线增建新线时,工后沉降控制标准适当提高,一般不大于10 cm。本项目以“中铁二局专项施工方案”要求作为既有路基的沉降控制标准;路基累计沉降不大于10 mm,如表3所示。可以发现“专项施工方案”中的标准值是《铁路路基设计规范》的1/10,这是由于需要在新建线完工后,为邻近既有线预留一定的工后沉降值。从控制沉降位移安全来考虑,本文以表3中铁二局营业线路基沉降控制为标准, H 为边坡高度。对于本文的悬臂挡墙段,边坡单次沉降8.750 mm,累计沉降为3.5 mm。

表3 中铁二局营业线路基沉降控制标准表
Tab.3 Settlement control standard of line foundation

Foundation	Single settlement/mm	Cumulative settlement/mm	Difference between adjacent measuring points/mm
Existing line	≤ 2	≤ 10	≤ 5
Slope	$\leq 0.5 H\%$	$\leq 2 H\%$	-

3 沉降变形结果分析及措施研究

根据表 3 要求选择 4 个监测点:① 右侧既有线;② 左侧既有线;③ 右侧边坡;④ 左侧边坡,如图 4 所示。 X 方向为路基横向方向, Y 方向为路基纵向方向, Z 方向为路基高度方向。

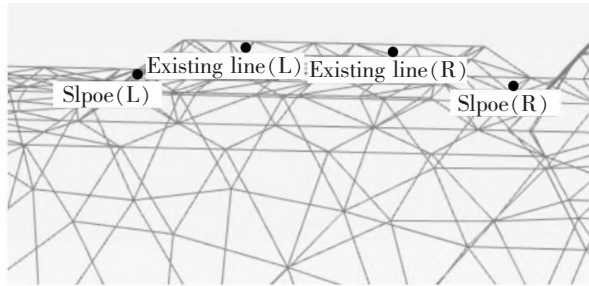
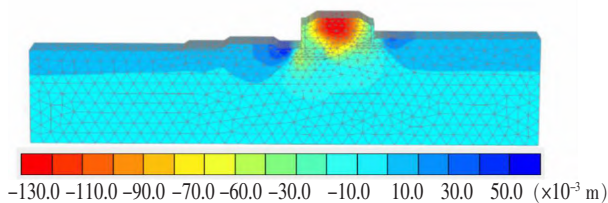


图 4 监测点定位示意图

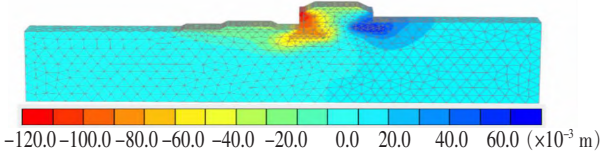
Fig.4 Schematic diagram of observation point positioning

3.1 只设置悬臂式挡墙变形分析

在挡墙式路堤施工过程中,随着邻近新增荷载不断增大,所产生的扰动也会越大。通过对悬臂式挡墙路基的施工进行数值模拟得到位移云图,如图 5。整个模型最大沉降发生于悬臂挡墙式路基基面的中心位置,即无砟轨道的附近,这是新增填土与荷载共同作用造成。由于悬臂式挡墙路基在既有线的右侧,故右侧的位移变化更为明显。



(a) Z direction



(b) X direction

图 5 位移云图

Fig.5 Displacement nephogram

如图 5(a)所示在受到右侧新增填土的荷载作用后,既有路基右侧边坡坡脚处产生了略微拱起,即向上的位移。结合图 5(b)分析,这是由于悬臂式挡土墙在土压力的作用下发生了向左的横向位移,

使得既有路基右侧的土体受到挤压产生的变形,而这是传统的分层总和法和规范法无法考虑的。4 个观测点的计算结果与控制标准进行对比,发现直接填筑悬臂式挡墙路基,会对既有线产生较大的扰动,见表 4。右侧的既有线和边坡产生变形过大,达到 15.658 mm 和 32.264 mm,无法满足控制标准值,需要采取合适的措施进行控制。

表 4 既有线位移变形值

Tab.4 Displacement and deformation value of existing lines

Deformation	mm			
	Existing line		Slope	
	L	R	L	R
Vertical	4.220	15.658	2.005	32.264
Horizontal	-27.761	-31.799	-25.398	-31.813

3.2 挡墙下设置高压旋喷桩变形控制分析

根据上文的分析,我们对悬臂挡墙段下地基进行高压旋喷桩的群桩地基处理,尝试通过对减少悬臂挡墙发生的沉降,来降低既有路基坡脚处土体挤压而产生位移变形。

在限元分析平台 (PLAXIS 3D) 三维数值模型中,对于高压旋喷桩的群桩地基处理采用埋入桩单元,需要注意的是埋入桩单元本身不占任何体积而是覆盖在土体单元上。为考虑这种覆盖的影响,需要在埋入桩材料中减去土体的重度。高压旋喷桩 PLAXIS 模型参数,见表 5。

对挡墙下设置高压旋喷桩后再进行数值模拟,得出位移云图,如图 6。发现高压旋喷桩除了降低新

表 5 高压旋喷桩 PLAXIS 模型参数

Tab.5 Summary of PLAXIS model parameter of high pressure jet grouting pile

Parameter	High pressure jet grouting pile	
E /MPa	1 220	
G /(kN/m ³)	2	
D /m	0.5	
d /m	1	
Installation side	Silty clay	141.37
friction/kPa	Fine sand	86.39
Reaction at pile end/kN	353.4	

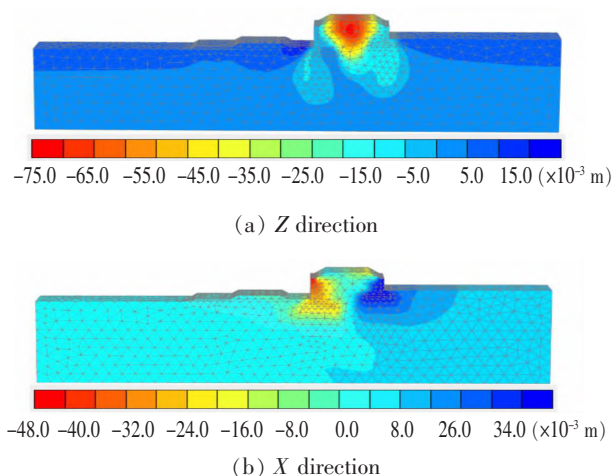


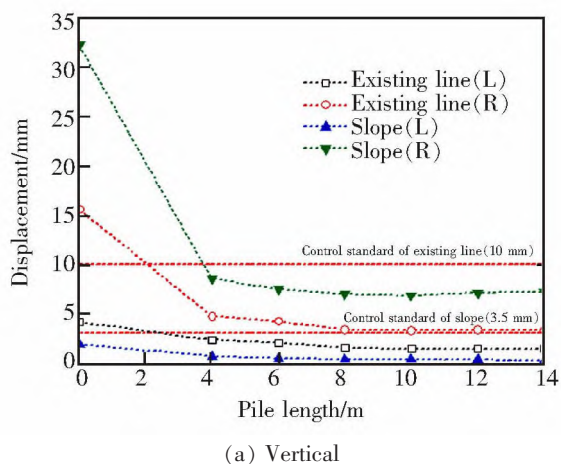
图6 位移云图

Fig.6 Displacement nephogram

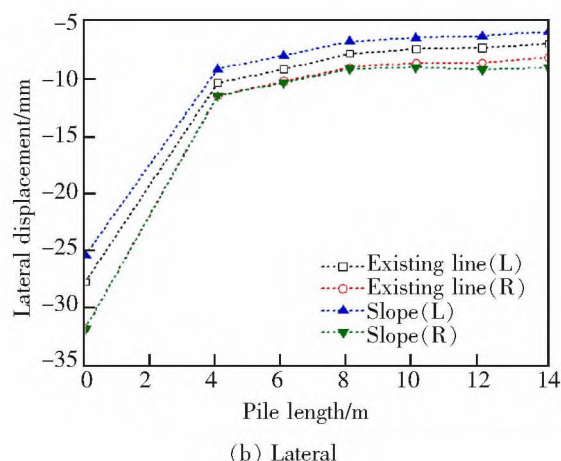
建路基的沉降外,还减弱对既有路基所产生的变形。

图7给出了高压旋喷桩桩长为4,6,8,10,12 m时,对既有线4个对应监测点的控制效果。可以发现高压旋喷桩地基础处理后,既有线的位移变形有明显的减弱,特别是右侧边坡处的位移,竖向位移由原来的32.264 mm下降到8.134 mm左右。这是由于地基承载力的增加,减弱了既有线右侧土体的挤压,说明在挡墙下设置高压旋喷桩能有效减弱新建路基对既有路基的位移变形。

当对地基进行高压旋喷桩处理后能有效减弱监测点产生的变形,其控制效果随着桩长的增加而增加,但是趋势在桩长达到8 m以后平缓基本保持不变。通过上述分析,建议采用桩长为8 m左右的高压旋喷桩进行地基处理,以控制对临近营业线的影响。另外可以发现,由于新建线十分靠近既有线,对地基进行高压旋喷桩处理,并不能使右侧边坡所在监测点达到控制标准,其产生竖向方向位移变形



(a) Vertical



(b) Lateral

图7 高压旋喷桩桩长对既有路基的影响

Fig.7 Influence of high pressure jet grouting pile length on existing subgrade

仍有8.134 mm,不符合位移控制标准值。

3.3 高压旋喷桩+隔离桩变形分析

针对既有路基右侧边坡的影响,本项目在上述研究基础上加入“隔离桩”技术手段。在既有线与悬臂式挡土墙之间进行隔离桩施工技术处理,钢管间距1 m,钢管顶部平路基面。在有限元分析平台(PLAXIS 3D)三维数值模型中,隔离桩采用板单元近似模拟,其厚度按照抗弯等效原则确定,得出位移云图,如图8。可以发现既有路基右侧的边坡位移明显有所改善。

图9给出了隔离桩桩长为4,5,8,10 m和12 m时,对既有线4个监测点的控制效果。可以发现既有路基的右侧边坡在设置隔离桩后,竖向位移有效减小,这是由于隔离桩的“路径隔断”左右,减少了

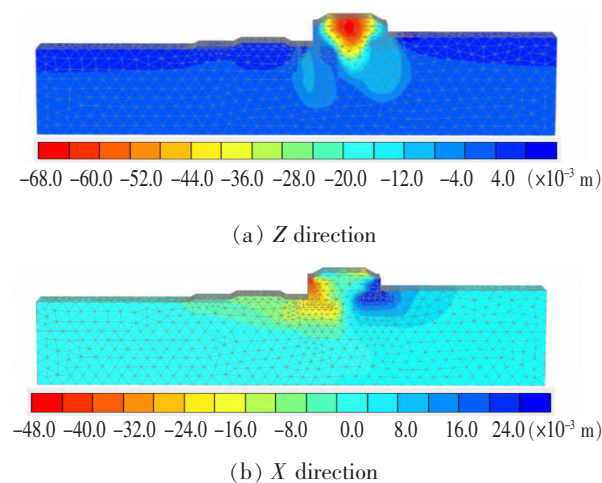


图8 位移云图

Fig.8 Displacement nephogram

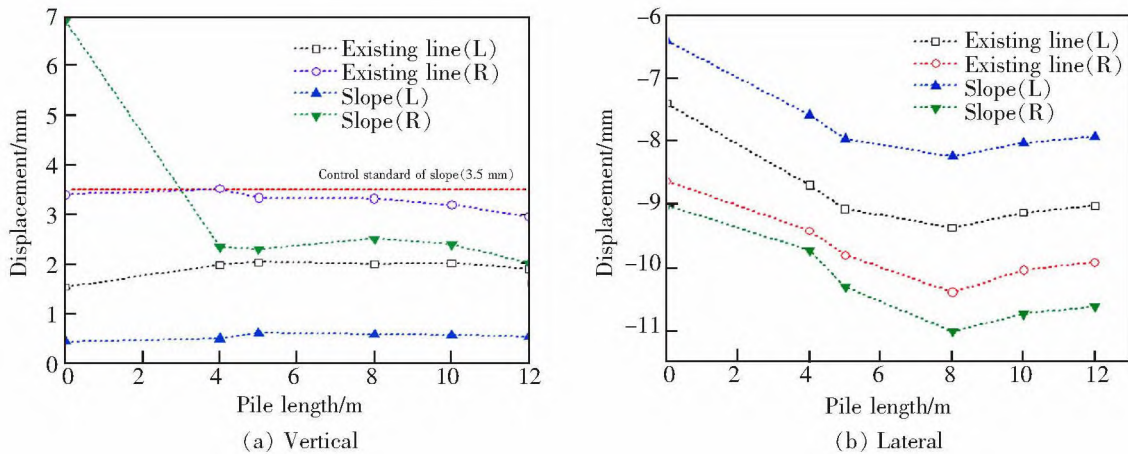


图 9 隔离桩桩长对既有路基的影响

Fig.9 Influence of the length of isolation pile on the existing subgrade

对既有线的影响。另外水平位移随着桩长的增加有略微增大,最后趋于平缓,这是由于设置隔离桩后右侧的挡土墙对既有路基的挤压,不再集中在坡脚处,而使整个路基下的土体整体受到了挤压,使整个路基水平位移增加。

当桩长设置为 4 m 时,右侧边坡位移迅速得到控制且低于 3.5 mm,但是随着桩长增加其控制效果变化不明显。通过上述分析,建议采用桩长为 4 m 左右的隔离桩进行处理,以控制对临近营业线的影响。右侧坡脚处在 Z 方向位变形位移由 8.134 mm 减少至 2.798 mm,减少对既有路基的影响,满足了表 3 的短期施工控制标准值。

4 施工措施控制效率评估

为评估采取措施后对既有线的变形控制效果,定义控制效率 η

$$\eta = \frac{S_0 - S_c}{S_0} \quad (2)$$

式中: S_0 为无措施的情况下既有路基的水平或沉降的变形指标; S_c 为有措施的情况下既有线路基对应的变形指标。

由式(2)可知,当 $\eta=0$ 时,高压旋喷桩控制路基变形无效;当 $0 < \eta < 1$ 时,高压旋喷桩控制路基变形有效;当 $\eta < 0$ 时,高压旋喷桩控制路基变形隧道变形。本文分别对高压旋喷桩水平控制效率和沉降控制效率进行讨论,以路基的水平位移和沉降作为变形指标。

将“8 m 高压旋喷桩”的计算结果表 6 与表 3 的变形控制标准值对比分析,除了右侧边坡,其他既有线路基的位移变形受到了良好的控制,变形控制效率都 70% 以上。说明在挡墙下设置高压旋喷桩,不仅能降低新建路基的工后沉降,还能有效减少新建线对既有线的扰动,进而符合施工短期变形控制标准值要求。

表 6 高压旋喷桩处理后既有线路基位移变形值

Tab.6 Displacement and deformation value of existing line after high pressure jet grouting pile treatment

Foundation		Z direction		X direction	
		Displacement/mm	Deformation control efficiency/%	Displacement/mm	Deformation control efficiency/%
Existing line	L	1.659	60.69	-7.793	71.93
	R	3.715	76.27	-9.189	71.10
Slope	L	0.457	77.21	-6.731	73.50
	R	8.134	74.79	-9.401	70.45

表7 隔离桩处治后既有线路位移变形值

Tab.7 Displacement and deformation value of existing line after treatment of isolation pile

Foundation		Z direction		X direction	
		Displacement/mm	Deformation control efficiency/%	Displacement/mm	Deformation control efficiency/%
Existing line	L	2.157	-30.03	-9.449	-21.24
	R	3.774	-1.59	-10.325	-12.36
Slope	L	0.604	-32.27	-8.272	-22.89
	R	2.798	65.60	-10.826	-15.15

分析“4 m 隔离桩”计算结果,表7可知右侧坡脚处在Z方向位移变形由8.134 mm减少至2.798 mm,隔离桩变形控制效率为65.6%,有效减少施工对既有路基边坡的影响,且均满足表3的控制标准值。另外进一步分析,发现既有路基其他监测点的位移量增大。结合位移变形云图分析,笔者认为由于隔离桩的作用,使原本右侧悬臂式挡墙路基的横向位移引起坡脚处的应力集中现象消失,避免了边坡处产生过度变形,而这部分应力向整个路基分布,使既有路基整体向左侧发生了一定的位移,既有路基其他监测点的变形有所增加。

综上所述,本文采取高压旋喷桩、隔离桩的技术措施来控制既有路基的位移变形,使其能满足相应的施工控制标准值,如图10所示。

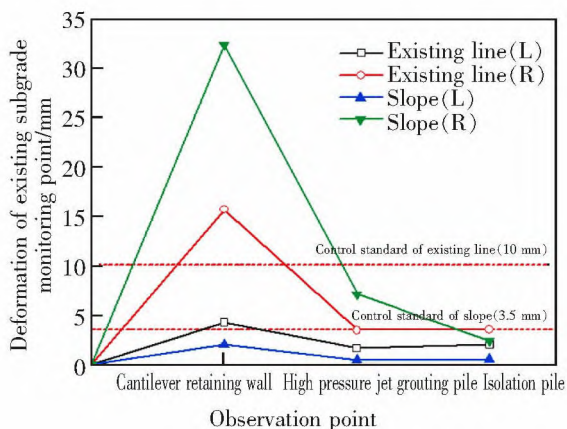


图10 监测点位移变化图

Fig.10 Displacement variation of observation point

本案例中,悬臂挡墙在填筑过程中发生了横向位移,带动土体使既有路基产生土体挤压,在该区域引起了应力集中,从而引起了既有路基的拱起产生竖向正向位移变形,而这是传统方法无法考虑的。对于邻近既有线路新建悬臂挡墙路堤段,须进行

高压旋喷桩处理,在挡墙下设置高压旋喷桩,不仅能降低新建路基的工后沉降,同时还能有效减少新建线对既有线的扰动。对其影响较大的部位还应当进行隔离桩的施工,来避免新建线施工引起对既有线路过大的扰动。

另外路基施工期间,需要对施工影响范围内的既有路基、接触网杆、钢板桩防护结构进行沉降、位移监测,及时掌握施工期间既有结构物的变形情况,对变形超限及时进行控制和处理,待问题解决后方可恢复施工,确保营业线运营安全。

5 结论

采用有限元分析平台(PLAXIS 3D)建立数值分析模型,依托项目中悬臂挡墙式路堤区段的工程实例,观察新建线施工对既有线路带来的扰动,基于HSS模型并采取高压旋喷桩和隔离桩的技术措施来减弱既有路基的位移变形,得出结论。

1) 对于昌景黄铁路邻近悬臂挡墙式路基段选用“8 m 高压旋喷桩+4 m 隔离桩”方案,在挡墙下设置高压旋喷桩降低了新建路基本身的沉降位移。

2) 在邻近营业线施工对既有线路影响较大的部位,还应当进行隔离桩的施工,来避免新建线施工引起对既有线路过大的扰动。针对所选取的悬臂挡墙式路堤区段中既有路基右侧边坡处的变形控制,采用隔离桩控制对既有线路的影响,使其由8.134 mm减少至2.798 mm,符合位移控制标准值。

3) 通过对控制效率的分析,发现对于高于既有线路的新建邻近路基的填筑,需要对地基进行处理,减小新建线对既有线路的影响。本案例中,在挡墙下设置高压旋喷桩不仅仅能加固地基,降低新建路基本身的沉降位移,还能控制新建线对既有线路的影

响,控制效率高达 70%左右;另外由于悬臂挡墙在填筑过程中发生了横向位移,带动土体使既有路基产生土体挤压,在该区域引起了应力集中,引起了既有路基的拱起,还可能路基相邻边坡处产生竖向正向位移变形,针对这种情况可采用隔离桩处理,控制效率高达 65%左右。

参考文献:

- [1] CAVERSON I G, LOWRY D. Case study—railway embankment widening for CN rail and GO transit[C]//Dallas: Geofrontiers Congress, 2011.
- [2] 刘俊飞. 既有铁路外侧堆土对路基沉降影响的估算[J]. 铁道标准设计, 2014, 58(S1): 126–128.
LIU J F. Estimation of the influence of soil piled outside the existing railway on subgrade settlement[J]. Railway Standard Design, 2014, 58(S1): 126–128.
- [3] 李帆, 周宝岐, 郭帅杰, 等. 并线高速铁路路基隔离桩隔离效果的影响因素[J]. 铁道建筑, 2020, 60(10): 83–88.
LI F, ZHOU B Q, GUO S J, et al. Influential factors of isolation effect of isolated piles for co-line high speed railway subgrade[J]. Railway Engineering, 2020, 60(10): 83–88.
- [4] 宋绪国, 郭帅杰, 陈洪运. 基于数值模型应力提取的并线高铁沉降计算[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(3): 1–7.
SONG X G, GUO S J, CHEN H Y. Settlement calculation of co-line high-speed railway based on numerical model of additive stress extraction[J]. Railway Standard Design, 2019, 63(3): 1–7.
- [5] ATTEWELL P B, FARMER I W. Ground deformations resulting from shield tunnelling in London Clay[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1974, 11(3): 380–395.
- [6] BENS T. Small-strain stiffness of soils and its numerical consequences[D]. Stuttgart: University of Stuttgart, 2006.
- [7] 李智彦, 丁振明. 钻孔灌注桩施工对邻近桥桩基影响的数值模拟[J]. 公路交通科技, 2013(4): 70–76.
LI Z Y, DING Z M. Numerical simulation of effect of bored cast-in-place pile construction on adjacent piles[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013(4): 70–76.
- [8] 管飞. 基于 HSS 本构模型的软土超大型深基坑 3D 数值分析[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(S1): 177–180.
GUAN F. 3D numerical analysis for a ultra-large deep excavation in soft clay based on HSS constitutive model[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S1): 177–180.
- [9] 梁发云, 贾亚杰, 丁钰津, 等. 上海地区软土 HSS 模型参数的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(2): 269–278.
LIANG F Y, JIA Y J, DING Y J, et al. Experimental study on parameters of HSS model for soft soils in Shanghai[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 39(2): 269–278.
- [10] 李连祥, 刘嘉典, 李克金, 等. 济南典型地层 HSS 参数选取及适用性研究[J]. 岩土力学, 2019, 40(10): 4021–4029.
LI L X, LIU J D, LI K J, et al. Study of parameters selection and applicability of HSS model in typical stratum of Jinan[J]. Rock and Soil Mechanics, 2019, 40(10): 4021–4029.
- [11] 王卫东, 王浩然, 徐中华. 上海地区基坑开挖数值分析中土体 HS-Small 模型参数的研究[J]. 岩土力学, 2013, 34(6): 1766–1774.
WANG W D, WANG H R, XU Z H. Study of parameters of HS-Small model used in numerical analysis of excavations in Shanghai area[J]. Rock and Soil Mechanics, 2013, 34(6): 1766–1774.
- [12] 木林隆, 黄茂松, 吴世明. 基于反分析法的基坑开挖引起的土体位移分析[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(S1): 60–64.
MU L L, HUANG M S, WU S M. Soil responses induced by excavations based on inverse analysis[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(S1): 60–64.
- [13] 章润红, 刘汉龙, 仇文岗. 深基坑支护开挖对临近地铁隧道结构的影响分析研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2018, 38(5): 858–866.
ZHANG R H, LIU H L, ZHANG W G. Numerical investigation on tunnel responses induced by adjacent deep braced pit excavations[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2018, 38(5): 858–866.
- [14] 仇文岗, 王琦, 刘汉龙, 等. 岩体空间变异性对隧道拱顶失效概率的影响[J]. 岩土力学, 2021, 42(5): 1462–1472.
ZHANG W G, WANG Q, LIU H L, et al. Influence of rock mass spatial variability on probability of tunnel roof wedge failure[J]. Rock and Soil Mechanics, 2021, 42(5): 1462–1472.
- [15] 周东, 刘汉龙, 仇文岗, 等. 被动桩侧土体位移场的透明土模型试验研究[J]. 岩土力学, 2019, 40(7): 2686–2694.
ZHOU D, LIU H L, ZHANG W G, et al. Transparent soil model test on the displacement field of soil around single passive pile[J]. Rock and Soil Mechanics, 2019, 40(7): 2686–2694.
- [16] 任庆昌. 桩基悬臂式挡墙在路基帮宽工程中的应用[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(2): 43–47.
REN Q C. Application of cantilever retaining wall with pile

- foundation in subgrade widening engineering[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(2): 43-47.
- [17] 杨泉, 高柏松, 李井元, 等. 新建线临近既有无砟高速铁路路基施工方案研究[J]. 高速铁路技术, 2016, 7(2): 15-19.
- YANG Q, GAO B S, LI J Y, et al. Research on subgrade construction scheme of newly built railway close to ballast less track high-speed railway[J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(2): 15-19.
- [18] 胡润乾. 某高速铁路路基帮宽段沉降控制方案研究[J]. 铁道标准设计, 2017(5): 61-64.
- HU R Q. Research on settlement control scheme for high-speed railway widened subgrade[J]. Railway Standard Design, 2017(5): 61-64.
- [19] 张万涛. 高速铁路路基帮填沉降变形控制及监测技术应用探讨[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(4): 47-50.
- ZHANG W T. Discussion on subgrade widening settlement deformation control and monitoring of high-speed railway [J]. Railway Standard Design, 2017, 61(4): 47-50.
- [20] 王兴荣. 客运专线路基帮宽工程的设计与实践[J]. 铁道标准设计, 2014(1): 38-41.
- WANG X R. Design and practice of subgrade widening project on railway passenger dedicated line[J]. Railway Standard Design, 2014(1): 38-41.
- [21] 王瑗琳, 崔俊杰, 韩志霞, 等. 高速铁路中低压缩性土地基沉降控制有关问题研究[J]. 铁道标准设计, 2018, 62(11): 10-14.
- WANG A L, CUI J J, HAN Z X, et al. Research on settlement control of medium-low compressible soil foundation of high speed railway[J]. Railway Dstandard Design, 2018, 62(11): 10-14.
- [22] 刘伟煌, 朱怀龙, 贺斯进, 等. 土体硬化模型参数试验研究及其在南昌地区基坑工程的应用[J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2021, 43(6): 38-47.
- LIU W H, ZHU H L, HE S J, et al. Experimental study on parameters of hardening soil model for soils and its application to foundation pit engineering in Nanchang[J]. Journal of Civil and Environmental Engineering (Chinese and English) 2021, 43(6): 38-47.
- [23] 国家铁路局. 铁路路基设计规范: TB 10001-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- NATIONAL RAILWAY BUREAU. Code for design of railway subgrade: TB 10001-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.



第一作者: 徐鑫洋(1998—)男, 硕士研究生, 研究方向为轨道交通线路防灾减灾。E-mail: 1426797873@qq.com。

(责任编辑: 姜红贵)