

文章编号: 1674—8247(2024)02—0108—05

DOI: 10.12098/j.issn.1674-8247.2024.02.020

## 既有挡土墙加固关键技术研究

袁报<sup>1</sup> 王伟<sup>2</sup> 苏谦<sup>3</sup>

(1. 中铁二院北方勘察设计有限责任公司, 济南 250000; 2. 中国铁路济南局集团有限公司, 山东 济宁 272100;  
3. 西南交通大学, 成都 610031)

**摘要:** 本文依托某挡土墙加固工程, 结合实施环境、项目施工工期、安全、经济、技术等因素对加固方案进行了综合比选, 选用扰动小的拼接螺旋钢桩进行地基加固处理, 选择轻型悬臂式挡土墙结构方案, 采用自钻锚杆将既有浆砌片石挡土墙与悬臂式挡土墙进行连接, 打通泄水孔, 加强现场监测, 最终确定合理的路基结构形式。本研究为类似挡墙加固工程提供了借鉴案例。

**关键词:** 拼接螺旋钢桩; 自钻锚杆; 悬臂式挡土墙; 泄水孔

中图分类号: U417.1 文献标志码: A

## Study on Key Technologies for Reinforcing an Existing Retaining Wall

YUAN Bao<sup>1</sup> WANG Wei<sup>2</sup> SU Qian<sup>3</sup>

(1. North Survey and Design Co., Ltd. of CREEC, Jinan 250000, China;  
2. China Railway Jinan Bureau Group Co., Ltd., Jining 272100, China;  
3. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Based on this retaining wall reinforcement project, combined with the implementation environment, project implementation period, safety, economy, technology and other factors, this paper makes a comprehensive comparison and selection of reinforcement schemes, selects spliced spiral steel piles with little disturbance for foundation reinforcement, selects the light cantilever retaining wall structure scheme, uses self-drilling anchor rods to connect the existing mortar rubble retaining wall with the cantilever retaining wall, opens drainage holes, strengthens on-site monitoring, and finally determines a reasonable subgrade structure form. It provides a reference case for similar retaining wall reinforcement projects.

**Key words:** spliced spiral steel pile; self-drilling anchor; cantilever retaining wall; drain hole

### 1 工程概况

市政道路 K0+314~K0+346 长 32 m、K0+359~K0+480 道路长 121 m, 道路左侧为某高速铁路, 铁路与道路之间设既有重力式浆砌片石挡墙, 顶部为高 1.0 m 砖砌挡墙。挡墙左侧距离铁路声屏障约 2.8~3 m,

中间底部埋设铁路电缆, 顶部为绿化区域; 挡墙右侧距离道路路缘石距离约 0.6~1.0 m。道路路面施工完成后, 挡墙局部有开裂、坍塌现象, 严重影响既有高速铁路的运营安全。

工程范围属冲湖积平原地貌, 地形平坦开阔, 上覆第四系全新统人工填筑土( $Q_4^{ml}$ )粉质黏土; 冲洪积

收稿日期: 2024-01-05

作者简介: 袁报(1978-), 男, 高级工程师。

引文格式: 袁报, 王伟, 苏谦. 既有挡土墙加固关键技术研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(2): 108-112.

YUAN Bao, WANG Wei, SU Qian. Study on Key Technologies for Reinforcing an Existing Retaining Wall[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(2): 108-112.

相( $Q^{al+pl}$ )软黏性土;海积相( $Q_4^m$ )粉质黏土、黏性土、砂类土等。下伏基岩为燕山期劳山阶( $\gamma_5^{3(2)C}$ )花岗岩。

## 2 修复工程技术难点分析

### 2.1 技术难点

既有挡土墙服役了近20年,挡土墙材质为浆砌片石,为了景观在正常服役期间顶部采用砖块砌筑加高1 m挡土墙,其上至路肩填筑土体绿化,为市政道路增加了美感。随着市政道路的扩建,邻近挡墙开挖,墙前土体卸载后被动土压力逐渐减少,泄水孔堵塞,雨水下渗,墙背土体含水量增大,土体重度增加,土体力学指标摩擦角、黏聚力减小,主动土压力增大。外界工程施工为主要因素,泄水孔堵塞是产生路基挡土墙病害的诱因,外力增加,抗力减小,最终导致挡土墙顶部砖块墙体变形过大,土体开裂。若不及时抢修,随着时间推移土体破损加剧,声屏障基础前土体抗力减少,会影响铁路设施设备安全。

结合TB 10025-2019《铁路路基支挡结构设计规范》,既有挡土墙已难以满足现有规范要求。常规技术一般采用拆除还建,利用天窗点施工,施工时间不足4 h/d,工期将超过1年。

借鉴TB 10314-2021《邻近铁路营业线施工安全监测技术规程》要求,轨道水平位移控制值2 mm,

路基竖向位移+3/-8 mm,如表1所示。

表1 位移变形监测预警值、报警值和控制值表(mm)

监测项目	控制标准		
	累计量预警值	累计量报警值	控制值
轨道水平位移	±1.2	±1.6	±2.0
有砟轨道路基竖向位移	+1.8	+2.4	+3
	-4.8	-6.4	-8

此次挡土墙修复工作,变形控制可结合以上标准执行,要求十分严格。方宜<sup>[1]</sup>等针对某高速铁路减少轨道结构受扰动和缩短修复工作时间的角度展开研究;谷存雷<sup>[2]</sup>、杨泉<sup>[3]</sup>等针对曲阜东高速铁路邻近施工,路基工程引入采用扰动较小的的加固措施,完成了接轨任务。常规施工工艺难以满足快速修复的条件,且临时防护费用大,工序繁琐,对运营干扰大。本项目高速铁路挡土墙修复施工时对既有高速铁路扰动控制,修复施工时间降低,是技术难点。

### 2.2 现有技术

结合魏丹<sup>[4]</sup>在既有铁路震后修复研究中,通过在挡土墙前加桩加固补强技术可以有效改善挡土墙的受力和变形情况,提高了挡土墙结构的稳定性。

桩基加固挡土墙承载力能满足本工程的要求,可采用的方案包括桩板墙人工挖孔桩方案和桩板墙钻孔桩方案。

对可采用的两种方案进行比选,结果如表2所示。

表2 常规方案比选表

加固方案	设备尺寸/m	工期/d	造价/万元	推荐意见
桩板墙+人工挖孔桩方案	直径≥1.25	27根桩,20 d/根,2组,浇筑混凝土按30 d计,电缆槽恢复需15 d,共计11个月	238.2	根据有关规定,严格限制使用并逐步淘汰人工挖孔桩
桩板墙+钻孔灌注桩方案	高4.5,宽3.2,长13(桩顶桩基设备高度≥1.5)	27根桩,10 d/根,2组,浇筑混凝土按30 d计,电缆槽恢复需30 d,累计7个月	335.4	机械原因倒杆对既有铁路存在安全隐患,须天窗点施工

结合现场情况和表2比选可知,现有浆砌片石挡土墙材质强度低,局部开裂,墙背土体坍塌,泄水孔失效,地基承载力低,以上两种方案在实施过程中实施条件受困因素较多。且施工工艺平均工期9个月,挡护结构施工风险加大,对既有铁路影响大,难以满足现场需求。

### 2.3 方案论证

#### 2.3.1 方案介绍

综合考虑桩基加固挡土墙原理、环境监测、铁路病害整治特点、邻近既有铁路挡土墙加固需求,提出总体方案,包含地基加固工艺、连接结构锚杆施工工艺、混凝土挡土墙结构。

#### 2.3.2 地基加固工艺方案

邻近既有铁路地基加固常用的处理措施包括水泥搅拌桩、高压旋喷桩、CFG桩、拼接螺旋钢桩等措

施。结合承载力计算满足承载力要求,均按照正方形布置,桩长均按照10 m计算,进行综合造价比选,比选指标如表3所示。不同地基加固处理工艺的设备高度、工期及进行综合评价,比选指标及评价如表4所示。

由表3、表4可知,综合考虑设备高度、工期、造价以及对既有铁路扰动等进行综合评价,结合易于批复及实施的原则等,推荐采用拼接螺旋钢桩地基加固方案,能满足扰动小、快速施工的要求。

#### 2.3.3 连接结构锚杆施工工艺

结合常规锚杆、自钻锚杆连接的施工工序、设备高度、工期及综合评价,比选评价如表5所示。

由表5可知,相比于普通锚杆,自钻锚杆的优点包括:(1)通体螺纹连续,可以在任意位置切割和用连接套接长,适用于狭窄场地;(2)施工中不需要采用跟

表3 地基加固方案计算表

地基加固工艺	桩直径/m	桩间距/m	桩数/根	碎石垫层/m <sup>3</sup>	桩单价/元	垫层单价/元	综合造价/万元
水泥搅拌桩	0.5	1.0	465	183.6	51	230	27.9
高压旋喷桩	0.5	1.0	465	183.6	180	230	87.9
CFG桩	0.5	1.5	312	183.6	141	230	48.2
拼接螺旋钢桩	0.076~0.2	1.0	310	-	280	-	86.8

表4 地基加固方案比选表

地基加固工艺	设备高度/m	工期/d	造价/万元	综合评价
水泥搅拌桩	结合SJB-I型高度12.5	桩基施工40;垫层施工15	27.9	机械高度倒杆影响既有铁路安全,天窗点施工,需工务维修部门连续盯控,施工计划批复最少需60d
高压旋喷桩	高度<5	桩基施工35;垫层施工15	87.9	注浆控制严格,对既有铁路影响大,设备小,可连续施工,施工计划批复最少需50d
CFG桩	设备高度≥15	桩基施工40;垫层施工15	48.2	机械高度倒杆影响既有铁路安全,天窗点施工,需工务维修部门连续盯控,施工计划批复最少需55d
拼接螺旋钢桩	高度<5	桩基施工10;垫层施工15	86.8	设备小,全天候均可施工,扰动小,施工计划批复最多需25d

表5 连接结构锚杆类型方式方案比选表

连接结构锚杆类型方式	工序	设备高度/m	工期/d	综合评价
常规锚杆连接	锚杆先钻进,再将锚杆拔出,插入中空锚杆或注浆管,然后通过中空锚杆或注浆管向钻孔中注浆;3道工序	<5	45	施工工序复杂,功效低
自钻锚杆连接	钻进、注浆、锚固3个步骤同步进行;1道工序	<3	25	通体螺纹连续,可在任意位置进行切割和用连接套筒接长,即便施工场地空间狭窄,亦能施工,效率高

管、套管跟进施工,能够有效提高施工效率;(3)适配钻头丰富,可以根据不同地质条件选择合适的钻头,提高钻进效率。综上所述,推荐采用自钻锚杆连接。

### 2.3.4 混凝土挡土墙结构类型

既有挡土墙为重力式路肩墙,挡土墙坡率1.05~1:0.2,材质为浆砌片石,距离道路路缘石边缘0.6~1.0m。拟采用的加固措施有重力式路肩挡土墙、悬臂式路肩挡土墙。

通过理正软件进行分别计算重力式路肩挡土墙、悬臂式路肩挡土墙界面尺寸,经计算重力式路肩挡土墙顶宽度0.7m>0.6m,墙顶距离墙趾水平距离:0.7m+0.15m×4=1.3m,远远侵占了路缘石的空间;悬臂式

路肩挡土墙墙顶宽度0.5m<0.6m,墙顶距离墙趾水平距离:0.5m+0.1m×4=0.9m,未侵占路缘石的空间。

通过挡土墙检算,结合截面尺寸要求,限界不侵占道路路缘石,综合考虑采用悬臂式挡土墙。

### 2.4 方案确定

通过技术经济比选,确定地基加固处理形式采用拼接螺旋钢桩,连接结构锚杆类型采用自钻式锚杆,混凝土挡土墙结构采用悬臂式。

### 2.5 最终方案细化

#### 2.5.1 拼接式螺旋钢桩计算

拼接式螺旋钢桩承载力计算如表6所示。

表6 承载力计算表

承载力组成	侧摩阻力/kN	端阻力/kN	总叶片侧阻力/kN	压缩承载力特征值/kN
单根桩长10m承载力	111.1	1.8	56.3	169.2

拼接螺旋钢桩按照2m一节,管内注浆,并植入挡墙底板。针对墙底宽度1.5m每个断面设置2根拼接螺旋钢桩计算所得承载力225.6kPa;墙底宽度2.5m每个断面设置3根拼接螺旋钢桩计算所得承载力203kPa。

#### 2.5.2 针对自钻式锚杆工艺采取措施

锚杆坡度10°,长度3m,注浆压力控制在0.2~0.5MPa,泄水孔坡度不小于4%,泄水孔在连接锚杆注浆完成后实施,自钻旋出,采用木塞塞住避免堵塞。泄水孔采用毛细防排水板,快速疏排墙背土体水,避免产生动水压力。

借鉴TB 10106-2023《铁路工程地基处理技术规程》内复合地基置换率的原理,计算注浆先后黏聚力C、内摩擦角φ,通过《铁路工程设计技术手册—路基》中综合摩擦角计算,针对挡土墙高度4m和5m,分别进行计算,计算提高的比例系数如表7所示。

借鉴置换率理论计算,挡土墙高度5m、4m综合内摩擦角提高值5.4%~6.5%,均大于5%;通过注浆后李璇参数试验统计后,土体黏聚力提高5%~21%,摩擦角提高6%~17%,均大于5%。

#### 2.5.3 悬臂式挡土墙采取措施

丁静声<sup>[5]</sup>在超高路堤稳定性研究中按最小安全

表 7 注浆后力学参数对照统计表

地层参数	加固前		按比例加固后		提高率		备注
	C/kPa	$\varphi/(\circ)$	C/kPa	$\varphi/(\circ)$	/%		
<1>	15	10	18	12	21	17	-
<2>	0	33	0	35	20	6	C仅考虑提高20%
<3>	26	27	30	30	15	11	-
<4>	38	35	40	39	5	11	-
平均	20	26	22	29	15	11	-

系数 1.3 控制计算分析,得到了相同墙身截面条件下曲线型挡土墙的变形和应力都要小于直线型挡土墙的结论。

通过理正软件模拟计算,结合注浆后的综合内摩擦角增大情况,分别计算挡土墙高度 4 m 和 5 m,检算结果如表 8 所示。

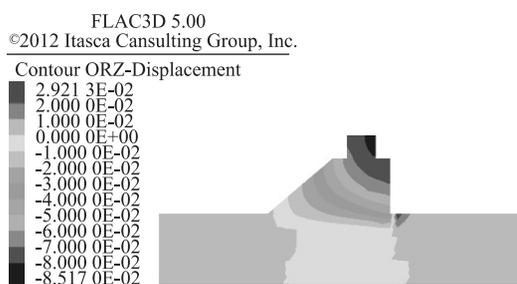
表 8 注浆后力学参数模拟计算统计表

挡土墙高度	抗滑移稳定安全系数 $k_c$	抗倾覆稳定安全系数 $k_0$	基底合力偏心距/m	墙趾承载力/kPa	墙踵承载力/kPa	平均承载力/kPa
H = 4 m	7.18	2.71	0.042	105.5	69.0	87.2
标准	> 1.30	> 1.50	≤ 0.300	≤ 240	≤ 260	≤ 200
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足
H = 5 m	6.68	1.68	0.239	220.6	0	104.6
标准	> 1.30	> 1.50	≤ 0.325	≤ 240	≤ 260	≤ 200
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足

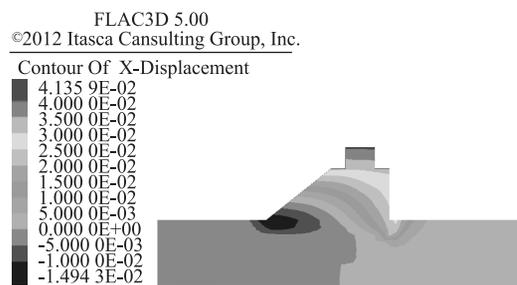
通过计算后抗滑移稳定安全系数  $k_c > 1.3$ ,按倾覆稳定安全系数  $k_0 > 1.5$ ,偏心距、承载力均满足要求。

### 2.5.4 数值模拟

采用 FLAC3D 软件验证提出加固方案的可靠性,结果如图 1 所示。



(a) 横向位移云图



(b) 竖向位移云图

图 1 数值模拟结果图

由图 1 可知,路基最大沉降值为 7.2 mm,水平变形最大值 1.3 mm,满足规范要求。

## 3 实施结果

项目自 2021 年 11 月 6 日开工建设,2022 年 1 月 15 日竣工,工期 80 d。

通过现场实测记录得到的 K 0 + 330、+ 400、+ 450 断面挡土墙顶水平位移、竖向位移可知,墙顶水平位移小于 2 mm,竖向位移小于 8 mm,满足 TB 10314 - 2021《邻近铁路营业线施工安全监测技术规范》高速铁路有砟轨道路基要求。

既有铁路加固项目竣工至今已有 2 年,墙体美观,服役状态优良,运营安全正常,加固效果良好。

## 4 结论

(1) 采用设备小巧,扰动小的拼接螺旋钢桩对邻近既有铁路的挡土墙进行地基加固处理,地基加固效果显著。

(2) 采用自钻式锚杆快速连接既有挡土墙与轻型悬臂式挡土墙,既能对既有挡土墙的加固、疏通了年久失效的泄水孔,又能与轻型挡土墙有效连接。同时,该措施施工机械小,效率高,对既有铁路扰动小。

(3) 在轻型悬臂式挡土墙结构采用毛细防排水泄水孔,大大提高了排水性能,减少了墙背主动土压力,确保挡土墙安全稳定。

## 参考文献:

[1] 方宜,卓建成,陈丽. 高速铁路桥梁病害整治顶梁工作对轨道结构的影响分析[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(5): 29 - 33.  
FANG Yi, ZHUO Jiancheng, CHEN Li. Analysis on the Impact of Girder Jacking for High-speed Railway Bridge Defects on Track Structure [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(5): 29 - 33.

[2] 谷存雷,袁报,李宁,等. 日兰高速铁路联络线引入工程的路基优化研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(5): 100 - 104, 116.  
GU Cunlei, YUAN Bao, LI Ning, et al. A Study on Subgrade Optimization for Rizhao-Lanzhou High-speed Railway Connection Line [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(5): 100 - 104, 116.

[3] 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 Quan, GAO Baisong, LI Jingyuan, et al. Research on Subgrade Construction Scheme of Newly-built Railway Close to Ballastless Track High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(2): 15 - 19.

[4] 魏丹. 既有铁路路基支挡震后评估及修复技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.

WEI Dan. Study on Post-earthquake Evaluation and Repair Technology of Existing Railway Subgrade Retaining [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011.

[5] 丁静声. V 型冲沟多层多向荷载作用下超高路堤整体稳定性研

究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2011.

DING Jingsheng. Study on Overall Stability of Ultra-high Embankment under Multi-layer and Multi-directional Load of V-shaped Gully [D].

Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2011.

(上接第 90 页)

口间的缺失和冲突提出了新的解决模式和方法。利用 BIM 模型,可发现传统二维图纸设计中考虑不全、表示不清的地方,并提供可视化问题表述。BIM 技术优化了站场专业间的接口设计、减少了施工变更及返工,确保了施工进度,提高了泸州站施工过程中的施工质量和风险控制能力。同时,基于 BIM 开发的项目施工管理平台,在对项目安全、质量、进度进行管控过程中起到了显著效果。该工程证明了 BIM 技术的优势,为 BIM 技术在大中型铁路车站全周期设计施工一体化的运用提供了参考借鉴。

BIM 技术在铁路站场的应用中,还存在部分信息在模型中表现不够全面、完整度不高不足之处,要完全实现铁路站场 BIM 的应用,仍然需要通过多个项目的实践来不断完善。BIM 技术的运用是未来铁路建设的发展方向,必将会给铁路站场的设计和施工带来重大转型。

## 参考文献:

[1] 孙军先, 杨文成. 基于 BIM 技术的铁路站场设计应用与研究 [J]. 铁道勘察, 2018, 44(2): 90-93.

SUN Junxian, YANG Wencheng. Application and Research of Design of Railway Stations and Yards Based on BIM Technology [J]. Railway Investigation and Surveying, 2018, 44(2): 90-93.

[2] 李坤. BIM 技术在地铁车站结构设计中的应用研究 [J]. 铁道工程学报, 2015, 32(2): 103-108.

LI Kun. The Application Study of BIM Technology in the Structure

Design of Subway Station [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(2): 103-108.

[3] 龚加有, 谢洪涛, 陈随海, 等. BIM 技术在地铁车站施工阶段的应用研究 [J]. 中国水运(下半月), 2018, 18(10): 246-247.

GONG Jiayou, XIE Hongtao, CHEN Suihai, et al. Research on Application of BIM Technology in Subway Station Construction Stage [J]. China Water Transport, 2018, 18(10): 246-247.

[4] 刘卡丁, 张永成, 陈丽娟. 基于 BIM 技术的地铁车站管线综合安装碰撞分析研究 [J]. 土木工程与管理学报, 2015, 32(1): 53-58.

LIU Kading, ZHANG Yongcheng, CHEN Lijuan. Research on Subway Station Pipeline Installation Collision Based on BIM Technology [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2015, 32(1): 53-58.

[5] 张扬. BIM 技术在杭州南站站房建设中的应用 [J]. 铁路技术创新, 2019(4): 120-125.

ZHANG Yang. Application of BIM Technology in the Construction of Hangzhou South Railway Station Building [J]. Railway Technical Innovation, 2019(4): 120-125.

[6] 路宏遥, 吴佳欣, 李雅雯, 等. 基于 BIM 技术的铁路车站智能信息管理模式研究 [J]. 高速铁路技术, 2020, 11(4): 84-87, 94.

LU Hongyao, WU Jiaxin, LI Yawen, et al. Research on Intelligent Information Management Mode of Railway Station Based on BIM Technology [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(4): 84-87, 94.

[7] 杨海贝. BIM 技术在杭海城际铁路中的实践与思考 [J]. 高速铁路技术, 2022, 13(5): 53-57, 63.

YANG Haibei. Thoughts on the Practice of Building Information Modeling in Hangzhou-Haining Intercity Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(5): 53-57, 63.