

Research on the Construction of Reinforced Existing Railway Subgrade by Diagonal Cement Soil Pile Method

Lei Li

China Railway Taiyuan Group Co., Ltd. Shuozhou Track Maintenance Section, Shuozhou, Shanxi, 036002, China

Abstract

Existing railway subgrades often exhibit uneven settlement development, shear deformation in weak zones of slopes, and reduced bed stiffness under the combined effects of long-term train dynamic loads, seasonal moisture variations, and localized damages. In engineering practice, conventional excavation and replacement or large-scale widening treatments are difficult to implement due to time constraints and safety control requirements for existing lines. The oblique cement-soil pile method utilizes the operable surface of slopes to insert cement-soil consolidated masses at a certain inclination angle into the subgrade, forming an “oblique reinforcement skeleton” that matches the stress diffusion path of the subgrade, thereby improving the overall deformation characteristics of the subgrade without track removal or minimal disturbance. This paper combines common working conditions for China’s existing line reinforcement and literature reports to summarize the key principles and parameter understanding of the oblique cement-soil pile method, and proposes practical construction control measures. The key aspects of this method lie in pile geometry control, the coupling quality of slurry and soil, and construction disturbance constraints.

Keywords

Oblique cement-soil pile method; Reinforcement; Existing railway; Subgrade construction; Value; Key points; Research

斜向水泥土桩法加固既有铁路路基施工研究

李磊

中国铁路太原局集团有限公司朔州工务段, 中国·山西朔州 036002

摘要

既有铁路路基在长期列车动荷载、季节性含水变化与局部病害叠加作用下,常出现沉降发展不均、边坡软弱带剪切变形与基床刚度衰减等问题。工程上若受限于封锁时间与既有线安全控制,常规开挖换填或大范围加宽处理难以实施。斜向水泥土桩法利用边坡可作业面,将水泥土固结体以一定倾角插入路基体内,形成可与路基应力扩散路径匹配的“斜向加固骨架”,在不拆轨或少扰动条件下改善路基整体变形特性。本文结合中国既有线加固的常见工况与文献报道,梳理斜向水泥土桩法的机理要点与参数认识,并提出可落地的施工控制做法。该方法的关键在于成桩几何控制、浆液与土体耦合质量以及施工扰动约束。

关键词

斜向水泥土桩法; 加固; 既有铁路; 路基施工; 价值; 要点; 研究

1 引言

随着铁路运输需求的增加,对安全性和稳定性提出了更高的要求,其中包括铁路路基。但不少铁路路基因使用时间长,受自然环境影响,出现了不同程度的老化、破损现象。斜向水泥土桩被视为运行条件下加固既有路基的有效手段之一,但工程上仍存在“倾角怎么取、桩长怎么落、桩间距如何兼顾加固与扰动”的经验化倾向。已有研究对斜向水泥土桩的设计计算与加固效果开展了探索,同时也指出其参数体系需要与既有路基的病害类型和受力特征相匹配^[1]。本文

立足施工可控性,强调把关键指标前置到可测、可验、可纠偏的工序中。

2 斜向水泥土桩法加固既有铁路路基的价值

既有线加固的首要矛盾往往是“要加固,但不能大扰动”。斜向水泥土桩法的价值首先体现在作业面选择上,施工人员可利用边坡或路堤侧向空间布孔成桩,减少对轨道结构与基床表层的直接拆除需求,从组织方式上更适配短封锁或天窗点施工的节奏。其次,它对典型病害的针对性更强。既有路堤的软弱带常沿边坡或路肩附近发展,斜向桩的穿越路径更容易切入潜在滑移面或剪切集中区,使加固体与原路基形成“交叉约束”,从而对不均匀沉降、侧向位移和边坡局部隆起具有更直接的抑制作用。再次,斜向水泥土固结体

【作者简介】李磊(1990—),男,中国山西神池人,本科,初级,从事铁道工程研究。

通过应力扩散降低动应力幅值的思路,在运营荷载条件下具有现实意义,工程界也因此将其视为运行条件下较可靠的加固选项之一。最后,该方法对施工资源的适配性较好,单管旋喷等装备在铁路整治工程中较易组织,材料以水泥浆为主,便于按地层含水与强度目标调整配比与注浆量,使加固效果能通过现场取芯、强度检验与变形观测形成闭环证据。

3 斜向水泥土桩法加固既有铁路路基施工要点

3.1 孔位放样与倾角成孔的几何控制

斜向水泥土桩在既有铁路路基加固中要把坐标与孔向前置为可检的几何量,才能保证桩体按设计交叉进入加固带。第一,测量放样以线路中线、路肩线与坡脚控制点组成闭合控制网,孔位用全站仪放样并在坡面设双控制桩与标识,记录中写明允许偏差、复核路线与复测时间点,平面偏差宜控制在 $\pm 50\text{mm}$ 量级,遇坡面折线先定投影点再反算孔位,并校核孔位至轨枕端、边沟等固定物的距离,班组按复核点开孔,孔口周边清坡找平后再定位,禁止皮尺沿坡量距布点。第二,钻机就位后先校核机身水平度,再校核钻架俯仰角和方位角,倾角一般不宜大于 15° ,钻架上设读数基准与复核点,每班开钻前复测一次,先以 0.5 至 1.0m 短进尺试钻稳定孔向,首段偏转超过设计倾角 0.5° 或孔口位移超过 10mm 应退钻重调,并复核支腿沉降与垫板压缩量^[2]。第三,成孔按每 1m 记录孔深、进尺、返浆状态与停钻原因,遇卵石夹层或硬透镜层跳钻时降速减压并分段复正,必要时换短钻具或加装稳定器,孔口设置 0.8 至 1.2m 导向套管锁定孔向并控塌孔,随孔用探杆抽查孔径与孔壁完整性,出现回弹偏斜应停钻清孔后再续钻,严禁偏孔后强推。第四,终孔以设计桩长与穿越范围双控制,核对孔深并复测孔口方位角,用导向杆复核孔轴延伸是否进入目标带,交叉长度宜达到 1 至 2m 的有效搭接区,孔深不足或孔向偏离应在相邻位置补孔补桩并登记偏差原因,补孔间距与原桩距同级,禁止以加大注浆量替代几何缺陷。

3.2 浆液配制与旋喷参数的成桩质量形成

为使既有铁路路基斜向水泥土桩在可喷入、可拌合、可固结的链条上连续成型,浆液配制与旋喷参数必须在同一控制逻辑内闭合。第一,拌浆应以设计水灰比为主控,高压旋喷浆液水灰比宜控制在 0.8 ~ 1.2 区间并按水泥批次微调,外加剂按质量分数计量投料,拌和时间不少于 2 ~ 3min 后再入储浆桶,储浆桶需低速循环搅拌并控制静置时间,一般不宜超过 30min ,现场以流动度与初凝时间双指标复核,流动度偏低先调整减水剂或分散剂而不是加水,泵送压力波动时优先排查滤网、回浆阀与搅拌沉淀,避免稀释导致桩体强度离散。第二,旋喷作业把喷射压力、浆液流量、提升与转速作为四联量联动,压力按 20MPa 起控并随土层密度修正,浆液流量宜保持连续稳定且不低于 30L/min ,提升速度可在 8 ~ 12cm/min 或 10 ~ 20cm/min 范围内通过试桩锁定,遇粉砂

或夹砂层应降低提升并适度提高转速,使单位长度浆量与切削能量保持稳定,严禁为追进度单独提速造成断面缩颈或局部过喷。第三,斜向成桩时回浆通道受重力偏移更明显,班组应以返浆量和含砂作为孔内状态指示,返浆量小于注入量约 20% 可视常态,若突然不返浆或含砂陡增,应立即停喷检查喷嘴磨损、管路漏失、接头松动及孔内塌缩,并在处理后从有效段向下搭接,续喷上下搭接长度不小于 0.3m ,复喷前先在原位旋喷 1 ~ 3min 再提升,防止形成弱夹层。第四,搭接区的实体连续性不靠桩距合格自动获得,施工组织应将相邻桩的入土角度、桩位偏差与参数曲线统一到同一作业窗内,搭接段适当降低提升速度并保持转速与流量不变,必要时在交叉区短暂停留复喷数秒以补足侧向扩散量,同时控制相邻桩间隔不宜过长以免造成桩体强度上升后难以再切入。

3.3 分排成桩顺序与邻桩扰动的过程控制

既有线斜向水泥土桩加固施工中,分排成桩顺序的目的不是追求产量,而是把孔压、回浆与坡体位移约束在可控区间内。第一,班组宜以线路中心线为基准先布置外侧控制排,再向内逐排推进,并遵循先深后浅的分层成桩逻辑,在软弱边坡段优先形成下部斜向撑脚,待水泥土初凝并具备侧向约束后再做上部排,以减少路肩侧先行成桩引起的孔壁扰动与坡面松弛,工程师可结合常用桩径 0.5 ~ 0.6m 、纵向桩距 1.0 ~ 2.5m 、竖向排距 1.5 ~ 2.5m 及 0 ~ 15° 倾角的布置范围,校核每排桩体交叉搭接关系,确保外侧先形成连续约束带。第二,同一排内宜采用跳打与分段推进相结合的节奏,通常按 1 ~ 2 孔施工、回跳补孔的顺序组织,单日推进长度以不造成连续相邻孔高强度扰动为限,相邻孔位宜预留孔压消散间歇,遇到饱和软土可将相邻孔间隔控制在 30min 以上或跨循环后再作业^[3]。施工参数上,钻进、提升与搅拌转速应与喷浆量同步,喷浆宜分两次成桩并在设计深度复搅 1 遍,避免因邻孔回浆通道串通而出现桩径收缩、偏斜或局部冒浆,若中断施工,施工人员应记录停机深度并及时复打,复打重叠长度不小于 1m 。第三,过程巡视应覆盖坡面隆起、裂缝、孔口冒浆范围与道床侧沉降点位,技术人员应按监测断面把位移、孔号、喷浆量与时间轴对应记录,一旦出现裂缝沿坡向扩展或鼓胀伴随回浆量突增,现场负责人应先停邻近孔并将下一循环的跳打间距加大,同时通过降低瞬时浆量、分段喷射与回浆导排等方式削峰,待回浆稳定且变形速率回落后再续作。第四,病害段与过渡段交界处应先做交界外侧过渡孔,按外疏内密形成 1 ~ 2 排刚度渐变带,必要时在首排设置加密孔位并控制桩体交叉长度 1 ~ 2m ,使加固段刚度变化被逐步消化,避免将变形集中推移至未加固区。

3.4 路基内水与回浆通道的封控处理

在既有铁路路基斜向水泥土桩旋喷加固中,含水路基的渗流与回浆外溢往往先于强度问题暴露,必须把水路识别与封控组织成可操作的工序链,并兼顾行车封锁时间约束。第一,施工前技术人员应沿边沟、涵洞、盲沟与既有渗水点

布设探孔和试喷段,结合钻进返砂、孔内水位恢复速度与冒浆位置判定松散夹层或砂夹层通道,并把通道位置在桩位图上标注为风险孔;试喷宜以设计浆压的70%至80%起喷,记录单位延米耗浆量与孔口回浆率,当耗浆异常偏大且孔口回浆不足时,应提前在坡脚或排水沟侧设置封堵孔,采用水泥浆或速凝水泥砂浆点灌形成临时堵水楔,避免正式成桩时浆液被抽走。第二,正式喷射阶段班组应设置孔口返水、坡脚涌浆、排水沟浑浊三类观察点并专人实时记录,一旦出现远距离出浆或沟水持续浑浊,应立即判定通道串流,操作手宜采取分段喷射与短暂停喷交替,先在通道近场以较小提升速度0.3至0.5米每分钟形成封门段,再恢复到常规速度;浆压可按设备能力稳定在约20MPa范围内并避免频繁波动,以减小沿水路的脉动冲刷。第三,孔口与坡面应采用围堰、接浆槽与沉淀桶成套布置,回浆按收集一沉淀一回填或外运闭合处理,坡面流淌处应立即撒铺干砂或碎石吸附并清除,严禁让回浆长距离润湿表层填土导致软化塌陷;同一作业面应限定设备行走路线并在轮迹处铺设钢板或道木,防止软化区反复碾压诱发孔位偏移。第四,地下水水位高或雨季区段应先做临时排水体系,坡顶截水沟、坡脚导排沟与集水井应在开孔前连通,孔口设置可拆封护套管并在每孔结束后用低水灰比浆液回灌至孔口以下0.5米再封孔,封孔材料初凝前不得二次扰动;对相邻孔宜控制施工间隔不宜超过24小时,减少已成桩段被新孔渗流贯通而形成新的水路^[4]。

3.5 取芯检验与局部补强的实体闭环

既有铁路路基斜向水泥土桩加固要把检验与补强做成闭环,现场应先把取芯证据、施工参数和缺陷处置路径同时设计到工序里。第一,取芯布点宜按断面分层分排次抽取,在路肩至路基半高范围内的斜桩群中兼顾外侧、交叉搭接段与土层突变段,且同一断面至少覆盖2个排次和2个深度区间,避免只抽施工条件最稳的孔位。钻芯可参照水泥土桩常用做法在桩顶设计高程以下按每1m取1段芯样并记录取芯率,同时在桩径0.5至0.6m的斜桩上标记芯样方位,芯样取出后应封袋编号、端面磨平并按规定龄期做无侧限强度与单位延米浆量、提升转速、提升速度和停喷复搅次

数做同表对照,水灰比宜控制在0.55至0.65区间并核查计量误差,若强度偏低但浆量不低,应优先排查拌浆浓度波动、料浆沉淀、喷嘴磨损引起的雾化变差或提升过快造成的条带状未拌匀,并通过同孔复搅或邻孔对比验证,不宜简单追加水泥掺量^[5]。第三,对桩径不足、搭接不连续、芯样空洞或夹泥,应先以芯样缺陷深度为中心向上下各延伸0.5m划定处置段,再按缺陷边界外扩0.2至0.3m布置补孔,采用补桩或局部加密桩形成包络,补孔角度与原斜桩一致并控制孔距不大于原设计桩距的0.7倍,注浆以分段稳压和复搅为主,严禁在缺陷中心长时间高压顶浆造成串通通道扩大。第四,补强后复检应按原布点逻辑加密到处置段上下各1m,并把原芯样编号、补孔坐标、复检强度、浆量及喷射参数作为成对数据归档到断面资料,沉降观测点一旦出现异常即可按断面追溯到对应排次与补强孔,实现实体证据闭合。

4 结语

斜向水泥土桩法在既有铁路路基加固中更像一套“可在运营约束下落地的实体改造手段”,其效果不应仅依赖经验加密,而应依赖几何控制、喷射拌合参数与水通道封控的系统协同。施工人员把孔向与孔深控制到位,把浆液与喷射参数稳定到位,再把取芯检验与补强措施落实到位,才能在既有小扰动条件下形成连续、均匀且可验证的加固带。相关研究对其设计计算与工程应用已有总结,也为参数取值与效果评估提供了参考边界。

参考文献

- [1] 郭发蔚.斜向水泥土桩法加固既有铁路路基施工技术研究[J].2024(31):123-125.
- [2] 吕平.斜向水泥土桩法加固既有铁路路基施工技术探索[J].河南建材,2018(3):2.
- [3] 陈洪利.斜向水泥土桩法加固既有铁路路基施工技术研究[J].建筑工程技术与设计,2018,000(013):646.
- [4] 陈俊宏.既有铁路工程中线加固及地基处理技术分析[J].中国房地产业,2023(6).
- [5] 杭红星,陈尚勇,吴成杰.新线引入既有客运专线车站软土地基加固技术[J].铁道建筑,2024,64(1):105-110.