

CRTS II型板式无砟轨道台后锚固结构病害分析与注浆加固技术研究

苗义剑

京沪高速铁路股份有限公司上海经营部, 上海, 100000;

摘要: 针对京沪高铁 K1023+770 处 II 型端刺结构因温度荷载及长期纵向力作用导致的基床土体脱空、锚固力下降等病害, 本文系统阐述了病害成因、注浆加固方案设计及施工工艺。通过套封管与袖阀管组合注浆工艺, 结合超低黏度树脂填充材料, 实现了脱空层充填与基床力学性能恢复。工程实践表明, 该技术有效控制了轨道结构变形, 为类似无砟轨道病害整治提供了技术参考。

关键词: CRTS II 型无砟轨道; 台后锚固结构; 病害分析; 注浆加固

DOI: 10. 64216/3080-1508. 26. 01. 022

1 绪论

1.1 研究背景与意义

京沪高铁作为我国南北交通大动脉, 其 CRTS II 型板式无砟轨道在长期运营中面临温度荷载、列车制动等多因素耦合作用。台后锚固结构作为控制轨道纵向位移的关键构造, 其病害将直接影响线路稳定性。K1023+770 处 II 型端刺因基床土体脱空导致最大变形量超 20mm, 诱发轨道上拱及板缝裂损, 亟需系统性整治。

1.2 国内外研究现状

国外如德国 ICE 线路通过定期注浆维持锚固结构稳定性, 日本新干线则强调基床填料压实标准控制。国内京津城际铁路曾采用倒 T 型端刺结构, 但京沪高铁因路基施工条件限制, 创新应用了 II 型主端刺锚固体系。当前针对运营期锚固结构脱空的注浆加固技术, 尚缺乏系统性工艺标准。

2 工程概况

2.1 轨道结构

CRTS II 型板式无砟轨道是纵向连续板式无砟轨道结构, 无砟轨道在温度变化、列车制动荷载、下部基础变形等多因素耦合作用下的纵向附加力比单元式结构显著增加。为了控制可能产生的纵向位移, 防止桥上轨道结构纵向伸缩影响路基段 CRTS II 型板式无砟轨道稳定性, 需在台后过渡段设置摩擦板及端刺结构。

K1023+770 处位于坝上大桥与路基过渡段, 轨道结构采用 CRTS II 型板式无砟轨道, 由 60kg/m 钢轨、弹性扣件、预制轨道板、砂浆调整层、连续底座、滑动层、

侧向挡块等部分组成, 轨道结构高度 679mm。

钢轨采用 100m 长定尺、60kg/m、无螺栓孔 U71Mn (K) 新钢轨; 扣件采用 WJ-8C 型扣件; 轨道板宽度为 2.55m, 厚度为 0.20m; 砂浆设计厚度为 0.03m; 底座宽 2950mm, 采用 C30 混凝土, HRB500 钢筋; 摩擦板与底座间设置“两布”滑动层, 摩擦系数在 0.5~0.8 之间; 侧向挡块采用 C35 混凝土, HRB335 钢筋。

II 型主端刺锚固体系从桥台往路基方向分别由摩擦板、端刺及过渡板三部分组成, 全长 59.5m, 包括 42.5m 摩擦板、12m 端刺及 5m 过渡板, 混凝土强度等级 C30, 钢筋 HRB500。

2.2 病害特征与监测数据

台后锚固结构承受桥上纵连轨道传递过来的巨大温度力, 在长期纵向荷载反复作用下, 摩擦板及端刺不断揉搓、挤压基床表层土体, 造成锚固结构与路基界面间均存在明显的脱空、离缝, 同时导致基床土体松散, 降低了锚固力。而锚固力的降低又加剧了锚固结构的位移, 形成恶性循环。根据现场调查资料, 京沪高铁 K1023+770 处的 II 型端刺随季节温度出现超量变形, 最大变形量超过 20mm, 导致在夏季高温季节台后锚固体系的过渡板挤压路基段支承层, 诱发轨道结构上拱, 并导致路基与端刺区结合部轨道板裂损。现场调研表明, 该端刺区存在三大病害:

过渡板与支承层接缝挤压破损, 宽接缝最大压缩量 8.69mm, 摩擦板与基床界面脱空面积达 60%, 冲击回波检测显示红色脱空区域。

温度波动下摩擦板最大纵向位移 2.31mm, 诱发轨

道板裂损。

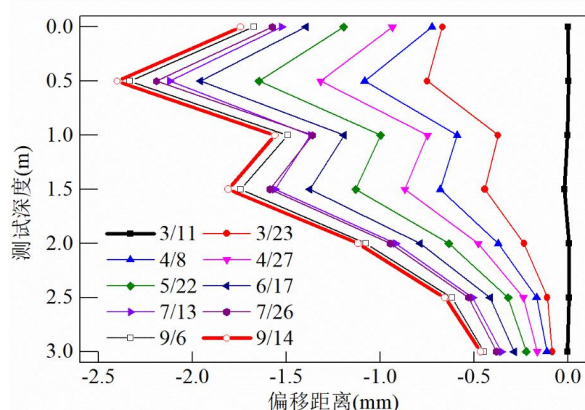


图1 偏移距离-深度关系曲线图

此外,由于锚固结构与土体间的相互作用,摩擦板纵向移动同样导致土体内设置的测斜仪产生纵向位移,且随着测试深度的增加而逐渐减小,这说明运营条件下的锚固结构的变形会对土体性能产生影响,进而可能导致长期服役状态下的锚固性能下降,影响锚固区结构稳定性。

3 病害成因分析

3.1 温度荷载耦合作用

交接处过渡板与支承层采用断开设计,相互独立,各自均为连续结构的端部。当温度发生变化时,若下部基础约束力不足,处于伸缩区的过渡板和支承层会发生纵向滑移,导致分界处裂缝在冬季拉开夏季合拢。同时由于交接处轨道板与过渡板或支承层采用植筋锚固为一个整体,轨道板跟随下部结构纵向伸缩变形,因此现场表现出宽窄接缝在降温时发生拉伸破坏,升温时裂缝的间隙减小的情况。若同一块轨道板横跨分界处,且分别于支承层和过渡板植筋锚固,可能会出现轨道板沿锚固筋横向开裂的情况。

根据监测数据分析,随着温度变化,过渡板与支承层存在相对位移。当温度升高时,两侧相互挤压温度力聚集于该薄弱环节接缝处,容易造成该处发生失稳产生病害。当温度降低时,两者拉开形成离缝,硬质杂质进入离缝内,进一步加剧了高温季节挤压失稳的风险。

3.2 基床土体力学性能退化

台后锚固结构承受桥上纵连轨道传递过来的巨大温度力,在长期纵向荷载反复作用下,摩擦板及端刺不断揉搓、挤压基床表层土体,界面摩阻力从设计值0.5~0.8降至0.3以下,基床土体孔隙比增大15%,

压缩模量下降20%,造成锚固结构与路基界面间均存在明显的脱空、离缝,同时导致基床土体松散,降低了锚固力,锚固力衰减引发结构位移超量,形成“脱空-位移-脱空加剧”的恶性循环。

4 注浆加固方案

4.1 总体思路

针对京沪高铁K1023+770端刺周围、摩擦板下与基床土体间脱空造成的台后锚固体系超量变形,拟采取适用于台后锚固体系恢复的注浆加固方案。通过浆液的充填、劈裂挤密和渗透胶结作用,消除脱空层的同时恢复甚至超越基床土体原设计力学性能,达到恢复台后锚固体系锚固性能的目的。基于线下基础变形稳定的前提下,采用“精准检测-分区注浆-性能恢复”的技术路线,以尽量减少无砟轨道整治次生病害、维持无砟轨道结构整体性及确保运营线路行车安全为原则,采用注浆加固方案。

4.2 加固方法

针对端刺侧面与基床土体间、端刺底部与基床土体间、摩擦板与基床土体间三种工况,提出端刺底部与基床土体间、摩擦板与基床土体间采用套封管注浆工艺,端刺侧面与基床土体间采用袖阀管退管注浆工艺两种整治方案。注浆工艺方案的注浆孔布置。

(1) 脱空检测

采用冲击回波检测方法对摩擦板及主端刺与路基界面间脱空进行检测,指导后续打孔、注浆等施工。

(2) 端刺侧面注浆加固

针对端刺侧面与基床土体间离缝和脱空,锚固力恢复注浆加固工艺为采用袖阀管注浆的方式分级注浆。端刺侧面注浆加固工艺主要包括钻孔、插设袖阀管、灌注套壳料、插设注浆管、注浆、提升注浆管、循环注浆七个步骤。

1) 确认端刺位置

在摩擦板外侧路肩封闭层和电缆槽部分凿除,凿除深度至摩擦板下表面,确定端刺结构准确位置。凿除前应结合设计图纸确认端刺大致位置,尽量缩小凿除范围。在端刺注浆完成后,采用C25早强混凝土对破损的封闭层进行修复。

2) 钻孔

按附件2所示位置标记钻孔孔位,采用钢筋探测仪

探测摩擦板上层纵横向钢筋并适当调整孔位以避开钢筋。采用小型潜孔钻机或水钻机竖直向下钻孔，孔径为 80mm；钻孔深度均为超过端刺底部约 200mm。

3) 插设袖阀管

钻孔后插入 PVC 袖阀管，通过套接方式加长至设计深度。袖阀管外径 40mm~50mm。

4) 灌注套壳料

袖阀管外侧注入套壳料进行封闭，套壳料采用水泥与膨润土的混合浆液，混合比例为水：水泥：膨胀土=1.6：1：1。同一个注浆孔的插设袖阀管和灌注套壳料必须在同一个天窗内完成。

5) 插设注浆管

套壳料硬化后，在袖阀管内插入注浆管。密封套通过压缩空气、高压水实现膨胀与收缩，也可以通过橡胶囊（套）实现压紧膨胀与放松收缩，从而实现注浆管与袖阀管孔壁的密封与固定。

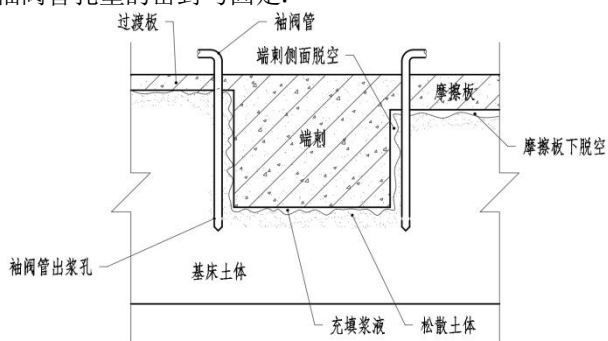


图 2 基础结构脱空注浆修复示意图

6) 注浆

调试好注浆设备，注浆材料性能测试满足要求后进行注浆，如下图所示，并实时监测摩擦板高程变化，当摩擦板高程增长超过 0.2mm 时停止注浆。当达到设计最大注浆压力或者注浆量时完成该注浆孔的注浆。

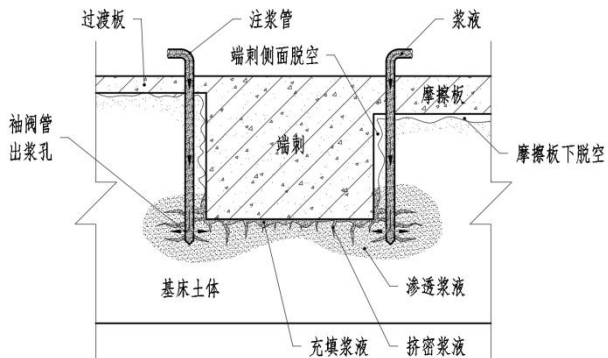


图 3 基于充填、渗透与挤密效应的基础脱空注浆修复详图

7) 提管

向上提升注浆管，每次提升高度约 0.5m，如图所示。

并重新密封和固定注浆管。

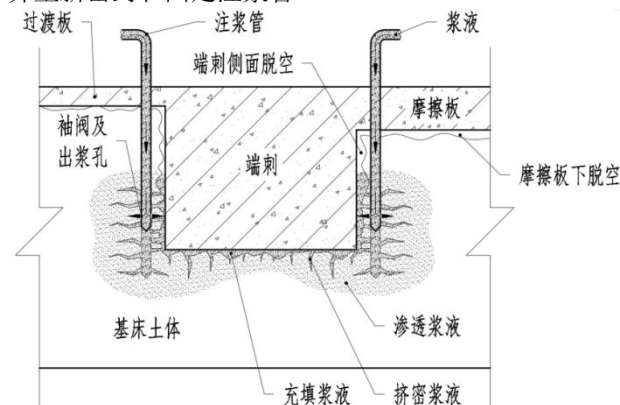


图 4 注浆管注浆修复基础结构脱空示意图

5 安全质量控制要点

(1) 设置驻站联络员与现场防护员，采用“移动停车信号 + 短路铜线”防护，防护距离不小于 50m。天窗结束前 30 分钟进行线路状态复检，确保达到放行条件。

(2) 注浆加固作业中加强观察，防止局部拱起、跑胶（浆）、爆管的产生，对轨道上喷溅的胶体应立即用抹布擦除。

(3) 注浆加固施工前，对高聚物注浆材料的性能进行测试、调整，保证注入材料的质量，每批次树脂材料需测试黏度、抗压强度，不合格品立即退场。

(4) 施工前建立施工段落测量网，对轨道结构中线坐标及高程进行复测，并在过程中进行实时监测，保证轨道线形可控，注浆过程中轨道水平变化 $\pm 2\text{mm}$ ，中线偏移 $\leq 1\text{mm}$ 。每个天窗点施工结束后，对轨道中线、高程进行复测。根据复测结果修订或制定下一步计划。线路开通前，采用轨检小车测量确认；加强对每日测量数据的分析与复核工作，为当日注浆加固工作进行确认，为后续施工提供指导。

(5) 施工时，环境温度应在 5~30℃ 之间，雨天不进行注浆施工。

(6) 施工过程中，混凝土界面务必要清理干净，并按规定涂刷界面剂或洒水润湿，以确保新老混凝土间的粘结力满足要求。

(7) 借鉴相关工程实践经验，施工中应结合本建议方案技术要求及前提条件，做好充分的预案及相关的材料和工装，确保运营安全。

(8) 按照底座板板缝两端注浆孔同时注浆的原则进行注浆加固作业，防止破坏板缝处的纵向连接结构。工序衔接顺畅，套壳料灌注与注浆间隔不超过 24 小时，

避免土体二次松弛。

6 结论与展望

本文提出的注浆加固技术成功解决了京沪高铁Ⅱ型端刺结构的脱空病害，探究了“材料－工艺－监测”一体化整治方案的可行性，后续进一步研究长期运营下注浆材料的耐久性评估、智能监测系统在锚固结构健康监测中的应用和注浆工艺与路基填料改良的协同优化，不断提升京沪高铁设备质量和安全可靠性的。

参考文献

[1]《铁路轨道工程施工安全技术规程》(TB 10305-2020)

[2]《高速铁路轨道工程施工技术规程》(Q/CR 9605-2017)

[3]《高速铁路工务安全规则(试行)》(铁总运〔2014〕170)

[4]刘浩.纵连式无砟轨道端刺区结构服役稳定特征分析[J].铁道建筑,2021.3 第61卷第3期

作者简介:苗义剑(1989.02.06—),性别:男,民族:汉,籍贯:黑龙江鸡西,学历:本科,职称:工程师,研究方向:铁道工务,单位:京沪高速铁路股份有限公司上海经营部。