

既有线弹性短轨枕空吊病害治理技术研究

张雨洁¹, 张慧君², 王书卫¹, 龚正龙², 高 龙²

(1. 中国铁路设计集团有限公司, 天津 300143; 2. 天津津铁工程技术有限公司, 天津 301726)

摘 要:为解决既有线弹性短轨枕轨道因长期运营导致的橡胶套靴老化变形、轨枕吊空及轨距变化等病害,提升轨道结构的稳定性与运营安全,针对现有病害治理方法施工效率低、修复精度不足等问题,提出一种新型弹性短轨枕空吊病害治理技术。该技术将新型高流动性修补材料与精细化灌注施工工艺相结合,能够实现对1 mm以下缝隙的充分填充。通过线下灌注试验验证材料与施工工艺的可行性,并基于静刚度试验和疲劳性能试验对修复后的弹性短轨枕轨道进行力学性能评估。试验结果表明:该治理方法能够有效填充空吊区域,增强轨道结构的整体稳定性,适用于时空受限条件下既有线轨道的快速高效修复,具有良好的工程推广应用价值。

关键词:城市轨道交通; 既有线; 弹性短轨枕; 空吊; 病害治理

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2026)02-0106-06

Treatment Technology of Unsupported Defects in Existing Elastic Short-Sleeper Tracks

ZHANG Yujie¹, ZHANG Huijun², WANG Shuwei¹, GONG Zhenglong², GAO Long²

(1. China Railway Design Corporation, Tianjin 300143; 2. Jintie Engineering Technology Co., Ltd., Tianjin 301726)

Abstract: To address the problems of aging and deformation of rubber boots, unsupported sleepers and gauge variation caused by long-term operation on existing elastic short-sleeper tracks, and to improve the stability and operational safety of the track structure, this paper proposes a novel treatment technology for unsupported defects in elastic short-sleeper tracks to overcome the low construction efficiency and insufficient repair precision of existing repair methods. This technology combines a novel high-flow repair material with a refined grouting process, enabling complete filling of gaps smaller than 1 mm. Off-site grouting tests verified the feasibility of the material and construction process, and the mechanical properties of the repaired elastic short-sleeper track were evaluated based on static stiffness and fatigue tests. The test results demonstrate that this treatment method effectively fills the unsupported areas and enhances the overall stability of the track structure. It is suitable for the rapid and efficient repair of existing tracks under time and space constraints and has good potential for engineering application.

Keywords: urban rail transit; existing lines; elastic short sleepers; unsupported defects; defect treatment

弹性短轨枕整体道床是轨道工程中广泛应用的减隔振支撑体系,通过短轨枕和道床弹性的结合,能够

有效缓解列车运行时产生的振动和冲击,降低对轨道结构的损害,确保列车平稳运行^[1-2]。然而,伴随轨道

收稿日期: 2025-05-12 修回日期: 2025-11-02

第一作者: 张雨洁,女,硕士,助理工程师,从事轨道交通设计及运维工作, zhangyujie@crdc.com

通信作者: 王书卫,男,硕士,高级工程师,从事轨道交通设计及运维工作, wangshuwei@crdc.com

基金项目: 天津市交通运输科技发展计划项目(2025-52); 中国铁路设计集团有限公司课题(2024 课专-城交-03)

引用格式: 张雨洁, 张慧君, 王书卫, 等. 既有线弹性短轨枕空吊病害治理技术研究[J]. 都市轨道交通, 2026, 39(2): 106-111.

Zhang Yujie, Zhang Huijun, Wang Shuwei, et al. Treatment technology of unsupported defects in existing elastic short-sleeper tracks[J]. Urban rapid rail transit, 2026, 39(2): 106-111.

结构服役时间的不断增加, 动态轮轨荷载的持续作用与复杂环境因素的耦合影响, 橡胶套靴的弹性衰减及界面剥离加速, 进而形成轨枕底部支撑刚度的非均匀分布。这种支撑体系的局部弱化不仅直接导致轨枕空吊现象, 更会引发轨距动态失衡、减振效能非线性衰减等次生问题, 极端工况下甚至诱发轨枕结构破裂及道床翻浆冒泥等现象, 形成“刚度非连续—冲击加剧—病害继续扩展”的恶性循环。现有研究表明, 轨枕空吊会重构轨下基础等效支承刚度, 显著增大轨枕加速度^[3]与竖向位移^[4], 进而改变其受力模式^[5], 尤其在非对称空吊情况下, 引起轮轨垂向力不均^[6]与轨枕裂纹等结构损伤, 且对相邻轨枕造成不利影响。

弹性短轨枕与道床间缝隙形态复杂, 其宽度由不足 1 mm 到大于 10 mm 不等, 且离缝缝隙不均匀, 缝隙内混合粉尘、混凝土碎屑、水等杂质, 缝隙上部大多被弹性短轨枕帽檐掩盖, 治理困难。在现有的治理方法中, 常见的做法有增设轨距拉杆、更换老化的橡胶套靴、铺设新的混凝土短轨枕等。这些措施虽然能够缓解病害, 但由于施工工序复杂、工期受限、维护成本高, 导致现有技术中施工材料、施工效率仍存在诸多缺陷和不足, 无法满足大规模、长周期的轨道病害治理需求。

因此, 为提升既有弹性短轨枕病害治理的效率, 改善运营线路的轨道基础条件, 避免潜在的安全隐患, 亟须结合新材料、新工艺、新技术, 不断探索创新解决方案, 以适应大规模弹性短轨枕病害的处理需求。

1 弹性短轨枕轨道空吊病害治理方法

1.1 治理施工特点

由于既有弹性处于正常运营状态, 施工改造工程往往面临严峻的时间、空间和协调约束, 需确保在不影响运营的前提下安全、高效完成病害治理, 最大限度减少对周边环境的影响。

1) 施工作业时间限制。既有线改造多安排在夜间天窗期进行, 施工时间短、任务重, 需高度优化施工环节, 合理安排人员、设备和材料的调配, 确保各项作业环节的紧密衔接。

2) 施工作业空间限制。高架段施工受桥面宽度和附属设施(如供电、排水等)限制; 地下段隧道内部环境封闭、空间狭窄, 通风不畅、照明不足, 系统管线复杂, 施工人员活动空间受限, 难以使用大型机械, 宜采用小型设备和精细化操作技术。

3) 多专业间的协同配合。改造涉及轨道、供电、信号等多个专业, 工序间存在交叉和干扰, 需提前统筹施工流程, 强化信息沟通, 合理安排作业顺序, 确保各专业协同作业、互不干扰。

4) 施工作业质量及安全管控。施工需确保轨道结构恢复后的强度、刚度、稳定性、耐久性以及适量的弹性, 以满足后期运营需求。同时, 强化施工安全和现场管理, 每次作业结束后确保“工清场清”, 避免影响次日运营。

1.2 既有治理方法及不足

近年来, 各地方地铁工务部门为改善轨道基础条件, 在进行弹性短轨枕整体道床改造时, 主要使用的治理方法有两种: 一种是通过换铺作业, 在不影响运营的前提下, 全面拆除老化的橡胶套靴和短轨枕, 在既有轨枕凹槽内, 钻孔植筋, 替换为普通短轨枕、并浇筑速凝砂浆恢复整体道床^[7-8], 施工工艺流程如图 1 所示; 另一种将施工工序进行一定的简化, 无需将无缝线路分解为有缝线路, 仅更换弹性套靴, 并在既有弹性短轨枕和道床缝隙内填充高分子阻尼材料^[9], 施工工艺流程如图 2 所示。表 1 对比了两种轨枕空吊病害的治理方法。

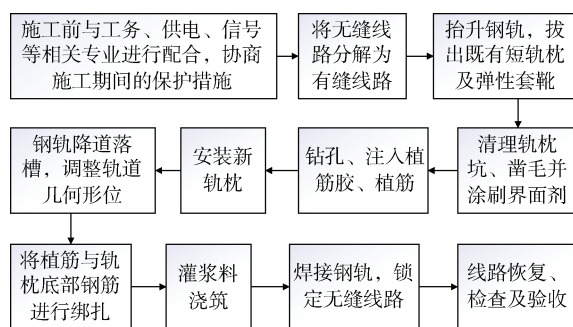


图 1 方案 1 施工工艺流程

Figure 1 Construction process flow of Scheme 1

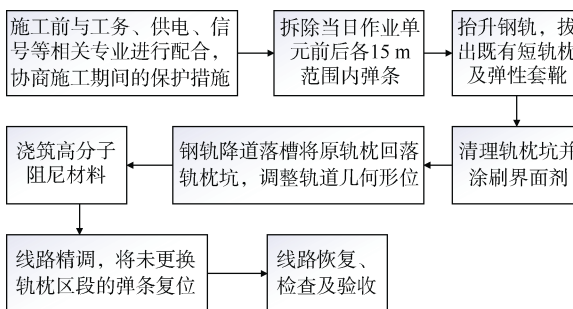


图 2 方案 2 施工工艺流程

Figure 2 Construction process flow of Scheme 2

表 1 两种轨枕空吊病害治理方法对比
Table 1 A comparison of two treatment methods for unsupported sleeper defects

项目	方案 1	方案 2
改造结果	能从根本上解决, 但需通过更换减振扣件, 以恢复和提升减振性能	很难从根本上解决空吊病害问题且修复材料存在一定的隐患
施工进度	慢, 施工工序多, 难以快速满足既有线大面积病害治理	较慢, 作业流程较复杂, 耗时较长
工程造价	约 1 200 万/km	约 700 万/km
应用城市	武汉、上海、天津等	广州

这两种方法均可在一定程度上改善弹性短轨枕道床病害问题, 但是施工工序繁多、铺设机具和施工工艺复杂, 施工难度大、周期长、成本高, 难以适应大面积弹性短轨枕病害处理。

2 新型轨枕空吊病害整治关键技术

本章提出一种基于时空受限条件下的既有线弹性短轨枕整体道床空吊病害治理方法, 该方法能在不影响线路正常运营的情况下, 快速高效地解决弹性短轨枕整体道床离缝、空吊等问题。

2.1 灌注材料研制

灌注材料性能直接关系到空吊病害修复的质量。为实现高效、环保和长效的修复目标, 需综合考虑力学性能、黏结性、稳定性、施工可操作性及成本等因素。通过多次材料配比及线上线下的试验筛选, 最终确定了一种性能最优的修复材料。该材料为半透明粉红色液体, 其主要成分包括酸酐类化合物、醇类物质、分散剂和固化剂, 质量比为 1:(0.35~5.5):(0.035~0.205):(0.005~0.02)。

由于修补材料灌注到轨枕空吊区域内较为密闭的环境, 在密闭的环境缺乏氧气时, 酸酐类化合物聚合反应可能会得到进一步促进, 而醇类物质可以通过氢键与酸酐相互作用, 影响酸酐的电子密度或空间结构, 从而改变他们的反应, 间接影响酸酐类化合物的聚合反应。因此, 灌注的环境和醇类物质使固化后的高分子灌注材料不仅具有较好的强度, 还具有一定的柔韧性。分散剂能提升原材料之间的分散效果, 从而有利于原材料的均匀。通过调整固化剂用量能调整高分子灌注材料固化时间。

经多次线下测试, 该高分子灌注材料发生固化的时间不大于 30 min, 固化后抗压强度为 50~70 MPa, 弹性模量为 149~297 MPa, 且流动扩展度不小于 350 mm, 其他性能测试结果见表 2。

表 2 高分子灌注材料线下测试结果

Table 2 Off-site test results of polymer grouting materials

检测项目	检测结果	检测项目	检测结果
25℃黏度/(Pa·s)	1.4	7 d 抗压强度/MPa	72.6
25℃凝胶时间/min	30	弯曲强度/MPa	36
巴氏硬度	38	拉伸强度/MPa	27.6
2 h 抗压强度/MPa	43.5	冲击强度 (KJ/m ² , 无缺口)	7.7

2.2 施工工艺流程

本节提出一种无需拆除弹性短轨枕的新型空吊病害修复方法。该方法通过在道床表面钻设直径约 1 cm 的小孔, 将高流动性高分子材料注入轨枕与道床之间的空隙, 实现精准灌注与结构补强。整个施工过程简便快捷, 避免对轨道结构产生破坏, 同时保持轨道几何形位稳定, 确保列车运行安全, 具有良好的适应性和工程推广价值。该方法具体实施步骤如下。

工序 1: 确认施工范围。清除混凝土附着物、残渣、水迹和污渍等, 同时标记注浆钻孔位置。

工序 2: 在弹性短轨枕垂直线路方向的两侧道床面进行斜向下打孔操作(孔道直径为 0.8~1.2 cm), 打孔角度由道床面向弹性短轨枕倾斜, 如图 3 所示。孔径需贯穿道床及橡胶套靴, 但不破坏弹性短轨枕, 如此可使灌注材料沿孔道依次穿透套靴与道床间空隙后, 进一步进入轨枕与套靴之间的脱空区域, 实现对多界面脱空部位的密实填充。

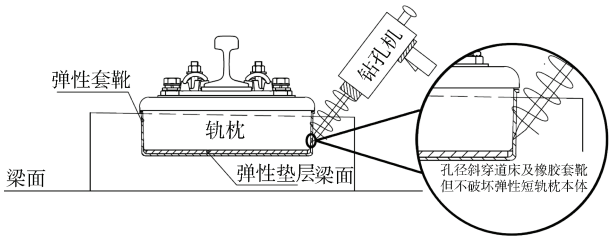


图 3 打孔操作示意

Figure 3 Schematic diagram of the drilling operation

所用高分子灌注材料具有高流动性, 斜向打孔可以增加其在缝隙中的流动性和覆盖范围, 使得高分子灌注材料能够更有效地填充到病害空隙, 从而提高修复效果; 同时, 采用斜向下的打孔方式可使灌注材料自下而上填充, 有效避免空隙和不均匀填充的问题, 保证填缝密实。

工序 3: 在孔道中埋设金属灌注针, 以便后续灌注高分子灌注材料。

工序 4: 将弹性短轨枕与道床面接触处进行临时

封堵,并预留排气孔。通过预留排气孔,有效防止气泡滞留,保证高分子灌注材料在弹性短轨枕周围和底部空隙中均匀、密实地填充,提高结构的整体稳定性。

为节省同一天窗期内的施工时间,工序1~工序4也可以在灌注高分子灌注材料前的一个天窗期内提前完成。

工序5:采用小型灌注环氧树脂类的带压灌注设备,在压力(3 MPa左右)下将高分子灌注材料通过预埋灌注针及孔道灌注至弹性短轨枕、橡胶套靴和道床之间的空隙,当排气孔有高分子灌注材料溢出时,表明灌注工作完成,如图4所示。



图4 现场带压灌注施工

Figure 4 On-site pressurized grouting construction

工序6:待高分子灌注材料固化后,对灌注孔进行封堵,防止水分和杂质的侵入,并清除弹性短轨枕的临时封堵材料。为保证灌注材料具有充足的凝固时间,此项工序也可在下一个天窗时间进行。

上述施工过程可通过3个班组流水化作业模式同时协作完成。具体地,第一个班组负责工序2、3、4和6,第二个班组负责工序5,第三个班组则负责高分子灌注材料的现场配比与搅拌工作。

2.3 线下灌注试验

为验证新型轨枕空吊病害整治方法的可行性,评估新型灌注材料和施工工艺流程的实际效果,选取空吊量不足1、1、2、5、10 mm的轨枕进行线下灌注试验,得出以下结论。

1) 灌注材料具有良好的流动性,可顺利填充不足1 mm的空吊缝隙。

2) 灌注材料凝固时间合理,既不会因快速凝固而无法满灌灌注操作需求,也不会因凝固过慢而影响正常运营。

3) 空吊量为10 mm的轨枕修复灌注时间约为15 min,高分子灌注材料固化时间不大于30 min,发生固化的高分子灌注材料抗压强度达到完全固化的高

分子灌注材料抗压强度50%的时间不超过1.5 h。

4) 高分子灌注材料与混凝土及橡胶套靴的黏结性能良好,且可在潮湿界面进行固化。将橡胶套靴的黏结部位剥离后,破坏界面出现在橡胶套靴处,如图5所示,未出现未固化的粘连现象,材料与界面之间的结合力非常可靠。



图5 灌注试验结果

Figure 5 Results of the grouting test

5) 在线下弹性短轨枕改造施工试验中,3个班组共15人次可在每个天窗期完成单股50 m钢轨的施工任务,与现有的弹性短轨枕道床改造施工速度相比提升了近8倍,如表3所示,工程造价同比节省约80%。

表3 与既有治理方案作业效率对比

Table 3 Comparison of operational efficiency with existing treatment methods

	既有治理方法1	既有治理方法2	新型治理方法
作业效率	一个班组(60人)每日完成单股100 m钢轨的1/4,按“隔三拆一”4个作业点完成100 m施工	一个班组(30人)每日完成单股100 m钢轨的1/4,按“隔三拆一”4个作业点完成100 m施工	一个班组(15人)每日完成单股50 m钢轨

3 弹性短轨枕轨道修复效果测试分析

对病害治理后的弹性轨枕轨道结构疲劳强度进行试验,检验轨道结构及灌注材料在疲劳荷载条件下的状态和性能变化。

3.1 静刚度试验

对单个扣件单元和灌注高分子修补材料后的弹性短轨枕轨道试件进行静荷载,以(120±10) kN/min的速度垂向加载至60 kN卸载,静停60 s后,再一次加载,重复加载2次。以第三次加载开始记录荷载位移曲线,加载至竖向荷载力 F_{S42} ,分别记录竖向荷载力 F_{S41} 和竖向荷载力 F_{S42} 时钢轨平均位移 $D1$ 、 $D2$,其中竖向荷载力 $F_{S42}=55$ kN,竖向荷载力 F_{S41} 取值为5 kN,钢轨位移差值 $d_{S42}=D2-D1$ 。静刚度 k_{SA} 为:

$$k_{SA} = \frac{F_{S42} - F_{S41}}{d_{S42}} \quad (1)$$

分别计算修复后弹性轨枕轨道、扣件在疲劳前后的竖向静刚度值，如表 4、表 5 所示。

表 4 扣件系统静刚度测试结果

Table 4 Static stiffness test results of fastening systems

工况	指标	测试值
疲劳前	静刚度	31.25 kN/mm
疲劳后	静刚度	34.25 kN/mm
静刚度变化率		9.6%

表 5 灌注高分子修补材料后的弹性短轨枕静刚度测试结果

Table 5 Test results of static stiffness of elastic short sleepers after grouting with polymer repair material

工况	指标	测试值
疲劳前	静刚度	21.15 kN/mm
疲劳后	静刚度	24.94 kN/mm
静刚度变化率		17.9%

从表 4、表 5 的测试结果可知，通过 300 万次疲劳荷载以后，灌注高分子修补材料后的弹性短轨枕(含橡胶套靴和填充材料)竖向静刚度由疲劳前的 21.15 kN/mm 增加至 24.94 kN/mm，变化率为 17.9%，满足变化不大于 20%的要求，其中扣件本身的刚度变化率为 9.6%。

3.2 疲劳性能试验

通过专用加力架，对灌注高分子修补材料后的弹性短轨枕轨道试件进行疲劳试验。将试验轨道放置在试验平台上，试验机加力头通过加力架装置对试件进行施加周期脉动荷载。每个扣件作用循环荷载的最大荷载力为 60 kN，循环荷载的加载角度为 26°，频率 5 Hz，疲劳次数 300 万次。

疲劳测试结束后，对试件的支撑物进行全面拆除，记录疲劳后轨距扩大量和轨枕顶面高度变化量。需要注意的是，疲劳前轨距为疲劳预加载 1 000 次后测得的轨距；疲劳后轨距为疲劳预加载结束 24 h 后测得的轨距。轨道高度变化测量分别在疲劳开始前和疲劳结束 24 h 后测量，测点位置及疲劳试验照片见图 6。

经过 300 万次疲劳荷载，灌注材料结构弹性轨枕轨道状态良好，轨枕块与套靴衔接部位用于密封和排气的混凝土覆盖层有脱落。对疲劳后试件中的混凝土短枕取出后查看，灌注材料整体性较好，未发现有压溃或破损现象，如图 7 所示。

表 6 展示出疲劳后轨距扩张量和轨枕顶面高度变化，通过 300 万次疲劳荷载以后，轨距扩大 4 mm。



图 6 改造后轨道疲劳测试现场及测试点示意
Figure 6 Schematic diagram of the post-retrofitting track fatigue test site and test points



图 7 疲劳试验后轨道结构和灌注材料状态
Figure 7 Track structure and the grouting material status after the fatigue test

表 6 轨距扩张量

Table 6 Track gauge expansion

工况	内容	测试值/mm
疲劳前	轨距	1 336*
疲劳后	轨距	1 340
	轨距扩张量	4

*注：根据加载要求试验轨道组装后实测轨距为 1 336 mm。

经过 300 万次疲劳荷载后，灌注材料结构弹性轨枕轨道产生一定沉降，具体变化如表 7、表 8 所示。轨枕块内侧有一定的上升，外侧产生下降，其中 1 号

表 7 1 号轨枕顶面高度变化(填充孔隙 2 mm)

Table 7 Change in height of top surface of sleeper No. 1 (filled gap: 2 mm)

工况(1 号轨枕)	测点 4/mm	测点 5/mm	测点 6/mm
疲劳前	6.20	6.39	5.25
疲劳后	6.50	6.73	5.20
变化量	0.30	0.33	-0.05

表 8 4 号轨枕顶面高度变化(填充孔隙 10 mm)

Table 8 Change in top surface height of sleeper No. 4 (filled gap: 10 mm)

工况(4 号轨枕)	测点 1/mm	测点 2/mm	测点 3/mm
疲劳前	5.39	5.58	6.80
疲劳后	5.40	5.50	7.31
变化量	0.01	-0.08	0.51

轨枕内侧测点升高 0.05 mm, 外侧测点下降 0.30 mm 和 0.33 mm。4 号轨枕内侧测点升高 0.08 mm, 外侧测点下降 0.51 mm 和 0.01 mm。

3.3 试验结论

通过对灌注材料结构弹性轨枕轨道进行疲劳试验以及疲劳前后的刚度变化试验。经过 300 万次疲劳试验, 灌注材料结构弹性轨枕轨道件状态完好, 灌注材料未发现破坏情况。疲劳前后轨道静刚度变化为 17.9%, 满足 TB/T3396.4—2015、TB/T 3515.4—2018 中不大于 20% 的要求, 轨道轨距扩张量为 4 mm, 满足 TB/T 3515.2—2018 中不大于 6 mm 要求, 轨道下沉为 0.18~0.27 mm。

4 结论

针对既有弹性短轨枕轨道因长期运营引发的空吊病害问题, 提出了一种新型的治理改造方法。通过材料试验与施工验证, 得到以下主要结论。

1) 研究提出的新型弹性短轨枕空吊病害治理方法, 工艺简便、修复高效, 能有效填充空吊区域, 提升轨道耐久性和力学性能, 相比传统更换短轨枕或重浇整体道床方案, 可降低工程造价约 80%。

2) 病害治理改造后的弹性短轨枕竖向静刚度由 21.15 kN/mm 增至 24.94 kN/mm, 变化率 17.9%, 满足不大于 20% 的要求; 经 300 万次疲劳加载后, 轨道结构及灌注材料状态完好, 无破坏, 轨距扩张量 4 mm、轨道下沉 0.18~0.27 mm, 均符合相关标准限值。

研究成果为既有轨道病害治理提供了可靠的科学依据和技术支撑, 也为轨道运营维护单位提供了高效、低成本的修复方案, 具有良好的工程应用前景。

参考文献

- [1] 王海峰. 地铁运营线路弹性短轨枕改造大修技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2022(1): 148-152.
Wang Haifeng. Research on reconstruction and overhaul technology of elastic short sleeper in metro operation line[J]. Railway construction technology, 2022(1): 148-152.
- [2] 刘道通, 谭大正, 韩朝霞, 等. 地铁短轨枕整体道床振动噪声问题分析及治理[J]. 都市快轨交通, 2025, 38(4): 85-91.
Liu Daotong, Tan Dazheng, Han Zhaoxia, et al. Vibration and noise control of short-sleeper monolithic trackbed in metro systems: analysis and mitigation[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(4): 85-91.
- [3] Zhu J Y, Thompson D J, Jones C J C. On the effect of unsupported sleepers on the dynamic behaviour of a railway track[J]. Vehicle system dynamics, 2011, 49(9): 1389-1408.
- [4] 张大伟, 王开云, 翟婉明, 等. 重载铁路轨枕空吊对轮轨动力相互作用的影响研究[J]. 振动与冲击, 2017, 36(18): 1-7.
Zhang Dawei, Wang Kaiyun, Zhai Wanming, et al. Effect of unsupported sleepers on the wheel/rail dynamic interaction on heavy-haul railway lines[J]. Journal of vibration and shock, 2017, 36(18): 1-7.
- [5] 高莹, 赵振航. 轨枕局部空吊对轨道结构力学性能的影响分析[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(2): 54-57.
Gao Ying, Zhao Zhenhang. Analysis of the influence of local sleeper hanging on the mechanical performance of track structure[J]. Railway standard design, 2019, 63(2): 54-57.
- [6] 牛留斌, 杨静静, 刘丙强, 等. 非对称轨枕空吊对钢轨力学行为影响规律研究[J]. 中国铁道科学, 2023, 44(6): 67-79.
Niu Liubin, Yang Jingjing, Liu Bingqiang, et al. Study on the influence law of asymmetrically unsupported sleeper rail mechanical behavior[J]. China railway science, 2023, 44(6): 67-79.
- [7] 郭积程. 武汉地铁 1 号线弹性短轨枕轨道病害及整治技术研究[J]. 现代城市轨道交通, 2016(6): 57-60.
Guo Jicheng. Study of track defect on resilient short sleeper and remediation technology on Wuhan metro line 1[J]. Modern urban transit, 2016(6): 57-60.
- [8] 李卫. 城市轨道交通线路弹性短轨枕轨道改造方案优化[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(12): 128-130.
Li Wei. Optimum track reconstruction plan for the elastic short sleeper of urban rail transit[J]. Urban mass transit, 2018, 21(12): 128-130.
- [9] 易勇, 罗川萍, 李群. 弹性短轨枕在武汉地铁应用中的问题及解决方法[J]. 都市快轨交通, 2017, 30(6): 79-83.
Yi Yong, Luo Chuanping, Li Qun. Problems and solutions: application of elastic short sleeper track in Wuhan metro[J]. Urban rapid rail transit, 2017, 30(6): 79-83.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [11] 国家铁路局. 高速铁路扣件系统试验方法第 4 部分: 组装疲劳性能试验: TB/T 3396.4—2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
National Railway Administration. Test methods for fastening systems of high-speed railway—part 4: test of fatigue performance of fastening assembly: TB/T 3396.4—2015[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2015.
- [12] 国家铁路局. 弹性支承块式无砟轨道部件第 4 部分: 块下垫板: TB/T 3515.4—2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.
National Railway Administration. Low vibration track components-part 4: block pad: TB/T 3515.4—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2019.

(编辑: 傅依萱)