

# 交通世界

TRANSPOWORLD

ISSN 1006-8872

CN 11-3723/U

主管：交通运输部 主办：交通运输部科学研究院 出版：交通运输科技传媒（北京）有限公司

2020年8月 上  
第22期（总第544期）

国家级学术期刊

中国核心期刊（遴选）数据库全文收录

中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)全文收录

中国学术期刊网络出版总库全文收录

中文科技期刊数据库全文收录

ISSN 1006-8872



定价：RMB 20.00



# 弹性轨枕垫在重载铁路中的应用

董惠定, Ferdinand Pospischil, Harald Loy  
(格士纳材料(北京)有限公司, 北京 100000)

**摘要:** 道砟是上部结构中最薄弱的环节, 通过安装轨枕垫可以显著减少道砟捣固工作, 同时大幅提高线路可用性。结合当前我国铁路结构部件状况, 并引入轨道弹性部件的概念, 通过对现场测量结果以及弹性轨枕地段和普通轨枕地段的对比, 证明在轨道上部结构使用轨枕垫, 可增加重载铁路网络轨道系统的耐久性并降低其全寿命周期成本。

**关键词:** 道砟; 弹性轨枕; 轨道部件; 轨道稳定性

**中图分类号:** U213.2.2

**文献标识码:** B

## 0 引言

近年来, 我国重载铁路网络正在迅猛增长。总里程653km的大秦铁路(运煤专线)是将煤炭由西部(山西、陕西和内蒙古自治区)运输到东部(我国最大的煤炭出口港口城市秦皇岛)的主要通道(见图1)。这条轴重25t的双线电气化铁路于1992年12月开通, 近几年的总运量可达4.5亿t/年。为了支持如此高的运量, 该铁路采用更宽的路基和强度更高的钢轨(75kg/m), 并进行了其他必要的调整。大秦铁路的技术符合国际标准, 是我国首条使用微型计算机集中交通控制系统和光纤通信系统的重载铁路。该铁路中实现的技术突破, 使我国在重载铁路运输领域取得了实质性的进展。

上部结构部件损坏和磨损会降低线路的可用性, 加大维护需求并提高运营成本。大秦铁路如此高的运输频率, 要求货运线路运营单位使用更加耐用的线路上部结构。



图1 正在行驶的大秦运煤专线列车

由于重载货运线运量巨大, 道砟毁坏很常见, 从而导致重要的上部结构部件损坏。例如, 引起弹条断裂和轨枕开裂等(如图2所示)。如果道砟保持完好无损, 整个系统将维持较高的质量, 同时降低诸如钢轨和轨枕等轨道部件受到的应力。



图2 普通混凝土轨枕导致的道砟破碎、弹条断裂和轨枕损坏

## 1 工程概况

为验证弹性轨道结构的优势, 预先选定的弹性轨枕试铺地段需涵盖各种下部结构的工况(路基/隧道/桥梁)。因此, 太原铁路局于2015年和2016年分别选择在大秦重载铁路重车线和空车线的两个区段安装聚氨酯轨枕垫的弹性轨枕。该试铺段根据现场条件选择弹塑性SLB2210G和弹性略高的SLB1510G两种弹性轨枕垫, 铺设弹性轨枕区段总长1.46km, 里程为KM296+700—KM298+160。其中, 重车线区段的下部结构工况为: 坡度12‰, 包含一条曲线路基(R=700m, L=760.49m), 三座桥梁(总长375.9m)和三

条隧道(总长277m)。

## 2 弹性轨道结构特点

弹性轨枕安装后14个月累计运量总重达5.19亿t。在此期间, 普通轨枕段已进行两次集中维修并捣固, 而加垫弹性轨枕段则未进行任何捣固或维修<sup>[1]</sup>。除此之外, 在弹性轨枕段也未发现任何其他病害, 例如轨枕失效或弹条断裂、道床翻白或轨枕空吊。轨道质量和几何形位始终维持在较高水平。在空车线纵向高低的标准偏差在KM283 700和KM285 000之间安装了弹性轨枕垫, 定期测量的轨检车数

收稿日期: 2019-12-17

作者简介: 董惠定(1981—), 男, 浙江奉化人, 工程师, 主要研究方向为有砟轨道弹性。

Ferdinand Pospischil(1986—), 男, 博士, 教授, 因斯布鲁克大学智能交通系统工作站博士后研究员, 主要研究方向为轨道稳定性和轨枕垫领域。

Harald Loy(1974—), 男, 博士, 教授, 因斯布鲁克大学智能交通系统工作站博士后研究员, 主要研究方向为弹性轨道应用的模拟、实验室测试和现场测量。

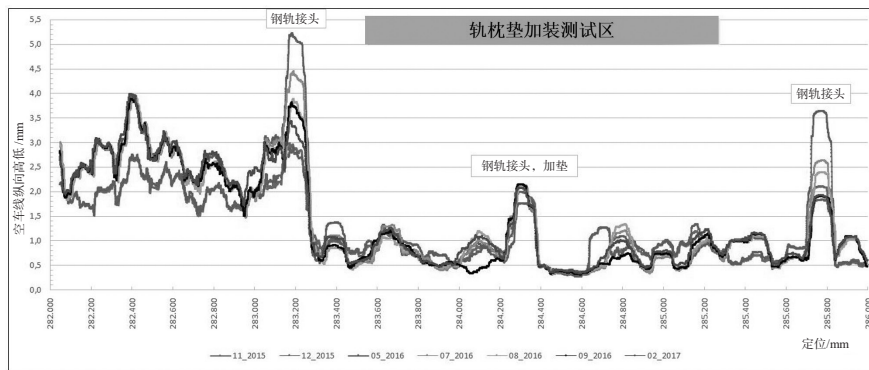


图3 轨检车数据

据如图3所示。需要注意的是，钢轨接头并未优化，即使在这些热点区段，轨道质量劣化率相较于未加垫的普通轨枕段低很多。

### 3 现场测量结果

除了这一持续采集的轨检车数据外，北京交通大学也进行了线上测量，并且检查了上部结构部件<sup>[2]</sup>，整体轨道质量显示良好（两年后质量依然良好），未发现任何轨枕、弹条、道砟或其他轨道部件缺陷。

将弹性轨枕翻转检查弹性轨枕底部的道砟状态（图4），可以发现，弹性轨枕与道砟的接触面积最高达30%~35%，正是由于轨枕垫的弹塑性材料属性才能实现轨枕底部与道砟的高接触面积，使道砟可以充分地嵌入轨枕垫中，而且未发现任何道砟粉化的情况。对比之下，未加垫的普通轨枕区段的道砟则显示出损坏和粉化迹象。仔细观察弹性轨枕下方道砟的质量，再次验证了采用弹性轨枕垫后不会出现道砟损坏或磨损。



图4 翻转的弹性轨枕显示带有道砟印记的高接触面积

### 4 增加道床横向阻力

道砟嵌入轨枕垫中可以改善轨道横向稳定性，特别是在成本高昂的宽路基区域。要量化这种稳定性，道床横向阻力和纵向阻力是决定性因素。在现场测试过程中，将单个轨枕与钢轨分离，并推向侧面或轨道方向，同时记录所需的作用力和位移。为便于对比，比较了轨枕位移2mm时所需的作用力值。在此测量中，使用轨枕垫可以将道床横向阻力提高6%（见图5），将纵向阻力提高5%（见图6）。

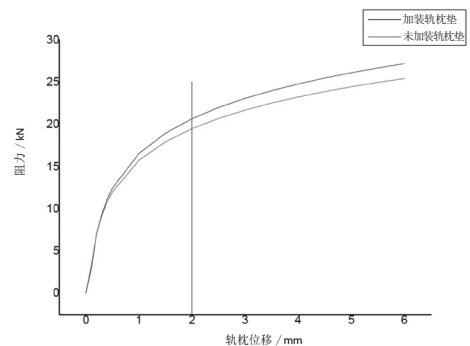


图5 平均道床横向阻力（单位：kN/mm）

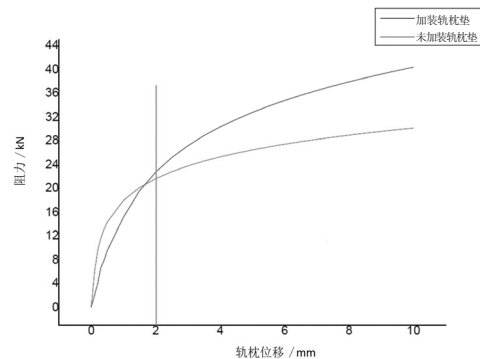


图6 平均道床纵向阻力（单位：kN/mm）

该趋势与重载铁路应用中的其他试验段结果相同，即大多数情况下弹性轨枕的纵横向阻力要优于普通轨枕。

据太原铁路局工务处使用报告显示：通过对轨道几何形位的全面统计和分析，轨道弹性明显提升，有效降低了列车通过对钢轨、轨枕和道床的冲击力，道砟得到适当保护，同时维持了轨道几何形位，改善了轨道质量，且降低了维护成本。

### 5 结语

在大秦重载铁路安装 SLB2210G 和 SLB1510G 类型的聚氨酯轨枕垫后，养护维修工作大幅减少，不仅可以节省成本，还可以提高线路可用性。截至目前，该线路通过总重已超过 8 亿 t，采用轨枕垫的弹性轨枕区段仍无需任何捣

（下转第38页）

强度标准值和弯拉强度标准值。

$$f_r = 1.87 f_{sp}^{0.87} \quad (6)$$

$$f_{sp} = \overline{f_{sp}} - 1.04 S_{sp} \quad (7)$$

式(6)~式(7)中: $f_r$ 为弯拉强度标准值, $f_{sp}$ 为劈裂强度标准值。

路面结构几何尺寸及力学参数调查结果显示:孙文东路水泥路面板厚度为27.0cm,弯拉强度标准值5.0MPa,弯拉弹性模量35GPa;基层顶面当量回弹模量为110MPa。

### 3 受力分析

本路面改善采用NovaPave罩面,如图1所示结构层。加铺沥青层后,旧混凝土板仍然是主要承载层,先求出旧面层的行车荷载应力和温度应力,然后考虑上面层的影响进行修正,得到最终的荷载应力和温度应力,取荷载应力修正系数 $\zeta_a=1.5$ ,温度应力修正系数 $\zeta'_a=0.66$ 。

标准轴载BZZ-100,最重轴载200kN,最大温度梯度取90℃/m,算得行车荷载疲劳应力 $\sigma_{pr}=3.3$ MPa,最重轴载在临界荷位处的最大荷载应力 $\sigma_{p,max}=2.4$ MPa。温度疲劳应力 $\sigma_{tr}=0.15$ MPa,最大温度应力 $\sigma_{t,max}=0.8$ MPa。

可靠度系数取 $\gamma_r=1.3$ ,验算得 $\gamma_r(\sigma_{pr}+\sigma_{tr})\leq 5.0$ MPa; $\gamma_r(\sigma_{p,max}+\sigma_{t,max})\leq 5.0$ MPa,均满足。

### 4 旧水泥路面处治方案

(1)板底脱空,采用M25水泥砂浆注浆,注浆压力控制在0.5~1.0MPa;

(2)破碎板一律捣碎重新浇筑;

(3)对于裂缝宽度小于3mm采用扩缝低压灌浆;大于3mm而小于15mm采用条带罩面;大于15mm进行全深度补块;

(4)接缝错台高度大于5mm一律磨平;

(5)接缝两侧弯沉差 $\geq 6$ , $K_j < 80$ 部分,切除边缘,重新植筋浇筑混凝土,重建接缝;

上述工序完成后,全路面铣刨20mm,然后按照前文所述工艺罩面。罩面沥青混合料层厚3cm,采用连续型半开级配,最大公称粒径9.5mm,控制剩余孔隙率12%左右。黏层油采用2mm嵌段共聚物—纳米复合改性超黏乳化沥青,与

铣刨后的旧水泥板一起组成复合式路面。

### 5 NovaPave超黏精罩面施工

NovaPave超黏精罩面施工应采用同步设备,黏层油洒布与混合料摊铺一体化施工,即先喷洒黏层油,紧跟着摊铺混合料。要求混合料的摊铺温度控制在150~170℃之间,保证足够的热量使改性乳化沥青破乳,使水分迅速汽化蒸发。

混合料的生产,先在拌和楼热料仓进行生产配合比设计,生产级配应接近目标配合比。按目标配合比的最佳油石比进行室内试验和试拌验证,以确保满足技术要求,最终确定的油石比应控制在最佳油石比 $\pm 0.3\%$ 范围内,否则应重新进行配合比设计。

黏层油喷洒温度控制在60~80℃之间,喷洒量控制在0.8~1.2L/m<sup>2</sup>,必须精确计量以保证洒布均匀,摊铺机行驶速度保持在8~10m/min。碾压采用双钢轮压路机静压两遍,行走速度控制在4km/h,初压温度不低于120℃,终压温度不低于90℃,碾压完成后,路表温度低于50℃可开放交通。

### 6 结论

(1) NovaPave超黏精罩面施工造价约100元/m<sup>2</sup>,与常规沥青混合料罩面10cm厚度的造价相当,使用效果相当,但是避免了路面高程提高,规避了由此带来的一系列问题。

(2) 如果用于旧沥青路面的罩面,可适用于各等级公路、城市道路;如果用于水泥路面罩面,适用于重及以下交通等级路面。

### 参考文献:

- [1] 栾立军. 温度对超薄罩面磨耗层与旧路面黏结性能的影响研究[J]. 华东公路, 2016(2): 106-109.
- [2] 陈博. 沥青路面超薄罩面关键技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.
- [3] 周礼. 高黏结超薄磨耗层罩面技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.

(上接第34页)

固(而普通轨枕区段已捣固4次)。据北京交通大学开展的现场轨道测量显示,弹性轨枕垫对轨道稳定性具有积极作用,可使道床阻力值分别增加5%(横向)和6%(纵向)。在轨道上部结构使用轨枕垫,可增加重载铁路网络轨道系统的耐久性,并降低其全寿命周期成本。

### 参考文献:

- [1] 肖宏. 大秦重载铁路铺设格士纳弹性轨枕静动态测试试验报告[R]. 北京: 北京交通大学, 2017.

- [2] 太原铁路局工务处. 弹性轨枕使用报告[R]. 太原: 太原铁路局, 2017.
- [3] Loy H, Augustin A. 高强度低轨枕垫推进有碴重载铁路轨道的极限[J]. 国际铁路工程, 2015(12): 3-6.
- [4] Quirchmair M, Froberg E, Loy H. 绝缘钢轨接头: 在高维护轨道段提高寿命和性能的解决方案[J]. 全球铁路评论, 2019(1): 58-61.
- [5] Bell C, Loy H, Pospischil F. 轨枕垫对改进铁路结构的作用[J]. 铁路学报, 2017(6): 8-11.