

文章编号:1003-1995(2018)07-0005-04

# 国内外弹性轨枕的研究与应用

尤瑞林, 刘伟斌, 仇鹏, 杜香刚

(中国铁道科学研究院集团有限公司 铁道建筑研究所, 北京 100081)

**摘要** 铺设弹性轨枕是减少有砟轨道结构道床养护维修工作量的一项重要技术措施, 国内外均对此开展了大量研究工作。国内外研究现状的总结分析表明: 弹性轨枕对于轨道的刚度均匀化、减少道床应力、减轻道床及下部基础的冲击效应具有一定的效果, 但铺设弹性轨枕的线路存在轨枕横向阻力降低、钢轨和轨枕振动加速度增大、道床不稳定、线路噪声增加等问题; 设计时枕下弹性垫板刚度应与轨道结构的整体受力统一考虑, 硬的轨下垫板与非常软的枕下弹性垫板组合使用可能会导致轨枕出现裂纹, 软的轨下垫板与硬的枕下弹性垫板组合为较合理的配置方式。总体来看, 弹性轨枕对于改善整个轨道结构弹性是有利的, 可在下部基础刚度较大的特殊区段使用。

**关键词** 轨道结构; 弹性轨枕; 枕下弹性垫板; 结构特点; 现场试验; 总结分析

**中图分类号** U213.3    **文献标识码** A    **DOI:** 10.3969/j.issn.1003-1995.2018.07.02

我国重载铁路和高速铁路正经历着快速发展的时期。轨道是铁路建设中重要的基础设施, 良好的轨道结构是铁路运营安全可靠、舒适高效的重要保证。我国铁路轨道结构分为无砟轨道和有砟轨道 2 大类型, 前者主要用于高速铁路和其他类型铁路的特殊区段(如长大隧道内)<sup>[1-2]</sup>。从铺设的长度来看, 有砟轨道仍然是我国铁路的主要轨道结构形式。有砟轨道结构的主要优点是建设成本低、养护维修方便, 但同时也存在着养护维修工作量较大的缺点。有砟轨道结构及部件的养护维修工作的主要内容包括道床捣固清筛、钢轨打磨更换、扣件维修、轨枕更换等。其中道床捣固清筛是工务部门的一项重要工作, 耗费了大量的人力、物力和财力。

导致道床粉化、下沉等劣化现象的主要原因是轮轨动态荷载的反复作用。前期的相关研究<sup>[3]</sup>表明轮轨疲劳荷载会导致道床伤损快速发展, 直接影响道床的稳定性和使用寿命。因此降低传递至道床内的动态轮轨荷载是延长道床养护维修周期的关键。目前, 国内外对于降低道床动态应力的措施主要有铺设道砟垫和铺设弹性轨枕 2 种。道砟垫的成本较高, 应用的范围较小, 而弹性轨枕是目前世界各国研究的热点。本文总结国内外对于弹性轨枕的研究和应用情况, 从而为我国有

砟轨道结构技术发展提供借鉴。

## 1 弹性轨枕轨道结构特点

### 1.1 弹性轨枕轨道结构概况

铺设弹性轨枕的有砟轨道结构如图 1 所示。轨道结构包括钢轨、扣件、轨枕、枕下弹性垫板(Under Sleeper Pad, USP)以及有砟道床。相对于传统有砟轨道结构, 弹性轨枕有砟轨道结构仅在轨枕底部增设了枕下弹性垫板。

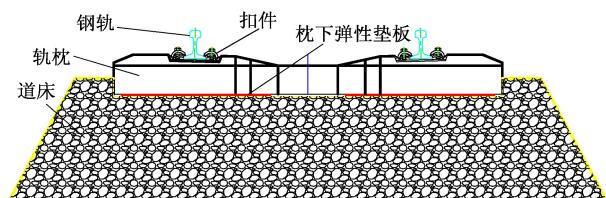


图 1 铺设弹性轨枕的有砟轨道结构

枕下弹性垫板在轨枕底面有全部粘贴和仅在钢轨支承部位的有效承载范围内粘贴 2 种方式。弹性轨枕用枕下弹性垫板通常采用橡胶、聚氨酯或者乙烯-醋酸乙烯酯共聚物(Ethylene-vinyl acetate copolymer, EVA)发泡的材料制作。枕下弹性垫板制作完成以后与轨枕粘连形成弹性轨枕有 2 种方式:①直接粘贴在成品轨枕底面;②在轨枕生产过程中, 在混凝土硬化前粘贴在轨枕底面<sup>[4]</sup>。枕下弹性垫板通常由 3 层组成:中间为弹性层, 与道砟接触的为保护层, 与轨枕底面接触的为黏结层。也有的枕下弹性垫板将其中的 2 层合二为一。

对于铺设弹性轨枕的有砟轨道结构, 由于在轨枕

收稿日期: 2018-04-10; 修回日期: 2018-05-30

基金项目: 中国铁路总公司科技研究开发计划(2015G004-A, 2015G004-C, Z2016-028)

第一作者: 尤瑞林(1986—), 男, 副研究员, 硕士。

E-mail: youruilin0731@126.com

底部额外设置了 1 层弹性层,因此轨道结构的受力特征有所改变,以下就枕下弹性垫板对轨道结构受力特征的影响开展相关分析。

## 1.2 枕下弹性垫板对轨道结构受力特征的影响

### 1.2.1 对荷载分布范围的影响

设置枕下弹性垫板可增加轮轨相互作用时荷载沿钢轨纵向的分布长度。这主要是由于枕下弹性增加,钢轨在垂向荷载作用下的位移增大,从而使得承受轮载的轨枕数量增加、枕底道床承受的动压应力减小。上述使用效果对延长道床使用寿命是有利的。普通有砟轨道结构及铺设弹性轨枕有砟轨道结构在轮轨相互作用时荷载分布范围的对比如图 2 所示。

### 1.2.2 对轨枕受力特征的影响

国际铁路联盟 UIC 曾针对不同类型的轨下垫板和枕下弹性垫板的组合进行了理论计算分析,主要研究不同工况下设置枕下弹性垫板对轨枕静态和动态受力特征的影响。计算结果见表 1<sup>[5]</sup>。多种轨下垫板与枕下弹性垫板的组合导致轨枕的静态和动态弯矩值不

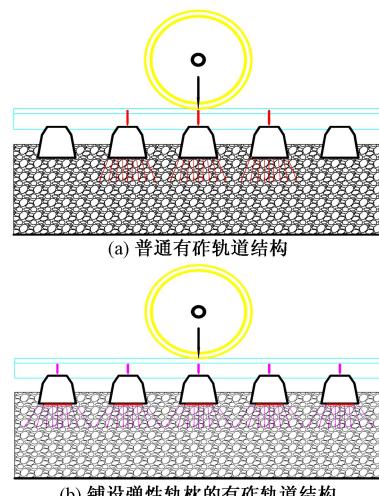


图 2 轮轨相互作用时荷载的分布范围示意

同。硬的轨下垫板与非常软的枕下弹性垫板组合使用可能会导致轨枕出现裂纹,软的轨下垫板与硬的枕下弹性垫板组合使用可允许通过更大轴重的列车,为较合理的配置方式。

表 1 设置枕下弹性垫板对轨枕受力特征的影响

| 轨道类型          | 轨下垫板刚度/(kN/mm) | 枕下弹性垫板刚度 | 静态弯矩   | 动态弯矩 | 使用建议  |
|---------------|----------------|----------|--------|------|-------|
| 普通有砟轨道        | 600            | 无        | 参考基准   | 参考基准 | 参考基准  |
|               | 60             | 无        | 轻微减小   | 减小   | 可采用   |
|               | 600            | 非常软      | 显著减小   | 显著增加 | 应避免   |
| 铺设枕下弹性垫板的有砟轨道 | 60             | 非常软      | 减小最多   | 增加   | 不建议采用 |
|               | 60             | 软        | 较大程度减小 | 正常   | 推荐采用  |
|               | 600            | 硬        | 轻微减小   | 正常   | 可采用   |

## 2 瑞士铁路弹性轨枕应用情况

### 2.1 试验段的设置

弹性轨枕早在 20 世纪 80 年代就已经出现,国内外针对弹性轨枕都曾开展过相关研究和试用工作。在最近 10 年欧洲又重新开展弹性轨枕的试验研究。根据 UIC 弹性轨枕项目研究报告<sup>[5]</sup>,瑞士联邦铁路 SBB 于 2005 年在 Kiesen/CH 建立了 1 个现场试验段。该试验段分为 6 个区间,其中 5 个区间(USP1—USP5)铺设了不同厂家提供的 5 种材料的枕下弹性垫板,每种材料的枕下弹性垫板铺设长度均为 216 m;另外一个区间(Ref.)为没有铺设枕下弹性垫板的对比区间,长度亦为 216 m。这个试验段按照 UIC 铁路分级标准为 D4 级,最大轴重为 22.5 t。

### 2.2 试验段内弹性轨枕应用情况

#### 1) 轨道几何状态

SBB 采用轨道检测车检测了试验段内线路的几何

状态参数,其中不同区间线路扭曲和高低的测试结果见图 3。可以看出:铺设弹性轨枕的 5 个区间内线路轨道几何状态保持良好,优于普通轨枕区间。

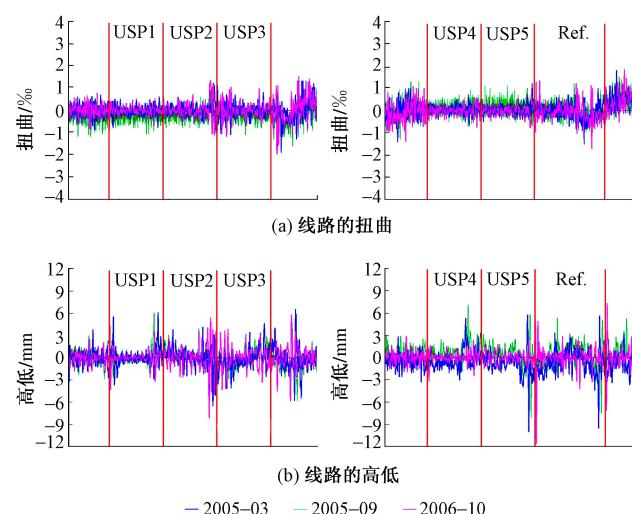


图 3 不同区间线路扭曲和高低的测试结果

### 2) 垂向位移

采用SBB位移检测车测量钢轨垂向位移,测试过程中线路承受20t轴重的垂向荷载。由测试结果可知:铺设较软的枕下弹性垫板地段(USP5)钢轨垂向位移约为1.70mm,其他弹性轨枕地段钢轨垂向位移平均值在0.80~0.85mm,而普通轨枕地段钢轨垂向位移平均值为0.70mm。弹性垫板地段钢轨的垂向位移比普通轨枕地段更加均匀。

### 3) 轨枕横向阻力

测试结果表明<sup>[6]</sup>,现场试验段内弹性轨枕横向阻力低于普通轨枕横向阻力,而且枕下弹性垫板的刚度越小,横向阻力越小(见图4)。需要说明的是,轨枕横向阻力不仅跟道床状态、轨枕的结构设计等因素有关,而且与枕下弹性垫板的自身特性有关。

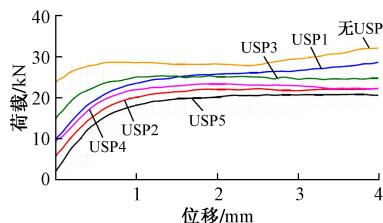


图4 轨枕横向阻力现场测试结果

### 4) 振动及噪声测试

除了改进轨道几何状态和延长道床使用寿命外,弹性轨枕其他重要的用途是降低基础荷载振动。UIC的研究结果<sup>[5]</sup>表明:弹性轨枕有效的减振频率范围是40Hz以上,降低的振动水平为8~15dB。在SBB现场测试过程中,还得到所有类型枕下弹性垫板的共振频率范围均在25~40Hz,在该频率范围内试验段弹性轨枕地段所产生的基础振动加速度比普通轨枕地段要高。

关于弹性轨枕对空气噪声的影响,目前大部分测试结果表明,在列车通过弹性轨枕轨道结构时产生的空气噪声有少量的增大;SBB现场测试结果显示噪声增大约5dB<sup>[5]</sup>。

## 3 澳大利亚铁路弹性轨枕应用情况

2011—2012年澳大利亚南威尔士州Austimer铁路,在钢轨接头处铺设了弹性轨枕,目的是减轻列车对钢轨接头处轨道结构的冲击效应。该线路运行30t轴重重载列车,现场铺设了12根弹性轨枕,铺设时间为2011年8月,此后进行了现场动态测试和跟踪观测。测试结果(见图5<sup>[7]</sup>)表明:弹性轨枕对于改善轨道结构弹性、道床及路基的高频振动是有效果的,但同时增大了钢轨及轨枕的振动。

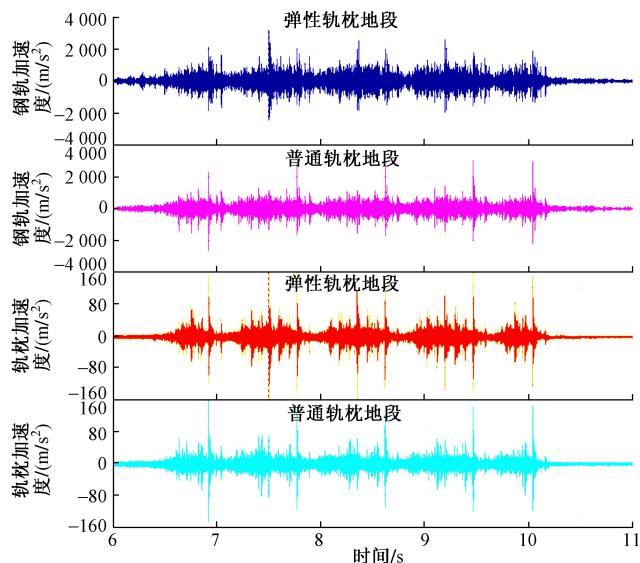


图5 轨道结构振动加速度测试结果

## 4 我国弹性轨枕应用情况

我国自20世纪80年代初开始研究在混凝土轨枕下设置弹性垫板,并先后在沈阳、北京、上海铁路局干线上及攀枝花重载矿山专用线钢轨接头部位进行了试铺试验,取得了一定的成果<sup>[8-10]</sup>。在此基础上于1995年制定了TB/T 2629—1995《铁路混凝土轨枕枕下弹性垫板》标准。我国从2011年开始研究30t轴重成套轨道技术,依托新建山西中南部铁路通道(瓦日线),在重载铁路隧道内铺设新型重载弹性轨枕,并进行了实车试验<sup>[3]</sup>。试验结果表明:

1)隧道内弹性轨枕地段轨道刚度明显降低,且均匀性较好;30t轴重试验列车不同运行速度下弹性轨枕地段钢轨垂向位移最大值1.94mm,轨枕垂向位移最大值1.87mm,可显著提高轨道结构弹性。

2)隧道内弹性轨枕与普通轨枕的单根横向静态阻力平均值分别为10.5kN及11.3kN,弹性轨枕的单根横向静态阻力略低于普通轨枕。30t轴重试验列车不同运行速度下弹性轨枕地段轨枕动态横向位移最大值0.24mm,普通轨枕地段轨枕动态横向位移最大值0.10mm,弹性轨枕的动态横向位移大于普通轨枕。从量值来看,普通轨枕地段及弹性轨枕地段轨枕动态横向位移均较小,可满足重载铁路稳定性要求。

3)弹性轨枕地段钢轨加速度及轨枕加速度均高于普通轨枕地段,弹性轨枕地段道床加速度小于普通轨枕地段。弹性轨枕对于道床具有减振效果,但对于隧道基底的减振效果不明显。

## 5 结论

根据国内外弹性轨枕的研究和应用情况,可总结

出以下 3 点：

1) 弹性轨枕自 20 世纪 80 年代前后, 在国内外都已经开展了相关研究工作, 弹性轨枕对于轨道的刚度均匀化、减少道床应力、减轻道床及下部基础的冲击效应具有一定的效果。但是弹性轨枕仍存在轨枕横向阻力降低、钢轨和轨枕的振动加速度增大、道床不稳定、线路噪声增大等问题。

2) 结构设计时, 枕下弹性垫板的刚度应与轨道结构的整体受力统一考虑。国外的研究分析结果表明, 硬的轨下垫板与非常软的枕下弹性垫板组合使用可能会导致轨枕出现裂纹; 软的轨下垫板与硬的枕下弹性垫板组合为较合理的配置方式。

3) 总体来看, 弹性轨枕由于在轨枕底部增加了一个弹性层, 对于改善整个轨道结构的弹性是有利的, 可作为轨道结构特殊区段的处理措施, 如既有线改造中道床厚度不足、下部基础过渡刚度差异较大等工况。

#### 参 考 文 献

- [1] 王继军, 尤瑞林, 杜香刚, 等. 重载铁路隧道内无砟轨道结构选型分析 [J]. 铁道建筑, 2013, 53(5): 132-136.
- [2] 尤瑞林, 王继军, 杜香刚, 等. 重载铁路弹性支承块式无砟轨道轨距保持能力计算分析 [J]. 铁道建筑, 2015, 55(3):

110-114.

- [3] 尤瑞林, 范佳, 杜香刚. 重载铁路有砟轨道用弹性轨枕枕下垫层静刚度试验方法研究 [J]. 铁道建筑, 2014, 54(11): 136-139.
- [4] JAYASURIYA C, INDRARATNA B, NIMBALKAR S. Analysis of the Performance of Under Sleeper Pads—A Critical Review [C]//International Conference on Geotechnical Engineering. Colombo, Sri Lanka: Sri Lankan Geotechnical Society, 2015: 601-604.
- [5] IIC.Under Sleeper Pads [M]. Vienna: International Union of Railways, 2009.
- [6] IIC.Measurement Report About a New Under Sleeper Pads Test Track in a Curve [M]. Paris: International Union of Railways, 2013.
- [7] KAEWUNRUEN S, AIKAWA A, REMENNICKOV A M. Vibration Attenuation at Rail Joints through Under Sleeper Pads [J]. Procedia Engineering, 2017, 189: 193-198.
- [8] 张雷. 弹性轨枕有砟轨道的基础试验与动力分析 [D]. 成都: 西南交通大学, 2005.
- [9] 陈俊波. 弹性轨枕在既有线提速改造中的应用研究 [J]. 铁道勘测, 2008, 34(5): 88-91.
- [10] 韩义涛, 姚力, 王瑤. 胶济线涵顶铺设弹性轨枕的动力分析研究 [J]. 铁道建筑, 2007, 47(9): 82-84.

## Research and Application of Elastic Sleeper in China and Abroad

YOU Ruilin, LIU Weibin, QIU Peng, DU Xianggang

(Railway Engineering Research Institute, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China)

**Abstract** Laying the elastic sleeper is an important technical measure to reduce the ballast bed maintenance work of ballasted track structure, a large amount of research work has been carried out around the world. The summary analysis of research status shows that the elastic sleepers has some effect on the homogeneity of the track stiffness, reducing the stress of the ballast bed, and alleviating the impact of the ballast bed and the lower base, however, the railway line laying elastic sleepers has the problems of lowering the lateral resistance of the sleeper, increasing the vibration acceleration of the rails and sleepers, instability of the ballast bed, and increase of line noise. So the stiffness of under sleeper pad (USP) should be in consideration of the overall force of the track structure in the design. The combination of a hard rail pad with a very soft USP may cause cracks in the sleeper, soft rail pads combining with a stiff USP is a more reasonable selection. Overall, the elastic sleeper is beneficial for improving the elasticity of the entire track structure and can be used in special section with large lower base stiffness.

**Key words** Track structure; Elastic sleeper; Under-sleeper pad (USP); Structural characteristics; Field test; Summary and analysis

(责任编辑 葛全红)