

铁路桥梁支座更换前后运营性能影响研究

吴众尧

北京铁科首钢轨道技术股份有限公司, 北京

收稿日期: 2026年3月9日; 录用日期: 2026年3月29日; 发布日期: 2026年4月9日

摘要

随着我国经济发展对铁路运输能力要求不断提高, 既有铁路扩能运输改造进程不断推进, 不断提高的列车轴重给既有铁路桥梁带来了一些新的病害, 尤其是支座出现了耐久性退化、承载力不足以及失效的病害, 并且大多数情况下均采用更换支座的方式来改善重载铁路桥梁的运营性能。本文以某铁路桥梁的病害板式橡胶支座为研究对象, 采用顶升法将病害板式橡胶支座更换为球形钢支座, 并对更换前后铁路桥梁的跨中横竖向振幅及横竖向加速度等参数进行了对比, 研究了支座病害对铁路桥梁运营性能的影响。研究表明: 钢支座的横向限位功能较板式橡胶支座更为优越; 板式橡胶支座更换为钢支座后, 支座的横向位移有所减小, 同时桥跨主梁的跨中横向振幅及横向加速度均有不同程度的降幅; 支座更换对主梁竖向振幅及竖向加速度等竖向动力参数影响较小。

关键词

混凝土筒支梁, 支座病害, 支座更换, 运营性能

Study on the Impact of Operational Performance before and after Railway Bridge Bearing Replacement

Zhongyao Wu

Beijing Tiekou Shougang Railway Technology Co., Ltd., Beijing

Received: March 9, 2026; accepted: March 29, 2026; published: April 9, 2026

Abstract

As China's economic development imposes higher demands on railway transportation capacity, the process of capacity expansion and transportation renovation for existing railways continues to advance. The increasing axle loads of trains have introduced new challenges to existing railway

bridges, particularly in the form of bearing issues such as durability degradation, insufficient load-bearing capacity, and functional failure. In most cases, bearing replacement is adopted to improve the operational performance of heavy-haul railway bridges. This study focuses on a specific railway bridge where the deteriorated plate rubber bearings were replaced with spherical steel bearings using the jack-up method. A comparative analysis was conducted on parameters such as mid-span transverse and vertical amplitudes and accelerations before and after the replacement to investigate the impact of bearing defects on the operational performance of railway bridges. The results indicate that the lateral restraint function of steel bearings is superior to that of plate rubber bearings. After replacing the plate rubber bearings with steel bearings, the lateral displacement of the bearings decreased, and the mid-span transverse amplitude and acceleration of the main girder were reduced to varying degrees. However, the bearing replacement had minimal impact on vertical dynamic parameters such as vertical amplitude and acceleration of the main girder.

Keywords

Simply Supported Concrete Beam, Bearing Defects, Bearing Replacement, Operational Performance

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国迅速发展的经济对原材料和矿产资源等大宗货物需求量的不断提高, 铁路扩能运输已变得尤为迫切。既有铁路线路扩能运输可采用增建新线、增加列车行车密度、提高列车轴重等主要技术措施来实现[1][2]。增建新线投资大、周期长、见效慢、且征地难度大; 而单纯依靠增加行车密度, 提高运输能力有限, 因此, 提高列车轴重就成为必然选择。

随着既有铁路线路的扩能改造与重载铁路的快速发展, 列车轴重、行车密度及牵引总质量均大幅度提高。列车轴重的不断提高, 使得中小跨径铁路桥梁受到铁路运输的影响最为显著, 荷载效应增大较多, 且加载次数也增多, 导致橡胶支座在铁路扩能运输改造后出现了一系列病害[3][4]。

占友年[5]通过对铁路干线淮南线、阜淮线中 138 座铁路桥梁病害支座进行了调查分析, 总结了其产生病害的原因, 并采用新型的早强高强支座灌浆砂浆, 对支座进行了维修, 保证了车辆的安全运营; 陈木增[6]对朔州工务段管辖范围内的 306 座铁路桥梁的支座使用情况进行了调研, 汇总了铸钢支座和盆式橡胶支座常见的病害, 并针对常见病害产生的原因提出了预防措施, 预防事故的发生。铁路桥梁支座常见病害主要由于支座本身的质量问题、支座安装偏差、后期支座养护不到位以及重载列车轴重不断增加等原因造成的[7]-[9]。对于病害较为严重的支座需要及时更换, 预防重大事故的发生。

本文以某铁路桥梁的病害板式橡胶支座为研究对象, 采用顶升法将病害板式橡胶支座更换为球形钢支座, 并对更换前后铁路桥梁的跨中横竖向振幅及横竖向加速度等参数进行了对比分析, 研究了支座病害对铁路桥梁运营性能的影响。

2. 工程概况

某铁路上行桥由 2 孔 24 m 超低高度预应力钢筋混凝土 T 梁和 2 孔 20 m 低高度预应力钢筋混凝土 T 梁组成, 孔跨布置为 $1 \times 20 \text{ m} + 2 \times 24 \text{ m} + 1 \times 20 \text{ m}$, 桥全长 103.71 m, 全桥位于直线上, 桥面坡度为

-3.8%。支座采用板式橡胶支座。该桥孔跨布置，如图 1 所示。

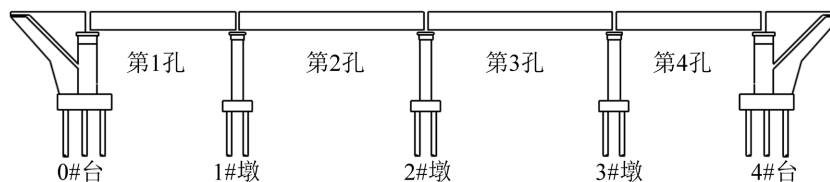


Figure 1. Span arrangement of the bridge

图 1. 桥跨布置

在《铁路桥梁建筑物劣化评定标准支座》(TB/T2820.3-1997)中，板式橡胶支座的劣化类型可分为裂纹、剪切超限、脱空以及钢板外露等，其具体的表现特征、危害及成因如下：

(1) 支座表面裂纹

① 表现特征

板式橡胶支座表面出现裂纹，如图 2 所示。



Figure 2. Cracking of plate rubber bearing

图 2. 板式橡胶支座开裂现象

② 表面裂纹病害危害

当表面龟裂裂纹未形成水平裂纹时，属于轻微劣化，不影响支座使用；当裂缝宽度大于 2 mm，水平裂缝长度大于相应边长 25% 时，表明支座严重老化，将危及行车安全。

③ 表面裂纹病害成因

在竖向力作用下，支座内薄钢板之间的橡胶体会发生压缩变形，而橡胶体会向侧向膨胀外凸，橡胶由于相应的拉伸变形而产生应力老化，从而形成了外表面的裂缝。尤其是大轴重列车反复作用下，会加速板式橡胶支座的开裂。

(2) 支座内部钢板外露

① 表现特征



Figure 3. Exposure of steel sheet inside the plate rubber bearing

图 3. 板式橡胶支座内部薄钢板外露现象

可由橡胶支座表面的裂纹中见到板式橡胶支座本体内部薄钢板，如图 3 所示。

② 支座内部钢板外露病害危害

支座钢板外露表明板式橡胶支座内局部黏结区黏结强度不足，支座无法通过橡胶与钢板之间的粘结力来传递钢板间的拉力，而钢板无法在保证板式橡胶支座的刚度及整体性，将危及行车安全。

③ 支座内部钢板外露病害成因

板式橡胶支座内埋的薄钢板与橡胶之间发生局部脱离造成钢板外露。

(3) 支座剪切超限

① 表现特征

板式橡胶支座顶面与底面之间发生倾斜，倾斜角度较大，如图 4 所示。



Figure 4. Shear overrun of plate rubber bearing
图 4. 板式橡胶支座剪切超限

② 支座剪切超限病害危害

支座剪切变形超限属于极严重支座病害，支座功能严重劣化，危及列车行车安全。

③ 支座剪切超限病害成因

当支座承受竖向荷载的同时，承受了较大的水平荷载，如极端温度引起主梁伸缩、重载列车在桥面刹车、重载列车蛇形运动过程中水平力过大等，则会发生较大的支座剪切变形，甚至有可能超过规范的限值或发生剪切破坏，给桥上行驶列车带来潜在的危險。

该铁路上行桥，由于支座病害将板式橡胶支座更换为球型钢支座，本次测试为支座更换前后的桥梁运营性能检验，试验孔为该桥更换支座的第 1 孔和第 4 孔(20 m 低高度预应力钢筋混凝土梁)。

3. 运营性能试验方案

3.1. 试验测试参数统计

该桥支座更换前后的具体测试内容，如表 1 所示。

Table 1. Bridge span test content

表 1. 桥跨试验内容

测试构件	位置	测试参数
主梁	第 1、4 孔	跨中横向振幅、竖向振幅、横向加速度、竖向加速度
支座	第 1、4 孔活动支座处	支座竖向位移、支座横向位移

3.2. 试验测点布置

根据试验测试内容，对该桥梁的试验测点进行布置，如图 5 所示。

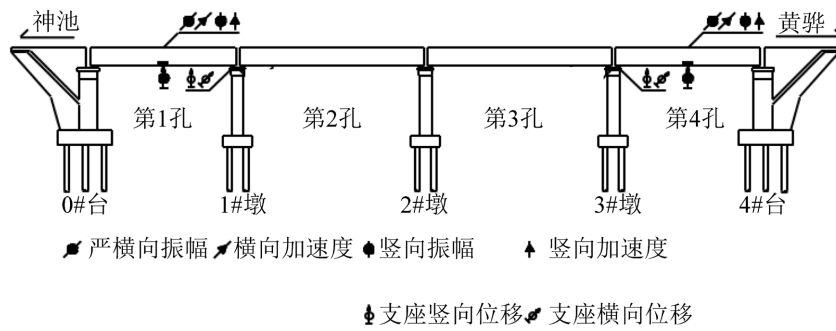


Figure 5. Layout of experimental measuring points
图 5. 试验测点布置

3.3. 试验测试车辆统计

各工况测试车辆及实测速度统计，如表 2 所示。

Table 2. Test vehicle statistics
表 2. 测试车辆统计表

测试孔跨	工况说明	采集数量(趟)	实测速度(km/h)
第 1 孔	支座更换前	85	63~77
	支座更换后	107	39~76
第 4 孔	支座更换前	119	32~76
	支座更换后	156	12、40~78

4. 支座更换前后运营性能影响分析

4.1. 桥跨结构横向振幅

在运营列车作用下，支座更换前后实测跨中横向振幅，如图 6 所示。测试结果图的横坐标为时间轴，0 点为支座更换时天窗点结束时刻，时间轴负值表示支座更换前，正值表示板式橡胶支座更换中及更换后。

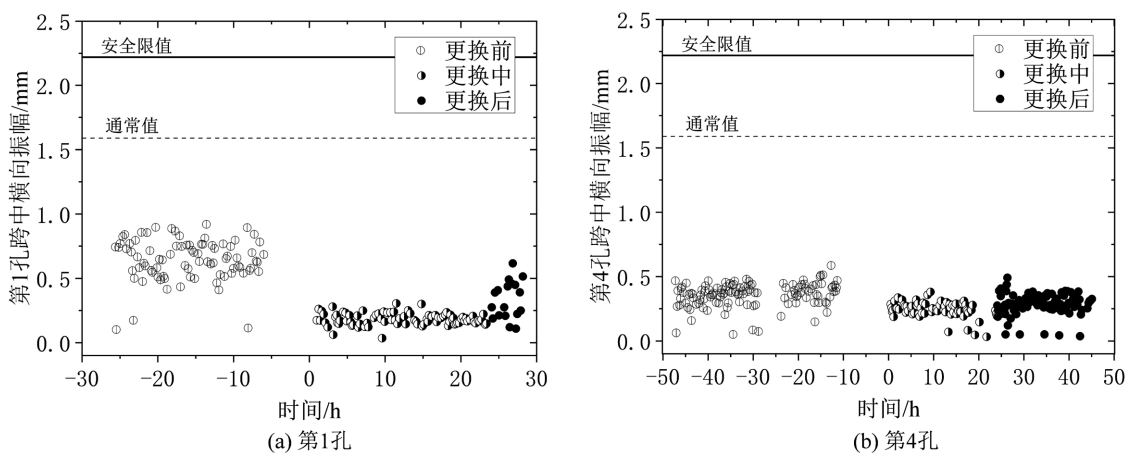


Figure 6. Relationship between transverse amplitude and time at midspan before and after bearing replacement
图 6. 支座更换前后跨中横向振幅与时间关系图

由图6可知,该桥在运营列车作用下,支座更换前后实测第1孔跨中横向振幅最大值分别为0.91 mm和0.62 mm,实测第4孔跨中横向振幅最大值分别为0.58 mm和0.40 mm;尽管该桥的实测跨中横向振幅在支座更换前后均满足《铁路桥梁检定规范》所规定的横向刚度通常值(Amax)5%要求(≤ 1.59 mm)和横向振幅安全限值[Amax]5%要求(≤ 2.22 mm),但支座更换后跨中横向振幅均有不同程度的降低,降低约20%~30%。

4.2. 桥跨结构横向加速度

在运营列车作用下,支座更换前后实测跨中横向加速度,如图7所示。

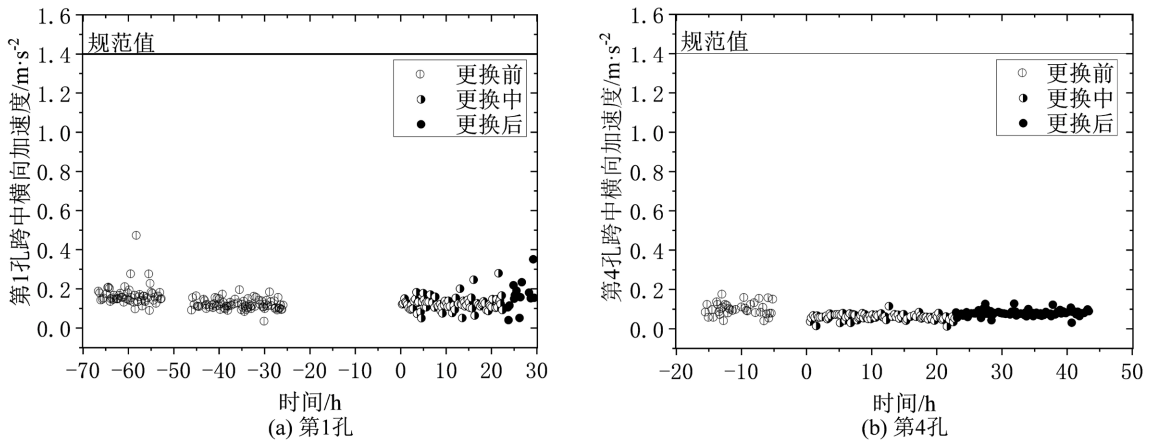


Figure 7. Relationship between transverse acceleration at midspan and time before and after bearing replacement
图7. 支座更换前后跨中横向加速度与时间关系图

由图7可知,该桥在运营列车作用下,支座更换前后实测跨中横向加速度第1孔跨最大值分别为0.47 m/s²和0.35 m/s²,第4孔最大值分别为0.17 m/s²和0.13 m/s²。实测横向加速度均满足《铁路桥梁检定规范》所规定的横向加速度限值要求(≤ 1.40 m/s²),且更换支座后均有不同程度的降幅。

4.3. 支座横向位移

在运营列车作用下,支座更换前后实测支座横向位移,如图8所示。

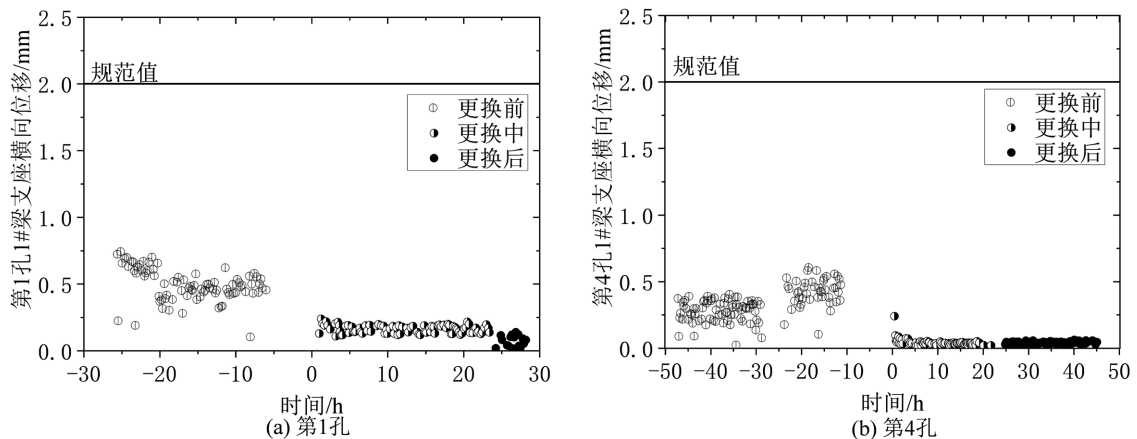


Figure 8. Relationship between lateral displacement and time of support before and after bearing replacement
图8. 支座更换前后支座横向位移与时间关系图

由图 8 可知, 该桥在运营列车作用下, 支座更换前后实测第 1 孔支座横向位移最大值为 0.74 mm 和 0.24 mm, 第 4 孔分别为 0.60 mm 和 0.24 mm。虽然更换前板式橡胶支座的横向位移也满足《铁路桥梁检定规范》的规定, 但是更换成钢支座后支座横向位移非常小, 说明钢支座的横向限位功能良好。

4.4. 桥跨结构竖向振幅

在运营列车作用下, 支座更换前后实测跨中竖向振幅, 如图 9 所示。

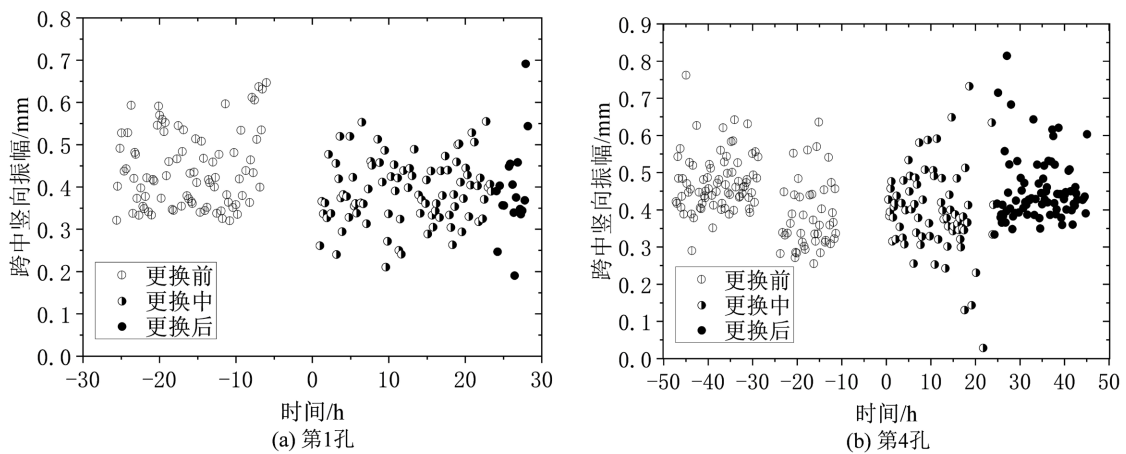


Figure 9. Relationship between vertical amplitude and time at midspan before and after bearing replacement
图 9. 支座更换前后跨中竖向振幅与时间关系图

由图 9 可以看出, 该桥在运营列车作用下, 支座更换前后实测跨中竖向振幅最大值第 1 孔分别为 0.65 mm 和 0.69 mm, 第 4 孔跨中分别为 0.76 mm 和 0.81 mm, 支座更换对该桥跨中竖向振幅的影响很小。

4.5. 桥跨结构竖向加速度

在运营列车作用下, 支座更换前后实测跨中竖向加速度, 如图 10 所示。

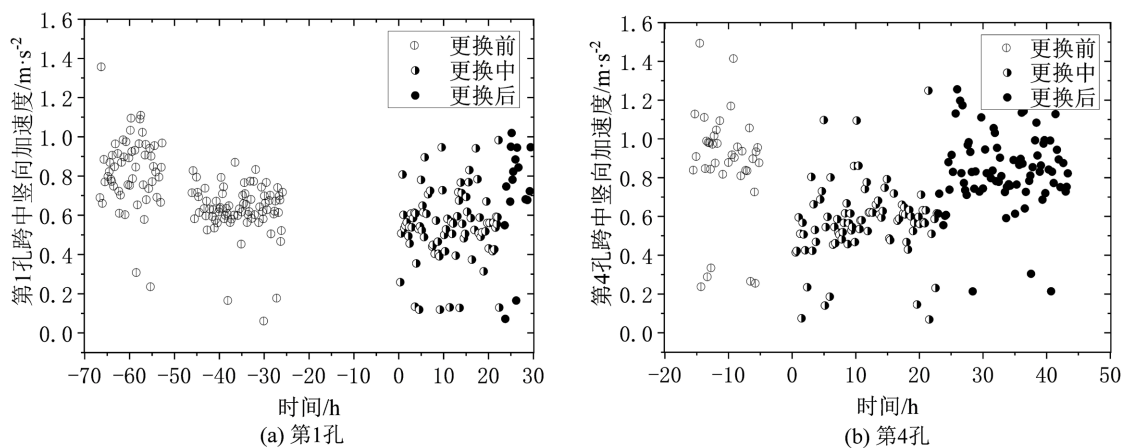


Figure 10. Relationship between vertical acceleration at midspan and time before and after bearing replacement
图 10. 支座更换前后跨中竖向加速度与时间关系图

由图 10 可知, 该桥在运营列车作用下, 支座更换前后实测跨中竖向加速度最大值第 1 孔分别 1.35 m/s² 和 1.02 m/s², 第 4 孔分别为 1.49 m/s² 和 1.30 m/s²。支座更换对该桥跨中竖向加速度的影响有一定影响。

4.6. 支座竖向位移

在运营列车作用下, 支座更换前后支座竖向位移, 如图 11 所示。

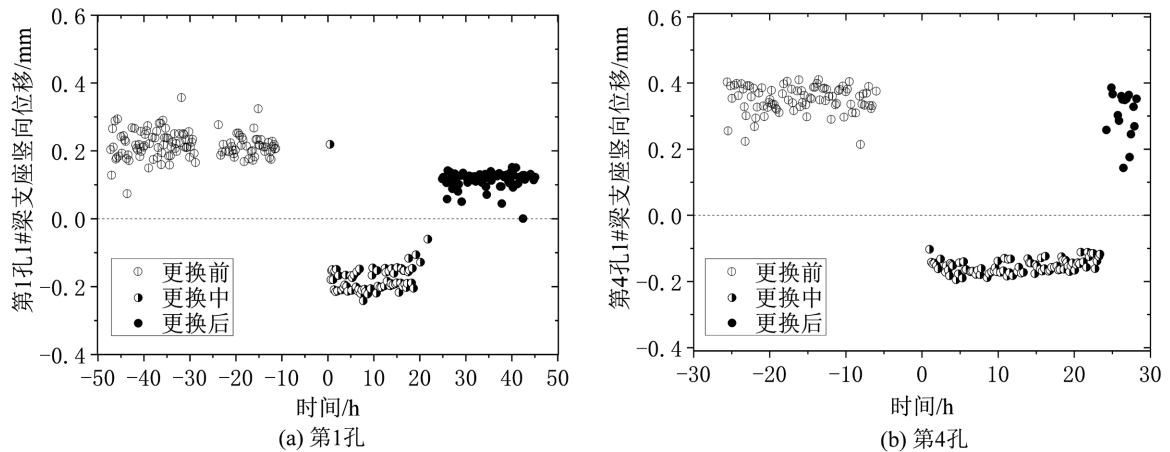


Figure 11. Relationship between vertical displacement and time of support before and after bearing replacement
图 11. 支座更换前后支座竖向位移与时间关系图

由图 11 可知, 该桥在运营列车作用下, 支座更换前后实测支座竖向位移最大值第 1 孔 1#梁 0.41 mm 和 0.39 mm, 第 4 孔 1#梁分别为 0.36 mm 和 0.22 mm。由于在更换支座时采用了顶升施工的方式, 所以支座位移出现了负值(代表向上)的情况。更换支座后, 支座的竖向位移均有减小的趋势。

基于上述结果与相关文献对比及深入探讨发现, 支座更换对桥梁横向与竖向动力性能产生不同影响的内在机理在于: 横向动力响应主要受支座横向约束刚度控制, 列车横向力作为位移控制型荷载, 在新钢支座更强的横向限位作用下, 梁体侧向滚摆受到抑制, 从而大幅降低了横向振幅与位移, 这与既有研究结论高度一致; 而竖向振幅主要由梁体自身的抗弯刚度决定, 支座在竖向传力路径中起串联作用, 其刚度远大于梁体, 故更换后对竖向挠度影响甚微, 但竖向加速度的降低则归因于新支座优化了梁端接触边界, 减少了高频冲击, 改善了传力平顺性。与此同时, 本研究也存在一定局限性: 测试工况未能严格控制列车速度与载重等变量, 可能引入随机误差; 数据仅反映更换前后的短期效果, 缺乏对钢支座长期性能演变(如磨损、锈蚀)的评估; 支座更换过程中的顶升作业改变了梁体受力状态, 其对动力响应的不可逆影响难以量化; 此外, 有限测点布置也限制了从模态分析角度全面揭示振型变化的能力。

5. 结论

通过对病害板式橡胶支座更换前后某铁路桥梁的运营性能进行试验研究, 可以得出以下结论:

该铁路桥梁在运营列车作用下, 支座更换前后跨中横向振幅、跨中横向加速度以及支座竖向位移均有不同程度的降幅, 均在 10% 以上; 支座更换前后, 支座的横向位移降幅程度显著, 均在 60% 以上, 虽然更换前板式橡胶支座的横向位移也满足《铁路桥梁检定规范》的规定, 但是更换成钢支座后支座横向位移非常小, 说明钢支座的横向限位功能良好; 支座更换前后, 主梁跨中竖向振幅及竖向加速度变化不大, 因此病害支座的更换对部分竖向动力参数的影响较小。

参考文献

- [1] 胡亚东. 我国铁路重载运输技术体系的现状与发展[J]. 中国铁道科学, 2015, 36(2): 1-10.
- [2] 钱立新. 世界铁路重载运输的最新进展[J]. 铁道建筑, 2007(8): 46, 82, 88.

-
- [3] Zhou, X.M., Mickleborough, N. and Li, Z.J. (2005) Shear Strength of Joints in Precast Concrete Segmental Bridges. *ACI Structural Journal*, **102**, 3-11.
- [4] 周明华, 张蓓. 橡胶支座的应用前景与质量忧患[J]. 公路, 2003(4): 5-7.
- [5] 占友年. 提速重载后铁路桥梁铸钢支座病害的整治[C]//高速重载与普通铁路桥隧运营管理与检测修理技术论文集(下册). 上海: 上海铁路局合肥工务段路桥科, 2010: 406-414.
- [6] 陈木增. 浅谈既有线桥梁支座病害成因及防治[J]. 工程技术, 2015(4): 159, 165.
- [7] 王树芝. 铁路板式橡胶支座失效条件和使用寿命的研究[J]. 铁道建筑, 2003(7): 26-29.
- [8] 郑怡, 贾金青, 沈小俊, 等. 基于可拓学的桥梁板式橡胶支座安全性评价方法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2012, 40(9): 160-164.
- [9] 石秋君. 既有铁路桥梁支座病害分析及改造方法[J]. 铁道建筑, 2017, 57(10): 12-14, 25.