

Research on Eccentric Treatment Method of Small Radius Curved Line Bridge on Heavy-Haul Railway

Gong Du

Shuohuang Railway Development Co., Ltd., Yuanping, Shanxi, 034100, China

Abstract

At present, many small radius curved bridges of heavy haul railway have been put into operation because of the large annual traffic volume and the mismatching of running speed and superelevation, resulting in the overrun of the eccentricity of the line and bridge, which has adverse effects on the structural stress of the line and bridge, the service life of the bridge and the bearing, and even endangers the traffic safety in serious cases. On the premise of not affecting the traffic organization and train safety as far as possible, it is difficult to carry out the rectification of eccentric value overrun disease for small radius curved bridge of heavy haul railway. Based on the engineering background of the eccentric treatment of Huihe super large bridge of Shuohuang Railway in China, this paper analyzes the concept and causes of the eccentricity of the line and bridge, the design, implementation process, treatment results and comparison of various monitoring data before and after the rectification. The results show that the eccentricity of the line and bridge will have adverse effects on the derailment coefficient and transverse amplitude of the beam span. The track lining the load shedding rate of the rear wheel decreases slightly, but the derailment coefficient changes more obviously, and the derailment coefficient decreases from 0.92 to 0.78; the mid span transverse amplitude of the first hole beam decreases from 1.15 mm in front of the track to 0.78 mm and 1.01 mm after two times of lane shifting, with the decrease of 32% and 12%.

Keywords

heavy-haul railway; small radius curve; line bridge eccentricity; disease control; monitoring test

重载铁路小半径曲线线桥偏心整治方法研究

杜功

朔黄铁路发展有限责任公司, 中国·山西 原平 034100

摘要

目前,许多已经投入运营的重载铁路小半径曲线桥梁由于年运量大、运行速度与超高不匹配,造成线桥偏心值超限,对线桥结构受力、桥梁与支座使用寿命产生不利影响,严重时危及行车安全。在尽量不影响运输行车组织和列车安全的前提下,对重载铁路小半径曲线桥进行偏心值超限病害整治,实施难度较大。论文以中国朔黄铁路恢河特大桥梁线桥偏心整治为工程背景,通过线桥偏心概念和原因分析、线桥偏心病害整治方案设计、实施过程、整治结果以及对整治前后各种监测数据对比。结果表明线桥偏心会对脱轨系数、梁跨中横向振幅等参数产生不利影响。拨道后轮重减载率略有降低,但脱轨系数变化更加明显,拨道后脱轨系数从0.92降低到0.78;拨道后第1孔梁体跨中横向振幅与拨道前相比均呈减小趋势,经过两次拨道,跨中横向振幅由拨道前1.15 mm分别降为0.78 mm、1.01 mm,降幅达到32%和12%。

关键词

重载铁路;小半径曲线;线桥偏心;病害整治;监测试验

1 引言

重载铁路因其具有高效、环保、节能的突出特点,“货运重载”已经成为继“客运高速”后的中国铁路又一发展趋势^[1]。桥梁作为重载线路的重要基础设备,受地形限制等客观因素影响,需设置多处小半径曲线桥梁。由于常年的维修保养,线路条件较差、道床厚度严重超标、线桥施工精度较差,在常年大轴重与大运量冲击作用下造成既有重载铁路线桥偏心较大^[2]。通过拨道调整线路横向位置,结合整治前后工程

试验监测数据对比,表明整治效果明显,以期为类似重载铁路小半径曲线桥偏心病害整治工程项目提供参考依据。

2 桥梁概况

中国朔黄铁路恢河特大桥梁全长936 m,里程k16+954-k17+890(中心里程K17+421),双线桥,于1999年建成。桥梁上部结构采用28孔32 m预应力混凝土简支T梁,该桥梁位于小曲线半径R=400 m的圆曲线和曲线长度L=90m的缓和曲线及直线上,桥上线路最大坡度5‰,上下行超高

90mm, 桥墩左右线错孔布置, 梁体斜置。下部结构采用 T 形桥台、双柱式圆端形实体桥墩、扩大基础, 其中双柱墩已采用增设横梁的方式横向加固处理, 梁体支座采用盆式橡胶支座及铸钢支座, 桥梁实景图如图 1 所示。



图 1 桥梁实景图

3 线桥偏心

3.1 线桥偏心的概念

理论上, 直线桥梁上线路中心线和梁跨中心线相吻合。而曲线桥梁的线路中心线是曲线, 而梁是采用“曲梁直做、以直代曲”的方式形成曲线桥梁, 因此线路中心线与梁跨中心线不能完全吻合。梁跨中心线常按“平分中矢法”进行布置, 即在跨中处梁跨中心线平分矢距 f 。而当线路相对于桥梁发生相对横向移动时, 线路实测中心线与线路设计中心线之间的偏差 e 称为“线桥偏心”, 如图 2 所示。

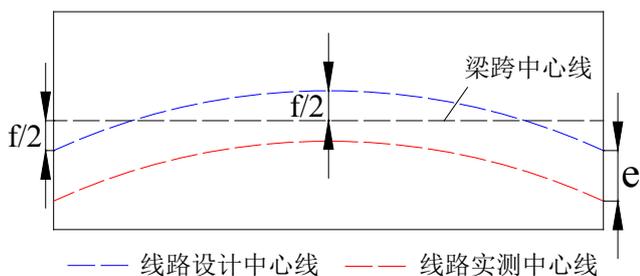
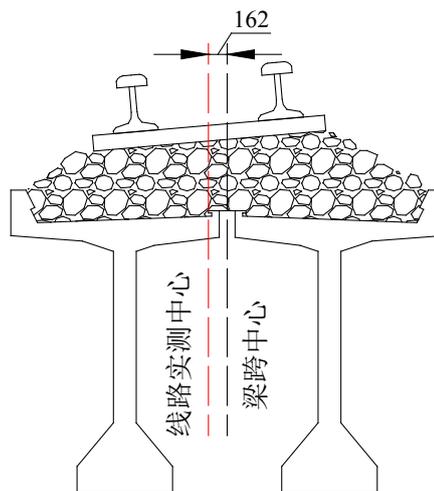


图 2 线桥偏心示意图

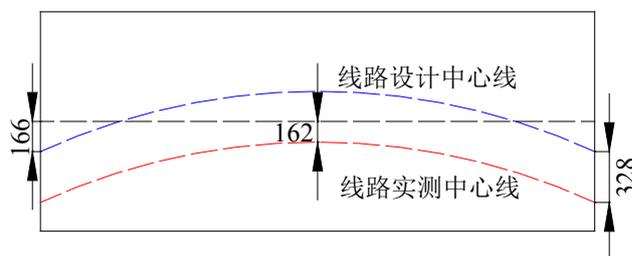
3.2 线桥偏心的概况

本桥有 24 孔在曲线上, 曲线为左转曲线, 桥头从圆曲线开始, 桥尾进入直线段。日常养护中发现, 道砟厚度存在不足或超厚, 曲线段道砟厚度最大达 470mm, 直线段最小为 190mm; 与此同时, 该桥线桥偏心严重, 下行线第 1 孔至 7 孔、17 至 20 孔线桥偏心超限, 最大偏心值在第 2 孔的中部, 左

偏 118mm, 直线段最大偏心 145mm。上行线第 1 孔至 22 孔和第 23 孔的尾部线桥偏心超限严重, 第 24 孔至 28 孔的偏心值在相关规定^[1]允许范围之内, 最大偏心值在第一孔的尾部, 左偏 328mm, 如图 3 所示。



(a) 断面示意图



(b) 拨道前示意图

图 3 第一孔尾部线桥偏心示意图 (单位: mm)

3.3 线桥偏心的原因

本桥的线桥偏心多数都是向左偏移, 即线路向曲线内侧有较大的横向变形, 从测量数据分析, 本桥所在的曲线变形很不规则, 造成线桥偏心值较大且不规则的原因有以下五个方面。

- (1) 常年的现状养护, 起拨道没有设计数据控制, 原本是一条曲线, 运营后变形成为若干条不规则的小曲线, 在既有线上找不到原设计的曲线要素。
- (2) 线路条件较差。整桥基本都在 400m 小半径曲线内, 逐年增大的运量形成大荷载的经常性冲击, 线路变形严重。
- (3) 道床厚度严重超标。道砟厚度存在不足或超厚造成了轨道的复合不平顺, 加剧了无缝线路的横向变形。
- (4) 线桥施工精度较差。本桥的建设是在 20 世纪 90 年代末, 当时的测量精度和施工技术还较落后, 规范也要求

不严格,造成既有的线桥关系偏差较大。

(5) 运行速度与超高不匹配。在任何一段曲线轨道上,外轨超高按加权平均速度计算确定并设置后,成为固定设施,但由于列车通过的实际行驶速度,或大于加权平均速度,或小于加权平均速度,使外轨超高与行车速度不相适应,因而不可避免地会产生未被平衡的离心力或向心力。

重载列车曲线横向附加力的理论计算方法图示,如图 4 所示。

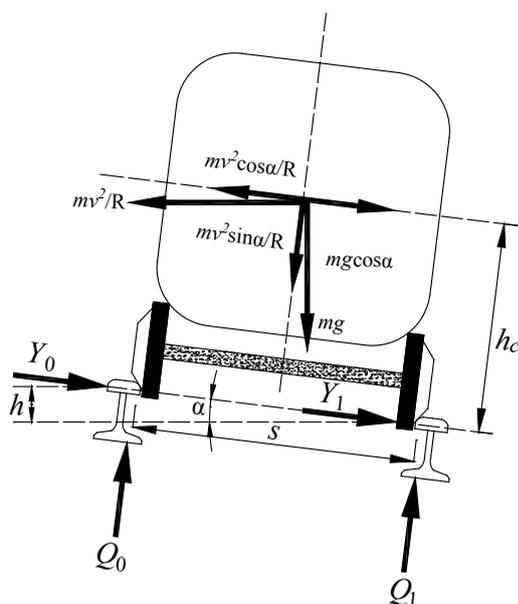


图 4 列车和轨道的准静态分析

根据图 4,列出钢轨所受的竖向反力的计算公式:

$$Q_0 = \frac{mg \cos \alpha}{2} + \frac{mv^2 \sin \alpha}{2R} + \frac{mh_c}{s} \times \left(\frac{v^2 \cos \alpha}{R} - g \sin \alpha \right)$$

式中: m——列车质量;

g——重力加速度;

α —— $\alpha = \sin^{-1}(h/s)$;

h——超高;

s——轨距;

h_c ——轨顶面到列车重心的距离;

R——线路曲线半径;

$$Q_1 = \frac{mg \cos \alpha}{2} + \frac{mv^2 \sin \alpha}{2R} - \frac{mh_c}{s} \times \left(\frac{v^2 \cos \alpha}{R} - g \sin \alpha \right)$$

总曲线轮轨侧向附加力是 $Y = Y_0 + Y_1$, 可以得到:

$$Y = \frac{mv^2 \cos \alpha}{R} - mg \sin \alpha$$

综上所述,常年的现状维护、线路条件差、道床厚度严重超标、早期施工质量差、运行速度与超高不匹配和常年大运量运输形成的大荷载经常性冲击是造成重载铁路线桥偏心病害的主要原因。

4 整治方案

通过整治变形的线路平面,达到解决恢河特大桥的线桥偏心值超限的问题。同时,通过机械清筛线路,适当调整纵断面设计的方法,解决本段线路道床超厚的问题。恢河特大桥所在曲线为左转曲线,桥上的上下行线路都是向曲线内侧偏离,整治方案是曲线全部上挑,而且是连续多处向曲线内股方向的大拨量,拨道后造成上行曲线钢轨伸长 337 mm,下行曲线钢轨伸长 176 mm。在整治恢河特大桥的线桥偏心前,必须进行应力放散,放散轨温应满足作业安全要求。横向拨道量大及拨道段落较长的地段,在施工前也要进行应力放散,确保施工质量及施工安全,施工结束后要进行应力回放。应力放散时在最大拨量所在的单元轨条上加设临时缓冲区,缓冲区的短轨要预留拨道造成本条曲线的钢轨总伸长量。

(1) 为改善线路平面条件,本次线路设计考虑了对线间距、线桥偏心的调整,曲线整治及接触网杆等建筑限界的调整。基本采用与现场线形相拟合的方式,适当调整曲线要素,来达到优化线路平面、调整线桥偏心的目的。用全站仪直接测量法,得出梁的中心线方程,并且和铁路既有线中心的坐标相比较,可得出每跨既有桥梁的偏心值,综合考虑整桥每跨的偏心值,来调整相应的直线方向和曲线元素,即:①每 350 m~500 m 设置一个 CP II 控制点及水准基点,每 30m 左右设置一个 CP III 控制点;②测基平;③测纵断面(直线地段 50m、曲线地段 20m、变坡点等特征点);④采用轨道分中法进行线路平面、线间距测量;⑤测量线桥偏心;⑥测量接触网杆、信号机、信号基座、坡度标、里程标等线路既有设备的平面位置。

(2) 为改善线路纵断面条件,线路清筛地段严格按照限坡、坡长、起落道量以及桥梁等的控制要求,限制坡度以不大于原有最大坡度为原则,坡段尽可能设计为长大坡段,大修地段与非大修地段的连接顺坡,应设在大修地段以外,其顺坡率不应大于 2.0‰。由于线路清筛可能引起接触网导高、拉出值超标,不能满足电力机车受电弓的正常运行,应事先通知供电部门调查确认接触网设备调整工作量并配合作业;

由于线路清筛引起信号机基座抬高或个别信号机基座侵入清筛范围,个别信号电缆影响机械清筛作业时,要提前通知电务部门确认配合。

4 整治方案实施

由于重载铁路恢河特大桥出现的线桥偏心病害中下行线线桥偏心值超限都比上行线小,所以下行线是一次调整到位。其中,病害较严重的恢河特大桥上行线轨道线形分两次调整到位,主要线形调整历程如表 1 及图 5 所示。

表 1 恢河特大桥轨道线形调整过程一览表

时间	线别	调整区间	最大拨道点	最大拨道量
2019 年 7 月 2 日	下行	K16+600~K17+778	K17+585	119 mm
2019 年 7 月 25 日	上行	K16+704~K17+758	K16+920	184 mm
2019 年 10 月 17 日	上行	K16+704~K18+210	k16+860	205 mm

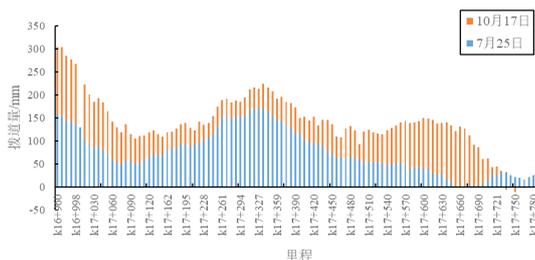


图 5 恢河特大桥轨道线形调整量示意图

根据现场测量调查的结果发现,恢河特大桥所在曲线起点之间的夹直线,因常年运营,已经发生了很大的变形,将不规则的夹直线调整为直线。为了解决线桥偏心问题,设定了不同的曲线转角和曲线半径和缓。

本次轨道线形调整主要对圆曲线段进行,经两次调整,恢河特大桥上行线的线桥偏心值全部调整到《普速铁路工务安全规则》允许的范围之内。具体设计情况如下:既有曲线半径为 400 m,本次调整为 399.97 m,缓和曲线长 90 m 不变,在 K17+750 处设 240° 的右转角。上行线轨道线形累积最大调整量 305 mm,发生在 0# 台附近(K16+960)。其次还有第 11 孔(K17+330)和第 19 孔(K17+600)附近拨道量较大,累计调整量分别为 224 mm 和 150 mm。第 24 孔(K17+740)位于直缓点附近,累计调整量 29 mm;恢河特大桥下行线所在的曲线,曲线要素不变,即半径 404.5 m,缓和曲线长 90 m,

调整后的最大拨量在 K17+585 处右拨 119 mm,调整后线桥偏心值全部符合规定的要求。在轨道线形调整施工的同时,对相应区段的道床进行清筛、捣固处理。

5 监测试验

为了确保轨道线形调整作业期间的线桥设备安全,掌握小半径曲线桥上线路偏心发展的规律,为该类病害机理的研究提供数据支撑以及验证线桥偏心整治效果,对本桥轨道线形调整及后续运营期间的特征区段轨道和该桥设备特点及线桥偏心、道砟厚度不均病害的情况,在上行线分别选择线桥偏心最大和道砟厚度最小的区段进行桥梁结构的动力性能进行了监测,以评估轨道线形调整对线桥设备的影响及其后续发展情况。

5.1 试验内容

(1) 轨道结构监测试验内容主要包括:列车运行安全参数测试、钢轨横向位移测试、动态轨距扩大测试,具体内容包 括:轮轨垂向力和横向力、轮重减载率、轮轴横向力、钢轨横向位移、钢轨动态轨距变化量参数。

(2) 桥梁结构监测试验内容具体包括:①墩顶横向振幅;②梁体跨中挠度;③梁体跨中混凝土应变;④梁体跨中横向、竖向振幅;⑤梁体跨中横向、竖向加速度;⑥支座纵向位移;⑦列车速度。

5.2 试验结果

针对轨道结构动力性,通过拨道前后共进行了三次测试,各测试了二十余趟列车,对重车线列车运行安全参数、钢轨横向位移、动态轨距扩大进行了测试。针对桥梁结构动力性,通过测试上行重车线桥梁在运营列车通过时的工作状态,分析轨道线形调整前后桥梁设备受力状态的变化,评价其对结构受力的影响。

5.2.1 轨道结构试验结果

恢河特大桥桥面轨道线形调整前后,共进行了三次轨道结构动力测试。上行线第一次拨道前测试运营列车 19 趟,速度范围为 15.3~62.1km/h;第一次拨道后测试运营列车 22 趟,速度范围为 40.7~60.9km/h;第二次拨道后测试运营列车 19 趟,速度范围为 14.3~60.5km/h;在运营列车 C80 作用下,拨道前后列车脱轨系数与行车速度的变化趋势,如图 6、图 7 所示,拨道前后运营列车安全参数极值对比,如表 2 所示。

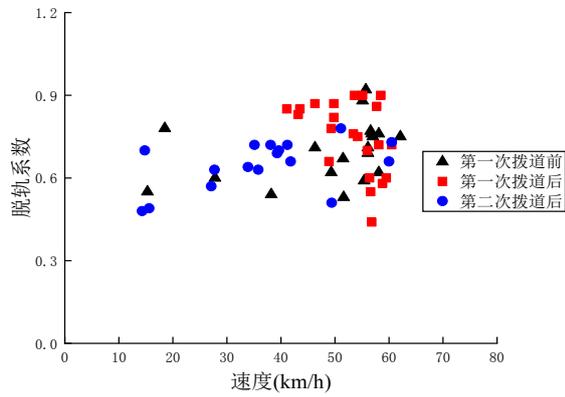


图 6 拨道前后运营列车脱轨系数对比

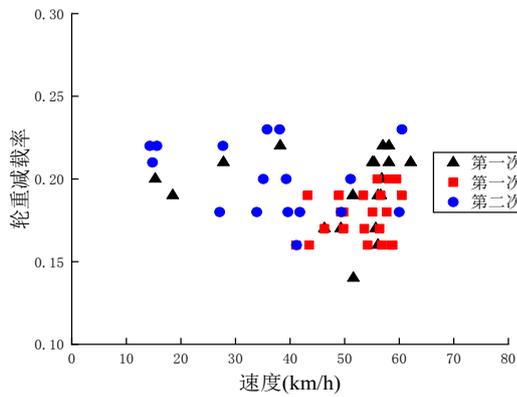


图 7 拨道前后运营列车轮重减载率对比

表 2 拨道前后运营列车安全参数极值对比表

试验项目	脱轨系数		轮重减载率	
	最小值	最大值	最小值	最大值
第一次拨道前	0.53	0.92	0.14	0.22
第一次拨道后	0.44	0.90	0.16	0.20
第二次拨道后	0.48	0.78	0.16	0.23

试验结果显示：拨道前脱轨系数、轮重减载率分别为 0.92、0.22，第一次拨道后分别为 0.90、0.20，第二次拨道后分别为 0.78、0.23；根据有关标准^[4]规定：脱轨系数和轮重减载率的安全限值分别为 1.2 和 0.65，拨道前后各项安全参数均小于安全限值。拨道前后，轮重减载率变化不太明显，而脱轨系数有所减小。

5.2.2 桥梁结构试验结果

恢河特大桥第 1 孔梁桥面轨道线形调整分两侧次完成，该孔梁跨中两次调整量分别为 144mm 和 143mm，跨中累积调整量 287mm。在运营列车 C64、C70、C80 作用下，第 1

孔桥跨结构在两次轨道线形调整前后实测跨中横向振幅与行车速度变化趋势，如图 8、图 9 所示及跨中横向振幅最大值与行车速度关系，如表 3 所示。

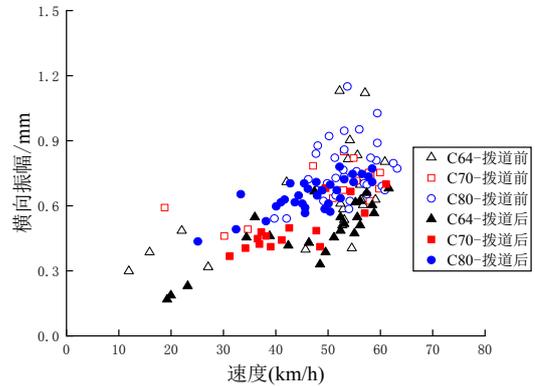


图 8 第一次拨道前后运营列车横向振幅对比

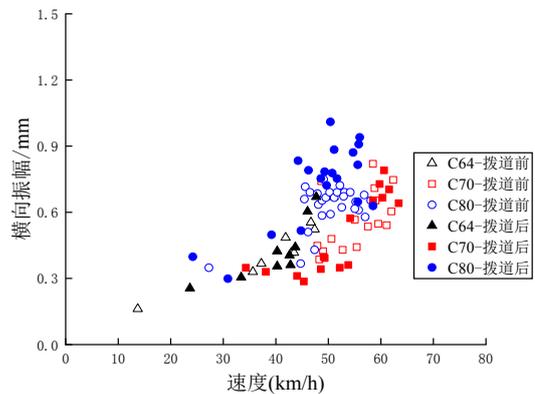


图 9 第二次拨道前后运营列车横向振幅对比

表 3 运营列车作用下拨道前后跨中最大横向振幅与行车速度

关系表

工况	C64		C70		C80	
	对应车速 (km/h)	横向振幅 (mm)	对应车速 (km/h)	横向振幅 (mm)	对应车速 (km/h)	横向振幅 (mm)
第一次拨道前	52.2	1.13	53.0	0.85	53.7	1.15
第一次拨道后	61.6	0.68	61.1	0.70	52.2	0.78
第二次拨道前	51.0	0.67	58.5	0.82	49.1	0.75
第二次拨道后	47.7	0.67	60.6	0.79	50.4	1.01

试验结果显示：实测两次拨道前后第一孔梁体跨中横向振幅，第一次拨道前梁体跨中横向振幅最大，C64、C70、C80 列车作用下第 1 孔梁体跨中最大横向振幅分别为 1.13mm、0.85mm 和 1.15mm，均小于规范^[5]所规定的货列

重车 ($V \leq 80\text{km/h}$) 下 32m 预应力混凝土梁跨中横向振幅通常值 2.54mm 和安全限值 3.56mm; 各类货列重车作用下, 梁体跨中横向振幅呈现随行车速度增大而增加的趋势, 但幅值在通常值和安全限值范围内, 测试车速范围内未发现梁体横向共振现象; 与拨道前相比, 两次拨道后梁体跨中横向最大振幅均呈减小的趋势; C80 列车作用下, 第一次拨道后由 1.15mm 减小为 0.78mm, 第二次拨道后较拨道前略有增加, 由 0.75mm 增大为 1.01mm, 但仍小于第一次拨道前实测值。

6 结语

论文以中国朔黄重载铁路恢河特大桥小半径曲线桥梁线桥偏心整治为背景展开研究, 通过线桥偏心概念和原因分析、偏心整治方案设计、实施、整治结果以及对整治前后监测数据对比, 主要结论如下:

重载铁路小半径曲线桥梁线桥偏心可以采用捣固车拨道调整线路横向位置进行整治, 同时要有顺序的安排纵断面整治, 通过机械清筛线路, 适当调整纵断面设计的方法, 解决本段线路道床超厚的问题。拨道前后轮重减载率变化不太明显,

而拨道后脱轨系数从 0.92 降低到 0.78。两次拨道后第 1 孔梁体跨中横向振幅与拨道前相比均呈减小趋势, 第一次拨道后由 1.15mm 减小为 0.78mm。第二次拨道后较拨道前略有增加, 由 0.75mm 增大为 1.01mm, 但仍小于第一次拨道前实测值, 表明了线桥偏心病害对轨道结构动力性能、桥梁运营性能产生不利影响。该工程实例的成功实施表明, 通过捣固车拨道整治线桥偏心病害, 整治效果较为明显, 可以为类似工程提供参考。

参考文献

- [1] 高宗余, 方秦汉, 卫军. 中国铁路桥梁技术发展展望 [J]. 铁道工程学报, 2007(01):55-59.
- [2] 杨育林, 张凯峰, 何峰. 重载铁路特大桥线桥偏心病害整治方法研究 [J]. 测绘通报, 2020(S1):87-90.
- [3] 中国铁路总公司. 普速铁路工务安全规则 [S]. 2014.
- [4] 中华人民共和国铁道部. TB/T2360-1993 铁道机车动力学性能试验鉴定方法及评定标准 [S]. 1993.
- [5] 中华人民共和国铁道部. 铁路桥梁检定规范 [S]. 2004.