

Adaptability Analysis of Speed Increase in Heavy Haul Railway Bridges

Jiang Shi

China Shenhua Energy Company Ltd., Beijing
Email: jiang.shi.j@chnenergy.com.cn

Received: June 23rd, 2019; accepted: July 8th, 2019; published: July 15th, 2019

Abstract

Heavy haul railway speed increase is an inevitable requirement for China's regional economic development. However, it also faces unfavorable factors such as increased impact vibration and increased vibration amplitude of bridges, which seriously affects the stability of bridges and other structures and the safety of railway operations. This paper takes the middle bridge of Shangyuan Village in Shuohuang Railway as the research object, and uses on-site dynamic performance test to study the effect of train running on the dynamic performance of bridge structure after speed increase. According to the analysis of test results, under the action of C64, C70 and C80 trains, the relationship between measured bridge dynamic response and train speed is not obvious within the test of speed range; the transverse amplitude of beam body increases with the increase of train speed. The lateral amplitude of the beam body increases with the increase of train speed, but the growth rate is small; the longitudinal displacement of the movable bearing has no obvious relationship with the driving speed, and increases with the increase of the axle loading efficiency; after the speed increases, the bridge and culvert structure can still meet the train safety operation requirements.

Keywords

Heavy Haul Railway, Adaptability Analysis, Displacement Amplitude, Acceleration

重载铁路桥梁地段提速适应性分析

石 江

国家能源集团神华集团有限责任公司, 北京
Email: jiang.shi.j@chnenergy.com.cn

收稿日期: 2019年6月23日; 录用日期: 2019年7月8日; 发布日期: 2019年7月15日

摘要

重载铁路提速是我国区域性经济发展的必然要求,但也面临着提速后桥梁冲击振动加剧,振动幅度加大等不利因素,严重影响到桥梁等结构的稳定性及铁路运营的安全性。本文以朔黄铁路上院村中桥为研究对象,利用现场动力性能试验,研究了列车在提速后运行对桥梁结构动力性能的影响。通过对试验结果分析得出:在C64、C70与C80编组列车作用下,试验测试速度范围内,实测桥梁动力响应与列车速度关系不明显;梁体跨中横向振幅等随列车速度的提高呈增长趋势,但增长幅度较小;活动支座纵向位移与行车速度关系不明显,随列车轴重加载效率的增加而增大;在提速之后桥涵结构仍能满足列车安全运营要求。

关键词

重载铁路, 适应性分析, 位移幅值, 加速度

Copyright © 2019 by author and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

随着我国铁路事业蓬勃发展,重载铁路提速对于行业发展显得尤为重要。大体来说,我国的重载铁路大多数建于20世纪80~90年代前,当时设计相关技术比较落后,又加上重载铁路运量大、服役期长,这些既有重载铁路还能否满足全面提速的要求值得深入研究。

在重载铁路提速的试验研究方面,罗慧刚[1]等以朔黄铁路南运河特大桥为研究对象,通过有限元仿真分析结合现场动力性能试验,研究列车在提速作用下对桥梁结构动力性能的影响。管天保[2]等介绍了沪宁线的特点及其面临的挑战和对策,以及沪宁线的旅客列车和货物列车提速试验情况。龙卫国,蒋丽忠,王晓锋[3]等以朔黄线温塘河特大桥为例,采用一系轴箱悬挂货车模型,建立重载列车-有砟轨道-桥梁的空间动力学方程组,采用迭代求解,编制了相应重载铁路车-桥耦合振动分析程序,通过仿真计算和现场试验分析了重载列车速度对重载铁路简支梁桥的各种动力性能指标的影响。肖彦君[4]等通过回顾我国既有铁路的提速,重点论述目前全国既有铁路普遍提速的总体思路与目标以及普遍提速的关键技术。由上述研究现状可以看出,针对重载铁路提速方面涉及的理论依据很少,而且以数值模拟为主,其分析结果的正确性和合理性值得怀疑。

基于此,本文以朔黄铁路上院村中桥区段限制速度从75 km/h提高至80 km/h为例,进行了重载列车提速试验及线桥监测试验;详细分析了线路提速对线路运营状态的影响;提出了全方位分析评价线路的稳定性方法。

2. 工程概况

上院村中桥中心里程为K77+923,双线桥,桥梁全长43.19 m,桥跨布置:1×20 m,左右线错孔布置。全桥位于直线-12‰的坡道上,桥上重车线路为无缝线路,线间距4.0 m,采用75 kg/m钢轨,III型轨枕。桥梁上部结构采用后张法预应力混凝土T梁,梁高1.9 m;下部结构采用T型桥台,D800 mm钻孔灌注桩基础;支座采用摇轴钢支座,固定支座设于黄骅港方。桥梁设计荷载为中-荷载,地震基本烈度

8度, 最大冻结深度 1.1 m。上院村中桥概貌如图 1 所示。



Figure 1. K77 + 923 the middle bridge of Shangyuan Village
图 1. K77 + 923 上院村中桥概貌

3. 适应性分析

车辆与桥梁之间的耦合振动是一种复杂的相互作用, 由列车通过桥梁时引起的桥梁结构的振动以及桥梁振动反过来激发的车辆振动组成, 车桥系统是一个复杂的时变系统[5]。主要测试所采用的仪器设备有 891-II 型传感器及相应放大器、高精度光电挠度仪、便携式动态应变仪、电容微机电式加速度传感器和 IMC 数据采集器等[6]。同时, 本次动力学测试所有采用的测试仪器都提前在实验室进行标定并进行相关调试, 以确保数据精确有效。

3.1. 梁体跨中挠度与挠跨比

1) 准静态挠度与挠跨比

实测在 5 km/h 准静态标定列车(DF4B + 4C80 + DF4B)荷载下, 梁体跨中挠度典型时域波形如图 2 所示。

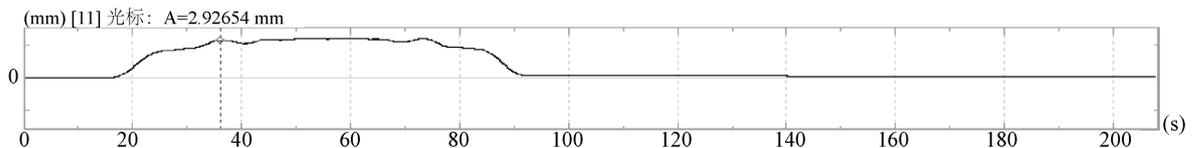


Figure 2. Time-domain waveform diagram of measured mid-span deflection under quasi-static calibration train
图 2. 准静态标定列车作用下实测跨中挠度时域波形图

实测梁体跨中挠度 2.91 mm, 理论计算值 5.21 mm, 挠度校验系数 0.559。换算至中-活载作用下的挠度为 3.67 mm, 换算挠跨比 1/5449, 小于《桥检规》普通高度预应力混凝土梁跨中竖向挠跨比通常值 1/1800。

2) 动挠度与速度关系

试验重载列车作用下, 梁体跨中挠度典型时域波形如图 3 所示。梁体跨中最大挠度与行车速度关系如表 1 所示。

实测梁体挠度最大值为 3.27 mm, 出现在 C80 货车以 73 km/h 速度通过时。实测梁体跨中挠度与行车速度关系不明显, 梁体跨中挠度实测值随列车轴重加载效率的增加而增大。

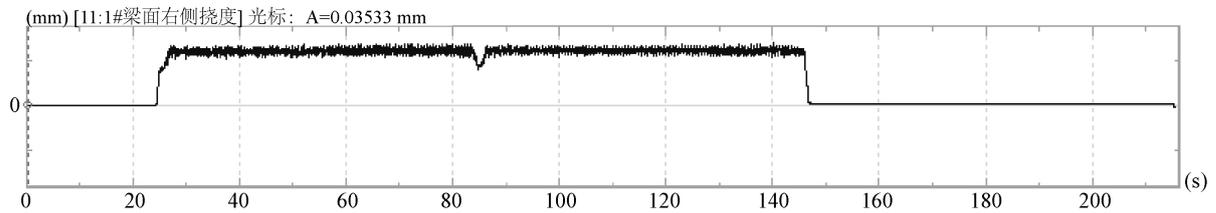


Figure 3. Typical time domain waveform of measured mid-span deflection under the action of C80 heavy haul train
图 3. 试验 C80 重载列车作用下实测跨中挠度典型时域波形图

Table 1. The maximum deflection and driving speed of the measured span under the action of heavy haul trains
表 1. 试验重载列车作用下实测跨中最大挠度及行车速度

货车车型	编组情况	跨中最大挠度(mm)	对应车速(km/h)
C64	普列	2.81	70.4
	1 万吨	2.54	68.8
C70	普列	2.59	69.4
	1 万吨	2.76	68.2
C80	普列	3.26	73.0
	1 万吨	3.19	71.5
	2 万吨	3.27	73.0

3.2. 跨中横向、竖向振幅

1) 横向振幅

对不同列车荷载在不同行驶速度下桥梁的各项性能进行测试,可得到相应参数随行车速度的变化规律[7]。试验重载列车作用下,梁体跨中横向振动典型时域波形如图 4 所示。梁体跨中最大横向振幅与行车速度关系如表 2 所示。

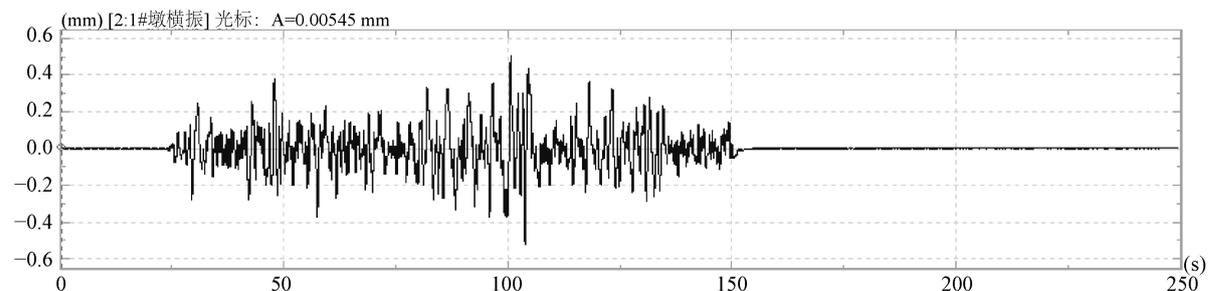


Figure 4. Typical time domain waveform of actual transverse transverse vibration under the action of heavy haul trains
图 4. 试验重载列车作用下实测跨中横向振动典型时域波形图

不同列车编组下, C64、C70、C80 列车作用梁体跨中最大横向振幅分别为 0.43 mm、0.49 mm 和 0.71 mm, 小于《桥检规》货列重车($V \leq 80$ km/h)下预应力混凝土梁跨中横向最大振幅通常值 1.59 mm。

C64 和 C70 货车作用下, 梁体跨中横向振幅与行车速度关系不明显, 试验车速范围内未发现梁体横向共振现象。C80 货车作用下, 梁体跨中横向振幅在列车运行速度大于 75 km/h 后存在增大的趋势, 横向振幅最大值出现在列车以 77.8 km/h 速度通过时。

Table 2. The maximum lateral amplitude and driving speed of the measured span under the action of heavy haul trains
表 2. 试验重载列车作用下实测跨中最大横向振幅及行车速度

货车车型	编组情况	跨中横向振幅(mm)	对应车速(km/h)
C64	普列	0.43	73.4
	1 万吨	0.32	68.8
C70	普列	0.49	71.8
	1 万吨	0.34	67.7
C80	普列	0.40	70.0
	1 万吨	0.70	77.8
	2 万吨	0.71	77.8

2) 竖向振幅

试验重载列车作用下, 梁体跨中竖向振动典型时域波形如图 5 所示。梁体跨中最大竖向振幅与行车速度关系如表 3 所示。

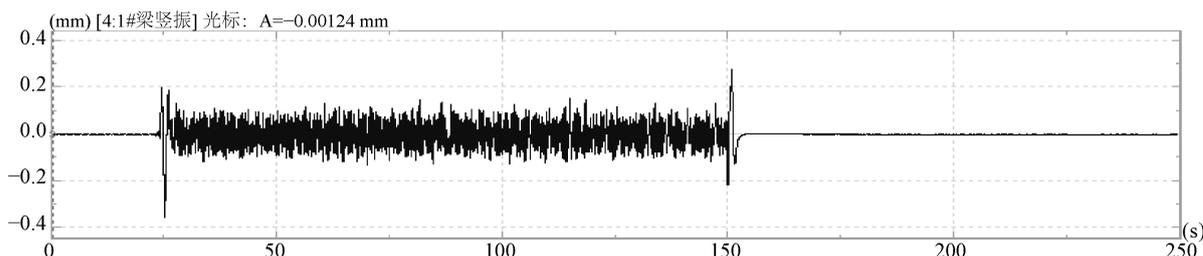


Figure 5. Typical time domain waveform diagram of measured mid-span vertical vibration under the action of heavy haul trains

图 5. 试验重载列车作用下实测跨中竖向振动典型时域波形图

Table 3. The maximum vertical amplitude and driving speed of the measured span under the action of heavy-duty trains
表 3. 试验重载列车作用下实测跨中最大竖向振幅及行车速度

货车车型	编组情况	跨中竖向振幅(mm)	对应车速(km/h)
C64	普列	0.43	78.0
	1 万吨	0.35	68.8
C70	普列	0.36	75.7
	1 万吨	0.40	78.5
C80	普列	0.35	73.0
	1 万吨	0.41	77.8
	2 万吨	0.39	77.8

不同列车编组下, C64、C70、C80 列车作用梁体跨中最大竖向振幅分别为 0.43 mm、0.40 mm 和 0.41 mm。各类货列重车作用下梁体跨中竖向振幅与行车速度关系不明显, 试验车速范围内未发现梁体竖向共振现象。

3.3. 跨中横向加速度

试验重载列车作用下, 梁体跨中横向振动加速度典型时域波形如图 6 所示。梁体跨中最大横向加速

度与行车速度关系如表 4 所示。

不同列车编组下, C64、C70、C80 列车作用梁体跨中最大横向加速度均为 0.11 m/s^2 , 小于《桥检规》桥跨结构横向加速度限值 1.4 m/s^2 。各类货列重车作用下梁体跨中横向加速度与行车速度关系不明显。

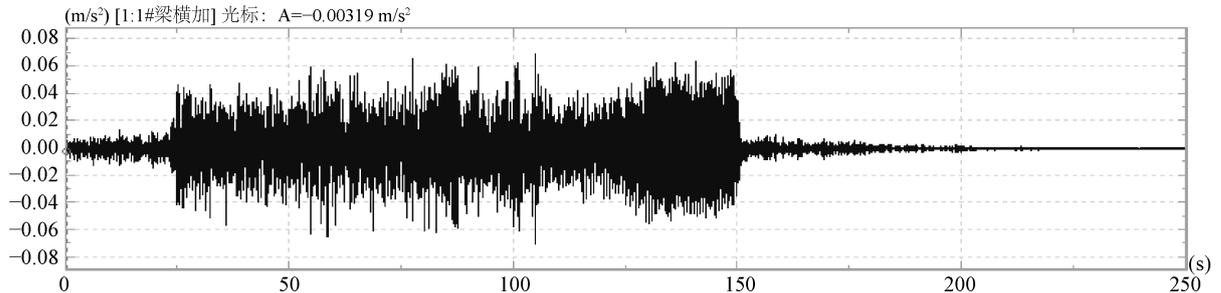


Figure 6. The typical time domain waveform of the lateral acceleration of the mid-span under the action of heavy haul trains
图 6. 试验重载列车作用下实测跨中横向加速度典型时域波形图

Table 4. The maximum lateral acceleration and driving speed of the measured span under the action of heavy haul trains
表 4. 试验重载列车作用下实测跨中最大横向加速度及行车速度

货车车型	编组情况	跨中横向加速度(m/s^2)	对应车速(km/h)
C64	普列	0.11	80.1
	1 万吨	0.08	68.8
C70	普列	0.09	69.4
	1 万吨	0.11	78.5
C80	普列	0.09	73.0
	1 万吨	0.11	77.8
	2 万吨	0.10	77.8

3.4. 梁体跨中应变

试验重载列车作用下, 梁体跨中应变典型时域波形如图 7 所示。梁体跨中最大应变与行车速度关系如表 5 所示。

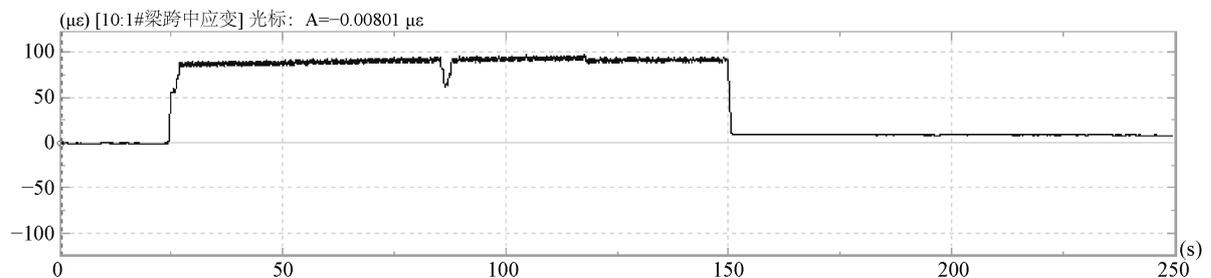


Figure 7. Typical time domain waveform of measured mid-span strain under the action of C80 heavy haul train
图 7. 试验 C80 重载列车作用下实测跨中应变典型时域波形图

不同列车编组下, C64、C70、C80 列车作用梁体跨中最大应变分别为 $79 \mu\epsilon$ 、 $83 \mu\epsilon$ 、 $97 \mu\epsilon$ 。实测梁体跨中应变与行车速度关系不明显, 梁体跨中应变实测值随列车轴重加载效率的增加而增大。

Table 5. The maximum strain and driving speed of the measured span under the action of heavy haul trains
表 5. 试验重载列车作用下实测跨中最大应变及行车速度

货车车型	编组情况	跨中应变($\mu\epsilon$)	对应车速(km/h)
C64	普列	79	67.2
	1 万吨	75	68.8
C70	普列	83	69.4
	1 万吨	80	68.2
C80	普列	93	73.0
	1 万吨	92	77.8
	2 万吨	97	72.2

3.5. 支座位移

试验重载列车作用下，0 号台处纵向活动支座纵向位移典型时域波形如图 8 所示。支座最大纵向位移与行车速度关系如表 6 所示。

不同列车编组下，C64、C70、C80 列车作用外侧支座最大纵向位移分别为 0.72 mm、0.69 mm、0.92 mm，内侧支座最大纵向位移分别为 1.39 mm、1.28 mm、1.67 mm，各类货列重车作用下活动支座纵向位移与行车速度关系不明显，随列车轴重加载效率的增加而增大。

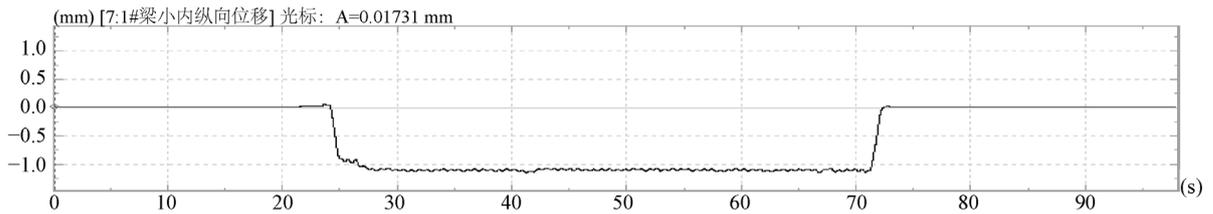


Figure 8. Typical time-domain waveform diagram of longitudinal displacement of measured support under the action of heavy haul trains

图 8. 试验重载列车作用下实测支座位移典型时域波形图

各类货列重车作用下，0 号台处两个纵向活动支座实测纵向位移均不相同，其中内侧支座明显大于外侧支座。据调查，该外侧支座在卸载后仍存在约 2 cm 的纵向偏位，列车荷载作用下支座实测纵向位移偏小应与该支座纵向活动能力受限有关。

Table 6. The maximum longitudinal displacement and driving speed of the measured support under the action of heavy haul trains

表 6. 试验重载列车作用下实测支座位移最大纵向位移及行车速度

货车车型	编组情况	外侧支座 DL0-1		内侧支座 DL0-2	
		最大纵向位移(mm)	对应车速(km/h)	最大纵向位移(mm)	对应车速(km/h)
C64	普列	0.72	70.4	1.39	70.4
	1 万吨	0.65	68.8	1.19	68.8
C70	普列	0.68	75.7	1.25	71.1
	1 万吨	0.69	67.7	1.28	68.2
C80	普列	0.88	73.0	1.54	73.0
	1 万吨	0.89	77.8	1.61	77.8
	2 万吨	0.92	73.0	1.67	68.7

各类货列车作用下, 0 号台处两个纵向活动支座实测纵向位移均不相同, 其中内侧支座明显大于外侧支座。据调查, 该外侧支座在卸载后仍存在约 2 cm 的纵向偏位, 列车荷载作用下支座实测纵向位移偏小应与该支座纵向活动能力受限有关。

4. 结论

通过对上院村中桥进行了不同货列车编组下运行速度 70 km/h、75 km/h 和 80 km/h 的动载试验, 实测桥梁动力响应与列车速度关系不明显, 梁体跨中横向振幅等随列车速度的提高呈增长趋势, 但增长幅度较小, 桥涵结构可满足提速至时速 80 公里的安全运营要求。

1) 梁体跨中挠度与行车速度关系不明显, 挠度实测值随列车轴重加载效率的增加而增大。

2) 在 C64、C70、C80 重车作用下, 梁体跨中横向振幅与行车速度关系不明显; C80 货车作用下, 梁体跨中横向振幅随行车速度提高而增大的趋势; 各类重车作用下梁体跨中竖向振幅与行车各类货列车作用下梁体跨中应变与行车速度关系不明显; 支座纵向位移与行车速度关系不明显, 随列车轴重加载效率的增加而增大。

3) 在各类重车作用下, 实测 0 号台处外侧纵向活动支座的纵向位移明显小于内侧纵向活动支座, 且卸载后该支座仍存在约 2 cm 纵向偏位, 支座实测纵向位移偏小应与该支座纵向活动能力受限有关。因而需要对活动受限的支座进行更换处理。

基金项目

中国神华能源股份有限公司科技创新项目[神朔科技开发项目([2017]7 号)]。

参考文献

- [1] 罗慧刚. 重载铁路桥梁提速作用下动力性能试验研究[J]. 国防交通工程与技术, 2014, 12(4): 39-42+72.
- [2] 管天保. 沪宁线客货列车提速试验[J]. 中国铁路, 1996(3): 11-14+5.
- [3] 龙卫国, 蒋丽忠, 王晓锋. 既有重载铁路简支梁桥提速适应性分析[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2017, 32(4): 49-53.
- [4] 肖彦君. 我国既有铁路提速的试验研究[J]. 中国铁道科学, 2000, 21(1): 11-19.
- [5] 龙卫国, 蒋丽忠, 陈令坤. 重载列车过桥时桥梁的垂向动力分析[J]. 振动与冲击, 2013, 32(12): 140-143+149.
- [6] 龙卫国. 既有重载铁路桥梁提高轴重适应性研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [7] 李保龙. 重载铁路小跨度桥梁换梁施工及运营性能测试分析[J]. 铁道建筑, 2019, 59(3): 14-17.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org