

重载列车 40 m 简支钢板梁桥运营安全性分析

武剑伟¹, 刘芳²

(1. 上海建科工程咨询有限公司, 上海 200032; 2. 同济大学土木工程学院, 上海 200092)

摘要: 运用有限元方法建立了车辆模型(轴重 23 t、25 t 和 30 t)和 40 m 简支钢板梁桥模型, 利用基于模态叠加法的车桥耦合分析软件 VBC2.0 对车桥耦合振动进行了分析研究, 以评定重载列车通过 40 m 简支钢板梁桥时的运营安全性。

关键词: 车桥耦合振动; 重载列车; 运营安全性

中图分类号: U24 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2014)01-0019-05

0 引言

我国铁路负荷大、密度高、客货列车混行, 长期以来一直是制约国民经济发展的瓶颈。随着我国经济建设的不断发展, 铁路交通运输压力也随之增大, 发展重载运输, 提高铁路货运能力成为当务之急。桥梁是铁路线路的重要组成部分, 对于既有线上的重载运输, 除了要解决重载牵引, 重载车辆制造技术外, 还要考虑重载列车在既有桥梁上的运营安全性问题, 这是既有线上重载列车开行所要考虑的首要问题。

本文采用由同济大学轨道交通桥梁研究室开发编制的车辆-桥梁/轨道系统耦合振动计算程序 VBC2.0 进行车桥耦合振动分析计算^[1]。首先建立车辆模型(轴重 23 t、25 t 和 30 t)和 40 m 简支钢板梁桥模型, 并对车辆和桥梁/轨道结构进行模态分析, 然后将模态分析结果写入数据文件供 VBC2.0 读取, 程序即可脱离通用有限元程序独立进行车辆-桥梁/轨道耦合振动计算, 得到桥梁和车辆动力响应, 用以评定重载列车通过 40 m 简支钢板梁桥时的运营安全性。

1 车辆模型

本文所使用的建模方法为: 采用拟力法, 在解除悬挂系统约束的同时将悬挂系统内力作为虚拟激励力施加于原悬挂约束作用点处, 使得运动方程左端项对应的特征值问题仅与质量矩阵有关而与刚度矩阵无关, 从而能够直接由车辆几何信息和质量信息得到解析表达的刚体模态^[2]。在车辆自由度数目较大、车辆种类较多或者需要频繁更改车辆参数的情况下, 该方法能够明显节省建模时间和计算量, 具有较高的通用性、灵活性和计算效率。

利用 MATLAB 程序编制车辆模态求解程序, 通过修改车辆参数可以方便地导出后续车桥耦合振动分析所需的车辆模态文件。本文所使用的几种车辆的几何参数和物理参数均依照相关技术文件进行设定。

2 桥梁模型

既有桥梁选自京广线某 40 m 铆接上承式钢板梁, 设计等级中-22, 桥面线路均为木枕明桥面。该桥主梁中心距为 2 m, 主梁高 3.28 m, 上下翼缘板宽为 440 mm, 腹板厚 12 mm。该桥上平纵联为每 2 m 设一交叉杆, 下平纵联为每 4 m 设一大三角, 端横联及中间横联也为交叉杆, 每 4 m 设一中间横联。梁体自身质量为 82.4 t (包括人行道), 桥面线路质量 40 t, 桥梁上部结构总质量为 122.4 t。

利用大型结构分析软件 ANSYS 进行桥梁建模, 桥面板、人行道板及铆钉螺栓等质量通过调整整个结

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxhbzrb.2014.01.04

收稿日期: 2013-04-13

作者简介: 武剑伟 男 1986 年出生 助理工程师

构的比重平均分配到各单元中。上下翼缘、腹板、竖向、横向加劲肋均采用不同厚度的板壳单元 shell63 模拟,采用映射网格划分单元。上、下平纵联、横联交叉杆均用杆单元 link8 模拟,每根杆为一个单元。上下翼缘与腹板交叉点为刚性联结,纵、横联与交叉点为铰接。略去桥墩的影响,一端为固定支座,另一端为铰支座模拟。全桥有限元模型如图 1 所示。

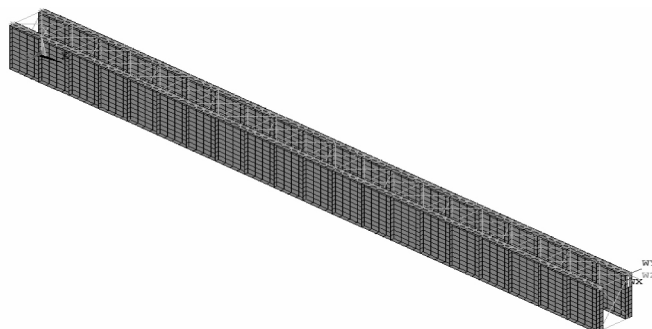


图 1 全桥有限元模型

3 运营安全性分析

3.1 计算参数

(1) 轨道不平顺。本文中,为模拟铁路实际运营状况,采用国内实测的干线线路上的不平顺作为动力学计算时的线路不平顺。实测干线上的左、右轨道横向和垂直不平顺如图 2 ~ 图 3 所示。轨道长度为 1 000 m。

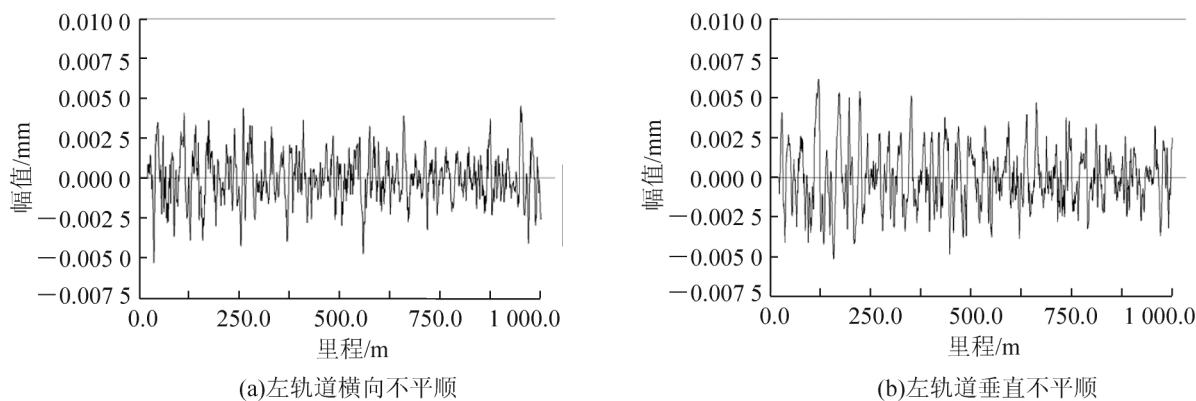


图 2 实测干线上的左轨道横向和垂直不平顺

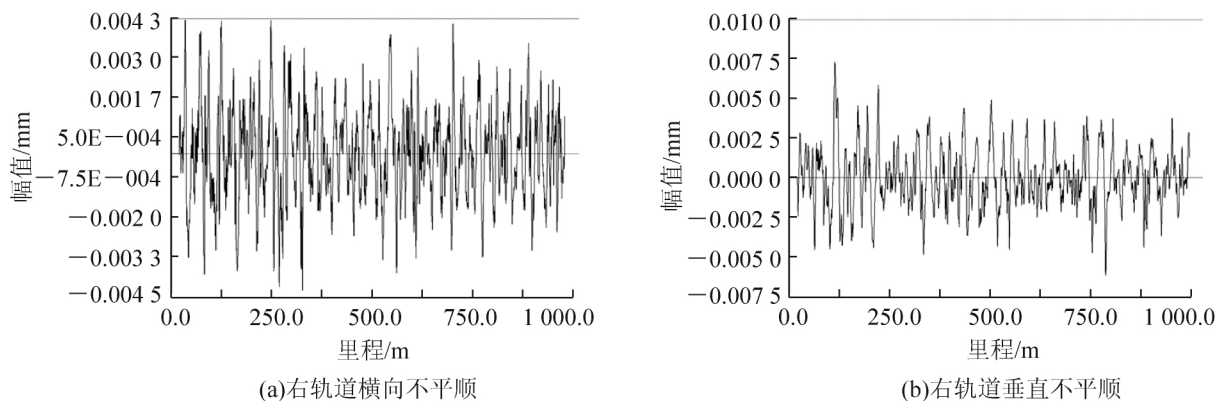


图 3 实测干线上的右轨道横向和垂直不平顺

(2) 计算工况。本文主要计算 C70 型通用敞车、C80B 型专用敞车和 30 t 轴重专用敞车(分别代表轴

重为 23 t、25 t 和 30 t 的货车) 分别以不同速度通过桥梁时车桥系统的振动响应, 计算工况见表 1。

表 1 车桥耦合振动分析工况汇总

工况	工况描述	计算车速/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
工况 1	1 线 C70 型通用敞车重车通过(8 节编组)	80
工况 2	1 线 C70 型通用敞车重车通过(8 节编组)	100
工况 3	1 线 C70 型通用敞车重车通过(8 节编组)	120
工况 4	1 线 C80B 型专用敞车重车通过(8 节编组)	80
工况 5	1 线 C80B 型专用敞车重车通过(8 节编组)	100
工况 6	1 线 C80B 型专用敞车重车通过(8 节编组)	120
工况 7	1 线 30t 轴重专用敞车重车通过(8 节编组)	80
工况 8	1 线 30t 轴重专用敞车重车通过(8 节编组)	100
工况 9	1 线 30t 轴重专用敞车重车通过(8 节编组)	120

3.2 车辆动力响应分析与评定

根据计算, 车体的振动响应指标分别列于表 2 中, 包括脱轨系数 Q/P 、轮重减载率 $\Delta P/P$ 、轮对横向力 Q 、车体竖向加速度 A_v 、车体横向加速度 A_L 及竖向、横向 Sperry 指标 W_v, W_L 。(限于篇幅仅以 C80B 货车为例, 下同)。

表 2 C80B 货车通过桥梁时(工况 4~6) 车辆响应

工况	$v / (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	Q/P	$\Delta P/P$	Q / kN	$A_v / (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	$A_L / (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	W_v	W_L
工况 4	80	0.335	0.146	61.18	1.689	1.146	3.673	3.249
工况 5	100	0.274	0.289	57.814	4.020	1.437	4.058	3.693
工况 6	120	0.268	0.205	54.385	2.577	1.710	4.087	3.971

图 4~图 5 为 C80B 货车在 100 km/h 运行速度下, 车辆动力响应指标如脱轨系数、轮对减载率的时程曲线图, 以及竖向、横向斯佩里指标。

依据相关规范准则^[4], 可以对车辆响应的等级进行评判: 工况 4 时, W_v 评定为“良”, W_L 评定为“优”, 其余指标均评定为“合格”; 工况 5 时, W_L 评定为“良”, 其余指标均评定为“合格”; 工况 6 时, W_L 评定为“良”, 其余指标均评定为“合格”。

3.3 桥梁动力响应分析与评定

表 3 为 C80B 货车以不同的速度通过既有桥梁时, 桥梁响应最大值的计算结果, 主要给出了桥梁关键部位的节点振幅、加速度等计算结果。

表 3 C80B 货车通过桥梁时(工况 4~6) 桥梁跨中响应最大值

工况	$v / (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	横向振幅/mm	横向加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	竖向加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
工况 4	80	0.852	0.929	0.660
工况 5	100	1.001	1.529	2.101
工况 6	120	0.874	1.867	1.046

图 6 为 C70、C80B 和 30 t 轴重货车在 100 km/h 运行速度下, 桥梁动力响应指标如跨中竖向加速度、横向振幅、横向加速度的时程曲线。

依据相关规范准则^[4], 可以对桥梁各项动力响应指标进行评判: 工况 4 时, 跨中横向振幅 $\leq$ 安全限值, 横向加速度满足规范要求, 竖向加速度满足规范要求; 工况 5 时, 跨中横向振幅 $\leq$ 安全限值, 横向加速度不满足规范要求, 竖向加速度满足规范要求; 工况 6 时, 跨中横向振幅 $\leq$ 安全限值, 横向加速度不满足规范要求, 竖向加速度满足规范要求。

4 结论

根据车桥耦合动力分析结果, 对于跨径为 40 m 的简支钢板梁而言, 当运行 C70 型通用敞车时, 除 120 km/h 运行条件下桥梁跨中横向加速度超过限值要求外, 其余车辆及桥梁各项指标均符合相关规范的要求; 运行 C80B 型专用敞车时, 除 80 km/h、120 km/h 运行条件下桥梁跨中横向加速度超过限值要求外, 其余车辆及桥梁各项指标均符合相关规范的要求; 运行 30 t 轴重专用敞车时, 除 80 km/h、120 km/h 运行条件下桥梁跨中横向加速度超过限值要求, 120 km/h 运行条件下车辆横向平稳性指标不合格外, 其余车辆

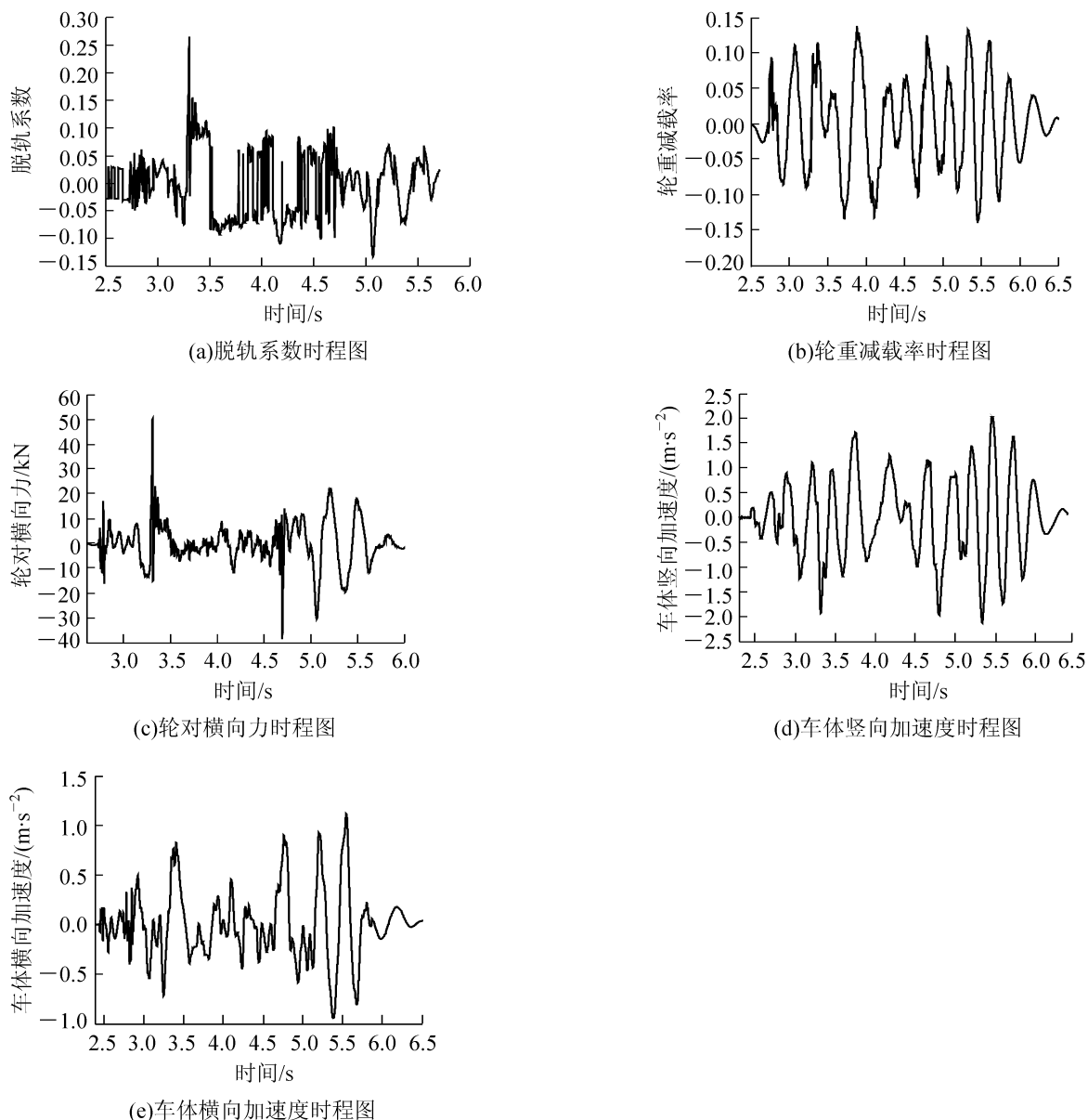


图 4 C80B 型通用敞车在 100 km/h 运行速度下车辆响应各指标时程图

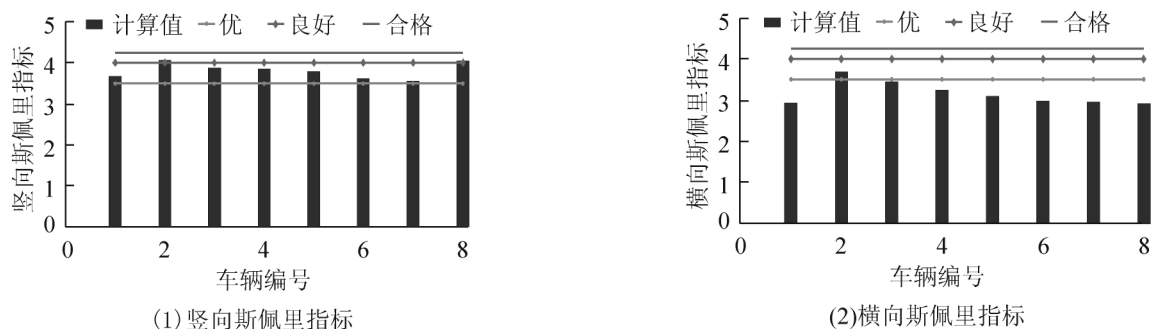


图 5 C80B 型通用敞车在 100 km/h 运行速度下车辆斯佩里指标

及桥梁各项指标均符合相关规范的要求。对于跨径为 40m 的简支钢板梁有以下结论:

- (1) 可以安全运行轴重为 23 t 的 C70 型通用敞车,其运行速度可达 120 km/h。
- (2) 当运行速度在 80 km/h 以内时,可以运行轴重为 25 t 的 C80B 型专用敞车时,如需以更高车速运

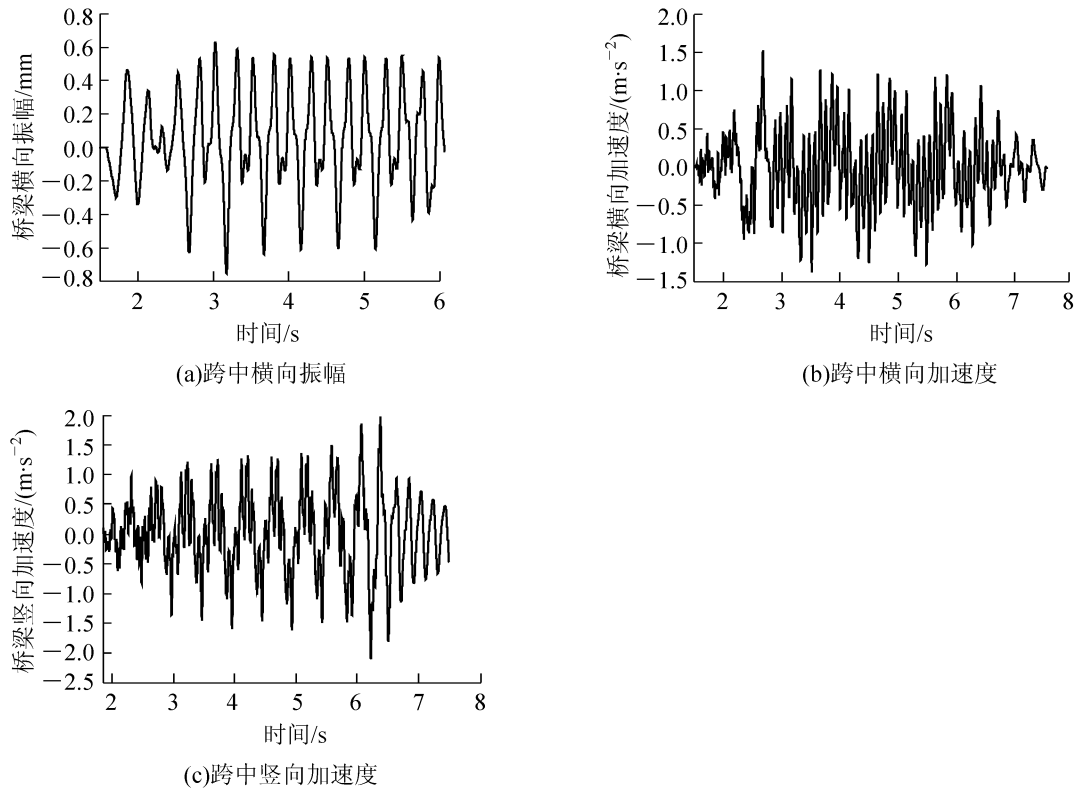


图 6 C80B 型通用敞车在 100 km/h 运行速度下桥梁响应各指标时程图

行,则需对桥梁横向进行加固。

(3) 当运行速度在 80 km/h 以内时,可以运行轴重为 30 t 专用敞车时,如需以更高车速运行,则需对桥梁横向进行加固。

参 考 文 献

- [1] 李奇. 车辆-桥梁/轨道系统耦合振动精细分析理论及应用 [M]. 上海: 同济大学土木工程学院, 2008.
- [2] 侯永姣, 吴定俊, 李奇. 车桥耦合振动分析中基于虚拟力的车辆建模方法 [J]. 结构工程师, 2012, 28(3): 55-59.
- [3] 铁道部标准计量所. GB5599—85 铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.
- [4] 同济大学. 铁运函 [2004] 120 号 铁路桥梁检定规范 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.

Research on Operation Safety of Heavy Haul Train and 40 m-simple-supported Steel Plate Beam Bridge

Wu Jianwei¹, Liu Fang²

(1. Shanghai Jianke Engineering Consulting Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. School of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The finite element model of vehicle with different axle load and 40 m-simple-supported steel plate bridge is built in the article, and the vehicle-bridge coupling vibration analysis software-VBC2.0 based on mode superposition method is used to do the computation to assess the operation safety of heavy haul vehicle while crossing the bridge.

Key words: vehicle-bridge coupling vibration; heavy haul vehicle; operation safety

(责任编辑 刘宪福)