

重载铁路小跨径混凝土桥梁运营性能研究

张二田

(朔黄铁路发展有限责任公司 河北 沧州 062350)

摘要: 重载铁路运输的快速发展提高了铁路的运输能力和经济效益,但列车轴重提高和编组增加给既有铁路桥梁带来了严重的影响。采用现有标准设计的桥梁结构,虽然在一定程度上可以满足列车运营要求,但也暴露出小跨度桥梁承载能力不足、桥梁横向振动偏大等危及列车安全的问题。以重载运输条件下小跨径混凝土简支梁桥为研究对象,通过理论计算分析,结合桥梁运营性能试验,对桥梁的受力特点和运营性能进行系统地研究。

关键词: 重载铁路;小跨径;桥梁;运营性能

中图分类号: U443 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2013)02-0008-05

重载运输可显著提高货运效益,是世界铁路大宗货物运输的主要发展方向。我国既有铁路列车轴重一般维持在21~23 t。虽然大秦、朔黄等重载铁路开行了轴重25 t的长编组列车,年运量及列车密度已居世界领先水平,但运量与运能之间的矛盾仍未得到有效解决。因此,进一步提高列车轴重,实现既有铁路开行大轴重列车是我国铁路发展的重要方向之一。由于重载列车的轴重提高,牵引质量增大、列车运营密集,虽然铁路运营能力和经济效益相比之前大大提高了,但是对桥梁的冲击作用也随之增大,必然导致梁体破坏严重、损伤加剧,甚至危及铁路行车安全^[1-2]。

以重载铁路小跨径简支梁桥为研究对象,研究分析既有中-活载图示中普通活载和特种活载对不同跨度桥涵的影响程度,提出最不利荷载影响的结构跨度(小跨度)形式。针对重载铁路小跨度桥梁的受力特点,对既有铁路开行大轴重货物列车条件下桥涵的运营性能进行系统研究,为保证运营安全提供必要的技术支撑。

1 重载运输条件下小跨径桥梁荷载效率分析

桥梁结构荷载效率系数可以反映桥梁结构运营荷载与设计荷载作用效应之间关系,列车荷载增幅相同时不同跨径结构荷载效率大小变化不同。通过比较分析不同跨径荷载效率系数的变化规律,对不同跨径桥梁结构的承载能力进行分析评价,为今后设计工作中合理选择桥梁结构跨径提供依据。

荷载效率系数 η_q 与运营车辆荷载形式和桥梁跨径有关,同一荷载在不同跨径时荷载效率不同,同一跨径不同荷载形式荷载效率系数也不相同。荷载效率系数的大小能够反映桥结构目前运营荷载与设计荷载效应之间的关系,可以通过该系数对桥梁结构的承载力状况进行评价。

结构的荷载效率系数是指桥梁结构目前运营荷载作用产生的荷载效应与设计采用标准荷载作用产生的荷载效应之比

$$\eta_q = S_s / S \quad (1)$$

式中, S_s 为车辆荷载作用下控制截面内力或变位的最大计算效应值; S 为中-活载作用下同一加载控制截面内力或变位的最不利计算效应值; η_q 为静力实验荷载效率。

1.1 设计荷载图式选择

铁路桥梁设计计算中,设计荷载的荷载形式决定了桥梁结构的设计承载力。世界各国根据铁路发展

收稿日期:2013-01-07

作者简介:张二田 男 1970年出生 高级工程师

基金项目:铁道部科技研究开发计划项目(2012G011-A)

需要,以目前及今后运营车辆荷载为依据,在保证桥梁结构具有足够的承载能力的基础之上,制定本国桥梁设计活载标准。随着我国铁路事业的蓬勃发展,我国的铁路桥梁设计活载标准经过不断的改进,目前以中-活载作为铁路桥梁设计标准图式(见图1)^[3-4]。

跨径不同特种荷载与普通荷载在结构上产生的荷载效应不同,按照最大荷载效应在选择荷载图式作为设计荷载。计算了跨径从2 m到48 m不同跨径简支梁桥结构在特种荷载和普通荷载作用下跨中位置弯矩值,比较了两种荷载产生的弯矩值的变化情况,两种荷载在结构跨中产生弯矩效应比值如图2所示。

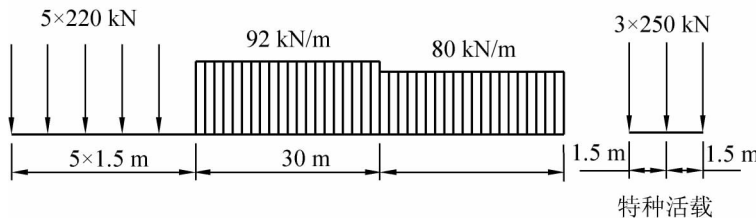


图1 中-活载图式

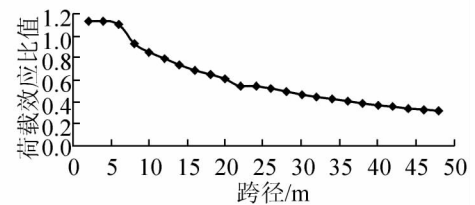


图2 特种荷载与普通荷载作用效应比值图

从图2可以看出,当跨径小于8 m时特种荷载在结构跨中产生的弯矩值大于普通荷载跨中弯矩值,随着跨径的增加特种荷载在结构跨中产生的弯矩值与普通荷载在结构跨中产生的弯矩值的比值逐渐降低。因此在跨径小于8 m时应采用现行标准活载中-活载中的特种荷载应作为设计,当跨径等于或超过8 m时中-活载中的普通活载作用效应较大,应作为设计计算荷载。

1.2 计算车辆荷载形式

目前重载铁路运行列车为大轴重列车,通常大轴重荷载模式可以分为两种,第一种荷载模式随轴重加大,轴距也随着加大,车辆荷载的单延米集度随着轴重的加大而降低,随着轴重的加大,只对桥梁结构的局部承压控制,并不控制线下桥梁结构的整体承载力。第二种荷载模式,在轴距保持不变的情况下,随着轴重的加大,车辆荷载的单延米集度随着轴重的加大而提高,因此,第二种荷载模式随轴重加大则控制线下桥梁结构的承载力。因此研究主要考虑轴重加大、轴距不变的原则,随着轴重的加大,车辆荷载的单延米集度随着轴重的加大而提高,控制线下桥梁结构的承载力。

重载铁路现行列车主要包括C64、C70、C80等三种。根据铁道科学研究院组织大秦线万吨列车试验时的建议及列车运营的实际情况,将各个国家实际重载运输的最重列车模型化为两种重载列车。其中A型车:两台机车+货车的最大延米重,如图3(a)所示。B型车:货车的最大延米重+一台机车+货车的最大延米重,如图3(b)所示。在计算中对列车荷载图式采取了“最大延米重+一台机车+货车的最大延米重”的形式^[5]。

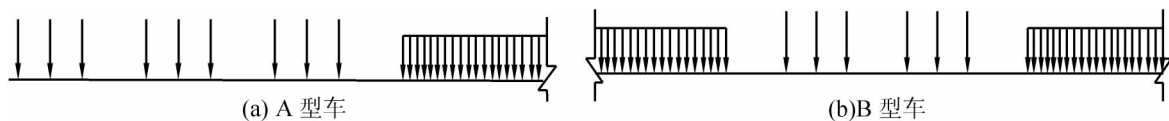


图3 重载列车荷载图式

1.2.1 C64 列车荷载图式

采用的列车活载形式为实际运营列车活载形式,C64列车车长为13.43 m,轴重为210 kN,其活载形式如图4所示。

1.2.2 C70 列车荷载图式

采用的列车活载形式为实际运营列车活载形式,C70列车车长为13.976 m,轴重为230 kN,其活载形式如图5所示。

1.2.3 C80(25 t) 列车荷载图式

采用的列车活载形式为实际运营列车活载形式,C80(25 t)轴重列车车长为12 m,轴重为250 kN,其活载形式如图6所示。

1.2.4 C80(27 t) 列车荷载图式

采用的列车活载形式为实际运营列车活载形式, C80(27 t) 轴重列车车长为 12 m, 轴重为 270 kN, 其活载形式如图 7 所示。

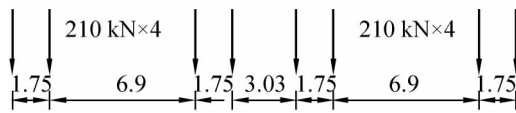


图4 C64 列车荷载图式(单位: m)

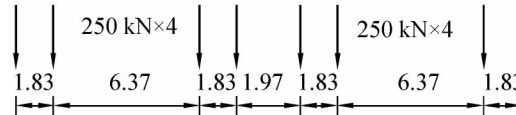


图6 C80(25 t) 列车荷载图式(单位: m)

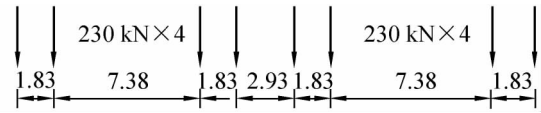


图5 C70 列车荷载图式(单位: m)

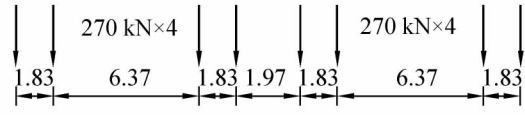


图7 C80(27 t) 列车荷载图式(单位: m)

1.3 跨中弯矩与跨径关系分析

根据公式(1) 计算得各跨径不同荷载的荷载效率系数, 4种车型车辆荷载的荷载效率随简支梁跨径变化规律如图8所示。

从图8可以看出, 4种车辆荷载的荷载效率系数随结构跨径变化的规律基本一致, 简支梁跨径从2~16 m 随着跨径的增加, 荷载效率系数减小, 荷载效率系数在跨径为16 m 左右时出现最小值; 简支梁跨径从16~36 m 时随着跨径的增加, 荷载效率逐渐增加且增幅较大。跨径大于36 m 后荷载效率系数随着跨径增加增长但增幅较小。由图8中荷载效率系数变化曲线可以看出, 在相同列车荷载作用下, 当简支梁跨径处于16~24 m 范围时, 结构荷载效率系数出现最小值, 说明该跨径范围结构相对不利。

2 重载铁路小跨径桥梁结构性能试验研究

对桥梁运营性能的试验研究一般通过测定桥梁在运营荷载作用下的各种测量参数确定其实际工作状态, 是对桥梁结构工作状态进行直接测试的一种检验手段。桥梁运营性能试验的目的是对桥梁的运营状况进行综合评定, 检测桥梁运营性能是否满足设计和运营要求, 是评定桥梁运营荷载等级最直接且最有效的办法。

2.1 小跨径桥梁运营性能试验测点布置

荷载试验时, 采用运营列车作为桥梁的试验列车, 测量桥梁结构的动力响应(位移、速度或加速度等参数实践历程曲线), 处理分析结构自振特性(振型、频率和阻尼系数) 和受迫振动性能移峰值、冲击系数和临界车速等, 以此评定桥梁结构运营性能是否满足行车安全的要求^[6]。

为了确定重载铁路小跨径混凝土桥梁结构安全运营性能, 选定朔黄铁路的高窝中桥(10 m 低高度钢筋混凝土梁)、西留肖中桥(12 m 低高度钢筋混凝土梁)、岭庄中桥(16 m 低高度预应力混凝土梁)、跨京开公路中桥(20 m 低高度预应力混凝土梁)、阳春农场中桥(24 m 超低高度预应力混凝土梁) 和南运河特大桥(32 m 预应力混凝土梁) 6座桥梁在不同速度的运营列车作用下的运营性能进行检测。动态测点布置图见图9。

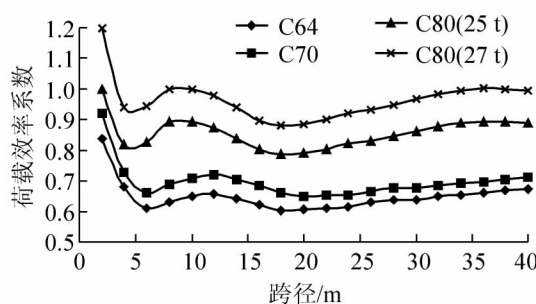


图8 荷载效率系数随跨径变化趋势图

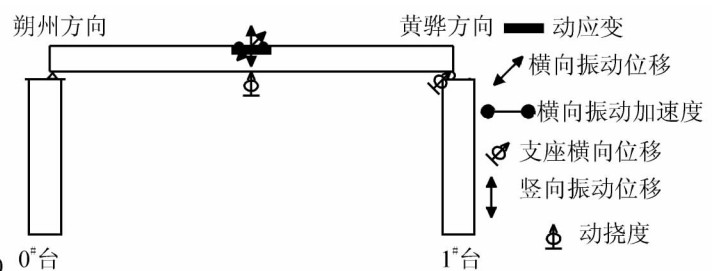


图9 动态测点布置图

2.2 小跨径桥梁运营性能试验结果对比分析

根据高窝中桥(10 m)、西留肖中桥(12 m)、岭庄中桥(16 m)、跨京开公路中桥(20 m)、阳春农场中桥(24 m) 和南运河特大桥(32 m) 6 桥梁运营性能试验测试数据,分析各跨径桥梁在列车荷载变化时桥梁动力参数的变化趋势。各跨径动力参数测试平均值见表 1 所示。

表 1 各跨径动力参数测试数据

桥梁名称	跨径/m	车型	跨中横向振幅/mm	跨中横向加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	跨中动挠度/mm
高窝中桥	10	C64	0.45	0.24	3.68
		C70	0.63	0.26	4.25
		C80(27 t)	0.62	0.27	5.53
西留肖中桥	12	C64	0.64	0.26	5.02
		C70	0.73	0.26	5.53
		C80(27 t)	0.82	0.26	6.72
岭庄中桥	16	C64	0.80	0.40	3.75
		C70	0.85	0.41	4.11
		C80 (27 t)	0.69	0.45	5.16
跨京开公路中桥	20	C64	0.48	0.34	12.14
		C70	0.69	0.36	13.57
		C80(27 t)	0.43	0.38	14.39
阳春农场中桥	24	C64	0.21	0.29	11.82
		C70	0.35	0.35	12.82
		C80(27 t)	0.22	0.38	14.15
南运河特大桥	32	C64	0.37	0.11	8.21
		C70	0.50	0.12	8.81
		C80(27 t)	0.60	0.12	9.24

图 10 ~ 图 12 为 C64、C70 和 C80(27 t 轴重) 型列车以现行速度通过桥梁时桥跨结构跨中动挠度、跨中横向振幅和跨中横向加速度变化散点图。

对图 10 ~ 图 12 中各跨度桥跨在轴重增加时的跨中动挠度、跨中横向振幅和跨中横向加速度做拟合曲线,发现这几种跨度桥梁变化趋势基本一致。在轴重增加时,10、12 和 16 m 桥跨随着跨径逐渐增加,跨中动挠度、跨中横向振幅、跨中横向加速度增加幅度呈增大趋势,在跨径为 16 m 时,增加幅度达到最大,在跨径变化到 20、24、32 m 时增加幅度逐渐变小。

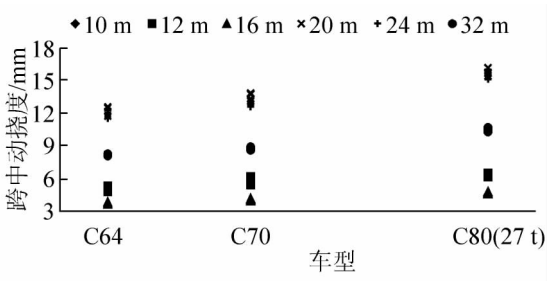


图 10 桥跨跨中动挠度变化散点图

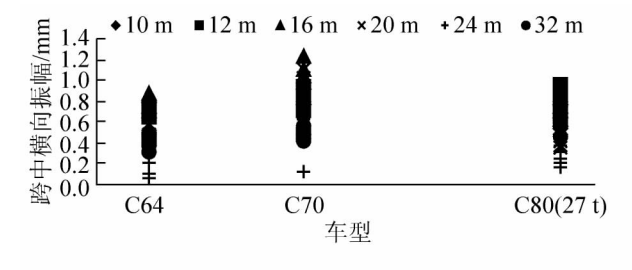


图 11 桥跨跨中横向振幅变化散点图

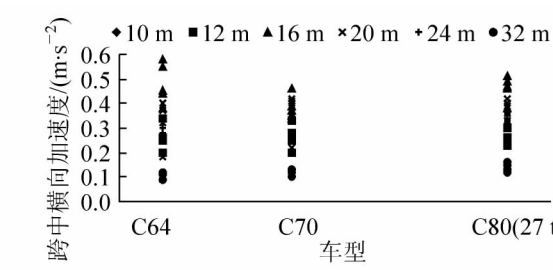


图 12 桥跨跨中横向加速度变化散点图

3 结论

以重载运输条件下小跨径混凝土简支梁桥为研究对象,通过计算分析,结合 10、12、16、20、24 和 32 m 混凝土简支梁桥现场试验,对该跨度范围内桥梁的受力特点和运营状态进行了系统地研究,主要结论如下:

- (1) 基于结构分析结果,简支梁桥跨径小于 16 m 时,荷载效率系数存在最大值,并且随着跨径增加呈

逐渐减小趋势。跨径从 16 ~ 24 m 时荷载效率随跨径呈增加趋势,增幅不大,跨径大于 24 m 后荷载效率系数随跨径增大而增大,但增大趋势缓慢。

(2) 通过 10、12、16、20、24 和 32 m 混凝土简支梁桥实桥测试分析表明,在轴重增加时,10、12 和 16 m 简支梁桥随着跨径逐渐增加,跨中动挠度、跨中横向振幅和跨中横向加速度增加幅度呈增大趋势,在跨径变化到 20、24、32 m 时增加幅度逐渐减小。

(3) 通过结构分析和运营性能试验可以看出,简支梁桥跨处于 16 ~ 24 m 范围时,结构荷载效率系数出现最小值;跨中动挠度、跨中横向振幅和跨中横向加速度增加幅度出现最大值。计算和实测结果一致,说明该跨径范围桥跨结构相对不利。

参 考 文 献

- [1] 魏井奎,李辰中.重载运输——中国铁路货运发展之路[J].科技资讯,2008(10):190-191.
- [2] 钱立新.世界铁路重载运输技术的最新进展[J].世界轨道交通,2007(12):20-23.
- [3] 戴福中,陈雅兰.重载铁路桥梁设计列车标准活载的研究[J].中国铁道科学,2004,25(4):80-84.
- [4] 辛学忠,张玉玲.铁路桥梁设计活载标准修订研究[J].铁道标准设计,2006(4):1-5.
- [5] 袁清武.货车构造与维修[M].北京:中国铁道出版社,2008.
- [6] 中华人民共和国铁道部.铁运函[2004]120 铁路桥梁检定规范[S].北京:中国铁道出版社,2004.

Operation Performance Evaluation Study of Small Span Concrete Bridge Under Heavy Load Railway Transportation

Zhang Ertian

(The Development Co. Ltd. of Shuo-Huang Railway, Cangzhou 062350, China)

Abstract: The rapid development of railway heavy haul transportation improves the railway's traction weight and economic benefit, but the increased train axle load and the train formation bring serious influence to the existing railway bridge. Although the bridge designed by the current standard can meet the requirements of the train operation in a great degree, the small span bridge's disadvantages such as insufficient bearing capacity, over-large lateral amplitude and so on are exposed, which jeopardize the safety of the train. With the research project of small span concrete bridge under the condition of heavy haul transportation, the dissertation systematically studies the bridge's stress characteristics and operation state applying the methods of calculation analysis and operation performance experiment.

Key words: heavy haul railway; small span; bridge; operation performance

(责任编辑 车轩玉)