

重载铁路并置 T 梁横向加固运营性能研究

罗慧刚

(朔黄铁路发展有限责任公司, 河北 沧州 062350)

摘要:随着我国既有铁路扩能运输的实施,运营列车整列载运量和单列轴重的增加,既有铁路梁体横向刚度偏小引起桥梁振幅过大、冲击振动加剧等,严重影响了铁路桥梁的安全运营。以朔黄铁路 32 m 预应力混凝土并置 T 梁为研究对象,以不同轴重运营列车车辆轮对的蛇行波为激振源,采用理论分析、现场实测方法,研究列车通过横隔板加固联结后桥跨结构的横向振幅的响应过程和变化规律,评价梁体的加固效果,为重载铁路并置梁的加固研究和维护管理提供科学依据。

关键词:重载铁路;并置 T 梁;加固研究;横向振动试验

中图分类号:U443 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2016)01-0020-05

0 引言

铁路是国民经济的大动脉,随着铁路重载的不断发展,单元列车轴重的加大、列车牵引质量的提升、既有线路的大规模提速以及行车密度的不断增加,铁路运力和经济效益得到了显著提高^[1]。但是,作为铁路线路的重要组成部分,桥梁遭受到的冲击振动越来越大,严重时必将危及铁路行车安全,是影响铁路运营安全的重要因素^[2]。结合我国铁路线路重载运营状况,面对运量逐年增加的局面,桥梁陆续出现了诸多病害,主要表现为:(1)横向无连接的钢筋混凝土并置梁,由于截面不对称、两片梁之间刚度差异导致的横向刚度不足和荷载偏心,梁的横向振动频率偏小、振幅偏大,行车中出现较大晃动;(2)跨径 8~12 m 的钢筋混凝土梁横向和纵向裂缝现象严重,跨径 16~32 m 的预应力钢筋混凝土梁支座附近斜裂缝现象开始凸显,重车线劣化速度加快,动挠度超限;(3)圆柱形墩、双柱墩的横向刚度偏小,列车作用下横向振幅较大;(4)支座出现多种病害,其中板式橡胶支座出现橡胶板开裂和脱空现象,摇轴支座的纵向位移偏大超过规定值、定位销剪断现象严重,弧形支座锚栓折断情况时有发生;(5)扩大基础桥梁墩台存在横向刚度不足,不均匀沉降导致桥墩倾斜等问题。本文主要研究重载列车对并置梁的影响,并以朔黄铁路 32 m 预应力混凝土 T 梁横向加固为例,研究横向联结数量的增加对并置梁横向振动的影响。

1 研究背景

我国早期修建的 T 形梁桥,设计荷载较低,一般没有设置横向连接构造或是设置的横向连接比较薄弱。并置的梁体在列车荷载作用下,由于结构截面不对称,空间整体工作性能差,横向刚度弱,造成梁体内外侧变形不一致,梁体产生斜弯曲变形^[3]。同时,车辆转向架的蛇形运动激励又将引起桥梁横向振动的加剧,从而导致桥梁横向振动加剧,横向振幅严重超限。朔黄铁路作为我国西煤东运的重要数字化重载铁路,2014 年运量已经超过 3 亿 t,并且随着 C80-2 万 t 牵引列车和 30 t 大轴重单元列车运营在即的长远发展前景,对桥梁结构提出了更高的要求。在既有运营列车作用下,并置梁横向振动问题日益突出,为保证列车的安全运营,需要对并置梁进行横向加固,目前对既有并置梁横向加固主要是进行横向联结加固,本文主要研究横向联结的数量对并置梁横向振动的影响。

收稿日期:2015-03-17 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2016.01.04

基金项目:铁道部科技研究开发计划(2012G011-A-1)

作者简介:罗慧刚(1975-),男,硕士,高级工程师,主要从事交通运输工程专业的研究。E-mail:zhouhuich@163.com

罗慧刚.重载铁路并置 T 梁横向加固运营性能研究[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2016,29(1):20-24.

2 重载运输条件下并置梁横向加固分析

2.1 有限元模型

利用 MIDAS/Civil 有限元软件分析并置 T 梁的横向振动。计算模型依据 32 m 并置预应力混凝土简支 T 梁通用图(专桥 2059)建立,采取不同的横向联结数量来计算对比梁体横向振幅的大小,横向联结依次为 2 个(两侧梁端)、3 个、5 个、7 个、9 个,通过调整约束自由度刚度来模拟支座对梁体的约束效果。

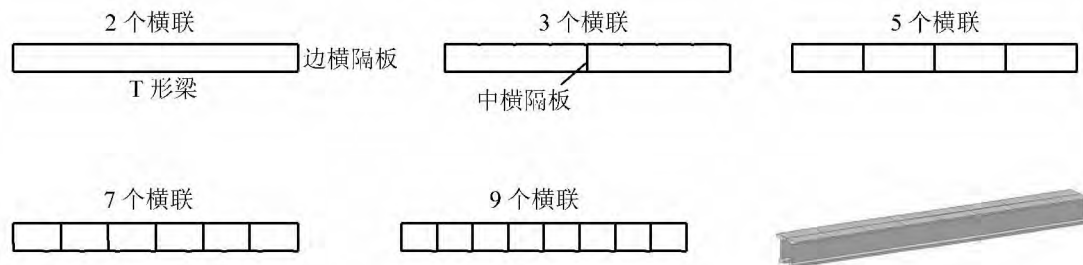


图 1 32 m 并置 T 梁有限元模型及横联数量示意图

2.2 列车荷载

2.2.1 朔黄铁路运营列车荷载图式

朔黄铁路为运煤专线,线路现列车主要是 C64、C70、C80 等 3 种型号运煤敞车,轴重分别为 21 t、23 t、25 t,随着扩能运输发展,轴重 30 t 的 KM98 已经开始试运行。C64 列车车长为 13 430 mm,车辆定距 8 700 mm,轴距 1 750 mm,轴重为 210 kN;C70 列车车长为 13 976 mm,车辆定距 9 210 mm,轴距 1 800 mm,轴重为 230 kN;C80 列车车长为 12 000 mm,车辆定距 8 200 mm,轴距 1 830 mm,轴重为 250 kN;KM98 列车车长为 14 330 mm,车辆定距 10 530 mm,轴距 1 860 mm,轴重为 300 kN。这 4 种列车荷载的荷载图示如图 2 和表 1 所示。

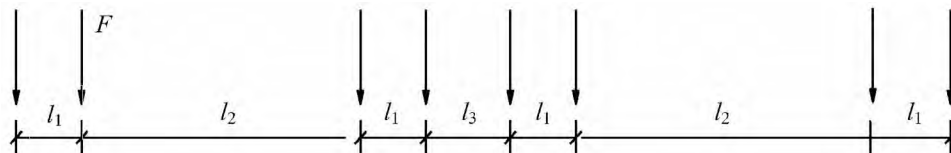


图 2 朔黄铁路运营列车荷载图式(2 辆)

表 1 朔黄铁路运营列车参数表

车辆型号	轴重 F/kN	l_1/mm	l_2/mm	l_3/mm
C64	210	1750	6 900	3 030
C70	230	1 800	7 410	2 930
C80	250	1 830	6 370	1 970
KM98	300	1 860	8 670	1 500

2.2.2 列车横向摇摆力荷载图式

桥上列车横向摇摆力是指任一时刻桥上所有车辆轮对对桥梁的侧向水平冲击力,它包括各车辆轮对对钢轨的横向压力与侧倾力,列车在桥上运行的任一瞬时,轮对横向压力由车辆车体、转向架、轮对的侧向水平惯性力引起,这些惯性力同时引起轮对对钢轨的侧倾力(竖向作用)^[4]。铁路桥梁动力学中通过测量得出直线桥梁上的车轮水平横向力在 10~30 kN 范围内,均值为 24 kN。就车轮横向力对竖向力的依赖关系进行了统计分析,表明这种依赖关系是很大的,结果也确证水平横向力 F_s 大约为竖向轮力 F 的 1/3^[5]。桥跨结构横向振幅是评价桥跨结构横向刚度的重要指标,为了能够模拟与现实接近的并置梁动力性能,如图 3 和表 2 所示为动力分析时简化的列车荷载(设计横向摇摆力为 100 kN)。在进行有限元分析时,为与实际运营速度保持一致,分别使用 C64、C70、C80 和 KM98 型列车和设计横向摇摆力以 60 km/h

的速度通过桥梁。

表 2 动力分析时列车横向摇摆力荷载表

车型	F/kN	F_s/kN	l_1/m	l_2/m
C64	210	$F/3$	1.75	6.90
C70	230	$F/3$	1.80	7.41
C80	250	$F/3$	1.83	6.37
KM98	300	$F/3$	1.86	8.67

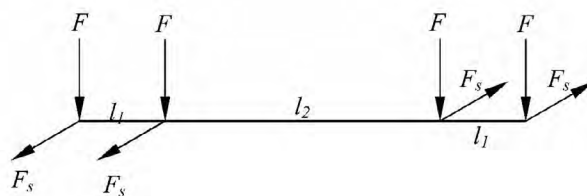


图 3 动力分析时简化的列车荷载图

2.3 有限元分析结果

由于车辆荷载单轮作用在节点时是个瞬间作用后随即消失的一种冲击荷载,所以在计算分析时将其近似地模拟为最大值为单轮横向摇摆力的三角形荷载函数。如图 4 所示,假设单轮车辆荷载在 t_0 时刻开始施加到节点上,经过 $t_1 - t_0$ 时间后达到最大值,又经过 $t_2 - t_1$ 时间后该节点上的力降为 0,其中 t_0 和 t_1 之间以及 t_1 和 t_2 之间的时间差(假设两个时间差相等)由车辆的速度和所建模型的节点间距来决定。

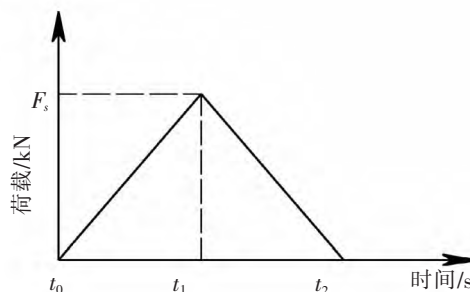


图 4 将车辆单轮荷载近似模拟的三角形荷载函数

按照相同车速选择荷载图式作为计算荷载函数。本文计算了 32 m 简支预应力混凝土并置 T 梁桥在不同数量横向联结时,设计横向摇摆力和运营列车作用

横向摇摆力对梁体产生的横向振幅的变化情况,不同横向联结数量的并置 T 梁在横向摇摆力作用下横向振幅最大值,并与《铁路桥梁检定规范》^[6](以下简称《桥检规》)规定的桥跨结构横向刚度通常值和行车安全限值进行对比,数据见表 3(《桥检规》桥跨结构横向振幅通常值为 2.54 mm,安全限值为 3.56 mm)。

表 3 并置 T 梁不同数量横联动力分析时横向振幅最大值表

荷载类型	桥跨结构横向振幅/mm				
	2 个横联	3 个横联	5 个横联	7 个横联	9 个横联
C64	2.52	1.72	0.80	0.55	0.47
C70	2.90	1.97	1.14	0.74	0.61
C80	3.46	2.39	1.40	0.82	0.73
KM98	4.68	2.96	1.77	1.18	1.05
设计横向摇摆力	6.29	3.85	2.40	2.12	2.04

由表 3 可以看出:(1)随着列车轴重的增加,桥跨跨中横向振幅呈增大趋势;(2)随着横向联结数量的增加,同一列车同一速度下桥跨跨中横向振幅呈减小趋势;(3)随着横向联结数量的不断增加,桥跨跨中横向振幅减小趋势逐渐减缓,数值逐渐接近,说明横向联结达到一定的数量之后,横向联结数量的增加对横向刚度影响逐渐减弱;(4)当 32 m 并置 T 梁横联数量为 3 个时,运营列车 C64、C70 和 C80 作用下,桥跨结构横向振幅小于《桥检规》通常值,KM98 和设计横向摇摆力作用下,桥跨结构横向振幅大于《桥检规》通常值,且设计横向摇摆力作用下,桥跨结构横向振幅大于《桥检规》安全限值;运营列车和设计横向摇摆力作用下,至少设置 5 个横联,桥跨结构横向振幅小于《桥检规》通常值。

3 32 m 预应力混凝土 T 梁横向振动试验

桥跨结构的跨中横向振幅是反应桥跨结构横向振动性能的主要参数,因此在测试主梁横向动力性能时主要测试跨中横向振幅等振动参数。选取朔黄铁路崧杨岔河大桥、左线跨京九铁路特大桥、子牙新河特大桥、南运河特大桥、吴官屯大桥五座桥梁的 32 m 预应力混凝土并置 T 梁,对其横向联结加固前(3 个横联)和加固后(9 个横联)进行横向振动试验,得到桥梁在运营荷载作用下梁跨结构跨中横向振幅,并与《桥检规》规定的相关参数进行比较,分析结构加固前后在不同车辆作用下的横向振幅。

朔黄铁路崧杨岔河大桥(128[#] 桥),中心里程 K269+642,桥全长 165.41 m,双线,孔跨样式:(1×

24 m+4×32 m)预应力混凝土 T 梁,全桥均采用盆式橡胶支座,测试孔跨为第 2 孔,梁体已进行横向联结加固,桥墩为双柱式桥墩,桥墩基础为沉井基础。

朔黄铁路左线跨京九铁路特大桥(202[#]桥),中心里程 K411+966,桥全长 2 058.16 m,单线,孔跨样式:(39×32 m+2×24 m+22×32 m)预应力混凝土 T 梁,全桥均采用钢支座,测试孔跨为第 29 孔,梁体已进行横向联结加固,桥墩为矩形板式桥墩,基础采用钻孔桩基础。

朔黄铁路子牙新河特大桥(219[#]桥),中心里程 K460+602,桥全长 3 479.59 m,单线,孔跨样式:(106×32 m)预应力混凝土 T 梁,全桥均采用盆式橡胶支座,测试孔跨为第 11 孔,梁体已进行横向联结加固,桥墩为单圆柱桥墩,基础采用钻孔桩基础。

朔黄铁路南运河特大桥(243[#]桥),中心里程 K499+979,桥全长 3 571.30 m,单线,孔跨样式:(25×32 m+2×24 m+2×32 m+1×64 m+57×32 m+3×24 m+19×32 m)预应力混凝土 T 梁和钢桁梁,全桥预应力混凝土 T 梁均采用盆式橡胶支座,64 m 钢桁梁采用钢支座,测试孔跨为第 28 孔,梁体已进行横向联结加固,桥墩为圆端形板式桥墩,基础采用钻孔桩基础。

朔黄铁路吴官屯大桥(245[#]桥),中心里程 K504+042,桥全长 496.20 m,单线,孔跨样式:(13×32 m+1×24 m+1×32 m)预应力混凝土 T 梁,全桥均采用盆式橡胶支座,测试孔跨为第 12 孔,梁体已进行横向联结加固,桥墩为矩形板式桥墩,基础采用钻孔桩基础。

3.1 横向联结加固方式

由于 T 形截面不对称,联结较弱或无横隔板联结的并置梁处于斜弯曲受力状态,每片梁的两侧应力不均,而且在动荷载作用下,两片梁的振动也不同步。在提速改造中,有必要增设横隔板,将两片梁联成整体,消除上述影响。分片 T 形梁的横向联接方式一般采用 $\Phi 25$ mm IV 级精轧螺纹钢作为横向预应力钢筋,在横隔板外侧穿过两片梁的腹板,进行预应力张拉锚固,将并置的两片梁联结成整体,如图 5 所示。

3.2 实测结果

当不同车辆荷载通过五座测试桥梁试验孔跨时,车辆运营速度基本位于 55~65 km/h 之间,因此将其视为一个速度区间,试验桥跨结构跨中横向振幅数据见表 4。

表 4 试验孔跨并置 T 梁横向联结加固后横向振幅最大平均值表

荷载类型	试验孔跨桥跨结构跨中横向振幅/mm									
	128 [#] 桥		202 [#] 桥		219 [#] 桥		243 [#] 桥		245 [#] 桥	
	加固前	加固后	加固前	加固后	加固前	加固后	加固前	加固后	加固前	加固后
C64	1.65	0.44	1.68	0.46	1.77	0.54	1.79	0.57	1.74	0.55
C70	1.83	0.53	1.87	0.55	2.04	0.66	2.11	0.64	2.09	0.63
C80	2.48	0.69	2.49	0.68	2.57	0.78	2.52	0.76	2.53	0.79

由表 4 中数据可得:(1)试验孔跨并置 T 梁横向联结加固前,结构跨中横向振幅普遍较大,试运营列车 C80 作用下,跨中横向振幅有大于《桥检规》通常值情况出现;(2)试验孔跨并置 T 梁通过横向联结加固后,跨中横向振幅明显减小,减小了 70%左右,小于《桥检规》规定的通常值,表明加固后桥跨结构横向刚度能够满足运营要求。

4 结论

铁路桥梁承受重型活载,尤其是重载铁路,随着轴重和行车速度的提高,桥梁不仅要有足够的强度和竖向刚度,还要有良好的横向刚度,桥跨结构跨中横向振幅能直接反应桥跨结构的横向刚度。

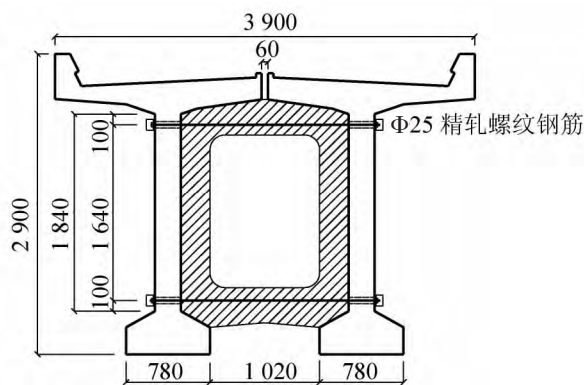


图 5 32 m 预应力混凝土并置 T 梁横向加固示意图(单位:mm)

(1) 并置 T 梁桥跨结构横向振幅不仅仅与列车轴重有关系, 且与并置梁之间横向联结数量有直接关系。在提速改造中, 分片式简支梁横隔板缺少或由薄弱引起的断裂问题严重影响桥跨结构的横向振动。

(2) 通过理论计算 32 m 并置 T 梁不同数量的横向联结对桥跨结构横向振幅的影响可以得出, 通过横向联结能够提高桥跨结构的横向刚度, 且随着横向联结数量的增加, 横向刚度的增加趋势变缓, 当完好联结数量为 5 个以上时, 桥梁的横向刚度能够满足列车运营要求。

(3) 通过对朔黄铁路 32 m 并置 T 梁横向联结加固前后的横向振动试验可以得出, 加固后桥跨结构横向振幅约为加固前的 30% 左右, 横向刚度提升较多, 满足《桥检规》规定的通常值和安全限值及运营要求, 32 m 并置 T 梁采用该工艺进行横向联结加固效果较好。

参 考 文 献

- [1] 同长虹, 韩龙武. 既有铁路桥梁运营性能的评价与检测[J]. 铁道建筑, 2003(7): 3-4.
- [2] 邓蓉, 刘建瑞. 既有铁路桥梁检定评估试验研究[J]. 铁道建筑, 2010(12): 1-6.
- [3] 代金鹏, 王起才, 张戎令, 等. 并置梁横向加固运营后剩余有效预应力研究[J]. 铁道建筑, 2014(5): 34-36.
- [4] 陈准, 曾庆元. 桥上列车横向摇摆力的随机分析[J]. 桥梁建设, 2002(2): 1-4.
- [5] 曾庆元, 郭向荣. 列车桥梁时变系统振动分析理论与应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [6] 中华人民共和国铁道部. 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.

Study on Operation Performance of Transversely Reinforced Heavy Load Railway Juxtaposition T-Beams

Luo Huigang

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

Abstract: With the implementation of heavy load railway transportation and the increasing of the entire train operating capacity and single axle load, the transverse amplitude of the existing railway girder is too large and the impact vibration is increased due to too small stiffness, seriously affecting the safe operation of the railway bridge. This paper takes the 32 m prestressed concrete juxtaposition of T-beam of Shuo-Huang Railway as the research object, by using the test hunting curves of wheel set of the train as excitation, theoretical analysis and the field measurement method is adopted to study the transverse amplitude response process and the change rule of the train passing through the the bridge span structure with horizontal clapboard reinforcement connection, and assess the strengthening effect of the girder, and provide scientific basis for strengthening and maintenance management research of heavy haul railway juxtaposition beam.

Key words: heavy railway; the juxtaposition of T beam; reinforcement study; vibration experiment