第 29 卷　第 2 期　石家庄铁道大学学报(自然科学版)　Vol. 29　No. 2
2016 年 6 月　JOURNAL OF SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE)　Jun. 2016

混合梁斜拉桥钢轨扣件和伸缩调节器合理布置

何永昶

(上海铁路局 徐州铁路枢纽工程建设指挥部,江苏 徐州　221003)

摘要:以某货运专线大跨度箱型主梁混合梁斜拉桥建设为工程背景,建立了桥上长钢轨与桥梁结构系统纵向相互作用空间分析模型,系统计算分析了桥上钢轨扣件型式和伸缩调节器布置对轨-桥系统纵向相互作用的影响,提出了钢轨扣件和伸缩调节器合理布置方案。研究结果表明,桥上铺设小阻力扣件可使钢轨制动力幅值略有减小,伸缩附加力最大值明显减小,挠曲力幅值有所减小,在主桥两端设置钢轨伸缩调节器对降低轨-桥系统纵向相互作用力效果最佳。

关键词:无缝线路;箱型主梁;混合梁斜拉桥;轨-桥相互作用;钢轨扣件;钢轨伸缩调节器

中图分类号:U448.28　文献标志码:A　文章编号:2095-0373(2016)02-0012-06

0　引言

某新建货运专线特大桥主桥在我国首次采用了大跨度箱型主梁混合梁斜拉桥结构型式,且该桥一次性铺设跨区间无缝线路,为确保列车运营和结构安全,其桥上无缝线路合理设计是桥梁建设者至为关心的问题之一。

斜拉桥跨径大,温度跨度也大,在桥上铺设无缝线路,伸缩附加力则很大。此外,铁路斜拉桥多采用半漂浮体系,列车作用下主梁将发生较大纵向位移,引起钢轨纵向附加力过大。当钢轨应力、位移超限时,可设置钢轨伸缩调节器、小阻力扣件,但如何判断这些装置是否需要设置以及如何合理设置需要科学的计算模型、更加完善的计算方法和系统的计算分析。

文献[1]针对简支梁桥、连续梁桥、大跨度钢桁梁桥分别建立了相应的有限元静力分析模型,编制了相应的非线性有限元分析程序;采用连杆模拟轨道阻力,并推导了连杆单元的刚度矩阵;对纵向位移阻力系数、桥梁下部结构纵向刚度、桥梁跨度及桥梁跨数等对中小跨度桥梁纵向力传递的影响进行了详细研究;并研究了大跨度桥梁钢轨伸缩调节器的设置问题及大跨度桥梁纵向力传递的特点和规律。

文献[2]研究了线-桥系统纵向相互作用的静力非线性及动力分析问题;对温度作用下轨-桥相互作用采用静力方法计算,论证了微分方程法与有限单元法解的一致性,结合红水河桥的线路改造,对其纵向受力特性及钢轨伸缩调节器的合理布置形式进行了研究。

文献[3]利用商业软件 GT STRUDL 为某主梁倾斜的直线轻轨桥建立了非线性空间有限元模型。荷载工况包括温度变化,降温导致的断轨以及列车制动。通过对比轨道纵向力和桥台、桥墩处的支座力,分析了下部结构支承布置、桥面施工方法以及轨道扣件类型对梁轨相互作用的影响。研究结果表明,非线性 3D 模型可以为梁轨相互作用问题提供足够的分析依据。

目前的梁轨相互作用研究大都局限于简支或连续梁桥,大跨度斜拉桥的桥上无缝线路纵向附加力研究则较少,针对大跨度箱型主梁混合梁斜拉桥的轨-桥系统纵向相互作用研究则更少。本文针对箱型主梁混合梁斜拉桥的结构体系和构造特点,系统开展铺设跨区间无缝线路大跨度铁路斜拉桥轨-桥系统纵向相互作用分析,研究提出大跨混合梁斜拉桥上钢轨伸缩调节器和小阻力扣件的合理布置方式。

收稿日期:2015-07-26　责任编辑:刘宪福　DOI:10.13319/j.cnki.sjztddxxbzrb.2016.02.03
作者简介:何永昶(1975—),男,高级工程师,研究方向为铁路、高速铁路工程技术管理,E-mail:80096841@qq.com
何永昶.混合梁斜拉桥钢轨扣件和伸缩调节器合理布置[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2016,29(2):12-16.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1　大跨度铁路箱型主梁混合梁斜拉桥轨-桥相互作用计算模型和参数

1.1　计算模型

某新建特大桥由其主桥及两端的多跨简支梁引桥组成，主桥与引桥各桥跨间通过长钢轨的联结而具有较强的整体耦联性，相邻引桥通过长钢轨对主桥有一定的约束作用，为综合考虑引桥对主桥轨-桥相互作用的影响，大跨度铁路箱型主梁混合梁斜拉桥轨-桥相互作用计算模型宜包含其两侧一定范围的引桥桥跨，此外，为消除边界条件对于桥上无缝线路纵向力和位移计算的影响，在计算模型中，考虑桥梁两端路基上一定长度范围内的钢轨及扣件单元。

参考已有多跨简支梁桥轨-梁相互作用研究成果[1]，多跨简支梁桥跨数超过 5 以后，钢轨及墩台纵向附加力基本无变化；UIC 规范建议桥梁两端需考虑 100 m 长路基的钢轨及扣件单元，德国规范(DS806)及国内有关研究结果表明，桥梁两端路基长度取 $L+40$ 较为合适，L 为单跨平均长度。为此，本文采用大型结构有限元分析软件 Ansys 建立了图 1 所示的 100 m 路基＋5 跨简支梁＋(53＋50＋50＋66＋468＋66＋50＋50＋53)m 箱型主梁混合梁斜拉桥＋5 跨简支梁＋100 m 路基的轨-桥相互作用空间计算模型。其中，主梁和索塔以及简支梁桥跨结构均采用带刚臂的 beam4 梁单元模拟；斜拉索用 link8 杆单元模拟，并用 Ernst 公式对其弹性模量进行修正以考虑其垂度效应；塔梁以及梁墩连接均采用 combin14 弹簧单元模拟；钢轨与主梁竖、横向连接用 combin14 弹簧单元模拟，钢轨与主梁纵向连接即轨道阻力本构模型采用 combin39 非线性弹簧单元模拟；钢轨用 beam4 梁单元模拟；塔底以及辅助墩和主桥边墩墩底假定为固结；简支梁梁端采用 combin14 弹簧单元模拟引桥下部结构对桥跨结构的约束作用。全桥采用鱼骨刺模型，共有节点 12 633 个，单元 31 506 个。

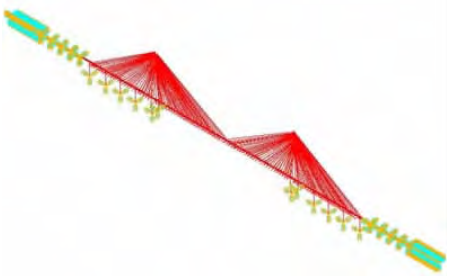

图 1　箱型主梁混合梁斜拉桥轨-桥相互作用计算模型

1.2　主要计算参数

桥上轨道纵向阻力采用理想弹塑性本构模型，图 2 、图 3 分别为铺设 III 型混凝土轨枕有砟轨道道床纵向阻力和有砟轨道采用弹条 V 型小阻力扣件时扣件纵向阻力[4]。引桥简支梁跨墩顶纵向水平线刚度借鉴已有干线铁路简支梁桥墩顶纵向水平线刚度实际使用值，取为 1 000 kN/cm。

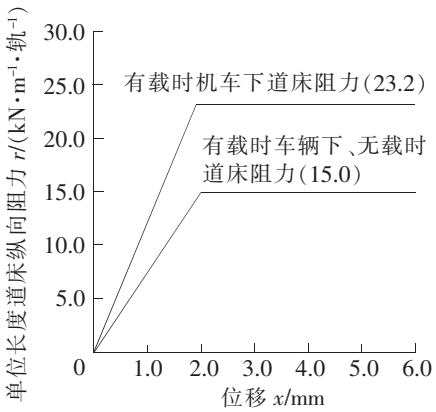

图 2　铺设Ⅲ型混凝土轨枕时有砟轨道道床纵向阻力

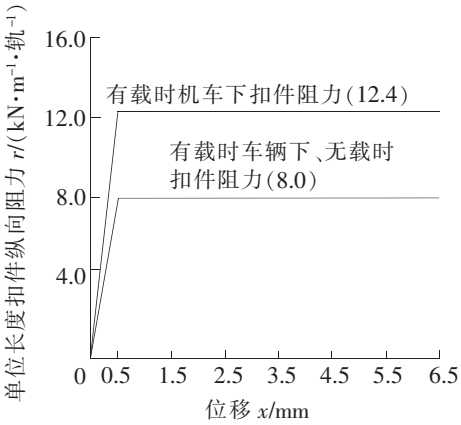

图 3　有砟轨道采用弹条 V 型小阻力扣件纵向阻力

主梁温差参考《铁路无缝线路设计规范》第 3.2.5 条规定，对于桥上铺设有砟轨道工况，混凝土梁日温差取为±15 ℃，钢梁日温差取为±25 ℃；斜拉索与混凝土主梁、索塔间以及斜拉索与钢主梁的温差参考《公路斜拉桥设计细则》(JTG/T D65-01—2007)[5]第 5.2.5 条第 3 款的规定，分别采用±(10～15 ℃)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

和±10 ℃。

根据《铁路无缝线路设计规范》第3.2.1条的规定,竖向荷载取用设计活载,即中-活载;轮轨制动力率取为0.164。

2 轨道扣件型式和钢轨伸缩调节器设置对轨-桥相互作用影响分析

2.1 扣件型式对轨-桥相互作用的影响

已有研究成果表明[6],采用小阻力扣件可降低铺设无缝线路桥梁的轨梁相互作用。为此,本文按以下3种工况计算比较采用常阻力及小阻力扣件时的轨-桥相互作用。

工况一:全桥(包括主桥和两侧引桥,下同)及路基段均铺设常阻力扣件。

工况二:除路基段为常阻力扣件外,全桥铺设弹条V型小阻力扣件。

工况三:主桥两侧边跨和引桥为弹条V型小阻力扣件,主跨及路基段为常阻力扣件。

2.1.1 制动力

假定列车从左往右单线运营并制动停止在主桥上,停车位置为车头在主桥最右端,车尾在跨中,即主桥右半桥加载。

表1表示列车制动条件下不同扣件布置形式轨-桥相互作用计算结果。

表1 各工况下轨梁受力及变形计算结果

计算	单轨制动力/kN		钢轨位移/mm		主梁位移/mm		梁轨相对位移/mm	
工况	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
一	690.6	−574.7	24.3	0	23.4	0.2	8.5	−7.6
二	657.3	−544.8	29.1	0	28.7	0.3	13.7	−11.5
三	657.3	−544.9	29.5	0	28.7	0.3	13.7	−11.5

由表1可知,全桥铺设小阻力扣件和两侧边跨及引桥为小阻力扣件工况钢轨制动力和梁轨纵向位移最大值基本相同;铺设小阻力扣件与全桥为常阻力扣件相比,钢轨制动力最大值略有减小,降低幅度为4.8%;但钢轨和主梁纵向位移以及梁轨纵向相对位移均有所增大。

2.1.2 伸缩附加力

铺设小阻力及常阻力扣件区段的轨道纵向阻力分别取有砟轨道弹条V型小阻力扣件有载时机车下的阻力和有砟轨道有载道床阻力;混凝土梁日温差15 ℃,钢梁日温差25 ℃,斜拉索温差20 ℃。

表2表示不同扣件型式轨-桥相互作用系统伸缩附加力计算结果。

表2 不同扣件布置形式轨-桥系统伸缩附加力计算结果

计算	单轨伸缩力/kN		钢轨位移/mm		主梁位移/mm		梁轨相对位移/mm	
工况	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
一	1 657.1	−429.4	79.3	−79.3	91.4	−91.4	48.2	−48.1
二	1 217.8	−438.2	76.7	−76.7	92.8	−92.8	52.6	−52.6
三	1 217.7	−438.2	76.7	−76.7	92.7	−92.7	52.5	−52.5

从表2可看出,全桥铺设小阻力扣件和两侧边跨及引桥采用小阻力扣件两种工况轨-桥系统伸缩附加力计算结果相差不大;铺设小阻力扣件与全桥为常阻力扣件相比,钢轨伸缩力幅值降低了26.5%;铺设小阻力扣件使钢轨纵向位移有所减小,主梁纵向位移和梁轨纵向相对位移略有增大。

2.1.3 挠曲力

假定双线对开列车同时加载于主桥左半桥。

表3表示不同扣件型式轨-桥相互作用系统挠曲力计算结果。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　不同扣件型式轨-桥系统挠曲力计算结果

计算工况	单轨伸缩力/kN		钢轨位移/mm		主梁位移/mm		梁轨相对位移/mm	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
一	520.6	−295.3	0.0	−21.1	0.0	−15.0	7.4	−8.8
二	468.8	−311.9	0.0	−22.0	−0.1	−15.7	7.6	−9.2
三	468.8	−296.0	0.0	−21.7	−0.1	−15.7	7.5	−8.8

由表 3 可知,全桥铺设小阻力扣件和两侧边跨及引桥采用小阻力扣件两种工况钢轨挠曲力计算结果相差不大;铺设小阻力扣件与全桥为常阻力扣件相比,钢轨挠曲力幅值有所减小,降低幅度为 10.0%;铺设小阻力扣件使钢轨和主梁纵向位移以及梁轨纵向相对位移略有增大。

2.2　钢轨伸缩调节器的设置对轨-桥相互作用的影响

按以下 4 种工况计算分析钢轨伸缩调节器设置对轨-桥相互作用的影响。

工况一:全桥不设钢轨伸缩调节器;

工况二:主桥跨中设置钢轨伸缩调节器;

工况三:主桥右端设置钢轨伸缩调节器;

工况四:主桥两端设置钢轨伸缩调节器。

2.2.1　制动力

假定列车从左往右单线运营并制动停止在主桥上,停车位置为车头在主桥最右端,车尾在跨中;全桥和两端路基均布置常阻力扣件。

表 4 表示列车制动条件下钢轨伸缩调节器设置方式对轨-桥相互作用的影响。

表 4　各工况下轨梁受力及变形计算结果

计算工况	单轨制动力/kN		钢轨位移/mm		主梁位移/mm		梁轨相对位移/mm	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
一	690.6	−574.7	24.3	0	23.4	0.2	8.5	−7.6
二	689.3	−573.0	24.2	0	23.3	0.2	8.5	−7.6
三	1 012.6	−63.3	43.6	0	42.5	0	16.5	−15.0
四	15.4	−73.1	116.5	0	115.6	0	1.5	−0.6

从表 4 可看出,主桥跨中设置钢轨伸缩调节器与不设伸缩调节器轨-桥相互作用效应幅值计算结果基本相同,其主要原因是轨-桥系统制动力的峰值出现在主桥左右两端,因此,在主桥跨中设置伸缩调节器对降低钢轨制动力最大值作用不大;在主桥右端设置伸缩调节器释放了此处的钢轨制动压力,但同时明显增大了左端的钢轨制动拉力,从而增加了钢轨制动力的幅值;两端设置伸缩调节器有效释放了钢轨制动力,梁轨纵向相对位移也降至很小,但钢轨及主梁纵向位移幅值显著增大。

2.2.2　伸缩附加力

线路纵向阻力取有砟轨道铺设 III 型混凝土轨枕有载时的道床阻力;混凝土梁日温差 15 ℃,钢梁日温差 25 ℃,斜拉索温差 20 ℃。

表 5 表示钢轨伸缩调节器设置方式对轨-桥系统伸缩附加力效应的影响。

由表 5 可知,主桥跨中设置钢轨伸缩调节器与全桥不设伸缩调节器的伸缩附加力计算结果基本相同;在主桥右端和主桥两端设置钢轨伸缩调节器较不设置伸缩调节器,钢轨伸缩附加力幅值分别减小了 49.1%和 72.1%。

表 5　钢轨伸缩调节器设置方式对轨-桥系统伸缩附加力效应的影响

计算工况	单轨伸缩力/kN		钢轨位移/mm		主梁位移/mm		梁轨相对位移/mm	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
一	1 657.1	−429.4	79.3	−79.3	91.4	−91.4	48.2	−48.1
二	1 657.8	−427.1	79.4	−79.4	91.4	−91.5	48.2	−48.1
三	842.9	−456.4	24.8	−156.6	31.8	−158.3	12.0	−16.3
四	90.2	−462.4	94.6	−94.6	96.3	−96.3	2.2	−2.3

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

从表5还可看出,钢轨伸缩调节器设置方式对钢轨和主梁的纵向位移影响较大,主桥右端设置钢轨伸缩调节器较全桥不设置伸缩调节器,钢轨和主梁纵向位移幅值均增加了近一倍;主桥两端设置伸缩调节器较不设置伸缩调节器,钢轨和主梁纵向位移有所加大,增加幅度为19.3%;不设伸缩调节器和跨中设置伸缩调节器时的梁轨纵向相对位移最大,在主桥右端设置伸缩调节器可以有效减小梁轨纵向相对位移,而在主桥两端设置伸缩调节器则使梁轨纵向相对位移降至很小值。

2.2.3 挠曲力

假定双线对开列车同时加载于主桥左半桥。

表6表示钢轨伸缩调节器不同布置方式下轨-桥系统挠曲力效应计算结果。

表6 钢轨伸缩调节器不同布置方式下轨-桥系统挠曲力效应计算结果

计算工况	单轨挠曲力/kN		钢轨位移/mm		主梁位移/mm		梁轨相对位移/mm	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
一	520.6	−295.3	0.0	−21.1	0.0	−15.0	7.4	−8.8
二	410.8	−156.3	0.0	−25.8	0.0	−19.3	7.6	−9.4
三	75.8	−451.1	0.0	−42.5	0.0	−37.2	8.6	−9.2
四	80.2	−158.3	0.0	−108.9	0.0	−102.9	7.6	−9.4

由表6可知,主桥跨中设置钢轨伸缩调节器与全桥不设伸缩调节器相比,钢轨挠曲拉、压力幅值分别降低21.1%、47.1%;主桥右端设置钢轨伸缩调节器较全桥不设置伸缩调节器,钢轨挠曲拉力幅值明显降低,但挠曲压力则有较大增加;主桥两端设置伸缩调节器较全桥不设置伸缩调节器,钢轨挠曲拉、压力幅值均明显降低,减小幅度分别达到84.6%和46.4%。

从表6还可看出,主桥一端设置伸缩调节器时增大了钢轨和主梁的纵向位移,而主桥两端均设置伸缩调节器时则使钢轨和主梁的纵向位移明显增大,但梁轨纵向相对位移变化则较小。

3 结论与建议

本文通过对跨区间无缝线路大跨度箱型主梁混合梁斜拉桥的轨-桥系统纵向相互作用分析以及钢轨伸缩调节器和轨道扣件的合理布置研究,得到以下结论与建议。

(1)桥上铺设小阻力扣件可使钢轨制动力幅值略有减小,钢轨伸缩力最大值明显减小,钢轨挠曲力幅值有所减小,但主梁纵向位移有所增大;宜采用主桥两侧边跨及引桥铺设小阻力扣件,主跨仍为常阻力扣件的方式。

(2)在主桥跨中设置钢轨伸缩调节器,对减小钢轨制动力和伸缩附加力作用不大,钢轨挠曲力幅值则有一定程度降低;在主桥一端设置钢轨伸缩调节器,增加了钢轨制动力幅值,但降低了钢轨伸缩附加力和挠曲力。

(3)在主桥两端设置钢轨伸缩调节器对降低轨-桥系统纵向相互作用力效果最佳,大幅度减小了钢轨纵向附加力,确保了钢轨强度和稳定性;但主梁纵向位移明显增大。

参 考 文 献

[1]卜一之.高速铁路桥梁纵向力传递机理研究[D].成都:西南交通大学土木工程学院,1998.

[2]阴存欣.铁路桥梁纵向附加力的静动力非线性分析与仿真研究[D].北京:铁道部科学研究院,2000.

[3] Ruge P, Birk C. Longitudinal forces in continuously welded rails on bridgedecks due to nonlinear track-bridge interaction [J]. Computers and Structures, 2007, 85(7/8): 458-475.

[4]铁道部. TB10015—2012 铁路无缝线路设计规范[S].北京:中国铁道出版社,2013.

[5]交通部. JTG/T D65-01—2007 公路斜拉桥设计细则[S].北京:人民交通出版社,2007.

[6]蒋金洲,卢耀荣.我国客运专线桥上无缝线路采用小阻力扣件的建议[J].铁道建筑,2007(11):90-93.

(下转第38页)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

ly in service are subject to excessive transverse vibration, which will endanger the safety of train operation. Taking the 32 m prestressed concrete T-beams plus double separated bridge pier and enlarged foundation, which is a main structure form in Shuohuang-railroad, as the research object, with the method of finite element simulation analysis and field measurement, this article studies the reinforcement effect of T-beam cross connection and pier transverse rigidity. The results show that, only increasing the stiffness of transverse connection of T beams reduces the transverse vibration of the span structure, while only reinforcing the transverse stiffness of bridge pier has a significant effect on controlling the lateral vibration of both bridge span and bridge piers, and the effect of this measure on the lateral vibration of bridge span is better than the measure to increase the lateral connection stiffness of T-beam. Compared with the previous measures, increasing T-beam transverse connection and the transverse stiffness reinforcement of bridge pier in the meantime makes the effect best, with a better effect on transverse vibration of the pier than only increasing the transverse stiffness of the pier.

Key words: heavy railway; lateral amplitude; bridge reinforcement method; operation performance experiment

(上接第16页)

Reasonable Arrangement of Rail Fastener and Telescopic Adjustment on Hybrid Girder Cable-stayed Bridge

He Yongchang

(Xuzhou Railway Hub Project Construction Headquarters of Shanghai Railway Administration, Xuzhou 221003, China)

Abstract: Based on the construction of large-span freight railway box hybrid girder cable-stayed bridge, the spatial analysis model of the interaction between continuous welded rail and bridge structure is established. The effect of rail fastener type and telescopic adjustment arrangement on longitudinal interaction of the rail-bridge system is analysed systematically. The reasonable layout program of fastening and telescopic adjustment is put forward. The results of the study indicates that the magnitude of the rail braking force can be slightly reduced, rail stretching force be significantly decreased, and rail flexural force be cut down when small resistance fasteners is layed on the bridge. The longitudinal interactions of track-bridge system is lowered furthest when rail telescopic adjuster is set at both ends of the main bridge.

Key words: CWR; box girder; hybrid girder cable-stayed bridge; track-bridge interaction; rail fastener; rail telescopic adjuster

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net