

文章编号:1005-0523(2011)02-0001-05

桥上无缝线路附加伸缩力的远程监测与分析

冯绍敏,雷晓燕,张鹏飞,刘庆杰

(华东交通大学铁路环境振动与噪声教育部工程研究中心,江西 南昌 330013)

摘要:针对高速铁路长大桥梁无砟轨道无缝线路这一复杂体系,以国内某高速铁路建设为背景,通过对该高速铁路长大桥梁无砟轨道无缝线路的试验研究,研制了高速铁路长大桥梁无砟轨道无缝线路长期、远程和实时监测系统。利用远程监测所得到的应变,推导了伸缩附加力的计算公式。运用该方法对某高速铁路长大桥梁无砟轨道无缝线路进行了监测,试验结果验证了监测系统的可行性和有效性。

关键词:高速铁铁;无缝线路;静态测试;远程监测;伸缩附加力

中图分类号:U213.9+12

文献标识码:A

高速铁路因其运行速度快,行车平稳,机车车辆及轨道维修费用低,线路使用寿命长,全封闭,全立交,高度自动化,高效率,高舒适度,高安全性,高可靠性等特点^[1],使得无砟轨道结构和跨区间无缝线路技术快速发展。跨区间无缝线路的一项关键技术是如何在特大桥上铺设无缝线路,即解决桥上无缝线路纵向附加力的分布及传递问题。

目前,对于桥上无缝线路纵向附加力的试验研究,一些国家的科技工作者也做了相关的试验研究^[2-4],取得了一定的研究成果,但这些大都是基于普通无缝线路。对于无砟轨道无缝线路,国内的研究还不够全面,特别是在长大桥梁无砟轨道无缝线路的研究方面。国外在这方面虽然有一定的研究,但是其设计理念、方法与我国不同。在长大桥梁无砟轨道无缝线路的试验研究中,虽然对钢轨所承受的伸缩附加力计算方法进行了许多研究^[5-6],研究人员相继提出了测试方法和仪器,但都受到各种条件的限制,不能很好地应用于现场高速铁路长大桥梁无砟轨道无缝线路测试当中。目前,世界各国正在继续研究这一看似简单而实际极难的无缝线路科研课题^[7]。

为了解决以上问题,该文通过对国内某高速铁路长大桥梁无砟轨道无缝线路现场静态试验研究、无砟轨道无缝线路检测、监测技术研究,形成一整套高速铁路长大桥梁无砟轨道无缝线路长期、远程监测体系。通过远程监控,分析所测实验数据,得出相关的结论,该体系为列车的安全、平稳运行提供保障;为我国后续的高速铁路无砟轨道无缝线路设计、施工、运营提供理论指导和技术支持;为加快我国铁路工务信息化进程作出贡献。

1 测试方法及原理

1.1 附加伸缩力的产生机理

对于长大桥梁无砟轨道无缝线路的远程长期监测,主要是以静态为主,因此主要监测钢轨的附加伸缩力。附加伸缩力是指桥梁在温度变化下会伸长和收缩,在变形的过程中,梁体拉着钢轨变形从而使钢轨产生附加的荷载^[8],所以伸缩力的大小和分布除与梁轨间的连结强度即线路纵向力、梁的伸缩量有关外,与长钢轨的布置方式、梁跨支座布置方式等因素有关,其作用过程是当温度变化而梁伸缩就开始对钢轨产生作

收稿日期:2011-03-21

基金项目:国家自然科学基金项目(50978099);江西省优势科技创新团队计划项目([2010]210)

作者简介:冯绍敏(1987—),男,硕士研究生,研究方向为高速轨道动力学。

用,随着温度升降循环变化,钢轨也发生拉压作用变化。理论计算伸缩力时,梁的温度变化仅考虑单纯的升温或降温,不考虑梁温升降的交替变化。由于列车振动要释放部分温度力,一般取一天内可能出现的最大温差。

1.2 测试方法

附加伸缩力测试使用应变片来测试,通过应变来反推内力。利用应变片测试需要与惠更斯电桥结合,为了提高测试的精度,选择全桥的测试方案。应变片的粘贴位置如图1所示,其中R1,R2用于测试钢轨的垂向应变,粘贴于轨腰中部,粘贴方向为垂直线路中心线方向;R3,R4用于测试钢轨的纵向应变,粘贴于轨底,粘贴方向为平行线路中心线方向。测试电桥如图2所示,图2(a)为垂向应变测试电桥,图2(b)为纵向应变测试电桥,图中Rb为温度补偿片。

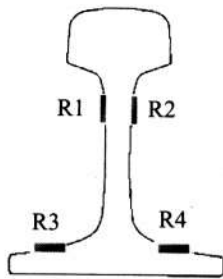
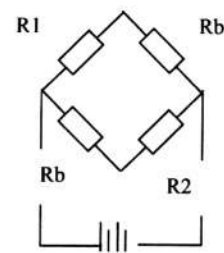
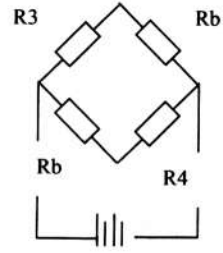


图1 应变片的粘贴位置

Fig.1 The position of strain gauge



(a) 垂向应变测试桥路



(b) 纵向应变测试桥路

图2 应变测试桥路

Fig.2 The bridge circuit of strain test

1.3 测试原理

当温度变化时,工作片R1,R2所测得的应变由三部分组成,即由附加伸缩力引起的附加伸缩应变 ε_f 、由于应变片的伸缩引起的应变及温度使应变片栅丝引起的电阻变化。补偿片Rb所得的应变也是由三部分组成,后两部分与R1,R2一样,第一部分为钢材在温度变化下的应变 ε_t 。令由桥路a测得的应变值为 ε_a ,桥路b测出的应变为 ε_b 。经过桥路补偿后,可得

$$\varepsilon_a = 2\mu(\varepsilon_f + \varepsilon_t) \quad (1)$$

$$\varepsilon_b = 2(\varepsilon_f - \varepsilon_t) \quad (2)$$

式中: ε_f 为附加伸缩应变; ε_t 为温度应变; μ 为钢轨泊松比; ε_a 为钢轨垂向应变; ε_b 为钢轨纵向应变。

因此纵向总的应变为

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_b}{2\mu} \quad (3)$$

附加伸缩应变为

$$\varepsilon_f = \frac{\frac{\varepsilon_a}{\mu} + \varepsilon_b}{4} \quad (4)$$

根据公式

$$F = \sigma A \quad (5)$$

$$\sigma = E\varepsilon \quad (6)$$

将式(4)和式(6)带入式(5)中,可得伸缩附加力 $F = \frac{EA}{4}(\varepsilon_b + \frac{\varepsilon_a}{\mu})$,其中, E 为钢轨的弹性模量; A 为钢轨截面积。

1.4 测试系统误差分析

本测试方法主要误差来源于三个方面:采集系统误差、应变片测量误差和补偿片变形误差。其中采集系统误差、应变片测量误差是常规测量误差,通过选择质量好的仪器设备,正确粘贴传感器可以降低误差的影响。补偿片的变形误差是影响试验的重要因素,补偿片应尽量选择与测试对象材料、形状一致的物体。受现场条件的限制,本次测试选择4 mm厚的钢板作为补偿片,将其放置在测点的附近。

2 监测系统构成

2.1 监测系统简介

为了实现对长大桥梁无缝线路的长期、远程、无线监测,采用江苏东华测试技术股份有限公司特为本研究研发的DH3819A无线静态应变测试分析系统。该监测采集系统是根据桥上无缝线路长期监测的项目要求,结合桥梁参数类型、布点方案及现场安装情况而专门设计开发的实时监测系统,系统包含桥上无缝线路监测所需的分布式参数测试模块,数据长距离传输通讯模块及配套的采样控制和计算机通讯软件、数据分析软件等。系统实现对大型桥梁多测点的长期、远距实时测量及连续传输,并能完成数据的海量存储、特征信号分析、提取、保存等功能。系统主要由传感器部分、应变采集模块、数据采集控制器、监控中心部分、远程观测部分等组成。

2.2 应变片的选择

由于现场环境恶劣且需要进行长时间的监测,应变片选用了德国HBM公司生产的LV41型应变片,采用专用胶水X61粘贴,在钢轨两侧各粘贴一片,可使应变片牢固粘贴在钢轨上。两应变片使用全桥方式连接,并在可自动伸缩的钢板上粘贴4片温度补偿片。

3 实例分析

选择国内某高速铁路的特大桥作为试验点,该特大桥上铺设无缝线路,为双线,仍在试运营阶段,本文对该长大桥梁无缝线路展开了综合试验研究,以验证监测理论和现场监测方法的可行性。

3.1 测点布置

在该高速铁路特大桥上选取测试位置,选择(60+100+60)m的连续梁,在梁端及跨中布置测点(共7个测点),将应变片如图1所示贴在钢轨上,测点位置如图3所示,温度补偿片如图4所示布置。

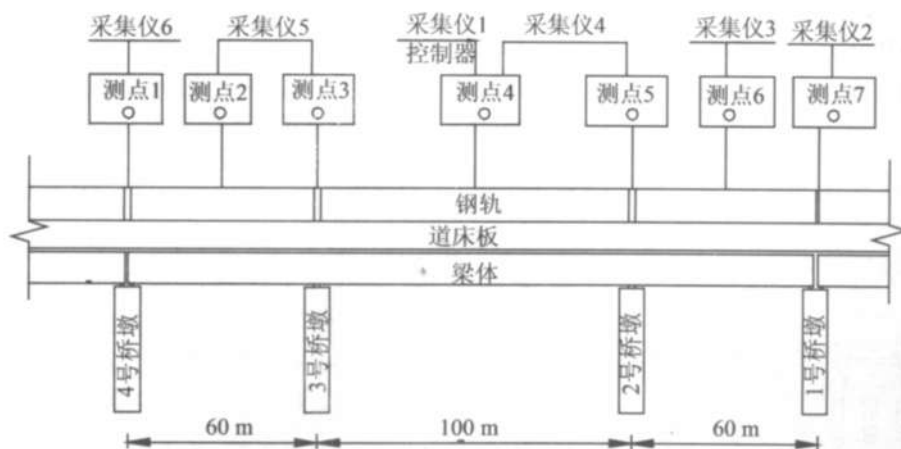


图3 测点布置图

Fig.3 The arrangement diagram of measuring points



图4 温度补偿片

Fig.4 The temperature compensating piece



图5 贴片

Fig.5 Paster

3.2 采集系统的现场安装

先将轨腰处打磨平整,用丙酮溶液擦拭其表面,除去杂质,然后用专用胶水 X61 将应变片粘贴牢靠,最后做防潮处理,如图5所示。应变采集仪及控制器的安装分别如图6和图7所示。

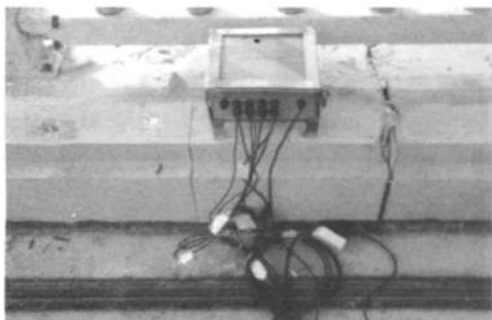


图6 应变采集器

Fig.6 Acquisition device of strain

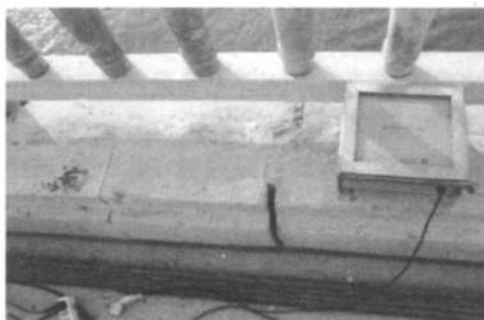


图7 采集控制器

Fig.7 Acquisition controller

3.3 试验结果分析

本次测试主要内容是附加伸缩力。数据采集是通过DH3819A无线静态应变测试系统(ZIGBEE)完成的,采集时间间隔为5分钟。由于采集数据量很大,本文仅分析从2010年12月3日6:00到12月10日6:00所采集的数据。

通过测得的水平和垂向应变,带入公式 $F = \frac{EA}{4}(\epsilon_b + \frac{\epsilon_a}{\mu})$ 计算附加伸缩力。其中: E 为钢轨的弹性模量,取 $E = 2.1 \times 10^5$ MPa; μ 为泊松比,取 $\mu = 0.28$; A 为钢轨截面积,60 kg·m⁻¹钢轨取 $A = 77.45$ mm²。通过计算,得出附加力随时间变化图,图8为桥台处的伸缩附加力图,图9为桥梁跨中的伸缩附加力图。

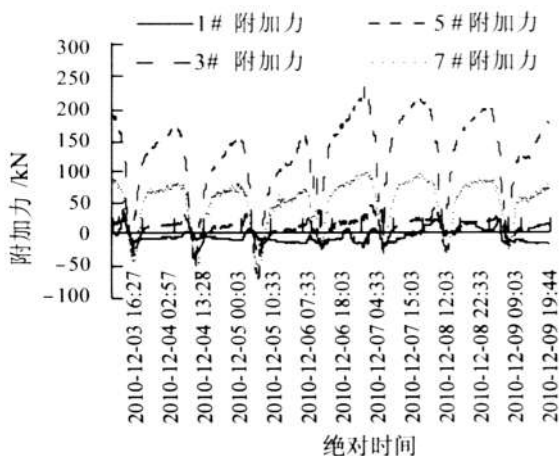


图8 桥台处伸缩附加力

Fig.8 The additional contractility in abutment

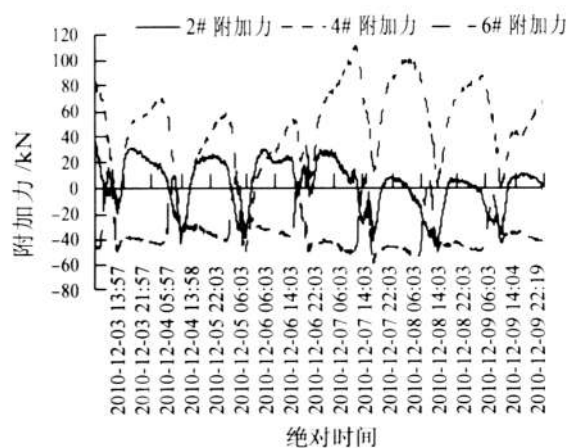


图9 跨中伸缩附加力

Fig.9 Additional contractility in mid-span

从图8和图9可以看出,附加伸缩力在桥梁梁端桥台处较大,在梁中间处较小,可能是滑动层起了作用,全桥最大附加伸缩力为235.6 kN,发生在2号桥台处,从国内一些单位的测试数据进行分析,该文所监测的数据还是准确的。但是由于该高速铁路仍在设备调试和试运营期间,从监测得到的数据中仅只是分析了静态数据,要想今后准确地分析及评估高速铁路无缝线路的安全和稳定性,必须进行全方位分析。

4 结论

通过对国内某高速铁路长大桥梁无砟轨道无缝线路的远程静态监测,展开了一系列的研究工作。经过分析,推导了伸缩附加力的计算公式,建立了长大桥梁无砟轨道无缝线路的远程、实时监测体系,通过该监测体系可以较好地桥上无缝线路的工作状况进行监测,经过实际检验证明此测试方法是可行的。

参考文献:

- [1] 李成辉. 轨道[M]. 成都:西南交通大学出版社,2005.
- [2] 徐庆元,陈秀方,李树德.高速铁路桥上无缝线路纵向附加力研究[J].中国铁道科学,2006,27(3):8-12.
- [3] 黄小明,蔡成标.客运专线大跨度混凝土桥桥上无缝线路纵向附加力分析[J].铁道建筑,2006(12):81-83.
- [4] 陈鹏,高亮,冯雅薇,等.连续梁桥上无缝线路纵向附加力的变化规律[J].北京交通大学学报,2007,31(1):85-88.
- [5] 李保友,唐进锋,刘亚敏.城市轨道交通连续梁桥上无缝线路伸缩力计算[J].都市轨道交通,2006,19(6):42-45.
- [6] 彭旭民,荆秀芬.桥上无缝线路温度伸缩力的分析与研究[J].桥梁建设,2006(1):12-15.
- [7] 王言孝,刘振武.一个貌似简单的世界难题:钢轨纵向应力检测[J].铁道知识,1992(1):42-43.
- [8] 练松良. 轨道工程[M]. 上海:同济大学出版社,2006.

The Remote Monitoring and Analysis of Additional Contractility from the CWR on Bridge

Feng Shaomin, Lei Xiaoyan, Zhang Pengfei, Liu Qingjie

(Engineering Research Center of Railway Environment Vibration and Noise Ministry of Education, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Aim to the complex system of unballasted track in CWR on long bridges of high-speed railway, based on the construction of a high-speed railway in China and by using of experimental research of this line, a long-term, remote and real-time monitoring system of unballasted CWR track on long bridges of high-speed railway was developed in this paper. Using strain obtained from the remote monitoring, the formula of calculating additional contractility was further deduced. Applying this method to monitor the unballasted track in CWR on long bridges of high-speed railway, the test results verified the feasibility and effectiveness of the monitoring system.

Key words: high-speed railway; CWR; static test; remote monitor; additional contractility