

文章编号: 1674—8247(2014)03—0022—04

高速铁路接触网吊弦疲劳试验台

王伟 吴积钦 关金发 王旭东

(西南交通大学电气工程学院, 成都 610031)

摘要:针对目前高速铁路接触网系统中吊弦疲劳断裂的问题,为研究当受电弓高速通过时吊弦的振动情况以及疲劳机理,文章首先对武广高速铁路接触网进行动态仿真分析,分析了受电弓以 300 km/h 通过时,连续 2 跨吊弦力的分布情况,得到了吊弦最大动态力是吊弦静态力的 2~3 倍的结论。其次分析了相关标准(欧标 EN 50119、日标 JIS E 2002 及铁标 TB/T 2073、TB/T 2074、TB/T 2075)中对吊弦疲劳试验的要求,设计了一套吊弦疲劳试验台。该试验台能够得到不同振动频率、压缩幅度、吊弦力下的吊弦疲劳寿命,为进一步研究吊弦的疲劳特性及疲劳机理提供了试验依据。

关键词:高速铁路;接触网;吊弦力;疲劳试验台

中图分类号:U225.4+8

文献标志码:B

A Fatigue Test Rig of High-speed Railway Catenary Dropper

WANG Wei WU Ji-qin GUAN Jin-fa WANG Xu-dong

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: At present the droppers fatigue fracture occurs sometimes in high-speed railway catenary system. In order to investigate vibration characteristic and fatigue mechanism of the droppers when the high-speed pantograph passing through the droppers, first this paper has analyzed the dynamic simulation results of Wuhan-Guangzhou line and the force distribution on the dropper of the continuous 2 spans operating at a speed of 350 km/h, and gained the results that the maximum dropper dynamic force is 2~3 times the dropper static force. Second based on the dropper fatigue test requirements of the relevant standards (EN50119, JISE2002 and TB/T2073, TB/T2074, TB/T2075), a fatigue test rig has been made for droppers. This test rig can get the fatigue life of droppers under different vibration frequency, compressed amplitude and force, which provides a basis for further research of the fatigue property and fatigue mechanism of droppers.

Key words: high speed railway; overhead contact system; force on the dropper; fatigue test rig

1 前言

接触网是电气化铁路牵引供电系统的重要组成部分,是列车高速运行的动力之源,因此必须保证接触网可靠、稳定、安全的授流能力。吊弦是整个接触网的“支架”,是接触线、承力索间振动和力的传递者,是接触网安全运营的关键零部件。在实际运营中吊弦断股或断裂的现象时有发生,吊弦一旦发生断裂,将直接导

致列车运行故障,对人员出行和国家经济都会造成不良影响。因此,对吊弦等接触网零部件可靠性的研究,确保接触网具有高可靠性、高安全性和高使用性,是当前接触网面临的重要任务之一。

目前国内对吊弦的研究大多是关于吊弦长度的施工预算,主要采用的方法是有限元仿真法,这些研究减小了吊弦的计算误差,提高了接触网的施工精度^[1-4];韩国的 K·LEE 和 Y·H·Cho 等人,仿真分析了在 400 km/h 接触线预弛度和列车速度对吊弦寿命的影响,得到了接触线预弛度越大、列车速度越快、吊弦的使用寿命越短的结论,并提出了一种实测吊弦疲劳寿命的模型^[5-6];德国力倍公司接触网零部件中心通过

收稿日期:2014-03-11

作者简介:王伟(1987-),男,在读硕士研究生。

基金项目:中国铁路总公司研究开发计划(2013J010-B)

试验模拟了吊弦在竖直方向的振动,形象地演示了吊弦在竖直方向的振动,但未对吊弦的疲劳特性进行更详细的分析。

在我国,随着列车的不断提速及高速铁路线路的相继开通,吊弦疲劳断裂的事故时有发生。为解释这一现象,本文拟结合我国高速铁路现采用的整体吊弦(后文中吊弦均指整体吊弦)及相关标准中对接触网零部件振动试验、疲劳试验的要求建立吊弦疲劳试验台,通过试验的方法来分析吊弦的疲劳特性。

2 吊弦疲劳试验的技术要求

2.1 吊弦的动态特性

接触网在处于静止状态时,吊弦承受由接触线恒定负载引起的拉伸载荷,吊弦处于拉伸状态;当列车通过时,在受电弓的抬升作用下吊弦处于松弛状态;列车通过后,在接触线恒定负载的作用下吊弦回到拉伸状态。每一次受电弓通过,吊弦完成一次周期振动。等效原理如图1所示。

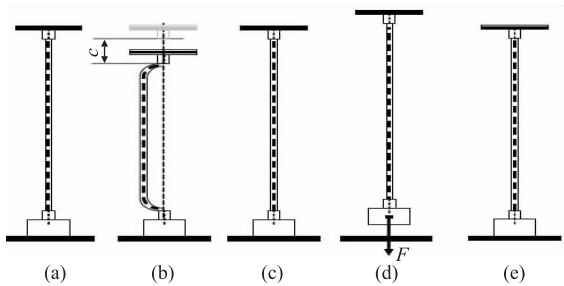


图1 吊弦疲劳原理图

图中 F 为吊弦内力, C 为吊弦的压缩幅度。图1(a)为接触网处于静止状态时,吊弦在恒定负载下处于平衡状态,吊弦受拉;图1(b)为列车通过时,吊弦处于压缩状态;图1(c)–图1(e)为列车通过后,吊弦在恒定负载的作用下又回到平衡状态。

2.2 接触网吊弦力分析

使用文献[7]中的方法建立了武广线弓网有限元仿真模型,取连续2跨接触网中的10根吊弦进行分析。吊弦的分布如图2所示。

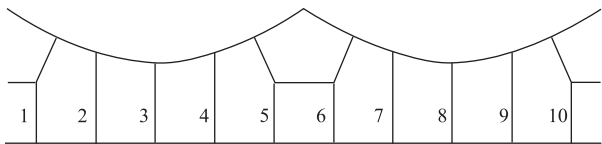


图2 连续2跨吊弦的分布模型图

图中1,6为第1吊弦;2,7为第二吊弦;3,8为第3吊弦;4,9为第4吊弦;5,10为第5吊弦。运行速度300 km/h时的吊弦力仿真分析结果如图3所示。

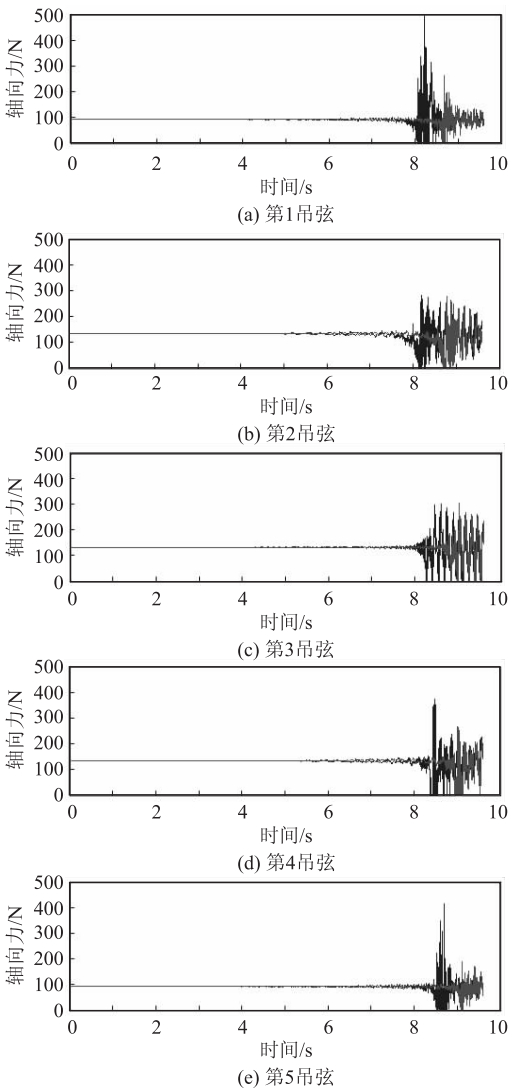


图3 连续2跨吊弦力图

由图3可知,受电弓高速通过时,吊弦力的变化较大,吊弦受交变应力作用。取第2跨分析,吊弦的静态力与最大动态力比较如表1所示。

表1 静态吊弦力与最大动态吊弦力比较(N)

吊弦力	第1吊弦	第2吊弦	第3吊弦	第4吊弦	第5吊弦
静态力	90.479 1	130.462 0	130.678 5	130.899 3	90.743 3
最大动态力	261.549 0	277.540 0	302.114 0	265.679 0	188.274 0

从图3和表1分析可知,跨中吊弦力大于靠近定位器处吊弦的吊弦力,吊弦的最大动态力是吊弦静态力的2~3倍,虽然吊弦的最大动态力小于我国铁路标准TB/T 2073-2010中要求的1.3 kN,但在受电弓的反复作用下,吊弦可能发生疲劳破坏。

3 吊弦疲劳试验的原理

在电气列车速度日益增长的今天,零部件静态的

负载能力试验已经不能保证接触网零部件的可靠运行。随着振动幅度与影响的增大,有必要对接触网零部件进行设计试验,避免因振动而产生机械疲劳进而造成故障。欧洲标准 EN 50119 - 2010 中要求进行对接触网易受振动影响的零部件进行疲劳试验,而日本标准 JIS E 2002 中要求对接触网零部件进行振动试验,我国的接触网零部件标准中对零部件的振动试验和疲劳进行试验也均有要求。

3.1 欧洲标准 EN 50119 中对吊弦的疲劳试验要求

(1) 吊弦应与其特定的线夹进行试验。

(2) 指定的压缩幅度在 20 ~ 200 mm 之间,吊弦内力 100 ~ 400 N。

(3) 试验的频率在 0.5 ~ 10 Hz 之间,最少进行 2 000 000 次试验。吊弦不得在指定次数之前断裂。

3.2 日本标准 JIS E 2002 中的测试方法

试验用 3 m 长的接触线模拟一段实际接触网,将待测零部件按实际组装与振动点上方,并通过不平衡的正弦波形模拟实际中的随机振动。JIS E 2002 中的振动试验,是尽可能的通过还原实际工作中的振动,来测试零部件是否可以承受工作中的可靠性要求。

3.3 我国铁路标准 TB/T 2074 - 2010 中对疲劳试验的要求

(1) 疲劳试验波形为正弦波形,频率为 1 ~ 3 Hz。疲劳试验机具有:力、频率、速度显示及疲劳次数记录功能。

(2) 用于疲劳试验的零部件应按照实际使用状态安装。

我国铁路标准 TB/T 2073 - 2010 中规定疲劳试验次数为 500 000 次。综合以上标准中对接触网吊弦疲劳试验的要求,设计吊弦疲劳试验台。

4 吊弦疲劳特性的实测

试验台采用交流伺服电机和减速器输出动力,电机输出扭矩为 100 N·m,输出转速为 30 ~ 120 r/min。为了保证试验台系统的强度和刚度,曲轴偏心距采用固定偏心距 100 mm,实现最大压缩幅值 100 mm。吊弦疲劳试验台如图 4 所示,连接结构如图 5 所示。

通过调节悬挂坠砣的重量可以实现调节吊弦的内力,坠砣的质量可调为 20 kg、30 kg、50 kg;压缩幅度可通过调节吊弦的长度来实现最大振幅为 100 mm。吊弦疲劳试验台工作原理如图 6 所示,控制界面如图 7 所示。通过计算机控制吊弦疲劳试验的振动频率并记录当前疲劳次数和累计疲劳次数。



图4 吊弦疲劳试验台图



图5 连接结构图

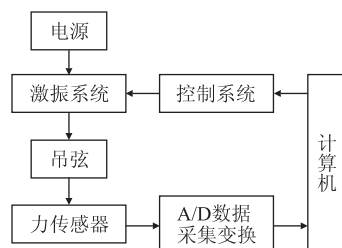


图6 吊弦疲劳试验台工作原理图



图7 控制界面图

5 吊弦的疲劳实测

坠砣质量 30 kg,压缩幅度为 50 mm,编号为 1、2、3、4 的 4 根吊弦,在吊弦疲劳试验台上进行疲劳试验,试验频率为 1 Hz,当吊弦出现断股时,即认为吊弦疲劳断裂。实验数据如表 2 所示。

表 2 4 组吊弦的疲劳寿命

编号	压缩幅度/mm	吊弦内力/N	疲劳失效循环次数
1	50	293	1.13
2	50	297	1.12
3	50	300	0.96
4	50	301	0.96

试验结果表明 4 组吊弦均未满足2 000 000次疲劳试验,但满足 TB/T 2073 – 2010 中要求的500 000次疲劳试验要求。

6 结论

- (1)吊弦的最大动态力是吊弦静态力的 2 ~ 3 倍,在受电弓的反复作用下,吊弦可能发生疲劳破坏。
- (2)自主设计的吊弦疲劳试验台能够完成吊弦疲劳试验,得到不同频率(0 ~ 2 Hz)、压缩幅度(0 ~ 100 mm)、吊弦内力(20 kg、30 kg、50 kg)下的吊弦疲劳寿命,为以后研究吊弦的疲劳特性提供了试验依据。

参考文献:

[1] 方岩,高仕斌. 高速接触网整体吊弦预配[J]. 西南交通大学学

(上接第 21 页)

体变形时,选择适当的土体参数,可以较好地模拟土体的弹塑性变形。在模拟基坑工程施工时,得出的各施工阶段下土体变形值与实际变形吻合较好,有利于指导工程设计、施工及监测。

参考文献:

[1] 铁道第三勘察设计院. 桥涵地基和基础[M]. 北京:中国铁道出版社,2002.
Third Railway Survey and Design Institute. Subsoil and Foundation of Railway Bridge and Culvert [M]. Beijing: China Railway Press, 2002.

[2] TB 10002.1 – 2005 铁路桥涵设计基本规范[S].
TB 10002.1 – 2005 Fundamental Code for Design on Railway Bridge and Culvert[S].

[3] TB 1002.5 – 2005 铁路桥涵地基和基础设计规范[S].
TB 1002.5 – 2005 Code for Design on Subsoil and Foundation of Railway Bridge and Culvert[S].

报, 2010,45(5):763 – 767.

FANG Yan, GAO Shibin. Integral Dropper Assembly for Overhead Contact Line of High Speed Railway [J]. Journal of Southwest Jiaotong University,2010,45(5):763 – 767.

[2] 刘大勇,吴积钦. 基于索网找形的吊弦长度计算方法探讨[J]. 电气化铁道,2008,18(4):31 – 33.

LIU Dayong, WU Jiqin. Calculation of Dropper Length Based on Model of Cable Structure [J]. Electrified Railway,2008,18(4):31 – 33.

[3] 冯超,韩俊杰,苗杰,等. 基于有限元方法的接触网吊弦长度计算[J]. 电气化铁道,2012,22(4):1 – 4.

FENG Chao, HAN Junjie, MIAO Jie, et al. Calculation of Dropper Length Based on Finite Element Method [J]. Electrified Railway, 2012,22(4):1 – 4.

[4] 周占学. 接触悬挂吊弦长度的非线性有限元分析[D]. 天津:天津大学,2003.

ZHOU Zhanxue. The Nonlinear Finite Element Analysis of the Dropper Length of the Overhead Catenary System [D]. Tianjin:Tianjin University, 2003.

[5] Lee K,Cho Y H,Park Y, et al. A study on Assessment of Dropper Life for Conventional Line Speed-up [C]//The 9th World Congress on Railway Research,2011.

[6] Lee K,Cho Y H,Park Y, et al. Improvements of Existing Overhead Lines for 180 km/h operation of the Tilting Train [C]//The 8th World Congress on Railway Research,2008.

[7] 安英霞. 高铁接触网静态几何参数偏差对弓网动态性能的影响[D]. 成都:西南交通大学,2013.

AN Yingxia. Influence of Catenary Static Geometric Parameter Deviation on The Pantograph-catenary System for High-speed Trains [D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2013.

[4] TB 10015 – 2012 铁路无缝线路设计规范[S].
TB 10015 – 2012 Code for Design of Railway Continuous Welded Rail [S].

[5] TB 10621 – 2009 高速铁路设计规范(试行)[S].
TB 10621 – 2009 Code for Design of High Speed Railway (Trial) [S].

[6] TB 10601 – 2009 高速铁路工程测量规范[S].
TB 10601 – 2009 Code for Engineering Survey of High Speed Railway [S].

[7] 吕斌. 杭州某顶管下穿钱江二桥的施工影响分析[J]. 中国勘察设计, 2010,25(3):58 – 61.

Lv Bin. Analysis of Construction Influence of Pipe-jacking Crossing the Underground of Qianjiang – 2 bridge[J]. China Exploration & Design, 2010,25(3):58 – 61.

[8] 张全良,王克晓,徐国文,等. 铁路客运专线桥墩沉降趋势预测方法的研究[J]. 铁道建筑,2012,51(6):10 – 12.

Zhang Quanliang,Wang Kexiao,Xu Guowen,et al. Study on Prediction Method of Settlement Trend of Bridge Pier of Passenger-dedicated Railway[J]. Railway Engineering,2012,51(6):10 – 12.