

文章编号:1005-0523(2014)03-0050-05

基于LabVIEW的无缝线路钢轨温度实时监测系统开发

孙茂棠,雷晓燕,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:基于LabVIEW平台及NI相关硬件设备,开发了铁路无缝线路钢轨温度实时监测系统。该系统实现了数据采集、数据传送、监控中心实时显示和储存及数据共享等基本功能。钢轨的温度应力由实时轨温和锁定轨温推算出并实现实时显示。通过对无缝线路钢轨温度的实时监测,提高对铁路无缝线路的管理,为工务维修作业提供指导。

关键词:实时监测;无缝线路;温度;应力

中图分类号:U216.3

文献标志码:A

无缝线路既是轨道结构技术进步的重要标志,也是当今世界高速、重载铁路轨道结构的最佳选择。截止2013年9月26日,中国高速铁路总里程达到10 463 km,“四纵”干线基本成型,我国高速铁路实现了跨区间无缝线路的铺设。然而当钢轨温度发生变化时,在无缝长轨条中会产生巨大轴向温度应力的不利现象。根据北京局统计,自20世纪60年代我国铺设无缝线路以来,胀轨跑道共发生了60次,造成列车脱轨的重大事故有6次。由于钢轨应力状态不佳,造成了南非重载铁路50%~60%的列车延误和行车安全事故。即使在无缝线路发展较早的美国,由于无缝线路温度应力造成的胀轨跑道和断轨引起的脱轨事故也占据总数的20%^[1]。可见无缝线路纵向应力严重影响了行车安全,因此有必要对无缝线路钢轨纵向应力进行实时监测。根据监测到的数据,可以有针对性地采取措施,控制钢轨纵向应力,对防止出现胀轨跑道、钢轨折断以及指导工务维修作业保证行车安全具有重要意义。

多年来,世界各国研制开发了多种用于检测无缝线路纵向应力的方法及装置,其常用的方法^[2]有:观测桩法^[3],巴克豪森法^[4-5],超声波检测温度应力^[6-7],标记法^[8,9],应变法^[10,11]。

随着列车的速度的提高,天窗维修时间变短,点外作业正逐渐被取消。传统的方法占用轨道维修时间,且不能实现对数据的连续测量。因此,开发能够对无缝线路温度和应力进行实时监测的系统是必要的。

LabVIEW是由美国国家仪器公司(national instruments, NI)创立的一个功能强大而又灵活的仪器和分析软件开发工具。它是一种图形化的编程语言,用于快速创建灵活的、可升级的测试、测量和控制应用程序。其最大的优点是可以方便快捷的开发自定义的测试系统,并可以把用户的一些算法写入到系统当中。

系统通过WSN等前端设备采集实时数据,利用LabVIEW编写的软件和网络技术对监测数据进行传输、显示及储存,并且建立无缝线路钢轨轨温和纵向应力的管理信息系统^[12],由工务部门负责将采集到的无缝线路钢轨温度和纵向应力数据,通过局域网传送到铁路局,再经铁路局核定判断后存入数据库,由工务部门共享数据信息^[13]。

收稿日期:2014-03-20

基金项目:国家自然科学基金项目(U1134107, E080704);江西省普通本科高校科技落地计划项目

作者简介:孙茂棠(1986—),男,硕士研究生,研究方向为轨道结构动力学;

通讯作者:雷晓燕(1956—),男,教授,博士生导师,研究方向为轨道结构动力学。

本文基于LabVIEW平台,对无缝线路钢轨实时监测轨温变化,由锁定轨温推算纵向应力变化。实现了无缝线路钢轨纵向应力实时监测,并且在超标时可实现声、光报警。

1 无缝线路钢轨纵向应力

钢轨受到扣件的阻力而不能随轨温的变化而自由伸缩时,在钢轨中产生温度应力,钢轨的温度应力为^[15]

$$\sigma_t = E \times \varepsilon_t = E \times \frac{\Delta l}{l} = \frac{E \cdot \alpha \cdot l \cdot \Delta t}{l} = E \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (1)$$

式中: E 为钢轨的弹性模量,取 2.1×10^5 MPa; ε_t 为钢轨的温度应变; l 为无缝线路钢轨长度; Δl 为钢轨伸缩长度; α 为常数取0.001 18。

由式(1)可得钢轨中的温度应力和温度力 P_t 为

$$\sigma_t = 2.48 \cdot \Delta t \quad (2)$$

$$P_t = \sigma_t \cdot F = 2.48 \cdot \Delta t \cdot F \quad (3)$$

式中: F 为钢轨截面积, mm^2 ; Δt 为温度变化量, $^{\circ}\text{C}$ 。

由式(2)可知,长轨条中的温度应力只与轨温变化幅度 Δt 有关,而与轨条长度无关。因为铺设长轨条时锁定轨温是确定的,所以轨温变化幅度大小由实时轨温确定。因此,实时监测钢轨温度对防止路基段夏季高温胀轨跑道和冬季低温断轨有重要意义。

2 实时监测系统

2.1 实时监测系统原理

铂热电偶温度传感器粘贴在钢轨上,采用NI WSN-3212采集钢轨温度,将采集信号无线传输至NI 9795,NI 9795将接收的信号传输至NI 9075 CompactRIO机箱,通过编写的LabVIEW程序和网络传输实现NI 9075 CompactRIO机箱与上位机交互,如图1。

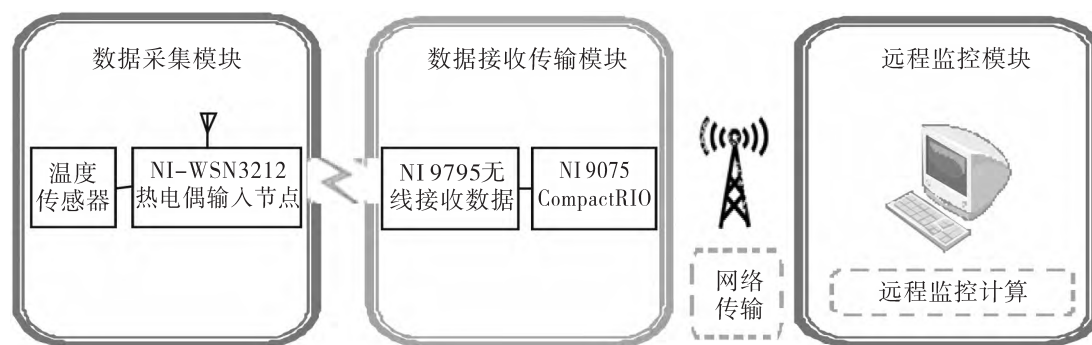


图1 实时监测系统原理图

Fig.1 Schematic diagram of real-time monitoring system

2.2 实时监测系统介绍

实时监测系统由五部分组成:上位机、CompactRIO (RT)系统终端、c系列采集模块、WSN采集节点和传感器。

2.2.1 上位机

上位机可以显示用户界面(包括参数输入控件、波形图表、报警等)、接收RT终端数据、储存数据等功能。

2.2.2 CompactRIO (RT)系统终端

RT终端由控制器和机箱两部分组成,可以采用扫描和FPGA编程模式。控制器能够可靠而准确地执行LabVIEW实时应用程序、提供多速率控制、进程执行跟踪、数据存储、与外部设备通讯等功能;因为每个IO模块直连FPGA,而非通过总线,所以与其他工业控制器相比,Compact RIO几乎没有控制系统的

响应延迟。Compact RIO 机箱的参数为① 坚固的嵌入式控制和监测系统,配有-20℃至55℃操作温度范围;② 400 MHz 工业实时处理器用于控制、数据记录和分析;③ 4槽 LX25 FPGA 机箱用于定制的 I/O 定时、控制和处理;④ 10/100BASE-T 以太网端口;用于与外设连接的 RS232 串口;⑤ 单一的 9 VDC 到 30 VDC 电源 输入;⑥ 小巧封装适合具有数量折扣的 OEM 应用。

2.2.3 c 系列采集模块

NI 9795, C Series WSN Gateway 用于简便地创建完整的无线测量和控制系统。插入 CompactRIO 机箱的任何插槽,可以提供 36 个 WSN 部署点连接。通过 NI RIO 扫描接口,WSN I/O 数据传输至 LabVIEW Real-Time 应用程序。

2.2.4 WSN 采集节点

WSN 采集节点使用 WSN-3212 采集温度,其参数见表 2。

表 2 WSN-3212 采集节点参数
Tab.2 The collection node parameters WSN-3212

节点	测量模块	采样频率/Hz	数据传输模式	通道数/个	操作温度范围/℃	抗震/g	防振/g	电源
WSN-3212	温度(J、K、R、S、T、N、B 和 E 热电偶)	1 000	无线	4	-40 ~ 70	50	5	单一的 9 VDC 到 30 VDC

2.2.5 传感器

传感器采用铂热电偶温度传感器,其参数见表 3。

表 3 温度传感器参数
Tab.3 Parameters of temperature sensors

传感器	型号	测温范围/℃
温度传感器	WRNT-02T 型贴片式热电偶	-50 ~ 150

3 无缝线路钢轨纵向应力实时监测系统应用

采用 NI 公司硬件采集设备和 LabVIEW 软件编程,完成一套无缝线路钢轨温度和纵向应力实时监测系统,应用于华东交通大学铁路环境振动与噪声教育部工程研究中心缩尺轨道模型上,见图 2 所示。

此缩尺模型采用 3 m 长 22 kg·m⁻¹ 钢轨,钢轨下铺设长度 70 cm、间距 20 cm 的木板做为枕木。将两个铂热电偶温度传感器分别粘贴于两股钢轨轨底坡处,如图 3 所示。分别假定左股钢轨锁定轨温为 10℃和右股钢轨锁定轨温为 15℃,左股钢轨铂热电偶温度传感器连接至 WSN-3212 的 0 通道,右股钢轨铂热电偶温度传感器连接至 WSN-3212 的 2 通道。



图 2 缩尺轨道模型

Fig.2 The reduced scale model track



图 3 铂热温度传感器粘贴方式

Fig.3 The pasted way of platinum temperature sensors

NI cRIO 采用扫描编程模式实现温度数据的实时采集和传输,需编写 RT 终端程序和上位机程序。在

上位机前面板中输入控制器IP地址,点击连接按钮,可以实现与控制器RT端的连接。

RT-Loop UI Command.vi接收UI主程序VI的信息;消息处理循环处理自身循环和其他全部循环的消息;RT-Loop-Watchdog.vi循环发送周期性的触发至RT Watchdog,保持系统响应;RT-Loop-System Health and Monitoring.vi发送RT监测信息和RSI循环监测信息至UI主程序VI。

上位机与RT终端以命令流方式进行交互,在此交互过程中完成了UI命令流、RT命令流的建立和全部共享变量的连接。由于实验室实际情况,本模型实验中采用Wi-Fi技术实现上位机与RT终端的数据网络传输。

在前面板中可以设置采集周期和报警温限以及与RT终端连接设置。通过采集钢轨温度数据和查询锁定轨温,由公式(2)计算温度应力,实现温度和温度应力实时监测。本系统实现了数据储存和温度超上、下限时进行声、光报警等功能。

在采集数据和实时显示的同时,数据以二进制记录文件TDMS格式储存至设定的路径下,TDMS格式文件具有高速、易存取和方便等优势,储存的TDMS文件数据上传至数据库以备调用查询和分析。图4(a),(b)分别为调用本实时监测系统以5 min为监测周期采集的2014年2月20日15时20分—23日15时20分的温度历史数据的曲线图;图5(a),(b)分别为两通道的温度应力曲线图。

由于缩尺模型摆放位置和太阳照射原因,图4(a)中21日09时50分和22日09时40分,左股钢轨分别出现温度峰值34.9,38.8℃;图4(b)中在21日09时50分和22日09时35分,右股钢轨分别出现温度峰值32.3,35.3℃。23日没有太阳照射,因此温度数据波动不明显。左、右两股钢轨温度最低值分别出现在21日06时50分和06时45分,温度分别为4.25,4.73℃。

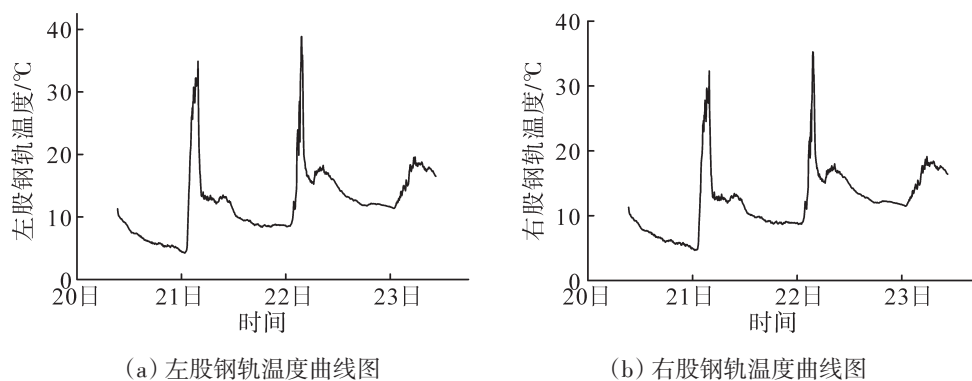


图4 2014年2月20日—23日温度曲线图

Fig.4 The temperature curves graph from February 20th to 23th, 2014

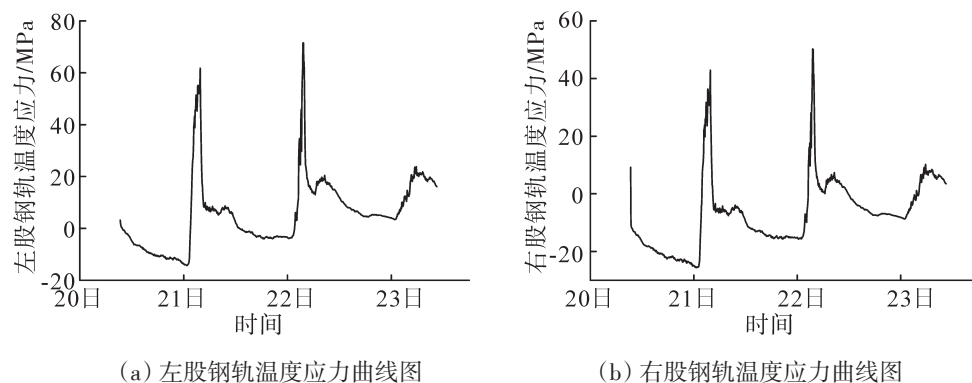


图5 2014年2月20日—23日钢轨温度应力曲线图

Fig.5 The rail temperature stress curves from February 20th to 23th, 2014

图5(a),(b)中在温度峰值处钢轨温度应力同时达到峰值,图5(a)中在21日09时50分和22日09时40分左股钢轨分别出现温度压应力峰值61.7,71.5 MPa;图(b)中21日09时50分和22日09时35分右股钢轨分别出现温度压应力峰值42.9,50.2 MPa。在最低温度时两股钢轨分别达到拉应力峰值14.3 MPa和25.5 MPa。

在铁路现场实际应用中,只需将铂热电偶温度传感器粘贴在钢轨上和连接至WSN-3212,WSN-3212放在轨枕上安置的铁制盒子里;cRIO-9075放在路肩边定制的机箱盒里,采用ZigBee与GPRS技术相结合来实现cRIO-9075与工务部门信息控制中心的数据传输等,因此,本系统安装和操作都非常简单、方便。工务部门将采集到的无缝线路钢轨温度和纵向应力数据,通过局域网传送到铁路局,再经铁路局核定判断后存入数据库,由工务部门共享数据信息。

4 结论

该无缝线路钢轨温度和应力实时监测系统对轨温和应力进行24 h远程实时监测,并对测得的数据进行存储和统计处理,人机交互界面生动美观,操作简单。根据监测结果,工务人员可以对温度超限时段加强线路巡检和采取必要的措施,防止钢轨折断和胀轨跑道的发生。

参考文献:

- [1] 梁素萍.铁路无缝线路钢轨温度力测定理论分析及仿真[D].石家庄:石家庄铁道大学,2011.
- [2] 于荣荣.钢轨应变实时监测节点研究[D].大连:大连理工大学,2012.
- [3] 刘见见.浅谈无缝线路实际锁定轨温的监测方法[J].上海铁道科技,2009(2):90-91.
- [4] 王骁,刘辉,祁欣,等.巴克豪森噪声无缝线路应力检测仪的研制及应用[J].北京化工大学学报:自然科学版,2010,37(3):123-126.
- [5] 广钟岩,高慧安.铁路无缝线路[M].4版.北京:中国铁道出版社,2005:35-36.
- [6] 李勇攀,王寅观,刘蕊.超声反射纵波法检测钢轨应力的实验研究[J].力学季刊,2008,29(2):291-295.
- [7] 宋文伟.美国联邦铁路局.钢轨纵应力的超声波检测[J].西铁科技,2008(3):45-47.
- [8] 孙日明.电磁超声应用于钢轨应力检测的研究和分析[D].南京:南京航空航天大学,2011.
- [9] 杨蕾,侯春萍.无缝线路轨温实时监测系统的实现和应用[J].电子技术应用.2004(3):24-27.
- [10] HARRISON, HAROLD POWELL. Stress monitoring system for railway rails.U.S.Patent 786909[P].2011-1-11.
- [11] 谭华耀,何兆璠,廖信仪.铁路监控系统 中国香港,200410059306.0[P].2004-06-16.
- [12] 付立华,张晓玫,潘龙飞.基于LabVIEW的多通道温度实时监测系统[J].仪表技术,2012(12):34-36,40.
- [13] 翟峰,孙国钧.无缝线路钢轨轨温和钢轨温度力实时监测系统的研制和应用[J].铁道建筑,2012(10):128-129.
- [14] 张凤林,韩文超.高速铁路无缝线路钢轨实时应力与锁定温度远程自动监测系统[J].2012(7):42-44.
- [15] 练松良.轨道工程[M].上海:同济大学出版社,2006:232-234.

(下转第59页)

Research on Direct Acting Electro-pneumatic Braking System with Microcomputer Control of Metro

Yang Fengping, Chen Zhenhua, Li Yuqing

(School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper discusses the structure, braking mode and anti-skid control of direct acting electro-pneumatic braking system with microcomputer control. It mainly researches the braking force calculation, distribution, and the braking response at different stages in braking process. The results may provide some reference for test bench development of direct acting electro-pneumatic braking system and practical repairing of metro vehicles.

Key words: direct acting electro-pneumatic braking system; braking force distribution; braking mode

(上接第 54 页)

Real-time Monitoring System for Steel-rail Temperature of CWR Based on LabVIEW

Sun Maotang, Lei Xiaoyan, Liu Qingjie

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

Abstract: Based on LabVIEW platform and relevant NI hardware equipment, this study designs the real-time monitoring system for steel-rail temperature and strength of CWR (continuous welded rail), which can realize such functions as data collection, data transferring, real-time display and storage in control room and the data sharing. The temperature stress can be instantly calculated and displayed according to the real-time rail temperature and locking temperature. Via the real-time monitoring the steel rail temperature and strength of CWR, the management of CWR will be improved, thus providing some reference for track maintenance.

Key words: real-time monitoring; continuous welded rail (CWR); temperature; stress