

基于labwindows/cvi的斜拉桥健康监测系統

王晓琳 邓年春

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545005)

摘要:基于桥梁健康监测系統的基本构架,采用labwindows/CVI软件开发出一套斜拉桥健康监测系統软件,其基本模块包括数据采集、GPRS无线传输、数据存储与处理等,并成功地应用于一座斜拉桥工程中,验证了其有效性。

关键词:斜拉桥 结构健康监测 监测系统 LabWindows/CVI GPRS

1 概述

桥梁是道路交通工程的生命线,确保其安全运营极其重要。为了保证桥梁结构的安全,需要进行定期检查。传统的人工检测,存在检查结果滞后、劳动强度大、需要封闭交通等局限性。近期发展的桥梁健康安全自动化监测系统,可与人工检测形成一个相互互补的系统,得到了大家的重视。桥梁健康安全自动化监测系统,是一个以桥梁结构为平台,应用现代传感、通信和网络技术,集结构监测、环境监测、交通监测、设备监测、综合报警、信息网络分析处理和桥梁养护管理等功能为一体的综合监测系统。它可以实时监测桥梁在各种环境、荷载等因素作用下的响应,为桥梁养护管理提供科学依据,有利于提高桥梁的整体管理水平,并能及早发现桥梁病害,使结构得到及时恰当的维修,能够最大限度地保障桥梁安全运营,并延长桥梁使用寿命。文中基于桥梁健康监测系統的基本构架,使用美国NI公司的虚拟仪器编程语言LabWindows/CVI对斜拉桥监测系统进行了总体功能设计和软件编程。

2 监测系统硬件的构架

桥梁健康监测系統首先是在桥上埋设一些长效性传感器,建立自动化数据采集管理系统,自动实时获取结构状态参数;结合自动化监测数据和人工巡检情况,综合评价桥梁安全,为桥梁养护决策提供建议。

桥梁健康监测系統硬件主要包括传感器、数据采集装置、数据通信与传输模块以及中央控制

装置。系統通过预埋长效传感器,通过RS485总线的方式连接到现场工控机,再由GPRS数传模块与桥梁监控中心服务器建立通讯。再通过以太网发布数据,客户通过互联网直接浏览数据。

2.1 传感器安装及监测部位

根据斜拉索的结构特点,需要对桥梁的关键部位预埋传感器。

2.1.1 斜拉索索力监测

斜拉索是缆索支承桥梁的核心构件,起着牵一发而动全身的作用。主梁及汽车荷载均由拉索承担,它是特别容易产生疲劳和腐蚀损伤的构件,其寿命往往比桥梁其他构件的寿命都短。有资料显示斜拉索的损伤与斜拉索索力变化有关,因此准确及时掌握拉索的内力及其变化特征,可以推测全桥结构受力的变化,因此监测至关重要。本系統采用磁通量传感器监测所有拉索索力,重要位置拉索纳入自动化监测系统,其余的为人工巡检预留检测接口。磁通量传感器直接监测拉索的物理状态,且具有抗干扰能力强、测量精度高、长期稳定性好、坚固结实、使用寿命长等优点,很适合斜拉索索力监测。

2.1.2 应力应变及温度监测

结构应力是判断结构安全最直接的指标,结构亚健康状态往往将导致应力超限或应力异常重分布,所以对于应力的异常变化应给予足够的重视,并结合环境、变形等其它监测结果来综合判定结构状态是否处于安全及可控的范围。结构应力监测主要目的在于:直接判断测试位置应力是

否处于安全水平;校核结构模型修正及损伤识别的结果。结构温度对结构的应力和变形具有显著的影响,是监测重要内容。通过实时监测桥址处的环境温度、大桥各主要构件的温度及温度梯度等数据,为分析结构的受力和变形、分析结构状态参数的相关性提供依据,并可完成应变传感器的温度补偿。

2.1.3 主梁、桥塔、桥墩和伸缩缝的位移变形监测

结构变形是结构状态改变最灵敏与最精确的反映,因此对结构变形的监测能够更为准确地把握结构恒载内力状态的改变;另外,部分的结构损伤也将导致变形情况的异常,通过对变形的监测也可识别出这些损伤来;桥面的变形与桥梁线型直接相关,通过桥梁线型的变化也可以判断桥梁的适用性。因此,结构变形的监测对于内力状态及损伤识别均有重要的意义。通过变形监测能够达到以下目的:修正计算结构内力的有限元模型;根据监测结果直接判断桥梁的适用性。

桥墩是整个上部结构荷载的直接承担者,桥墩基础过大的不均匀沉降变形,能改变主梁的线形,直接影响到整个桥梁体系受力的变化,会导致整个结构产生不利的影晌,所以应对桥梁基础沉降进行监测。

主梁标高变化和桥梁基础沉降的监测主要采用水准仪进行定期人工巡检,水准点设置在八分之一截面处和桥墩处。主塔塔顶的变形通过安装反射菱镜进行人工巡检。

2.1.4 主梁、桥塔振动特性监测

桥梁动力参数和振动水平(振动强度和幅值)是桥梁整体安全的标志,桥梁结构性能的变化会引起结构振动特性的改变。桥梁结构的振动特性包括结构的固有频率、振型(位移模态、应变模态、曲率模态等)、阻尼比以及相关的模态刚度、模态质量、模态阻尼等。模态参数是结构整体特性的表现,构件损伤的出现,必然导致结构局部刚度的改变,引起结构模态参数的变化。通过结构模态参数进行结构损伤部位、损伤

程度识别的技术,长期以来是学术界和工程界共同关心的热点课题。因此,对桥梁动力特性及振动水平的监测能够起到整体上对桥梁结构健康监测的目的。

2.2 数据采集装置

为减少传感器到采集仪电缆布设,在传感器安装位置就近安装多通道集线器,再通过集线器连接到各类传感器专门采集仪器。采用此类方法可以降低成本,减少了传输过程中的信号干扰。采集系统通过RS485总线、网络传递给现场工控计算机。为了方便后期人工巡检,在RS485总线中预留人工巡检端口。

2.3 数据传输装置

本系统采用GPRS数传模块传输现场工控计算机数据到桥梁监控中心服务器。数据采用点对点的方式,现场监控计算机通过串口把数据发送给GPRS数传模块,再由GPRS数传模块通过以太网传输给桥梁监控中心数据采集服务器。

2.4 中央控制装置

中央控制装置由桥梁监控中心数据采集服务器和数据发布服务器组成。数据采集服务器是与现场工控机通过GPRS数传模块建立通讯,实时传回现场采集数据,再由数据发布服务器进行发布,确保了系统的安全性与稳定性。

3 监测系统软件设计

本系统基于Labwindows/CVI平台开发、Microsoft SQL Server 2005数据库。监测对象包括:缆索的名义应力、梁挠度、梁端位移、梁塔应变以及梁塔振动。系统能够在无人看守情况下,实现对已设置参数的系统进行自动巡检测量,也可在人工干预情况下,进行手动测量。系统具有自动冗错功能。

系统软件包括在系统管理、数据采集、数据分析、状态评估及预警四个模块。软件界面如图1所示。

系统运行流程图如图2所示。

3.1 系统管理

系统管理包括下位机参数设置、系统自动数

据采集时间设置、预警参数设置、系统方便客户的资料整编及些辅助计算工具。

3.2 数据采集

系统在设定时间内会自动实现数据采集，并保存到数据库中，数据库的存储使用CVI自带的SQL Toolkits数据包，采用ODBC编译方式实现。

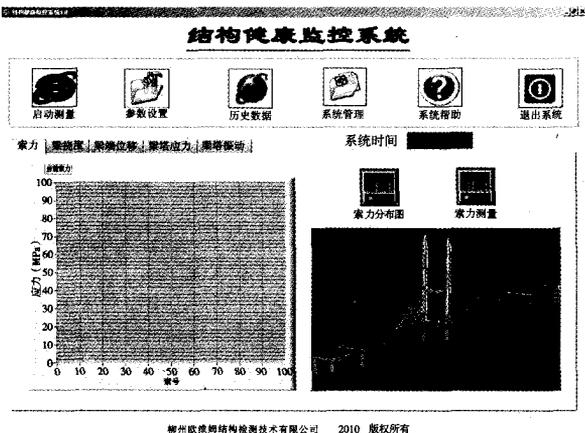


图1 系统软件主界面

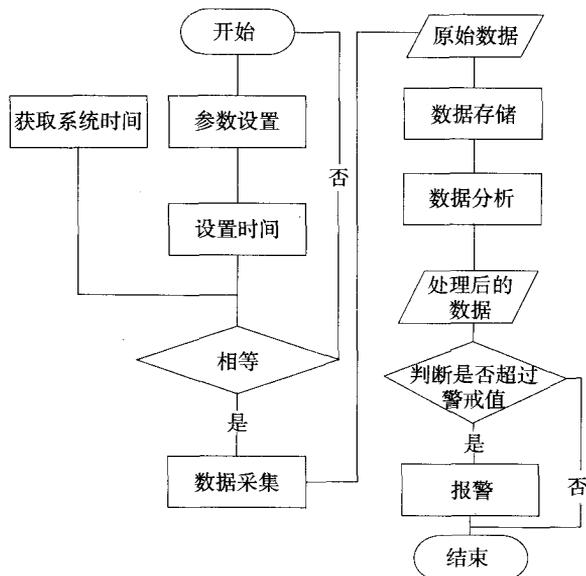


图2 系统运行流程图

3.3 数据分析

系统对采集到的数据按不同时间（月、季度、年）进行分析，分析的步骤有首先对采集到的历史数据进行粗差剔除，然后按照历史数据前后的规律对缺少值的时间进行合理补充值，再对完整时间段内的数据进行修均处理。原始数据和处理后的数据分开存放，以便后期分析原因时数

据可回溯。

3.3.1 系统误差数据剔除

误差处理采用统计分析法，即“3σ”法。如下所示：

设进行了n次采集，所得到的第i次测量值为 U_i ($i=1, 2, \dots, n$)，连续三次测量值分别为 U_{i-1} , U_i , U_{i+1} ($i=2, 3, \dots, n-1$)，第i次采集值的跳动特征定义为

$$d_i = |2 \times U_i - (U_{i-1} + U_{i+1})| \quad (1)$$

跳动特征的算术平均值为

$$\bar{d}_i = |(\sum_{i=2}^{n-1} d_i) / (n-2)| \quad (2)$$

跳动特征的均方差为

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=2}^{n-1} (d_i - \bar{d})^2 / (n-3)} \quad (3)$$

相对差值为

$$q_i = (d_i - \bar{d}) / \sigma \quad (4)$$

如果 $q_i > 3$ 就可以认为是异常值，对数据进行剔除，可以用插值方法得到它的替代值。

3.3.2 监测数据的补差

对剔除了粗差而缺少某次测量值时，采用全段拉格朗日一次插值法进行补差。设距待插值测点最近的两个测点为 (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2)

则横坐标为X的插补点 (X, Y) 的Y坐标为

$$Y = \frac{X - X_2}{X_1 - X_2} Y_1 + \frac{X - X_1}{X_1 - X_2} Y_2 \quad (5)$$

3.3.3 监测数据的修匀

实测数据时一组随时间变化的观测数据，数据受偶然因素影响较大，直接用采集到的数据绘图或分析有可能难以把握变化规律，则可以通过对一段时间的历史数据修均，消除偶尔因素影响，把未知量真实的变化规律展现出来。系统采用三点移动平均法修匀。

当相邻三个测点的测值分别为 (X_{i-1}, Y_{i-1})

(X_i, Y_i) (X_{i+1}, Y_{i+1})

则中央一个测量点的修均值为

$$\{(X_{i-1} + X_i + X_{i+1}) / 3, (Y_{i-1} + Y_i + Y_{i+1}) / 3\} \quad (6)$$

而起点 ($i=1$) 和终点 ($i=n$) 的修匀值则分别为

$$(X_1, Y_1 \times 2 / 3 + Y_2 / 3) \quad (7)$$

$$(X_n, Y_n \times 2 / 3 + Y_{n+1} / 3) \quad (8)$$

对所有测量值依次计算出其修匀值，这样形成的折线比原始历史曲线明显光滑。

3.3.4 报告生成

选择所要分析的起始时间，对时间段内的历史数据进行上面三个步骤的处理，对处理后的数据绘制曲线。根据参数设置的阈值，对结构的安全性进行判断，自动生成监测报告。

3.4 状态评估及预警

当采集数据超出系统管理中设置的阈值时，系统会通过连接在监控中心客户端电脑的外围音箱设备自动实现直接语音报警。采用调用系统 smartread 动态链接库。很方便的实现了语音报警功能。

4 结论

(上接第36页)

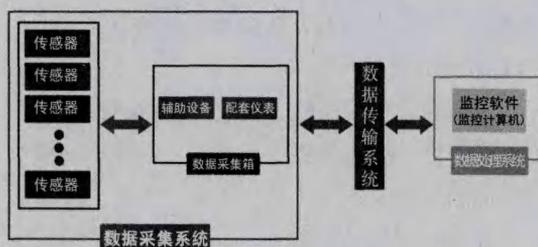


图13 在线检测系统示意图。

6 结束语

磁通量传感器技术从结构和原理上，较好地解决了长效性问题，可以预装在新建桥梁中，也可以安装在已运营桥梁的拉索上，还可以应用于有粘结预应力的多截面监测，对于研究体内预应力，保证大跨径连续刚构混凝土桥梁的运营安全，具有重要的意义。以它为基础构建的索力监测系统，在国内外的工程实践中得到大量的应用，例如：香港昂船洲大桥体外索在线监测，宜宾长江大桥斜拉索在线监测，九甸峡水利枢纽工程调压井环锚监测，厦门集美大桥体内预应力及体外索监测，夷陵长江大桥斜拉索索力监测，宜宾长江大桥斜拉索索力监测，京沪高铁拱桥吊杆索力监测，宁杭高铁拱桥吊杆索力监测，广珠铁路吊杆索力监测，

在斜拉桥监测系统硬件的总体构架基础上，基于Labwindows/CVI软件开发出一套斜拉桥监测系统，内容包括系统管理、数据采集、数据分析、状态评估及预警四个模块。数据处理采用系统误差数据剔除、监测数据的补差和监测数据的修匀等方法。结果表明，Labwindows/CVI将计算机的硬件资源与仪器硬件有机的融合，很好的实现了桥梁健康监测的自动化，能更有效、方便的对运营期斜拉索桥梁监管。

参考文献

- [1] 王建新, 杨世凤, 隋美丽. LabWindows/CVI 测试技术及工程应用[M]. 化学工业出版社, 2006
- [2] 赵长海. 预应力锚固监测技术[M]. 中国水利水电出版社, 2001

广元市白水大桥体内预应力监测，成都双流机场飞机滑行道桥永存预应力监测，等等，极大的丰富了索力监测的手段，并推动结构安全健康监测技术的发展。鉴于近来桥梁安全事故频发，建议桥梁管养部门立即着手开展桥梁健康方面的检测工作，把安全事故隐患消除在萌芽状态。

参考文献

- [1] 王社良, 王威, 苏三庆等. 铁磁材料相对磁导率变化与应力关系的磁力学模型[J]. 西安科技大学学报, 2005, 25(3).
- [2] Wang M L, Chen Z L, Koontz S S. Magneto elastic method of stress monitoring in Steel Tendons and Cables. Nondestructive Evaluation of Highways, Utilities, and Pipelines IV. Proceedings of SPIE, 2000.
- [3] Wang M L, Lloyd G, Hovorka O. Development of a remote coil magneto-elastic stress sensor for steel cables, SPIE 8th Annual International Symposium on Smart Structures and Material, Health Monitoring and Management of Civil Infrastructure Systems; Newport Beach CA, 2001.
- [4] 曹映泓, Ming L Wang, 朱利明. 湛江海湾大桥分布式健康监测系统开发研究[J]. 公路, 2007(01).
- [5] 王文涛. 斜拉桥换索工程(2版)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [6] 郝超, 裴岷山, 强士中. 斜拉桥索力测试新方法—磁通量法[J]. 公路, 2000(11).