

基于虚拟仪器的箱梁蒸汽养护系统设计

马月辉¹, 姚懿德², 张洪涛²

(1. 石家庄铁道学院 电气与电子工程分院, 河北 石家庄 050043; 2. 中铁十三局集团公司, 吉林 长春 130033)

摘要:针对高速铁路建设中的32 m双线箱梁的广泛使用,提出了基于虚拟仪器的箱梁蒸汽养护系统方案,该系统采用分散式结构,使用无线通讯方式,采纳了模糊控制技术,实现了对箱梁的蒸汽养护控制。系统结构简单、施工便利,安全可靠,可保证和提高箱梁的品质,缩短施工周期。

关键词:混凝土;箱梁;蒸汽养护;虚拟仪器

中图分类号:TK323 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-0300(2009)03-0065-04

1 概述

我国的客运专线32 m箱梁预制中,广泛使用了蒸汽养护技术,它可以有效提升混凝土梁的品质,明显缩短制梁的周期,并能较严格保证产品的技术指标。其技术核心是箱梁的温度测量、控制算法和养护策略的确定。文献[1]中,测温点采用了以混凝土最厚点为原则的布置方法,使用组态软件,采用温度PID控制算法,实现了箱梁养护,文献[2]提出了梁体内温度场的ANSYS模拟的方法,较好地仿真出了箱梁内温度场的情况。文献[3]、文献[4]也提出了采用ANSYS分析方法,对箱梁内部温度场的计算方法及对大体积混凝土的温度分析。

文献[5]提出的养护系统的以采用普通悬挂式温度计为测量手段,人工记录并调节养护棚内蒸汽,控制梁体内外温差,实现了单台座的箱梁养护。文献[6]提出了在施工梁养护中,采用普通挂式温度计为测量手段,而在试验梁测温中,采用了内埋温度传感器及无线传输给掌上接收机的养护方法。

通过对32 m混凝土箱梁的温度场的模拟,探讨了混凝土养生各阶段中温度的变化趋势,提出了温度传感器的测点布置方案,采用了分布式的养护结构,以无线方式构建了中央控制器与多台座温度控制器的数据通讯,设计了基于虚拟仪器技术的蒸汽养护系统。

2 系统设计与结构

蒸养系统主要由四部分构成。即养护罩部分;蒸汽加热部分;通风冷却部分和温度控制部分。养护罩部分具有很强的保温性能,最大限度地减少箱梁与外界的环境接触;蒸汽加热部分是将锅炉的蒸汽按照控制规则喷射到养护罩内,保证升温的均衡;通风和冷却部分是在端模部位设置风机,在顶部安装冷却喷淋管道。温度控制采用了分布式控制策略,即设置一个中央控制计算机,每台座设置本地控制器的结构方式。主控制器和本地控制器采用了无线网络的数据传输,采用工业标准的MODBUS通信协议,保证了数据传输的安全可靠。系统结构示意图如图1所示。

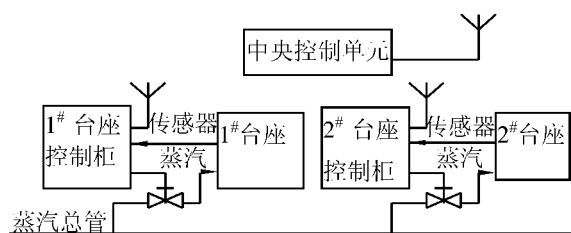


图1 系统结构示意图

收稿日期:2009-05-19

作者简介:马月辉 男 1964年出生 副教授

3 箱梁的温度场分析

为确定温度测点位置以及养护策略,利用有限元软件 ANSYS 对箱梁及养护进行了仿真。选择热分析单元 plane55,建立混凝土箱梁的有限元模型如图 2 所示。

将模型的初始温度设定 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。把对流边界条件施加于模型上,水化生成热作为热生成率(单位体积的内热源),养护规则确定为:静养时间 4 h,升温阶段 6 h,温升速率 $6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$,恒温阶段 10 h,恒温温度 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$,降温速率 $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。把荷载逐步施加在模型上,求解混凝土箱梁在进行蒸汽养护的 24 h 内的温度场和温度分布曲线。

箱梁截面各阶段温度场分布情况如下。图 3 所示为箱梁蒸养 1 h 时的温度场分布,由于水泥水化放热的作用,箱梁温度缓慢上升,在腹板较厚的地方,由于水化热释放的较多,温度接近 $17\text{ }^{\circ}\text{C}$,芯部和表面温差不大于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。图 4 所示为箱梁蒸养 5 h 时的温度场分布,处于升温阶段,箱梁温度缓慢上升,顶板与腹板交界处附近较厚的地方,温度接近 $24\text{ }^{\circ}\text{C}$,总体温差很小,芯部和表面温差在 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。图 5 所示为箱梁蒸养 10 h 时的温度场分布,处于恒温初始阶段,养护罩内恒定温度,温度控制在 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,在腹板较厚的地方,温度接近 $56.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,总体温差增大,芯部和表面温差在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。图 6 为箱梁蒸养 20 h 时的温度场分布,此时处于恒温阶段末期,养护罩内温度为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$,砼内部温度仍处于上升状态,并达到最高值,在腹板最厚的地方,温度达到 $60.47\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。图 7 所示为箱梁蒸养 23 h 时的温度场分布,处于降温阶段,养护罩内温度逐步降低,温降速率控制在 $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 左右。此时表面温度降到 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,腹板较厚地方温度降到 $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

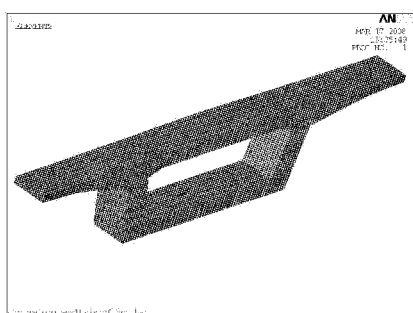


图 2 混凝土箱梁有限元模型



图 3 静养阶段温度仿真

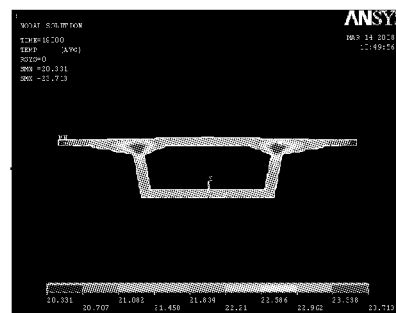


图 4 升温温度仿真



图 5 恒温阶段温度场仿真



图 6 恒温阶段末期温度仿真



图 7 降温阶段温度仿真

4 养护系统结构设计

(1)温度传感器的布置与测量。温度传感器采用了 Pt100 热电阻,并做好防水和防压保护,选择端部截面和跨中截面为测温点的布置截面,传感器按 ANSYS 分析的特征温度点布置,见图 8。传感器温度信号直接传给附近控制单元的温度控制器并通过无线模块与中央控制器联

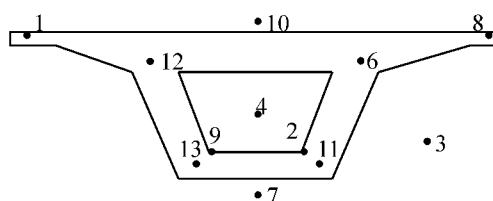


图 8 传感器测温点布置

接。考虑现场养护的安全性,控制单元具有手动操作。

(2)执行机构。将蒸汽养护区域分为四个空间,锅炉蒸汽经过分汽缸,通过四个独立的电磁换向阀,实现对顶模蒸汽量、腹模蒸汽量、内模蒸汽量和底模蒸汽量的控制,电磁阀的控制采用了时间占空比调节方式。

(3)中央控制单元。中央控制机由一台工业控制机及应用程序构成,自动记录各台座箱梁测试点的温度值,按要求下达操作指令等,具有历史数据、实时温度曲线的查阅功能,人机界面友好,操作简单。

5 软件编程

系统的编程有两个环节,控制单元的4通道温度控制器和上位机的监控软件。

5.1 控制单元的编程

(1)控制器的编程。在蒸汽养护的温度控制算法中最常用的有PID控制。由于混凝土箱梁蒸汽养护罩容积大,每次养护的工况差异很大,每个时段控制的温度不同,具有时变性,而且温度具有大滞后和非线性等因素的影响,采用了模糊控制方法。模糊控制的输入参数是温度误差及误差变化,输出参量是阀门的开启时间。输入变量及控制量的论域取为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 13级,模糊子集取为 $\{\text{负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大}\}$,输出量的时间采用增量形式。通过养护规则的模糊算法,确立模糊控制器的控制表,并将该表格写入到存储器中。

(2)通讯协议。控制单元通过串行口与数传电台通讯,并和其他控制器及中央计算机构成无线通讯网络,通讯协议采用了MODBUS RTU协议,该协议为主从工作模式,控制单元工作在

Slave模式,完成中央计算机对养护策略的写入,和对计算机请求的温度参数的上传。控制器接收到中央计算机的请求后,立即进入中断,并相应的做出回应。通讯流程如图9所示。

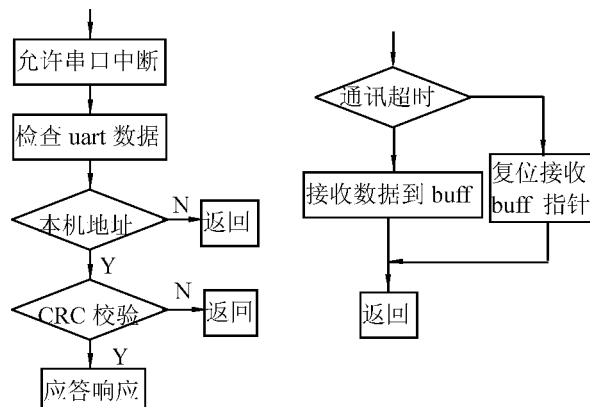


图9 modbus rtu 通讯协议编程流程

5.2 中央计算机编程

上位机系统软件使用美国NI公司的LabVIEW编程,实现对多个台座控制柜的控制参数下载和测量温度上传操作,数据传输稳定可靠。程序由主程序、实时数据显示程序、历史数据查询程序、现场控制器参数下载程序、现场控制器参数上传等前台程序及通讯端口的设置、MODBUS协议、数据的保存等后台程序等组成。

(1)串口通信子程序。串口通信子程序的设计使用LabVIEW串口通信的节点VISA,通过使用一组顺序框,分别实现初始化串口、串口写/读、检测串口缓存、关闭串口等一系列功能或操作。其中,在通过串口读写数据时,数据按照MODBUS协议的格式发送和接收。

(2)MODBUS协议编程。数据请求程序是串口通讯vi中的一个子vi,它是主机发出的一个MODBUS请求,并作为一个独立的子vi实现的,该vi的输入参数是通讯vi中所形成的MODBUS格式的命令,将命令转换为数据,即变换成用十六进制表示的字符串,通过串行口发送至无线数传电台,远程的无线数传电台接收到完整无误的请求后,返回一个应答数据,由中央控制计算机接收数据后,并按照发送的命令格式解码,得到对应的数据。

6 结果及分析

该系统具有用户管理、参数设置、实时曲线、历史曲线、数据报表、数据存储等功能。系统的操作界面友好、简单易学,经过短时间培训后操作人员就能够较娴熟的操作整个控制系统。图10为48h实际养护

过程的温度记录曲线。混凝土入模温度约 7°C , 芯内最高温度为 54.8°C , 发生时刻为养护 21 h, 基本与仿真结果吻合。(仿真入模温度 10°C , 养护 20 h 时刻, 芯内最高温度 60.47°C)。

自然养护 4 d 混凝土强度 $\geq 35\text{ MPa}$; 7 d 混凝土强度 $\geq 50\text{ MPa}$, 而现场蒸汽养护箱梁混凝土强度测试表明, 24 h 养护后, 其强度已达到 35 MPa , 比同条件下自然养护缩短了拆模时间(混凝土设计强度 50 MPa)。

实际工作表明: 测温点设置合理, 系统施工便利, 运行安全可靠, 温度曲线控制准确, 箱梁养护时间大大缩短, 加快台座周转, 箱梁的质量和外观也得到了保证, 具有很好的经济效益。

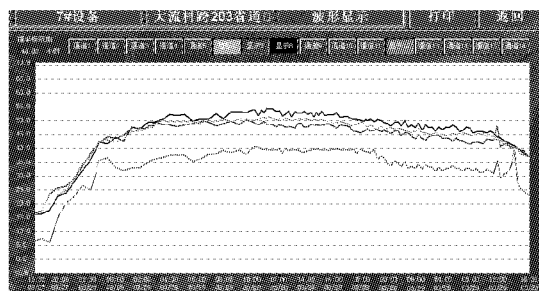


图 10 实际养护温度曲线

参 考 文 献

- [1] 杨艳红, 高文中, 蒋云飞, 等. 混凝土箱梁蒸汽养护的温度控制[J]. 国防交通工程与技术, 2005, 3(4): 76-78.
- [2] 陈国雄. 混凝土箱梁温度场的 ANSYS 模拟[J]. 广州建筑, 2007, 33(3): 10-12.
- [3] 王鹏, 叶仁亦, 翁艾平. 基于 ANSYS 下混凝土箱梁水化热温度场的有限元计算[J]. 铁道建筑, 2008(2): 10-13.
- [4] 王军玺, 杨华中. 大体积混凝土温度场仿真分析在 ANSYS 上的实现[J]. 兰州交通大学学报, 2008, 27(4): 29-32.
- [5] 杨先权, 郑机. 东海大桥 70 m 预制箱梁蒸汽养护技术[J]. 桥梁建设, 2005(增刊): 35-37.
- [6] 文向东. 客运专线 900 t 整孔箱梁冬期蒸汽施工技术[J]. 铁道建筑, 2008(9): 30-33.

Design of Steam Curing System Based on Virtual Instrument

Ma Yuehui¹, Yao Yide², Zhang Hongtao²

(1. Department of Electrical Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China;

2. China Railway 13th Group Co., Ltd, Changchun 130033, China)

Abstract: In view of the wide use of 32 m Concrete Box Girders in high-speed-railway, the box girder steam curing system based on the technology of virtual instrument is designed in this paper. In the system, distributed structure is used, wireless data-exchange is implemented and fuzzy control is adopted. The box girder steam curing system is realized. The system with simple configuration is convenient to construct and is safe and reliable. It also guarantees and improves the quality of the box girder, and shortens construction period.

Key words: concrete ; box girder ; steam curing ; virtual instrument