

基于物联网的结构施工监测技术应用

曹庆¹ 刘博² 赵鸣¹

(1. 同济大学土木工程学院 上海 200092; 2. 上海同固结构工程有限公司 上海 200092)

摘要: 随着物联网技术的发展,物联网在建筑设计及施工等各个阶段的应用变得不可或缺。本文以沈阳尚泰百货施工改造项目为背景,以钢弦应变传感器和倾角传感器为基础,通过对施工监测系统以及对监测数据的处理与分析进行深入研究,将物联网技术应用到施工监测系统中,从而解决了复杂施工现场的数据实时传输和接收问题。首先根据现场情况制定了合理的竖向挠度变形和应力应变测点布置方案。在施工过程中依据结构响应变化规律,对现场实时数据进行处理,从而实现对现场施工步骤进行合理的控制,最终达到安全施工的目的。

关键词: 物联网;系统设计与开发;施工监测

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.3010

Application of structure construction monitoring technology based on Internet of things

Cao Qing¹ Liu Bo² Zhao Ming¹

(1. Institute of civil engineering of tongji university, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Tonggu Structural Engineering Cooperation, Shanghai 200092, China)

Abstract: With the development of the Internet of things, architectural design and construction stages for the application of Internet of things has become indispensable. In the background of the project of Shenyang Shang Tai Department Store, based on the steel wire strain sensor and angle sensor, we studied a construction monitoring system and the analysis of monitoring data and solved the problem of data commission and acceptance. Firstly, according to the site situation we made the rational arrangement of measuring points in the vertical deflection and stress. According to the change of the structure response, after the processing of monitoring data, it can realize the reasonable control of the construction steps, so as to achieve the purpose of safe construction.

Keywords: Internet of things; system design and development; construction monitoring

1 引言

物联网技术是指以互联网为基础,将各种信息获取渠道、物质本身和互联网沟通连接起来,从而实现信息化、远程管理控制和智能化的网络。物联网的概念涉及到计算机、传感器、电子、软件等多个学科,在物流、制造、农业和土木等诸多行业中都有广阔的应用。

物联网^[1-3]本身具有配置方便快捷,安全性和稳定性高等特点,同时具有简单易行的操作界面。而结构的施工过程是一个复杂的过程,一方面,结构本身随着时间的推进处于不断的变化中,另一方面,施工环境复杂多变。针对这样的特殊情况,通过智能选择更合适有效的传输方式,将物联网技术应用到工程结构的施工监测上,可以探测结构施工期的状态变化,并以此作为施工程序的控制信息,从而保证

结构施工的安全进行。

2 基于物联网的监测系统设计

2.1 监测系统的设计

基于物联网的监测系统^[4]实现了信号的采集、调解、无线传输、简单处理以及应用发布,一般由五大部分构成,如图1所示:

- 1) 传感器模块,其实现传感器信号的测量功能;
- 2) 微处理器模块,是基于物联网的监测系统的“大脑”,实现无线通信模块的通信和数据传输;
- 3) 无线通信模块,其实现上位机和无线传感单元的通信和数据传输;
- 4) 能源供应模块,其实现对电源的管理,对整个监测系统供电。

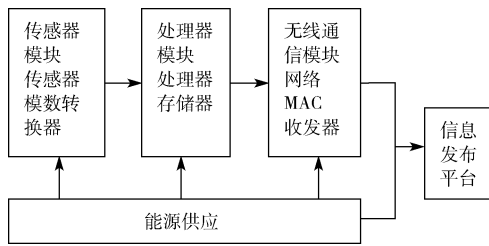


图 1 物联网监测系统结构体系

5) 信息发布平台实现处理信息的发布,为终端用户提供服务。

2.2 微处理器模块

微处理器模块采用高性能、低功耗的 8 位 AVR 微处理器 ATmega16L,其性能如下:1)具有先进的 RISC 结构:32 个 8 位通用工作寄存器,工作于 16 MHz 时性能高达 16 MIPS,16 K 字节的系统内可编程 Flash,512 字节的 EEPROM,1 K 字节的片内 SRAM,8 路 10 位 ADC;2)具有 6 种睡眠模式:空闲模式、ADC 噪声抑制模式、省电模式、掉电模式、Standby 模式及扩展的 Standby 模式;3)I/O 接口:32 个可编程的 I/O 口;工作电压:2.7~5.5 V;4)速度等级:0-8MHz ATmega16L。

2.3 无线通信模块

根据传感器^[5-7]种类的不同,振弦式应变传感器和倾角传感器分别采用 Zigbee 模块和 RS-485 总线进行组网。

1) ZigBee 是一种基于标准的远程监控、控制和传感器网络应用技术。主要用于距离短、功耗低且传输速率不高的各种电子设备之间进行数据传输,以及典型的有周期性数据、间歇性数据和低反应时间数据传输的应用^[8-9]。其优点主要包括:

数据传输速率低:10~250 Kb/s,专注于低速率传输应用;

功耗低:在低功耗待机模式下,两节普通 5 号电池可使用 6~24 个月;

成本低:Zigbee 数据传输速率低,协议简单,所以大大降低了成本;

网络容量大:网络可容纳 65000 个设备;

延时短:典型搜索设备时延为 30 ms,休眠激活时延为 15 ms,活动设备信道接入时延为 15 ms;

数据安全:Zigbee 提供了数据完整性检查和健全功能,采用 AES-128 加密算法。因而 ZigBee 技术在低功耗、低成本组网能力方面具有无可比拟的应用优势。

2) RS-485 总线是基于解决 RS-232 串口通信距离短,只能支持点对点通信等缺点而产生的。RS-485 总线最大可以支持 10 Mbps 传输速率,最大通信距离达到 1200 m (110 Kbps 通信速率),接口芯片便宜,支持厂家众多,实现简单方便,布线简单,支持点对多点通信模式,因而广泛应

用于低端市场。

最后,现场传感器采集数据通过 GPRS 广域网传送至服务器。

2.4 能源供应模块

振弦式无线传感单元采用 5V/1A 的电源供电,由民用 220 V 交流电经变压器转换至 5 V 直流电。

倾角传感单元采用 9V/2A 的电源供电,由民用 220 V 交流电经变压器转换至 9 V 直流电。

2.5 信息发布平台

监测信息的及时发布是物联网技术区别于传统无线传感器网络的一大特点。及时地获取现场施工信息并进行处理可以使得用户方便快捷的掌握施工情况从而对其进行合理地控制。

3 工程实践

沈阳华润尚泰百货为地下一层,地上六层的框架结构。其柱距为 9×11 m,层高均为 6 m,抗震设防烈度为 7 度,地震加速度为 0.1g,框架抗震等级为一级。由于建筑功能的需要,现需拆除顶层 Y4 轴和 Y3 轴上的两根框架柱,并在该位置顶层加建两榀钢桁架,并在原框架梁和钢桁架梁间用螺杆连接。在施工过程中,在截断柱子的同时,通过拧螺栓的方式使得螺杆拉紧以吊起跨度突然变大的原框架梁,从而起到施加力的作用。考虑该过程存在较大的结构安全风险及施工难度,为确保施工安全进行,要求无突发性应力释放、较大应变或挠度变形等,需对其施工过程进行监测^[10-11]。

3.1 监测系统总体布置

首先对监测系统进行总体设计,根据监测内容选择合适的传感器类型,对传感器测点进行优化布置。结合现场情况制定无线传输方案,避免了数据有线传输所带来的现场线路复杂问题,增加了数据传输的稳定性和与实时性。结合现场情况制定施工监测方案。监测主要内容包括:

1) 梁挠度变形监测:结构在施工过程中由于累积加载,梁属性变形不断增大。为确保不发生较大的变形,影响后期的正常使用和外观,沿梁的顶面和底面均匀地布置倾角传感器。

2) 构件应力和应变监测:由于梁原跨度为 11 m,施工后梁跨度达到原来的两倍,达到 22 m。为保证施工安全,降低施工过程中的不确定性,有必要对关键部位的应力应变进行监测。

3.2 测点优化布置

在施工过程中变形敏感区及应力较大的“热点”位置进行传感器布置。竖向挠度测点应尽量选择变形较大、反应敏感的位置布置,为体现梁整体竖向挠度变形规律,依据变形原则,在两跨框架梁和桁架梁的顶部和底部均匀布设测点,并在梁柱关键节点处增加测点。同时构件应力水平是

衡量结构施工过程中安全性能的重要指标,应力监测应尽可能获得结构受力较大、受力状态较为复杂的“热点应力”,因此应力测点应布设在应力较大的杆件,受力不利杆件较

为集中的区域。另外,为保证系统布设与数据传输,测点不宜布设在离信号传输设备较远的区域。测点布置详图如图2所示:

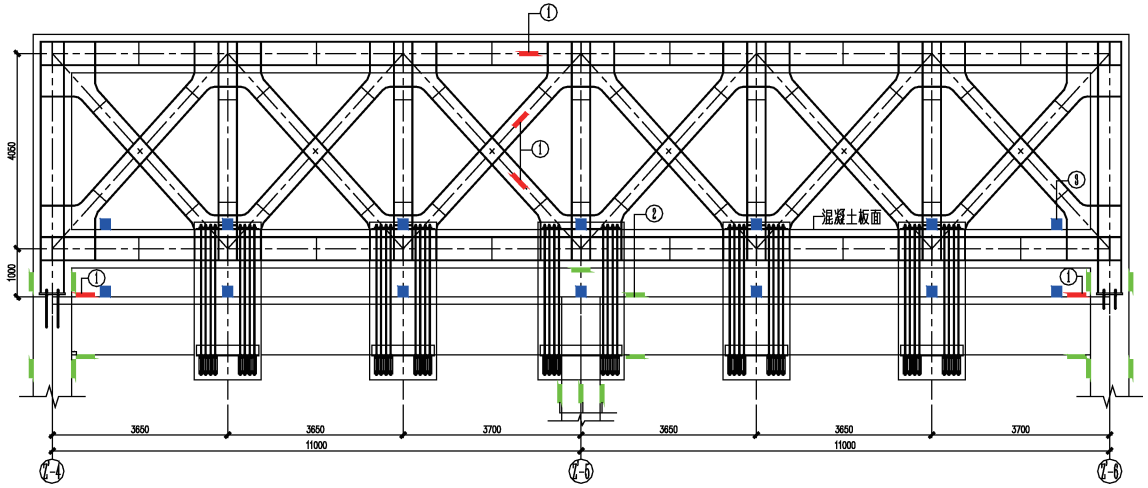


图2 传感器布置示意图

图2中①表示钢结构表面应变计,②表示混凝土表面应变计,③表示倾角仪)给出了Y4轴振弦应变传感器和倾角传感器的布置图,Y3轴传感器根据对称原则布置。在屋面桁架上弦和下弦构件应力以及腹杆应力较大的4个点,共需8个振弦应变计;在需拆除柱的四面都粘贴应变计共需振弦应变计8个;拆除柱上梁的应力监测,选取跨中和支座截面,需振弦应变计12个;梁支柱的应力监测,共需振弦应变计16个;屋面桁架和拆除柱上梁根据均匀布置的原则,共需倾角传感器28个。图3是本次监测系统框架图。

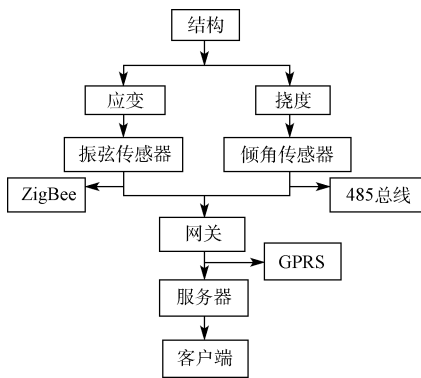


图3 监测系统架构图

3.3 加载工况

施工过程中通过预拉吊柱内螺杆调整框架梁和桁架梁挠度,使之基本保证或接近其初始空间姿态。Y4轴和Y3轴加载工况如表1和表2所示。

表1 Y4轴各级工况下加载值

加载等级/kN	A	B	C	D	E
1	30	70	70	70	40
断柱	—	—	—	—	—
2	40	100	100	100	50
3	50	130	130	130	70
4	70	160	160	160	80
5	80	180	180	180	100
6	90	200	200	200	110
7	100	230	230	230	120
8	120	260	260	260	140
9	130	290	290	290	155

表2 Y3轴各级工况下加载值

加载等级/kN	A	B	C	D	E
1	60	130	130	130	30
2	70	160	160	160	35
3	80	180	180	180	40
4(断柱)	—	—	—	—	—
5	100	200	200	200	50
6	110	220	220	220	55
7	120	240	240	240	60
8	130	260	260	260	65
9	150	300	300	300	70
10	160	320	320	320	80
11	170	340	340	340	85

4 数据分析与结论

1) 竖向挠度变化

图 4~图 6 为 Y4 轴桁架和 Y3 轴框架竖向挠度在各级工况下的位移曲线(测点位置位于梁的中点)。

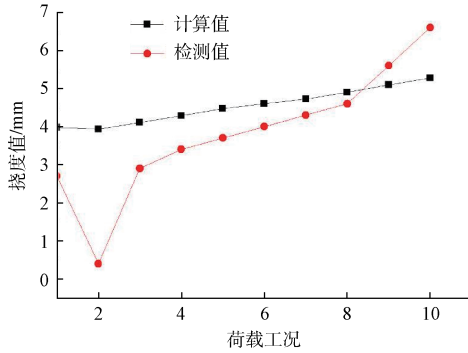


图 4 Y4 框架梁挠度变形曲线

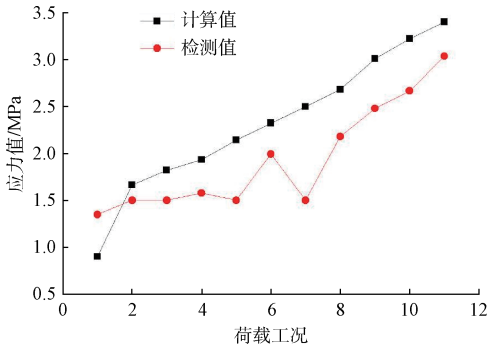


图 5 Y4 桁架梁挠度变形曲线

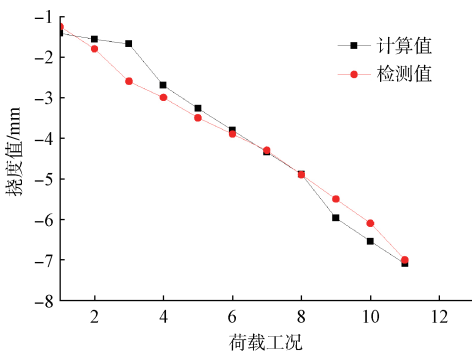


图 6 Y3 框架梁挠度变形曲线

2) 应力变化

图 7 为 Y3 轴某一监测点的应力变化曲线。

通过对基于物联网的无线监测系统的设计与实现及其成功应用,证明了物联网在结构施工监测中的可行性、高精度性和可靠性。相比于传统的人工监测手段,基于物联网的监测系统由于结合了各种传感器技术与无线传输网络技术,监测结果具有更高的精度和准确性。同时监测

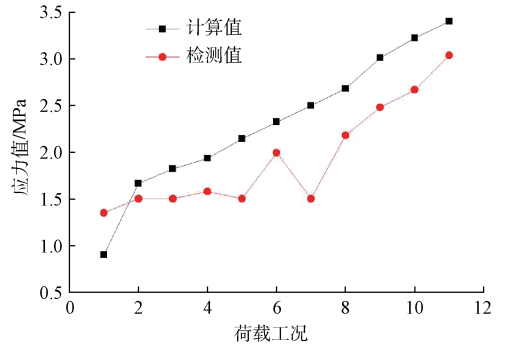


图 7 Y3LH04 处应力曲线

数据在客户端的及时发布,用户可以随时随地使用电脑和智能手机对结构的施工过程进行合理地控制。

参考文献

- [1] 王保云. 物联网技术研究综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(12): 1-7.
- [2] 宁焕生, 徐群玉. 全球物联网发展及中国物联网建设若干思考[J]. 电子学报, 2010, 38(11): 2590-2599.
- [3] 钱志鸿, 王义君. 物联网技术与应用研究[J]. 电子学报, 2012, 40(5): 1023-1029.
- [4] 侯兴勃. 无线网络监测系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(5): 63-66.
- [5] 樊鹏昊, 赵西安, 樊英姿, 等. 基于振弦式位移计技术的远程监测系统研发[J]. 北京建筑大学学报, 2015 (1): 72-76.
- [6] 张宇鹏, 徐钰蕾, 王昱棠, 等. 高精度电容式角位移传感器测量方法[J]. 仪器仪表学报, 2014 (z1): 147-150.
- [7] 张鉴, 戚昊琛, 杨文华, 等. 一种用于胎压监测的 MEMS 压力传感器设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(10): 1424-1430.
- [8] 陈琦, 韩冰, 秦伟俊, 等. 基于 Zigbee/GPRS 物联网网关系统的设计与实现[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(z2): 367-372.
- [9] 包启明, 陈益民, 苏保兰, 等. 基于 ZigBee 和 3G 的远程监测系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3171-3173.
- [10] 王雨鹰. 中石化大厦转换梁结构施工监测[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011.
- [11] 黄伟. 音乐厅大跨复杂混合结构施工模拟分析与监测[D]. 中南大学, 2011.

作者简介

曹庆, 1990 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为无线传感网络在结构施工监测中的应用。

E-mail: Paul_Caoqing@163.com

赵鸣(通讯作者), 1963 年出生, 博士, 教授, 主要从事结构工程方面的研究。

E-mail: zhaom@tongji.edu.cn