

# 基于物联网的盾构隧道管片接头张角 远程监测方法\*

李 忠<sup>1,2</sup> 伍柄昌<sup>2</sup>

(1. 上海工程技术大学城市轨道交通学院, 201620, 上海; 2. 兰州理工大学土木工程学院, 730050, 兰州//第一作者, 教授)

**摘 要** 在隧道监测活动中,人为的操作常常会造成监测数据准确度不高和监测工作繁琐。为了实现远程无线监测及智能化,提出了一种基于物联网的盾构隧道管片接头张角远程监测方法。运用 Arduino 与 SIM900A 模块将角度传感器数据通过网络传输至物联网平台。通过盾构隧道变形试验测试,成功地将隧道变形的现场测试数据传至物联网平台,实现了远程无线实时监测,验证了该方法的可行性和实用性。

**关键词** 盾构隧道; 管片接头; 物联网; 远程监测

**中图分类号** U455.43

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.09.001

## Remote Monitoring Method of Shield Tunnel Segment Joint Angle Based on IoT

LI Zhong, WU Bingchang

**Abstract** In tunnel monitoring activities, manual operation often leads to low accuracy of monitoring data and tedious monitoring works. In order to realize the remote wireless monitoring and intelligence, a remote monitoring method of shield tunnel segment joint angle based on internet of things (IoT) is proposed. Using Arduino and SIM900A module, the angle sensor data is transmitted to the IoT platform via network. Then, through the shield tunnel deformation test, the field test data of the tunnel deformation is successfully transmitted to the IoT platform, and the remote wireless real-time monitoring is realized, verifying the feasibility and practicability of the method.

**Key words** shield tunnel; segment joint; Internet of things (IoT); remote monitoring

**First-author's address** College of Urban Railway Transportation, Shanghai University of Engineering Science, 201620, Shanghai, China

项目,通常采用的手段有全站仪变形监测、激光收敛仪变形监测、BOTDR 分布式光纤变形监测。全站仪变形监测虽然在监测过程中能够做到无损监测,但是存在着大量人为误差,如布设的观测点不合理、几何换算的误差较大、全站仪未能完全调平。激光收敛仪变形监测是先在隧道内布设测量点,再通过激光收敛计测量布设测量点两点之间的位移变化,激光收敛计的测量距离最高可达 50 m。激光收敛仪变形监测的精度高并且安装方式也较为便利,但是它只能测量安装时就已经固定的测线相对位移。BOTDR 分布式光纤变形监测的测量原理是利用单频光在光纤内传播时发生布里渊散射现象,其中背向布里渊散射光的频率将发生漂移,其漂移量与应变和温度均是呈正比的线性关系,因此,测量背向布里渊散射光频率的漂移量可得到光纤各个位置的温度和应变信息<sup>[1]</sup>,但是布设光纤的成本过高,布设程序也较为繁琐。随着交通设施的建设越来越多,现场人工监测的弊端已经慢慢地凸显。对交通设施构造物的远程监测不仅能在施工过程中帮助施工人员动态掌握结构变形特征,并随时根据变形修改施工进度与方法,还能在交通设施运行过程中帮助维护人员了解构造物的服役情况。

## 1 远程监测现状

随着大数据时代的到来,IoT(物联网)步入人们的视线。物联网以互联网为核心,并在其基础上进行了延伸和扩展,是新一代信息技术的重要组成部分。物联网将现实世界的具有感应功能的物体进行“物”化,并给予它们一个可识别的身份认证,然后通过各种传感手段将它们接入网络,让物与物之间通过识别自身身份信息实现物与物之间的信

目前,针对隧道的周边位移、拱顶下沉等监测

\* 国家自然科学基金项目(51768041)

息通信。随着物联网的概念被提出,物联感知在隧道监测中的应用研究也越来越多。吴战广等<sup>[2]</sup>以物联网为基础,C#作为编程语言,SQL Sever 作为数据库,实现了远程控制机器人完成了地下工程的变形监测工作。唐继民<sup>[3]</sup>在上海轨道交通 7 号线某区间隧道的受损修复工程中,以物联网技术为基础对隧道进行实时监测。王亚琼等<sup>[4]</sup>提出了以物联网技术为基础的隧道施工过程监控量测技术,并且在大宝山隧道的监控工程中得以成功运用<sup>[4]</sup>。姜晨光等<sup>[5]</sup>以物联网技术为基础,提出了隧道智能化监测的设计思路,并构建了相应的体系。李福建<sup>[6]</sup>将激光测距传感器与物联网技术相结合,设计了隧道围岩监测系统,对银西铁路某隧道的拱顶下沉与隧道净空值进行了监测<sup>[6]</sup>。由此,本文提出了一种通过监测管片间张角的变化来监测隧道变形的远程监测方法。首先,介绍了根据测量隧道变形的测量原理;然后,基于物联网技术设计了该方法的软硬件实现方案和过程,进行了盾构隧道变形测试试验;最后,在物联网平台上实现了对盾构管片转角的实时监测,验证了该监测方法的可行性。

## 2 测量原理

盾构衬砌结构受荷载作用变形前后接头及弦长几何关系如图 1 所示。将各个管片的弦长连接起来,将角度传感器布设到管片弦长的连接处,即管片的接头位置。当盾构隧道衬砌结构受外部荷载发生变形时,各个管片发生转动。角度传感器的测量值将会随着管片的转动而变化。通过对管片间的张角值的观测,便可以进一步了解盾构隧道在受外界荷载作用下的变形收敛情况。

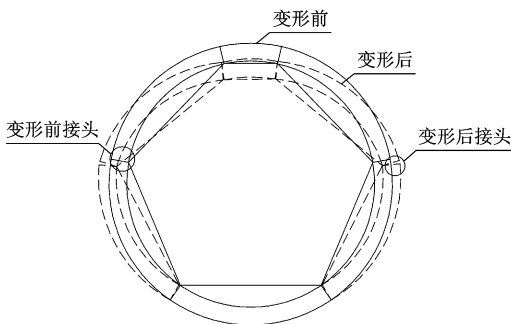


图 1 盾构管片变形前后接头及弦长几何关系示意图

## 3 监测方法的方案设计

本监测方法由数据采集、数据分析、数据传输、

物联网平台 4 个部分组成。数据采集系统由角度传感器组成,将角度传感器布设在关键节点,当管片转动时,角度传感器即可读取该点的管片间的夹角,并将采集到的信息传输给数据分析模块。数据分析模块采用的是 Arduino UNO 单片机,Arduino UNO 将采集到的信息处理后短暂地储存在 Flash。Arduino 通过 AT 指令的方式,控制数据传输模块与物联网的连接与数据的传输。数据传输模块由 SIM900A 与一张联通的 SIM 卡组成。SIM900A 通过 TCP 向物联网平台发送连接请求,当连接成功后便将短暂储存在 Arduino 中 Flash 的数据进行打包传输。物联网平台选用的是乐为物联。监测人员可以通过乐为物联对管片的夹角变化进行实时监测。

## 4 硬件设计

### 4.1 数据采集模块

将旋转编码器作为角度传感器。在正常通电的工作状态下,旋转编码器的轴进行转动时会产生信号输出的相位差,通过光电转换,将旋转编码器输出的信号接入 Arduino 模拟量输入引脚。由 Arduino 读取信号值并将该信号值转变成数字信号。此时,生成的数字信号值即为管片间的夹角值。

### 4.2 数据分析模块

以 Arduino 作为数据的分析模块。Arduino 是一个完全免费的、开源的平台,该平台包括 1 块具有简单 I/O 功能的电路板以及以 C 语言为基础的 Processing/Wiring 开发环境<sup>[7]</sup>。在电脑上写完程序后,通过 USB 串口烧写入 Arduino。Arduino 工作时,则使用 5 V 的外接电源给 Arduino 供电,Arduino 将传感器采集到的角位移数据进行内部程序处理并储存。Arduino 接口如图 2 所示。

### 4.3 数据传输模块

选用稳定可靠的 GPRS 通信模块 SIM900A 作为数据传输模块。它是一个二频的 GSM/GPRS 模块,可以实现语音编码、SMS、数据和传真信息传输功能,SIM900A 的供电方式是单电源供电,标准供电电压为 5 V,支持移动、联通的 4G 电话卡,支持 SPI 通信,内嵌了 TCP/IP 协议,这在数据传输方式方面提供了多样化的选择。在本方法中需要用 Arduino 向 SIM900A 发送 AT 指令集来控制 SIM900A 模块与物联网建立 TCP 连接,并进行数据的传输。

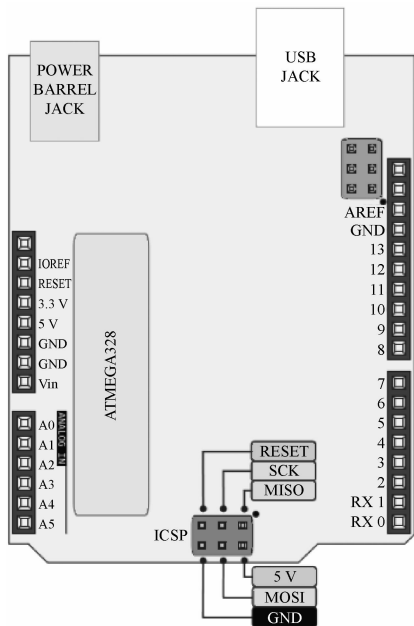


图2 Arduino接口图

## 5 软件设计

### 5.1 GPRS

目前数据传输的方式主要有WiFi、蓝牙、Zig-bee、GPRS。综合考虑,本方法选用成本低廉、数据传输速度快、传输通道信号稳定、信号覆盖范围广的GPRS数据传输方式。GPRS技术有以下几个特点:① 高速的数据传输速度。GPRS的数据传输速度最快可以达到大约170 kbit/s,下一代的GPRS业务的速度甚至可以达到300 kbit/s。② 永远在线。GPRS业务可以提供实时在线的功能,即使网络与用户之间没有进行数据传输,终端与网络也能够随时保持着连接。③ 按流量收费。用户可以使用设备一直在线,只有发生数据相互传输时才产生费用。④ 快捷登陆。用户接入GPRS网络是耗时短,约2~6 s内即可完成,无需长时间等待。⑤ 接入范围广。只要使用的SIM卡有信号即可接入网络,可以在全国范围内为用户提供网络服务。

### 5.2 Arduino IDE

Arduino编程与STM32单片机不同,不需要考虑底层代码的编写与封装。Arduino IDE中自带了〈GSM.h〉、〈SoftwareSerial.h〉、〈EEPROM.h〉等库文件,用户只需要在编程中申明调用所需要的库文件即可。在本方法中,首先对Arduino板进行供电,待Arduino板与SIM900A进入正常工作状态后,利

用电脑串口写入程序。首先对硬件进行初始化设置,延时一段时间后读取角度传感器的测量值,Arduino通过A/D转换读取并短暂储存角度传感器的测量值,然后向SIM900A模块发送AT指令,对其进行接入网络的设置。当接入物联网连接成功时,即可通过SIM900A向物联网发送该数值。若SIM900A与物联网连接不成功时,延迟10 s再次向物联网发送连接请求。

### 5.3 AT指令

无论是用控制SIM900A模块进行打电话、发短信还是接入互联网,都必须要用AT指令。由Arduino通过SPI通信向SIM900A发出AT指令, SIM900A接收AT指令并执行。本方法主要用到如下指令:

AT + CGDCONT = 1, "IP", "CMNET":设置网络连接方式。

AT + CIPCSGP = 1, "CMNET":设置GPRS业务。

AT + CIPSTART = "TCP", "tcp.lewei50.com", "9960":建立TCP连接,连接到IP为tcp.lewei50.com,连接端口为9960。

图3为SIM900A与物联网的TCP连接示意图。

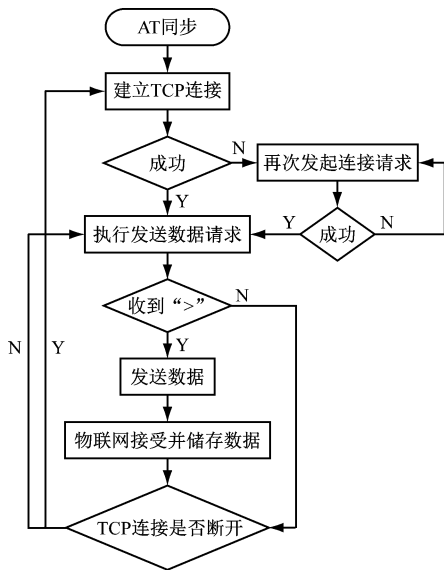


图3 SIM900A与物联网的TCP连接示意图

### 5.4 物联网平台

选用的物联网平台是乐联网,它是一个可以使用户将自己的设备快速接入物联网的平台,不需要繁琐的操作即可使用户实现设备与物联网的信息

交互。该平台不仅可以储存大量用户的设备信息,还可以使用户通过电脑、手机 APP 集中监控设备,实时读取监测数据。该平台还提供了传感器的对比、设备数据的历史走势折线图分析、数据导出、发送警告信息等数据管理功能。用户只需在登陆乐为物联网、注册账号、添加设备和传感器的信息后,即可在网上对设备进行实时监测。

## 6 测试效果

本次测试是在盾构隧道模型中布设三个角度传感器,对管片夹角进行了实时监测测试。传感器布设方位如图 4 所示。2018 年 12 月 16 日 13:40—14:55 时间段内的,角度传感器 sensor1 实时监测数据如图 5 所示。

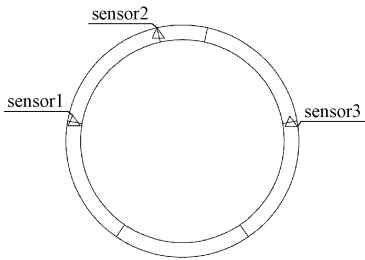


图 4 传感器布设方位图

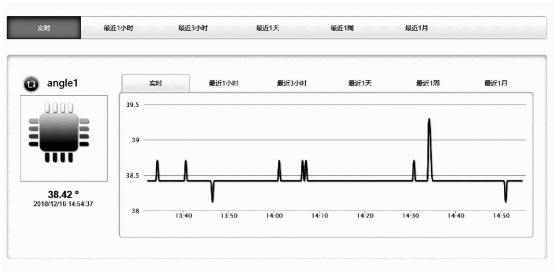


图 5 角度传感器 sensor1 实时监测数据

角度传感器的数据经过 Arduino 处理后通过 SIM900A 发送至乐联网平台,并在乐联网上成功地查看到了角度传感器的历史数据。

## 7 结语

本文提出的基于物联网的隧道变形监测方法,为从事监测行业的工作人员提供了一种用于监测活动的物联网开发构想。相比传统的人工监测模式,该方法不仅可节约大量人力和物力,还可避免人工读数带来的误差以及后期繁琐的数据整理比对工作。该方法已成功地运用在盾构隧道模型试验中,实现了对管片夹角变化的实时远程监测,并可在乐联网上查询历史数据。盾构隧道模型试验也验证了该监测方法的可行性。随着网络信息技术的不断推广与开发,更加智能化的监测手段必将在土木工程领域中得到广泛应用。

## 参考文献

- [1] 李焕强,孙红月,刘永莉,等. 光纤传感技术在边坡模型试验中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(8):1703.
- [2] 吴战广,张献州,张瑞,等. 基于物联网三层架构的地下工程测量机器人远程变形监测系统[J]. 测绘工程,2017,26(2):42.
- [3] 唐继民. 自动化监测技术在隧道受损修复工程中的应用[J]. 测绘通报,2014(12):86.
- [4] 王亚琼,黄忆霖,王开运,等. 基于无线传感的物联网在隧道施工监测中的应用[J]. 西安科技大学学报,2015,35(4):498.
- [5] 姜晨光,刘冠林,王纪明,等. 基于物联网的隧道智能监测系统设计[J]. 上海国土资源,2013(1):86.
- [6] 李福建. 隧道全自动监测技术应用研究[J]. 土木建筑工程信息技术,2017,9(6):113.
- [7] 蔡睿妍. Arduino 的原理及应用[J]. 电子设计工程,2012,20(16):115.

(收稿日期:2018-11-20)



# 交通运输部:城市内公共交通客运量恢复超七成

交通运输部新闻发言人孙文剑 8 月 27 日指出,交通行业固定资产投资连续 4 个月实现了正增长,4 月份投资增速首次由负转正。从累计看,1-7 月份投资累计增速为 9.4%,接近两位数,增幅明显提速。

国内的客运恢复近六成,7 月份完成营业性客运量 8.9 亿人次,恢复至去年同期的 57.9%,恢复程度较 6 月份提高了 1.7 个百分点;此外,城市内的客运恢复速度相对更快,36 个中心城市完成公共交通客运量 41.1 亿人次,这是 7 月份的数据,已恢复至去年同期的 71.3%,恢复程度较 6 月份提高了 2.5 个百分点。可以说,整个全国营业性客运量恢复近六成,城市内公共交通的客运量恢复超过了七成。

(摘自 2020 年 8 月 28 日中国新闻网)