

# 无线智能锚杆研制及应用

陈得民

(北京必创科技股份有限公司 北京 100085)

**摘要:**锚杆是岩土工程重要的加固支护方式。锚杆固定后将产生预应力。但若岩体结构发生变化时,锚杆预应力将发生变化。本文研制一种无线智能锚杆,应用于隧道岩体加固支护。对智能锚杆原理、结构等做了详细阐述,并将实际产品应用于某大型隧道。结果显示,该智能锚杆效果良好,不仅对岩体有加固作用,而且可以实时监测隧道岩体健康状态。

**关键词:**智能锚杆 预应力监测 无线

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2016.04.004

## 1 引言

锚杆是在边坡、岩土深基坑等地表工程及隧道、采场等地下洞室施工中采用的一种加固支护方式。锚杆作为深入地层的受拉构件,它一端与工程构筑物连接,另一端深入地层中,整根锚杆分为自由段和锚固段,自由段是指将锚杆头处的拉力传至锚固体的区域,其功能是对锚杆施加预应力;锚固段是指水泥浆体将预应力筋与土层粘结的区域,其功能是将锚固体与土层的粘结摩擦作用增大,增加锚固体的承压作用,将自由段的拉力传至土体深处。由于锚杆是施加预应力的,其拉力大小与被加固结构健康状态相关,故对锚杆拉力进行实时监测可以掌握被测结构健康状态。

本文研究设计一种智能锚杆,可以实时在线监测当前隧道内锚杆受力情况,当锚杆受力过大或过小时,系统都会报警,相关人员会及时对被测结构进行勘察加固。

## 2 无线智能锚杆

### 2.1 无线智能锚杆结构

无线智能锚杆结构如图1所示,1是智能锚杆传感器部分,2是智能锚杆数据采集及无线传输部分,3是整体结构。从智能锚杆结构图上可知,整个电路单元全部密封在锚杆内部,密封盖采用耐腐蚀、强度高的不锈钢及塑料材质,以保证无线通讯顺畅,同时,可以对锚杆内的电路进行完全密封,防护等级可达IP67。

锚杆传感器部分是由锚杆内部弹性体上粘贴电阻应变计并和传感器内部电路组成惠斯通电桥,由应变计的变化使电桥发生不平衡,电桥输出与应变呈线性关系的电压信号,智能锚杆数据采集及无线数据传输部分是将锚杆传感器输出的电信号通过内部数据处理模块将电信号转化成锚杆对应的应力值,再通过无线数据通讯模块将应力值发送到数据显示终端,数据显示终端可以根据锚杆应力值监测锚杆状态。



图1 智能锚杆结构

智能锚杆内置传感器主要有应变测量电路、数据处理单元、无线通讯单元和电源单元组成,如图2。实线框内是本传感器组成部分,实线框外的应变片是敏感元件,通过引线和无线传感器的应变测量电路连接。本智能锚杆结构中,应变片与数据采集部分通过航空防水插头连接。

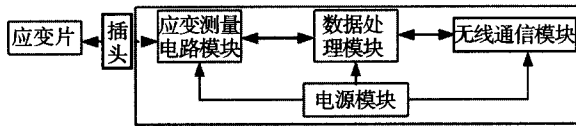


图2 智能锚杆内部电路原理图

## 2.1 应力测量[2~7]

### 2.1.1 应力测量方法

使用应变片测量应力时，将应变片粘贴在弹性体上。当弹性体受力变形时，应变片的敏感栅也随同变形，其电阻值发生相应变化，通过转换电路转换为电压或电流的变化。通过数据采集设备将对应的电流或电压转换成相应的应变值，通过被测件弹性模量等参数，将应变转换成对应的应力。

#### 2.1.1.1 应变测量原理

将应变片贴在被测定物上，使其随着被测定物的应变一起伸缩，这样里面的金属箔材就随着应变伸长或缩短。很多金属在机械性地伸长或缩短时其电阻会随之变化。应变片就是应用这个原理，通过测量电阻的变化而对应变进行测定。一般应变片的敏感栅使用的是铜铬合金，其电阻变化率为常数，与应变成正比例关系。

即： $\Delta R/R=K \times \varepsilon$  在这里：

$R$ ：应变片原电阻值 $\Omega$ （欧姆）；

$\Delta R$ ：伸长或压缩所引起的电阻变化 $\Omega$ （欧姆）；

$K$ ：比例常数（应变片常数）；

$\varepsilon$ ：应变。

不同的金属材料有不同的比例常数 $K$ 。铜铬合金（Advance）的 $K$ 值约为2。这样，应变的测量就通过应变片转换为对电阻变化的测量。但是由于应变是相当微小的变化，所以产生的电阻变化也是极其微小的。

#### 2.1.1.2 惠斯通电桥

惠斯通电桥适用于检测电阻的微小变化，应变片的电阻变化也可以用这个电路来测量。如图3所示，惠斯通电桥由四个电阻组合而成。

如果 $R_1=R_2=R_3=R_4$ 或 $R_1R_3=R_2R_4$

则无论输入多大电压，输出电压 $e$ 总为0，这种状态称为平衡状态。如果平衡被破坏，就会产生与电阻变化相对应的输出电压。

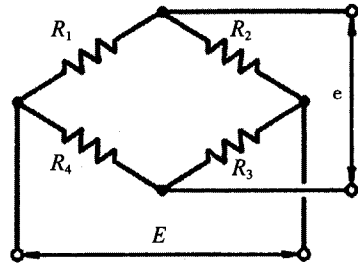


图3 惠斯通电桥

## 2.2 应变测量电路

在智能锚杆内弹性体上粘贴专用的应片，将应变片连线和传感器连接，组成应变桥路，即为基础无线应力传感器。该应变片稳定性极高。

向应变桥路提供稳压电源，做为激励源，当锚杆发生松动时，应变桥路阻值发生变化，将导致数据采集电路电压变化，数据处理单元将该电压信号采集并转化成应力值并通过无线通讯模块将应力值发送出去。

应变测量电路包括桥路电阻、前置放大电路、滤波电路及A/D转换电路，前端应变片和桥路电阻共同组成应变桥路，其原理结构图如图4所示。



图4 应变测量电路

桥路原理如图5所示， $S+$ 、 $S-$ 是通道的正负信号输入端， $VEXC$ 、 $AGND$ 供桥电压端， $R_g$ 是应变片， $R_L$ 是线电阻。从桥路原理图可知，该应变测量桥路是一个全桥电路，全桥电路全桥是一种自补偿电路，可以有效的消除因线电阻和温度引起的误差。

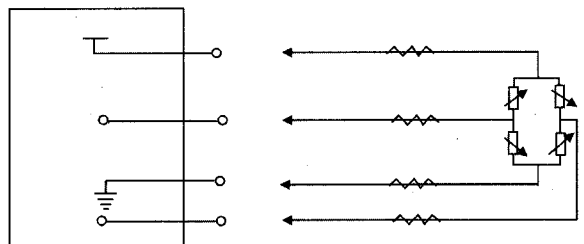


图5 全桥测量电路

### 2.2.1 无线通信单元

本文使用CC1101作为无线通信单元射频电

路,采用BeeLPW无线网络监测系统,支持点多等网络拓扑结构。将智能锚杆测得的应力值、锚杆编号及锚杆所在的大型结构设备编号通过无线方式发送到上位机监控系统。为满足通信距离需求,无线通信模块可配功率收发模块,以增大通信距离。功率收发模块可细分为功率放大器和发射天线。为增大通信距离,本文通过附加功率放大器解决,包括发送通道上的射频功率放大和接收通道上的低噪声放大器。射频功率放大器实现433MHz发射信号功率放大功能,放大增益最大可达28dB(输出功率最大可达250mW)。低噪声放大器实现433MHz接收信号低噪声放大功能,放大增益可达14dB。

CC1101是低成本1GHz以下的无线收发器[8],为极低功耗的无线应用而设计。电路主要设计为ISM(工业、科学和医疗)和SRD(短距离设备),频段在315、433、868和915,但是可以很容易的编程,使之工作在其他频率,在300-348MHz, 387-464 MHz 和 779-928 MHz频段。

### 2.2.2 数据处理单元

数据处理单元主要是将锚杆的应变值进行处理得到应力值,并设定对应锚杆编号及锚杆所在的设备编号,通过无线通讯模块将应力值、锚杆编号及设备编号发送出去,也可以根据主机下发的指令和参数进行开始采集、停止采集、瞬时采集,组号、信道设置,采样率、通道数设置、通道清零、电量查询。

本文使用MSP430F2274作为数据处理单元。MSP430F2274是MSP4302xx系列控制器(MCU)中的一个16位微控制器[9, 10]。微控制器所需的电源电压范围很宽,可以从1.8V至3.6V。MCU的工作频率可以高达16MHz。它的CPU为16位RISC

架构,包含所有51指令(27条核心的,24条仿真的)。它支持单周期移位和单周期加/减指令。这可以在缺少硬件乘法器的情况下实现高效的乘法[4]。MCU还具有一个内部的超低功耗低频振荡器(VLO),室温下工作在12kHz。这样就省去了一个设备工作所需的板上外部晶振。MSP430F2274功耗极低,片上资源丰富,同时利用JTAG接口技术,可以对片上闪存方便的编程,便于软件的升级。

### 2.2.3 电源单元

电源模块用于实现对系统中有源器件的供电,同时还可以对电池进行充放电管理。电源模块对各系统分模块采用独立的电源管理,在其空闲时使其进入休眠状态或关闭其电源。从而使系统总功耗大大降低。数字信号处理器通过IIC或UART接口与电源模块相连,实现对电源部分的电压、电流和温度情况的实时监控,防止电源过充和欠电现象的发生,通知网络主机及时更换电池。

## 3 预应力监测系统

### 3.1 系统总体结构

本预应力监测系统主要是通过上文论述的无线智能锚杆感知预应力,感知的预应力通过无线通讯模块发送至GPRS网关,GPRS网关带射频模块,接收各智能锚杆发送来的应力数据,并通过GPRS模块及以太网网络将应力数据转发至监控主机,监控主机安装有监测软件,对接受到的预应力值进行显示、存储,如果超出阈值,将发出报警提示。系统总体结构如图6所示。

### 3.2 系统工作模式

本文设计的智能锚杆,每个锚杆可以单独工作。由于在长期监测工程应用中,结构发生形变是一个长期的过程,智能锚杆采取休眠唤醒机

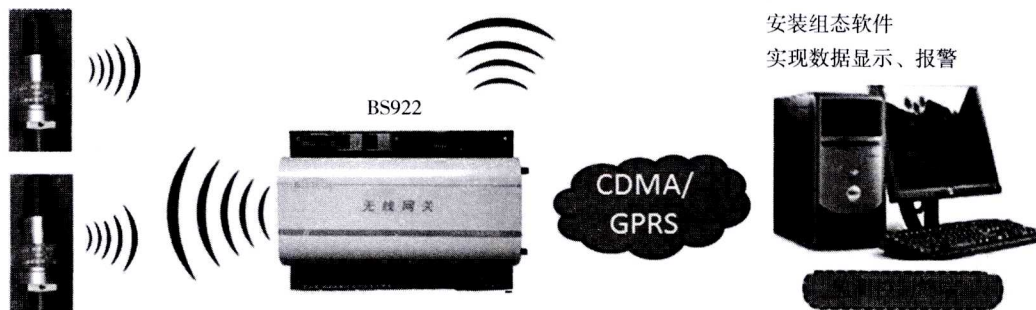


图6 预应力监测系统总体结构

制,即在每间隔一定的时刻,智能锚杆开始工作,等工作结束后,智能锚杆进入休眠模式,等待下次工作时刻的到来,这种工作模式以减低智能锚杆功耗,增加电池使用时间。在正常情况下,每12h采集一次数据,每24h发送一次数据给远程监测主机,每次对采集的数据进行判断,如果超过阈值,则立即发送应力值及锚杆编号,并提示监控主机进行报警,设备维护人员听到报警信息后,即可安排技术人员根据锚杆编号,到目的位置进行检查、维修;该预定值是该位置锚杆所能承受应力的报警阈值。

#### 4 工程应用

本无线智能锚杆在某大型隧道中进行应用。在隧道壁山钻孔,安装锚杆,之后用水泥灌封锚杆。将智能锚杆安装传感器的部分与隧道墙壁内的锚杆固定(图1中第1部分),然后将无线数据采集部分与智能锚杆传感器部分固定(图1中第2部分)。拧开黑色上盖,拨动开机开关,之后拧紧上盖。布置无线网关,将本感知区内无线智能锚杆数据进行汇总后发送至监控主机,监控主机安装有组态软件,根据现场智能锚杆位置,显示各锚杆拉力数据,如图7、图8所示。

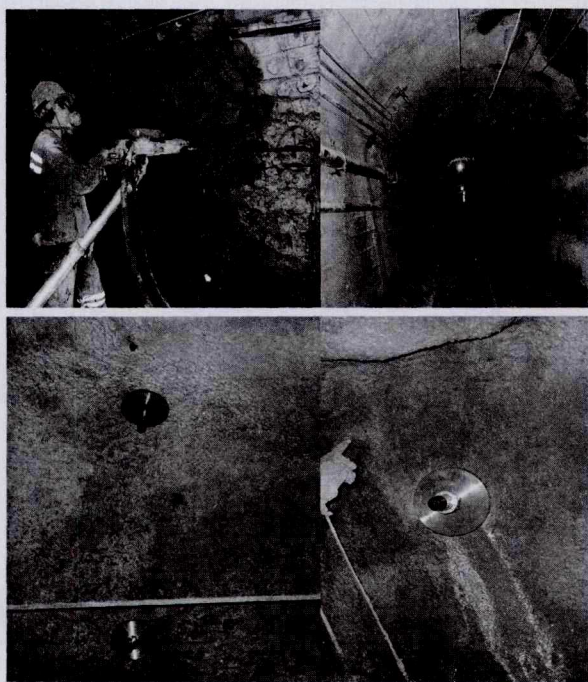


图7 智能锚杆布置现场

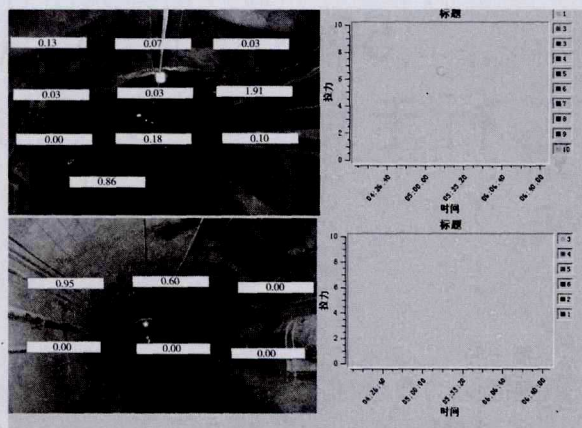


图8 上位机组态监测界面

#### 5 总结

锚杆作为深入地层的受拉构件,它一端与工程构筑物连接,另一端深入地层中,整根锚杆分为自由段和锚固段,自由段是指将锚杆头处的拉力传至锚固体的区域,其功能是对锚杆施加预应力;锚固段是指水泥浆体将预应力筋与土层粘结的区域,其功能是将锚固体与土层的粘结摩擦作用增大,增加锚固体的承压作用,将自由段的拉力传至土体深处。但由于各种原因,将导致部分锚杆拉力发生变化,及时对锚杆进行拉力监测,对大型建筑维护具有非常重要的意义。

本文详细的论述了该无线智能锚杆的结构及电路原理,并研制出实际产品在工程中进行应用。文中设计的智能锚杆,其核心技术与笔者申请的智能螺栓专利相一致,该专利已经得到授权,基于该设计原理,可以根据具体工程应用要求,设计出更符合实际要求尺寸、外观的智能锚杆。本文系统的研究与设计,为大型结构安全监测提供了一种新的技术手段,也使无线传感器网络的技术在新领域的具体应用。

#### 参考文献

- [1] 陈得民. 一种螺栓, 中国, CN 202991775 U[P]. 2013.06.12.
- [2] E.Becker and Paul Poste. Keeping the blades turning: Condition monitoring of wind turbine gears[J]. Refocus, 7(2):26 - 32, 2006.
- [3] 徐从裕, 余晓芬. 无补偿式应变片在动、静叠加载荷下的应变参数测量[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(09): 902-904
- [4] 陈得民. 基于无线传感网的风机应力监测系统[J]. 传感器世界, 2011, 2: 21-23
- [5] 孙利民, 李建中. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [6] 徐从裕, 余晓芬. 无补偿式应变片在动、静叠加载荷下的应变参数测量[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(09): 902-904.
- [7] 夏祁寒. 应变片测试原理及在实际工程中的应用[J]. 山西建筑, 2008,34(28): 99-100.
- [8] CC1101 中文数据手册.
- [9] MSP430x2xx 系列用户指南 (SLAU144).
- [10] MSP430x22x2, MSP430x22x4数据手册 (SLAS504).