

文章编号: 2096-1618(2016)05-0473-06

基于单片机的岩层钻孔测斜仪设计

漆 洋, 张福贵, 张俊霞, 王传志, 郑 斯

(成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225)

摘要:设计了一种基于单片机技术和工业计算机软件组态技术的用于地质钻孔方位测量的新型测斜仪。该仪器能够实现对不同深度钻孔的方位信息进行实时输出、显示、存储及导出等功能,为地层钻孔施工提供数据分析资料。介绍了该测斜仪的硬件组成与测量原理、空间方位信息的解算方法,结合实测数据进行误差分析,滤波器设计与传感器校正。对数据进行稳定性与重复性分析,结果表明仪器工作稳定可靠。

关键词:单片机;组态编程;空间姿态解算;平滑滤波;传感器校正

中图分类号:TH763

文献标志码:A

0 引言

在地球岩层勘探与岩土工程施工过程中,需要对地层进行定向钻孔,钻孔方向的准确度对工程质量至关重要。例如在岩层灌浆堵漏钻孔施工过程中,灌浆孔弯曲是普遍存在的。必须使用孔内测斜仪进行测量,进一步修正钻孔方向,以保证钻孔方向的偏差在施工设计的误差允许范围内。所谓钻孔测斜技术,就是采用某种测量方法和仪器结合测量钻孔轴线在地下空间的坐标位置。通过测量钻孔测点的顶角、方位角和孔深,经过计算可知测点的空间坐标位置,了解钻孔弯曲情况^[1-2]。钻孔顶角和方位角是检验各种岩土工程施工钻孔斜质量2个不可缺少的重要技术指标,而完成这2个指标的测量任务是依靠钻孔测斜仪,测斜仪的使用如图1所示。

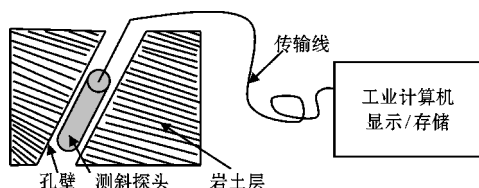


图1 测斜仪工作示意图

目前工程中使用的测斜仪多采用双轴倾角传感器,倾角测量范围有限^[3],不能满足水平钻孔与向上钻孔的需要。基于以上情况,设计一种基于三轴磁场传感器和三轴重力加速度传感器的全空间地质钻孔测斜仪,该测斜仪能实现全方位钻孔的连续测量,并通过线缆实时回传数据至工业计算机显示和存储。

1 系统设计

设备主要由测斜探头、地面显示器、通信传输线缆和电源等部分组成。测斜探头采用自主设计的高精度测斜探头,通信方式采用RS485单工通信,传输线采用带钢缆的双绞线传输,地面显示器采用工业控制电脑,整机电源使用12V开关电源供电。系统的设计核心是以单片机为核心,配合三轴重力加速度传感器与三轴磁传感器进行空间姿态解算。系统上电后,测斜探头间隔1秒时间回传所测得的方位数据至地面接收设备,再进行数据处理。

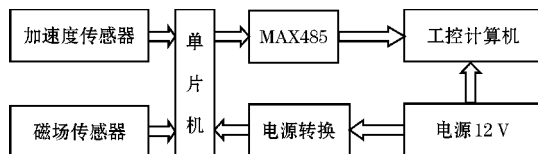


图2 测斜仪系统框图

2 理论分析

2.1 原理概述

在地层钻孔方位测量中,定义倾角为测量载体与竖直方向的夹角,定义方位角为测量载体在水平面的投影与真北方向的夹角^[4]。

地球磁感线矢量在地球表面由地理北极指向地理南极,地球重力加速度矢量指向地球中心,二者与水平面构成一个参考坐标空间。在坐标空间内,待测矢量与重力加速度矢量的夹角即是倾角,待测矢量在以地表为参照的水平面上投影与磁感线矢量的夹角即是磁

方位角。

基于磁北方向的磁方位角与真北方向的真方位角在数值大小上存在差异,即磁北方向与真北方向之间存在一定的夹角,这一夹角称为磁偏角^[5]。通常在很长一段时间内,磁偏角不会发生变化且可查询,利用所查询的磁偏角对磁方位角进行修正,可得到待测矢量的真北方位角。系统采用三轴加速度传感器测量重力加速度矢量在传感器 X 、 Y 、 Z 三轴方向的投影,利用三角公式计算出测斜头与重力方向的倾角。在此基础上,采用三轴磁场传感器测量地磁矢量在 X 、 Y 、 Z 三轴方向上的投影,将加速度传感器数据与磁场传感器数据进行空间几何联立求解,可得到待测矢量的空间方位,即倾角与方位角。

2.2 空间姿态解算方法

俯仰角与横滚角的计算。在航空以及测绘领域定义俯仰角为载体正前方与水平面的夹角,定义横滚角为载体右方与水平面的夹角。

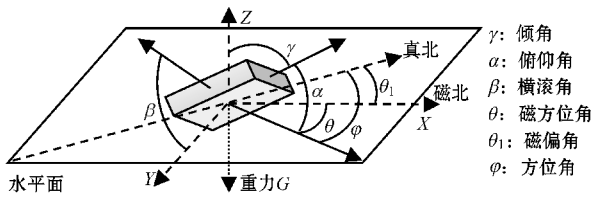


图3 载体姿态示意图

以垂直于重力方向与磁北方向所构成的平面建立直角坐标系,设重力 G 在三轴加速度传感器上的投影分别为 G_x 、 G_y 、 G_z 。将俯仰角定义为载体正前方与其在水平面投影的夹角 α ,将横滚角定义为载体右方与 Y 轴的夹角 β ,如图3所示。则 α 、 β 与重力加速度矢量在坐标轴上投影的空间几何关系可表示为

$$\begin{bmatrix} G_x \\ G_y \\ G_z \end{bmatrix} = G \cdot \begin{bmatrix} \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \\ \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \\ \cos(\alpha) \end{bmatrix} \quad (1)$$

由式(1)可解得

$$\begin{cases} \beta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \\ \alpha = \arctan\left(\frac{G_z}{G_x \cdot \sin(\beta) + G_y \cdot \cos(\beta)}\right) \end{cases} \quad (2)$$

磁方位角的计算。定义磁方位角为载体正前方在水平面的投影与磁北方向的夹角 θ 。设磁感线矢量 M 在三轴磁传感器上的投影大小分别为: M_x 、 M_y 、 M_z 。根据重力加速度计求得俯仰角与横滚角后,再将三轴磁传感器数据分别投影到水平面,设大小为 m_x 、 m_y 、

m_z ,则坐标空间转换关系表示为

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) & -\cos(\beta) \cdot \sin(\alpha) \\ 0 & \cos(\beta) & \sin(\beta) \\ \sin(\alpha) & \sin(\beta) \cdot \cos(\alpha) & -\cos(\beta) \cdot \cos(\alpha) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

由以上空间投影关系,即可求得磁方位角 θ

$$\begin{aligned} \theta &= \arctan\left(\frac{m_y}{m_x}\right) \\ &= \arctan\left(\frac{M_y \cdot \cos(\beta) + M_z \cdot \sin(\beta)}{M_x \cdot \cos(\alpha) + M_y \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) - M_z \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\alpha)}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

倾角与方位角。定义倾角为 γ ,由于倾角为载体正前方与垂直方向的夹角,俯仰角为载体正前方与水平面的夹角,二者之和为 90° ,所以倾角 $\gamma = 90^\circ - \alpha$ 。

设查询到所在地的磁偏角 θ_1 ,利用 θ_1 对 θ 进行修正可得到真北方位角 φ 。修正公式可表示为

$$\varphi = \begin{cases} \theta - \theta_1 & (\theta_1 < \theta \leq 360) \\ 360 - \theta_1 + \theta & (0 \leq \theta \leq \theta_1) \end{cases} \quad (5)$$

3 系统实现

3.1 测量探头

探头的设计是设备最重要的部分,它的好坏将直接影响最终测量的准确度。探头的设计主要包括传感器模块、电源模块、单片机模块、通讯模块。

传感器模块选用 HMC5983 三轴磁传感器和 MPU6050 三轴加速度计。HMC5983 是霍尼韦尔公司生产的一款高性能低成本的 12 位 ADC(模数转换)采样输出精度的磁场传感器,最大测量范围为 ± 8 高斯,支持 IIC 通讯和 SPI 通讯,最大数据更新频率为 220 Hz,供电范围 2.16 ~ 3.6 V。MPU-6050 为测量范围可编程的最大范围 ± 16 g 的三轴加速度传感器,产品传输可透过最高至 400 kHz 的 IIC。

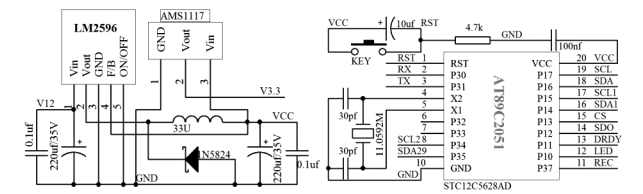
单片机选用低功耗, SOP28 封装的,代码移植性强的 STC12C5628AD。该单片机工作电压范围为 2.5 ~ 5 V,程序存储空间为 28 K,最大工作频率 35 MHz^[6]。为方便设置串口通讯波特率,探头系统选择使用频率为 11.0592 MHz 的晶振^[7]。

测量探头定时传回方位数据,系统采用基于 RS485 的单工通信方式。RS485 通信方式通过双绞线电缆传输差分信号,抗电磁干扰能力强。在波特率为 1200 bit/s 时,理论传输距离最大为 1.2 Km^[6]。

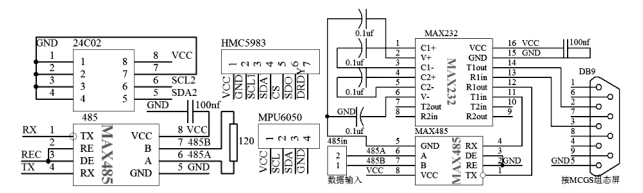
探头电源使用 LM2596-5.0 集成开关电源,该电源模块最大输出电流可达到 2 A,工作时发热量小,输出电压稳定。由于磁场传感器对磁场敏感,开关电源模块所使用的功率电感必须为磁屏蔽电感。开关电源输出的 5 V 电源经过 AMS1117-3.3 线性稳压成 3.3 V 输出,为传感器和单片机系统供电。测量探头电路原理图与成品实物如图 4 所示。

3.2 地面接收器

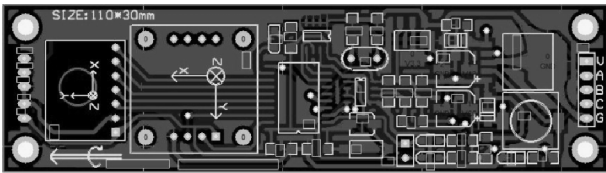
地面接收部分包括通信模块,数据处理和显示模块。通信模块完成 RS485 信号到 RS232 信号的转换。以往工业控制计算机系统的软件功能都靠软件人员编程实现,工作量大,软件通用性差,且易产生错误。随着时间的发展和技术的进步,专门用于工业控制的组态软件应运而生。目前国内外有很多公司开发出不少优秀产品,通用监控软件(monnnitor and control generated system, MCGS),是众多监控软件中的一种^[8-9]。MCGS 是用于快速构造和生成计算机监控系统的组态软件,在自动化领域有着广泛的应用^[10-11]。设计中的数据处理与显示模块使用昆仑通泰公司生产的 MCGS-TPC7062KT 工业控制触摸屏,该设备稳定可靠,支持 RS232,USB 和以太网通信。配合 MCGS 组态软件来完成计算机可视化编程,完成通信数据帧解码、显示及存储。在 PC 端编译完成后,将程序包下载至组态屏运行即可。由于 MCGS-TPC7062KT 工业控制触摸屏不提供 RS485 通讯接口,需要对 RS232 进行转换。RS485 转 RS232 通讯电路原理图如图 4(b)所示。



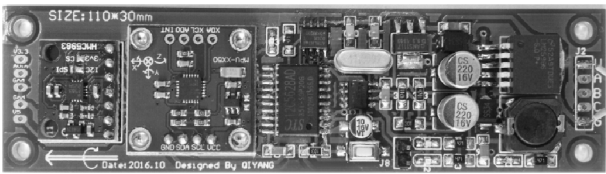
(a) 电源部分与单片机系统



(b) RS485、EEPROM、RS485 转 RS232 及传感器接口



(c) 测斜探头 PCB



(d) 测斜探头成品实物

图 4 测量部分硬件设计

3.3 系统软件设计

在 Keil 软件开发平台上实现对单片机的 C 语言编程^[12]。单片机首先对系统传感器进行初始化后,再读取 EEPROM 中磁偏角数据与三轴加速度计三轴磁传感器的数据。将传感器数据进行数据滤波,即可进行空间姿态的解算。将解算所得的方位数据进行回传后,进入下一个测量周期。

在计算机上利用 MCGS 组态编程软件实现与测量探头相匹配的通信协议,实现经解码后的方位数据实时显示及存储。组态屏上电后进行系统初始化后,处于通信等待状态,测量探头返回方位数据后,进行数据显示与存储。

单片机与 MCGS 组态屏程序运行流程如图 5 所示。

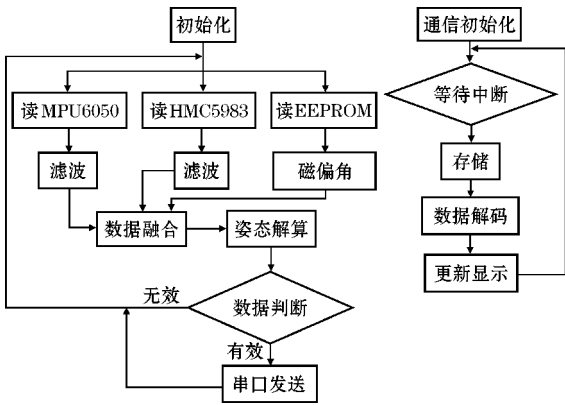


图 5 单片机与 MCGS 组态屏软件工作流程



图 6 组态软件运行效果

4.3 传感器校正

加速度传感器在制造的过程中,由于生产工艺带来的误差造成传感器测量轴零位偏移,这样的结果造成传感器测量数据不准确^[10]。磁场传感器在使用中,受到电路恒定电流磁场矢量影响,也会发生三轴零位偏移^[10]。例如,加速度某轴标准量程为 $[-G,G]$,偏移 δ 后量程变为 $[\delta-G,G+\delta]$ 。中心点位置偏移如图 10 所示,校正的目的就是要将图 10 中零位 B 修正到零位 A 。

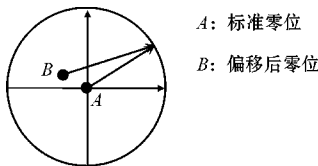


图 10 传感器轴零位偏移示意

为消除三轴零位偏移在测量中带来的误差,提出的方法是将传感器三轴分别在水平面缓慢旋转一周,提取加速度与磁场分量,将所得数据最大最小值进行比较,即可找出此轴零位偏移量。将传感器某轴测得的数据加上此轴偏移量便是真实测量值。设在磁场传感器某轴上测得最大最小值为 M_{\max} 、 M_{\min} ,则偏移量 M_p 可表示为

$$M_p = \frac{1}{2} \cdot |M_{\max} + M_{\min}| \quad (M_{\max} > 0, M_{\min} < 0) \quad (6)$$

利用该方法对加速度传感器和磁传感器进行校正,将校正后的偏移值固化至单片机即可。如表 4 所示,经传感器校正后的数据在竖直方向和水平方向测量准确。

表 4 零位校正后方位数据

序号	水平(90°)	竖直(0°)	倾斜(45°)
1	#090.0,345.2 \$	#000.0,145.6 \$	#045.0,302.2 \$
2	#090.0,345.8 \$	#000.0,155.7 \$	#045.0,302.2 \$
3	#090.0,343.6 \$	#000.0,351.4 \$	#045.0,302.0 \$
4	#090.0,344.9 \$	#000.0,094.2 \$	#045.0,302.1 \$
5	#090.0,345.1 \$	#000.0,212.0 \$	#045.0,302.5 \$
6	#090.0,345.0 \$	#000.0,315.0 \$	#045.0,302.8 \$

5 结束语

从实际应用需求出发,阐述了系统的实际使用背景,从理论上系统地推导了倾角与方位角的测量原理,设计了整个系统的硬件电路,编写软件程序,进行联合

调试,并对传感器进行误差校正。从对所测数据进行的分析来看,设计实现了 $\pm 90^\circ$ 倾角、 $0^\circ \sim 360^\circ$ 方位角的测量。在校正台上测得,倾角精度为 0.1° ,方位角精度为: 5° (倾角 $<10^\circ$)、 2° (倾角 $<30^\circ$)、 1° (倾角 $<45^\circ$)、 0.5° (倾角 $<90^\circ$)。设备可为地质钻探与岩土施工钻孔提供真实有效的方位数据。由于设计采用三轴磁传感器进行方位角的测量,仪器的适用范围仅限于非磁性岩层的钻孔方位测量。传感器的安装固定平台应选用铜、铝等非磁性金属,近地面使用时应尽量远离电机、变压器、钢铁等强磁物体。

参考文献:

[1] 汤国起,肖圣泗. 钻孔测斜技术的现状与开发应用前景[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),1999, S1:235-238.

[2] 王继华,彭振斌,杜长学,等. 浅析测斜仪监测原理和应用[J]. 勘察科学技术,2005,(2):55-58.

[3] 卢义. 测斜仪设计与应用[D]. 成都:西南交通大学,2015.

[4] 李番军. 连续测斜仪研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.

[5] 王解先,李浩军. 磁偏角与磁倾角的公式推导与运算[J]. 大地测量与地球动力学,2009,(3):88-90,94.

[6] 毛德平,凌有铸. 一种基于 RS485 总线的温度、湿度测控系统[J]. 现代电子技术,2007,(2):168-170.

[7] 刘鹏. 基于 51 单片机串口通讯的多路采集系统[J]. 计算机光盘软件与应用,2012,(1):57-58.

[8] 邹伟,杨平,徐德. 基于 MCGS 组态软件的上位机控制系统设计[J]. 制造业自动化,2008,(12):103-108.

[9] 包建华,丁启胜,张兴奎. 工控组态软件 MCGS 及其应用[J]. 工矿自动化,2007,(3):92-94.

[10] 李翔. 基于地磁场的水平方位角测量研究[D]. 桂林:桂林电子科技大学,2010.

[11] 王晓光,郑萍,马巧娟,等. 基于 MCGS 的 51 系列单片机通用驱动程序设计[J]. 仪表技术与传感器,2010,(5):37-40.

[12] 王静. 基于单片机的数据串口通信[D]. 荆州:长江大学,2013.

[13] 黄亮. 基于 AT89C51 单片机的串口通信程序的设计[J]. 电子制作,2006,(7):29-32.

[14] 胡海滨,龚沈光,林春生. 地磁扰动时磁性目标

的探测[J].探测与控制学报,2005,(5):41-43.
[15] 王静波,熊盛青,郭志宏.航空重力数据样条平

滑滤波试验研究[J].地球物理学进展,2013,
(2):585-589.

Geotechnical Drilling Inclinator based on Microcontrollers

QI Yang, ZHANG Fu-gui, ZHANG Jun-xia, WANG Chuan-zhi, ZHENG Si
(College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: This paper designs a new-style clinometer, which is based on microcontrollers technology and industrial computer software configuration technology and is used to measure the orientation of borehole in geology. The instrument can realize the real-time output, display, storage and export of the azimuthal information of the boreholes which with different depths, and provides data for the construction of stratigraphic drilling. This paper introduces the hardware composition, the measuring principle and the computational method of spatial information, and carries out deviation analysis, the design of low pass filter and the calibration of sensor by combining the measured data. Analyzed the stability and repeatability of the data, and the results show that the instrument is stable and reliable.

Key words: microcontrollers; configuration programming; spatial attitude algorithm; smoothing filtering; sensor