



文章编号:1671-251X(2014)03-0086-04

DOI:

田炎鑫,吴银成,曾伟,等.基于超声波原理的开孔参数标定系统研究[J].工矿自动化,2014,40(3):86-89.

基于超声波原理的开孔参数标定系统研究

田炎鑫, 吴银成, 曾伟, 刘京威

(中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400037)

摘要:针对传统的人工丈量方法标定开孔方位角和倾斜角存在操作程序繁琐、稳钻时间长、精度低等问题,设计了基于超声波原理的钻孔开孔参数标定系统。该系统采用超声波渡越时间检测法测量参考点之间的距离,并由单片机解算出钻杆的方位角,选用微机械三轴加速度计测量倾斜角,实现了全自动化的实时跟踪测量及智能化的钻机姿态调整语音指导操作;在误差允许范围内,可快速标定所需开孔参数。该系统提高了开孔参数标定精度、标定效率及煤矿管理水平,降低了矿工劳动强度和煤矿管理成本。

关键词:瓦斯抽放;开孔参数标定;超声波原理

中图分类号:TD712.6

文献标志码:A

网络出版时间:

网络出版地址:

Study of calibration system of borehole opening parameters based on ultrasonic principle

TIAN Yanxin, WU Yincheng, ZENG Wei, LIU Jingwei

(CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China)

Abstract:In view of problems of tedious operation procedures, needing long time for steady drilling, low accuracy of traditional manual measurement method for calibration of borehole opening azimuth and tilt angles, a calibration system of borehole opening parameters based on ultrasonic principle was designed. The system uses ultrasonic transit time detection method to measure distance between reference points, calculates azimuth angle by single-chip, and selects micro-mechanical triaxial accelerometer to measure tilt angle, which achieves fully automated, real-time tracking and measuring and intelligent voice guidance for rig attitude adjustment. It realizes fast calibration for necessary borehole opening parameters within tolerance limits. The system improves accuracy and efficiency of calibration of borehole opening parameters, as well as mine management level, while reduces labor intensity and mine management cost.

Key words:gas extraction; calibration of borehole opening parameters; ultrasonic principle

0 引言

中国是世界煤炭资源最为丰富的国家之一^[1],但中国煤矿矿井大部分属于高瓦斯矿井,为了提高开采的安全性,加强煤矿瓦斯灾害的预防,应将煤矿井下的瓦斯治理作为一项重要课题进行研究。目前瓦斯治理最有效的手段是瓦斯抽放,通常是在岩巷

中打穿层钻孔和在煤巷中打顺层钻孔实现瓦斯抽放,其效果和安全性直接受钻孔成孔质量的影响,而钻孔成孔质量又受钻孔开孔精度的影响。因此,准确标定钻孔开孔位置有助于煤矿瓦斯治理,一定程度上确保开采安全,预防瓦斯灾害^[2]。

中国煤矿生产中钻孔施工的工程量巨大,目前矿井钻孔开孔参数(钻杆的倾斜角、方位角)的测量

几乎都是采用传统的平移巷道中线法。采用平移巷道中线法测量钻孔开孔参数之前,需要悬挂至少2条垂线,由4个技术人员相互配合实现巷道中线的平移,单孔的标定至少需要15 min。在不考虑风吹动平移中线使其偏移初始位置、夹角规和坡度规刻度分辨率低、人为因素等造成误差的情况下,采用这种传统标定方法测得的开孔方位角是在与水平面成一定角度的斜平面上钻杆和平移中线的夹角,所以测得的开孔角度本身就不准确^[2]。以上问题给井下瓦斯钻孔抽采前期工作以及后期验收带来了诸多不便,最终造成实际施工的瓦斯抽放钻孔位置与设计目标相差较大,给煤矿瓦斯治理带来隐患。因此,研究高效快捷的钻孔开孔参数标定新方法具有重要意义。

1 国内外研究现状

瓦斯抽采主要分为井下抽采和地面钻井抽采2种模式。国外是以地面钻井抽采为主,以美国、澳大利亚和加拿大为例,其瓦斯地面钻井抽采量占抽采总量的90%左右^[3],所以国外主要研究地面钻井抽采技术,对于井下钻孔开孔参数标定方面的研究几乎是空白。而中国瓦斯抽采是以井下钻孔抽采为主,井下抽采量超过瓦斯总抽采量的80%^[3]。若采用传统人工丈量的测量方法,单孔开孔参数的标定时间少则十几分钟,多则数小时。因此,对于中国而言,研发新的测量技术具有重要的现实意义与良好的市场前景。

在国内煤矿井下,对于井下钻孔开孔方位角、倾斜角的测量技术还处于初步开发研究阶段。由于煤矿井下有大量的铁器、电缆、电器,易产生杂乱的磁场,非煤矿电子罗盘测量技术不适用于煤矿井下的开孔角度测量。针对煤矿井下的实际情况,需要研究新的开孔参数测量技术。国内目前主要有2个厂家致力于这方面的研究:一是南京某科技有限公司;一是淮南某有限责任公司。钻孔开孔参数测量的难点主要是方位角的测量,这2个厂家均采用如下方法测量方位角:用激光基准线发射装置产生一激光面,并使其与巷道内壁的交线和中线重合,用数字角度测量仪测量钻杆与激光面在同一个水平面上的夹角,该夹角即为要测的方位角。南京某有限公司研发的钻孔激光数字定位仪已用于个别井下钻孔开孔参数的测量,并证实能够较为精确地测量方位角和倾角,精度达到 $\pm 0.1^\circ$ 。但是该仪器只适用于过中线的竖直垂直面与钻杆有交点的情况(图1)。事实

上钻杆的位置并非总是位于巷道中线的正下方,从而造成仪器使用的局限性。相对于南京某有限公司,淮南某有限责任公司巧妙地设计了2个相互垂直的激光面,使其一激光平面与钻杆有交点,即使钻杆与过巷道中线的竖直垂直面没有交点,也可以根据平移中线法测算出倾斜角和方位角^[2]。其基本步骤:用激光基准线发射装置产生2个相互垂直的激光面,第一激光面与巷道内壁的交线和巷道中线重合,第二激光面与待测钻杆相交;再根据激光基准线发射装置中的第一水平检测器进行水平检测,将与钻杆相交的第二激光面调至水平位置,则第一激光面随之旋转为垂直于水平面并与巷道顶部相交于巷道中线的竖直垂直面(图2),钻杆的倾斜角和方位角由安装在钻杆上的数字角度测量仪测得,测量精度为 $\pm 0.2^\circ$ 。

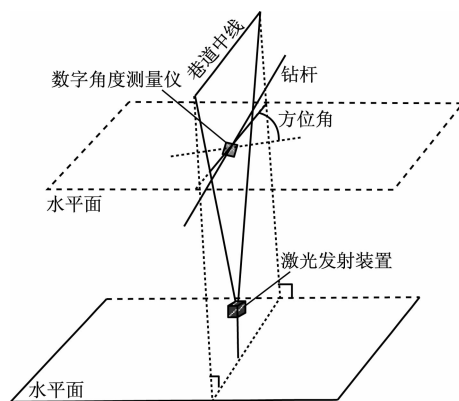


图1 钻孔开孔参数测量方法1

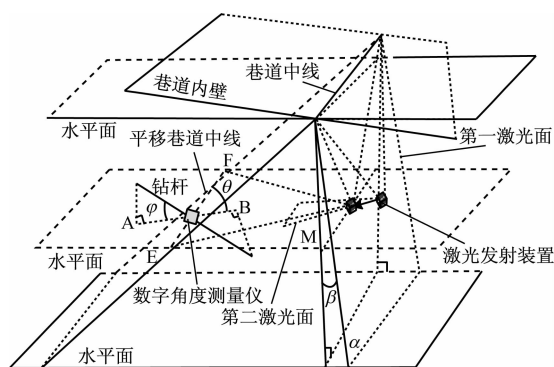


图2 钻孔开孔参数测量方法2

2 现有技术存在的问题

相对于传统的人工丈量方法,上述2种钻孔角度测量方法在很大程度上减少了测量时间,提高了测量精度,减少了测量过程中的劳动力,且第2种方法很好地解决了第1种方法的使用局限性问题。但是其核心测量技术基本一致,存在同样的问题:测量过程涉及大量的人工操作,准确性仍然较大程度上

依附于人工操作的精准程度。在操作过程中,要使调节螺母不松动,保持测试气泡始终处于居中位置,以确保水平检测的准确性,测得钻杆倾斜角;在数字角度测量仪的活动臂抬平旋转至与巷道中线的方位时,活动臂要处于水平位置,以确保所测得的钻杆方位角的准确性。可见,测量精度受人工操作精准度的影响较大。

从中国钻孔施工量来看,仅 2010 年全国煤矿井下施工瓦斯治理钻孔就达到 73 500 km^[4],钻孔的标定是开孔参数测量和钻杆调整的反复操作过程,若测量数据采集过多地依赖于人工操作,加之稳钻的反复调整过程,对于在限定时间内完成巨大工作量的开孔参数标定工程,标定过程中的人为误差可能随着工作量的增加而增大,最终造成开孔参数标定精度不理想。本文设计了基于超声波原理的钻孔开孔参数标定系统,可实时全自动跟踪测量钻杆的倾斜角及方位角。

3 超声波测距原理

超声波具有方向性好、穿透能力强、易于获得较集中声能的优点,适合在矿井下较复杂的环境中使用。超声波测距的方法有多种,如相位检测法、声波幅值检测法和渡越时间检测法等。相位检测法虽然精度高,但检测范围有限;声波幅值检测法易受反射波的影响。本设计拟采用超声波渡越时间检测法。渡越时间是指从超声波发射器发出的超声波经气体介质传播到接收器的时间^[5]。其测量原理:超声波换能器发出的超声波信号与其接收信号的波形或包络基本相似,因此,可以通过计算二者的互相关函数,找出其峰值的出现时间,确定到达时间,进而计算出距离^[6]。渡越时间波形如图 3 所示。

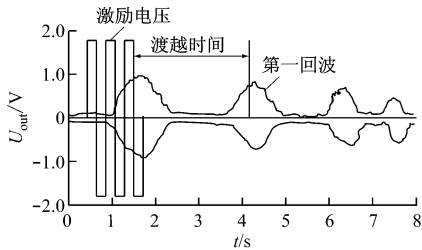


图 3 渡越时间波形

4 钻孔开孔参数标定系统设计

根据超声波测距的基本原理,测得各参考点之间的距离,设计钻孔开孔参数标定系统。该系统主要由电源模块、ARM 单片机、三轴加速度传感器、

串口、无线通信模块、超声波收发处理电路、OLED 显示屏及按键模块组成,如图 4 所示。

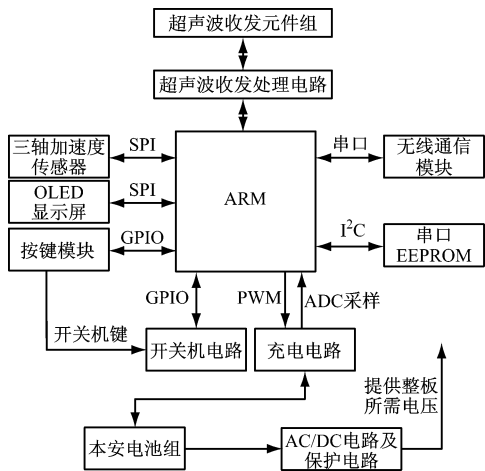


图 4 钻孔开孔参数标定系统

钻孔开孔参数标定系统通过 ZigBee 无线通信模块进行通信,导入设定好的施工参数;用 SAM4S8b 处理器产生 40 kHz 的脉冲波,通过设置在中线和钻杆上的超声测距收发传感器采集回波数据信号;信号经过信号处理电路进行放大、滤波、温度补偿后传至 SAM4S8b 处理器,SAM4S8b 处理器计算过渡时间,从而测得两两超声波收发传感器之间的距离。根据测得的距离,即可由 ARM 单片机解算出设置在中线和钻杆上的 2 个超声波传感器收发点组成的空间立方体两两边线相对于同一水平面之间的夹角关系,从而得到钻杆与中线之间的夹角,即钻杆的方位角。钻杆投影和平移中线在同一水平面的成角情况如图 5 所示。

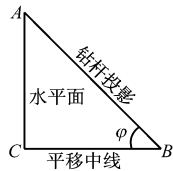


图 5 方位角测量

通过超声波传感器测量原理得到 AB、BC、AC 的长度,从而可通过式(1)、式(2)或式(3)计算方位角 φ:

$$\varphi = \arccos \left| \frac{BC}{AB} \right| \quad (1)$$

$$\varphi = \arcsin \left| \frac{AC}{AB} \right| \quad (2)$$

$$\varphi = \arctan \left| \frac{AC}{BC} \right| \quad (3)$$

选用微机械三轴加速度计测量倾角,测量原理和非煤矿测倾斜角原理相同。目前的三轴加速度传感器大多采用压阻式、压电式和电容式工作原理,产

生的加速度正比于电阻、电压和电容的变化,通过相应的放大和滤波电路后在 ARM 单片机上进行数据处理,解算出钻杆相对于腰线的倾斜角度;最后通过调节钻机姿态使钻孔开孔方位角和倾斜角为设定角度,完成钻孔开孔参数的标定。

5 钻孔开孔参数标定系统测试

钻孔开孔参数标定操作流程如图 6 所示。首先,在井下巷道中线、腰线和钻杆上分别安置调试好的超声波传感器,然后开机进行初始化操作,向主机部分导入拟定的钻孔施工参数,便于对比仪器所测参数,进行钻杆调整;再将超声波传感器测得的各安置点两两之间的距离导入主机,通过主机解算出倾斜角、方位角,在以各超声波传感器设定点为顶点建立的空间坐标系中,钻杆所在边相对于腰线所在边的夹角即倾斜角,中线所在边和钻杆所在边在水平面上的夹角即方位角;在 OLED 显示屏上显示测得的角度,通过语音提示调整钻杆姿态,最终完成钻孔开孔参数的标定;最后通过通信网络将钻孔参数传送到地面监控管理系统,统计、记录各钻孔开孔方位参数,方便验收及设计人员进行后续开孔参数设计。

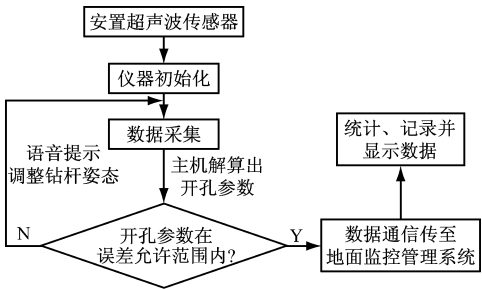


图 6 钻孔开孔参数标定操作流程

由标定操作流程可以看出,在整个钻孔开孔参数的测量过程中,数据采集阶段未涉及人工操作,只在钻杆姿态调整时涉及人工操作,通过语音提示,人手对钻杆姿态进行调整,通过固定在巷道中线、钻杆上的超声波传感器,向主机传送再次测量得到的数据,由主机根据此次采集的数据解算出调整后的开孔参数。如此反复,最后将钻杆姿态调节到最佳方位,使得标定的开孔参数在允许的误差范围内。这种方法避免了现有技术在测量数据采集过程中人手操作可能带来的误差,较大程度地减少了钻孔开孔参数标定过程中劳动力的开销,操作简单、快捷。初步试验测量数据见表 1,由这 12 组试验数据可以看出,方位角的测量误差维持在 $\pm 1^\circ$,虽然相对于传统的方位角测量方法,精度有所提高,但是对于准确标定钻孔开孔方位角来说,需进行进一步研究,通过提

高超声波测距的精度来提高方位角的测量精度。

表 1 方位角试验测量数据

钻杆投影 AB/m	平移中线 BC/m	辅助线 AC/m	实际 方位角/(°)	测得 方位角/(°)	误差 角度/(°)
1.058	1.020	0.273	15	15.42	0.42
1.063	1.002	0.365	20	19.52	-0.48
1.139	1.025	0.478	25	25.82	0.82
0.927	0.797	0.460	30	30.78	0.78
0.916	0.744	0.521	35	35.70	0.70
0.987	0.766	0.643	40	39.12	-0.88
1.000	0.701	0.701	45	45.51	0.51
1.009	0.647	0.772	50	50.10	0.10
0.959	0.545	0.778	55	55.36	0.36
1.281	0.555	1.189	65	64.34	-0.66
0.870	0.227	0.848	75	74.86	-0.14
1.009	0.225	1.276	80	79.58	-0.42

6 结语

基于超声波原理的钻孔开孔参数标定系统基于超声波测距原理,运用巧妙的方位角测量算法,实现了全自动化的实时跟踪测量及智能化的钻机姿态调整语音指导操作;在误差允许范围内,可快速标定所需开孔参数,显著提高井下钻孔开孔参数标定效率、标定准确率及煤矿管理水平,降低矿工劳动强度和管理成本。对于系统的进一步开发,可以实现其与钻机随钻测量系统一体化,既可标定开孔参数,又可实时跟踪测量钻机钻进过程中钻杆的姿态变化情况,综合管理钻杆从初始态到钻孔完成时的姿态变化轨迹。

参考文献:

[1] 李钢,范喜生,马丕梁,等.本煤层瓦斯预抽钻孔合理布置间距的确定[J].煤炭科学技术,2011,39(3):56-58.

[2] 淮南矿业(集团)有限责任公司.煤矿用钻孔角度测量系统及方法:中国,CN102889075A[P].2013-01-23.

[3] 杨丽.“十二五”期间中国煤炭科技的发展方向[J].洁净煤技术,2013,19(1):112-114.

[4] 和讯股票.煤层气:价值开发洼地将进入爆发发展周期[EB/OL].(2011-09-22)[2013-11-26].<http://stock.hexun.com/2011-09-22/133614399.html>.

[5] 连杰,冯宏,王继矿.基于光纤陀螺的捷联惯导系统的测试设计[J].安徽理工大学学报:自然科学版,2012,32(1):50-52.

[6] 苏炜,龚壁建,潘笑.超声波测距误差分析[J].传感器技术,2004,23(6):8-11.