

# 矿用本安型地质罗盘仪数字化设计与实现

马庆勋

(西安科技大学 测绘科学与技术学院 陕西 西安 710054)

**摘要:**为解决传统机械指针式罗盘仪在煤矿井下误差大、效率低等问题,采用数字化仪表技术设计实现了矿用本安型地质罗盘仪。其数据采集技术采用了磁阻与加速度传感器,在结构上采用光电一体化设计,增加了2组激光指向、激光(投线)测量倾斜度的激光模组,操作界面采用仿真表盘、模拟水准刻度与数字显示。软件方面设计了专门的地质体产状测量程序,使得测量地质体产状可以半智能化。试验应用结果表明,该罗盘可进行 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 方位测量和 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 倾斜测量,消除了读数误差;辅助激光可实现不接触测量,提高使用者在矿山井下、野外等危险环境中的安全系数、工作效率和测量精度,可广泛用于矿井地质、地质勘查等领域。

**关键词:**地质罗盘;本安型地质罗盘;数字罗盘;产状测量

中图分类号:TD167 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2015)11-0143-04

## Digitalized design and realization on mine intrinsic safe mode geologic compass

Ma Qingxun

(School of Geometrics Xi'an University of Science and Technology Xi'an 710054 China)

**Abstract:** In order to solve the big error, low efficiency and other problems of the traditional mechanic needle type compass applied in underground mine, a mine intrinsic safe mode geologic compass was designed and realized with the application of the digitalized instrument technology. A magnetoresistive and acceleration sensor was applied to the data acquisition technology. An optic-electric integration design was applied to the structure of the compass with two sets of the laser orientation and laser (projection) measured inclination laser modules added. A simulated instrument panel, analog level calibration and digital display were applied to the operating interface. A special geologic occurrence measuring program was designed to the software of the compass and the geologic occurrence could be measured in a semi intelligent. The applied experiments showed that the compass could make an azimuthal measurement with a degree of  $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$  and inclined measurement with a degree of  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$  and the reading error could be eliminated. An auxiliary laser could realize a non-contact measurement, could improve the safety coefficient, working efficiency and measuring accuracy of the operator in the underground mine, field and other dangerous environment and could widely applied to the mine geology, geologic survey and other area.

**Key words:** geologic compass; intrinsic safe mode geologic compass; digital compass; occurrence survey

## 0 引言

地质罗盘仪起源于中国古代四大发明之一的指南针,是地质工作者野外勘查、矿井地质等工作中的必备工具。从地质罗盘仪数百年的应用历史而言,均采用的是机械指针式罗盘,存在误差大、操作不便、效率低的显著不足。随着电子与信息化技术的

快速发展,传统的机械指针式地质罗盘仪已经不能很好地满足当今地质工作者的需要<sup>[1-3]</sup>。国内外对民用电子罗盘即电子指南针的研究较多,真正的数字地质罗盘的研发并不多见。国内当前市场上的产品是GISBLE数字地质罗盘,它实现了方位、倾斜测量功能,并且具有GPS定位等功能。笔者介绍的YHL90/360S型“矿用本安型地质罗盘仪”是作者在

收稿日期:2015-05-15;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2015.11.029

作者简介:马庆勋(1968—),男,河北永年人,副教授,博士。Tel:029-65618515,Email:maqingxun@126.com

引用格式:马庆勋.矿用本安型地质罗盘仪数字化设计与实现[J].煤炭科学技术,2015,43(11):143-146.

Ma Qingxun. Digitalized design and realization on mine intrinsic safe mode geologic compass[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(11): 143-146.

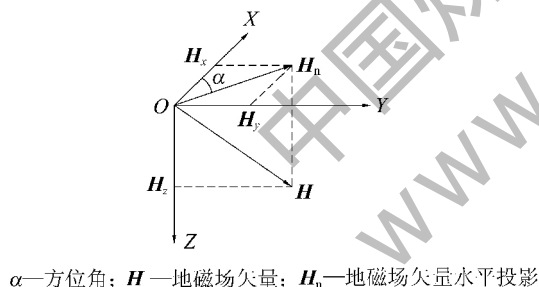
多年矿井地质工作经验的基础上,经过多年的试验开发研制而成。相比传统罗盘仪和已有数字罗盘仪更具特色,该罗盘仪性能指标已通过国家安全生产重庆矿用设备检测检验中心的鉴定;防爆指标通过了国家安全生产重庆矿用设备检测检验中心的防爆认证;并取得了国家矿用产品安全标志管理中心的煤安认证,其核心技术已经申请了 5 项国家专利。

## 1 基本原理与结构

### 1.1 基本原理

本罗盘仪采用磁阻传感器测量地磁场变化。地球的磁场类似于条形磁体由磁南极指向磁北极。在磁极点处磁场和当地的水平面垂直,在赤道磁场和当地的水平面平行,所以在北半球磁场方向倾斜指向地面<sup>[4-6]</sup>。用来衡量磁感应强度大小的单位是 T 或者 G (1 T = 10 000 G)。随着地理位置的不同,通常地磁场的强度是 0.4 ~ 0.6 G。

地磁场是一个矢量,这个矢量可以被分解为 2 个矢量,某地点来说,就是平面平行的分量和一个与当地水平面垂直的分量。如果保持电子罗盘和当地的水平面平行,那么罗盘中磁力计的 3 个轴就和这 3 个分量对应起来,三维空间 XYZ 坐标系的地磁场矢量分解如图 1 所示。



$\alpha$ —方位角;  $H$ —地磁场矢量;  $H_h$ —地磁场矢量水平投影

$H_x$ 、 $H_y$ —分别为磁场矢量水平投影的 X、Y 轴分量;

$H_z$ —地磁场矢量 Z 轴投影

图 1 地磁场矢量分解示意

Fig. 1 Schematic of magnetic field vector decomposition

对水平方向的 2 个分量来说,矢量和总是指向磁北的。罗盘中的航向角 (Azimuth) 就是当前方向和磁北的夹角  $\alpha$ 。由于罗盘保持水平,只需要用磁力计水平方向 2 轴 (通常为 X 轴和 Y 轴) 的检测数据就可以计算出航向角。当罗盘水平旋转的时候,航向角在  $0^\circ \sim 360^\circ$  变化。仅用地磁场在 X 和 Y 的 2 个分矢量值便可确定方位角<sup>[7]</sup>,即:  $\text{Azimuth} = \arctan(H_x/H_y)$ ,该关系式是在检测仪器与地表面平行时才成立。当仪器发生倾斜时,方位值的准确性

将要受到很大的影响,该误差的大小取决于仪器所处的位置和倾斜角的大小。为减少该误差的影响,采用双轴倾角传感器来测量俯仰和侧倾角,这个俯仰角被定义为由前向后方向的角度变化;而侧倾角则由左到右方向的角度变化。罗盘将俯仰和侧倾角的数据经过转换计算,将磁力仪在 3 个轴向上的矢量在原来的位置“拉”回到水平的位置。标准的转换计算式为

$$X_r = X \cos \alpha + Y \sin \alpha \sin \beta - Z \cos \beta \sin \alpha$$

$$Y_r = X \cos \beta + Z \sin \beta$$

式中:  $X_r$  和  $Y_r$  为要转换到水平位置的值;  $\alpha$  为俯仰角;  $\beta$  为侧倾角。

若要能够用于地质领域的数字罗盘系统,至少需要 1 个三轴的磁力计以测量磁场数据,1 个三轴加速计以测量罗盘倾角,通过信号调理和数据采集部分将三维空间中的重力分布和磁场数据传送给处理器。处理器通过磁场数据计算出方位角,通过重力数据进行倾斜补偿。这样处理后输出的方位角不受电子罗盘空间姿态的影响<sup>[8-9]</sup>,如图 2 所示。

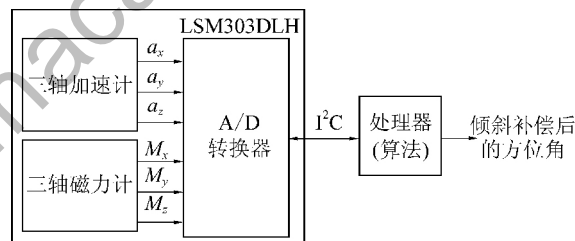


图 2 数字罗盘基本原理示意

Fig. 2 Basic principle schematic of digital compass

本罗盘采用的是 LSM303DLH 罗盘芯片,它将上述的加速计、磁力计、A/D 转化器及信号调理电路集成在一起,通过 I<sup>2</sup>C 总线和处理器通信。这样只用一个芯片就实现了 6 轴的数据检测和输出,降低了客户的设计难度,减小了 PCB 板的占用面积,降低器件成本。LSM303DLH 集成的高性能加速计,同样采用 12 位 ADC,可以达到 1 mg 的测量精度。加速计可运行于低功耗模式,并有睡眠/唤醒功能,可大幅降低功耗。同时,加速计还集成了 6 轴方向检测,两路可编程中断接口<sup>[4-6]</sup>。

### 1.2 结构设计

该在电路结构设计上,本罗盘仪电中睡设计框图如图 3 所示,包括方位角与倾角数据采集调理模块,显示模块,激光模块,存储与控制模块和电源模块;在外观结构设计上包括外壳,显示屏,按键,两端激光指向、

两端激光投线功能<sup>[7~14]</sup>。

1) 电路结构设计: 方位角与倾角数据采集调理模块包括磁传感器、加速度传感器和 A/D 转换器, A/D 转换器将磁传感器、加速度传感器所采集的原始数据的调理并将其发送给存储与控制电路; 激光模块包括激光指向模组和激光投线模组; 磁传感器所代表的地磁方位方向与激光指向模块的激光束的中心线保持一致性; 加速度传感器所代表的水平面的 X 轴或 Y 轴与激光投线模块所投射的激光线保持一致或平行。

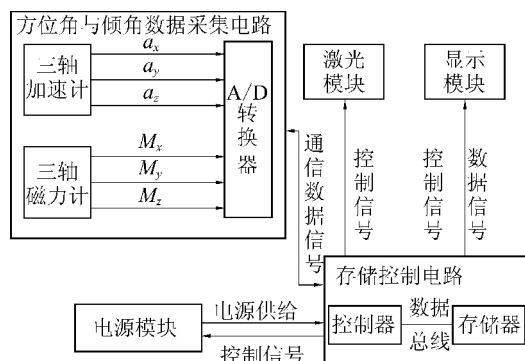


图3 电路设计框图

Fig. 3 Block diagram of circuit design

存储与控制模块读取方位角与倾角数据采集模块所测量到的方位角与倾角调理数据, 获得方位角、仰俯角和侧滚角, 并发送至显示模块显示; 存储与控制电路控制激光模块的激光指向, 使激光模块发射一束与当前罗盘仪方位角一致的激光束; 存储与控制电路控制激光模块的激光投线, 使激光模块发射一条与当前罗盘仪测量倾斜角度一致的激光线。

2) 结构设计。外观结构设计如图 4 所示, 它采用 ABS 外壳, 其他部分功能为: ① LCD 显示屏。彩色液晶, 亮度可调。② 开关键。长按此按键完成仪器的开关操作。③ 数据/充电孔。用于对仪器进行充电, 不充电状态有防水盖子遮挡, 防尘防水。④ 横向激光孔。射出线状激光束, 用于辅助测量倾斜角。⑤ 纵向激光孔。射出连续点状激光束, 用于辅助指向。⑥ 按键区。采用微动开关设计, 在使用中更加舒适, 完成各种功能操作。

3) 界面设计。采用人性化的图形界面仿真设计与数字显示同步实现, 比如方位角有类似于机械罗盘的表盘指针, 实时、形象地指出方位, 同时配合了方位角的数值显示; 方位角有横滚、俯仰 2 个方向的模拟刻度, 形象显示当前的倾斜程度, 也同时配合



图4 外观结构设计

Fig. 4 Appearance structural design  
了数字显示, 如图 5 所示。

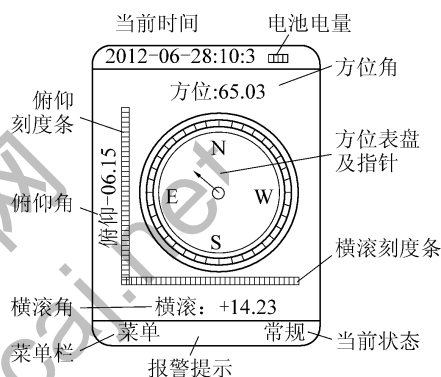


图5 界面设计示意

Fig. 5 Schematic of interface design

## 2 性能特点

经过国家安全生产重庆矿用设备检测检验中心的检测, YHL90/360S 型矿用本安型地质罗盘仪的方位角最大误差为  $2^\circ$ , 倾斜角的误差在  $0.1^\circ \sim 0.5^\circ$ , 能够满足专业地质人员的需要。它集成了方位角测量、倾角测量、自动产状测量、辅助激光指向与测斜、时间、秒表、数据存储与导出、磁场异常报警、浮标法测量用水量等多种功能于一体, 与传统指针式机械罗盘相比, 有以下优势: ① 产状快速获取: 专门为矿山地质体产状测量进行算法设计, 对地质体产状测量一次完成, 不用多次观测, 大幅提高测量精准度和测量效率; ② 数字显示、消除读数误差。数字显示测量结果可以消除读数误差; ③ 辅助激光指向与投线、测量精确: 采用激光指向可以精确标定、指向测量对象的方位或倾斜面, 大幅降低由于测量对象局部、或瞄准对象不准确导致的测量误差; 两侧双向激光指向与投线, 可方便在巷道两帮出现异常, 如出现断层时构造面的测量。另外, 当遇到井下危险场合、构造面不完整、构造面局部不具代表性或恶劣条件不能接触地质体时, 可以使用激光器打出的

线或点,进行不接触测量,最大限度保障测量精度;④倾斜补偿、测量便捷:测量方位角,不用把罗盘放置水平,即使倾斜 $40^{\circ}$ 也可精确测量方位。⑤数据存储与导出。长期存储最近 100 组测量结果,并且保存有精确的时间戳信息,方便查找;⑥磁干扰报警。当环境磁场强度超限时,仪器报警提示用户远离强磁场;⑦其他方面。提供如浮标法流量测量等适用工具。

该罗盘仪抽样检测的方位角、倾斜角对比试验数据见表 1。其中,检测方位角采用经过计量检测的机械指针地质罗盘仪(方位角误差为 $\pm 1^{\circ}$ )测量值为标准参考;检测倾斜角采用经计量检测误差 $\pm 0.1^{\circ}$ 的数字测斜仪测量值为标准参考。

表 1 矿用本安型地质罗盘仪检测结果

Table 1 Test results of intrinsically safe geological compass

方位角/( $^{\circ}$ )			倾斜角/( $^{\circ}$ )		
标准值	测量值	误差	标准值	测量值	误差
0	0.3	+0.3	0.1	0.15	+0.05
90	89.5	-0.5	30.3	30.34	+0.04
180	180.2	+0.2	60.1	60.0	+0.10
270	270.1	+0.1	85.2	84.91	-0.29

在罗盘方位角测试过程中,将罗盘沿左侧底边旋转不超过 $40^{\circ}$ (罗盘的横滚角)状态下,由于罗盘具有的倾斜矫正功能,测试方位角数值与表 1 中保持罗盘基本水平的状态下误差对比未超过 $\pm 0.2^{\circ}$ 。罗盘仪的倾斜角测量值一般误差小于 $0.1^{\circ}$ ,在 $85^{\circ}$ 以上时误差略有放大,但未超过 $0.5^{\circ}$ 。

对该样品采用磁场强度仪测量环境磁场强度,测量仪的分辨率为 $1 \times 10^{-5}$  T ( $0.1$  G),误差 $\pm 1\%$ 。检测过程采用一个可调节电磁场强度的线圈,放在罗盘仪附近,测量该罗盘表面接受到的磁场干扰强度。当环境磁场为 $0.5 \times 10^{-4}$  T 时(本地地磁场强度参考值为 $0.35 \times 10^{-4}$  T),罗盘仪会提示“磁场异常”;环境磁场低于 $0.5 \times 10^{-4}$  T 时,罗盘仪无提示。

### 3 结 语

YHL90/360S 型矿用本安型地质罗盘仪具有体积小、质量小、精度高、使用安全等特色,可以广泛应用于煤矿和非煤矿山、高校教学、野外数据采集领域中。目前已经在数十家科研单位、高等院校、煤矿与非煤矿山中使用,受到专业技术人员的普遍认可。

### 参考文献:

- [1] Li Tian, Dai Shifeng, Zou Jianhua, *et al.* Composition and mode of occurrence of minerals in late Permian coals from Zhenxiang County, northeastern Yunnan, China. [J]. Journal of China Coal Society 2014, 1(1): 13-22.
- [2] Lin Baiquan, Li He, Yuan Desheng, *et al.* Development and application of an efficient gas extraction model for low-rank high-gas coalbeds [J]. Journal of China Coal Society 2015, 2(1): 76-83.
- [3] Zou Jianhua, Liu Dong, Tian Heming, Anomaly and geochemistry of rare earth elements and yttrium in the late Permian coal from Moxinpo Mine, Chongqing, southwestern China [J]. Journal of China Coal Society 2014, 1(1): 23-30.
- [4] 范寒柏, 陈邵权, 王涛, 等. 电子罗盘倾斜补偿和干扰补偿的理论分析及实验验证 [J]. 传感技术学报 2012, 25(9): 1280-1283. Fan Hanbai, Chen Shaoquan, Wang Tao, *et al.* Theoretical analysis and experimental verification of the electronic compass tilt compensation and disturbance compensation [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators 2012, 25(9): 1280-1283.
- [5] 杨玉含, 黄先祥, 周召发, 等. 基于电子罗盘的快速粗定向方法研究 [J]. 计算机测量与控制 2012, 20(3): 768-770. Yang Yuhang, Huang Xianxiang, Zhou Zhao, *et al.* Method research of quickly coarse orientation based on electronic box and needle [J]. Computer Measurement & Control 2012, 20(3): 768-770.
- [6] 吴宏硕, 宗群. 基于 FPGA 的数字磁罗盘开发 [J]. 传感器与微系统 2012, 31(9): 96-98. Wu Hongshuo, Zong Qun. Development of digital magnetic compass based on FPGA [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2012, 31(9): 96-98.
- [7] 杨建华, 张广学, 杨彪, 等. 采煤工作面数码摄影地质编录技术研究 [J]. 煤炭科学技术 2014, 42(7): 88-91, 97. Yang Jianhua, Zhang Guangxue, Yang Biao, *et al.* Research on digital photographic geological logging technology of coal mining face [J]. Coal Science and Technology 2014, 42(7): 88-91, 97.
- [8] 郭伟嘉, 孙熙震, 穆玉娥, 等. 重复采动地表非连续变形规律与机理研究 [J]. 煤炭科学技术 2013, 41(2): 1-4. Guo Weijia, Sun Xizhen, Mu Yue, *et al.* Study on discontinuous deformation law and mechanism of repeated mining surface ground. Coal Science and Technology 2013, 41(2): 1-4.
- [9] 马庆勋. 一种矿用多功能地质工作仪: 中国 ZL201220076694.3 [P]. 2012-03-02
- [10] 马庆勋. 一种矿用数字地质罗盘仪: 中国 ZL 201220076615.9 [P]. 2012-03-02
- [11] 马庆勋, 孙健, 马培洲. 一种具有影像采集功能的数字地质罗盘仪: 中国 201320070471.0 [P]. 2013-02-06
- [12] 马庆勋, 孙健, 马培铨. 一种多功能测量的数字地质罗盘仪: 中国 ZL 201320069931.8 [P]. 2013-02-06
- [13] 马庆勋, 肖永强, 马培铨, 等. 一种数字地质罗盘仪及地质体产状的测量方法: 中国 20131007456.3 [P]. 2013-03-08
- [14] 马庆勋, 马培铨, 马培洲. 一种具有激光指向的数字地质罗盘仪: 中国 201320107051.5 [P]. 2013-11-20