

文章编号:1671-251X(2019)08-0092-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2019030034

煤矿井下开孔定向仪寻北系统误差分析及补偿

燕斌^{1,2}, 程建远², 蔡远利¹, 李萍², 冯宏²

- (1. 西安交通大学 电子与信息工程学院, 陕西 西安 710077;
2. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)



扫码移动阅读

摘要:针对现有钻机开孔定位装备在测量精度、成本及操作性上不能满足实际需求的问题,设计了一种将基于单轴光纤陀螺的寻北系统与基于微惯性测量单元的跟踪系统相结合的新型钻孔开孔定向仪。以四位置寻北方法为例,介绍了寻北系统的基本原理,并从光纤陀螺的输出误差、安装误差、倾斜角误差、转位误差、地球物理量误差等方面介绍了寻北系统的各种误差及来源。针对安装误差和倾斜角误差,建立了非线性加速度误差补偿模型;针对光纤陀螺的随机漂移误差,采用卡尔曼滤波方法进行修正。实验结果表明,减小倾斜角、光纤陀螺随机漂移误差、转动机构转位误差、安装误差均可有效提高开孔定向仪寻北精度,满足煤矿井下钻探需求。

关键词:井下钻探; 钻机开孔定向仪; 寻北系统; 单轴光纤陀螺; 四位置寻北; 误差补偿
中图分类号:TD41 **文献标志码:**A

Error analysis and compensation of north-seeking system of drilling orientation device in underground coal mine

YAN Bin^{1,2}, CHENG Jianyuan², CAI Yuanli¹, LI Ping², FENG Hong²

- (1. School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710077, China;
2. CCTEG Xi'an Research Institute, Xi'an 710077, China)

Abstract: In view of problem that existing drilling orientation device for drilling rig can not meet actual demand in terms of measurement accuracy, cost and operability, a drilling orientation device for drilling rig was designed which combines north-seeking system based on single-axis fiber optic gyroscope with tracking system based on micro-inertial measurement unit. Basic principle of north-seeking system was introduced taking four-position north-seeking method as an example, and various errors and their resources of the north-seeking system were introduced from aspects of output error of fiber optic gyroscope, installation error, inclination error, inversion error and geophysical quantity error. A nonlinear acceleration error compensation model was established for installation error and inclination error. Kalman filter method was used to correct random drift error of fiber optic gyroscope. The experimental results show that the reduction of inclination angle, random drift error of fiber optic gyroscope, mechanism rotation error and installation error can effectively improve north-seeking accuracy of drilling orientation device and meet drilling requirements of underground coal mine.

Key words: underground drilling; drilling orientation device for drilling rig; north-seeking system; single-axis fiber optic gyroscope; four-position north-seeking; error compensation

收稿日期:2019-03-12;**修回日期:**2019-07-06;**责任编辑:**胡娟。
基金项目:中煤科工集团西安研究院有限公司科技创新基金项目(2015XAYZD15,2016XAYZD04)。
作者简介:燕斌(1979—),男,四川渠县人,副研究员,博士,研究方向为地球探测与信息技术,E-mail:yanbin@cctegxian.com。
引用格式:燕斌,程建远,蔡远利,等.煤矿井下开孔定向仪寻北系统误差分析及补偿[J].工矿自动化,2019,45(8):92-96.

YAN Bin, CHENG Jianyuan, CAI Yuanli, et al. Error analysis and compensation of north-seeking system of drilling orientation device in underground coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(8): 92-96.

0 引言

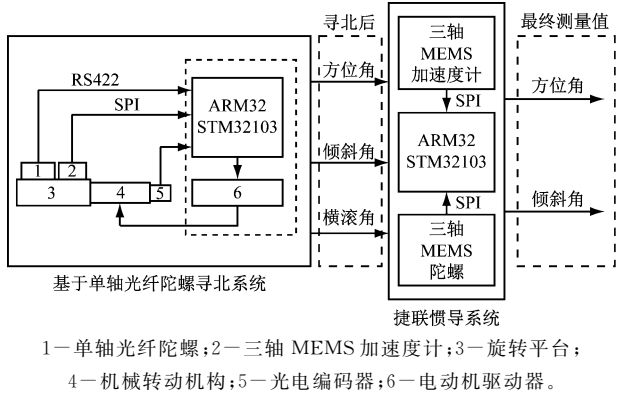
煤炭是我国重要的基础能源之一,伴随着开采深度和难度的逐渐增加,煤矿的安全开采越来越重要。瓦斯和水害是煤矿开采、治理过程中最主要的灾害,而钻探工艺是治理、探测煤矿中瓦斯和水害的主要手段之一^[1-3]。是否按照预先设计的轨迹到达探测目的靶点是钻探工艺成功与否的主要判据。针对钻探工艺中钻孔轨迹的测量装备应运而生且发展较为迅速^[4-7],然而,一直以来针对钻机开孔定位装备的研究和应用较少。近年来,许多学者和单位都对钻机开孔定位装备进行了研究,但在测量精度、成本及操作性上仍不能满足实际需求^[8-10]。因此,本文设计了一种新型钻孔开孔定向仪方案,该方案将基于单轴光纤陀螺的寻北系统与基于微惯性测量单元(Miniature Inertial Measurement Unit, MIMU)的跟踪系统相结合,既能满足实际工程精度需求,又能降低生产成本,操作使用方便。

基于单轴光纤陀螺的寻北系统是钻孔开孔定向仪方案的重要组成部分,为整个方案提供方位基准,其寻北精度决定了方案的整体精度。因此,本文重点介绍寻北系统的原理、误差分析及补偿。在实际使用中,光纤陀螺传感器自身的误差和安装误差、倾斜角误差、控制精度等都会在很大程度上影响寻北系统精度,必须进行误差分析及补偿。本文从光纤陀螺的输出误差、安装误差、倾斜角误差、转位误差、地球物理量误差等方面分析了寻北系统的各种误差及来源。针对系统中的安装误差和倾斜角误差,建立了非线性加速度误差补偿模型;采用卡尔曼滤波的数据处理方法减小光纤陀螺的随机漂移误差;完成了不同条件下系统寻北精度的对比实验。

1 钻机开孔定向仪总体方案及设计目标

钻机开孔定向仪总体方案如图 1 所示。方位角(与地理真北方向夹角)和倾斜角是钻机开孔定位的 2 个关键参数。由于低成本微机电(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)陀螺测量精度较低,无法寻北,所以,寻北系统首先采用高精度单轴光纤陀螺进行寻北操作,得到倾斜角、方位角的初始基准。对于方位角测量而言,由于周围充满了铁磁性材料干扰,应用于钻孔轨迹姿态测量的基于磁性传感器的惯性测量方法无法使用,所以,在初始姿态值的基础上,采用三轴 MEMS 陀螺和三轴 MEMS 加速度计组合进行姿态动态跟踪。

钻探施工时,钻机到达指定钻场,根据设计的方位角和倾斜角,操作人员粗略预定钻机的方位和倾



1—单轴光纤陀螺;2—三轴 MEMS 加速度计;3—旋转平台;
4—机械转动机构;5—光电编码器;6—电动机驱动器。
图 1 钻机开孔定向仪总体方案
Fig. 1 Overall scheme of drilling orientation device for drilling rig

斜角,然后将定向仪放置在钻场附近的水平处,进行寻北操作;寻北完成后,将定向仪放置在钻机导轨处,显示当前钻机姿态信息(倾斜角和方位角),再调整钻机姿态,直至钻机达到设计角度。

根据实际使用情况,本文中定向仪设计目标如下:方位角范围为 0~360°,倾斜角范围为 0~90°,寻北精度为 1.5°,寻北时间为 300 s,方位角漂移为 1.5°/10 min。

2 寻北系统工作原理

与多位置方案、连续旋转方案、二位置方案相比较,四位置寻北方案因具有结构简单、实现方便、精度较好、寻北速度快等优点而得到了广泛应用。因此,本文采用四位置寻北方案^[10]。若光纤陀螺的参考轴与地理真北方向的夹角为 A,当地纬度为 φ,则光纤陀螺的输出 ω 是地球自转角速度在参考轴方向上的分量:

$$\omega = \omega_0 + K\omega_e \cos \varphi \cos A + \epsilon \tag{1}$$

式中:ω₀ 为光纤陀螺零偏;K 为光纤陀螺的刻度因子;ω_e 为地球自转角速度;ε 为光纤陀螺漂移。

寻北仪绕转动机构逆时针转动 0, 90, 180, 270°,分别得到寻北第 1—4 位置的光纤陀螺的输出 ω₁—ω₄,则

$$A = \arctan \frac{\omega_4 - \omega_2}{\omega_1 - \omega_3} \tag{2}$$

3 寻北系统误差分析

从式(1)可看出,光纤陀螺的输出误差主要包括零偏和漂移,其中漂移包括常值漂移和随机漂移,一般由常值分量、周期分量和白噪声组成。采用四位置寻北方案时,0°与 180°,90°与 270°,相对的 2 个位置相差 180°,对称位置消除了光纤陀螺零偏和常值漂移的影响。因此,光纤陀螺的随机漂移是影响寻北系统精度的主要因素。

在理想情况下,寻北系统的 4 个位置严格按照 90°间隔进行转位,然而在实际寻北过程中,寻北系

统的 4 个位置并不能严格按照 90°间隔进行转位。因此,转位精度也是影响寻北系统精度的因素之一。

在旋转平台倾斜状态下,利用 MEMS 加速度传感器测量重力场的分量,进而解算出倾斜角大小。由于传感器本身的灵敏度、精度的影响,倾斜角测量值也存在一定误差,从而在一定程度上影响寻北精度。

光纤陀螺和加速度传感器安装和调试过程中存在的误差也是寻北系统精度的影响因素之一。此外,由于地球表面各点的重力加速度和纬度不同,采用近似值输入,也会对寻北系统精度产生一定影响。

在一定纬度下,对于经过倾斜补偿后的寻北系统,陀螺漂移对寻北精度的影响最大,转位和安装误差的影响大于倾斜角误差,地球物理量误差影响最小^[11]。因此,本文仅对倾斜角误差、安装误差和光纤陀螺的随机漂移误差进行补偿。在设计寻北系统时,需要根据系统要求的性能指标,合理进行硬件选型、设计与安装,建立相应的误差模型,将误差控制

$$\rho = \frac{-2K\omega_N \sin \gamma \sin \beta \cos \alpha + 2K\omega_N \cos \gamma \sin \alpha + K\omega_M \sin \gamma \cos \beta}{2K\omega_M \cos \beta \cos \alpha + 2K\omega_N \sin \beta}$$

(7)

式中: A' 为旋转平台倾斜状态下的方位角; γ 为横滚角; β 为倾斜角; ω_N 为地球自转角速度沿子午线方向的水平分量; α 为旋转平台理想水平条件下的方位角; ω_M 为地球自转角速度沿地垂线方向的垂直分量。

4.2 安装误差和倾斜角误差补偿

安装误差和倾斜角误差通常由 MEMS 加速度传感器误差大小决定^[12-15],将安装误差和倾斜角误差分离补偿较为复杂,通常是将安装误差和倾斜角误差统一处理,本文采用非线性加速度误差补偿模型,其表达式为

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{xi} \\ a_{yi} \\ a_{zi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 + s_{14}a_{xi}^2 + s_{15}a_{xi}^3 + s_{16}a_{xi}^4 + s_{17}a_{xi}^5 \\ b_2 + s_{24}a_{yi}^2 + s_{25}a_{yi}^3 + s_{26}a_{yi}^4 + s_{27}a_{yi}^5 \\ b_3 + s_{34}a_{zi}^2 + s_{35}a_{zi}^3 + s_{36}a_{zi}^4 + s_{37}a_{zi}^5 \end{bmatrix}$$

(8)

式中: a_x, a_y, a_z 分别为 x, y, z 轴加速度传感器的实际测量值; $s_{12}, s_{13}, s_{21}, s_{23}, s_{31}, s_{32}$ 为加速度传感器的不正交和不重合系数; s_{11}, s_{22}, s_{33} 为加速度传感器的刻度因数; a_{xi}, a_{yi}, a_{zi} 分别为 x, y, z 轴加速度传感器的理论值; b_1, b_2, b_3 为加速度传感器的零偏; $s_{m4}, s_{m5}, s_{m6}, s_{m7} (m=1, 2, 3)$ 为加速度非线性误差系数。

为了保证求解出的系数在全空间范围内有足够的精度,采用十二位置法对加速度进行标定及求解,十二位置实验翻滚顺序见表 1。

在允许范围内。

4 误差补偿模型

4.1 旋转平台倾斜状态下的误差补偿

寻北系统包含高精度的机械转动机构,光纤陀螺垂直安装于旋转平台上,在理想状况下,旋转平台应平行于水平面,此时可利用式(1)和式(2)计算光纤陀螺的参考轴与地理真北方向的夹角 A 。然而实际的旋转平台不可能完全平行于水平面,在倾斜平台下,用式(2)解算方位角会产生较大误差。因此,必须进行倾斜状态下的误差补偿。在旋转平台倾斜状态下进行四位置补偿后寻北解算公式为^[12]

$$A' = \arcsin \frac{c}{\sqrt{d^2 + e^2}} - \arctan \frac{e}{d}$$

(3)

$$d = \cos \gamma$$

(4)

$$e = -\sin \gamma \sin \beta - p \cos \beta$$

(5)

$$c = \tan \varphi (p \sin \beta - \sin \gamma \cos \beta)$$

(6)

表 1 十二位置实验翻滚顺序
Table 1 The sequence of 12-position experiment

位置	重力场坐标轴指向		
	x	y	z
1	天	东	北
2	天	西	南
3	地	东	南
4	地	西	北
5	西	天	北
6	东	天	南
7	西	地	南
8	东	地	北
9	东	北	天
10	西	南	天
11	东	南	地
12	西	北	地

4.3 光纤陀螺随机漂移误差补偿

采用卡尔曼(Kalman)滤波方法进行随机漂移误差修正。Kalman 滤波方法是一种时域滤波分析方法,其基本思想:采用信号与噪声的状态空间模型,利用前一段时间的估计值和现时刻的观测值来更新状态变量的估计,求出现在时刻的估计值。传统 Kalman 滤波器的状态空间模型由残差信号 AR 模型获得,而不是真实信号。本文采用真实信号和残差信号作为状态量,组成状态空间向量。状态模型建立以后,Kalman 滤波器可通过以下公式循环迭代得到。

$$\hat{\mathbf{X}}_{k/k-1} = \boldsymbol{\phi}_{k,k-1} \hat{\mathbf{X}}_{k-1}$$

(9)

$$\mathbf{P}_{k/k-1} = \boldsymbol{\phi}_{k,k-1} \mathbf{P}_{k-1} \boldsymbol{\phi}_{k,k-1}^T + \boldsymbol{\Gamma}_{k-1} \mathbf{Q}_{k-1} \boldsymbol{\Gamma}_{k-1}^T$$

(10)

$$\mathbf{M}_k = \mathbf{P}_{k/k-1} \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k/k-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)^{-1} \quad (11)$$

$$\mathbf{P}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{M}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{k/k-1} (\mathbf{I} - \mathbf{M}_k \mathbf{H}_k)^T + \mathbf{M}_k \mathbf{R}_k \mathbf{M}_k^T \quad (12)$$

$$\hat{\mathbf{X}}_k = \hat{\mathbf{X}}_{k/k-1} + \mathbf{M}_k (\mathbf{Z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{X}}_{k/k-1}) \quad (13)$$

式中: $\hat{\mathbf{X}}_{k/k-1}$ 为第 $k-1$ 步状态向量最优估计值; $\Phi_{k,k-1}$ 为第 $k-1$ 步至第 k 步系统转移矩阵; $\hat{\mathbf{X}}_{k-1}$ 为根据第 $k-1$ 步最优估计得到的第 k 步状态方程预测值; $\mathbf{P}_{k/k-1}$ 为估计均方误差矩阵的预测值; $\mathbf{P}_{k-1}$ 为系统估计均方误差矩阵; Γ_{k-1} 为系统噪声驱动矩阵; $\mathbf{Q}_{k-1}$ 为系统噪声序列方差矩阵; $\mathbf{M}_k$ 为滤波增益矩阵; $\mathbf{H}_k$ 为观测矩阵; $\mathbf{R}_k$ 为量测噪声序列的方差矩阵; $\mathbf{I}$ 为单位矩阵; $\mathbf{Z}_k$ 为量测值。

5 寻北实验

5.1 倾斜角误差补偿前后寻北精度对比

设定初始位置与真北方向的夹角为 45° , 在不同倾斜角下, 旋转平台倾斜状态下补偿前后的寻北结果见表 2。

表 2 不同倾斜角下的寻北结果

Table 2 Results of north-seeking under different inclinations $(^\circ)$

倾斜角	横滚角	补偿前		补偿后	
		寻北精度	误差	寻北精度	误差
0	0	45.11	0.11	—	—
0	0.5	44.79	0.21	44.88	0.12
0	1	45.29	0.29	45.18	0.18
0	2	45.31	0.31	45.21	0.21
0.5	0	45.22	0.22	45.14	0.14
1	0	44.72	0.28	44.84	0.16
2	0	45.33	0.33	45.25	0.25
1	1	45.36	0.36	45.25	0.25
2	2	45.42	0.42	45.31	0.31

从表 2 可以看出, 在同样的条件下, 倾斜角和横滚角都对四位置寻北精度造成了较大影响。倾斜角越大, 寻北精度越低。经过补偿后, 寻北精度都得到了明显改善。因此, 在实际寻北过程中, 应尽量减小倾斜角, 同时进行误差补偿。

5.2 安装误差和倾斜角误差补偿前后寻北精度对比

依据 4.2 节中的误差补偿模型, 安装误差和倾斜角误差补偿前后的寻北精度对比如图 2 所示。从图 2 可以得出, 补偿前寻北精度在 0.3° 左右, 补偿后寻北精度在 0.2° 左右, 补偿后的寻北精度比补偿前有所改善。因此, 建立误差模型并标定加速度传感器有利于提高寻北精度。

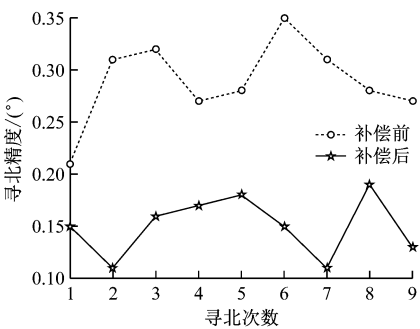


图 2 安装误差和倾斜角误差补偿前后寻北精度对比
Fig. 2 Comparison of north-seeking accuracy before and after compensation of installation error and inclination error

5.3 不同精度光纤陀螺寻北精度对比

采用零偏稳定性分别为 $0.1^\circ/\text{h}$ 和 $0.3^\circ/\text{h}$ 的闭环光纤陀螺 A 和 B 进行寻北精度对比实验, 结果如图 3 所示。从图 3 可以看出, 光纤陀螺的精度对寻北精度有较大影响, 光纤陀螺精度越高, 寻北精度越高。同时可以看出, 光纤陀螺 A 和光纤陀螺 B 的输出经过 Kalman 滤波后, 随机噪声有效降低, 寻北精度提高。

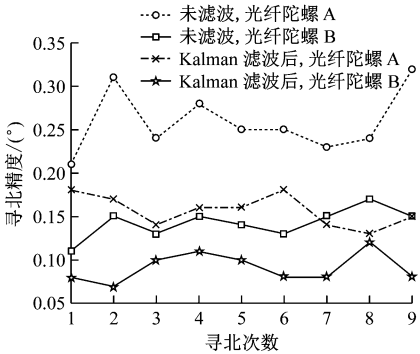


图 3 不同精度的光纤陀螺寻北精度对比
Fig. 3 Comparison of north-seeking accuracy of fiber optic gyroscope with different precision

5.4 转动机构闭环控制对寻北精度的影响

在标准旋转平台(倾斜角为 0° , 横滚角为 0° , 方位角为 45°)上, 转动机构闭环控制对寻北精度的影响如图 4 所示。可以看出, 在电动机闭环控制的情况下, 转位角度精度更高, 从而寻北精度也更高。

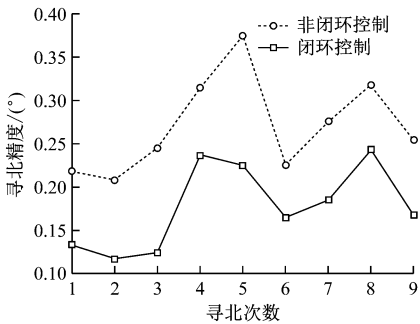


图 4 转动机构闭环控制对寻北精度的影响
Fig. 4 Influence of closed-loop control of rotating mechanism on north-seeking accuracy

6 结论

(1) 介绍了钻机开孔定向仪寻北系统的基本原理,以四位置寻北方法为例,从光纤陀螺的输出误差、倾斜角误差、安装误差、转位误差、地球物理量等方面分析了寻北系统的各种误差及来源。

(2) 建立了误差补偿模型并通过实验进行验证,结果表明,要想提高钻机开孔定向仪的寻北精度,必须从倾斜角大小、光纤陀螺输出、转位误差、安装误差等因素综合考虑,合理控制误差大小。

参考文献 (References):

[1] 王岚. 钻孔测斜技术发展现状及展望[C]//安全高效煤矿地质保障技术及应用——中国地质学会、中国煤炭学会煤田地质专业委员会、中国煤炭工业劳动保护科学技术学会水害防治专业委员会学术年会文集. 北京:煤炭工业出版社,2007.

[2] 向军文. 定向钻进控制预测技术[J]. 地质与勘探, 2010,46(6):1123-1126.

XIANG Junwen. Prediction technology for directional drilling control [J]. Geology and Exploration, 2010,46(6):1123-1126.

[3] 石智军,董书宁,姚宁平,等. 煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2013,41(3):1-6.

SHI Zhijun, DONG Shuning, YAO Ningping, et al. Technology and equipment of horizontal measuring directional drilling in underground coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2013,41(3):1-6.

[4] 张典荣,李静,张佳,等. 新型多用钻孔测斜仪的研制及应用[J]. 西安科技大学学报, 2018, 38(2): 224-229.

ZHANG Dianrong, LI Jing, ZHANG Jia, et al. Development and application of new type multi-usage borehole inclinometer[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2018,38(2):224-229.

[5] 燕斌. MEMS 加速度传感器在矿用随钻轨迹测量系统中的误差校正[J]. 煤田地质与勘探, 2017, 45(4): 144-148.

YAN Bin. Error correction of MEMS acceleration sensor used for trajectory measurement while drilling system[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(4):144-148.

[6] 李泉新. 矿用泥浆脉冲无线随钻测量装置研发及应用[J]. 煤田地质与勘探, 2018,46(6):193-197.

LI Quanxin. Development and application of mine mud pulse wireless MWD device[J]. Coal Geology & Exploration, 2018,46(6):193-197.

[7] 康厚清. 煤矿井下电磁无线随钻测量信号滤波研究

[J]. 工矿自动化, 2019,45(1):40-44.

KANG Houqing. Research on filtering of electromagnetic measurement while drilling signal in underground coal mine [J]. Industry and Mine Automation, 2019,45(1):40-44.

[8] 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.

TIAN Yanxin, WU Yincheng, ZENG Wei, et al. Study of calibration system of borehole opening parameters based on ultrasonic principle[J]. Industry and Mine Automation, 2014,40(3):86-89.

[9] 林铁,林恒,高爽,等. 光纤陀螺测斜仪数据采集及传输单元设计与实现[J]. 测井技术, 2009, 33(4): 402-405.

LIN Tie, LIN Heng, GAO Shuang, et al. Design and implementation of data acquisition and transmission for fiber optic gyroscopes inclinometer [J]. Well Logging Technology, 2009,33(4):402-405.

[10] 燕斌,程建远,蔡远利,等. 基于 MEMS 陀螺的矿用新型钻机开孔定向仪研制[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(6):187-192.

YAN Bin, CHENG Jianyuan, CAI Yuanli, et al. Development of a new type of drilling orientation device based on MEMS gyroscope[J]. Coal Geology & Exploration, 2018,46(6):187-192.

[11] 段苛苛. 基于光纤陀螺的寻北系统关键技术研究[D]. 北京:北京交通大学, 2014.

[12] 吕振,刘丹,李春光. 基于捷联惯性导航的井下人员精确定位系统[J]. 煤炭学报, 2009,34(8):1149-1152.

LYU Zhen, LIU Dan, LI Chunguang. The precise positioning system of the mine personnel in coal pit based on strapdown inertial navigation[J]. Journal of China Coal Society, 2009,34(8):1149-1152.

[13] 江浩,燕斌. 基于 PNI 磁感式传感器的钻孔测斜仪的研制[J]. 煤田地质与勘探, 2016,44(4):132-135.

JIANG Hao, YAN Bin. Borehole inclinometer based on PNI magnetic induction sensor[J]. Coal Geology & Exploration, 2016,44(4):132-135.

[14] 李静,张萌. 高精度倾角传感器 SCA100T 在测斜仪中的应用[J]. 仪器仪表用户, 2008,15(1):55-56.

LI Jing, ZHANG Meng. The application of high accuracy inclination angle sensor SCA100T in omni-directional inclinometer [J]. Electronic Instrumentation Customer, 2008,15(1):55-56.

[15] 余小平,庾先国,王洪辉. 基于 SOC 的高精度倾角测量系统的设计[J]. 电子设计工程, 2010, 18(12): 34-37.

YU Xiaoping, TUO Xianguo, WANG Honghui. Design of high-accuracy tilt angle measurement system based on SOC [J]. Electronic Design Engineering, 2010,18(12):34-37.