

岩心定向检测仪的设计与实验研究

路桂英^{1,2} 乌效鸣¹ 王院生²

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 武汉 430074, 2. 中国地质大学(武汉)机械与电子信息学院, 武汉 430074)

[摘要] 本文设计了一种基于机械法的岩心定向仪。机械部分采用三把刻刀在岩心上刻标记线, 作为岩心方位的基准线; 电路部分以 ATmega8 单片机为控制核心, 用 HMR3300 传感器随钻测得靠近岩心管的仪器仓的俯仰角和侧滚角, 间接测得岩心的俯仰角和侧滚角, 存于 U 盘。介绍了 HMR3300 与刻刀的安裝关系, 推导了高边工具面角的计算方法, 并通过实验找到 HMR3300 不同安装方式下, 高边工具面角真值 φ' 与计算值 φ 间的关系, 岩心方位角与测井得到的孔斜方位角 ψ 和高边工具面角真值 φ' 的关系, 依此 PC 机编程计算得岩心方位角。实验表明, 在井眼顶角大于 1° 时, 其测量平均误差能够控制在 3° 以内, 并可稳定工作, 基本满足工程要求。

[关键词] 岩心定向 高边工具面角 岩心方位角 检测仪

[中图分类号] P634.7 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2010)03-0537-05

Lu Gui-ying, Wu Xiao-ming, Wang Yuan-sheng. Design and test of the drill core orientation detector[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(3): 0537-0541.

0 引言

岩心定向是固体矿产钻探与开采、石油天然气勘探与开发、大陆和大洋科学钻探的重要工作 (Goldberg *et al.*, 2004; Lotter *et al.*, 2003; Tamanyu *et al.*, 2002)。岩心定向常用方法有机械法、测井法和古地磁法 (范翔宇等, 2007; 李洪奇等, 2009; 马克新, 1999; 张家振, 2009)。测井法和古地磁法操作较复杂、费用较高, 需专业技术人员方可使用, 不能及时取得结果, 阻碍了其应用; 机械法利用工具和仪表对岩心实行定向, 较适合于野外操作、投资少、见效快、切实可行、容易推广 (Paulsen *et al.*, 2002; Rogers *et al.*, 2000; Scott *et al.*, 2004; 周策等, 2008; 李学森等, 2006; 薛继刚等, 2006)。为有助解决牡丹江某金矿的判层问题, 本文设计了一种基于机械法的岩心定向仪, 以 ATmega8 单片机为控制核心, 利用 HMR3300 传感器随钻测得的岩心的俯仰角和侧滚角, 结合测井得到的方位角, 经计算得岩心方位。

1 测量原理

岩心定向检测仪用于绳索取心钻机。岩心方位角的测量过程如下: 如图 1(a) 刻刀短接母线方向上焊接三把刻刀, 用于在岩心进入岩心管的过程中在其表面刻线。刻刀短接和仪器一起通过螺纹与取心钻具内管连接。传感器电路如图 1(b)。在仪器外表面母线方向刻一条标记线 (以下简称标记线), 且标记线与 X 轴或 Y 轴相交 (石永泉, 2004)。一把刻刀刀刃在过标记线和仪器轴线的平面上, 用这把刻刀在岩心上刻线的方位标识岩心的方位。这样岩心的方位同时可以通过标记线的方位标识。

仪器作为取心钻具内管总成的一部分, 随内管下入井底, 从下钻开始, 经预定的等待时间后, 自动启动, 测量开始; 在卡断岩心前, 钻机停止大约 30s, 此期间不断测量岩心的俯仰角和侧滚角并将其存储在 U 盘中; 此 30s 为有效测量时间, 测量数据平稳。随后卡断岩心, 提钻。测量结束后, 在 PC 机中读取 U 盘存储的数据, 结合测井得到的孔斜方位

[收稿日期] 2009-09-14; [修订日期] 2010-04-16; [责任编辑] 郑杰。

[第一作者简介] 路桂英 (1975 年—), 女, 讲师, 在职博士, 主要从事工程测试技术的教学和研究工作, E-mail: luguiying0510@yahoo.com.cn。

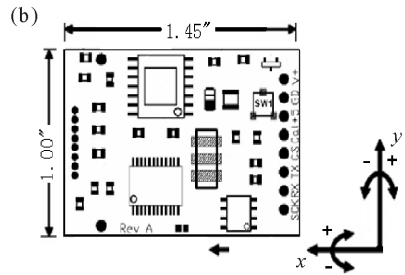
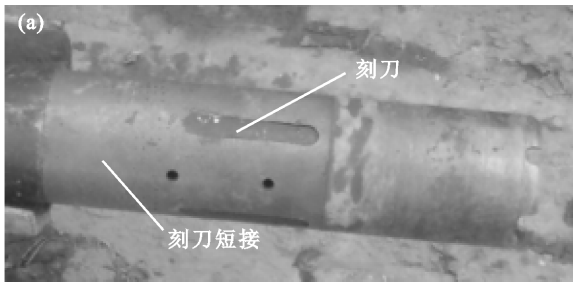


图 1 部分实物图

Fig. 1 Diagram showing two components

(a) 刻刀短接; (b) HMR3300 传感器电路板

(a) Short connector for graver; (b) HMR3300 circuit board assembly with the basic dimensions

角 ψ , 由软件计算出岩心的实际方位角。

高边工具面角定义为: 俯视井眼时, 钻孔母线朝向相对于孔眼高边顺时针旋转的角度。孔斜方位角为: 自正北方向顺时针旋转至钻孔高边在水平面上投影的夹角。采用以下算法将孔斜方位角与高边工具面角合成, 得到标记线相对于正北方向的方位角, 即岩心的方位角

建立仪器坐标系如图 2。x, y 坐标即为传感器的 x, y 轴, 实际原点的位置通过试验测出。MN 为仪器的高边, 反映井斜方向, MNO 所在的面即是高边工具面。MNO 在 xOz 面上的投影是 MAO, 在 yOz 面上的投影是 MBO。则图 2 中 α 对应俯仰角, β 对应侧滚角, φ 对应高边工具面角, θ 对应顶角。

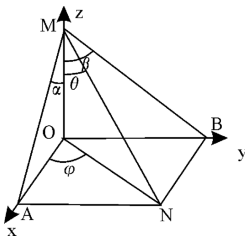


图 2 仪器坐标系

Fig. 2 Coordinate system of instrument

根据几何关系, 有:

$$\begin{cases} \tan\varphi = AN/OA \\ AN = OB = OM * \tan\beta \\ OA = OM * \tan\alpha \\ \varphi = \arctan(\tan\beta/\tan\alpha) \end{cases} \quad (1)$$

α 和 β 采用 HMR3300 传感器测量, 其范围是 $-60^\circ \sim 60^\circ$ 。计算出 φ 的绝对值小于 90° , 需推导 φ 的实际值, 用 φ' (逆时针方向为正) 表示。当标记线过 x 轴时, φ' 按式(2)计算

$$\begin{cases} \alpha < 0, \beta < 0: \varphi' = \varphi; \\ \alpha > 0, \beta < 0: \varphi' = \varphi + 360^\circ; \\ \alpha < 0, \beta > 0: \varphi' = \varphi + 180^\circ; \\ \alpha > 0, \beta > 0: \varphi' = \varphi + 180^\circ; \end{cases} \quad (2)$$

当标记线过 y 轴时, φ' 如式(3):

$$\begin{cases} \alpha < 0, \beta < 0: \varphi' = \varphi + 90^\circ; \\ \alpha > 0, \beta < 0: \varphi' = \varphi + 90^\circ; \\ \alpha < 0, \beta > 0: \varphi' = \varphi + 270^\circ; \\ \alpha > 0, \beta > 0: \varphi' = \varphi + 270^\circ; \end{cases} \quad (3)$$

可见, 当算得工具面角 φ' 在一、四象限时, 标记线方位角(即岩心方位角)为 ψ 与 φ' 的差值; 当计算 φ' 在二、三象限时, 岩心方位角为 ψ 与 φ' 的差值加 360° 。

2 仪器的硬件构成

仪器作为取心钻具内管总成的一部分, 随内管下入井底, 因此仪器体积要小。仪器从下钻开始已上电, 且一次安装后需进行多个回次的测量。因此仪器的数据存储容量要大, 功耗要低, 可靠性要好。ATmega8 单片机容量大, 内部有 8KFLASH 程序存储器, 1KSRAM, 512 字节 E2PROM; 功耗低, 掉电模式工作电流 $0.5\mu A$, 正常模式 $3.6mA$; 运行速度达 8MHz; 小引脚封装, 体积小; 价格便宜(马潮, 2003; 丁化成, 2002)。

选用 HMR3300 传感器测角, 可靠性好, 精度较高。其俯仰角和侧滚角的测量与磁场无关, 参考精度达 0.4° (传感器说明书提供)。它的尺寸小, 采用 ASC II 格式的 UART 通讯协议, 可使仪器硬件设计简化, 并提高可靠性。

采用 U 盘存储数据, 容量大, 且转存读取容易。HMR3300 测得的俯仰角和侧滚角在 PC 机上经软件

计算得高边工具面角。

系统的部分硬件电路见图 3, ATmega8 上电后开始运行延时程序,处于低功耗状态。延时时间到, PD1 口输出高电平控制继电器触点 K1 闭合,向

USB 转换模块 USB118B 和 HMR3300 供电,检测开始。检测数据通过 ATmega8 的 PB 口,经 USB118B 输出,存储在 U 盘中。ATmega8 与 USB 转换模块间采用并行通讯,以提高存储速度。

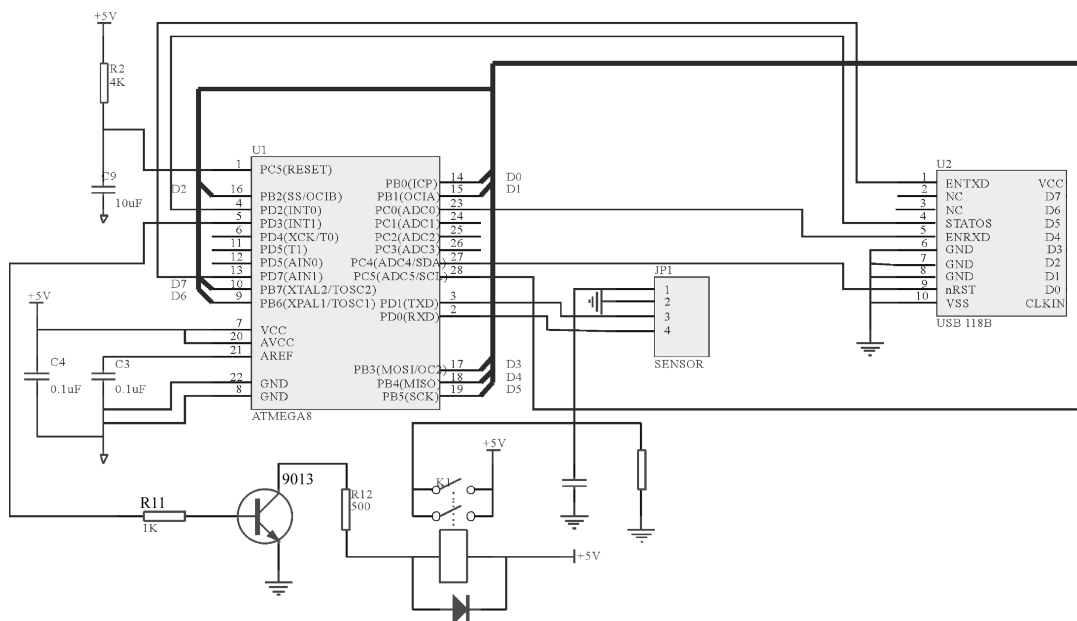


图 3 部分电路图

Fig. 3 Diagram of partial circuit

3 仪器的软件设计

仪器的工作时序为:根据取岩心的深度,推测开始取心的时间,此时间作为仪器工作前的等待时间。等待时间过后,仪器自动运行,开始测量。测量结束后,仪器进入休眠状态。软件主程序流程图如图 4。

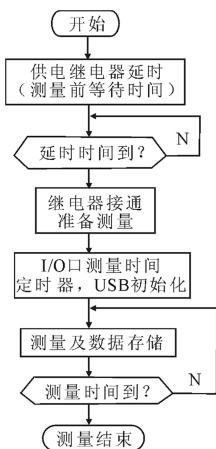


图 4 主程序流程图

Fig. 4 Flow chart of the main program

工具面角,结合孔斜方位角 ψ ,算得岩心方位角。程序界面如图 5,其中输入数据有:测量相对起始时间,是从仪器上电到钻机取心钻进结束,钻机刚停止,此段经历的时间;测量等待时间,如前述;导入随钻数据,是实测存储的数据;方位角是测井得到的孔斜方位角;最后输出是岩心方位角。

4 仪器的标定与实验

仪器的标定在 JJG-1 型测斜仪实验台上进行。由于 JJG-1 不能完成绕仪器轴向的旋转,作者自行设计了标定表盘。

将仪器沿任一方向倾斜,调整标记线与仪器倾斜方向同向(即为 0°)。使标记线分别转到一周内的固定位置如 $30^\circ, 60^\circ$ 等,作为实际高边工具面角的参考真值。将测得的数据与参考真值进行比对,如表 1。

从表 1 中可以看出,高边工具面角平均误差约 2.03° ,测量精度基本满足工程要求。若传感器的灵敏度由 0.1° 提高到小数点后两位,则仪器的测量精度将大幅提高。

稳定性实验于 2009 年 4 月 13 日在安徽芜湖某

数据经 U 盘取出后,在 PC 机上采用软件计算

表 1 标定实验数据
Table 1 Experimental data for calibration

顶角真值/ $^{\circ}$	工具面角真值/ $^{\circ}$	俯仰角测量值/ $^{\circ}$	侧倾角测量值/ $^{\circ}$	顶角测量值/ $^{\circ}$	高边工具面角实际测量值/ $^{\circ}$	高边工具面角误差/ $^{\circ}$
1	60	-0.7	-0.4	0.81	60.25	0.25
1	120	-0.7	0.45	0.83	122.74	2.74
1	210	0.5	0.75	0.9	213.69	3.69
1	300	0.75	-0.4	1.08	299.74	-0.26
2	30	-1	-1.7	1.97	30.46	0.46
2	120	-1.85	1.15	2.18	121.86	1.86
2	210	1.15	1.95	2.26	210.52	0.52
2	300	2.15	-1.1	2.41	297.19	-2.81
3	60	-2.6	-1.6	3.05	58.4	1.6
3	120	-2.4	1.65	2.91	124.51	4.51
3	210	1.8	2.8	3.33	212.72	2.72
3	300	3	-1.5	3.35	296.55	-3.45
4	60	-3.4	-1.85	3.87	61.47	1.47
4	120	-3.15	2.15	3.81	124.31	4.31
4	240	3.7	2.1	4.25	240.44	0.44
4	330	2.2	-3.6	4.22	328.6	-1.4

注:俯仰角和侧倾角给出的是相应点多次测量的平均值。

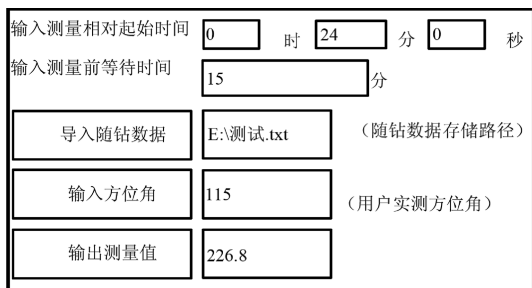


图 5 数据处理界面
Fig. 5 Data processing interfaces

铁矿勘测现场进行,测量时间 2 小时,共连续测量三个回次。图 6 给出了测试曲线中的一段。经计算,第 2430 ~ 2550 个点的测量段为第一个测量回次,计算工具面角 φ ,此时顶角接近 0° ,在假定孔斜方位角 115° 时对应岩心方位角 226.8° ,如图 5。可见,仪器运行稳定。

5 结论

设计的岩心定向仪,以 ATmega8 单片机为控制核心,采用 HMR3300 传感器随钻测出岩心的俯仰角和侧滚角,存于 U 盘中;结合测井得到的孔斜方位角,经计算得岩心方位。和以往研制的同类定向仪比较,它成本低,操作简单、可靠。实验表明,它在现场能够长期稳定工作,平均误差在顶角大于 1° 时可以控制在 3° 以内,基本满足工程要求。但在顶角接近 0° 时,误差增大很快,其误差分析与补偿需做

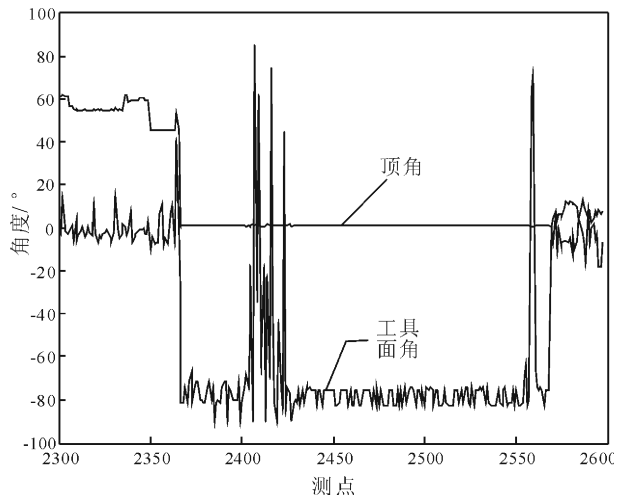


图 6 测试曲线
Fig. 6 Test curves

深入研究。

[References]

Ding Hua-cheng, Ge De-gen, Li Jun-kai. 2002. AVR Microcontroller Application Design [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press:1-219

Fan Xiang-yu, Xia Hong-guan, Zheng Lei-qing, Lv Lin-yan, Zhu Yi-guang. 2007. Interactive interpretation of core scanning technique and imaging logging data [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 29 (3): 46-48

Goldberg D, Myers G, Iturrino G. 2004. Logging-while-coring-First tests of a new technology for scientific drilling [J]. Petrophysics, 45(4): 328-334

- Hu Yu-le, Tang Feng-lin, Wang Yuan-han. 2005. Logging while drilling and review system of down-hole parameters in China Continental Scientific Drilling[J]. Geological Science and Technology Information, 24(1): 99-102
- Li Xue-sen, Xiong Guo-jin. 2006. Paleomagnetic method of reorienting cores and its reliability[J]. Petroleum Exploration and Development, 33(5): 581-585
- Li Hong-qi, Li Li, Xie Shao-long. 2009. Sonic logging automatic core location based on PSO[J]. Computer Engineering, 35(3): 217-221
- Lin Wei-ren. 2008. A core-based method to determine three-dimensional in-situ stress in deep drilling wells: Anelastic strain recovery technique[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 27(12): 2387-2394
- Lotter N O, Kowal D L, Tuzun M A. 2003. Sampling and flotation testing of Sudbury Basin drill core for process mineralogy modeling[J]. Minerals Engineering, 16(9): 857-864
- Lu Chun-hua, Yan Tai-ning, Egorov. 2009. New drilling tools for improving core recovery in complex strata[J]. Geology and Exploration, 45(2): 112-114
- Ma Chao, Zhan Wei-qian, Geng De-gen. 2003. ATmega8 Principles and Applications Manual[M]. Beijing: Tsinghua University Press: 1-293
- Ma Ke-xin. 1999. The working principle and application of the YCO-II type core orientated drilling tool[J]. Geology and Exploration, 35(2): 59-60
- Paulsen T S, Jarrard R D, Wilson T J. 2002. A simple method for orienting drill core by correlating features in whole-core scans and oriented borehole-wall imagery[J]. Journal of Structural Geology, 24(8): 1233-1238
- Rogers S F, Bailey D E, Kingdon A. 2000. Orientation of drill core by use of borehole geophysical imaging[J]. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section B: Applied Earth Science, 109(SEPT-DEC): 184-190
- Scott R J, Berry R F. 2004. A new method for obtaining and quantifying the reliability of structural data from axially-oriented drill core using a fabric of known orientation[J]. Journal of Structural Geology, 26(4): 643-658
- Shi Yong-quan. 2004. The technology problem of core orientation [J]. Geology and Prospecting, 40(60): 92-94
- Tamanyu S, Sakaquchi K, Murata Y. 2002. Transactions-Geothermal Resources Council[A]. Geothermal Resources Council: 639-642
- Xue Ji-gang. 2006. New technology of rock core orientation [J]. Coal Technology, 25(5): 104-105
- Zhang Jia-zhen, Chen Mian, Bao Hong-zhi, Jin Yan. 2009. Redirect non-directional core method of cohesive remanence [J]. China Science and Technology Information, (6): 23-25
- Zhou Ce, Chen Wen-jun, Shi Shao-yun, Tang Guo-qi. 2008. Application research on core-storage directional coring technology [J]. Exploration engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), (7): 77-79

[附中文参考文献]

- 丁化成, 葛德根, 李君凯. 2002. AVR 单片机应用设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社: 1-219
- 范翔宇, 夏宏泉, 郑雷清, 吕林燕, 朱义新. 2007. 岩芯扫描技术与成像测井资料交互解释研究[J]. 西南石油大学学报, 29(3): 46-48
- 胡郁乐, 汤凤林, 王元汉. 2005. 中国大陆科学深钻井下参数随钻记录与回放系统[J]. 地质科技情报, 24(1): 99-102
- 李洪奇, 李莉, 谢绍龙. 2009. 基于粒子群算法的声波测井岩心自动归位[J]. 计算机工程, 35(3): 217-221
- 李学森, 熊国锦. 2006. 钻井岩心重定向的古地磁方法及其可靠性[J]. 石油勘探与开发, 33(5): 581-585
- 卢春华, 鄢泰宁, H. I. 叶戈罗夫. 2009. 提高复杂地层取心质量的新型钻具[J]. 地质与勘探, 45(2): 112-114
- 马潮, 詹卫前, 耿德根. 2003. ATmega8 单片机原理与应用手册[M]. 北京: 清华大学出版社: 1-293
- 马克新. 1999. YCO-II 型岩心定向钻具的工作原理及应用[J]. 地质与勘探, 35(2): 59-60
- 石永泉. 岩芯定向技术问题[J]. 地质与勘探, 40(6): 92-94
- 薛继纲. 2006. 论岩心定向新技术[J]. 煤炭技术, 25(5): 104-105
- 张家振, 陈勉, 鲍洪志, 金衍. 2009. 非定向岩心粘滞剩磁重定向的方法[J]. 中国科技信息, (6): 23-25
- 周策, 陈文俊, 石绍云, 汤国起. 2008 存储式岩心定向取心技术应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), (7): 77-79

Design and Test of the Drill Core Orientation Detector

LU Gui-ying^{1,2}, WU Xiao-ming¹, WANG Yuan-sheng²

(1. School of Engineering, CUG, Wuhan 430074;

2. School of Mechanical and Electrical Information, CUG, Wuhan 430074)

Abstract: A drill core orientation detector is designed based on mechanical principle. In its mechanical part, three gravers are used to sculpture marks on drilling cores, which serve as the baselines of core orientations. The instrument's control core is an ATmega8 microchip, and a HMR3300 sensor is used to measure roll and pitch of the instrument relative to horizontal plane and to get those of the drilling core indirectly which are saved onto USB. In this paper, the installing method of HMR3300 and the gravers are presented. Calculation formula of the tool high-facing-angle is deduced. Then mathematical relations between the true value and calculated value of tool high-facing-angle, and between drilling core azimuth and inclined hole azimuth are determined. Based on these results, the drilling core azimuth calculation program is compiled. The measurement test shows that when the hole vertex angle is greater than 1 degree, the average measurement error is less than 3 degree. It meets largely the requirement of engineering.

Key words: drill core orientation, tool high-facing-angle, drill core azimuth, detector