

CLY-1 型多参数智能测漏系统的研发

周策, 蒋炳, 吴金生

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

摘要: 钻井工程中发生井漏不仅严重影响安全、快速、低成本钻井, 而且会严重污染矿层, 影响矿层产量。开展漏失层位置测定方法与仪器的研究, 对复杂地质条件下的钻井生产具有十分重要的意义。本文阐述了研发的 CLY-1 型多参数智能测漏仪的构成、参数采集过程、处理原理、仪器的机械结构和测试情况。采用多参数智能测漏系统的下探管直接接到钻杆或钢丝绳下端投入孔进行测试, 孔内探管沿孔深对泥浆流速(流量)、井温、井压、自然伽马等 4 种参量进行数值化测试, 并将采集数据按一定格式存储到存储器中。探管从井中取出后, 与地面电脑系统连接, 将采集的数据存到存储器上形成数字文档, 向相关人员提供漏涌判层的依据。

关键词: 流量; 井温; 井压; 自然伽马; 漏涌判层

中图分类号: P634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0443-06

Development of CLY-1 type multi-parameter intelligent leak detection system

ZHOU Ce, JIANG Bing, WU Jinsheng

(Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: The occurrence of well leakage in drilling engineering not only seriously affects safe, fast, and low-cost drilling, but also seriously pollutes the ore layer and affects its production. The research on methods and instruments for determining the location of leakage layers is of great significance for drilling production under complex geological conditions. This article elaborates on the composition, parameter acquisition process, processing principle, mechanical structure, and testing situation of the developed CLY-1 multi-parameter intelligent leak detector. The lower probe tube of the multi-parameter intelligent leak detection system is directly connected to the lower end of the drill pipe or steel wire rope and placed into the hole for testing. The inner probe tube in the hole performs numerical testing on four parameters such as mud flow rate, well temperature, well pressure, and natural gamma along the depth of the hole, and stores the collected data in a certain format in the memory. After the probe is removed from the well, it is connected to the ground computer system to store the collected data in memory to form a digital document, providing relevant personnel with the basis for identifying leakage and surge layers.

Key words: mud flow rate; well temperature; well pressure; natural gamma; determination of leakage layer and water inflow layer

0 引言

有关钻孔漏失判层监测, 1974 年, 国内由中南矿冶学院、西南地质研究所两家单位几乎同时研制出钻孔测漏仪, 中南矿冶学院研制的钻孔测漏仪是用干簧管开关电路传递信号的 CL-3 型钻孔测漏

仪。西南地质研究所研制的钻孔测漏仪是用电感式线路传递信号的井下涡轮流量计原理的 LWJ 电感电桥钻孔式测漏仪, 其效果较好。1978 年以后, 中南工业大学又研制成功 LSX-2 型钻孔流速流向仪, 上海地质仪器厂等单位又研制成功 JCL-1 型钻

收稿日期: 2023-05-22; 修回日期: 2023-07-21 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.071

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“复杂地层钻探关键技术智能升级与应用示范”(编号: DD20221652)、“绿色勘察与水平定向钻探技术示范”(中国地质科学院探矿工艺研究所)(编号: DD20221652)

第一作者: 周策, 男, 汉族, 1965 年生, 教授级高级工程师(三级), 探矿工程专业, 主要从事探矿工程及地质灾害防治技术仪器仪表的研发工作, 四川省成都市郫县成都现代工业港北区港华路 139 号, 449730588@qq.com。

引用格式: 周策, 蒋炳, 吴金生. CLY-1 型多参数智能测漏系统的研发[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 443-448.

ZHOU Ce, JIANG Bing, WU Jinsheng. Development of CLY-1 type multi-parameter intelligent leak detection system[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 443-448.

孔测漏仪。以上仪器都是基于涡轮流量计的原理,监测静水位漏(涌)水点的位置、相对大小,并可测定垮塌超径孔段的位置和厚度。在推广使用中主要问题是,采用电缆吊测,孔内经常遇卡造成事故,报废仪器,无法使用。在渗漏流量 $<2\text{ L/min}$ (清水)和 6 L/min (泥浆)情况下,不能工作。俄罗斯在解决钻孔漏失判层方面仍采用涡轮流量计的方法,存在同样问题,近年来又研制出P-4型漏层检测仪,依靠孔底压力变化确定漏层位置、强度及孔径扩大或缩小情况^[1-2]。美国从20世纪70年代就采用专用测井仪器来测试漏层位置,其中有井温测试法、放射性示踪原子测量法、电阻测量法、声波测量和超声电视法。美国在采用压力差测量方法研究测漏,有专用的测漏仪^[3-4]。

总而言之,在钻进多层漏失和涌漏相交的矿区,漏失判层监测技术尚需进一步完善,对漏失量小的矿区,漏失判层监测技术尚未解决^[5-6]。随着科学技术的不断进步,自动化、智能化技术的飞速发展,引入先进的自动化、智能化技术,研究无绳式的多参数智能钻井测漏判层技术,准确判断钻孔漏失的位置和强度,确保深部钻探工作的顺利进行,是十分必要的^[7-10]。

1 多参数智能测漏仪构成

CLY-1型多参数智能测漏仪由地面部分和井下部分组成,其组成框图如图1所示。地面部分为上位机和测控软硬件;地下部分分为外保护管和存储式多参数测量探管,井下部分的核心是多参数存储式地质勘探钻井智能测漏探管,主要包括测流量、测自然伽马、测温、测压信息测量模块电路、井下电源和数据存储输出模块^[2,5]。

根据CLY-1型多参数智能测漏仪的构成功能,也分为以下3个组成模块:主控硬件电路、程序及通讯模块;底层测量电路及测量程序软硬件模块;上位

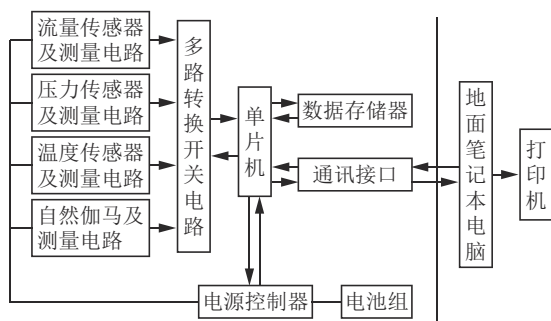


图1 CLY-1型多参数智能测漏仪组成

机主控系统软件模块。主控系统软件模块是运行于PC端,用于存储式CLY-1型多参数智能测漏仪的一个工具软件,其功能包括导出系统中的数据,以及对系统进行各种参数设置等。

2 主控硬件电路、程序及通讯模块

主控硬件电路、程序及通讯模块主要用于底层测量环空流量、自然伽马、井温、井压等传感器、电源控制管理、存储部分的通讯、以及底层测量、上位机软件之间的信息交换。

主控硬件电路模块主要包括:一款单片封装的微控制器P89LPC938应用设计;数据采集器LM358(MV358)双运放应用设计(包括:流量、自然伽马、温度、压力等);底层测量数据信息交换存储设计,E2PROM存储器FM24C512存储器应用;底层测量模块和上位机软件之间的数据信息交换通讯设计,低功耗全双工RS-485收发器设计应用接收发送模块,SP3232串口电路应用设计,低功耗全双工RS-485收发器应用设计;供电系统:DCZC-2065高温电池电路应用设计,系统电源应用设计,LM1117低压差电压稳压器应用设计;ACCESS数据库;Timer定时器。见图2。

3 底层测量电路及硬件模块设计

底层测量电路及软硬件模块主要包括:数据采集器、定时开启及数据分组发送模块、消息接收模块和供电模块。数据采集由监测仪主系统完成,它将采集的数据通过串行口发送至定时开启及数据分组打包模块;定时开启及数据分组打包模块由P89LPC938FHN及其外围电路组成,它控制测流量、自然伽马和测温测压的开启和关闭,并且将接收到的数据分割、封装,然后将数据发送至发送模块;消息发送模块通过命令将数据发送至接收中心号码;消息接收模块将所接收的信息送入数据库,再将其连接起来进行分析;供电模块由耐高温高性能蓄电池组成,它能够长时间的供给系统以电能,保证整个采集发送过程的顺利进行。

整个系统信息传输流程如图3所示。微控制器、外围电路及传感器原理设计选型如下。

3.1 微控制器

P89LPC938是一款单片封装的微控制器,含有多种低成本的封装形式。采用了高性能的处理器结

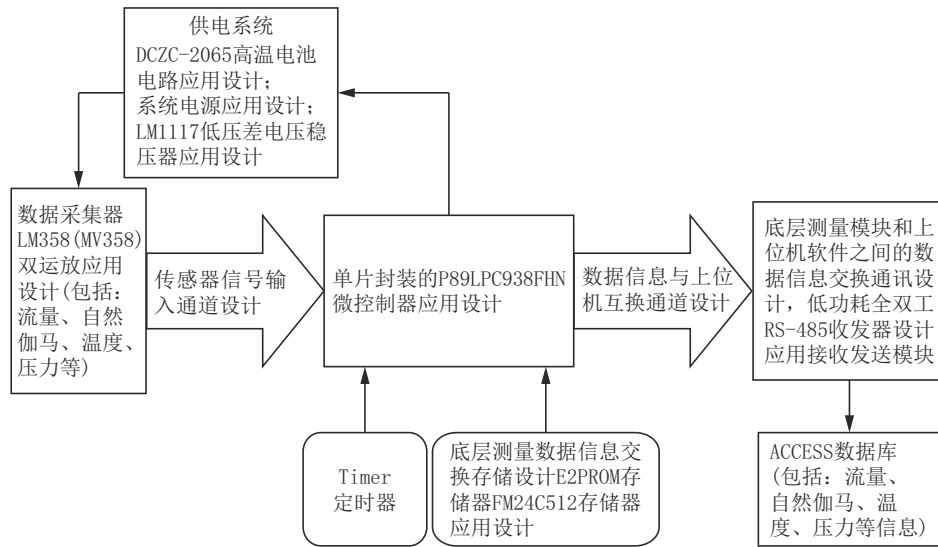


图 2 主控硬件电路模块

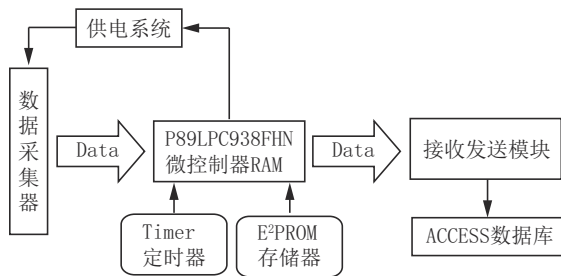


图 3 传输系统流程

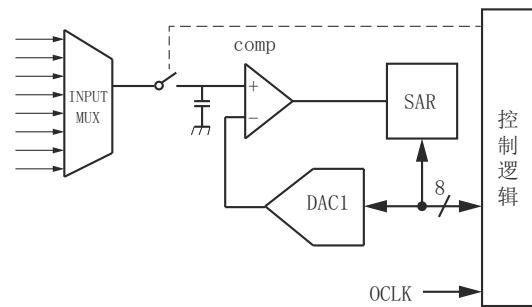


图 4 A/D 转换器原理

构,指令执行时间只需 2~4 个时钟周期。6 倍于标准 80C51 器件。P89LPC938 集成了许多系统级的功能,这样可大大减少元件的数目和电路板面积并降低系统的成本。

P89LPC938 包含 1 个 10 位、8 路逐步逼近式模数转换模块。A/D 转换器的原理框图见图 4。每个 A/D 转换器由一个 8 输入多路转换器组成。多路转换器的输出通过采样-保持电路,为两个比较器提供一个输入信号。控制逻辑连同逐次逼近式寄存器(SAR)来驱动一个数模转换器,为比较器提供另外一个输入。比较器的输出又回到 SAR。

3.2 接收发送模块外围电路低功耗全双工收发器

选用 SP3490 和 SP3491,它是一系列+3.3 V 低功耗的全双工收发器,完全满足 RS-485 和 RS-422 串行协议的要求。这两个器件与 Sipex SP490、SP491 的管脚互相兼容,同时兼容通用工业标准规范。SP3490 和 SP3491 由 Sipex 的 BiCMOS 工艺制造而成,可实现低功耗操作,但性能不受影响。它们符合 RS-485 和 RS-422 串行协议的电气规范,数据

传输速率可高达 10 Mbps(带负载)。

3.3 数据采集器外围电路设计

选用 LM358,里面包括有两个高增益、独立的、内部频率补偿的双运放,适用于电压范围很宽的单电源,而且也适用于双电源工作方式,它的应用范围包括传感放大器、直流增益模块和其他所有可用单电源供电的使用运放的地方使用。

LM358 内部包括有两个独立的、高增益、内部频率补偿的双运算放大器,适合于电源电压范围很宽的单电源使用,也适用于双电源工作模式,在推荐的工作条件下,电源电流与电源电压无关。它的使用范围包括传感放大器、直流增益模组,音频放大器、工业控制、DC 增益部件和其他所有可用单电源供电的使用运算放大器的场合。

3.4 E²PROM 存储器外围电路存储器

选用 FM24C512,是一款 512 kb 的非易失性存储器,它采用先进的铁电处理技术。

FM24C512 以总线速度进行写操作,无须延时。

下一个总线周期可以立即开始无需进行数据轮询。另外,FM24C512具有比EEPROM高得多的写操作次数。而且,写操作不需要在内部提升写电路的电源供电电压。

3.5 外围电路SP3232 串口电路

SP3232 串口电路主要用于串口接收发送数据。

3.6 供电系统外围电路系统电源

本系统电源设计为 12 V 供电, TMS320F2812 工作电源为 3.3 V, 升压电源模块开关为 TPS40210, 输出供电为 12 V。

3.7 电磁流量计传感器原理

根据法拉第电磁感应定律, 当导体做切割磁力线运动时, 导体上能感应出与速度成正比的电压, 由此定律可推导出流体的体积流量:

$$Q = \frac{\pi D}{4B} U_e \quad (1)$$

式中: B ——磁场强度; U_e ——感应电压; D ——管道内径。

由式(1)可知, 只要测得感应电压就可以得到相应的流速, 并换算出流量。被测流体的温度、压力、密度和电导率等参数的变化不影响流量的测量, 所以电磁测漏仪具有其它测漏仪无可比拟的优点。

流速传感器为 2000 型电磁流量计短节, 流量测量范围 3~2000 m³/d。其技术指标见表 1。

表 1 存储电磁式井下流量计技术指标

型号	CDL
外径×长度	Ø35 mm×260 mm
质量	约 2.8 kg
供电电压	6 V
自检工作电流	<50 mA
稳定工作电流	约 35 mA
主要用途	分层注水测量、检漏
工作温度	0~90 °C(需定制)
工作压力	普通型≤50 MPa
连续测量时间	由电池容量决定, 高温锂电池可达 60 h, 充电电池组可达 8 h
采样周期	5~10 s
测量范围	3~2000 m ³ /d
精确度	示值的±1%或满量程的±0.2%取最大值
零点温飘	<0.005%/°C(F·S)
始动流量	≤1 m ³ /d 反向流量指示: ≤-50 m ³ /d
分辨率	0.1 m ³ /d

3.8 井温传感器

测温传感器常用的铂电阻有 PT100 和 PT1000 两种, PT1000 精度高于 PT100, PT100 主要用于 -100~600 °C, 而 PT1000 的高温一般在 200 °C 以下, 原因是产生的自热影响其测量精度, 因此在本方案中选用 PT100 作为测温传感器。

主要技术指标: 测温传感器 LM35AH 型; 温升 0~50 °C/s; 温度指标 0~100 °C; 精度±0.3 °C。

3.9 井压传感器

本仪器采用了两种类型的井压传感器, 根据实际应用环境选型, 以适应低于 100 °C 常温环境和高于 100 °C 高温环境钻孔测试。

3.9.1 常温环境

测压单元的传感器采用应变式压力传感器或者扩散硅压力传感器。

常温测压单元主要技术指标: 测压传感器 PPM-S312A 型; 测压量程 0~50 MPa; 综合精度±0.5% FS。

3.9.2 高温环境

钛/硅-蓝宝石压力传感器宝石系由单晶绝缘体元素组成, 不会发生滞后、疲劳和蠕变现象; 蓝宝石有着非常好的弹性和绝缘特性(1000 °C 以内), 对温度变化不敏感, 即使在高温条件下, 也有着很好的工作特性; 蓝宝石的抗辐射特性极强; 另外, 硅-蓝宝石半导体敏感元件, 无 p-N 漂移, 因此, 可应于各种复杂环境场合。

本测压单元的传感器选用扩散硅(钛/硅)压力传感器。

高温测压单元主要技术指标: 测压量程 50 MPa; 综合精度±0.5% FS。

3.10 自然伽马传感器

自然伽马测井是沿井身测量岩层的天然伽马射线强度的方法。根据自然伽马测井结果可以划分出钻孔的地质剖面、确定砂泥岩剖面中砂岩泥质含量和定性判断岩层的渗透性, 为钻孔漏失判层提供地层地质依据。

自然伽马传感器: 范围 500 API; 精度 5%; 灵敏度 2.2 CPS/API; 碘化钠晶体选用 Ø27 mm×160 mm, 光电倍增管选用高温 CR225-02 型。

3.11 无磁承压管和高温电池

无磁承压管: 选用无磁钛合金管 TC11。

高温电池: 选用 DCZC-2065 型磷酸铁锂电池,

标识正负极及电压值,可使用 60 h。

其它配套电子元件选用微型贴片电子元件,如 INTER、AT 等产品,完成小尺寸元器件的选型。

4 主控系统软件设计

4.1 系统软件结构及功能

主控系统软件包括 USB/串口通信、读取数据、参数设置、使用说明等 4 个模块,见图 5。

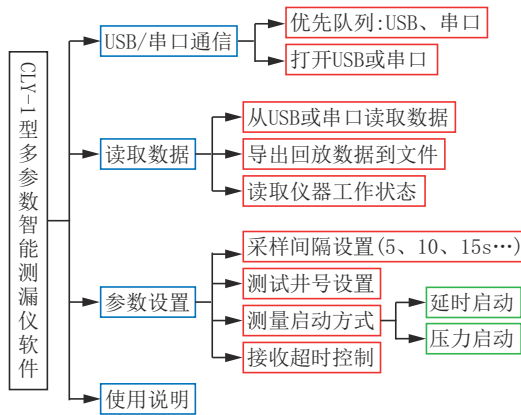


图 5 主控系统软件结构

主控系统软件模块功能主要包括:

- (1) 用于连接和数据信息传输的 USB/串行通信模块。
- (2) 用于读取存储在 CLY-1 型多参数智能测漏仪中的数据。
- (3) 用于给 CLY-1 型多参数智能测漏仪设置参数的参数设置模块。
- (4) 用于方便用户使用的使用说明。

4.2 程序及通信

主控软硬件软件设计主要分为两个部分,一为数据回放模式,二为参数配置模式。

4.2.1 数据回放模式

如图 6 所示,在数据回放模式下,计算机与测漏仪通信,发送自定义命令如新区回放,测漏仪读取存储片内最新数据通过 USB/串口将数据发送给计算机。计算机接收到数据根据自定义协议对数据完整性、准确性进行校验,校验通过后进行拆解分析提取关键数据信息,绘制成二维图表进行展示。

4.2.2 参数配置模式

如图 7 所示,在参数配置模式下,计算机与测漏仪通信,发送自定义命令如设置测试方案,计算机通过 USB/串口将命令发送给测漏仪。测漏仪通过

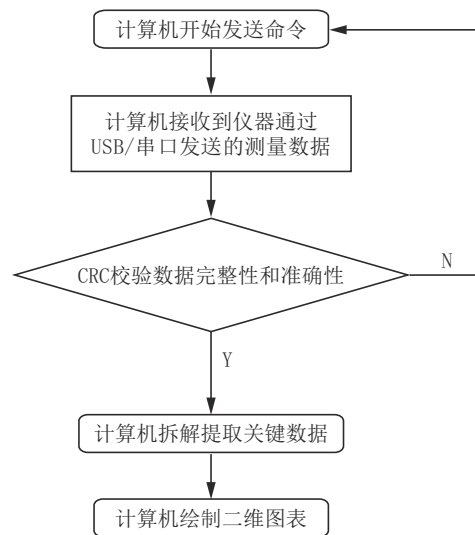


图 6 数据回放模式软件设计

CRC 校验算法校验命令完整性和准确性,校验通过则对命令包进行拆解提取关键数据,根据关键数据对仪器工作状态做相应的调整。

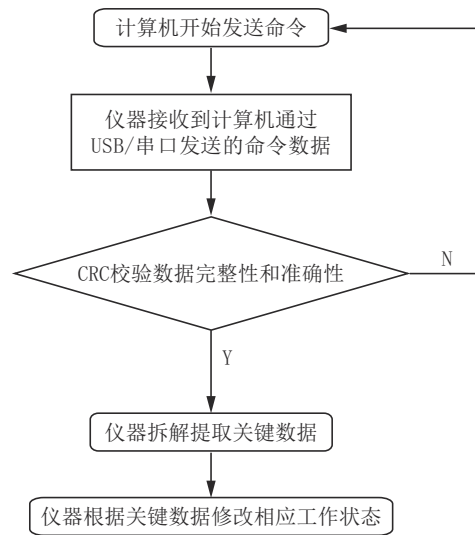


图 7 参数配置模式软件设计

5 校准测试

- (1) 压力测量范围 0~40 MPa, 压力非线性精度 $\leq 0.1\%$ 。
- (2) 温度测量范围 0~100 °C, 温度准确度 $\leq \pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 。
- (3) 流量测量范围 0~1223 m³/d, 流量非线性精度 $\leq 2\%$ 。
- (4) 伽马测量范围 0~150 API, 自然伽马非线性精度 $\pm 10\text{ API}$ 。

(5)环境温度响应,温升时间 ≥ 50 °C/s。

6 测量工艺流程设计

6.1 多参数智能测漏仪组成

CLY-1型多参数智能测漏仪(见图8)主要包

括:(1)绳帽,(2)上扶正器,(3)电池仓,(4)自然伽马段,(5)井温段,(6)流速压力段,(7)下扶正器。

6.2 测量方式

CLY-1型多参数智能测漏仪下孔投入方式分两种:钻杆送入、钢绳投捞。

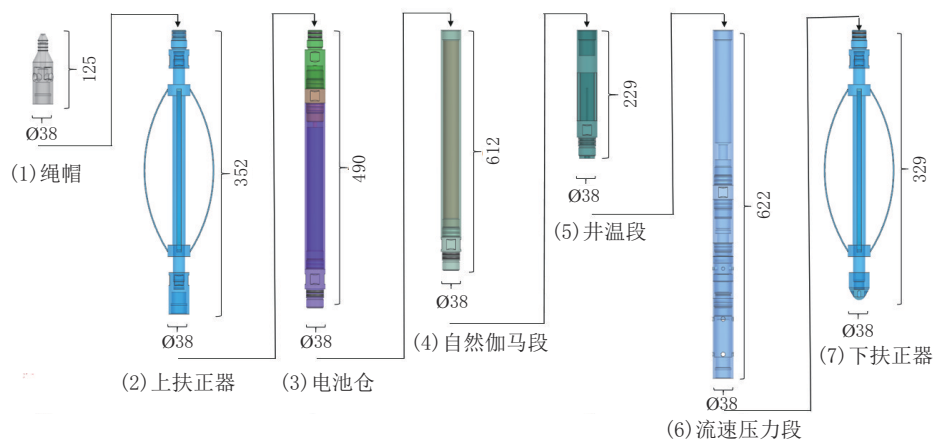


图8 CLY-1型多参数智能测漏仪结构示意图

下入孔内后,孔下仪器探管沿孔深对钻孔流量、自然伽马、温度、压力等参量进行数值化测量,并将测试数据按一定格式存储到孔下仪器探管内部的存储器中。孔下仪器探管从钻孔中取出后,与地面微机系统连接,将测量数据存到磁盘上形成电子文档,供微机进行处理,显示和打印,向操作员报告测量的位置。

7 结论

研发的CLY-1型多参数智能测漏仪,是利用测漏仪井下探管直接接到钻杆或钢绳下端入井下进行测试,井内探管沿孔深对井内冲洗液流速(流量)、井温、井压、自然伽马等4种参量进行数值化测试,并将测试数据按一定格式存储到井下探管内的存储器中。温升指标 $0\sim 50$ °C/s,减少了井温测量的滞后等待,使得井温的测量更为准确。通过贵州省赫章县猪拱塘铅锌矿区ZK708、ZK1730孔试验应用证明,本仪器结构轻巧、携带方便,能够适应各种恶劣的钻井环境,且功能齐全,操作简单,自然伽马测试对钻孔围岩岩性的确定,为漏失层位的判据提供更多信息,测量传感器响应快,数据采集更为稳定可靠,能够直接连接到钻杆下入孔内监测,大大缩短了测试时间,提高了测试操作工作效率,为绿色勘察与水平定向钻探技术提供了技术支持。

参考文献:

- [1] 王述义. JCL-1型钻孔测漏仪[J]. 探矿工程, 1979(1): 30-32, 50.
- [2] 周策, 陈文俊. 存储式磁阻多点连续测斜仪的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(7): 41-42, 49.
- [3] 刘小利, 夏宏南, 杨明合, 等. 电缆式井下测漏仪研制初探[J]. 断块油气田, 2006, 13(4): 81-82.
- [4] 张伟. 高温岩体热能开发及钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(10): 219-224.
- [5] 周策, 汤国起, 宋军, 等. 无缆多参数组合钻孔测漏仪: CN200820063234.0[P]. 2009-01-28.
- [6] 冉恒谦, 冯起赠. 我国干热岩勘查的有关技术问题[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(10): 17-21.
- [7] 张春熹, 高爽. 自主式光纤陀螺测斜仪[J]. 仪表技术与传感器, 2006(11): 9-11.
- [8] 邵保平, 赵金昌, 赵阳升, 等. 高温岩体地热钻井施工关键技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011(11): 2234-2243.
- [9] Jiang YF. Error analysis of analytic coarse alignment methods[J]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 1998, 34(1): 334-337.
- [10] Mortensen RE. Strap down guidance error analysis[J]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 1974, 10(4): 451-457.

(编辑 荐华)