

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.11911/syztjs.201706010

钻井液漏失位置测量仪的研制及试验

刘振东, 明玉广, 王传富, 李公让

(中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东东营 257000)

摘要: 钻井液漏失危害严重, 一旦发生井漏需要及时准确判定漏失位置, 目前, 井底漏失层位较易判断, 但针对其他井深位置的漏失, 漏失层位的判断非常困难。为解决这一问题, 研制了一种判定漏层位置的测量仪器, 可以通过测量温度、压力和流量3种参数, 综合判定漏层位置。该测量仪采用短节的方式安装于近钻头位置, 可随钻具下入井眼进行测量。该测量仪在胜利油田营96-斜1井进行了现场试验, 结果表明, 其对漏层位置的判定具有较高的精度, 可节省测量时间, 为堵漏方案的制定提供参考, 但该测量仪在测量数据的实时性上还需要进一步提高。

关键词: 漏层判定; 测量仪; 仪器结构; 传感器; 数据交互; 现场试验

中图分类号: TE26 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0890(2017)06-0055-05

The Development and Testing of Lost Circulation Position Detector

LIU Zhendong, MING Yuguang, WANG Chuanfu, LI Gongrang

(Drilling Technology Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257000, China)

Abstract: Since the loss of circulation of drilling fluids may result in severe hazards, proper measures should be taken promptly when circulation is lost. Accurately determining precisely where the drilling fluids are being lost is of great importance for timely implementation of a relevant remedy. At present, it is much easier to identify the formations responsible for the lost circulation when it occurs at bottomhole than at other positions in the hole. Under such circumstances, an innovative detector to identify the precise location of circulations losses has been developed. By using three key parameters, temperatures, pressure and flow rate, the detector can effectively determine specific position of lost circulation. The detector can be installed near the bit by using subs, and can be delivered with drilling tools. Field testing of the innovative detector has been conducted in Well Y-96-X-1 of the Shengli Oilfield. Testing results showed that the innovative detector can be used to determine the position of lost circulation. In addition to saving time in measurement, the detector may provide valuable references for preparation of emergency programs in drilling fluid circulation lost. More studies are required to further enhance real-time performances of the detector.

Key words: determination of circulation lost position; measuring instrument; instrument structure; sensor; data interaction; field test

井漏一直是困扰国内外石油勘探开发的重大工程技术难题, 处理井漏的关键要素之一是确定漏层位置。国外目前应用较为广泛的是温度与噪声法, 其他的漏层测量技术, 包括热线测井、压力变频器测井技术等也正在研发中^[1]。国内采用的测量方法及仪器主要有井温法、声波测量法、涡轮流量计法、噪声法、传感器测量法和电磁式

测量仪、温度式测量仪等^[1-6]。从目前的应用情况

收稿日期: 2017-08-05; 改回日期: 2017-11-21。

作者简介: 刘振东(1979—), 男, 山东昌乐人, 2002年毕业于山东理工大学化学工程与工艺专业, 2006年获太原理工大学高分子化学与物理专业硕士学位, 高级工程师, 主要从事钻井液技术研究工作。E-mail: liuzhendong.slyt@sinopec.com。

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”之课题五“致密油气开发环境保护技术集成及关键装备”(编号: 2016ZX05040005)资助。

看,这些方法都存在一定不足,如井温法测量精度受热传导速度慢的影响,当漏失量较小时温度变化不明显,不能精确判定漏层位置,只能确定大致范围;声波测量法具有多解性,且容易将不规则井段、没有漏失的裂缝及含气的层段误判为漏层;噪声法易受仪器与井壁摩擦噪声的影响^[7]。这些仪器大多数都采用电缆下入井眼的方式,在复杂漏失情况下,仪器的使用会受到较大限制^[8-9]。因此,笔者针对测量仪下入井眼的方式和单一方法测量准确性受限的问题,研制了用于确定漏层位置的测量仪器,利用短节将测量仪接在钻具上,随钻具下入井眼,在漏失过程中对温度、压力和流量等参数进行测量,综合分析判断漏层位置,解决了在复杂井眼环境下仪器无法用电缆下入井眼等一系列问题,且提高了测量漏失位置的精度。

1 钻井液漏失位置测量仪测量原理

1.1 测量仪结构及工作原理

钻井液漏失位置测量仪由短节和测量杆件组成,短节用于连接钻具,测量杆件可固定在短节内,用于测量和存储压力、流量和温度数据。

使用测量仪时,首先接通电源开机,仪器控制系统即开始采集压力、流量和温度的实时数据,并通过采集系统将数据存储在仪器硬盘上;然后将测量杆件旋转接入外接短节之中,为不影响钻井作业,将短节安装在 MWD 上近钻头位置,随钻具组合下入井中。当发生钻井液漏失后,采用起钻的方式(慢档匀速起出钻具)对全井眼进行测量,采集压力、流量和温度 3 种参数(待钻具内钻井液通过水眼与环空内钻井液达到平衡后,测定钻具内钻井液的压力、流量和温度),并存储数据。测量仪起出井眼后,利用测控系统的交互功能,读取所存储的数据;然后利用配套软件对得到的数据进行回放处理,形成温度、流量和压力相对于同一时间坐标的 3 条曲线。在曲线上找到各自的异常点,如果 3 条曲线在同一时间点附近都出现异常,则该点极有可能为漏失点,最后可通过录井参数确定对应的井深,从而确定漏失位置。

1.2 温度、流量、压力参数测量原理

钻井液漏失位置测量仪含有测量温度、流量和压力的 3 种传感器,在测量过程中,实现温度、流量

和压力参数的测量、信号的转换和数据的存储。

1.2.1 流量

流量测量是通过声波流量计来实现的。利用超声波在顺流和逆流中传播存在时间差的原理,在距离固定的位置上,相对安放 2 个换能器(要求既能发射超声波,也能接收超声波),通过微控制器控制其同时发射和接收,2 路信号放大、转换、鉴相和滤波之后进入 A/D 转换器,最后控制器从 A/D 转换器里读取相位差值。同时,微控制器也用于测试超声波的传播时间^[7-8]。

声波测量原理数学模型如图 1 所示。图 1 中, G1 和 G2 是换能器; c 为超声波在液体中的传播速度, m/s ; v 为液体的流速, m/s ; L 为 2 个换能器之间的距离, m ; t_1, t_2 分别为声波在顺流和逆流中的传播时间, s 。

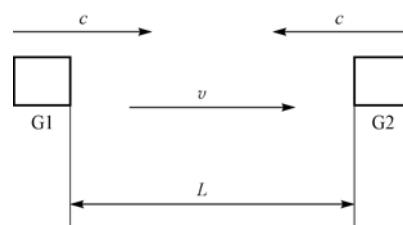


图 1 声波测量原理模型

Fig. 1 Prototype of acoustic measurement model

由图 1 可知:

$$t_1 = \frac{L}{c + v} \quad (1)$$

$$t_2 = \frac{L}{c - v} \quad (2)$$

因为 $c \gg v$, 由式(1)和式(2)可得:

$$v = \frac{(t_2 - t_1) c^2}{2L} = \frac{\Delta t c^2}{2L} \quad (3)$$

式中: Δt 为时差, s 。

已知换能器间的距离 L 和超声波的传播速度 c , 则流速 v 与时差 Δt 成正比, 由此可计算流速。

当横截面积一定时, 流量 Q 跟流速 v 成一定的函数关系, 这个函数关系可通过标定得到。该函数关系的表达式为:

$$Q = f(v) \quad (4)$$

式中: Q 为流量, m^3/h 。

1.2.2 温度

温度测量是利用温度传感器实现的。钻井液在井内受地层温度的影响形成一定的温度梯度。发生

漏失后, 钻井液液柱的地温梯度曲线就会在漏失处出现异常, 据此即可找到漏失点^[9-10]。

温度传感器采用 Pt1000 铂金电阻, 其电阻值随温度变化而变化。给该电阻提供恒定微弱电流(电流不能大于 1 mA, 否则, 会由于电阻本身功耗而升温, 导致测量产生误差), 外界温度变化引起传感器电阻值变化, 进而导致传感器两端的电压随之变化, 通过检测电压的变化可以达到测温的目的。

1.2.3 压力

压力传感器内部为电桥结构, 给传感器输入端供电, 当外界压力变化时, 传感器输出端的电压随之变化, 从而得出被测环境压力值, 同时要进行刻度和温度的补偿, 其方法与常规压力传感器测量方法基本相同^[9-10]。

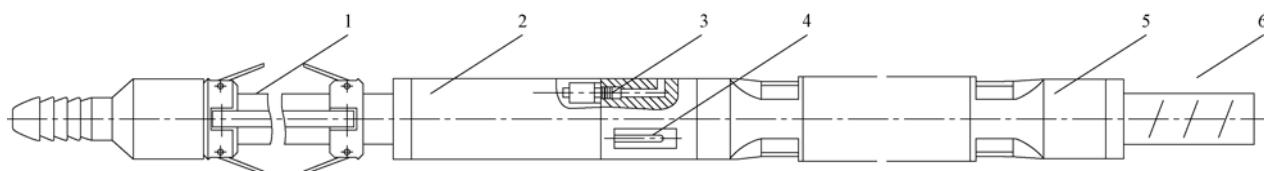


图 2 测量杆件的基本结构

Fig. 2 Diagram of the measuring elements

1. 扶正器; 2. 测控电子短节; 3. 压力传感器; 4. 温度传感器; 5. 导流管组件; 6. 旋转接头

2.2 控制系统

钻井液漏失位置测量仪的控制系统包括 CPU 控制子系统、超声波发射及接收子系统、信号处理采集子系统、压力和温度采集子系统与井下供电子系统等 5 部分, 主要功能是控制超声波的发射及接收, 控制 A/D 数据的采集, 读取超声波的传播时间, 存储采集的数据, 并与计算机进行数据通讯和井下仪器工作的设置。测量仪控制系统的总体框图见图 3。

由于仪器空间有限, 过线资源紧张, 且信号的频率较高, 造成板内走线复杂。2 块板间过线多, 会产生较大的噪声干扰, 从而影响流量信号的采集, 特别是降低了模拟电路的小信号和 ADC 的转换精度, 造成系统整体性能降低。所以, 该系统内部板间数据传输采用串行总线接口方式。串行总线电平采用抗干扰能力更强的 CMOS 电平, 但由于逻辑器件多采用 TTL 电平工作, 所以串行命令总线收发两端都要加电平转换电路。压力、温度参数的转换采用 16 位的 A/D 转换器。

2 测量仪关键技术

2.1 测量杆件

钻井液漏失位置测量仪的测量杆件由引导头、扶正器、高温电池、测控电子短节、导流管组件、压力传感器和温度传感器组成(见图 2)。其中, 高温电池对测控电子线路供电; 测控电子短节完成信号采集缓存、数据交互等功能; 导流管组件主要用于钻井液的引入和流出, 对钻井液流量进行测量; 压力传感器、温度传感器测量流体的压力和温度。短节的外径为 158.8 mm, 测量杆件的外径为 38.0 mm, 适用于 $\phi 215.9$ mm 等常规井眼。测量仪压力测量范围为 0~60 MPa, 温度测量范围为 0~150 °C, 电池工作时间 ≥ 72 h。

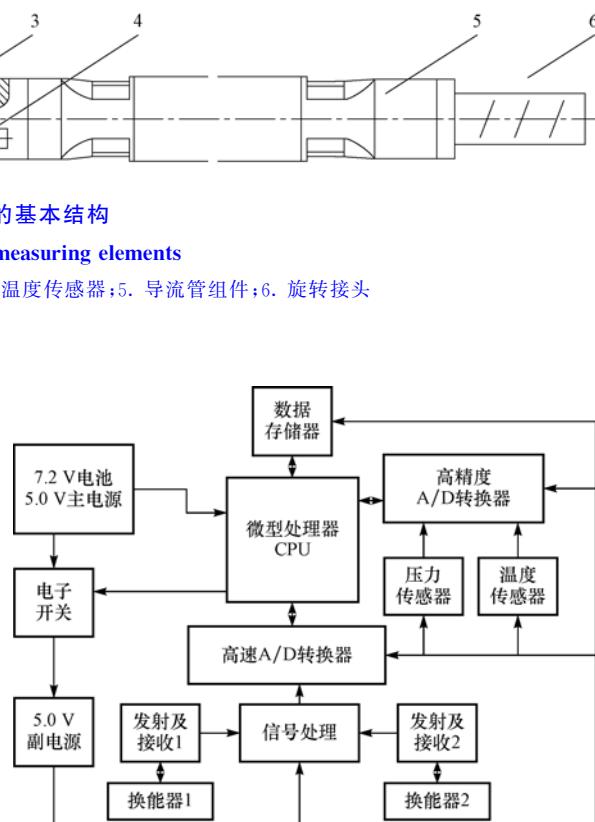


图 3 控制系统总体框图

Fig. 3 General block diagram of the control system for the measuring instrument

2.3 导流管组件

换能器放置于导流管中, 钻井液经过导流管, 这一过程中换能器接受超声波信号, 根据时间判断流量。考虑到声波信号在钻井液中会有衰减, 因此, 选

用了 2 只大功率换能器。该换能器采用全钢设计,不存在机械可动部件,在提高使用寿命的同时也可消除环境变化的影响,提高了流量的测试精度。换能器安装形式与存储式超声流量计相同,上、下换能器中心频率为 1 MHz。2 个换能器均安装在锥形安装头上,以减小钻井液的流动阻力,减少紊流,提高测试精度。2 个换能器发射面之间的距离为 300 mm。导流管下端连接有扶正器,以保证中心流速的准确测试。

2.4 压力传感器

压力参数在漏层判定过程中至关重要,相比温度和流量,能更好地实现短节内和环空中的内外压力平衡,其数据的真实性更高,而且更加灵敏,因此,要确保压力数据采集的实时性和精确性。同时,为满足较大井深条件下的正常工作,压力使用范围的选取也非常重要。因此,选取了硅钛蓝宝石传感器作为压力测量仪器,其使用范围是 0~80 MPa,精度为 0.05% FS,具有较高的精度,可检测到压力的较小变化,适合在井下使用。

2.5 数据交互软件

数据交互软件分为井下仪器软件和计算机软件 2 部分。井下仪器软件用于按照计算机软件设置的要求,完成流量、压力和温度参数的数据采集、存储、通讯及其他控制;计算机软件用于井下仪器采集时间、工作方式等参数的设置,并完成数据的通讯、曲线绘制、报表解释及相关的保存、打印等任务。由于井下仪器采集数据时无法获得深度信息,仅能记录相关的时间参数,因此,计算机软件需要根据井下数据的时间信息和地面记录的深度与时间的关系,给井下仪器的采集数据补充深度记录值。

2.5.1 井下仪器软件功能设计

井下仪器软件主要有 2 大功能:测试功能和数据通讯功能。井下仪器软件的功能如图 4 所示。

2.5.2 计算机软件功能设计

计算机软件主要完成井下仪器参数设置、数据读取、数据显示及打印、报表生成及打印等功能,计算机软件与用户交互操作,把用户的命令输送给井下仪器,并把井下仪器送来的数据进行处理、解释、显示及存储,功能框图见图 5。

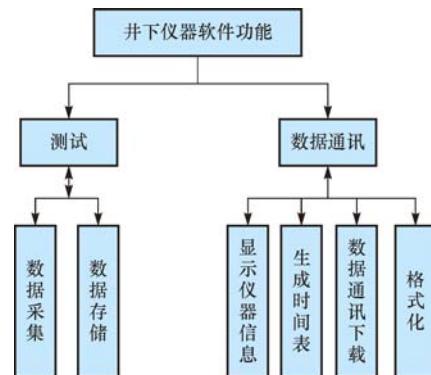


图 4 井下仪器软件功能

Fig. 4 Function of downhole instrument software

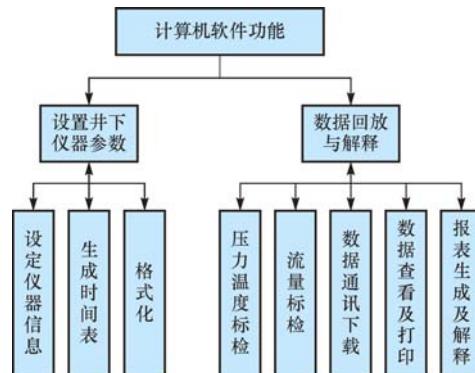


图 5 计算机软件功能

Fig. 5 Software function of computer

3 现场试验

钻井液漏失位置测量仪在营 96 斜 1 井进行现场试验,该井位于济阳坳陷东营凹陷中央断裂背斜构造带营 1 大断层上升盘营斜 96 北区块,完钻井深 2 712.00 m,垂深 2 552.00 m,钻探目的是滚动勘探营斜 96 北地区沙三中 2 砂体的含油气情况。该储层是一套滑塌浊积岩沉积,含油层系为沙三中下段,内部发育断层,且断层较陡,钻井过程中易出现憋漏、渗漏等情况。

在该井完钻电测通井前,将钻井液漏失位置测量仪接入钻具组合下入井内,进行通井作业。在下钻、通井及起钻过程中采集和存储温度、压力和流量数据,取出该测量仪后,对取得的数据进行了分析,结果见图 6。通常,测量仪可接在近钻头位置,随钻头进行钻井作业;在带有井下仪器的情况下,可接在井下仪器上方位置,减少测量仪对井下仪器的干扰。虽然从接入钻具起,就已经开始采集和存储参数,但在漏失发生前的数据基本不具有参考价值,因此在分析数据时,可重点分析从漏失发生到起钻至地面

这段时间内的数据。

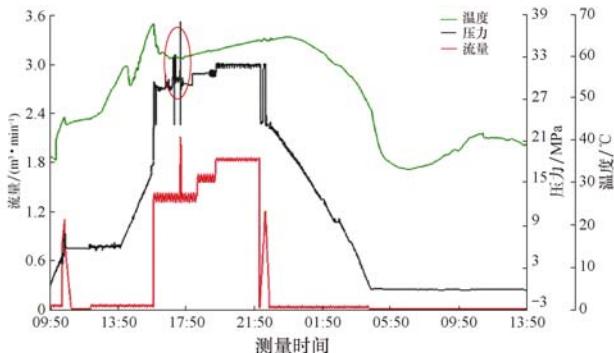


图 6 钻井液漏失位置测量仪在营 96-斜 1 井漏层的测量结果

Fig. 6 Measurement results of measuring instrument in the Well Y-96-X-1

从测量结果来看,仪器在井下工作正常,可获取温度、流量及压力数据。从图 6 可以观察到,在 17:40 处压力及流量均出现较大幅度的变化,经对比分析,认为该处发生了憋漏地层的现象,该情况大约持续 1 min 左右,随后漏失消失。结合录井参数,分析认为井深 2 708.00 m(即 17:40 时)处为憋漏发生点,这与地面工况反映的井深 2 710.00 m 处出现憋漏的情况基本相符。因此,该测试结果表明钻井液漏失位置测量仪具有较高的灵敏度和精度。

4 结论与建议

1) 根据超声波时差法测定流量、传感器法测定井温和环空压力,通过短节式构造,研制了钻井液漏失位置测量仪,通过测量温度、压力和流量 3 种参数分析判断漏失位置,可在一定程度上提高判定的准确性。

2) 该测量仪采用短节式构造,可随钻具下入井眼,在漏失发生后即可测量漏层位置,节省了漏失后下入仪器再进行测量判定的时间。

3) 该测量仪为原理样机,在一定程度上实现了测量判定漏层的目的,但也存在一些问题,如温度、流量等数据的测量存在一定的滞后性,下一步还应对其进行改进,使其能够更加有效地发挥作用。

参 考 文 献

References

- [1] 徐同台,刘玉杰,申威,等. 钻井工程防漏堵漏技术[M]. 北京:石油工业出版社,1997:1-76.

- XU Tongtai, LIU Yujie, SHEN Wei, et al. Technology of lost circulation preventing and sealing in drilling engineering[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997:1-76.
- [2] 熊继有,程仲,薛亮,等. 随钻防漏堵漏技术的研究与应用进展[J]. 钻采工艺, 2007, 30(2):7-10.
- XIONG Jiyou, CHENG Zhong, XUE Liang, et al. Research and application of leak resistance and sealing technology while drilling[J]. Drilling & Production Technology, 2007, 30(2):7-10.
- [3] 吴应凯,石晓兵,陈平,等. 低压易漏地层防漏堵漏机理探讨及现场应用[J]. 天然气工业, 2004, 24(3):81-83.
- WU Yingkai, SHI Xiaobing, CHEN Ping, et al. Mechanism study and field application of lost circulation resisting and sealing for formations with low pressure and easy lost circulation[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(3):81-83.
- [4] 吕开河. 钻井工程中井漏预防与堵漏技术研究与应用[D]. 青岛:中国石油大学(华东), 2007.
- LYU Kaihe. Study and application of lost circulation resistance and control technology during drilling [D]. Qingdao: China University of Petroleum(Huadong), 2007.
- [5] 景步宏,储明来,丁建林,等. 大裂缝性漏失堵漏新技术[J]. 特种油气藏, 2009, 16(1):92-95.
- JING Buhong, CHU Minglai, DING Jianlin, et al. Research and application of new plugging technology for leakage from macrofracture[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2009, 16(1):92-95.
- [6] 林英松,蒋金宝,秦涛. 井漏处理技术的研究及发展[J]. 断块油气田, 2005, 12(2):4-8.
- LIN Yingsong, JIANG Jinbao, QIN Tao. The development of well loss processing technology[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2005, 12(2):4-8.
- [7] 吴春华. 时差法超声波流量计的研制及流场适应性研究[D]. 杭州:浙江理工大学, 2015.
- WU Chunhua. Development and flow adaptation research of transit time ultrasonic flowmeter[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2015.
- [8] 兰纯纯. 时差法超声波流量计的研制[D]. 重庆:重庆大学, 2006.
- LAN Chunchun. Research on time-difference-type ultrasonic flowmeter [D]. Chongqing: Chongqing University, 2006.
- [9] 程世旭,李新玉,胡官阳. 基于钻井过程中无电缆式测漏仪器的研究[J]. 江汉石油学院学报, 2000, 22(2):75-77.
- CHEUNG Shixu, LI Xinyu, HU Guanyang. A wireless instrument to locate the depth of lost circulation zone in well drilling [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2000, 22(2):75-77.
- [10] 隋秀香,李相方,崔松,等. 温度式钻井漏层位置测量仪的研制[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(3):78-80.
- SUI Xiuxiang, LI Xiangfang, CUI Song, et al. A leaking position detection instrument[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(3):78-80.

[编辑 潘子晴]