

无线射频识别技术在多级滑套压裂工具中的应用探讨

秦金立¹, 戴文潮¹, 万雪峰², 赵晨熙¹, 韩峰¹

(1. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101; 2. 中国石化西北油田分公司工程技术研究院, 新疆乌鲁木齐 830011)

摘要: 为了实现多级滑套压裂工具全通径、无级数限制和智能操控, 研究了无线射频识别(RFID)技术驱动滑套的工作原理和施工工艺。RFID滑套由胶囊标签、天线单元、控制单元、执行单元、动作单元和连接单元等部分构成。胶囊标签携带信息码通过RFID滑套, 激活控制单元接收信息码, 当信息匹配时, 控制单元输出控制命令, 启动执行单元动作, 实现滑套的打开或关闭动作。通过技术调研, 掌握了RFID滑套的工作原理和施工工艺, 明确了RFID滑套研制的关键技术难点, 为无线射频识别技术在多级滑套压裂工具中的应用提供了技术支持。

关键词: RFID技术 电子标签 RFID滑套 多级滑套压裂工具

中图分类号: TE934⁺.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2013)03-0123-04

Application of Radio Frequency Identification in Multistage Fracturing Sleeve Tools

Qin Jinli¹, Dai Wenchao¹, Wan Xuefeng², Zhao Chenxi¹, Han Feng¹

(1. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China; 2. Research Institute of Petroleum Engineering, Sinopec Northwest Oilfield Branch, Urumqi, Xinjiang, 830011, China)

Abstract: In order to realize full opening, unlimited fracturing stages and intelligent control of the fracturing sliding sleeve, the working principle and process of radio frequency identification(RFID) driven fracturing sliding sleeve have been studied. RFID fracturing sliding sleeve consists of capsule pins, an antenna unit, a control unit, an execution unit, action units, and the connecting unit. Capsule pins that carry the information codes through RFID fracturing sliding sleeve will activate the control unit that receives the information codes. If codes match, the control unit will send commands to start the action unit to open or close the fracturing sliding sleeve. Through technical research, we have gotten a clear understanding of the basic working principle and operation process of RFID fracturing sliding sleeve, the technical difficulties in RFID sliding sleeve development and provide technical support for the developing of RFID sliding sleeve in China.

Key words: RFID technology; electronic tag; RFID frac sleeve; multistage fracturing sleeve tool

水平井裸眼分段压裂完井是低压、低渗透油气藏开发中采用的重要增产措施之一。为提高水平井产能, 该技术采取水平井裸眼封隔器完井方式, 根据地质情况将水平段分隔成设计的层段数, 再利用投球方式逐级打开各投球滑套, 以实现分段压裂的目的^[1-8]。

目前, 投球滑套压裂工具在应用中面临以下技术难题: 1) 球与球座机械接触形成密封, 后期为实现全通径产液需磨铣钻除所有球座; 2) 球和球座结构尺寸存在级差, 完井管柱分段级数有限; 3) 施工过程中, 球必须按照从小到大的顺序依次投放, 完井

管柱结构及滑套操作不够灵活, 加大了国内多级滑套分段压裂施工的难度和风险。为此, 研究采用无线射频识别(radio frequency identification, RFID)技术, 通过非接触式方式控制滑套工具打开或关闭,

收稿日期: 2012-12-18; **改回日期:** 2013-04-19。

作者简介: 秦金立(1979—), 女, 天津人, 2003年毕业于江汉石油学院机械设计制造及其自动化专业, 工程师, 主要从事固井、完井工具的研究工作。

联系方式: (0534)2670175, qjl@shelloil.com。

基金项目: 中国石化科技攻关项目“ $\phi 127.0$ mm 多级滑套分段压裂工具的研制与应用”(编号:P11048)部分研究内容。

可解决投球滑套压裂工具存在的不足。

1 RFID 技术

RFID 技术是 20 世纪 90 年代兴起的一种自动识别技术,通过空间耦合(交变磁场或电磁场)实现射频信号无接触信息传递,并识别传递的特定信息。它可通过无线电信号识别特定目标,并读写相关数据,识别工作无需人工干预,识别系统与特定目标之间也无需建立机械或光学接触,适用于在各种恶劣环境下工作^[9-13]。

RFID 射频识别系统主要由电子标签、读写器和数据管理系统等部分组成(见图 1)。电子标签部分是由标签芯片和标签天线 2 部分组成,每个电子标签都含有唯一的识别码,用来表示电子标签所附着的物体。当电子标签接收到阅读器的发射信号后,电子标签被“唤醒”,然后根据阅读器发射的指令完成相应的动作,并将响应信息返回给阅读器。读写器也分为阅读器天线和阅读器 2 部分,阅读器通过阅读天线发射信号“唤醒”和传送指令给电子标签,并接收标签返回的信号。信号经过初步过滤、处理后,完成对电子标签信息的获取和解析,将有用的数据通过网络和数据管理系统交互。数据管理系统主要完成数据信息的存储及管理。数据管理系统可以由简单的本地软件担当,也可以是集成了 RFID 管理模块的分布式 ERP 管理软件。

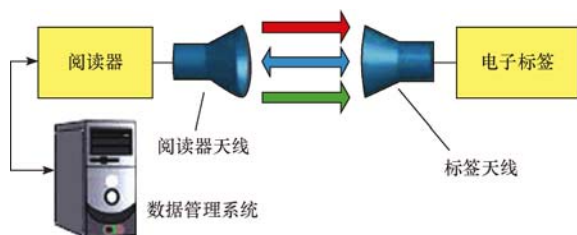


图 1 RFID 系统构成

Fig. 1 Composition of RFID system

RFID 系统具有节省人工成本、提高作业精确性、加快数据处理速度等独特的技术优势,被广泛应用于物流和供应管理、生产制造、门禁控制/电子门票、道路自动收费等各行各业中。在国外,作为一种提高装置的可操作性和经济性的技术,RFID 技术近几年逐渐应用于石油和天然气工业中,在井下工具中的应用也渐渐成熟。

2010 年,Weatherford 公司研制出 RFID 滑套与自膨胀封隔器组合的完井管柱,并在加拿大某区块 $\phi 152.4$ mm 井眼内成功进行了 10 段的压裂作业。在压裂施工过程中,共向井内投放 21 枚电子标签,其中 18 枚标签成功实现操作打开、关闭滑套功能,标签激活滑套成功率达到 86%。该井的成功施工,表明 RFID 技术在滑套工具上应用可行,在施工效率和成本上有着巨大优势^[14]。

2 RFID 多级滑套压裂工具

2.1 结构组成

RFID 多级滑套压裂工具主要由电子标签、天线单元、控制单元、执行单元、动作单元、连接单元等部分构成(见图 2)^[15]。电子标签由线圈及少量电子器件组成,并用玻璃陶瓷封装;天线单元连接到控制系统上,并在滑套内腔建立磁场;控制单元集成了 RFID 读码器、压力/温度传感器、控制电路以及耐高温大容量蓄电池,通过植入控制程序收发信息、监测井下环境参数、控制执行单元工作,并为滑套功能单元的实现提供电力供应;执行单元为微型电机或液压马达、管线等组成的微型能量转换系统,将电池组的电能转化为机械能;动作单元通过机械方式连接在执行单元上,可以密封连接单元上的压裂泄流孔,是封隔油管套管通道、决定滑套工具开关状态的关键单元;连接单元除封装以上单元外,还与匹配的油管套连接构成压裂管柱。

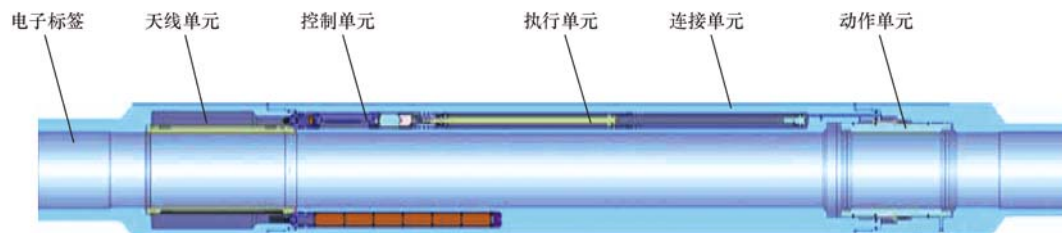


图 2 RFID 滑套结构组成

Fig. 2 Schematic diagram of RFID sleeve

2.2 工作原理

RFID 滑套控制单元植入控制程序,电子标签植入特定信息码,当电子标签通过滑套线圈时被线圈建立的磁场激活,利用感应电流所获得的能量发送出存储在芯片中的信息码,控制单元通过天线接收该信息码,结合监测到的环境参数(压力、温度等)控制程序对接收的信息码进行解读。若该电子标签携带的信息码与滑套匹配,则控制单元输出控制命令,启动执行单元正向运动、带动动作单元向前移动,打开连接单元上的压裂泄流孔,实现滑套工具打开功能;当再次投放对应的电子标签,滑套被激活,执行单元反向运动、带动动作单元向后移动,再次密封连接单元上的压裂泄流孔,实现滑套工具关闭功能。

2.3 工艺原理

RFID 滑套与投球滑套的压裂预置管柱类似,主要包括裸眼封隔器、封隔悬挂器、RFID 滑套、压差滑套、浮鞋(引鞋)等。RFID 滑套预置管柱入井前,RFID 滑套通过计算机植入不同的控制程序并做好记录。管柱入井时,RFID 滑套与常规投球式滑套作业管柱一样,依次连接浮鞋(引鞋)、RFID 滑套、裸眼封隔器、RFID 滑套、裸眼封隔器、RFID 滑套……封隔悬挂器、送入工具等。管柱入井到位后,水泥车顶通及循环洗井,投球坐封,加压、胀封裸眼封隔器和悬挂器封隔器、坐挂悬挂器^[16-17]。验证悬挂器坐挂后,倒扣、提出送入工具。

压裂施工前,下入压裂油管进行回插,与悬挂器形成密封。压裂施工时,预置管柱内憋压打开末端 RFID 滑套,进行第一段压裂作业,井口间隔一定时间分别投放 2 枚电子标签,前面一枚标签通过末端 RFID 滑套时,滑套被激活关闭;后面一枚通过第二段 RFID 滑套时,RFID 滑套被激活打开,依此顺序间隔投放标签,实现各级滑套依次打开和关闭,最后一段施工泵送尾液时,投放对应电子标签到位后关闭最后一段 RFID 滑套。压裂施工结束后,管柱再次憋压到一定压力时,所有 RFID 滑套被激活打开,开始进行储层排液求产。

2.4 性能特点

RFID 滑套采用非接触方式激活各个滑套打开/关闭功能,各个滑套仅由能识别的信息码进行唯一区别,且能独立操作,与传统滑套工具相比具备以

下技术优势:

1) RFID 滑套采取非接触方式驱动滑套动作,滑套之间不存在级差限制,入井管柱能够接入任意数量的 RFID 滑套,实现完井管柱全通畅。

2) RFID 滑套管柱具有全通畅的特点,因此压裂施工结束后,无需下入连续油管和铣鞋进行后续的磨铣作业。

3) RFID 滑套配合井下压力、温度、流量等传感器使用,能根据井下情况进行自动调节。

4) 采油后期,某层段出水后,可下入连续油管和开关工具送入特定的 RFID 标签,将该层段的滑套过流孔关闭。

3 研发难点

基于 RFID 技术的智能滑套是机电一体化高度集成的智能化井下工具。通过射频通信完成操作命令的传递,通过控制单元完成命令的解读和控制信息的输出,再通过执行单元完成滑套的功能动作,各功能单元存在以下研发难点:

1) 滑套工具在井下环境中面临管柱空间尺寸受限,作业周期长,介质具有一定矿化度、悬浮大量砂砾的乳状液体,标签泵送速度快,而且泵送过程中磕碰严重,如何提高标签自身强度和高速泵送下信息的捕获率,是井下 RFID 通信技术研究的难点。

2) 分段压裂工具井下施工周期具有不确定性,如何解决 RFID 滑套各耗电元件在井下长期工作的电力供应和电子元器件的长期耐高温性能,是控制系统研制的关键点。

3) 由于各级子标签与各级滑套仅通过电子码进行唯一区分并形成唯一配对,如何实现 RFID 滑套施工逐级完成、避免多级滑套与多标签间的冲突,以及针对特殊情况下工具的自主动作控制,是滑套控制系统软件的研究关键。

4) 为保证施工顺利进行,当 RFID 标签激活失效时,如何保证通过其他机械方式实现工具打开或关闭,是 RFID 滑套工具结构设计上的难点。

4 认识与建议

1) RFID 滑套工具具有最大全通畅、无级数限制、施工效率高、施工成本少等特点,有着广阔的应用前景。

2) RFID 技术已在分段压裂滑套工具上展开应

用,并进行了现场试验,取得了良好的应用效果,表明该技术在石油井下工具中的应用具有可行性。

3) 建议尽快开展石油井下环境中的 RFID 通信技术、供电技术以及适应高温环境的电子器件的研究,并在此基础上进行 RFID 技术驱动滑套工具及其配套施工工艺的研究工作,以实现水平井分段压裂工具的智能化。

参 考 文 献

References

- [1] 朱正喜,李永革.水平井裸眼完井分段压裂技术研究[J].石油矿场机械,2011,40(11):44-47.
Zhu Zhengxi, Li Yongge. Study of multistage fracturing of horizontal bare hole wells[J]. Oil Field Equipment, 2011, 40(11): 44-47.
- [2] 郭建春,赵志红,赵金洲,等.水平井投球分段压裂技术及现场应用[J].石油钻采工艺,2009,31(6):86-88,95.
Guo Jianchun, Zhao Zhihong, Zhao Jinzhou, et al. Horizontal well ball staged fracturing technique and field application[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(6): 86-88, 95.
- [3] 曹阳,陈琛,史雪枝,等.川西致密气藏水平井分段压裂技术[J].石油钻探技术,2012,40(3):13-17.
Cao Yang, Chen Chen, Shi Xuezhi, et al. Multi-stage fracturing techniques for open hole horizontal wells in Western Sichuan tight gas reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(3): 13-17.
- [4] 董建华,郭宁,孙渤,等.水平井分段压裂技术在低渗油田开发中的应用[J].特种油气藏,2011,18(5):117-119.
Dong Jianhua, Guo Ning, Sun Bo, et al. Application of horizontal well multistage fracturing in low permeability oilfield development[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2011, 18(5): 117-119.
- [5] 张恒,刘洋,李强,等.水平井裸眼分段压裂完井技术在苏里格气田的应用[J].石油钻探技术,2011,39(4):77-80.
Zhang Heng, Liu Yang, Li Qiang, et al. Application of staged fracturing completion technology in horizontal open hole wells in Sulige gas field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(4): 77-80.
- [6] 李民.水平井裸眼封隔器完井分段压裂技术研究[R].西安:1st Hydraulic Fracturing & Acidizing, 2010.
Li Min. Research on open hole packer of staged fracturing technique in horizontal wells[R]. Xi'an: 1st Hydraulic Fracturing & Acidizing, 2010.
- [7] 陈作,王振铎,曾华国.水平井分段压裂工艺技术现状及展望[J].天然气工业,2007,27(9):78-80.
Chen Zuo, Wang Zhenduo, Zeng Huaguo. Status quo and prospect of staged fracturing technique in horizontal wells[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(9): 78-80.
- [8] 许国林,李博,王洪潮,等.φ140型裸眼分段压裂套管外封隔器的研制[J].石油机械,2011,39(7):54-58.
Xu Guolin, Li Bo, Wang Hongchao, et al. Research on φ140 external casing packer for open hole staged fracturing[J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(7): 54-58.
- [9] 甄岩,李祥珍. RFID 技术的研究与应用[J].数字通信,2011(1):32-35.
Zhen Yan, Li Xiangzhen. Research and application on RFID technology[J]. Digital Communication, 2011(1): 32-35.
- [10] 林金堵.无线射频识别技术(RFID)应用与发展[J].印制电路信息,2007(12):8-9,31.
Lin Jindu. The application and development of RFID technology[J]. Printed Circuit Information, 2007(12): 8-9, 31.
- [11] 沈冬青. RFID 射频识别技术标准解析及现状研究[J].中国安防,2011(4):37-40.
Shen Dongqing. Research on analysis and the current standards of radio frequency identification technology[J]. China Security & Protection, 2011(4): 37-40.
- [12] 龙飞. FRID 标签天线的设计研究[D].成都:电子科技大学通信与信息工程学院,2009.
Long Fei. Design of RFID tag antenna[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, School of Communication & Information Engineering, 2009.
- [13] 唐佳莹,张瑞林,季君君,等. RFID 在纺织企业仓库管理系统中的应用[J].物联网技术,2012(9):28-30,33.
Tang Jiaying, Zhang Ruilin, Ji Junjun, et al. Application of RFID in textile enterprise warehouse management system[J]. Internet of Things Technologies, 2012(9): 28-30, 33.
- [14] Tough John, Mason Jane. Radio frequency identification of remotely operated horizontal frac[R]. SPE 143940, 2011.
- [15] Snider P M, Doig Tom. RFID actuation of self-powered down-hole tools[R]. SPE 113842, 2008.
- [16] 王建军,于志强.水平井裸眼选择性分段压裂完井技术及工具[J].石油机械,2011,39(3):59-62.
Wang Jianjun, Yu Zhiqiang. The completion technology and tool for open-hole preferential staged fracturing of the horizontal well[J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(3): 59-62.
- [17] 韩永亮,刘志斌,程智远,等.水平井分段压裂滑套的研制与应用[J].石油机械,2011,39(2):64-65.
Han Yongliang, Liu Zhibin, Cheng Zhiyuan, et al. The development and application of the sectional fracture sliding sleeve in horizontal wells[J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(2): 64-65.

[编辑 滕春鸣]