

新型低频电磁波井下数据无线传输技术

姜楠

中国石油大庆油田有限责任公司试油试采分公司 黑龙江大庆 163412

通讯作者:Email:sk_jiangnan@petrochina.com.cn

项目支持:中油股份公司科技重大专项“海拉尔-依舒等外围盆地勘探技术完善与效益增储”子课题“凝析油气藏试油压裂方法及配套工艺技术研究”(QR/A0/7-12-01)

引用:姜楠. 新型低频电磁波井下数据无线传输技术[J]. 油气井测试,2022,31(6):54-58.

Cite: JIANG Nan. New low frequency electromagnetic wave wireless transmission technology for downhole data [J]. Well Testing, 2022, 31(6):54-58.

摘要 井下无线传输技术受信号传输强度低、干扰大等限制难以获得及时、准确的压力、温度数据。新型低频电磁波井下数据无线传输技术将温度压力信号负载到井下闭合震荡电路中,通过采用超低频电磁波为传输载体及特殊通信机制,有效提高了井下数据无线传输性能。同时,配套的中继器可满足更大深度井的中级传输要求。大庆地区 GL(274-245)井现场试验结果表明,井下存储压力计数据与无线传输数据对比吻合,信号清晰准确,取得预期的良好效果。该技术数据传输稳定可靠,能够满足水平井、大斜度井及 3 000 m 以内井深的复杂井试采实时监控井下数据的需求,为试油气井求产优化提供了技术支持。

关键词 井下压力计;无线传输;中继器;试油;低频电磁波;实时监控

中图分类号:TE353 **文献标识码:**B **DOI:**10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.06.011

New low frequency electromagnetic wave wireless transmission technology for downhole data

JIANG Nan

Testing Branch, PetroChina Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163412, China

Abstract: Underground wireless transmission technology is limited by low signal transmission strength and large interference, so it is difficult to obtain timely and accurate pressure and temperature data. The new low frequency electromagnetic wave underground data wireless transmission technology loads the temperature and pressure signal into the underground closed oscillation circuit. By using ultra-low frequency electromagnetic wave as the transmission carrier and special communication mechanism, the underground data wireless transmission performance is effectively improved. At the same time, the matching repeater can meet the intermediate transmission requirements of deeper wells. The field test results of Well GL (274-245) in Daqing area show that the data of downhole stored pressure gauge is consistent with the data of wireless transmission, the signal is clear and accurate, and the expected good effect is achieved. The data transmission of this technology is stable and reliable, which can meet the demand of real-time monitoring downhole data for production test of horizontal wells, highly deviated wells and complex wells with depth less than 3 000 m and provides technical support for production optimization of oil and gas testing wells.

Keywords: downhole pressure gauge; wireless transmission; repeater; well testing; low frequency electromagnetic wave; real time monitoring

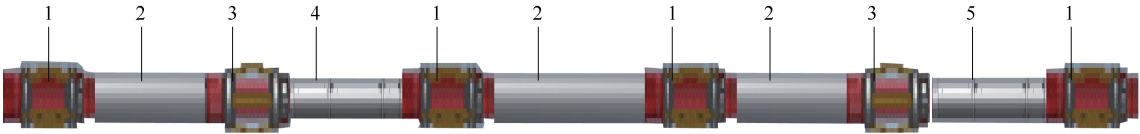
试油测试中,井下压力温度数据是监控试油过程和录取试油资料的重要途径和手段^[1]。传统的获取方式是存储式压力计和电缆直读压力计^[2-4],但存储式压力计存在无法及时获取数据,电缆直读又存在适应性差的问题。因此,井下无线传输技术是目前油田试油测试技术发展方向^[5-8]。近年来,国内涌现了很多相关技术^[9-12],并在大庆地区进行了应用。诸如:油管壁声波传输技术、钢丝投入短

距离接收技术等。但受制于信号传输强度低、干扰大等的影响,一直处于瓶颈阶段,且尚不成熟^[13-15]。近期,新型井下数据无线传输技术在大庆油田取得了现场试验成功。该技术可在地面随时读取井下压力温度数据,便于及时调整工作制度,缩短施工周期,弥补了传统存储压力计数据回放滞后的缺陷。同时,也跨越了电缆直读适应性差、操作复杂的短板,其传输方式的改变具有突破性的意义。该

项技术的成功推广,可为理论判断提供及时的数据验证,为井下智能化开辟全新的拓展方向。

1 结构原理及特点

新型低频电磁波井下数据无线传输系统,主要由井下发射中继及地面接收两部分组成,对管柱匹



1-接触式耦合器;2-调整油管;3-绝缘式耦合器;4-中继器;5-井下无线传输工具

图 1 新型全通径压控测试阀结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of new full-bore pressure control test valve

1.2 工作原理

井下无线传输工具通过压力温度传感器反馈的数据,调制成产生带有数据信号的震荡电流。通过其上下与套管接触的耦合器,形成闭环振荡电路,从而激发带有数据调制信号的超低频电磁波,采用频分复用与时分复用相结合的通信机制,传播到地面或者中继器中,地面接收装置获取电磁波后解调出压力温度数据信号,完成数据传输。另外,中继器既有数据发送功能,又具有接收功能,能够实现远距离信号的中继传输功能。

1.3 技术特点

(1)同等深度下,地层电阻率越高,井口电位越高,其呈现线性相关性,如图 2 所示。

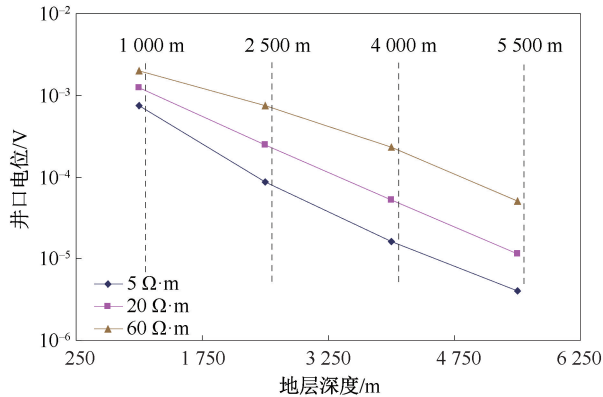


图 2 不同地层电阻率影响下的地层深度与井口电位(信号强度)关系曲线

Fig. 2 Relation curve between formation depth and wellhead potential (signal strength) under the influence of different formation resistivity

(2)依据模拟结果推断,井下发射装置每下探 1 000 m,井口信号减小 3~4 倍。

(3)根据井场噪声(开发电机时约 0.08 V,停发

配要求程度较低,满足大部分联作要求。

1.1 结构组成

井下无线传输系统井下部分主要由接触式耦合器、调整油管、绝缘式耦合器、中继器和井下无线传输工具组成(图 1)。井下无线传输系统地面部分主要由地面接收装置和 UPS 移动电源组成。

电机时约 0.005 V),可判断单级最大有效传输距离约为 1 560 m,如图 3 所示。

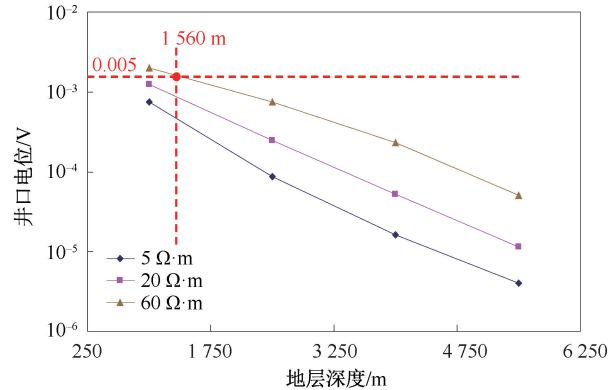


图 3 停发电机时噪声淹没临界深度曲线

Fig. 3 Curve of critical depth of noise submergence during generator shutdown

(4)中继器单独的接收与发送信号强度与井下无线传输工具一致。以此判断附加中继器可在 1 500 m 附近进行安装。在理想条件下,增加单级中继器可实现单倍数级增加,即 3 000 m 左右的中继传输。

2 地面性能试验

井下无线传输系统井下部分设备经过了严格的室内实验,其中包括温度标定测试、压力标定测试,以及耐温性能测试等。各项性能试验均达到预期效果。

2.1 温度标定测试

将井下无线传输系统中的传感器部分放置在温控箱高压腔内进行温度标定,校准温度传感器电压。表 1 给出了不同压强下标定校正对应的温度传感器电压值。

表 1 校准温度传感器电压数据组值 单位:mV
Table 1 Voltage data set values for calibrating temperature sensors

压强/MPa	30.7 ℃	50.0 ℃	75.0 ℃	100.0 ℃	125.0 ℃
0	1 305.5	1 389.3	1 498.3	1 605.3	1 705.0
10	1 305.0	1 390.0	1 499.0	1 606.0	1 706.0
20	1 306.0	1 389.7	1 499.0	1 605.7	1 705.3
30	1 305.3	1 390.0	1 498.7	1 606.0	1 706.0
40	1 306.5	1 389.8	1 498.7	1 605.7	1 706.0
50	1 306.0	1 390.0	1 499.0	1 606.0	1 706.0
60	1 306.3	1 389.7	1 498.7	1 605.0	1 706.0

2.2 压力标定测试

将井下无线传输系统中的传感器部分放置在温控箱高压腔内进行压力标定,校准压力传感器电压。表 2 给出了不同温度下标定校正对应的压力传感器电压值。

表 2 校准压力传感器电压数据组值 单位:mV
Table 2 Voltage data set values for calibrating pressure sensors

压强/MPa	30.7 ℃	50.0 ℃	75.0 ℃	100.0 ℃	125.0 ℃
0	406.5	405.8	404.7	402.0	402.3
10	808.3	806.7	806.3	810.3	805.7
20	1 211.7	1 209.3	1 207.0	1 227.8	1 206.0
30	1 613.0	1 612.0	1 611.3	1 610.3	1 609.3
40	2 016.8	2 015.0	2 012.7	2 011.7	2 009.7
50	2 419.0	2 416.7	2 415.0	2 415.0	2 413.7
60	1 306.3	1 389.7	1 498.7	1 605.0	1 706.0

2.3 耐温性能测试

将井下无线传输系统中的井下部分整体放置在温控箱,对整个井下短节进行在 90 ℃温度下耐温测试。经过 24 h,测试仪器数据传输显示正常,显示器所示传输信号稳定。

3 现场应用

结合地面试验成果,选取大庆地区 GL(274-245)井进行现场试验。GL(274-245)井构造位于松辽盆地中央坳陷区朝阳沟阶地朝阳沟背斜处,完钻井深 2 570.2 m,试油目的层井段 2 070.5~2 081.0 m。本井目的层已试油。由于本层段压力恢复较快,适合测试阀开关状态识别,这也是选取本井进行现场试验的原因。

工具下井前,地面调试井下无线传输工具及中继器。数据传输正常后,按照图 4 所示下入试验管柱,分别对下管、开关井液面恢复、起管期间进行压力温度数据监测。

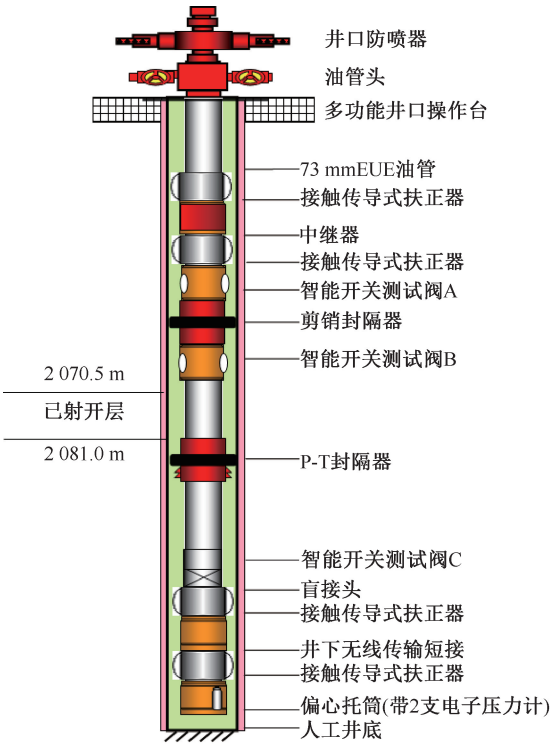


图 4 井下试验管柱结构示意图
Fig. 4 Structure diagram of downhole test string

两个阶段的井下存储式压力计数据回放曲线如图 5 所示,井下无线传输温度数据曲线如图 6 所示。

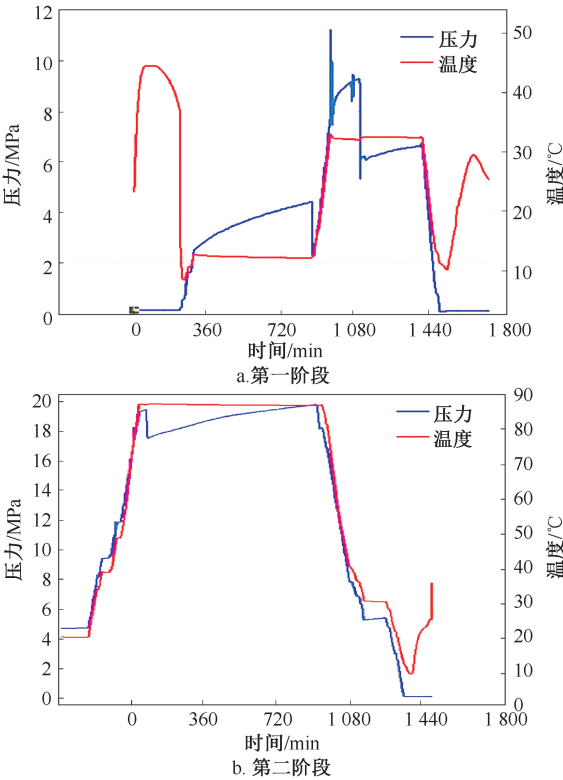


图 5 井下存储压力计实测压力温度曲线
Fig. 5 Pressure and temperature curve of underground storage pressure gauge

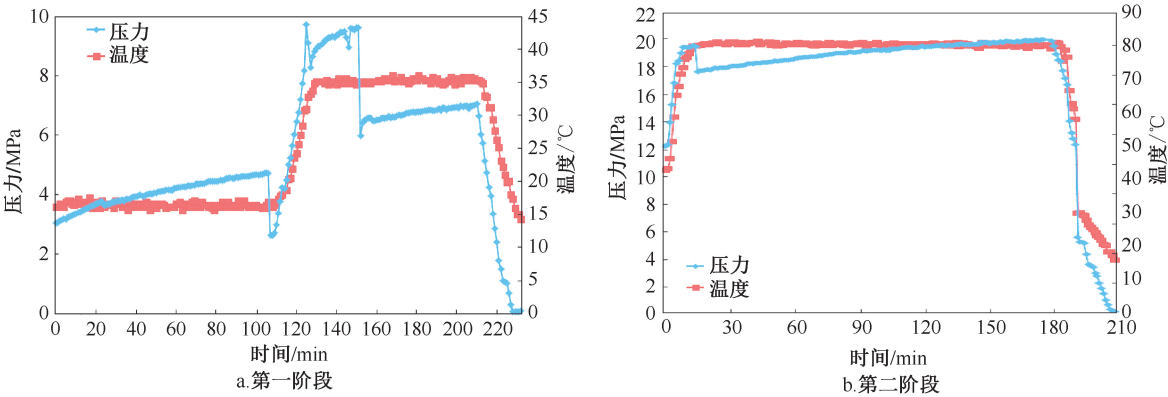


图 6 井下无线传输压力温度曲线
Fig. 6 Pressure and temperature curve of underground wireless transmission

对比结果表明(图 7),井下存储压力计实测数据与无线传输数据基本吻合,关键数据点曲线趋势

基本一致,信号清晰准确,成功验证了中继器的接收和传输功能。

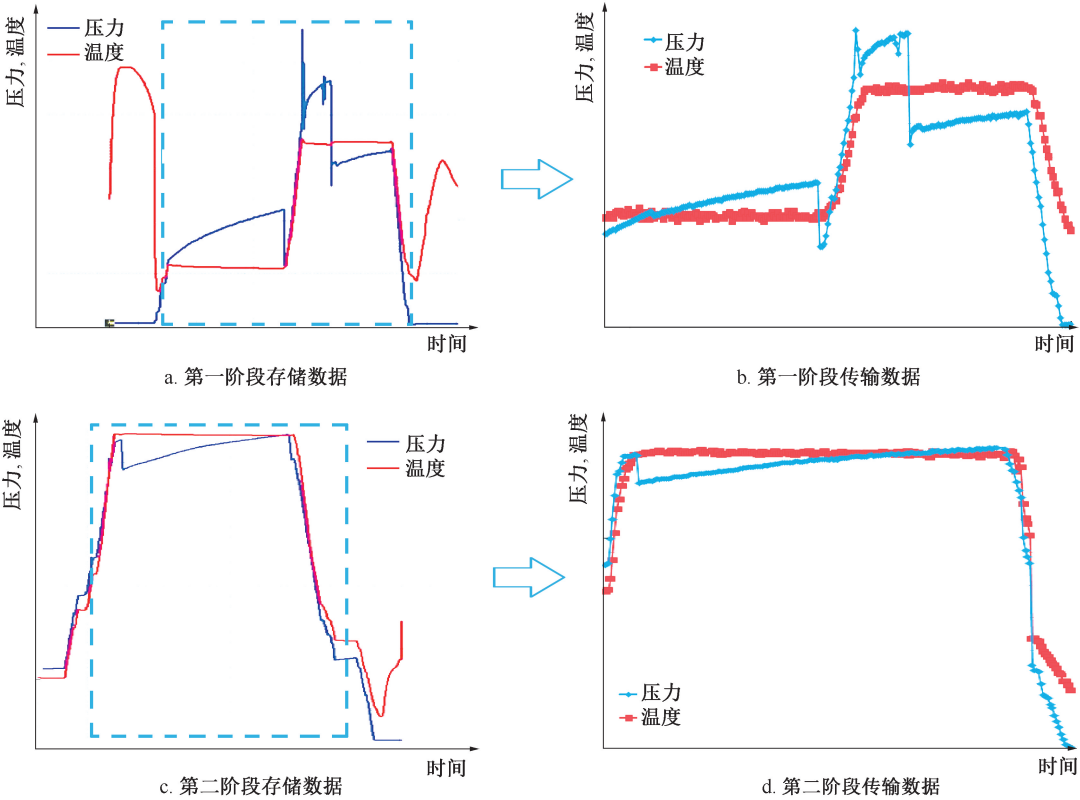


图 7 曲线变化趋势对比
Fig. 7 Comparison chart of curve change trend

4 结论

(1) 针对存储式压力计无法及时获取数据,电缆直读适应性差的问题,改进形成了超低频电磁波井下数据无线传输技术,解决了长期以来受制于信号传输强度低、干扰大等难于突破的技术难题。数据传输稳定可靠,为试油气井求产优化提供了技术支持。

- (2) 新型井下数据无线传输工具具有保养成本低、操作简单等特点,能满足水平井、大斜度井及 3 000 m 以内井深的复杂试油测试需求。
- (3) 与国外技术水平相比,目前新型井下数据无线传输工具的传输距离具有优势,但在传输速率与抗高温性方面还存在差距,工作时间也有待继续延长。
- (4) 井场内大型用电设备电磁噪声对该工具有

较大的干扰,降噪功能需进一步改善。

致谢:无线传输工具的研制和试验,以及论文撰写过程中,程晓刚,郑伦贵,程绍鹏,金磊,殷腾,徐月强等工程师给予了大力帮助,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 文浩,杨存旺. 试油作业工艺技术[M]. 北京:石油工业出版社,2002:48-63.
- [2] 郝静. 现代试井技术的实际应用[J]. 中国石油石化, 2016(S1):103.
HAO Jing. Practical application of modern well testing technology [J]. China Petrochem, 2016(S1):103.
- [3] 杨新辉,王盼,王晨,等. 存储式电子压力计在煤层气试井中的应用[J]. 陕西煤炭,2012,31(3):67-68,78.
YANG Xinhui, WANG Pan, WANG Chen, et al. Application of storage electronic pressure gauge in CBM well testing [J]. Shaanxi Coal, 2012,31(3):67-68,78.
- [4] 樊艳芳,田峰. 双直读电子压力计在塔河油田的应用[J]. 油气井测试,2004,13(4):70-72.
FAN Yanfang, TIAN Feng. Application of double read-out electronic gauges in Tahe Oilfield [J]. Well Testing, 2004,13(4):70-72.
- [5] 吴秋来,高硕,王军,等. 试井数据传输技术发展现状研究[J]. 油气井测试,2015,24(3):72-74.
WU Qiulai, GAO Shuo, WANG Jun, et al. Research on development status of well test data transmission technology [J]. Well Testing, 2015,24(3):72-74.
- [6] 吕新才,武汉振. 无线传输井下数据系统(WTD)在试井中的应用[J]. 油气井测试,1992,1(2):66-69.
LYU Xincal, WU Hanzhen. Application of wireless downhole data transmission system (WTD) in well test [J]. Well Testing, 1992,1(2):66-69.
- [7] 韩雄,庞东晓,王峰. 油气井试油作业数字井筒建设实践[J]. 油气井测试,2018,27(2):34-40.
HAN Xiong, PANG Dongxiao, WANG Feng. Construction of digital wellbore for well testing [J]. Well Testing, 2018,27(2):34-40.
- [8] 韩冲. 地层测试井下无线通信收发电路系统的设计与amp;设计[D]. 北京:中国石油大学(北京),2018.
HAN Chong. The research and design of the underground wireless communication transceiver circuit system [J]. Beijing: China University of petroleum (Beijing), 2018.
- [9] 李成,丁天怀. 油气井测试的井下远程遥测方式分析[J]. 油气井测试,2005,14(6):34-37.
LI Cheng, DING Tianhuai. Analysis of down-hole remote telemetry methods in oil well testing [J]. Well Testing, 2005,14(6):34-37.
- [10] 刘涛,朱礼斌,杨先辉,等. 基于电磁波的井下压裂无线传输信道性能分析研究[J]. 测井技术,2018,42(6):715-719.
LIU Tao, ZHU Libin, YANG Xianhui, et al. Performance analysis of downhole fracturing wireless transmission channel based on electromagnetic wave [J]. Well Logging Technology, 2018,42(6):715-719.
- [11] 胡长翠,张明友,张琴,等. 井下测试数据无线传输技术探讨[J]. 钻采工艺,2011,34(1):48-51.
HU Changcui, ZHANG Mingyou, ZHANG Qin, et al. Research on wireless telemetry technology of downhole test data [J]. Drilling & Production Technology, 2011,34(1):48-51.
- [12] 王雪飞,谭忠健,翟洪君,等. 海上探井测试交互式试井技术[J]. 油气井测试,2019,28(1):32-37.
WANG Xuefei, TAN Zhongjian, ZHAI Hongjun, et al. Interactive well test technology for offshore exploration wells [J]. Well Testing, 2019,28(1):32-37.
- [13] 田家兴,尹洪东,闫景富. 井下电磁传输发射装置设计研究[J]. 电子设计工程,2017,25(7):66-69,74.
TIAN Jiaxing, YIN Hongdong, YAN Jingfu. Research on the transmitting device for down-hole wireless electromagnetic transmission [J]. Electronic Design Engineering, 2017,25(7):66-69,74.
- [14] 朱坤,宋延拓,王俊武,等. 模块化地层测试器 RDT 工作原理及应用[J]. 国外测井技术,2013(5):51-54.
ZHU Kun, SONG Yantuo, WANG Junwu, et al. Working principle and application of the modular reservoir description tool RDT [J]. World Well Logging Technology, 2013(5):51-54.
- [15] 卢中原,范白涛,冯卫华,等. 井下短距无线数据传输系统的研发及应用[J]. 石油钻采工艺,2018,40(S1):164-166,170.
LU Zhongyuan, FAN Baitao, FENG Weihua, et al. Development and application of downhole short distance wireless data transmission system [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018,40(S1):164-166,170.

编辑 王 军

第一作者简介:姜楠,女,1988年出生,工程师,2016年毕业于东北石油大学石油工程专业,现从事科研管理工作。电话:0459-5682096,15045951571;Email:sk_jiangnan@pet-rochina.com.cn。通信地址:黑龙江省大庆市让胡路区银浪乘南十八街十八号试油试采分公司工程技术大队技术,邮政编码:163412。