

新型电缆控制分层测试技术

陈永昌¹, 郭发军², 田小川³, 魏鹏¹, 陈小琴², 郭常伟¹

1. 中国石油测井有限公司华北分公司 河北任丘 062552

2. 中国石油华北油田公司勘探开发研究院 河北任丘 062552

3. 中国石油华北油田公司开发事业部 河北任丘 062552

通讯作者: Email: chenyc001@cnpc.com.cn

项目支持: 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“华北油田持续有效稳产勘探开发关键技术研究与应用”(2017E-1512)

引用: 陈永昌, 郭发军, 田小川, 等. 新型电缆控制分层测试技术[J]. 油气井测试, 2020, 29(1): 53-59.

Cite: CHEN Yongchang, GUO Fajun, TIAN Xiaochuan, et al. A new cable control layered testing technology [J]. Well Testing, 2020, 29(1): 53-59.

摘要 为实现压力数据的实时传输和井下开关的灵活控制, 采用油管将封隔器、井下开关和压力计与工具一起下入目的层段, 用电缆将井下每层开关和压力计连接到一起, 并与地面仪器连接, 形成了新型电缆控制分层测试技术。该技术设计了压力平衡开关和防砂卡管柱, 通过电缆对井下开关发送指令, 压力计数据可在地面仪器上观察和记录。每一支开关和温度压力仪器都设置了独立的地址, 一次下井最多可以完成 16 段测试。新型电缆控制分层测试能够测量各层段地层压力和温度, 求取各层段渗流参数, 计算合采时各层产液量, 为油井提供合适的生产压差。该技术具有开关操作方便、压力温度数据直读等优势, 是测试技术的发展方向。

关键词 分层测试; 井下开关; 电缆控制; 地层压力; 生产压差; 产液量; 压力计

中图分类号: TE353 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.01.010

A new cable control layered testing technology

CHEN Yongchang¹, GUO Fajun², TIAN Xiaochuan³, WEI Peng¹, CHEN Xiaoqin², GUO Changwei¹

1. North China Branch, CPL, Renqiu, Hebei 062552, China

2. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China

3. Development Department, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China

Abstract: In order to realize the real-time transmission of pressure data and the flexible control of the downhole switch, the packer, a new cable control layered test technology is developed by transmitting packer, the downhole switch and the pressure gauge with the tools by tubing and connecting the switch and the pressure gauge of each layer by cable, which is connected with surface instruments. A pressure balance switch and a sand control stuck string are designed for this technology. It sends commands to the downhole switch by the cable. The pressure data can be observed and recorded on the ground instrument. Switch and temperature and pressure instrument of each layer are set up with a separate address, and up to 16 tests can be completed in one downhole. The new cable control stratification test can measure the formation pressure and temperature, and obtain the seepage parameters of each interval, calculate the liquid production volume of each layer during the combined mining of each interval. It provides the proper production pressure difference for the oil well. The technology has the advantages of convenient switch operation, direct reading of pressure and temperature data. It is the development direction of test technology.

Keywords: layered formation test; downhole switch; cable control; formation pressure; production pressure difference; liquid production; pressure gauge

对于多层合采采油井, 目前绝大多数情况下, 现场主要通过压力恢复或压力降落曲线获得全井段的平均压力及其它地质参数。然而, 其解释只能是全井各油层的平均参数^[1-4]。对于单层油井来说, 可以满足地质工程师的分析要求; 对于多层

合采的油井而言意义不大, 难以直接指导油田开发^[5-7]。为实现多层合采分层压力等测试, 国内外测试同行进行了大量研究工作^[8-11]。王桂杰等^[12]报道了油井多级智控分层测试技术, 该技术采用封隔器对产液层封隔, 开关井采用了定时方式。

孙京一等^[13]、曹雪梅等^[14]采用封隔器封隔油层,利用压力脉冲方式进行开关井控制。田泽芬等^[15]利用生产测井组合仪,采用变流量法、续流法,以及流量压力波动法计算分层压力。张立娜等^[16]、路春明等^[17]分别介绍了插管封隔器+滑套分层开关的分层测试技术。付建民等^[18]利用测试堵塞器、井下工具串及压力计实现了分层压力测试。刘伟等^[19]介绍了智能电控存储式油井分层测压仪的研制,其地面控制丢手机使仪器定位支臂支承在配产器定位机构上;利用自动坐封、解封控制及驱动模块来控制留在井下的坐封电机,实现测压仪的坐封、解封,油井单层静压和流压由压力计测试模块完成。王恒等^[20]介绍的 RFID 智能井下可控开关工具,是以电动液压作为动力来源的新型直通式井下可控开关工具,采用的是 RFID 射频通信技术控制井下开关工具的方法。王善聪等^[21]介绍了 DYMD-RS 太阳能井下压力温度永久系统,通过将压力计随生产管柱下入井下,以录取各层的静压、流压、压恢、压降、温度等资料。周治岳等^[22]介绍了 JCY-II 分采与测试一体化智能系统,它通过气控实现封隔器坐封,使用钢管电缆实现压力温度信号的传输。王新志等^[23]的无线分层测压技术采用智能开关器,既可以执行定时开关的动作也可以由下入井下的移动数据采集器发送指令控制;压力温度仪器既可以采用存储式方式工作也可以给移动数据采集器传输数据。综合分析以上技术,为了实现油水井分层测试,各层之间的封隔均采用了封隔器。分层测试开关则分为堵塞器、滑套、定时、压力脉冲、电信号等多种控制方式。压力计分为存储式和直读式两种,各有其特点。例如,定时控制测试和压力脉冲控制测试相对比较成熟。但是它们都各有其缺点:首先,两种控制方式的压力数据记录都是存储式的,不能做到实时观测压力数据;其次,两种测试的压力数据存储需要使用电池,电池有寿命限制;再者,对于定时控制压力测试,一旦仪器下井地面将无法改变测试程序。而压力脉冲控制方式每次改变井下开关状态都必须动用泵车。

本文介绍的电缆控制分层测试技术,井下开关可随时由地面发送命令来控制其打开或关闭;不使用电池,没有工作时间的限制;压力数据可以实时传送到地面系统;配合网络,还可以实现远程数据传输和远程控制开关的功能。

1 技术原理

如图 1 所示,用封隔器将油层分隔开,每一段安装开关和压力计,用电缆将井下每一个层的开关和压力计连接到一起,并且最终与地面仪器连接,地面仪器通过发送命令可以控制任意一个开关的打开或关闭。如果选择测试第一段,需要打开第一段的开关,关闭其它各段的开关,开启抽油机,待产量稳定后计量产液量和含水率。关闭开关,记录压力恢复数据,通过对数据的处理可以获得地层有效渗透率、表皮系数等参数。测试第二段的程序与测试第一段相同,只不过这时需要关闭其它层段,仅对第二段的开关进行打开和关闭的动作,同时记录第二段的压力恢复数据。其它层段的测试以此类推。

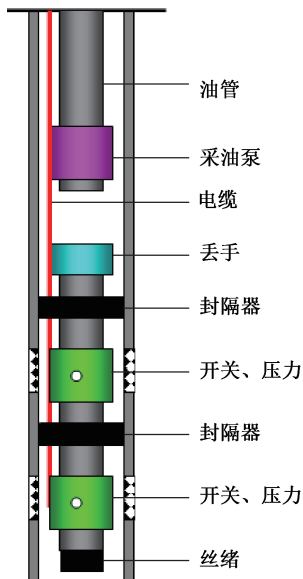


图 1 电缆分层测试原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of cable layered test

2 施工过程

电缆控制分层测试需要两次下入管柱。第一趟管柱为丢手管柱。它由若干个封隔器、开关压力仪器、油管和一个丢手构成。该管柱中丢手为投球式打压式丢手,封隔器为过线封隔器。电缆将每一段的开关和压力仪器连接到仪器。管柱下入过程中,同时下入了电缆。在丢手上面适当位置(井斜小于 50°)连接一根校深油管短接。管柱下入过程中,需要将开关全部打开。当管柱下到预定位置后,校深并调整管柱。关闭所有开关,井口打压使封隔器坐封。确定封隔器坐封后,投球打压使丢手脱开。观察油套环空是否有液体返出可以确定丢

手是否脱开。确定丢手脱开后提出丢手以上的管柱。

第二趟管柱为生产管柱。它由采油泵和油管构成。该管柱的下入深度应小于丢手深度。生产管柱下完后,在油管内下入抽油杆。安装抽油机可以进行测试。

管柱下入过程中,始终要观察下井仪器工作情况。一旦发现异常,应停止作业查找原因。

3 技术改进

本文介绍的电缆控制分层测试技术创立了用压力计算流量的方法、去掉了二次对接工艺、用常规封隔器实现过线的功能、改进了管柱结构、井下开关采用了压力平衡设计等。

3.1 压力计算流量

压差流量计存在漂移、涡轮流量计容易损坏。采用压力计算流量是一个新思路。

根据线性产能方程的表示式^[24],即

$$Q = J\Delta p = J(p_R - p_{wf})$$

式中: Q 为产量(或注入量), m^3/d ; J 为采油指数, $m^3/(d \cdot MPa)$; p_R 为地层压力,MPa; p_{wf} 为井筒流压,MPa。

通过控制产液量(或注入量),并且测量流量和流压,得到井筒流压为 p_{wf1} 时对应的产量 Q_1 ;井筒流压 p_{wf2} 时对应的产量 Q_2 。于是

$$Q_1 = J\Delta p_1 = J(p_R - p_{wf1})$$

$$Q_2 = J\Delta p_2 = J(p_R - p_{wf2})$$

由此得到:

$$J = \frac{Q_1 - Q_2}{p_{wf2} - p_{wf1}}$$

$$p_R = \frac{p_{wf2} - p_{wf1}}{Q_1 - Q_2} Q_1 + p_{wf1}$$

当井筒附近的流压为 p_{wf} 时,流量为

$$Q = J\Delta p = J(p_R - p_{wf}) = \frac{Q_2 - Q_1}{p_{wf2} - p_{wf1}} p_{wf} + Q_1 - \frac{Q_2 - Q_1}{p_{wf2} - p_{wf1}} p_{wf1} \quad (1)$$

式中的 p_{wf1} , p_{wf2} , Q_1 , Q_2 都是试验得到的数据。因此,通过测量井筒附近的流压 p_{wf} 就可以由(1)式求得流量 Q 。

对于指数式产能方程:

$$Q = J(p_R - p_{wf})^n$$

同样可以通过改变流量、测量流压的方式建立

流压与产量的关系。

3.2 无需二次对接

现用的电缆控制分层测试需要二次对接。其原理是,第一趟管柱上面有一个母插座,第二趟管柱下面有一个公插头。第二趟管柱与第一趟管柱对接后,也就是公、母插头座对接后,电缆才能接通。实际使用过程中发现,二次对接经常失败,影响作业成功率。本项工艺将电缆从最上一段的开关及压力计一直连接至井口,避免了二次对接的问题。

3.3 常规封隔器实现过线功能

如图2所示,本技术没有采用特制的过线封隔器,而是在常规封隔器的上、下端各加装一个电缆密封接头,从而解决了封隔器的过线问题。这样,省去了特制封隔器的设计。因此,可以选用成熟的、性能好的封隔器。这里所用封隔器是耐压35 MPa、带锚的逐级解封封隔器。由于封隔器自带锚,所以第一趟中不再需要单独连接金属锚。

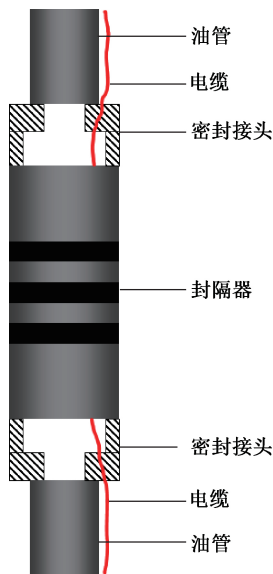


图2 封隔器过线示意图

Fig.2 Schematic diagram of the packer crossing

3.4 便于打捞

现用的电缆控制分层测试管柱管内有的部位有仪器,有的部位有母插座。这些部位一旦落井很难打捞。新型电缆控制分层测试管柱内通径为62 mm或50 mm。一旦出现管柱落井事故,可以使用打捞锚打捞。

3.5 压力平衡结构设计实现井下开关

现用的井下开关当压差超过15 MPa时,很难打开或关闭。本项研究设计的井下开关由于采用了压力平衡结构,开关的打开或关闭不受压差限制。实际试验压差为60 MPa时,开关工作正常。

该项创新已取得专利。

3.6 小直径四通接头设计

每一段都有压力计、开关两根引线,还有向上和向下的两条线。为了将这 4 根线连接在一起又与外界绝缘,需要有一个四通接头。本技术研制的四通接头直径仅为 22 mm,可以放置在油管外面,从而让出油管内部的通道用于测试或打捞。

4 施工风险及削减措施

电缆控制分层测试技术是一种全新的工艺,针对施工中存在的诸多风险,采取了相应的削减措施。

4.1 挤伤电缆

该项技术中油管外面自下而上都有电缆,如果施工不当或缺乏保护措施在油管下放或上提过程中很容易挤伤电缆,从而导致电缆短路或绝缘破坏。管柱下入或上提过程中至关重要,始终保持电缆有一定的张力。最好采用具有随动功能的绞车。如果采用常规绞车,一定要随着油管的下入和上提操作绞车,并且始终保持电缆被拉直,不能使电缆堆积。否则,可能挤伤电缆或造成管柱遇卡。

为了保护电缆,丢手以下每个接箍上都安装电缆保护卡子。最好将丢手设计在井斜 40° 以上的位置。丢手之上要连接油管扶正器。为了防止第一趟管柱起出时电缆缠绕油管,下管柱时每隔 500 m 要安装一个油管扶正器。

管柱上、下过程中,井口部分的电缆容易被碰伤。因此,需要在井口安装电缆保护器。

4.2 仪器故障

井下开关和压力计需要在井下高温、高压的环境下长时间工作。因此,要求仪器必须具备较高的可靠性。下井前,必须对仪器进行严格检查。地面上,需要对仪器进行温度压力试验。并且,要对仪器进行长时间通电检查。有条件的情况下最好对仪器进行下井试验。

4.3 砂卡管柱

对于出砂的井,建议采用杆式泵。采用一趟管柱将井下开关、封隔器、杆式泵支撑座下入井内。为了实现开关的控制和压力数据的传输,电缆同样从最下面一个开关连接到井口。管柱下到预定位置后,通过地面打压使封隔器坐封。在油管内下入杆式泵和抽油杆,地面面板控制井下开关的打开或关闭,从而进行分层测试。

由于第一个封隔器以上油管内外是隔离的,因

此第一个封隔器以上不可能产生积砂。为了防止下面的封隔器被砂卡,采取以下措施:

- (1) 开关直接与下面的封隔器连接,减少封隔器之上的积砂;
- (2) 封隔器上端设计了安全接头,一旦封隔器砂卡,可以提出安全接头以上的部分进行冲砂;
- (3) 封隔器的胶筒紧靠封隔器上端;
- (4) 采用逐级解封封隔器。

5 现场应用

分层测试中每一段都有一支温度压力仪器和一个开关,通过打开或关闭开关以及记录压力、温度数据,可以获得诸多参数。本文以赵 X-8 井为例加以介绍。

5.1 测量各层段地层压力温度

赵 X-8 井位于断块构造的高部位,开发层位属于 Es3 II 油组。井深 2 316.0 m,最大井斜 55°,套管外径 139.7 mm。该井分为两个层段进行分层测试:第 I 段 2 185.0~2 197.0 m;第 II 段 2 235.2~22 470 m。开关关闭并且稳定一个时期后,测得两段的温度和压力数值见表 1。

表 1 赵 X-8 井两段温度和压力数据表
Table 1 Temperature and pressure data of each section in Zhao X-8 Well

层段	深度/m	压力/MPa	温度/℃
I	2 166.5	18.5	71.3
II	2 201.4	19.1	75.2

5.2 求取各层段渗流参数

开泵生产一周左右的时间后,分别关闭第 I 段、第 II 段的开关,得到两段的压力恢复数据。通过压力恢复试井分析(图 3、图 4),得到地层有效渗透率、表皮系数、井筒储存系数、流动系数等参数(表 2)。

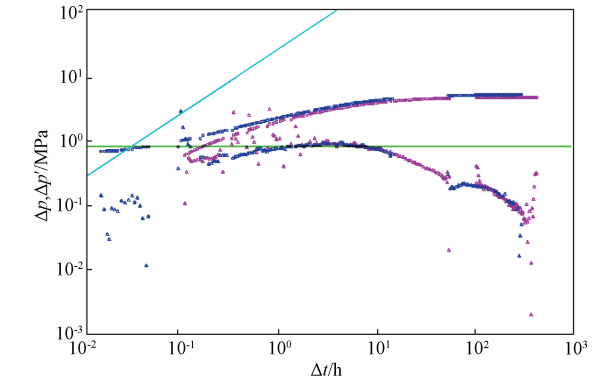


图 3 第 I 段压力恢复试井双对数拟合曲线
Fig.3 Double logarithm fitting curve of pressure build-up test in the first section

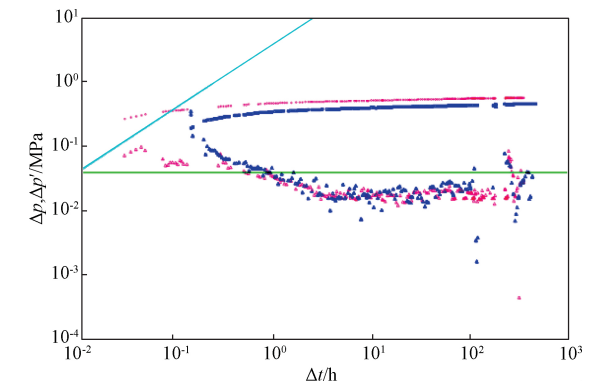


图 4 第Ⅱ段压力恢复井双对数拟合曲线

Fig.4 Double logarithm fitting curve of pressure build-up test in the second section

表 2 赵 X-8 井部分测试参数

Table 2 Some test parameters of Zhao X-8 Well

层段	K/mD	$C/(\text{m}^3 \cdot \text{MPa}^{-1})$	S	$Kh/\mu/(\text{mD} \cdot \text{m} \cdot (\text{mPa} \cdot \text{s})^{-1})$
上层	2.43	0.061	-3.3	46.58
下层	50.46	0.050	-1.8	1 190.80

5.3 提供合适的工作制度

合采情况下,通过改变油井的工作制度可以求得每一种工作制度下各层段的压力,再根据(1)式,计算出合采时每一层段的产液量。表 2 是赵 X-8 井在工作制度为 3.5 次/min/5 m 情况下,分层生产时得到的数据。表 3 是该井合采变工作制度下测量和计算得到的数据。

表 3 赵 X-8 井分层压力及产液量数据

Table 3 Stratified pressure and liquid production data of Zhao X-8 Well

层段	地层压力/MPa	流压/MPa	产液/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$
上层	18.5	13.3	41.3
下层	19.1	18.6	49.6

从表 4 可以看出,在工作制度为 3.2 次/min/5 m 的情况下,上层的产量仅为 0.8 m³/d;当工作制度调整为 2.1 次/min/5 m 的情况下,上层出现了倒灌现象。为了使合采时两层都有贡献,建议此井的最小工作制度为 3.2 次/min/5 m。实际生产中,赵 X-8 井采用了 3.5 次/min/5 m 的工作制度。

表 4 赵 X-8 井不同工作制度下分层压力及产液量数据

Table 4 Stratification pressure and liquid production data under different working systems of Zhao X-8 Well

工作制度/ (次·(min·5 m) ⁻¹)	合采产液量/ (m ³ ·d ⁻¹)	上层		下层	
		流压/ MPa	产液/ (m ³ ·d ⁻¹)	流压/ MPa	产液/ (m ³ ·d ⁻¹)
3.2	49	18.5	0.8	18.61	48.2
2.1	34	18.7	-0.8	18.76	34.0

5.4 了解分层测试井与注水井间的连通情况

通过在分层测试井周围的注水井中停止注水、开始注水和改变注水量,记录分层测试井的压力曲线,可以确定注水井与测试井的连通情况等信息。赵 X-5 是与赵 X-8 相邻的注水井。通过在赵 X-5 井改变注入量,得到赵 X-8 井上、下层的压力曲线如图 5、图 6 所示。赵 X-5 井注水流程为:注水(激动量)200 m³/d→停止注水→注水(激动量)150 m³/d→停止注水→注水(激动量)100 m³/d→停止注水→注水(激动量)50 m³/d→停止注水。

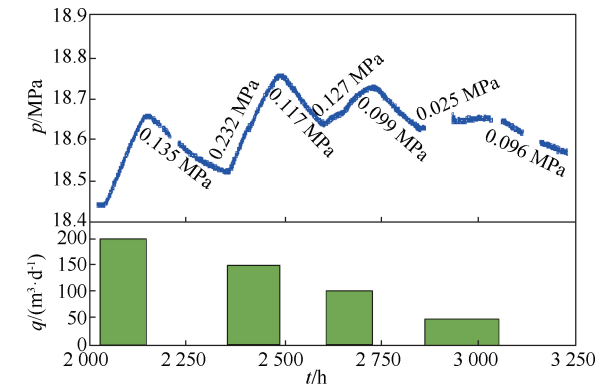


图 5 赵 X-8 井上层压力曲线

Fig.5 Upper layer pressure curve of Zhao X-8 Well

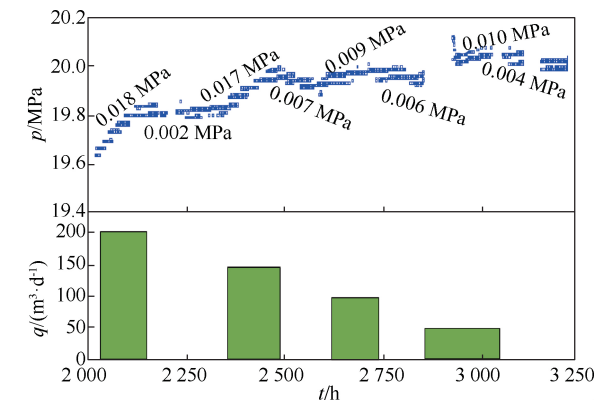


图 6 赵 X-8 井下层压力曲线

Fig.6 Lower layer pressure curve of Zhao X-8 Well

由图 5、图 6,可以得出如下结论:

(1)随着赵 X-5 井注水的变化,赵 X-8 井两个层段压力均有相应的变化。因此,两口井具有很好的连通性。

(2)上部层段干扰波要强于下部层段。上部层段激动量小于 100 m³/d,压力响应值明显减小;而当激动量为 50 m³/d 时,上层的响应仅为 150 m³/d 时的 1/10,即 0.025 MPa。这表明,赵 X-5 井的注水量至少要大于 50 m³/d 时,才能使油井赵 X-8 井受效。

6 结论

(1) 电缆控制分层测试具有开关操作方便, 压力温度数据直读等优势。

(2) 本文所介绍的新型电缆控制分层测试技术增加了分层流量计算, 研制了压力平衡式开关, 并且对多项技术进行了改进, 使得电缆控制分层测试技术又有了新的提高。

(3) 目前, 该技术仍存在施工费用高等问题, 还需进一步开发。

(4) 电缆控制分层测试适用于直井、大斜度井、水平井的分层测试, 是测试技术的发展方向。

致谢: 感谢中国石油测井有限公司华北分公司、华北油田公司勘探开发研究院和开发事业部同意本文公开发表; 感谢大港油田测试公司王庆总工程师、林作华、诸葛月英、宁卫东等人在测试资料解释、施工总结、论文修改等方面做出的贡献。

参考文献

- [1] 杨学锋, 刘义成, 李进, 等. 两层组气藏分采、合采效果和开采方式优选[J]. 天然气工业, 2012, 32(1): 57-60.
YANG Xuefeng, LIU Yicheng, LI Jin, et al. Effect of separate layer recovery or multilayer commingled production and the optimal selection of development methods for two-layer gas reservoirs [J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(1): 57-60.
- [2] 陈仲良, 王怒涛, 呈皇辉, 等. 有关多层合采和斜井的试井解释[J]. 油气井测试, 2017, 26(3): 29-32.
CHEN Zhongliang, WANG Nutao, CHENG Huanghui, et al. Well Test Interpretation about Multilayer Commingled and Inclined Well [J]. Well Testing, 2017, 26(3): 29-32.
- [3] 刘洪杰. 常规油藏多层合采层间干扰系数确定新方法[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(5): 80-82.
LIU Hongjie. New determination method of interlayer interference coefficient among commingling production layers in conventional reservoirs [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2013, 27(5): 80-82.
- [4] 张臣. 海上多层常规稠油油藏层间干扰影响因素研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2015.
ZHANG Chen. Study on the influencing factors of interlaminar interference in offshore multi-layer conventional heavy oil reservoir [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2015.
- [5] 张平, 石金华. 抽油井分层测压技术及其应用[J]. 科技成果纵横, 2006(4): 89, 91.
ZHANG Ping, SHI Jinhua. Stratified pressure measurement

technology and its application in pumping well [J]. Perspectives of Scientific and Technological Achievement, 2006(4): 89, 91.

- [6] 张洪亮, 陈金峰, 刘镇领, 等. 电缆分层测压工艺技术与资料解释评价研究[J]. 油气井测试, 2016, 25(3): 27-31.
ZHANG Hongliang, CHEN Jinfeng, LIU Zhenling, et al. Cable layered pressure testing technology and data interpretation evaluation research [J]. Well Testing, 2016, 25(3): 27-31.
- [7] 周胜民, 王淑环, 管晓生, 等. 分层压力测试资料在油田开发中的应用[J]. 国外油田工程, 2006, 22(5): 45-46.
ZHOU Shengmin, WANG Shuhuan, GUAN Xiaosheng, et al. Application of the lamination pressure monitoring data in oilfield development [J]. Foreign Oilfield Engineering, 2006, 22(5): 45-46.
- [8] 郭旭光, 潘彦珍, 郭小群, 等. 分层测压技术在油田开发中的应用[J]. 石油地质与工程, 2009, 23(1): 85-87.
GUO Xuguang, PAN Yanzhen, GUO Xiaoqun, et al. Application of stratified pressure measurement in oilfield development [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2009, 23(1): 85-87.
- [9] 刘立强, 裴晓丽, 潘星, 等. 利用堵塞式压力计进行分层测压的研究与应用[J]. 石化技术, 2015, 22(7): 191.
LIU Liqiang, PEI Xiaoli, PAN Xing, et al. Research and application of layered pressure measurement by using the plug type pressure gauge [J]. Petrochemical Industry Technology, 2015, 22(7): 191.
- [10] 谷亚贞, 卢建恒, 杨芳, 等. 开发后期分层测压技术的试验与评价[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2011, 33(6): 345-347.
GU Yazhen, LU Jianheng, YANG Fang, et al. Test and evaluation of zoning pressure detection at the late stage of oilfield development [J]. Journal of Oil and Gas Technology (J. JPI), 2011, 33(6): 345-347.
- [11] 于学军, 刘鹰, 宋杰. 分层测压资料在油藏工程中的应用研究[J]. 油气井测试, 2004, 13(4): 30-33.
YU Xuejun, LIU Ying, SONG Jie. Application study for pressure testing data in reservoir engineering [J]. Well Testing, 2004, 13(4): 30-33.
- [12] 王桂杰, 刘涛. 油井多级智控分层测试技术[J]. 油气井测试, 2009, 18(2): 59-61.
WANG Guijie, LIU Tao. Technology of multistage intelligence controlled separate layer oil well testing [J]. Well Testing, 2009, 18(2): 59-61.
- [13] 孙京一, 苑艳普. 找卡水一体化技术在秦家屯油田的应用[J]. 油气井测试, 2013, 22(5): 54-55.

- SUN Jingyi, YUAN Yanpu. Application of finding and plugging water integrated technology in Qinjiatun Oilfield [J]. Well Testing, 2013,22(5):54-55.
- [14] 曹雪梅,李文波,孙骞. 水平井不动管柱换层段开采工艺技术[J]. 油气井测试,2004,13(6):28-30.
- CAO Xuemei, LI Wenbo, SUN Qian. Horizontal well production technology without well-pulling job in Shengli Oilfield [J]. Well Testing, 2004,13(6):28-30.
- [15] 田泽芬,杨道轩,陈必威. 合采油井分层压力多种测试方法研究与应用[J]. 化学工程与装备,2011(1):170-173.
- TIAN Zefen, YANG Daoxuan, CHEN Biwei, et al. Research and application of various testing methods for stratified pressure of combined reduction wells [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2011(1):170-173.
- [16] 张立娜,杨文领,张恒,等. 青海涩北气田分层开采技术研究[J]. 石油机械,2013,41(7):94-97,101.
- ZHANG Lina, YANG Wenling, ZHANG Heng, et al. Research on selective zone production technology in Sebei Gasfield of Qinghai [J]. China Petroleum Machinery, 2013,41(7):94-97,101.
- [17] 路春明,尉亚明,冯胜利,等. 青海涩北气田分层开采工艺技术的发展与应用[J]. 新石油天然气,2008,4(增刊):178-181.
- LU Chunming, WEI Yaming, FENG Shengli, et al. Development and application of stratified production technology in Sebei gas field, Qinghai[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2008,4(S):178-181.
- [18] 付建民,冯卫华,马长亮,等. 渤海油田井下关井测压工艺技术[J]. 油气井测试,2018,27(5):61-65.
- FU Jianmin, FENG Weihua, MA Changliang, et al. Downhole shut-in pressure measuring technology in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2018,27(5):61-65.
- [19] 刘伟,徐德奎,姜春雷. 智能电控存储式油井分层测压仪研制[J]. 化工自动化及仪表,2011,38(5):540-542.
- LIU Wei, XU Dekui, JIANG Chunlei. Stratified pressure instrument development for intelligent electronic-controlled oilwell [J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2011,38(5):540-542.
- [20] 王恒,白玉新,黄建平,等. RFID 智能可控开关工具在试油分层测试中的应用[J]. 石油管材与仪器,2017,3(5):74-78.
- WANG Heng, BAI Yuxin, HUANG Jianping, et al. Application of RFID intelligent controllable switching tool in oil separate layer test [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2017,3(5):74-78.
- [21] 王善聪,赵玉,李江涛,等. 三层分采及分层测压技术在涩北气田的应用研究[J]. 天然气地球科学,2007,18(2):307-311.
- WANG Shancong, ZHAO Yu, LI Jiangtao, et al. Application of triple production and stratification pressure testing techniques in Sebei gas reservoir [J]. Natural Gas Geoscience, 2007,18(2):307-311.
- [22] 周治岳,刘俊丰,温中林,等. 涩北气田多层合采井分层测试技术[J]. 油气井测试,2019,28(2):20-26.
- ZHOU Zhiyue, LIU Junfeng, WEN Zhonglin, et al. Separate pressure testing technique for commingling production wells in Sebei gas field [J]. Well Testing, 2019,28(2):20-26.
- [23] 王新志,马宏伟,沈威,等. 智能无线分层测压找水卡堵水工艺及工具设计[J]. 石油矿场机械,2018,47(5):38-42.
- WANG Xinzhi, MA Hongwei, SHEN Wei, et al. Layered wireless pressure measurement of water detection and plugging technology [J]. Oil Field Equipment, 2018,47(5):38-42.
- [24] 廉庆存. 油藏工程[M]. 北京:石油工业出版社,2006:38-40.

编辑 王 军

第一作者简介:陈永昌,男,1961年出生,教授级高级工程师,1983年毕业于河北大学物理系光学专业,从事生产测井、分层采油及测试研究工作。电话:0317-2700949,13803250425;Email:chenyc001@cnpc.com.cn。通信地址:河北省任丘市渤海东路002号中国石油集团测井有限公司华北分公司,邮政编码:062552。