

JZ25-1S 油田水平井控制压力钻井技术

李军伟¹, 曹式敬¹, 宋林松¹, 付建民², 吴 光³

(1. 中海油田服务股份有限公司, 北京 101149; 2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452; 3. 中国石油川庆钻探工程有限公司钻采工程技术研究院, 陕西西安 710021)

摘 要: JZ25-1S 油田水平井在钻进过程中, 随着水平段长度增长会发生井漏问题, 为此应用了控制压力钻井技术, 控制井底循环压力低于地层漏失压力来解决该问题。首先根据地层漏失压力、井底循环压力和单位井段环空压力损失, 计算井斜角 90°时的安全钻进水平段长度, 如果该水平段长度不符合开发要求, 则再根据油气层厚度、油水界面、产层以上井段循环压力以及单位井段环空压力损失, 计算安全钻进的最大井段长度和最大井斜角。JZ25-1S 油田 JZ25-1S-A17 井水平段井斜角为 90°时, 安全钻进水平段长度只有 965.00 m, 通过计算得知, 如果产层井段井斜角不大于 86.67°便可以增加产层段长度, 从而提高单井产量。实钻表明, 该井控制产层井段井斜角不大于 86.67°, 使产层井段长度达到 1 068.00 m, 且未出现井漏。表明该方法能有效解决 JZ25-1S 油田水平井段钻进过程中, 随水平段增长发生漏失的问题。

关键词: 控制压力钻井 水平井 环空压力 井斜角 JZ25-1S 油田

中图分类号: TE249; TE243⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2013)02-0119-04

Managed Pressure Drilling Technique for Horizontal Wells in JZ25-1S Oilfield

Li Junwei¹, Cao Shijing¹, Song Linsong¹, Fu Jianmin², Wu Guang³

(1. CNOOC Services Limited, Beijing, 101149, China; 2. CNOOC Tianjin Branch, Tianjin, 300452, China; 3. Chuanqing Drilling & Production Engineering Research Institute, Chuanqing Drilling Engineering Co. Ltd., CNPC, 710021, China)

Abstract: In order to deal with the loss of circulation caused by extension of horizontal section, Managed pressure drilling was applied to keep downhole circulating pressure under leak-off pressure during drilling. Allowable length of horizontal hole section with 90° inclination was calculated based on leak-off pressure, downhole circulating pressure and annular pressure loss in each meter of hole. If above length can't meet the requirements of development, the longest horizontal length and inclination angle are calculated for safe drilling according to the thickness of pay zone, depth of oil-water contact, circulating pressure above pay zone, and annular pressure loss for each meter of hole. It was predicted that horizontal well length for safety drilling was only 965 m for Well JZ25-1S-17 in JZ25-1S Oilfield. To enhance the well yield, it was estimated that length of hole could be extended in pay zone with less than 86.67° inclination. Actually with the well inclination controlled under 86.67°, the well length in pay zone reached to 1068 m without fluid loss. It showed that the method could effectively prevent the loss of circulation caused by extension of horizontal section while drilling.

Key words: managed pressure drilling, horizontal well, annulus pressure, deviation angle, JZ25-1S Oilfield

JZ25-1S 油田位于渤海辽东湾海域, 属于古潜山油藏, 埋深 1 700.00~2 200.00 m, 地层压力系数为 1.00, 地层漏失压力系数约为 1.05, 钻井液安全密度窗口很窄。为扩大与油藏的接触面积、提高单

收稿日期: 2011-01-24; 改回日期: 2013-02-25。

作者简介: 李军伟(1976—), 男, 陕西西安人, 2002 年毕业于中国地质大学(北京)石油工程专业, 主要从事钻井方面的工作。

联系方式: (022)66919251, lijw@cosl.com.cn。

井产量,该油田采用水平井进行开发。在水平井钻井过程中,由于钻井液安全密度窗口窄,易发生漏失。控制压力钻井能精确控制整个井眼环空的压力分布,通过调整钻井循环介质的密度和流变性、井口压力、钻速等使环空压力处于很小的波动范围内,适用于钻井液安全密度窗口窄的地层^[1-12]。因此,该油田在水平井中应用了控制压力钻井技术。为防止钻进过程中发生漏失,其关键在于控制井底循环压力低于地层漏失压力。为此,笔者通过计算安全钻进水平段长度和安全钻进最大井斜角,以控制井底循环压力不高于地层漏失压力。

1 钻井技术难点

1.1 钻井液安全密度窗口窄

根据已钻井 DST 资料分析,JZ25-1S 油田古潜山油藏压力系数约为 1.00,属正常压力系统。从其压力剖面(见图 1)看,钻井液安全密度窗口较宽,但在实钻过程中出现了非常严重的漏失。经过对多口井的实际漏失情况进行对比和计算,认为漏失压力系数为 1.05,钻井液安全密度窗口很窄。该油田储层段地层坍塌压力小于地层压力,井壁较为稳定,利于应用控制压力钻井技术。

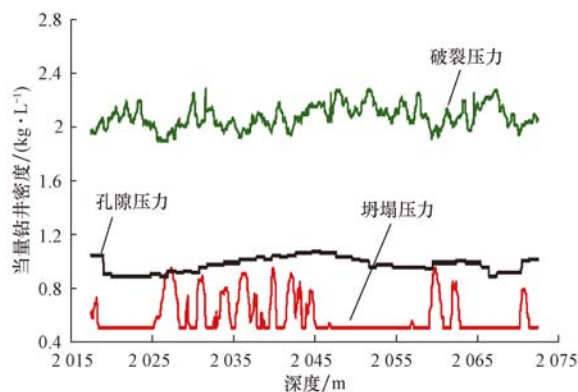


图 1 JZ25-1S-3 井压力剖面

Fig. 1 Pressures profile in Well JZ25-1S-3

1.2 钻井液密度制约

为配合控制压力钻井,JZ25-1S 油田应用了水包油钻井液。考虑到海上作业安全要求高,采用低毒性、闪点高的白油降低钻井液密度。随着钻井液中白油含量升高,钻井液越来越易燃,严重威胁钻井安全,因此控制白油含量不高于 46%,钻井液密度下限为 0.93 kg/L。这样钻井液的静液柱压力与地层漏失压力的当量密度差仅为 0.12 kg/L,大大限

制了压力控制范围。

1.3 产层埋藏深

JZ25-1S 油田太古界古潜山层埋藏较深,产层以上井段较长,上部井段沿程压力损失较大。经计算,产层以上井段沿程压力损失系数约为 0.08,按照钻井液密度 0.93 kg/L 计算,实际钻井液安全密度窗口仅为 0.04。

1.4 水平井段易漏失

水平井段钻进过程中,随着水平段的生长,由于同一垂深的地层漏失压力一定,井底循环压力会逐步接近地层漏失压力,最终发生漏失(见图 2)。JZ25-1S 油田已钻水平井的水平段钻进过程中已经出现过该现象。如 JZ25-1-30h 井由于严重漏失而提前完钻;JZ25-1-25h 井最大漏失速度超过 40 m³/h,累计漏失钻井液超过 800 m³。

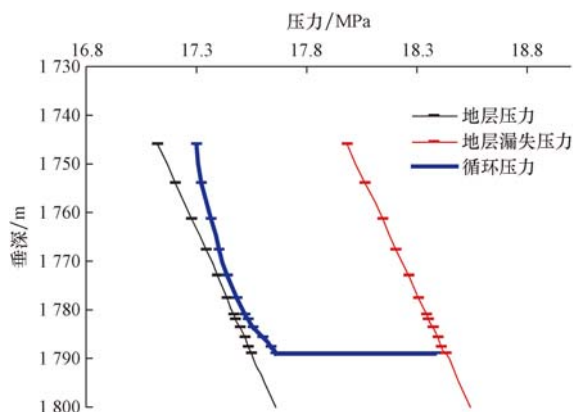


图 2 水平井钻进作业环空压力剖面

Fig. 2 Annular pressure profile while drilling horizontal well

2 技术措施

JZ25-1S 油田水平段钻进过程中,井底循环压力会随着水平段的生长而增大。为防止井底循环压力随水平段增长接近或大于地层漏失压力,应首先计算井斜角为 90°时的安全钻进水平段长度,如果计算出的安全钻进水平段长度不符合开发要求,就要根据油层情况调整水平段的垂深和产层井段的井斜角。

2.1 安全钻进最大水平段长度

井斜角为 90°时的安全钻进水平段长度计算公式为:

$$L = (9\ 810\rho_L H_A - p_{cc})/p_{per} \quad (1)$$

式中: L 为最大水平段长度, m; ρ_L 为地层漏失压力当量钻井液密度, kg/L; H_A 为 A 点的垂深, m; A 点为水平井段的起点; p_{cc} 为 A 点的循环压力, Pa; p_{per} 为裸眼井段单位长度环空压力损失, Pa/m。

2.2 安全钻进最大井斜角

当开发要求水平段长度大于井斜角为 90° 时的安全钻进水平段长度时, 为防止井底循环压力大于地层漏失压力, 就要根据油层情况调整水平段的垂深和实施井段的井斜角。最大实施井段的长度为:

$$X = [9\ 810\rho_L (H_A + \Delta h) - p_{cc} - 9\ 810\rho_m \Delta h]/p_{per} \quad (2)$$

安全钻进最大井斜角为:

$$\theta = 180\arccos(\Delta h/X)/\pi \quad (3)$$

式中: X 为最大实施井段长度, m; ρ_m 为钻井液密度, kg/L; Δh 为允许的垂深增量, m; θ 为安全钻进时的最大井斜角, $(^\circ)$ 。

2.3 压力控制措施

为保障井底循环压力始终低于漏失压力, 还可采取以下措施: 1) 在保证井下安全的前提下, 尽可能降低钻井液密度; 2) 严格控制井斜角, 严禁超过安全钻进最大井斜角; 3) 尽量保持钻速恒定, 避免环空岩屑过多造成环空压力激增; 4) 保持排量恒定, 并尽可能保持钻井液流变性能稳定, 确保井底循环压力随钻进井段的延长稳定增长。

3 现场应用

JZ25-1S 油田的多数水平井在井斜角为 90° 且水平段长度超过安全钻进水平段长度后都出现了漏失, 并且随着水平段增长漏失愈加严重。除少数井钻井液密度偏高出现漏失外, 多数井在安全钻进水平段长度范围内或井斜角小于安全钻进时的最大井斜角情况下钻进未出现漏失。笔者现以 JZ25-1S-A17h 井为例介绍控压钻井技术在该油田的应用情况。

已钻井统计分析表明, JZ25-1S 油田古潜山油层 $\phi 215.9$ mm 井眼环空单位长度压力损耗 700 Pa/m。依据靶点设计, A 点垂深 1 723.00 m, 循环压力 17.07 MPa, 地层漏失压力 17.74 MPa, 则自 A 点起井斜角 90° 时的安全钻进水平段长为 965.00 m。该井古潜山油层厚度超过 100 m, 油水界面以上储层

厚度 62.00 m。为最大延伸储层井段长度, 水平段垂深增加 62.00 m, 利用式(2)和式(3)计算出其安全钻进最大井段长度为 1 070.00 m, 安全钻进最大井斜角为 86.67° 。

实钻时使用了密度 0.93 kg/L 的钻井液, 先增斜至 86.00° 左右, 保持地层漏失压力随垂深增长的同时稳斜钻进 437.00 m, 之后增斜至 90.00° , 在井底循环压力接近地层漏失压力时完钻(见表 1), 整个钻进过程中未出现漏失。完钻时, 产层井段长达 1 068.00 m, 投产后产油量达到 1 590 m³/d, 大大超出预期。

表 1 JZ25-1S-A17h 井实钻产层井段井斜角及压力

Table 1 Incline & pressure data in Well JZ25-1S-A17h

井深/m	垂深/m	井斜角/ ($^\circ$)	井底地层 压力/MPa	井底漏失 压力/MPa	井底循环 压力/MPa
2 325.00	1 723.00	76.60	16.903	17.748	17.072
2 334.00	1 725.00	77.90	16.922	17.768	17.082
2 364.00	1 730.00	81.20	16.971	17.820	17.118
2 393.00	1 734.00	83.90	17.011	17.861	17.153
2 422.00	1 738.00	82.30	17.050	17.902	17.188
2 507.00	1 747.00	85.10	17.138	17.995	17.290
2 537.00	1 750.00	85.80	17.168	18.026	17.326
2 683.00	1 756.00	85.90	17.226	18.088	17.501
2 741.00	1 762.00	86.10	17.285	18.149	17.571
2 828.00	1 766.00	85.50	17.324	18.191	17.675
2 914.00	1 774.00	83.90	17.403	18.273	17.778
2 944.00	1 776.00	86.47	17.423	18.294	17.814
2 973.00	1 778.00	88.30	17.442	18.314	17.849
3 088.00	1 780.00	87.10	17.462	18.335	17.987
3 207.00	1 785.00	88.70	17.511	18.386	18.130
3 293.00	1 785.00	90.00	17.511	18.386	18.233
3 393.00	1 785.00	90.00	17.511	18.386	18.353

4 结论及建议

1) 对于压力窗口窄的储层, 井底循环压力随水平段增长可能发生漏失, 因此应根据地层漏失压力和井底循环压力确定安全钻进最大水平段长度。

2) 对于压力窗口窄、油层厚度大, 水平段垂深调整范围大的水平井, 通过调整水平段垂深和油层井段的井斜角, 可延长油层井段的长度, 有助于扩大油井与油层的接触面积, 提高单井产量。

参 考 文 献

References

- [1] 刘超, 周玉海, 吴红玲, 等. 控制压力钻井技术在衡 6 井的应用[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(9): 34-37.

- Liu Chao, Zhou Yuhai, Wu Hongling, et al. Application of MPD technology to Heng 6 Well [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(3): 34-37.
- [2] Nauduri S, Medley G H, Schubert J J. MPD: beyond narrow pressure windows[R]. IADC/SPE 122276, 2009.
- [3] 向雪琳, 朱丽华, 单素华, 等. 国外控制压力钻井工艺技术[J]. 钻采工艺, 2009, 32(1): 27-30.
Xiang Xuelin, Zhu Lihua, Shan Suhua, et al. Foreign managed pressure drilling technology[J]. Drilling & Production Technology, 2009, 32(1): 27-30.
- [4] 严新新, 陈永明, 燕修良. MPD 技术及其在钻井中的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2007, 30(2): 62-66.
Yan Xinxin, Chen Yongming, Yan Xiuliang. MPD and its application to drilling[J]. Natural Gas Exploration & Development, 2007, 30(2): 62-66.
- [5] 周英操, 崔猛, 查永进. 控压钻井技术探讨与展望[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(4): 1-4.
Zhou Yingcao, Cui Meng, Zha Yongjin. Discussion and prospect of managed pressure drilling technology[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(4): 1-4.
- [6] 王果, 樊洪海, 刘刚, 等. 控制压力钻井技术应用研究[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(1): 34-38.
Wang Guo, Fan Honghai, Liu Gang, et al. Application of managed pressure drilling technique[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(1): 34-38.
- [7] 杨雄文, 周英操, 方世良, 等. 国内窄窗口钻井技术应用对策分析与实践[J]. 石油矿场机械, 2010, 39(8): 7-11.
Yang Xiongwen, Zhou Yingcao, Fang Shiliang, et al. Strategy analysis of narrow window drilling technology and practice[J]. Oil Field Equipment, 2010, 39(8): 7-11.
- [8] Arnone M, Vieira P. Drilling wells with narrow operating windows applying the MPD constant bottom hole pressure technology-how much the temperature and pressure affects the operation's design[R]. IADC/SPE 119882, 2009.
- [9] 张桂林. 土库曼斯坦亚苏尔哲别油田控压钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(6): 37-41.
Zhang Guilin. Application of managed pressure drilling technology in Azorse Area, Turkmenistan [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(6): 37-41.
- [10] 孙凯, 梁海波, 李黔, 等. 控压钻井泥浆帽设计方法研究[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(1): 36-39.
Sun Kai, Liang Haibo, Li Qian, et al. Research mud on cap design of managed pressure drilling [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(1): 36-39.
- [11] 李宗清, 燕修良, 陈永明, 等. 三参数自动控压钻井系统的研制与试验[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(6): 99-103.
Li Zongqing, Yan Xiuliang, Chen Yongming, et al. Development and test of three-parameter automatic pressure control drilling system[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(6): 99-103.
- [12] 杨雄文, 周英操, 方世良, 等. 控压钻井分级智能控制系统设计与室内试验[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(4): 13-18.
Yang Xiongwen, Zhou Yingcao, Fang Shiliang, et al. Design and laboratory test of hierarchical intelligent control system for managed pressure drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(4): 13-18.

用于油藏监测的新型井眼瞬变电磁测量系统

采用水驱、蒸汽驱和化学驱驱油过程中常造成油藏流体组分的变化,而现有的井间电磁测井技术虽然可以测量注入流体引起的井间电阻率变化,但其测量范围限于井间区域。为此,Backer Hughes 公司正在研发一种新型井眼油藏监测技术——瞬变电磁测量系统(TEM)。该系统可以测量不同区域地层的电阻率,优于现有井间电磁技术采用的连续波测量方法。

TEM 由发射线圈和接收线圈组成。测量时,给发射线圈通足够长时间的直流电(直至通电造成的瞬态效应消失),产生静态一次磁场。然后,突然关闭电流,在地层中产生电动势脉冲,脉冲的幅度和持续时间由发射电流/一次磁场的变化率决定。电动势在地层中产生涡流,地层电阻率使发射线圈向外扩散的涡流衰减。接收线圈测量涡流在地层中扩散时产生的次生磁场的衰减率,次生磁场强度与涡流成正比,涡流是地层电导率的函数。测量开始时,涡流集中在发射线圈附近,测量信号反映的是发射线圈附近地层的电阻率,随着时间的推移,涡流逐步向地层深部扩散,测量信号主要反映深部地层的电阻率。由于 TEM 的接收器接收测量地层信号时,一次磁场已不存在,因此测量结果不受影响。TEM 只需在一口监测井中进行少量点的测量,或者作为永久测量系统置于生产井中,就可以提供油藏的 3D 图像,且井眼附近的分辨率较高。相比之下,井间电磁测井要在两口井中进行,至少需要测量 100 个点以上,并且测量结果是井间的 2D 区域。

依据注水油藏的真实模型,3 轴瞬变发射器和接收器的模拟结果显示,TEM 的探测深度可达 304.8 m (1 000 ft),并对注水前缘比较灵敏。因 TEM 可以测量不同区域地层的电阻率,这对监测多层生产井中最后阶段的水侵特别有效。可以预计,TEM 可以作为井眼永久传感器置于井中。

[供稿 秦黎明]