

控压钻井技术在涪陵页岩气田的实践与认识

陈林¹, 范红康², 胡恩涛¹, 宋争¹, 陈小龙¹

(1. 中石化重庆涪陵页岩气勘探开发有限公司, 重庆 涪陵 408014; 2. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

摘要:随着涪陵页岩气田勘探开发进程的不断深入, 长水平段页岩气井在钻井过程中遇到的复杂事故愈发凸显。目的层龙马溪组, 裂缝发育、岩性构成复杂且破碎严重, 钻井中钻井液密度窗口窄, 易发生垮塌、溢漏同存、水平井段漏失大量油基泥浆等问题。为了快速、安全有效地钻穿复杂页岩层段, 采用控压钻井技术破解长水平段页岩气井井漏的钻井难题, 在焦页 33-4HF 井应用控压钻井技术, 在长水平段钻遇多个不同压力系数的漏失显示层, 安全钻达完钻井深, 大大减少了油基泥浆的漏失及其不良影响, 减小了经济损失, 取得了显著应用效果。

关键词:长水平段页岩气井; 控压钻井; 井漏; 涪陵页岩气田

中图分类号: P634.5; TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2016)07-0045-04

Practice and Cognition of Managed Pressure Drilling Technique in Fuling Shale Gas Field/CHEN Lin¹, FAN Hong-kang², HU En-tao¹, SONG Zheng¹, CHEN Xiao-long¹ (1. The Exploration and Production of Shale Gas Chongqing Fuling, SINOPEC, Fuling Chongqing 408014, China; 2. SINOPEC Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing 100101, China)

Abstract: With the development of Fuling shale gas exploration and development, the complex accidents become more prominent during long horizontal well drilling process. In Longmaxi formation, fracture developed, lithology was complex with serious breaking; mud density window was narrow, so it was prone to collapse with overflow and leakage and the lost circulation of oil-based mud was serious in the horizontal wells section. In order to quickly and safely drill through the complex shale layer, MPD technique (managed pressure drilling) was applied in Fuling shale gas field. MPD technique was used in Jiaoye well 33-4HF, some leakage loss display layers with different pressure coefficients were drilled in the long horizontal section, the final depth was reached successfully, the leakage of oil-based mud and the adverse effects were greatly reduced; as a result, economic loss was also reduced with distinct application effects.

Key words: long horizontal shale gas well; managed pressure drilling; lost circulation; Fuling shale gas field

0 引言

涪陵焦石坝地区志留系龙马溪组页岩气藏裂缝发育、岩性构成复杂且破碎严重, 存在安全钻井液密度窗口窄、易发生垮塌、溢漏同存、水平井段漏失大量油基泥浆、安全施工风险高等问题。控压钻井既可以用于过平衡钻井、近平衡钻井, 也可以用于欠平衡钻井。使用较低的钻井液密度, 通过回压泵自动节流控制系统提供井口回压保持井底压力稳定, 使井底压力略高于地层压力的微过平衡状态。精细控压钻井技术能够在井口迅速提供回压, 阻止进一步井侵, 能够降低井底压力, 减少压差卡钻的风险, 在井控状况下能够更好地控制井底压力, 更好地保障钻井施工作业安全。

1 焦石坝地区地质特点及钻井难点

焦石坝构造为主体平缓、边缘被大耳山西、石门、吊水岩、天台场等断层夹持的断背斜构造。东

南、西北两翼断裂发育, 地层较陡, 焦石坝边缘地区在构造演化过程中, 受挤压和推覆切割作用的影响, 形成了多个断层, 属于高陡构造, 地层倾角较大, 裂缝、孔隙发育, 钻井过程中极易发生井漏与坍塌。地层岩性自上而下多为泥页岩与砂岩互层, 地层坍塌和漏失的矛盾比较突出, 主要体现在以下几点。

(1) 目的层上部高角度构造缝多、龙马溪组中上部裂缝相对发育, 与断裂带附近断裂连网, 易导致恶性漏失, 施工过程中常出现失返现象。

(2) 断裂带处地层倾角较大, 大耳山断层倾角为 $0^{\circ} \sim 28^{\circ}$, 伴生断层倾角为 $21^{\circ} \sim 46^{\circ}$, 地层易发生井斜和垮塌。

(3) 地层裂缝、孔隙发育, 渗漏型漏失层上下普遍存在, 井漏发生频繁。

(4) 地层孔隙压力与破裂压力、坍塌压力之间安全窗口窄, 常规钻井难以精确控制井底压力, 钻井液密度控制难度大。

焦页 33-3HF 井部署在焦石坝边缘地区,设计井深 4440 m,设计水平段长 1758 m,其水平段要穿越工区东侧的大断裂带,在三开水平段钻进过程中共发生井漏 4 次,在钻至 3332.89 m 发生失返漏失,多次堵漏无效,累计漏失油基钻井液 1319.41 m³(见表 1)。不得不提前完钻,完钻井深 3465 m,水平段长 786 m,未到达钻探目的,且造成了巨大经济损失。

表 1 焦页 33-3HF 井水平段钻井液漏失情况

井段/m	钻井液密度/(g·cm ⁻³)	钻井液漏失量/m ³
3332.89~3336.0	1.42	513.44
3336.0~3458.58	1.38	612.07
3460.0~3465.5	1.36	170.72
3465.5~3466.5	1.36	23.18

2 控压钻井技术原理及设备

2.1 控压钻井技术原理

控压钻井技术是一项改进的钻井程序,可以精确地控制整个井眼的环空压力剖面。其目的在于确定井底压力窗口,精确控制环空压力剖面。其工作原理为:在控压钻井的封闭循环系统中,钻井液从泥浆罐中通过钻井泵进入立管,再到钻杆,通过浮阀、螺杆、钻头,从环空上返,后从旋转控制装置下方的环形防喷器流出。再通过一系列的节流阀,到振动筛或脱气装置,最后回到泥浆罐(如图 1 所示)。旋转控制装置允许管柱和全部钻柱旋转,所以立管、钻杆和钻柱能连续工作、在此过程中,主要通过对回压、流体密度、流体流变性、环空液位、水力摩阻和井眼几何形态的综合控制,使整个井筒的压力维持在地层孔隙压力和破裂压力之间,进行平衡或近平衡钻井,

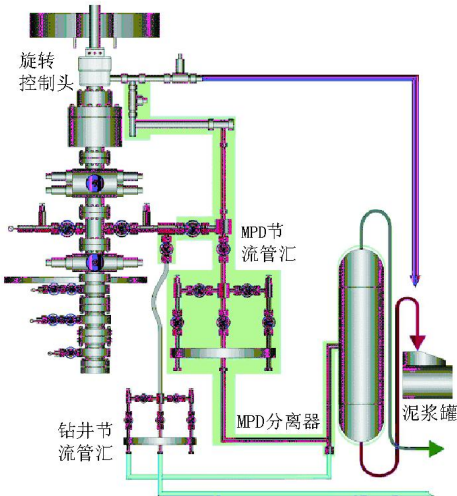


图 1 控压钻井工艺流程图

可减少井涌、井漏和卡钻等多种井下复杂,适用于安全密度窗口较窄的区域。

2.2 控压钻井的主要设备

控压钻井所需的主要设备分为地面设备:旋转控制头、旋转控制头控制系统、自动节流管汇、远程控制平板阀、液气分离器和防回火装置等;井下设备:PWD 随钻测压工具,钻具止回阀等(见表 2)。其中旋转控制装置及 PWD 随钻测压工具是控压钻井技术的核心设备。

表 2 精细控压钻井的主要设备

设备分类	序号	部件名称	主要参数
地面设备	1	旋转控制装置	35/17.5 MPa
	2	旋转控制头控制系统	
	3	自动节流管汇	35 MPa
	4	远程控制平板阀	35 MPa
	5	液气分离器	1.6 MPa
	6	排气管线	75 m
	7	自动点火装置	
	8	防回火装置	
井下设备	9	钻具止回阀	70 MPa
	10	PWD 随钻测压工具	耐压 138 MPa,耐温 150 ℃

3 控压钻井实施方案

3.1 钻井方式

采用控压钻井技术,根据储层实测孔隙压力与漏失压力,实时调整井底压力。在钻进、接单根等过程合理控制井底压力,减小不同工况转换过程井底压力波动,实现井下压力平稳控制(见图 1)。

3.2 井底压力监测方式

采用 PWD 随钻环空压力测量工具,存储在井下存储器内,实时掌握井底压力变化。现场根据井底压力变化情况并结合地面微流监测技术,对井下循环当量密度进行实时调整。

3.3 起下钻方式

未钻遇油气显示时采用原钻井液起下钻;钻遇油气显示后,平衡地层压力起下钻;钻遇漏层后,采用吊灌方式起钻。

3.4 溢流井漏复杂情况处理

如果在钻进中发生井漏,停止钻进逐步降低井口压力,寻找压力平衡点,若井口压力降为 0 MPa 时仍无效,则降低钻井液排量循环观察。无溢流情况下钻进时泥浆循环流程:泥浆泵→顶驱→钻头→环空→旋转头→振动筛→循环罐→泥浆泵;发生溢流情况下钻进时泥浆循环流程:泥浆泵→顶驱→钻头

→环空→节流管汇(按水力计算结果控制回压)→液气分离器→循环罐→泥浆泵。

4 现场应用实例

以涪陵焦石坝焦页 33-4HF 井为例,介绍控压钻井技术在涪陵页岩气田的现场应用情况。

4.1 井身结构数据

焦页 33-4HF 井井身结构数据如图 2 所示。

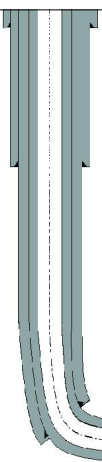
地层		预测地层	井身结构
系	组	压力/MPa	
三叠	嘉陵江组	1.00 ~ 1.12	
	飞仙关组		
二叠	长兴组	1.10 ~ 1.16	
	龙潭组		
	茅口组	1.10 ~ 1.20	
	栖霞组		
	梁山组		
石炭	黄龙组	1.10 ~ 1.20	
志留	韩家店组	1.10 ~ 1.25	
	小河坝组	1.10 ~ 1.25	
	龙马溪组	1.41 ~ 1.45	

图 2 焦页 33-4HF 井井身结构示意图

4.2 钻具组合设计

Ø215.9 mm PDC 钻头 + Ø165 mm (0.75°) 单弯螺杆钻具 + Ø210 mm 扶正器 + Ø127 mm 无磁加重钻杆 + LWD + 无磁短节 + 钻具止回阀 + Ø127 mm 斜坡加重钻杆 6 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆 2000 m + Ø127 mm 斜坡加重钻杆 21 根 + 旁通阀 1 只 + Ø127 mm 斜坡钻杆 + 旋塞 2 个。

4.3 钻井液性能设计

钻井液体系采用高温高压失水低的油基钻井液体系,钻井液密度 1.41 ~ 1.55 g/cm³,粘度 50 ~ 90 s,塑性粘度 20 ~ 35 mPa·s,屈服值 8 ~ 10 Pa,动切力 10 ~ 25 Pa,API 失水 < 2 mL,滤饼厚 0.3 mm,固

相含量 12% ~ 18%,油水比 (70 ~ 80)/(20 ~ 30)。为了达到更好的防漏、防塌效果,钻井液除了保证正常钻井需要的性能外,在三开钻井液中加入随钻堵漏剂和防塌材料、控制钻井液失水量;随钻堵漏剂的粒径应以小于螺杆和随钻仪器要求的粒径。

4.4 钻井参数优化

钻压控制 40 ~ 90 kN,转速控制在 120 ~ 180 r/min,钻井液排量控制在 26 ~ 28 L/s,钻井速度控制在 4 ~ 8 m/h。

4.5 井身质量情况

在定向控压钻进过程中,按地质设计要求,定向工程师根据井下 MWD 及井身轨迹数据对其进行适时定向钻进,定向 MWD 和控压 PWD 工具两者在数据传输上不发生矛盾,精细控压钻井不影响定向钻井。根据电测数据,井身质量完全符合设计要求。

4.6 施工情况简介

2014 年 6 月 19 日开钻,7 月 21 日三开钻进,7 月 22 日下钻探得水泥塞面后井深 2523 m,采用 1.40 g/cm³ 的油基钻井液,钻压 80 kN,转速 40 r/min + LZ,排量 30 L/s。根据邻井实钻数据分析(图 3 和图 4)确定实际地层安全密度窗口为 1.345 ~ 1.355 g/cm³,计算出下步控压钻井的钻井参数。

8 月 4 日钻至井深 3864 m 水平段龙马溪组漏失,漏速 8.6 m³/h,钻井液密度 1.38 g/cm³,钻压 80 kN,排量 30 L/s,漏失油基泥浆 2.8 m³。

8 月 5 日在井深 3900 m 泥浆密度降至 1.36 g/cm³ 实施控压钻井后,循环时液面无变化,停泵后高架槽不断流,溢流量 1.6 ~ 1.7 m³/h,再开泵单根气现象明显,使用密度 1.36 g/cm³ 的泥浆加上开泵时循环压耗刚好能够平衡地层压力,实现平衡压力钻井。

本井三开共发生 6 次井漏,分别在 3864、3889、3915、3946、4017、4021 m,平均漏速 8.6 ~ 29.3 m³/h,加入随钻堵漏材料,控制钻井参数,排量 26 ~ 30 L/s,钻井速度 6 ~ 8 m/h,累计漏失油基泥浆 120.2 m³。

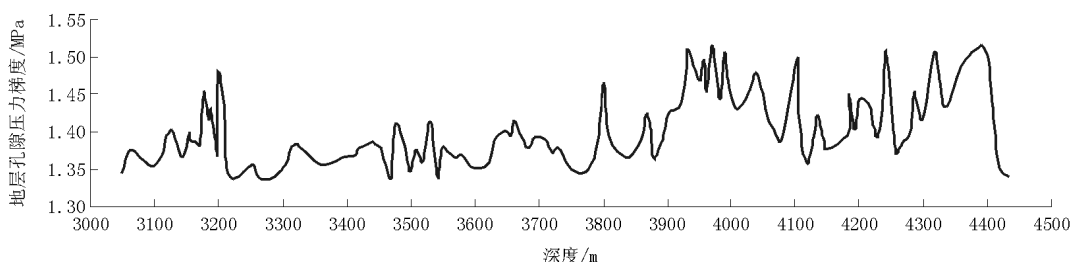


图 3 焦页 42-1HF 井孔隙压力

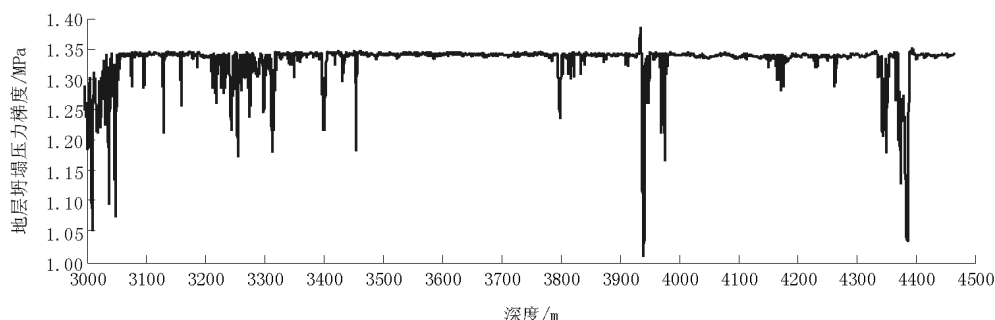


图4 焦页42-1HF井坍塌压力

8月9日钻至井深4052 m完钻,水平段1529 m,达到钻探目的,结束本次控压钻井作业,钻进作业共漏失钻井液120.2 m³,处理复杂时间44.08 h。

4.7 应用效果

本井通过控压钻井技术应用,解决了压力敏感性裂缝储层安全钻井难题,减少了井下复杂,有效延长了水平段位移。

焦页33-4HF井2300~3915 m井段,采用控压钻井技术降低钻井液密度1.40 g/cm³逐渐降到1.38 g/cm³,安装旋转防喷器控制溢流,大大地减少漏失的发生。在3915~4052 m井段出现溢漏同存时,进一步降低钻井液密度至1.35 g/cm³(见图5),顺利完成钻探任务。通过降低钻井液密度基本实现了近平衡钻井,漏失量和漏失速度也得到了控制。

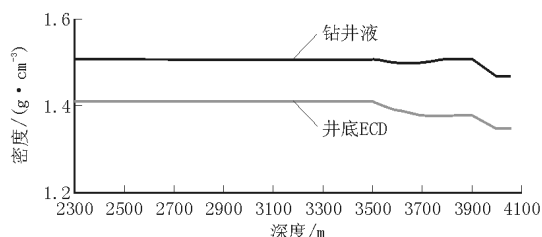


图5 焦页33-4HF井随钻密度检测

在钻遇多个不同的漏失层,安全钻达设计井深,大幅降低了油基钻井液漏失量,减少了处理复杂时间,提高了生产时效,节约了成本。图6为常规钻井与控压钻井处理井下复杂时间与油基钻井液漏失量的情况。

5 结论与认识

(1)控压钻井技术能有效解决涪陵页岩气田类似焦页33-4HF井窄钻井液密度窗口的井下复杂钻井难题。

(2)将涪陵页岩气田水平段钻井液密度由常规密度1.42 g/cm³降低至1.35 g/cm³,证明了三开

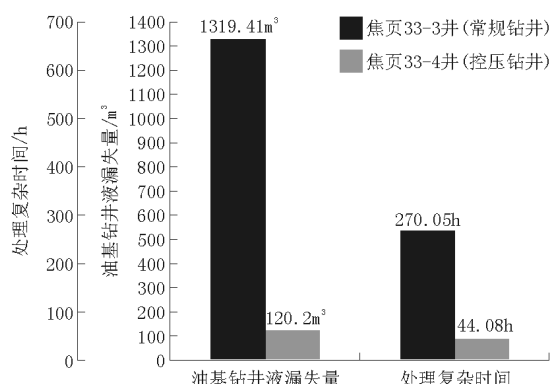


图6 常规钻井与控压钻井处理复杂时间及漏失量对比

水平段钻井液密度是可以降低的。

(3)有效解决了水平段钻井过程中可能出现的气侵、溢流和漏失问题,与邻井焦页33-3HF井相比,漏失量和漏失速度得到了很好的控制,为后续水平井低密度钻井提供了很好的参考。

参考文献:

- [1] 李枝林,薛秋来,唐国军,等.精细控压钻井系统控制策略设计及实践[J].钻采工艺,2014,37(1):14-17.
- [2] 辜志宏,王庆群.控制压力钻井新技术及其应用[J].石油机械,2007,35(11):68-72.
- [3] 王果.控制压力钻井技术应用[J].石油钻探技术,2009,37(1):34-38.
- [4] 周英操.控压技术探讨与展望[J].石油钻探技术,2008,36(4):1-4.
- [5] 侯绪田.欠平衡钻井井底压力自动控制技术[J].石油钻采技术,2004,32(2):61-62.
- [6] 黄兵,石晓兵,李枝林,等.控压钻井技术研究与应用新进展[J].钻采工艺,2010,33(5):1-4.
- [7] 严新新,陈永明,燕修,等.缅甸D区块Yagyi-1X井控压钻井技术[J].石油钻探技术,2011,39(4):25-28.
- [8] 陈星星.涪陵页岩气田防漏堵漏技术应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):11-14.
- [9] 臧艳彬,白彬珍,李新芝,等.四川盆地及周缘页岩气水平井钻井面临的挑战与技术对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):20-24.
- [10] 陈广,郭少帅,王建波,等.焦页非常规页岩气井优快钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):17-21.