

泸州深层页岩气呼吸性地层井漏堵漏方法及对策分析

——以Y101H3-4井为例

李奎

(中石化江汉石油工程有限公司钻井一公司,湖北潜江433100)

摘要:泸州深层页岩气储层埋深达4000 m,属于高压地层,所钻遇石牛栏组地层岩性为含砂泥岩,本区内多口井钻遇高压裂缝气,溢流及井漏风险大,时常出现高套压事件;同时一些井存在采用高密度钻井液钻进至类似地层时发生漏失后又返吐的现象,给堵漏和钻进作业带来较大困难。针对该类呼吸性地层井漏,以Y101H3-4井为例,现场试验了一系列堵漏方法及措施,结果表明:常规堵漏工艺对呼吸性地层堵漏效果不佳,堵漏材料粒径难以匹配,易导致封门堵漏失败;针对同平台邻井实钻油气显示情况,合理降低钻井液密度有助于堵漏作业实施;油基水泥塞是解决此类呼吸性井漏最有效的工艺技术,但前提条件是确定合理钻井液密度,降低注水泥过程中的返吐量,防止水泥浆与钻井液直接接触污染。在泸州区块采取降密度+注油基水泥塞堵漏是解决呼吸性地层井漏的最佳方法,可快速解决该类地层的堵漏难题。

关键词:深层页岩气;呼吸性地层;井漏;堵漏;水泥塞;降密度;泸州区块

中图分类号:TE28;P634.8 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)05-0106-05

Plugging of breathing formation in deep shale gas wells in Luzhou:

Taking Well Y101H3-4 for example

LI Kui

(No.1 Drilling Company, Sinopec Jianghan Petroleum Engineering Company Ltd., Qianjiang Hubei 433100, China)

Abstract: The depth of deep shale formation in Luzhou is about 4000m. It is typical high-pressure formation, where Shiniulan Formation drilled is a sandstone-rich mudstone. In this area, high-pressure formation gas was often encountered in drilling operations, increasing risks of gas-kick and lost circulation; meanwhile, pulsation wellbore leakage was observed while using high-density drilling mud. All these issues posed great challenges to drilling operations in this region. To address this issue, taking Well Y101H3-4 as an example, some wellbore plugging treatments were tested. Results showed that: ① Typical wellbore plugging materials can not effectively plug wellbore leakage due to incompatible material-fracture sizes. ② Based on drilling history of neighboring wells, reducing drilling mud density helped with wellbore plugging operations. ③ Oil-based cement plugging was the most effective method to deal with the formation with pulsated lost circulation at the prerequisite that proper mud density should be determined to prevent contamination due to contact between drilling mud and cement slurry. In conclusion, reducing mud density and use of oil-based cement plugging are the best method for pulsated lost-of-circulation in the Luzhou Block.

Key words: deep shale gas; breathing formation; lost circulation; wellbore plugging; cement plugging; mud density decreasing; Luzhou Block

0 引言

泸州深层页岩气位于四川盆地川南构造,中石油2017年开始在该区块进行深层页岩气大规模勘

探开发,目的层为龙马溪组一号层①—②号小层。本区块钻井施工在茅口组、栖霞组及韩家店、石牛栏组等地层容易发生井漏,主要表现为裂缝性漏失

收稿日期:2022-06-29;修回日期:2022-07-28 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.05.015

作者简介:李奎,男,汉族,1985年生,工程师,石油与天然气工程专业,硕士,从事页岩气钻井现场技术管理工作,湖北省潜江市五七先锋路1号,306205543@qq.com。

引用格式:李奎.泸州深层页岩气呼吸性地层井漏堵漏方法及对策分析——以Y101H3-4井为例[J].钻探工程,2022,49(5):106-110.

Li Kui. Plugging of breathing formation in deep shale gas wells in Luzhou: Taking Well Y101H3-4 for example [J]. Drilling Engineering, 2022,49(5):106-110.

和诱导性漏失,部分井甚至发生过恶性井漏及漏喷同存等问题^[1-6]。依据不同的漏失情况,主要进行不同粒径匹配的随钻堵漏、桥接堵漏等方法,漏速较大的井(如茅口—栖霞组井)采取注水泥塞堵漏方法进行堵漏,整体堵漏效果较好^[7-10];但是通过近几年在泸州区块进行钻井施工^[11],部分地层如韩家店及石牛栏组,受到泥页岩及微裂缝闭合的影响,常规堵漏方法往往效果欠佳,需要进行新工艺的尝试及探索。

1 Y101H3-4井概况

Y101H3-4井是部署在四川盆地泸州区块的一口页岩气水平井,属于川南低褶带九奎山构造。本井采用四开井身结构(如表1),自上而下钻遇地层

情况如表2所示,页岩气目的层为龙马溪组。该井于2019年9月16日开钻,2020年12月19日四开使用 $\varnothing 215.9$ mm钻头钻进至井深5750 m完钻,水平段长1800 m,完钻层位为龙马溪组,完井后下入 $\varnothing 139.7$ mm产层套管。

表1 Y101H3-4井井身结构数据

Table 1 Well Y101H3-4 casing program design

钻头		套管		钻井液密度/ 直径/mm 井深/m
直径/mm	井深/m	外径/mm	下深/mm	
660.4	55	508	54.73	1.05
406.4	658	339.7	657.45	1.15~1.35
311.2	2655	244.5	2652.65	1.35~1.98
215.9	5750	139.7	5747.4	2.07~2.20

表2 Y101H3-4井钻遇地层

Table 2 Lithology at Well Y101H3-4

系	组	底深/m	垂深/m	厚度/m	主要岩性
侏罗系	沙溪庙组	352.00	352.00	352.00	粉砂质泥岩、泥岩
	凉高山组	430.00	430.00	78.00	泥质粉砂岩
	自流井组	631.00	631.00	201.00	泥岩夹砂岩、灰岩
三叠系	须家河组	1186.00	1185.60	555.00	砂岩、页岩及煤
	嘉陵江组	1556.00	1553.90	374.00	灰岩、石膏
	飞仙关组	2063.00	2026.80	507.00	泥质灰岩、泥岩
二叠系	长兴组	2122.00	2081.50	59.00	灰岩
	龙潭组	2185.00	2179.50	63.00	碳质页岩、页岩
	茅口组	2351.00	2370.20	166.00	灰褐色、深灰褐色灰岩,含燧石
	栖霞组	2472.00	2487.70	121.00	灰岩
	梁山组	2498.00	2346.70	26.00	页岩
志留系	韩家店组	2623.00	2690.00	125.00	泥岩
	石牛栏组	3178.00	3155.00	555.00	灰质泥岩、泥岩
	龙马溪组	5750.00	3568.00	428.94	粉砂质泥岩、页岩

2 石牛栏组溢漏并存风险分析

本井石牛栏组地层岩性为灰质泥岩及砂质泥岩,地层埋深2700~3155 m,设计地层压力系数只有 1.85 g/cm^3 ,考虑邻井Y101H56-1井、Y101H26-2等井在石牛栏组使用高密度钻井液^[12]钻遇高压裂缝天然气,本井实钻过程中同样可能会钻遇异常高压及裂缝气,溢流风险大;同时依据物探及地震资料解析,本井在韩家店组—石牛栏组可能钻遇垂直裂缝及蚂蚁体,容易发生井漏,因此,在石牛栏组地层钻井时面临溢漏并存的风险。

3 石牛栏组常规堵漏情况

3.1 常规堵漏技术应对效果

本井四开用 $\varnothing 215.9$ mm钻头钻进至井深2693 m时第一次发生井漏,漏速 $12 \text{ m}^3/\text{h}$,层位石牛栏组,岩性灰色灰岩,钻进排量 29 L/s ,泵压 28 MPa ,钻井液密度 2.20 g/cm^3 。后续在2693~3130 m井段钻进过程中,合计发生井漏14次,漏速 $1.8\sim 12 \text{ m}^3/\text{h}$,共进行了7次桥接堵漏及提承压试验(见表3),使用的堵漏材料包括单向封堵剂、随钻堵漏剂、超细碳酸钙、一袋式堵漏剂、刚性堵漏剂、油基封堵剂等多种

组合,虽然油基钻井液的封堵性较强^[13-16],但均存在不同程度的封门现象,且存在呼吸效应,即堵漏浆返吐,堵漏材料无法在漏层驻留,堵漏效果不佳,共漏失油基钻井液 258 m³,耽误钻井周期 18 d。

表3 Y101H3-4井石牛栏组井漏及处理简况

Table 3 Summary of lost circulation treatments for Well Y101H3-4

序号	漏失井深/m	密度/(g·cm ⁻³)	漏速/(m ³ ·h ⁻¹)	处理措施	处理效果
1	2693.59	2.20	12	配制20%堵漏浆15 m ³ 提承压堵漏(配方:随钻1 t、单封1 t、复合1型0.5 t、0.5~1 mm核桃壳1 t)	堵漏材料粒径过大封门未憋入地层,泵入0.2 m ³ ,地层承压当量密度2.34 g/cm ³
2	2813	2.20	10.8	注浓度30%堵漏浆10.8 m ³ (配方:随钻1.5 t、单封1.5 t、1000目超细碳酸钙2 t,共配制17 m ³)	单封、随钻等材料封门未憋入地层,1000目超细碳酸钙过细能进入裂缝但返吐站不住,泵入0.83 m ³ ,回流0.77 m ³ ,地层承压当量密度2.4 g/cm ³
3	2905	2.15	10.6	注浓度25%堵漏浆12 m ³ (配方:单封0.6 t,随钻0.6 t,1000目超细碳酸钙2 t)	降密度后漏速减小仍存在返吐情况
4	2921	2.15	6.8~15	配制浓度15%堵漏浆18 m ³ 泵入地层12 m ³ (配方:150 μm刚性0.3 t、250 μm刚性0.3 t、一袋式堵漏剂1.5 t、1000目超细碳酸钙0.7 t)	较成功,说明粒径匹配较合理,后续钻进未发生大的漏失。泵入5.08 m ³ ,回流4.2 m ³ ,地层承压当量密度2.25 g/cm ³
5	3130	2.10	3.6	加入6%一袋式堵漏剂1.8 t,4%150 μm刚性1.2 t,5%300目超细碳酸钙1.5 t,5%1000目超细碳酸钙1.5 t,5%2000目超细碳酸钙1.5 t,6%井眼强化剂(纳米级)1.8 t,4%油基封堵剂1.2 t	泵入12.25 m ³ ,返吐2.5 m ³ ,地层承压当量密度2.19 g/cm ³
6	3130	2.10	4~5	加入单封2 t,随钻2 t,刚性堵漏剂(150 μm)1 t,300目超细碳酸钙4 t,弹性石墨1 t	泵入11.3 m ³ ,回吐8.5 m ³ ,地层承压当量密度2.21 g/cm ³
7	3130	2.10		注入32%的堵漏浆16 m ³ :300目、500目、1000目、1200目、2000目超细碳酸钙各1 t,弹性石墨1.4 t,承压封堵剂1 t,润湿剂0.2 t	采用反循环关井提承压,挤入16.4 m ³ ,折算当量密度2.25 g/cm ³ ,泄压返吐13.2 m ³

3.2 堵漏结果分析

(1)受高密度钻井液的影响,抢钻过程中持续漏失返吐。因邻井在石牛栏组出现高套压事件且工区内在该地层出现溢流的井数较多,为了确保井控安全,钻井过程中采取高密度钻井液,远高于设计地层压力系数,导致堵漏后持续漏失。

(2)堵漏材料的粒径与裂缝孔隙难匹配。本井石牛栏组地层主要为泥岩及灰质泥岩,裂缝尺寸为纳米—微米级,单向封堵剂、随钻堵漏剂、复合堵漏剂I型、云母片等堵漏材料粒径>0.5 mm无法进入地层裂缝,造成堵漏材料封门导致堵漏失败;粒径在100~500 μm的一袋式堵漏剂及刚性堵漏剂和1000目的超细碳酸钙能进入漏层,但因地层返吐导致堵漏材料无法驻留且颗粒较小无法起到很好的架桥和粘连作用,导致堵漏效果较差。

(3)对于微裂缝地层漏失,且伴随返吐现象,漏

速<15 m³/h,选择粒径微米级刚性材料和目数>1000的超细碳酸钙,堵漏成功的可能性较高。

4 油基水泥浆堵漏技术的应用

针对常规堵漏材料及工艺存在的问题和不佳的堵漏效果,试验了油基水泥浆堵漏技术,即向漏层位置注入油基水泥塞以提高石牛栏组地层的承压能力,为后续龙马溪组高压气层的钻进提高安全窗口。

4.1 油基水泥浆堵漏风险及难点分析

油基水泥浆与前置液、钻井液易发生互窜,导致留在井筒内的水泥塞段较少;同时本井存在返吐现象,施工时钻井液和水泥浆易直接接触,发生污染闪凝和“插旗杆”事故。同时因高密度油基水泥浆是第一次在泸州Y101井区使用,没有可供借鉴的经验。

4.2 油基水泥浆性能要求

为注油基水泥浆施工中安全顺利,并确保水泥

塞的质量和堵漏效果,要求油基水泥浆性能指标符合表4的要求,同时要针对可能存在返吐的情况做好污染稠化试验(见表5、图1、图2),防止出现“插旗杆”事故。

表4 油基水泥浆性能要求

Table 4 Properties of oil-based cement slurry

项目	要求
密度/(g·cm ⁻³)	2.06
流动度/cm	22~25
初始稠度/Bc	≤25
失水量(7 MPa) / [mL/(30min) ⁻¹]	≤50
48 h抗压强度/MPa	≥14
40 Bc稠化时间/min	240~300
(40~100 Bc)稠化时间/min	≤20

表5 油基水泥浆相容性实验

Table 5 Compatibility test between oil-based cement slurry and oil-based mud

油基钻井液/ %	隔离液/ %	油基水泥浆/ %	常流/ cm	稠化时间/ min
10	20	70	≥19	≥200
20	10	70	≥19	≥200
33.30	33.30	33.30	≥19	≥200
50		50	≥19	≥200
40		60	≥19	≥200
30		70	≥19	≥200
20		80	≥19	≥200

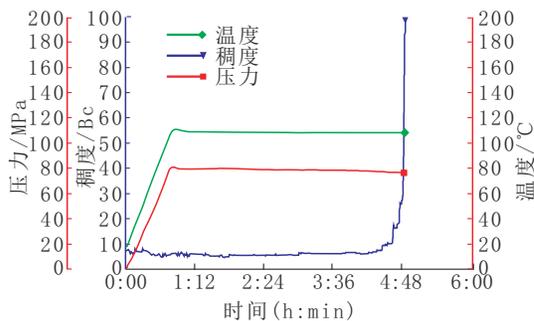
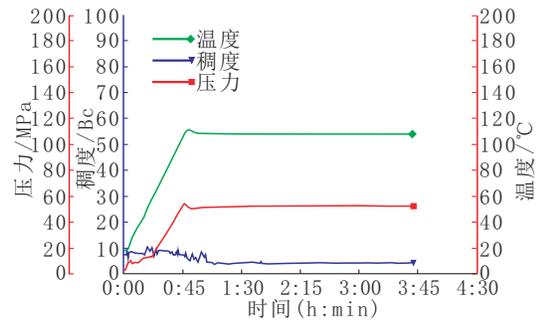


图1 油基水泥浆(白油+50g)稠化试验

Fig.1 Oil-based cement slurry (white oil+50g) thickening experiments

4.3 现场应用效果

Y101H3-4井在石牛栏组发生呼吸性漏失后,经多次常规堵漏无效,间断抢钻至井深3130 m进行注油基水泥浆堵漏,钻进过程中持续有5~15 m³/h



(注:油基水泥浆:隔离液:油基钻井液 1:1:1)

图2 相容性试验结果

Fig.2 Compatibility experiments

漏速,后逐步降低钻井液密度至2.04 g/cm³,在水泥浆稠化试验和各种比例液体相容性试验符合要求的前提下,第一次在井深3130 m注入10.5 m³密度2.04 g/cm³油基水泥浆,第二次在井深2810 m注入11 m³密度2.04 g/cm³油基水泥浆,油基水泥浆封固井段为2560~3130 m,施工完毕后进行关井憋挤,共挤入油基水泥浆4.5 m³。候凝完成后将钻井液密度提高至2.20 g/cm³进行扫塞和钻龙马溪组高压气层,结果全程未再发生漏失,取得了良好的堵漏及承压效果。

在同区块的Y101H37-4井四开使用密度2.15 g/cm³的钻井液钻进至韩家店组井深3020 m处发生漏失,漏速4~13 m³/h,每次停泵后返吐钻井液5~7 m³,经过随钻及桥接堵漏2次均无效,共漏失钻井液58 m³,最后采用油基水泥浆堵漏技术,降低钻井液密度至2.03g/cm³后,注密度2.03 g/cm³的油基水泥浆8 m³实施堵漏,然后提高钻井液密度至2.20 g/cm³顺利完成石牛栏组及龙马溪组高压地层的钻进,全程未发生漏失。

2口井的实践表明,油基水泥浆堵漏技术可以有效应对像韩家店—石牛栏组呼吸性地层的井漏,并提高地层承压能力。

现场应用表明,呼吸性井漏漏速一般在5~20 m³/h,开泵漏失停泵返吐,压力窗口较小,裂缝尺寸属于微米级别。如采取桥接堵漏方式,可考虑一袋式堵漏剂、超细碳酸钙、油基封堵剂进行堵漏,可减少漏速;如实施油基水泥塞堵漏,应先考虑把密度降低至2.03~2.05 g/cm³,减少井底压持效应,为油基水泥浆驻留提供良好的井筒条件,提高堵漏效果。

5 结论及建议

(1) 泸州区块韩家店一石牛栏组属高压气层, 钻进过程溢流风险大; 平台第一口井可采用高密度钻井液, 其余井可依据实钻情况合理降低钻井液密度, 减少井漏风险。

(2) 对于韩家店、石牛栏组等泥岩及微裂缝发育地层, 发生井漏后漏速不大但可能发生返吐现象, 进行常规堵漏要合理匹配堵漏材料的粒径及比例, 增加细颗粒堵漏比例, 进行2~3次堵漏无效后改变堵漏工艺。

(3) 常规堵漏材料在呼吸性地层中堵漏效果不佳, 主要原因是微裂缝地层堵漏材料粒径难以匹配, 极易导致封门无法挤入地层, 粒径较小颗粒能进入地层, 但是受返吐影响无法驻留, 无法达到暂堵效果, 建议进行类似地层的封堵性实验评价。

(4) 油基水泥浆堵漏及提承压的前提要确保降密度至合理范围, 确保不漏不吐的情况下注水泥塞, 确保施工安全。通过现场使用效果对比分析, 降密度+注水泥塞堵漏是解决呼吸性地层井漏的最佳堵漏工艺技术之一。

参考文献 (References):

- [1] 万昕, 左星, 王佩珊. 浅谈漏喷同存复杂地层的技术对策[J]. 钻采工艺, 2018, 41(4): 34-36, 47.
WANG Xin, ZUO Xing, WANG Peishan. Technology for loss-kick scenarios [J]. Drilling & Production Technology, 2018, 41(4): 34-36, 47.
- [2] 晏凌, 吴会胜. 精细控压钻井技术在漏喷同存复杂井中的应用[J]. 天然气工业, 2015, 35(2): 59-63.
YAN Ling, WU Huisheng. Application of precise MPD in kick & loss wells [J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(2): 59-63.
- [3] 李涛, 郭清, 程兴洁. 四川盆地泸203井区钻井“漏喷同存”浅析[J]. 石化技术, 2021, 5(4): 157-158.
LI Tao, GUO Qing, CHENG Xingjie. Analysis of “lost circulation and overflow coexisting” in well of Sichuan Basin L203 Block [J]. Petrochemical Industry Technology, 2021, 5(4): 157-158.
- [4] 孙梅方, 冯京海, 朱宽亮. 川庆精细控压钻井技术在NP23-P2009井的应用研究[J]. 钻采工艺, 2012, 35(3): 1-4.
SUN Meifang, FENG Jinghai, ZHU Kuangliang. Application of Chuanqing fine pressure control drilling technology in NP23-P2009 well [J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(3): 1-4.
- [5] 姜智博, 周英操, 王倩. 实现窄密度窗口安全钻井的控压钻井系统工程[J]. 天然气工业, 2011, 31(8): 76-79.
JIANG Zhibo, ZHOU Yingcao, WANG Qian. Managed pressure drilling system used in narrow density window drilling scenarios [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(8): 76-79.
- [6] 郑有成, 李向碧, 邓传光. 川东北地区恶性井漏处理技术探索[J]. 天然气工业, 2003, 23(6): 84-85.
ZHENG Youcheng, LI Xiangbi, DENG Chuanguang. Techniques of treating seriously lost circulations in northeast Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(6): 84-85.
- [7] 曾明昌, 曾时田, 毛建华. 气井喷漏同存的处理技术研究[J]. 天然气工业, 2005, 25(6): 42-44.
ZENG Mingchang, ZENG Shitian, MAO Jianhua. Treatment technology of blow out-lost circulation coexistence in gas hole drilling [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(6): 42-44.
- [8] 黄花香, 熊艳. 川东北地区恶性井漏层段地震预测技术探索[J]. 石油物探, 2005, 44(2): 142-144.
HUANG Huaxiang, XIONG Yan. Preliminary study on seismic prediction for severe leakage horizons in northeast Sichuan [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(2): 142-144.
- [9] 张卫平. 漏喷同存井段全井高密度随钻堵漏钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2008, 25(4): 58-60.
ZHANG Weiping. High density LCM drilling fluid technology solved the problem of the coexistence of blowout and mud losses [J]. Drilling Fluids & Completion Fluids, 2008, 25(4): 58-60.
- [10] 陈明, 窦玉玲. 川东北元坝区块井身结构优化设计[J]. 天然气技术, 2010, 4(3): 44-47.
CHEN Ming, DOU Yuling. Optimization design of casing program in Yuanba Block, Northeastern Sichuan Basin [J]. Natural Gas Technology, 2010, 4(3): 44-47.
- [11] 王建龙, 于志强. 四川盆地泸州区块深层页岩气水平井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(6): 17-22.
WANG Jianlong, YU Zhiqiang. Key technologies for deep shale gas horizontal well drilling in Luzhou Block in Sichuan Basin [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(6): 17-22.
- [12] 张立新, 刘端. 高密度油基钻井液在阳101H3-6井长水平段应用[J]. 钻探工程, 2021, 7(7): 79-83.
ZHANG Lixin, LIU Rui. Application of high-density oil based drilling fluid in the long horizontal section of Well Yang101H3-6 [J]. Drilling Engineering, 2021, 7(7): 79-83.
- [13] 樊继强, 刘学娜. 皖页1HF井油基钻井液技术研究及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(10): 23-28.
FAN Jiqiang, LIU Xuena. Research and application of oil-based drilling fluid technology for Well Wanye-1HF [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(10): 23-28.
- [14] 刘政, 李茂森, 何涛. 抗高温强封堵油基钻井液在足201-H1井的应用[J]. 钻采工艺, 2019, 42(6): 122-125.
LIU Zheng, LI Maosen, HE Tao. Application of high temperature high-plugging OBM in Well ZU201-H1 [J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(6): 122-125.
- [15] 周峰, 张华, 李明宗, 等. 强封堵型无土相油基钻井液在四川页岩气井水平段的应用[J]. 钻采工艺, 2016, 3(22): 106-108.
ZHOU Feng, ZHANG Hua, LI Mingzong, et al. Application of strong sealing clay-free oil-based drilling fluid in horizontal section of Sichuan shale gas reservoir [J]. Drilling & Production Technology, 2016, 3(22): 106-108.
- [16] 孙凯, 刘化伟, 明鑫, 等. 自201井区页岩气井水平段安全高效钻井技术[J]. 钻探工程, 2022, 49(2): 104-109.
SUN Kai, LIU Huawei, MING Xin, et al. Safe and high-efficiency drilling technology for horizontal sections of shale gas wells in Well Block Zi-201 [J]. Drilling Engineering, 2022, 49(2): 104-109.

(编辑 李艺)