

# 涪陵页岩气田防漏堵漏技术应用研究

陈星星<sup>1,2</sup>

(1. 长江大学研究生院, 湖北 荆州 434100; 2. 中石化重庆涪陵页岩气勘探开发有限公司, 重庆 涪陵 408014)

**摘要:** 涪陵页岩气田开发过程中最大的问题就是井漏, 据统计, 有 67.2% 的井在钻井过程中都发生了不同程度的漏失, 影响了钻井工程质量、进度及效益, 特别是三开长水平段漏失油基钻井液, 造成了严重的经济损失。为了降低钻井工程风险、提高钻井速度、降低钻井成本, 从现场实际情况出发, 对钻井漏失情况进行了统计分析, 认为中浅层漏失以溶洞型漏失、缝洞型漏失为主, 龙马溪、五峰组漏失以裂缝型漏失为主。重点介绍了针对涪陵页岩气田各开次特点采取的防漏堵漏技术及现场应用情况。同时随着开发区域扩大, 地质情况有所改变, 井漏问题更加复杂, 提出了下一步防漏堵漏技术发展方向及建议。

**关键词:** 涪陵页岩气田; 井漏; 防漏堵漏; 油基钻井液

**中图分类号:** P634.6; TE254 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)03-0011-04

**Application Research on Lost Circulation Prevention and Plugging in Fuling Shale Gas Field/CHEN Xing-xing<sup>1,2</sup>**  
(1. School of Graduate, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434100, China; 2. Sinopec Chongqing Fuling Shale Gas Exploration and Development Co., Ltd., Chongqing 408014, China)

**Abstract:** Lost circulation control is the biggest problem in the development process of Fuling shale gas field. According to statistics, different degrees of lost circulation occurred in 67.2% wells during drilling, which has bad affect on the engineering quality, the construction progress and the economic benefit; especially the lost circulation of oil-based drilling fluid in the three opening and long horizontal section, which caused serious economic losses. In order to reduce the risk of drilling engineering, improve drilling efficiency and reduce drilling cost, starting from the actual situation on site, the statistical analysis was made on drilling leakage, it was thought that in middle-shallow layer were mainly karst cave leakage and fracture-cavity type leakage; in Longmaxi formation and Wufeng formation was mainly fracture type leakage. The paper introduces the lost circulation prevention and plugging technologies adopted in Fuling shale gas field according to the characteristics of each opening and the field application. Along with the development region extension, the geological conditions become changing and the leakage is more complicated, the next development direction of lost circulation prevention and plugging technologies are put forward with some suggestions.

**Key words:** Fuling shale gas field; lost circulation; lost circulation prevention and plugging; oil-based drilling fluid

涪陵页岩气田是我国第一个国家级页岩气示范区, 自 2014 年初启动一期产建以来, 已完成 100 余口井钻井任务, 钻井工程技术不断创新, 钻井提速提效明显, 钻井工期从 100 余天降至 70 余天。但在钻井过程中, 经常发生井漏。井漏严重地拖延了钻井工期, 并造成工程事故、影响经济效益, 为解决井漏问题, 顺利推进一期产建, 本文对涪陵页岩气田钻井井漏情况进行了统计, 分析了井漏原因, 重点介绍了涪陵页岩气田防漏堵漏技术及现场应用情况, 最后提出了防漏堵漏技术的下步发展意见。

截止 2014 年 8 月 20 日, 共统计 125 口井, 其中 84 口井发生漏失, 漏失概率为 67.2%, 13 口井漏失量在 0 ~ 100 m<sup>3</sup>, 20 口井漏失量在 100 ~ 300 m<sup>3</sup>, 5 口井漏失量在 300 ~ 500 m<sup>3</sup>, 46 口井漏失量 > 500 m<sup>3</sup>。见图 1 所示。

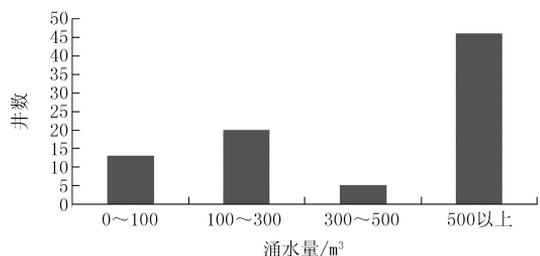


图 1 漏失量 - 井数统计图

## 1 涪陵页岩气田井漏情况

### 1.1 漏失井数

收稿日期: 2015-02-07

作者简介: 陈星星, 男, 汉族, 1986 年生, 工程师, 长江大学在读硕士研究生, 从事石油工程技术研究及管理工作, 重庆市涪陵焦石镇中石化重庆涪陵页岩气勘探开发有限公司钻井工程项目部, dellxx123@126.com。

## 1.2 各类钻井液的漏失情况

涪陵页岩气田开发井均按丛式井模式部署,且均为长水平段井,钻井井身结构为导管—一开—二开—三开,导管—一开采用清水钻井液,二开采用水基钻井液,三开采用油基钻井液。据统计,一开清水漏失量为 72125.61 m<sup>3</sup>,二开水基泥浆漏失量为 15529.69 m<sup>3</sup>,三开油基泥浆漏失量为 7315.79 m<sup>3</sup>。见图 2 所示。

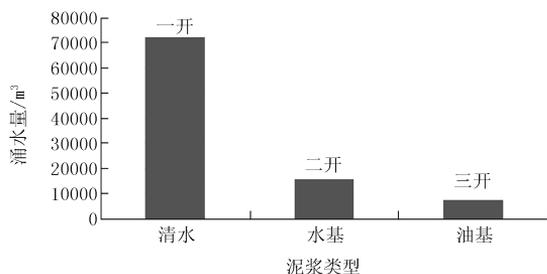


图 2 泥浆类型 - 漏失量统计图

## 1.3 各类地层的漏失情况

从地层角度统计,雷口坡组漏失 5 井次,嘉陵江组漏失 36 井次,飞仙关组漏失 17 井次,长兴—梁山组漏失 15 井次,韩家店—小河坝组漏失 37 井次,龙马溪—五峰组漏失 23 井次。见图 3 所示。

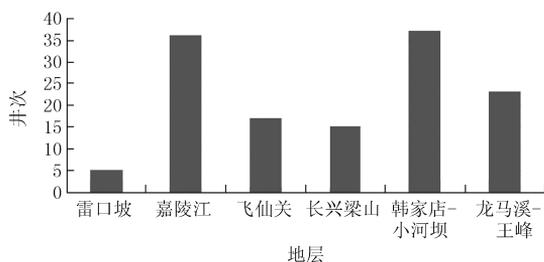


图 3 漏失地层 - 井次统计图

井漏在纵横向上的分布情况如下。

(1)浅表层(雷口坡—飞仙关组)有 58 井次发生漏失,其中 37 井次漏失量 > 500 m<sup>3</sup>,其中焦页 53-1HF 一开钻进过程中漏失清水 9000 m<sup>3</sup>,耽误工期 20 d。纵向上主要漏失层位为:雷口坡组、嘉陵江组、飞仙关组,这 3 个层位大部分漏失段埋深 < 500 m;平面上井位分布于气田的中部、南部及东北角。

(2)中深层(长兴组—小河坝组)有 52 井次发生漏失,其中 7 井次漏失量 > 500 m<sup>3</sup>,焦页 4HF 二开钻进过程中漏失水基钻井液 1120 m<sup>3</sup>,耽误工期 17 d。纵向上主要漏失层位为:茅口组、韩家店组、小河坝组;平面上井位分布于气田的中部、西南角。

(3)目的层(龙马溪组—五峰组)有 23 井次发生漏失,其中 6 井次漏失量 > 500 m<sup>3</sup>,焦页 3-3 三开钻进过程中漏失油基钻井液 800 m<sup>3</sup>,耽误工期 10 d。纵向上主要漏失层位为:龙马溪;平面上井位分布于气田东侧的大断裂带附近,中部也有少量分布。

## 2 涪陵页岩气田漏失原因分析

### 2.1 地质原因

(1)雷口坡组、嘉陵江组、飞仙关组岩性特征主要为灰岩,实钻过程中经常发生失返性漏失,通过下入井下摄像机发现有大量溶洞及裂缝,漏失原因主要为:溶洞型漏失、缝洞型漏失、裂缝型漏失。

(2)茅口组岩性特征主要为灰岩,地震剖面显示裂缝发育,漏失原因主要为:裂缝型漏失。

(3)韩家店、小河坝岩性特征主要为泥岩、砂质泥岩及少量的泥质粉砂岩互层,地震剖面未显示纵向裂缝发育,漏失原因主要为:层理缝漏失。

(4)龙马溪、五峰组岩性特征主要为泥页岩,上段有少量的粉砂岩及砂质泥岩,岩心、地震剖面显示裂缝发育,漏失原因主要为:裂缝型漏失。

### 2.2 工程原因

(1)部分地层承压能力低,钻井液密度调整不到位,当钻井液密度大于临界值时会发生漏失。

(2)钻井工况变化(如中途循环、划眼、开泵测斜、起钻灌浆、下钻过快等)产生的“激动”压力会导致漏失。

焦页 17-2HF 井在下钻中途循环、划眼、开泵测斜、起钻灌浆等工况发生漏失,漏速忽大忽小,对“激动”压力特别敏感。

(3)溢、漏同存时,为了控制井控风险,加大钻井液密度,导致漏失。

焦页 26-1HF 二开钻进至 1398 m 时发生溢流,节流循环点火,同时逐步将钻井液密度由 1.17 g/cm<sup>3</sup> 提升至 1.43 g/cm<sup>3</sup>,进行重浆循环压井;复合钻进至 1826 m 时,发生漏失,堵漏效果不佳,此时钻井液密度已经超出地层破解压力当量密度,遂将密度逐步降低至 1.34 g/cm<sup>3</sup>,堵漏成功,恢复正常钻进。

## 3 涪陵页岩气田防漏堵漏技术

### 3.1 防漏技术

#### 3.1.1 导管、一开防漏措施

(1)采用电法勘探方法预测表层溶洞裂缝<sup>[1]</sup>。焦页53-1HF井电法勘探图解释实钻情况相符,导管钻遇溶洞,此井说明通过电法勘探可以提前对钻井平台进行初步筛选,尽量避开溶洞地层。

(2)在修建钻前平台时,提前埋入一定深度的涵管并用水泥封固,从而防止或减少导管钻进漏失。

### 3.1.2 二开防漏措施

(1)采用曲率锐化体剖面预测,同时根据邻井地层资料预测。焦页4HF、焦页11-4H井曲率锐化体剖面解释与实钻情况相符,漏失井段地层为韩家店-小河坝,通过现场验证说明,地震资料能一定程度预测地层漏失层位,可提前调整井眼轨迹,提前准备堵漏措施,从而防止漏失或减少漏失。

(2)钻井液密度尽量采用下限,保持近平衡钻井,同时,起下钻时应平稳操作,避免产生“激动”压力,从而防止漏失或减少漏失。

(3)二开前必须做承压试验,确定安全密度,在节流放喷时,严格控制套压,使液柱当量密度始终低于地层破裂压力当量密度,从而防止漏失。

### 3.1.3 三开防漏措施

(1)采用曲率锐化体剖面预测,同时根据邻井地层资料预测。焦页17-2HF井曲率锐化体剖面解释与实钻情况相符,目的层位于断裂带、破碎带附近,漏失量大,此井说明通过地震资料能一定程度认识地质构造<sup>[2]</sup>,预测地层漏失层位,可提前调整井眼轨迹,提前准备堵漏措施,从而防止漏失或减少漏失。

(2)采用控压钻井技术,控压钻井技术即井口安装旋转防喷器<sup>[3]</sup>,通过降低密度,实现近平衡或欠平衡钻井;焦页33-4HF三开时安装旋转防喷器,将钻井液密度由 $1.42\text{ g/cm}^3$ 逐渐降低至 $1.35\text{ g/cm}^3$ ,合理控制井底压力,实现了安全钻井,顺利完成了1500 m水平段的钻井施工,全井漏失油基钻井液 $167.7\text{ m}^3$ ,比同井台、同水平方向、井距只有600 m的邻井焦页33-3HF井减少油基钻井液漏失量 $996.3\text{ m}^3$ 。

(3)钻井液密度尽量采用下限,保持近平衡钻井,同时,起下钻时应平稳操作,避免产生“激动”压力,从而防止后漏失或减少漏失。

(4)三开前必须做承压试验,确定安全密度,在节流放喷时,严格控制套压,使液柱当量密度始终低于地层破裂压力当量密度,从而防止漏失。

## 3.2 堵漏技术

### 3.2.1 导管、一开堵漏技术

(1)若导管、一开漏失量小,可采用打水水泥塞措施封堵漏层。

(2)针对浅表层漏速快、漏失量大的特点,采用清水强钻措施。实际钻井证明,一开钻遇溶洞或大型裂缝时,单靠堵漏措施很难达到预期效果,最有效的方法就是清水强钻,而且上部地层雷口坡组部分岩性有遇水膨胀的特点,必须有充分的清水保障,尽快钻完一开进尺,否则出现井眼缩径、井垮等事故。焦页65-3井无充足的清水做保障,一开钻井周期长达30 d,而且出现了井垮事故,焦页61-2井有充足的清水做保障,一开周期6 d。

### 3.2.2 二开堵漏技术

由于二开井段较长,当发现漏点时,应发现一层,封堵一层,不能带漏钻进。在保证井控风险的前提下,尽量降低钻井液密度,保持近平衡钻进。根据漏失程度的不同主要有以下几种堵漏措施。

(1)当发生渗漏时( $<5\text{ m}^3/\text{h}$ ),采用随钻堵漏、静止堵漏技术。

在钻井液中添加石棉纤维、单封、随钻堵漏剂等进行随钻堵漏。焦页49-1HF井,二开钻进至2027.83 m发生漏失,共漏失钻井液 $70\text{ m}^3$ ,层位为韩家店组,现场配制随钻堵漏浆,随钻堵漏后关井憋压静止堵漏,堵漏成功。

(2)当漏速在 $5\sim 20\text{ m}^3/\text{h}$ 时,采用桥浆堵漏技术。

在钻井液中加入20%~40%的桥浆堵漏剂进行桥浆堵漏,桥接堵漏材料(架桥剂、拉筋剂、填塞剂)需根据现场实际情况进行合理配比。焦页32-4井,二开复合钻进至1570 m发生渗漏,共漏失钻井液 $60\text{ m}^3$ 。漏失层位韩家店组,漏速 $9.0\sim 20.0\text{ m}^3/\text{h}$ ,漏失钻井液相对密度 $1.17\text{ g/cm}^3$ ,粘度38 s,配堵漏桥浆 $30\text{ m}^3$ ,浓度为23%,泵入堵漏浆 $25\text{ m}^3$ ,然后替循环浆 $14\text{ m}^3$ ,静止堵漏约1 h。启泵循环观察40 min,无漏失现象,堵漏成功。

(3)当漏速 $>20\text{ m}^3/\text{h}$ 或失返时,采用膨胀堵漏剂堵漏或打水水泥塞堵漏技术。

焦页52-6HF井二开钻至井深1556.59 m井口失返,关井观察无套压,强钻至1566 m,测得漏速 $100\text{ m}^3/\text{h}$ (排量 $180\text{ m}^3/\text{h}$ ),起钻,下入光钻杆,第一次先打堵漏浆 $30\text{ m}^3$ (加入土粉2.0 t,单封4.0 t,随

钻堵漏剂 4.0 t, 0.5 ~ 1.0 mm 粒径核桃壳 2.0 t, 复合 I 型 1.0 t, 黄原胶 0.3 t), 再打水泥封固(水泥 15 t), 起钻, 关井憋压候凝, 堵漏未成功; 继续采用此方法连续 2 次堵漏后, 成功封堵漏层。

### 3.2.3 三开堵漏技术

由于三开水平段较长, 当发现漏点时, 应发现一层, 封堵一层, 不能带漏钻进。当发生漏失时, 主要技术思路是降低钻井液密度、调整钻井液流变性、选择合适的堵漏材料、采用相应的堵漏措施。

(1) 当漏速  $< 20 \text{ m}^3/\text{h}$  时, 堵漏措施与二开堵漏措施相同, 只是堵漏材料换成与油基泥浆相配伍的材料; 焦页 27-1HF 井三开钻进至 3890 m 时发生漏失, 漏速为  $1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。钻井液性能: 密度  $1.54 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 粘度 54 s。现场配制随钻堵漏浆, 循环堵漏成功, 主要配方为油基泥浆  $30 \text{ m}^3$ , 柴油  $31 \text{ m}^3$ , 主乳 1 t, 辅乳 1 t, 超细凝胶 1 t, 封堵剂 8 t, FT 5 t, 降滤失剂 3 t, 超细碳酸钙 5 t。

(2) 当漏速  $> 20 \text{ m}^3/\text{h}$  时, 常规堵漏措施堵漏效果差, 暂无配套的高效堵漏方案。

## 4 涪陵页岩气田防漏堵漏技术发展建议

### 4.1 存在问题

(1) 一开漏失严重, 虽然清水强钻是一种可靠的技术措施, 但这种方式需消耗大量的清水, 涪陵气田地处山区, 在山区短时间储备大量钻井用水存在很多困难。

(2) 二开虽然有成熟配套的堵漏措施, 但实际钻井过程中发现, 有的井漏点很难卡准, 导致堵漏效果不佳。

(3) 三开油基钻井液钻进过程中, 还没有形成成熟配套的堵漏技术, 随着开发区域的扩大, 地质情况有所改变, 若还是采取常规的二开堵漏技术, 没有针对性的三开堵漏技术, 会影响后期整个开发进程。

(4) 遇到溢、漏同存的地层时, 为了压井, 增加

钻井液密度, 但这会导致承压能力低的地层产生次生裂缝, 加剧漏失, 随着漏失量的增加, 井控风险又随之而来, 形成恶性循环。

### 4.2 发展建议

(1) 试验应用清水充气钻井技术<sup>[4]</sup>: 针对浅表层微裂缝地层, 可采用清水充气钻井技术, 降低密度, 减少用水量, 同时增加机械钻速<sup>[5]</sup>, 有利于快速解决一开问题。

(2) 加强油基钻井液堵漏剂研发: 常规堵漏材料与油基钻井液配伍性差, 封堵效果不理想, 可研究与之配伍性强的堵漏剂, 如凝胶堵漏剂、油基水泥等<sup>[6]</sup>。

(3) 探讨应用物理堵漏技术: 现阶段堵漏工艺不能精确、高效的对漏点进行封堵, 可探讨应用物理堵漏技术<sup>[7]</sup>, 采用新工艺, 新工具, 如堵漏材料送入工具<sup>[8]</sup>, 现精确堵漏、高效堵漏。

(4) 推广应用控压降密度钻井技术: 针对溢、漏同存的复杂井, 控压降密度钻井技术是一项成熟、安全的技术, 可推广应用。

### 参考文献:

- [1] 陈任. 电法勘探在岩溶勘察中的应用[J]. 企业科技与发展, 2013, 352(10): 54-55.
- [2] 梁顺军. 地震剖面的断层分析及相关意义[J]. 石油地球物理勘探, 1999, 34(5): 560-568.
- [3] 张慧, 刘春全, 艾志久. 浅谈我国旋转防喷器技术的现状与发展[J]. 石油矿场机械, 2007, 36(1): 28-32.
- [4] 左星, 李发水, 李照, 等. 充气钻井技术在四川地区的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2010, 33(3): 59-61.
- [5] 吴仕荣, 邓传光, 周开吉. 空气钻井地层出水限定值的探讨[J]. 钻采工艺, 2006, 29(5): 7-8.
- [6] 何兴贵, 乔军, 张新旭. 南方海相低压地层堵漏新技术[J]. 特种油气, 2001, 8(4): 66-68, 101.
- [7] 王中华. 复杂漏失地层堵漏现状及发展方向[J]. 中外能源, 2014, 19(1): 39-48.
- [8] 褚明来, 丁建林, 朱一星. 钻井堵漏材料送入工具的研究与应用[J]. 石油机械, 2007, 35(9): 85-86.