

◆ 钻井完井 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2011.02.011

川东北地区钻井漏失及堵漏措施现状分析

臧艳彬 王瑞和 张锐

(中国石油大学(华东) 石油工程学院, 山东 青岛 266555)

摘要: 对川东北地区钻井漏失频率高、处理措施效果不理想的现状, 运用数理统计方法对钻井漏失及其处理措施进行了分析、评价。在对川东北地区钻井漏失层进行统计的基础上, 依据漏失发生频率、孔道类型、严重程度、漏失特点以及堵漏现状, 将川东北地区漏失层分为4个时段, 各个时段及其特点是: 飞仙关组, 堵漏难度最大; 嘉陵江组, 漏失频率最高; 颀家河组—自流井组, “高孔低破”喷漏同层; 蓬莱镇组—沙溪庙组, 已得到较好解决。对川东北地区目前应用的堵漏措施进行了归纳总结, 并结合各井漏处理措施的封堵机理和现场堵漏效果, 总结了11种漏失处理措施的优缺点和适用范围, 指出了目前该地区堵漏存在的主要问题并提出了对策。

关键词: 井漏; 堵漏; 堵漏剂; 川东北地区

中图分类号: TE28 文献标识码: A 文章编号: 1001-0890(2011)02-0060-05

Current Situation Analysis of Circulation Lost and Measures in Northeast Sichuan Basin

Zang Yanbin Wang Ruihe Zhang Rui

(College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong, 266555, China)

Abstract: For the problem of high frequency of circulation lost and unsatisfactory treatment measures in Northeast Sichuan Basin, statistical mathematics is used to analyze and evaluate the circulation lost and treatment measures. Based on the statistical results, the circulation lost formation in Northeast Sichuan Basin were divided into 4 groups according to the frequency of lost circulation, pore throat type, severity, lost circulation characteristics, and well plugging. Each group has their own characteristics. Well plugging in Feixianguan is the hardest. The lost frequency in Jialingjiang is highest. Formation lost and well kick altogether is the key in Xujiahe—Ziliujing. Lost circulation in Penglaizhen—Shaximiao was already solved. The plugging measures used in Northeastern Sichuan Basin are summarized. Advantages, disadvantages and application of 11 treating measures were summarized based on plugging mechanism and field plugging results. The main problems and their measures for plugging in this area were pointed out.

Key words: lost circulation; lost circulation control; lost circulation material; Northeast Sichuan Area

川东北地区地层破碎, 背斜褶皱强烈, 裂缝、溶洞发育, 钻井漏失频率高、分布广, 漏速大、堵漏难度大, 严重制约着该地区钻完井施工的安全与速度^[1-3]。经过科研人员的不断探索与研究, 基本弄清了主要漏失层的漏失原因、通道及特征, 探索出了桥浆、水泥、随钻等堵漏措施^[1-6]。近年来, 随着钻井数量的不断增多, 对漏失地层的认知程度逐渐深入, 新型堵漏技术迅速发展, 井漏处理措施也有了更多的选择余地^[1]。但由于川东北地区施工单位多、水平参差不齐, 堵漏措施的选择仍具有

较大盲目性, 为充分借鉴最新研究成果, 发挥新型

收稿日期: 2010-02-23; 改回日期: 2011-01-18

基金项目: 国家安监总局项目“高含硫气井勘探开发安全关键技术研究”(编号: 07-06B-01-04-02) 和中央高校基本科研业务专项资金“含硫气井钻完井事故诊断与评价方法研究”(编号: 09CX04006A) 联合资助

作者简介: 臧艳彬(1984—), 男, 山东德州人, 2006年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业, 油气井工程专业在读博士研究生, 主要从事钻井地质评价、井身结构优化设计等方面的研究工作。

联系方式: 13646392665, zangxiaotian@163.com

堵漏技术优势,笔者对该地区的井漏情况和堵漏措施进行了统计分析,给出了目前钻井漏失的规律与特点,总结了11种井漏处理措施的封堵机理、优缺点以及应用范围,指出了堵漏存在的主要问题并给出了解决方法。

1 川东北地区钻井漏失现状分析

川东北地区近年来完钻的35口井共发生井漏事故256起,具体漏失情况见表1。

表1 川东北地区钻井漏失情况

Table 1 The statistics of circulation lost in Northeastern Sichuan Basin

层位	漏失次数	漏失井/口	漏失速度/ $m^3 \cdot h^{-1}$		漏失总量/ m^3
			最大	平均	
蓬莱镇组	5	1	21.00	9.32	273.80
遂宁组	11	2	50.00	18.33	1 085.09
上沙溪庙组	3	1	19.00	9.00	272.21
下沙溪庙组	25	2	87.24	20.22	713.33
千佛崖组	10	1	24.00	14.91	1 362.40
自流井组	33	1	11.73	3.08	779.77
须家河组	62	1	60.00	12.82	3 700.60
雷口坡组	7	2	30.00	9.32	1 575.36
嘉陵江组	69	12	75.00	26.90	3 549.96
飞仙关组	28	9	60.00	13.80	4 650.40
长兴组	2	2	2.73	2.73	23.70
龙潭组	0	0	0	0	0
茅口组	1	1	3.80	3.80	19.00

1.1 漏失频率

由表1可知,嘉陵江组漏失次数最多,占总数的26.95%;其次为须家河组62次,占总数的24.22%;下沙溪庙组、自流井组、飞仙关组漏失次数中等,分别为25次、33次、28次,分别占总数的9.77%、12.89%、10.94%;其他层位漏失次数较少。

1.2 漏失严重程度

由表1可知,嘉陵江组具有漏失频率高、漏速大的特点;飞仙关组漏失总量最大,漏失次数中等,漏失速度中等,飞仙关组漏失总量最大的原因是漏失持续时间长,反映出飞仙关组堵漏效果不理想,堵漏难度大。下沙溪庙组井漏次数较多,漏失速度为 $20.22 m^3/h$,但其漏失总量仅有 $713 m^3$,说明堵漏措施到位,该层漏失基本得到控制。

1.3 漏失类型

漏失类型和漏失速度情况分别见图1、图2。

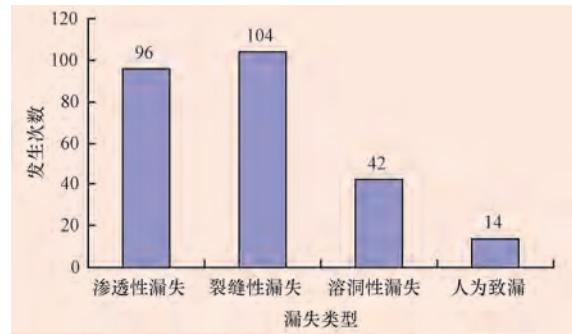


图1 川东北地区漏失类型

Fig.1 The statistics for types of circulation lost in Northeastern Sichuan Basin

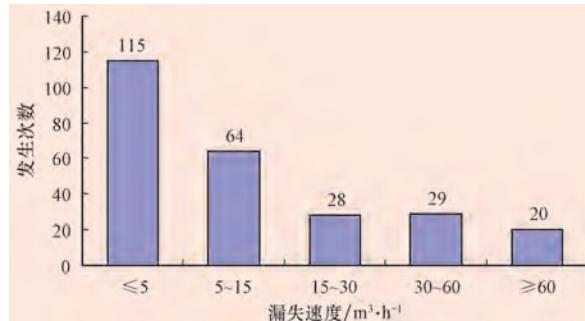


Fig.2 The statistics for velocity of circulation lost in Northeastern Sichuan Basin

从图1可以看出,川东北地区以渗透性漏失和裂缝性漏失为主。计算可知,渗透性漏失占37.5%,裂缝性漏失占40.6%,溶洞性漏失占16.4%,人为致漏占5.5%。

1.4 漏失速度情况

由图2可知,严重井漏(漏速 $\geq 60 m^3/h$)占11%,大漏(漏速 $30 \sim 60 m^3/h$)占8%,中漏(漏速 $15 \sim 30 m^3/h$)占11%,小漏(漏速 $5 \sim 15 m^3/h$)占25%,微漏(漏速 $\leq 5 m^3/h$)占45%。

1.5 漏失原因与特点

依据井漏发生频率、孔道类型、严重程度、漏失特点以及封堵要求,将川东北地区的漏层分为4类:

1) 蓬莱镇—沙溪庙组地层漏失频率低,漏失类型以微孔隙、微裂缝渗透性漏失为主,漏失通道是岩石颗粒的粒间孔、微裂缝、缝合线^[2]。PG2井、PG101井、PG102-2井钻井实践表明,该层段漏失压力当量密度仅为1.02 kg/L,漏失压力低是该层

段漏失的主要特点。

2) 须家河组—自流井组地层的漏失类型为孔隙-裂缝性的微裂缝漏失和窄钻井液安全密度窗口漏失^[3]。须家河组地层异常高压层多且地层破裂压力低, 钻井过程中喷漏同存, 钻井液密度可调范围很小, “高孔低破”是该层段漏失的最主要特点。

3) 嘉陵江组地层位于构造的主体部位, 漏失通道以溶洞和大裂缝为主, 且少数漏失通道与地表连通^[3]。开启性裂缝和承压能力较低是嘉陵江组地层漏失的主要特点。

4) 飞仙关组地层的漏失类型为裂缝性漏失和溶洞性漏失, 漏失通道以溶蚀孔洞、大裂缝为主^[3]。统计表明, 飞仙关组构造翼部漏失发生频率大于构造高点, 构造翼部漏失压力系数一般在 1.50 左右, 构造高点压力系数在 1.70 以上。恶性漏失和大溶洞置换性漏失、堵漏难度大是飞仙关组地层漏失的主要特点。

2 川东北地区堵漏措施评价

川东北地区常用的堵漏措施主要有桥浆堵漏、水泥堵漏、随钻堵漏、复合堵漏、“桥浆+MTC”堵漏、无渗透性承压堵剂堵漏、凝胶与胶凝堵漏、低密度膨胀型堵剂堵漏、屏蔽暂堵技术堵漏、清水强行钻进、降低排量增加钻井液黏度等 11 种。

桥浆堵漏 桥浆堵漏的原理是堵漏材料在漏失喉道内堆积、架桥, 依靠形成的泥饼实现堵漏。其优点是工艺简单、现场操作方便, 对不同漏失通道都具有较好的适应性。缺点是稳定性和持久性差。在恶性漏失、对堵漏持久性要求不高的层位可优先选择桥浆堵漏, 如固井前的地层承压堵漏。

水泥堵漏 水泥堵漏具有堵塞强度大、堵漏成功后持久性好的优点。其不足之处主要体现在: 1) 工艺复杂, 施工时间较长, 堵漏成功率低; 2) 大裂缝、大溶洞性漏失消耗的水泥量较大, 堵漏成本高; 3) 堵漏后, 钻进过程中水泥掉块容易引起硬卡钻, 如清溪 1 井就因水泥掉块下沉引起卡钻。

随钻堵漏 在钻井液中加入一定量的颗粒状物质形成具有较强封堵能力的堵剂(如 SDL), 当发生漏失时, 大颗粒物质在裂缝管喉处遇卡形成架桥, 较小颗粒物质填充在裂缝中剩余的空间实现堵漏。随钻堵漏具有损失钻时少、可实现多层次堵漏、堵漏与正常钻进同时进行等优点, 但堵漏成功率仅 40% 左右。它适用于上部沙溪庙组砂岩地层孔隙、微裂缝

性漏失, 对于下部嘉陵江组和飞仙关组地层的大裂缝、大溶洞性漏失成功率很低。

复合堵漏技术 为充分发挥各种堵漏技术的优点, 在桥浆堵漏、水泥堵漏、随钻堵漏的基础上开发了复合堵漏技术, 该技术包括: 1) “桥浆+水泥”复合堵漏, 即采用先注桥塞剂, 在裂缝中架桥, 降低漏速, 然后再注入水泥堵漏; 2) 桥浆堵漏+随钻堵漏, 在钻井液中加入 8%~15% 的桥接堵漏材料进行随钻堵漏, 比单独使用桥浆或水泥堵漏效果更明显。但进行高浓度桥浆随钻堵漏时, 钻井液不经过振动筛, 加之钻井液中桥接材料和钻屑含量高, 会使钻井液性能变差, 易出现厚滤饼卡钻等井下故障, 因此, 在应用该技术时, 要反复划眼和短程起下钻, 以降低厚滤饼引起卡钻的可能性。

“桥浆+MTC”堵漏技术 2003 年, MTC 技术应用于毛坝 3 井堵漏并取得成功。毛坝 3 井钻至井深 2 090 m(须家河组)进行地层试压, 地层原始承压系数仅为 1.24, 远不能满足钻开下部高压产层的条件。先后采用数十次“水泥+桥浆”堵漏, 历时 3 个多月地层承压能力提高到 1.75 kg/L, 效果仍然不理想。后来采用“MTC+桥接剂”封堵漏层, 先用桥浆封堵孔喉, 然后分 2 次泵入 MTC 桥浆, 通过“桥浆+MTC”承压堵漏将地层承压提高到 2.15 kg/L 以上, 满足了钻进下部高压层的要求。应用表明: MTC 堵漏浆具有较强的抗钻井液污染性、与桥塞剂配伍性较好、具有较强触变性和剪切稀释性; “MTC+桥浆”具有较高的堵塞和封固强度, 对大裂缝、大溶洞漏失具有很好的适用性。

无渗透性承压堵剂 无渗透性承压堵剂利用惰性材料的架桥作用和聚合物与表面活性物质的胶束(胶粒)界面吸力及其可变形性, 封堵漏失通道较大的孔喉, 在岩石表面形成致密非渗透性膜, 封堵不同渗透率的地层和裂缝性地层, 实现物理封堵和化学成膜封堵的有效结合。应用实践表明, 无渗透性承压堵剂对漏失喉道具有广泛的适应性, 无论是对高孔、高渗地层还是大裂缝性地层都具有较好的封堵效果; KSY 无渗透性承压堵剂成膜速度快、成膜薄, 一般的射孔完井方式都能穿透封固膜, 恢复地层渗透率。

凝胶与胶凝堵漏技术 在桥堵浆中加入凝胶聚合物和胶结剂形成的凝胶堵漏浆与常规桥塞堵漏浆相比, 能显著提高堵漏浆的性能^[6], 特别是在有地下水的情况下, 化学凝胶与桥堵浆材料复合使用, 可以防止地层水对桥浆堵漏的稀释, 提高堵漏成功率。

凝胶堵漏技术耦合了桥接、膨胀、胶结三种堵漏机理,对漏失通道类型具有很好的适应性。

在凝胶堵漏浆的基础上,利用无机材料代替凝胶中的聚合物形成胶凝高效堵漏浆,该类堵漏浆可与架桥粒子配合,当堵漏浆泵入到井下遇到漏层,在压差作用下迅速失水,形成具有一定强度的滤饼,初始承压能力可达4 MPa以上,随着滤饼逐渐凝固,抗压强度可达30 MPa以上,从而大幅度提高承压能力。应用实践表明,胶凝高效堵漏剂具有高失水、高强度和高酸溶率的特点,适用于孔隙性和裂隙性漏层。

低密度膨胀型堵剂 对胶结性差、破碎严重的漏失井段,在堵漏浆中加入一定量的具有胶结能力的添加剂及海带、水泥、膨润土等膨胀材料,形成具有一定胶结能力的稠化物,在漏失通道里形成具有一定强度的固体段塞,从而起到封堵、加固、胶结作用。应用实践表明,低密度膨胀型堵剂可有效封堵严重漏失井段,封堵效果明显。

屏蔽暂堵技术 通过优选合理粒径的架桥粒子和充填粒子做封堵粒子可以实现屏蔽暂堵,采用屏蔽暂堵技术堵漏可以提高地层的承压能力,满足下部施工要求,有效保护油气层。但要实现屏蔽暂堵则要求暂堵剂粒子尺寸与地层孔喉尺寸严格匹配,

这在一定程度上限制了屏蔽堵漏技术的成功率和适用范围。

清水强行钻进 钻遇大溶洞、大裂缝性地层时,由于地层孔隙度大、连通性好,采用堵漏剂堵漏往往难以取得理想效果。如果地层坍塌不严重,且无高压气层时可以考虑采用清水强钻的方法,迅速钻过漏层并下套管封固。

降低排量,增加钻井液黏度 钻遇低压层或高渗透层时往往发生渗透性漏失,漏速较小。对于这种漏失,可以采用调整钻进参数的方法处理,如降低钻井液排量、提高钻井液黏度、降低钻井液密度等措施。

川东北地区堵漏措施应用情况统计见表2,其中处理井漏241次,成功136次,成功率56.43%。统计表明:1)桥浆堵漏、水泥浆堵漏以及随钻堵漏是川东北地区主要的堵漏措施,这三者的使用次数占总数的70%,其中桥浆堵漏使用率为42.74%,水泥浆堵漏和随钻堵漏分别为14.11%和14.52%;2)堵漏措施成功率偏低,常规井漏堵漏措施平均成功率一般低于80%,桥浆堵漏为72%,随钻堵漏为43%,水泥堵漏为74%,新型堵漏措施的堵漏成功率较高,如桥浆堵漏+随钻堵漏、“桥浆+MTC”堵漏成功率均为80%。

表2 川东北地区堵漏措施及其效果

Table 2 The statistics of the treatment measures and their effects in Northeastern Sichuan Basin

序号	处理措施	使用次数	成功次数	失败次数	使用概率, %	成功率, %
1	桥浆堵漏	103	74	29	42.74	72
2	水泥堵漏	34	25	9	14.11	74
3	随钻堵漏	35	15	10	14.52	43
4	“桥浆+水泥”复合堵漏	22	17	5	9.13	77
5	桥浆堵漏+随钻堵漏	10	8	2	4.15	80
6	“桥浆+MTC”堵漏	10	8	3	4.15	80
7	降低排量,增加钻井液黏度	13	6	7	5.39	46
8	无渗透性承压封堵剂	3	2	1	1.24	67
9	清水强钻	5	4	1	2.07	80
10	凝胶	3	2	1	1.24	67
11	屏蔽暂堵技术	2	1	1	0.83	50
12	低密度膨胀型堵剂	1	1	0	0.41	100

3 川东北地区堵漏存在的问题及对策

3.1 堵漏存在的主要问题

1) 堵漏措施的选择、堵漏施工流程的制定、堵漏的操作规范尚未形成科学的体系,堵漏具有一定

盲目性,堵漏效果不理想。

2) 川东北地区地层破碎、漏失层段多,缺乏有效预测漏层位置的理论与方法,即使发生漏失亦难确定漏层的准确位置,往往造成堵漏周期长、反复漏失、喷漏同存等复杂情况。

3) 应对飞仙关组、嘉陵江组地层大溶洞及大裂

缝性漏失的办法不多,堵漏效果不理想,缺乏适应性强、效率高的堵漏技术。

4) 川东北地区压力层系复杂,现有套管层次有限,不能对复杂地层及时封固,漏失多与井壁坍塌、井喷、卡钻共同发生,不利于堵漏施工。

3.2 堵漏对策

1) 加快堵漏评价方法研究,提高堵漏措施的针对性。目前在川东北地区的施工队伍主要是几大油田的钻井队,由于井漏事故类型多种多样,各油田情况并不一致,所以在堵漏施工过程中,各井队对堵漏材料的选择和加量没有统一标准。因此,建议开展堵漏剂适应性与性能评价研究,系统分析堵漏剂与地层的配伍性,提高一次堵漏成功率,缩短堵漏周期,降低堵漏成本。

2) 加强堵漏剂的复配研究,形成多学科综合堵漏技术。采用跨学科理论(如颗粒堆积理论、钻井液成膜理论、油田化学堵水技术、旋转射流理论等)指导优质高效堵漏剂单剂或堵漏工具的研发,试验不同的堵漏剂复配方式,优选合理的堵漏剂复合配方。开展堵漏剂评价方法研究,严格保证堵漏剂的性能,提高堵漏的成功率和效率,保护油气层。

3) 制订科学的堵漏工艺流程,规范堵漏技术人员的操作。相同堵漏剂若施工工艺不同其效果差别也很大,施工人员的操作失误亦会引起堵漏失败。

4) 井漏事故处理的根本在于“防”不在于“堵”,因此提高对地质条件的认知程度,优化井身结构设计,使用合理的钻井液、完井液密度以防止井漏事故发生,降低井漏事故发生率,才能彻底解决该地区的井漏问题。

5) 钻井技术的发展为堵漏技术提供了新的解决思路,如气体钻井技术、泡沫钻井技术、MPD 技术等。

4 结论与建议

1) 川东北地区钻井漏失频率、孔道类型、漏失速度以及漏失严重程度统计表明,该地区井漏可分为蓬莱镇组—沙溪庙组、须家河组—自流井组、嘉陵江组、飞仙关组 4 个层段。其中,飞仙关组地层堵漏难度最大,难点在于大裂缝、大溶洞漏失;嘉陵江组地层漏失频率最高,构造裂缝和下部高压是漏失的主要原因;须家河组—自流井组层段的漏失特点为“高孔低破”,

喷漏同层;蓬莱镇组—沙溪庙组层段为孔隙性渗漏,随着气体钻井技术的推广得到了较好解决。

2) 总结了川东北地区 11 种钻井漏失处理措施的封堵机理和适用范围,并对各堵漏措施在该地区的应用情况进行了统计分析,结果表明,常规桥浆堵漏、水泥堵漏、随钻堵漏在川东北地区堵漏成功率普遍不高,随钻堵漏成功率仅为 43%;近几年发展起来的复合堵漏、桥浆 + MTC 和膨胀性堵剂等新型堵漏技术的成功率均在 80% 以上。

3) 针对川东北地区钻井漏失存在的问题,提出加强堵漏剂复配、开展堵漏剂评价、规范堵漏工艺及操作流程、做好钻前漏层分析与评价、运用气体钻井技术和 MPD 技术等 5 条解决对策,可为该地区井漏的预防和处理提供借鉴与指导。

参 考 文 献

- [1] 刘四海,崔庆东,李卫国. 川东北地区井漏特点及承压堵漏技术难点与对策[J]. 石油钻探技术,2008,36(3):20-23.
Liu Sihai, Cui Qingdong, Li Weiguo. Circulation loss characteristics and challenges and measures to plug under pressure in Northeast Sichuan Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3):20-23.
- [2] 王希勇,熊继有,钟水清,等. 川东北井漏现状及井漏处理对策研究[J]. 钻采工艺,2007,30(2):135-137.
Wang Xiyong, Xiong Jiyou, Zhong Shuiqing, et al. Status quo and disposal measurements of circulation loss in Northeast District of Sichuan[J]. Drilling & Production Technology, 2007, 30(2):135-137.
- [3] 步玉环,尤军,姜林林. 触变性水泥浆体系研究与应用进展[J]. 石油钻探技术,2009,37(4):110-114.
Bu Yuhuan, You Jun, Jiang Linlin. Research and application of thixotropic cement slurry[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(4):110-114.
- [4] 郑有成,李向碧,邓传光,等. 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, et al. Techniques of treating seriously lost circulations in Northeast Sichuan[J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(6):84-85.
- [5] 马光长,吉永忠,熊焰. 川渝地区井漏现状及治理对策[J]. 钻采工艺,2006,29(2):25-27.
Ma Guangchang, Ji Yongzhong, Xiong Yan. Present state and treatment measures of lost circulation in Sichuan and Chongqing Area[J]. Drilling & Production Technology, 2006, 29(2):25-27.
- [6] 高绍智. 元坝 1 井承压堵漏技术[J]. 石油钻探技术,2008,36(4):45-48.
Gao Shaozhi. Leakage control under pressure in Well Yuanba-1 [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(4):45-48.