

深层裂缝性储层防漏堵漏实验评价研究

范 钢, 张宏刚

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

摘 要: 深层裂缝性气藏具有异常高压、高产等特点, 钻井完井过程中易出现又喷又漏等复杂事故, 因此需做好“防漏为主、堵漏为辅”的防漏堵漏措施。通过全尺寸堵漏装置进行了高压静态、动态模拟堵漏实验, 优选配方组合, 并系统评价了防漏、堵漏配方的封堵能力、承压能力以及酸溶性, 评价研究出的防漏堵漏配方, 具有酸溶率高、堵塞强度高、返排效果好等特点, 为防漏、堵漏方案现场实施提供依据。

关键词: 裂缝性储层; 堵漏装置; 防漏; 堵漏

中图分类号: P634.8 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2008)07-0080-04

Evaluation Studies on the Leakage Proof and Blocking Experiment of the Deep Fractured Reservoir/FAN Gang, ZHANG Hong-gang (The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: Deep fractured gas reservoir has the characteristics of abnormal high pressure and high production, and in the well drilling and completion process, blowout and leaky accidents often occur, so leakage proof and blocking are necessary. Experiments were made with full-scale plugging devices in statistic and dynamic high-pressure simulated plugging and combination of optimized formulas; and systematic review was made on plugging capacity, resistance to pressure and acid solubility. The determined formula has the characteristics of high-rate of acid solution, high-strength of plugging and good effect of flow-back, which provides basis for on-site leakage proofing.

Key words: fractured reservoir; plugging devices; leakage proof; plugging

深井裂缝性气藏具有异常高压、高产等特点, 常用的屏蔽暂堵技术不能有效、迅速制止井漏、保护储层, 致使储层得不到正确的评价, 甚至出现又喷又漏的复杂情况, 影响井控安全。

以往防漏堵漏技术多针对非储层段^[1-7], 国内外随钻防漏普遍采用物理化学方法, 主要依靠改变钻井液体系和封堵材料来防漏堵漏, 堵漏主要以堵死漏层为目的。钻井完井过程中针对储层段防漏堵漏, 一方面要求快速封堵并具有较高的承压能力, 满足施工工艺要求, 另一方面堵塞在完井试采过程中有高效解堵方法, 或者说能返排恢复裂缝渗透率。

本文针对深层裂缝性储层特征, 设计了防漏、堵漏实验思路和方案, 评价了不同防漏、堵漏配方的封堵能力和承压能力, 为防漏堵漏技术工艺提供实验依据。

1 实验评价思路及预期指标

考虑到裂缝性储层可能具有孔、洞效应, 实验采用全尺寸堵漏装置, 用缝板模拟地层裂缝, 砾石床模拟孔洞进行防漏堵漏实验。

(1) 缝板尺寸: 采用 1、2、3、5 mm 缝板模拟不同尺寸的裂缝宽度 w , 缝板厚度 $h = 6$ mm, 缝长 $L = 35$

mm(如图 1 所示);

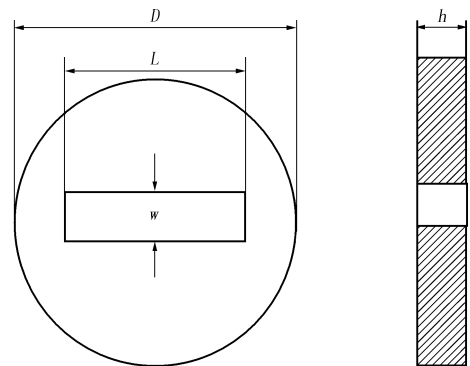


图 1 缝板示意图

(2) 砾石床尺寸: 采用直径为 3、5、10、20 mm 弹子床, 分别模拟孔洞孔喉直径为 0.45 ~ 1.23、0.75 ~ 2.05、1.5 ~ 4.1、3 ~ 8.2 mm。

(3) 预期目标: 随钻防漏实验针对 0.2 ~ 1.0 mm 裂缝和孔喉直径 0.2 ~ 1.0 mm 孔洞, 能快速实现封堵, 承压能力达到 6 MPa; 堵漏实验针对 1 ~ 5 mm 裂缝和孔喉直径 1 ~ 2.5 mm 孔洞, 堵漏承压能力达到 6 MPa。

收稿日期: 2008-05-31

作者简介: 范钢(1958-), 男(汉族), 山西平遥人, 中国地质科学院探矿工艺研究所工程师, 探矿工程专业, 从事堵漏材料和堵漏工艺的研究开发工作, 四川省成都市郫县成都现代工业港港华路 139 号。

2 防漏、堵漏实验方案

实验方案编制参考中华人民共和国石油天然气行业标准——《钻井用桥接堵漏材料室内试验方法》(SY/T 5840-93)。

2.1 实验仪器、材料及实验条件

(1)实验仪器:DS-2 型堵漏试验装置(图 2)、变频高速搅拌机、漏斗粘度计、液体密度计、实验天平、电子天平等。实验材料见表 1。

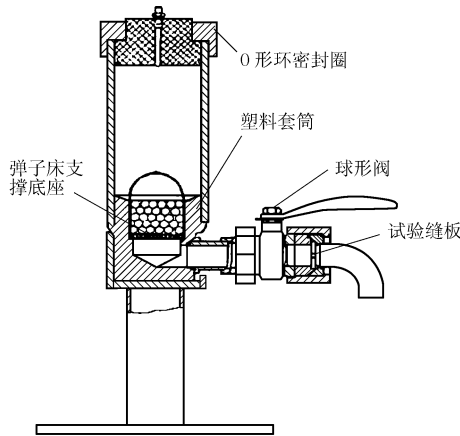


图 2 DS-2 型堵漏试验装置

表 1 实验材料

序号	材料名称	材料代号	主要参数
1	缝板	缝板	1~5 mm 系列
2	球床	钢球	Ø3~20 mm 系列
3	井浆		密度 1.35 g/cm ³
4	原浆		6% 膨润土
5	无渗透剂	FLC2000	
6	堵漏剂	LCP2000	
7	骨架材料	SRD10	5~10 目
		SRD20	10~20 目
		SRD40	20~40 目
		SRD80	60~80 目
		SRD35	3~5 mm
8	加固材料	SD1	粉末状, <120 目
		SD3	长纤维状
9	填充材料	QP1	短纤维状
		QP2	长纤维状
10	高失水堵漏剂	DTR	

(2)实验条件:实验温度为常温,压力 3~6 MPa,气源为 12 MPa 氮气。

2.2 实验配方设计

实验配方设计考虑防漏和堵漏 2 套配方体系。防漏实验配方以无渗透材料为主,加骨架材料及纤维材料加强,如表 2 所列。堵漏实验配方以高失水堵漏剂 DTR 和 LCP2000 为主,加入骨架材料及纤维材料加强,如表 3 所列。

表 2 防漏实验配方

实验编号	防漏配方	针对类型
1-1	基浆 + 1.5% FLC2000 + 5% SRD80 + 3% SD1	1 mm 缝板
1-2	基浆 + 1.5% FLC2000 + 6% SRD40 + 5% SRD80 + 3% SD1	2 mm 缝板
1-3	基浆 + 1.5% FLC2000 + 6% SRD40 + 5% SRD80 + 3% SD1	Ø5 mm 弹子床

表 3 堵漏实验配方

实验编号	堵漏配方	针对类型
2-1	0.5% 土浆 + 14% DTR + 3% SRD20 + 5% SRD40 + 3% SRD80 + 3% SD1 + 2% SD3	2 mm 缝板
2-2	基浆 + 3% LCP2000 + 12% DTR + 3% SRD20 + 2% SRD40 + 2% SRD80 + 2% SD3	3 mm 缝板
2-3	0.5% 土浆 + 14% DTR + 5% SRD10 + 3% SRD20 + 2% SRD40 + 2% SRD80 + 3% SD3	3 mm 缝板
2-4	基浆 + 3% LCP2000	Ø5 mm 弹子床
2-5	基浆 + 3% LCP2000 + 12% DTR + 3% SRD10 + 3% SRD20 + 2% SRD40 + 2% SRD80 + 2% SD3	Ø10 mm 弹子床
2-6	0.5% 土浆 + 3% LCP2000 + 12% DTR + 2% SRD35 + 3% SRD10 + 2% SRD20 + 2% SRD80 + 1% SD3	5 mm 缝板, Ø20 mm 弹子床

注:在加入大颗粒骨架材料后,堵漏浆液出现一定的沉淀。

2.3 实验程序

(1)防漏实验:配制满足密度、漏斗粘度要求的防漏钻井液基浆,取基浆 5000 mL,按照设计防漏实验配方在搅拌条件下按顺序加入防漏材料,充分搅拌后,测定其密度和漏斗粘度。配制成多组防漏实验配方,分别进行静态实验和动态实验。

(2)堵漏实验:配制满足膨润土含量的堵漏配方基浆,取基浆 5000 mL,按照设计堵漏实验配方,在搅拌条件下按顺序加入堵漏材料,充分搅拌,观察流动性,调整膨润土含量使其具备良好可泵性。配制成多组堵漏实验配方,分别进行静态实验和动态实验。为便于后期酸溶解堵,对实验中的堵漏材料进行酸溶率测定。

3 实验结果分析

按实验设计配制防漏实验配方 7 组、堵漏实验配方 17 组,同时选择部分实验结果较好的配方进行重复实验。共进行 1~5 mm 系列缝板实验、Ø3~20 mm 系列弹子床实验累计 48 次。对 10 种堵漏材料进行了酸溶性评价。

3.1 防漏实验评价

防漏配方实验中,完成了 1、2 mm 缝板实验(模拟裂缝性防漏)、Ø3、5、10 mm 弹子床实验(模拟孔

洞性防漏)。

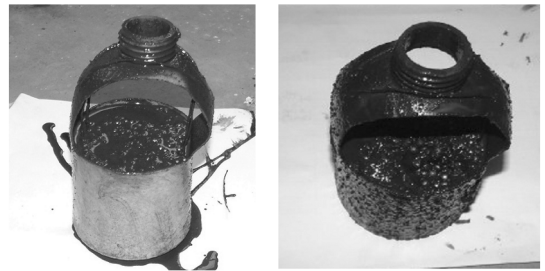
对于裂隙性防漏,在 1 mm 缝板实验中,1-1 实验配方能够实现快速封堵,承压能力达 6 MPa,累计漏失量为 570 mL,实验现场见图 3;在 2 mm 缝板实验中,1-2 实验配方能够实现封堵,承压能力达 6 MPa,累计漏失量为 1100 mL。



图 3 1 mm 缝板防漏实验

对于孔洞性防漏,在 $\text{Ø}3$ mm 弹子床实验中,1-1 实验配方能够实现快速有效封堵,承压能力达 6 MPa,累计漏失量为 390 mL,实验现场见图 4(a);在 $\text{Ø}5$ mm 弹子床实验中,1-3 实验配方能够实现有效封堵,承压能力达 6 MPa,累计漏失量为 130 mL,实验现场见图 4(b)。最大孔喉达 4 mm,因而防漏实验结果均为全部漏失,不能实现有效封堵。

$\text{Ø}10$ mm 弹子床由于孔喉尺寸超过 1.5 mm,随钻防漏要求防漏泥浆必须保持良好的钻井液性能,



(a) $\text{Ø}3$ mm 弹子床实验

(b) $\text{Ø}5$ mm 弹子床实验

图 4 弹子床防漏动态实验

满足钻井工艺及钻井液净化工艺要求,因此堵漏材料的使用受到限制,能有效封堵的裂缝宽度和孔洞直径有限。

实验结果表明:裂缝宽度在 1 mm 以内时防漏泥浆能够实现快速、高效封堵;裂缝宽度超过 1 mm 时,虽能快速封堵,但漏失量稍大;孔洞直径 < 1.5 mm 时,防漏泥浆也能实现快速、高效封堵;孔洞直径 > 1.5 mm 后,不能实现有效封堵。随钻防漏针对 2 mm 以内的孔喉是有效的,超过 2 mm 必须采取专堵措施。

3.2 堵漏实验评价

堵漏配方实验中,完成了 2、3、5 mm 缝板实验(模拟裂缝性堵漏), $\text{Ø}5$ 、10、20 mm 弹子床实验(模拟孔洞性堵漏),部分实验结果见表 4。

表 4 堵漏实验结果表

实验编号	FV/s	缝板、弹子尺寸	模拟类型	承压能力/MPa	累计漏失量/mL	备注
2-1	流动好	2 mm 缝板	裂缝	6	80	能快速封堵,漏失量小,承压能力高
2-2	流动好	3 mm 缝板	裂缝	1	全漏	未加入 5~10 目骨架材料 SRD10
2-3	流动好	3 mm 缝板	裂缝	6	100	能快速封堵,漏失量小,承压能力高
2-6	流动好	5 mm 缝板	裂缝	6	230	能快速封堵,漏失量小,承压能力高
2-4	稠	$\text{Ø}5$ mm 弹子	孔洞	6	1060	能堵住,漏失量较大,承压能力高
2-5	稠	$\text{Ø}10$ mm 弹子	孔洞	6	350	能堵住,漏失量较小,承压能力高
2-6	流动好	$\text{Ø}20$ mm 弹子	孔洞	6	330	能快速堵住,漏失量较小,承压能力高

通过堵漏实验,取得以下几点认识:

(1) 基浆的膨润土含量对堵漏浆体系粘度有较大影响,实验表明,基浆膨润土含量取 0.5% ~ 1.0% 之间,在保持悬浮性能的基础上,仍然具备较好的流动性;

(2) 堵漏浆应有颗粒状的骨架材料,片状、颗粒状和絮状填充材料以及纤维状加固材料相配合,并且粒级搭配合理,才能实现快速封堵,具备较高的承压能力;

(3) 骨架材料粒度必须与裂缝宽度相匹配,才能形成有效架桥并增强承压能力,如在 3 mm 缝板

实验中,配方 2-2 基础上主要增加 5~10 目骨架材料 SRD10 后,其累计漏失量从全漏降低到 200 mL,承压能力从 0 提高到 6 MPa。

3.3 酸溶性评价

针对产层防漏堵漏,为提高酸化解堵效果,应选择酸溶性较好的堵漏材料。在“裂缝系统储层防漏堵漏实验评价”中,所用堵漏材料均具有较好的酸溶性,其中 SRD 系列材料、QP 系列材料酸溶性最好,超过 90%;DTR、FLC2000、SD1 酸溶性较好,超过 30%。主要堵漏材料的酸溶性评价结果见表 5。

表 5 主要堵漏材料酸溶性

序号	材料名称	酸溶率/%	序号	材料名称	酸溶率/%
1	DTR	36	6	SD3	23
2	SRD35	>95	7	FLC2000	30
3	SRD40	>95	8	QP1	>90
4	SRD80	>95	9	QP2	>90
5	SD1	38	10	LCP	75

4 防漏堵漏工艺措施

4.1 防漏堵漏钻具准备

进入漏层或产层的钻具组合要求能满足防漏、堵漏工艺要求,即钻头不装喷嘴,尽可能简化钻具组合。

4.2 防漏工艺措施

(1)卡准层位。建议在进入产层前 50 m 换用 40 目振动筛网,使用防漏泥浆。

(2)进行现场防漏泥浆小样配制和性能测试实验,要求添加防漏材料后钻井液性能满足钻井工艺要求,并具有良好的防漏效果。

(3)根据室内实验评价调整井浆性能,达到钻井工艺要求。

(4)按循环周,在地面均匀加入防漏材料,转化为防漏钻井液体系,并循环均匀,检测转化后的钻井液性能。

(5)用转化好的防漏钻井液继续钻进,揭开产层。

4.3 堵漏工艺措施

(1)进入产层前,进行现场堵漏泥浆配方实验,按现场实验结果准备好配制堵漏泥浆所需要的基浆,提前做好配制堵漏泥浆的各项准备。基浆要求具有较好悬浮性能,堵漏泥浆具有良好的可泵性。

(2)揭开产层,一旦裂缝宽度超过防漏钻井液所能封堵的尺寸、发生井漏时,尽快实施堵漏工艺。

(3)发生漏失时,钻具要提离漏层顶面至安全位置。如井内钻具不适合于堵漏作业,应起钻换为堵漏钻具。

(4)地面配制堵漏泥浆,堵漏泥浆配制量根据井眼大小和漏失量确定。

(5)注入堵漏泥浆,将堵漏泥浆替至漏层位置。替替过程中,在有条件的情况下应坚持活动钻具,防止卡钻。

(6)上提钻具至堵漏泥浆顶面,循环泥浆,测定和记录堵漏泥浆进入地层的量,若进入漏层量较大,继续循环观察,无漏失,堵漏成功;若进入漏层量较小,关井,适当憋压,一般憋挤压力 ≥ 3 MPa。

(7)下钻通井,继续钻进。

5 结论与认识

(1)24 组 48 次防漏堵漏评价实验表明,针对不同裂缝宽度,相应配方均能达到有效快速封堵、承压 6 MPa 的预期效果。

(2)堵漏浆应有颗粒状的骨架材料,片状、颗粒状和絮状填充材料以及纤维状加固材料相配合,并且粒级搭配合理,同时骨架材料粒度必须与裂缝宽度相匹配,才能实现快速封堵,具备较高的承压能力。

(3)对 10 种堵漏材料进行了酸溶性评价实验,所用堵漏材料均具有较好的酸溶性。其中 SRD 系列材料、QP 系列材料酸溶率超过 90%; DTR、FLC2000、SD1 酸溶率超过 30%,有利于提高酸化堵堵效果。

(4)评价研究出的防漏堵漏配方,具有酸溶率高、堵塞强度高、返排效果好等特点。在现场实施时,应进行现场小样试验,并根据现场情况适当调整基浆性能和防漏、堵漏配方,细化防漏堵漏工艺措施,保证防漏堵漏作业顺利实施,防止井下事故发生。

参考文献:

- [1] 徐同台,刘玉杰,申威,等. 钻井工程防漏堵漏技术[M]. 北京:石油工业出版社,1997. 1-104.
- [2] 熊继有,程仲,薛亮,等. 随钻防漏堵漏技术的研究与应用进展[J]. 钻采工艺,2007,30(2):7-10,19.
- [3] 吴应凯,石晓兵,陈平,等. 低压易漏地层防漏堵漏机理探讨及现场应用[J]. 天然气工业,2004,24(3):81-83.
- [4] 张东海. 防漏堵漏综合技术的应用[J]. 江汉石油科技,2005,15(2):34-36,55.
- [5] 王富华,魏振禄,亢连礼,等. 一种新型钻井防漏堵漏剂的研究与应用[J]. 钻井液与完井液,2006,23(3):42-44.
- [6] 孙金声,张家栋,黄达全,等. 超低渗透钻井液防漏堵漏技术研究与应用[J]. 钻井液与完井液,2005,22(4):21-23,24.
- [7] 刘金利,周保中,张裕南,等. 海坨子地区防漏堵漏钻井液技术[J]. 钻井液与完井液,2006,19(6):104-106.