

理想充填暂堵新方法在昆2井储层保护中的应用*

孟尚志¹ 鄢捷年¹ 艾贵成² 赵胜英¹ 冯杰¹

(1.教育部“石油工程”重点实验室·中国石油大学 2.中国石油吐哈钻井公司)

孟尚志等.理想充填暂堵新方法在昆2井储层保护中的应用.天然气工业,2007,27(8):79-81.

摘要 昆2井是柴达木盆地昆特依1号构造上的一口重点探井,完钻井深为5950 m。为确保发现和保护油气层,按照理想充填方法对暂堵剂进行了优化设计,应用油气层保护技术领域的最新研究成果,即理想充填方法对暂堵保护方案进行了优化,并在大量实验基础上,确定出合理的保护储层钻井液配方。现场试验表明,经优化设计的第四次开钻钻井液具有显著的储层保护效果,并具有良好的流变性和润滑性能,井壁稳定性强。该油气层在使用油气层保护暂堵剂之后,油气层保护效果显著,储层渗透值恢复率高达87.5%,表皮系数小于等于1.5。井壁稳定作用明显,在同一地区首次实现无井壁失稳复杂情况,适合现场应用。

关键词 钻井 完井 钻井液 油气层 井眼稳定 柴达木盆地

暂堵剂的合理使用是钻井过程中保护油气层的关键技术之一^[1-4]。随着保护油气层技术的进一步发展,逐渐形成了新的“理想充填理论”,其含义是:对于保护储层的钻井液,需要根据孔喉尺寸加入具有连续粒径序列分布的暂堵剂颗粒来有效地封堵储层中大小不等的各种孔喉,以及暂堵颗粒之间形成的孔隙。经论证,当暂堵剂颗粒累积体积分数与粒径的平方根($d^{1/2}$)成正比时,可实现颗粒的理想充填^[5,6]。

传统的屏蔽暂堵规则均依据储层的平均孔喉尺寸来选择暂堵剂颗粒的粒度中值,而未考虑孔喉的非均质性和某些大孔喉对渗透率的贡献。而该新方法则对整个地层孔喉尺寸进行综合考虑,并优选出与地层孔喉相匹配的一组完整的暂堵剂粒径分布序列,可实现对较大孔喉及其他各种尺寸孔喉进行有效暂堵和保护。因此,可最大限度地降低钻井液对非均质性较强的储层所造成的伤害。

一、暂堵剂优选程序

根据理想充填理论和 d_{b0} 规则,暂堵剂颗粒尺寸优选新方法的基本操作程序如下。

(1)选用具有代表性岩样进行铸体薄片分析或压汞实验,测出储层最大孔喉直径(即 d_{b0})。 d_{b0} 也可

从孔喉尺寸累积分布曲线上读出。

(2)在暂堵剂颗粒“累积体积百分数— \sqrt{d} ”坐标图上,将 d_{b0} 与原点之间的连线作为该储层的“油保基线”。例如,某储层最大孔喉直径为133 μm ,则 $\sqrt{d_{b0}} = 11.53 \mu\text{m}$,据此可绘制出这条基线。若优化设计的暂堵剂颗粒粒径的累积分布曲线越接近于基线,则颗粒的堆积效率越高,所形成滤饼的暂堵效果越好。

(3)若无法得到最大孔喉直径(如探井),则可用储层渗透率上限值进行估算,即 $(k_{\text{max}})^{1/2} \approx d_{b0}$ 。若已知储层平均渗透率,可先确定 d_{b0} ,即 $(k_{\text{平均}})^{1/2} \approx d_{b0}$ 。然后将 $(d_{b0})^{1/2}$ 与坐标原点的连线延长,可推出 d_{b0} 。

二、昆2井储层保护方案和钻井液配方设计

由于昆2井是昆特依潜伏1号构造上的一口探井。根据调研结果,冷四1井的储层特性与昆2井较为相近。因此,可推断储层的最大孔喉尺寸为13.36 μm 。应用暂堵剂优化设计方法配套智能化软件,可确定具有理想充填效果的细目 CaCO_3 酸溶性暂堵剂的复配比例为:300目:600目:1000目=20%:66%:14%。将以上3种具有不同颗粒尺寸

* 本文受到国家自然科学基金项目(编号:50574061)和教育部“长江学者和创新团队发展项目(编号:IRT0411)”的资助。

作者简介 孟尚志,1973年生,工程师;2006年7月毕业于中国石油大学(北京)油气井工程专业,获硕士学位。毕业后在中联煤层气有限责任公司从事钻井液和油气层保护工作。地址:(100011)北京安外大街甲88号。电话:(010)64299989。E-mail:mszlily@126.com

的细目 CaCO₃ 复配使用,可对储层起到最佳的暂堵和保护效果。根据经验,暂堵剂的总加量应保持在 4%~5%。考虑到在钻井过程中,暂堵剂颗粒在环形空间内的剪切磨损,复配暂堵剂的优化粒度分布曲线应略靠储层“油保基线”的右侧。因此,可将 3 种暂堵剂产品的复配比例进行适当调整。经过试算,该比例可调整为:300 目:600 目:1000 目=30%:60%:10%。最后通过试验,确定暂堵剂总加量为 4%,则 3 种不同规格暂堵剂在钻井液中的加量可确定为:1.2% 300 目 CaCO₃+2.4% 600 目 CaCO₃+0.4% 1000 目 CaCO₃。为了形成低渗透钻井液,最好在使用刚性粒子的同时,再加入适量的可变

形颗粒,如磺化沥青和油溶性树脂等。为了克服水敏性损害,在第四次开钻井段使用成膜降滤失剂 ODB-060。通过大量试验,确定昆 2 井第四次开钻钻井液配方为:3.5% 膨润土+0.2% Na₂CO₃+0.2% 聚丙烯酸钾+0.3% 水解聚丙烯腈钠盐+2% PSC(磺化酚腐植酸铬)+1% SMP-II+0.4% CMC+0.5% ODB-061(或 JYW-1)+2% 磺化沥青+0.1% XY-27+0.3% 铁铬盐+0.6% 油溶性暂堵剂+0.4% 1000 目 CaCO₃+2.4% 600 目 CaCO₃+1.2% 300 目 CaCO₃+1% ORH-103(或 RH-3)。其加重前后的性能见表 1。

由分析可知,最终优选的第四次开钻钻井液配

表 1 昆 2 井第四次开钻钻井液配方的性能表

实验条件	密度 (g/cm ³)	AV (mPa·s)	PV (mPa·s)	YP (Pa)	GEL (Pa/Pa)	API 滤失量 (mL)	pH 值	HTHP 滤失量 (mL)	K _r
热滚前	1.09	23	18	5.1	1/4.5	5	9	/	/
热滚 (150 °C, 16 h)	1.09	28	21	7.2	1/8.5	4.9	8.5	11.2	0.037
热滚前	1.59	45	37	8.2	1/6	3.7	9	/	/
热滚 (150 °C, 16 h)	1.59	51.5	41	10.7	1.5/10	3.0	8.5	10.4	0.044

注:高温高压滤失量测试温度为 150 °C;滤饼黏滞系数用 NZ 型黏滞系数测定仪测得。

方具有良好的性能。在加重之后,经 150 °C 热滚后的 API 滤失量仅为 3 mL,特别是 HTHP 滤失量仅为 10.4 mL,滤饼摩阻系数仅为 0.044。各项性能指标均满足设计要求。将未加入暂堵剂的基本配方与按照理想充填暂堵方案的钻井液配方分别进行了损害程度评价。使用相邻区块冷四 1 井 1807.44 m 的储层岩心,试验用仪器为 JHMD-Ⅱ 动态污染岩心流动试验仪。该组试验按 CNPC 颁布的标准程序进行,试验结果见表 2。由分析可看出,砂岩岩心的渗透率恢复值由 39.4% 提高到 87.5%,表明采用理想充填方法加入暂堵剂,可取得很好的储层保护效果。

表 2 加入理想充填暂堵剂前后砂岩岩心渗透率恢复值的比较表

岩样 序号	试验用 钻井液	气测渗透率 (10 ⁻³ μm ²)	K ₀ (10 ⁻³ μm ²)	K ₀ ' (10 ⁻³ μm ²)	渗透率 恢复值 (%)
1	基本配方	768	341.3	134.5	39.4
2	理想充填 优选配方	1690	840.0	735.2	87.5

注:基本配方为未加入油层保护剂的优选配方,理想充填优选配方为加入复配暂堵剂和成膜剂后的钻井液配方。

三、现场应用

第四次开钻所钻地层为下干柴沟组、路乐河组,岩性主要为棕红色泥岩、砂质泥岩。根据前期室内试验,优选了 ODB-066(将不同粒径的刚性粒子根据储层特性按计算的比例进行复配而成的主油气层保护剂)和 ODB-061(成膜剂)两种油气层保护剂,并确定了保护储层的第四次开钻钻井液配方,即优选的基本配方+4% ODB-066+0.5% ODB-061,并以此配方作为现场试验的依据。室内和现场试验表明,油层保护剂 ODB-066、ODB-060 与钻井液的相容性好,能明显提高岩心的渗透率恢复值,对改善滤饼质量、增强井壁稳定性也有明显的效果。现场钻井液的常规性能如表 3 所示。

(1)渗透率恢复值。砂岩岩心的渗透率恢复值可由加入前的 39.4% 提高到加入后的 87.5%。

(2)流变性。油层保护剂 ODB-066、ODB-060 对钻井液流变性能有一定影响,表现在漏斗黏度、表观黏度、塑性黏度、动切力、初切、终切均有不同程度的上升,上升幅度随着加量的增加而增加。在使用油层保护剂的同时,通过加入适量降黏剂或抑制剂能

表3 现场钻井液的性能表

序号	项 目	密度 (g/cm ³)	AV (mPa·s)	PV (mPa·s)	YP (Pa)	API 滤失量 (mL)	滤饼 (mm)	HTHP 滤失量 (mL)
1	井内钻井液	1.40	31.5	12	19.5	4.2	0.3	14.4
	井内钻井液+4% ODB-066+0.5% ODB-061	1.40	42	20	22	4.0	0.3	12.8
2	井内钻井液+重晶石	1.50	40	18	22	4.2	0.3	14.4
	再加 4% ODB-066+0.5% ODB-061	1.50	49	24	25	4.0	0.3	13.2
3	井内钻井液+重晶石	1.60	45	20	25	4.2	0.3	14.4
	再加 4% ODB-066+0.5% ODB-061	1.60	56	26	30	4.0	0.3	12.4
4	井内钻井液+重晶石	1.70	56	29	27	4.0	0.3	14.4
	再加 4% ODB-066+0.5% ODB-061	1.70	66	35	31	4.0	0.3	12.8
5	井内钻井液+重晶石	1.80	64	34	30	4.0	0.3	14.8
	再加 4% ODB-066+0.5% ODB-061	1.80	78	42	36	3.8	0.3	12.8
6	井内钻井液+重晶石	1.85	69	39	30	4.0	0.3	14.4
	再加 4% ODB-066+0.5% ODB-061	1.85	83	48	35	3.8	0.3	13.2

注: HTHP 测试温度为 150 ℃; 所取井钻井液均在室温下进行试验。取样日期为 2005 年 12 月 1 日, 取样温度为 64 ℃, 取样井深为 4400 m。

够保持钻井液性能的稳定。在低固相含量下, 其对流变性的影响较小。

(3) 滤失量。油层保护剂 ODB-066 和 ODB-061 的加入, 能将现场钻井液的 API 滤失量降至 4 mL 以下。

(4) 井壁稳定。由于油层保护剂 ODB-066 能有效地封堵井壁上不同大小的孔隙, 对地层起到有力的支撑稳定作用。昆 2 井在该地区首次实现了无任何井壁失稳情况的发生。

(5) 正常钻进钻井液试验。

四、结 论

(1) 室内和现场试验表明, 加入油气层保护剂 ODB-066 和 ODB-061 后钻井液的 API 滤失量和 HTHP 滤失量降低、滤饼致密、光滑, 与现场钻井液相容性好, 适合现场使用。

(2) 油层保护效果明显优于其他方法, 渗透值恢复率达到 87.5%。经测试, 表皮系数小于等于 1.5。

(3) 该油层保护钻井液配方抗温性好, 在高温下

无明显增稠。井壁稳定作用明显, 在同一地区首次实现无井壁失稳复杂情况。

参 考 文 献

- [1] 吴彬, 鄢捷年. 保护高渗砂岩储层的钻井液技术[J]. 中国海上油气: 地质, 2002, 16(1): 58-61.
- [2] ABRAMS A. Mud design to minimize rock impairment due to particle invasion[J]. JPT, 1977, 29(3): 586-593.
- [3] 罗平亚. 钻井完井过程中保护油层的屏蔽式暂堵技术[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1997.
- [4] HANDS N, KOWBEL K, MAIKRANZ S. Drilling-in fluid reduces formation damage[J]. Oil & Gas, 1998, 96(28): 65-68.
- [5] 张金波, 鄢捷年. 钻井液中暂堵剂颗粒尺寸分布优选的新理论和新方法[J]. 石油学报, 2004, 25(6): 88-91.
- [6] DICK M A, HEINZ T J, SVOBODA C F, et al. Optimizing the selection of bridging particles for reservoir drilling fluids[J]. SPE 58793, 2000: 183-191.

(收稿日期 2006-12-13 编辑 钟水清)