

广谱暂堵技术在准中 1 区砂岩储层的应用研究

胡继良¹, 刘学章², 刘四海³

(1. 北京探矿工程研究所, 北京 100083 ; 2. 中原油田三公司, 河南 兰考 475300 ; 3. 中石化西部分院, 新疆 乌鲁木齐 831100)

摘 要 根据准噶尔中部 1 区块三工河组储层特点, 在充分考虑油藏孔喉非均质性的情况下, 利用广谱屏蔽暂堵技术进行架桥粒子和填充粒子设计, 通过室内实验, 进行钻井完井液配方的优选。该技术在准噶尔中部 1 区块使用后效果明显, 渗透恢复率达到 95% 以上, 试验井表皮系数均为负值。

关键词 广谱屏蔽暂堵; 储层保护; 钻井液; 准噶尔中部 1 区块

中图分类号 TE254 **文献标识码** A **文章编号** 1672-7428(2005)06-0046-03

Application of Temporarily Blocking Technique in 1st District Sandstone Reservoir of Center Sungar/HU Ji-liang¹, LIU Xue-zhang², LIU Si-hai³ (1. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China; 2. Zhongyuan Oil Field 3rd Drilling Engineering Company, Lankao Henan 475300, China; 3. Western Branch of Sinopec, Urumchi Xinjiang 831100, China)

Abstract : The frame grains and filling grains were designed by using temporary shield blocking techniques, taking account of heterogeneous apertures and following the reservoir features of Sangong Structure in 1st district of Sungar. The drilling fluid formula was optimized after indoor test. The techniques gained very good application results in 1st district of center Sungar. The permeation recovery rate reached over 95%. The surface ratio of test well all were negative.

Key words : wide range temporary shield blocking; reservoir protection; drilling fluid; 1st district of center Sungar

准噶尔盆地中部 1 区块从 2002 年庄 1 井取得重大油气突破之后, 截止 2004 年底, 已完钻 19 口探井及评价井。钻井勘探成果表明, 准噶尔中部 1 区块下侏罗统三工河组具备大面积叠合连片含油的有利条件, 是中石化下一步油气勘探的首选区域之一。开始采用的暂堵剂主要是超细碳酸钙、单向压力屏蔽剂, 施工措施是在进入储层前 50 ~ 100 m 左右调整钻井液性能, 加入超细碳酸钙和单向压力屏蔽剂, 并根据井下情况及时补充, 对储层起到了一定的保护效果。但是准噶尔盆地中部 1 区块属河流相沉积, 由于储层物源的不均质性, 传统的根据储层平均孔喉直径所选用的各种暂堵粒子不能有效封堵不同渗透率下的储层。

为了解决这一难题, 2004 年初引入了广谱暂堵技术, 取得了理想的油气层保护效果。

1 广谱暂堵技术保护储层的机理

广谱型屏蔽暂堵技术是传统屏蔽暂堵保护油气层技术理论的继承与发展, 依据储层的主流孔喉直径 $d_{\text{流动}50}$ 和最大流动孔喉直径来确定不同渗透率层

段下暂堵粒子的直径, 它克服了传统屏蔽暂堵技术确定暂堵剂粒子时的缺陷, 使得屏蔽暂堵理论更具科学性, 其主要技术要点如下。

(1) 分析研究储层渗透率变化规律, 采用所研究区块储层岩心实层的渗透率与孔喉特性参数, 计算出渗透率贡献值达 97% 时储层的主流孔喉直径 $d_{\text{流动}50}$ 。不考虑渗透率贡献值占 3% 的微小孔喉。

(2) 依据储层的 $d_{\text{流动}50}$ 和最大流动孔喉直径来确定不同渗透率层段下暂堵粒子的直径, 按 $1/2 \sim 2/3$ 储层的 $d_{\text{流动}50}$ 选择架桥粒子的 d_{50} 。充分考虑砂岩油藏的不均质性, 根据目标区块油气渗透率层的分布规律确定各种粒径暂堵剂的比例, 并使其在钻井液中的含量 $> 2\%$; 按 $1/4$ 储层孔喉的平均直径 $d_{\text{流动}50}$ 选择充填粒子直径 d_{50} , 其加量 $> 1.5\%$ 。在选择架桥粒子时, 还必须考虑架桥粒子的 d_{90} 等于 $1/2 \sim 2/3$ 储层最大孔喉直径。

(3) 选用乳化石蜡、聚合醇类产品作为可变形粒子添加剂, 加量 $1\% \sim 2\%$, 提高屏蔽暂堵层的致密性。

收稿日期 2005-04-07

作者简介 胡继良(1965-)男(汉族), 湖南株洲人, 北京探矿工程研究所高级工程师, 探矿工程专业, 从事钻探技术科研与管理工作, 北京市海淀区学院路 29 号, (010) 82321875。

2 准噶尔中部 1 区块储层特征

2.1 油气层储渗空间特征

油气层储渗空间主要指油气的孔隙和喉道。孔隙和喉道的几何形状、大小、分布及其连通关系,称为油气层的孔隙结构,它从微观角度描述了油气层的储渗特征。孔隙度和渗透率则从宏观角度描述了油气层的储渗特征。

准噶尔中部 1 区块下侏罗统三工河组储层岩性以细中砂岩为主。孔隙度一般为 8.9% ~ 17.3% ,平均为 13.36% ;渗透率一般在 $(0.32 \sim 395.0) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 范围,平均 $37.33 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。孔隙度分布呈单峰型,孔隙度在 10% ~ 15% 之间的样品占 91.5% ,大于 15% 的样品仅 8.5% ;渗透率频率分布较分散,峰值区不集中。统计表明,渗透率在 $(1 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间的样品占 26.7% ,22.2% 的样品值大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。三工河组储层属低孔、低渗、特低渗储层,少部分为中孔、中渗储层。孔隙以粒间孔为主,粒内溶孔较少,喉道以片状或弯片状为主,最大孔喉半径为 25.257 μm ,主流孔喉半径为 0.2503 ~ 16.0832 μm 。压汞分析储层孔喉结构参数见图 1。

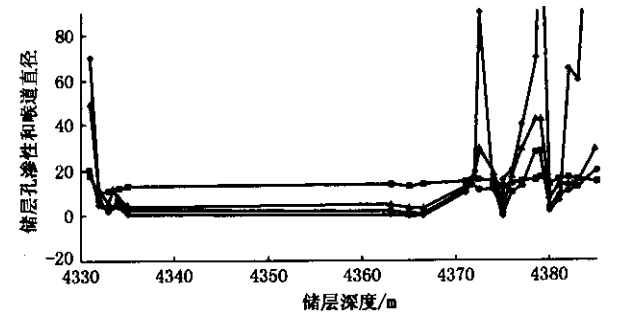


图 1 庄 1 井三工河组储层孔喉结构参数

—■— 孔隙度; —◆— 渗透率; —▲— 最大孔喉直径; —●— 主流孔喉直径

2.2 油气层敏感性矿物

油气层孔隙空间周围是由不同的矿物颗粒构成的,其中一部分矿物易与流体发生物理和化学作用,导致油气层渗透率降低,这部分矿物就称为油气层敏感性矿物。它们的特点是粒径很小(小于 37 μm)、比表面大、多数位于孔喉处。因此,容易优先与外界流体接触,进行充分作用,引起油气层敏感性损害。分析敏感性矿物的组成,目的是研究油气层潜在的损害原因。

通过庄 1 井、庄 101 井、庄 102 井和庄 103 井的全岩矿物和粘土矿物分析结果得出(庄 102 井全岩矿物和粘土矿物分析结果见表 1,其它井的分析结果与庄 102 井结果基本相同),准噶尔中部 1 区块储层岩性以石英和长石为主,石英占全岩矿物的 43% ~ 73% ,长石占 15% ~ 33% ,个别井段含少量可引起酸敏的菱铁矿。粘土矿物成分以高岭石为主,占整个粘土矿物含量的 37% ~ 69% ,平均 50% 以上;其次是绿泥石、伊利石和伊/蒙混层。在全岩矿物中,粘土矿物含量变化较大,从 2% ~ 21% ,且多在 5% 以上。根据碎屑岩储层粘土水化理论,在碎屑岩储层中,粘土矿物含量 > 5% 以后易发生水敏损害,可以判定准噶尔中部 I 区块莫西庄构造和沙窝地构造三工河组储层存在水敏性损害。另外由于粘土矿物成分中高岭石是主要成分,而高岭石在岩石中一般呈书页状或蠕虫状集合体,以分散质点式充填于粒间孔隙,高岭石与碎屑颗粒附着不紧,易被外来流体冲散,打碎成细粒迁移,堵塞喉道,是产生微粒运移的基础物质,因此微粒运移也是中部 I 区块三工河组潜在的损害因素。

3 屏蔽暂堵配方的研究

通过室内对钻井液助剂的优选、架桥粒子的设

表 1 庄 102 井全岩矿物和粘土矿物分析结果表

井深 /m	全岩矿物组分相对含量/%								粘土矿物组分相对含量/%				
	粘土矿物	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	方沸石	菱铁矿	伊蒙混层	伊利石	高岭石	绿泥石	混层比
4274.12 ~ 276.49	20	57	5	16				2	18	29	33	20	25
4271.00 ~ 4272.79	11	62	8	17	2				11	23	41	25	15
4296.19 ~ 4297.98	11	55	10	23				1	8	12	45	35	15
4317.40 ~ 4319.17	20	43	8	27				2	19	17	44	20	15
4333.73 ~ 4335.35	21	47	9	23					20	18	37	25	15

计、钻井液常规性能评价,以及储层岩心渗透恢复实验,得出准噶尔中部 1 区块三工河组储层的钻井完井液配方为 4% ~ 5% 膨润土 + 0.5% 纯碱 + 0.2% 包被剂 + 1% 聚合物降滤失剂 + 2% 抗高温抗盐降滤

失剂 + 1% 无荧光阳离子防塌剂 + 2% 白沥青防塌剂 + 1% ~ 2% 聚合醇 + 2% ~ 3% 超细碳酸钙(4 ~ 12 μm) + 0.5% ~ 1% 屏蔽暂堵材料。

3.1 钻井液常规性能评价实验

钻井液常规性能评价实验结果见表 2。

表 2 钻井液常规性能评价实验结果表

体 系		滤失量 FL	润滑系数	视粘度 AV	塑性粘度 PV/	屈服值 YP	动塑比
		/mL		/s	(mPa · s)	/Pa	
淡水	滚动前	4. 8	0. 02920	48. 00	29. 00	19	0. 65
	滚动后	7. 2	0. 03720	30. 50	22. 00	8. 5	0. 38
4%	滚动前	7. 0	0. 04380	20. 00	21. 00	10	0. 48
盐水	滚动后	8. 4	0. 05256	39. 25	28. 50	10. 75	0. 377

注 庄 1 井 4331. 05 ~ 4335. 34 m 井段岩心滚动回收实验结果 ,淡水基浆中回收率为 92% ,盐水基浆中回收率为 95% ;滚动方式为在 150 ℃ 环境下滚动 16 h。

从表 2 可以看出 ,室内研究的钻井完井液具有较强的抗温、抗盐和防塌润滑性能 ,可以满足钻井施工要求。

3.2 储层渗透恢复实验

庄 1 井储层岩心渗透恢复实验结果见表 3。

表 3 钻井完井液污染评价实验表

岩样号	储层渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$			渗透恢复率 /%
	K_a (用氮 气测定)	K_o (用煤 油测定)	K_o (污染后 用煤油测定)	
1 - 34	15. 30	12. 34	11. 76	95. 3
1 - 35	18. 93	15. 16	14. 60	96. 3
1 - 36	20. 00	16. 70	15. 96	95. 6

从表 3 可以看出 ,室内研究的钻井完井液具有较好的储层保护效果 ,可以满足中部 I 区块的屏蔽暂堵要求。

3.3 暂堵深度的评价

将庄 1 井的储层岩心 ,用室内研制的钻井完井液配方污染 ,切除污染段后 ,测量剩余岩心的渗透率 ,计算与污染前原始渗透率的比值 ,确定污染程度和深度。结果见表 4。

表 4 钻井液污染深度分析表

岩心 编号	截去长度 /cm	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	压差 /MPa	流量/(mL · min ⁻¹)	原始渗透率 / $10^{-3} \mu\text{m}^2$	损害比 /%
1 - 5	1. 64	519. 63	426	4. 12	521. 03	0. 27
1 - 9	1. 32	469. 03	619	3. 30	471. 71	0. 57
1 - 12	1. 56	348. 55	693	2. 80	349. 74	0. 36

表 4 结果表明 ,在受到屏蔽暂堵浆污染后 ,储层岩心在切除受污染段一定长度后 ,所剩岩心的渗透率可达到岩心污染前的 99% 以上 ,切除岩心长度均小于 2. 0 cm。这说明 ,暂堵保护带厚度 < 2. 0 cm ,此暂堵带在油井投产作业中完全可以被射孔弹穿透 ,不会影响油井生产。

4 现场应用效果

根据室内研制的屏蔽暂堵钻井完井液配方 ,2004 年度在准噶尔中部 1 区块的庄 106 井、庄 107 井和庄 108 井进行了现场试验。首先在进入油层前 50 m 左右 ,调整钻井液性能 ,膨润土含量在 35 ~ 40 g/mL ,漏斗粘度在 40 ~ 45 s ,API 失水量 ≤ 5 mL ,HTHP ≤ 12 mL。其次根据 $d_{流动50}$ 和 d_{90} 广谱屏蔽暂堵理论加入多功能屏蔽暂堵剂 PB - 1 和粒径为 4 ~ 12 μm 的超细碳酸钙、乳化白沥青、聚合醇等暂堵材料 ,进行屏蔽暂堵。同时根据井下消耗情况及时补充各种暂堵材料 ,保证暂堵效果 ,直至钻穿油气层。试验结果见表 5。

表 5 准噶尔中部 1 区块油层保护效果表

年度	井号	井段/m	表皮系数	备注
2002	庄 1 井	4655. 25	8. 80	邻井
		4352. 70	6. 11	
2003	庄 103 井	4336. 20 ~ 4339. 60	9. 62	邻井
2004	庄 106 井	4312. 30 ~ 4317. 40	- 4. 96	试验井
	庄 107 井	4273. 50 ~ 4280. 50	- 5. 30	
	庄 108 井	4357. 60 ~ 4364. 80	- 2. 04	

从表 5 可以看出 ,实验井庄 106 井、庄 107 井和庄 108 井储层表皮系数均为负值 ,说明达到了理想的油气层保护效果。

5 结论

(1)广谱型屏蔽暂堵保护技术是依据对渗透率贡献率的大小来区别对待不同的孔喉 ,纠正了传统屏蔽技术应用中的偏差 ,主流孔喉直径和最大流动孔喉直径的提出使得这一技术更具科学性 ,尤其适用于渗透性严重不均质的砂岩油藏。

(2)广谱型屏蔽暂堵剂配方能在较短的时间内有效的封堵地层孔隙喉道 ,形成高强度保护带 ,对储层有良好的保护效果。

(3)深度是暂堵的关键 ,固相颗粒侵入越深对地层的损害越严重 ,而且很难恢复。用暂堵井浆污染的岩心在切除约 2 cm 长度后 ,所剩岩心的渗透率接近污染前岩心的渗透率 ,这说明暂堵深度较浅 ,能满足射孔要求。

(4)暂堵剂与井浆配伍性强 ,现场易于维护处理 ,它能使钻井液的滤失量进一步降低 ,适当增加钻井液密度有利于井下安全。