

福山油田保护油气层钻井完井液技术研究

王建标

(中国石化华北分公司,河南 郑州 450042)

摘要:福山油田为典型凝析油气藏,储层孔隙度 10% ~ 20%,平均渗透率 $35 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于中孔低渗储层,部分为低孔特低渗储层,且水敏、易塌。通过试验选用了以 XZD - II 为暂堵剂的屏蔽暂堵钻井完井液实施油气层保护,取得了较好的保护效果。

关键词:凝析油气藏;钻井完井液;敏感性;储层保护;屏蔽暂堵;福山油田

中图分类号:TE254 **文献标识码:**A **文章编号:**1672 - 7428(2013)04 - 0024 - 03

**Research on Drilling and Completion Fluid Technology for Protection of Oil-Gas Formations in Fushan Oilfield/
WANG Jian-biao** (North China Branch, SINOPEC, Zhengzhou Henan 450042, China)

Abstract: Fushan oilfield is a typical condensate reservoir. The reservoir porosity is 10% ~ 20%. The average reservoir permeability is $35 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. It belongs to medium porosity and low permeability reservoir, and part being with low porosity and extra-low permeability. It is water sensitive and easy to collapse. By the test, XZD - II temporary plugging agent was selected as shielding temporary plugging drilling and completion fluid to protect oil-gas formation with good effects.

Key words: condensate reservoir; drilling and completion fluids; sensitivity; reservoir protection; shielding temporary plugging; Fushan oilfield

0 引言

目前福山油田仍没有成型的适用钻井完井液体系,本文通过储层敏感性评价,及潜在损害因素分析,优选福山油田适用钻井完井液体系,并通过室内实验评价其效果,主要评价内容包括:(1)储层特征、敏感性评价及潜在损害因素;(2)现场应用及效果;(3)工艺及措施。

结合地质特征分析潜在的损害因素,研究和筛选适用钻井完井液体系。

1 福山油田区块地质特征

1.1 储层沉积特征及物性分析

福山油田位于福山凹陷花场断鼻,北邻白莲生油洼陷,烃源条件优越。各井揭示下第三系流沙港组暗色泥岩发育。主要目的层濠洲组和流沙港组,主力油气层流一组和流三组,埋藏深度主要在 2000 ~ 3000 和 4000 ~ 4500 m,孔隙度 10% ~ 20%,渗透率 $(0.004 \sim 500) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于中孔低渗储层,部分低孔特低渗凝析油气藏,气油比相对较高。

1.2 粘土矿物

孔隙流动系统中的粘土矿物晶体尺寸小、比表面高,极易受到流体流动和化学性质改变的影响。粘土矿物有高岭石、绿泥石、伊利石、伊/蒙间层和蒙

皂石。非粘土矿物类主要有非晶质硅、微晶石英、微晶长石、云母碎片和碳酸盐矿物等,其粒径通常 $< 37 \mu\text{m}$,是潜在的可运移微粒源。

由花 8 井 L1 段储层敏感性实验分析证明福山油田具有弱→中等偏弱速敏,中等偏强水敏,中等偏弱碱敏,中等偏强酸敏,同时还有水锁和液锁损害;地层倾角大、存在较长的泥岩井段,钻井完井液长时间浸泡容易坍塌,易导致井下情况复杂和事故。敏感性损害具不可逆性,解堵能力差,致使油井产能低下。

2 保护油气层多级架桥屏蔽暂堵技术研究

结合储层特征采用多级架桥屏蔽暂堵钻井完井液,是利用钻井液中的固相颗粒,在一定的正压差作用下,在很短的时间内(小于 10 min),在距井壁很近的距离内(3 ~ 5 cm)形成有效堵塞(渗透率为零)的屏蔽环,以阻止钻井液中大量固相和液相进一步侵入储层,屏蔽环要有一定的承压能力(屏蔽环强度 $> 9 \text{ MPa}$)^[1~4]。

2.1 多级架桥屏蔽暂堵技术设计原则

(1)根据岩心压汞实验得出孔喉对储层渗透率贡献值曲线,求取孔喉渗透率贡献率分布图;

(2)根据渗透率贡献率值的大小将孔喉划分为

收稿日期:2012 - 12 - 27; 修回日期:2013 - 03 - 27

作者简介:王建标(1969 -),男(汉族),河南人,中国石化华北分公司工程师,石油工程专业,从事钻井完井液研究工作,河南省郑州市陇海西路 199 号,fp_ren@163.com。

二级、三级乃至多级区间;

(3)按照“2/3 架桥规则”,确定各区间的暂堵粒径;

(4)根据孔喉渗透率贡献率占总贡献率的百分比确定暂堵粒子浓度(一般其总量保持在 3%);

(5)添加软化变形粒子(浓度保持在 1.5%),对选出各种粒径的暂堵粒子进行复配^[5,6]。

2.2 暂堵剂粒子的筛选

多级架桥屏蔽暂堵模型如下:

$Y = Y_0 + AX_1 + BX_2 + CX_3 + DZ$,即原浆 + 一级架桥粒子 + 二级架桥粒子 + 三级架桥粒子 + 软化粒子 + 其它。

屏蔽暂堵剂中各种粒子按如下原则进行筛选:

(1)屏蔽暂堵剂架桥粒子的尺寸为平均孔喉尺寸的 1/2 ~ 1/3,浓度一般为 3% ~ 4% (质量体积百分比浓度)。福山油田储层属于中低孔低渗储层,油层保护井段相对较长,架桥粒子总的加量可以取 4% ~ 5%,如果钻进过程中固控设备对暂堵粒子的损耗较大或者钻井液中有效粒子含量低,则应考虑适当加大其加量。

(2)填充粒子的尺寸应该比架桥粒子小一个级别,且浓度 $\leq 1\%$ 。

(3)可变形软化粒子的尺寸一般在 0.01 ~ 0.1 μm 之间,其浓度 $\leq 1\%$ 。

2.2.1 架桥粒子的筛选

由福山油田的压汞资料分析孔喉半径分布如图 1 所示。

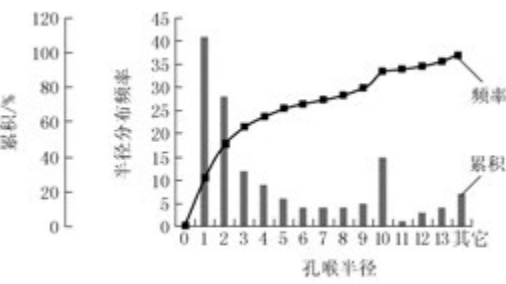


图 1 福山油田孔喉分布直方图

将福山油田孔喉根据渗透率贡献率分成 0 ~ 1、1 ~ 2、2 ~ 10 μm 这 3 个区间。根据多级架桥数学模型, X_1 对应 0 ~ 1 μm 区间,按照“2/3 架桥原则”以及现有暂堵材料的各种粒径,取 X_1 暂堵粒子 $D_{中} = 0.5 \sim 1.3 \mu\text{m}$; X_2 对应孔喉半径 1 ~ 2 μm 区间,同样取 X_2 暂堵粒子 $D_{中} = 1.3 \sim 3 \mu\text{m}$;根据部分样品压汞实验数据表明,2 ~ 13 μm 的孔喉区间对岩心渗透率的贡献率达到 40% ~ 50% 以上,是部分岩心渗透

率贡献率最大的主区间,取 X_3 暂堵粒子 $D_{中} = 3 \sim 19.5 \mu\text{m}$ 。

2.2.2 变形软化粒子的筛选

充填变形软化粒子是保证屏蔽暂堵环致密有效的关键,对应中孔中低渗储层,充填变形软化粒子还可以起到一定的直接暂堵主要连通喉道的目的。

2.2.3 填充粒子的筛选

我们从低荧光油溶性暂堵剂 LR-1、LR-2、LR-3 中优选填充粒子,为优选出填充效果最好的填充粒子,设计了表 1 中的 3 种配方,从而进行暂堵剂的优选。

表 1 暂堵剂配方方案

区块	配方	架桥粒子	填充粒子	可变形粒子
福山油田区块	XZD-I	CaCO ₃	LR-1	WZD-1
	XZD-II	CaCO ₃	LR-2	WZD-1
	XZD-III	CaCO ₃	LR-3	WZD-1

注:复配暂堵剂时各粒子的质量百分比均为:架桥粒子:填充粒子:可变形粒子=2:1:1。

分别将不同的暂堵剂加入到泥浆体系中,通过测 API 失水来初步评价架桥粒子与充填粒子的选择是否适当,测高温高压失水来评价软性变形粒子的封堵效果,并优选合适的暂堵剂(如表 2 所示)。

表 2 暂堵剂优选实验

钻井完井液	Φ_{600}	Φ_{300}	AV /(mPa·s)	PV /(mPa·s)	YP /Pa	API /mL	HTHP /mL
福山油田井浆	90	66	45	24	21	2.8	8.2
井浆 + 5% XZD-I	92	69	46	23	23	2.7	8.4
井浆 + 5% XZD-II	92	70	46	22	24	2.2	5.7
井浆 + 5% XZD-III	93	71	46.5	22	24.5	2.9	9.3

由表 2 中的数据可看出,加入暂堵剂 XZD-II 后 API 失水和高温高压滤失量降低得最多,封堵效果最明显。

2.3 暂堵剂的加量及钻井完井液体系的配伍性

为了达到最优的暂堵效果,对暂堵剂最佳加量进行实验评价,实验结果见表 3。暂堵剂最佳加量 5%,暂堵率达到 97.45%。

表 3 暂堵剂加量的确定

暂堵剂加量	Kw_1 /($\times 10^{-3}$ μm^2)	Kw_2 /($\times 10^{-3}$ μm^2)	暂堵 率 /%	实验条件
井浆 + 3% XZD-II	0.2030	0.0943	53.55	压差 3.0 MPa, 剪
井浆 + 4% XZD-II	0.4085	0.1191	70.84	切速率 150 s ⁻¹ ,
井浆 + 5% XZD-II	1.1794	0.03013	97.45	暂堵时间 20 min

注: Kw_1 ——暂堵前用模拟地层水测得的渗透率; Kw_2 ——暂堵后用模拟地层水测得的渗透率。

将暂堵剂加入到聚磺防塌钻井液体系中,实验体系的其它流变性几乎没有什么变化,因而配伍性数据见表 4。除了使体系漏斗粘度略微增加以外,良好,能满足钻井作业对泥浆性能的要求。

表 4 加入暂堵剂前后泥浆体系的流变性能

性能体系	ρ /(g·cm ⁻³)	FV /s	AV /(mPa·s)	PV /(mPa·s)	YP /Pa	初切 /Pa	终切 /Pa	pH 值	FL /30 mL	摩阻 系数 K_f
聚磺防塌泥浆体系	1.19	34	27	22	5	2	6.0	8	4.2	0.1426
聚磺防塌泥浆体系+5% XZD-Ⅱ	1.20	32	27	22	5	2	5.5	8	4.2	0.1253

2.4 福山油田保护油气层钻井完井液体系及效果评价

2.4.1 配方及测试结果

优选的聚磺防塌钻井液体系配方:膨润土 40~55 kg/m³, Na₂CO₃ 2~3 kg/m³, NaOH 1~3 kg/m³, PAM 3~5 kg/m³, SWFJ-X 7~15 kg/m³, HPYFTS-1 10~20 kg/m³, HAD-3 10~20 kg/m³, SPA 10~20 kg/m³, SMP-1 20~30 kg/m³, 降粘剂 7~10 kg/m³, 极压润滑剂 10~20 kg/m³, 石墨润滑剂 10~

20 kg/m³。
(1)将复配后的屏蔽暂堵剂按 5% 的加量加入到钻井液中,增加体系保护油气层的效果;
(2)在钻井液中加入 1% DYRH-3,增加钻井液的润滑性。
(3)在原浆(聚磺防塌钻井完井液)中加入 5% XZD-Ⅱ、1% DYRH-3。
用静态岩心流动测试仪室内评价试验钻井完井液保护油气层效果如表 5 所示。

表 5 钻井完井液形成屏蔽环的有效性评价试验结果

岩心	所用井浆	滤失量/mL									
		1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
F45	原始钻井完井液	2.6	1.4	1.0	0.8	0.6	0.6	0.4	0.4	0.50	0.30
F46	改善后	2.0	1.3	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.04	0.03
F47	改善后	1.8	1.2	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0.02	0.02

注:实验条件为 60℃/3.5 MPa。

数据表明,不使用屏蔽暂堵剂,井浆 2 h 后失水仍比较大。使用屏蔽暂堵在相同试验条件下,20 min 之后失水就很小了,也就是说,使用屏蔽暂堵剂

20 min 后就能够形成屏蔽环。
2.4.2 钻井完井液保护储层效果评价(表 6)

表 6 钻井完井液保护储层效果评价试验

岩心	所用井浆	原始渗透率 K_0	污染后岩心		截取后岩心		实验温 度/℃
		$/(\times 10^{-3} \mu\text{m}^2)$	反向渗透率 $K_1/(\times 10^{-3} \mu\text{m}^2)$	$(K_1/K_0)/\%$	渗透率 $K_2/(\times 10^{-3} \mu\text{m}^2)$	$(K_2/K_0)/\%$	
F49	原始钻井液	0.341	0.215	63.05	0.276	80.94	60
F50	完善后的钻井完井液	0.278	0.01	0.36	0.273	98.20	60

表 6 评价的是岩心经过泥浆污染,截取污染带后的渗透率恢复值。可以看出加入暂堵剂后岩心的渗透率恢复值可达 98.20%,没有加入暂堵剂的岩心渗透率恢复值为 80.94%,前者比后者高出近 18 个百分点。说明暂堵剂的封堵效果非常好,具有很好的保护油气层的能力。

3 结论

(1)福山油田属于中孔低渗储层,呈弱→中等偏弱速敏,中等偏强水敏,中等偏弱碱敏,中等偏强酸敏。主要敏感性因素为水敏,其次为酸敏、碱敏、速敏。
(2)通过暂堵剂的筛选实验,确定了适合福山

油田的多级架桥屏蔽暂堵钻井完井液体系。

参考文献:

[1] 张绍槐,罗平亚. 保护储集层技术[M]. 北京:石油工业出版社,1993.
[2] 徐同台. 水平井钻井液与完井液[M]. 北京:石油工业出版社,1998.
[3] 樊世忠,窦红梅. 保护油气层技术发展趋势[J]. 石油勘探与开发,2001,(1).
[4] 向兴金,肖稳发. 保护储层的新型完井液体系研究[J]. 江汉石油学院学报,1996,(1).
[5] 张春祥. 屏蔽式暂堵保护油气层技术[J]. 油气田地面工程,2003,(5).
[6] 邓松. 多级架桥屏蔽暂堵及其在冀中孔隙型砂岩储层中的应用研究[D]. 四川南充:西南石油大学,2008.