

辽河油田欢喜岭地区压裂工艺研究及实施效果分析

蔡长宇¹, 刘 杰², 李雪梅¹

(1. 辽河石油勘探局井下作业公司 辽宁 盘锦 124107; 2. 辽河石油勘探局供水公司 辽宁 盘锦 124107)

摘 要 介绍了辽河油田欢喜岭地区实施 71 口井压裂的压裂工艺, 所采用新工艺、新技术 9 种, 其中热压施工工艺属国内首创。对压裂效果进行了分析、对比, 提出了目前存在的问题和下一步要改进的措施。

关键词 辽河油田 欢喜岭 压裂工艺

中图分类号 :TE357 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-3746(2002)03-0032-07

Research on Fracturing Technology Used in Huanxiling Area of Liaohe Oil Field and Application Result Analyses/CAI Chang-yu¹, LIU Jie², LI Xue-mei¹ (1. Downhole Services Company, Liaohe Petroleum Exploration Bureau, Panjin Liaoning 124107, China; 2. Water Supplying Company, Liaohe Petroleum Exploration Bureau, Panjin Liaoning 124107, China)

Abstract :Fracturing technique used within 71 wells in Huanxiling Area of Liaohe oil field was introduced. Nine new types of technique or technology were used in the oil wells. Therein the hot fracturing technique was first developed within China. The fracturing results were analyzed and compared. The currently existing problems and the improvements were brought forward scientifically.

Key words :Liaohe oil field; Huanxiling; fracturing technique

1 概述

2000 年我公司在欢喜岭采油厂累计实施压裂施工 71 井次, 其中有效 65 井次, 措施有效率 91.5%, 初期日增油 809 t, 目前日增油 391.8 t, 2000 年底累计增油 68008 t, 单井累计增油超过 1000 t 的油井 18 口, 占总施工井数的 25.4%, 取得了较好的增产效果。

71 口压裂井共用压裂液 13590.2 m³, 共加支撑剂 2074.9 m³, 平均单井用液 191.4 m³, 平均单井加砂 29.2 m³, 单井最大用量 304.5 m³ (欢 2-18-07), 最大加砂量 47 m³ (欢 2-18-07), 施工最大井深 3299.6 m (欢 2-8-23), 最大压力 64 MPa (欢 2-8-23), 最高排量 5.5 m³/min (欢 2-18-07), 最高砂比 39.70% (欢 2-20-206)。

首先将欢喜岭采油厂所有低产低效井按油层动用程度进行排队, 针对那些油层动用程度差、剩余储量大、含水低、目前油层压力较高的油井进行一级级优选, 结合区块动态诊断油井低产低效原因, 最后选出了合适的施工井号, 为压裂工艺的实施提供了坚实的基础。

在此基础上采用油藏模拟技术进行压前地层评估、压前经济评价、压后动态分析三项技术提高压裂的有效率。以油井地层压力为敏感参数, 吃透钻井、录井、测井等井史资料, 分析油井的孔、渗、饱等储层物性, 追踪油井生产历史, 结合区块静、动态资料进行目的层综合评估, 做出压前经济评价, 确定合理的施工参数, 提高措施的有效率, 减少投资的盲目性。然后, 通过压后生产数据的追踪分析, 检验压裂效果, 对同区块后续油井的施工参数进行修正, 逐步提高整体施工效果。

2 采用有针对性的压裂施工工艺

2.1 球选压工艺

针对老井射开井段大、小层多、层间渗透性差异大、部分高渗层段采出程度较高等情况, 采用先期投球选压施工工艺, 以达到封堵渗透性好、采出程度高的小层, 从而压开采出程度较差的低渗透层, 改善油井出液剖面, 提高全井油层动用程度。另外对措施井段有水层、水淹层的, 也采用该工艺, 达到封堵水层、水淹层的目的, 以控制油井压后含水上升, 效果

收稿日期 2001-08-10

作者简介 蔡长宇(1963-), 男(汉族), 山东人, 辽河石油勘探局井下作业公司副经理兼总工程师, 高级工程师, 中国地质大学(北京)博士在读, 钻井专业, 从事水井钻井、油水井大修侧钻、酸化压裂等工作, 辽宁省盘锦市(0427)7510371, caichangyu@sina.com; 刘杰(1963-), 女(汉族), 辽宁人, 辽河石油勘探局供水公司工程师, 数学专业, 从事职工技术教学工作, 辽宁省盘锦市(0427)7861224; 李雪梅(1970-), 女(汉族), 辽河石油勘探局井下作业公司工程师, 英语专业, 从事国际市场开发、技术服务兼翻译工作(0427)7510378, yanglxm@sina.com。

良好(见表 1)。

表 1 采用先期投球压裂工艺效果

井号	区块	层位	井段/m	厚度/m	层数	工艺目的	压裂效果	
							日增油/(t·d ⁻¹)	累增油/t
欢 2-12-2110	12-9	兴隆台	1432.0~4161.8	24	12	堵高渗层	9.0	1807
欢 103	欢 103	杜家台	3255.8~3409.4	61.4	15	堵高采出层	31.0	1072
欢 2-19-212	欢 23	杜家台	2442.4~2585.8	56.4	18	堵含水层	8.0	613
齐 2-16-5207	齐 43	杜家台	2292.0~2369.1	40.3	8	堵含水层	18.0	745
欢 2-8-5019	欢 27	杜家台	2800.3~2916.8	47.6	16	堵含水层	23.0	1117
欢 2-8-017	欢 27	杜家台	2722.2~2830.6	48.7	9	封堵水淹层	11.3	399

2.2 多种分层压裂工艺

根据油井油层埋藏深度 ,目的层渗透性极差 ,盖层、隔层情况 ,距顶水、底水距离等井身条件采用了多级加砂、下封隔器、下可捞桥塞、预填砂、注灰塞等多种分层压裂工艺 ,以提高压裂措施的针对性 ,获得较好的施工效果。

2.3 压前酸预处理工艺

对油层埋藏深、储层致密、破裂压力高、射孔不完善的油井 ,为保证设备运行良好、施工安全 ,采取压前酸预处理施工工艺 ,以达到清洗炮眼、降低破裂

压力的目的。如欢 2-8-23、欢 3-19-3、欢 103、欢 2-11-5117、齐 2-20-311、齐 2-22-10 六口井均采用了该工艺 ,降低了地面施工压力 ,保证了深井压裂的顺利进行。

2.4 大排量、大砂量压裂施工工艺

针对部分井油层跨度大 ,射开小层多 ,层间差异大 ,施工时压裂液滤失大的情况 ,为尽可能压开各小层 ,采用大排量、大砂量施工 ,最高排量达 5.5 m³/min ,最大加砂量达 47 m³。施工效果见表 2。

表 2 采用大排量、大砂量施工效果

井号	井段/m	厚度/m	层数	施工参数		压裂效果	
				排量/(m ³ ·min ⁻¹)	加砂量/m ³	日增液/(m ³ ·d ⁻¹)	日增油/(t·d ⁻¹)
欢 2-18-07	1900.0~1960.1	46.1	7	5.5	47.0	24.0	4.0
欢 2-18-12	2551.0~2662.0	48.0	14	5.0	41.5	24.0	4.0
欢 2-12-5015	2507.3~2617.8	45.9	17	5.0	36.0	10.0	7.0
欢 2-8-5019	2800.3~2916.8	47.6	16	5.0	40.0	30.0	23.0
欢 2-12-5115	2675.1~2785.3	51.4	17	4.8	40.0	20.0	17.0

2.5 复合支撑施工工艺

针对部分油井油层深度中等(油层深度 2000~2500 m) ,裂缝闭合压力在 25 MPa 左右 ,这类油井如全用石英砂支撑 ,其长期导流能力较低 ,有效期相

对较短 ,全用陶粒又太浪费 ,为此采用兰州石英砂尾追陶粒进行复合支撑 ,既控制成本又保证施工效果。欢 2-12-019、欢 2-12-018 等 9 口井均采用了该工艺 ,取得产量、效益双丰收(见表 3)。

表 3 采用复合支撑压裂效果

井号	井段/m	支撑剂				压裂效果	
		石英砂/m ³	陶粒/m ³	粒径/mm	砂比/%	日增油/(t·d ⁻¹)	累增油/t
齐 2-16-5017	2292.0~2369.1	23.0	10.0	0.5~0.8	28.6	18.0745	
欢 2-20-211	2468.6~2537.5	17.0	8.0	0.5~0.8	30.6	未投	
欢 2-5-011	2174.8~2285.8	26.0	10.0	0.5~0.8	34.2	7.0957	
欢 2-12-018	2361.0~2416.9	20.0	10.0	0.5~0.8	31.4	14.0	814
欢 2-13-019	2377.5~2416.9	30.0	10.0	0.5~0.8	35.3	22.0	902
欢 2-18-07	1900.0~1960.1	37.5	9.5	0.5~0.8	26.8	4.0	343
欢 621C	2209.5~2280.0	30.0	10.0	0.5~0.8	30.7	1.0	73
欢 2-12-019	2391.3~2429.0	20.0	10.0	0.5~0.8	28.8	22.0	158
欢 2-19-014	2516.5~2539.5	20.0	8.0	0.5~0.8	29.0	13.0	3825

2.6 热压裂施工工艺

欢采齐古潜山原油凝固点在 43~60 ℃ 之间 ,属典型的高凝油低渗区块 ,常规压裂由于压裂液与地

层之间产生热交换造成原油析蜡 ,对支撑裂缝二次污染。原油析蜡属非可逆过程 ,常规压裂的压裂液对地层的冷伤害非常严重。针对这种情况 ,我们在

该区块试验了热压液工艺,使压裂液入井温度达 60℃左右,高于原油析蜡温度,大大降低了压裂液对地层的冷伤害,实施后取得了一定的效果。

2.7 控缝高施工工艺

欢 2-12-019 井由于压裂井段紧靠底水(相距仅 3.5 m),且无有效隔层。为控制底水上窜,防止油层水淹,我们在该井采用了控缝高工艺技术,控制裂缝向下延伸,该井压后日增油 22 t,基本不产水,生产数据表明该工艺在本井运用极其成功。

2.8 低温破胶技术

针对兴隆台油层埋藏浅,油层温度低(30~60℃),采用常规工艺压裂液破胶时间长、残渣多,压裂液滞留地层时间长,对地层伤害严重,采用了低温快速破胶技术,保证压裂液在 3 h 内完全破胶,及时返排,尽可能减少压裂液在地层的滞留时间,降低二次伤害。如欢 2-12-2110、欢 2-13-9 等井均采用了该工艺。

2.9 压裂裂缝监测技术

为了监测水力裂缝延伸方向,我们在欢 2-19-315、欢 2-19-014、齐 2-20-311 三口井进行了裂缝监测,利用地面人工裂缝监测仪记录压裂过程中产生的微地震波,通过数字处理计算裂缝方位、长度、高度、产状,检验压裂效果,研究区块裂缝延伸规律,通过对这 3 口井的监测,我们获取了详实的资料,为优化压裂施工设计和开发该地区的井网布局提供了科学依据。

3 压裂液技术应用及控制

压裂液是制约压裂施工及效果的关键因素,为了确保压裂工艺技术的实施,我们从影响液体性能的各个环节入手,结合欢采油藏的实际,推广应用多项压裂液新技术,强化压裂液室内配伍性实验,严格把好压裂液、压裂液添加剂、支撑剂等各类入井材料质量关,实行从配液到入井全程质量监控。

3.1 推广应用多项压裂液新技术

3.1.1 热压裂液在高凝油的应用技术

热压裂液解决了高凝油的冷伤害问题,它以热水作为基础液体,浓缩脱胶为稠化剂,胶囊为破胶剂。热压裂液的入井温度高于原油凝固点 5~10℃,防止原油析蜡对地层的二次伤害。如齐古 2、齐古 61 井等应用了该压裂液,该压裂液使高凝油压裂工艺有了新突破。

3.1.2 低温破胶技术

由于部分井井温低于 60℃,最低甚至达到了

30℃左右。破胶成为这类井压裂的首要问题,实现低伤害的快速返排技术更是压裂液研究的关键。采用了自动破胶、低温激活 2 种方法,实现了关井 3 h 的强制排液工艺。

3.1.3 深井压裂液的实验

如井深>3000 m,井温>120℃,就要求压裂液应具有很好的耐温性、抗剪切性和良好的携砂能力。为此研究了耐高温的有机硼交联压裂体系。

3.1.4 推广应用了低伤害的有机硼延迟交联技术

有机硼延迟交联压裂液,易于破胶,对支撑剂没有强的吸附,因此破胶后的导流能力保持较高,对地层伤害小,延迟交联使压裂液的剪切作用降低,提高携砂性能,降低施工摩阻,施工的 71 口井都应用了该技术。

3.1.5 浓缩压裂液的研究

浓缩压裂液以油基为基础液体,聚合物树脂为悬浮剂,溶解的胍胶稠化剂,它具有不易变质、稳定性好、滤失低、鱼眼少的特点。

3.1.6 采用浓缩交联技术

由于部分井场较小,摆车困难,为了减少用车量,不用交联液罐,试验了浓缩交联技术。事实证明该技术成胶的压裂液状态很好。

3.1.7 新型杀菌剂的应用

每年春夏和夏秋之交是一些细菌繁殖最快的时间,为了防止细菌的抗药性产生,在夏天试验采用了新型非离子杀菌剂,减少了浪费和损失,缩短了生产周期。

3.2 加强液体的针对性试验及配伍性试验

根据欢采油井的具体情况,如油藏的温度、深度、油性、渗透率、孔隙度、施工排量等,确立了一套配方选择系统。进行以改变基液粘度、类型、防膨剂类型、浓度、交联时间、交联方式、交联类型、破胶方式等多元性变化的设计,以提高压裂液的针对性。着重开展了压裂液的耐温、剪切性试验,压裂液与地层的油、气、水等流体间配伍试验,预防早期脱砂事故的发生,降低压裂液的二次伤害。

3.3 对原材料及压裂液实行全过程质量监控

流体工作严格执行 ISO 9001 质量控制网络和岗位责任制。从配液—运液—现场检验,必须有专职人员到现场监督,保证了压裂液的系统稳定性。

3.4 强支撑剂的优选和质量检测

支撑剂的质量直接影响压裂增产效果,特别是增产有效期,因此,支撑剂的选择尤为重要,为此,我们根据每口井井深、岩性、闭合压力,合理选用支撑

剂 ,并对其性能进行现场跟踪检测 ,确保质量。

4 压裂效果对比分析

油井压裂涉及油藏、地质、采油、工程、油田化学等学科 ,是一项系统工程 ,影响其增产效果的因素很多 ,包括压前油藏综合研究 ,区块动态分析 ,油井低产原因诊断及选井选层 ,油井的钻井、录井、测井及综合井史资料的分析 ,目的层储层物性评价 ,压裂工艺方案的确定 ,压裂工艺优化设计 ,压裂液、支撑剂、各种添加剂等入井材料的优选及评价 ,压裂施工准备 ,压裂施工以及压裂辅助作业、压后生产管理等诸多方面。

4.1 油井自身条件对压裂效果的影响

4.1.1 区块、层位、井别对增产效果的影响

2000 年欢采压裂的 71 口油井遍布欢采稀油的所有断块 ,主要分布在欢 2-19-16、欢 23、新欢 27、欢 26、欢 12-9、欢 8、齐 3-17-5、齐古潜山及零散块 ,压裂层位主要有杜家台、兴隆台、热河台、大凌河、古潜山 ;施工井别有新投开发井、探井、报废井、停产井、低产低效井 ;目的层岩性主要为砂岩和混合花岗岩。

事实表明 ,压裂效果好坏与区块、层位、井别三者关系密切 ,油层动用程度差、地层能量足的区块压裂效果好且有效期长 ;老区压裂必须从分析油井采出程度入手进行对比 ,因为压裂井控制剩余储量是油井能否增产的物质基础 ;同时 ,区块注采井网必须完善 ,目前地层压力与原始压力接近 ,区内油水关系必须清楚。层位也是制约效果好坏的一个因素 ,欢采地区潜山压裂效果较差就是一例 ,它表明我们目前对欢喜岭地区潜山内部的认识不充分 ,潜山天然裂缝分布规律、水力裂缝延伸规律仍有待研究。对于探井、零散井压裂由于资料较少更应慎重 ,由于该类油井压裂重在发现 ,对压裂井层更应精选 ,油井压裂效果直接影响对区块的认识。

4.1.2 储层物性对压裂效果的影响

储层物性直接影响压裂效果 ,我们以几口典型

井的物性参数进行效果对比分析(参见表 4)。

表 4 部分油井储层物性参数

井号	区块	储层物性(测井)				压裂效果/(t·d ⁻¹)	
		有效孔隙度/%	含油饱和度/%	泥质含量/%	渗透率/MD	日增液	日增油
欢 2-8-5118	欢 27	10.7	20.4	4.9	113	25	22
欢 2-10-518	欢 27	8.4	27.8	6.5	22	24.3	8
欢 2-8-5019	欢 27	10.5	23.5	8.2	41.6	20	7
欢 2-8-5017	欢 27	9.8	23.4	14.8	39.2	12.6	12
欢 2-19-015	19-16	12.4	27.5	3.2	58.9	29	20
欢 2-20-510	欢 23	9.12	18.7	3.8	20.5	24	3
欢 2-11-16	欢 26	11.6	26.5	3.5	65.3	33	32.3
欢 2-20-206	锦 16	13.5	28.7	8.2	128	27	24
欢 2-12-2110	12-9	15.1	20.5	10.1	197.9	30	14

表 4 清楚表明 :有效孔隙度、含油饱和度、渗透率高 ,泥质含量低的油井压裂效果好 ,如欢 2-19-015、欢 2-11-16 两井。欢 27 块 4 口油井更能说明问题 ,这 4 口井井段层位对应 ,油层厚度接近 ,但压裂效果各不相同 ,欢 2-8-5017 与欢 2-8-5019 两井有效孔隙度、含油饱和度、渗透率均接近 ,但欢 2-8-5017 比欢 2-8-5019 泥质含量高 ,欢 2-8-5017 井压后日产液量低一半 ,欢 2-10-518 与欢 2-8-5118 两井有效孔隙度、泥质含量、渗透率基本相同 ,唯含油饱和度欢 2-10-518 远低于欢 2-8-5118 ,虽然压后产液量接近 ,但产油量欢 2-10-518 远低于欢 2-8-5118 ,分析表明油层物性好的油井压后效果较好。

4.1.3 地层压力对压裂效果的影响

地层压力对压裂效果极为敏感 ,地层压力系数低的井一般效果不好 ,即使初期有一定效果 ,产量递减也非常快 ,稳产期短 ,累计增油量小 ,投资回报率低 ,下面结合几口井新动用层压力资料进行对比分析(参见表 5)。

从表 5 可以清楚看出 ,地层压力高的井效果好 ,19-315、19-511 两口井地层压力系数高于原油比重 ,油井压后自喷 ,齐 605 井油层厚度仅 13.6 m ,压后增油达 24 t ,而齐 3 井压后基本不出 ,欢 2-19-511 与欢 2-19-011 两口井同区块同层位 ,压后效

表 5 欢采部分井地层压力

井号	区块	层位	井段/m	地层压力 /MPa	压力系数	压裂效果	
						日增油/(t·d ⁻¹)	累增油/t
欢 2-19-511	欢 23	古潜山	2341.0~2384.0	22.33	0.94	51	6893
欢 2-19-011	欢 23	古潜山	2531.1~2561.1	15.1	0.59	4	261
欢 2-5-011	欢北	杜家台	2174.8~2285.8	17.1	0.77	7	957
欢 2-19-315	19-16	热河台	2570.5~2676.8	23.52	0.90	45	11883
齐 605	齐 605	杜家台	1936.4~1979.5	17.71	0.90	24	510
齐 3	齐古	古潜山	2171.0~2207.0	5.18	0.24	间开	52

万方数据

果截然不同 ,主要原因是地层压力不同 ,有权威资料介绍 ,油井地层压力系数低于 0.7 时压裂效果极差。

压裂效果好的油井一般油层较集中 ,井段跨度小 ,主力油层厚 ,砂体连续 ,油层厚度适中(有效厚度 30 m 左右)。有关参数见表 6。

4.1.4 油层有效厚度、跨度对压裂效果的影响

表 6 部分油井油层参数对比

井号	区块	层位	井段/m	厚度/m	层数	主力油层厚度/m	层数	压裂效果	
								日增油/(t·d ⁻¹)	累增油/t
欢 2-19-315	19-16	热河台	2570.5~2676.8	5.9	3	24.6	2	40	11883
欢 2-19-016	19-16	热河台	2651.5~2670.8	18.9	3	10	2	11	3122
欢 2-19-212	欢 23	杜家台	2442.4~2585.8	56.9	18	25	4	8	619
欢 2-18-12	欢 23	杜家台	2551.0~2662.0	48.0	14	12.6	4	4	1072
欢 9	零散	兴隆台	1834.6~1909.4	10.8	6	5.6	2	3	510
欢 2-20-206	锦 16	兴隆台	1451.1~1482.6	24.2	7	14.9	2	24	3352

从表 6 可以看出 ,欢 9 井由于油层分散 ,厚度小 ,无较好的主力油层 ,与欢 2-20-206 相比产量相差太远 ,欢 2-19-315 井由于厚度适中 ,层数少 ,主力油层砂体连续 ,压裂效果明显高于同区块同层位的欢 2-19-016 井 ,欢 2-19-212 与欢 2-18-12 相对也具有同一规律。事实证明 ,要取得好的压裂效果 ,压裂井段必须有一定厚度的主力油层(一般不低于 10 m) ,对于层间差异大的油井 ,尽可能细分 ,有针对性地对一套套砂体进行改造 ,油层跨度过大 ,各小层间不可避免存在差异 ,笼统合压将使部分油层潜力难以发挥 ,新井开发方案应结合压裂工艺综合考虑。

对高导流能力的支撑裂缝(资料表明支撑裂缝渗透率在 3 达西左右 ,远高于地层的天然渗透率) ,从而解除油层污染 ,提高储层的渗流能力 ,提高油井产能。因此 ,随着加砂量的增加、支撑缝长增长 ,累计增油量增加。但当裂缝支撑缝长达到一定值后增加幅度急剧降低 ,投资净收益反而降低 ,因此对任一油井都有一个最佳支撑缝长 ,这主要取决于油井的自身条件。理论研究表明 :油井的支撑半长跟压裂区块 ,油井距边水、底水、断层距离 ,有效渗透率 ,井距 ,油层压力 ,油层有效厚度 ,油层跨度 ,盖层隔层好坏 ,以及井场条件、设备能力等诸多因素有关。由于涉及参数较多 ,确定比较准的最佳支撑半长是很难的 ,但通过对压后效果进行统计分析可以得出一定的取值范围 ,欢采地区该值应在 80~140 m 之间(见表 7)。

4.2 压裂施工工艺参数对效果的影响

4.2.1 加砂量与压裂效果的关系

油井压裂主要目的是对储层进行改造 ,形成一

7)。

表 7 欢采压裂效果最好的 10 口井加砂强度统计

井号	井段/m	区块	跨度 /m	厚度 /m	层数	层位	加砂强度 /(m ³ ·m ⁻¹)	缝半长 /m	压裂效果	
									日增油/(t·d ⁻¹)	累增油/t
欢 2-20-206	1451.1~1482.5	锦 16	31.5	24.2	7	兴隆台	1.03	123	24.0	3352
欢 103	3255.8~3409.4	零散	153	61.4	15	杜家台	0.43	56	31.0	1072
欢 2-19-06	1852.0~1875.0	欢 8	24.0	17.6	6	杜家台	1.11	132	22.0	491
欢 2-8-18	2711.2~2820.0	欢 27	109	57.2	18	杜家台	0.77	88	25.0	1016
欢 2-13-019	2377.5~2416.7	14-16	39.2	22.3	4	大凌河	1.60	164	22.0	902
欢 2-12-019	2391.3~2429.0	37.3		21.3	7	大凌河	1.31	146	22.0	158
欢 2-11-5017	2698.9~2811.0	欢 26	112	63.3	18	杜家台	0.90	100	21.0	2316
欢 2-11-16	2695.9~2808.0	欢 26	112	52.7	22	杜家台	0.90	101	32.0	848
欢 2-11-5217	2689.9~2792.4	欢 26	102	47.0	18	杜家台	0.90	101	20.0	550
欢 2-19-315	2570.5~2676.8	107		25.9	3	热河台	1.15	132	45.0	11883

从表 7 可以看出 ,欢采地区加砂强度在 0.8~1.4 m³/m ,裂缝支撑半长在 80~140 m 之间较为理想 ,低于该范围有效期短 ,但压裂规模不能无限制扩大 ,超过该范围得不偿失。欢 2-13-019 就是范例 ,它与欢 2-12-019 井极有对比性 ,区块、层位、井段、油层条件基本相同 ,欢 2-13-019 规模远大于欢 2-12-019 井 ,但它们效果基本相同。

4.2.2 施工排量与压裂效果的关系

施工排量主要由油层条件决定 ,必须对油层的应力参数进行认真分析 ,考虑油层盖层、隔层好坏 ,距顶水、底水距离 ,油层跨度 ,滤失情况等因素 ,预测水力裂缝的延伸情况 ,以保证施工安全 ,对油层进行最有效的支撑。因而施工排量要适中 ,排量过小容易砂堵 ,排量过大容易窜层 ,支撑非目的层。对于潜

山裂缝性油藏,由于其滤失大,要大排量施工。对于砂岩地层应仔细分析,对于那些射孔井段长、小层多、油层跨度大的油井宜采用大排量施工,因为这类油井层间差异大,压裂液滤失严重,只有采用大排量施工才能确保各小层均受益,才能确保施工安全。对油层集中、油层跨度不大、没有明显隔层的油层要小排量施工,控制裂缝纵向扩展,以对油层有效支撑。

4.2.3 平均砂比与压裂效果的关系

通过对欢采所有井的平均砂比进行对比,统计表明,高砂比有利于增产,这主要有以下 2 个方面:(1)提高砂比可以提高砂浆浓度,增加铺砂层数,降低支撑剂的破碎率,使支撑裂缝变宽,从而提高裂缝导流能力;(2)提高砂比可以减少压裂液的用量,减少压裂液对地层的二次伤害,从而提高油井的产能。但砂比不可能无限制提高,它与油层条件、设备状况有关,只能立足现有条件尽可能提高砂比。

4.3 压后作业对效果的影响

油井压裂是一项系统工程,需要各方面紧密配合,压裂作业对压裂效果影响极大,再优质的压裂液对地层也存在着一定的伤害,因此压后应尽快排液投产,投产越快效果越好。2000 年 11 月后,我们采用压后用试井车软探砂面的办法,大大加快了压后作业速度,为油井及时上抽排液赢得了时间,压裂效果明显好于前期。

5 存在的主要问题

2000 年,欢采压裂取得了较好的效果,但是也存在着一定的问题,主要在以下 2 个方面。

5.1 潜山压裂成功率低,效果差

目前欢采地区潜山油藏共压裂了 14 口井,除欢 2-19-511、齐古 2 两口井效果相对好一点外,其余油井均不理想,有 5 口无效,措施有效率仅 60%,欢采压裂无效井 6 口,有 5 口来自潜山,其中欢 2-19-011 井同层段施工 2 次均不理想,潜山油藏施工 14 口井次有 4 次砂堵,压裂成功率不足 80%,因此应对欢喜岭地区的潜山油藏进行重新认识。

从欢 23 三口井压裂的施工压力变化看,只有欢 2-19-511 井较正常,而其它 2 口井,只要地层一压开,压力就急剧下降,说明压裂液在缝中滤失相当严重,3 口井使用的压裂液性能基本一致,证明欢 2-19-011、欢 2-19-更 11 两口井天然裂缝相当发育,远超过欢 2-19-511 井,由于压裂液滤失严重而造成的砂堵,虽然后期在工艺上进行了一些改

进,但这一问题并未彻底解决。这主要是目前我们对欢 23 块潜山内部认识仍不够,从现有的资料均反映上述 3 口井同区块、同层位、同岩性对比性极好,但欢 2-19-511 井的地层压力远高于其它 2 井,不具有相同压力系统。我们认为,虽然 3 口井相距不远,但潜山内部可能存在未被认识的微断层,将潜山内部分割,因此要真正解决这一问题必须进一步加强潜山的内部认识。欢 2-18-07 井采用大砂量压裂效果较明显,产液量很大(24 m^3),但含水量太高(85%左右),证明加强这块储层认识潜力很大。齐 3-17-5、齐古潜山同出一辙,压裂 9 井次,只有齐古 2 井见到效果,其它均是投产时不错,两三天就供液不足,主要反映其储层丰度低,天然能量不足(齐古 2 井油层比其它井浅 150 多米)。因此要对齐古潜山压裂有实质性突破,必须加强其储层认识,找出问题的根本才能彻底解决。

5.2 部分油井有效期短

我们一直非常关注欢采的压裂增产效果,建立了压裂井生产档案,对每一口油井进行跟踪对比分析,经分析发现,欢采地区的压裂井除欢 2-19-16 块的油井稳产期较长外,许多油井初期产量均较高,但稳产期较短,产量递减快,个别油井投产几天后就出现供液不足,产量急剧下滑的情况,为此,特对投产期较长的几十口油井进行了专门对比分析,具体情况见表 8。

从表 8 可以清楚看到,前 4 口井生产很正常,产量递减慢,稳产期长,它们的加砂强度均超过 $1.0 \text{ m}^3/\text{m}$,裂缝支撑半长都在 120 m 以上,主力油层厚,小层数少,泥质含量较低。而后面有效期短的 6 口井就不一样了:欢 2-18-12 井主力油层薄($11.2 \text{ m}/3$),单层厚度不足 4 m,且不集中,零散分布在全井 14 个小层中,油层跨度达 111 m,虽加砂 41.5 m^3 ,但支撑裂缝并不长,本井虽无确定的泥质含量值,但从测井曲线上可看出本井的泥质含量较高,同时本井处于欢 23 块边部,油层天然发育较差,位于区块低部位,油层压力低,因而本井效果不太好(邻井欢 24 井也具有相同情况);欢 2-5-011 井则与欢 2-18-12 井类似,主要是主力油层薄($9.5 \text{ m}/3$),且分散,油层跨度大(111 m),油层泥质含量较高(10.4%),虽然油井地层能量不低,效果仍不好;齐 605 井也是该区块第一口井,位于高部位,地层能量充足,投产初期产量高达 $24 \text{ t}/\text{天}$,但几天后就供液不足,累计增油效果差,而齐古 2、欢 103、欢 2-8-23 三口井由于井段长,加砂量少,加砂强度低,

表 8 欢采压裂有代表性 10 口井生产统计

井号	井段/m	油层 厚度/m	主力油层 厚度/m	层数	支撑剂 类型	加砂强度 ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}$)	支撑 半长/m	泥质含 量/%	压后几个月均生产数据/($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$)					
									1	2	3	4	5	6
欢 2-20-206	1451.1~1482.6	24.2	14.9	2	石英砂	1.03	123	8.2	12.1	19.6	13.3	11.6	11.2	10.8
欢 2-23-9	2600.2~2632.6	23.4	23.4	4	陶粒	1.02	121	无	8.7	6.7	6.3	5.2	4.7	4.5
欢 2-19-315	2570.5~2676.8	25.9	25.8	3	陶粒	1.16	132	6.5	41.0	37.8	36.4	36.1	37.8	37.5
欢 2-19-016	2651.5~2670.8	18.9	18.9	3	陶粒	1.59	165	3.2	21.1	20.6	19.0	16.4	12.8	12.2
欢 2-18-12	2551.0~2662.0	48.0	11.2	3	陶粒	0.86	92.5	无	6.7	5.6	3.3	2.7	3.1	3.0
齐古 2	1888.4~1958.0	69.6	16.5	2	陶粒	0.36	57.2	无	10.7	10.2	4.9	3.4	2.8	2.6
齐 605	1936.4~1979.5	13.6	8.5	3	陶粒	1.32	136	26.7	4.9	2.2	1.0	1.0	1.0	1.0
欢 2-5-011	2174.8~2285.8	27.3	9.5	3	石英砂+陶粒	1.39	142	10.4	7.5	12.1	3.4	4.3	5.2	2.0
欢 2-8-23	3235.6~3363.6	67.2	20.6	4	陶粒	0.29	45.4	无	12.1	13.0	9.1	3.9	3.6	1.7
欢 103	3255.8~3409.4	61.4	26.4	8	陶粒	0.43	65	无	22.5	13.7	6.6	4.5	3.1	3.0

裂缝支撑半长短 ,虽然前 2 个月产量均很高 ,但稳产期短 ,3 个月后就开始递减 ,如这 3 口井进行重复压裂将有较好效果。

综上所述 ,油井要达到较好的增产效果且稳产期长 ,首先必须油层天然条件好(主力油层厚度大并集中、泥质含量低、油层压力高) ,同时改造强度必须到位 ,因而在设计开发方案时一定要考虑目前压裂工艺水平 ,射开井段跨度不应过大 ,在井身条件允许的情况下尽可能采用分层压裂 ,从而对有潜力的油层进行有针对性压裂 ,一套套砂体进行改造。

6 几点建议

(1)选井选层是压裂效果好坏的关键 ,应进一步加强压前地质研究 ,选择那些 ①具有较高的剩余可采储量 ,与邻井相比采出程度低的油井 ,②注采井网完善 ,目前油层压力高 ,能量充足的油井 ;③射孔井

段跨度小 ,油层集中 ,油层有效厚度适中(30 m 左右) ,主力油层厚 ,砂体连续的层段 ;④油层物性相对较好(有效孔隙度高、含油饱和度高、泥质含量低)的油井进行压裂。

(2)加强分层压裂工艺的实施 ,提高措施的针对性 ,争取在深层分层工艺上有所突破 ,提高油井的改造程度 ,延长增产有效期。

(3)加强储层物性研究 ,强化入井材料的敏感性评价 ,做好“ 五敏 ”实验 ,对泥质含量特别高的油井试验粘土钝化处理 ,延长措施有效期。

(4)加强欢喜岭地区裂缝性油气藏构造研究 ,加深潜山内部认识 ,探索本地区该类油井水力裂缝延伸机理研究 ,提高压裂成功率 ,提高效果。

(5)严格控制射孔井段跨度 ,射孔井段过大 ,施工难度增加 ,加砂强度满足不了油井增产需要 ,建议射孔井段跨度控制在 50 m 以内。

(上接第 31 页)

泡沫洗井钻进冻土者居多。

(4)无论采用何种洗井方式和冲洗介质 ,似乎在一般情况下均不宜采用“ 干 ”钻 ,因为“ 干 ”钻不但机械钻速低 ,而且破坏了岩心的原始结构 ,失去了代表性 ,甚至有发生事故的危險。

(5)硬质合金钻头最好使用肋骨式或外出刃大的钻头。金刚石钻进时 ,应对钻头结构进行改进 ,增加水口数量 ,调整水口排列 ,钻头侧面呈肋条式 ,把空气动力学阻力减小到最低程度 ,改善钻头的冷却条件 ,保证正常钻进 ,取得较好的钻探效果。

参考文献 :

[1] Б. Б. Кудряшов , А. М. Яковлев. Бурение скважин в мерзлых породах[М]. Москва : Недр ,1983.

[2] Б. Б. Кудряшов , В. К. Чистяков , В. С. Литвиненко. Бурение скважин в условиях изменения агрегатного состояния горных пород[М]. Ленингра , Ленинград Недр , Лское отделение , 1991.

[3] Смолов Г. К. Тепловые модематические модели технической системы “ Добывающая газовая скважина-термостабилизаторы-многолетние — мерзлые породы ”[J]. Геология , бурение , разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений ,Москва ,1999 (3~4).

致谢 本文撰写过程中还参考了中国地质大学专家代表团 2001 年 6 月访俄资料及 2001 年 6 月在俄罗斯圣彼得堡召开的“ 第五届国际复杂条件钻探研讨会 ”会议资料 ,谨表谢意。