

四川盆地南部页岩气藏 大型水力压裂作业先导性试验

叶登胜 尹丛彬 蒋海 方泽本 李建忠

川庆钻探工程有限公司井下作业公司

叶登胜等.四川盆地南部页岩气藏大型水力压裂作业先导性试验.天然气工业,2011,31(4):48-50.

摘 要 四川盆地南部的古生界页岩发育,储集了丰富的天然气资源。由于页岩气藏渗透率极低,通常都需要水力压裂改造才能获得经济的开采。为此,针对区块内某一口页岩气井志留系龙马溪组和寒武系筇竹寺组储层特征和技术改造难点,分别从工艺优化、设备配套、供液配套、高低压连接到质量控制等方面进行了详细的分析,将整体配套技术应用用于现场作业并取得了成功,证实了采用大型水力压裂作业技术对页岩气藏实施增产改造是可行的,为下一步页岩气藏的规模化、效益化开发提供了技术支撑。

关键词 页岩气 开发 水力压裂 先导性试验 四川盆地 南 志留纪 寒武纪

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.04.011

页岩气属于非常规天然气^[1],在一定地质条件下可聚集成藏并达到经济开采价值^[2-3]。页岩气藏因其储层物性差、孔隙度和渗透率低,需要应用水力压裂技术才能获得经济的开采。

四川盆地南部古生界页岩气藏资源丰富,中国石油天然气集团公司在 2006 年初步评估该区下寒武统筇竹寺组和下志留统龙马溪组页岩气资源量为 $6.8 \times 10^{12} \sim 8.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[4-5]。Wx 井是威远地区部署的一口页岩气井,该井古生界页岩地层为一套浅海相碎屑岩沉积,其中龙马溪组埋藏深度为 1 503.6~1 543.3 m,主要岩性为灰黑色粉砂质页岩、碳质页岩、硅质页岩夹泥质粉砂岩,沉积厚度分布不均,一般分布在 0~200 m。筇竹寺组埋藏深度介于 2 619.0~2 821.0 m,主要岩性为深灰、灰黑色粉砂质页岩、碳质页岩和泥质粉砂岩,其厚度在该区分布较稳定,厚度为 400~600 m,往威远的东南方向变厚。两个层位页岩气藏内裂缝不发育,基质平均渗透率 0.000 18 mD,总孔隙度为 3%~4%,储层的孔隙度较低,储层储集空间主要是吸附气为主,游离气以裂缝性游离气为主,孔隙性游离气次之。

2010 年,分别对 Wx 井的龙马溪组和筇竹寺组实

施了大型水力压裂作业,试验获得了成功。

1 先导性试验的难点及对策

由于页岩气藏岩性特别致密,对作业井的压裂特征参数不清楚,试验潜在风险高、难度大,加上页岩气藏压裂作业井规模大、排量高,需要动用的设备也多,在工艺设计、地面配套等方面需要进行难点与对策分析。

1.1 工艺技术方面

由于页岩储层压裂时易产生多裂缝,液体滤失严重,人工裂缝宽度受限,支撑剂进入地层难度大;加之页岩储层孔隙度、基质渗透率极低,外来液体的侵入容易引发二次伤害,对压裂裂缝导流能力有较大影响。为了有效补偿液体滤失,并确保缝宽适度,采用大排量施工、小粒径、低密度、低砂比、段塞式加砂模式;为了减少压裂液对地层的二次伤害,选用低成本、低含水不溶物的滑溜水液体体系。针对首次试验对地层压裂特征参数不清楚的情况,主压裂前进行小型测试压裂,并辅以连续油管带井下压力计实测井底处理压力,求取准确的地层压裂参数以指导优化主压裂。针对潜在的页岩气藏高破裂压力难题,结合室内对地层矿物成分的分析 and 酸溶蚀实验,利用连续油管进行小型的酸化

作者简介:叶登胜,1965 年生,高级工程师,博士;现任川庆钻探工程有限公司井下作业公司副总经理、总工程师,主要从事油气田开发压裂酸化工艺研究、技术服务、科技管理、新技术开发与推广等工作。地址:(610051)四川省成都市二环路北四段瑞丰巷 6 号。电话:(028)86019198。E-mail:yeds@vip.sina.com

预处理,可以适当的解除近井地区的滤饼堵塞,缓解井眼附近的应力集中,有效地降低地层的破裂压力。

1.2 供液配套方面

与常规水力压裂相比,页岩气藏压裂作业属于高排量(大于 10 m³/min)、超大规模(大于 2 000 m³),常规供液模式已不适用,需要有针对性地进行配套优化。

1.2.1 供液管汇

为满足设计施工排量 12 m³/min,在低压管汇连接上,液罐之间采用 \varnothing 304.8 mm 管汇和同尺寸分配器连接(常规作业用的是 \varnothing 244.5 mm),液罐和 \varnothing 304.8 mm 主分配器之间采用 \varnothing 152.4 mm 管汇连接,其中靠近混砂车的 8 个液罐采用双管线连接,并将其固定为主供液罐,以确保施工后期高排量下的顺利供液。

1.2.2 供液方案

在供液上,总体原则采用远近搭配供液方式。提前对液罐进行编号规划,施工时供液采取由远到近的方式,逐步向主供液罐靠拢,所有液罐采用自身泵供液方式。如果自身泵出现故障,则立即用备用潜水泵向相邻液罐转液。

1.2.3 混砂车吸入及排出管汇

混砂车吸入采用 \varnothing 101.6 mm 管线与 \varnothing 304.8 mm 分配器连接,排出采用 \varnothing 101.6 mm 管线与高低压分配器连接。总体为“12 进 6 出”。

1.3 高压流程配套方面

从压裂车到井口处高压流体通道要满足高排量的需求,还要考虑超大规模带来的长时间对管路冲刷影响,另外,常规的井口装置无法满足高排量的注入,会带来较大的节流效应,需要对整个流程进行重新配套优化。

1)为满足高排量注入,采用 4 根 \varnothing 76.2 mm 高压管线注入,目的是降低单根管线流速,减少携砂液对高压管线及阀件的冲蚀,同时能较好地防止高压流程震动,保证流程安全。

2)为保证长时间、大排量加砂井控安全,设计加工了一套与原井口配套的、适用于套管注入的压裂专用特殊六通,既能满足压裂作业时大排量的注入需求,有效减小井口的节流,又能在作业后不动井口条件下直接排液生产。

3)高压注入主管线旋塞阀采用 \varnothing 76.2 mm 大通径旋塞阀,减少节流压力和冲蚀。

4)施工采用 2 套高压密度计、2 套压力传感器对施工参数进行监测,保证施工数据的有效连续性。

5)通过优化配置水马力,整个注入系统共采用总计 26 000 马力(1 马力 = 735.499 W)的 HQ 2000 型压裂车组 13 台。

6)配备仪表车和混砂车各 2 台,2 台仪表车同时采集和处理,混砂车 1 台用于施工,1 台备用,以确保整个作业流程的连续性。

2 现场实施情况

2.1 Wx 井压裂设计参数

Wx 井压裂设计参数如表 1 所示。

表 1 Wx 井水力压裂设计主要参数表

设计参数	筇竹寺组	龙马溪组
作业井段	2 652~2 704 m	1 503.6~1 543.3 m
注入方式	套管注入	
作业管串	\varnothing 139.7 mm 套管 \times 2 837 m(壁厚:9.17 mm,钢级:BG95S)	
作业排量	12 m ³ /min	
准备液量	滑溜水:2 115 m ³	滑溜水:2 250 m ³
	盐酸:20 m ³	盐酸:15 m ³
支撑剂量		线性胶:270 m ³
		40~70 目低密度陶粒:4 m ³
	40~70 目低密度陶粒:60 m ³	40~70 目石英砂:85 m ³
	100 目石英砂:3.8 m ³	20~40 目石英砂:10 m ³
		100 目石英砂:5 m ³

2.2 现场质量控制(QA/QC)

为确保页岩气藏首次压裂施工严格受控,特制定了一套近乎苛刻的 QA/QC^[6]工艺方法。包括:配液罐清洁情况查验、配液用水质量分析、添加剂材料复核、配液前实验小样的配制、配液过程中进行质量控制、施工前液体质量检查、施工过程中液体切换的监控等。

2.2.1 配液设备的质量控制

配液前对设备进行检查(车辆、管线洁净情况),要求配液设备工况良好,无残酸、残碱、残菌、铁锈、油污及其他机械杂质,确认所有阀门操作灵活并无渗漏,确认罐上搅拌器是否运转正常,检查合格后方可使用。

2.2.2 入井材料的质量控制

配液用水检测(数量、外观、机械杂质、pH 值),要求配液用水达到注入水标准。配液前对入井添加剂材料的品名、数量、包装、生产批次进行检查,要求现场添加剂材料必须与室内抽样试验的添加剂材料相吻合。对支撑剂同样要进行抽检和产品取样保存,现场核对材料包装信息与实验室检测批号一致等。

2.2.3 现场执行状况

在井场设立了临时实验室,专门进行预混合测试、

压裂液混合期间的质量检测测试;配液期间专业人员对配液过程进行全程监控,严格控制配液程序的规范化,施工期间,严格控制不同液体之间的有序切换。

2.3 现场作业

2010年7—9月,在W_x井标准化的作业现场,分别对筇竹寺组、龙马溪组页岩气层成功实施了水力压裂作业(图1)。作业期间,供液流畅有序,多种支撑剂的转换有条不紊,压裂车长时间泵注依然保持平稳,2台仪表车监控与采集正常,整个作业流程严格按照设计运行,现场试验取得了圆满成功。



图1 现场作业全景照片

2.3.1 筇竹寺组页岩气层压裂

施工曲线如图2所示。注入地层总液量1 800.51 m³,支撑剂16.7 m³ (26.55 t)。其中100目石英砂3.4 m³ (5.38 t),40~70目陶粒13.3 m³ (21.17 t)。泵注压力63.5~64.4 MPa,施工排量6.4 m³/min,最高砂浓度58 kg/m³,平均砂浓度35 kg/m³ (段塞式加砂模式)。

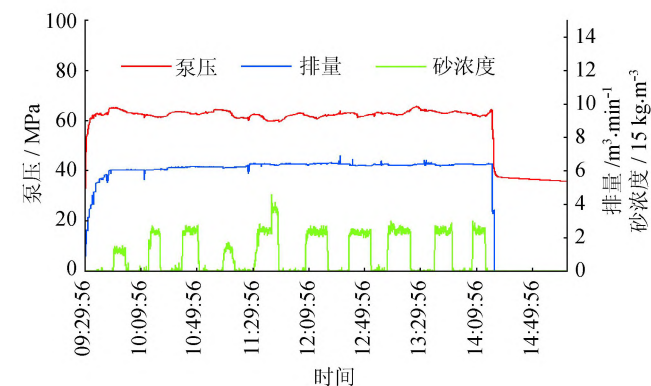


图2 筇竹寺组页岩气层水力压裂施工曲线图

2.3.2 龙马溪组页岩层压裂

施工曲线如图3所示。施工泵注压力36.1~40 MPa,施工排量10.1~10.2 m³/min,平均砂浓度115 kg/m³。注入地层总液量2 036 m³,支撑剂163.4 t。

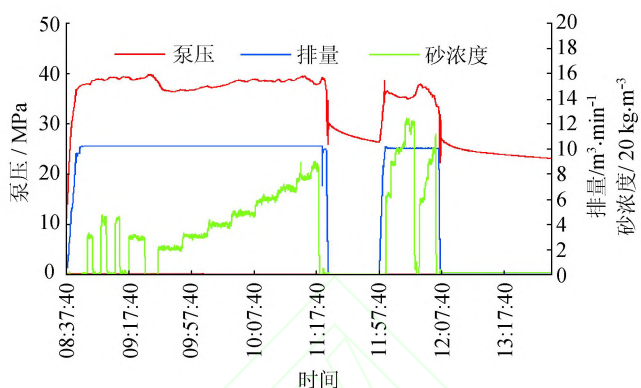


图3 龙马溪组页岩气层水力压裂施工曲线图

3 认识与建议

1)四川盆地页岩气藏压裂施工的成功,标志着采用大型水力压裂作业技术对页岩气藏实施增产改造是可行的。通过对W_x井2次作业的先导性试验,积累了宝贵的经验,包括施工组织、地面配套、质量控制等,初步形成了页岩气藏大型水力压裂作业的配套技术,为下一步页岩气藏的水力压裂作业打下了坚实的基础。

2)W_x井页岩气藏水力压裂先导性试验只是一个开始,还需要对大型水力压裂整体配套技术进行优化、完善,在未来的作业中针对大型水力压裂作业的环保问题也要引起重视。另外,页岩气藏的压裂机理、效果预测、压裂模拟、支撑剂优化铺置等研究国内还处于初级阶段,还需要更加深入地开展研究工作。

参 考 文 献

- [1] 张金川,薛会,张德明,等.页岩气及其成藏机理[J].现代地质,2003,17(4):466.
- [2] 刘洪林,王莉,王红岩,等.中国页岩气勘探开发适用技术探讨[J].油气井测试,2009,18(4):68-71.
- [3] 张金川,金之钧,袁明生.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7):15-18.
- [4] 陈尚斌,朱炎铭,王红岩,等.中国页岩气研究现状与发展趋势[J].石油学报,2010,31(4):689-694.
- [5] 李其荣,杜本强,隆辉,等.蜀南地区天然气地质特征及勘探方向[J].天然气工业,2009,29(10):21-23.
- [6] JIN L, VELTRI D, KRAUSE D, et al. Large-scale hydraulic fracturing in a frontier area in China[C]// paper 77680-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 29 September - 2 October 2002, San Antonio, Texas, USA. New York: SPE, 2002.