

水平井限流法压裂技术的发展与应用

邢庆河 张士诚

中国石油大学石油工程教育部重点实验室

邢庆河等.水平井限流法压裂技术的发展与应用.天然气工业,2010,30(3):52-54.

摘要 水平井限流法压裂采用套管压裂,具有井下工具少、一次施工完成多条裂缝改造、压后增产效果好等优点,是低渗透油气藏水平井增产改造的很好选择,大庆油田已应用该方法压裂完成了20多口水平井的改造,取得了很好的经济效益。根据南214—平324井的主压裂施工曲线分析了水平井限流法压裂的特点,介绍了“有效孔数法”、G函数法、连续油管井温测井、大地电位和井下微地震等配套技术。从压裂液流动的角度提出了水平井限流法压裂存在径向流区的观点,对压裂液在径向流区流动的正确认识是水平井限流法压裂设计和施工控制的关键。最后总结了目前水平井限流法压裂在施工过程及压后裂缝诊断方面所存在的问题,并提出了相应的解决办法及技术发展思路。

关键词 水平井 压裂 限流法 技术 特点 应用 建议 大庆油田

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2010.03.012

0 引言

国外关于水平井限流法压裂的报道较少,本文参考文献[1]中列举了限流法压裂在裸眼或套管完井的水平井中的成功应用,最多可以压开9段。国内水平井限流法压裂主要集中在大庆油田,该油田经过“八五”国家重点技术攻关形成了适应于新井完井压裂的套管限流压裂技术,一次施工可压开多条裂缝,最初在4口井上成功应用^[2]。2003年采用该技术在薄互层压裂改造2口井,实现裂缝穿层;2006年采用该技术在水平井筒方向与地层最小主应力方向垂直时的薄互层压裂改造2口井,形成的沿井筒方向的裂缝增产效果也很好。从20世纪90年代至今,大庆油田已应用该方法完成24口井的改造,均取得了较好的增产效果。

1 技术原理及主要特点

1.1 技术原理

水平井限流法压裂与直井限流法压裂原理一样,都是通过控制炮眼数量和直径,以尽可能大的排量施工,利用炮眼摩阻提高井底压力,迫使压裂液分流,使破裂压力相近的地层依次压开^[3],最终填砂形成有效

的支撑裂缝。国内水平井限流法压裂主要集中在大庆油田外围,根据储层厚度分为两类:裂缝限制在储层内和裂缝穿透隔层贯穿多个薄储层^[4-5]。

1.2 主要特点

水平井限流法压裂与直井限流压裂原理相同,但又有独特之处。

1)施工控制井段长、规模大,施工井段为固液两相的变质量流。因此,长层段中沿程流体摩阻不能忽视,使得孔眼限流摩阻值的计算不能像直井一样仅考虑压裂层段间的破裂压力差值。当确定最大施工排量时,水平井筒引起的摩阻通常也是限制因素。

2)携砂液引起的炮眼侵蚀对流量分配及裂缝形态影响很大。射孔侵蚀对垂直井的流体分布影响较小,但对水平井作业中流体的分布有很大影响。通常认为根部孔眼首先接触携砂液,所以根端孔眼受到的冲扩程度比趾部的大得多。

由于炮眼磨损引起的施工压力变化在限流法压裂施工曲线中有很明显的显示,图1是南214—平324井的主压裂施工曲线,从图中可以看出支撑剂到达井底后,井口压力大幅度下降,这在其他压裂方式中是没有的现象。此现象是由于支撑剂加入引起的混砂液净

基金项目:中国石油低渗透水平井重点攻关项目“水平井增产技术与现场应用”子课题的部分研究成果。

作者简介:邢庆河,1981年生,博士;从事油气藏增产改造研究工作。地址:(102249)北京市昌平区中国石油大学(北京)220信箱。电话:13811608752。E-mail:qhxing@sipc.cn

液柱压力、管柱摩阻和孔眼摩阻的变化综合作用的结果。根据南214—平324井的井身结构及施工情况定量计算出前两项的值^[6-7],可以发现它们对施工压力的影响远没有这么大,因此可以判断出现施工压力如此大幅度降低的主要原因是孔眼受支撑剂打磨孔径变大后,摩阻急剧降低造成的,但目前的压裂设计软件还不能模拟孔眼摩阻的动态变化对裂缝形态的影响。

3)从压裂液流动角度看,水平井限流法压裂与垂直井压裂的主要区别是压裂液存在径向流区(如图2

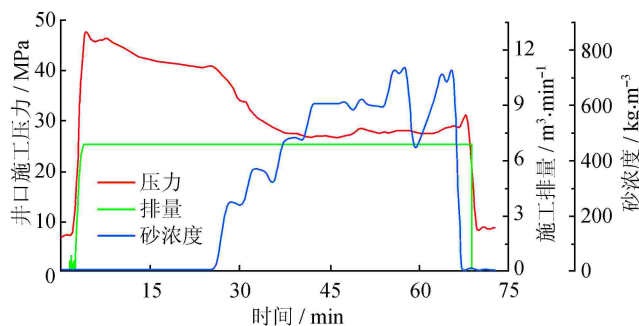


图1 南214—平324井主压裂施工曲线图

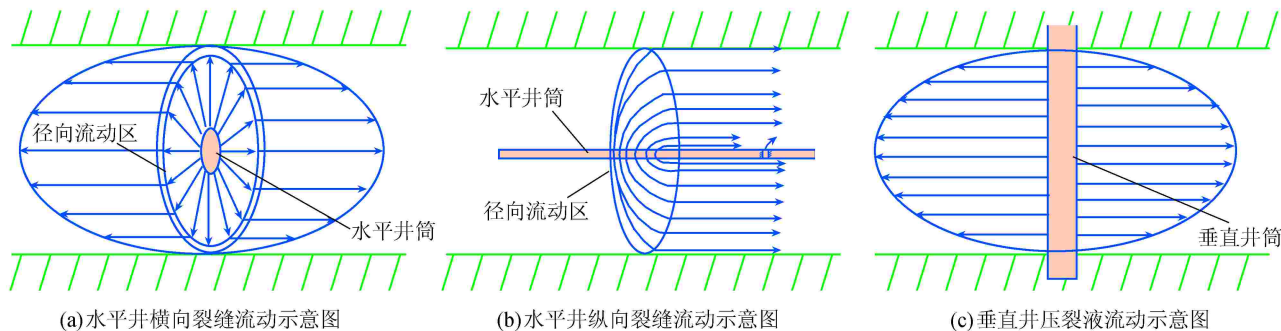


图2 水平井限流法压裂与垂直井压裂流动差别示意图

所示)。因此增加了近井裂缝复杂程度,产生附加摩阻,高浓度砂浆在其中流动风险很大。

2 现场应用情况及增产效果

从20世纪90年代至今,大庆油田累计完成水平井限流压裂24口,取得了很好的增产效果(见表1)。最高施工排量 $9\text{ m}^3/\text{min}$,加入支撑剂 90 m^3 ,最多射孔6段实现全部进液(见表2)。

表1 限流法压裂增产情况统计表 t/d

地区	生产情况	初期		目前	
		液	油	液	油
肇州	6口限流压裂水平井平均产量	18.0	16.7	11.3	10.0
	7口压裂直井平均产量	3.8	3.2	3.3	2.7
	水平井/直井	4.7	5.2	3.4	3.7
敖南	5口限流压裂水平井平均产量	7.2	7.1	2.0	20.3
	2口压裂直井平均产量	1.3	1.3	1.2	1.2
	水平井/直井	5.5	5.4	1.7	1.7

表2 部分限流压裂井施工参数表

序号	井号	布孔段数	孔数	支撑剂量/ m^3	最高排量/ m^3/min
1	肇62—平22	5	15	48	9
2	南232—平255	4	20	90	7.2
3	南246—平309	6	18	54	7.5
4	南214—平324	5	20	80	8.5

现场形成了系统的水平井限流压裂设计方法、裂缝形态诊断技术和段内限流压裂等配套技术:

1)采用“有效孔数法”及G函数法判断压开裂缝数。

2)开展了连续油管井温测井、大地电位和井下微地震等研究及现场试验。对南214—平324等4口井进行了连续油管井温测井,对认识限流压裂的裂缝形态、裂缝开启位置、相对改造程度起到了积极作用;对南236—平252等8口井应用了大地电位法测试水平井多裂缝的裂缝方向;对南246—平309井应用井下微地震测试技术进行了裂缝形态测试,与井温测井和测试压裂G函数法解释的结果比较吻合,另外该测试技术也初步证实限流法压裂可以在薄互层沟通多个储层。

3) 针对施工井段长、物性差异大,限流压裂可能造成部分层段施工达不到要求或者直接丢缝的现象,开展了水平井机械分段与限流压裂结合的段内限流分段压裂现场试验。

3 存在的主要问题

水平井的限流法压裂在压前地质认识、施工过程中的控制方法和压后裂缝诊断方面还存在以下问题。

1) 水平段长、横向岩性分布复杂,现有地应力计算方法还不能获得详细的水平段的应力差别情况,使造缝部位针对性不强。

2) 控制各段裂缝均匀延伸的手段还不够有效,各条裂缝规模难于控制:①由于改造对象主要为薄互储层,层段物性差异大,仅依靠射孔方案的调整难以实现对水平段的均匀改造,还可能使部分裂缝缝长远远大于预期设计值,如果存在边底水或后期注水开发,引发暴性水淹;②针对经过磨蚀后的孔眼不能产生足够的井底压力使难压层段继续延伸的现象,现场采用加砂后提高施工排量来保证施工,但缺乏量化的理论指导。

3) 缺乏有针对性的裂缝定量解释方法。

目前现场采用了连续油管井温测井、大地电位测试裂缝方向、井下微地震裂缝检测等技术,但施工复杂、费用昂贵。“有效孔数法”被作为压开裂缝数目的诊断方法也存在很大误差,“有效孔数法”是建立在系统压力分析基础上的,但限于目前水平井限流法压裂压力计只能下到直井段的喷嘴上方。因此,喷嘴下方直井段的摩阻和水平段固液两相变质量流的摩阻计算精度远远不够,导致“有效孔数”计算结果不准确,也影响了压开裂缝数的准确判断。

4 结论及建议

通过上述分析和讨论,得出以下结论和建议。

1) 现场试验证明,限流法压裂对需要改造规模比较大的水平井,具有很好的增产效果。

2) 提出了水平井限流法压裂存在径向流区的观点。

3) 由于压裂层段复杂及认识水平的限制,目前水平井限流法压裂还存在许多问题。因此,建议开展以下研究:①开展净液和各携砂浓度下的油、套管摩阻的理论和实验研究,以及对炮眼磨蚀规律研究,提高压裂设计对现场施工的指导水平;②在连续油管井温测井等裂缝监测手段的指导下,开展裂缝形态定量解释的理论研究;③在横向地应力剖面精细解释的基础上,加大段内限流压裂的现场试验力度,提高水平井对薄互储层的动用程度。

参 考 文 献

- [1] MCDANIEL B W, WILLET R M, Underwood P J. Limited-entry frac applications on long intervals of highly deviated or horizontal wells [C]// SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Houston, Texas; SPE, 1999.
- [2] 谢建华, 赵恩远, 李平, 等. 大庆油田水平井多段压裂技术 [J]. 石油钻采工艺, 1998, 20(4): 72-75.
- [3] 张士诚, 王世贵, 张国良, 等. 限流法压裂射孔方案优化设计 [J]. 石油钻采工艺, 2000, 22(2): 60-64.
- [4] 谢朝阳, 冯程滨, 谢建华. 大庆油田水平井分流压裂技术 [J]. 油田化学, 2007, 24(4): 310-315.
- [5] 王鸿勋, 张士诚. 水力压裂设计数值计算方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [6] YEON-TAE JEONG, SUBHASH N SHAH. Analysis of tool joint effects for accurate friction pressure loss calculations [C]// IADC/SPE Drilling Conference. Dallas, Texas; SPE, 2004.
- [7] SHAH S N, JAIN S, ZHOU Y. Coiled tubing erosion during hydraulic fracturing slurry flow [J]. Wear, 2008, 264(3/4): 279-290.

(收稿日期 2010-01-11 编辑 韩晓渝)