

川西地区复合射孔技术的应用研究^{*}

雷炜¹ 张果² 杜林² 张光华³ 熊继有³

(1.成都理工大学 2.中国石化西南分公司 3.西南石油大学)

雷炜等.川西地区复合射孔技术的应用研究.天然气工业,2006,26(5):58-60.

摘要 川西地区90%以上气井采用后期射孔完井并配合加砂压裂改造的复合技术。结合川西地区致密砂岩气藏低孔渗的地质特点,对复合技术进行了研究。通过对该技术的作用机理分析,提出了复合射孔在川西地区的主要应用目的,并结合地质条件给出了优化设计的方案。通过现场应用,提出了相关的施工注意事项。现场应用证明,复合射孔的应用克服了常规射孔穿深浅、存在压实伤害等缺点,达到了降低地层破裂压力、改善渗流条件的目的。特别是其有效降低致密砂岩地层破裂压力的特点,为川西地区高破裂压力气藏的开发提供了新的思路。

关键词 复合射孔 高能气体 水力压裂 破裂压力 四川 西

近年来发展的一项新的综合改造油气层的技术——复合射孔技术,它将射孔与高能气体压裂技术有机地结合在一起,射孔、高能气体造缝一次完成,具有疏通半径大、无压实带、对近井地带的改造效果好及低成本等诸多优点,在各大油气田得到了广泛的应用。2004年初,为解决川西地区低孔渗、高破裂压力地层开发难的问题,正式引进了该项技术,并取得了较好的效果,现场应用证明该技术在川西地区有着很高的推广和应用价值。

一、复合射孔技术

根据高能火药的安放位置,复合射孔可分为内置式、下挂式、对称式和外套式4种类型。内置式是将高能火药填充于聚能射孔器内有效空间内(图1);下挂式、对称式和外套式则是分别装于枪的尾部、两端和制成圆筒状套于枪身外部。这4种虽然结构不同,但其作用原理基本一致。

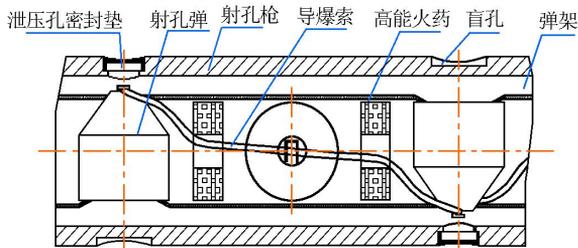


图1 内置复合射孔器示意图

1.作用原理

复合射孔技术是将射孔技术与高能气体压裂技术相结合对地层进行连续复合作用的工艺技术,其施工过程是在一次下井过程中同时完成的。射孔器起爆后,在射孔孔眼形成的同时,高能火药被引燃,产生高温高压气体,对射孔孔眼进行冲刷和冲击,对孔眼起到了极强的延缝作用。同时,由于气体高压造缝为高速完成,通常在毫秒量级的范围内,在近井筒附近便形成了不受地层最小主应力控制的多条裂缝(图2),这样消除了常规射孔所产生的压实带造成二次污染的影响,增大了井筒与储层间沟通的长度与面积,从而改善了近井筒地层的渗流条件,降低了地层岩石的破裂压力,达到增加油气产量的目的。

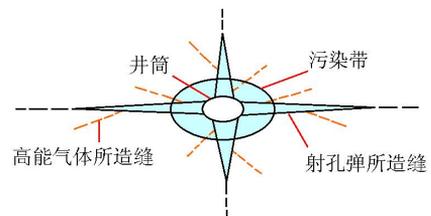


图2 复合射孔造缝机理示意图

通过地面实验数据统计,复合射孔后一般能加深孔眼深度3~5倍,加大孔径0.5~1倍,产生的裂缝深度为3~7 m。复合射孔技术较井下爆炸压裂和高能气体压裂的优势是明显的,爆炸压裂是靠炸药产

^{*} 本文受到国家自然科学基金项目资助(编号:90210022)。

作者简介:雷炜,1981年生,硕士研究生;从事气井完井及测试技术研究工作。地址:(610059)四川省成都市十里店成都理工大学。电话:13881097161。E-mail:lw2ef@163.com

生应力波在井眼周围造成破碎带,由于它的升压速度过快压力过高,地层裂缝还来不及扩张和延伸,大部分能量就消耗在井壁附近,并可能对井筒造成破坏。而单纯的高能气体压裂是在已射孔部位内的套管内燃烧压裂弹,其形成的高温高压气体将大部分作用于套管壁上,损失了大量能量;且射孔与压裂分开施工,增加了施工工序,费工费时。复合射孔采用射孔、压裂一次完成,大部分能量通过射孔孔眼作用于地层,提高了火药能量的利用率,且压力峰值和燃速可控,大大提高了其安全性能。

2. 主要应用目的

根据川西地区低孔渗、高地层破裂压力的地质特点,降低地层破裂压力、提高产层渗流条件是复合射孔技术在川西地区的主要应用目的。同时复合射孔也为接近水层的气层开发、老井挖潜等施工提供了新的工艺措施。

二、优化设计

为达到降低破裂压力、增产目的。设计时,结合后期改造施工作业对参数进行优化,使射孔参数与改造措施相匹配。

1. 燃速(压力上升达到地层破裂压力的时间)

一般来说,燃速的快慢与裂缝的数目成正比。从理论上分析,降低破裂压力应以制造多裂缝数目为目的,而以直接建产为目的则应合理控制裂缝数目,使能量集中,以增加单条裂缝范围。但由于裂缝的数目除取决于压力增长速率外,与地层机械性能、地应力分布、射孔状况以及岩层的非均质性因素有着密切的关系。因此,要获得裂缝数目与压力增长速率单一而准确的对应关系是不现实的。综合国内外理论和实践的结果,井内压力达到地层岩石破裂压力的时间应控制在 $0.5\sim 3$ ms 范围内为宜。

2. 压力峰值

峰值压力确定既要克服因过压对套管损坏或引起岩石破碎,又要避免压力过低而压不开储层。因此,压力峰值的设计要使之高于地层的破裂压力,低于地层的屈服极限和套管的承压极限。目前,峰值压力与预测地层破裂压力的比值一般控制在 $1\sim 1.5$ 。但由于部分地区破裂压力的异常而无法预测,设计时按照地层的屈服极限和套管的承压极限的低值进行设计。

3. 射孔器参数

射孔参数(射孔孔密、孔深、孔径、布孔相位角及布孔格式等)是影响气井产能的重要因素。设计原

则是使射孔在达到良好效果的同时与后期改造相匹配,根据川西地质特点,一般情况下遵循多相位、中孔密、深穿透的设计原则。研究表明,在地应力不清楚的情况下,射孔多相位能增大孔缝同于最小地应力方向的概率,以降低压裂施工的弯曲摩阻。同时射孔相位角的选择影响着产能的大小,在应用中发现, 60° 相位角(6相位)为获得最佳产能的相位角, 135° 相位角(8相位)则能在获得较好产能的同时更大限度地降低压裂施工的弯曲摩阻。孔密的选择以中等为宜,在射孔弹与高能火药共同作用下,偏重于任意一方都将降低另一方的效果,中等孔密的选择则能达到弹、药的最佳搭配,经现场应用优化后推荐选择孔密为16孔/m。深穿透可提高射孔效果和扩大改造范围,选择采用SDP系列的深穿透射孔弹,穿深可达1080 mm,孔径在13 mm左右,将有利于提高复合射孔的效果。

三、施工注意事项

在复合射孔施工过程中,也出现了不能起爆、夹层枪变形等问题。因此,除在选材上注意外,在结构设计及施工过程中,还需注意一些情况。

(1)采用油管传输射孔。在高压情况下,电缆有着很强的上冲现象,极易发生电缆间缠绕而导致事故发生。

(2)减少夹层枪的使用。在超深井的施工中,由于设计的压力峰值较高,夹层枪形变或挤毁的可能性很大。因此,需控制夹层枪的长度(一般不大于15 m)或采用多级起爆,以防止夹层枪体的形变而导致井下事故的发生。

四、应用效果分析

复合射孔在川西地区已使用20余井次,其中有效的为16井次,射孔后天然气平均产量为 1.2×10^4 m³/d,而川西地区常规射孔后平均产量不足 0.2×10^4 m³/d。增产效果明显。目前以降低地层破裂压力为目的共使用了13井次,使用后跟地区同层平均地层破裂压力梯度相比均有较大幅度的降低,见表1。经分析表明,复合射孔的使用,成功达到了降低地层的破裂压力的目的。JS-3井J₂s(2209~2241 m)常规射孔后测试压裂失败,在先后进行了3次喷砂射孔作业以降低地层破裂压力,在每次喷砂射孔后的测试压裂在井口70 MPa的情况下均未能压开地层。后采用外置式复合射孔对产层进行了补射孔,在井口压力64 MPa,成功压开地层,加砂压裂取

得了成功。天然气产量由压前的 $0.16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 增加到压后的 $1.78 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 增产效果明显。

表1 部分地区破裂压力数据表

井号	层位	破裂压力 梯度	地区同层平均 破裂压力梯度
CX 489-1	J ₂ s	2.1	2.43
MP-38	J ₃ p	2.03	2.63
JS-3	J ₂ s	2.83	3.45
DS-8	J ₂ s	2.02	2.4

五、结 论

(1) 通过复合射孔技术在川西地区的使用情况分析, 该技术降低地层破裂压力的作用明显, 为川西高破裂压力地区的勘探和开发提供了新的思路, 使须家河组深层气藏的压裂改造成为了可能。

(2) 在对复合射孔施工进行设计时, 燃速、峰值压力和射孔器参数的设计是保障安全和取得效果的关键。

(3) 川西地区的气藏开发应设计为油管传输射孔; 若为大段隔层射孔开发, 可考虑为多级引爆工艺。

参 考 文 献

- [1] 王安仕, 吴晋军. 射孔—高能气体压裂复合技术研究[J]. 西安石油学院学报, 1997, 7(4): 12-18.
- [2] 王峰, 韩声远, 等. 复合射孔压裂工艺技术研究与应用[J]. 低渗透油气田, 2001, 1(5): 56-60.
- [3] 杨其彬, 马利成. 复合压裂技术[J]. 断块油气田, 2004, 1(11): 74-76.
- [4] 吴晋军, 李传乐. 强超压深穿透射孔及压裂技术试验研究与应用[J]. 石油矿场机械, 2002, 31(2): 27-29.
- [5] 张强德, 王青淘, 等. 深穿透复合射孔技术在中原油田的应用[J]. 测井技术, 2002, 26(4): 334-337.
- [6] 熊继有, 付建红. 井下增压研究新进展[J]. 天然气工业, 2003, 23(6): 91-93.

(收稿日期 2005-12-27 编辑 钟水清)