

# 水平井复合射孔技术在中2-平25井中的应用

郭希明<sup>1</sup>, 蒋记伟<sup>2</sup>, 郭庆丰<sup>3</sup>, 蒋宏伟<sup>3</sup>, 韦海涛<sup>3</sup>, 王先国<sup>3</sup>, 王金茹<sup>3</sup>

(1. 大庆油田有限责任公司试油试采分公司射孔作业大队, 黑龙江 大庆 163412;

2. 中国石油大学 石油工程教育部重点实验室, 北京 02249;

3. 中国石油集团钻井工程技术研究院, 北京 100195)

**摘要:** 为了提高油田薄差层的利用率, 增加单井的采出量, 水平井技术被大规模的应用。大庆油田水平井技术的开发较早, 完井方式主要以射孔完井和射孔后压裂完井为主, 因此射孔技术对于水平井完井非常重要, 是水平井完井的关键。将复合射孔技术引入到水平井射孔中可以提高水平井射孔完井效果, 也是水平井完井的发展方向。大庆油田中2-平25井使用复合射孔技术成功进行了完井, 完井过程中根据储层分布情况, 确定了射孔井段、射孔相位、和射孔枪型; 同时, 分析计算了复合药量的上限值和下限值, 确定了最终用药量。中2-平25井复合射孔作业的成功实施, 验证了复合射孔装药的原则, 对装药量的认识和掌握积累了宝贵的经验, 为水平井复合射孔技术的成熟应用奠定了基础。

**关键词:** 水平井; 复合射孔技术; 中2-平25井; 复合药量

**中图分类号:** TE257

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-0707(2011)01-0151-02

## 1 水平井复合射孔技术

水平井复合射孔是通过射孔弹起爆时的能量引起复合药的燃烧, 利用燃烧产生的能量对射孔孔眼附近的地层进行二次作用, 当能量大于地层破裂压力时产生微小的裂缝, 实现射孔与气体压裂相结合, 从而大幅度提高油气井近井带的渗透性能, 增加近井带渗流面积, 达到提高油气井产能的目的<sup>[1-5]</sup>。目前, 水平井射孔技术已经在大庆油田的20余口井上进行了应用试验。

## 2 中2-平25井

中2-平25井位于北一区断东块, 萨葡油层于1960年投入开发, 先后部署5套开发井网。截止2007年5月葡一组油层采出程度51.05%, 有近一半的剩余地质储量滞留于地下, 并以高、中、低、未等多种水淹形式存在, 其中动用状况较差的低、未水淹厚度主要分布在厚油层顶部、层内变差部位及注采分流线位置。中2-平25井水平段长度490m, 水平轨迹在油层上1/3处距离油层顶部1.3m。根据临近油水井实测破裂压力, 该地区地层破裂压力梯度为(1.81~2.57)MPa/100m。中2-平25井选用139.7mm套管, 油层段套管为N80钢级。

## 3 中2-P25井射孔方案

井段确定: 在490m的水平段中, 考虑到后期封窜、堵水、挖潜等技术措施的需要, 在整个直井段留有较长的不射

孔井段。本井共有3个大段的夹层, 具体井段见表1。

相位确定: 根据实钻井眼轨迹发现井筒在油层中的位置是随着长度不断变化的, 为了达到开采厚油层顶部剩余油的目的, 必须针对轨迹设在油层中的不同位置确定不同的射孔相位, 因此采用定向射孔技术。

枪型确定: 大庆油田水平井一般采用的是139mm套管, 在水平段枪身与套管壁间隙较小。从工程安全角度考虑, 在枪型选择不适合选用102射孔器, 而89型射孔器的完井效果较差, 因此选用新的95型水平井专用射孔枪, 装配SDP40RDX-1型射孔弹。

## 4 复合药药量的确定

复合射孔的装药量是复合射孔设计中的关键点, 决定着复合射孔对地层改造的效果。确定水平井复合射孔的装药量设计需要遵循以下2个原则:

- 1) 保证枪体安全的最大装药量为复合药药量的上限值;
- 2) 对地层有效改造的最小装药量为复合药药量的下限值。

### 4.1 上限值的确定

根据多年复合射孔现场应用的经验, 对于不同壁厚和尺寸的射孔器采用装药量为(45~60)g/发时, 能够保证枪体的变形量在5%以内。由于水平井轨迹的特殊性, 对于枪身的变形量有较高的要求, 以射孔枪变形量为2%以内计算, 药量应控制在(25~40)g/发。95型复合射孔枪的壁厚为7mm, 因此应控制装药量的上限值为30g/发。

#### 4.2 下限值的确定

中2-平25井水平段垂深在963.86~984.34 m之间,依据该地区地层破裂压力梯度可计出该井地层破裂压力为

17.45~25.30 MPa。设计中以破裂压力最高值计算以保证对地层产生有效的压裂作用,因此,中2-平25井破裂压力取值为25.30 MPa。

表1 中2-平25井的井段

序号	井段/m	夹层	相位/(°)	弹数	序号	井段/m	夹层	相位/(°)	弹数
1	1 590~1 537		向下 75	689	2	1 505~1 488	32	向下 75	221
3	1 488~1 479		向下 30	117	4	1 479~1 467		水平 180	156
5	1 467~1 417		向上 30	650	6	1 417~1 401		水平 180	208
7	1 401~1 392		向下 30	117	8	1 392~1 362		向下 75	390
9	1 337~1 312	25	向下 75	325	10	1 312~1 302		向下 30	130
11	1 302~1 238		水平 180	832	12	1 238~1 215		向下 30	299
13	1 200~1 177	15	水平 180	299	14	1 177~1 074		向上 30	1339
15	1 074~1 062		水平 180	156	16	1 062~1 056		向下 30	78

首先,射孔枪复合装药的爆燃压力是动态冲击压力,根据动量和能量守恒定理,需要将动态压力峰值提高1/3左右才能达到25.30 MPa的地层破裂效果;其次,油层地质条件的差异会引起压力峰值的差别,工程施工中需要提高20%作为应用压力,则动态破裂的应用压力为56.22 MPa。第三,内推到枪内的爆燃压力在传播途径中会有约15%的损失,因此,枪内爆燃压力必须达到66.14 MPa才能提供56.22 MPa应用压力。

复合药爆燃时速度和压力关系可表示为

$$u = A + B \cdot p_f^n \quad (1)$$

式中: $u$ 为复合药燃速; $A$ 、 $B$ 为复合药燃速系数; $n$ 为燃烧压力指数; $p_f$ 为燃烧室的枪内压力,可以表示为

$$p_f = \left( \frac{\rho \cdot c \cdot B \cdot S}{\Sigma} \right)^{\frac{1}{1-n}} \quad (2)$$

式中: $\rho$ 为射孔枪内单位体积装药密度; $c$ 为装药特征速度; $S$ 为单位长度枪内装药的总表面积; $B$ 为复合药燃速系数; $\Sigma$ 为单位长度枪身孔眼的总面积。

参照复合推进剂的燃烧参数

$$c = 1372.87 \text{ m/s}, B = 1.278, n = 0.45 \quad (3)$$

不考虑温度的影响,图1可以表现出复合药在枪体内的压力规律。

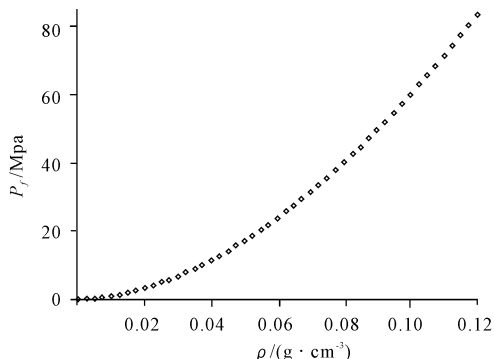


图1 复合药在枪内产生峰值压力与装药密度的关系

根据复合射孔在枪内产生峰值压力与装药密度的关系图可以查出:射孔枪内达到66.14 MPa压力时复合药的密度为0.104 g/cm<sup>3</sup>。以一发射孔弹配一盒复合药为一个单位,

通过计算得到单位体积为内的爆燃空间是271.5 cm<sup>3</sup>,因此一个单位的装药量为0.104 g/cm<sup>3</sup> × 271.5 cm<sup>3</sup> = 28.236 g,由此确定装药下限值为28.236 g/发。

#### 4.3 最终药量确定

通过比较可以发现:上限值30g/发大于对地层有效做工的最小值28.236g/发,因此可以确定该井的单发装药量应在(28.236~30)g/发之间,合理值选取29g/发。

中2-平25井于2008年8月2日进行洗井作业,井内液体为密度1.2 g/发的无机防膨型完井液,2008年8月3日进行复合射孔完井作业,起出射孔枪后发现,射孔弹全部发射,枪体没有明显变形。经测试,射孔完井效果良好。

## 5 结束语

中2-平25井是大庆油田水平井中应用复合射孔技术施工井段最长(524.7 m)、一次起爆弹数最多(6006发弹)、复合装药量最大的一口井。通过对中2-平25井的成功施工,验证了复合射孔装药的原则,对装药量的认识和掌握积累了宝贵的经验。中2-平25井复合射孔装药数值计算为复合射孔参数提供了理论依据,并通过了现场实际的检验,对水平井复合射孔技术具有指导意义,为水平井复合射孔技术的成熟应用奠定了基础。

## 参考文献:

- [1] 刘平,沈建新.水平井射孔完井数值模拟研究[J].石油钻探技术,1997,25(2):47-49.
- [2] 宋海敬.水平井产能预测的方法研究[D].北京:中国地质大学,2005.
- [4] 张望月.水平井射孔完井产能的有限元分析及射孔参数优选[D].成都:西南石油大学,2000.
- [5] 王树平,李治平,罗勇,等.水平井射孔孔眼分布方式优化分析[J].钻采工艺,2007,30(2):39-45.
- [6] 唐海军,徐贵春,段志刚.水平井射孔完井产能预测研究与应用[J].石油钻采工艺.2010,32(3):27-32.

(责任编辑 周江川)