

# 塔河油田复合射孔穿隔夹层剩余油挖潜技术

陈东波<sup>1</sup>, 徐刚<sup>1</sup>, 郑小杰<sup>2</sup>

(1. 中国石化西北油田分公司工程技术研究院, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**为解决钻井轨迹偏离油层, 常规射孔穿深不足于穿透隔夹层, 剩余油开采难问题, 研究了多级复合火药深穿透射孔技术。为了封堵出水层段, 在射孔炮眼环境下进行了机械卡堵水实验。精细解释隔夹层, 优化多级火药配置及装药量, 现场应用一口井, 达到了射穿隔夹层沟通剩余油的目的, 并有效封堵了出水层段, 为塔河油田三次采油剩余油挖潜提供了思路。

**关键词:** 复合射孔; 机械卡堵水; 隔夹层; 剩余油; 塔河油田

中图分类号: TE24

文献标识码: A

## Tapping of remaining oil in compound perforating interlayers in Tahe Oilfield

Chen Dongbo<sup>1</sup>, Xu Gang<sup>1</sup>, Zheng Xiaojie<sup>2</sup>

(1. Engineering Technology Institute of SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** In conventional perforations, drilling path often deviates from reservoirs, and drilling depth is not enough to penetrate interlayers. In view of the difficulties of remaining oil tapping, a new perforating technique with gunpowder was innovated. To seal water, mechanical water plugging experiments were made under perforating hole environments. The technique was applied in one well with the fine interpretation of interlayers and the optimization of gunpowder. The interlayers were perforated through and the remaining oils were exploited, providing a new idea for tertiary oil recovery in the Tahe Oilfield.

**Key words:** compound perforation; mechanical water plugging; interlayer; remaining oil; Tahe Oilfield

塔河油田三叠系下油组为块状低幅断背斜中孔、中—高渗底水砂岩油藏。油藏中深4 200 m, 地层压力50 MPa, 地层温度110 ℃。钻井轨迹偏离目的油层进入上覆泥岩盖层, 或轨迹进入夹层, 从而形成剩余油富集(图1)。常规射孔技术无法穿透厚度大于1.5 m的隔夹层, 来对夹层进行精细研究, 因此采用多级火药复合深穿透射孔技术, 射穿隔夹层剩余油富集段, 从而达到油井增产的目的。

### 1 隔夹层特征及其对剩余油的影响

根据研究区夹层纵向及平面分布特征(图2), 认为塔河三叠系下油组以泥质夹层为主, 厚度一般在1~2 m, 主要呈多井控制的不规则席状、片状、椭圆状连片分布, 延伸范围在300~1 500 m; 物性夹层及钙质夹层主要以透镜状分布为主, 厚度0.2~1.0 m, 以泥质粉砂质或者灰质砂岩为主, 延伸长度在400~1 200 m<sup>[1]</sup>。由于夹层的存在, 流体的垂向流动受阻, 局部的驱替效果变差, 形成了剩余油富集区。

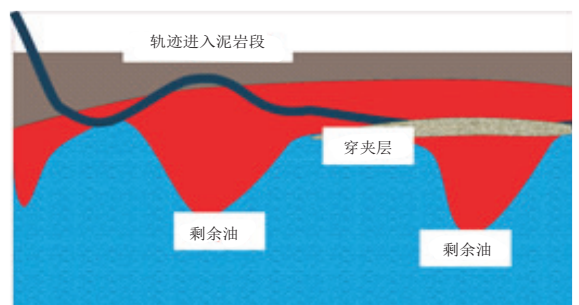


图1 塔河油田三叠系油藏水平井轨迹偏离示意

Fig.1 Drilling path deviation of horizontal wells in Triassic, Tahe Oilfield

### 2 穿隔夹层剩余油挖潜技术

由于塔河油田砂岩底水油藏平面非均质性强, 前期采用等密度射孔, 导致高渗井段底水脊近。因此深穿透射孔弹, 射穿隔夹层挖掘剩余油的同时, 还需要配套的堵水工艺。

#### 2.1 复合射孔技术

常规复合射孔是射孔弹与复合火药片2种能

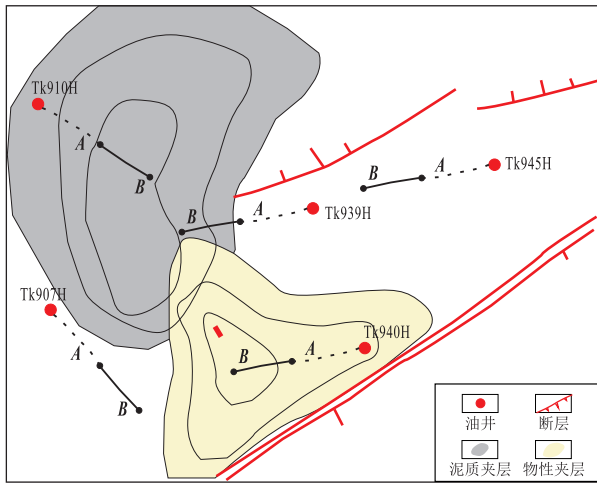


图2 塔河油田三叠系油藏钻井轨迹进入的夹层分布

Fig.2 Drilled interlayers in Triassic reservoirs, Tahe Oilfield

量有机结合。射孔弹一次做功,射流侵入形成孔道和爆炸冲击。片状火药快速燃烧并迅速转为爆燃,产生二次峰值压力,主要用于造缝,最终在近井带形成孔缝结合型穿深裂缝体系<sup>[2-3]</sup>。

常规复合射孔由于装药量的限制,在地层条件下实际穿深并不能有效穿透隔夹层,研制了新型的多级复合火药深穿透技术,在射孔弹与弹间片状火药组成的射孔枪之间,安装复合药柱组成的压裂枪,在套管与枪体安全的前提下,更大限度地提高气体高峰值压力,从而增加裂缝长度。

### 2.2 机械卡堵水技术

深穿透射孔作业虽然打开了剩余油井段,但是需要有效地封堵出水层。常规采用水泥封堵炮眼

作业,是封隔器卡堵水作业费用的2倍,而且固井会造成储层二次污染。

由于塔河油田碎屑岩水平井前期在完井过程中多采用水平段全部射孔,约占射孔水平井数的63%,若采用机械卡堵水工艺,封隔器多数情况下坐封在射孔段。

为验证5 1/2"封隔器在射孔段坐封后是否能有效封隔相邻两段,为此进行了封隔器封堵炮眼实验(图3)。

采用5 1/2"打孔套管模拟射孔炮眼,封隔器两端用带盲堵的短油管连接,坐封于炮眼上。采用手压泵打压至15 MPa,稳压15 min,并无渗漏,封隔器有效长度140 mm,炮眼孔径10 mm,间距62.5 mm。理论和实验说明了封隔器能成功封堵炮眼,起到了封隔作用。

## 3 应用井例

根据油藏及单井资料分析,TK939H井水平段后段穿夹层长127 m,计算控制储量 $5.64 \times 10^4$  t,夹层厚度1.8 m左右。水平段采用1 m弹射孔,措施作业前,日产液21.1 t/d,日产油0.8 t/d,含水率96%。分析认为水平段后段虽采用向下射孔,但仍未穿透夹层,指端夹层下部仍可能富集剩余油。

### 3.1 剩余油挖潜方案

根据潜力分析,使用多级复合射孔技术,向下射孔穿透夹层段4 870~4 930 m,以沟通指端夹层下部的剩余油,并横向预留避水段35 m(与根端高渗段临近的穿夹层段)防止沟通根部水锥(图4)。

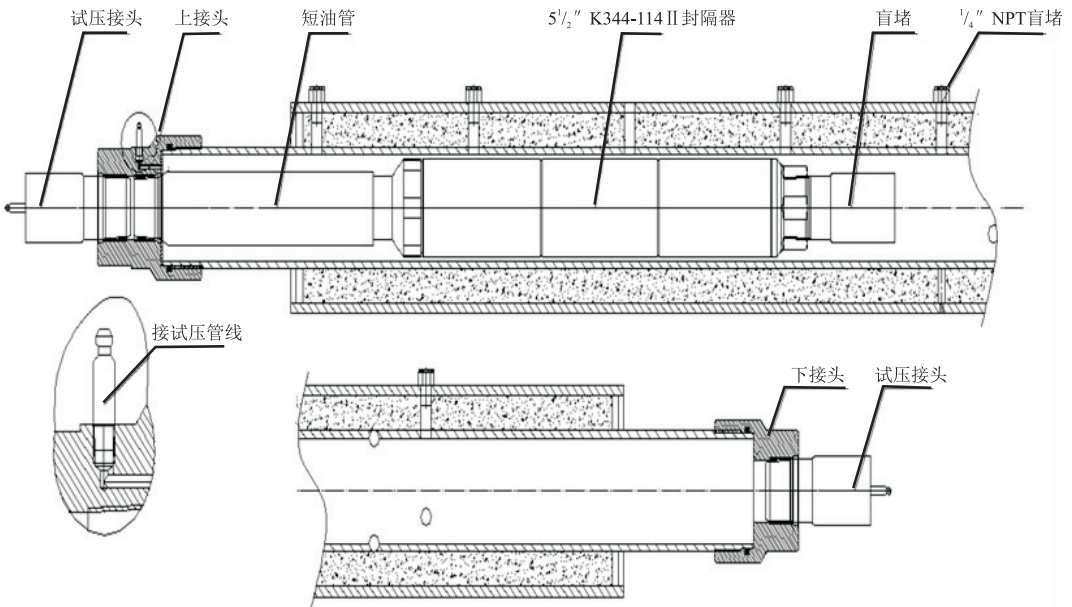


图3 封堵炮眼实验装置

Fig.3 Experimental device for sealing perforating hole

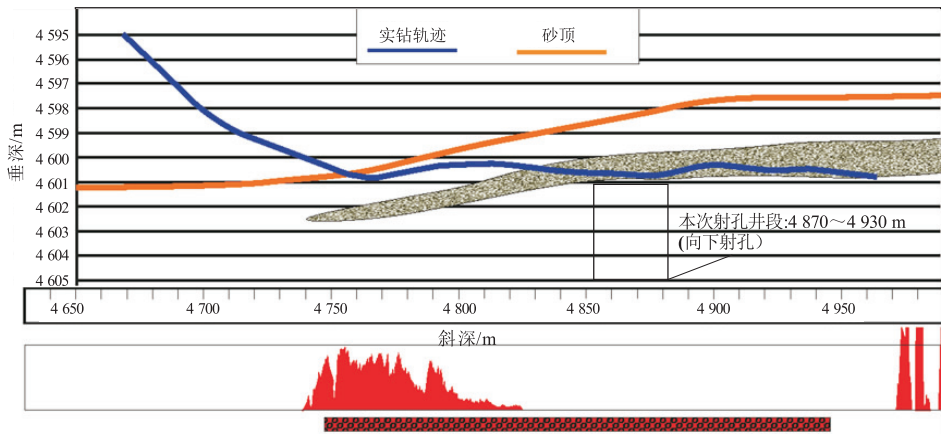


图 4 塔河油田三叠系油藏 TK939H 井剩余油挖潜方案

Fig.4 Remaining oil tapping in well TK939H in Triassic, Tahe Oilfield

下入可取式悬挂封隔器和隔离封隔的卡堵水管柱, 封堵根部产水层段, 进行机抽控制液量生产。

### 3.2 装药量优化

TK939H 井为该射孔工艺第一口井, 为了增加射穿夹层成功率, 最大限度的模拟穿深, 选择 4.3, 3.3 m 2 种射孔枪长度, 压裂枪长度为 0.8 m<sup>[4-8]</sup>, 在 60 m 的射孔段内, 对射孔枪和压裂枪进行排炮。预测地层破裂压力为 78.5 MPa, 结合火药参数、井筒参数、岩石力学参数等进行优化分析。射孔器装药量在优化后, 内装药 390 g/m、外装药 3.4 kg 时主缝长 4.75 m, 峰值压力 119 MPa, 平台压力 85 MPa(图 5)。

### 3.3 应用效果

2014 年 4 月 8 日射孔成功, 10 日下卡堵水管柱, 4 月 19 日启抽, 平均日增油 10 t, 基本不含水, 截至 7 月 28 日已累计增油 900 t(表 1)。

从措施作业前后液量和含水率对比, 卡堵水管柱起到了卡封高含水段的作用; 从日产油对比, 说明射孔穿透了夹层, 达到了沟通剩余油的目的。

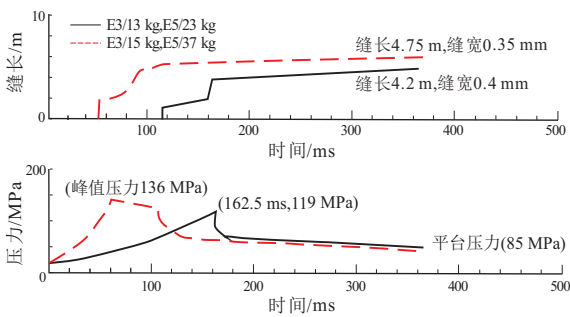


图 5 装药量模拟示意

Fig.5 Simulation of gunpowder weight

表 1 塔河油田三叠系油藏 TK939H 井措施前后对比

Table 1 Well TK939H before and after compound perforation in Triassic, Tahe Oilfield

节点	日产液/t	日产油/t	含水率/%
措施前	21.1	0.8	96
措施后	9.8	9.2	6

## 4 结论

(1) 实际应用证明, 多级火药复合射孔可以穿透厚度 1.8 m 以上的夹层, 为塔河油田三次采油剩余油挖潜提供了思路。

(2) 封隔器可以有效封堵套管的射孔炮眼, 比水泥封堵炮眼更具经济上的优势, 利于降本增效。

### 参考文献:

- [1] 付国民, 赵俊欣, 杨磊, 等. 塔河油田 9 区三叠系中上统高分辨率层序地层及沉积演化[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2007, 43(3): 13-17.
- [2] 陈东波, 徐刚, 苏鹏, 等. 复合射孔工艺在塔河油田的应用[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2014, 11(14): 50-51.
- [3] 刘会娟, 刘荫忠, 田毅, 等. 复合射孔爆炸与燃烧机理数值模拟分析[J]. 测井技术, 2012, 36(1): 78-83.
- [4] 沈晶鑫, 成建龙, 刘荫忠, 等. 内置式复合射孔装药量优化设计[J]. 测井技术, 2011, 35(1): 75-78.
- [5] 陶亮, 艾晓莉. 复合射孔数值模拟的准确性验证及其应用展望[J]. 测井技术, 2007, 31(1): 45-49.
- [6] 张国按, 孙志明. 高能复合射(FracGun)在国外 A 油田的应用[J]. 石油钻探技术, 2006, 31(1): 62-64.
- [7] 项忠华. 射孔压裂参数优化设计研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2002.
- [8] 吴飞鹏, 蒲春生, 陈德春, 等. 高能气体压裂合理装药量的设计与应用[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(1): 80-82.

(编辑 黄娟)