

胜利油区致密砂岩油藏水平井开采技术

王 聪

(中国石化胜利油田分公司 采油工艺研究院, 山东 东营 257000)

摘要:胜利油区致密砂岩油藏资源量丰富,总体具有油藏埋藏深、储层厚度薄且孔喉细小、储量丰度低和储层纵向分布零散等特点,直井开发存在产能低、初期产量递减快、效益差的问题。为提高致密砂岩油藏的开发水平,开展了水平井开采技术攻关及试验研究,通过设计优化和施工优化,提升了水平井优快钻井技术,突破了致密油藏产能关;通过完善配套压裂完井管柱、现场注储设备和裂缝监测手段,形成了水平井裸眼分段压裂完井技术。截至2013年3月10日,在胜利油区致密砂岩油藏已实施的水平井中,正常生产井28口,工艺成功率为94.4%,累积产油量为58 602.8 t,现场取得了明显的生产效果。

关键词:致密砂岩油藏 水平井 裸眼封隔器 压裂完井 优快钻井

中图分类号: TE243.2

献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)03-0086-03

胜利油区致密砂岩油藏主要分布在16个油田、28个单元。至2011年底,致密砂岩油藏总探明石油地质储量为 $22\ 154 \times 10^4$ t,主要分布于浊积岩、滩坝砂和砂砾岩3类储层中。从地质特征看,该类油藏总体具有埋藏深、储层厚度薄、孔喉细小、储量丰度低和储层纵向分布零散等特点^[1-2]。从开采特征看,该类油藏具有储层压裂改造后才有产能,初期产量递减快,中、后期递减变缓和油井投产即含水等特点^[3]。为了提高3类储层的产能,胜利油区加快技术系列配套和自主化,开展了水平井优快钻井技术和分段压裂完井技术的试验,以期致密砂岩油藏的有效动用提供借鉴。

1 水平井优快钻井技术

1.1 钻井设计优化

非常规油气藏大都采用长水平段水平井开发,在轨道设计上充分考虑到钻井过程中钻井安全以及后期采油开发要求,因此应尽可能减少井眼的“狗腿”,有利于后期作业,并降低相关风险。通过摩阻扭矩分析进行井眼轨道方案优选和跨专业多向交互式水平优化设计,同时做好油藏地质、采油工程与钻井工程的对接工作^[4]。如樊家油田樊154-平2井水平段经一体化优化,将9个靶点变为3个靶点,把矩形靶盒优化为梯形靶盒,满足了钻井及完

井技术要求;该井最高日进尺为144.87 m,水平段机械钻速为6.33 m/h,是樊154-平1井的1.71倍,在水平段213个测量点中,全角变化率小于 $10^\circ/\text{hm}$ 的占85.9%,最终完钻水平井水平段长度为2 015 m,创中国石化小井眼水平井水平段最长纪录,并完成了分20段压裂施工,创中国陆相砂岩水平段分段最多记录。

1.2 钻井施工优化

针对水平段钻进过程中出现井眼轨迹不规则、井壁不稳定等影响钻进速度的问题,通过集成常规钻井技术,优化水平井钻具组合、钻头结构和钻井液体系,配套顶驱钻机,形成了自主钻井施工技术^[5-7]。

水平钻具组合优化 在底部钻具组合力学分析的基础上,根据各井实际情况对渤页平1井、樊154-平2井、樊154-平3井和义123-平1井进行钻具组合优选。其中渤页平1井采用扶正器—钻铤的稳斜底部钻具组合结构,初步见到提速效果;樊154-平2井、樊154-平3井、义123-平1井以常规稳斜钻具组合为主,微降钻具或微增钻具组合为辅,配合螺杆钻具组合,提速效果明显。樊154-平1井水平段井眼轨迹控制要求高,井眼全角变化率小于 $10^\circ/\text{hm}$,15%的水平段井段通过滑动完成、滑动钻进时效较差,比复合钻进慢1倍以上,夹层发育井段复合钻进慢,高效钻头开发困难,为此,确定钻具组合

收稿日期:2013-03-25。

作者简介:王聪,男,工程师,从事科研项目管理工作。联系电话:(0546)8557266, E-mail: wangcong729.slyt@sinopec.com。

基金项目:中国石化科技攻关课题“水平井采油工程关键技术研究”(P08016)。

(常规钻具组合/动力钻具组合)旋转并配合高效金刚石复合片的技术思路,精确把握造斜、稳斜、降斜规律,采取钻具组合受力分析的技术手段,顺利实现了该井的优快钻井。

钻头优化设计 取樊154、罗67区块岩心进行了可钻性评价实验,数据表明:该地区目的层适合使用聚晶金刚石复合片钻头。在此基础上进行水力结构优化、钻头布齿方案优化和钻头切削稳定性设计。在致密砂岩定向段可使用P5362MJ-241.3钻头,并在樊154-平3井定向段第1次试用,其机械钻速比樊154-平1井定向段机械钻速提高了30%;在致密砂岩水平段可使用PK5235MJH-152.4钻头,应用进口复合片后,提高了钻头寿命和破岩效率。

钻井液优化 利用罗67井泥页岩井段岩心,分别使用白油基钻井液、柴油基钻井液和胺基钻井液进行了各类相关井壁稳定室内实验。研究发现,根据页岩油区域地质特征和室内钻井液体系对比实验,油基钻井液更有利于解决泥页岩地层易坍塌的难题;对于微裂缝,选用刚性、柔性和树脂类成膜封堵材料相结合,可对微裂隙进行有效封堵,提高井壁稳定性。3种钻井液中白油基钻井液和柴油基钻井液在井壁稳定性方面更有效,综合考虑成本因素,在罗家区块现场应用了柴油基钻井液,实施效果显著,表现在:钻井施工未出现任何复杂事故;在发生原油侵、硫化氢侵及固相侵入严重的情况下,钻井液仍具有较好的性能,可确保施工正常进行;电测成功率为100%,三开泥页岩电测井段井眼扩大率不大于3%,井壁稳定效果显著。

2 水平井裸眼分段压裂完井技术

水平井裸眼分段压裂完井技术是目前中外重点发展的非常规水平井开发方式,贝克休斯、威德福等主要石油服务公司均研发出了自己品牌的核心分段完井工具。胜利油区经过不断探索和实践,自主研发了裸眼封隔器分段压裂完井管柱(图1),具有不污染储层、施工连续、分段级数多等优势,可



图1 裸眼封隔器分段压裂完井管柱示意

实现分15段多级压裂。该技术要求水平井采用裸眼完井,通过裸眼封隔器卡封、投球打开滑套的方式,实现多级分段压裂完井一体化^[8]。

2.1 关键工具

悬挂器 在常规完井悬挂器的基础上,通过强度分析和局部结构改进,完成了压裂悬挂器的试验,其耐压为60 MPa,悬挂力为500 kN。

裸眼压裂封隔器 针对大规模压裂要求分段可靠性、致密砂岩井眼规则等特点,开展了双胶筒裸眼压裂封隔器的研究,经过20余次的试验,该工具在 $\Phi 159.4$ mm套管内耐压可以达到60 MPa,与贝克休斯封隔器在 $\Phi 158.75$ mm套管内耐压58.5 MPa相当。

滑套球座及低密度球 球座结构采用有限元仿真,分别模拟了 $10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 55^\circ$ 和 60° 球座锥度的冲蚀速率,锥度越大,最大冲蚀率和平均冲蚀率就越大,同时考虑工具结构尺寸设计情况,优化球座锥度为 15° 。滑套球座材料优选球墨铸铁材料,相比合金钢冲蚀速率降低90%以上,且材料可钻。实验测试结果表明:在排量达到 $3 \text{ m}^3/\text{min}$ 的条件下, $\Phi 19$ mm球座过砂量超过 70 m^3 ,可以承受60 MPa的压力并保证密封。同时,研发了与球座相配合的2种密度等级压裂球,密度分别为 1.56 和 $1.8 \text{ g}/\text{cm}^3$,最高耐压为60 MPa,具有强度高、耐高压的特点,已实现批量生产。

2.2 现场施工能力

为满足胜利油区大型压裂施工的现场需求,配套了8台2500型压裂机组,最高施工压力为120 MPa,最大排量为 $10 \text{ m}^3/\text{min}$ (70 MPa),显著提升了注入能力;同时与数据远传系统相配套,实现了室内与现场压裂施工数据同步。配套了现场混配车,现场配液量由 $2\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 提高至 $3\,500 \text{ m}^3/\text{d}$,配液速度由 $3.5 \text{ m}^3/\text{m}$ 提高到 $6 \text{ m}^3/\text{m}$,实现了实时混配、在线压裂,提升了现场储液和配液能力。

2.3 裂缝监测技术

裂缝监测对优化井网配置、裂缝间距、工艺参数具有重要作用^[9-10]。目前在胜利油区应用较多的裂缝监测技术包括井间微地震和微破裂影像裂缝监测。基于裂缝复杂程度的影响,解释结果有一定差别,但整体趋势一致,可以对后期压裂参数的优化和井网的布置提供指导。

井间微地震技术目前可以完成数据采集、微震事件拾取和微震事件反演,2011年完成了樊142-斜311井和樊154-平1井的监测解释。目前制约该技

术推广的主要问题在于解释软件尚不成熟,无法同时利用纵波和横波进行震源定位。

微破裂影像监测技术能够同时记录压缩波和剪切波,降低施工噪音干扰,可以对信噪比为0.5的弱信号进行处理,目前可以完成数据采集、微震事件拾取和微震事件反演。通过樊154-平1井的应用,解释结果可以满足现场需求,并对下一步水平井距、裂缝间距优化具有指导意义。

3 现场实施效果

至2013年3月10日,在胜利油区致密砂岩油藏已实施了30口水平井,设计压裂321段,成功实施303段,成功率为94.4%;正常生产28口井,单井平均产油量为11.6 t/d,累积产油量为58 602.8 t。由部分水平井生产动态统计(表1)可见,生产效果明显。

表1 致密砂岩油藏部分水平井生产动态统计

| 井号 | 实钻井深/m | 水平段长度/m | 压裂段数 | 投产日期 | 产油量/(t·d ⁻¹) | 累积产油量/t | 自喷时间/d | 泵抽时间/d |
|-----------|--------|---------|------|------------|--------------------------|---------|--------|--------|
| 樊154-平1 | 4 066 | 1 221 | 12 | 2011-06-02 | 9.9 | 7 958.8 | 143 | 482 |
| 樊154-平2 | 4 916 | 2 015 | 20 | 2012-03-09 | 12.8 | 3 859.6 | 333 | 16 |
| 樊154-平3 | 3 828 | 816 | 10 | 2012-02-24 | 9.8 | 3 122.8 | 202 | 170 |
| 樊154-6HF | 4 617 | 1 598 | 17 | 2012-06-30 | 10.6 | 1 240.3 | 91 | 102 |
| 樊154-平7 | 4 260 | 1 241 | 13 | 2012-05-01 | 5.7 | 1 189.6 | 65 | 200 |
| 樊154-8HF | 4 158 | 1 138 | 11 | 2012-07-16 | 8.6 | 2 068.0 | 60 | 169 |
| 樊154-10HF | 4 046 | 1 052 | 11 | 2013-01-20 | 12.7 | 683.9 | 50 | |
| 樊116-2HF | 3 912 | 914 | 6 | 2012-11-13 | 12.4 | 991.7 | 60 | 44 |
| 义123-平1 | 5 236 | 1 188 | 14 | 2012-04-01 | 9.0 | 3 783.0 | 343 | |
| 义123-11HF | 4 688 | 1 051 | 11 | 2012-08-28 | 17.2 | 3 584.3 | 189 | |
| 义123-9HF | 5 340 | 1 450 | 15 | 2012-10-15 | 17.6 | 3 207.7 | 137 | |
| 义173-平1 | 4 955 | 1 014 | 11 | 2012-08-02 | 16.9 | 1 253.8 | 145 | |
| 樊162-5HF | 3 806 | 920 | 9 | 2012-10-20 | 16.5 | 1 652.6 | 130 | |
| 滨173-1HF | 3 900 | 536 | 7 | 2012-08-17 | 3.4 | 707.4 | 20 | 151 |
| 辛14-8HF | 4 069 | 624 | 4 | 2012-11-03 | 12.8 | 1 752.4 | 7 | 116 |
| 营691-1HF | 4 060 | 945 | | 2012-12-15 | 18.3 | 1 699.1 | | 83 |
| 夏103-1HF | 4 157 | 444 | 5 | 2012-11-28 | 12.4 | 836.0 | 31 | 67 |
| 义104-1HF | 4 402 | 682 | 8 | 2012-09-26 | 25.4 | 5 513.9 | 165 | |
| 盐227-1HF | 4 595 | 1 078 | 11 | 2012-12-03 | 14.5 | 620.9 | 10 | 51 |

4 结束语

针对胜利油区致密砂岩油藏的储层特征,开展了水平井优快钻井技术和水平井裸眼分段压裂完井技术研究,其中,胜利油区自主研发了裸眼封隔器分段压裂完井管柱,可实现15段分级压裂。初步形成了胜利油区致密砂岩油藏水平井开采技术。该技术现已应用于30口水平井,其中28口井正常生产,现场生产效果显著,有效提高了单井产能并延长了有效期,为水平井开采技术在滩坝砂、砂砾岩和页岩油气开发的推广应用奠定了基础。

参考文献:

- [1] 刘成林,范柏江,葛岩,等.中国非常规天然气资源前景[J].油气地质与采收率,2009,16(5):26-29.
- [2] 林森虎,邹才能,袁选俊,等.美国致密油开发现状及启示[J].

岩性油气藏,2011,23(4):25-30.

- [3] 马宁,侯读杰,包书景,等.页岩气资源潜力评价方法[J].油气地质与采收率,2012,19(6):25-29.
- [4] 牛祥玉.低渗透油藏压裂水平井地质优化设计技术[J].石油天然气学报,2009,31(2):120-122.
- [5] 温庆志,蒲春生,曲占庆,等.低渗透、特低渗透油藏非达西渗流整体压裂优化设计[J].油气地质与采收率,2009,16(6):102-104,107.
- [6] 唐汝众,温庆志,苏建,等.水平井分段压裂产能影响因素研究[J].石油钻探技术,2010,38(2):80-83.
- [7] 杨能宇,张士诚,王鸿勋.整体压裂水力裂缝参数对采收率的影响[J].石油学报,1995,16(3):70-76.
- [8] 徐梦雅,廖新维,何逸凡,等.完井方式对致密气藏压裂水平井产能的影响[J].油气地质与采收率,2012,19(2):67-71.
- [9] 李民河,廖健德,赵增义,等.微地震波裂缝监测技术在油田裂缝研究中的应用——以克拉玛依八区下乌尔禾组油藏为例[J].油气地质与采收率,2004,11(3):16-18.
- [10] 傅爱兵,吴辉,李林,等.成像测井技术在裂缝储层评价中的应用[J].油气地质与采收率,2003,10(2):67-69.

编辑 刘北羿