

老井重复压裂工艺技术发展现状

贺代兰

(新疆油田公司 百口泉采油厂, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要:随着油田开发进入中后期,老井重复压裂是老油田增产稳产的重要措施。如何提高重复压裂的有效性,最大限度动用剩余油气富集区,是老井重复压裂重点关注的问题。本文对重复压裂选井选层原则和主要重复压裂工艺技术进行调研,为老井重复压裂施工选择合适的压裂方法提供参考。

关键词:重复压裂;裂缝;分层;转向;增产

中图分类号:TE357 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2021)01-0264-05

重复压裂是指对曾经采取过压裂措施的油气井再次实施压裂改造作业的技术,是中国各大油田对老油井增产采取的常用措施。油气水井初次改造时,受压裂设备、工艺、材料等因素的限制,使得压裂规模不够,没能形成有效的支撑裂缝;或是随着时间的推移,裂缝在地应力作用下逐渐闭合,地层流体流通通道受阻;部分井之前改造层段原油基本开采完毕,目前含水率高,需要对裂缝进行转向或开采新的层位。重复压裂针对老井目前开采存在问题,针对性进行设计,提出有效压裂改造方案,使裂缝穿透污染带,沟通剩余油气分布区,井筒与储层重新建立有效沟通通道,油气井产能得以恢复,使老油气井重新焕发青春,最终实现老油田稳产增产。

1 重复压裂理论认识

1.1 重复压裂效果影响因素

老油气井重复压裂效果的主要影响因素,需结合老油田的目前实际开采情况以及储层增产改造方案而定。通常情况下,主要影响因素主要体现在以下四个方面:地层因素、工程因素、开发因素和岩石力学因素。

1)地层因素。主要是指储层物性,反映储层向裂缝的供油能力。主要包括:有效厚度、孔隙度、渗透率、初始含油饱和度、流体黏度以及电阻率。

2)工程因素。是首次改造效果的直接表现。主要包括:改造层数、加砂量、砂比、排量、压液量、产油量以及产液量。

3)开发因素。反映措施前储层采出程度和地

层能量保持情况。主要包括:投产初期日产油量及含水率、待措施前日产油量及含水率、地层压力、累计产油量以及剩余可采储量。

4)岩石力学因素。是重复压裂能否形成复杂缝网的重要指标,反映储层彻底改造的难易程度。主要包括:杨氏模量、泊松比、岩石脆性、天然裂缝密度两向应力差以及储隔层应力差。

1.2 重复压裂裂缝延伸方式

中外对老井重复压裂裂缝的延伸方式进行了研究,重复压裂过程中裂缝延伸主要表现有三种形式。

1)沿老裂缝延伸。随着油气不断采出,储层压力、温度随之发生变化,油气水平衡状态被打破,地层水中无机盐发生沉积或溶解在原油中的石蜡析出,析出的垢或蜡堵塞原有裂缝,使油流通道受阻;部分井初次改造规模小,支撑裂缝长度不够,无法有效沟通远井地带。对于这类井,需要优化压裂设计,加大压裂规模使老裂缝得以延伸,提高加砂强度增强裂缝导流能力,沟通油流通道。

2)裂缝发生转向。在油田开发中后期,老裂缝控制区域内剩余可采储量越来越少,采出液含水率逐渐升高,裂缝成了水流的主要通道。如果仅仅延伸老裂缝进行重复压裂,剩余油气分布区得不到有效沟通,含水率居高不下,达不到增产效果。采用暂堵剂在裂缝中形成瞬时暂堵,提高缝内净压值,压开之前难以开启的微裂缝,形成新的分支裂缝,加大裂缝复杂程度,增大改造体积,达到控水增油的目的^[1-2]。

收稿日期:2020-08-25

作者简介:贺代兰(1984—),女,四川资阳人,百口泉采油厂,助理工程师,硕士,研究方向:油气井压裂增产改造。

3)压出新的裂缝。对于强水淹层或开采衰竭层位,可采用机械封隔器或注水泥对老裂缝进行封堵,对潜力层补射孔,然后压裂进行开采。对于层间存在应力差的储层,采用暂堵剂对含水率高的老裂缝缝口进行封堵,压裂液在物性好的、易压开层段自行起裂,压出新的裂缝。

1.3 重复压裂选井选层原则

重复压裂技术是各油田老井增产的常用措施,压裂成本高,因此科学的选井选层是老油田精细挖潜、降本增效的重要前提。结合中外经验^[3-6],老井重复压裂选井选层主要考虑以下十条准则:

1)采出程度较低的井。这类井剩余储量大,有一定的改造潜力。

2)初次改造不彻底的井。初次改造规模小、支撑裂缝短、支撑剂破碎或铺砂不合理的井,通过设计方案优化,对储层进行彻底改造。

3)射孔段有效性明确,各段产量贡献率清楚的井。这类井重复压裂更有针对性,措施成功率高。

4)初次压裂后产量高,产量下降快导致目前产量低,但同层位邻井高产的井。

5)初次压裂效果好,但由于洗井、修井等作业对储层造成污染,导致产能降低的井。

6)注采井网完善,初次压裂没有达到预期增产效果的井。

7)压裂后气油比随开采时间变化幅度大的井。生产过程中气油比变化大表明裂缝正逐渐闭合,重新泵入支撑剂使裂缝得以有效支撑。

8)地应力场的变化影响重复压裂裂缝扩展方向,新的裂缝方向有利于当前注采井网开发的井。

9)老裂缝不具有挖潜潜力,但剩余油气分布的井。优选两相应力差小、油层有效厚度大、前期采出程度低、注采连通性好的层位进行改造。

2 重复压裂技术发展现状

2.1 机械分层压裂

2.1.1 投球分层压裂

投球压裂是采用暂堵球来实现分层改造的一种压裂方式。压裂过程中,物性好的层段最先被压开,压开层段吸液量大,此时在压裂液中加入暂堵球,根据最小阻力原则,堵球对已压开层段的射孔孔眼进行暂时封堵,随井口压裂液不断泵入在井底产生憋压,压裂液转向压开其它层段。根据改造层段的跨度以及应力差确定投球的次数^[7]。

2002年,李春德等^[8]针对大港油田灰岩地层存在高漏失、层间矛盾突出等问题,优选投球分层压

裂。采用1.25倍孔眼直径,1.2倍炮眼数量,小排量注入,压裂增产效果是未采用暂堵球的2倍以上。在不改变井筒内结构的情况下,根据改造需要可进行5~6轮次的投球,使得各个层段都能得到有效改造^[9]。投球压裂的关键在于对已压开层段射孔孔眼实施有效封堵,是否压开新的裂缝。魏慧蕊等^[10]使用孔眼摩阻公式计算投球过程中压力的上升幅度和瞬时停泵时的压降落差,判断投暂堵球能否压开新的层位,在新疆油田采油一厂红15区现场验证,现场井温测试结果表明该计算方法具有参考价值。肖晖等^[11]为了优化投球压裂施工参数,开展了堵球运动规律研究,分析暂堵球在井下的运动情况,建立堵球在携砂液中的运动公式,认为注入排量是影响暂堵球运动状态的关键因素。因此在施工过程中,精确施工排量才能确保对堵塞球的精准控制。

2.1.2 封隔器分层压裂

对于纵向跨度大,薄互层发育的油层,常采用机械封隔器让压裂液进入指定层段,对各目的层由下向上逐级改造,在不动管柱的情况下实现分层压裂后合采,一般两级两层或三级三层封隔器应用较为普遍。机械封隔器分层压裂技术具有入井结构简单、成本低廉、施工方便、成功率高等优点,得以广泛应用。

江苏油田层间矛盾严重、层多、跨距大、物性差异大,传统的填砂压裂或多层合压存在局限性,张伟等^[12]采用机械卡封分层压裂工艺,不压井、不放喷、不动管柱实现多个层段压裂,使各个油层得到充分改造,增油效果显著提高。彭建东^[13]针对山水盆地重点开发井XZ3-6井改造目的层纵向跨度大且分散的特点,采用K344封隔器进行三级三层压裂,封隔卡点稳定,压裂施工成功率100%,施工结束后顺利解封,达到改造预期目的。

2.1.3 连续油管分层压裂

连续油管分层压裂技术是在连续油管底部安装水力喷射装置,将喷射装置下入到目的层附近射孔,并从套管和连续油管的环形空间注入压裂液,对目标层段实现一趟管柱对多层进行压裂^[14]。连续油管分层压裂能精准定位、缩短压裂周期、改造层数不受限制等优势,根据对已压裂层段的封隔方式分为连续油管带底封压裂和连续油管填砂压裂。

2013年,鲁明春等^[15]在青海油田已射孔井段采用连续油管进行分层改造现场试验,采用定点起裂新工艺,分三级进行压裂,实现国内首次在已射孔投产井段采用连续管喷砂射孔环空压裂技术实

行分层改造。2018年,范杰等^[16]针对西峰油田部分三叠系区块高含水井见水后剩余油富集区难以动用的难题,采用连续油管水力喷射分层压裂在近井地带形成复杂水力裂缝,丰富产层泄流通道,提高单井产能,降低含水率。

2.2 化学转向压裂

2.2.1 颗粒转向

在老井重复压裂过程中,可降解的颗粒暂堵剂对老裂缝缝口进行暂堵,随着井口压裂液不断泵入,井筒内压力持续升高,裂缝在最容易压开的层段起裂,取代机械封隔器实现分层压裂。对已压开的裂缝,投入小粒径堵剂,堵剂在裂缝内形成滤饼桥堵,使缝内净压力升高,开启新的微裂缝或使裂缝发生转向,形成复杂缝网,增大改造体积。

2013年,杜宗和等^[17]对缝内二次转向理论和压裂转向机理进行了深入研究,提出了缝内转向压裂裂缝可能出现形态以及判断方法。通过分析地应力重新定向区域,对裂缝转向拐点精准定位,对裂缝终端精确封堵,实现压裂过程中对裂缝的有效控制。2019年,曾斌等^[18]研制出高强度暂堵剂,具有承压能力强、封堵效果好、降解率高等优点。压裂过程中,随着堵剂的注入,地面施工压力和裂缝延伸压力都明显上升,表明裂缝转向成功。地面微地震监测表明,通过加入堵剂最终形成夹角 44° 的两条主裂缝,并产生了复杂的分支缝,改造体积和增产效果明显高于普通压裂。莫北三工河组油藏埋深4 000 m以上,为低孔、特低渗储层,储层物性差,破裂压裂梯度高,压裂施工压力高于70 MPa,施工难度大,加砂量难以提高。陈亮^[19]优选出承压能力强、耐温性能好,适合深层储层的暂堵剂,并对排量、加砂规模、砂比等施工参数进行优化设计,现场试验施工曲线压力变化明显,微地震监测显示裂缝发生转向,改造效果良好。

2.2.2 纤维转向

纤维暂堵剂常与酸液相结合,对非均质碳酸盐岩储层进行酸压改造。纤维进入储层,在裂缝壁面被捕获,形成网状结构,随着注入量增多,捕获的纤维越来越多,裂缝内外压差越来越高,纤维在压差作用下失水、压实,形成纤维滤饼,对现有裂缝进行暂堵,实现对裂缝转向的目的。

2014年,周福建等^[20]对纤维暂堵裂缝的封堵效果、滤失特征开展了室内实验研究,结果表明纤维在岩心端面形成滤饼,明显降低人工裂缝入口处的渗透率;且缝宽越大,裂缝中的滤饼越厚;低排量

注入,能够增大附加压差,增强封堵效果。2015年,杨乾龙等^[21]针对机械转向受限井的压裂转向问题,研制出压裂液中分散性能好,静态承压效果好,酸液中降解率高的新型可降解纤维暂堵剂,结合酸液对储层实现转向压裂。纤维滤饼还能减缓酸岩反应速率,提高酸液的有效作用距离,增加酸蚀裂缝的长度。除了转向功能,纤维暂堵剂还具有降滤失性能、防砂性能,常与颗粒暂堵剂结合使用,封堵转向效果更佳^[22-24]。

2.3 储层增能压裂

2.3.1 CO₂增能

液态CO₂在地层中可以溶于油也能溶于水,具有增能、降滤、防膨、助排等优点,自20世纪60年代,开始应用于增产改造作业中。

2005年,池圣平等^[25]在中原油田东蹊凹陷开展了6井次的CO₂增能压裂施工,使得压裂液返排时间整体缩短10 d左右,液体返排率较之前提高了39%,压后增产效果得以显著提高。2011年,王新庆等^[26]对CO₂增能压裂液和压裂工艺进行了研究,对排量、加砂量、砂比、缝高、缝长等施工参数进行了模拟,并在延长油田进行了现场应用,现场试验表明现场可操作性强,压裂液返排率高,增产效果好,投入产出比高于1:2。2013年,姜阿娜^[27]对CO₂特性以及增产机理进行了分析,并在桩西采油厂桩60-5井开展井下温压监测试验,结果表明注入液态CO₂可以有效提高地层能量,促进压裂液返排,低排量注入不会对地层造成冷伤害。对比试验表明,CO₂段塞压裂有效期更长,增产效果更加显著。

2.3.2 滑溜水增能

滑溜水是在清水中加入降阻剂、活性剂、防膨剂等添加剂或少量的交联液,具有较高的黏度和较低的摩阻,解决了清水黏度低、携砂能力差、摩阻高等问题。采用滑溜水作为前置液,具有大排量、大缝网、低伤害、低成本、低砂比的“两大、三低”特点。此外,对于地层能量不充足或注采井网不完善的井,采用大量滑溜水前置增能实现油水置换和补充地层能量的目的。

2015年,孙丽华等^[28]针对扶余油田油水井比例失调,配套注水技术跟不上加密井网配注要求,老井压裂规模上不去等问题,提出“前置液滑溜水压裂技术”,使得单井平均增油量为普通压裂的2倍,实现老油田稳产增产。同年,王宇红等^[29]在吉林红岗油田萨尔图油藏也开展了老井前置滑溜水压裂施工试验。2016年,屈海清^[30]对滑溜水的特

点、压裂技术原理、增产机理进行了研究,并在长庆油田延长组低渗透油藏开展现场试验 18 口井,采取油套同注的方式进行“大型混合滑溜水压裂”,使得单井加砂量平均增加 1.3 倍,单井增油量平均增加 3.7 倍。

3 结论

老油田开发中后期,剩余油开采难度逐步增大,伴随科学技术的快速发展,越来越多的新工艺、新技术应用到老井重复压裂中,比如:无水压裂技术、绒囊暂堵重复压裂技术、泡沫压裂液技术、自转向酸压技术等^[31-34],不同压裂工艺技术具有自身适用性和优势。重复压裂的最终目的在于在近井地带形成复杂缝网,尽可能多的沟通剩余油气层,实现对老井控制储量尽可能多的动用。通过对老油田系统评价和认识,针对目前生产情况合理选井选层,优选有效的压裂增产改造方法,让老油田重新焕发青春,从而实现生产效益最大化。

参考文献

- [1] 于长海. 纤维暂堵对重复压裂应力场的影响研究[J]. 石化技术, 2018(3): 167—168.
- [2] 王萌萌, 王威振, 侯斯滕, 等. 转向压裂技术在准东油田的应用与研究[J]. 现代化工, 2015, 35(10): 190—193, 195.
- [3] 周道琛, 李斌, 张建坤. 重复压裂技术在油田增产中发挥的作用[J]. 辽宁化工, 2017, 46(12): 1186—1187.
- [4] 光新军, 王敏生. 北美页岩油气重复压裂关键技术及建议[J]. 石油钻采工艺, 2019, 41(2): 224—229.
- [5] 刘硕, 官联轲. 杏树岗油田高含水条件下重复压裂油井选井选层方法[J]. 化学工程与装备, 2018(7): 130—131.
- [6] 郭晓林, 张红运, 朱争, 等. 重复压裂技术在青海油田七个区块的应用[J]. 石化技术, 2015(6): 129—130.
- [7] 刘琦, 张鹏, 李庆滨. 长射孔井段水平井投球暂堵分段压裂工艺研究[J]. 采油工程, 2011, 1(1): 1—3.
- [8] 李春德, 徐新俊, 任民. 投球分层酸化技术在大港油田灰岩地层中的应用[J]. 石油钻采工艺, 2002(24): 87—89.
- [9] 张少标. 投球分层酸化措施在低渗碳酸盐岩油藏中的应用——以哈萨克斯坦 South Alibec 油田为例[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2011, 33(5): 234—235.
- [10] 魏慧蕊, 王荣. 采油一厂红 15 区投球压裂井压开层位的判定[J]. 新疆石油科技, 2011, 21(2): 11—13, 16.
- [11] 肖晖, 李洁, 曾俊. 投球压裂堵塞球运动方程研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2011, 33(5): 162—167.
- [12] 张伟, 张华丽, 李升芳, 等. 机械分层压裂工艺技术在江苏油田的研究和应用[J]. 钻采工艺, 2008, 31(2): 48—50.
- [13] 彭建东. 水力扩张式封隔器在 XZ3-6 井分层压裂中的应用[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(4): 20.
- [14] 金亚杰, 马颖洁. 不下封隔器的多层压裂增产新技术[J]. 国外油田工程, 2006, 22(10): 18—22.
- [15] 鲁明春, 林昆宝, 辛永安, 等. 连续油管环空分层压裂技术在已射孔井段的现场试验[J]. 青海石油, 2013, 31(2): 71—76.
- [16] 范杰, 刘亭, 李勇. 水力喷射重复压裂工艺在西峰油田三叠系中高含水井的应用[J]. 复杂油气藏, 2018, 11(1): 73—76.
- [17] 杜宗和, 李佳琦, 聂洪力. 缝内二次转向压裂技术探索[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(3): 349—353.
- [18] 曾斌, 李文洪. 自然选择甜点暂堵体积重复压裂在新疆油田的成功应用[J]. 当代化工, 2019, 48(1): 130—134.
- [19] 陈亮. 转向压裂工艺在莫北三工河组深层油藏的应用[J]. 石化技术, 2019(6): 365—366.
- [20] 周福建, 伊向艺, 杨贤友, 等. 提高采收率纤维暂堵人工裂缝动滤失实验研究[J]. 钻采工艺, 2014, 37(4): 83—86.
- [21] 杨乾龙, 黄禹忠, 刘平礼, 等. 碳酸盐岩超深水平井纤维分流暂堵复合酸压技术及其应用[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(2): 117—121.
- [22] 邵俊杰, 牟建业, 程相征, 等. 缝洞型储层酸压改造纤维暂堵规律研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(10): 126—130.
- [23] 王宇红, 刘洁, 刘岩. 老井压裂方案优选[J]. 内蒙古石油化工, 2012(8): 70—73.
- [24] 刘虹瑜, 张亚红, 张晖, 等. 高强度纤维复合暂堵剂试验研究及现场应用[J]. 石化技术, 2017(8): 101—104, 181.
- [25] 池圣平, 郎学军, 李赣勤, 等. CO₂ 增能压裂工艺技术研究与应用[J]. 钻采工艺, 2005, 28(4): 104—105.
- [26] 王新庆, 徐亮. CO₂ 增能压裂工艺在延长油田的应用[J]. 辽宁化工, 2012, 41(10): 1052—1053.
- [27] 姜阿娜. CO₂ 段塞增能压裂在低渗透油田的应用探讨[J]. 内江科技, 2013(2): 106, 186.
- [28] 孙丽华, 蒋子龙. 扶余地区老井压裂思路的改变[J]. 内蒙古石油化工, 2015(23, 24): 61—62.
- [29] 王宇红, 付晓峰. 吉林红岗油田老井压裂优化技术[J]. 内蒙古石油化工, 2015(19): 122—123.
- [30] 屈海清. 低渗透油藏滑溜水压裂工艺技术探讨[J]. 石化技术, 2016(7): 122, 168.
- [31] 杨光, 章光, 郑业忠. 新型 CO₂ 加砂无水压裂技术研究[J]. 现代矿业, 2017(10): 83—85, 91.
- [32] 郑力会, 翁定为. 绒囊暂堵液原缝无损重复压裂技术[J]. 钻井液与完井液, 2015, 32(3): 76—78.
- [33] 王素兵, 罗炽臻, 马继强. 水基泡沫段塞分层转向作用及其应用[J]. 石油钻采工艺, 2004, 26(6): 51—53.
- [34] 闫钰. 多体系酸压工艺在潜山 W1 井的应用[J]. 石化技术, 2018(9): 63.

Study on the Development of Repeated Fracturing Technology in Old Wells

HE Dai-lan

(Baikouquan Oil Production Factory,Xinjiang Oilfield Company,Karamay Xinjiang 834000,China)

Abstract: In the middle-later development period of oilfield, refracture is an important measure to increase and stabilize production in old oil-fields. How to improve the effectiveness of refracturing and maximize the oil recovery are the key issues to consider. In order to select suitable methods to refracture for old wells, the principle of wells and layers selection and major refracturing technologies was investigated.

Key words: repeated fracturing;formation fracture;separate layer;direction change;increase production

(上接第 208 页)

Experimental Study on Suitable Press Temperature of Walnut

LI Peng-quan¹,TAN Xue-song¹,ZHANG Qing²,WAN Xue-qin³,LIU De-yu⁴,YUE Min²

(1. Electrical and Mechanical College;2. Institute of Food,Sichuan Agricultural University,Ya'an Sichuan 625000,China;

3. Forestry College,Sichuan Agricultural University,Wenjiang Sichuan 611130,China;

4. College of Information Engineering,Ya'an Sichuan 625000,China)

Abstract: By using the way of single screw oil press to press walnut, the experiment of CH1500T single screw press was carried out. The pre-heating treatment of walnut was realized through the auxiliary preheating of pressing chamber by heating device. The yield of kernel peach was obtained under different preheating time (11 min, 12 min, 13 min, 14 min, 15 min). Oil yield, residual oil rate and acid value of oil are three common indicators (to measure the quality of oil). Therefore, the residual oil rate and acid value of oil in cake meal were obtained respectively by chemical test. The appropriate preheating time of walnut oil was obtained by comprehensive analysis of the above test data. According to the theory of inverse heat conduction problem, the temperature distribution of the inner and outer wall of the press was obtained by Ansys Workbench thermal simulation. By comparing the measured and simulated temperature of the outer surface of the pressing chamber, the error range is between -4.263% and 8.155%, which shows that the suitable temperature range of the cold pressing of walnut can be predicted by the Ansys Workbench heat conduction simulation, and the suitable temperature range of the inner wall of the pressing chamber is 43.43~50.23℃.

Key words: single screw oil press;common indicators;suitable preheating temperature;infrared thermometer;inverse problem theory of heat conduction;Ansys Workbench;suitable temperature range