

连续油管压裂工艺在低渗透油气藏的应用

庞珂含(中国石油川庆钻探长庆井下技术作业公司, 陕西 西安 710000)

摘要: 伴随全球格局成型、城建事业推进, 我国能源紧缺矛盾日益突出, 优质油气田资源开采空间压缩, 低渗透、超低渗透油气藏资源点多面广, 开采难度大且投入产出不成比例, 亟需探寻有效、完善的工艺改进体系。本文聚焦于此, 对连续油管压裂工艺原理、优势进行深入探究, 并从压裂设备、压裂管柱选择、参数控制等方面展开阐述了其应用、实施要点。

关键词: 连续油管; 压裂工艺; 低渗透油气藏

0 引言

连续油管压裂工艺综合性能优良, 在低渗透油气藏开采场景中有着较高的适用性, 可以在一定程度上缓解开采难度大、产量低的问题。但同时, 连续油管自身材质轻柔、稳定性较差, 通过弯曲、水平井段时, 操作难度会有所提升, 在长期的腐蚀、振动、挤压下, 还很容易产生破损、变形问题, 极大制约了连续油管压裂工艺优势效能的发挥, 因此有必要从实践角度出发, 探寻有效的工艺控制要点。

1 低渗透油气藏开发特点分析

低渗透是对储层性能的一种直观描述, 国外石油开发行业中又将其称为致密储层, 与常规储层相比其特征是十分明显的, 储层内部通常孔隙度较低, 吼道较小, 赋存于其中的油气资源渗透能力极差, 开发环节需要进行严谨的地质勘查, 用常规开发方式通常产能不会太理想, 需要特殊改造后, 才能达到产能提升、难度降低的目标。

在低渗透油气藏标准制定方面, 世界各国并未达成统一标准, 从我国境内来讲, 渗透率小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的油藏即可称为低渗透油藏, 渗透率小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的气藏则被划分为低渗透气藏。其分布通常具有一定的规律性, 现阶段砂岩、粉砂岩、白云岩等是较为常见的赋存类型, 其中致密砂岩储层最为常见。

针对低渗透油气藏开发的研究由来已久, 注气开采就是其中应用较为广泛的种类, 实践中可以有效规避水质因素的干扰, 防止套管破坏造成的油井报废问题, 与注水相比注气所需的压力也更低, 可以降低复杂情况出现的机率, 为注采平衡的实现奠定基础。除注气开采外, 改善水驱、微生物技术以及压裂开采也是比较常见的方案手段, 连续油管压裂工艺则是在这些技术的基础上综合、衍生而来的, 可以在水动力学原理基础上, 糅和喷砂射孔、环空加砂压裂手段, 辅助直井分层、水平井分段, 进而实现一次多压, 在低渗透油气藏开发场景中, 适用性尤其显著。

2 连续油管压裂工艺优势

2.1 压缩钻井作业成本

与传统压裂工艺相比, 连续油管压裂技术中所使用的 CTU 设备相对较少, 实践开采环节搬迁、安装工序明

显简化, 无需开展繁琐的准备工序, 工作量压缩且升降作业速度快, 为成本的降低创造了空间。

同时, 传统模式中多采用单根油管连接钻机, 操作环节需要耗费大量时间去安装油管, 而连续油管压裂工艺中, 连续管的使用可以大幅节约操作时间, 开采连续性有所保障, 平均机械钻速也得以提升, 从已有统计资料中看, CTD 侧钻费用仅为常规钻井的 1/3 左右, 总体成本可以节省 25%~40%, 能够为主体单位创造更多的经济收益。此外, 工艺中使用的连续油管直径不大, 也可以起到压缩钻井成本的作用, 为小眼井、老井的侧钻、加深创造便利。

2.2 降低钻井作业风险

在连续油管压裂工艺中, 操作者无需停泵进行单根油管的连接工作, 管中钻井液循环的连续性被显著增强, 起、下钻频率也被压缩, 能够为钻井周期的缩减提供保障。同时, 传统钻井方法中, 油管更换停泵环节会带来较大的安全风险, 严重时甚至可能出现井喷、卡钻问题, 在敏感地层采用连续管压裂工艺施工, 完全可以在不放喷、放压的基础上, 进行连续作业, 降低安全风险的同时, 还能减少地层污染问题, 有助于环境保护和产量增加。此外, 在高压油层、欠平衡压力钻井施工中, 传统工艺容易造成岩屑垫层的堆积, 导致压力波动问题, 给开采作业带来不利影响, 而连续油管压裂工艺则采用连续施工方式, 可以使内平衡状态转变为稳定流动状态, 降低施工难度和风险。

2.3 保障油藏质量与产量

在我国能源开发过程中, 钻井是导致油藏受损的关键原因之一, 钻井环节外来流体、化学药剂等均可能污染油藏, 被损坏的岩层也可能产生岩屑, 给油藏品质带来影响, 而连续油管压裂工艺的使用, 保障了井底的稳定性, 给井内欠平衡状态的形成创造了条件, 可以有效防止地层损害问题, 保障区域储层产量的提升。近年来连续油管压裂工艺持续进步, 无线套管接箍定位器等装置陆续被研发出来, 多层同时压裂技术、漏掉产层压裂技术也相继出现, 为下管深度控制等工序提供了更加可靠的保障, 作业环节还可以通过电缆的布设开展自动化作业, 提升随钻测量精准性, 推动油气开发产量、质量的优化。

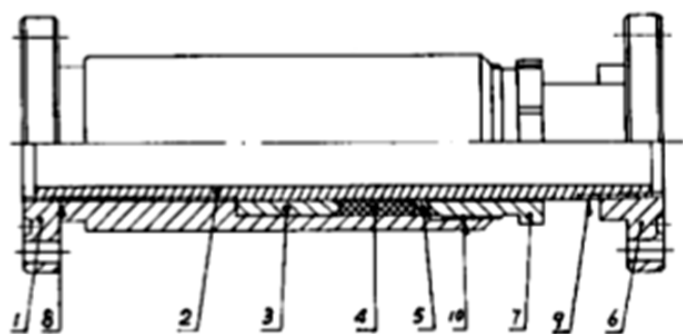
3 连续油管压裂工艺在低渗透油气藏中的实施要点

3.1 压裂设备选择

压裂设备是低渗透油气藏开发作业中,极为关键的工具装置,高压泵车、混砂车等均是较为常见的类型,连续油管压裂工艺所用装置与常规装置基本相同,但在技术规格上却存在一些差异。这主要是因为设备运转过程中,连续油管需要在滚筒、导管架上频繁运移,管材塑性变形风险增大,油管疲劳进程加速,因此需要工作滚筒芯轴半径应当相应增大,注入头导管架的半径也要随之增大。当连续管外径为2英寸时,推荐滚筒芯轴直径为80-96英寸,鹅颈架半径则控制在72-96英寸为佳。同时,压力设备中通常装有增压器,运转环节速度高且负荷较大,对润滑养护也提出了较高要求,润滑不当或机油清洁度过差,均会提升轴承损坏风险,因此日常使用过程中,还应制定相应的运维管理制度,借助快速检测设备测定油液质量,做好润滑油保管隔离工作,防止作业现场沙尘、三氧化二铝粉末进入,定时清洁发动机空气滤清器。增压器拆装环节,最好用木锤轻轻敲打,检查其是否存在漏油、漏气问题,发动机维护环节则要科学开展熄火操作,防止使用不当导致的设备损伤,进而为设备的高效运转奠定稳固基础。

3.2 井口压力控制设备选择

井口压力控制设备是安全防护的关键所在,通常采用四闸板防喷器装置,装置内部闸板带有胶芯,可以在液压作用下发生运行,从两侧推向井眼中心,进而达成井口封闭的目的。同时,为了在不压井的条件下,完成起、下压裂工具串的目的,通常还需要配备防喷管,其长度要依据工具串长度进行合理选择,近年来油气开采技术不断成熟,部分学者研制出了长度可调式防喷管,管体一段固定于丝扣法兰上,另一端则套插于法兰腔体内,可以有效避免防喷管长短不适宜的情况,具有较强的实用意义(结构图可见图1)。



1- 法兰体; 2- 防喷管体; 3- 密封圈上座;
4-V 型密封圈; 5- 密封圈下座; 6- 丝扣法兰;
7- 压帽; 8- 梯形螺纹; 9- 锥度螺纹; 10- 内壁螺纹

图1 长度可调式防喷管

3.3 连续油管压裂管柱选择

压裂工艺中对压力供给要求较高,压裂液流量必须达到设定标准,才能保证油层被压开,因此实践环节需

要选取直径较大的管柱,但这并不意味着管径尺寸越大越好,当连续油管直径较大时,疲劳寿命会有所压缩,可能加速油管的老化。在没有特殊要求的情况下,管径至少要满足 $2\text{m}^3/\text{min}$ 的排量,同时考虑压裂液本身的摩阻压降以及流速,前者主要关系到地面设备压力大小,后者则会影响管壁损失进程。当流速控制在 30m/s 左右时,相应的管径可以选择 $2-3/8"$, 或者 $2-7/8"$, 经过试验证明地面压力大致可以控制在 $35-40\text{MPa}$, 对管壁的磨损程度也有所下降。其次还应关注管柱材料的选择,屈服强度是选择环节应当考虑的首要问题,通常情况下以 80000psi 为标准,低于该标准则可能导致油管疲劳寿命受损,同时,在横断面形状一致的前提下,高屈服强度油管表现出的承载力更强,即使管壁在长期的应用、磨损过程中发生变薄问题,也能满足最大工作压力需求。最后还应考虑管壁厚度问题,壁厚设定应当建立在具体的损失计算基础上,要保障工作寿命后期,管壁仍旧有足够厚度维持设备运转。同时,焊缝对于管材整体性也会造成一定影响,可能导致延展性的降低,进而压缩管子本身的疲劳寿命,因此要严格控制焊缝质量。

3.4 压裂参数设置

在设定连续油管的压裂参数阶段中,需要充分考虑以下几方面内容。

第一,压裂液。可以筛选出传统压裂工艺中最常见的压裂液作为连续油管压裂工艺中的压裂液,通常情况下,传统压裂工艺中所采用的大多数为硼酸盐、钛酸盐等物质相互交融形成的水基低浓度聚合物压裂液;

第二,气体助剂。主要运用氮与硼酸盐交联聚合物压裂液配合使用,而二氧化碳通常与钛酸盐交联聚合压裂液共同加以使用;

第三,支撑剂。在运用连续油管压裂工艺期间,主要采用 $20/40$ 目砂子作为主要的支撑剂,而砂子类型可以选用石英砂等;

第四,泵排量。因受到各种外界因素的影响,在开展压裂处理期间需要促使压裂流体可以顺利通过体积较小的金属管泵入井内,在此过程中要求泵排量要相对较低,不可出现地表压力超过最大工作压力值等现象。连续油管中的压裂液排量通常为 $1.5-2.0\text{m}^3/\text{min}$;

第五,混砂浓度。压裂流体中所包含的混砂浓度需要维持在 $1500\text{kg}/\text{m}^3$, 在向其中添加适当支撑剂后,混砂液的最高混砂浓度通常为 $1800\text{kg}/\text{m}^3$;

第六,地表压力。压裂处理期间标准范围内的地表压力维持在 $35-40\text{MPa}$;

第七,砂量。分层次、分阶段压裂处理过程中层所含砂量相对较少,但是在一般情况下,一口井的整体砂量与传统压裂处理方式数量差距不大,基本上为 $5.0-30\text{t}$ 左右。

3.5 压裂工艺选择

在低渗透油气藏中连续油管压裂主要由两种工艺组建而成。

3.5.1 单封隔器与砂塞压裂法

在操作过程中,需要利用封隔器做好上半部分的密封和堵塞,而砂塞主要应用于下半部分的封堵,在实际运用此项压裂工艺方法过程中,需要严格掌控砂塞的具体使用数量。此项压裂工艺的优势特点主要体现在封隔器出现卡顿的几率相对较小,而且压裂层次与层次之间的距离不会受到井口防喷管延伸效果的约束与影响,但是此种工艺技术在使用完毕后需要及时做好冲砂处理。

3.5.2 压裂工艺为跨式双封隔器压裂法

在连续油管压裂工艺使用期间,跨隔双封隔器的底部位置会出现严重的压缩变形趋势,而且此构件会与封隔器顶部的皮碗共同卡开射孔层段。压裂工具会在此情形下逐渐降落到第一个待压裂的层次中,底部的卡瓦会完全依托在连续油管的管壁表层,下方位置封隔器会实现井筒的封闭处理。在此期间,开展连续管压裂作业,在完成压裂处理后,运用连续油管上提的措施手段将双封隔器进行解封,再将其放置于第二待压裂层次中,重复此种操作手法直到每个层次都完成压裂处理。跨式双封隔器还包括多种种类,比如双皮碗及单皮碗式、封隔器密封元件式,以及双皮碗与封隔器密封元件的融合式等。此项压裂工艺的优势特点在于可以进行不间断压裂作业,在实际操作期间也不需要后续填砂等措施,但是此项工艺会受到井口防喷管延伸性能的影响。

3.6 连续油管维护方式

要想提升维护效果,保障油管维护质量,使连续油管可以有效、长久的开展工作,需要掌握影响连续油管寿命的因素,对其进行分析,以影响因素为主要的维护依据,提高维护工作效率。连续油管的应用环境比较复杂,容易遭受到外部环境的侵蚀以及影响,造成质量下降,使用年限较短,不利于长期应用于工作。目前,腐蚀、机械损伤以及管壁减薄等都是影响连续油管质量的主要因素。连续油管遭受到腐蚀主要原因是压裂液中的物质具有一定的腐蚀性,虽说腐蚀力度不强,但是在长期工作下,遭受到的腐蚀部位会逐渐增多,产生一定程度的内部腐蚀,对油管质量造成影响。对于这种情况,工作人员需要使用清洁液来对油管进行冲洗,不能为了节省时间用水冲洗。对于油管出现的机械损伤,例如:出现凹陷、凿槽以及压痕时,会极大缩短油管的寿命,严重的话,只能进行油管的更换,无法对其进行维护。因此,工作人员在完成施工工作后,都需要及时对油管进行检查,对于一些磨损较轻的油管进行修复,消除油管表面损伤处的疲劳潜能。对于一些受损较严重,无法进行维护的油管,需要及时向管理者进行汇报,并对油管进行替换。防止质量不符合标准的油管进入到实际工作中,影响工作效率与工作质量。对于管壁减薄问题,工作人员可以利用超声波厚度仪测量油管的壁厚,而且需要检测的内部1-2层的壁厚。当结束检查工作之后,工作人员需要及时清理掉油管内的杂物,防止杂物对油管造成损害。如果油管的壁厚已经非常薄时,需要及时更换掉

该油管,不对其进行应用与压裂作业。

3.7 连续油管下井深度控制

油管深度的标定工作关系到封隔器是否能够放置在预定位置上,因此,准确标定油管深度是将封隔器放置在预定位置上的关键,工作人员需要严格审查标定位置并反复核实,减少工作失误,提高工作效率,保证工作质量。目前,大多数油管设备利用滚轮计深器与光学计深器来开展工作,或者将两者结合起来进行使用。但无论计深器的质量多么良好,连续油管工具串的深度与测井深度数据之间还是会存在着偏差。造成偏差的原因比较多,例如:零米位置选择、测井深度、钻井深度等,给测量工作带来一系列的困难与挑战。为了减少测量误差,保证测量工作质量,克服连续油管记深器的缺陷,工作人员可以采用无线套管接箍定位器来开展工作。这种工具主要是以电池为动力,在井筒中不断向地面传输压力脉冲信号,然后指出套管接箍与油管接箍位置,减少了电缆的使用,为工作人员提供方便。无线套管接箍定位器测量的数据往往比较准确,弥补了油管记深器的不足之处。

4 结论

综上所述,在低渗透油气藏中应用连续油管压裂工艺,可以有效降低钻井作业成本、改善欠平衡压力钻井状况,实践中要正视其功能价值,合理选用压裂设备及井口压力控制设备,重点控制连续油管压裂管柱质量,结合压裂液流速优化管柱直径、厚度以及焊缝质量,科学设置压裂液、气体助剂、支撑剂等用量,引入无线套管接箍定位器保障深度控制精准性,从而为低渗透油气藏的开采奠定扎实基础,促进我国能源行业的高质量发展。

参考文献:

- [1] 呼焕苗. 压裂工况下连续油管力学模型建立及疲劳寿命预测 [D]. 西安: 西安石油大学, 2021.
- [2] 徐延涛, 杜建波, 王明昊. 连续油管水力喷射压裂技术在双层套管井中的应用 [J]. 内蒙古石油化工, 2021, 47(05): 76-78.
- [3] 赵博. 连续油管开关套管滑套压裂工艺的应用探讨 [J]. 云南化工, 2021, 48(05): 85-87.
- [4] 杨攀, 张平, 崔玉环. 连续油管喷砂射孔机理分析及现场施工参数确定方法 [J]. 煤炭技术, 2021, 40(05): 65-68.
- [5] 谢鹏, 向刚, 卢秀德. 连续管逐簇喷射环空压裂工艺现场应用 [J]. 焊管, 2021, 44(01): 19-24.
- [6] 李立政, 卢秀德, 孙兆岩. 连续油管分段压裂技术在低渗透油气藏中的应用实践 [J]. 钻采工艺, 2015, 38(2): 4.
- [7] 郭绍安. 水平井分段压裂技术在低渗透油气藏中的应用研究 [J]. 中国化工贸易, 2014(30).
- [8] 钱杰. 水平井连续油管分段压裂技术研究 [D]. 北京: 中国地质大学, 2009.
- [9] 韩恩军. 大港油田连续油管分段压裂工艺应用研究 [J]. 精品, 2020(4): 1.