

解析油田井下压裂技术

赵艳林（延长油田股份有限公司子长采油厂，陕西 子长 717300）

摘要：本文以油田井下压裂施工技术作为研究主体，针对压裂液配方选择、性能参数与配制工艺进行优化设计，并选取分层压裂、水平井限流法、重复压裂和弱交联压裂四种典型施工技术进行应用要点的总结，配合施工监测技术的应用，致力于为井下压裂施工质量与石油生产效率的双重提升提供参考价值。

关键词：油田开采；井下压裂；裂缝监测

0 引言

据自然资源部统计，截至2020年我国石油、天然气新增探明地质储量分别达到11.24亿t和8090.92亿m³，在油气勘查领域取得显著突破。井下压裂技术主要通过向油井底部裂缝中注入支撑剂，改善裂缝导流效果、提高油气井产量，并且能够防范井眼损伤问题，在低渗透油田开采领域具有良好适用价值。

1 井下压裂施工工艺参数

1.1 工艺参数优化

将井下压裂技术应用于油田开采项目中，需重点做好压裂液配方与工艺参数的控制。一方面，控制好混砂液的配比，例如将压裂技术应用于低渗透地层时需形成长而窄的裂缝，对此可将混砂比例控制在25%~26.5%左右；在涉及到扩边井、小直径大砂量井下作业时，通常其贯通程度较低，可将混砂比例调节至20%左右，保证裂缝质量。另一方面，为保证裂缝压实度达标，在井下压裂施工环节需对裂缝采取必要的强制关闭措施，用于防范裂缝出砂，借此减少扩散时长，优化返排效果^[1]。

1.2 压裂液配制工艺

在实际探井作业过程中，地层破裂压力将直接影响到施工安全，通过优化压裂液配比设计，调节压裂液的密度，实现液柱压力增大、减小管柱摩擦阻力，能够有效满足井下压裂作业需要，减小地面施工压力^[2]。

在压裂液原胶液的配制上，选用49%溴化钠、0.7%复配稳定剂、0.43%瓜胶、0.3%助排剂、0.2%氢氧化钠、0.1%杀菌剂和0.1%破胶剂完成配方设计，配制成密度为1.49g/cm³的压裂液。准备体积为45m³的配液罐，向其中注入25m³的蒸馏水，依照试验配方分别加入助排剂、杀菌剂、复配稳定剂，并加入重剂循环混合溶液使其密度达到1.49±0.03g/cm³，随后加入瓜胶使混合液起黏，最后添加氢氧化钠保证压裂液均匀度达标。

在压裂液交联液的配制上，选用43%溴化钠和0.5%交联剂，其余复配稳定剂、瓜胶、助排剂、氢氧化钠、杀菌剂、破胶剂等配方的比例不变，配制成密度为1.41g/cm³的压裂液。准备体积为45m³的配液罐，将加入蒸馏水体积调整为30m³，重复上述配制工艺，并依照配方比例进行交联剂、破胶剂的泵注，保证压裂液性能与密度符合施工要求。

2 关键技术应用及施工监测

2.1 分层压裂技术

该技术适用于储层埋深较大、岩性复杂、孔隙度与渗透率均较低的油井井下施工，以封隔器作为主要施工设备，该设备在结构组成上包含0.65m橡胶筒、中心管与阀箍等部件，在0.5~1.2MPa范围内节流压差的作用下，可使橡胶筒膨胀并与套管内壁紧密贴合；伴随流体压力的持续增大，将进一步增加二者的接触应力，起到封隔作用；待流体压力卸去后，橡胶筒将重新收缩，完成解封操作，将管柱顺利起出地面。

在管柱设计环节，重点把握以下技术要点：

①注意把控好橡胶筒顶部与滑套喷砂器的间距，宜将最佳工艺参数控制在0.56~0.6m左右，保证在橡胶筒缩回的情况下仍可将沉砂顺利带出，防范出现砂卡问题；②优化喷砂口设计，选用42CrMo合金等耐磨材料作为喷砂口的制造原料，增强中心管的耐磨性，防范在压裂砂高速冲刷作用下致使结构件受损；③落实管柱固定措施，选取压差式水力锚安装在临近套管一侧，借助井下压裂施工过程中形成的压差使锚牙与套管内壁实现紧密贴合，减少施工过程中套管的晃动与位移；④增设正、反扣安全接头，倘若在施工过程中封隔器遇卡无法顺利起出，可依照螺纹方向进行管柱的匀速转动，再分别将连接销钉、卡扣拆除，即可将管柱顺利起出。

在现场操作环节，先将封隔器坐封，注意控制好排量数值，根据泵压曲线进行密封性能判断，将套管压力控制在10~15MPa恒压状态，完成验封；随后结合具体参数进行顶替量的计算，将首层顶替取值增加1.0m³，完成第一层顶替的准备工作；在正式压裂施工前，需选取钢球置于投球器内，待完成第一层顶替后，将旋塞开启，使液体携带钢球送入井内，并且将滑套开启，完成第二层顶替；在压裂施工后，结合井口压力等参数进行油嘴的科学选型，避免在放喷过程中油井出现返吐出砂现象，降低卡钻风险；在正式解封前，还需做好封隔器等设备表面沉砂的清理工作，并选用清水进行井筒清洗，保证分层压裂改造施工质量。

2.2 水平井限流法压裂

该技术适用于控制井段较长、靠近油田外围部位的施工，其工艺原理在于通过调节炮眼直径、控制炮眼数

量,实现对排量、摩擦阻力等参数的调整,以此增大井底压力,将压力数值相近的地层成功压裂,并且完成裂缝的填砂处理。

在实际施工环节,需明确以下注意要点:

①在涉及到长层段施工环节,需参考流体摩擦阻力、不同层段的压差以及井筒摩擦阻力等指标,保证孔眼限流摩擦阻力计算结果的精确度;②针对因炮眼磨损对施工压力产生干扰的原因进行分析,主要取决于支撑剂的影响,当采用限流法进行压裂施工时,在支撑剂送入井底后,将使混砂液净液柱的压力值以及管柱、孔眼部位的摩擦阻力值均出现变化,孔眼直径增大、摩擦阻力减小,进而导致井口施工压力呈急剧下降趋势,因此需收集孔眼摩擦阻力的数值建立曲线,从中分析出摩擦阻力的变化规律,以此调节压力下降速度,避免对井口施工造成影响;③在实际施工环节,可引入“有效孔数法”进行压裂施工产生裂缝数量的计算,基于连续油管测井工艺进行裂缝形态的现场测试,配合水平井机械分段工艺的应用,保证不同井段分层施工效果满足要求。

2.3 重复压裂技术

该技术适用于长度较长、不同方位角裂缝的重新定位施工,基于多孔弹性耦合效应原理进行储层岩石、裂缝周围应力分布状态的分析,运用重复压裂工艺沿原有裂缝方向生成新的裂缝,完成裂缝重新定向。

在实际施工环节,需明确以下技术要点:①优化压裂液配比设计,选用低配比瓜胶压裂液,注浆液密度约为 $1.34\text{g}/\text{m}^3$,做好流变性等性能指标的调节,将单次注入泥浆体积控制在 $5\sim 15\text{m}^3$ 范围内,保持 10min 左右连续注浆作业,提高返排率;②引入原地层裂缝改造工艺,扩大压裂施工规模,或调节压裂液配方、提高砂比,以此增加裂缝长度,增强裂缝的导流效果;③采用压开新裂缝工艺,针对地层性质差距较大的情况,可对原有裂缝所在层段进行封堵,并压开心裂缝,用于提高渗透层储量动用程度;④选取酸洗裂缝工艺,用于延长裂缝长度,改善壁面导流能力。

2.4 弱交联压裂技术

该技术适用于薄、差、含水量高油层的压裂施工,能够实现对小规模裂缝形态的有效改造,基于弱交联小规模压裂工艺原理,通过优化压裂液工艺参数、控制排量等方法,实现对裂缝垂直方向延伸距离的调节,满足短而宽裂缝的施工需要。

在实际施工环节,需重点把握以下工艺要点:

①确认施工排量,结合储层厚度、地应力差两项参数进行拟合,获取到裂缝沿垂直方向过渡延伸的排量极限值,并根据施工范围内的地质构造形态进行排量范围的科学拟定;②在压裂液配比设计上,引入弱交联体系降低压裂液的粘度,优化清洁压裂液的液携砂性能,并且注意调节支撑剂中石英砂、覆膜支撑剂、陶粒等组分的性能参数,保证支撑剂使用性能达标;③基于低前置

液、低排量、低砂比的指导原则开展井下压裂施工,在施工过程中注意密切观察现场工作压力变化情况,通过调节排量数值优化裂缝形态,在压开裂缝后及时填砂,能够有效抑制裂缝沿垂直方向延伸,并且发挥降滤作用,满足薄层短缝的压裂施工要求、优化加砂效果。

2.5 施工裂缝监测

在面向不同地层、油井采用多种井下压裂施工工艺的基础上,为实现对施工质量与安全的动态管理,还需引入实时监测技术获取具体地层参数,为裂缝形态及施工质量评价提供有效工具^[3]。在监测指标的设置上,主要包含以下四项指标:

①储层物性,根据压裂井口数量、射孔厚度、孔隙率与渗透率等指标,完成储层物性的判断,为后续裂缝形态观测提供参考依据;②施工规模,参考压裂施工油井数量、总用量、总加砂量、排量等参数,将不同油井的压裂规模进行比较,并遵循差异化原则进行施工指标的统量化处理,便于实现对不同油井施工质量的比较分析;③裂缝施工效果,可选用以下三项指标进行施工效果的衡量:其一是裂缝方位与形态,根据油井所在方位进行方位角的测定,基于最小主应力原理进行裂缝生成方位的分析,以垂直于最小主应力的方向为基准进行裂缝定位,实现对水平、垂直两个方向应力的辨别以及裂缝成因的判断;其二是裂缝长度,通常裂缝长度与用量、用砂量成正比,需参考井距对裂缝向两翼延伸长度的比较,实现对储层均质性指标的判断;其三是裂缝高度,即裂缝沿垂直方向延伸的距离,通过控制施工过程中的排量数值,确保裂缝垂直高度与其分布在射孔段的高度之和近似于储层厚度,避免裂缝延伸过长影响到施工质量;④液体滤失情况,通常水平、垂直两个方向的裂缝在闭合时长、液体效率上存在差异,其中水平裂缝在压裂施工过程中的液体滤失现象更加明显,因此需重点做好端面污染的防控工作,优化压裂液配方设计。

3 结论

通过结合几种典型井下压裂技术进行施工要点的梳理,能够为油田开采与井下压裂施工提供有效借鉴思路。在实际施工环节,需密切结合油井底层特征进行压裂施工体系的建立,选取恰当的压裂施工技术,并引入 CO_2 泡沫、高能气体、三元复合体系等先进施工工艺实现降本增效目标,更好地保证油井压裂施工质量,提升工程建设综合效益。

参考文献:

- [1] 吴佳奇.油田井下压裂技术的现状与完善对策探索[J].科技创新导报,2019(17):67-68.
- [2] 杨侃.油田井下压裂施工关键技术探讨[J].化学工程与装备,2020(04):59-60.
- [3] 孙明明.采油工程压裂增油技术措施研究[J].化工设计通讯,2019(02):58.