

低渗透油藏驱替优化与增产开发技术探索

刘景强 李彦明

延长油田股份有限公司吴起采油厂 陕西 延安 717600

【摘要】：低渗透油藏是我国油气资源的重要组成，储量大但是开发难度高，普遍存在储层物性差、渗流阻力大、驱替效率低、自然产能低等难题，造成油气资源的无效动用。为了破解低渗透油藏开发的难题，提高开发效益和采收率，本文根据国内外低渗透油藏开发经验，从低渗透油藏的地质特征及开发难点入手，主要研究驱替优化技术路径和增产开发关键技术，结合现场应用实例来检验技术是否可行，并给出针对性的优化措施，从而给低渗透油藏高效、可持续开发提供理论依据和参考。

【关键词】：低渗透油藏；驱替优化；增产技术；开发效益；采收率

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.081

引言

随着我国油气勘探开发的不断深入，中高渗透油藏储量越来越少，低渗透油藏已经成为油气产量增长的重要接替资源。驱替过程属于低渗透油藏开发的重要部分，它直接影响到油气的动用程度以及采收率的高低，增产技术是弥补低渗透油藏自然产能不足，提高开发效益的手段。目前低渗透油藏驱替优化及增产开发技术虽然取得了某些进步，但是对于复杂地质条件下适配性、技术应用经济性以及长效性等各方面还存在着一定的欠缺。因此，本文在低渗透油藏地质特点和开发实践中，探寻驱替优化途径以及增产技术，改进技术方案，攻克开发过程中出现的关键问题，给低渗透油藏高效开发赋予技术参照，助推油气田企业达成提质增效、可持续发展目的。

1 低渗透油藏地质特征

低渗透油藏的地质特征是造成开发难度大的主要原因，它的主要特点主要表现在三个方面。

1.1 储层物性差

大部分低渗透油藏孔隙度 $<15\%$ ，渗透率 $<50\text{mD}$ ，部分特低渗透油藏渗透率 $<1\text{mD}$ ，储层岩石颗粒细密，孔隙结构复杂，喉道半径小而连通性差，有效储集空间小。

1.2 渗流特性特殊

流体在低渗透储层微小孔喉中的渗流不再完全遵循经典的达西渗流定律，启动压力梯度现象明显，必须达到一定的压差后流体才会开始流动，且存在较强的应力敏感性，随着开发的进行，有效上覆压力增大，孔隙度、渗透率持续降低，渗流难度愈发增大。

1.3 储层非均质性较强

宏观上砂体展布不稳定、连续性差，微观上孔隙喉道分布不均，部分油藏发育天然裂缝，但是分布非常不规则，造成油气分布不均、储量动用不均，有些区域出现水窜，有些区域则不能获得有效的驱替。除此之外，低渗透油藏还普遍存在天然能量缺乏的问题，边底水不活跃或者没有有效的天然水驱系统，原始压力系数较低，油藏能量补充难，从而影响开发效果。

低渗透油藏的原油粘度大、含油饱和度低，驱替、增产更难。

2 低渗透油藏驱替优化技术探索

2.1 注采系统优化

注采系统是驱替过程的主要容器，注采系统的合理性直接关系到驱替的效果。低渗透油藏注采系统优化的关键就是解决注不进、采不出、波及不均的问题，主要从井网布置和注采方式两个方面进行优化。

2.1.1 井网布置优化

联系储层分布特点、渗透率差别、裂缝发育状况，冲破常规井网形式，实施具有针对性的井网布置。对于平面非均质性较强、低渗透率油藏，放弃传统的正方形、三角形井网，采用不规则井网，根据储层渗透率分布变化调整井距和排距，在高渗透区扩大井距防止水窜，在低渗透富集区加大井网密度提高储量动用程度。纵向多油层、层间差别大的低渗透油藏用分层井网部署，实现分层注采，消除层间干扰，使各个油层都能得到充分的驱替。近几年来，水平井井网在低渗透油藏中的应用越来越普遍，通过水平井扩大储层的接触面积，沟通天然裂缝和孔隙，减小渗流阻力，大井组集约化生产，可以提高驱替效率和单井产量。胜利油田在低渗透油藏开发中，经由改善井网布置，融合压驱技术应用，较好地克服了储量动用情况不佳状况，若干区块采收率改善幅度达4%到5%之间。

2.1.2 注采方式改进

依照油藏能量情况、渗流特点来选用灵活多样且适应的注采办法，以克服天然能量缺乏的状况。对于能量不足的低渗透油藏，采用超前注水方式，在油井投产前先注水补充地层能量，形成有效的驱替压力系统，防止油藏压力迅速下降，为后期开发打下基础。对于存在启动压力梯度的低渗透油藏，采用高压注水模式，用大排量高压泵注设备，在高于或者接近地层破裂压力条件下注水，撕裂微裂缝，把注水从渗变为灌，达到大排量注水驱油的目的，克服了常规注水压力无法突破地层破裂压力的认识障碍，解决了注不进水的问题。胜利油田革新压驱注水技术，5年间共开展压驱注水井次达1300余口，增油量达

160多万吨,成为低渗透油藏开发的主要技术。除此之外,对于非均质严重、水窜风险低的低渗透油藏,用周期注水法,即周期性改变注水量、注水时间,形成不稳定的压差场,使流体重新分布,在储层中达到更好的驱油效果,减少水窜。

2.2 驱替介质优化

驱替介质选择影响驱油效率,低渗透油藏驱替介质优化关键在于降低渗流阻力、改善油水流动性,提高微观驱油效率。常规水驱介质在低渗透油藏中存在着渗流阻力大、波及范围小、对束缚油动用能力差等缺点,需要根据油藏特征来优化驱替介质类型,形成复合驱替体系。

2.2.1 聚合物驱替

作为低渗透油藏驱替介质优化的重要途径,向注入水中加入聚合物,提高注入水粘度,改善油水流动性,降低水窜风险,扩大波及体积。根据低渗透油藏喉道细微特点来选择分子量合适、耐高温耐盐性好且能够抑制储层喉道堵塞的聚合物,保证注入效果。聚合物驱的基础上可以加入表面活性剂来构建聚合物-表面活性剂复合驱体系,表面活性剂可以降低油水界面张力,剥离岩石表面的束缚油,提高微观驱油效率,与聚合物共同使用,进一步提高驱替效果。对粘度大的低渗透油藏,可以加入复合驱体系中的降粘剂,减小原油粘度,降低渗流阻力,提高驱替效果。

2.2.2 注气驱替

改善低渗透油藏驱替介质的手段,用气体良好的扩散性和降粘性提高微观驱油效率、提高宏观波及体积。二氧化碳驱有降低原油粘度、扩大原油体积、改善油水流动性等优点,可以提高采收率,适合于低渗透、高含蜡、高粘度低渗透油藏。氮气驱的优点有成本低、气源多等,适合于能量不足、水驱效果差的低渗透油藏,利用氮气补充地层能量,扩大波及范围,提高原油动用程度。

2.3 驱替工艺参数优化

2.3.1 注水压力的优化

考虑到注入能力和储层保护两者之间的关系,根据储层破裂压力、启动压力梯度来确定合理的注水压力范围。对低渗透油藏来说,注水压力要比启动压力梯度大一些,使注入水可以推动,但是不能大于储层的破裂压力,防止储层产生恶性水窜。对高压压驱技术的油藏进行控制注水压力接近地层破裂压力,形成有效的微裂缝网络,并做好动态监测工作,及时调节压力参数,防止裂缝过度延伸造成水窜。注水压力优化要根据油藏动态变化情况,及时做出调整,使驱替压力保持稳定,达到高效驱替的目的。

2.3.2 注水量和注入速度优化

按照油藏储量、渗透率、井网密度等要素,选定单井的适

宜注水量和注入速度,防止注水量太大引发水窜,注水量太小无法充分补充地层能量,无法扩大波及范围。对非均质低渗透油藏采用分层配注技术,根据各个油层的渗透率差别来分配不同的注水量,保证各个油层都能得到适宜的驱替强度,防止层间干扰。注入速度应保持在合适的范围之内,过快容易造成注入水沿高渗透通道窜流,过慢则会造成驱替效果不好,开发时间延长。经由改良注水量、注入速度来达成注采平衡,进而加强驱替作用和开发收益。

3 低渗透油藏增产开发关键技术

3.1 储层改造技术

目前,低渗透油藏储层改造技术大多采用水力压裂,根据储层特性不断更新,形成了一种适应不同类型的低渗透油藏的压裂技术。水力压裂技术用高压泵把压裂液送入储层中,使储层出现人工裂缝,然后加入支撑剂支撑裂缝,从而形成高导流能力的裂缝通道,打通储层孔隙,减小渗流阻力。根据低渗透油藏储层致密、喉道细小的特征,对压裂液配方及支撑剂进行改进,采用低伤害压裂液减少压裂液对储层的损害,选用颗粒大小适中的支撑剂保证裂缝导流能力长期稳定。对纵向多油层、层间存在差异的低渗透油藏采用分层压裂技术,对不同的油层实施单独的压裂作业,防止层间相互影响,从而使得各个油层都能够得到有效的改造。对天然裂缝发育的低渗透油藏使用体积压裂技术,用多段压裂形成复杂的裂缝网络来扩大储层改造范围,提高储量动用程度。

3.2 人工举升技术

低渗透油藏天然能量小,油井投产后容易出现产量下降、液面下降等现象,必须采用人工举升技术来弥补举升能量的不足,保证油井的稳定生产。目前,低渗透油藏主要的人工举升技术有抽油机举升、电潜泵举升、螺杆泵举升三种,应根据油井产量、液面深度、原油性质等参数选用合适的举升方式。

3.2.1 抽油机举升技术

抽油机举升技术结构简单、操作方便、成本低,适合于中低产、液面深的低渗透油藏。根据低渗透油藏产量低、动液面深的特点,对抽油机参数进行优化,改变冲程、冲次,提高举升效率,减少能耗。对于产量小、液面深的低渗透油藏,使用长冲程、低冲次的抽油机参数来降低举升过程中泄漏量,提高举升效率。

3.2.2 电潜泵举升技术

电潜泵举升技术举升能力大、排量大、效率高,适合于高产、深液面低渗透油藏,能有效解决低渗透油藏后期举升难的问题。电潜泵举升应根据油井产量、液面深度来选择电潜泵型号和功率,优化下入深度,保证举升稳定。另外加强对电潜泵运行状态的检测,及时处理故障,以达到延长电潜泵使用寿命的目的。

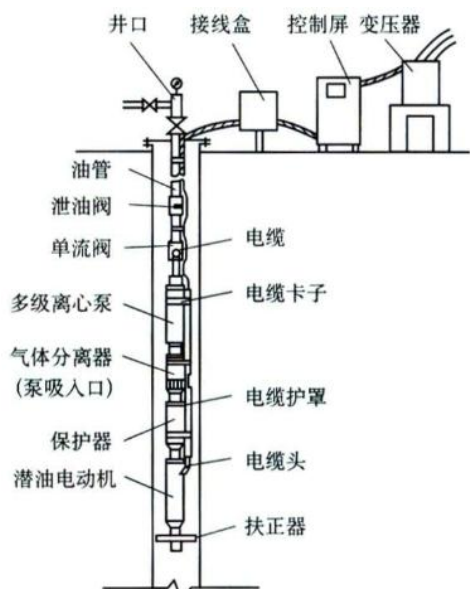


图1 电潜泵组成

3.2.3 螺杆泵举升技术

螺杆泵举升技术有抗砂强、耗能小、操作简单等优点，适合于含砂量高、产量低的低渗透油藏。螺杆泵举升是依靠螺杆和衬套的啮合作用把原油举升到地面，可以有效地防止砂卡、气锁等现象的发生，保证举升的稳定性。根据低渗透油藏原油粘度大的特点，在螺杆泵举升系统里加装伴热装置，降低原油粘度，提高举升效率。苏里格气田在低渗透气藏开发过程中，采用泡排+注塞+智能间开的排水采气工艺，措施有效率达到95%，连续六年增产超过5亿方，给低渗透油气藏人工举升提供参考。

3.3 复合增产技术

3.3.1 压裂-酸化复合技术

将压裂和酸化结合起来，先用压裂形成人工裂缝，然后用酸化溶解裂缝壁面的堵塞物和岩石矿物，扩大裂缝宽度，提高裂缝导流能力，从而改善储层渗透性，适合于储层致密、有堵

塞的低渗透油藏。该技术可以较好地克服单次压裂或酸化的压力不能满足需要的难题，大大改善增产水平。

3.3.2 压裂-人工举升复合技术

经由压裂改善储层的渗透性，提升原油的流动速度，接着借助人工举升技术给储层补给举升能量，保证原油可以顺利举升到地面，达成产量的提升并保持稳定。适用于压裂后产量下降快、举升困难的低渗透油藏，可延长压裂有效期，提高开发效益。

3.3.3 驱替-增产复合技术

把驱替优化和增产改造结合起来，利用驱替优化增大波及范围、提高驱油效率，利用储层增产改造改善局部储层渗透性，使驱替介质得以推进，达到储量高效动用的目的。在高压压裂的基础上，对低渗透富集区进行有针对性的压裂改造，沟通储层孔隙和裂缝，提高驱替效果，达到协同增产的目的。胜利油田推行的“压驱+”复合技术，利用调驱、注二氧化碳等方式大幅度提高采收率，使压驱开发更加均衡、持久。

4 结论

低渗透油藏地质条件复杂，储层物性差、渗流阻力大、天然能量不足、非均质性强，造成开发过程中驱替效率低、增产难、开发成本高、动态调节难等问题，限制了油气资源的高效动用。经过系统研究低渗透油藏驱替优化和增产开发技术，

驱替优化要从注采系统、驱替介质、工艺参数三方面同时入手，优化井网布置和注采方式，选用合适的驱替介质，准确调节驱替参数，可以扩大波及范围、提高驱油效率，解决注不进、采不出、水窜等难题，为增产开发打下基础。高压压驱注水、分层注采、复合驱等技术的使用可以提高低渗透油藏的驱替效果。根据低渗透油藏的地质特点，因地制宜地提出驱替优化和增产开发的技术方案，加强现场动态监测和参数调整，可以很好地解决开发中的难点问题，提高开发效果和采收率。胜利油田渤南五区现场应用案例证明，该技术是可行、有效的，给低渗透油藏的开发给予实际的参照。

参考文献:

- [1] 王琳.低渗透油藏 CO₂ 驱技术瓶颈待破——最小混相压力确定方法的适用性困境与优化路径[J].中国石油和化工,2026,(04): 51-53.
- [2] 尤静.低渗透致密油藏 CO₂ 驱油与封存技术研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(03):340-342.
- [3] 李佳璐,刘云龙,闫宁,等.低渗透油藏微乳液体系的储层适应性及驱油潜力评价[J].油田化学,2026,43(01):115-124.
- [4] 白佳佳,黄葛斌,刘东晨,等.低渗透-特低渗透油藏注水提高采收率技术现状与展望[J/OL].油气地质与采收率,1-16[2026-04-30].
- [5] 赵刚.注水采油技术在超低渗透油藏开发中的应用难点与解决方案[J].聚酯工业,2026,39(02):76-78.