

稠油热采技术的改进与创新

李彦奇 张凌峰 周 兴 韩同晖

中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300459

摘要: 随着稠油资源开采的重要性日益凸显,稠油热采技术的改进与创新迫在眉睫。在技术改进上,精准调控注汽参数可优化热采效果;提升井筒隔热性能能减少热量损失;优化热采工艺流程可提高开采效率;增强配套设备可靠性保障生产稳定。在技术创新方面,纳米材料热采应用、智能热采系统构建、新型热采方法探索以及稠油改质技术革新,为稠油热采注入新动力,有助于突破传统技术瓶颈,实现稠油资源高效、绿色、经济的开发利用。

关键词: 稠油;热采技术;改进;创新

引言:在全球能源需求持续增长的背景下,稠油作为重要的非常规石油资源,其高效开发具有重大战略意义。然而,稠油高粘度、高密度的特性使得常规开采方法难以实现经济有效的采收。传统稠油热采技术虽在一定程度上解决了部分开采难题,但随着开采深入,面临着效率降低、成本上升等一系列问题。因此,探索稠油热采技术的改进与创新路径,提高稠油开采效率和采收率,降低开采成本,减少环境影响,成为当前石油工业亟待解决的关键问题。

1 稠油热采技术基础

稠油是一种重要的非常规石油资源,其高粘度、高密度的特性使得常规开采方法难以奏效,热采技术应运而生并成为主要开采手段。稠油中胶质和沥青质含量高,轻质馏分少,这导致其粘度大、流动性差。同时,稠油的粘度对温度极为敏感,温度升高时粘度会急剧下降,这为热采技术提供了理论依据。根据我国石油行业标准,稠油可分为普通稠油、特稠油和超稠油,不同类型的稠油在热采技术的选择和应用上有所差异。常见的稠油热采技术主要有蒸汽吞吐、蒸汽驱、蒸汽辅助重力泄油和火烧油层。蒸汽吞吐是我国目前主要的稠油热采方法,它先将高温高压蒸汽注入油层,焖井数天使油层原油加热,再开井回采。该方法相对简单成熟,能有效降低近井地带原油粘度,但随着吞吐轮次增加,采油效果会逐渐变差。蒸汽驱是将蒸汽注入井中,把地下稠油加热降粘后驱向生产井采出,一定程度上克服了蒸汽吞吐加热半径有限的弱点,是蒸汽吞吐后提高采收率的有效方法,但对油井间距和油藏埋深有一定要求。蒸汽辅助重力泄油(SAGD)是在油层中布置注汽井和生产井,注入的高温蒸汽使油层上部原油粘度降低,靠重力使原油和热水排泄到生产井^[1]。它适合于深层块状油藏,采收率较高。火烧油层则是利用点火方式点燃注气井油层,

注入空气助燃形成移动燃烧前缘,将原油驱向生产井。该技术能源利用率高、最终采收率也高,但不易控制地下燃烧,成本昂贵。

2 稠油热采技术改进

2.1 注汽参数精准调控

注汽参数精准调控是提升稠油热采效果的关键环节,能够优化热采过程,提高原油采收率。(1)注汽强度优化:注汽强度即单位油层厚度的周期注汽量,要依据实际地层孔隙体积和上覆地层压力确定合理注汽强度。注汽量太小,周期累积产油量低;注入量过高,会使油井停产作业时间延长,可能造成地层中原油被推向远离井底的地方,导致油气比下降。一般直井合理注汽强度为180-200吨/米,水平井注汽强度为15-18吨/米。(2)注汽速度控制:蒸汽注入速度是影响加热半径扩展的首要因素。在保证井底蒸汽干度的前提下,不宜采用高速注汽。根据模拟结果和现场试验确定最佳注汽速度,避免注汽速度过慢导致热损失过大,影响井底干度。(3)蒸汽干度保证:相同注汽量下,蒸汽干度越高,加热半径越大,效果越好。要求200m井段水平井的井底干度不低于30%,直井井底干度40%,井口注汽干度不低于70%,以取得较好的吞吐效果。(4)注汽压力调整:压力过高会使注汽速度过慢、热损失过大,还容易破坏防砂形成砂墙造成出砂。数模优化表明,直井最优注汽压力应控制在14-20MPa。(5)焖井时间确定:对于稠油油藏,注汽条件一定时,随着焖井时间延长,产油量明显降低,需根据油藏情况确定合理焖井时间。

2.2 井筒隔热性能提升

井筒隔热性能的提升对于减少稠油热采过程中的热量损失、保证井底蒸汽干度至关重要,是提高稠油热采效率的重要手段。(1)隔热管改进:目前常用的双层预应力隔热管,虽隔层充惰性气体,但节箍处无隔热措

施,且长期使用会使隔热效果变差。可挑出损坏的隔热管,在接箍处加装密封圈、安装隔热套、涂抹丝扣油等,防止管柱漏失,减少热损失。(2)封隔器优化:封隔器密封前蒸汽会使油套环形空间液体举升,密封后液体无法排出,隔热管柱加热液体形成对流换热消耗热能。可将封隔器设计成带有单流阀的装置,注汽时用注氮车将套管环形空间液体挤入油层,消除套管环空液体,降低井筒热损失。(3)伸缩补偿器改良:现有伸缩补偿器无保温层、不具备隔热性能,热损失大。经现场试验,多数井伸缩管伸长量不大,在统注井可采用FO型封隔器取消伸缩补偿器,若因侧钻井和分层注汽井需使用,应缩短其长度。(4)新型隔热材料应用:研发和使用具有更高隔热性能的新型材料,包裹在井筒外部或制成隔热部件,增强井筒整体隔热能力。(5)井筒结构优化:合理设计井筒的管径、壁厚等结构参数,减少热量传递面积和热传导路径,降低热量散失。

2.3 热采工艺流程优化

热采工艺流程优化是提高稠油热采效率和经济效益的关键举措,通过对各个环节的精细调整,能显著提升开采效果。在注汽阶段,采用高效的蒸汽发生设备,提高蒸汽质量和产量。优化注汽管网布局,减少蒸汽输送过程中的热量损失和压力降。同时,根据油藏特性和开采阶段,精准控制注汽参数,如注汽速度、注汽量和蒸汽干度,确保蒸汽均匀有效地加热油层。采油环节,选用合适的举升设备,如螺杆泵、电潜泵等,提高原油举升效率。加强对油井的监测和管理,及时调整工作制度,避免出现供液不足或泵效低下的情况^[2]。此外,采用多井联采等方式,集中处理产出液,降低生产成本。集输过程中,对产出的原油进行预处理,去除杂质和水分,提高原油品质。优化集输管道的保温措施,减少原油在输送过程中的粘度回升。同时,合理规划集输路线,降低输送压力和能耗。在整个热采工艺流程中,引入智能化管理系统,实现对各个环节的实时监控和自动化控制。通过数据分析和优化算法,及时调整工艺参数,提高生产效率和决策的科学性。

2.4 配套设备可靠性增强

在稠油热采中,配套设备可靠性增强是保障生产顺利进行、提高开采效率的关键。在注汽锅炉方面,要定期对其进行全面维护,检查燃烧器、水泵、阀门等关键部件的磨损情况,及时更换损坏的零件。采用先进的自动化控制系统,实时监测锅炉的运行参数,如温度、压力、水位等,确保锅炉在安全稳定的状态下运行。同时,对锅炉的水质进行严格处理,防止结垢影响热传递

效率和设备寿命。抽油机是采油的重要设备,要优化其平衡调节装置,减少能耗和设备的振动。加强对抽油机的润滑管理,定期添加和更换润滑油,保证各运动部件的良好运转。安装故障预警系统,当出现异常振动、电流变化等情况时及时发出警报,便于及时维修。对于管道系统,要选用高质量的管材,提高其抗腐蚀和耐高温性能。

3 稠油热采技术创新

3.1 纳米材料热采应用

纳米材料在稠油热采中的应用为提高开采效率和采收率提供了新的途径,展现出独特的优势和潜力。(1)纳米催化剂:纳米催化剂能降低稠油热裂解反应的活化能,加速裂解反应进行。在高温蒸汽注入过程中,纳米催化剂可使稠油中的重质组分裂解为轻质组分,降低原油粘度,提高原油流动性。例如,纳米铁基催化剂能有效促进稠油中沥青质的裂解。(2)纳米流体:纳米流体具有良好的热传导性能,将纳米颗粒分散在基液中形成纳米流体注入油层,可提高热传递效率,使热量更均匀地分布在油层中,增强蒸汽的加热效果,从而更好地降低稠油粘度。(3)纳米封堵材料:纳米封堵材料粒径小、比表面积大,能有效封堵油层中的高渗透通道,改善油层的非均质性。注入纳米封堵材料后,可使蒸汽转向低渗透区域,扩大蒸汽波及范围,提高原油采收率。(4)纳米降粘剂:纳米降粘剂通过改变稠油的分子结构和表面性质来降低粘度。纳米颗粒可以吸附在稠油分子表面,减弱分子间的相互作用力,使稠油流动性增强。(5)纳米驱油剂:纳米驱油剂能降低油水界面的表面张力,提高洗油效率。它可以进入油藏的微小孔隙中,将残余油驱替出来,从而提高原油的采收率。

3.2 智能热采系统构建

智能热采系统构建是稠油热采技术创新的重要方向,能显著提升开采效率与管理水平。在油井、注汽设备等关键位置安装大量传感器,实时收集温度、压力、流量、油藏饱和度等数据。这些数据通过无线通信技术准确、快速地传输至监控中心,为后续分析提供依据。运用大数据分析、人工智能等技术,对采集的数据进行深度挖掘和分析。建立精准的油藏数值模拟模型和生产预测模型,根据不同油藏条件和生产阶段,自动生成最优的注汽方案、采油参数等决策,降低人为决策的主观性和误差^[3]。依据智能决策模型给出的指令,对注汽设备、抽油机等生产设备进行自动化控制。实现注汽量、注汽速度、采油速度等参数的自动调节,确保生产过程严格按照最优方案执行,提高生产效率和稳定性。通过

互联网技术,实现对稠油热采现场的远程实时监控。管理人员可以随时随地掌握生产动态,及时处理突发情况。同时,不同部门和岗位之间可以实现信息共享和协同工作,提高管理效率。

3.3 新型热采方法探索

随着稠油开采需求的不断增长,探索新型热采方法成为提升开采效率和效益的关键,为稠油资源的有效开发开辟新路径。(1)微波加热采油法:利用微波的热效应,使稠油分子快速振动产生热量,降低其粘度。该方法具有选择性加热、加热速度快等特点,能有效减少热损失,提高加热效率,尤其适用于深层稠油开采。(2)太阳能辅助热采法:将太阳能转化为热能,为稠油热采提供部分能量。太阳能是清洁能源,可减少了对传统化石能源的依赖,降低开采成本和环境污染,在光照充足地区有广阔应用前景。(3)化学热反应采油法:通过注入特定化学药剂,在油层中发生放热反应产生热量。这种方法能在油层内部直接加热原油,提高加热的针对性和有效性,还可改善油层的物理化学性质,提高原油采收率。(4)电磁加热采油法:借助电磁感应原理产生热量,对稠油进行加热。它能精确控制加热位置和温度,减少对周围环境的影响,提高能源利用效率,是一种具有潜力的新型热采技术。(5)微生物热采法:利用微生物的代谢活动产生热量和生物表面活性剂等物质。微生物在油层中生长繁殖,降低原油粘度,改善油水流动度比,从而提高原油的流动性和采收率。

3.4 稠油改质技术革新

稠油改质技术革新是提升稠油品质和开采效益的关键所在,一系列创新手段正不断涌现。在高温高压以及催化剂的作用下,向稠油中注入氢气,使稠油里的大分子烃类发生裂化和加氢反应,转化为小分子的轻质烃

类,从而降低稠油的密度和粘度,提高其品质和流动性。利用催化剂加速稠油的裂化反应,将重质组分转化为轻质组分^[4]。新型高效催化剂的研发,能显著提高裂化反应的选择性和效率,增加轻质油的收率。通过加热使稠油发生热分解反应,将重质成分分解为轻质成分。优化热解工艺条件,如温度、时间、压力等,能有效控制热解产物的分布,提高改质效果。生物改质是一种绿色环保的革新方式,利用微生物的代谢作用,对稠油中的重质成分进行降解和转化。筛选和培育高效的微生物菌株,可提高生物改质的效率和针对性。

结语

未来,稠油热采技术发展需持续加大研发投入,深入挖掘新技术、新方法,加强不同技术的融合应用。一方面,不断探索纳米材料、智能系统等前沿科技在热采中的应用潜力,让各技术优势互补,提升开采效率与质量。另一方面,要重视技术与环保、经济的协调发展。在追求高效开采时,注重减少对环境的影响,降低能耗与污染物排放;同时,控制成本,提高经济效益。如此,方能实现稠油资源的高效、绿色、可持续开发,为全球能源产业的稳定发展注入强劲动力。

参考文献

- [1]甘衫衫,赵睿,杨果,等.稠油热采主体技术进展及创新发展策略[J].大庆石油地质与开发,2025,44(4):156-163.
- [2]王渊,胡绍彬,高铭宣,等.稠油多元热流体开采技术研究现状与展望[J].中国海上油气,2025,37(5):112-121.
- [3]葛树彬.稠油热采隔热油管技术适应性探讨[J].中国设备工程,2025(12):215-217.
- [4]张伟.海上稠油热采工艺技术创新与应用[J].中国海上油气,2025,37(3):167-176.