

# 稠油采油技术中人工举升方法的研究与改进

单德志

曙光采油厂采油管理科

DOI: 10.12238/jpm.v5i8.7135

**[摘要]** 高粘稠油是一种流动性差、黏度高的石油资源，其开发和生产面临诸多挑战。本文探讨了高粘稠油采油技术中的几种主要人工举升方法，包括电潜泵举升技术（ESP）、螺杆泵举升技术（PCP）和蒸汽辅助重力泄油技术（SAGD），并详细分析了这些技术的优缺点并提出了相应的改进建议。

**[关键词]** 高粘稠油；人工举升技术；电潜泵举升技术；螺杆泵举升技术；蒸汽辅助重力泄油技术

## Research and improvement of artificial lifting method in heavy oil recovery technology

Shan Dezhi

Oil Production Management Department of Shuguang Oil Production Plant

**[Abstract]** High viscous oil is an oil resource with poor fluidity and high viscosity, and its development and production face many challenges. This paper discusses several main artificial lifting methods in high thick oil production technology, including electric submersible pump lifting (ESP), screw pump lifting (PCP) and steam assisted gravity oil relief (SAGD), and analyzes the advantages and disadvantages in detail and puts forward corresponding improvement suggestions.

**[Key words]** high viscous oil; manual lifting technology; electric submersible pump lifting technology; screw pump lifting technology; steam-assisted gravity oil discharge technology

### 引言

高粘稠油是一种流动性差、黏度高的石油资源，其开发和生产面临诸多挑战。随着全球能源需求的不断增长，高粘稠油资源的开发变得愈发重要<sup>[1]</sup>。然而，由于高粘稠油的特殊物性，传统的采油方法难以有效应用，必须依赖特殊的人工举升技术来实现高效开采。因此，本文计划探讨高粘稠油采油技术中的人工举升方法，分析现有技术的优缺点，并提出改进建议，以期高粘稠油资源的高效开发提供一些有价值的学术建议。

### 1. 高粘稠油人工举升技术概述

高粘稠油的人工举升技术主要包括电潜泵举升（ESP）、螺杆泵举升（PCP）和蒸汽辅助重力泄油（SAGD）等方法。这些技术在实际应用中各有优缺点，需要根据具体地质条件和油井状况选择合适的举升方式。

#### 1.1 电潜泵举升技术（ESP）

电潜泵举升技术是利用电机驱动离心泵，将地层中的高粘稠油提升到地面<sup>[2]</sup>。ESP系统主要由地面电控设备、电缆、电机和泵组成。其优点在于适用于高产量油井，能够在较深的井中使用，且维护方便。然而，ESP对高粘度油的实际处理效果相当有限，而且在含沙量较高的地层中还特别容易磨损，影响其使用寿命。

#### 1.2 螺杆泵举升技术（PCP）

螺杆泵举升技术通过螺杆泵的旋转将油提升到地面。PCP系统主要由地面驱动设备、驱动杆、螺杆泵和油管组成。PCP

主要适用于高粘度、高含水和高含沙油井，其具有较强的抗磨损能力和较高的可靠性。然而，PCP的提升深度和产量也是相对有限，对于超深井和超高产油井的应用效果暂时不佳。

#### 1.3 蒸汽辅助重力泄油技术（SAGD）

SAGD技术则主要是通过注入蒸汽降低油层粘度，利用重力作用将油引导至生产井，再进行人工举升<sup>[3]</sup>。SAGD适用于超稠油和油砂的开采，其具有显著的降粘效果和较高的采收率。然而，SAGD对蒸汽注入系统的要求较高，初期投资较大，且需进行长期的热管理，运营成本较高。

### 2. 现有技术的优缺点分析

#### 2.1 电潜泵举升技术的优缺点

电潜泵举升技术（ESP）在高产量油井中的表现尤为出色。由于其系统设计包括了高效的电机驱动和离心泵，ESP能够处理大量液体，并且在较深的井中也能发挥作用。此外，地面电控设备的操作和维护较为便捷，使得ESP在实际应用中具备很好的管理优势。ESP系统在运行过程中，可以通过地面电控设备实时监测泵的运行状态，及时进行调整和维护，确保系统的稳定性和高效性。这种实时监控能力对于高产量油井的管理尤为重要，可以显著减少因设备故障导致的停机时间，提高整体生产效率。

不过，尽管ESP适用于高产量油井，但其在面对高粘度油时却显得有些力不从心。由于高粘度油的流动性相对较差，就会使得ESP的处理效果大打折扣。而且，在含沙量较高的地层

中，泵体磨损问题尤为严重，频繁的维修和更换设备不仅增加了运营成本，还影响了设备的使用寿命和稳定性。此外，ESP系统的能耗较高，特别是在处理高粘度油时，能耗问题更加突出，这使得ESP的运营成本进一步增加。为了克服这些问题，需要对ESP系统进行改进，如采用耐磨材料和优化泵设计，以提高其在高粘度油井中的适应性。

### 2.2 螺杆泵举升技术的优缺点

螺杆泵举升技术（PCP）在处理高粘度、高含水和高含沙油井方面具有明显优势。其系统结构相对简单，主要由地面驱动设备、驱动杆、螺杆泵和油管组成，因此操作和维护较为方便。此外，PCP的能耗较低，长时间运行成本较为经济，是中小型油井的理想选择。PCP系统的抗磨损能力较强，即使在含沙量较高的油井中，也能稳定运行，减少了频繁更换设备的需要。同时，PCP的结构设计使其在高含水油井中的适应性较好，能够有效防止水淹问题，提高油井的产量和效率。

然而，PCP的提升深度和产量有限，对于超深井和超高产油井的效果不佳。螺杆和驱动杆的材料选择要求较高，需定期更换，这也在一定程度上增加了该项技术的维护成本。在高温和高压环境中，PCP易出现密封失效问题，导致设备运行不稳定，这就进一步限制了其在复杂地质条件下的应用。此外，PCP系统在处理高粘度油时，虽然具有一定的优势，但其提升能力仍然受到限制。在面对超高粘度油时，PCP的效率会显著下降，需要采取额外的措施来提高其处理能力，如优化螺杆泵的设计或使用更高性能的材料等。

### 2.3 蒸汽辅助重力泄油技术的优缺点

蒸汽辅助重力泄油技术（SAGD）在超稠油和油砂开采方面效果显著。通过注入蒸汽降低油层粘度，SAGD能够有效提高油田的采收率，其降粘效果非常突出。相比其他技术，SAGD对地层条件的要求较低，适用范围广，是开发复杂油藏的有力工具。SAGD技术的显著优势还在于其能够大幅度提高超稠油的采收率，使得原本难以开采的资源得以高效利用。同时，SAGD技术的成熟应用，使得蒸汽注入过程可以得到精细控制，从而实现最佳的开采效果，可以最大限度地减少资源浪费。

尽管SAGD技术效果显著，但其初期投资较大，需要建设完善的蒸汽注入系统。此外，SAGD运行过程中需进行长期的热管理，运营成本较高。在高含水油层中，易产生蒸汽窜流，影响采收效果，这对技术和管理水平提出了更高的要求。SAGD系统对设备和操作人员的技术要求较高，需定期进行设备检修和操作人员培训，才能确保系统的稳定运行。同时，SAGD技术在运行过程中会消耗大量的能源，特别是蒸汽的生成和注入过程，能耗问题不容忽视。为了解决这些问题，需要对SAGD系统进行优化，如采用更高效的蒸汽注入技术和热管理策略，从而降低能耗和运营成本，提高系统的整体经济性。

## 3. 人工举升技术的改进建议

### 3.1 提高电潜泵举升技术的适应性

为了提高ESP在高粘度油井中的适应性，确保其在复杂井下环境中的稳定运行，首先，需要优化泵设计，采用耐磨材料和特殊设计的泵叶轮，增强对高粘度和高含沙油液的处理能

力。具体实施过程中，可以通过改善泵的流体动力学设计来减少能耗并提高泵的效率，比如调整叶轮的曲率和流道设计，以减少流动阻力。此外，在泵叶轮的材料选择上，应优先考虑耐磨性强、抗腐蚀能力好的材料，比如陶瓷涂层或硬质合金材料，利用这些高性能材料来充分延长泵的使用寿命。其次，为了提高电机性能，最好使用高效电机，以降低能耗并提高系统整体效率。同时，可以增加电机的功率密度和耐高温能力，适应更恶劣的井下环境，比如采用永磁同步电机，提高运行稳定性。使用变频驱动技术也是一个有效的方法，通过变频调速，可以根据井下实时工况动态调整泵的运行模式，尽量减少无效功率输出，提高能源利用效率。最后，也可以引入智能监测与控制系统，利用传感器和数据采集装置，通过实时监测泵的运行状态，优化运行参数，不断调整泵的工作模式，从而延长设备寿命。智能监测系统需要集成先进的数据分析技术，如机器学习算法，预测设备故障，并进行预防性维护。在实施过程中，需要确保数据采集的准确性和及时性，并结合自适应控制算法，比如模糊控制或神经网络控制，根据井下实时数据动态调整泵的运行模式，提高系统的稳定性和适应性。

### 3.2 增强螺杆泵举升技术的可靠性

为了增强PCP在高粘稠油井中的可靠性，确保其在长期运行中的稳定性和耐用性，首先，需要改进材料选择，采用高强度、耐腐蚀和耐高温材料，提高螺杆和驱动杆的使用寿命。具体实施过程中，可以引入先进的表面处理技术，如纳米涂层和激光硬化技术，以增强材料的耐磨性能和抗腐蚀能力，延长设备的使用寿命。例如，可以使用高硬度合金钢或复合材料，增强螺杆和驱动杆的耐用性。其次，为了提高密封效果，优化密封结构，采用多级密封和自适应密封技术，增强在高温高压环境下的密封效果，防止密封失效。这可以通过改进密封件的材料和结构设计来实现，比如使用高性能橡胶或聚合物材料，以提高密封的弹性和耐久性。此外，智能化运维也是提高可靠性的关键，通过引入智能化运维系统，实时监测螺杆泵的运行状态，进行预防性维护，减少停机时间。智能化运维系统应具备远程诊断和自动化维护功能，降低人工维护成本和风险。系统可以通过传感器实时采集螺杆泵的运行数据，利用大数据分析和预测模型，及时发现潜在问题，并采取预防措施。在实施过程中，需要建立完善的监测和维护流程，确保系统的高效运行。同时，可以通过优化螺杆泵的几何参数和传动机制，提高其在高粘度油井中的提升效率和稳定性。应用高效的冷却和润滑系统，可以进一步提高设备的运行稳定性和寿命。

### 3.3 提高蒸汽辅助重力泄油技术的经济性

为了提高SAGD的经济性和适用性，确保其在实际应用中的高效运行，首先，需要优化蒸汽注入系统，采用先进的蒸汽注入技术，提高蒸汽利用率，减少能源消耗。具体实施中，可以通过精确控制蒸汽注入量和注入位置，优化蒸汽的分布和利用，最大限度地提高采油效率。例如，利用分布式控制系统（DCS）和先进的注汽优化算法，可以实时调整蒸汽注入参数，提高系统的响应速度和精度。其次，精细化热管理，通过精细

下转第 251 页

维指标、故障指标等;行为分析,货物运行轨迹分析、人员定位分析、铁路运输时间分析等;提前预警,车流积压预警、密集到达预警、铁路风险预警等;趋势分析,折返时间趋势、大站中停时趋势、运量变化趋势;结构分析,保留车分布、空重车分析;决策优化,技术作业站选择、整备地点选择<sup>[4]</sup>。

(4) 数据服务:数据查询,货物运费查询、货物物流跟踪查询、货物车站与车次等;算法模型,云盘古 CV 大模型、Dijkstra、Floyd 算法、遗传算法和模拟退火算法等;报表生成与可视化。

(5) 数据处理加工:批式大数据计算,以亿为级别的数据计算,适用于大型、海量数据处理;实时流式大数据处理,用于对遍布运输各环节的列车设备、车站设备、铁路运输业务系统的数据处理;其他,如仓库数据、ETL(数据仓库)等。

#### 上接第 248 页

化热管理,优化蒸汽注入和生产过程,降低运营成本。这需要引入先进的热模拟和优化算法,动态调整注汽参数,以提高热效率和采油率。在实际应用中,可以使用热成像技术和分布式温度传感器(DTS)监测井下温度分布,实时调整蒸汽注入策略,确保均匀加热和高效采油。最后,综合利用副产物,开发副产物综合利用技术,将生产过程中的副产物进行再利用,提高整体经济效益。例如,可以利用废热进行发电或供暖,减少能源浪费和环境影响。在具体实施过程中,需要与其他产业合作,建立副产物利用的产业链,实现资源的综合利用和经济效益的最大化。此外,还可以采用混合注汽技术,如蒸汽与溶剂共注技术,提高降粘效果和采收率,同时减少蒸汽消耗和温室气体排放。在 SAGD 系统中应用先进的自动化和智能化控制技术,以提高系统的运行效率和经济效益,确保长期稳定和高效的生产。通过这些措施,可以显著提高 SAGD 技术的经济性和适用性,为高粘稠油的高效开发提供有力支持。

#### 结语:

综上所述,文章就大数据技术在铁路运输统计中的运用展开了综合论述与分析,以上提出的运用方法在落实中具备较大可行性,但需关注的是,不同地区的铁路运输情况差异较大,需结合实际调整大数据技术应用方法,增强铁路运输统计效能。

#### [参考文献]

- [1]钟福初,俞为民,龚凯,等.基于企业自备箱运输大数据的铁路运输综合管理系统[J].通讯世界,2022(5):178-180.
- [2]李新琴,史天运,代明睿,等.铁路运输安全非结构化数据分析与技术架构研究[J].铁道运输与经济,2022(1):67-72.
- [3]宋宗莹,王文斌,刘子扬,等.重载铁路运输大数据分析平台架构设计研究[J].铁路通信信号工程技术,2023(11):44-49.
- [4]陈亚茹,洪鑫,张红斌.铁路运输调度领域数据分级及保护策略研究[J].铁道运输与经济,2024(2):134-141.

#### 4. 结论

高粘稠油采油技术中的人工举升方法在油田开发中扮演着重要角色。电潜泵、螺杆泵和蒸汽辅助重力泄油技术各有优缺点,需要根据具体的地质条件和油井状况选择合适的举升方式。通过优化泵设计、提高电机性能、改进材料选择和优化密封结构等措施,可以进一步提高人工举升技术的适应性和可靠性。与此同时,采用先进的蒸汽注入技术和精细化热管理策略,可以显著提高蒸汽辅助重力泄油技术的经济性,为全球能源供应提供更为有力的技术保障。

#### [参考文献]

- [1]朱海玲.油田采油的人工举升[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(22):115-116+118.
- [2]刘合,刘伟,卢秋羽,王素玲.深井采油技术研究现状及发展趋势[J].东北石油大学学报,2020,44(04):1-6+29+149.
- [3]郭浩.采油技术在油田开发生产中的运用分析[J].化学工程与装备,2020,(07):62-63.