

现代化工

稠油开采中高效举升系统的设计与优化研究

曾志强

辽河油田公司曙光采油厂

DOI: 10.12238/jpm.v5i8.7113

[摘要] 稠油作为一种高粘度、高含蜡的原油类型,其开采过程面临着诸多技术挑战。高效举升系统是稠油开采中的关键环节,会直接影响油田的产量和经济效益。本研究深入探讨了稠油开采中高效举升系统的设计要点及设计难点,并针对难点提出了应用新材料和新工艺、优化举升工艺参数、开发智能化举升系统、加强管柱防结蜡和防腐蚀措施等优化对策。

[关键词] 稠油开采; 高效举升系统; 举升设备

Study on the design and optimization of high-efficiency lifting system in heavy oil exploitation

Zeng Zhiqiang

Shuguang Oil Production Plant of Liaohe Oilfield Company

[Abstract] As a type of crude oil with high viscosity and high wax content, heavy oil faces many technical challenges in its exploitation process. Efficient lifting system is a key link in heavy oil exploitation, which will directly affect the production and economic benefit of the oil field. In this study, the design points and difficulties of efficient lifting system in heavy oil exploitation are discussed in depth, and the optimization countermeasures of applying new materials and new processes, optimizing lifting process parameters, developing intelligent lifting system, strengthening wax mixing and anti-corrosion prevention measures are proposed.

[Key words] heavy oil extraction; high efficiency lifting system; lifting equipment

引言

稠油作为一种高粘度、高含蜡的原油类型,其开采过程面临着许多技术挑战。高效举升系统是稠油开采中的关键环节之一,直接影响到油田的产量和经济效益^[1]。本文将重点分析稠油开采中高效举升系统的设计要点、设计难点以及优化对策,以期对相关工程技术人员提供有价值的学术参考建议。

1 高效举升系统的设计要点

1.1 举升方式的选择

稠油的高粘度和低流动性使得常规的举升方式难以满足生产要求。常用的举升方式包括机械采油、气举采油和热采油等。设计中需要根据油藏特性、生产需求及经济性等因素选择合适的举升方式^[2]。例如,机械采油适用于产量较低、井深较浅的油藏,因其操作简单、维护方便,但在处理高粘度稠油时效率较低;气举采油则通过向井筒中注入高压气体,降低流体密度,从而适用于产量较高、井深较大的油藏,但其设备成本较高,操作复杂;热采油利用蒸汽、热水或其他加热介质提高稠油流动性,适用于含蜡较高、粘度较大的稠油,但需考虑热能的有效利用及热损失的控制。不同举升方式各有优劣,设计时需综合考虑油藏地质条件、油井产量、经济效益等因素,选择最适宜的举升方式,尽量兼顾系统的高效性和经济性。

1.2 举升设备的选型

举升设备的选型会直接影响到举升系统的效率和稳定性。

稠油开采中常用的举升设备包括螺杆泵、电潜泵和杆式泵等。螺杆泵由于其结构简单、运转平稳、抗气锁能力强,适用于高粘度稠油的举升,并且对砂含量较高的稠油也具有较好的处理能力;电潜泵适合深井和高产量油井,其能够在较大扬程范围内保持高效运行,但对井下电气设备的可靠性要求较高;杆式泵适用于浅井和低产量油井,其维护简单、成本较低,但在深井和高粘度稠油中效率较低。设计时需综合考虑油井条件、生产参数、设备性能及经济性,选择合适的举升设备,确保系统在各种工况下都可以高效稳定运行。

1.3 管柱设计

管柱设计是举升系统设计的核心环节之一。管柱的合理设计可以有效降低举升过程中的能量损失,提高系统的举升效率^[3]。设计时要充分考虑管柱的材质、壁厚、直径和长度等因素,并进行强度计算和应力分析,才能确保管柱的强度和稳定性。例如,采用高强度合金材料制成的管柱,就可以提高其耐压能力和抗腐蚀性能;合理选择管柱的壁厚和直径,则可以在保证强度的前提下,尽量减少流动阻力,从而提高举升效率。此外,还需考虑防腐蚀和防结蜡措施,如在管柱内壁涂覆防腐涂层或采用加热装置防止结蜡,从而延长管柱的使用寿命,确保系统的长期稳定运行。

1.4 举升工艺参数优化

举升工艺参数的优化工作也是实现高效举升的关键举措

之一。主要就包括了泵的排量、泵的转速、井口压力和油层压力等重要参数的优化过程。设计时需通过实验和数值模拟，确定最佳的举升工艺参数组合，才能实现最优的举升效率和最低的能耗水平。例如，通过实验来确定泵的最佳排量和转速，按照实验数据进行优化参数就可以确保在不同油层压力下都可以高效举升稠油；通过数值模拟优化井口压力，就可以确保在不同生产阶段能够保持稳定的举升效率。此外，还可以根据现场工况实时调整工艺参数，从而应对油井压力变化和产量波动，确保举升系统的高效稳定运行。

2 设计难点

2.1 高粘度流体举升

稠油的高粘度和低流动性显著增加了举升过程中的阻力和能量损失，这一特性对高效举升系统的设计提出了严峻挑战。首先，高粘度流体在管柱内的流动会产生极大的摩擦阻力。流体粘度越高，摩擦力越大，导致举升所需的能量成倍增加。在实际操作中，稠油的粘度可以高达几千至上万厘泊，相比于普通原油的几十至几百厘泊，增加了一个数量级的挑战。这意味着在举升稠油时，需要更高的泵压和能量投入才能实现相同的举升效果。其次，温度对稠油的流动性有显著影响。在低温环境下，稠油的粘度会进一步升高，流动性降低。例如，在冬季或深井作业中，油井温度可能降至零下，这不仅会导致稠油变得更加黏稠，还可能形成固态或半固态的稠油，增加了举升过程中的难度和不确定性。在这种情况下，传统的举升方法和设备往往难以胜任，系统设计就需要着重考虑如何在低温条件下保持稠油的流动性。此外，稠油的流动性差异在不同深度和压力条件下也会表现得更加复杂。井筒内的温度和压力梯度会导致稠油的物性发生显著变化，流体的流变特性在不同的深度和压力下可能完全不同。例如，井底的高温高压环境可能使稠油保持较低的粘度，但随着稠油被举升到井口，温度和压力逐渐降低，粘度迅速升高，流动性减弱。这种不均匀的流动特性对举升设备和工艺提出了更高的要求，必须确保设备在全井深范围内都能适应稠油的流变特性。此外，高粘度稠油在举升过程中还容易发生相分离和沉积问题。稠油中常含有一定量的水和固体颗粒，这些杂质在高粘度环境下容易形成稳定的乳状液或悬浮液，增加流动阻力。例如，水滴在高粘度稠油中难以聚集和分离，形成稳定的乳状液，使得流体的整体粘度进一步升高。固体颗粒则容易在管柱内沉积，逐渐形成堵塞。这些问题不仅增加了举升过程的复杂性，还会对管柱和设备的耐磨性提出了更高的要求。

2.2 管柱结蜡与防腐蚀

稠油中的高含蜡量和腐蚀性成分会给管柱的长期稳定运行带来了巨大的挑战。首先，稠油中的蜡质成分在温度降低时会更加容易析出，并附着在管柱内壁上。随着时间的推移，这些蜡质就会逐渐积累，形成厚厚的蜡层，进而显著增加流体的流动阻力。例如，在井下温度较低的情况下，稠油中的蜡就会迅速结晶并沉积在管壁上，导致管柱内径变小，阻力增加，甚至可能会完全堵塞管道，严重影响举升效率和生产作业的可能性。结蜡不仅会影响流体流动，还会对管柱产生可怕的机械应力。蜡层的形成和积累会增加管柱内壁的摩擦力，导致管柱材

料长期处于磨损和疲劳状态。特别是在深井和高压条件下，管柱需要承受更大的机械负荷，结蜡问题就会进一步加剧这种负荷，这可能会导致管柱进一步变形、破裂甚至失效。此外，稠油中的腐蚀性物质对管柱的腐蚀也是一个严重的问题。稠油中常含有硫化物、氯化物和有机酸等腐蚀性成分，这些物质会与管柱金属发生化学反应，形成腐蚀产物，逐渐侵蚀管柱材料。例如，硫化氢就是稠油中一种常见的腐蚀性气体，当其在稠油中含量较高时，就会与管柱金属反应生成硫化物，导致管柱表面出现点蚀和应力腐蚀裂纹。这些腐蚀产物不仅会严重削弱管柱的机械强度，还可能在其表面形成孔洞和裂纹，进一步加速腐蚀过程，最终导致管柱的突发性失效。

2.3 举升设备的适应性

稠油开采过程中，井况的复杂多变对举升设备的适应性提出了极高的要求。首先，井深较大、井温较高的条件下，举升设备的稳定性和可靠性就会成为关键问题。例如，在深井作业中，井深可能达到几千米，井底温度会高达100摄氏度以上，这对举升设备的材料和设计都会提出极高的要求。常规的举升设备在这种极端条件下容易出现故障，如材料变形、密封失效和机械疲劳等问题，导致举升效率下降，甚至停产。深井高温环境下，设备的热稳定性和耐高温能力尤为重要。举升设备在高温条件下容易发生材料膨胀和变形，导致设备的密封性能下降，出现泄漏和故障。例如，电潜泵在高温条件下可能出现电机过热、绝缘失效和电缆烧毁等问题，严重影响设备的运行稳定性和使用寿命。此外，高温环境还会加速设备的老化，缩短其使用寿命。这些问题都对举升设备的材料选择和系统设计提出了更高的要求，在设计的时候需要选用耐高温、抗老化的材料，并进行严格的热力学设计，才有可能确保设备在高温环境下持续稳定运行。还有，井况的复杂多变对举升设备的适应性也提出了严峻的挑战。稠油井中是可能存在复杂的地质条件的，如井壁不稳定、井径变化、井漏等问题。这些复杂地质条件都会对举升设备的运行产生不利影响。例如，井壁不稳定就可能导致井壁坍塌，影响举升设备的正常运行。井径变化则可能会导致举升设备在井下的安装和运行困难，需要设备具有良好的适应性和调整能力。此外，井漏问题也会导致油井内压力的不稳定，影响举升设备的运行效率和稳定性。当然，举升设备的运行环境不仅包括井下条件，还涉及了地面设备的适应性。例如，在稠油开采过程中，地面设备需要处理大量高粘度、低流动性的稠油，这对地面设备的设计和运行也提出了严峻的挑战。地面设备本身需要具备高效的处理能力，其必须做到在高负荷、高压条件下持续稳定运行。还需要具备良好的耐磨性和耐腐蚀性，来充分应对稠油中的杂质和腐蚀性成分。例如，地面输油管道和储罐需要采用耐磨耐腐蚀材料，防止因长期运行导致的磨损和腐蚀问题。

3 优化对策

3.1 应用新材料和新工艺

通过应用新材料和新工艺，可以有效提高举升系统的性能和可靠性。例如，采用高强度、高耐磨的新型合金材料制造管柱，可以显著提高管柱的强度和耐久性。这些新型合金材料具有更高的抗拉强度和更好的抗疲劳性能，能够在高压高温环境

下长期稳定运行。此外, 这些材料在制造过程中经过特殊的热处理工艺, 可以使其具有更高的耐磨性和抗腐蚀能力, 减少了因磨损和腐蚀导致的管柱失效风险。防结蜡涂层技术也是提高举升系统性能的重要策略之一。在设计系统的时候, 可以在管柱内壁涂覆一层防结蜡涂层, 防止稠油中的蜡质在管柱内壁上沉积。防结蜡涂层一般采用特殊的聚合物材料, 具有优异的疏水性和低表面能特性, 能够显著降低蜡质在管壁上的附着力, 从而减少结蜡现象的发生。在防腐方面, 则可以采用新型的防腐材料和技术同样能够提高管柱的抗腐蚀能力。例如, 应用纳米防腐涂层技术, 在管柱表面形成一层致密的纳米涂层, 也可以有效阻隔腐蚀性介质的侵蚀, 进一步提高管柱的抗腐蚀性能。

3.2 优化举升工艺参数

通过实验和数值模拟, 优化举升工艺参数, 可以有效提高举升效率和系统的整体性能。例如, 通过优化泵的排量和转速, 可以找到最佳的举升工艺参数组合, 实现最优的举升效率和最低的能耗。在实验过程中, 可以采用多种参数组合进行试验, 记录不同参数组合下的举升效率和能耗数据, 并通过数值模拟进行进一步分析和优化, 从而确定最佳的工艺参数组合。除了泵的排量和转速, 井口压力和油层压力的调整也对举升效率有着重要影响。通过合理调整井口压力和油层压力, 可以改善稠油的流动性, 降低举升过程中的流动阻力。还可以采用动态调整井口和油层压力的策略, 根据举升过程中的实际情况, 实时调整压力参数, 确保举升系统始终在最佳状态下运行。

3.3 开发智能化举升系统

智能化举升系统可以通过物联网技术和大数据分析技术, 实时监测和控制举升过程中的各项参数, 实现举升系统的智能化和自动化。通过在举升设备和井下安装各种传感器, 实时监

测压力、温度、流量等关键参数, 并将数据传输到中央控制系统, 进行实时分析和处理, 识别潜在问题和异常情况, 及时采取相应措施, 就可以进一步确保举升系统的高效运行。智能化举升系统还可以通过大数据分析技术, 优化举升工艺和策略。例如, 通过对不同井况和工艺参数下的举升数据进行分析, 可以找到最佳的举升工艺组合, 提高举升效率和系统的整体性能。

3.4 加强管柱防结蜡和防腐措施

通过应用新型防结蜡和防腐技术, 可以有效延长管柱的使用寿命。例如, 采用热清蜡技术, 可以定期清除管柱内壁的蜡质, 保持管柱的通畅性和流动性。在防腐措施上可以采用阴极保护技术, 其主要是通过向管柱上施加一个阴极电流, 抑制腐蚀反应的发生, 具有良好的防腐效果和长期稳定性。当然, 也可以结合其他防腐技术, 如内壁涂层防腐和外壁包覆防腐等, 实现多重防护, 提高管柱的抗腐蚀能力。

4 结论

稠油开采中高效举升系统的设计与优化是一个复杂的系统工程, 涉及到多方面的技术和工程问题。通过合理选择举升方式和设备, 优化管柱设计和举升工艺参数, 应用新材料和新工艺, 以及开发智能化举升系统, 可以有效提高稠油开采的效率和经济效益, 为油田的可持续发展提供有力支持。

[参考文献]

- [1]曹德龙.基于信息化管控下的节能减碳举升技术[J].石油石化节能, 2023, 13(06): 26-33.
- [2]杨帆.油田稠油举升工艺现状及适用性技术研究[J].石油石化节能, 2021, 11(04): 5-8+60-61.
- [3]张瑞雪, 王炜龙, 魏庆婷.深层稠油开采工艺技术研究[J].化工管理, 2017, (24): 101.

上接第 181 页

对施工质量控制与风险评估的看法和建议。通过这些数据的收集, 本研究旨在揭示我国水利水电工程施工质量控制与风险评估的现状, 为后续的优化策略提供有力支持。

五、施工质量控制与风险评估的优化策略

提高施工人员对风险评估与质量控制的认知。通过培训和教育, 使施工人员充分认识到风险评估与质量控制的重要性, 从而提高他们的主动性和积极性。完善风险评估与质量控制的制度体系。建立一套完整、科学、可行的风险评估与质量控制制度, 明确各个环节的责任和义务, 确保施工过程中的风险得到有效识别和控制。强化风险评估与质量控制的协同机制。在实际施工过程中, 风险评估人员应与施工人员保持密切沟通, 共同分析风险因素, 制定针对性的预防措施。引入先进的技术手段。借助现代信息技术, 实现风险评估与质量控制的数字化、智能化, 提高工作效率。以某水利水电工程为例, 通过加强风险评估与质量控制的协同, 取得了显著的成效。在该工程中, 施工人员与风险评估人员紧密合作, 共同识别出潜在的风险因素, 如地质条件、气候变化、施工工艺等。针对这些风险因素, 制定了一系列预防措施, 如优化施工方案、加强监测预警、提

高施工工艺等。加强了质量控制, 确保施工过程中的各个环节都符合预定标准。最终, 该工程在保证质量的前提下, 顺利完成了施工任务, 为我国水利水电事业的发展做出了贡献。

结论

本研究对水利水电工程施工质量控制与风险评估进行了深入探讨。从理论层面梳理了施工质量控制与风险评估的发展脉络, 明确了施工质量控制的原则、目标以及流程, 并探讨了风险评估的原理及方法。结合实际案例, 构建了水利水电工程施工质量控制体系, 并对其进行了实证研究, 深入剖析了施工质量控制与风险评估的关系。研究表明, 风险评估与施工质量控制密切相关, 有效的风险评估能够为施工质量控制提供重要依据, 而高质量的施工质量控制也能够降低项目风险。

[参考文献]

- [1]伍代富.浅析水利水电工程建设施工监理的质量控制[J].中国标准化, 2019, (10): 169-170.
- [2]李娜.水利水电工程建设管理中存在的问题及应对措施分析[J].城市建设理论研究(电子版), 2019, (08): 167.
- [3]王伟.新时期水利水电工程建设管理的完善策略探究[J].现代职业教育, 2018, (16): 182.