

柱塞泵在油田采油工艺中的适应性改进及可靠性提升研究

文东辉

中国石油吐哈油田准东采油管理区, 中国·新疆 昌吉 831700

摘要: 柱塞泵作为油田采油工艺中的关键设备, 其性能的优劣对采油效率和成本有着重大影响。论文聚焦于柱塞泵在油田采油工艺中的应用, 深入剖析了其面临的适应性问题, 如复杂介质、恶劣工况等带来的挑战。同时, 从多个方面探讨了适应性改进措施和可靠性提升策略, 旨在提高柱塞泵在油田采油工艺中的工作效能, 保障油田生产的稳定与高效。通过实际案例分析, 验证了改进措施的有效性和可靠性提升的显著效果, 为油田采油行业提供了有价值的参考。

关键词: 柱塞泵; 油田采油工艺; 适应性改进; 可靠性提升

Research on Adaptability Improvement and Reliability Enhancement of Plunger Pumps in Oilfield Production Technology

Donghui Wen

China Petroleum Tuha Oilfield Zhundong Oil Production Management Area, Changji, Xinjiang, 831700, China

Abstract: As a key piece of equipment in the oilfield production process, the performance of the plunger pump has a significant impact on oil production efficiency and costs. This paper focuses on the application of the plunger pump in the oilfield production process, and deeply analyzes the adaptability issues it faces, such as challenges brought about by complex media and harsh working conditions. At the same time, it explores adaptability improvement measures and reliability enhancement strategies from multiple aspects, aiming to improve the working efficiency of the plunger pump in the oilfield production process and ensure the stable and efficient production of oilfields. Through the analysis of practical cases, the effectiveness of the improvement measures and the remarkable effect of reliability enhancement have been verified, providing valuable reference for the oilfield production industry.

Keywords: plunger pump; oilfield production technology; adaptability improvement; reliability enhancement

1 概述

1.1 研究背景与意义

在全球能源需求持续增长的背景下, 石油作为重要的能源资源, 其稳定开采和高效生产至关重要。油田采油工艺是石油生产的核心环节, 而柱塞泵在其中扮演着不可或缺的角色。柱塞泵凭借其压力高、流量稳定等优点, 广泛应用于注水、采油等多个采油工艺过程中。然而, 随着油田开采的不断深入, 油藏条件日益复杂, 对柱塞泵的性能提出了更高的要求。提高柱塞泵在油田采油工艺中的适应性和可靠性, 不仅能够降低采油成本, 提高采油效率, 还能保障油田生产的安全性和稳定性, 具有重要的经济和社会意义。

1.2 国内外研究现状

国外在柱塞泵技术方面起步较早, 一些发达国家已经在柱塞泵的设计、制造和应用等方面取得了显著的成果。例如, 美国、德国等国家的柱塞泵产品具有较高的精度和可靠性, 在复杂工况下的适应性也较强。他们在材料选择、结构设计和制造工艺等方面不断进行创新和改进, 以满足不同油

田采油工艺的需求。

相比之下, 中国虽然在柱塞泵技术上取得了一定的进步, 但与国外先进水平仍存在一定的差距。中国柱塞泵在适应性和可靠性方面还存在一些问题, 如在高含砂、高粘度等复杂介质条件下的使用寿命较短, 在高温、高压等恶劣工况下的稳定性较差等。因此, 深入研究柱塞泵在油田采油工艺中的适应性改进及可靠性提升具有迫切的现实需求。

1.3 研究目的与方法

论文的研究目的是通过对柱塞泵在油田采油工艺中面临的问题进行深入分析, 提出切实可行的适应性改进措施和可靠性提升策略, 以提高柱塞泵的工作性能和使用寿命, 降低采油成本, 提高油田生产的经济效益。

为实现上述研究目的, 论文采用了理论分析、实验研究和实际案例分析相结合的方法。首先, 对柱塞泵的工作原理、结构特点以及在油田采油工艺中的应用进行了理论分析; 其次, 通过实验研究, 对不同改进措施下柱塞泵的性能进行了测试和评估; 最后, 结合实际案例, 验证了改进措施和提升策略的有效性和可行性。

2 柱塞泵在油田采油工艺中的应用及面临的问题

2.1 柱塞泵的工作原理与特点

柱塞泵是一种容积式泵,它依靠柱塞在缸体内的往复运动,使密封工作腔的容积发生周期性变化,从而实现吸油和排油的过程。柱塞泵具有压力高、流量稳定、效率高、结构紧凑等优点,能够满足油田采油工艺中对高压、大流量的要求。

2.2 柱塞泵在油田采油工艺中的应用场景

2.2.1 注水工艺

在油田注水工艺中,柱塞泵的主要作用是将水增压后注入油层,以补充地层能量,保持油层压力,提高原油采收率。注水压力和流量的稳定性对注水效果至关重要,柱塞泵能够提供稳定的压力和流量,确保注水工艺的顺利进行。

2.2.2 采油工艺

在采油工艺中,柱塞泵可用于将原油从井底举升至地面。特别是在一些深井、稠油井等复杂油井的开采中,柱塞泵凭借其高压力和大流量的特点,能够有效地克服井筒阻力和原油粘度的影响,实现原油的高效开采。

2.3 柱塞泵在油田采油工艺中面临的适应性问题

2.3.1 复杂介质的影响

油田采出液通常含有砂粒、杂质、高粘度原油以及腐蚀性物质等复杂介质。砂粒和杂质会对柱塞泵的柱塞、缸体、密封件等部件造成磨损和划伤,缩短其使用寿命;高粘度原油会增加泵的吸入阻力,降低泵的容积效率;腐蚀性物质则会对泵的金属部件造成腐蚀,影响泵的性能和可靠性。

2.3.2 恶劣工况的挑战

油田采油现场的工况条件十分恶劣,包括高温、高压、高湿度、强振动等。高温会使泵的密封材料性能下降,导致密封失效;高压会对泵的结构强度和密封性提出更高的要求;高湿度和强振动则会加速泵的零部件磨损和疲劳损坏,影响泵的正常运行。

2.3.3 频繁启停与变工况运行

在油田采油过程中,柱塞泵常常需要频繁启停和在变工况下运行。频繁启停会使泵的零部件受到冲击载荷的作用,加速磨损和疲劳损坏;变工况运行则会导致泵的工作参数不稳定,影响泵的性能和可靠性。

3 柱塞泵适应性改进措施

3.1 材料与表面处理技术改进

3.1.1 耐磨材料的应用

为了提高柱塞泵在含砂介质中的耐磨性,可以采用高硬度、高韧性的耐磨材料制造柱塞、缸体等关键部件。例如,陶瓷材料具有硬度高、耐磨性好、化学稳定性强等优点,可用于制造柱塞和缸套,能够显著提高部件的耐磨性能。

3.1.2 表面处理技术

采用表面处理技术可以进一步提高部件的耐磨性、耐腐蚀性和抗疲劳性能。常见的表面处理技术包括氮化、镀铬、喷涂等。氮化处理可以在部件表面形成一层硬度高、耐

磨性好的氮化层,提高部件的耐磨性能;镀铬可以提高部件表面的硬度和光洁度,降低摩擦系数,减少磨损。

3.2 结构设计优化

3.2.1 吸入与排出阀结构改进

吸入与排出阀是柱塞泵的关键部件之一,其性能直接影响泵的容积效率和工作稳定性。通过优化吸入与排出阀的结构设计,如采用新型的阀座和阀芯材料、改进阀的开启和关闭特性等,可以提高阀的密封性和响应速度,减少泄漏和压力波动,提高泵的容积效率。

3.2.2 柱塞与缸体结构设计

合理设计柱塞与缸体的结构参数,如柱塞的直径、行程、缸体的内径和长度等,可以提高泵的工作效率和稳定性。同时,采用合适的配合间隙和密封方式,能够减少泄漏和磨损,提高泵的可靠性。

3.3 液压系统优化

3.3.1 缓冲装置的设置

在柱塞泵的液压系统中设置缓冲装置,如蓄能器、缓冲缸等,可以减少泵在启停和变工况运行时的压力冲击和流量波动,保护泵的零部件,提高泵的工作稳定性和可靠性。

3.3.2 过滤与冷却系统的完善

完善液压系统的过滤与冷却系统,能够保证液压油的清洁度和适宜的工作温度。过滤系统可以过滤掉液压油中的杂质和污染物,防止其进入泵的内部,损坏部件;冷却系统可以控制液压油的温度,避免因油温过高导致密封材料老化和性能下降。

4 柱塞泵可靠性提升策略

4.1 故障诊断与监测技术

4.1.1 传感器技术的应用

在柱塞泵上安装各种传感器,如压力传感器、温度传感器、振动传感器等,实时监测泵的工作状态和参数。通过对传感器采集的数据进行分析和处理,可以及时发现泵的潜在故障和异常情况,为故障诊断和维修提供依据。

4.1.2 故障诊断方法

采用先进的故障诊断方法,如基于机器学习的故障诊断算法、基于信号处理的故障诊断技术等,对传感器采集的数据进行深入分析,准确判断故障类型和故障位置。例如,利用神经网络算法可以对泵的振动信号进行分析,识别出泵的不同故障模式。

4.2 维护与保养策略

4.2.1 定期维护计划的制定

制定科学合理的定期维护计划,包括对泵的清洗、检查、润滑、紧固等维护项目。定期维护可以及时发现和处理泵的潜在故障,延长泵的使用寿命。

4.2.2 预防性维护措施

采用预防性维护措施,如定期更换易损件、对关键部件进行无损检测等,可以提前消除故障隐患,提高泵的可靠性。例如,定期更换柱塞泵的密封件、阀片等易损件,可以

防止因密封失效和阀片损坏导致的故障。

4.3 冗余设计与容错控制

4.3.1 冗余设计

在柱塞泵的设计中采用冗余设计,如设置备用泵、备用阀等,可以在主泵或主阀出现故障时,迅速切换到备用设备,保证泵的连续运行,提高系统的可靠性。

4.3.2 容错控制策略

制定容错控制策略,当泵出现部分故障时,通过调整控制参数和运行模式,使泵能够在故障状态下继续运行,减少故障对生产的影响。例如,当泵的某个柱塞出现故障时,可以通过调整其他柱塞的工作参数,维持泵的基本流量和压力。

5 案例分析与结论

选取某油田的采油作业区作为案例,该作业区开采历史较长,油藏条件复杂,所产原油具有高粘度、高含砂的特点,并且采油现场存在高温、高压的恶劣工况。在过去,该作业区采用的柱塞泵频繁出现故障,不仅导致维修成本居高不下,还严重影响了采油效率,制约了整个作业区的原油产量。

在应用论文提出的适应性改进措施和可靠性提升策略之前,柱塞泵的故障主要集中在以下几个方面:一是柱塞和缸体磨损严重,无法满足采油工艺的需求;三是液压系统故障频发,由于油温过高和杂质污染,液压油的性能下降,导致泵的工作不稳定,经常出现压力波动和异常振动的情况。

针对该作业区柱塞泵存在的问题,实施了一系列改进措施:

材料与表面处理技术改进:采用陶瓷柱塞和缸套替代传统的金属部件。陶瓷材料的硬度比传统金属材料高出数倍,具有优异的耐磨性和抗腐蚀性。经过一段时间的运行监测,发现陶瓷柱塞和缸套的磨损速率明显降低,更换周期大大减少了维修次数和成本。同时,对柱塞和缸体表面进行了镀硬铬处理,进一步提高了表面硬度和光洁度,降低了摩擦系数,减少了磨损和泄漏。

结构设计优化:对吸入与排出阀的结构进行了改进。采用了新型的阀座和阀芯材料,提高了阀的密封性能和耐腐蚀性。同时,优化了阀的开启和关闭特性,使阀的响应速度更快,减少了泄漏和压力波动。有效提升了采油效率。对柱塞与缸体的结构参数进行了优化设计。根据采油工艺的要求,合理调整了柱塞的直径、行程以及缸体的内径和长度,提高了泵的工作效率和稳定性。

液压系统优化:在液压系统中安装了蓄能器和缓冲缸等缓冲装置。蓄能器能够储存能量,在泵启停和变工况运行时,释放能量,减少压力冲击;缓冲缸则可以吸收压力波动,使泵的工作更加平稳。经过实际运行测试,发现泵在启停和变工况运行时的压力冲击和流量波动明显减小,有效保护了泵的零部件,提高了泵的工作稳定性和可靠性。完善了液压系统的过滤与冷却系统。增加了过滤精度更高的过滤器,能够有效过滤掉液压油中的杂质和污染物,保证液压油的清洁度。同时,安装了高效的冷却器,确保液压油在适宜的温度

范围内工作。通过这些措施,液压油的使用寿命延长,泵的故障率明显降低。

故障诊断与监测技术应用:在柱塞泵上安装了压力传感器、温度传感器、振动传感器等多种传感器,实时监测泵的工作状态和参数。通过对传感器采集的数据进行分析和处理,能够及时发现泵的潜在故障和异常情况。例如,当振动传感器检测到泵的振动幅度异常增大时,系统会发出警报,提示操作人员进行检查和维修,避免故障进一步扩大。采用基于机器学习的故障诊断算法对传感器采集的数据进行深入分析。通过对大量正常和故障状态下的数据进行训练,建立了故障诊断模型。

维护与保养策略实施:制定了科学合理的定期维护计划,包括每周对泵进行一次清洗,检查各部件的磨损情况;每月对泵进行一次全面的检查,对关键部件进行润滑和紧固;每季度对泵进行一次深度维护,更换易损件等。通过严格执行定期维护计划,及时发现和处理了泵的潜在故障,延长了泵的使用寿命。采用预防性维护措施,定期对关键部件进行无损检测,提前发现部件的内部缺陷和潜在故障。

冗余设计与容错控制应用:在柱塞泵系统中设置了备用泵和备用阀。当主泵或主阀出现故障时,系统能够迅速切换到备用设备,保证泵的连续运行。通过冗余设计,大大提高了系统的可靠性,减少了因设备故障导致的停机时间。制定了容错控制策略,当泵出现部分故障时,系统能够自动调整控制参数和运行模式,使泵能够在故障状态下继续运行。例如,当某个柱塞出现故障时,系统会自动调整其他柱塞的工作参数,维持泵的基本流量和压力,确保采油工艺的正常进行。

6 研究结论与展望

论文通过对柱塞泵在油田采油工艺中的应用及面临的问题进行深入分析,提出了一系列适应性改进措施和可靠性提升策略。通过实际案例验证,这些措施和策略能够有效提高柱塞泵在复杂介质和恶劣工况下的适应性和可靠性,降低采油成本,提高采油效率。

未来的研究可以进一步深入探讨柱塞泵的智能化发展,如实现泵的远程监控和智能控制;加强对新型材料和制造工艺的研究,进一步提高柱塞泵的性能和可靠性;开展柱塞泵与其他采油设备的协同优化研究,提高整个采油系统的效率和稳定性。

参考文献:

- [1] 王福军,廖日东,李国君.容积式泵原理、设计与应用[M].北京:机械工业出版社,2018.
- [2] 袁寿其,何有世,袁建平.现代泵技术手册[M].北京:化学工业出版社,2019.
- [3] 刘厚林,王凯,谈明高.离心泵内部流场的数值模拟与性能预测[J].农业机械学报,2018,49(12):108-115.
- [4] 黄健,杨军虎,王勇.基于CFD的往复泵吸入阀流场分析与结构优化[J].排灌机械工程专业,2019,37(5):381-386.
- [5] 张德胜,施卫东,周岭.高压往复泵流量脉动抑制方法研究[J].中国机械工程,2020,31(14):1714-1721.