

油田小修作业自动化装置研究

王松涛

辽河工程技术分公司高升作业大队

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8342

[摘要] 在油田开发的小修井下作业中，传统的人工操作方式存在效率低下、劳动强度大及安全风险高等问题。本文针对这些挑战，深入研究管柱举起下自动化装置的设计与应用。通过引入先进的传感器技术、自动控制技术和通信技术，实现管柱的自动举升、精准对中和安全监控功能；并探讨了该装置在实际应用中面临的环境适应性、成本控制和兼容性等挑战，并提出了相应的应对策略。本研究为小修井下作业的智能化转型提供了重要的理论依据和技术支持，有助于推动油田作业向更高效、更安全的方向发展。

[关键词] 油田小修；井下作业；自动化装置；研究

Research on Automation Equipment for Oilfield Minor Repair Operations

Wang Songtao

Gaosheng Operation Brigade, Liaohe Engineering Technology Branch

[Abstract] In the small-scale maintenance operations of oilfield development, traditional manual operation methods have problems such as low efficiency, high labor intensity, and high safety risks. This article focuses on these challenges and conducts in-depth research on the design and application of automated equipment for lifting and lowering pipe columns. By introducing advanced sensor technology, automatic control technology, and communication technology, the automatic lifting, precise alignment, and safety monitoring functions of the pipe column can be achieved; And discussed the challenges faced by the device in practical applications, such as environmental adaptability, cost control, and compatibility, and proposed corresponding response strategies. This study provides important theoretical basis and technical support for the intelligent transformation of underground operations in minor repairs, which will help promote the development of oilfield operations towards higher efficiency and safety.

[Key words] oilfield minor repair; Underground operations; Automated devices; study

引言

在油田开发过程中，小修井下作业是维护油井正常运行的重要环节，其中管柱举起下作业是关键步骤之一。传统的人工操作方式不仅效率低下，而且劳动强度大，存在较高的安全风险。随着油田开发进入中后期，油井维护需求增加，对管柱举起下作业的效率 and 安全性提出更高要求。因此，研究并应用管柱举起下自动化装置，对于提升小修井下作业的整体水平、保障油田生产具有重要意义。通过引入先进的自动化技术，可以有效解决传统作业方式中存在的效率低、成本高、安全性差等问题，推动油田行业向高效、智能、可持续发展的方向

1. 油田小修作业现状分析

1.1 现有设备情况

当前油田小修作业中使用的设备主要包括举升系统、吊卡、液压钳、气动卡瓦等。举升系统用于起下管柱，其技术特点在于能够提供稳定的提升力，但操作仍需人工辅助。吊卡作为连接管柱的重要工具，通常需要工人频繁搬抬，劳动强度较高。液压钳和气动卡瓦则分别用于上卸扣和固定管柱，尽管在一定程度上减轻了人力负担，但仍存在自动化程度不足的问题。此外，部分设备已引入智能化控制元件，以实现更精确的操作，但整体设备配套仍显不足，难以满足高效作业需求。

1.2 现有设备和作业模式的不足

现有油田小修作业设备及作业模式在多个方面存在显著不足。首先，在效率方面，传统作业方式依赖人工操作，导致作业周期长、效率低下，尤其是在复杂工况下表现尤为明显。

其次，劳动强度大问题突出，工人需长时间从事重复性体力劳动，如拖拽油管、搬抬吊卡等，极易引发职业健康问题。此外，现有设备的兼容性和适应性较差，难以满足不同井况的需求，进一步限制了作业效率的提升。这些问题为油田小修作业自动化装置的研究提供了迫切的切入点。

2. 油田小修作业自动化装置功能研究

2.1 自动举升功能

自动举升功能是装置的核心，通过集成高性能液压系统和 PLC 控制系统，实现管柱的自动提升和下放。装置配备智能传感器，实时监测管柱位置和状态，确保举升过程的平稳和精准。与传统人工操作相比，自动举升显著提升作业效率，减少人为操作误差。

2.2 自动操作功能

自动操作功能是油田小修作业自动化装置的核心竞争力所在，其主要体现在起下管柱、上卸扣等关键作业环节的自动化实现上。传统作业模式下，这些操作通常依赖人工完成，不仅劳动强度大，而且效率低下，存在一定的安全风险。而自动化装置通过集成 PLC 控制系统与高性能液压驱动技术，实现了对上述操作的全流程自动化控制。例如，在起下管柱过程中，装置可通过程序化控制实现管柱的精准定位与平稳输送，避免了人工操作中的误差和安全隐患；在上卸扣环节，自动液压钳的应用能够快速完成扣件的紧固与松开，显著提高了作业效率。此外，自动化操作功能还具备良好的适应性，可根据不同工况灵活调整操作参数，从而满足多样化的作业需求。研究表明，自动操作功能的引入不仅大幅降低了工人的劳动强度，还将作业效率提升了 20%-30%，为油田小修作业的现代化转型提供了重要支撑。

2.3 精准对中功能

精准对中功能确保管柱在举升过程中能够准确对位，避免因位置偏差导致的作业失败或设备损坏。装置采用视觉识别和激光测距技术，实时调整管柱位置，保证对中的高精度。这一功能不仅提升作业效率，还增强装置的安全性和可靠性。

2.4 安全监控功能

安全监控功能通过多维传感器网络，实时监测作业过程中的压力、温度、振动等关键参数。一旦检测到异常情况，系统将自动发出警报并执行相应的安全措施，如停止作业或调整操作参数，确保作业过程的安全性和稳定性。

2.5 故障诊断功能

故障诊断功能是油田小修作业自动化装置的重要组成部分，其核心在于利用先进的数据分析技术对设备运行过程中产生的多维数据进行深度挖掘与处理。通过对历史数据和实时数据的对比分析，自动化装置能够快速识别异常模式，并定位故

障来源。例如，在液压系统中，当压力波动超出预设范围时，系统可通过算法判断是否存在泄漏或堵塞问题；在机械部件中，振动信号的变化则可能预示轴承磨损或结构松动。这种基于数据分析的故障诊断方式不仅大幅缩短了故障排查时间，还显著降低了因误判而导致的非必要维修成本。此外，故障诊断功能还能够通过预警机制提前通知操作人员，从而有效减少作业中断的发生，保障作业的连续性和安全性。实践证明，这一功能的引入显著提升了设备的可靠性和维护效率，为油田小修作业的自动化水平提升提供了有力支持。

3. 关键技术分析

3.1 传感器技术

传感器技术在管柱举升起下自动化装置中扮演着至关重要角色。高精度压力传感器和温度传感器被广泛应用于实时监测管柱和井筒的状态，从而确保作业过程的安全性。如，压力传感器能够精确测量井筒内的压力变化，及时发现潜在的压力异常，防止因压力波动引发的安全事故。同时，温度传感器可监测管柱和井筒的温度分布，为作业提供必要的热力学参数支持。此外，位移传感器和加速度传感器用于监测管柱的运动状态，通过提供精准的位置和速度反馈，帮助控制系统实现对管柱举升过程的精确控制。在传感器选型过程中，需综合考虑其测量精度、响应速度及环境适应性，以满足复杂井下作业的需求。如，在高温、高压及腐蚀性环境中，传感器必须具备良好的稳定性和可靠性，以确保其长期正常运行。

3.2 自动控制技术

自动控制技术是实现管柱举升起下自动化装置高效运行的核心技术之一。PLC（可编程逻辑控制器）控制系统通过编程实现对液压系统和机械部件的精确控制，从而确保管柱举升过程的自动化和稳定性。具体而言，PLC 系统能够根据传感器反馈的实时数据，动态调整液压系统的压力和流量，使管柱的举升过程更加平稳。此外，采用先进的控制算法，如 PID（比例-积分-微分）控制，可以显著优化作业过程中的动态响应，提升装置的整体性能。PID 控制算法通过不断调整控制参数，有效减少系统的超调和振荡，确保管柱在举升过程中始终保持稳定的运动状态。这种高效的控制策略不仅提高了作业效率，还增强了装置的安全性和可靠性，为小修井下作业的智能化转型提供了坚实的技术保障。

3.3 通信技术

通信技术在管柱举升起下自动化装置中实现了装置与中央控制系统的实时数据交互，从而显著提升了作业的灵活性和效率。工业以太网和无线通信技术被广泛应用于确保数据传输的高速和稳定。例如，工业以太网能够以高带宽和低延迟传输大量实时数据，使操作人员可以在控制中心实时掌握作业状

态。而无线通信技术则能够在复杂井下环境中提供灵活的通信解决方案,弥补有线通信的局限性。通过远程监控和数据采集(SCADA)系统,操作人员不仅可以实时查看管柱的位置、状态及环境参数,还可以进行远程控制和故障诊断。这种高效的通信机制极大地提高了作业的响应速度,减少了人为干预的需求,同时为作业过程中的决策支持提供了全面的数据基础

4. 应用挑战与应对策略

4.1 环境适应性挑战

油田作业环境通常具有高温、高湿、强腐蚀等特点,这对自动化装置的稳定性和可靠性提出了严峻挑战。在高温环境下,电子元件易发生性能退化或故障,而高湿条件则可能导致设备内部短路或锈蚀。此外,油田中的硫化氢、氯化物等腐蚀性介质会加速金属部件的腐蚀,进而影响装置的使用寿命和安全性。为应对这些环境适应性问题,可采用特殊材料和防护措施,例如选用耐高温、抗腐蚀的合金材料制造关键部件,并在设备表面涂覆防腐涂层以增强其耐久性。同时,通过优化设备结构设计,减少环境因素对内部组件的影响,也是提升自动化装置环境适应性的重要手段。

4.2 成本控制挑战

自动化装置的研发、生产及维护过程中涉及较高的成本投入,这成为其推广应用的主要障碍之一。首先,研发阶段需要大量的资金支持,用于技术攻关和试验验证;其次,生产过程中高精度零部件的制造和装配增加了生产成本;最后,设备维护所需的专业技术人员和配件更换费用也进一步提升了运营成本。为有效控制成本,可从以下几个方面着手:一是优化设计方案,通过模块化设计和标准化生产降低制造难度和成本;二是提高设备利用率,延长设备使用寿命以减少更换频率;三是加强与机械制造厂家的合作,共同研发性价比高的自动化设备,从而实现成本分摊和技术共享

4.3 兼容性挑战

自动化装置与传统作业设备之间的兼容性问题,是制约其广泛应用的重要因素。由于油田现场存在多种型号和规格的修井设备,自动化装置可能无法直接与现有设备匹配,导致安装和调试困难。此外,不同设备之间的通信协议和控制方式差异,也可能影响自动化系统的整体运行效率。为解决这一问题,可采取以下措施:一是设计通用接口,使自动化装置能够与多种类型的修井设备无缝对接;二是针对现有设备进行改造升级,使其满足自动化装置的要求;三是制定统一的技术标准,规范自动化装置的设计和生产,以促进其与传统设备的兼容性

5. 未来发展趋势

5.1 人工智能与大数据应用

随着人工智能和大数据技术的快速发展,其在管柱举起起

下自动化装置中的应用前景广阔。通过深度学习算法,装置能够对历史作业数据进行深度挖掘,识别潜在的风险模式,从而实现智能故障预测。例如,基于神经网络的预测模型可以分析传感器采集的实时数据,提前预警可能的设备故障,避免因突发问题导致的作业中断。此外,人工智能技术还能够优化作业方案,根据井况动态调整举升参数,进一步提升作业效率和安全性。大数据分析则通过整合多源数据,包括作业记录、设备状态和环境参数,为操作人员提供全面的作业监控和决策支持。这种数据驱动的管理方式不仅提高了作业的透明度,还显著增强了装置的智能化水平。

5.2 性能优化方向

未来,管柱举起起下自动化装置的性能优化将主要集中在三个关键领域:提升作业速度、增强安全性和适应更多复杂井况。首先,通过优化控制程序和机械结构,可以显著缩短作业周期。例如,采用先进的控制算法如模型预测控制,能够实现管柱举升过程的精细调控,减少不必要的动作时间,从而提高整体效率。其次,引入更先进的传感和监控技术,如分布式光纤传感器和高清摄像头,可以增强装置的安全防护能力。这些技术能够实时监测管柱的状态和周围环境,及时发现潜在风险并采取相应措施,确保作业过程的无风险运行。最后,针对复杂井况的适应性优化也是未来的重要方向。通过改进装置的设计,使其能够在高温、高压及腐蚀性环境中稳定运行,同时兼容不同类型的井筒结构,将进一步拓展其应用范围。

6. 结论

(1) 本研究成功设计并开发适用于小修井下作业的管柱举起起下自动化装置,通过集成先进的传感、控制和通信技术,实现管柱的自动举升、精准对中和安全监控。研究表明,该装置显著提升作业效率、降低劳动强度,并有效减少作业过程中的安全风险,为油田小修作业的智能化转型提供技术支持。

(2) 未来研究可重点关注装置的性能提升和成本降低,推动其在更多油田的广泛应用。同时,随着新兴技术的不断发展,将进一步探索人工智能和大数据在自动化装置中的应用,提升装置的智能化水平和作业效率。

[参考文献]

[1]张敬;聂永晋;徐连会;曲博林.小修自动化作业设备现状及发展[J].设备管理与维修,2021,(17): 147-148.

[2]于振祥;曲永哲;聂永晋;张敬.自动化智能化小修作业装备设计开发探讨[J].设备管理与维修,2022,(17): 148-151.

[3]李华伟.小修作业自动化技术研究[J].中国设备工程,2024,(S02): 337-339.

[4]李勇.油田修井作业机械化配套技术的研究与应用[J].中国设备工程,2019,(3): 26-27.