

绿色作业背景下电动连续油管装备能效提升技术研究

邓建军

四川宏华石油设备有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i1.22261

[摘要] 油田设备电动化升级是实现绿色低碳作业的重要方式。本文围绕电动连续油管装备的能效提升问题展开研究,归纳设备基础结构与能效评价标准,从动力匹配、参数调控、辅助能耗、运维管理四个方面,梳理影响设备作业能效的关键因素。研究结合现场能耗问题总结对应的优化技术,能够改善设备能耗偏高的现状,提升设备作业节能水平,可为油田电动化井下作业的节能优化工作提供基础参考。

[关键词] 电动连续油管; 绿色作业; 能效提升; 节能技术; 智能管控

中图分类号: TE935.2 **文献标识码:** A

Research on Energy Efficiency Improvement Technology for Electric Coiled Tubing Equipment under the Background of Green Operations

Jianjun Deng

Sichuan Honghua Petroleum Equipment Co., Ltd.

[Abstract] The electrification upgrade of oilfield equipment is an important approach to achieving green and low-carbon operations. This paper focuses on improving the energy efficiency of electric coiled tubing equipment. It summarizes the basic structure of the equipment and energy efficiency evaluation standards, and identifies the key factors affecting operational energy efficiency from four aspects: power matching, parameter regulation, auxiliary energy consumption, and operation and maintenance management. Based on on-site energy consumption issues, the study summarizes corresponding optimization technologies, which can improve the current situation of high equipment energy consumption and enhance the energy-saving performance of equipment operations. It provides a basic reference for energy-saving optimization in electrified downhole operations in oilfields.

[Key words] electric coiled tubing; green operations; energy efficiency improvement; energy-saving technology; intelligent control

引言

油气开发行业正在推进电动化与低碳化升级,传统井下作业设备的能耗与环保短板已经慢慢显现,已经无法适配当前绿色油田的建设标准。电动连续油管设备属于新型清洁作业装备,目前已经在各大油田逐步推广使用。设备在实际作业期间,依旧存在能效利用不充分、能耗管控体系不完善等实际问题。本文结合油田现场作业工况,分析造成装备能效偏低的各类影响因素,探究可行的节能优化技术,能够为设备低碳高效运行提供一定的研究依据。

1 电动连续油管装备及绿色作业能效概述

电动连续油管装备是传统油田井下设备完成电动化升级后的新型作业设备,设备取消了传统柴油机与液力传动结构,主要依靠电机驱动、电控调节与电能储能结构完成作业运行,整体可以划分为电驱动力、油管注入、智能电控、储能辅助和配套作

业五大组成系统。设备可以依托电能调控的灵活性,根据井下作业的实际需求调整运行参数,能够适配多数油田井下作业场景,有效解决了传统设备动力输出波动大、能源消耗过高的问题。在油田绿色作业的发展背景下,该设备的能效评价方式出现了明显变化,不再单纯以能量转化效率作为评判标准,而是结合电能利用、环保减排、作业效率和设备损耗等多项指标形成综合评价体系,重点针对设备全作业流程和全使用周期开展能耗管控^[1]。优化该装备的作业能效,能够减少油田作业产生的污染问题,压缩设备运行与后期运维的整体成本,也可以推动油田作业设备向电动化、智能化方向升级,为油气行业低碳发展提供支撑。国内目前已经对该设备开展小范围推广应用,设备的环保节能优势能够得到有效体现,但设备在动力调控、系统协同、储能利用和智能管控等方面仍然存在一定缺陷,整体作业能效还有较大的优化提升空间。

2 电动连续油管装备能效主要影响因素

2.1 动力驱动系统匹配性因素

动力驱动系统的匹配状态,是影响电动连续油管装备作业能效的核心因素。现阶段油田现场投入使用的电动连续油管设备,大多搭载通用型号的电机与变频调控装置。这类通用设备的运行参数,往往无法贴合井下作业动态波动的载荷特点。连续油管作业的各个工序载荷并不固定,设备驱动系统难以同步适配工况变化,设备运行期间就会产生大量无效能耗。多数设备存在电机选型参数偏大的问题,电机长期处于低负载运行状态,电能转化效率会出现明显下降。同时,设备传动结构的加工精度不足、长期运行引发的部件磨损老化等问题,都会增加动力传输过程中的能量损耗。多重因素的共同作用,会持续提升设备整体能耗,降低电能利用效率,最终导致电动连续油管装备的实际作业能效无法达到理想标准,制约了设备绿色节能作业能力的发挥。

2.2 作业工况与参数调控因素

电动连续油管的井下作业环境具备动态变化的特点,作业过程中的各类井下参数会持续发生变动,这就对设备参数调控的精准度提出了基本要求。国内多数油田现场依旧依靠操作人员的个人经验完成参数调节工作,这种人工调控模式存在一定的滞后性与主观性,设备运行参数很难贴合实时变化的井下工况^[2]。一旦设备运行参数和实际作业工况出现偏差,设备的整体运行状态就会受到影响,作业耗时会出现相应增加,设备运行产生的能耗也会随之上升。固定不变的参数设置模式适配性相对有限,无法适配不同类型的井下作业场景,也不能满足复杂工况的作业要求。这种单一的调控模式会造成持续性的能耗浪费,让设备运行能耗得不到有效控制,直接影响电动连续油管装备的整体作业能效,也是现阶段设备节能运行难以落实的重要原因。

2.3 辅助系统能耗损耗因素

电动连续油管装备的能耗损耗不只是来自核心动力结构,设备配套的各类辅助系统也会在运行过程中产生无效能耗,这是限制设备整体能效提升的重要原因。油田现场使用的电动作业设备包含液压、冷却、监测控制等多个辅助系统,这些系统需要持续供电运行,其中液压系统产生的能耗损耗占比相对更高。目前大部分辅助系统都采用固定的运行模式,系统运行参数无法根据现场作业负荷的实时变化进行调整,设备轻载或待机阶段也会持续消耗电能。各个辅助系统大多独立完成运行工作,系统之间缺少对应的联动调控机制。独立运行的模式会让各类能耗损耗不断叠加,设备整体的节能优势难以发挥,作业过程中的无效能耗得不到有效控制,最终就会降低电动连续油管装备的整体运行能效,不利于油田绿色作业节能目标的落实。

2.4 智能管控与运维体系因素

电动连续油管装备的长期运行能效,会受到智能管控模式与日常运维管理体系的直接影响。目前国内油田所用的电动连续油管设备,整体智能化管控水平相对有限,设备大多只具备基础的运行状态监测能力,无法对能耗数据进行实时采集和动态

优化调整,这就让整体能耗管理工作存在滞后性问题^[3]。多数运维人员长期接触传统燃油作业设备,其检修和运维经验更适用于老旧设备,人员对于电动设备的电控结构和节能运维方式掌握得并不全面。设备在长期服役的过程中会逐渐出现各类隐性故障,设备运行能效也会随之逐年下降。国内行业现阶段还没有形成统一的电动设备节能运维标准,现场作业与设备检修工作会出现不规范操作的情况,这类人为管理层面的问题会持续造成能源浪费,无法保障设备始终处于高效运行状态,对装备整体作业能效的稳定提升造成了明显制约。

3 绿色作业下装备能效提升核心技术

3.1 定制化电驱动力匹配优化技术

定制化电驱动力匹配优化技术可以有效解决电动连续油管动力系统适配性较差、能量转化效率偏低的问题,该技术主要从硬件配置优化和动力调控升级两个维度,提升设备的整体作业能效。工作人员需要结合连续油管设备真实的作业载荷特征,替换设备原本搭载的通用电机结构,将永磁同步电机作为核心动力部件进行应用,这类电机具备更高的运行效率。工作人员需要结合设备型号、作业井深以及实际载荷范围,精准测算各项功率运行参数,为设备匹配适配的电机设备,保障电机可以在多数作业工况下保持高效运行状态,改善设备低负载运行阶段能耗利用率偏低的问题。设备原有变频调控体系也需要完成升级优化,升级后的系统能够实时采集作业载荷、油管运行速度以及井下阻力等关键运行数据,系统可以根据实时数据自主调节电机转速与输出功率。这种动态的动力调控方式,能够让设备输出动力和作业负荷相互匹配,有效缓解固定功率运行模式产生的能耗冗余问题。工作人员还可以对设备机械传动结构进行简化处理,删减不必要的传动层级,搭配高精度传动配件缩小设备运行间隙,减少动力传输过程中出现的机械能耗损耗,持续提升电能向机械作业动能的转化效率,以此实现电动连续油管装备动力系统整体能效的提升。

3.2 工况自适应参数智能调控技术

工况自适应参数智能调控技术能够有效改善电动连续油管装备工况适配性不足的问题,这项技术用智能自动调控方式替代了传统人工操作模式,可有效缓解设备参数匹配不合理引发的能耗超标问题^[4]。作业设备会搭载多种传感采集设备,这些设备能够实时采集井下作业压力、油管张力、设备运行速度以及机身工作温度等基础数据,系统可依托采集到的实时数据判断井下作业的整体运行状态,为设备参数的动态调整提供稳定的数据基础。相关行业可以依托大数据技术和智能算法搭建参数优化模型,模型可根据现场作业环境的实时变动,自主完成设备运行参数的调整工作,实现运行速度、工作张力、输出功率等参数的精准适配。智能调控模式能够弥补人工操作存在的滞后性问题,有效减少作业过程中产生的无效能耗。系统可以自主识别井下工况的动态波动情况,及时修正设备运行参数偏差,降低设备运行卡顿、负载超限以及油管磨损等各类故障的发生概率。稳定可控的设备运行状态能够缩短整体作业时长,降低单位作业

的能耗消耗,提升井下作业的整体规范性与稳定性,让设备在保证作业质量达标的前提下实现节能降耗,稳步提升电动连续油管装备的整体作业能效。

3.3多系统协同节能降耗技术

多系统协同节能降耗技术主要针对电动连续油管装备辅助系统能耗浪费的问题开展优化工作,该技术可以实现设备主系统与辅助系统的联动调控,能够从整体层面降低设备运行阶段的能量损耗。油田现有的设备液压系统普遍采用恒定压力的运行模式,这种固定调控方式会产生较多无效能耗,工作人员可以通过负载敏感控制技术对原有液压结构进行改造,让液压泵能够跟随现场作业负载的实时变化,自主调整工作压力与流量参数。设备进入轻载运行或停机状态时,系统能够自动完成泄压操作,以此减少液压系统的无效耗电,改善油温上升所带来的能量损耗问题。冷却、监测、照明等辅助设备的长期空载运行,是能耗损耗增加的主要原因,作业现场可以为这类设备设置联动启停机制,让设备运行状态与输出功率跟随作业负荷、环境温度以及作业进度自动调整,有效改善设备空载耗电的情况。该技术可以打通动力、液压、电控、冷却等各个系统的数据传输通道,实现多系统运行数据的实时互通,让各系统可以形成联动调控的运行模式,避免出现部分系统高负荷运行、其余系统空载运转的问题。这种整体协同的优化模式能够持续削减设备综合能耗,有效提升电动连续油管装备在油田现场作业过程中的实际能效水平。

3.4全流程智能能效管控运维技术

全流程智能能效管控运维技术可以缓解电动连续油管装备因管控不完善、运维不标准产生的能效下降问题,该技术能够让设备在长期服役过程中保持相对稳定的作业能效。油田现场可以搭建统一的能耗监测管理体系,工作人员能够在设备关键点布置采集装置,这套装置可以持续收集设备整体能耗、各子系统能耗以及单次作业产生的能耗数据。系统会自动整理和分析收集到的各类数据,能够精准识别高能耗作业环节与设备潜在故障问题,为设备节能优化工作提供可靠的数据支撑^[5]。工作人员可以提前在系统内设置能耗判定标准,设备在运行过程中出现能耗异常、参数偏移和部件老化等情况时,系统会及时推送预

警提示和整改方案,方便工作人员第一时间处理各类能耗隐患。油田行业需要建立完善的电动设备运维管理机制,明确电驱系统、电控部件和储能装置的日常养护与定期检修标准,工作人员需要定时核查设备运行状态,及时排查各类能够造成能耗损耗的问题。油田单位还需要常态化开展运维人员技能培训,强化工作人员对电动作业设备的管控与维护能力,减少人为操作偏差和运维缺失带来的能耗浪费,持续保障设备的高效运行状态,有效提升电动连续油管装备的作业能效与油田现场应用价值。

4 结束语

综上所述,油田低碳建设工作可以依托电动连续油管的能效优化工作推进落实。设备作业能耗能够得到有效控制,主要依靠动力结构匹配、工况参数调节和多系统协同优化等相关手段。规范的设备运维模式可以长期维持设备的高效运行状态,减少设备能效衰减问题。各项节能技术的整合应用,可以补齐设备运行存在的能效短板,提高井下作业的节能效果。相关研究内容能够为油田电动设备改造、能耗管理工作提供基础思路,推动油气开采行业的低碳转型进程。

[参考文献]

- [1]冯耀荣,王新虎,李鹤林.石油管和装备的失效分析及预测预防[J].石油管材与仪器,2025,11(1):1-12.
- [2]贾盼龙,刘文红,贾春龙,等.再制造非调质N80旧油管水压试验开裂原因分析[J].石油管材与仪器,2025,11(4):99-104.
- [3]仝珂,刘青,李沛轩,等.基于人工智能的全流程石油管材金相分析技术研究及实验室应用[J].石油管材与仪器,2025,11(5):49-58.
- [4]王瑾,李勇,苏冰洁,等.在役油管内壁腐蚀缺陷脉冲涡流检测方法[J].传感器与微系统,2024,43(12):122-125+130.
- [5]刘文红,谷锋锋,李京川,等.油气田废弃旧油管绿色再制造关键技术创新与工业化应用[J].科技和产业,2024,24(13):213-219.

作者简介:

邓建军(1982--),男,汉族,四川人,本科,工程师,研究方向:连续油管智能、自动化精细控制。