

石油压裂设备的能耗分析与节能技术研究

朱普文 陈 鹏

中石化西南石油工程有限公司井下作业分公司 四川 德阳 618000

摘 要：石油压裂设备作为油气田开发的关键设备，其能耗问题一直备受关注。通过深入分析石油压裂设备的能耗构成及影响因素，包括动力系统、设备结构、运行管理以及压裂工艺等方面。在此基础上，探讨了多种节能技术的研发与应用，如电动压裂技术、设备轻量化与模块化设计、智能控制节能技术以及优化压裂工艺等。通过对比分析，本文提出了针对性的节能降耗策略，旨在为石油压裂设备的节能减排提供理论支持和实践指导。

关键词：石油压裂设备；能耗分析；节能技术；石油开采

引言：石油压裂设备作为油气田勘探开发的关键设备，其运行效率和能耗水平直接影响到油气资源的开采成本和环境保护。随着全球能源需求的不断增长和环保意识的日益增强，石油压裂设备的能耗问题已成为业界关注的焦点。本文旨在深入分析石油压裂设备的能耗构成及其影响因素，并探讨多种节能技术的研发与应用，以期石油压裂设备的节能减排提供新的思路和实践指导。通过本研究，我们期望能够为油气田开发的可持续发展贡献一份力量，推动行业向更加绿色、高效的方向迈进。

1 石油压裂装备综述

1.1 构成部分与运作机制

石油压裂装备系水力压裂作业不可或缺的集成工具，旨在通过向油气层高压注入流体以生成裂隙，进而提升油气渗透率及产量。其核心构成涵盖：（1）压裂泵车。作为压裂作业的中枢，压裂泵车凭借高压、大排量特性，将压裂液注入地层以诱导裂隙形成。它由运输、动力源、传动系统及泵体等核心组件构成，其中泵体为驱动作业的核心。压裂泵车需满足高强度、耐腐蚀、耐磨损等严苛技术标准；（2）混砂车。在压裂流程中，混砂车负责精确配比并混合砂石，持续为压裂泵车提供砂液。其构造集成了传动、供液与输砂系统，保障了砂液品质与供应稳定性；（3）平衡装置车。平衡装置车在维持封隔器上下压力差于安全范围内发挥着关键作用，保护封隔器及套管不受损害。面对砂堵等紧急状况，它能即时启动反冲洗或反压功能，迅速排除故障，保障作业安全；（4）远程监控车。作为压裂作业的智能指挥中心，远程监控车可遥控压裂车与混砂车，实时收集并分析作业参数。借助实时监控、数据分析及裂隙模拟，为施工团队提供决策依据，优化作业策略；（5）管汇运输车。管汇运输车负责装载各类管汇组件，诸如高压三

通、四通、单向阀及调控阀等，确保压裂作业流程的无缝衔接。

工作原理：压裂作业的基本机理在于，借助高压泵组，将特定粘度的流体以高速注入地层。当注入速率超越地层吸纳能力时，地层会发生破裂或原有微小裂缝会扩展，形成更大裂缝。持续注入液体将使这些裂缝进一步向内部延伸。为防止停泵后裂缝因上部岩层重力而闭合，需向注入液中掺入支撑剂，使其留在裂缝中维持缝面张开。压裂液在液罐车与压裂车间循环流动，途径为液罐车→混砂车→压裂泵→高压管汇→返回液罐车，此循环用于检测压裂泵工况及管线连接牢固性，需逐车逐档进行直至排液正常。随后，关闭井口总阀，对地面高压管线及井口连接处进行压力测试，维持压力30~40Mpa约2~3分钟，若无泄漏则视为合格。测试通过后，开启总闸，使用1~2台压裂车将试剂液注入油层直至压力稳定，此步骤旨在验证井下管柱及工具完整性并了解油水吸收能力。压裂液中，前置液用于初裂地层并形成裂缝，携砂液携带支撑剂至裂缝预定位置，顶替液则确保携砂液完全进入裂缝。为优化压裂液使用及性能稳定，还需添加破胶剂、破乳剂及降粘剂等辅助剂^[1]。

1.2 常见石油压裂设备类型

压裂泵车：压裂泵车是专为压裂作业设计的设备，其核心作用是通过高压、大排量的压裂液注入，促使地层产生裂缝，并将支撑剂挤入这些裂缝中，从而优化油井地层的流动状况，缩小层间压力差异，进而提升油井的产量。混砂车负责按照特定的比例和程序将砂石混合，并将混合后的砂液供给压裂车使用，确保混合砂液的质量和供应的稳定性。平衡车主要用于维持封隔器上下的压差在可控范围内，保护封隔器和套管，同时在施工中出现砂堵、砂卡等意外情况时，能迅速启动反洗或反压井功能，确保施工安全。根据压裂液的类型和压裂

工艺的不同,还可能需要使用到不同类型的辅助设备,如酸化压裂工艺中使用的酸液配制设备、水平井分段压裂工艺中使用的封隔器、桥塞等工具。

2 石油压裂设备能耗现状分析

2.1 能耗数据收集与整理

为了准确评估石油压裂设备的能耗水平,首先需要收集相关的能耗数据。这些数据可以通过传感器、监测设备或手动记录等方式获取,包括但不限于电力消耗、燃油消耗、水资源消耗等。在收集数据时,需要确保数据的准确性和一致性,避免异常值和错误数据对分析结果的影响。在数据收集过程中,需要进行数据清洗、去噪和标准化等操作。数据清洗是指对收集到的数据进行筛选和修正,去除异常值和错误数据;去噪是指通过滤波、平滑等方法,消除数据中的噪声干扰;标准化是指将不同单位或范围的数据转化为统一的标准,以便进行比较和分析。在整理数据时,需要按照不同的设备类型、工艺阶段和能耗指标进行分类和归纳,以便后续的分析 and 评估^[2]。

2.2 能耗水平评估

能耗水平评估是衡量石油压裂设备能效的重要指标。在评估过程中,可以采用多种方法,如基于数据的能效评估模型、基于专家知识的能效评估模型以及基于混合方法的能效评估模型等。基于数据的能效评估模型是通过收集和分析设备运行数据,建立数学模型对设备的能效进行评估;基于专家知识的能效评估模型是依靠专家经验和分析判断能力对设备的能效进行评估;而基于混合方法的能效评估模型则是综合采用数据和专家知识对设备的能效进行评估。具体来说,可以通过以下步骤进行能耗水平评估:步骤一,确定评估指标。根据石油压裂设备的能耗特点,确定合适的评估指标,如电力消耗、燃油消耗、水资源消耗等;步骤二,收集和分析数据。按照确定的评估指标,收集相关的能耗数据,并进行清洗、去噪和标准化等操作。然后对收集到的数据进行分析和计算,得出各项指标的具体数值;步骤三,建立评估模型。根据收集到的数据和分析结果,建立合适的评估模型,对石油压裂设备的能效进行评估。评估模型可以采用统计方法、神经网络、支持向量机等机器学习算法进行建模和分析;步骤四,得出评估结果。通过评估模型,得出石油压裂设备的能效水平评估结果。根据评估结果,可以对设备的能效水平进行分级和排序,以便后续的优化和改进。需要注意的是,在评估过程中,需要充分考虑设备的运行条件、工作环境和工艺要求等因素对能耗水平的影响。还需要定期对评估结果

进行更新和调整,以适应设备性能的变化和工艺要求的改进。

3 石油压裂设备能耗影响因素分析

3.1 设备自身因素

石油压裂设备的能耗在很大程度上受到设备自身因素的影响,设备的类型与性能是决定能耗水平的关键因素之一。不同类型的压裂设备,如压裂泵车、混砂车等,其能耗特性各不相同。高性能的设备往往具有更高的能效比和运行效率,能够在保证作业质量的同时,有效降低能耗。设备的老化程度也会影响能耗。随着设备使用时间的增长,部件磨损、性能下降等问题会逐渐显现,导致能耗增加。设备的维护和保养对于保持其良好性能和降低能耗至关重要。设备的能效设计也是影响能耗的重要因素,现代石油压裂设备在设计中越来越注重能效优化,通过采用先进的节能技术、优化设备结构等方式,降低设备运行过程中的能耗。

3.2 作业工艺因素

作业工艺的选择和实施对石油压裂设备的能耗有着直接的影响。不同的压裂工艺,如水力压裂、酸化压裂、水平井分段压裂等,其能耗特性各不相同。水力压裂工艺需要消耗大量的水资源和电力来驱动压裂泵车等设备,而酸化压裂工艺则需要使用强酸等化学试剂,这些都会增加能耗。在选择压裂工艺时,需要综合考虑地质条件、储层特性、作业成本等因素,选择最适合的工艺方案,以降低能耗。钻井工艺的选择和钻井参数的设定也会影响设备的能耗。合理的钻井工艺和参数设置能够有效降低能耗,提高钻井效率。

3.3 运行管理因素

运行管理水平对石油压裂设备的能耗同样具有重要影响。有效的运行管理能够确保设备的稳定运行和高效作业,从而降低能耗。合理的作业调度和规划能够避免设备的闲置和浪费,提高设备的利用率和作业效率。设备的维护保养也是降低能耗的关键。定期对设备进行检修、保养和更换磨损部件,可以保持设备的良好性能和降低能耗^[3]。运行管理人员的操作技能和节能意识也是影响能耗的重要因素。操作熟练、技能高超的管理人员能够准确掌握设备的运行状态和能耗情况,及时调整作业参数和设备设置,以降低能耗。节能意识的普及和推广也能够促进运行管理人员更加关注能耗问题,采取积极的节能措施。

4 石油压裂设备节能技术研究

4.1 动力系统节能技术

动力系统作为石油压裂设备的核心组成部分,其节

能技术的研发与应用对于降低整体能耗具有重要意义。传统的动力系统往往依赖于柴油等化石燃料,不仅能耗高,而且排放量大,对环境造成严重影响。动力系统节能技术的研究成为当前石油压裂设备节能降耗的关键。近年来,电动压裂技术的兴起为动力系统节能提供新的思路。电动压裂技术采用电力作为动力源,相比传统的柴油动力,具有能耗低、排放少、噪音小等优点。例如,在涪陵页岩气田,江汉石油工程井下测试公司成功引进了中石化第一代单机双泵5500型电驱压裂撬,并自主研制出了具有自主知识产权的“智能化全电驱压裂系统”。该系统相比传统压裂,能源消耗降低了29%,实现了零碳排放、低噪声,标志着国内页岩气电驱压裂正式步入“一键联动”智能时代。随着新能源技术的发展,太阳能、风能等可再生能源在石油压裂设备动力系统中的应用也逐渐增多,为动力系统节能提供了更多可能。除了动力源的选择,动力系统的优化也是节能降耗的重要途径。采用变频调速技术、能量回收技术等先进技术,也可以进一步提高动力系统的能效水平。

4.2 设备结构优化技术

设备结构的优化对于降低石油压裂设备的能耗同样具有重要意义。设备结构优化的方法主要包括轻量化设计、模块化设计、集成化设计等。轻量化设计通过采用高强度、轻质的材料,减少设备的重量,从而降低能耗。模块化设计将设备拆分成多个独立的模块,便于运输、安装和维护,同时可以降低设备的制造成本和能耗。集成化设计则将多个功能部件集成在一起,减少设备的占地面积和能耗。设备结构的优化还可以考虑采用先进的制造工艺和加工技术,如精密铸造、数控加工等,以提高设备的制造精度和性能,进一步降低能耗。

4.3 智能控制节能技术

智能控制节能技术是石油压裂设备节能降耗的重要手段之一。智能控制节能技术主要包括自适应控制、预测控制、模糊控制等。自适应控制可以根据设备的实际运行状态和外部环境的变化,自动调整控制参数,使设备始终保持在最佳工作状态,从而降低能耗。预测控制则通过对设备运行状态的预测,提前调整控制策略,避免不必要的能耗。模糊控制则通过模糊逻辑算法,实现对设备运行状态的模糊控制,提高控制的精度和稳定

性,进一步降低能耗。在石油压裂设备中,智能控制节能技术的应用主要体现在对压裂泵车、混砂车等关键设备的控制上。通过实时监测设备的运行状态和能耗情况,智能控制系统可以自动调整设备的运行参数,如排量、压力等,使设备始终保持在最佳工作状态,从而降低能耗。

4.4 压裂工艺节能技术

压裂工艺作为石油开采过程中的重要环节,其节能技术的研究同样具有重要意义。传统的压裂工艺往往存在能耗高、效率低等问题,因此通过优化压裂工艺,可以降低能耗,提高开采效率^[4]。压裂工艺节能技术主要包括降滤技术、优化压裂液体系、提高压裂液效率等。降滤技术通过在压裂液中加入降滤剂,减少压裂液的滤失,提高压裂液的效率。优化压裂液体系则通过选择合适的压裂液配方和添加剂,降低压裂液的摩擦阻力和能耗。提高压裂液效率则通过优化压裂施工参数和工艺流程,使压裂液能够更充分地作用于储层,提高开采效率。压裂工艺节能技术还可以考虑采用先进的裂缝监测技术和地应力监测技术,以更准确地了解储层的特性和裂缝的分布情况,从而优化压裂施工方案,降低能耗。

结束语

石油压裂设备的能耗分析与节能技术研究对于推动油气田开发的可持续发展具有重要意义。通过深入分析能耗构成及影响因素,并探索有效的节能技术,可以为石油压裂设备的节能减排提供科学依据和实践路径。未来,随着新能源技术的不断发展和应用,石油压裂设备的能耗水平有望进一步降低,为油气田开发的绿色发展贡献力量。

参考文献

- [1]贺佳宁.石油天然气工程技术节能管理策略研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(16):57-60.
- [2]曹玉兰.石油化工节能的关键技术[J].化学工程与装备,2023,(04):179-180.
- [3]魏文勇,邱海涛,王彬,等.青海油田采油五厂能源管控系统的研究与应用[J].石油石化节能,2022,12(1):35-36.
- [4]刘俊东,祁建成,姚庆童,等.超浅油藏人工举升工艺研究与应用[J].石油知识,2022(2):56-57.