

石油机械在石油工程中应用

张绍坤

利丰工程技术(天津)有限公司 天津 300000

摘要: 石油机械贯穿勘探、开采、储运等全流程,通过地震勘探设备、测井机械、钻井机械、采油机械及油气储运机械等提升勘探效率、开采效能与储运安全。石油机械在石油工程中的具体应用涵盖了勘探阶段的数据采集与地层分析、开采阶段的提升举升与增产改造、储运阶段的管道运输与安全监控,以及油田生产辅助系统与非常规油气开发中的创新技术。未来石油机械将向智能化、高效化、环保化方向发展,为油气工业的可持续发展提供有力支撑。

关键词: 石油机械;石油工程;具体应用

引言

石油作为全球能源体系的核心组成部分,其高效开发与利用对保障能源安全、促进经济发展至关重要。随着油气资源开发向深海、极地等复杂环境延伸,以及非常规油气资源开发技术的突破,石油机械的技术创新与功能升级成为行业发展的关键驱动力。本文旨在系统分析石油机械在石油工程中的应用现状及发展趋势,为油气工业的智能化、高效化、环保化转型提供理论支撑与实践参考。

1 石油机械在石油工程中应用的作用

1.1 保障勘探效率

石油勘探是油气开发的第一步,而石油机械为地质勘探提供了关键技术支持。地震勘探设备通过高精度传感器采集地下岩层反射波数据,结合成像技术构建三维地质模型,大幅提升了油气藏定位的准确性;测井机械(如测井车、井下仪器)则能实时分析地层岩性、孔隙度等参数,为钻井决策提供科学依据。深海钻井平台、极地钻机等高端装备的应用,使人类得以在复杂环境中获取油气资源,拓展了勘探边界。

1.2 提升开采效能

在开采阶段,石油机械通过技术创新持续优化生产流程。以抽油机为例,游梁式抽油机通过机械结构将旋转运动转化为往复运动,实现原油举升;而无杆采油技术(如电潜泵、螺杆泵)则通过井下动力装置直接驱动流体,减少了地面设备的能耗与维护成本。智能采油系统的应用进一步提升了作业效率。

1.3 确保储运安全

油气储运是连接生产与消费的桥梁,而石油机械为管道运输、油气储存等环节提供了可靠保障。长输管道配备的高精度阀门、智能压缩机等设备,能够动态调节压力与流量,确保油气稳定输送;浮式储油装置

(FPSO)则通过模块化设计实现海上原油的初步处理与储存,降低了陆地终端的压力^[1]。

2 石油机械的主要类型及其功能

2.1 钻井机械

钻井机械是石油工程的第一步,其核心任务是通过破碎地层形成井筒,为后续开采提供通道。主要设备包括钻机和钻头,二者协同作业实现高效钻进。(1) 钻机。钻机是钻井作业的核心动力源,按驱动方式可分为机械驱动、电动驱动和液压驱动三类。现代钻机普遍采用模块化设计,具备自动化程度高、适应性强等特点。陆地钻机通过井架、天车、游车等部件组成提升系统,配合转盘驱动钻具旋转;深海钻机则集成定位、防喷、动力传输等功能,如第六代半潜式钻井平台,可在水深3000米的海域稳定作业。(2) 钻头。钻头是直接破碎岩石的工具,其性能直接影响钻井速度。常见类型包括牙轮钻头、金刚石钻头和PDC钻头(聚晶金刚石复合片钻头)。牙轮钻头通过滚动压碎岩石,适用于硬地层;PDC钻头则以切削方式破岩,在软至中硬地层中效率更高。

2.2 采油机械

采油机械负责将地下油气资源举升至地面,需根据油藏特性选择不同设备。(1) 抽油机。抽油机是有杆泵采油的核心设备,通过游梁-曲柄机构实现往复运动,带动抽油杆上下冲程。游梁式抽油机结构简单、维护方便,但能耗较高;无杆采油技术(如电潜泵、水力活塞泵)则通过井下动力装置直接驱动流体,适用于深井、斜井等复杂井况。(2) 螺杆泵。螺杆泵利用螺杆与衬套的啮合实现流体输送,具有排量均匀、适应高含砂井的优点。在稠油开采中,螺杆泵可通过加热或掺稀油降低原油粘度,提升举升效率。此外,智能采油系统通过变频驱动和远程监控,实现抽油机冲次、冲程的自动调节,降低能耗10%-15%。

2.3 油气储运机械

油气储运机械负责将开采出的油气安全、高效地输送至终端用户，涵盖以下管道、阀门、压缩机等关键设备。（1）管道系统。管道是油气运输的“生命线”，需具备高强度、耐腐蚀特性。长输管道通常采用X80级以上钢材，并配备阴极保护系统和泄漏监测装置。如中俄东线天然气管道采用智能感知技术，可实时监测管道压力、温度及应变状态。（2）阀门与压缩机。阀门用于控制管道流量和压力，包括球阀、闸阀、安全阀等类型。压缩机则是气体输送的动力源，离心式压缩机适用于大流量、中低压力场景，往复式压缩机则在高压、小流量工况下表现更优^[2]。液化天然气（LNG）接收站中，低温压缩机需满足-162℃的工况要求，技术难度极高。

3 石油机械在石油工程中的具体应用

3.1 在勘探阶段的应用

石油勘探是油气开发的基础，其核心任务是通过地质调查与地球物理探测精准定位油气藏。石油机械在这一阶段的应用主要体现在数据采集、地层分析与钻井准备三个方面，具体如下：（1）地震勘探设备。地震勘探是油气勘探的核心手段，通过人工激发地震波并分析反射信号构建地下地质模型。震源设备方面，可控震源车利用振动平板向地下发射高频地震波，适用于城市、环境敏感区等对振动控制严格的区域；爆炸震源（如空气枪）则通过压缩空气瞬间释放强能量波，广泛应用于海洋勘探。数据采集系统由检波器、电缆和采集站组成，现代系统采用MEMS数字检波器，具备高灵敏度、宽频响特性，可实时传输数据至中央处理单元。数据处理软件利用反演算法将原始数据转化为三维地质模型，例如Schlumberger的Petrel软件能够模拟油气运移路径，精准预测储层分布。（2）测井机械。测井技术通过井下仪器测量地层物理参数，为钻井设计提供关键依据。测井车搭载伽马射线、电阻率、声波等仪器，通过电缆下入井中，获取地层密度、孔隙度等参数。成像测井技术可生成井壁高分辨率图像，识别裂缝、溶洞等复杂结构。随钻测井（LWD）技术则在钻井过程中实时测量地层参数，动态调整钻头轨迹，显著减少非生产时间。（3）钻井准备设备。钻井准备设备是勘探与开采的衔接环节。陆地钻机采用模块化设计，可快速拆装运输，适应山区、沙漠等复杂地形；海洋钻井平台通过动力定位系统保持井位稳定，配备防喷器、泥浆循环系统等，可在水深3000米处作业，为深海勘探提供技术保障。

3.2 在开采阶段的应用

开采阶段是油气资源从地下到地面的关键环节，石

油机械通过提升、举升、增产等技术手段实现高效、安全开采，具体应用如下：（1）抽油设备。抽油机是有杆泵采油的核心设备，通过机械运动将原油举升至地面。游梁式抽油机采用四连杆机构将电机旋转运动转化为抽油杆往复运动，适用于中浅层油井；无杆采油技术则分别通过井下电机驱动离心泵和螺杆-衬套啮合输送流体，适用于高产量深井和高含砂、高粘度油井。智能抽油系统结合物联网与AI算法，实现冲次、冲程自动调节，提升开采效率。（2）人工举升设备。针对低渗透、低压力油藏，人工举升设备是提高采收率的关键。气举阀与气举压缩机通过注入高压天然气降低井筒液柱压力，使原油自动流出；水力活塞泵利用地面高压动力液驱动井下活塞泵，适用于深井、斜井，其地面设备简单但动力液消耗较大。（3）增产改造机械。增产改造机械用于改善低产井或衰竭油藏的渗流条件。压裂设备由压裂车、混砂车、仪表车组成，通过高压注入携砂液形成裂缝网络；酸化作业机械通过泵注盐酸或氢氟酸溶解地层堵塞物，恢复油井产能。

3.3 在油气储运中的应用

油气储运是连接生产与消费的桥梁，石油机械通过管道、储罐、压缩机等设备确保油气安全、高效输送，具体应用如下：（1）管道运输系统。长输管道采用X80级以上高强度钢材，配备阴极保护系统和泄漏监测装置，保障输送安全。智能管道技术通过光纤传感器实时监测管道应变、温度，结合无人机巡检与卫星遥感，实现全天候安全监控，及时发现并处理潜在风险。（2）储运设备与阀门。储油罐方面，浮顶罐通过浮盘随液位升降减少油气挥发，单罐容量可达15万立方米；LNG储罐采用双层真空绝热结构，储存温度低至-162℃。关键阀门（如球阀、安全阀、调节阀）分别用于快速切断、防止超压和控制流量，高压大口径全焊接球阀可承受极端工况，确保储运系统稳定运行。（3）压缩与液化设备。天然气压缩机中，离心式压缩机适用于大流量、中低压力场景，往复式压缩机则在高压、小流量工况下表现更优^[3]。LNG液化装置采用混合制冷剂循环技术，将天然气冷却至-162℃液化，便于储存和运输，为天然气大规模应用提供技术支持。

3.4 在油田生产辅助系统中的应用

油田生产辅助系统是保障油气田高效运行的关键支撑，石油机械通过自动化、智能化设备实现生产监控、安全防护及环境管理，具体应用如下：（1）自动化生产监控系统。自动化生产监控系统通过传感器、控制器与通信网络，实现油气田生产全流程的实时监测与远程

控制。井口自动化装置（如智能采油树）可远程调控油嘴开度、监测井口压力与温度，减少人工巡检频率。SCADA（数据采集与监控系统）集成多源数据，通过边缘计算分析生产动态，预警设备故障或异常工况。（2）安全防护与应急设备。安全防护设备是油气田安全生产的底线。火灾报警系统采用红外、紫外复合探测器，结合气体泄漏传感器，快速定位火源与泄漏点。紧急关断系统（ESD）在检测到井口压力超限、硫化氢泄漏等风险时，自动关闭阀门、切断电源，防止事故扩大。防爆设备（如隔爆型电机、本质安全型仪表）在易燃易爆环境中保障设备安全运行。此外，应急响应设备（如消防机器人、无人机救援系统）可快速抵达事故现场，执行灭火、堵漏等任务。（3）环境管理与废弃物处理设备。环境管理设备聚焦油气田生产中的污染防控与资源回收。含油污水处理系统通过浮选、过滤、生化处理工艺，将含油污水净化至回注标准，减少水资源消耗。钻井废弃物处理设备（如热解气化装置）可将钻屑、泥浆转化为无害固体与可燃气体，实现减量化与资源化。挥发性有机物治理技术（如活性炭吸附、催化燃烧）则用于控制油气储存与装卸过程中的无组织排放，降低环境风险。

3.5 在非常规油气开发中的应用

非常规油气（如页岩气、致密油）开发需突破传统技术瓶颈，石油机械通过高压压裂、水平井钻井等创新手段，实现低渗透储层的经济开发，具体应用如下：

（1）水平井钻井与完井技术。水平井钻井技术是开发非常规油气的核心。旋转导向钻井系统通过实时调整钻头方向，实现井眼轨迹高精度控制，延长水平段长度，增加储层接触面积。多级分段压裂完井技术通过滑套开关控制压裂段数，结合可溶桥塞实现全井段均匀改造。智能完井系统可实时监测裂缝扩展形态，优化压裂参数，提升改造效果。（2）高压压裂与增产设备。高压压裂设备针对非常规储层低孔低渗特性，通过超高压（140MPa以上）注入携砂液形成复杂裂缝网络。大功率压裂单车台功率超3000马力，支持多井同步作业。连续油管作业机则用于水平井分段压裂、钻磨桥塞等作业，减少起下钻时间。增产设备还包括水力振荡器（降低摩阻）、可

降解压裂球（避免井筒堵塞）等，提升作业效率与安全性。（3）微纳米增渗与储层改造技术。微纳米增渗技术通过注入纳米颗粒或表面活性剂，改变岩石润湿性，降低原油流动阻力。纳米驱油剂可封堵高渗通道，引导流体转向低渗区^[4]。储层改造技术还包括二氧化碳压裂、微波加热等，为非常规油气开发提供新路径。

4 石油机械在石油工程中应用的发展趋势

石油机械在石油工程中的应用正呈现出智能化、高效化、环保化的发展趋势。随着科技的进步，智能化石油机械如智能抽油系统、自动化生产监控系统等逐渐普及，通过物联网、大数据、AI算法等技术实现远程监控、智能调控，显著提升作业效率与安全性。高效化成为行业追求的另一目标，高性能钻井设备、增产改造机械等不断涌现，助力油气资源的高效开发。环保化趋势日益凸显，石油机械在设计、制造、使用过程中更加注重节能减排，如采用清洁能源驱动、优化设备结构减少能耗、开发环保型材料等，以响应全球环保要求。

结束语

石油机械作为石油工程的核心装备，其技术进步与功能拓展深刻影响着油气资源开发的全链条效率与可持续性。从勘探阶段的地质建模到开采阶段的智能举升，从储运环节的安全保障到非常规油气开发的技术突破，石油机械始终扮演着创新引领者的角色。面对全球能源转型与环保要求的双重挑战，石油机械正加速向智能化、高效化、环保化方向演进，通过物联网、大数据、AI算法等前沿技术的深度融合，实现设备性能的跨越式提升与资源利用效率的显著优化。

参考文献

- [1]杨来武. 石油机械在石油工程中的应用研究[J]. 化工管理,2021(15):66-67.
- [2]姜小森,董德超,王文杰. 石油机械在石油工程中的应用[J]. 化工设计通讯,2021,47(8):14-15.
- [3]国聪,马新贺,高磊. 石油机械在石油工程中的应用探讨[J]. 设备管理与维修,2020(11):17-19.
- [4]吴玉林. 石油机械在石油工程中的应用[J]. 工程学研究与应用,2024,5(16):33-34.