

抽油机的运行与节能

徐祥祥 范志忠

陕西延长石油机械装备制造有限公司 陕西延安 717400

摘要: 在当前能源日益紧张、油田生产成本不断攀升的大背景下, 本文聚焦抽油机运行与节能。先阐述其工作原理, 指出冲程、冲次等参数影响抽油效率。接着从运行优化策略入手, 包括合理匹配参数、优化传动系统、提升智能化水平; 还介绍节能技术措施, 涵盖电机节能、平衡节能、余热回收与能源替代技术。通过这些方法, 可实现抽油机高效稳定运行, 降低能耗, 提高能源利用效率, 对油田节能降耗、提升经济效益具有重要指导意义。

关键词: 抽油机; 工作原理; 运行与节能

引言

在油田生产中, 抽油机是关键的采油设备, 其运行状况与能耗水平直接影响油田的生产成本与经济效益。随着能源问题日益突出, 节能降耗成为油田发展的重要任务。抽油机运行过程中存在诸多能耗问题, 如运行参数不合理、传动系统机械损耗大、智能化程度低等。同时, 抽油机运行产生的余热以及油田现场丰富的可再生能源未得到充分利用。因此, 深入研究抽油机运行优化策略与节能技术措施, 对降低油田能耗、实现可持续发展具有重要意义。

一、抽油机工作原理

抽油机以三相异步电机作为动力源, 电机将电能转化为机械能后, 借助减速装置改变动力特性。以常见的游梁式抽油机为例, 电机带动减速箱输入轴旋转, 经内部齿轮啮合, 动力传递至输出轴, 使曲柄做匀速圆周运动。曲柄通过连杆与游梁一端相连, 拉动游梁绕支架轴上下摆动, 游梁另一端的驴头也随之上下运动, 完成动力传递过程。驴头通过悬绳器与抽油杆柱相连, 其上下摆动带动抽油杆柱在井筒内做往复运动。抽油杆柱下端连接着由泵筒、柱塞、游动阀和固定阀组成的抽油泵。当抽油杆带动柱塞向上运动, 泵筒内容积增大、压力降低, 固定阀在井筒油液压力作用下打开, 油液进入泵筒; 同时, 游动阀在柱塞上方油液重力作用下关闭, 柱塞上方的油液被提升至地面。柱塞向下运动时, 泵筒内容积减小、压力升高, 固定阀关闭, 游动阀打开, 泵筒内油液进入柱塞上方, 如此完成一次抽油循环。被提升至地面的油液经井口出油管线进入集输系统, 经过分离、净

化等处理后, 输送至储油设施或输油管道。在抽油过程中, 抽油机的冲程和冲次等运行参数对抽油泵排量和抽油效率影响显著。冲程是柱塞在泵筒内上下运动的最大距离, 冲次是柱塞每分钟的往复运动次数。合理调整这两个参数, 能使抽油机排量与油井产液能力相匹配, 防止出现“供液不足”或“过度抽汲”的情况, 保障抽油作业的高效稳定进行。

二、抽油机运行优化策略

(一) 合理匹配运行参数, 提升抽油效率

抽油机运行参数与油井工况的匹配程度, 对抽油效率有着直接影响。要依据油井实际产液能力和工况变化, 合理调整参数, 达成“供排协调”。冲程和冲次是影响抽油机排量的关键因素, 需结合油井液面深度、产液量、黏度等参数优化^[1]。供液充足的油井, 适当增大冲程和冲次可提高排量; 供液不足的油井, 减小冲次或增大冲程能降低空抽率, 避免能耗浪费。比如油井液面浅且采用高冲次易空抽时, 可将冲次从6次/min降至4次/min, 冲程从3m增至4m, 保证抽油泵充满系数的同时降低能耗。还可采用变冲次技术, 根据油井液面深度变化实时调整, 实现自适应运行。泵径大小决定抽油泵单次排量, 要依据油井产液能力和井筒直径选择。产液量大的油井, 选用较大泵径抽油泵(如 $\Phi 70\text{mm}$ 、 $\Phi 83\text{mm}$)可提高单次排量; 产液量小或井筒直径小的油井, 选用较小泵径抽油泵(如 $\Phi 56\text{mm}$ 、 $\Phi 62\text{mm}$), 避免“大泵小排量”, 降低磨损和能耗, 高黏度、高含砂油井应适当减小泵径, 防止卡泵或磨损过快。抽油杆柱的重量和强度影响抽油机负载和能耗, 需根据油井深度、井筒直径和油液性质优化设计。深井和超深井可采用复合抽油杆柱, 在保证

强度前提下降低重量、减少负载；高黏度油井可在抽油杆柱上加装扶正器，减少摩擦阻力、降低能耗。

（二）优化传动系统，降低机械损耗

抽油机传动系统作为能量传递的关键环节，其传动效率高低对能耗有着直接影响。因此，需采取系列措施优化传动系统结构、加强润滑维护，以降低机械损耗，提升传动效率。传动部件升级改造是重要手段。对于老旧抽油机的减速箱，采用新型齿轮材料，如高强度合金钢材，并运用精密加工工艺，可提升齿轮承载能力与传动效率；在减速箱内加装滚动轴承替代滑动轴承，能有效减少摩擦损耗。游梁式抽油机的曲柄连杆机构，用耐磨材料制作连杆接头和销轴，在关节处加装自润滑轴承，可降低摩擦系数，减少机械损耗。此外，对抽油机驴头进行优化设计，用弧形驴头替代传统平面驴头，能减少悬绳器横向摆动，降低抽油杆柱磨损和能耗^[2]。加强润滑维护也不容忽视。传动部件润滑状况直接影响机械损耗，需建立完善的润滑维护制度，定期对减速箱、曲柄连杆、轴承等传动部件进行润滑保养。根据部件工作温度和负载情况，选择合适的润滑油型号，如减速箱选用中负荷工业齿轮油，轴承选用锂基润滑脂。定期检查润滑油油位和油质，及时补充或更换，同时清洗润滑系统过滤器，防止杂质进入加剧磨损。加强润滑维护可使传动部件摩擦损耗降低10%~15%。平衡调整优化同样关键。游梁式抽油机平衡状况影响运行稳定性和能耗，需定期调整平衡，确保上下冲程负载均衡。常用曲柄平衡块和游梁平衡块调整法，通过改变平衡块数量或位置，使净扭矩波动控制在合理范围。

（三）智能化水平，实现精准监控

提升抽油机智能化水平，是推动其运行优化与节能降耗的关键举措。借助集成传感器技术、物联网技术和智能分析算法，可达成对抽油机运行状态的实时监控、故障预警以及远程控制。安装智能监测系统是基础。在抽油机不同部位安装各类传感器，全面采集运行与油井生产参数。于电机处安装电流、电压和温度传感器，可实时监测电机运行状态；在曲柄安装扭矩传感器，能掌握抽油机负载变化；井口配备压力和流量传感器，可监测井口压力与产液量；井筒内安装液面传感器，能获取油井液面深度。这些传感器采集的数据经物联网模块传输至远程监控中心，实现数据实时存储与可视化展示。监控人员借助电脑或手机终端，就能随时查看抽油机运行状况，及时发现异常。引入智能分析算法是核心。运

用大数据分析和人工智能算法，对采集到的参数进行深度剖析。建立抽油机负载预测模型，依据历史负载数据和油井工况变化，预测未来负载趋势，提前调整运行参数，防止负载波动过大。构建故障诊断模型，分析电机电流、扭矩、温度等参数，识别潜在故障，如电机过载、抽油泵卡泵等，并及时预警。同时，建立能耗优化模型，根据油井产液量和液面深度，自动算出最优冲程和冲次参数，实现自适应节能运行。实现远程控制与自动化操作是目标^[3]。基于智能监测与分析，当抽油机出现异常负载或故障时，远程监控中心可远程停机，避免故障扩大。油井工况变化时，能远程调整参数，无需现场操作，提高效率。还可实现自动化启停，根据液面深度变化自动控制，避免空抽和过度抽汲，进一步降低能耗。

三、抽油机节能技术措施

（一）电机节能技术

电机作为抽油机的主要能耗设备，占总能耗的80%以上，采用高效节能电机和电机节能控制技术是降低能耗的关键。选用高效节能电机是基础举措。传统抽油机多采用普通Y系列三相异步电机，效率仅75%~85%，而YE3系列、YX3系列等高效节能电机效率可达90%以上，能耗降低10%~15%。其采用新型铁芯材料、优化绕组设计和精密制造工艺，降低了铁芯、铜及机械损耗。选用时要精准匹配抽油机实际负载，避免“大马拉小车”，确保电机在高效区运行。如负载率70%~80%的抽油机，选匹配电机；负载率低时，可降压运行或换小功率电机。采用变频调速技术是主流节能方式。该技术通过改变电机供电频率实现转速无级调节，让电机输出功率与抽油机实际负载需求匹配，避免空载或轻载运行。其系统由变频器、控制器和传感器组成，传感器采集参数，控制器据此调整变频器输出频率改变电机转速。实践表明，采用此技术抽油机能耗可降低20%~30%，还能减少启动冲击，延长电机寿命。应用永磁同步电机技术是理想升级方向。它效率高、功率因数高、体积小、重量轻，能耗比传统异步电机降低15%~25%，且配套专用控制器可实现精准控制和调速，在国内多个油田试点应用节能效果显著，推广前景广阔。

（二）平衡节能技术

抽油机平衡状况对电机负载和能耗影响显著，优化平衡方式、提升平衡精度，能有效降低电机无功损耗，提高运行效率。机械平衡优化方面，传统游梁式抽油机的机械平衡方式，如曲柄平衡、游梁平衡，存在平衡

精度低、调整困难的问题。可采用复合平衡方式，像曲柄平衡与游梁平衡结合，或在游梁尾部加装可调节平衡块，通过调整其位置，进一步减小上下冲程负载波动，将抽油机净扭矩波动控制在更小范围，例如小于额定扭矩的10%。还可引入自动平衡调整装置，利用传感器实时监测抽油机净扭矩变化，由电动执行机构自动调整平衡块位置，实现平衡状态的动态优化，避免人工调整的滞后性与误差^[4]。气动平衡技术是新型平衡方式，适用于游梁式抽油机。通过在游梁尾部连接气缸，利用压缩空气压力实现平衡。气动平衡系统由气缸、储气罐、压力传感器和控制器组成。上冲程时，气缸内压缩空气膨胀推动游梁向上，辅助电机做功；下冲程时，游梁压缩气缸内空气，将能量储存于储气罐。该技术可显著减小电机负载波动，降低电机峰值功率，能耗比传统机械平衡方式降低8%~12%，且结构简单、维护方便，适用于工况复杂、负载波动大的油井。液压平衡技术借助液压系统实现平衡，具有平衡精度高、响应速度快、能量回收效率高的优点。其系统由液压缸、液压泵、蓄能器和控制器组成，能实现能量的循环利用，可使抽油机能耗降低10%~15%，同时减小设备振动和噪声，延长设备使用寿命。

（三）余热回收与能源替代技术

抽油机运行中会产生大量余热，且油田现场有丰富可再生能源，通过余热回收与能源替代，可降低化石能源消耗，实现节能降耗。电机余热回收技术能解决电机运行热量浪费问题。传统电机热量经散热片自然散发，而该技术通过在电机外壳加装散热管或散热套，用循环水或空气收集热量，用于加热油田生产或生活用水。如在电机外壳加装螺旋形散热管，管内循环水吸收热量后输送至井口伴热系统，替代传统伴热方式，回收效率达30%~50%，一台110kW电机每年可回收约10万kWh余热，节约标准煤3.5t。太阳能供电技术适合光照充足的油田现场。其系统由太阳能电池板、储能电池等组成，能将太阳能转化为电能，部分直供抽油机，多余电能储

存起来，光照不足时释放^[5]。偏远油田可实现离网运行，稳定地区可并网实现能源梯级利用，采用该技术抽油机每年可节约2万~5万kWh电能。风能-电能互补供电技术适用于风力资源丰富地区。系统由风力发电机等组成，风力发电机将风能转化为电能，风力不足时由电网或储能电池供电，可降低对电网电能依赖，我国西北地区油田采用该技术抽油机每年可节约3万~6万kWh电网电能，减少二氧化碳排放20~40t。

结语

综上，抽油机运行优化与节能降耗是一项系统工程，需从多方面协同推进。通过合理匹配运行参数、优化传动系统、提升智能化水平，可有效提高抽油机运行效率；采用电机节能、平衡节能、余热回收与能源替代等技术措施，能显著降低能耗。油田企业应结合自身实际，积极应用这些策略与技术，不断探索创新，推动抽油机向高效、节能、智能化方向发展，为油田可持续发展和能源高效利用贡献力量。

参考文献

- [1] 兰浩天. 油田开发生产运行中的抽油机电机节能降耗措施分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(4): 34-36.
- [2] 刘刚, 逯玉亮, 田敏. 油田开发生产运行中的抽油机电机节能降耗措施浅谈[J]. 市场周刊·理论版, 2020(24): 212-212.
- [3] 温后珍, 陆建明, 孟碧霞, 陈颖, 张义举, 李媛媛. 基于知识图谱与深度学习的抽油机故障诊断[J]. 化工自动化及仪表, 2025, 52(3): 384-391.
- [4] 穆学杰, 张义贵. 油田抽油机用包布V带性能的研究[J]. 橡胶科技, 2025, 23(6): 327-330.
- [5] 杜帆, 付荣, 胡芳芳, 李皓玥, 郭敏, 刘洋. 油田双驴头抽油机安全风险情况分析[J]. 石油化工安全环保技术, 2025, 41(1): 49-53+I0003.