油田机采系统节能技术的应用及建议

孟祥涛[1] 张晓燕[2]

(1. 中国石化中原油田分公司安全环保部;2. 中国石化中原油田分公司生产运行管理部)

摘 要 文章对中原油田机采系统 8 种典型节能技术应用情况进行了总结,针对目前老油田开发后期面临产量下降、含水率上升、吨油成本高、高耗低效等矛盾,旨在找出适合老油田开发实际的低成本的节能技术和管理措施,即通过新投井设备配套中优先新型抽油机、数字化油田建设优先机电一体化控制技术、机采设备技术改造中优先永磁半/全直驱控制技术、内部合同能源管理机制,实现降低能耗,提高能效,稳产增效的目的。

关键词 节能技术; 节能降耗; 机采系统

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2020.06.004 **文章编号:** 1005-3158(2020)06-0014-03

0 引 言

中原油田是国内陆上老油田之一,原油产量于 1988 年达到最高峰 722 万 t,经过 20 年的开发,到 2018 年产量下降至 126 万 t,原油含水达到 95%。目前原油生产面临产量递减、含水率上升、吨油成本高、高耗低效等矛盾。“十二五”以来,中原油田相继在机采系统试验和应用了一批节能新技术,虽然在生产中起到了一定的节能增效作用,但是并没有从根本上解决油田实际生产中的瓶颈问题。随着科技发展,从技术上解决这些难题成为可行,但是要从“技术可行、经济合理、企业可以承受”等综合决策,研究适合老油田生产实际的低成本采油生产节能技术,是节能工作中急需解决的重点任务。

1 存在问题

随着中原油田进入开采中后期,油井含水不断上升,动液面不断下降,油田产层深度、泵挂深度呈增加趋势[1]。当前油田机采系统主要存在以下问题。

1.1 主力机采设备自身存在的主要问题

目前,中原油田油井开井数为 3 200 余口,其中游梁式抽油机占 3 000 口以上,是油田机采系统的绝对主力设备,其采用四杆机构,虽然结构简单,运行可靠,操作维护方便,但由于其结构特征,存在平衡效果差、曲柄净扭矩脉动大的问题,导致载荷率低、工作效率低和能耗大等缺点。

游梁式抽油机四连杆机构使“驴头”的运动规律类似简谐运行,“驴头”在最高点和最低点运动方向发生交替转换中,地下井筒内的抽油泵柱塞并不是同步进行转换,而是有一定的置后时间,此时“驴头”与抽油泵柱塞的运动速度不同、方向甚至相反,而此时加速度变化最大,会对机械系统产生两大危害:一是对抽油机变速箱齿轮、抽油杆、抽油泵产生巨大的冲击载荷,容易造成减速箱损坏、抽油杆断脱,从而造成设备损坏,或发生井下事故;二是受惯性和抽油杆弹性变形影响,会造成抽油泵冲程损失,导致抽油泵效率下降。

1.2 地层供液与抽油机提液能力不匹配

在油井开采中后期,地层供液能力逐渐下降,抽油机单位时间抽出的液量变少,但其运行时间并没有减少,与以往相比,消耗相同的电能,产出的原油量变少,用电效率降低;随着时间的推移,用电效率还有降低的趋势。主要原因是由于抽油机对于发生变化的地层供液能力,仍保持固定的工作方式,高速的抽油机运行速度与低下的地层供液能力形成供不应求的状况,最终造成抽油机“泵空”(即空抽现象)[2]。

1.3 电力拖动装置与实际生产工况不匹配

游梁式抽油机启动转矩比正常运行转矩大 1 倍以上,通常都是重载启动;抽油机启动进入正常工作状态后,其平均转矩远小于启动转矩;而且为应对抽油过程中的砂卡、结蜡等特殊情况,防止电动机因卡死而烧毁,电动机设计功率都远大于正常运行功率。目前,油田抽油机常用的三相异步电动机出厂效率在 90%左右,但实际功率因数大多小于 0.4,负载率

孟祥涛,1995 年毕业于江汉石油学院安全工程专业,高级工程师,现在中国石化中原油田分公司从事节能低碳管理工作。通信地址:河南省濮阳市华龙区中原路 277 号中原油田安全环保处,457001。E-mail:706952601@qq.com。

低于 30%。选用大功率电动机确实提高了设备的稳定性，但电动机效率变低[3]。游梁式抽油机的载荷特点是带有冲击的周期性交变载荷，在一个冲程中存在发电问题，即抽油机“倒发电”现象，多余的能量反馈到电网，会对电网产生冲击，造成电网供电质量下降，对电动机影响很大，也不利于抽油机的可靠工作。

1.4 缺少适合油田生产实际的低成本节能新技术

“十二五”以来，油田每年试验和应用了一些节能新技术，从局部或者某些环节解决了一些实际问题，也确实取得了一定的节能效果和经济效益，但是存在性价比差、改进工作跟不上等问题，出现“节能不节钱”的现象，仍然没有解决油田实际生产中存在的系统性问题，无法大规模推广应用。

2　节能技术应用

为实现老油田机采系统节能降耗、提质增效，通过对油田“十二五”以来试验和应用的节能新技术进行总结，主要有以下 8 种节能技术。

2.1 抽油机直流集群控制技术

该技术集中整流、井口逆变的直流母线供电模式，充分发挥计量站油井集群优势，实现抽油机“倒发电”能量互馈共享，可远程监控，在线调整冲次与地层供液能力进行匹配，实现计量站整体效率提升，并根治窃电，但整体价格低，节电效果较好，在 1 座计量站（带 4 口油井）应用，现场测试节电率达 20%。

2.2 抽油机智能伺服姿态控制技术

油田机采系统配套的电动机以三相异步电动机为主，但是目前的伺服控制技术以同步电动机为主。三相异步电动机的伺服控制技术，可以根据生产实际有效调节冲次和电动机转矩，满足油井不同冲次连续生产需要，对抽油机运行姿态进行控制，在抽油杆上下冲程和死点附近实现变速运行，可以增加抽油泵有效冲程，减少抽油杆的冲击载荷，延长检泵周期，整体价格较低，节电效果显著，可以较好的解决油井地面、地下设备和工艺节能问题[4]。应用 35 口井，节电率在 30%～60%（通过调整参数）。

2.3 抽油机四象限变频器调速技术

该技术不仅可以实现抽油机变速调节，也可处理电动机“倒发电”问题，满足油井不同生产需求，但网侧电流谐波污染较重[5]、功率因数较低，整体造价高，体积大。应用两口井，节电率 20%（通过调整参数）。

2.4 永磁复合电动机直驱智能控制及安全制动技术

该技术以永磁复合电动机为动力源，替代抽油机减速箱，直接驱动抽油机曲柄，并通过变频控制技术，实现抽油机冲次不停机动态调整，减少皮带间接驱动环节，提高抽油机机械传动效率，但整体价格昂贵，且维护费用高。应用 10 口井，节电率在 30%（通过调整参数）。

2.5 永磁半直驱自动化技术

该技术将永磁电动机制作成圆饼状，安装于抽油机减速箱大皮带轮位置（替代大皮带轮），直接驱动减速箱，减少了皮带传动损耗；优选了适用于半直驱电动机的变频控制系统，实现抽油机运行远程控制及冲次调整，最低冲次可达 0.1 次/min；同时，提高抽油机各零部件的寿命，但安装较复杂，适合对抽油机进行节能改造。应用 27 口井，节电率在 30%～50%（通过调整参数）。

2.6 智能驱动式抽油机技术

该技术在抽油机游梁尾端安装智能驱动装置——驱动缸，在游梁前端装上安全杆，省掉抽油机原驱动装置系统，解决了抽油机“大马拉小车”和“倒发电”问题，目前仍处于完善试验阶段。应用两口井，节电率在 30%～60%（通过调整参数）。

2.7 塔架式抽油机技术

该技术为塔架式结构，采用外转子稀土永磁同步电动机和直接平衡方式，且与变频控制技术相结合，可解决深抽井、稠油井、严重偏磨井对“长冲程、低冲次”的需求，提高综合开采效益。在胡 47 块建立了 10 口井的节能抽油机示范区。由于厂家生产经营问题，设备售后服务跟不上，该机型未实现规模化应用[6]。应用 20 口井，节电率 30%（通过调整参数）。

2.8 新型螺杆泵（进口）采油技术

随着油田进入开发中后期，产能下降，含水上升，效益变差，电泵采油技术已不适应油田效益开发形势。为保证电泵井转改后液量稳定，对 18 口井实施螺杆泵应用，与电泵相比，产液及产量基本保持稳定，单井平均日节电 807 kW·h。但该技术对选井要求高，且价格较高。各种节能新技术应用情况统计见表 1。

表 1 中原油田节能技术应用情况统计 万元

序号	技术名称	价格	技术适应性
1	直流集群控制技术	8	适应性良好，能系统性解决地面节能问题。
2	智能伺服姿态技术	5～7	适应性优，能系统性解决地面、地下工艺节能。
3	四象限变频器调速技术	12	适应性一般，能部分解决地面节能问题。
4	永磁复合电动机直驱技术	20～30	适应性良好，能部分解决地面设备节能问题。
5	永磁半直驱自动化技术	9～12	适应性良好，能部分解决地面设备节能问题。
6	智能驱动式抽油机技术	25～30	适应性良好，能部分解决地面设备节能问题。
7	塔架式抽油机技术	25～30	适应性良好，能系统解决地面、地下工艺节能问题。
8	新型螺杆泵(进口)采油技术	78	适应性一般，能系统解决地下工艺节能问题。

3 结论及建议

解决老油田油气生产中的稳产增效、节能降耗问题，需要从管理和技术两个方面同时入手，既要在技术研发上有所突破，更要在管理上有所创新，研发应用低成本、适合老油田生产实际的节能新技术。

3.1 新投井设备配套中优先新型抽油机应用

智能驱动式抽油机、塔架式抽油机在价格上相差不大，与传统游梁式抽油机相比，技术和经济优势明显，信息化程度高，可以远程调整抽油机运行参数，系统效率比游梁式抽油机高 10%以上。如果仅以新、旧机型替换的方式进行推广，存在投资回收期长、造成资产闲置等问题。所以，可以在新投井配套中加大新机型的推广应用，形成规模效应。

3.2 数字化油田建设优先机电一体化控制技术应用

抽油机电动机调速主要有机械、变频和电磁调速 3 种。在数字化油田建设中，变频调速技术是关键技术，在远程调节抽油机运行参数中发挥巨大作用。但变频器对电动机转矩、转速的控制为一一对应关系，即高转矩对应高转速、低转矩对应低转速，无法满足抽油机低转速、高转矩的特殊变工况的需求。三相异步电动机伺服控制技术的核心是“对三相异步电动机转矩、转速的控制分开、独立控制”，在不改变地面设备、地下杆泵的前提下，可有效解决油井地面设备、地下杆泵工艺系统节能问题。其技术原理是根据抽油机运行轨迹特性，自动调节抽油杆在上下止点附近的运行速度，实现变速运行，减少冲程损失，减少抽油杆的冲击载荷，从而提高泵效，改善抽油杆受力状况，减少偏磨、断脱现象，有效延长“机-杆-泵”使用寿命，延长检泵周期 30%以上。将该技术作为关键技术在智能化油田建设推广应用，具有低成本优势。

3.3 机采设备技术改造中优先永磁半/全直驱控制技术应用

油田机采设备更新改造是一项复杂的工作，不能仅满足简单的以旧换新，不考虑改造的经济性。如果在更新电动机、减速箱、配电设施等项目中，可以论证应用永磁半/全直驱控制技术，这两种技术都可以取消电动机皮带传送这一耗能环节，永磁全直驱控制技术还能取消减速箱机械传动这一耗能环节。经现场应用评价，其综合经济效益较好。

3.4 内部合同能源管理机制有利于自主研发技术的应用

合同能源管理是国家鼓励推行的一种能源合作项目的机制，主要内容是以合同的形式，由外部企业(机构)进行投资，对油田的节能项目实施改造，节能项目投产后，油田在双方约定的一段时期内，用项目节约能源的成本支付给项目投资企业。在老油田企业，实施合同能源管理的难度很大，主要原因是项目论证周期长、审查难，导致很多项目没有论证通过。

油田企业应创新管理机制，研究建立“内部合同能源管理”新机制，促进科研单位自主研发节能科技成果的经济转化。“内部合同能源管理”的模式是由油田内部科研单位将自主研发的节能科技成果转化为生产力，与各采油厂签订内部合同，以技术服务的方式给各采油厂进行技术服务；采油厂在项目投运后，定期将节约能源的成本支付给科研单位。该模式可以有效解决能源基准、节能量核定、利益输送等实际难题。2016 年，文留采油厂与石油工程技术研究院以“内部合同能源管理”的模式，在采油管理二区 14 号站 4 口井实施了“直流集群控制技术”改造项目，取得了试点的成功，综合节电率在 20%以上。“内部合同能源管理”的新模式，不仅能够极大促进油田内部科研单位研发科技成果的应用转化，调动科研攻关的主动性、积极性，而且可以解决油田生产实际困难，降低油气生产成本，进一步提高油田经济效益。

(下转第 21 页)