

抽油机能效控制系统

针对油田开采过程中抽油机耗能明显，普遍存在的空抽现象，本文提出了一种油田抽油机能效控制系统的方案。该方案着重解决了以往国内采用的游梁式抽油机生产过程中能耗高、体积大、设备利用率低、操作复杂和后期维护耗费昂贵等问题，是一种集抽油机间抽、电动机节能和变矩平衡节能等技术于一体的多功能抽油机智能用电控制系统，实验结果证明了该系统可以有效解决抽油机的综合节能问题。

王炳国¹ 刘松^{2/1}. 中石化胜利石油管理局电力管理总公司 2. 华北电力大学电气与电子工程学院



王炳国/高级工程师

关键词/Keywords

梁式抽油机 ·
能效控制 ·
智能用电 ·

0 引言

我国的油田多半都是低浸透的低产、低能油田，并且多数已进入开采中后期，绝大部分油田都是通过灌水把石油压入抽油井内，然后通过抽油机把石油从抽油井中提取上来。所以电费在我国油田企业开采成本中所占比例非常大，据统计^[1]，油田抽油机的用电量大约占据了油田的总用电量的20%~30%，其中能源浪费的现象非常严重，电耗费用大约占了整个石油生产成本的40%。如何利用智能用电技术，对传统抽油机进行节能改造，实现可持续发展的战略目标，是油田电气应用智能化的一大目标。

1 国内外研究现状

目前，国内油田企业广泛利用的抽

油机主要是游梁式抽油机，在实际生产过程中存在着能耗高、体积大、设备利用率低、操作复杂和后期维护耗费昂贵等弊端。因此对于抽油机节能改造的技术方式主要分成两类：①开发不同类型的节能电动机，例如高转差率电动机、电磁调速电动机和三相永磁同步电动机等^[2]；②使用节能配电箱，如电容器静态无功补偿以及动态无功补偿、定子绕组Y/△转换调压和变频电源等^[3]。

在国外同样也有相当多的节能降耗抽油机被研制出来并且推广，世界第一台智能抽油机是由美国的National Supply公司研制生产的，它节约电能可在10%~30%；美国CMI公司研发的Torqmaster(TM)异相型抽油机，它的最大扭矩减少了60%，节约电能15%~35%^[4]；此外，由美国Baldor电器公司研制的高转差率电动机驱动抽油机，可以把功率因数提高到74%，在节约电能22.7%的同时，还能增产石油1.96%^[5]。

提高游梁式抽油机系统效率的主要方式主要过提高四部分的工作效率来实现的：电动机、四连杆机构、负荷平衡装置和传动元件^[6]。目前游梁式抽油机节能方式具体有：①调整四连杆机构“参数”；②改变游梁机结构；③改变抽油机的平衡方式；④采取先进的控制技术对电动机进行控制。目前大多数节能方案都是独立、单一地利用以上方法，而不能系统地综合利用^[7]。

针对这个问题，本研究提出集抽油机间抽、电动机节能和变矩平衡节能等技术于一体的油田抽油机能效控制系统，有效解决抽油机的综合节能问题。

2 抽油机能效控制系统工作原理

2.1 游梁式抽油机结构简介

游梁式抽油机的种类非常多，但是它们的基本结构和工作原理基本类似，都是由游梁-连杆-曲柄机构、减速装置、动力设备和辅助装置等四大部分组成，如图1所示。电动机将它的高速旋转运动能量传送到减速器的输入轴，通过中心轴带动输出轴运动，输出轴开始运行后便带着曲柄作低速旋转运动。与此同时，抽油机的游梁后端由曲柄经横梁通过连杆拉着上下摆动。在游梁的前端装设有“驴头”，上面负载着活塞以上的液柱和抽油杆，“驴头”跟随着游梁臂一起上下摆动，然后拉动抽油活塞作垂直往复运动，地下石油就这样被抽出油井。电动机、地面设备以及井下设备共同组成了有杆抽油系统，系统效率指的是这些子系统每个部分自身效率的连乘积，所以，不管哪一个部分的效率降低，都将会导致系统的总效率降低，因此要提高抽油机系统的总效率来达到节能就必须考虑到每一部分的效率值。

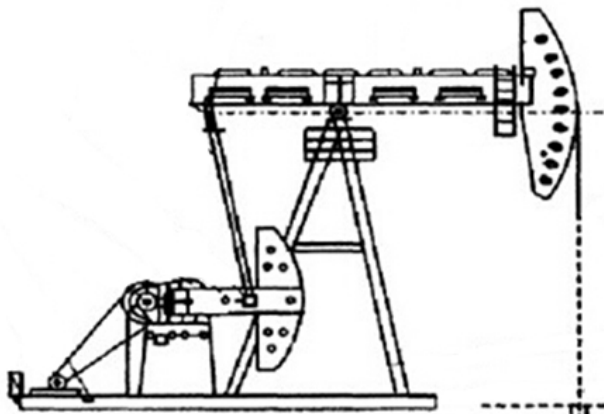


图1 游梁式抽油机结构

2.2 抽油机能效控制系统工作流程

本研究提出的抽油机能效控制系统将抽油机间抽、电动机节能和变矩平衡节能等技术集于一体，其工作流程如下：当抽油机起动运行的时候，系统调用获取模式函数，判断工作模式，如果抽油机没有正常平衡工作，则智能调节平衡滑块位置，使抽油机恢复平衡状态。为防止由于开采工况改变造成抽油机进入新的不平衡状态，该平衡调整的工作是一个循环过程。当抽油机处于平衡状态时，系统会调用负荷传感器判断抽油杆

是否处于空抽状态：若处于空抽状态，则远程操控抽油机断电，并且监测油井地下液面直到恢复可开采的正常范围，重新起动抽油机；如果处于正常可开采状态，则调用无功补偿函数，依据实时状态调整运行模式的参数控制装置运行，主函数每一次循环将测量装置运行的电压、电流等值，用以判断电机是否正常工作。

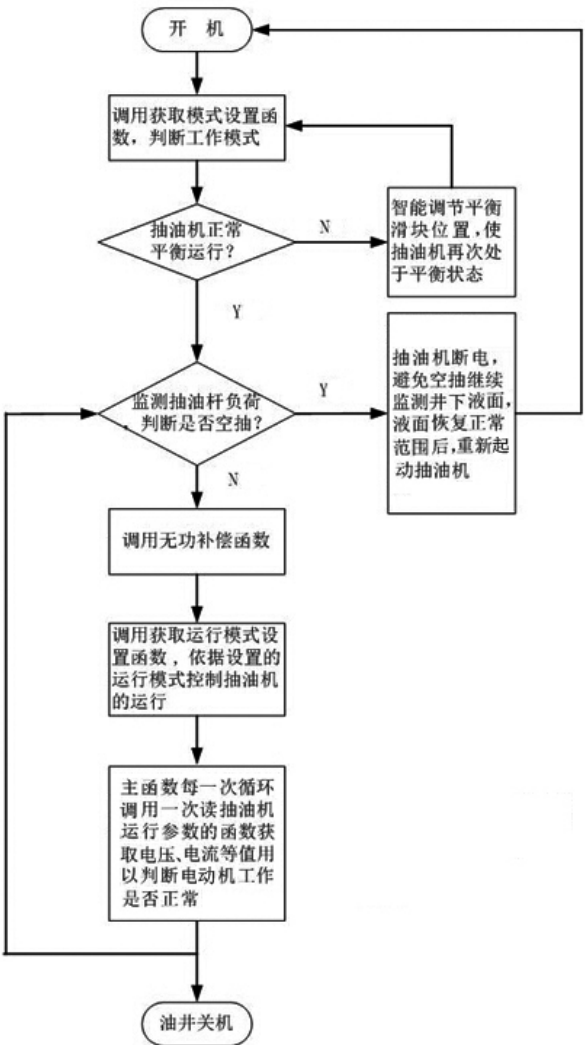
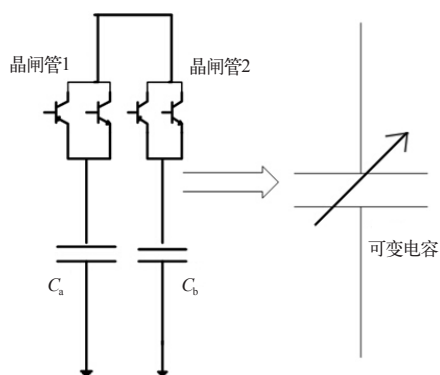


图2 抽油机能效控制系工作流程

2.3 利用可变电容技术的无功补偿设计

在抽油机电动机节能控制子系统中应用了可变电容技术无功补偿装置，它的主要物理结构是一种利用两组晶体管和电容串联后再并联的结构方式（见图3）。然后再通过控制晶闸管通断，达到这种结构形式的容量在两个电容（图3 C_a 与 C_b ）之和的数量级范围内连续线性变化，改变电容容量，从而达到连续调节无功功率的目的。



为使图3中的结构形式等效为一个可变电容，本系统采用如图4的设计，其中电感 L 是串入线路中的电感， P_1 和 P_2 是PWM脉宽调制波， P_1 脉冲用来控制晶闸管 VT_1 和 VT_2 通断来投入和切除电容 C_1 ， P_2 脉冲用来控制晶闸管 VT_3 和 VT_4 通断来投入和切除电容 C_2 。晶闸管 VT_1 、 VT_2 与 VT_2 、 VT_3 动作是互补的，即 VT_1 、 VT_2 导通， VT_3 、 VT_4 截止；反过来 VT_1 、 VT_2 截止， VT_3 、 VT_4 导通。设脉冲 P_1 的宽度为 Δt_1 ，脉冲 P_2 的宽度为 Δt_2 ，并且 $\Delta t_1 + \Delta t_2 = \Delta t$ ，控制脉冲的占空比 K 为： $\Delta t_1 / \Delta t$ ，当 Δt 保持恒定，则调节 K 就可调节投入电容的容量^[9]。

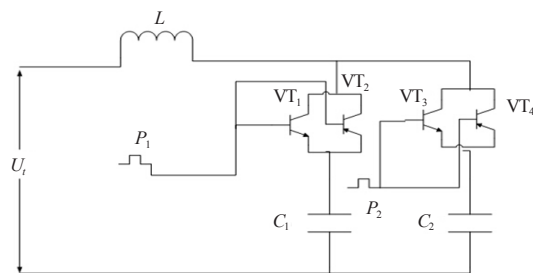


图5 电路仿真模型

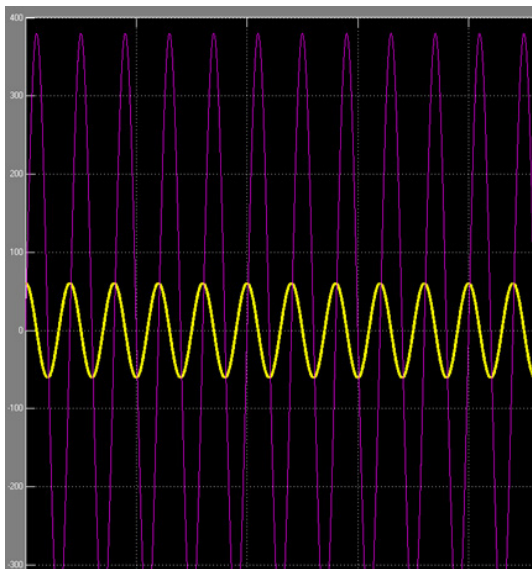


图6 理想电源上的仿真电流波
(p_1 脉宽90%, p_2 脉宽10%)

真电流波（黄色波形是电流，红色波形时电压）形图如图7所示，电感 L 上的仿真波形如图8和图9（黄色波形是电流，红色波形时电压）所示，通过仿真波形明显看出电流变化很大，因此可知通过改变脉冲宽度的大小达到调节电流的目的。

2.4 抽油机能效控制功能设计

电气设备在运行时时常会出现轻载或是空载的现象，对于抽油机来说，造成这种现象的原因主要有二：一是抽油机和电动机的机型选型过大，抽油机的实际消耗功率一般不会超过装机功率的1/3；二是由于抽油机的独特的负载特性，抽油机的负载是交变的，这就使抽油机在一个常规

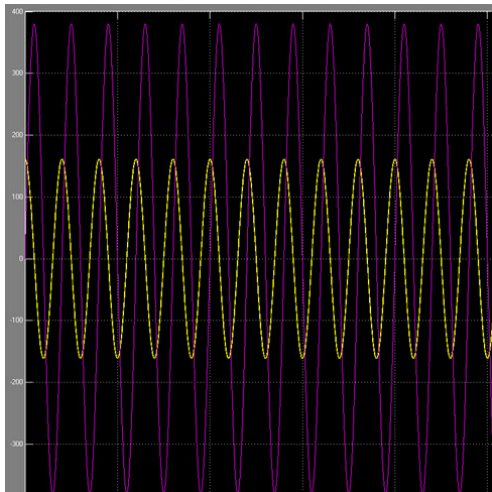


图7 理想电源上的仿真电流波
(p_1 脉宽10%, p_2 脉宽90%)

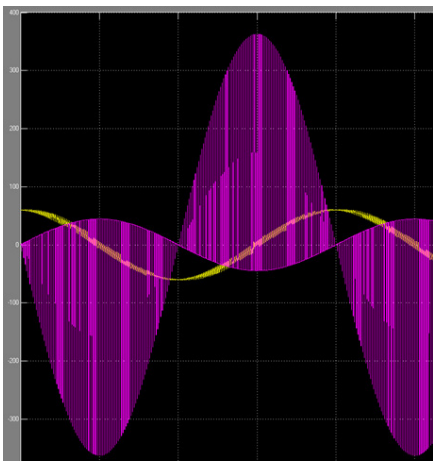


图8 电感 L 上的仿真波形1

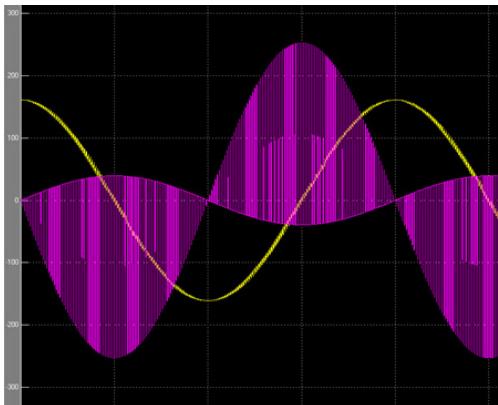


图9 电感 L 上的仿真波形2

冲程里有很长一部分时间是轻载运行^[10]。本系统以变频技术为基础，依据电动机的负载率来改变频率，调整电动机的电压和输入功率，从而使电动机一直处于最佳的负载率，系统主要采用以下手段进行能效管理。

(1) 零起、软起动节能：电动机在起动的时候对起动电流进行不同程度的限制，使系统匀速安全平稳过渡到额定转速，能够有效避免系统的大量耗电和因起动电流过大而对电力传输网造成的冲击，同时可以使供电变压器和电动机的装机功率下降，实现节能。

(2) 通过调整运行频率改变电动机的转速：当电动机达到了预定上下冲程的速度和最佳冲次时，抽油机的耗电功率就能够被改变。如果调整运行频率使转速降为额定转速的一半，则耗电量仅为在额定功率下运行的12%。

(3) 通过调节频率和时间改变抽油机的上

下行程速度：在抽油机冲次不变的条件下（产量不变），通过分别调节抽油机上下行电动机的频率值，可以有效改变抽油机的上下冲程速度，使其达到理想的范围。若调节抽油机上行时电动机的频率使其大于下行时的频率，即上冲程速度加快，下冲程速度减慢，可降低抽油泵的漏失量，还可以达到增产的目的。若调节抽油机上行时电动机的频率使其小于下行时的频率，即上冲程速度比下冲程速度小，在抽油机冲次保持不变的情况下，则可延长原油进入深井抽油泵的时间，提高抽油泵的效率和充满系数。

（4）动态功率因数补偿：根据监测到实时负载大小来调节电动机的端电压，使 $\cos \alpha$ 接近于1，让视在功率约等于有功功率，这时的无功功率无限趋近于零，减少了线路损耗。

3 抽油机能效控制系统的试验结果

为了验证抽油机能效控制系统效果，在胜利油田东营地区某油井现场测试了该系统的效果，装置如图10所示。



图10 抽油机能效控制系统现场

由实验结果可知，能效控制系统和补偿设备投入运行后，功率因数明显高于无能效控制系统的结果，原功率因数-0.31~0.87，投入设备后，功率因数0.28~0.96，实现了能效优化控制的效果。

4 结束语

本文针对油田开采过程中抽油机耗能明显，普遍存在的空抽现象，提出了一种油田抽油机能效控制系统的方案。该方案着重解决了以往国内采用的游梁式抽油机生产过程中能耗高、体积大、设备利用率低、操作复杂和后期维护耗费昂贵

等问题，是一种集抽油机间抽、电动机节能和变矩平衡节能等技术于一体的多功能抽油机智能用电控制系统，有效解决了抽油机的综合节能问题。

根据现场实际检测和目前方法的实验结果，验证了该方案的有效性，同时也发现了很多可以扩展的工作，例如系统节能及电能质量的监控、改造和治理，主要体现在线路损耗、电压变化、传输的最大化和合理化、效率的利用率和谐波的防治等，都是可以进行节能减排的空间。

参考文献

[1] 张振乾. 游梁式抽油机节能装置控制器的设计[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.

[2] 郎立术. 游梁式抽油机电动机存在问题及节电方法浅析[J]. 石油石化节能, 2012(11): 19-21.

[3] 欧阳新. 节能型抽油机研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2007.

[4] 徐中文. 抽油机设计软件开发及优化设计[D]. 大庆: 东北石油大学, 2006.

[5] 王守民. 油田在役常规游梁式抽油机的增程与节能改造研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2001.

[6] 杜永军等. 多功能抽油机节能控制器的研发[J], 科学技术与工程, 2009 (3) : 691-694.

[7] Tian J, Gao M, Ge G. Research on intelligent optimization control method for oil pumping[J]. Advances in Mechanical Engineering, 2015.6(8): 946-958

[8] 李国伟. 间抽井节能增产的理论与技术实现[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2007.

[9] 吴圣杰. PWM在电力电容器连续调容方面的理论研究[J]. 科技资讯, 2009 (9) : 116-116.

[10] Ming Z, Dayong G, Fengxiang W, et al. An intelligent controller for oil-pumping unit[C]. Proceedings of Electrical Machines and Systems , 2001, 2: 1254-1257.

作者简介

王炳国 (1968-), 男, 高级工程师, 主要从事油田电网调度运行、电网规划及建设研究。

(收稿日期: 2015-11-20) **EA**

(编辑: 朱历)