

基于无功动态补偿的抽油机节能器研究

为了提高油田抽油机的功率因数，降低抽油机电耗，提出了一种基于无功动态补偿的抽油机节能控制方法。首先分析了三相电路电网无功补偿的基本原理，并在此基础上，以DSP为控制核心完成信号的采集和处理，然后完成晶闸管控制，利用软开关技术投切补偿电容器，通过负载变化迅速准确地完成动态补偿无功功率，利用动态补偿分级投切补偿电容给出了功率因数值的瞬时检测方法。最后由实验数据可知，引入无功动态补偿装置后，抽油机负载端的功率因数基本可以提高到0.9以上，大大降低了抽油机电动机的无功损耗、有功损耗以及电网运行电流，为油田节约了大量的电耗。

鲁义宽/鄂尔多斯职业学院自动化与信息系

0 引言

梁式抽油机因其具有结构简单、制造方便、稳定性高和维修方便等众多优点，故在国内外油田采油中被广泛使用^[1]。然而由于抽油机具有特殊的负载特性，特别是起动瞬间由于负载很大，因此必须使其起动转矩足够大才能起动。由此可以看出，在选择抽油机电动机时，必须按照最大扭矩选择驱动电动机，但抽油机正常运行后，当抽油机排量过剩时，驱动抽油机运转的驱动电动机大都处于“大马拉小车”的运行状态，此时抽油机出现无功运行状态，负载率较低，一般在20%~30%之间。一旦出现低负载运行，便造成功率因数低、利用率低，从而造成大量电能浪费，导致整个油田开采成本过高，能量浪

费严重^[2-6]。

针对抽油机电能消耗过大等问题，传统方法是采用固定的无功补偿，虽然电容器具有一定的抗谐波能力，但该方法对补偿装置参数要求较为苛刻，一旦参数选择不合适，由于谐波含量过大导致电容器使用寿命大大降低。此外当采用固定无功补偿时，若负载变化太大会出现过补偿情况，这时的设备运行更不理想^[4,7]。

针对以上情况本文提出了一种基于无功动态补偿的抽油机节能系统，以DSP为控制核心完成信号的采集和处理，然后完成晶闸管控制，利用软开关技术投切补偿电容器，通过负载变化迅速准确地完成动态补偿无功功率，利用动态补偿分级投切补偿电容给出了功率因数值的瞬时检测方法。经动态补偿后，使功率因数达到0.9左右，效率大幅度提高，同时降低了总电流，减少了线变损。

1 无功补偿基本原理

抽油机供电线路如图1所示，传统的无功功率是以正弦交流电路为研究对

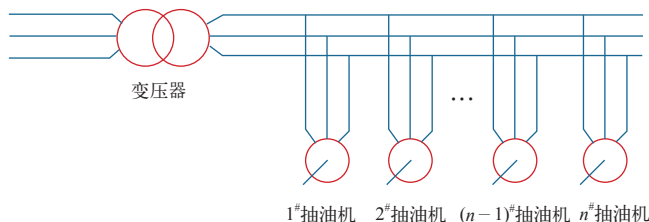


图1 抽油机供电线路



鲁义宽/副教授

关键词/Keywords

抽油机 ·
功率因数 ·
动态补偿 ·
DSP ·

内蒙古自治区高等学校科学研究项目 (NJZY16495)。

象, 则电压、电流的瞬时值为

$$\begin{cases} u = \sqrt{2}U \sin \omega t \\ i = \sqrt{2}I \sin(\omega t - \varphi) \end{cases} \quad (1)$$

式中, U 为电压 u 的有效值; I 为电流 i 的有效值; φ 为电流 i 和电压 u 的相位差。

由此可以得到一个周期中的平均有功功率 P 为

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T p \, dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T ui \, dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T (ui_p + ui_q) \, dt \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} UI \cos(1 - \cos 2\omega t) \, d(\omega t) \\ &\quad + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} -UI \sin \varphi \sin 2\omega t \, d(\omega t) \\ &= UI \cos \varphi \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $P = UI \cos \varphi$ 为电阻元件上消耗的有功功率; i_p 、 i_q 分别为测量电压上 p 、 q 相的电流分量。

系统的无功功率通常表示为

$$Q = UI \sin \varphi \quad (3)$$

由此可以看出式(3)为式(2)中第二项 ui_q 的幅度变化, 该相如果在一个周期中积分为0, 则说明该相不消耗能量, 而是在电源与储能元件之间进行能量交换。

上面分析的是单相电路无功功率计算方法, 而在三相电路中的无功功率则为每一相电路的无功功率之和, 即

$$Q_{\text{总}} = \sum UI \sin \varphi \quad (4)$$

2 抽油机节能动态补偿

本文设计的动态无功补偿装置以DSP为核心完成电流和电压数据的采集与转换, 通过控制晶闸管并充分利用软开关技术投切补偿电容器, 同时利用负载变化对动态无功功率进行适时补偿。容抗的计算如下:

1) 当电动机在运行时, 取 $C = l / (r_e + \omega^2 l^2)$, r_e 、 l 为驱动电动机的等效电阻和电感。

2) 当电动机处于发电状态时, 设基波角频率为 $\omega_0 = 100 \pi$, 为了满足基波补偿, 可得 $C = l / (r_e + \omega_0^2 l^2)$, 当进行 n 次谐波补偿时, 有 $C = l / (r_e +$

$n^2 \omega_0^2 l^2)$, 由此可以看出谐波次数与电容成反比。

在选择容量和节能时, 如果谐波较大, 由以上分析可以看出: 不能单纯追求功率因数, 而应该综合考量, 选择不同的 C , 计算出对应的 P , 通过比较后得出电容大小。

本文所设计的动态补偿控制装置包括主电路和控制器两部分。其中主电路如图2所示。

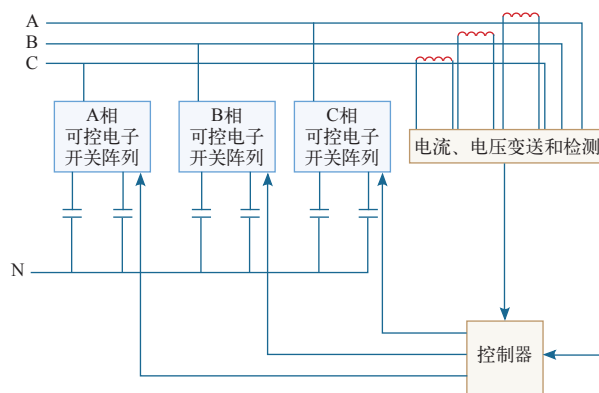


图2 主电路

由图2可以看出, 主电路主要有可控电子开关阵列、多组电容器、电流变送器、检测电路和控制电路等组成。三相电流与电压经过变送器和检测电路后将信号传送到DSP控制器中, 经过DSP分析计算得到电压、电流各次谐波的幅值、频率和相位, 以及进行补偿的极差和容量的大小, 再经过DSP输出与之相对应的输出信号控制三相可控电子开关阵列, 投切相应的电容。

3 功率因数的瞬时值检测方法

对于三相标准的交流正弦电网, B相电压 u_B 和电流 i_B 波形为

$$\begin{cases} u_B = \sqrt{2}U \sin \omega t \\ i_B = \sqrt{2}I \sin(\omega t - \varphi) \end{cases} \quad (5)$$

当电压 u_B 由正向负过零时, $i_B = \sqrt{2}I \sin \varphi = \sqrt{2}I_r$; 当电压 u_B 由正向负过零时, 检测无功电流 i_B 的瞬时值, 则能够得到无功电流 I_r ; 当线电压 u_{CA} 由负向正过零时, $i_B = \sqrt{2}I \cos \varphi = \sqrt{2}I_a$; 当电压 u_{CA} 由负向正过零时, 检测无功电流 i_B 的瞬时值, 从而可以得到有功电流 I_a 。

在此基础上可以按照 $\cos \varphi = I_a / \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$ 计算出对应的功率因数。

4 无功动态补偿装置节能效果分析

基于本文提出的无功动态补偿装置，将其安装在某油田某井组的一组抽油机中，井场共有6台抽油机，总功率为149 kW。无功动态补偿投入前后的各数据如下表所示。由下表可以看出，动态补偿装置投入后运行电流明显减小，功率因数提高到了0.9以上，从而节约了大量的电能。

表 动态无功补偿前后节能数据

电能指标 (平均值)	投入前	投入后	变化值	变化幅度 (%)
运行电流/A	112.6	40.6	-72	-64.2
功率因数	0.35	0.97	0.62	177.1
无功功率/kvar	70.3	6.2	-64.1	91.2
有功功率/kW	26.2	27.1	0.9	3.4

5 结束语

由于油田抽油机驱动电动机运行电流大、功率因数低，因此造成油田电能消耗过大，给采油企业造成了严重的经济损失，为此提出了一种基于无功动态补偿的抽油机节能装置，以DSP为控制核心完成信号的采集和处理，然后完成晶闸管控制，并利用软开关技术投切补偿电容器，通过负载变化迅速准确地完成动态补偿无功功率，利用动态补偿分级投切补偿电容，并给出了功率因数

值的瞬时检测方法。最后的数据说明，该装置投入后功率因数基本可以提高到0.9以上，大大降低了抽油机电机的无功损耗、有功损耗以及电网运行电流，为油田节约了大量的电耗。

参考文献

- [1] 薄保中, 龚新强. 抽油机电机的节能改造 [J]. 节能技术, 2000, 18 (2): 31-32.
- [2] 殷昌华, 危韧勇, 穆帅, 等. 电力谐波智能检测 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (1): 40-42.
- [3] 尚德彬, 王高明, 毛伟. 中原油田油区配电系统无功补偿研究与应用 [J]. 电工技术杂志, 2001 (3): 36-38.
- [4] 程汉湘, 刘建, 文小玲, 等. 抽油机负载特性及其功率因数提高的研究 [J]. 电工技术杂志, 2003 (5): 55-59.
- [5] 冯兴田, 仇志华, 肖坤. 无功补偿技术在游梁式抽油机中的应用 [J]. 电气应用, 2008, 27 (18): 28-31.
- [6] 张小宁, 张宝贵, 陆则印, 等. 油田抽油机供电系统无功补偿研究与应用 [J]. 电力自动化设备, 2004 (4): 57-60.
- [7] 仇志华. 无功动态补偿及谐波抑制技术在油田配电网上的应用 [J]. 电气应用, 2006, 25 (8): 35-37.

(收稿日期: 2015-12-12) **EA**

(上接第69页)

图像信息量大的矛盾。所提方案结构简单、经济合理，有利于促进智能变电站顺序控制功能实用化，应用前景广阔。

参考文献

- [1] 樊陈, 倪益民, 窦仁晖. 智能变电站顺序控制功能模块化设计 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36 (17): 67-71.
- [2] 王明科. 数字化变电站程序化操作的实现 [J]. 南方电网技术, 2010, 4 (1): 50-54.
- [3] 谷月雁, 司刚, 刘清瑞. 智能变电站中顺序控制的功能分析与实现 [J]. 电气技术, 2011 (1): 68-72.

- [4] 梁锋, 朱松林, 张剑. 具备可视化和交互性的变电站顺控系统: 中国, 102064611 B [P]. 2012-12-05.
- [5] 王振利, 孙勇, 梁涛. 一种基于移动机器人的全自动变电站倒闸操作顺序控制方法: 中国, 102255392 B [P]. 2013-07-03.
- [6] 李功新, 林国贤, 詹银. 基于物联网的隔离开关分合闸监测系统的设计 [J]. 电工技术, 2015 (2): 44-45.
- [7] 樊陈, 倪益民, 窦仁晖. 智能变电站一体化监控系统有关规范解读 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36 (19): 1-5.

(收稿日期: 2016-02-18) **EA**