

# 基于游梁式抽油机负载特性的算法实现与断相保护电路

谢颖, 沈稼丰, 李伟力, 张文敏

(哈尔滨理工大学, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:** 根据油田游梁式抽油机的负载特性, 基于反时限滞后算法设计了抽油机节能控制器, 利用该控制器可以调节电动机的工作特性, 随负载的变化而变化, 使工作特性与负载特性相匹配, 达到最佳节能目的。同时, 在电机控制电路中, 采用一个中间继电器和两个高分断空气自动开关构成了断相保护电路, 使节能电机运行更加可靠。

**关键词:** 抽油机; 反时限滞后算法; 断相保护

**中图分类号:** TM301.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2004)16-0047-04

## 0 前言

游梁式抽油电动机经常处于重载起动, 轻载运行, 这样就造成了电能的极大浪费, 因此开展节能电机的研究是十分必要的。抽油机负载受环境温度、湿度、地下压力和大气压强的影响非常大, 有时一天内负载发生多次变化。针对这一情况, 我们提出了三档变功率电机的设计方案, 采用反时限算法设计了节能控制器, 通过检测电流的方法, 自动切换绕组的连接方式, 使电机的输出特性与负载始终处于最佳的运行状态。同时, 为保证节能电机的安全运行, 有必要设计一个理想的断相保护电路。目前有多种热继电器带有断相保护, 然而其动作灵敏度及实际效果仍不能令人满意。本文提出用一只中间继电器和两支高分断空气自动开关构成断相保护电路的方法, 简单易行, 配线简单, 维修方便, 保护可靠, 又不受环境温度的影响。是电机拖动控制电路中对断相保护不可缺少的一个环节。

## 1 反时滞后控制算法

### 1.1 游梁式抽油机负载特性分析及近似平均功率的得出

#### 1.1.1 脉动负载特性的分析与设计

针对游梁式抽油机负载呈脉动低负载的特性, 控制器通过对电机电流进行采样获得瞬时值, 采样是通过一个脉动周期为 20 ms, 幅值为  $\pm 100$  A 的 A/D 转换器来实现。正弦电流信号应该经过 RMS 电路处理, 这样通过采样就可获得电流的有效值。

#### 1.1.2 负载脉动变化时的近似平均功率

当抽油机的重量在一个周期变化时, 一个运行循环被完成。在这段时间里, 电机负载随着 4 s 的

周期而循环脉动。在重量降低的过程中, 电机的负载很大; 在重量上升时, 负载很小, 甚至在一定程度上可以忽略。由于这个周期性脉动, 通过运用一阶惯性滤波算法, 可以得到近似的平均功率, 即

$$U(k) = \frac{U(k-1) \cdot n + E(k)}{n+1} \quad (n=0) \quad (1)$$

其中:  $n$  是惯性滤波系数,  $n$  越大, 就会得到更好的滤波效果。  $E(k)$  是采样值,  $U(k)$  是算法的计算输出值,  $U(k-1)$  是算法的前一个输出结果。

### 1.2 反时滞后控制算法

抽油机负载受环境温度、气候湿度、地下压力、大气压强的影响, 周期随之而变化。如果当负载变化的时候, 电机能够调整位置, 节能就可以实现。如果电机被设定只有通过动作值才能改变工作位置, 由于负载的随意波动性, 当负载在动作值附近变化时, 电机也随之变化工作位置。如果考虑时间延时, 设定时间常数将会很困难。当时间常数很小, 电机将会频繁改变它的工作位置; 当时间常数很大时, 电机将会对脉动负载很敏感, 因而影响节能。为了克服上述缺点, 采用反时滞后算法来实现优化节能。

#### 1.2.1 反时滞后控制算法的原理

这种所谓的反时滞后控制算法是一种控制方法, 它能够根据真实值和临界值的不同而动态地调整动作时间。它能够有效解决动作频率和控制系统的灵敏度。数学公式如下:

$$t^a (I_1 - I_0)^b = C \quad (2)$$

其中:  $t$  是控制系统的动作时间,  $I_1$  是真实测量值,  $I_0$  是过临界偏差, 两者之间的不同是过临界偏差;  $a, b$  都是幂指数, 且  $a, b > 0$ 。  $C$  是一个常数, 且  $C > 0$ 。当  $a = b = 1$  时, 上面的公式转化为  $t(I_1 - I_0) = C$ , 也就是说动作时间反比于过临界偏差。图 1

的曲线表明了动作时间和过临界偏差之间的关系。

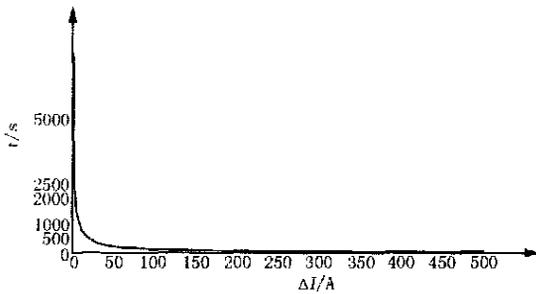


图1 反时滞后算法的动作时间和过临界偏差之间的关系

Fig. 1 Relationship between action time of inverse-time-lag algorithm and over critical deviation

在图1中可以看到,当过临界偏差值较小时,也就是说真实值只高出临界值很少一部分,控制系统

的动作时间  $t$  较长,因此可以避免功率档频繁变化的问题。然而,当过临界偏差值很大时,负载以很大的幅值变动,控制系统的动作时间  $t$  很小,系统具有高的灵敏度。另外我们可以根据不同的控制目标选择  $a, b, c$  的值,这样就可以得到最合理的反时滞后算法。

### 1.2.2 反时滞后控制算法的应用

上面的算法可以应用于闭环控制器中,并已经在大庆油田进行现场试验,应用的是哈尔滨理工大学研制的 YGA-35 节能电机。该节能电机采用三个不同档的特殊线圈设计。第一档输出功率是 22 kW,它可以用来替代老式 37 kW 电动机。用第一档可以起动抽油机。第二档的输出功率是 18.5 kW,第三档是 15 kW。第二档和第三档可应用于低功率情况,并且在抽油机起动后根据负载节约电能。

表1 测量值的原始数据

Tab. 1 Original data of real measurement

时间/min	耗电量/kWh					
	普通电机	节能电机1档 第1次测量	节能电机1档 第2次测量	节能电机2档 第1次测量	节能电机3档 第1次测量	节能电机1档 第3次测量
1			0.127	0.107	0.100	0.108
2			0.251	0.216	0.198	0.210
3			0.384	0.323	0.298	0.320
4			0.511	0.428	0.394	0.432
5	0.700	0.880	0.634	0.529	0.495	0.542
6	0.762	1.060	0.759	0.628	0.594	0.654
7	0.888	1.210	0.880	0.729	0.690	
8	1.003	1.387	0.999	0.829	0.787	
9	1.138	1.541	1.118	0.933	0.882	
10	1.261	1.700	1.232	1.033	0.980	
15	1.892	2.456				
20	2.520	3.140				
25	3.145					
30	3.764					

表1中的数据是最初的测量值。首先以下几个方面应该考虑。

- 1) 老式电机的电流是 38~42 A。
- 2) 1档第2次测量功率波动在 -0.5~13 kW 之间。
- 3) 2档第1次测量功率波动在 -0.5~12.5 kW 之间,压力 0.4,0.5,电流 14~25 A。
- 4) 3档第1次测量功率波动在 -0.5~12.5 kW 之间,压力 0.4,0.5,电流 9~23 A。
- 5) 1档第3次测量功率波动在 0~13.3 kW 之间,压力 0.4,0.5,电流 36~41 A。

实际的测量数据输入计算机后经过数据处理可

以得到图2的曲线。

通过分析表1和图2可以得到以下的测试结论。

- 1) 老式 37 kW 电机平均耗电量是每小时 7.6 kWh。
- 2) 在新电机运行的前两个小时里,抽油机在长时间停机后,因为负载的增加能耗稍有增加。然而,能耗随着运行时间的增加而逐渐降低,2 h 后达到稳定点。
- 3) 当达到稳定值后,1档的耗电量是每小时 6.5 kWh,比原电机节电 14%。
- 4) 当达到稳定值后,2档的耗电量是每小时

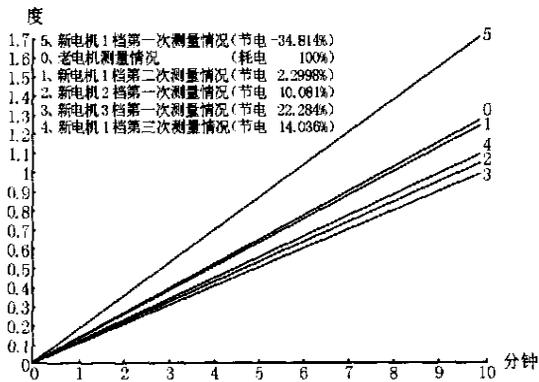


图2 测量数据

Fig. 2 The measured data

6.2 kWh, 比原电机节电 18%。

5) 当达到稳定值后, 3档的耗电量是每小时 5.9 kWh, 比原电机节电 22%。

图3的曲线是通过RMS电路采样定子电流的测量曲线。从图3我们可以很清楚地看到运行随着4s的周期而变化。图4曲线是经过一阶惯性滤波算法处理后的定子电流。因为周期脉动被滤去, 曲线直而平。这也表明, 此时油田负载是稳定的, 不随机波动。因为负载较小, 电机工作在功率较低的功率档。图4表明了带负载控制器的测量功率曲线。

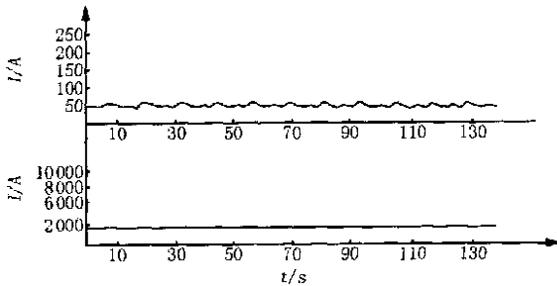


图3 在恒定负载下控制器的实测曲线

Fig. 3 Real measured curves of the controller under constant load

从图中我们可以看出当油井负载随环境变化时, 两条曲线都变化, 且变化是随机的。下面的曲线逐渐上升然后达到平衡点, 表明油井的负载较大, 已经超越了从低档到中档的临界值。这样电机为变化到中档做准备, 然而根据反时滞后算法电机要在144s后执行变化而不是立即变化到该位置。

## 2 断相保护电路的组成与设计原理

### 2.1 断相保护电路的实现

断相保护电路如图5所示: 其中  $S_1$  为三极刀开

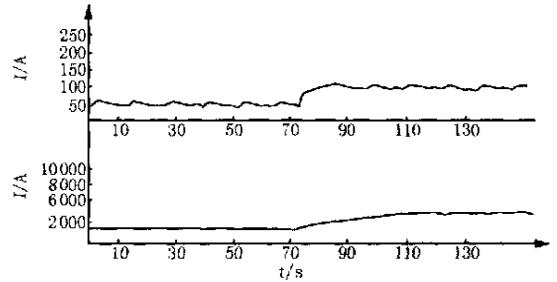


图4 在较高负载下控制器的实测曲线

Fig. 4 Real measured curves of the controller under heavier load

关;  $K_1$  为中间继电器线圈;  $K_{1-1}$ 、 $K_{1-2}$ 、 $K_{1-3}$  为中间继电器动合触头;  $S_2$ 、 $S_3$  为高分断自动空气开关; FR 为热继电器的驱动器件;  $K_0$  为热继电器触头;  $SB_1$  为按钮开关动断触头;  $SB_2$  为按钮开关动合触头。

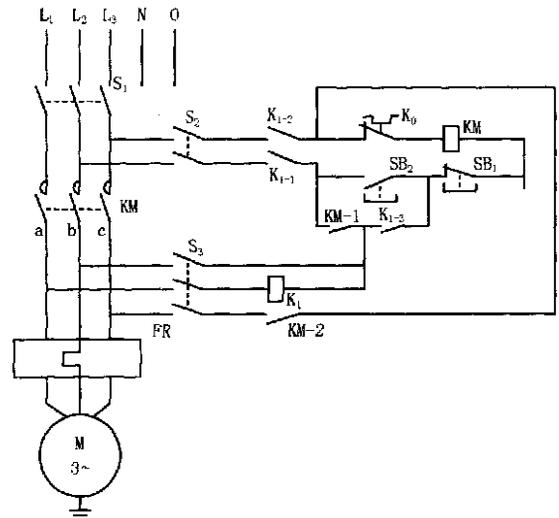


图5 中间继电器构成的断相保护电路图

Fig. 5 Circuit of phase-failure protection with an auxiliary relay

由图5可知, 在普通的三相异步电动机控制电路中, 增加一只中间继电器  $K_1$  和两只高分断小型空气自动开关  $S_2$ 、 $S_3$ 。

### 2.2 断相保护电路的工作原理

#### 1) 起动

先合上三极刀开关  $S_1$  及空气自动开关  $S_1$ 、 $S_2$ , 接着按下按钮开关  $SB_2$ , 此时接触器  $KM$  线圈得电。

此时的回路是: 电源  $L_2$  相  $K_{1-1}$   $SB_2$   $SB_1$   $KM$   $K_0$  电源  $L_3$  相。由于  $KM$  受电, 主电路回路接通, 电动机  $M$  起动, 同时  $KM-1$ 、 $KM-2$  也接通, 又因为中间继电器  $K_1$  受电, 中间继电器动合触头  $K_{1-1}$ 、 $K_{1-2}$  和  $K_{1-3}$  也随之动作。

## 2) 运转

松开  $SB_2$ 。此时的回路是:电源  $L_2$  相  $K_{1-3}$   $SB_1$   $KM$   $K_0$   $KM-2$  电源  $L_3$  相。主回路处于正常的工作状态。

## 3) 停止

要想停止电动机  $M$  的运转,按下  $SB_1$ ,  $KM$  回路被切断,交流接触器  $KM$  触头释放,电机  $M$  停止工作。

## 4) 故障保护

当电源的  $L_1$  相缺相失电,或交流接触器  $KM$  的  $a$  相断,此时  $K_1$  失电而动作,使得触点  $K_{1-3}$  恢复到常开,切断  $KM$  回路使得释放,电机  $M$  停止工作;

当电源的  $L_2$  相缺相失电,或交流接触器  $KM$  的  $b$  相断,也使得  $KM$  释放,电机  $M$  停止工作;

当电源的  $L_3$  相无电,或交流接触器  $KM$  的  $c$  相断,  $KM$  无回路,主回路被切断,使得电机  $M$  停止工作。从而起到对电机  $M$  断相保护的作用。

## 3 结论

1) 反时滞后算法可应用于自动控制,结合一阶惯性滤波算法,抽油机脉动负载的精确功率探测即可得知。当它应用在电机控制节能装置中,就可以表明这种控制算法精确而可行。基于负载的精确功率探测,根据电机的不同负载,在适当的时候变档,节能的效果是明显的。

2) 由一个中间继电器和两个高分断空气自动开关构成断相保护电路线路配线容易,占用空间小,经济可行,操作简单维护方便,当异步机发生断相故障时,快速切断故障可以减轻断路电流对电气设备

的破坏程度,具有快速性的特点;另外此保护电路随时处于准备动作状态,如果其保护区发生故障或不正常运行时,及时而准确地动作,提高了可靠性。可应用于三相电机控制拖动电路的断相保护中。

## 参考文献:

- [1] 汤蕴 (TANG Yurr qiu). 电机学 (Electromechanics) [M]. 北京:机械工业出版社 (Beijing:China Machine Press), 2001.
- [2] 李仁 (LI Ren). 电器控制 (Electric Control) [M]. 北京:机械工业出版社 (Beijing:China Machine Press), 1988.
- [3] 李仁 (LI Ren). 工厂电气控制设备 (Electric Control Installation in Factory) [M]. 北京:机械工业出版社 (Beijing:China Machine Press), 1986.
- [4] 尚艳华 (SHANG Yarr hua). 电力拖动 (Electric Drive) [M]. 北京:电子工业出版社 (Beijing:Publishing House of Electronics Industry), 1999.
- [5] 齐占伟 (QI Zhar wei). 电气控制及维修 (Electric Control and Maintenance) [M]. 北京:机械工业出版社 (Beijing:China Machine Press), 2001.

收稿日期: 2003-11-23

作者简介:

谢颖 (1974 - ), 女,在读硕士,从事电机控制及电机的优化设计; E-mail: xieying-1975 @163.com

沈稼丰 (1959 - ), 男,高工,从事电机驱动控制理论研究;

李伟力 (1962 - ), 男,博导,主要从事特种电机的研制、理论分析以及大型电机综合物理场的研究工作。

### Algorithm realization based on the load characteristics of beam pumping unit and phase-failure protection circuit

XIE Ying, SHEN Jiufeng, LI Wei-li, ZHANG Weirmin  
(Harbin Institute of & Technology, Harbin 150040, China)

**Abstract:** According to the load characteristic of beam pumping unit, an energy saving controller of beam pumping unit based on inverse-time-lag algorithm is designed. Using the controller, the working characteristics of motor can vary with the change of load, which makes work characteristics match with the load one. Consequently the best aim of energy saving is obtained. At the same time, in the motor control circuit, an auxiliary relay and two air auto switches are built to form phase-failure protection circuit, which can lead the energy saving motor more reliable in operating.

**Key words:** beam pumping unit; inverse-time-lag algorithm; phase-failure protection