一种电机保护器缺相误动原因分析及对策

项庆林[1],石成柱[2],仉志华[2],郑金吾[2]
(1.黑龙江省计量科学研究院,哈尔滨 150036;2.中国石油大学(华东) 信息与控制工程学院电气工程系,山东 东营 257061)

摘要:抽油机负载的特殊性导致油田电网功率因数普遍偏低,一般采用固定无功补偿或者无功动态补偿方法提高功率因数。但抽油机装配无功补偿装置后,若补偿装置接入位置不当,电机保护器将会因缺相保护而误动作,造成抽油机频繁停止运行。本文结合电机保护器工作原理,给出了补偿接入位置不当而导致误动作原因,并给出了正确的补偿接入位置。实践证明,该方法有效解决了该类缺相误动作的问题。

关键词:负载特性;无功补偿;缺相;电机保护器
中图分类号:TM307 **文献标识码**:B **文章编码**:1001-1390(2009)07-0070-04

An Open-phase Protection Misoperation Analysis and Solution for the Oil-pump Machine Motor Protector

XIANG Qing-lin[1], SHI Cheng-zhu[2], ZHANG Zhi-hua[2], ZHENG Jin-wu[2]
(1. Heilongjiang Provincial Institute of Measurement and Verification, Harbin 150036, China. 2. Electrical Engineering Specialty, College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum (East China), Dongying 257061, Shandong, China)

Abstract: Because of particularity of the load, the power factor is generally low in oil-field. And some oil-fields usually assemble fixed reactive power compensation or dynamic reactive power compensation to raise the power factor. But after Pumping Units assembled Reactive Power Compensation Devices, if the position of these devices is not suitable, these protectors will cause Open-phase Protection misoperation and cause the oil-pump machines to stop working frequently. In this paper, one reason proposed for misoperation is the wrong access position of the Reactive Power Compensation Device by studying the working principle of motor protector and present the correct position of these devices. Practice shows that this method can resolve Open-phase Protection misoperation of this type effectively.

Key words: particularity of load, reactive power compensation, open-phase, motor protector

0 引 言

目前,游梁式抽油机仍作为各油田机械采油的主要手段,每天需要消耗大量的能源,其电费支出约占油田总电费的40%;由于抽油机负载是以冲程为周期连续变化的周期性负载,在这种负载情况下,配电系统的平均功率因数一般在0.3～0.4之间,网损相当严重,因此油田配电网的节能降耗意义重大。目前,各大油田一般均通过无功固定补偿或者无功动态补偿的方式提高系统运行的功率因数。但是在实际运行中发现抽油机加装某些无功补偿装置后,电机保护器经常误发缺相动作信号而导致停井。本文通过分析无功补偿前后抽油机运行参数的变化以及保护器缺相保护工作原理,提出保护器误动作的解决方法并取得了较好的效果。

1 抽油机负载特性以及保护器工作原理

1.1 抽油机负载特性

由图1可以看出,抽油机上下冲程的电流相差非常大。当电机处于上冲程阶段,电机需要将抽油杆及杆中的液体从最低点零速度增加到一定的速度,电机重载,负荷率大,因此这时电流会出现一个峰值,抽油机有功功率也达到最大值;当电机处于下冲程阶段,由于平衡块的作用,电机有功出力较小,相应的电流也比较小。抽油机在下冲程接近死点的一段时间内,由于重力作用导致抽油机负载拖动电机转子沿着旋

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

转磁场的方向旋转且转速超过同步转速，此时电机转差率变为负值，即：$s<0$，电机工作于发电机状态，向电网输出有功功率[2]。

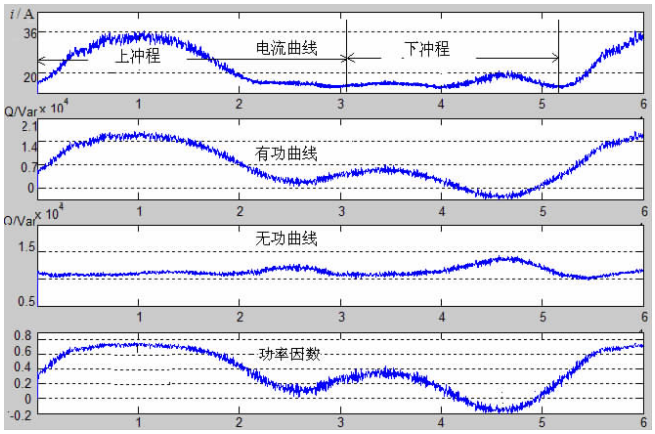

图1 补偿前电机运行曲线

Fig.1 Operation curve of pumping unit before compensation

由电机运行曲线可知在上下冲程内无功功率变化比较平缓。抽油机容量一旦确定，若定子绕组额定相电压和频率保持不变，有：

$$\Psi_m=U/4.44K_wNf \tag{1}$$

式中 Ψ_m为旋转磁场的最大磁通；U为定子绕组的相电压；K_wN为定子绕组的有效匝数；f为定子频率。

由此可知，电机不论是轻载还是重载，电机旋转磁场中的主磁通基本不变，即励磁电流（空载电流）保持不变，因此从电网注入的用于建立主磁场的无功功率基本不变。然而电机中除了主磁通还有漏磁磁通，漏磁磁通相对于主磁通虽然小但不可忽视。漏磁磁通随着电流的改变而改变，这部分磁场的建立需要从电网中吸取无功，并且在抽油机上下冲程有所波动。

由以上分析可知，抽油机电机在工作的时候有两种不同的工作状态：一种是电机带动机械负荷运行，此时电机的转差率关系为：$0<s<1$，电机工作在电动状态，从电网吸收有功功率和无功功率；另一种是机械负荷带动电机运行，此时电机的转差率关系为：$s<0$，电机工作在发电状态，从电网吸收无功功率的同时给电网送出有功功率[3]。无功功率在抽油机上下冲程有比较小的波动。

另外，抽油机要求电机带载启动，且每次启动时抽油机都要从上下冲程的死点启动。为使电机顺利启动且具有较好的启动性能，同时考虑到各种意外情况选择电机时又人为地加大裕量，导致抽油机的额定功率远大于负载功率[4]，即通常所说的“大马拉小车”。综合以上多种原因，造成了油田电网功率因数偏低。

1.2　电机保护器工作原理

电动机缺相运行容易引起电动机绕组电流增大、电机震动加剧等现象，长期运行有可能烧坏电机，因此电机保护器必需具备缺相保护功能。电机保护器一般分为模拟电子式保护器和智能型电机保护器两种。

模拟电子式保护器通常是由电流互感器、整流滤波电路、比较电路、出口继电器等几个部分组成，其原理框图如图2所示。该电机保护器缺相保护工作过程如下：通过电流互感器采集三相电流，经整流滤波电路转换为直流电压信号，该直流电压与保护整定值比较，根据比较结果判断是否发生缺相故障，若发生故障，启动时间继电器，经一定的时间延迟后控制接触器使电机退出运行。

智能型电机保护器一般将单片机作为核心控制器[5,6]，电流互感器采集到的信号经信号调理电路以及AD转换电路送入单片机进行运算，根据运算结果实现电机的缺相保护功能。近年来随着集成芯片技术的发展，DSP和高精度AD转换芯片等不断在保护器中得到应用，实现了保护值在线整定、数据远传、远程监测控制等功能。

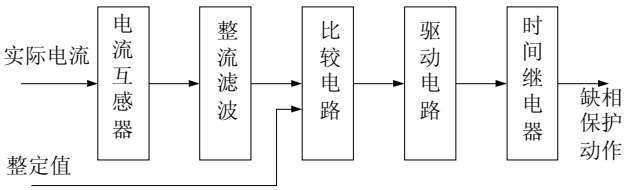

图2 模拟式缺相保护器原理框图

Fig.2 The analog type phase protector schematic diagram

2　电机保护器误动作原因分析

为了提高油田电网的功率因数，各大油田为每台抽油机配备一套无功补偿装置。补偿后的电机运行曲线如图3所示。由无功补偿原理可知，无功电流主要在电机与电容之间流动，操作柜进线端电流主要为有功电流，还有未补偿的无功电流。抽油机处于上冲程时抽油机重载，有功电流比较大，操作柜进线端电流也比较大。抽油机处于下冲程时，有功电流比较小，进线端电流也比较小。

在实际应用中发现，当补偿后的功率因数达到一定的数值后，一般为0.97以上，常会发生电机保护器误动作，比如指示缺相而将电机切除。经检查发现，现场使用的电机保护器是模拟电子式保护器，其安装位置如图4所示。三相相电压穿过电机保护器的电流互感器线圈，接到三相电机上，而新装配的无功补偿装置则接在电机保护器与三相电机之间。按下启动按钮

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

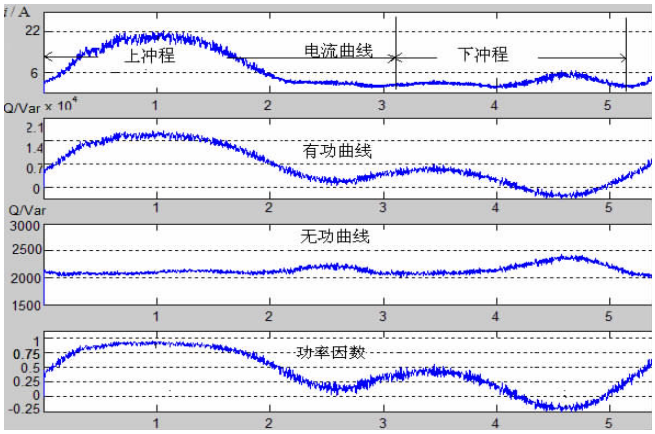

图3 补偿后电机运行曲线

Fig.3 Operation curve of pumping unit after compensation

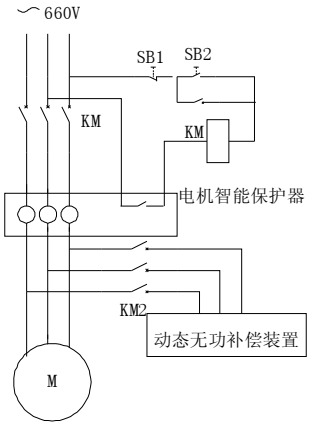

图4 现场安装示意图

Fig.4 The actual installation schematic diagram

SB2后，接触器KM得电吸合，电机和保护器获得电源开始工作。当电机运行出现故障时，电机保护器触点断开，接触器线圈掉电使得主触点打开，电机停止运行。

根据电机保护器缺相保护动作原理，可知电机保护器误动作原因如下：由图5可知，配备无功补偿装置之前线路中的电流$\dot{I}$可以分解为有功电流和感性无功电流，即：

$$\dot{I}=\dot{I}_r+\dot{I}_i$$

配备无功补偿装置之后，电容产生与感性无功电流方向相反的容性无功电流$\dot{I}'_i$，因此负载从电网获得无功电流变为$\dot{I}_{ii}$，即：

$$\dot{I}_{ii}=\dot{I}_i-\dot{I}'_i$$

负载进线端电流幅值：

$$I'=\sqrt{I_r^2+I_{ii}^2}\approx I_r$$

由图3可知，当抽油机处于下冲程时，有功电流比较小，进而导致操作柜进线端相电流比较小，远远低于保护器缺相保护整定值，使得保护器发出缺相运行报警，并经过一定时间延迟后将电机切除。

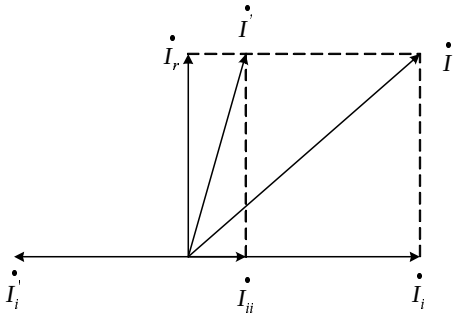

图5 无功补偿原理向量图

Fig.5 Vector diagram of reactive power compensation

3　解决方法

通过改进保护器的电路结构可以避免电机保护器缺相保护误动作。例如外接电压互感器采集电压信号，以三相电压作为电机过电压、缺相保护的依据。但是该方法需要调整保护器电路结构，需要施工周期较长，成本比较高。

综合考虑施工成本以及保护器误动作原因，本文考虑将电机保护器装在无功补偿装置与电机之间，如图6所示。此时，虽然操作柜进线端相电流为图5所示的$\dot{I}'$，但是流过电机保护器互感器线圈的电流仍然为$\dot{I}$。由图1所示的电流曲线可知，在抽油机整个工作周期内，电流始终处于比较大的值，此电流值远远高于电机保护器缺相保护设定值，从而有效避免了保护器缺相保护误动作。经过实地运行发现，电机保护器改变安装位置之后没有发生缺相保护误动作现象。

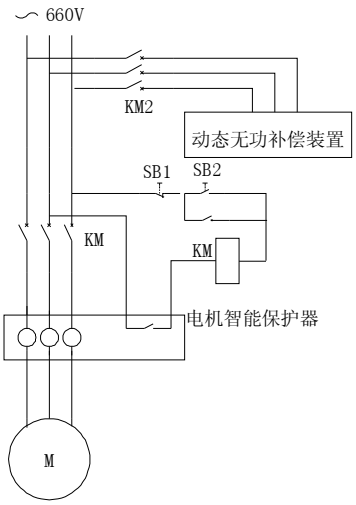

图6 改造后安装效果图

Fig.6 The actual installation after transformation

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 结 论

抽油机装配无功补偿装置后，进线端相电流大大减小，容易引起电机保护器缺相保护误动作。本文通过分析保护器缺相保护误动作原因，提出了调整动态无功补偿装置安装位置的改进措施，有效地提高了缺相保护的准确性。

参 考 文 献

[1] 仉志华，丁秩成，陈继明. 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.

ZHANG Zhihua, DING Zhicheng, CHEN Jiming. Application of the Dynamic Reactive Power Compensation and Harmonic Suppression Technology in Power Distribution Network 0f oil- Field [J]. Electrotechnical Application，2006,25(8):35- 37.

[2] 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的研究[J].电工技术杂志，2003,(5):55- 59.

CHENG Hanxiang, LIU Jian, WEN Xiaoling,etc. A Study of The Load Characteristic and Power Factor Enhancement for Oil- pump Machine [J]. Electrotechnical Journal, 2003,(5):55- 59.

[3] 刘宏，王素玲. 电动机的机械特性与抽油机载荷特性的合理匹配[J].大庆石油学院学报，2002,26(2):87- 89.

LIU Hong, WANG Suling. The reasonable match between the Mechanical characteristic of motor and load characteristic of Oil- pump machine. Journal of Daqing Petroleum Institute，2002,26(2):87- 89.

[4] 冯兴田，仉志华，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.

FENG Xingtian, ZHANG Zhihua, XIAO Kun. Application of Var Compensation Technologyin in Beam- Pumping Unit. Electrotechnical Application，2008,27(18):28- 31.

[5] 陈永亭，汤连湘. 微机型电动机保护装置 [J]. 继电器，1998,26(6):27- 29.

CHEN Yongting, TANG Lianxiang. Microprocessor- bassed motor Protective device. RELAY,1998,26(6):27- 29.

[6] 朱红，张晓冬，张金霞. 基于MSP430的电动机智能保护器设计[J].机械与电子，2008(7):44- 46.

ZHU Hong, ZHANG Xiaodong, ZHANG Jinxia. Design of the Motor Synthesize Protection Based on M SP430. Machinery & Electronics，2008(7):44- 46.

作者简介：

项庆林（1960-），男，高级工程师，从事测试及仪器的研发工作。Email:Xiangqinglin@sina.com

石成柱（1984-），男，硕士研究生，从事油田配电网无功补偿的研究。Email: moon01984@163.com

仉志华（1977-），男，讲师，从事电力系统继电保护以及计算机控制系统的研究。Email:zzh- upc@163.com

郑金吾（1958-），男，教授，从事计算机测控系统的研究。

收稿日期:2009- 03- 16

(杨长江 编发)

(上接第 40 页)

相数，快速通知维修人员，排除故障，恢复电路供应，减少损失。

参 考 文 献

[1] 李常喜.电力设备诊断技术概论[M].北京:水利电力出版社，1996.

[2] 张占龙，杨霁，熊兰，何亮.基于微波感应技术的语音报警器[J].电力系统自动化，2006，30(17):94–96.

Zhangzhanlong, Yangji, Xionglan, Heliang. Phonetic Annunciator Based On Microwave Induction Technology [J]. Automation of Electric Power Systems，2006，30(17):94–96.

[3] 彭敏放,谭享波.利用 GSMSMS 通信的馈线接地故障定位系统[J].湖南大学学报(自然科学版)，2004, 4(31):51–55.

Pengminfang, Tanxiangbo. A New Grounding Fault Location System Using GSMSMS for Communications in Distribution Feeders [J]. Journal of Hunan University (Natural Science), 2004,4(31):41–44.

[4] 窦振中，王立森 PIC 系列单片机的应用设计与实例[M].北京:北京航空航天大学出版社，1999.

[5] 王骐,何嘉斌.单片机控制 GSM 模块实现短信收发的软件设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2005，(1):63–66.

Wangqi, Hejiabin. The Microcontrollers control GSM module to send and receive text messages of the software design [J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2005，(1):63–66.

[6] 康厚强，王德刚，魏急波.用于短信息收发的 TC35 终端的硬件设计与实现[J].电子技术,2002,(8):28–29.

Kanghouqiang, Wangdegang, Weijibo. Send And ReceiveText Messages For The TC35 Terminal Hardware Design And Implementation [J]. Electronic Technology, 2002,(8):28–29.

[7] 陈雷，丁晓明，李强.GSM 短消息系统在远程数据采集中的应用[J].中国数据通信,2003,(3):58–61.

Chenlei, Dingxiaoming, Liqiang. The GSM Short Message System In The Remote Data Acquisition To Apply [J]. China Data Communications, 2003,(3):58–61.

[8] 章立民.SQL SERVERZ000 中文版完整实战[M].北京:中国铁道出版社，2001.

作者简介：

张占龙（1971-），男，博士，副教授，主要研究方向为电磁兼容与故障检测、数字仪器设备。Email: zhangzl@cqu.edu.cn

胡平（1983-），男，硕士研究生，研究方向为电磁兼容与故障检测。

收稿日期:2008–12–05

(常会敏 编发)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net