

# 异步电动机热模型保护应用

卢庆港<sup>1</sup>, 解中秀<sup>2</sup>

(1. 上海宝钢安大电能质量有限公司, 上海 201901; 2. 广州工程技术职业学院, 广东 广州 510925)

**摘要:** 常规电动机保护采用放大定值倍数躲开启动过程, 在启动完成后, 定值恢复正常, 此时配合反时限保护功能, 继电器能够快速动作于故障, 但对于电机频繁过载后的过热保护问题, 常规反时限继电器无法实现该保护功能。结合在宝钢的实践应用, 通过分析热过负荷的数学模型和实现原理, 结合仿真对比, 给出了相关时间参数的计算以及过载保护的解决方法。

**关键词:** 电动机; 热模型; 过载保护

## Application of thermal model in asynchronous motor protection

LU Qing-gang<sup>1</sup>, XIE Zhong-xiu<sup>2</sup>

(1. Shanghai ISSION Power Quality Co, Shanghai 201901, China; 2. Guangzhou Institute of Technology, Guangzhou 510925, China)

**Abstract:** Motor protection commonly enlarges the value of current set to stand the process of start, after the completion of start, the value of current set returns to normal. This time with inverse time-current characteristic protection, relay can trip on the fault rapidly. But if the motor over loads frequently, inverse time-current characteristic is commonly unable to protect motor. Based on the application in Shanghai Baosteel, through analyzing the model of thermal overload and the principle of implement, and contrast to simulation, this paper gives a method of computing relevant time parameters and overload protection solution.

**Key words:** motor; thermal model; overload protection

中图分类号: TM772 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)08-0107-03

## 0 引言

与变压器等静态电气设备相比, 电动机启动期间电流大且持续时间长, 运行中容易过载, 针对电机过载后的过热保护问题, 常规继电器无法实现该保护功能。相对于反时限过流保护而言, 热模型原理复杂, 整定参数较多, 整定参考资料缺乏, 导致微机保护调试往往根据经验值估算而整定, 无法完全吻合电机的热特性, 经常出现误动、拒动。本文结合工程实际, 对热模型保护的原理进行了分析和仿真, 通过大量的现场保护动作数据以及故障录波分析, 合理设置相关参数, 热模型保护能够实时跟踪电机运行中的热积累状态, 有效避免过热运行。

## 1 电动机的热模型分析

电动机绕组发生过热时温度  $\theta$  的变化规律如下:

$$\begin{aligned} \theta &= \theta_{[0]} + (\theta_{[eq]} - \theta_{[0]}) * (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1) \\ \theta &= \theta_{[eq]} * (1 - e^{-t/\tau}) + \theta_{[0]} * e^{-t/\tau} \end{aligned}$$

式中:  $\theta$  为当前温度;  $\theta_{[0]}$  为初始温度;  $\theta_{[eq]}$  为电流为  $I_{[eq]}$  时对应的等效温度;  $\tau$  为电动机的发热时间

常数;  $\theta_{[eq]} * (1 - e^{-t/\tau})$  为模拟发热过程;  $\theta_{[0]} * e^{-t/\tau}$  为模拟散热过程。

考虑到负序的发热效应, 电机发热是由  $I_{eq}$  产生的总铜损引起, 公式(1)变换后可以得出:

$$A_{t1} = k^2 * (1 - e^{-t/\tau}) + A_{t0} * e^{-t/\tau} \quad (2)$$

式中:  $A_{t1}$  为当前热状态;  $A_{t0}$  为过程转换之前的上次过程的热态终值;  $K = I_{eq} / I_{th}$  为等效电流与热保护定值比值。

由于电机的实际运行电流变化复杂, 上述过程在微机保护中定时计算更新  $A_{t0}$ 。等效电流以及动作时间计算公式如下:

$$\begin{aligned} I_{eq} &= \sqrt{I_{rms}^2 + K \times I_2^2} \\ t &= T * \ln \left\{ \frac{\left( \frac{I_{eq}}{I_{th}} \right)^2 - A}{\left( \frac{I_{eq}}{I_{th}} \right)^2 - 1} \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

式中:  $I_{rms}$  为测试时加入的相电流值;  $I_{th}$  为热保护电流整定值;  $A_{t0}$  为电动机的初时热状态;  $T_1$  为  $I_{th} < I < 2 * I_{th}$  时的过负荷时间常数;  $T_2$  为  $I > 2 * I_{th}$  时的过负荷时间常数;  $T_r$  为断路器断开时的冷却时

间常数； $K$  为负序发热系数。

图 1 为电机的启动过程、稳定运行、堵转故障、保护跳闸各过程的电流和热状态曲线。

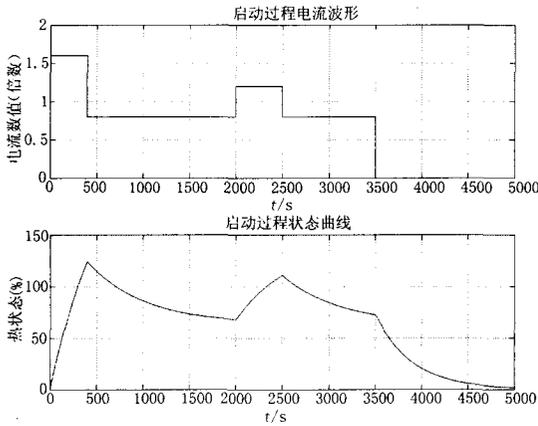


图 1 电流和热状态  
Fig.1 Current and thermal state

## 2 热模型保护应用

由于电动机参数差异较大，许多国产电机无法提供热临界曲线，只能提供启动时间、启动电流、额定功率、额定电流等常规参数，导致热过负荷保护整定工作困难，具体热保护的配置方法如下：

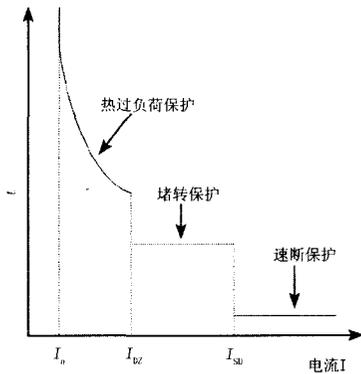


图 2 电动机常规电流保护  
Fig.2 Conventional motor current protection

(1) 热初始状态  $A_{01} = 0\%$ ，按照躲开启动过程进行整定，此时得出的  $T_1/T_2/T_3$  偏大，同等条件下的动作时间较长。并且电机的实际启动时间与厂家提供参数经常存在差异，终端负载的变化也会导致启动时间出现偏差，往往需要根据微机保护提供的启动时间数据进行修正，避免启动过程中的误动。

(2) 考虑到电机的热初始状态，按照躲开堵转可承受时间整定，启动过程中大于 90%时闭锁热保护，直至启动结束继续进行热状态积累。这种方式更接近电机实际状态，故障动作时间明显缩短，可以避免电机设备的故障扩大化，但热初始状态往往

无法获得准确数据。

如正常运行电流  $I_{rn} = 0.8 * I_{th}$ ， $T_1 = T_2 = 14 \text{ min}$  时，根据公式 (2)，稳定运行时的热初始状态为  $A = 0.8 * 0.8 = 0.64$ ，上述两种整定方式在后期堵转时的精确动作时间以及对应曲线如表 1、图 3。

表 1 不同热态堵转时的动作时间  
Tab.1 Trip time of stall at different thermal state

初态倍数	$A=0$	$A=0.64$
1.1	1 471.1	838.8
1.25	858.2	415.5
1.5	493.7	212.6
1.75	332.1	135.1
2	241.7	95.2
3	98.9	37.0
4	54.2	19.9
5	34.3	12.5
6	23.7	8.6
7	17.3	6.3

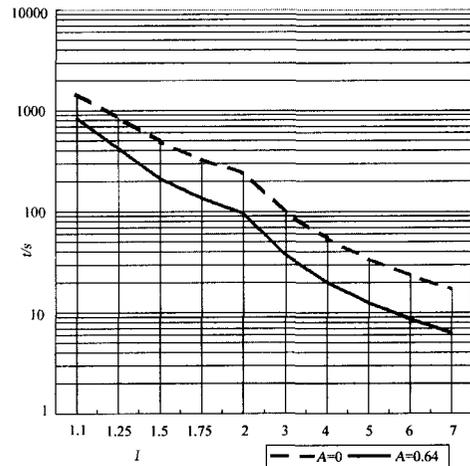


图 3 不同热态堵转时的动作时间  
Fig.3 Trip time of stall at different thermal state

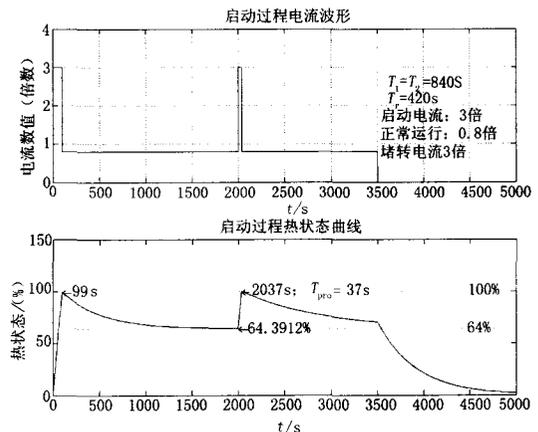


图 4 过载时仿真曲线  
Fig.4 Curve of overload by simulation

从表 1 可以得出, 热保护能够跟踪真实的电机热积累的变化过程, 在启动时段由于  $A \neq 0$ , 动作时间长, 稳定运行后再次发生过负荷时, 结合当前最新的热状态  $A$ , 动作时间大大缩短, 快速动作于故障, 严格保护电机的安全可靠运行。图 4 为 Matlab 的仿真波形。

### 3 热模型保护时间参数整定方法

#### 3.1 根据电机厂家提供的热临界曲线整定

$T_1/T_2$  的取值一般通过计算, 进行参数拟合, 通过选择合适的  $T_1/T_2/T_3$  数值来实现电动机的热过负荷的整定, 选择的原则为使绘制出的时间-电流曲线近似的与电机的热态曲线相匹配, 小于 2 倍时为正常运行中过载, 此段参考热状态时间计算, 大于两倍为启动或者堵转时刻的过载, 此刻推荐参考热状态曲线进行时间整定, 并且整定的原则为  $T_1/T_2$  取相同值, 使热曲线为连续曲线。

上述为能够获得热曲线情况时的逆向整定方法, 如果无法获得热曲线, 则按照冷状态进行整定。

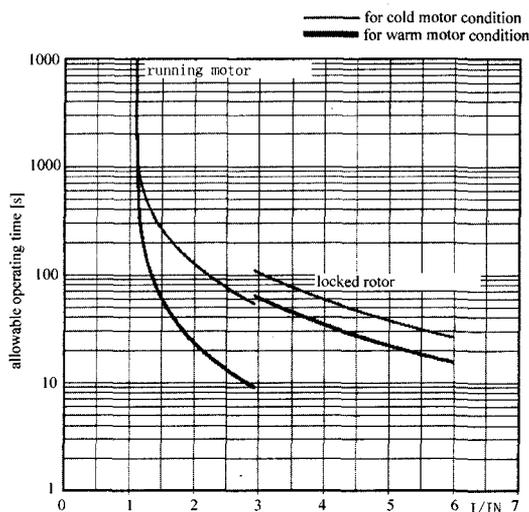


图 5 除尘风机热临界曲线

Fig.5 Dedusting fan thermal curve

图 5 为宝钢某除尘风机外方提供的热临界曲线, 功率 560 kW, 启动电流 6 倍, 启动时间 22 s, 实际记录分别为 6.5 倍, 23.5 s。

查询曲线可得热态时不同电流情况下的承受时间, 根据前面讲述的公式(3), 通过不断的调整  $T_1/T_2$  的数值, 可计算得表 2。

比照表 2 和图 5 可以发现, 二者数据比较吻合, 但表 2 中 6 倍时动作时间小于启动时间, 无法躲开启动过程, 因此, 在启动过程中需要闭锁热模型保护, 直到启动超时才继续进行热积累。

表 2 不同电流下的动作时间表

Tab.2 Trip time at different current

负序系数 $K$	3
$T_1=$	9 min
$T_2=$	9 min
$T_3=$	36 min
电流倍数	动作时间/s
1.5	317.4
2	155.3
3	63.6
4	34.8
5	22.0
6	15.2

#### 3.2 根据电机其他参数进行整定

1) 电机厂家提供 6 倍额定电流跳闸时间  $t_{6 \times I_N}$ , 电机为直接启动方式则:  $T_1 = T_2 = 32 * t_{6 \times I_N}$ , 单位为秒, 转换为分钟后取整数。

$$T_1 = 4 * T_2$$

$K_e = 3$ , 一般都可以取该值, 用于计算电机不平衡时, 负序对发热的影响。

2) 电动机厂家提供的不是 6 倍跳闸时间, 能够提供额定电流、启动电流、启动时间, 则按照如下原则整定:

- a) 调整  $T_1/T_2$ , 使其满足在启动电流数值持续时, 热过负荷能够稍大于启动时间跳闸。
- b) 冷却时间按照 4 倍  $T_2$  考虑。
- c) 如果电机串连电抗器或者其他非全压方式启动, 则按照厂家的曲线合理选择  $T_1/T_2$  数值即可。

3) 如能够提供反时限电流保护曲线, 如 2 倍 20 s 动作, 则配合该时间进行整定。

按照上述原则整定的  $T_1/T_2/T_3$  可以使用整定方法 3.1 中的表 2 方式进行校验, 使其能够最优逼近实际工况。

### 4 与普通反时限电流保护比较

1) 根据电动机的物理模型进行设计, 考虑到负序的发热效应, 能够在不平衡时快速动作。

2) 启动期间可以根据需要进行闭锁, 避免热保护误动, 如果出现启动超时, 则利用原有的热积累, 加速保护跳闸。

3) 有效利用热模型的发热散热计算, 在故障出现时可以大大缩短动作时间, 有效控制故障范围。

4) 对于负荷波动大的电机, 热模型能够跟踪记录每次变换过程中的热状态并且进行累计, 从而更加有效地反映于电动机的过热而动作, 常规反时

(下转第 113 页 continued on page 113)

(2)改进差动保护程序,提高保护抗 CT 饱和能力。当发生故障后,电流互感器需要经过一定时间才饱和,在电流互感器线性工作期间,外部故障时保护装置感受到的差流是很低的。电流互感器饱和后,差流可能显著增加。区外故障时,电流互感器周期性处于线性工作区时没有差流,处于饱和区时有差流。而区内故障时,不管电流互感器在线性区还是处于饱和区,始终都有差流。利用这个特点,即可以判别互感器是否饱和。

(3)调整保护定值项里的二次谐波定值为 15%,根据以上录波及现场情况的分析,针对保护来说,区外故障时,差动应该不会动作。由于低压侧 CT 的 A、C 相饱和,反应到保护的二次电流失真,出现很大的差流,造成比率制动元件无法闭锁。A 屏差动保护选用二次谐波原理的差动,故障时二次谐波含量也均小于定值开放保护,造成 A 屏保护动作。而 B 屏保护为波形对称原理差动,比率制动元件也是无法闭锁,但故障时波形是不对称,保护判为涌流现象,故闭锁保护。这样就出现了现场主变保护区 A 屏动作, B 屏不动作的现象。保护区外故障时差动保护主要靠比率制动元件进行制动,而不是靠二次谐波原理进行制动,但根据现场实际情况更改此定值项也不会影响保护区内故障时保护动

作的灵敏性。因为区内故障时保护的差流要大得多,二次谐波含量所占的百分比就比较小,不会降低保护的灵敏度。

### 参考文献

- [1] 国家电力调度通信中心.《电力系统继电保护规定汇编》(第二版)[M].北京:中国电力出版社,2000.
- [2] 王梅义,等.《大电网系统技术》(第二版)[M].北京:中国电力出版社,1995.
- [3] 国家电力调度通信中心.电力系统继电保护典型故障分析[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [4] 陈德树.继电保护原理[M].北京:中国电力出版社,1989.
- [5] 朱声石.高压电网继电保护原理与技术(第二版)[M].北京:中国电力出版社,1995.
- [6] 许正亚.输电线路新型距离保护[M].北京:中国电力出版社,2002.
- [7] 王维俭,候炳蕴.大型机组继电保护理论基础[M].北京:中国电力出版社,1996.

收稿日期:2008-06-02

作者简介:

陈波(1973-),男,本科,从事继电保护现场运行维护及管理工作。E-mail:chenbo314159@163.com

(上接第 109 页 continued from page 109)

限保护在电流波动大情况下,虽然每次都能启动,但可能在反时限动作时间之前电流已经返回,导致保护功能返回,无法可靠动作。

## 5 结束语

根据本文的分析,合理设置相关参数,热模型保护能够精确吻合电动机的运转特性,灵敏反映设备故障,保障电动机的运行安全,减小和避免由于误动拒动造成的经济损失,实现电动机的高效节能运行。

### 参考文献

- [1] 王维俭.电气主设备继电保护原理与应用[M].北京:中国电力出版社,2002.
  - [2] 祖伟,刘友翔,张莉.电动机热过载保护及其微机实现[J].合肥工业大学学报(自然科学版),1997,20(2):94-99.
- ZU Wei, LIU You-xiang, ZHANG Li. Research on Microcomputer Based Relay of Motor Thermal Overload[J]. Journal of Hefei University of Technology

(Natural Science), 1997, 20(2): 94-99.

- [3] 袁甄.高压异步电动机的微机式过热保护[J].电气应用,2005,24(9):28-30.
- YUAN Zhen. Digital Protection Against the Thermal-Overload of H V Asynchronous Motor[J]. Electrotechnical Journal, 2005,24(9):28-30.
- [4] 贺家李,宋从矩.电力系统继电保护原理(增订版)[M].北京:中国电力出版社,2004.
  - [5] 许正亚.变压器及中低压网络数字式保护(第一版)[M].北京:中国电力出版社,2004.
  - [6] 陈皓.微机保护原理及算法仿真(第一版)[M].北京:中国电力出版社,2007.
  - [7] AREVA.MiCOM P241 技术说明书(v1.B)[Z].

收稿日期:2008-05-27; 修回日期:2008-06-22

作者简介:

卢庆港(1978-),男,从事厂矿企业的供配电自动化系统集成项目管理工作;Email:luqinggang@263.net

解中秀(1942-),男,教授,研究方向为电力电子技术应用及 FACTS 技术。