

浅谈高压电动机热过负荷保护原理、 整定计算及试验方法

万欣, 马小娜

(大庆石化公司炼油厂, 黑龙江 大庆 163000)

摘要: 介绍高压电动机热过负荷保护的原理、整定计算及试验方法, 热过负荷保护已广泛应用于电动机装置, 与常规的过电流保护相比较, 具有显著优越性和推广应用价值。

关键字: 电动机; 热过负荷; 发热时间常数; 负序电流; 跳闸矩阵

The principle, setting calculation and test method of thermal overload protection of high voltage motor are briefly discussed

WAN xin, MA Xiaona

(Daqing Petrochemical Company Oil Refinery, Daqing 163000, China)

Abstract: The principle, setting calculation and test method of thermal overload protection for high-voltage motor is introduced. Thermal overload protection has been widely used in motor devices. Compared with conventional over-current protection, it has obvious advantages and application value.

Key words: motor; thermal overload; heating time constant; negative sequence current; tripping matrix

0 引言

高压异步电动机在实际运行中, 经常会因为过负荷的大电流产生高温而烧坏。由于电动机的发热和散热过程同时存在, 导致其温升过程呈非线性关系。因此, 如何合理地监测电动机定子、转子绕组的发热状况, 是电动机可靠运行的重要保障。电动机热过负荷保护综合考虑了电动机正序、负序电流所产生的热效应, 主要用于防止电动机过负荷、绕组断线引起的发热, 同时也作为电动机堵转、短路和起动时间过长等故障的后备保护。

下面以南瑞继保 PCS-9626L 装置为例, 简要介绍电动机热过负荷保护的功能、保护整定计算及试验方法。南瑞继保 PCS-9626L 装置提供了以负荷电流为模型的热过负荷保护。热过负荷模型基于 IEC 60255-8。

1 热过负荷保护原理

通常电动机保护装置具有多种电流保护功能, 如电流速断保护、定时限过电流保护、反时限过电流保护和负序电流保护等, 近几年还普遍配置了模拟电动机绕组热积累效应的热过负荷保护。在电动机事故停车的诸多因素中, 定子、转子绕组发热尤其常见。为有效防止电动机因过负荷及不对称过负荷引起的过热跳闸, 需投入热过负荷保护。热模型是电动机的专用保护元件, 其特点是能够通过测量作用于电动机绕组的正序电流和负序电流的热累积效应, 为电动机过负荷提供保护。热过负荷保护分为热过负荷告警与热过负荷跳闸, 同时具有热记忆及禁止再起功能, 可实时显示电动机的热积累情况。

(1) 起动元件

热过负荷保护投入时, 当热积累状态大于

100%且等效电流值大于 0.95 倍的热过负荷系数与热过负荷基准电流乘积时, 整组起动元件动作。

(2) 过热闭锁起动功能

过热保护跳闸且热积累状态值大于过热报警定值时, 装置的热记忆功能起动, 禁止再起出口触头动作保持, 禁止电动机起动。散热至过热报警值以下时, 禁止再起出口自动复归, 电动机可再次起动。该项功能动作时, 有相应告警报文, 但不点亮告警灯。

(3) 热过负荷告警

“热过负荷告警”控制字投入时, 热积累达到“热过负荷告警定值”, 保护装置不经延时告警。

(4) 热过负荷跳闸

进行发散热计算的热过负荷模型能够更真

实地反映电动机的发热情况, 电动机正常运行时, 发热和散热总的热积累会平衡在 $I_p^2 / (kI_B)^2$, 当热等效电流大于过负荷电流时, 电动机开始热量积累; 当热等效电流小于过负荷电流时, 热积累通过散热逐渐减小。当热积累超过热过负荷告警定值时, 装置会发出一个告警信号。当电动机故障时, 电流急剧增大, 热积累快速增加, 经过 T 时间后跳闸。

过热跳闸后, 跳闸节点保持, 等热量散发到一定程度释放, 允许再次合闸。如需要紧急起动电动机, 可以通过“热复归”开入信号来强制清除热积累, 电动机方可再次起动。逻辑框图如下图所示。

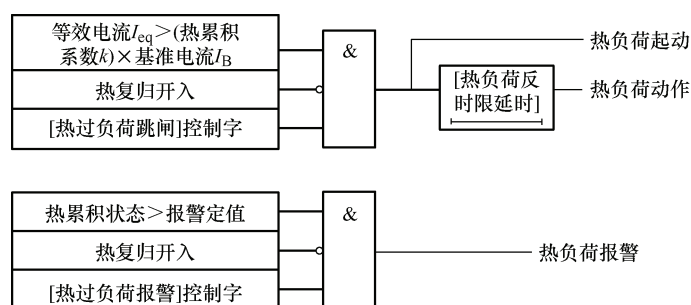


图 热过负荷逻辑框图

FIG. Logic block diagram of thermal overload

2 热过负荷保护整定计算

热过负荷保护采用反时限特性, 其动作电流大小与动作时间成反比, 但它又不同于常规的 IEC 反时限曲线, 所需整定参数较多, 且电动机厂家很难提供保护整定所需数据, 因此, 如何合理地整定电动机热过负荷保护定值一直困扰着很多保护计算人员。

2.1 高压异步电动机的热积累模型

根据电动机的发热模型, 电动机的保护跳闸时间 T 和等效运行电流 $I(I_{eq})$ 之间的特性曲线由下列公式给出

$$T = \tau \times \ln \frac{I^2 - I_p^2}{I^2 - (kI_B)^2} \quad (1)$$

式中, T 为保护跳闸时间, s; τ 为热过负荷常量,

对应定值“热过负荷时间常数”; I_B 为满负荷额定电流值, 对应定值“热过负荷基准电流”; I_p 为热过负荷起动前稳态电流, 若过负荷前处于冷态, 则 $I_p=0$; k 为热积累系数, 对应定值“热过负荷系数”; I 为热等效电流有效值 I_{eq} 。

热等效电流有效值 I_{eq} 公式为 $I_{eq}^2 = K_1 I_1^2 + K_2 I_2^2$ 。

电动机起动时, $K_1=0.5$; 正常运行时, $K_1=1$ 。 K_2 对应定值“负序发热系数”, I_1 为正序电流, I_2 为负序电流。

这一判据充分考虑了电动机定子的热积累过程及其过负荷前的热状态。

2.2 热过负荷保护定值整定计算

(1) 热过负荷基准电流 I_B

整定范围: $0.05 I_n \sim 3 I_n$ (I_n 为 TA 二次额定电流 1 A 或 5 A), 单位 A。 I_B 为满负荷额定电流值,

由电动机厂家提供数据整定，一般为 0.8~1.1 倍电动机额定电流，可取 1.1 倍电动机额定电流，该整定值为经过电流互感器转换到保护装置的二次值。

(2) 热过负荷时间常数 τ

整定范围：10~6 000，单位 s。

1) 如果厂家提供了电动机的热极限曲线或一组过负荷能力的数字，即几倍额定电流电动机可持续运行的时间，则可根据式(2)求出一组 τ 值后，取其中较小的值作为 τ 的整定值，即

$$\tau = \frac{T}{\ln \frac{I^2}{I^2 - (kI_B)^2}} \quad (2)$$

2) 通过式(2)分母的变形可得到式(3) ($I_e = I_B$)，从而得到 τ 值，即

$$\tau = \frac{T}{\ln \frac{(\frac{I}{I_e})^2}{(\frac{I}{I_e})^2 - k^2}} \quad (3)$$

式中， I/I_e 为热累积电流对热过负荷基准电流的倍数，例如 $I/I_e=3$ ，假设根据现场实际情况，电动机过负荷能力为 3 倍 15 s，即在热累积电流 I 为 3 倍热过负荷基准电流下，电动机可运行 15 s，将 $k=1.05$ ， $T=15$ s， $I/I_e=3$ 代入式(3)中，可得 $\tau=115$ s。

3) 根据式(4)得到 τ 值

$$\tau = \frac{\theta_e K^2 T_{qd}}{\theta_0} \quad (4)$$

式中， θ_e 为电动机的额定温升； K 为起动电流倍数； θ_0 为电动机起动时的温升； T_{qd} 为电动机的起动时间。

(3) 散热时间常数

整定范围：0.1~30 000，单位 s。电动机停转时，散热效果变差，为补偿这种情况，散热时间常数可取 1.5~4.5 倍，具体数值视环境条件而定。如散热时间 2 min，则该定值应整定为 120 s，即过热保护跳闸后需经过 120 s 延时才能散热完毕，允许再次起动。

(4) 负序电流发热系数 K_2

整定范围：3~10。 K_2 用于改变负序电流在发热模型中的热效应，由于负序电流在转子中的热效应比正序电流大得多，在比例上等于在两倍系统频率下转子交流阻抗对直流阻抗之比，一般整定为 6，即在发生不对称短路时，负序电流以 6 倍等效热电流，由于过热保护是反时限，短路电流越大，动作时间越短。故当发生不对称短路故障时，热过负荷保护较普通电流保护相比，可有效缩短保护动作时间。

(5) 热过负荷系数 k

整定范围：1~3，热累积系数一般由电动机厂家数据整定，一般取 1~1.2，常取 1.05。

(6) 热过负荷告警定值

整定范围：0.3~1。过热报警水平一般取 80%，即整定为 0.8。

(7) 控制字清单

控制字过负荷保护、热过负荷跳闸和热过负荷告警置“1”，即保护功能投入。热过负荷跳闸、告警是否投入由用户任意选择。

相关说明如下：

1) 只有控制字、软压板状态(若未设置则不判)和硬压板状态(若未设置则不判)均有效时才投入相应的保护元件，否则退出该保护元件。

2) 当保护元件动作需要禁止再起时，此时通过“跳闸起动闭锁矩阵”定值整定，元件动作后出口带保持功能，需通过重启后台或就地复归来实现复归。

整定方法为：在保护元件与要动作的出口跳闸继电器的空格处填“1”，其他空格处填“0”，则可得到跳闸方式，然后从右至左转换为十六进制数进行跳闸矩阵整定。

注意：热过负荷动作本身就会出口“禁止再起”功能。

(8) 跳闸矩阵定值

整定范围：0~0xf。

跳闸矩阵定值为十六进制数，整定方法是在需要跳闸出口的相关位填“1”，其他位填“0”，然后从右至左转换为十六进制数，即可得到该元

件的跳闸方式。

(9) 辅助参数

“两相式保护 TA”应根据现场实际情况整定。当电流互感器为 A、C 两相 V 形接线时，该辅助参数设置为“1”，过热保护和负序电流需要通过 I_A 和 I_C 计算产生；当电流互感器为 A、B、C 三相 Y 形接线时，该辅助参数设置为“0”，负序电流通过 I_A 、 I_B 和 I_C 计算产生。

3 热过负荷保护整定计算实例

机泵工艺名称：减二线及减一中泵 P17/1。

电动机铭牌参数： $P=185\text{ kW}$ ， $U_e=6\text{ kV}$ ， $I_e=22.5\text{ A}$ 。起动倍数 6 倍，起动时间 8 s。

TA 电流比及接线方式： $K_i=100/5$ ，V 接。

微机保护型号：南瑞继保 PCS9626L。

(1) 热过负荷基准电流计算

$I_{th}=K_K I_e / (K_f K_i) = 1.1 \times 22.5 / (0.9 \times 20) = 1.38\text{ A}$ ，现场取 1.4 A。

式中， K_K 为可靠系数，1.1~1.2； K_f 为返回系数，0.9~0.95； K_i 为 TA 电流比， $K_i=100/5=20$ ； I_e 为电动机额定电流，22.5 A。

(2) 热过负荷时间常数计算

$$\tau = \frac{T}{\ln \frac{(\frac{I}{I_e})^2}{(\frac{I}{I_e})^2 - k^2}} \quad (6)$$

由于电动机厂家未提供过负荷参数，按照现场实际情况，电动机在冷态时，热过负荷曲线一般取 3 倍 18 s，代入式(6)可得： $\tau=137\text{ s}$ 。

按照电动机起动倍数 6，起动时间 8 s，代入式(6)可得： $\tau=257\text{ s}$ 。

由于电动机起动过程中伴随着电动机散热及电流的降低，故可取 $\tau=137\text{ s}$ 。

电动机在热态时发生故障，保护起动时间会缩短，由式(7)可知，保护动作时间与热过负荷起动前稳态电流 I_p 大小有关， I_p 值越大，保护动作时间越短。

$$T = \tau \times \ln \frac{I^2 - I_p^2}{I^2 - (k I_B)^2} \quad (7)$$

当 $I_p=0.5 I_B$ 时， $\tau=137\text{ s}$ ， $T=14\text{ s}$ ；当 $I_p=0.9 I_B$ 时， $\tau=137\text{ s}$ ， $T=5\text{ s}$ 。

(3) 散热时间常数计算

考虑电动机非电气原因跳闸后，能立即起动，散热时间常数取 1 min，即 60 s。

(4) 负序电流发热系数

按厂家建议值取 6，在不对称故障时，保护跳闸更快速。

(5) 热过负荷系数

按厂家建议值取 1.05。

(6) 热过负荷告警定值

大于正常运行负荷的热报警值，按厂家建议值取 0.8。

4 热过负荷保护特性试验

在高压电动机正常运行时，热等效电流只有正序电流，如果电动机出现过负荷，也只有正序电流，过负荷状况与保护的整定值一样，是按照正序电流来确定的。如一台高压电动机额定电流为 80 A，TA 电流比为 200/5，二次额定值为 2 A。热过负荷基准电流为 2.2 A，在过负荷电流达到 6.6 A 时，经过 15 s 电动机跳闸。则 6.6 A 就是校验热过负荷保护时通过三相交流试验台输入的三相对称电流，即正序电流，此时负序电流为 0。15 s 是试验测得的准确动作时间。说明热过负荷保护试验需要使用微机保护三相交流测试仪输入三相对称电流，才能得到与定值清单一样的测试数据，清晰、直接，无须换算。

测试条件：电流 6.6 A，动作时间 15 s，热过负荷时间常数 τ 经计算为 114，负序电流发热系数 $K_2=6$ ，为方便校正 3 倍整定值时的动作时间，可将起动时间暂时改为 0 s，也就是模拟电动机已经进入运行状态，用三相交流保护试验台加三相 6.6 A，此时，由于三相电流对称， $I_1=6.6\text{ A}$ ， $I_2=0\text{ A}$ ，电动机起动后 $K_1=1$ ，可得 $I_{eq}=I_1=6.6\text{ A}$ ，经验证，动作时间为 15 s。如果起动时间为 10 s，

分别加等效的三相和单相电流，试验数据如下表所示。

表 试验数据

Tab. Test data

整定值 倍数	动作电流/A	三相工况 动作时间/s	单相工况 动作时间/s
1.5	3.3	72.15	109.11
2	4.4	35.99	44.15
3	6.6	17.23	16.28
4	8.8	11.65	8.98
5	11	8.32	5.61
6	13.2	5.68	3.86

输入三相电流定义为三相工况；在电动机启动时同步输入单相电流定义为单相工况。

在启动时间为 10 s、三相工况输入 6.6 A 时，动作时间为 17.23 s，因为电动机启动过程中，热等效电流计算时，正序电流热过负荷系数取 0.5，热等效电流 I_{eq} 降低，动作时间大于 15 s；单相工况输入 6.6 A，此时， $I_1=2.2$ A， $I_2=2.2$ A，由于负序电流 I_2 的出现，负序电流发热时间常数为 6，相当于负序电流 6 倍叠加，热等效电流增大，动作时间较三相时短，为 16.28 s，电流越大，这种现象越明显。由于两种工况下的热等效电流不一样，热模型在相同时间内产生的热累积电流也就

不一样，所以动作时间也不相同。

5 结束语

电动机热过负荷保护采用热等效模型，能够更好地保护电动机的短路故障，尤其对于不对称短路，动作时间更短，保护性能优于常规的定时限电流保护和 IEC 反时限电流保护。EA

参考文献

- [1] 电力装置的继电保护和自动装置设计规范：GB/T 50062—2008[S].
- [2] 南瑞继保电气有限公司. PCS-9626L 电动机保护装置技术和使用说明书[Z].
- [3] 厂用电继电保护整定计算导则：DL/T1502—2016[S].

作者简介：



万欣

万欣，工程师，研究方向：炼油厂供电车间。

(收稿日期：2020-11-26)

(上接至 54 页)

- [2] 中华人民共和国国家标准. 调速电气传动系统 第 5-1 部分：安全要求电气、热和能量：GB 12668.501—2013[S].
- [3] 陈少林. 基于 IGCT 两电平电压源型交直大功率变频器设计[D]. 长沙：湖南大学，2018.
- [4] 李兴宁，王书杰，陈震. 单元串联多电平高压大功率变频器研究[J]. 大功率变流技术，2010(3)：5-8.
- [5] 李宗臣，张奕黄. 级联型多电平高压变频器的建模与仿真[J]. 电机与控制应用，2009，36(3)：31-34，52.
- [6] 竺伟，陈伯时，周鹤良，等. 单元串联式多电平高压

变频器的起源、现状和展望[J]. 电气传动，2006，36(6)：3-7.

作者简介：



周宁

周宁(1974—)，男，高级工程师，主要从事石油化工行业电气设计工作。

(收稿日期：2020-11-15)