

西门子高压异步电动机保护原理与应用

彭年仔¹ 李国利² 陈希炜³

(1.上海石油天然气有限公司天然气处理厂, 上海 201304;
2.中国石油天然气股份公司广西石化公司, 广西 钦州 535008;
3.上海威能电力科技有限公司, 上海 200030)

摘要 配备完善的继电保护设备对高压电动机的安全稳定运行具有重要的意义。本文分析了异步电动机的各种运行状态, 重点介绍了西门子 Siprotec 4 保护装置中的过电流、热过负荷、起动电流及电机堵转四种保护原理, 结合实例提出整套高压电动机的保护方案, 阐述了上述保护的整定原则和配置要求。

关键词: 高压异步电动机; 数字化保护; Siprotec 保护装置; 反时限; 堵转保护

The Principle and Application of Siprotec Protection for High-voltage Asynchronous Motor

Peng Nianzi¹ Li Guoli² Chen Xiwei³

(1.Shanghai Natural Gas Corporation Treatment Plant, Shanghai, 201304;
2.PetroChina Guangxi Petrochemical Company, Qinzhou, Guangxi, 535008;
3.Win-power Electric Power Technology Co., Ltd, Shanghai 200030)

Abstract Complete protection equipment is very important for the safe and stable operation of high-voltage motor. The paper analyzes a variety of operating state of asynchronous motor, and introduces the principles of time-overcurrent protection, thermal overload protection, motor starting protection, load jam protection of siprotec 4 relay. Combining with a practical example, this paper put forward the protection scheme and explains the requirement of the setting and configuration for these protection functions.

Key words: high-voltage asynchronous motor; numerical protection; siprotec 4 relay; inverse time; load jam protection

1 引言

电动机是当今工业生产的主要驱动设备。其中, 高压异步电机因具有结构简单、性能稳定及维护简单等优点而得到广泛应用, 但高压异步电动机在起动、运行过程中常会发生一些异常情况, 如内部线圈绕组短路、开路、接地电压、过负荷等, 除造成设备严重损坏, 带来重大经济损失外, 还经常波及供电系统, 影响供电可靠性。因此, 对高压电动机配备完善的保护设备就显得尤为重要。

传统电磁型的电动机保护一般采用的是速断+反时限过电流模式^[1], 但随着设备日趋大型化和复杂化, 已不能满足其保护要求。微机保护技术的发展和普及, 使得各种厂家的保护装置层出不穷, 但

保护原理以及保护效果却参差不齐^[2]。

西门子公司的 Siprotec 4 系列保护装置采用统一的软硬件技术标准, 是当前较好的数字化保护应用平台。针对高压异步电动机的主要保护型号为 7SJ6 和 7UM6。针对电动机的各种运行工况, 其所配置的保护原理均能够正确反应、可靠动作。

本文在全面分析电动机运行状态的基础上, 详细介绍了西门子高压电动机保护的主要保护原理以及动作特性, 最后结合实例阐述了这些保护的整定原则和配置要求, 提出了一套完整的高压电动机保护方案。

2 电动机的运行状态

2.1 正常运行

正常运行状态包括:

(1) 起动运行：起动过程中将产生数倍于额定电流的起动电流，持续时间数秒或数十秒，并在电机允许起动时间内。

(2) 带载运行：轴负载为额定或以下，电动机在额定转差率附近运行，定子电流在额定电流以下。

2.2 故障与不正常运行

故障情况有：

- (1) 相间短路。
- (2) 单相接地。
- (3) 匝间短路。

不正常运行状态有：

- (1) 因轴负载增大引起的过负荷电流。
- (2) 起动和自起动时间过长，通常情况下由机械原因卡死造成的。
- (3) 缺相或非对称电压情况时的长时间两相运行。
- (4) 供电电压和频率降低使得转速下降、电流升高。
- (5) 电动机频繁起动使得定转子绕组反复加热而温升超过允许值。
- (6) 正常运行时，因机械、轴承等机构突然损坏造成电动机转矩增大，转速降低甚至堵转停顿。

3 西门子电动机保护原理

3.1 过电流保护

保护包含了独立的 2 个定时限段和 1 个反时限段。4.7 以上版本的保护装置为 3 个定时限段。

反时限过电流标准，国际上主要有 IEC 和 IEEE 两种标准，7SJ6x 保护同时兼容这两种标准，以供用户选择。国内应用较多的是 IEC 标准。

下面简要说明 IEC 255-3 标准的反时限特性及其特点。

反时限方程为

$$t = \frac{\beta T_p}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1} \quad (1)$$

其中， t 为动作时间(秒)； T_p 为时间系数； I 为运行电流的实际测量值； I_p 为起动电流整定值。

对于不同的 α 、 β 的取值，决定了不同的反时限曲线特性，其中常用的四种 IEC 标准反时限特性曲线中 α 、 β 的取值如表 1。

这些反时限特性的延时“陡度”不同，具有不同的延时动作特性，针对不同的应用场合，应选取不同的反时限。通常来说，“Very Inverse”和

“Extremely Inverse”用于首、末端短路故障电流变化很大的情况。“Normal Inverse”和“Long Inverse”用于反映过热状况的保护应用。

表 1 IEC 标准反时限特性曲线常数

	α	β
Normal Inverse	0.02	0.14
Very Inverse	1.0	13.5
Extremely Inverse	2.0	80
Long Inverse	1.0	120

7SJ6x 过电流保护的各段电流元件的评价数值可以选择为“RMS(有效值)”或“基波”。此外，各段保护还可引入电压元件对保护进行“控制”或“制动”，以实现更好的保护性能。

3.2 热过负荷保护

过负荷保护基于单体设备发热模型，热能微分方程为：

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{1}{\tau_{th}}(\theta - \theta_k) = \frac{1}{\tau_{th}} I^2 \quad (2)$$

式中， I 为实际运行电流与在 40°C 环境温度下最大允许持续工作的电流 I_{max} ($I_{max} = kI_N$) 之比； τ 为被保护设备的热时间常数； θ 为实际运行温度与最大允许温度之比； θ_k 为测量得到的环境温度和 40°C 参考温度的差值与最大允许温度之比。

设定边界条件，可解方程得

$$t = \tau \ln \frac{\left(\frac{I}{kI_N}\right)^2 + \frac{\theta'_k - 40^\circ C}{k^2 \theta_N} - \left(\frac{I_{pre}}{kI_N}\right)^2}{\left(\frac{I}{kI_N}\right)^2 + \frac{\theta'_k - 40^\circ C}{k^2 \theta_N} - 1} \quad (3)$$

式中， I 为工作电流值； θ'_k 为实际测量到的环境温度； I_{pre} 为过负荷前的电流值。可以看出，保护动作时间考虑了设备散热的影响，同时也考虑了事故前的负荷电流。

不同历史预负荷条件下的过负荷延时特性曲线如图 1 所示。其中，a 为额定负载 ($I_{pre} = 1.0I_N$)、b 为欠负载 ($I_{pre} = 0.8I_N$)、和 c 为空载 ($I_{pre} = 0$) 情况下的特性曲线。

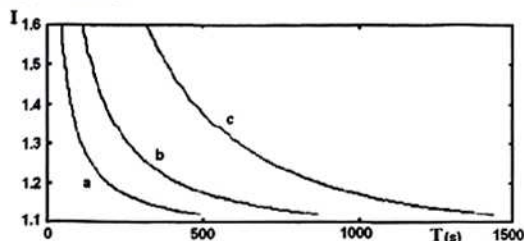


图 1 在不同负荷初值下的延时特性
从仿真曲线中可以看出，对于完全相同的过负

荷故障情况。当故障前负荷电流越小时，因为先前的热积累程度越低，故动作时间越长，这是比较符合实际情况的。

在没有测温的情况下，即忽略 θ_k 的影响。式(3)可以简化为：

$$t = \tau \ln \frac{\left(\frac{I}{kI_N}\right)^2 - \left(\frac{I_{pre}}{kI_N}\right)^2}{\left(\frac{I}{kI_N}\right)^2 - 1} \quad (4)$$

3.3 起动电流保护

起动电流保护是专门针对电动机过长时间起动的运行状况，跳闸动作时间表达式为

$$t = \left(\frac{I_0}{I}\right)^2 t_0 \quad \text{当 } I > I_q \text{ 时} \quad (5)$$

其中， I 为实际流过的电流； t 为流过电流 I 时的动作时间(秒)； I_0 为电动机的额定起动电流； t_0 为在额定起动电流 I_0 的跳闸时间(秒)；而 I_q 为识别电动机起动状态的门槛值。

电动机在冷态和热态条件下， t_0 具有不同的时间，因此保护功能通过保护装置储存的模拟温度参数形成一个逻辑开关，自动执行不同的跳闸时间计算。

动作特性如图2所示。

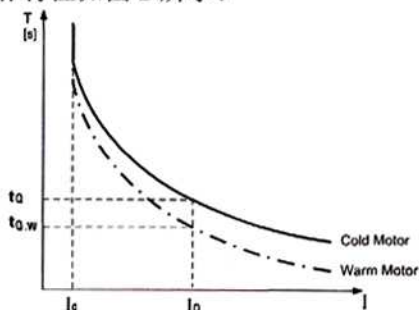


图2 电动机起动电流的反时限跳闸曲线

3.4 电机堵转保护

图3所示为异步电动机的电流转矩特性。在正常运行时，电动机工作在额定工况。当负载转矩增加时，将使得转速变慢，定子电流增大。然而，超过一定负载时，电动机就不能通过增加转矩的方式调节转速，电动机将“失速”直至停顿。长时间堵转运行，除造成机械卡死部位损伤加剧，也易使电动机烧毁。

堵转保护持续监视电动机运行期间电流变化，并以正序分量作为保护门槛，以降低堵转时直流分量的影响。在电动机起动期间，保护逻辑自动闭锁，使得保护可采用较低的动作延时。

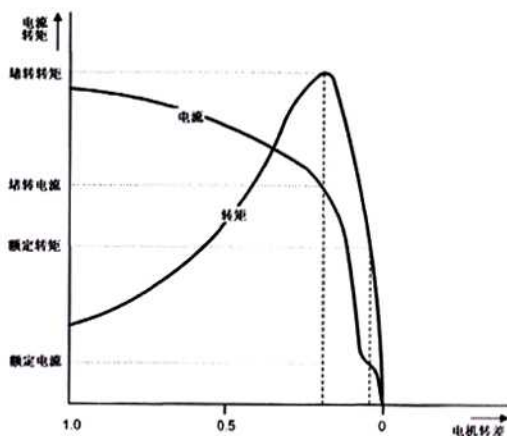


图3 鼠笼电动机的转矩电流特性

4 应用实例

结合实际案例阐述保护配置原则和整定计算方案。

某原料油泵机组为Y型联结的单笼高压异步电动机，型号为YB450M1-2WTH。主要数据为

(1) 铭牌数据：额定电压 6000V；额定功率 450kW；额定电流 53.67A；功率因数为 0.89；额定转速 2987r/min。堵转电流倍数 6.5，起动时间 7s。CT 变比为 75/1A，三相星形接线方式。

厂家数据：1s内最大耐受水平为 45 倍额定电流。

(2) 负载：额定轴功率 336kW，对应电动机电流为 40.1A；最大连续运行功率 357kW。

(3) 电网数据：最小方式下两相短路电流为 15.17kA。

4.1 过电流保护

采用多段过电流保护，在满足保护的速动性要求的基础上，区别电动机的故障类型。

图5为电动机过电流保护各段的配置原理图，其中，定时限的 $I>>>$ 和 $I>>$ 段保证了在相间短路时的快速动作；由各反时限段，依次作为电动机故障的选择性保护。各段保护所形成的边界就是允许电动机运行的区域。

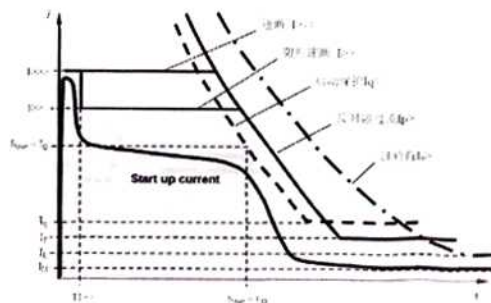


图4 电动机过电流保护的配置原理图

(1) 速断电流保护 $I_{>>>}$ 段

定值按躲过电动机起动的冲击峰值电流整定。

$$I_{>>>} = K_k K_{ch} K_q I_c / n_{CT} \quad (6)$$

式中, K_k 为可靠系数, 取 1.3~1.5, K_q 为电动机起动电流倍数, 取值 4~7, 一般应按电动机特性取值; K_{ch} 为电动机起动峰值与稳态值的比值, 通常为 1.2~1.5。

计算为

$$I_{>>>} = \frac{1.5 \times 1.2 \times 6.5 \times 53.67}{75/1} = 8.37A$$

灵敏度校验

$$K_{lm} = \frac{I_{d\min}^{(2)}}{I_{dz}} = \frac{15270}{8.37 \times 75/1} = 24.3 > 2.0 \text{ (合格)}$$

(2) 限时速断电流保护 $I_{>}$ 段

定值按躲过电动机起动电流整定, 延时 3~5 个周波。公式如下

$$I_{>} = K_k K_q I_c / n_{CT} \quad (7)$$

计算为

$$I_{>} = \frac{1.5 \times 6.5 \times 53.67}{75/1} = 6.98A$$

时限取值 $t_{>} = 0.06s$

(3) 反时限过电流保护 $I_p >$ 段

延时特性采用“长反时限”, 由(1)式代入表 1 数据为:

$$t = \frac{120T_p}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^1 - 1} \quad (8)$$

1) 起动值以电动机额定电流整定, 计算公式为

$$I_p = K_k I_c / n_{CT} \quad (9)$$

式中, K_k 为可靠系数, 取 1.1~1.2。

计算为

$$I_{p>} = \frac{1.1 \times 53.67}{75/1} = 0.79A$$

2) 时间常数以躲过电动机起动时间整定。可采用反推法, 公式为

$$T_p = K_k \frac{\left(\frac{I}{I_p}\right)^1 - 1}{120} t \quad (10)$$

式中, K_k 为可靠系数, 取 1.1~1.3。

计算为

$$T_p = 1.3 \times \frac{\left(\frac{6.5}{1.2}\right)^1 - 1}{120} \times 7.0 = 0.335s$$

取值 $T_p = 0.34s$

(4) 起动电流保护 $I_q >$ 段

在本保护中, 式(4)的 I_q 和 t_q 定值均为设备

数据, 只需确定保护起动的门槛值 I_q , 以保护在电动机起动过程中准确起动整定, 即

$$I_q = \frac{I_Q}{K_{lm}} \quad (11)$$

K_{lm} 可取值为 2.0。

计算为

$$I_q = \frac{6.5 \times 53.67}{2.0 \times 75/1} = 2.32A$$

(5) 过负荷保护 $I_{\theta} >$ 段

整定原则: 以泵机组的额定工况为预负荷配置过负荷保护。这是因为在工厂配置中, 电动机通常比被拖动设备的功率要大, 当电动机达到额定电流时, 被拖动设备已经过载。

1) k 系数确定, 按泵机组最大连续运行功率的倍数整定, 可靠系数可取 1.05~1.1; 计算按 CT 二次电流进行折算。

2) τ 常数确定, 应按电动机厂家给定数据设定, 若无此数据, 则可设备按耐受电流水平进行折算。公式为

$$\tau_{th} (\text{min}) = \frac{1}{60} \left(\frac{I_{I\text{sec}}}{I_{I\text{maxpr}}} \right)^2 \quad (12)$$

3) 计算过程为

$$k = K_k \frac{I_{M\text{max}}}{I_{N\text{CT}}} = 1.05 \times \frac{42.6}{75} = 0.596$$

取值 $k = 0.60$

$$\tau_{th} (\text{min}) = \frac{1}{60} (45)^2 = 33.75 \text{ min}$$

取值 $\tau_{th} = 33.7 \text{ min}$

4.2 堵转保护

前节中各反时限段是可以反应于电动机堵转故障, 但动作时间较长。因此, 采用本保护的则是在区别电动机起动状态情况下, 尽可能缩短堵转时的动作时间。

保护分为报警段和跳闸段。推荐整定方法为: 报警段按 1.5 倍电机额定电流整定, 跳闸段按 2.0 倍额定电流整定。计算过程为

(1) 报警段

$$I_{\text{jam}>} = \frac{1.5 \times 53.67}{75/1} = 1.07A$$

时限 $t_{\text{jam}>} = 2.0s$

(2) 跳闸段

$$I_{\text{jam}>>} = \frac{2.0 \times 53.67}{75/1} = 1.43A$$

时限 $t_{\text{jam}>>} = 5.0s$

(3) 起动闭锁保护时间

按 2 倍电动机起动时间整定, 即

$$t_{B, \text{jam}} = 2 \times 7.0 = 14\text{s}$$

4.3 与系统配合的保护

作为高压电动机的完整保护, 除了上述特有保护功能外, 还应具有缺相保护、低电压保护及接地过流保护。西门子保护装置也具有这些保护功能。

配置原则为

(1) 缺相保护

采用定时限负序过电流保护, 配置 1 段。起动定值按躲过电动机的最大不平衡电流整定, 一般取值为 15%~30%额定电流; 延时按躲过电网可能出现非对称电压运行的最长时间整定, 一般为 3~5s。

(2) 低电压保护

电动机设置低电压保护并不是为了反应其内部发生的故障, 实质上是“保电网”。整定原则与电网中负荷分级、本设备在工艺过程中的重要性有关, 在综合设备等级、备用电源自动投入等情况后确定。

(3) 接地保护

当电动机发生内部接地故障时, 接地电流的大小与电网接地方式和参数有关。规程要求, 接地电流大于 5A 就应动作于跳闸。保护用 CT 应采用穿心式零序电流互感器, 变比不宜太大。动作定值根据系统要求统一配置。

5 结论

保护装置是高压电动机安全运行的重要保障, 是

工厂电气系统不可或缺的重要环节。与传统方式的继电保护相比较, 西门子公司微机电动机保护装置提供了较为完善的保护方案。实践表明, 合理配置保护组合方案, 并正确计算各种保护的整定值, 对高压电动机乃至工厂生产系统的安全运行具有重要意义。

参考文献

- [1] 崔家佩, 孟庆炎, 陈永芳, 熊炳耀. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
- [2] 陈建玉, 李国岭, 孟宪民. 高压电动机保护测控技术的进展与发展方向[C]. 中国电工技术学会第八届学术会议, 2004.
- [3] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004
- [4] SIPROTEC 7SJ62/64 V4.7, Multifunction Protective Relay with Local Control, Manual No C5300-G1140- C207-2.

作者简介

彭年仔 (1967-), 男, 工程师, 硕士, 从事电气系统与自动化系统运行与管理工作。

李国利 (1973-), 男, 高级工程师, 大学本科, 从事电气保护与自动化系统运行与管理工作。

陈希伟 (1970-), 男, 高级工程师, 硕士, 从事电力保护与自动化工程设计及管理工作。

(上接第 31 页)

全符合 IEC61850 标准的要求, 在实际应用中也满足了新型数字化变电站的各项技术指标。目前, 以本文设计的模型为基础配置的 FH3000 型故障录波器的服务器端已经通过了中国电力科学研究院的一致性测试, 并且该设备已经在广西 550kV 电站投入运行。

参考文献

- [1] IEC 61850-5 Communication Networks and Systems in Substation Part5: Communication Requirement for Functions and Device Models[S]. 2006.
- [2] IEC 61850-6 Communication Networks and Systems in Substation Part6: Configuration Description Language for Communication in Electrical Substation Related to IEDs[S]. 2006
- [3] IEC 61850-7-3 Communication Networks and Systems in Substation Part7-3: Basic Communicaton Structure

for Substation and Feeder Equipment-Common Data Classes [S]. 2006.

- [4] IEC 61850-7-4 Communication Networks and Systems in Substation Part7-4: Basic Communicaton Structure for Substation and Feeder Equipment-Compatible Logical Node Classes and Data Classes [S]. 2006.
- [5] 谭文恕. 变电站通信网络和系统协议 IEC 61850 介绍 [J]. 电网技术, 2001, 22(8).
- [6] 孙军平, 盛万兴. 面向对象的变电站网络通信抽象模型[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(12).

作者简介

王凤祥 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为 IEC61850 标准的研究与应用, 现就职于山东广饶供电公司。

罗彦 (1973-), 男, 博士研究生, 研究方向为变电站综合自动化, 兼职于成都府河电力成套设备有限公司。

西门子高压异步电动机保护原理与应用

作者: 彭年仔, 李国利, 陈希炜, Peng Nianzi, Li Guoli, Chen Xiwei
作者单位: 彭年仔, Peng Nianzi(上海石油天然气有限公司天然气处理厂, 上海, 201304), 李国利, Li Guoli(中国石油天然气股份公司广西石化公司, 广西, 钦州, 535008), 陈希炜, Chen Xiwei(上海威能电力科技有限公司, 上海, 200030)
刊名: 电气技术
英文刊名: ELECTRICAL ENGINEERING
年, 卷(期): 2011 (3)

参考文献(4条)

1. SIPROTEC 7SJ62/64 V4.7, Multifunction Protective Relay With Local Control, Manual No C5300-G1140-C207-2
2. 贺家李; 宋从矩 电力系统继电保护原理 2004
3. 陈建玉; 李国岭; 孟宪民 高压电动机保护测控技术的进展与发展方向 2004
4. 崔家佩; 孟庆炎; 陈永芳; 熊炳耀 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算 1993

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dianqjs201103011.aspx