

# 一例继电保护“误整定”的解决措施

王玉锋, 杜光明

(新疆独山子石化公司乙烯厂电气车间, 新疆 独山子 833600)

**摘要:** 针对一起某化工厂 6 kV 高压电动机速断保护“误动作”事故, 剖析了“误动作”的原因。在深入分析电动机起动特性的基础上, 提出了一种可行性短路保护策略, 该策略主要凭借 F650 继电保护装置内部逻辑编程实现。两级无时限速断保护设置后, F650 可对电动机的起动和运行短路故障作出灵敏反应, 快速动作, 将其危害限制在较小程度。该策略已通过了试验测试, 并在实际应用中取得了良好的效果。

**关键词:** 高压电动机; 起动电流; 速断保护; “误动作”; “误整定”; 继电保护装置

## Solutions on a case of incorrect setting of relay protection

WANG Yu-feng, DU Guang-ming

(Electrical Workshop of Ethylene Factory, Dushanzi Petroleum and Chemical Company, Dushanzi 833600, China)

**Abstract:** In view of the maloperation incident on one 6kV HV motor in a petrochemical plant, this paper analyzes the technical reasons. Then it proposes a feasible strategy for the short-circuit protection by deep analysis of the motor starting-up characteristics. It is implemented mainly by internal logic programming of the protection device F650. By setting two-stage instantaneous overcurrent protection, F650 can be sensitive to phase-phase short-circuit faults during the starting-up and running. If the innovation has been implemented, the damage will be limited to a less extent by its fast actions. The strategy has passed through the related tests in the laboratory and has achieved good results in practical applications.

**Key words:** high-voltage motors; starting current; instantaneous trip protection; maloperation; setting error; protective relay

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)23-0172-04

## 0 引言

6 kV 高压电动机大多为石化等大型厂矿企业的核心机组, 其稳定运行对企业的平稳生产起着关键作用。因此, 正确的继电保护设定, 对 6 kV 高压电动机来说尤其重要。随着微机保护技术的快速发展, 继电保护装置的可靠性越来越大, 装置本身“误动作”的可能性也越来越小。然而, 由于继电保护“误整定”所导致的被保护电力设备“误动作”的现象却时有发生。本文结合一起某化工厂 6 kV 高压电动机由于速断保护“误整定”而引起的“误动作”为实例, 深入分析了该电动机继电保护装置 F650 速断保护“误动作”原因, 并对解决此类问题提出了一些良好见解, 希望能对继电保护整定人员学习和解决该类问题有所帮助。

## 1 事故回放

2008 年 9 月 13 日, 某化工厂生产装置操作人员反映, XX 6 kV 高压电动机一开机就跳车, 现场

巡视发现该盘柜继电保护装置 F650 面板上显示为“速断保护跳闸”。调阅继电器相关记录数据, 故障发生时三相最大电流值为 540 A。电气人员立即用 2 500 V 兆欧表测量该电动机绕组及出线电缆绝缘电阻, ABC 三相对地为 200 M $\Omega$ , 绝缘电阻合格。用 QJ44 双臂电桥测量电动机三相绕组直流电阻分别为: 0.622 1  $\Omega$ , 0.622 9  $\Omega$ , 0.622 6  $\Omega$ , 各相直流电阻差别 0.13%, 直阻合格。现场电动机盘车也正常。

## 2 原因分析

根据事故过后的测试结果来分析, 断路器出线电缆及电动机本体并无故障, 该电机配电柜此前刚完成保护器升级改造, 据此判断, 其继电保护装置有可能发生了“误动作”。

### 2.1 电动机起动特性分析

众所周知, 三相异步电动机起动电流为: (4~7)  $I_e$  ( $I_e$  为电动机额定电流), 据国标《DLT 584-95 3~110 kV 电网继电保护运行整定规程》规定, 6 kV 高压电动机速断保护的整定原则是: 动作值  $I_{op}$  应躲

过电动机的最大起动电流, 且对线路末端有规定的灵敏度, 即:

$$I_{op,k} = K_{rel} \cdot I_{st} \quad (1)$$

式中:  $K_{rel}$  为可靠系数, 取 1.4~1.5;  $I_{st}$  为电动机最大起动电流, A。

灵敏度要求:  $K_{sen} \geq 2$ ;  $t_{op}$  取瞬时动作时间。

该配电室共有 4 台 6 kV 高压电动机, 之前一直延用 ABB 公司生产的 SPAM 150C 型继电保护装置。原速断保护整定值  $I_{op}$  为:  $1.4 \times 7 \times I_e$ ;  $t_{op}$  取该装置最小固有动作时间 0.04 s, 运行 10 年之久从未发生过类似“误动作”事件。由于 SPAM 150C 的使用年限已到, 装置老化, 需要换型, 才通过此次技术改造, 将这 4 台电动机继电保护装置全部更换为性能稳定可靠、功能更为先进的 GE F650 型继电器。在 F650 中速断保护整定值  $I_{op}$  维持了原设定值, 按无时限动作设计, 因此  $t_{op}$  设为最小值 0 s。经过计算, 该装置的速断保护灵敏系数远大于 2, 可以满足继电保护各方面的配置要求。

### 2.2 “误整定”导致跳车原因分析

通常我们所说的电动机的起动电流, 指的是起动电流周期分量的有效值。一般来说, 电动机起动后 2 个周波内非周期分量的作用异常明显, 第 0.5 个周波处 (即 0.01 s 处) 起动电流瞬态值达到最大, 第 2 个周波过后明显衰减, 渐趋稳定。如图 1 所示为电动机起动电流包络图, 在起动 0.01 s 处, 电流周期分量与非周期分量叠加的瞬时峰值可达电动机额定值的 10~13 倍。该电动机额定电流  $I_e$  为 43 A, F650 的速断保护动作值为  $I_{op} = 1.4 \times 7 \times I_e = 421$  A,  $t_{op}$  值为 0 s, 而 F650 记录的三相最大故障电流为 540 A。显然, 由于速断设定值偏小或动作时限过短, F650 躲不过电动机起动电流的非周期分量, 从而导致了该电动机速断保护动作跳闸。可见, 这是一起因继电保护装置“误整定”而导致的电力设备“误动作”事故。

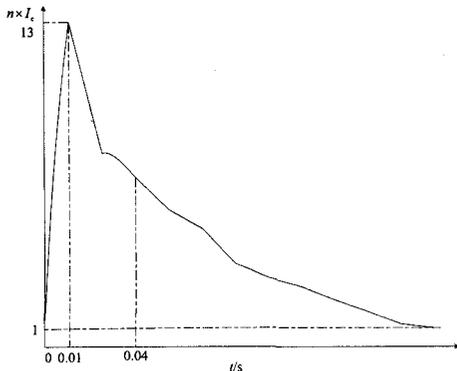


图1 电动机起动特性包络图

Fig.1 Starting-up characteristics envelope diagram of the motor

### 3 解决措施

由于继电保护装置“误整定”是导致电动机跳闸的原因, 因此, 在满足继电保护的“四性”要求的基础上, 如何更合理地利用 F650 的强大功能, 最大程度地减小电动机的短路危害就显得极为重要。

#### 3.1 基本解决方法

对于高压电动机来说, 其继电保护装置型式多样, 保护特性也略有不同。该厂 6 kV 高压电动机除采用 GE F650 以外, 更多还采用了 ABB 公司的 SPAM 150C、ALSTOM 公司的 MICOM P241 等继电保护装置, 这些装置的速断保护特性与 F650 不同之处在于, 后两者均有 0.04 s 即两个周波的最小固有时限。通过前述分析, 0.04 s 的时限, 足以躲过电动机起动时的非周期分量影响, 故能有效防止电动机起动时的“误动作”。而功能强大的 F650 不仅用于电动机保护, 还可以用作变压器、电容器等馈线保护, 故最小动作时限设计为 0 s。

第一种解决方法毫无疑问是参照其它继电保护装置, 将 F650 的速断保护整定时间  $t_{op}$  更改为 0.04 s。

统计数据表明, 80% 以上电动机的短路故障发生在运行阶段。对于运行中电动机来说, 发生短路故障时, 0.04 s 的延时, 再加上保护装置和断路器的机械反应时间, 总计跳闸时间一般都在 0.1 s 以上, 从限制事故的发展及经济运行的角度来说, 这一时间显然不是十分理想的。

随着微机技术的不断发展, 用内部可编程逻辑来优化电力设备保护, 已被越来越多的继电保护装置所采用。F650 就是体现这一新技术的突出代表。其常规速断保护编程如下:



图2 电动机速断保护方案一逻辑图

Fig.2 Logic diagram of the instantaneous overcurrent protection (scheme 1)

说明: 图 2 中, 0 单元“虚拟输出 002”为接在电动机控制回路的跳闸出口接点, 在设定单元可以进行定义; 1 单元“相 IOC1 高定值动作”为电动机的速断保护设定, 包括动作型式、门槛电流值、动作时限、返回延时等。当 F650 检测到电流超出速断设定值  $I_{op}$  时, 经最小固有延时 (小于 10 ms) 后, 虚拟输出 002 会被触发, 通过该定义口向断路器 52a 发出跳闸指令。

第二种解决方法是, 通过提高  $I_{op}$  设定值以躲过起动电流的非周期分量, 同时确保在短路故障状态

下快速跳闸。故 F650 的“相 IOC1 高定值”可更改为： $I_{OP}=(1.3 \times 1.5 \times 7)I_e \approx 14I_e$ ； $t_{OP}=0$  s。然而，由于  $I_{OP}$  定值过大，当电动机绕组或出线电缆出现绝缘下降等原因造成非金属性接地短路时，该装置的反应故障电流的灵敏性极有可能得不到满足，从而导致继电保护装置“拒动”。再就是电网恶化时，若系统电压持续偏低，电动机带载启动时也有可能发生上面的“误动作”事件。因此，该整定方案也不是十分理想。

### 3.2 利用继电保护装置内部可编程逻辑实现

以上两种速断保护解决方案均程度不同地存在弊端，不是短路保护动作时间过长，就是启动值过大，尤其不利于运行中电动机的相间短路保护。能否找到一种既能安全躲过电动机启动电流，同时又能最大程度地减少运行中短路危害的有效方案呢？我们再对图 1 电动机启动特性加以分析。电动机启动阶段非稳态电流值确实很大，但历时两个周波后幅值大幅减小，非周期分量大幅度降低，周期分量逐渐占据上风，明显存在两个电流区间。如果以横坐标 40 ms 时间线作为分界线，可以发现第二个区间电流幅值渐趋平稳，躲过 0.04 s 之后的电流峰值即可实现后续阶段保护。相比 0.01 s 处的峰值电流，第二区间的电流峰值明显要小很多，因此将会使电动机运行过程中的相间短路保护大为改观。

基于此原理又会得到第三种解决方法，就是内部可编程逻辑调用法，具体编程见图 3 所示。

#### 3.2.1 内部可编程逻辑调用法

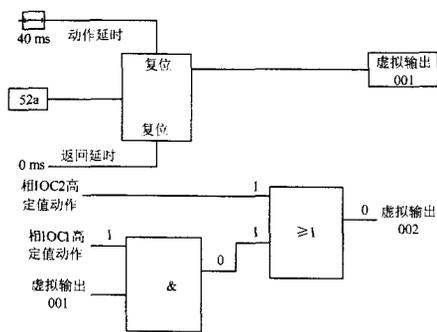


图 3 电动机速断保护方案三逻辑图

Fig.3 Logic diagram of the instantaneous overcurrent protection (scheme 3)

注：相 IOC1 高定值动作作为电动机第二级速断保护；相 IOC2 高定值动作作为电动机第一级速断保护。40 ms, 0 ms 分别为激励量为“1”时的延时动作时间和返回时间。

图 3 中，使用了 F650 逻辑电路中固有的一种四端口延时器。断路器 52a 输入状态为受控量，为“1”电平时延时 40 ms 输出，为“0”电平时立即

复归。以下为启动阶段电流超出设定值后的部分逻辑工作时序图。

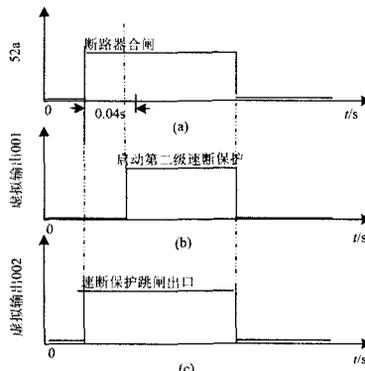


图 4 电动机速断保护方案三时序图

Fig.4 Sequence chart of the instantaneous overcurrent protection (scheme 3)

#### 3.2.2 逻辑工作原理

(1) 电动机启动，断路器合闸后，辅助输入 52a 开关量翻转为“1”，启动 40 ms 延时后“虚拟输出 001”为高电平。断路器分闸后 52a 开关量重又翻转为“0”，“虚拟输出 001”瞬时返回为低电平，第二级速断保护逻辑复归。

(2) F650 采样到电动机三相启动电流后，会立即计算出实时最大电流有效值，并与第一级速断保护“相 IOC2 高定值动作”门槛值比较，如果启动电流超出“相 IOC2 高定值动作”门槛值（包括误合于故障点上），经继电器固有延时后“虚拟输出 002”为高电平，将向断路器发出跳闸指令，如图 4 (C) 所示。这类故障可归类为启动短路后加速保护。反之，在断路器合闸 40 ms 后，顺利进入启动检测第二阶段。

(3) 第二级速断保护“相 IOC1 高定值动作”的设定值明显偏小，如果 40 ms 过后电动机的启动电流迟迟降不下来，亦即高于该门槛电流值，也会发出跳闸指令，如图 4 (b) 所示。两级速断保护可实现电动机前期数十毫秒之类的启动短路保护。反之，电动机可顺利完成启动过程。

(4) 电动机在长期运行中，如果因轴承损坏、绕组绝缘受潮或破损等原因造成相间短路，由于“相 IOC1 高定值动作”设定值较低，对短路电流反应很灵敏，因此能够快速作用于断路器 52a 跳闸，使短路故障的危害降至较低水平。其次，第一级速断保护贯穿始终，可作为运行中短路保护的后备保护投用。两级速断保护又筑起了两道防范运行中发生相间短路的安全之门。

#### 3.2.3 方案三的实施

输入上述逻辑，对相关故障指示灯进行定义后，

我们将事故电动机 F650 的速断保护调整为:  $I_{OP1}=8 \times I_e$ ,  $t_{OP1}=0$  s;  $I_{OP2}=14 \times I_e$ ;  $t_{OP2}=0$  s。试验室模拟测试正确无误, 现场多次开机正常, 第三套速断保护方案获得成功。随后对该配电室另外 3 台电动机的速断保护也按照此方案进行了修改, 也实现了顺利开机。历时两年多的实践证明, 该方案能够安全躲过 6 kV 高压电动机的起动电流, 由于两级短路保护均设置为无时限动作方式, 故对于电动机起动及运行阶段所发生的各类相间短路故障均能做出快速反应, 具有无可比拟的优越性。

推而广之, 对于具有内部逻辑编程功能的电动机继电保护装置, 其速断保护均可采用上述思路来实现。对于经常重载起动的机泵或风机类负荷, 因其起动电流的非周期分量持续时间有所延长, 我们可以将起动第二阶段的延时器的动作延时时间适当放长, 以躲过其影响。对于带软起动器等间接起动的电动机, 应另行考虑。

#### 4 结束语

本文结合一起由于继电保护装置“误整定”而

导致的“误动作”事故为实例, 从其产生的起因、特点及解决措施等方面进行了深入的分析和探讨, 发掘出了一套切实可行的短路保护方案, 值得大力推广应用。鉴于继电保护整定工作的复杂性, 文章难以一一详述, 但就其一些共性的现象, 希望能为同行们提供一点借鉴和参考。

#### 参考文献

- [1] 任元会, 卞铠生, 姚家炜, 等. 工业与民用配电设计手册(第三版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 许晓峰. 电动机与拖动[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [3] 王正茂, 阎治安, 崔新艺, 等. 电机学(第一版)[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.

收稿日期: 2008-12-04; 修回日期: 2009-08-28

#### 作者简介:

王玉锋(1969-), 男, 工程师, 主要从事工厂电气试验、继电保护计算工作;

杜光明(1981-), 男, 助理工程师, 主要从事工厂电气试验、继电保护调试工作。E-mail: dgming11@petrochina.com.cn

(上接第 171 页 continued from page 171)

器 A、B、C 相的合闸命令顺序错开 6.67 ms (相当于  $120^\circ$ ), 只捕捉 A 相电压的初相角为  $90^\circ$  或  $-90^\circ$ , 对于 220 kV 及以上的变压器来说, 这种办法是可行的, 因为其高压侧断路器都是分相操作的, 但是二次方面要做相应的变动。实现办法有两种: 一是由测控装置捕捉到 A 相电压的初相角为  $90^\circ$  或  $-90^\circ$  后, 直接输出 3 个间隔 6.67 ms 的合闸命令, 分别驱动断路器三相合闸回路, 其操作箱也需要增加三个合闸继电器; 另一种是测控装置只增加电压捕捉功能, 三相间隔时间由操作箱增加固定延时元件来实现, 但操作箱用 RC 元件实现 6.67 ms 延时较难做到准确, 第一种办法可靠性较高。如果要进一步做到完美, 到底是应该捕捉 A 相电压初相角为  $90^\circ$  或  $-90^\circ$ ? 这理论上应该决定于变压器的剩磁, 它与上次变压器分闸时 A 相电压的极性直接相关, 只要在上次分闸时电压的反极性合闸, 剩磁一般都能起到抑制励磁涌流的作用, 这样就可以较大降低励磁涌流的幅值, 因此, 捕捉功能较好的测控装置还应具备分闸电压极性的记忆功能。

#### 4 结论

空投变压器出现励磁涌流是不可避免的, 如果不加以限制, 它的影响是不容忽视的。如果使用以

上所述的措施, 励磁涌流的幅值应可以限制至较低的水平, 并且可以降低励磁涌流的不良影响, 延长变压器的运行寿命。

#### 参考文献

- [1] 谢疏城, 等. 电力变压器手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] 钱家骊, 等. 高压开关开合电容电流和小电感电流[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [3] 阮瑞琪. “阶梯叠”铁芯变压器降低空载损耗和噪声的探讨[J]. 变压器, 1998, (2): 13-16.  
RUAN Rui-qi. Probe of Trabsfomer Type of “Ladder Fold up” Magnet Core Be Lowered Idle Load Wear and Noise[J]. Transformer, 1998, (2): 13-16.
- [4] 变压器制造技术丛书编委会. 变压器铁芯制造工艺[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [5] 王丽. 电路基础及仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [6] 吴根志. 高电压工程基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

收稿日期: 2008-12-11; 修回日期: 2009-04-15

#### 作者简介:

陈忠(1975-), 男, 工程师, 工程硕士, 长期从事电力系统电气试验及继电保护调试工作。E-mail: chenzhong111@126.com