

# 正反转异步电动机缺相保护误动分析

卢庆港<sup>1</sup>, 沈国芳<sup>2</sup>, 乐晓蓉<sup>3</sup>

(1. 上海宝钢安大电能质量有限公司, 上海 201901; 2. 上海宝钢工业检测公司, 上海 201900;  
3. 苏州工艺美术职业技术学院, 江苏 苏州 215104)

**摘要:** 异步电动机不对称运行时出现负序电流, 通过检测负序电流可以避免缺相运行, 但对于正反转运行的异步电动机则无法实现有效保护, 利用 P241 灵活的逻辑编程功能, 通过内部功能的组合实现正反转缺相保护功能, 保障电动机的可靠运行。

**关键词:** 电动机; 正反转; 负序; 缺相保护; 逻辑编程

## Misoperation analysis of open-phase protection for positive and negative rotation asynchronous motor

LU Qing-gang<sup>1</sup>, SHEN Guo-fang<sup>2</sup>, LE Xiao-rong<sup>3</sup>

(1. Shanghai ISSION Power Quality Co. Ltd, Shanghai 201901, China; 2. Shanghai Baosteel Industry Inspection Corporation, Shanghai 201900, China; 3. Suzhou Art & Design Technology Institute, Suzhou 215104, China)

**Abstract:** Negative sequence current comes forth when asynchronous motor operating asymmetrically, though by detecting negative sequence current can avoid open-phase operation, this method can not achieve effective protection for positive and negative rotation asynchronous motor. Using flexible logical programmable functions in P241 and combining internal functions to achieve open-phase protection for positive and negative rotation operation. This function can protect motor operating reliably.

**Key words:** motor; positive and negative rotation; negative sequence; open-phase protection; logic programmable

中图分类号: TM772 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)23-0051-03

## 0 引言

电动机是工业动力系统的关键元件, 直接影响生产的正常运行, 但实际应用由于各种因素容易导致不对称运行。电动机正常运行时, 流入的仅是正序电流, 当供电电压不平衡、断线、相序错误、绕组内部两相短路以及匝间短路等故障时, 出现较大的负序电流, 当绕组电流超过额定电流时加速了电动机的发热, 降低了设备的绝缘性能, 大大缩短了电动机的使用寿命, 断线缺相时的影响尤为严重, 通常采用负序电流检测实现缺相保护, 但当电动机反转时装置的负序保护存在缺陷, 因此, 需要改进电动机的缺相保护。

## 1 实际问题

马迹山港口作为宝钢国外采购铁矿原料周转基地, 配备大量异步电机驱动的卸船机以及传送设备, 将巨型远洋货轮的铁矿卸载后再分装到驳船运送到厂区, 部分传送电机存在正反转的特殊运行方式, 采用如图 1 的控制方式。

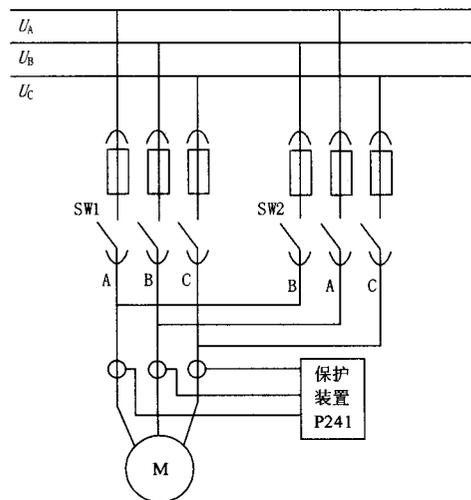


图 1 正反转控制方式

Fig.1 Method for positive and negative rotation control

当 SW1 合闸时, 电动机正转, 保护测量到的二次电流为正相序, 当 SW2 合闸时, 电动机反转, 保护测量到的二次电流为反相序, SW1、SW2 之间存在闭锁, 不能同时合闸。由于 P241 电动机保护的

缺相保护是通过检测负序电流实现，因此，反转时保护装置的负序功能不能投入使用，无法实现电机缺相时有效保护<sup>[1]</sup>。

为了实现正反转时可靠的缺相保护，基于 P241 的强大的 PSL 逻辑可编程功能，厂家给出了一种通过内部功能模块组合实现的缺相保护，具体的逻辑图如图 2 所示。

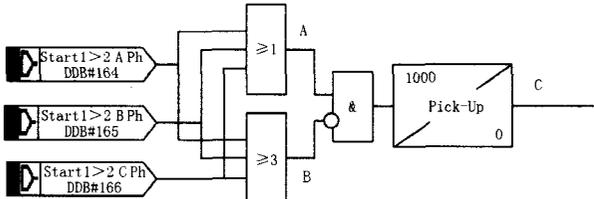


图 2 缺相保护逻辑

Fig.2 Logic for open-phase protection

用 PSL 实现缺相保护的原理是设定一段过流保护  $I > 2$ ，其启动门槛小于电机空载电流值，空载运行时，三相电流均大于该门槛值，图 2 中的 B 点为

1，缺相保护功能被闭锁。当缺相发生时，P241 检测到一相或两相电流超过门槛值而不是三相同同时超过门槛值时，A 点为 1，B 点为 0，延时 1 000 ms 后 C 点驱动保护出口动作，该方式不受正反转时的正负相序影响<sup>[2,3]</sup>。

## 2 数据分析

据用户反馈，部分电机反转时空载运行中保护跳闸，保护装置的面板 LCD 显示为缺相动作，这些电机的反转空载电流小于正转空载电流。通过串口将保护内部的故障录波数据提取出来，使用 P241 专用的故障录波分析软件进行分析，检查发现电机反转时的空载电流在启动门槛值附近波动，由于分析软件的功能限制，不能够将保护内部的启动状态显示出来，因此将故障录波数据导入到 Matlab 分析，按照微机保护的算法进行计算<sup>[4]</sup>，分别绘制出每相电流的幅值变化趋势以及装置内部的  $I > 2$  过流保护功能的启动状态，直观的显示在图 3 上。

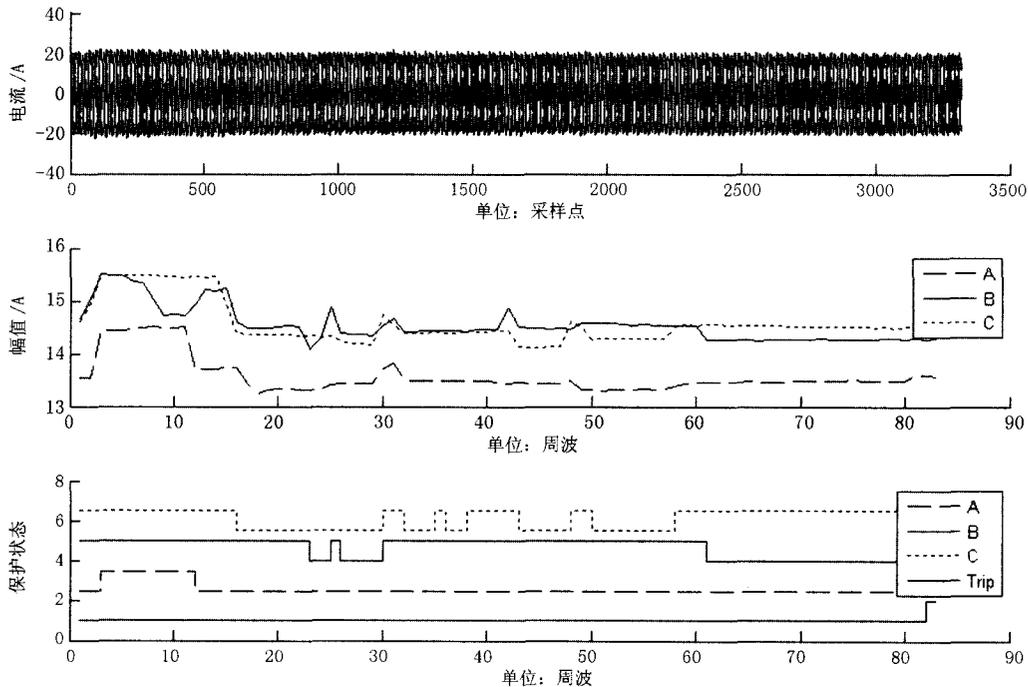


图 3 幅值趋势和保护状态

Fig.3 Amplitude trend and protection status

该线路 CT 为 75/5，根据录波分析，反转时一次空载电流在 15 A 左右，相应二次电流为  $15/(75/5)=1$  A，保护装置在监测到二次电流大于 1 A 时启动，由于 P241 的过流保护的返回系数为 0.95，因此只有当电流小于  $0.95 \times 1$  A 时  $I > 2$  才能返回。合理的设置应该是  $I > 2$  的启动门槛值低于空载电

流值，在电机空载运行时三相  $I > 2$  都启动，将缺相保护功能闭锁，如果出现缺相时则由于缺相回路电流降低，故障相的  $I > 2$  返回，此时闭锁解除，保护动作。通过图 3 可以看出，在第 30 个周波时，电流出现波动， $I_B > 2$ 、 $I_C > 2$  分别启动， $I_C > 2$  返回后又启动多次，在第 60 个周波附近， $I_C > 2$  启动，而此

时  $I_B > 2$  还没有返回, 根据图 2 的缺相逻辑分析, BC 两相的  $I > 2$  轮流启动导致或门后 A 点高电平持续时间超过 1 000 ms, 程序判断满足动作条件, P241 保护的 Trip 出口跳闸变位。通过上述的分析, 在不同运行状态下, 该保护逻辑的动作真值表如表 1。

表 1 真值表

Tab.1 Truth table

负载	状态	A	B	C
轻(空)载	正常运行	0	0	0
		1	0	1
		1	1	0
	缺一相	1	0	1
重载	正常运行	1	1	0
	缺一相	1	0	1

综上所述, 缺相动作是由于  $I > 2$  启动定值与实际空载电流过于接近, 没有预留足够的冗余度, 导致  $I > 2$  保护频繁的启动和返回, 在电流波动时由于不同相的轮流启动导致满足延时条件后保护动作出口。

### 3 解决方法

为了消除反转时的缺相误动, 保障生产的正常进行, 根据现场情况提出如下三种解决方案:

① 降低  $I > 2$  的启动门槛值。

② 更换较小变比的 CT, 将空载运行时的二次电流变大。

③ 研究缺相运行时的电流变化特性, 增加闭锁条件。

修改门槛值是彻底解决问题的方法, 但 P241 的  $I > 2$  启动门槛值最小只可设置为 1 A, 如需修改最小门槛值则要修改 P241 保护的运行代码以及整定软件, 这些工作协调 AREVA 欧洲研发中心才能完成, 再通过漫长的软件测试等环节后才能发布, 时间漫长; CT 更换需要停电方可进行, 成本高, 难度大, 存在较大的风险; 因此放弃方案①和②, 研究电动机缺相时的电流特点, 通过增加闭锁条件实现有效闭锁, 避免误动。

三相感应电动机一相断线时, 电动机就变成单相运行, 此时由于三相电压的不对称, 出现负序电压分量, 感应电机的负序阻抗较小, 较小的负序电压即可引起相当大的负序电流, 并且当负载不变时, 由于负序磁场的制动作用, 电机的转速将下降, 转差率  $s$  增大, 以使驱动转矩增大, 由于  $s$  增大, 导致异步电动机正序阻抗减小, 因此正常的两相流入电动机的定子电流也急剧增大, 若不及时减

轻负载或停止运行, 就会引起绕组发热而烧毁电机 [5,6]。

基于上述的分析, 结合 P241 的两段电流保护功能, 改进后的缺相保护逻辑如图 4, 在不同运行状态下, 该保护逻辑的动作真值表如表 2。改进后的逻辑是在原有功能的基础上, 增加了图 4 中虚线框内的闭锁条件, 投入  $I > 1$  过流检测功能, 启动门槛值为反转空载电流的 1.5 倍, 在空载反转时如果发生缺相运行, 则由于其他两相电流的增大导致  $I > 1$  保护功能启动, C 点为 1, 此时缺相保护才能动作出口, 有效避免了原反转时缺相误动的再次发生, 但根据表 2 可得, 该逻辑存在空载缺相时拒动的可能, 因此,  $I > 1$  启动门槛值必须设置合理。

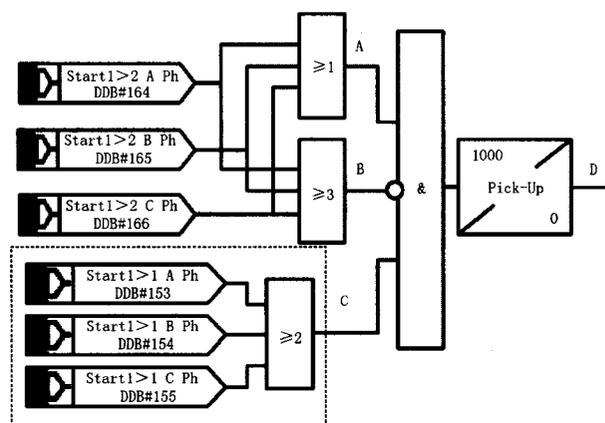


图 4 改进后的缺相保护逻辑

Fig.4 Logic for improved open-phase protection

表 2 真值表

Tab.2 Truth table

负载	状态	A	B	C	D
轻(空)载	正常运行	0	0	0	0
		1	0	0	0
		1	1	0	0
	缺一相	1	0	0	0
		1	0	1	1
重载	正常运行	1	1	1	0
	缺一相	1	0	1	1

### 4 结束语

随着微机保护软硬件技术的发展, 微机保护被大量应用于工业供电系统中, 与电力系统的标准化相比, 工业系统存在大量的特殊功能需求。将

(下转第 61 页 continued on page 61)

进线保护测控装置 FCK851B 完成进线备自投功能的分散执行(判断本间隔有流无流、有压无压, 然后通过 GOOSE 规约将判断后的信息发送给母联保护装置 WCB821B 作为动作逻辑), 母联充电保护测控装置完成进线备自投功能的集中处理。进线备自投功能的动作执行由母联保护装置通过 GOOSE 信息实时传送到 110 kV 线路的断路器智能接口单元 DBU812 完成。备自投的动作逻辑和常规备自投是一样的。装置还引入一个闭锁备自投信号(通过 GOOSE 信息得到)。

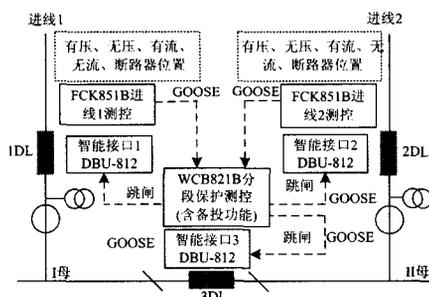


图 5 110 kV 进线备自投实现过程图

Fig.5 Implementation procedure diagram of incoming line spare power source automatic switching

## 5 结论

通过现场试验结果证明: 基于 IEC61850-9-2 采样值传输协议和 GOOSE 机制的网络化备自投完全能够实现常规综合自动化变电站备自投的功能。该方式节省了常规变电站备自投所需要的电压电流回路, 也减少了备自投装置与两条进线之间的跳合闸回路, 以及与主变和其他保护之间的闭锁回路, 方便了设计和施工, 因此有着很好的应用前景。

(上接第 53 页 continued from page 53)

保护功能固化在运行程序代码中的保护产品已经不能很好地满足这些需求, 需要将功能进行分解和细化, 在实际应用中根据需要将不同的功能模块组合, 生成配置文件下载到保护装置中。由于无需修改运行代码, 大大降低了产品的软件维护成本, 同时也避免了由于代码频繁升级导致的误动、拒动风险。本文通过对实际问题的分析, 利用灵活的逻辑编程功能, 实现了一种正反转通用的电动机缺相保护。

## 参考文献

- [1] AREVA. MiCOM P241 技术说明书(v1. B) [Z], 2005.
- [2] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用(第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.

## 参考文献

- [1] 任雁铭, 秦立军, 杨奇逊. IEC 61850 通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 62-64. REN Yan-ming, QIN Li-jun, YANG Qi-xun. The Introduction and Analyses of IEC61850 Communication Protocol[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(8): 62-64.
- [2] 梅德冬, 黄国方. 符合 IEC61850 标准的分布式备自投的设计[J]. 电网技术, 2006, 30: 471-475. MEI De-dong, HUANG Guo-fang. Design of Distributed Reserve Power Source Automatic Switching Device According to IEC61850[J]. Power System Technology, 2006, 30: 471-475.
- [3] 沈健, 黄国方, 周斌. IEC61850 GOOSE 在变电站综合自动化系统中的应用[J]. 电网技术, 2006, 30: 433-436. SHEN Jian, HUANG Guo-fang, ZHOU Bin. The Applications of IEC61850 GOOSE in Substation Automation[J]. Power System Technology, 2006, 30: 433-436.
- [4] 郑新才, 施鲁宁, 杨光, 等. IEC61850 标准下采样值传输规范 9-1, 9-2 的对比和分析[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(18): 47-50. ZHENG Xin-cai, SHI Lu-ning, YANG Guang, et al. Comparison and Analysis of Sampled Value Transmission Specification 9-1 and 9-2[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(18): 47-50.
- [5] 殷志良, 左文启. 数字化变电站过程总线通信关键技术研究[Z].
- [6] IEC 61850-9-2:2004, 变电站通信网络和系统第 9-2 部分: 特定通信服务映射(SCSM) 映射到 ISO/IEC 8802-3 的采样值[S].

收稿日期: 2009-07-01; 修回日期: 2009-08-22

作者简介:

彭磊(1976-), 男, 本科, 工程师, 从事变电建设管理工作; E-mail: hjhpl@126.com

杨光(1978-), 男, 本科, 工程师, 从事继电保护管理工作。

[3] 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.

[4] 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.

[5] 许正亚. 变压器及中低压网络数字式保护 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

陈世元. 电机学 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

收稿日期: 2008-12-09; 修回日期: 2009-02-02

作者简介:

卢庆港(1978-), 男, 从事厂矿企业的供配电自动化系统设计、集成以及项目管理工作; E-mail: luqinggang@263.net

沈国芳(1972-), 女, 从事供配电系统专业技术管理工作;

乐晓蓉(1981-), 女, 从事计算机教学与研究。