

一起电动机负序过电流保护动作事件的原因分析

介绍了一起海上油田注水泵电动机起动过程中,保护装置出现负序II段过电流动作的事故,通过对现场设备进行绝缘检查、二次回路检查等,借助保护装置的动作情况和故障录波文件分析动作过程,得出事故原因是开关柜电流互感器二次侧接线反相导致保护装置负序电流产生,采用对称相量分析法阐述了负序电流产生的原理,针对该问题对盘柜设计、审图、施工和竣工调试等方面提出了几点意见。

陈 林/中海油能源发展装备技术有限公司

封 园/中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院

0 引言

电动机的反相运行、缺相运行、供电电压不平衡以及各种不对称故障会使电动机产生较大的负序电流,该电流在电动机空隙中建立负序旋转磁场,正序电流同时也产生旋转磁场,它们将同时作用在转子大轴和定子机座上,从而引起振动和电动机内部高温灼伤,因此三相异步电动机不允许在严重的不对称状态下运行^[1]。海上油田的中高压电动机都配有微机综合保护装置,具备负序过电流保护完整的保护功能。但如果三相电动机设计和安装不合理,会在保护装置中产生负序电流,造成综合保护装置误动,对海上平台生产运行造成较大影响。本文对渤海油田某一平台电动机微机保护装置负序过电流保护频繁动作事故进行了详细分析,得出了事故原因,并就设计、审图、施工和竣工验收方面提出了几点意见。

1 事故实例

2014年9月12日,渤海油田某平台一台

注水泵电动机通过软起动器起动时,其6.3 kV供电开关综合保护装置出现负序过电流II段动作,如图1、图2所示,综合保护装置动作报告显示:动作电流为1.22 A,负序电流保护整定值I段为0.098 A,时限为3 s,II段为0.13 A,时限为1 s。

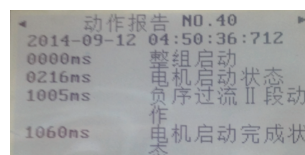


图1 动作报告1



图2 动作报告2

2 事故原因分析

电动机负序电流的产生有以下几种情况^[2]。

1) 工作电压不平衡。事故发生后,现场技术人员对6.3 kV母线供电电压是否平衡进行了检查,结果显示盘柜及保护装置内电压值合理,系统电压三相平衡。

2) 电动机缺相或接地故障。对盘柜内电动机的一次电缆进行地和相间绝缘检查,结果显示绝缘值均达到兆欧级,排除电动机有缺相和接地故障情况。

3) 电动机内部参数不对称。对电动机定子线圈相间短路、匝间短路、线圈断线和转子断条进行测定,结果显示电动机内部参数均在合理范围。

4) 电动机所属母线发生两相短路。



陈 林/工程师

关键词/Keywords

海上油田 ·
电动机 ·
负序电流 ·
保护动作 ·
电流互感器 ·
故障录波 ·

对电动机所属母线的电压进行测量,参数均在正常范围值内,排除母线发生两相短路。

5) 盘柜内二次侧接线错误。通过与厂家提供的盘柜内二次侧接线图比对,确认盘柜内进入保护装置的电压电流二次接线线号与图样一致。

6) 电压波动。为排除因电压波动等偶然因素的影响,对注水泵电动机进行再次起动,结果仍出现供电开关综合保护装置出现负序过电流Ⅱ段动作。

该海上平台使用的注水泵电动机型号为YXKK 500-2H/1250KW/50HZ/Y,额定电压为6.3 kV,额定电流为135.3 A,功率因数0.88,供电开关配备了由南京南瑞继保电气有限公司提供的PCS-9626D型综合保护装置。该保护装置的主要功能:①电流速断保护。自动识别起动过程和故障过程,由正序电流保护实现。②过电流保护。根据起动电流、堵转电流进行整定,对电动机起动时间过长和运行中堵转提供保护。③过热保护。考虑电动机正序电流和负序电流的热效应,对电动机进行保护,并具有热记忆功能。④零序过电流保护。对电动机定子接地的零序过电流进行保护。⑤负序过电流保护。通过设置定时限负序过电流保护,分别对电动机反相、断相、匝间短路以及较严重的电压不对称等异常情况提供保护。

通过对上述事故原因进行排查后,初步判断产生负序过电流动作的原因可能是进入保护装置的电流存在相序错误,调取了综合保护装置中的故障波形,故障时动作波形如图3~图5所示。

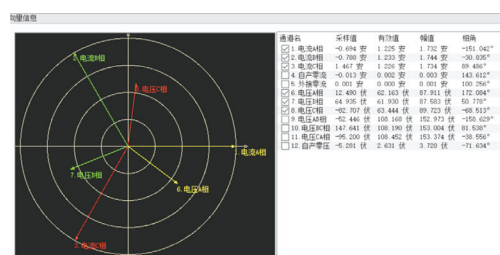


图3 相量信息

图3可以看出,电动机电压相序正确、三相电压平衡和三相电流平衡。但图4中相序错误,此时的负序电流等于如图5所示的电动机运行电流。正

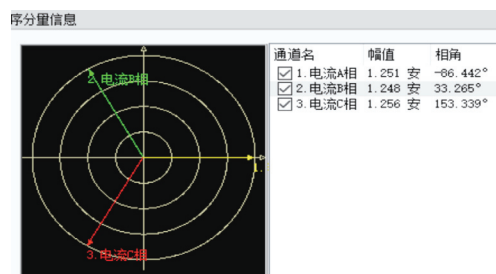


图4 保护动作时刻序分量信息1

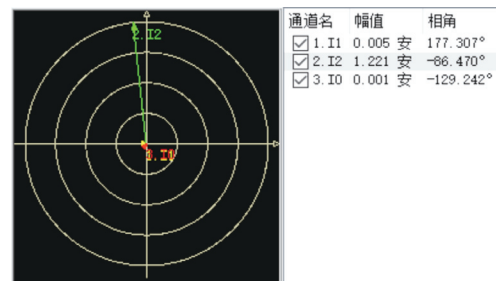


图5 保护动作时刻序分量信息2

常情况下,由于电动机为感性负载,电压应超前电流,因此,判断本次事故供电开关综合保护装置出现负序过电流Ⅱ段动作的原因是电流A、C相接反。重新调整开关柜内电流互感器二次端侧A、C相接线后起动电动机,电动机运行正常,电压、电流和功率均在正常值范围内。

3 负序电流产生的机理

本文分析了电动机供电开关回路中电流互感器二次侧相序错误造成保护装置负序电流保护动作的产生机理。

如图6所示, $F_{a(1)}$ 、 $F_{b(1)}$ 和 $F_{c(1)}$ 幅值相等,相位a超前b 120°、b超前c 120°,称为正序;如图7所示, $F_{a(2)}$ 、 $F_{b(2)}$ 、 $F_{c(2)}$ 幅值相等,但相序与正序相反,称为负序;如图8所示, $F_{a(0)}$ 、 $F_{b(0)}$ 和 $F_{c(0)}$ 幅值相位均相同,称为零序^[3-4]。如图9所示,将每一组

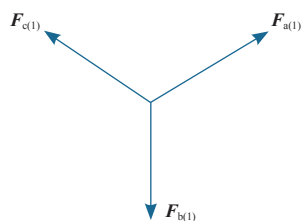


图6 正序分量

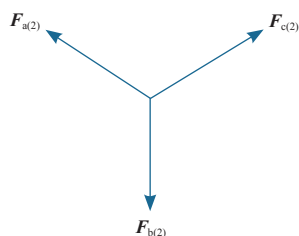


图7 负序分量

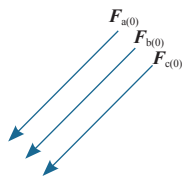


图8 零序分量

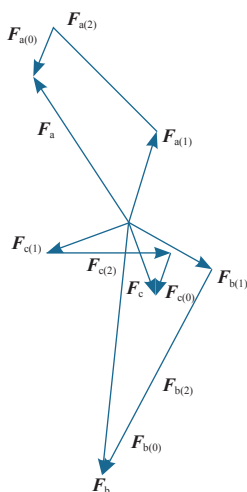


图9 合成相量

带下标a的三个相量合成为 F_a ，带下标b的三个相量合成为 F_b ，带下标c的三个相量合成为 F_c ，显然 F_a 、 F_b 、 F_c 是三个不对称的相量，写成数学表达式为

$$\begin{cases} F_a = F_{a(1)} + F_{a(2)} + F_{a(0)} \\ F_b = F_{b(1)} + F_{b(2)} + F_{b(0)} \\ F_c = F_{c(1)} + F_{c(2)} + F_{c(0)} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} F_{b(1)} = e^{j240^\circ} F_{a(1)} = a^2 F_{a(1)} \\ F_{c(1)} = e^{j120^\circ} F_{a(1)} = a F_{a(1)} \\ F_{b(2)} = e^{j120^\circ} F_{a(2)} = a F_{a(2)} \\ F_{c(2)} = e^{j240^\circ} F_{a(2)} = a^2 F_{a(2)} \\ F_{b(0)} = F_{c(0)} = F_{a(0)} \end{cases} \quad (2)$$

其中

$$\alpha = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (3)$$

$$\alpha^2 = e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (4)$$

将式(2)代入式(1)中，可得

$$\begin{cases} F_a = F_{a(1)} + F_{a(2)} + F_{a(0)} \\ F_b = a^2 F_{a(1)} + a F_{a(2)} + F_{a(0)} \\ F_c = a F_{a(1)} + a^2 F_{a(2)} + F_{a(0)} \end{cases} \quad (5)$$

式(5)表示了上述三个不对称相量与三组对称相量中a相量的关系。

其矩阵形式为

$$\begin{pmatrix} F_a \\ F_b \\ F_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_{a(1)} \\ F_{a(2)} \\ F_{a(0)} \end{pmatrix} \quad (6)$$

由式(6)可知，三组对称相量可合成三个不对称相量，而三个不对称相量可以唯一地分解成三组对称的相量，即正序分量、负序分量和零序分量。

以a相为基准，电流的三个不对称相量与对称相量的关系如下

$$\begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{a(1)} \\ I_{a(2)} \\ I_{a(0)} \end{pmatrix} \quad (7)$$

对式(7)取逆，可得

$$\begin{pmatrix} I_{a(1)} \\ I_{a(2)} \\ I_{a(0)} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{pmatrix} \quad (8)$$

正常情况下流进保护测控装置的三相电流平衡，相量和为零，即 $I_a + I_b + I_c = 0$ 。此时保护装置汇总没有负序电流，保护装置不动作。当a、c相反接时，a、c相电流的相位对调，b相电流相位不变。此时，保护装置中的三相电流平衡，但有负序电流产生。

由式(8)可知

$$I_{a(2)} = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad (9)$$

此时，保护装置的负序电流为 $I_{a(2)} = I_n$ ，(I_n 为电动机正常运行电流)，当电动机运行电流达到定值时，保护装置负序过电流II段保护动作。

4 结束语

作为海上油田的重要生产设备，电动机的安
(下转第69页)

表4 空气间隙取值

工况	空气间隙取值/m
大风	0.2
雷电	0.5
带电	0.65（包含0.5 m的人体活动范围）

电气要求进行规划，拟选取 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 共3种直线塔， JG_1 、 JG_2 和 JG_3 共3种转角塔以及DG终端塔。规划的塔型使用条件如表5所示。

表5 杆塔使用表

塔类	塔型	呼高/m	转角(°)	水平档距/m	垂直档距/m
直线塔	Z_1	19~31	0	420	500
	Z_2	19~37	0	550	660
	Z_3	19~43	0	750	900
耐张塔	JG_1	15.5~27.5	0~20	400	450
	JG_2	15.5~27.5	20~40	350	500
	JG_3	15.5~27.5	40~60	350	500
终端塔	DG	15.5~27.5	0~90	400	550

4 结束语

换流站接地极起到钳制电位并将系统电流导入大地的重要作用。

本文主要参照准东—华东（皖南）±1 100 kV特高压直流送端换流站周边地理条件、气象条件、基础设施及交通条件，综合考虑地形地貌、土壤的电气性能等多项因数对送端换流站的接地极极址和接地极线路进行了规划，并对接地极埋设方式、布置型式等进行了选择。

参考文献

[1] 李晓黎, 陈祖胜. 特高压直流输电技术发展综述[J]. 广西电力, 2009 (1): 23-26.

[2] 中国电力科学研究院. 特高压输电技术 直流输电分册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

（收稿日期：2015-03-09）
 EA

（上接第52页）

全运行直接关系着油田的安全稳定生产。而造成高压异步电动机负序过电流保护动作的原因复杂多样，如工作电压不平衡、电动机缺相或接地故障及电压的扰动等，这些因素给海上平台故障排查带来一定的困难。本文采用对称相量法，阐述了负序电流产生的机理，分析了保护装置负序过电流II段保护动作的原因，现针对设计、审图、施工及竣工验收提出以下几点建议。

- 1) 设计单位编制的图样应符合国家的标准和规范，设计要满足实际需求。
- 2) 审图人员应对设计图样进行严格审查和把关，避免因设计原因给用户造成不必要的损失。
- 3) 盘柜厂家生产的产品在出厂前要加强出厂测试管理，细化质检程序。
- 4) 现场调试人员应参照国家相关规范，对产

品进行严格的检查及校验。

- 5) 验收人员应加强验收管理制度，及时发现问题，并提出整改意见。

参考文献

[1] 符国善, 姜斌. 一起高压异步电动机负序电流保护动作事故的原因分析 [J]. 科技信息, 2010 (35): 1116-1117.

[2] 高春如, 张金水, 赵旭东, 等. 高压电动机负序过电流保护整定计算 [J]. 电力系统自动化, 2011, 35 (15): 93-97.

[3] 李光琦. 电力系统暂态分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

[4] 李发海, 朱东起. 电机学 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.

（收稿日期：2016-01-26）
 EA