

对一起主变故障类型及相别的分析和判别

郝力飙¹, 杜浩良¹, 潘丁²

(1. 金华电业局, 浙江 金华 311600; 2 许继电气有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 在电力系统运行中, 主变压器故障是最常见的故障类型之一, 由于变压器本身的复杂性和特殊性, 定位故障点和故障类型是维护工作的重点和难点。在其发生故障时, 提取微机变压器保护装置的動作报告及电源侧故障录波进行分析, 然后进行不同运行方式下短路电流水平计算分析, 进行故障类型和故障点的分析和判断。实践证明上述分析和判断方法, 可以准确地定位主变压器故障类型和故障点, 提高系统维护水平和效率。

关键词: 电力系统; 变压器; 短路; 故障录波; 系统分析

中图分类号: TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)22-0071-04

0 引言

电力系统发生故障时, 故障元件或线路本身的微机保护装置会进行故障录波, 电源侧的故障录波器或线路保护装置同样会启动, 进行故障录波(波形包括故障前三个周波(60 ms)及整个故障过程)。故障分析时应该将两份或多份录波报告紧密的联系在一起, 作为一个整体对故障类型及相别进行分析判断, 必要时还应进行短路电流计算。本文通过一次主变故障报告及录波分析, 并且经过短路电流计算分析, 充分说明保护动作行为与一次系统故障类型及相别的吻合性, 为电力系统事故处理提供了科学依据。

1 故障前运行方式

某 110 kV 变电所主变发生内部故障, 主变差动保护及重瓦斯保护动作跳开主变三侧开关。其系统接线如图 1 所示。

A 变电所 110 kV 线路 AB 运行送 B 变电所负荷, 110 kV 线路 BC 开关热备用, 110 kV 线路 BC 备用电源自投装置投入, #1 主变三侧开关运行, #1 主变 110 kV 中性点不接地运行, #2 主变三侧开关热备用, 主变 35 kV 备用电源自投装置、主变 10 kV 备用电源自投装置投入。

A 变电所 110 kV 中性点接地运行。

2 B 变电所保护及自动装置动作过程

#1 主变内部故障, 差动保护动作跳开 #1 主变三侧开关, B 变电所 10 kV 母线失压, #1 主变 10 kV 开关无流, 满足主变 10 kV 备用电源自投装置动作条件, 经装置整定延时后, 发出跳闸脉冲跳 #1 主变 110

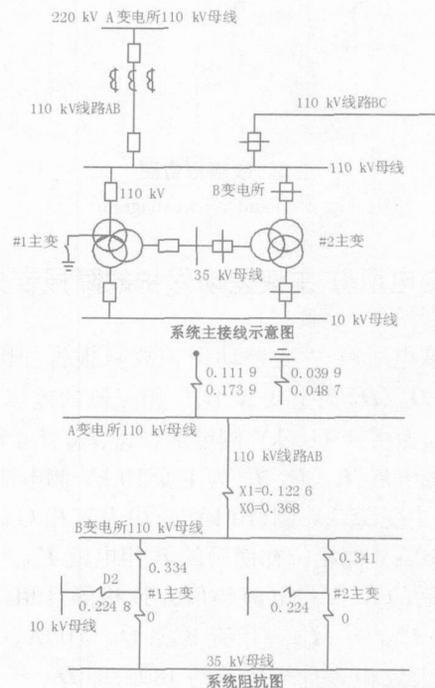


图 1 系统主接线和系统阻抗图

Fig 1 System main connection and system impedance

kV 及 10 kV 开关(已在分闸位置), 确认 #1 主变 110 kV 开关在分位后合上 #2 主变 110 kV、10 kV 开关; 同样 35 kV 备用电源自投装置动作, 合上 #2 主变 35 kV 开关, 110 kV 线路 AB 通过 #2 主变继续对 B 变电所供电。

B 变电所没有安装故障录波装置, 110 kV 线路 AB 本侧没有安装线路保护, #1 主变 110 kV 后备保护、35 kV 后备保护、10 kV 后备保护无启动报告, 只有 #1 主变差动保护有动作报告。

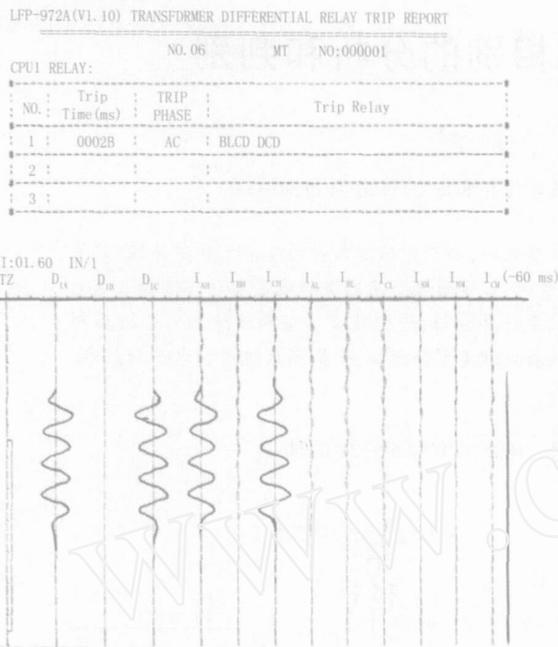


图 2 故障报告图

Fig 2 Fault report diagram

3 B 变电所 #1 主变差动保护故障报告分析

B 变电所 #1 主变差动保护故障报告如图 2 所示, D_A 、 D_B 、 D_C 为主变 A、B、C 相三侧的差流, I_{AH} 、 I_{BH} 、 I_{CH} 为主变 110 kV 侧电流, I_{AM} 、 I_{BM} 、 I_{CM} 为主变 35 kV 侧电流, I_{AL} 、 I_{BL} 、 I_{CL} 为主变 10 kV 侧电流。

#1 主变 35 kV 侧、10 kV 侧均为三相对称负荷电流, 110 kV 侧相位补偿后的 B 相电流 $I_{BH} = 0$, 相位补偿后的 A、C 相电流幅值大致相等且相位差约 180° ; 即 $I_{AH} = -I_{CH}$, 差流 B 相 $D_B = 0$, A、C 相差流幅值大致相等且相位差约 180° ; 即 $D_A = -D_C$ 。从故障电流波形看, 故障持续了 4.5 个周波, 即 90 ms 后开关跳开故障被切除, 整个故障持续时间每个周波的波形基本保持不变, 说明主变内部绝缘没有进一步损坏。

#1 主变差动保护装置型号为 LFP-972A, 动作报告显示: 差动保护动作时间 28 ms, 比率制动差动保护、工频变化量差动保护动作, 故障相别为 AC 相短路。特别值得注意的是, 本故障报告中显示的是经过相位补偿后的电流幅值及相位, 所以实际发生的并非 AC 相短路故障, 分析如下:

$$I_{AH} = (I_{AH} - I_{BH}) / \sqrt{3}$$

$$I_{BH} = (I_{BH} - I_{CH}) / \sqrt{3}$$

$$I_{CH} = (I_{CH} - I_{AH}) / \sqrt{3}$$

I_{AH} 、 I_{BH} 、 I_{CH} 为实际流入保护装置的外加二次电流, I_{AH} 、 I_{BH} 、 I_{CH} 为动作报告中显示的经过相位补偿之后的电流。按该主变差动保护报告波形图 $I_{AH} - I_{CH}$, 存在两种可能性, 一种为 $I_{BH} = I_{CH} = 0$, 另一种为 $I_{BH} = I_{CH} = 0$ 。

3.1 当 $I_{BH} = I_{CH} = 0$ 时

$$I_{AH} = (I_{AH} - I_{BH}) / \sqrt{3} = (I_{AH} - 0) / \sqrt{3} = I_{AH} / \sqrt{3}$$

$$I_{BH} = (I_{BH} - I_{CH}) / \sqrt{3} = 0$$

$$I_{CH} = (I_{CH} - I_{AH}) / \sqrt{3} = (0 - I_{AH}) / \sqrt{3} = -I_{AH} / \sqrt{3}$$

即 $I_{AH} = -I_{CH}$, 与差动保护录波的波形一致。

B 变电所 #1 主变 A 相绕组发生接地故障 (#1 主变中性点不接地运行), 通过 A 变电所 110 kV 中性点构成回路, 主变 B、C 相绕组无故障电流, 据此分析, #1 主变有发生 A 相接地故障的可能。

3.2 当 $I_{BH} = I_{CH} = 0$ 时

$$I_{AH} = (I_{AH} - I_{BH}) / \sqrt{3}$$

$$I_{BH} = (I_{BH} - I_{CH}) / \sqrt{3} = 0$$

$$I_{CH} = (I_{CH} - I_{AH}) / \sqrt{3} = -(I_{AH} - I_{CH}) / \sqrt{3} = -(I_{AH} - I_{BH}) / \sqrt{3}$$

即 $I_{AH} = -I_{CH}$, 与差动保护录波的波形一致。

B 变电所 #1 主变 A 相绕组发生故障, 主变 B、C 相绕组同样存在故障电流, 幅值相等且相位相同, 因此 #1 主变发生的故障没有通过大地构成回路, 而是通过 #1 主变 B、C 相绕组构成回路, 即从 #1 主变 A 相绕组流入, 从 B、C 相绕组流出, 据此分析, #1 主变 A 相绕组有发生匝间短路的可能。

4 A 变电所故障录波器记录的波形分析

A 变电所故障录波器记录的波形如图 3 所示,

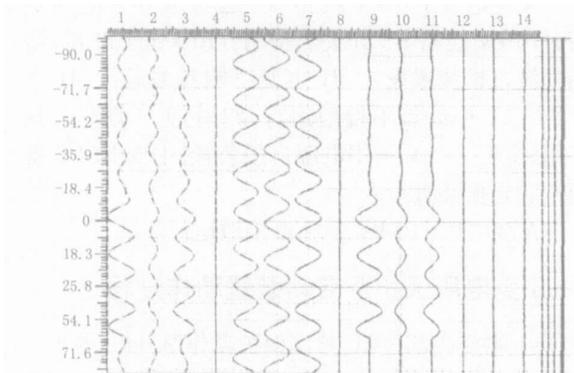


图 3 故障录波图

Fig 3 Fault wave diagram

其中 9 为 110 kV 线路 AB 的 A 相电流 I_A 、10 为 110 kV 线路 AB 的 B 相电流 I_B 、11 为 110 kV 线路 AB 的 C 相电流 I_C 、12 为 110 kV 线路 AB 的 $3I_0$ 。

B、C 相电流幅值大致相等、相位大致同相 $I_{BH} \approx I_{CH}$ ，约为 A 相电流的一半、相位差约 180° ， $I_{AH} - 2I_{BH} - 2I_{CH}$ ，无零序电流 $3I_0 = 0$ 。

针对 $3I_0 = 0$ ，存在两种可能的情况，分析如下。

4.1 B 变电所 #1 主变 A 相绕组发生接地故障，但 A 变电所 110 kV 线路 AB 的二次电流回路存在问题，如图 4 所示。

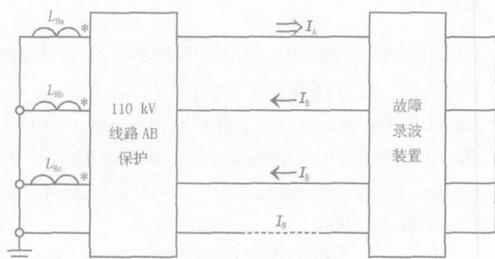


图 4 220 kV A 变电所故障录波装置电流回路图

Fig 4 220 kV A substation fault wave equipment current loop diagram

#1 主变 A 相绕组发生接地故障，通过大地与 A 变电所 110 kV 中性点构成通道，正常情况下二次 A 相电流 I_A 通过 I_N 构成回路，一旦 I_N 回路接触不可靠或连接片断开，如上图所示，即导致 $3I_0 = 0$ ， I_A 只能通过 I_B 、 I_C 构成回路，与上述 3.1 的分析吻合。但对 A 变电所 110 kV 线路 AB 接入故障录波器的二次电流回路进行检查，未发现 I_N 存在开路的问题。

显然，#1 主变发生 A 相绕组接地故障的假设是不成立的。

4.2 B 变电所 #1 主变发生相间短路或三相对称故障

如 #1 主变 110 kV 绕组发生两相相间短路故障，发生短路的两相电流幅值相等，但相位必然相反 $I_B = -I_C$ ，这与 A 变电所故障录波报告中的幅值相等且同相是不相符的 ($I_B = I_C$)。

如 #1 主变发生三相对称故障， $I_A = I_B = I_C$ ，三相均应有故障电流，这与 A 变电所故障录波报告是不相符的 ($I_A = -2I_B = -2I_C$)。

显然，#1 主变发生相间短路或三相对称故障的假设也是不成立的。

5 短路电流水平分析

从短路电流计算角度进行分析，系统取最小运

行方式，考虑主变内部发生故障时，短路电流最小的故障情况，即主变 10 kV 侧发生两相短路故障或主变 110 kV 侧发生接地故障，系统阻抗如图 1 所示。

B 变电所 #1 主变接线组别为 YN. d11，110 $\pm 8 \times 1.25\%$ / 10.5 kV。

5.1 系统最小运行方式，在主变 10 kV 侧发生 BC 两相短路时

$$X_{1小} = 0.1739 + 0.1226 + 0.334 + 0.2248 = 0.8553$$

B 变电所的 10 kV 侧短路电流：

$$I_B = -j \frac{\sqrt{3} I_d^{(3)}}{2}; \quad I_C = j \frac{\sqrt{3} I_d^{(3)}}{2}; \quad I_A = 0$$

$$n = 110/10.5 = 10.476$$

B 变电所的 110 kV 侧短路电流：

$$I_A = \left[\frac{I_A - I_C}{n\sqrt{3}} \right] = \left[\frac{1}{n\sqrt{3}} \times (0 - j \frac{\sqrt{3}}{2} I_d^{(3)}) \right] = - \frac{I_d^{(3)}}{2 \times 10.476} = \frac{5500}{2 \times 0.8553 \times 10.476} = -306.92 \text{ A}$$

$$I_B = \frac{I_B - I_C}{n\sqrt{3}} = \frac{I_d^{(3)}}{2 \times 10.476} = \frac{5500}{2 \times 10.476 \times 0.8553} = 306.92 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{I_C - I_B}{n\sqrt{3}} = (j \frac{I_d^{(3)}}{2n\sqrt{3}} + j \frac{I_d^{(3)}}{2n\sqrt{3}}) = \frac{I_d^{(3)}}{n} = \frac{5500}{0.8667 \times 10.467} = 613.83 \text{ A}$$

5.2 系统取最小运行方式，在 B 变电所 110 kV 侧发生接地故障

$$X_{1小} = 0.1739 + 0.1226 + 0.334 = 0.6305$$

其中：0.1739 为系统归算至 A 变电所 110 kV 母线的最小正序阻抗；0.1226 为 A 变电所至 B 变电所的 110 kV 线路的正序阻抗；0.334 为 #1 主变 110 kV 侧正序阻抗；

$$X_{0小} = 0.0487 + 0.368 + 0.8 \times (0.334 + 0.2248) = 0.8637$$

其中：0.0487 为系统折算至 A 变电所 110 kV 母线的零序最小阻抗；0.368 为 A 变电所至 B 变电所的 110 kV 线路的零序阻抗；0.334 + 0.2248 为 #1 主变的零序阻抗，0.8 为经验系数；

A 变电所的 110 kV 短路电流为

系统基准容量为 100 MV，110 kV 侧的平均电压为 115 kV

$$110 \text{ kV 侧的基准电流为: } \frac{100000}{1.732 \times 115} = 502 \text{ A}$$

$$3I_{0m} = \frac{3 \times 502}{2 \times X_0 + X_1} = \frac{1506}{2 \times 0.8637 + 0.6305} = 638.7 \text{ A}$$

从 A 变电所的故障录波器记录的电流看,短路电流为 360 A 左右。而 B 变电所主变内部发生的任何对称或不对称金属性短路故障的故障电流都将远高于 360 A 这个短路水平。

6 结论

通过对 A 变电所故障录波器报告、B 变电所 #1 主变差动保护故障报告及短路电流计算分析可知, #1 主变发生的故障即不是不对称故障、也不是对称故障。

变压器常见内部故障类型有:各相绕组之间发生的相间短路、单相绕组部分线匝之间发生的匝间短路、单相绕组或引出线通过外壳发生的接地故障等,上述分析排除了相间短路及接地故障的可能性,所以 #1 主变只有可能发生单相绕组部分线匝之间的匝间短路。

假设 #1 主变 A 相绕组发生匝间短路,匝间短路相当于短路匝数相等的一个绕组单相短路,同时 A 相绕组线圈匝数减少了短路的匝数,由于 #1 主变中性点不接地运行, #1 主变 A 相绕组电流增大后只能通过 B、C 相绕组构成通道流回系统,根据基尔霍夫定律,流入节点的电流始终等于流出节点的电流,所以引起 B、C 相绕组电流增大,由于 B、C 相阻抗相同,所以 $I_{BH} = I_{CH} = 0$, $I_{AH} = -(I_{BH} + I_{CH})$, 即 $I_{AH} = -2I_{BH} = -2I_{CH}$, 与 A 变电所故障录波器的报告完全吻合。

对 B 变电所分析:

$$\begin{aligned} I_{AH} &= (I_{AH} - I_{BH}) / \sqrt{3} \\ I_{BH} &= (I_{BH} - I_{CH}) / \sqrt{3} = 0 \\ I_{CH} &= (I_{CH} - I_{AH}) / \sqrt{3} = -(I_{AH} - I_{CH}) / \sqrt{3} \\ &= -(I_{AH} - I_{BH}) / \sqrt{3} \end{aligned}$$

即 $I_{AH} = -I_{CH}$

与 B 变电所 #1 主变差动保护装置的录波报告完全吻合。

通过上述分析,基本上可以确认 #1 主变 A 相绕组发生了匝间短路故障,给寻找故障点、事故后抢修提供了很大的方便。在对 #1 主变进行吊罩后发现 #1 主变 A 相绕组确实发生了匝间短路故障,由于已经做好了这方面的充分准备,为抢修赢得了宝贵的时间,使 #1 主变提前恢复投运。

参考文献:

- [1] 国家电力调度通讯中心. 电力系统继电保护实用技术问答 [M]. 北京:中国电力出版社, 2000.
China Power Dispatching and Communication Center The Applied Technology Interlocution of the Electric Power System Relay Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.
- [2] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用 [M]. 北京:中国电力出版社, 2005.
WANG Wei-jian The Theory and Application of Electric Main Equipment Relay Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [3] 何仰赞. 电力系统分析 [M]. 武汉:华中理工大学出版社, 2003.
HE Yang-zan Power System Analysis [M]. Wuhan: Huazhong University of Technology Press, 2003.

收稿日期: 2006-04-26; 修回日期: 2006-08-23

作者简介:

郝力飙 (1967 -), 男, 工程师, 长期从事继电保护检修及管理工作;

杜浩良 (1977 -), 男, 工程师, 长期从事继电保护整定计算及运行管理工作;

潘丁 (1976 -), 男, 工程师, 从事电力系统保护及自动化工程技术工作; E-mail: panding@xjgc.com

Analysis of the transformer fault type and its phase

HAO Li-biao¹, DU Hao-liang¹, PAN Ding²

(1. Jinhua Power Supply Bureau, Jinhua 311600, China; 2. XJ Electric Company, Xuchang 461000, China)

Abstract: Transformer fault is one of the modal faults in power system operation. Because structure is complicated, confirming the fault spot and fault type for maintaining the transformer, are important. While transformer fault, depending on the action report of the microcomputer transformer protection equipment and the power main side faulty wave, and short circuit current calculating, faulty type and faulty spot can be analyzed. Considering the above aspects, the level and efficiency of maintaining the transformer can be advanced.

Key words: electric power system; transformer; short circuit; fault record; system analysis