

# 关于一起变压器差动保护动作的分析与处理

邓祖前

(广州恒运企业集团有限公司, 广东 广州 510730)

**摘要:** 某电厂 210 MW 汽轮发电机组的厂高变差动保护动作后, 通过对故障数据的分析, 排除了保护区内一次设备故障的可能, 判断该保护动作的直接原因是电流二次回路故障引起。通过现场检查, 证实了以上的判断, 这大大缩短了机组停运的时间。同时对差动保护的差流越限, CT 断线的判据进行了讨论, 指出: 不当的差流越限整定值, 保护启动后缺乏必要的故障性质的判断是保护误动的重要原因。针对以上情况, 提出了保护在运行、巡查、校验及定值整定方面采取的措施, 保护的可靠性得到了提高。

**关键词:** 差动保护; CT 断线; 故障数据; 二次回路; 巡查

## Analysis and processing on acting of differential protection of transformer

DENG Zu-qian

(Guangzhou Hengyun Enterprises Holding Ltd., Guangzhou 510730, China)

**Abstract:** After differential protection operation of station service high voltage transformer for 210 MW gas-generator set in a power plant, the possibility of primary equipment fault on protected area is obviated via fault data analysis. It judges that the direct reason of protection acting is secondary circuit fault. By on site checking, the above is confirmed, which greatly shortens the time that generator set stopped. And through analyzing the over setting of differential current and criterion of CT break, it points out that improper over setting of differential current and lack of judgement of failure type after protection startup result in the protection maloperation. In allusion to the above problems, measures should be taken in terms of operation, inspection, checking and setting of protection to improve the reliability of protection.

**Key words:** differential protection; CT break; fault data; secondary circuit; inspection

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)15-0139-04

## 1 基本情况

某电厂 210 MW 汽轮发电机组采用发变组单元接线, 机端通过封母与三绕组厂高变连接, 厂高变低压 a、b 分支侧分别接至厂用 6 kV A、B 段。该机组配置许继电气的 WFB—800 型微机发变组成套保护装置。当机组带 152 MW 负荷正常运行时, 厂高变差动保护动作, 机组全停, 厂用电源切换成功。

## 2 检查过程

### 2.1 发变组保护动作的基本情况

发变组保护 A 屏及非电量保护 C 屏无任何信号, B 屏的 WFB—803 保护装置“启动”“信号”“跳闸”信号灯均亮, 动作报告显示如表 1 所示。

表 1 中:  $K$  为电流平衡系数, 应以高压侧电流为基准, 低压侧电流折算至基准侧时, 两低压侧的

电流平衡系数均等于  $K$ , 电流采样值考虑了这一电流平衡系数。

### 2.2 故障数据下差动保护动作行为分析

该差动保护采用比率差动原理, 差动动作方程如下:

$$\begin{aligned} I_{op} > I_{op.0} & \quad I_{res} \leq I_{res.0} \\ I_{op} \geq I_{op.0} + S(I_{res} - I_{res.0}) & \quad I_{res} > I_{res.0} \end{aligned}$$

式中:  $I_{op}$  为差动电流;  $I_{op.0}$  为差动最小动作电流整定值;  $I_{res}$  为制动电流;  $I_{res.0}$  为最小制动电流整定值,  $S$  为比率制动特性斜率, 而

$$I_{op} = | \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dots + \dot{I}_n |$$

$$I_{res} = \max \{ | \dot{I}_1 |, | \dot{I}_2 |, \dots, | \dot{I}_n | \}$$

由于本例中的厂高变的差动保护引入变压器的高压侧、低压 a、b 分支三侧电流, 且变压器的连接组别为 D—d0,d0, 无需进行相位校正。表 1、表 2

中 A 相的三侧电流幅值和相位满足正常运行时的特征, 故保护 A 相的差流越限告警及比率差动均不会动作, 而对表 2 中的 B 相:

$$I_{opB} = | \dot{I}_{HB} + K \dot{I}_{La.B} + K \dot{I}_{Lb.B} | = | 2.51 \angle 351^\circ + 1.38 \angle 126^\circ + 1.23 \angle 124^\circ | = 2.0 \text{ A}$$

$$I_{resB} = \max \{ | \dot{I}_{HB} |, | K \dot{I}_{La.B} |, | K \dot{I}_{Lb.B} | \} = 2.51 \text{ A}$$

$I_{opB} > I_{op,0} = 1.15 \text{ A}$       $I_{resB} < I_{res,0} = 3.82 \text{ A}$   
故 B 相比率差动动作。

同理可算得表 2 中 C 相:

$$I_{opC} = 0.50 \text{ A} < I_{op,0} = 1.15 \text{ A}$$

故 C 相比率差动不动作。

还可算得表 1 中:

$I_{opB} = 0.65 \text{ A}$ ,  $I_{opC} = 0.67 \text{ A}$  大于差流越限定值 0.6 A, 故发“厂高变差流越限动作”报警。

通过以上分析可知: 保护首先是 B、C 相差流越限动作, 4 634 ms 后 B 相比率差动保护动作, 机组全停, 与保护的故障报文及动作信号一致。

表 1 13: 36: 55: 312 厂高变差流越限动作时的采样数据

Tab.1 Sampled data when over value of differential protection of station service high voltage transformer act at 13:36:55:312

	厂高变高压侧电流	厂高变低压 a 分支电流	厂高变低压 b 分支电流
A 相电流/A	$\dot{I}_{HA} = 2.66 \angle 193^\circ$	$K \dot{I}_{La.A} = 1.35 \angle 14^\circ$	$K \dot{I}_{Lb.A} = 1.25 \angle 13^\circ$
B 相电流/A	$\dot{I}_{HB} = 2.42 \angle 87^\circ$	$K \dot{I}_{La.B} = 1.38 \angle 253^\circ$	$K \dot{I}_{Lb.B} = 1.25 \angle 252^\circ$
C 相电流/A	$\dot{I}_{HC} = 2.41 \angle 298^\circ$	$K \dot{I}_{La.C} = 1.37 \angle 133^\circ$	$K \dot{I}_{Lb.C} = 1.24 \angle 132^\circ$

表 2 13: 36: 59: 946 厂高变 B 相比率差动动作时的采样数据

Tab.2 Sampled data when ratio differential protection of B phase act of station service high voltage transformer at 13: 36: 59: 946

	厂高变高压侧电流	厂高变低压 a 分支电流	厂高变低压 b 分支电流
A 相电流/A	$\dot{I}_{HA} = 2.65 \angle 65^\circ$	$K \dot{I}_{La.A} = 1.36 \angle 246^\circ$	$K \dot{I}_{Lb.A} = 1.23 \angle 245^\circ$
B 相电流/A	$\dot{I}_{HB} = 2.51 \angle 351^\circ$	$K \dot{I}_{La.B} = 1.38 \angle 126^\circ$	$K \dot{I}_{Lb.B} = 1.23 \angle 124^\circ$
C 相电流/A	$\dot{I}_{HC} = 2.42 \angle 174^\circ$	$K \dot{I}_{La.C} = 1.38 \angle 5^\circ$	$K \dot{I}_{Lb.C} = 1.23 \angle 4^\circ$

### 2.3 故障判断

通过对比表 1、表 2 的数据及保护的故障录波图及对厂高变外观检查, 排除了电气一次设备区内故障的可能, 这是因为:

a) 厂高变高压侧 B、C 相故障电流幅值略有下降, 相位变化较大, 而低压侧电流在故障前后没有变化, 呈三相正序对称。

b) 如果厂高变高压侧发生故障, 则它在发变组差动保护范围之内, 但发变组差动保护未动作。

c) 引起 B 相比率差动动作的故障电流不满足区内故障的任一特征:

(1) 任一侧负序电压大于 5 V。A、B 屏的发电机及厂高变复合电压中的负序电压均无报警信号。

(2) 起动后任一侧任一相电流比起动前增加。

(3) 起动后最大相电流大于 1.2 倍额定电流。而本例中的额定电流为 3.82 A, 由表 2 中看出, 此条件也不满足。

(4) 同时有三路电流比起动前减少 (如 CT 三

相同时断线, 也会出现此种情况, 此时允许保护动作)。

综合以上各点并考虑到差动保护中厂高变高压侧电流取自套管 CT, 二次电流通过现场端子箱后再到保护屏, 因此排除了电气一次设备区内故障的可能, 认为是厂高变高压侧 B、C 相电流二次回路存在问题。

### 2.4 检查结果

到厂高变就地端子箱检查发现: 端子箱密封圈老化脱落; 电流接线端子用的是常规的接线端子, 质量较差; 用于连接三相电流互感器二次绕组尾的连线已在端子 a 处烧断, 具体情况如图 1 所示。

由图 1 可知: 套管 CT 二次侧电流线接至端子排内侧, 三相头经过端子排外侧引至发变组保护屏, B、C 相尾通过导线在端子 a 点接至 A 相尾, 再通过 N581 引至发变组保护, 端子 a 处有轻微的烧黑痕迹, 但端子很紧, N581 线完好, 而 B、C 相尾连至端子 a 的线已在端子处烧断, 松开端子, 取下烧断的线, 发现膨胀的导线绝缘层内有大量的铜氨,

且发现该线线径为  $1.5 \text{ mm}^2$ ，而 N581 的为  $2.5 \text{ mm}^2$ ，因此可以推断：虽然端子 A 未松动，但由于被烧断导线的线径较 N581 小，故在端子处接触不良；端子箱密封不良，箱内潮湿，该接线处氧化严重，更加重接触不良；由于正常运行此条线流过的电流为相电流，由于接触不良导致发热，最后该线被烧断。由于 N581 线在端子 a 处接触良好，所以故障前后 A 相电流未变，只是 B、C 相电流发生变化，这可以从表 1、表 2 中的数据得到印证，这也证实了 2.3 节中的推断。

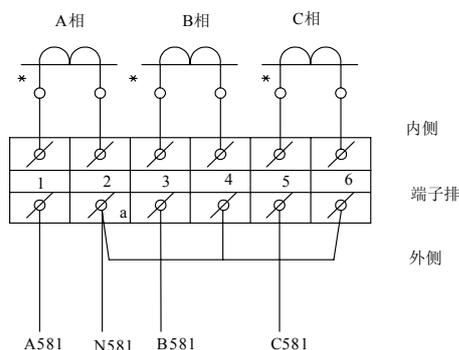


图 1 厂高变就地端子箱用于差动保护的 CT 二次电流接线图

Fig.1 CT secondary current wiring when station service high voltage transformer's in-place terminal box sued in differential protection

### 3 对差流越限和 CT 二次断线的讨论

#### 1) 差流越限

本差动保护整定差流越限动作值为  $0.6 \text{ A}$ ，延时  $0.5 \text{ s}$ ，动作后只发信号而不闭锁保护。灵敏的差流越限动作值对于反映电流二次回路由于绝缘缓慢变化，电流端子接触不良，多点接地等异常情况提前发出告警信号，以便及时处理。但是对于差流越限动作值的整定在厂家的技术说明书中没有提及，其动作值应按躲过发电机满载运行时，厂用高压变压器差动保护出现的最大差流并考虑  $1.5\sim 2$  的可靠系数来整定。一般要求：如果 CT 二次标称额定电流为  $5 \text{ A}$ ，则当发电机满载运行时，差动保护各相差流应小于  $0.1 \text{ A}$ 。对于本例，厂高变差动最大相差流在  $0.06\sim 0.08 \text{ A}$  变动，故差流越限动作值可以整定为  $0.2 \text{ A}$ ，而动作时间应大于区内故障时后备保护切除故障的最长时间，因厂高变复压过流保护 II 段的整定时间为  $2.5 \text{ s}$ ，故可整定为  $3 \text{ s}$ ，本例中差流越限定值为  $0.6 \text{ A}$ （为额定电流的  $0.157$  倍），大于启动 CT 断线判别程序的差流（ $0.15$  倍额定电流）使故障点接触不良的初期，差流越限未动作报警，而报警之后故障很快发展，仅  $4634 \text{ ms}$  差动保护动作，运行及检修人员缺少应对时间，造成了紧急甩负荷。

此外，如果区内故障由于厂高变差动保护，发变组差动保护拒动由厂高变的复压过流保护切除故障时，由于差流越限动作延时整定过小，造成差流越限动作信号的误发。

2) 该保护整定 CT 断线时闭锁差动保护，而该例中连接 CT 二次 B、C 相尾的连线已烧断，为什么没有闭锁保护呢？找到厂家资料中关于 CT 断线判据：

当任一相差动电流大于  $0.15$  倍的额定电流时启动 CT 断线判别程序，满足下列条件认为 CT 断线：

- 本侧三相电流中至少有一相电流不变；
- 最大相电流小于  $1.2$  倍的额定电流；
- 本侧三相电流中至少有一相电流为零。

从表 2 的数据看，因额定电流为  $3.82 \text{ A}$ ，故 CT 断线判别程序已启动，且满足 a)、b) 条件，但条件 c) 不满足，故未判断出 CT 断线，也无闭锁差动保护，保护在 CT 断线之前的瞬间，由于电弧作用，造成 B 相电流相位变化较大，引起较大差流，从而保护动作，机组全停。

然而，正如 2.3 节 c) 中所分析的那样，对于表 2 中的故障数据，由于没有出现任何一项一次设备区内故障所具有的特征量，故保护就不应该在这一时刻动作。差动保护的运行实践表明：电流回路断线前的瞬间（如本例），各种使电流二次回路线间绝缘或对地绝缘下降，保护采样插件松动，电流回路的多点接地在某些状态下，正常运行时差动 CT 断线等情况都可以引起差动保护误动。对于差动 CT 二次回路断线是否闭锁差动保护目前没有明确的规程可遵循，一般认为大型发电机，变压器由于容量较大，CT 变比也很大，在开路点产生的电压也很高，若不及时切除主设备，可能造成火灾，使二次设备严重烧损或造成人身伤害等严重事故，因此差动 CT 二次断线不闭锁保护，反之开路点产生的电压不高，危害也较小并考虑差动保护误动的严重后果，故需闭锁保护，但是对于以上提到的电流二次回路由于其他原因引起的保护启动应该立即闭锁保护，因为不存在 CT 断线所产生的危险的高电压。保护被闭锁后应及时转移负荷，停下 CT 二次回路故障的设备，及时消缺。综上所述，笔者认为：当差动保护启动后的两个周期内不满足 2.3 节 c) 中的任一个条件，判断为电流二次回路故障，同时若再不满足“某侧三相电流中至少有一相电流为零”的条件，则判断为电流二次回路其他故障（相对于 CT 断线），此时应立即闭锁差动保护并发出信号，反之判断为 CT 断线，按预先整定的闭锁保护与否动作并发出 CT 断线告警。如果电流二次回路其他故障

先于 CT 断线动作且整定 CT 断线动作后不闭锁保护，则 CT 断线动作后应解除保护闭锁。如果仅以差动保护启动后的两个周期内不满足 2.3)节 c)中的任一个条件就判断为 CT 断线，当 CT 断线整定为不闭锁保护时，保护可能动作，而此时可能并不是真正的 CT 断线，可能是上述的回路绝缘、电流回路多点接地等其他原因引起。同样若仅以“某侧三相电流中至少有一相电流为零”作为 CT 断线判据的条件之一，也不能及时和有效地闭锁保护。

#### 4 采取的措施

针对检查过程中出现的问题，采取了以下措施：

a) 更换了现场端子箱的密封胶圈，进一步封堵了电缆孔洞，加强端子箱的严密性。

b) 测得箱内如图 1 的端子排内外侧电流二次线及线间绝缘合格，分别测得 CT 二次绕组及保护各相直流电阻合格。

c) 更换普通端子为电流专用端子，短接线用短接片代替，特别检查不同线径的线并接于同一接线端子的情况，发现问题立即整改。

d) 调整差流越限定值，因保护可整定的最小差流越限动作电流为  $0.1I_L$ ，故取 0.382 A，延时整定为 3 s，以保证其灵敏性，尽早发现电流回路问题。

e) 建立重要保护电流二次回路的巡查制度，利用红外线测温仪测量关键点的温度，同时利用微机保护的实时监测功能定期检测各差动保护的各采样值及各相差动电流，制动电流，做好劣化值分析并建立完善档案，使之成为状态检修的依据。

恢复现场接线后，退出厂高变差动保护的投入压板（该电流回路不会影响其他差动保护），机组带

约 80 MW 负荷倒厂用电后，保护显示厂高变高压侧各相电流正常，其它各侧电流正常，各相差流很小，最大相差流在 0.04~0.06 A 变动，制动电流正常，投入该保护压板，至此该起事故处理完毕，机组带负荷持续运行近半年了，该保护没有出现任何问题。

#### 5 结束语

正确整定差动保护中的差流越限值，保护启动后根据采样数据结合区内故障数据所应具有的特征正确判断是区内故障还是电流二次回路故障，判断是否发生 CT 断线，并采取相应措施以及建立保护的定期巡检制度、保护定检时注重二次回路检查等对差动保护的稳定、可靠运行有着重要的意义。

#### 参考文献

[1] 国家电力调度通信中心编. 电力系统继电保护实用技术[M]. 北京：中国电力出版社.  
National Power Dispatch and Communication Center. The practical question and answer about power system relay protection[M]. Beijing: China Electric Power Press.

[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，2002.  
WANG Wei-jian. Principle and application of relay protection of main electric equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.

收稿日期：2009-10-11； 修回日期：2010-01-07

#### 作者简介：

邓祖前（1975-），男，工程师，从事电厂继电保护的管  
理、维护与检修工作。E-mail: dzqxdxwzjijian@tom.com

（上接第 138 页 continued from page 138）

方案 3 为基于记忆量特征的 PT 检修识别方案相对简单，可以解决 PT 检修时母线 PT 停运的问题。该方案只涉及到母线 PT 的电压和母线电流，不会因为运行方式的变化带来影响。

我们应综合考虑母线停运状态或者母线运行母线 PT 检修状态，在母线保护软件的设计中应考虑方案 2 和方案 3 同时投入进行母线停运状态的判别。

#### 参考文献

[1] 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，1994.  
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Principle of power system protective relaying[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.

[2] 贺家李. 电力系统继电保护技术的现状与发展[J]. 中国电力, 1999, 32(10): 38-40.  
HE Jia-li. Current situation and development of relay

protection of power system technology[J]. Electric Power, 1999, 32(10): 38-40.

[3] 宋方方, 王增平, 刘颖. 母线保护的现状及发展趋势[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(7): 66-68.  
SONG Fang-fang, WANG Zeng-ping, LIU Ying. Status quo and development tendency of busbar protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(7): 66-68.

[4] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京：中国电力出版社，1995.  
ZHU Sheng-shi. Principle and technology of high tension networks protection[J]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.

收稿日期：2010-03-22； 修回日期：2010-06-24

#### 作者简介：

葛遗莉（1966-），女，本科，工程师，从事电厂、变电站电气设计工作。E-mail: geyili@gedi.com.cn