

500 kV 万县变电站一组 35 kV 电抗器故障 继电保护动作情况分析

肖辉¹, 周珊²

(1. 重庆市万州供电局, 四川 重庆 404000; 2. 长春工程学院电气工程系, 吉林 长春 130012)

摘要: 三相 Y 形是电力系统线路保护普遍采用的接线方式, 在 35 kV 及以下的线路保护中, 使用两相三继电器不完全 Y 形代替完全 Y 形也是常用的接线方式。在中性线中不增加继电器或参加故障计算, 保护装置的可靠性、灵敏度大大降低。以一次实际故障为例, 进行了分析计算, 说明 B 相故障可能出现切除不及时导致故障扩大。

关键词: 相间短路; 剩余阻抗; 保护范围; 可靠性

中图分类号: TM77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2004)08-0065-04

0 引言

重庆市 500 kV 万县变电站是连接川渝电网与华中电网的中枢点, 也是川电东送、西电东送必经之道。同时, 重庆市东部覆盖三区六县的 1 个 220 kV 变电站、10 个 110 kV 变电站、1 个 2 × 50 MW 的白鹤发电厂及六个县级电网组成的万州区域性电网通过万县变电站与主网并网。500 kV 三(峡左岸电站)万(县) 线全长 380 km, 在万县站侧加装了 3 × 180 Mvar 高压电抗器, 2002 年 1 月正式投运, 500 kV 长(寿)万(县) 线全长 180 km, 线路充电功率较大, 1998 年 8 月投运。考虑川渝电网与华中电网可能出现解网运行方式, 为了满足线路末端降压及万州地区电网调压的要求, 在万县站侧 3 × 250 MVA 主变的 35 kV 侧加装了 5 × 45 Mvar 低压电抗器。因此, 万县变电站的安全运行对整个川渝电网、华中电网、万州区域性电网及白鹤发电厂机组的安全稳定运行十分重要, 而 35 kV 低压电抗器的安全稳定运行, 能吸收线路大量的无功充电功率, 保证线路末端电压不超过设备允许范围及电网稳定的限额, 满足万州地区电网调压的要求, 其重要性就显得更加突出。

2003 年 6 月 5 日, 500 kV 万县站 35 kV I 母 - # 2 电抗器组运行中 312 开关跳闸, 事后检查 A、B 相电抗器烧损。由于无故障录波资料, 本文根据现场检查试验及保护动作情况, 在计算的基础上, 对电抗器故障进行了分析, 对继电保护动作行为、装置接线存在的问题进行了分析, 提出了改进措施。

1 故障情况介绍

1.1 万县变电站 35 kV 电抗器基本情况

35 kV I 母 - # 2 电抗器组为 1 组容量为 3 × 45 Mvar, 型号为 BKGKL-15000/35 的电抗器, 2002 年 1 月 25 日投运。保护装置型号为 NAS-911D. S 型, 设置三段过流保护和过负荷报警。电抗器额定电压 33.5 kV, 额定电流 776 A, 阻抗值 24.9 Ω; 正常运行母线最高电压 32.8 kV, 最低电压 31.5 kV; 电抗器最大电流 746 A, 最小电流 717 A; 2003 年 6 月 5 日 4 时, 母线电压 31.8 kV, 电抗器电流 725 A。

1.2 故障前运行方式及气象情况

万县站经 500 kV 长万 线与重庆主网连接, 500 kV 三万 线停运, 经主变 201 开关、220 kV 万高东线与万州地区电网并网, 主变 35 kV 侧经 301 开关到 35 kV 母线, 35 kV 母线运行 I - # 1(311 开关)、I - # 2(312 开关)、I - # 3(313 开关)、I - # 4(314 开关) 共 4 组电抗器。

35 kV I - # 2 电抗器组投入了两段过流保护和过负荷报警, CT 变比为 1000/5。过流保护 Ⅰ 段定值为 20 A/0.2 s, Ⅱ 段为 5.5 A/0.5 s, Ⅲ 段停用, 过负荷 4.6 A/2.0 s 发信号。

6 月 5 日气象局资料: 全天雷雨, 3 时 25 ~ 7 时 02 阵雨, 8 时后有小雨, 全天降雨量 20.08 mm, 3 时 45 ~ 5 时 47 雷暴雨。

1.3 故障经过

1) 2003 年 6 月 5 日 4 时 22 分 29.825 s, 开关场地出现明显异常声音, 伴随有强烈的弧光, 同时 35 kV I - # 2 电抗器组 # 312 开关过流 I 段动作跳闸。检查保

护装置动作为:延时 0.21 s,电流 21 A。

2) 检修维护人员检查结果

值班员、检修人员发现 35 kV I - #2 电抗器 B 相中部有明显烧穿痕迹,顶部汇流铝排到电抗器线圈引线多条烧断,电抗器外层与第二层线圈之间绝缘支撑条脱落两条,一条变位,地上散落大量热熔

物;A 相引流线靠近电抗器端有大量电弧点,电抗器接线板下部烧缺。主变三侧母线避雷器均未动作。后经试验,发现 B 相电抗器直流电阻明显增大,A 相直流电阻有降低,C 相基本无变化,三相对地绝缘无变化(与 2002 年 10 月中试所试验值比较),具体试验数据见表 1。

表 1 35 kV I - #2 电抗器试验报告

Tab. 1 The test report of the 35 kV I - #2 reactor

站名:万县站		运行编号:# 312		名称:35 kV I 母 #1 - 2 低抗	
设备型号:BKGL - 15 000/35		额定一次电流:776 A		额定电压:33.5/√3 kV	
制造厂:西安中扬电气股份有限公司		出厂日期:2001.08		额定电抗:24.9	
试验日期	2001 年	2002 年 10 月 10 日	2003 年 06 月 05 日	与上一次比较相差	
气象条件		27 ,69 %	28 ,80 %		
试验性质	厂方交接	预试	故障后试验		
试验单位		重庆中试所测试值	万州供电局		
直流电阻 /	A	0.054 38	0.056 12	0.049 2	- 12.33 %
	B	0.054 50	0.056 35	0.080 0	+ 41.97 %
	C	0.054 09	0.056 32	0.054 9	- 2.52 %
绝缘电阻 / M	A	12 900 ⁺	10 000 ⁺	10 000 ⁺	
	B	12 900 ⁺	10 000 ⁺	10 000 ⁺	
	C	12 900 ⁺	10 000 ⁺	10 000 ⁺	

2 保护装置检查试验

对 312 开关保护装置及接线进行了检查试验:

1) 保护装置为 NAS-911D.S,设计图纸及现场接线为典型的不完全 Y 形接线,A、C 两相电流引入装置,B 相无电流引入装置。装置说明书指出“可以使用两相制代替三相制,只需要改参数”防止正常运行时发“CT 断线”信号。

2) 对装置分别加 A、B、C 相故障电流,装置能可靠动作。

3) 对装置加 A、C 相电流,无论相位、幅值如何变化,装置 B 相均无采样值。

3 故障电流计算分析

如果发生单相匝间短路,三相电流增大,增大程度由短路匝数决定,短路匝数越多,故障电流越大。由于保护装置采用两相制接线但 B 相无电流引入装置,因此装置反应 B 相匝间短路故障的可靠性将大大降低。下面结合保护定值对发生单相匝间短路(以 B 相为例)进行故障电流计算比较,计算中假设系统为无穷大电源,三相电压及相对角度不发生变化,三相电压取 31.8/√3 kV,系统阻抗为 j1.136 ,A、C

相电抗器阻抗为 j24.9 。

3.1 采用两相制接线,B 相无电流引入装置

$$U_{NN} = - 18 360 + j(1.136 + 24.9) \times 4 000 - Q$$

由 $i_a + i_b + i_c = 0$ 得:

$$4 000 - Q + \frac{U_{NN} + E_b}{jZ} + \frac{U_{NN} + E_c}{j(1.136 + 24.9)} = 0$$

即:

$$4 000 - Q + [- 18 360 + j(1.136 + 24.9) \times 4 000 - Q + 18 360 - 120^\circ] / jZ + [- 18 360 + j(1.136 + 24.9) \times 4 000 - Q + 18 360 - 120^\circ] / j26 = 0$$

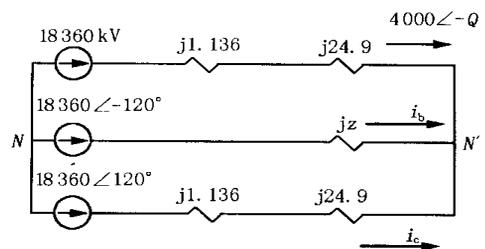


图 1 两相制接线,B 相无电流引入装置一次阻抗图

Fig. 1 Quarter-phase connection, the primary impedance figure when B-phase no current in the device

解方程得: $Z = - 9.516$ $Q = 38.8^\circ$

进而可求得:

$$U_{NN} = 93\ 598.5 \angle 60^\circ$$

$$i_b = 7\ 906 \angle 150^\circ$$

$$i_c = 4\ 000 \angle -21.2^\circ$$

对应的电流向量图见图 2。

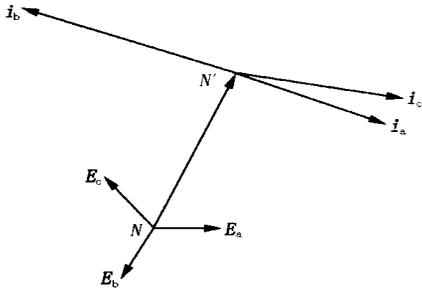


图 2 两相制接线, B 相无电流引入装置故障电流向量图

Fig. 2 Quarter-phase connection, the phasor diagram of fault current when B-phase no current in the device

3.2 采用两相制接线, B 相有电流引入装置时

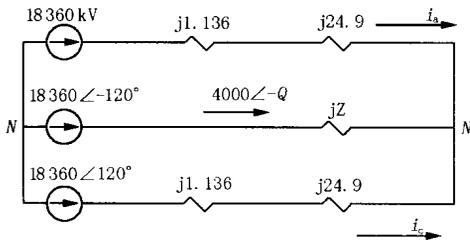


图 3 两相制接线, B 相有电流引入装置一次阻抗图

Fig. 3 Quarter-phase connection, the phasor diagram of fault current with B-phase current in the device

$$U_{NN} = -18\ 360 + \angle -120^\circ + 4\ 000Z \angle (90^\circ - Q)$$

由 $i_a + i_b + i_c = 0$ 得:

$$\frac{U_{NN} + E_a}{j26} + 4\ 000 \angle -Q + \frac{U_{NN} + E_c}{j26} = 0$$

即:

$$[-18\ 360 \angle -120^\circ + 4\ 000Z \angle (90^\circ - Q) + 18\ 360 / j26 + 4\ 000 \angle -Q + [-18\ 360 \angle -120^\circ + 4\ 000Z \angle (90^\circ - Q) + 18\ 360 \angle 120^\circ] / j26 = 0$$

$$\text{解方程得: } Z = -19.88 \quad Q = 30^\circ$$

进而可求得:

$$U_{NN} = 61\ 180 \angle 240^\circ$$

$$i_a = 2\ 091.4 \angle 167^\circ$$

$$i_c = 2\ 091.4 \angle 133^\circ$$

对应的电流向量图见图 4。

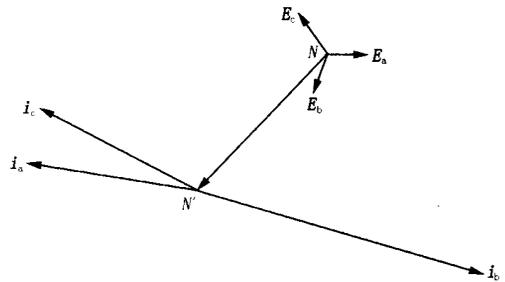


图 4 两相制接线, B 相有电流引入装置故障电流向量图

Fig. 4 Quarter-phase connection, the phasor diagram of fault current with B-phase current in the device

根据有关资料,电抗器一匝短路的位置不同,阻抗变化值也不同,一般变化范围为 4.8%~12.2%,高值变化的短路匝位于电抗器绕组的中部附近。现场 B 相中部约偏上位置明显烧坏,出现一直径约 10 cm 的洞。当 B 相发生匝间短路时,通过计算可以看出,如果装置 B 相无电流引入,要使定值为 4 000 A 的过流段 A 相动作,则 B 相电抗器剩余阻抗值必须小于 $9.516 - 1.136 = 8.38$,即至少 $(24.9 - 8.38) / 24.9 = 66.34\%$ 发生匝间短路;如果装置 B 相有电流引入,要使定值为 4 000 A 的过流段 B 相动作,则 B 相电抗器剩余阻抗值必须小于 $19.88 - 1.136 = 18.74$,即至少 $(24.9 - 18.74) \times 100\% / 24.9 = 24.72\%$ 发生匝间短路。上述结果比较分析发现, B 相无电流引入装置大大缩短了保护范围,降低了装置的可靠性。

4 故障分析

故障发生后,经检查认为电抗器故障原因为外包封中的材料质量问题(厂家称为“硅微粉”)。故障后检查, A、B、C 相相间、相对地绝缘良好,现场三相底部与地之间也无明显放电痕迹,装置动作时控制室无“母线接地”信号发出。因此根据继电保护现场试验及上述计算结果比较,分析认为: 35 kV I- #2 电抗器组 A、B 相烧损原因是由于电抗器本身存在绝缘缺陷,在恶劣的天气情况下, B 相首先发生相邻的匝间短路。保护装置采用两相制接线因 B 相无电流引入而缩短了保护范围,反应 B 相匝间短路故障的灵敏性大大降低,因此, B 相电抗器保护初始阶段不能切除故障,致使 B 相匝间短路进一步扩展,同时,大雨、大风使 B 相绕组绝缘层故障产生的烟尘、金属颗粒喷向临近的 A 相电抗器(空间距离约 1.6~1.8 m),使 A、B 相间空气绝缘击穿,最后发展

为 A - B 相间短路,由电抗器过流一段保护动作切除故障。

5 电抗器保护配置及定值整定讨论

在实际运行分析中,要配置 100% 反应电抗器匝间短路的保护装置目前尚不能实现。对于电抗器保护配置要求,《电力工程电气设计手册》要求“容量在 10 MVA 以上的电抗器,宜装设差动保护”,但纵差保护不能反应匝间短路,横差保护也只适用于由两个并联分支构成的双星形接线电抗器。对于 63 kV 以下并联电抗器,《继电保护及安全自动装置技术规程》(GB 14285 - 93) 也只做了“应装设线圈的单相接地和匝间短路及其引出线的相间短路和单相接地短路保护”的原则要求,具体要求“装设电流速断保护”。在实际运用中,根据低压电抗器在电力系统中所处的地位及故障对电网安全的影响,对于反应匝间短路的故障可以装设负序过流、阻抗保护等。

对于只装设了常规电流保护的低压并联电抗器的整定计算,《3 ~ 110 kV 电网继电保护运行整定规程》(DL/T 584 - 1995) 规定:电流速断定值应躲过电抗器投入时的励磁涌流,一般整定为 $5 \sim 7 I_{e0}$ 。但实际运行中,对于分段式电流保护,根据电抗器厂方最大承受过负荷能力试验,过流最后一段可以按照下述原则整定^[1]:设电抗器引出端三相外部短路时的反馈电流 $I_{fd} = 0.8 U_N / X_R$ (电抗器每相电抗为 X_R),则, $I_{dz} = K_{rel} I_{fd}$, $K_{rek} = 1.2 \sim 1.5$ 。靠增加时限躲励磁涌流,以最大可能反应匝间短路的故障。

6 改进措施

根据上述计算分析,B 相无电流引入装置降低了可靠性,将 N_a 、 N_c 端子连接后做 I_b 相电流,实现两相制电流代替三相制电流。建议起用过流一段,定值取 $1.3 \sim 1.5 I_{e0}$,时限取 $5 \sim 10$ s,以最大可能反应电抗器发生的匝间短路故障。

参考文献:

- [1] 王维俭(WANG Wei-jian). 电气主设备继电保护原理与应用(Relaying Principle and Application of Main Electrical Equipment)[M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),1996.
- [2] 刘万顺(LIU Wan-shun). 电力系统故障分析(Fault Analysis of Power System)[J]. 华北电力学院(Journal of North China Electric Power Institute),1986.
- [3] Ro C B, Qi A B. 电力系统不对称状态下电气量的计算(Calculation of Electric Parameters in the Unbalanced State of Power System)[M]. 贺家李,译(HE Jia-li Trans). 北京:水利电力出版社(Beijing:Hydraulic and Electric Press),1989.

收稿日期: 2003-07-30; 修回日期: 2003-12-25

作者简介:

肖辉(1970-),男,本科,工程师,主要从事电力系统继电保护和电网调度管理工作;

周珊(1971-),女,硕士研究生,讲师,主要从事电力系统运行分析和无功优化研究工作。

Analysis of relay operation when a group of 35 kV reactors fault in Wanxian 500 kV substation

XIAO Hui¹, ZHOU Shan²

(1. Wanzhou Power Supply Bureau, Chongqing 404000, China;

2. Department of Electrical Engineering, Changchun Institute of Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: The Y connection of three-phase circuit is the common connection of the line protection in power system. In the line protection whose voltage is under 35 kV, the incomplete Y connection of two-phase three-relay often replaces the complete Y connection as the common connection. However, if there's no relay on the middle line, the reliability and the sensitivity of the protecting device will reduce greatly. This paper takes a practical primary fault for an example to analyze and calculate, and illustrates that the fault will spread if the B-phase fault were not be cut in time.

Key words: interturm short circuit; surplus impedance; protective range; reliability