

# 一起 10kV 电容器组中限流电抗器着火故障分析

张 淼

(泰州供电公司, 江苏 泰州 225300)

**摘 要:** 并联电容器组是电力系统重要的无功补偿设备, 本文针对一起 10kV 电容器组着火故障, 分析了电容器组着火的原因, 计算了电容器熔丝熔断电流、电压的变化情况, 并提出了提高其保护灵敏度的措施。

**关键词:** 电容器; 着火故障; 不平衡电压; 不平衡电流; 保护灵敏度

## 0 引言

电力系统中高压并联电容器组可以补偿无功功率, 提高功率因数, 改善电压质量。

随着系统负荷的影响, 系统中无功功率和电压也在不断的变化, 投入电网中的电容器组容量, 需根据这一变化随时进行调整。可见, 电容器组是一种投、退比较频繁的设备。一般通常采用中性点不接地的星形或双星形接线, 为了限制断路器合电容器组而产生的合闸涌流, 一般在电容器组星形接线的中性点侧或电源侧装有串、并联电抗器, 还配有氧化锌避雷器的保护和放电线圈等设备。

由于电容器组投、退比较频繁, 是一种比较容易着火、爆炸的设备, 常见为网门封闭的成套装置。其保护配置主要有: 电流速断、限时速断、过电压、差压、不平衡电流等保护。

## 1 电容器组现场情况

### 1.1 电容器组现场接线情况

35kV 前进变共配置两组电容器组, 发生故障的为 2 号电容器组, 其并联与 10kV I 段母线, 一次接线如图 1。

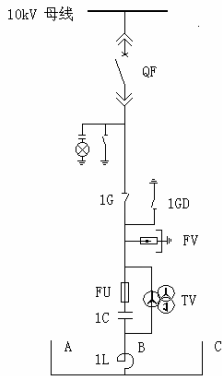


图 1 2 号电容器组一次接线图

### 1.2 电容器组现场布置情况

2 号电容器组为单星形接线方式, 每相 10 只电容器并联, 放电线圈一次侧与电容器并联测量电容器端电压, 二次侧接成开口三角形, 供电压保护用, 带分相串联电抗器。其布置方式如图 2。

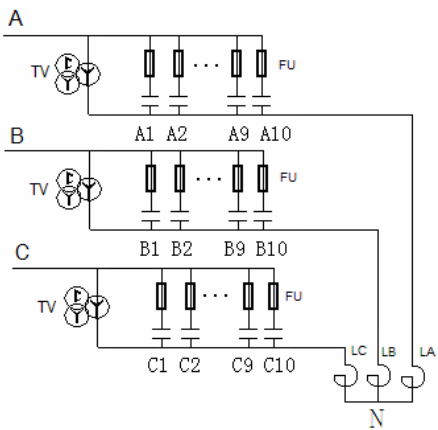


图 2 2 号电容器组布置图

单只电容器电容为 8.1 $\mu$ F, 10 只电容器并联阻

抗值是  $X_C = \frac{1}{2 \times 8.1 \times 10^{-6} \times 10} = \frac{1}{2 \times 8.1 \times 10^{-5}} = 39.32 \Omega$ ,

电抗器的阻抗值  $Z_L = 2.38 \Omega$ ,

### 1.3 电容器保护配置情况

2 号电容器组配置 SAS300 电容器保护, 电压变比为: 10/0.1, 电流变比为 300/5。启用电流速断保护, 其定值为 7.87A; 过流保护, 其定值为 3.93A; 过电压保护, 其定值为 121V (取自母线压变电压小母线, 不受电容器故障影响); 零序过电压保护 (电压取自放电线圈开口三角电压, 变比 10/ $\sqrt{3}$ :0.082), 其定值为 23V。

## 2 故障描述

35kV 前进变 2 号电容器组中限流电抗器 B 相

着火, 电容器组 A 相中一只电容器熔丝熔断, 故障发生时无任何保护动作。

### 3 电压、电流的计算

#### 3.1 工作状态下的电压、电流

各相阻抗  $Z = X_C - X_L = 39.32 - 2.38 = 36.94\Omega$ , 取正常工作时母线电压  $U = 11kV$ , 电容器各相的负荷

电流  $I = \frac{U}{Z} = \frac{11000/1.732}{36.94 - 2.38} = 172A$ , 折合到二次为

2.87A, 零序电压  $3U_0 = 0$ 。见图 3。

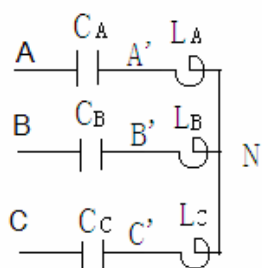


图 3 电容器电压分布图

#### 3.2 一只熔丝熔断时的电压、电流

当 A 相一只熔丝熔断时, 三相阻抗不平衡, 则会造成电抗器中性点电压偏移。现对电抗器中性点电压偏移量进行计算:

A 相容抗  $X_{CA} = \frac{1}{2\pi f C_A} = 43.69\Omega$ ; B、C 相容抗

$X_{CB} = X_{CC} = 39.32\Omega$ ;

三相电抗值  $X_{LA} = X_{LB} = X_{LC} = 2.38\Omega$ 。

设  $\dot{U}_A = 6351 \angle 0^\circ V$ ,  $\dot{U}_B = 6351 \angle 120^\circ V$ 、 $\dot{U}_C =$

$6351 \angle 240^\circ V$ , 电抗器中性点电压为  $\dot{U}_N$ 。根据

$$\frac{\dot{U}_{AN}}{Z_A} + \frac{\dot{U}_{BN}}{Z_B} + \frac{\dot{U}_{CN}}{Z_C} = 0$$

式中:

$$\dot{U}_{AN} = \dot{U}_A - \dot{U}_N \quad Z_A = X_{CA} - X_{LA}$$

$$\dot{U}_{BN} = \dot{U}_B - \dot{U}_N \quad Z_B = X_{CB} - X_{LB}$$

$$\dot{U}_{CN} = \dot{U}_C - \dot{U}_N \quad Z_C = X_{CC} - X_{LC}$$

经计算可得:  $\dot{U}_N = 232 \angle 180^\circ V$

因为电抗器阻抗相对电容器阻抗比较小, 忽略电抗器压降, 得出零序电压为:

$$3U_0 = \dot{U}_{AA'} + \dot{U}_{BB'} + \dot{U}_{CC'} \approx \dot{U}_{AN} + \dot{U}_{BN} + \dot{U}_{CN} = \dot{U}_A$$

$+ \dot{U}_B + \dot{U}_C - \dot{U}_N - \dot{U}_N - \dot{U}_N = -3\dot{U}_N = 696 \angle 0^\circ V$ , 折合到二次值为 9.9V。

得出此时三相电流为:

$$I_a = \frac{U_{AN}}{X_{CA} - X_{LA}} = 159A, \text{折合到二次值为 } 2.65A$$

$$I_b = \frac{U_{BN}}{X_{CB} - X_{LB}} = 169A, \text{折合到二次值为 } 2.81A$$

$$I_c = \frac{U_{CN}}{X_{CC} - X_{LC}} = 169A, \text{折合到二次值为 } 2.81A$$

#### 3.3 两只熔丝熔断时的电压、电流

依据同样的计算方法可得出:

$3U_0 = 1434V$ , 折合到二次值为 20V。

三相电流为:

$$I_a = 146A, \text{折合到二次值为 } 2.43A$$

$$I_b = 166A, \text{折合到二次值为 } 2.76A$$

$$I_c = 166A, \text{折合到二次值为 } 2.76A$$

#### 3.4 三只熔丝熔断时的电压、电流

当 A 相三只熔丝熔断时

依据同样的计算方法可得出:

$3U_0 = 2220V$ , 折合到二次值为 31.5V。

三相电流为:

$$I_a = 132A, \text{折合到二次值为 } 2.20A$$

$$I_b = 163A, \text{折合到二次值为 } 2.71A$$

$$I_c = 163A, \text{折合到二次值为 } 2.71A$$

### 4 限流电抗器 B 相着火故障原因分析

电抗器着火原因可能有以下三种可能:

1) 熔丝熔断, 引起的不平衡电流的影响

从上面故障电流的计算得到:

正常运行时  $I_a = I_b = I_c = 172A$ ; A 相中一只电容器熔丝熔断时  $I_a = 159A$ ,  $I_b = I_c = 169A$ ,

可见 A 相中一只电容器熔丝熔断时 B 相电流变小, 不会引起串联电抗器过流变热着火。

2) 系统频繁投、切的影响

电容器组频繁投、切, 产生的合闸涌流, 容易引发电抗器着火。

但本次事故后查询后台机记录, 发现当天电容器组未投、切, 故排除此原因引起串联电抗器热着火的情况。

3) 电容器组老化, 散热不良

据现场检查, 故障电抗器为 2002 年出厂, 2003 年安装, 长期处于工作状态, 其橡胶绝缘子、线圈

老化, 引发过热着火, 这是串联电抗器 B 相着火的直接原因。

5 熔丝熔断其保护的動作行为

5.1 过流保护

5.1.1 一只熔丝熔断时

A 相中一只电容器熔丝熔断时 A 相容抗 $X_{CA} = 43.69\Omega$ ,  $I_A=159A$ ,  $I_B=I_C=169A$ 。

5.1.2 两只熔丝熔断时

A 相中两只电容器熔丝熔断时 A 相容抗 $X_{CA} = 49.14\Omega$ ,  $I_A=146A$ ,  $I_B=I_C=169A$ 。

5.1.3 三只熔丝熔断时

A 相中三只电容器熔丝熔断时 A 相容抗 $X_{CA} = 56.17\Omega$ ,  $I_A=132A$ ,  $I_B=I_C=163A$ 。

表 1 熔丝熔断时各相电流值 A			
熔丝熔断情况	A 相电流	B 相电流	C 相电流
无熔丝熔断	172	172	172
一只熔丝熔断	159	169	169
两只熔丝熔断	146	166	166
三只熔丝熔断	132	163	163

见表 1, 可以看出, 随着熔断数目的增多, 熔断相电容器两端电压升高, 但阻抗也随之增大, 阻抗增加比电压增大的幅度大; 另外两相相阻抗不变, 但相电压降低; 因此三相负荷电流是随熔丝熔断的数目增加而减小, 不会造成过流保护动作, 更不会造成电流速断保护动作。

5.2 零序过电压保护

5.2.1 一只熔丝熔断时

当 A 相一只熔丝熔断时, 电容器组零序电压 $3U_0 = 696V$ , 折合到二次值为 9.9V, 达不到零序过电压保护动作定值 (23V)。

5.2.2 两只熔丝熔断时

当 A 相两只熔丝熔断时, 电容器组零序电压 $3U_0 = 1434V$ , 折合到二次值为 20V, 达不到零序过电压保护动作定值 (23V)。

5.2.3 三只熔丝熔断时

当 A 相三只熔丝熔断时, 电容器组零序电压 $3U_0 = 2220V$ , 折合到二次值为 31.5V。大于零序过电压保护动作定值 (23V), 保护动作于跳闸。见表 2。

表 2 熔丝熔断时零序电压值		
熔丝熔断情况	零序电压值/V	折算二次值
无熔丝熔断	0	0
一只熔丝熔断	696	9.9
两只熔丝熔断	1434	20
三只熔丝熔断	2220	31.5

可以看出, 零序电压是随着熔断熔丝的增多而增大, 当一相中有三只以上的熔丝熔断, 才会造成零序过电压保护动作跳闸, 切除电容器, 所以在此次电容器着火故障时无任何保护动作。

6 电容器保护灵敏度的分析

故障电容器的零序电压定值设定为 23V, 当一相中有三只以上的熔丝熔断, 才会造成零序过电压保护动作跳闸, 切除电容器, 保护灵敏度比较低。

改变零序电压定值可以提高电容器保护的灵敏度。例如把定值改到 9.9 以下, 可以保证只要一相熔丝熔断, 零序过电压保护就会动作跳闸, 切除电容器。

7 结论

电容器熔丝熔断后, 熔断相电容器阻抗也随之增大, 两端电压略升高, 另外两相相阻抗不变, 但相电压降低三相负荷电流是随熔丝熔断的数目增加而减小, 不会造成过流保护动作, 更不会造成电流速断保护动作。

通过设置合理的零序电压定值, 可以灵敏反映电容器熔丝熔断的只数, 并判断是否跳闸。

参考文献:

[1] 王大光. 电力系统分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

[2] 王大为. 应用电工基础 (第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[3] 支叶青. 继电保护及自动装置[M]. 北京:中国电力出版社, 2010.

作者简介:

张 淼 (1986-), 男, 江苏海安人, 助理工程师, 从事变电运维工作。