

一起 10kV 电容器着火故障分析

张 淼

(泰州供电公司, 江苏 泰州 225300)

摘 要: 并联电容器是电力系统重要的无功补偿设备, 本文针对一起 10kV 电容器着火故障, 分析了电容器着火的原因, 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 电容器现场情况

1.1 电容器现场接线情况

35kV 前进变共配置两组电容器, 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。

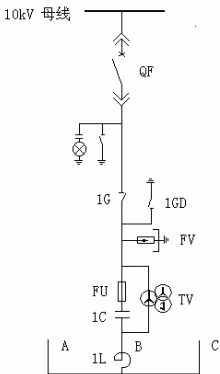


图 1 2 号电容器组一次接线图

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。

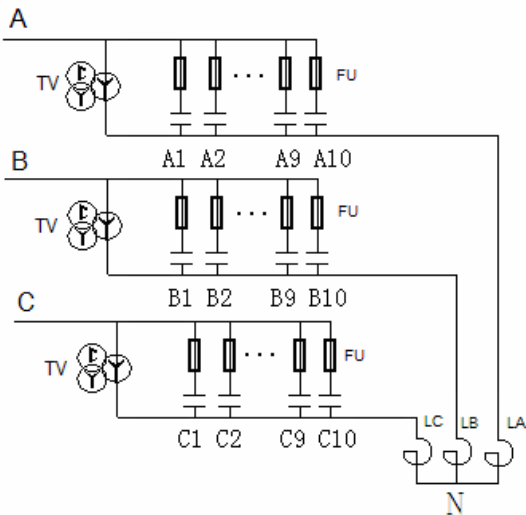


图 2 2 号电容器组布置图

单只电容器电容为 8.1 μ F, 10 只电容器并联阻抗是 $X_C = \frac{1}{\frac{1}{8.1 \times 10^{-6}} \times 10} = \frac{1}{8.1 \times 10^{-5}} = 39.32\Omega$,

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 (取自母线电压变电压小母线, 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 工作状况下的电压、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 $U = 11\text{kV}$, 电容器各相的负荷

电流 $I = \frac{U}{Z} = \frac{11000/1.732}{39.32 - 2.38} = 172\text{A}$, 折合到二次为

2.87A, 零序电压 $3U_0 = 0$ 。

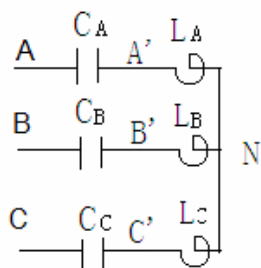


图3 电容器电压分布图

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分析。

A 相容抗 $X_{CA} = \frac{1}{2\pi f C_{A2}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 2.4 \times 10^{-6} \times 3} = 43.69\Omega$; B、C 相容抗 $X_{CB} = X_{CC} = 39.32\Omega$; 三相电抗值相等 $X_{LA} = X_{LB} = X_{LC} = 2.38\Omega$ 。

取母线运行电压 11.0kV, 三相电压相等: A 相电压为 $\dot{U}_A = 6351 \angle 0^\circ \text{ V}$, 则 B 相电压为 $\dot{U}_B = 6351 \angle 120^\circ \text{ V}$ 、C 相电压为 $\dot{U}_C = 6351 \angle 240^\circ \text{ V}$, 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:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AN} &= \dot{U}_A - \dot{U}_N & Z_A &= X_{CA} - X_{LA} \\ \dot{U}_{BN} &= \dot{U}_B - \dot{U}_N & Z_B &= X_{CB} - X_{LB} \\ \dot{U}_{CN} &= \dot{U}_C - \dot{U}_N & Z_C &= X_{CC} - X_{LC} \end{aligned}$$

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

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:

$3U_0 = \dot{U}_{AA'} + \dot{U}_{BB'} + \dot{U}_{CC'} \approx \dot{U}_{AN} + \dot{U}_{BN} + \dot{U}_{CN} = \dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C - \dot{U}_N - \dot{U}_N - \dot{U}_N = -3\dot{U}_N = 696 \angle 0^\circ \text{ V}$, 折合到二次值为 9.9V。

得出此时三相电流为:

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

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

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

3.3 两只熔丝熔断时的电压、电流

当 A 相两只熔丝熔断时:

A 相容抗 $X_{CA} = \frac{1}{2\pi f C_{A2}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 2.4 \times 10^{-6} \times 3} = 49.15\Omega$

B、C 相容抗 $X_{CB} = X_{CC} = 39.32\Omega$; 三相电抗值相等 $X_{LA} = X_{LB} = X_{LC} = 2.38\Omega$ 。

取母线运行电压 11.0kV, 三相电压相等: A 相

电压为 $\dot{U}_A = 6351 \angle 0^\circ \text{ V}$, 则 B 相电压为 $\dot{U}_B = 6351 \angle 120^\circ \text{ V}$ 、C 相电压为 $\dot{U}_C = 6351 \angle 240^\circ \text{ V}$, 电

抗器中性点电压为 \dot{U}_N 。根据 $\frac{\dot{U}_{AN}}{Z_A} + \frac{\dot{U}_{BN}}{Z_B} + \frac{\dot{U}_{CN}}{Z_C} = 0$

可得出: $\dot{U}_N = 478 \angle 180^\circ \text{ V}$, $3U_0 = 1434\text{V}$, 折合到二次值为 20V。

得出此时三相电流为:

$$I_a = \frac{U_{AN}}{X_{CA} - X_{LA}} = 146\text{A}, \text{折合到二次值为 } 2.43\text{A}$$

$$I_b = \frac{U_{BN}}{X_{CB} - X_{LB}} = 166\text{A}, \text{折合到二次值为 } 2.76\text{A}$$

$$I_c = \frac{U_{CN}}{X_{CC} - X_{LC}} = 166\text{A}, \text{折合到二次值为 } 2.76\text{A}$$

3.4 三只熔丝熔断时的电压、电流

当 A 相三只熔丝熔断时

A 相容抗 $X_{CA} = \frac{1}{2\pi f C_{A2}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 2.4 \times 10^{-6} \times 3} = 56.17\Omega$; B、C 相容抗 $X_{CB} = X_{CC} = 39.32\Omega$; 三相电抗值相等 $X_{LA} = X_{LB} = X_{LC} = 2.38\Omega$ 。

取母线运行电压 11.0kV, 三相电压相等: A 相

电压为 $\dot{U}_A=6351\angle0^\circ\text{ V}$ ，则 B 相电压为 $\dot{U}_B=6351\angle120^\circ\text{ V}$ 、C 相电压为 $\dot{U}_C=6351\angle240^\circ\text{ V}$ ，电抗器中性点电压为 \dot{U}_N 。根据 $\frac{\dot{U}_{AN}}{Z_A}+\frac{\dot{U}_{BN}}{Z_B}+\frac{\dot{U}_{CN}}{Z_C}=0$

可得出： $\dot{U}_N=740\angle180^\circ\text{ V}$ ， $3U_0=2220\text{V}$ ，折合到二次值为 31.5V。
得出此时三相电流为：

$$I_a=\frac{U_{AN}}{X_{CA}-X_{LA}}=132\text{A}，\text{折合到二次值为 }2.20\text{A}$$
$$I_b=\frac{U_{BN}}{X_{CB}-X_{LB}}=163\text{A}，\text{折合到二次值为 }2.71\text{A}$$
$$I_c=\frac{U_{CN}}{X_{CC}-X_{LC}}=163\text{A}，\text{折合到二次值为 }2.71\text{A}$$

4 限流电抗器 B 相着火故障原因分析

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 $I_a=I_b=I_c=172\text{A}$ ；A 相中一只电容器熔丝熔断时 $I_a=159\text{A}$ ， $I_b=I_c=169\text{A}$ ，
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）器老化，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

（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 $X_{CA}=43.69\Omega$ ， $I_a=159\text{A}$ ， $I_b=I_c=169\text{A}$ 。

（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 $X_{CA}=49.14\Omega$ ， $I_a=146\text{A}$ ， $I_b=I_c=169\text{A}$ 。

（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 $X_{CA}=56.17\Omega$ ， $I_a=132\text{A}$ ， $I_b=I_c=163\text{A}$ 。

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	

表 1 为熔丝熔断时各相电流值。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

（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 $3U_0=696\text{V}$ ，折合到二次值为 9.9V。达不到零序过电压保护动作定值（23V）。

（2）两只熔丝熔断时

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

（3）三只熔丝熔断时

当 A 相三只熔丝熔断时，可得出电容器组零序电压 $3U_0=2220\text{V}$ ，折合到二次值为 31.5V。大于零序过电压保护动作定值（23V），保护动作跳闸。

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

表 2 为熔丝熔断时零序电压值。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 提高保护灵敏度的措施

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，动作与跳闸。

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，E-mail: 382643026@qq.com。