

金属氧化物变阻器保护电容器组的研究与探讨

李 晔, 朱 江

(徐州供电公司, 江苏 徐州 221003)

摘 要: 在说明串联补偿电容器装置的基本原理和运行状况的基础上, 对金属氧化物变阻器 (MOV) 如何保护电容器组进行了分析与探讨, 研究分析了外熔丝的电容器与内熔丝的电容器及其优缺点, 指出了故障电容器元件过电压产生的原因以及对分布电压的影响; 分析了电容器、MOV、触发间隙、旁路断路器, 在系统出现多种类型故障的运行工况, 提出了 MOV 如何限制出现在电容器组上的过电压, 保护电容器组的具体措施和方法。

关键词: MOV; 限制过电压; 分析; 探讨

0 概述

当今 500kV 及以上电压等级的交直流输电网络, 超高压、长距离、大功率输变电工程已得到广泛应用。为提高超高压长线路的稳定输送容量、减少损耗, 在线路上采用串联补偿装置是重要的方式。采用串联补偿装置能够改善线路电气参数, 实现两条线路输送三条线路的功率。串补装置中, 对核心部件电容器组的保护尤为重要。实际工程中为限制电容器组上的过电压, 保护电容器安全运行, 多采用金属氧化物变阻器与放电间隙配合。在山西阳城至江苏的输电工程中即采用了此项技术, 保证了徐州 500kV 三堡变电站东三线串联补偿电容器装置的安全、可靠运行, 提高了长距离输电线路稳定输送容量, 在“北电南送”输电网络中发挥了重要作用。

1 串补装置的基本知识

1.1 基本原理

高压输电线路的静态稳定输送功率可由下式表示:

$$P = \frac{U_1 U_2}{X_L} \sin \sigma \quad (1)$$

其中: U_1 、 U_2 : 线路两端的电源电压;

σ : 线路两端的电源电压的相角差;

X_L : 线路的阻抗;

$U_1 U_2 / X_L$: 线路的极限输送功率 (静态稳定极限)

当线路中安装有串补电容器后, 线路的稳定输送功率为:

$$P = \frac{U_1 U_2}{X_L - X_C} \sin \sigma \quad (2)$$

$$\frac{X_L}{X_L - X_C} = \frac{1}{1 - K_C} \quad (3)$$

在同一个相角差 (σ 相同) 的条件下, 装有串补电容器前后的稳定输送功率之比为:

$K_C = X_C / X_L$ 为补偿度。在 500kV 超高压输电线路工程中, 若补偿度设为 40%, 则每条输电线路装有串补电容器前后的稳定输送功率之比为 1.67 倍。即安装了两套串补装置相当于增加了一条输电线路。

1.2 基本接线形式

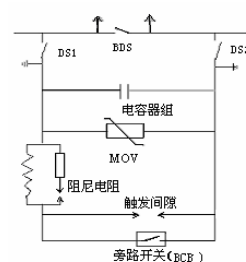


图 1 串补装置基本接线图

串联电容补偿装置由电容器组、金属氧化物变阻器 (MOV)、放电间隙、阻尼电抗、旁路开关、绝缘平台、保护和控制系统组成。串补装置采用的是固定式, 其保护电容器的设备是金属氧化物变阻器 (MOV)、分路间隙及旁路断路器。该串补装置的基本接线如图 1 所示: 正常运行时出线断路器经串补 DS1 刀闸、串补电容器、DS2 刀闸串联接入线路运行, 线路 BDS 出线刀闸在分闸位置。

1.3 电容器组的应用

串补用的电容器通常有两种,即外熔丝的电容器及内熔丝的电容器。

内熔丝电容器是每相电容器组由320台电容器单元组成,该电容器是油浸全膜电容器,实际设计的电场强度为 $170\text{ V}/\mu\text{m}$ 。电容器组的保护水平为 2.3 p.u. ,保护电压为 230 kV 。

外熔丝的电容器是熔丝装置安装在电容器单元的外部。IEC标准规定外熔丝的熔断电流应是所保护的电容器额定电流的1.43倍以上,一般就取1.5倍。作为串补用的电容器还需要考虑电容器组两端短路放电时熔丝不能熔断,否则,在系统发生故障串补电容器组退出运行时,旁路间隙或分路开关旁路电容器组时会使电容器组的外熔丝动作。

采用外熔丝的,当电容器发生故障熔丝熔断后,熔丝管会跌落下来,巡视人员比较容易发现。但也有缺点,比如电容器通常有许多的电容器单元按照一定的规律串并联而成;当其中某个元件击穿后,与之相关联的并联组被短路,电容器单元的电容容量就会增加,此时该电容器单元仍能工作;工作电流会流过故障的电容器元件的故障点使故障扩大,最后使整个电容器单元故障,熔丝动作并使故障的电容器单元退出运行;若过程比较长,故障元件的故障点在电流的作用下不断的产生气体,就有可能使电容器鼓肚子甚至外壳破裂;整个电容器单元退出运行后的不良后果有:电容器组损失的容量较大以及其他健康的电容器单元上的过电压较高等。

为在部分电容器发生故障能及时发出故障信号或旁通电容器组,每相电容器单元组成一个H型,4个臂分别由80个电容器单元以4串20并的方式连接。每个电容器由52个元件组成(4串13并),其图形见图2。每个电容器单元和元件的额定参数如表1所示。

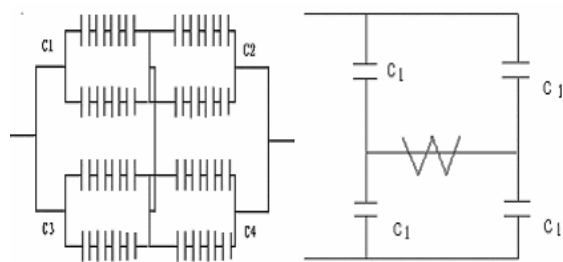


图2 每相电容器的组成

当部分电容器元件发生故障退出运行后,好的电容器元件上的电压会有一定的升高。过电压达5%时就应该发出告警信号;达10%时就应该经过一定的

延时永久旁通电容器组(图1)。实际的运行中,测量电容器组的每个单元上的过电压是很困难的,一般采用测量不平衡电流的方法来实现电容器单元的过电压保护。其中损坏的元件数量指的是出现在一个电容器单元中的同一个并联组中的元件数,其他的电容器单元及有缺陷的电容器单元中,其他的并联组均无元件损坏。很显然,同一个并联组出现多元件损坏的概率是非常低的。当故障的电容器元件分布在不同的电容器单元或同一单元仅在不同的并联组中时,单元或元件上的过电压要低得多。当不平衡电流达到 1.35 A 时发出报警信号。不平衡电流达到 1.50 A 时发出旁通命令,13个元件损坏意味着一个单元退出运行。电容器的故障概率(经验数据):30年电容器元件的总故障率为2%,按照两组串补的电容器单元数量计算,30年损坏的元件为1996.8个。平均到电容器单元上,每单元只有1.04个。因此,所以故障率是很低的,再考虑到故障元件的随机分布,实际运行中,电容器组的不平衡保护是不会动作的。只有当电容器单元的套管闪络时,电容器组不平衡保护才有可能动作。

除了因部分电容器单元损坏后退出运行会使健全的电容器单元过电压外,电容器组流过的电流超过额定电流也会导致电容器单元过电压。电容器组是否过负荷是根据测量到的线路电流是否超过额定电流来判断的,线路电流超过额定电流时电容器组过负荷保护的定时器启动计时,当计时器累计时间超过定值时便启动暂时旁通电容器组。若电容器组频繁过负荷则永久旁通电容器组。

2 金属氧化物变电阻(MOV)

当带串联补偿装置的线路发生故障时,系统短路电流要流过串联电容器组。当流过的稳态短路的电流为 20 kA 时,电容器上的稳态电压的有效值高达 600 kV 。故必须采取适当的措施来限制电容器组上的电压。

2.1 MOV的作用

MOV的作用是限制出现在电容器组上的过电压,保护电容器组。当区外故障发生时,MOV会吸收全部能量,保护电容器组;区外故障消失后,电容器组可自动投入。区内故障时,放电间隙击穿前MOV限制电容器组上的电压。放电间隙经 1 ms 击穿后,旁通MOV和电容器组,使MOV不再吸收能量,电容器组两端的电压接近零。区外故障消

失后, 电容器组还可以自动投入。但是, 当区内故障时, 区内故障的电流较大, MOV 吸收能量的速度很快, 流过 MOV 的大电流会使电容器组两端的电压也较高。采用触发间隙限制出现在电容器组上的过电压, 降低所需 MOV 的能量吸收能力, 还能改善系统阻尼次同期振荡的能力。

2.2 系统故障时 MOV 的工况

当系统中发生区外故障时, 为提高系统的稳定输送容量, 串补装置仍应处在运行状态。此时, MOV 中会流过部分故障电流而吸收能量。从故障发生到到继电保护装置动作, 经一段延时切除故障, 故障发生的暂态过程中 MOV 吸收的能量较大, 故障持续过程中 MOV 吸收的能量较小。故障电流越大 MOV 吸收的能量也越大; 故障持续时间越长, MOV 吸收的能量也越大。

工程上实际计算还表明 MOV 吸收的能量大小与故障发生的瞬间关联度最高, 当然计算 MOV 吸收能量的程度要以系统中发生最严重短路故障瞬间所得出的 MOV 吸收的能量为依据。

区内故障时, 故障电流较大, 流过 MOV 的电流也较大。如果故障持续时间 (MOV 流过电流的时间) 与区外故障时相同, MOV 吸收的能量会比区外故障时大得多。为了降低 MOV 的吸收能量, 触发间隙应及时动作, 分路电容器组和 MOV, 使故障电流不再流过电容器组和 MOV, 因此要求间隙应在区内故障发生后 1 ms 内旁通 MOV 及电容器组。

根据 SIEMENS (西门子) 提供的 MOV 伏安特性曲线计算所得出的故障类型与持续时间如表 1 所示。

表 1 MOV 故障类型与持续时间

故障类型		持续时间
内部故障	单相接地故障	0.1s 区内故障切除 1s 重合闸动作后, 保护故障, 0.35s 后备切除故障
	两相或三相故障	0.1s 区内故障切除 1s 重合闸动作后, 0.25s 失灵保护切除故障
	单相接地故障	0.1s 区内故障切除 保护故障, 后备保护 0.35s 切除故障
	两相或三相故障	0.1s 区内故障切除 断路器失灵保护 0.25s 切除故障
外部故障	单相接地故障	0.1s 区外故障切除 1s 重合闸动作后, 保护故障, 0.35s 后备切除故障
	两相或三相故障	0.1s 区外故障切除 1s 重合闸动作后, 0.25s 失灵保护切除故障
	单相接地故障	0.1s 区外故障切除 保护故障, 后备保护 0.35s 切除故障
	两相或三相故障	0.1s 区外故障切除 1s 重合闸动作后, 后备保护 0.25s 切除故障

通过实际的计算表明, 决定 MOV 吸收能量多

少的短路故障类型是区外三相短路故障, 而此时短路故障的持续时间最长, 为 450ms, 吸收能量为 49.6MJ。通过以上分析说明, 金属氧化物变阻器 MOV 在区内、区外单相或相间短路故障情况下, 仍能满足 MOV 在各种运行工况下的技术要求。

2.3 MOV 技术指标分析

(1) 在不同的故障点发生不同的故障类型时, 流过 MOV 的电流及所吸收的能量是不同的, 该套串补装置的 MOV 额定电压: 110kV, 最大连续运行电压: 94kV, 过电压保护水平: 2.3 p.u.。在电力系统发生各种短路故障时, MOV 上出现的最高电压。保护水平为 2.3 p.u., 也就是最高电压的峰值为 230 kV。

(2) 配合电流是系统短路故障瞬间, MOV 上出现的过电压达到过电压保护水平时, 流过 MOV 的电流。在实际的过程应用中, 其配合电流为 32kA, 小于产品技术说明所提供的 40kA 的配合电流, 此时最大的能量吸收能力为 50MJ 的热量。满足最严重短路故障, 保护水平为 2.3 p.u.的最高电压峰值要求。

(3) SIEMENS 提供的 MOV 每立方厘米的能力吸收能力, 17 个瓷套的 MOV 的能力吸收能力为 56MJ。实际工程应用上, 采用每相并联的瓷套数为 19 柱, 其中考虑 2 柱为备用, 每柱电阻片为 24 片。考虑到每个瓷套的 MOV 的电流分布不均匀, 在部分 MOV 吸收能量到达额定能量值时, 另外部分的 MOV 吸收的能量还未达到额定能量值, 使得 MOV 总体的能量吸收能力不能充分发挥出来。

2.4 MOV 启动方式

为避免 MOV 过负荷导致设备损坏, MOV 通常设有过负荷保护和短路故障保护, MOV 过负荷保护是用于串补线路发生内部故障时快速旁通电容器组和 MOV, 它可以有三种方式启动: (1)大电流流过 MOV 时; (2) MOV 吸收能量的速度 (dE/dT) 超过某一定值时; (3) MOV 的温度或 MOV 吸收能量超过某一定值时。MOV 过负荷时, 可以通过三相旁通断路器的保护方式, 完成保护功能: 三相旁通 (由大电流启动); 三相旁通 (由大能量 dE/dT 启动); 三相旁通 (由高温启动)。

通常, 串补线路的区外发生短路故障时, 流过 MOV 的电流较小, 旁路间隙和旁路断路器都不动作, MOV 此时应能够承受所吸收的能量。启动 MOV 过负荷保护的电流大于串补线路的区外发生短路故

障时流过 MOV 的电流并留有一定的裕度。在实际应用过程中, MOV 吸收的能量是无法直接测量得到的, 只能用计算模型来测得, 根据 MOV 伏安特性和实际测量的流过 MOV 的电流, 进行计算, 能量启动的定值小于 MOV 的能量额定值并有一定裕度; 同时 MOV 能量上升的速度也无法实际测得, 也由一定的计算模型进行计算。由于实际运行方式与设计的最大运行方式有所区别, MOV 能量上升速度也充分考虑了这种不同所造成的影响。

3 结束语

通过分析探讨内、外熔丝电容器与内熔丝产生过电压的原因, 提出了在不同故障类型下, 金属氧化物变阻器限制电容器过电压的方法和措施, 实现了提高长线路的稳定输送容量, 改善了并联线路之间的负荷分配, 降低了线路损耗, 有效提高了电压质量, 对这套串联补偿装置实现了有效的操作与控制, 它的使用具有明显的经济效益和社会效益, 但

是, 由于超高压线路使用串联补偿装置为数不多, 运行经验、检修经验不成熟, 若装置中选择带部分可控串联补偿方式, 对系统发生故障后消除震荡更为有益。

参考文献:

- [1] 陈长益. 500kV 三堡站的串联补偿装置[J].徐州电力科技,2000.08
- [2] SIEMENS 控制和保护装置产品说明书[Z]. 2000.
- [3] 杨昌兴,王敏.外熔丝保护性能与电容器组接线方式[J].浙江电力, 2005(6): 5- 8.

作者简介:

- 李 晔 (1964-), 男, 江苏徐州人, 变电技术专家, 高级工程师, 高级技师, 主要从事电力系统技术工作;
- 朱 江 (1968-), 男, 江苏徐州人, 工程师, 主要从事电力系统继电保护工作。