

[高压断路器]

基于ANSYS对高压断路器电容器绝缘性能研究

文/西安西电开关电气有限公司 陈杏伟 付杰 华俊杰 杨龙

双断口断路器由于对地电容的影响, 存在各断口电压分配不均的问题, 目前采用断口并联电容器均匀断口承受的电压, 使每个断口的工作条件接近相同。而电容器在断口的布置结构影响断口的电场强度。从电容器的作用与电容器内部结构出发, 结合三维仿真对不同安装方式下的电场强度进行计算对比, 得到其影响关系。考虑影响因素, 合理布置电容器利于降低电场强度, 提高断口绝缘可靠性, 为断路器结构设计提供一定依据。

随着电力建设的快速发展, 超高压、特高压线路已经成为国家的主干输电网络, 超高压、特高压电网使用的断路器多采用的是双断口或者四断口断路器, 由于多断口对地电容的影响, 必然存在各断口之间的电压分配不均, 使其中一个断口承受的电压过高, 影响绝缘可靠性与开断性能。为均匀各个断口的承受电压, 保证每个断口的工作条件接近相同, 目前普遍采用断口并联电容器。

目前使用的断口电容器有陶瓷电容器与油电容器。陶瓷电容器将多片电容片串联装入绝缘管内组成电容器组, 电容器组一般由高压断路器厂家组装; 油电容器是生产厂家直接封装电容芯在绝缘管中, 并充满绝缘油, 具有整体封装、安装方便和可靠性高等优点, 在高压断路器中应用越来越广泛。二维电场仿真不能真实反映电容器的空间分布以及电容芯矩形结构的影响, 因此计算结果不够精确, 为了准确分析断口电容的电场强度, 本文以1 100 kV双断口断路器为研究对象, 通过三维电场仿真分析油电容器安装方式对断路器电场强度的影响, 为电容器合理布置提供参考。

断口的不均匀性

在特高压领域, 双断口断路器应用最为广泛。如图1所示, 双断口断路器开断接地故障后的两个断口的电压分别为 U_1 和 U_2 , 因为存在对地杂散电容 C_0 , 导致断口分配电压 U_1 和 U_2 两者是不等的, 下面通过计算对比两者的关系。图2为断路器开断接地故障的等效回路, 图中, U 为等效电源; C_1 为断口1的等效电容; C_2 为断口2的等效电容; C_p 为断口并联电容; C_0 为对地电容。

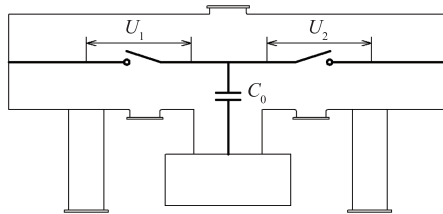


图1 断路器断口电压分布

图1中, 两个断口等效电容分别为 C_1 为断口1的等效电容, C_2 为断口2的等效电容, 得到

$$U_1 = \frac{U(C_2 + C_0)}{C_1 + C_2 + C_0} \quad (1)$$

$$U_2 = \frac{UC_1}{C_1 + C_2 + C_0} \quad (2)$$

因两个断口相同，固 $C_1=C_2$ ，所以式（1）、式（2）简化为

$$U_1 = \frac{U(C_1 + C_0)}{2C_1 + C_0} \quad (3)$$

$$U_2 = \frac{UC_1}{2C_1 + C_0} \quad (4)$$

断口电容 $C_1=C_2$ 通常为几十皮法，容值比较小，而对地杂散电容 C_0 一般为几十到上百皮法。由式（3）、式（4）可以看出，断口1的分压大于断口2，严重时达到80%以上。断口1承受的电压过高，严重威胁绝缘可靠性与开断性能。因此需增加断口均压电容 C_p ，使两个断口的分配电压接近相等。

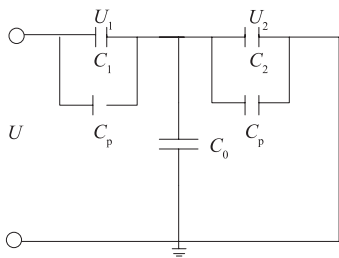


图2 带断口电容的双断口等效电路图

由图2可以得到

$$U_1 = \frac{U(C_1 + C_p + C_0)}{2C_1 + 2C_p + C_0} \quad (5)$$

$$U_2 = \frac{U(C_1 + C_p)}{2C_1 + 2C_p + C_0} \quad (6)$$

当 C_p 足够大时，通常选取为1 000~2 000 pF，由式（5），式（6）可得

$$U_1 = U \frac{C_1 + C_p + C_0}{2C_1 + 2C_p + C_0} \approx 0.5U \quad (7)$$

$$U_2 = U \frac{C_1 + C_p}{2C_1 + 2C_p + C_0} \approx 0.5U \quad (8)$$

由此可见，双断口断路器并联足够大的均压电容 C_p 后，可控制两个断口的电压 $U_1 \approx U_2$ ，两个断口的工作条件接近相同，达到提高断路器的绝缘可靠性与开断性能的目的。

电容器的分类

目前断路器用电容器种类有陶瓷电容器与油电容器，两者结构存在很大不同。油电容器如图3所示。

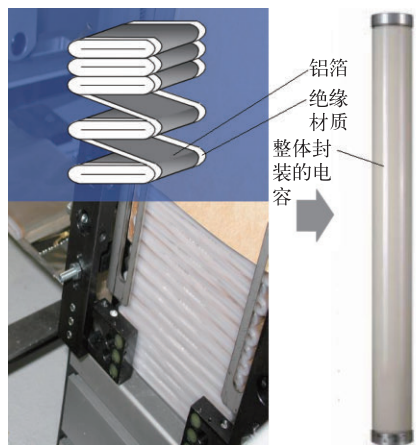


图3 油电容器

陶瓷电容器是多片电容片串联装于绝缘管内组成的电容器组，由断路器厂家组装使用，两端有通气孔，易进入杂物造成绝缘故障。油电容器是电容厂家直接封装电容芯在绝缘管中，电容芯由多层绝缘纸与铝箔互相缠绕而成，并充满绝缘油，具有整体封装、结构一体化、安装方便和可靠性高等特点，广泛应用于高压断路器中。

本文以油电容器为研究对象，针对油电容器的结构，通过三维电场仿真分析油电容器安装位置对断路器电场强度的影响。

电容器在断路器中应用

1. 电容器的布置结构

电容器在断路器灭弧室的布置结构如图4所示，电容器与断口为并联布置，固定安装于断路器灭弧室断口的两侧法兰上，法兰分别安装有动静侧屏蔽罩，将电容器两端的金属嵌件包裹在内，降低电容器分布电场。

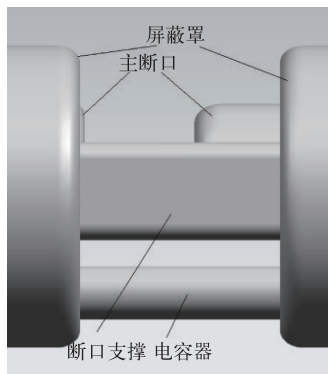


图4 电容器在断路器中布置结构

2. 电容器电场仿真分析

为了准确仿真分析断口电容的电场强度,本文采用仿真软件ANSYS对电容器的三维电场进行计算分析。

因电容芯是由多层绝缘纸与铝箔互相缠绕而成,为便于计算,简化模型可将其分为10等份,电容芯由绝缘管包裹,内部充油,同时考虑电容芯的截面是矩形形状。图5为电容器的简化模型。

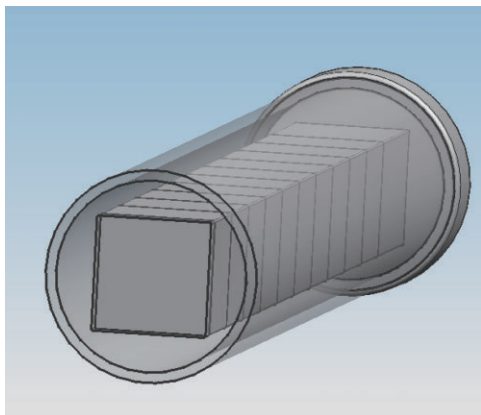


图5 电容器简化模型

因断路器灭弧室两个断口结构完全一样,所以对其中一个断口进行计算分析即可,断口电压不均匀系数按0.55计算,通过软件ANSYS建立断路器灭弧室三维仿真模型,通过计算得到电场强度结果。图6为断口的电场强度云图,通过不同工况的仿真结果来分析电容器绝缘性能的变化。

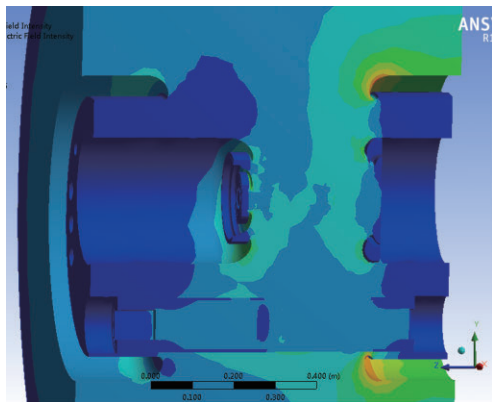


图6 电场强度云图

3. 电容器绝缘性能的影响因素

影响电容器绝缘性能的因素比较多,如电容器受潮、电容器本身质量问题及电容器安装方式等,本文主要针对电容器安装方式分析其对电场强度的

影响。

下面从两个方面分析电容器安装方式的影响:一是电容器与屏蔽罩的距离 L 变化的影响,如图7所示;二是电容芯矩形结构边角朝向的影响,如图8所示。

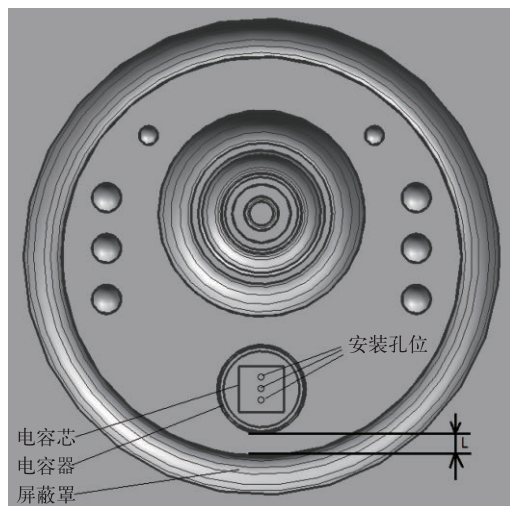


图7 电容器与屏蔽罩的距离 L

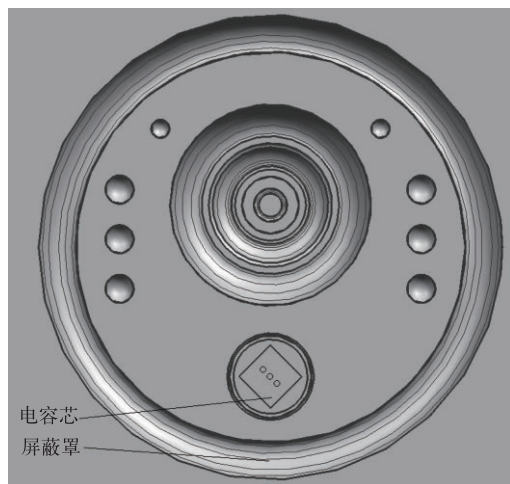


图8 电容芯尖角的布置

首先分析电容器与屏蔽罩的距离 L 变化的影响,通过改变电容器与屏蔽罩的最小距离 L 进行仿真计算,可得到影响关系曲线如图9、图10所示的实线。从图9中可看到,随着电容器与屏蔽罩的最小距离 L 的增大,电容器内部最大电场强度逐渐缩小,断口屏蔽罩的最大电场强度也随之缩小。反之,当两者距离较近时,电容器内部电场强度很高,容易引起内部击穿。由图10可看到对应屏蔽罩的电场强度很高,容易引起断口击穿。

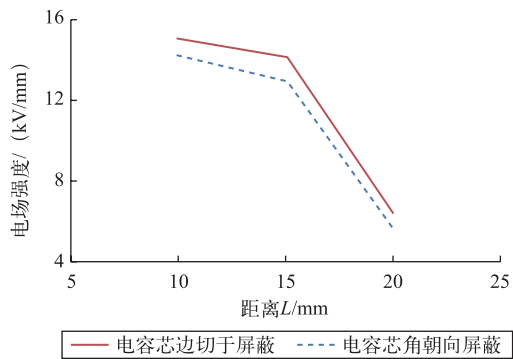


图9 电容器电场强度关系曲线

其次从电容芯矩形结构的边角朝向影响出发，通过改变电容芯矩形结构的边角朝向进行仿真计算，得到影响关系曲线。如图9、图10所示，实线代表电容芯的矩形截面的边切于屏蔽罩，虚线代表电容芯的矩形截面的角正对着屏蔽罩。从图9、图10可知，电容芯角正对屏蔽罩时的电场强度大于电容芯边切于屏蔽罩时的电场强度，因此在安装时要注意电容器的安装方向，有利于降低电容器的电场强度。

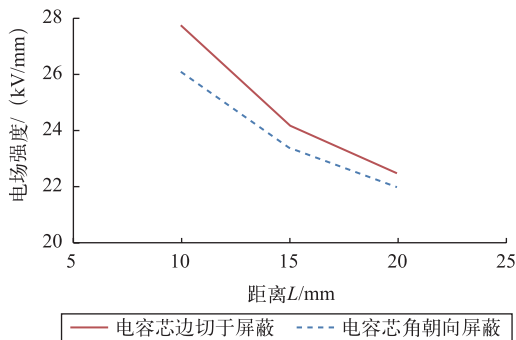


图10 屏蔽电场强度关系曲线

图7、图8中，电容器电容芯尖角朝向与电容的安装孔存在相对位置关系。当电容器在灭弧室中不同的位置布置时，应考虑控制安装孔位置让电容芯尖角随之转动，避开正对屏蔽罩，尽量使电容芯边切于屏蔽罩。

由上述仿真结果与分析可以看出，影响电容器电场强度的安装方式存在多方面因素。设计结构时，在有限的空间既需考虑电容器与屏蔽罩的相对位置，同时也应考虑电容器的安装方向，有助于降低电场，提高断口绝缘可靠性。

结束语

本文从电容器的作用与电容器内部结构出发，结合三维仿真对其在断路器中的布置方式进行分析对比，得出以下结论：

- 1) 电容器与屏蔽罩的距离影响断口的电场，随着距离增大，电场值减小。
- 2) 电容芯边角朝向与屏蔽罩的相对关系影响断口的电场，避开尖角朝向屏蔽罩利于降低电场值。

为控制电场，电容器在断路器中的布置结构应考虑电容器与屏蔽罩的相对位置，同时考虑电容器的安装方向。在灭弧室有限的空间内，将电场值控制在合适的范围，以提高断口绝缘可靠性。EA

(收稿日期：2021.09.07)

