

[变压器]

配电变压器绝缘电场仿真与优化研究

文/中国长江电力股份有限公司三峡电厂运行部 王仲昌

变压器是电力输配环节的关键设备，变压器的绝缘能力对于变压器的安全运行有着重要的意义。首先对一台10 kV配电变压器进行了二维轴对称建模。然后，通过有限元仿真方法，分析了变压器的主绝缘电场分布。最后，改变变压器主绝缘的结构，研究了变压器的电场优化措施和效果。结果显示，减小绝缘筒的厚度，可以在一定程度上降低绝缘最大电场值。

变压器作为电力输配环节的关键电力设备，在电厂和变电站的安全运行中起着重要作用。然而，由于变压器本身的特点，使得其在运行过程中存在着绝缘击穿、振动及发热等问题。这些问题或多或少对变压器的安全稳定运行产生影响，在严重的时候甚至会导致变压器发生故障。

变压器的绝缘主要包括内绝缘和外绝缘，但外绝缘只有在变压器有外壳时才存在。内绝缘可以分为主绝缘和从绝缘，其中主绝缘是变压器绕组间以及绕组对地之间的绝缘，从绝缘包括绕组匝间、层间和段间的绝缘。特别是变压器的主绝缘水平，对于变压器的设计而言至关重要。

采用有限元电场仿真的方法，对一台配电变压器主绝缘电场进行了分析，并初步探索了主绝缘的优化方法。

变压器模型

根据变压器电场分布的特点，可以采用二维或三维场分析。对于二维场域为一平面区域，对于三维场，场域为三维空间区域。严格来说，在实际的绝缘结构中的电场都是三维场，但当场强或电位受某一变量的影响很小时，则可忽略该变量，而将三维场简化为二维场，否则，必须按三维场处理。

对于本文分析的对象，利用对称性，可以简化为二维场来分析。要对变压器的低压绕组绝缘和高低压绕组绝缘进行电场分析，则需要建立精确的绕组模型。进行了适当的简化之后，分析的变压器模型如图1所示。

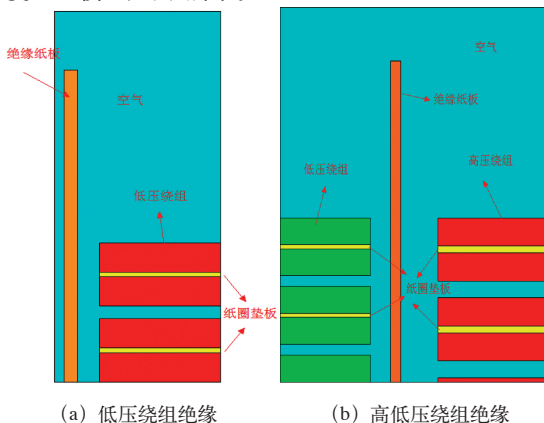


图1 变压器模型图

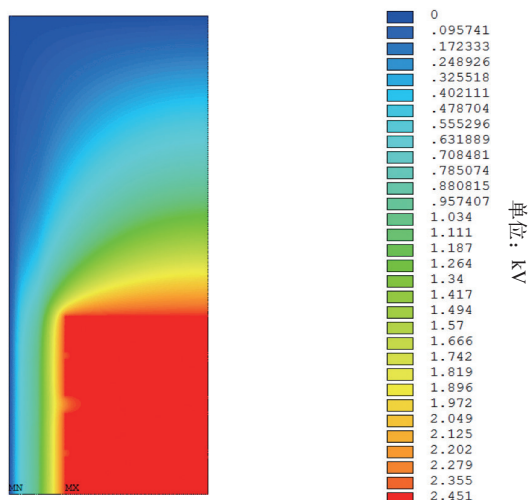
对此场域进行数值计算时，作如下假设。

- 1) 忽略变压器引线对其端部电场的影响。
- 2) 绕组匝间绝缘相对与场域来说尺寸非常小，可以忽略其对电场的影响。

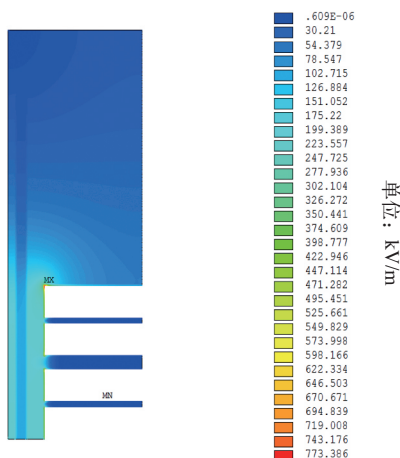
绝缘电场有限元仿真

图1a中有限元模型的工频耐压仿真，可以按

照静电场来考虑, 低压绕组加载的电压为相电压瞬时值的最大值即可。对于左边界和上边界分别对应变压器的铁心和铁轭, 可以认为是0电位; 右边界和下边界满足自然比较条件, 电压不需要进行设置。按照上述的加载方式对其进行电场计算, 可得到其电位及电场分布如图2所示。



(a) 电位云图



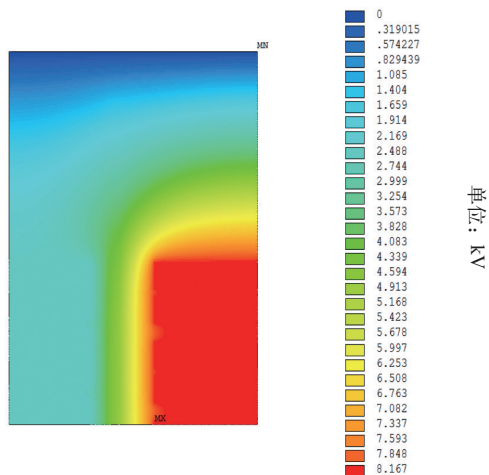
(b) 电场云图

图2 低压绕组绝缘电场计算结果

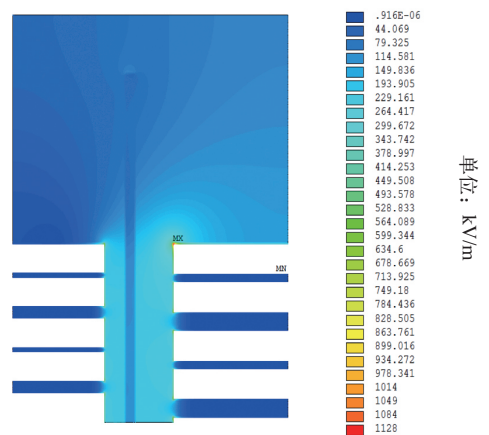
分析电场的计算结果可以发现, 整体电场最大值为773.39 kV/m, 位于上端低压绕组饼左上方的尖角处, 该场强值小于气体起晕场强。实际的变压器模型中, 绕组的截面并不是矩形的, 为有一圆角的矩形, 这时的电场强度会得到一定程度的改善。

图1b中有限元模型的工频耐压仿真, 可以按照静电场来考虑, 低压绕组加载的电压为低压侧相电压瞬时值的最大值即可, 高压绕组加载的电压为高压侧相电压瞬时值的最大值即可。上边界

分别对应变压器的铁轭, 可以认为是0电位; 左右边界和下边界满足自然比较条件, 电压不需要进行设置。按照上述的加载方式对其进行电场计算, 可得到其电位及电场分布如图3所示。



(a) 电位云图



(b) 电场云图

图3 高低压绕组绝缘电场计算结果

分析上面的电位云图可以发现, 在整个场域中, 从低压绕组到绝缘纸板附近的小部分区域电位变化比较剧烈, 高压绕组附近的小范围区域电位变化也比较剧烈; 高压绕组到铁之间的电压分布不均匀, 而在高低压绕组之间的区域内, 电压分布较为均匀。

分析电场的计算结果可以发现, 整体电场最大值为1 128 kV/m, 位于上端低压绕组饼的尖角处, 该场强值小于气体起晕场强。

改进后的绝缘电场分析

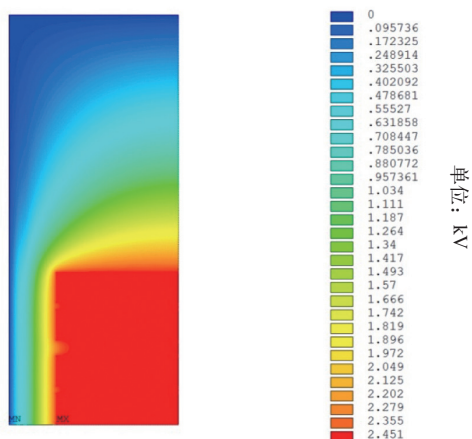
对变压器的绝缘结构进行优化可以通过两种途径来实现: 改变变压器绕组的尺寸和以及绕组间的

绝缘距离；改变绝缘隔板和绝缘纸筒的尺寸。

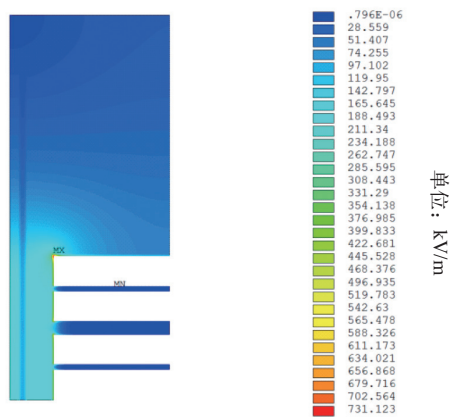
第一种优化方式会使得变压器的短路阻抗等参数发生变化，影响变压器的一些运行参数；同时也有可能导致变压器整体尺寸发生变化，使得所占空间变大，导致整体设计更改，因此不予以推荐。

第二种方案在变压器整体尺寸和绕组结构及尺寸不变的情况下，改变绝缘结构和尺寸从而使得空间场强分布趋于均匀，从而使得绝缘最大场强减小。文中也采用该方案对绝缘电场进行优化。

建立改进的低压绕组-铁心主绝缘端部电场分析模型，和改进前的模型相比，绝缘纸板左端的位置不变，厚度变成之前的一半。其电位及外边界加载条件和原模型的相同，对其进行电场计算，可得到其电位及电场分布如图4所示。



(a) 电位云图



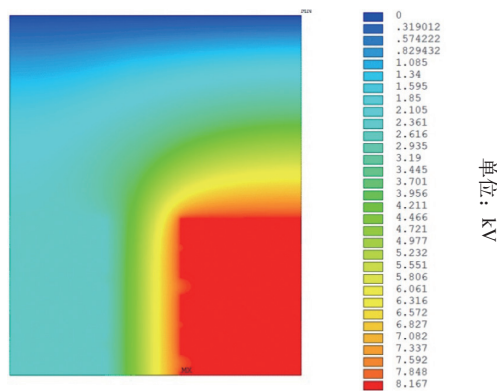
(b) 电场云图

图4 改进后低压绕组绝缘电场计算结果

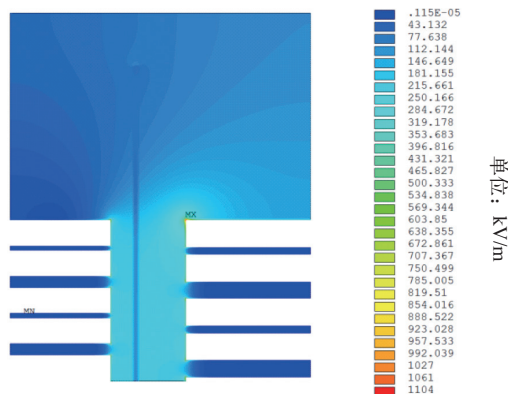
分析电场的计算结果并与改进前进行比较可以发现，整体最大场强所在位置没有发生改变，其值从773.39 kV/m降低到731.12 kV/m，降幅为5.4%。因此，减小绝缘纸板厚度，可以在一定程度

度上降低低压绕组绝缘的最大场强值。

建立改进的高压绕组-低压绕组端部绝缘电场分析模型，和改进前的模型相比，绝缘纸板左端的位置不变，厚度变成之前的一半。其电位及外边界加载条件和原模型的相同，对其进行电场计算，可得到其电位及电场分布如图5所示。



(a) 电位云图



(b) 电场云图

图5 改进后高低压绕组绝缘电场计算结果

分析电场的计算结果并与改进前进行比较可以发现，整体最大场强所在位置没有发生改变，其值从1 128 kV/m降低到1 104 kV/m，降幅为2.1%。因此，减小绝缘纸板厚度，可以在一定程度上降低高低压绕组间绝缘的最大场强值。

结束语

对一台配电变压器的绕组主绝缘进行了电场仿真，并进行了结构优化研究。结果显示，减小低压绝缘纸筒及高低间绝缘纸筒的厚度，可以在一定程度上减小绝缘最大场强值。本文电场仿真过程中，忽略了匝间压差对绝缘电场的影响。后续的研究中，可以对该部分的影响予以考虑。EA

(收稿日期：2017.02.11)

(编辑：刘群点)