「变压器」

传动变压器外部母线短路受力研究

文/保定天威特变电气有限公司　李　靓　石　成　陈慧争
保定天威保变电气股份有限公司　张俊杰

介绍了通过磁场仿真软件Magnet联合有限元分析软件ANSYS对传动变压器外部铜母线短路工况时的电磁力分析方法。

传动用变压器是一种变流变压器，通常易受到的短路的冲击作用。在变压器设计过程中，内部结构特别是绕组耐受短路的能力更多的被关注。但是在短路电流产生的电磁力作用下，外部引线受到较大的应力，甚至会破坏铜排母线的支撑绝缘子和套管，发生不可逆的损坏设备的事故。

本文采用三维磁场仿真软件Magnet计算了短路工况下母线周围产生的磁场及其电磁力，后又通过ANSYS针对建立的母线三维模型进行了机械强度的有限元分析。

理论基础

变压器正常运行时，母线上产生的电磁力计算公式为式（1）

$$F=\frac{\mu_0}{2\pi}\times\frac{\sqrt{3}}{2}\times i_{smax}^2\times\frac{l}{a} \qquad (1)$$

式中，μ_0为真空磁导率（$4\pi\times10^{-7}$）；i_{smax}为额定电流峰值；l为导电排长度；a为导电排间距，计算结果单位N。

三相母线并行布置时，通过的电流分别为I_{k1}、I_{k2}、I_{k3}，见图1。以B相为例，其所受到的电磁力见式（2）。

$$F_2=I_{k2}^2B_1l-I_{k2}^2B_3l \qquad (2)$$

式中，B_1为A相母线通过的电流产生的磁场；B_3为C相母线通过的电流产生的磁场；l为母线长度。

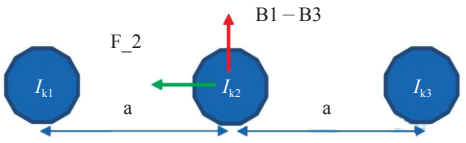


图1　三相母线受力示意

母线磁场的有限元分析

某传动变压器ZSSI－30500/13.8，短路阻抗为7.5%，三相对称短路电流为53.46 kA。高压引出母线主要参数见表1。

表1　母线主要参数

长度l /mm	相间距a /mm	额定电流I_n /A	截面积 /mm	支撑数	支撑间距 /mm
2 390	280	1 276	20×100	2	1 000

1. 模型边界条件及激励源

建立三维模型见图2，B相母线位于原点。边界条件设母排距下边界500 mm（距油箱距离），其他边界距离母线6 000 mm。

激励电流按对三相对称对地短路电流53.46 kA，设B相相角为0°，A、C相各为－120°和＋120°。

2. 磁场仿真结果

忽略母排的涡流损耗，磁密有效值（一个周期的有效值）如图3所示。

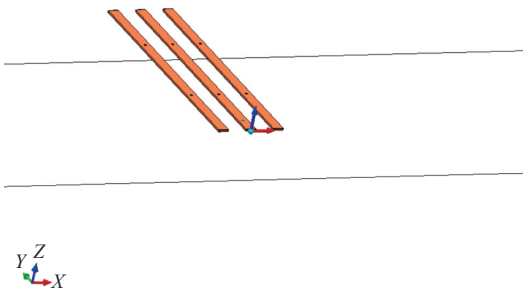


图2　母线三维模型

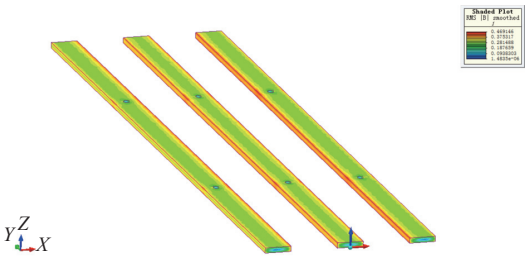


图3　磁密分布云图

但电流为三相交流，因此三相电流不会在同一时刻达到最大值。当0°时刻时，B相电流最大，A、C相电流只为最大电流的一半；90°时刻时B相电流最小。

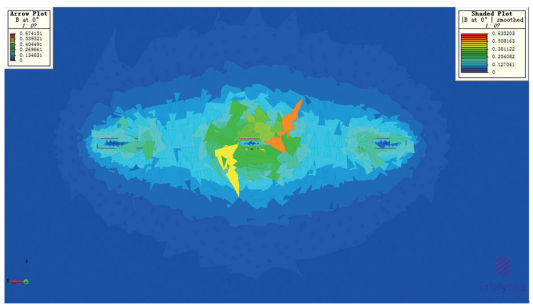


图4　0°时刻时磁场矢量分布

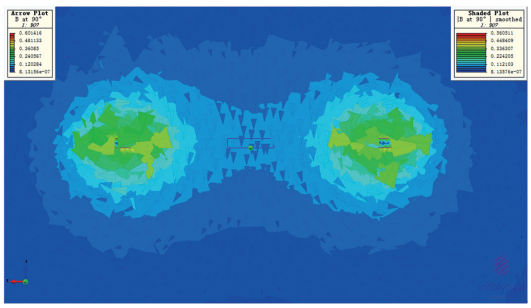


图5　90°时刻时磁场矢量分布

3. 受力分布云图

当0°、90°、120°时，受力*x*方向分量云图如图6～图8所示。

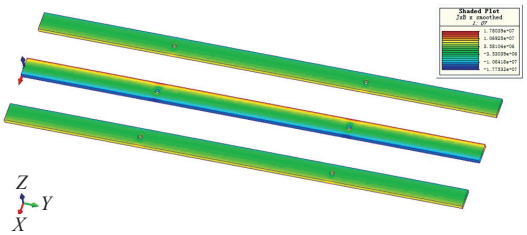


图6　0°时刻时母线受力云图

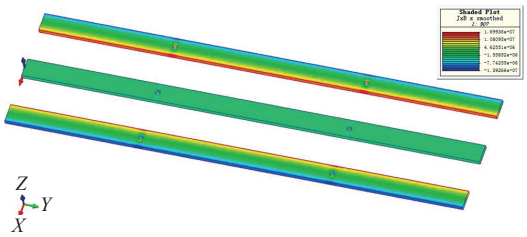


图7　90°时刻时母线受力云图

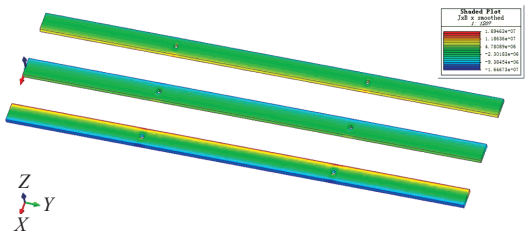
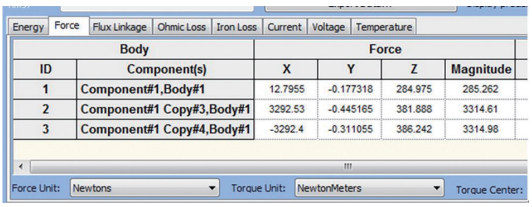


图8　120°时刻时母线受力云图

从图7可以看出，90°时刻时B相母线受力为0，与磁场时变同步。

4. 突发短路力大小

后处理数值结果如图9所示。



Energy | Force | Flux Linkage | Ohmic Loss | Iron Loss | Current | Voltage | Temperature

Body		Force			
ID	Component(s)	X	Y	Z	Magnitude
1	Component#1,Body#1	12.7955	-0.177318	284.975	285.262
2	Component#1 Copy#3,Body#1	3292.53	-0.445165	381.888	3314.61
3	Component#1 Copy#4,Body#1	-3292.4	-0.311055	386.242	3314.98

Force Unit: Newtons　Torque Unit: NewtonMeters　Torque Center:

图9　母线受力数值

因为B相母排位于x轴原点，且B相在0°磁场达到最大值，此时的A、C相受最大电动力。电动力计算结果为3 314 N（2 390 mm长度），沿母排长度方向均匀分布。

母线应力分析

1. 应力模型及载荷

建立一相母线模型，母排长度2 390 mm，高度480 mm。如图10所示。

约束条件为母排左侧端面、水平2个固定孔和垂直一个固定孔作为固定约束，模拟母线所接

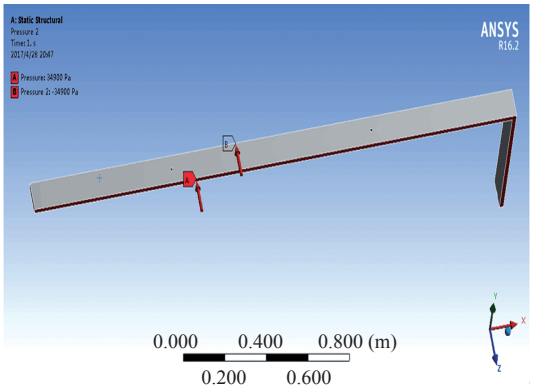


图10　母线模型

的套管端子和支撑绝缘子。

载荷按照磁场仿真出的结果，水平加载3 314 N。

2. 应力仿真分析

应力云图和形变分析结果如图11～图15所示。

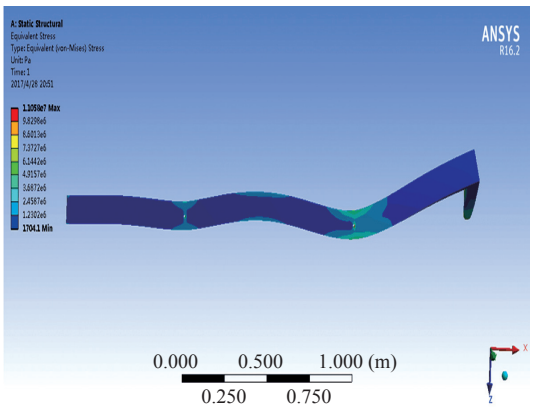


图11　母线受力云图

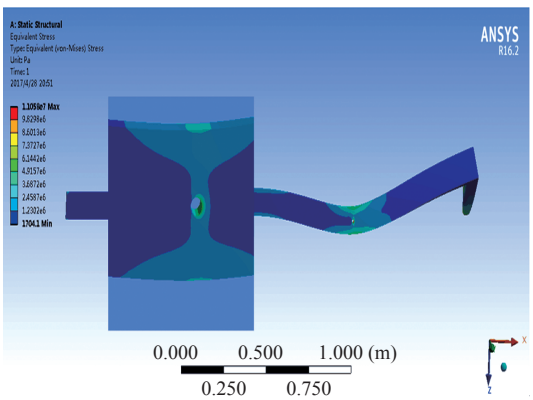


图12　孔A受力云图

结束语

1）从分析结果可以看出，母线开孔处所受应力最大为11 MPa，小于绝缘子抗弯强度，变形量仅为0.06 mm，因此发生短路时该母线是安全的。

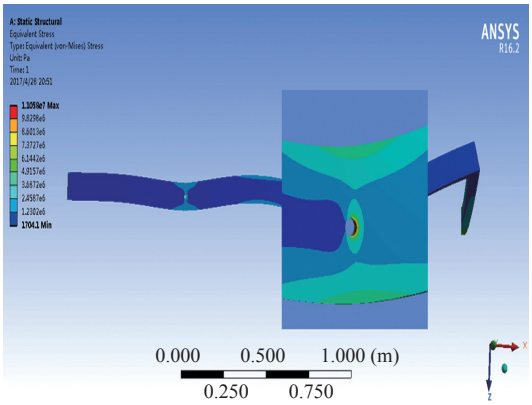


图13　孔B受力云图

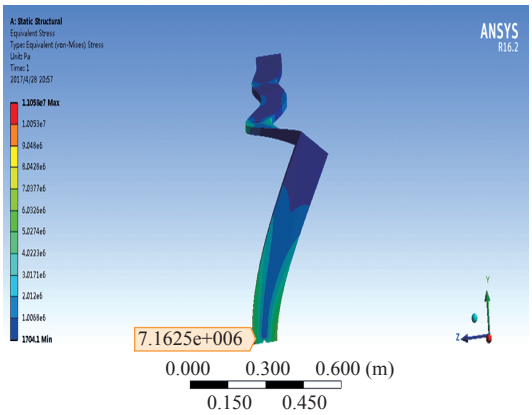


图14　母线自由端受力云图

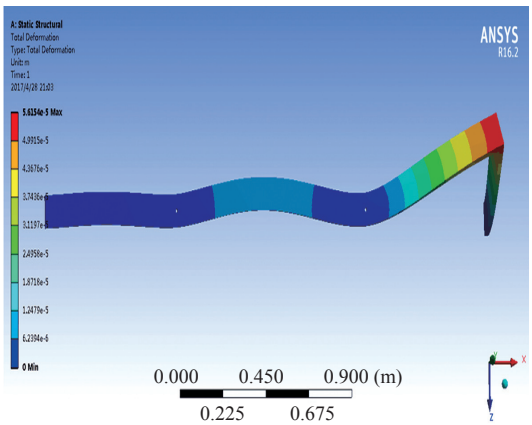


图15　母线应变云图

2）通过磁场仿真软件Magnet联合有限元分析软件ANSYS对传动变压器外部母线电磁力进行了分析，为解决该类问题提供了新的技术途径。**EA**

（收稿日期：2017.10.30）
（编辑：白文亭）