

[特高压电抗器]

特高压电抗器整体换相运输的研究及实施

文/卓红 孔令凯 张鹏飞 张昭 韩玉红
西安西电变压器有限责任公司

特高压输电具有输送距离远、容量大及损耗低的特点。目前，我国特高压核心技术和设备已经实现了国产化，这对优化能源配置、保障国家能源安全和电力可靠供应具有重要意义。

到目前为止，我国在运行和即将投运的特高压线路已经达八条之多，特高压电力设备随着投运时间的增加，设备出现故障逐渐增多，电站检修期快速换相保障特高压线路稳定可靠运行成为了特高压电站运维的重点。

整体换相可以缩短换相时间，由于是带油整体运输，器身一直浸在油中，不用担心器身受潮而引起质量问题，只要能解决运输环节存在的问题，将风险降低到可控范围，整体换相将成为特高压电站运维中考虑的一个重要方向。本文以一台BKDF-240000/1000的特高压电抗器整体换相，简述了从前期技术分析准备到后期整体换相过程。

整体运输工况仿真

仿真过程采用专业仿真软件进行，该仿真软件融合结构、热、流体及电磁等多物理场仿真平台，是当今应用最广泛的大型通用有限元软件之一，其计算精度已在多个行业得到验证。

1. 计算模型

仿真的三维模型采用NX创建，对模型局部进行处理，简化对整体强度影响不大的结构，减少计算量，提高分析效率。电抗器内部器身及油采用质量点（Point-mass）进行等效，保证模型整体质量与实际运行时质量相同。因电抗器大部分结构为薄板

结构，故采用壳单元进行计算，可有效减少网格数量，同时提高计算精度，套管等采用实体单元，油箱底部支座约束。根据以上情况建立有限元仿真三维模型，如图1所示。

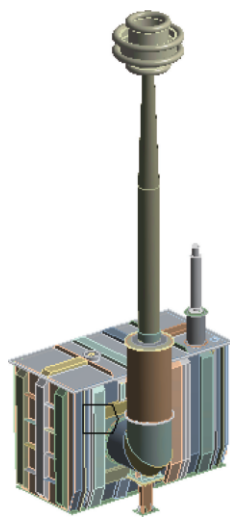


图1 有限元模型

2. 约束、载荷及仿真工况

考虑到运输车辆车板具有角度调节功能，故倾斜角度按照倾斜 2° 考虑，采用箱底及支座底部固定，约束六个自由度。

仿真计算工况：长轴方向倾斜 2° ，对所有约束的位置施加加速度励磁，大小为 0.5 g 。

3. 划分网格

采用壳单元及实体单元混合进行计算，并且对单元大小进行控制，网格信息见表1，网格模型如图2所示。

表1 网格划分

网格类型	节点数量/万	单元数量/万
壳、实体混合单元	9.7	6.6

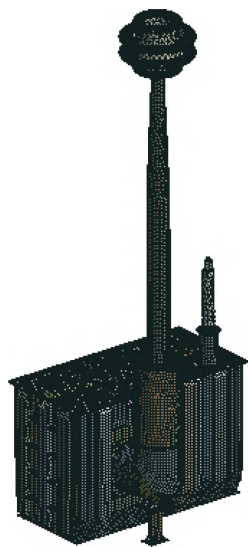


图2 网格模型

4. 定义材料

在材料库中创建相关材料，其密度、弹性模量、泊松比等均与所提供计算条件一致。具体材料参数见表2。

表2 材料属性

材质	弹性模量/ GPa	泊松比/ u	密度/ (kg/m ³)	屈服极限/ MPa	抗拉 极限/ MPa
Q345	200	0.29	7850	345	630
陶瓷	110	—	2700	—	40

5. 计算结果

整体换相运输中平整路面的仿真计算不考虑，仿真计算中只需考虑苛刻的斜坡路面，仿真计算分析斜坡路面的运输状态，即长轴方向倾斜2°，对所有约束的位置施加加速度励磁，大小为0.5 g。

给定励磁下电抗器的变形量如图3所示，最大的变形量约为58.8 mm，最大变形位于套管上端部位置。给定励磁下电抗器的等效力分布云图如图4所示，最大应力值约为209 MPa，最大应力位于箱壁与出线装置连接加强板位置。给定励磁下套管

及升高座的等效力分布云图如图5所示，最大应力值约为136 MPa，其中套管瓷套的最大应力约为16 MPa。

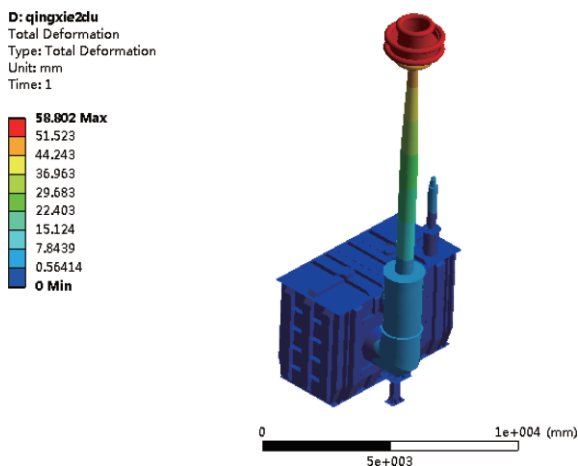


图3 电抗器的变形量

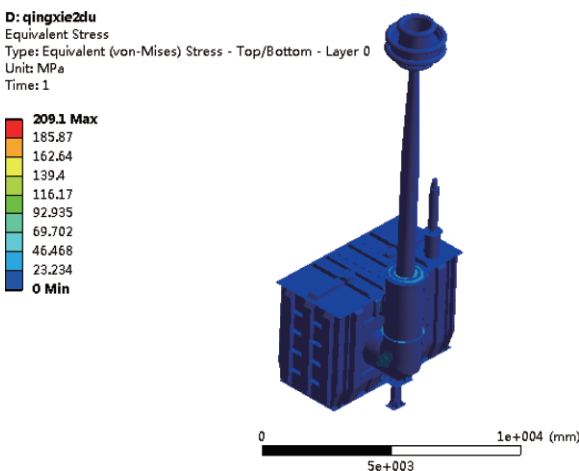


图4 电抗器的等效力

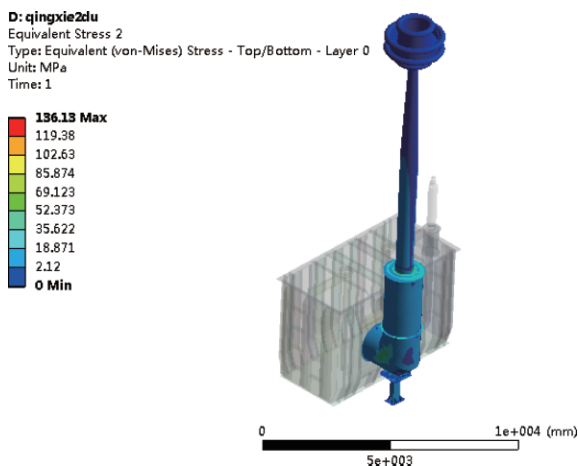


图5 套管及升高座等效力

仿真结果分析

通过有限元仿真分析发现,最大变形量位于套管顶部,变形量约为58.8 mm,属于套管的弹性变形;最大应力位于箱壁与出线装置连接加强板位置,最大应力值为209 MPa,此应力值小于材料的屈服极限345 MPa;套管最大应力位于根部,其值为16 MPa,套管陶瓷材料的抗拉极限为40 MPa,安全裕度为2.5,高于抗震设计规范中对于套管安全系数不小于1.67的要求。根据有限元分析,此整体换相运输方案满足安全要求且留有足够的安全裕度可以实施。

特高压电站现场换相

根据有限元仿真,电抗器运输采取在斜坡上调整车板角度,车的加速度控制在0.5 g的运输方案完全可行,特高压电站最终采取了此方案。

现场换相执行中,首先用液压千斤顶将电抗器匀速顶起至与车板同高度的轨道上,使用液压千斤顶将其推到车板上,用液压千斤顶顶起电抗器抽掉车板上的钢轨,将电抗器缓慢落下完成上车,如图6所示;电抗器运输移动中,运输车辆加速度严格控制控制在0.5 g以下;下车采用与上车同样的方法,电抗器下车后通过钢轨往基础位置推移,如图7所示。

整个运输过程中,通过安装在油箱上的冲撞记录仪实时监视运输移动中的加速度,在5°斜坡上通过调节车板使电抗器长轴倾斜角度保持在2°,5°长斜坡如图8所示。



图6 电抗器整体上车



图7 电抗器整体通过钢轨往基础推移



图8 特高压电站5°斜坡路面

结束语

本文对一台BKDF-240000/1000特高压电抗器整体换相进行了仿真计算和分析,通过有限元仿真计算分析,对现场整体换相存在的风险提前预判,并最终指导了此次整体换相工作的顺利实施。此次有限元仿真不仅提前计算分析验证了方案是否可行,而且在整体换相中采集的数据也对仿真计算分析结果进行了验证,为以后类似的有限元计算分析积累了宝贵的经验,有助于以后类似的计算分析结果更加接近真实情况。EA

(收稿日期: 2022-06-02)