「环网柜」

12 kV固体绝缘环网柜温升研究与优化

文/中国能建集团装备有限公司　黄　飞

针对固体绝缘环网柜的密封结构温升难解决的问题，在对原有设计结构剖析的基础上，建立三维模型，采用ANSOFT进行磁热耦合和ICEPAK进行机柜级热仿真相结合的分析方法，再通过实际温升试验验证，优化设计，最终产品满足GB／T 11022—2011《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》中规定的温升标准要求。

固体绝缘环网柜是一种集外固封、绝缘母线及组合单元小型化技术于一体，开关与高压带电部件采用环氧树脂进行整体浇注，以环氧树脂固封作为带电体对地及相间绝缘的新型配电设备。12 kV固体绝缘环网柜作为替代SF_6气体绝缘环保型配电设备，有其优势，但自身存在散热差的特点。

温升试验属于型式试验项目之一，具体试验内容和要求见GB/T 11022—2011《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》。

研究的12 kV固体绝缘环网柜主要导电回路都被环氧材料和硅橡胶材料包裹，隔离开关采用空气绝缘的方式，但其所处空间尺寸非常小，且处于密闭状态，散热条件非常差，极易出现温升不达标的问题，而设备的制造材料，在长期的高温状态下，就会产生变形及热老化，降低产品的绝缘性能，从而引起产品质量劣化，产品可靠性降低，严重时会引起电气事故，影响正常运行。

基于温升问题的重要性及解决的难度，对该问题进行了重点研究，不断优化结构，加大温升裕度，以保证产品能够长期稳定地运行。

问题提出

固体绝缘环网柜绝缘部分主要由环氧树脂浇注的绝缘模块、导电杆、真空灭弧室、软连接、隔离开关和静触头等构成，如图1所示。

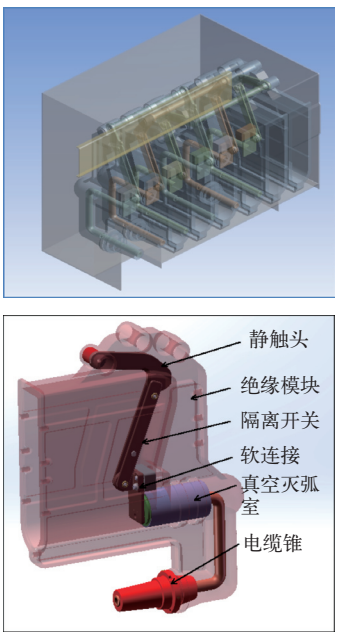


图1　12 kV固体绝缘环网柜绝缘部分模型

固体绝缘环网柜绝缘部分主要采用空气绝缘和固体绝缘相结合的绝缘方式。初期设计的样机进行温升研究性试验，关键考察点数据，如表1所示。

表1　样机首次进行温升研究性试验

序号	测温点位置	标准/K	热平衡	温升/K	离标准偏差/K	备注
1	A相隔离刀转轴处	65.0	86.1	73.0	−8.0	超标
2	A相隔离刀末端	65.0	78.2	65.1	−0.1	超标
3	B相隔离刀转轴处	65.0	86.4	73.3	−8.3	超标
4	B相隔离刀末端	65.0	88.0	74.9	−9.9	超标
5	C相隔离刀转轴处	65.0	80.6	67.5	−2.5	超标
6	C相隔离刀末端	65.0	81.6	68.5	−3.5	超标

由表1可知，初期设计的样机进行的温升试验，检测出隔离开关转轴处和隔离开关末端温升超标严重。为解决温升超标问题，从以下两个方面进行优化设计。

1）利用计算机软件ANSOFT进行导电回路磁热耦合仿真，优化导体接触方式、异形导体形状及导电截面积，降低自身发热，从源头减少焦耳热的产生。

2）利用计算机软件ICEPAK进行机柜级热仿真，搭建合适的散热通道，增加导体本身的散热系数，将产生的热量有效的散发出去。通过堵疏结合的方式，降低导电回路的温度。

磁热耦合仿真

1. 技术参数

由于施加的电流小于1 000 A，本仿真仅模拟导电回路因回路电阻而产生焦耳热，仿真得出的温度分布是焦耳热的直接体现，不存在热能辐射、对流等散热情形，仿真结果有利于检查导体结构对温度分布的影响。产品主要技术参数如表2所示。

表2　12 kV固体绝缘环网柜参数

序号	参数名称	数值
1	额定电压/kV	12
2	额定电流/A	700
3	A相回路电阻/μΩ	190（假定值）
4	B相回路电阻/μΩ	190（假定值）
5	C相回路电阻/μΩ	190（假定值）

2. 仿真结果

绝缘模块磁热耦合温度分布图如图2所示，内部导电回路整体磁热耦合温度分布图如图3所示。

利用ANSOFT软件进行磁热耦合仿真，可知主要是隔离开关末端和静触头接触处发热较高，B相隔离开关温度均偏高，需要优化结构，减少收缩电阻，均匀化导电截面积。

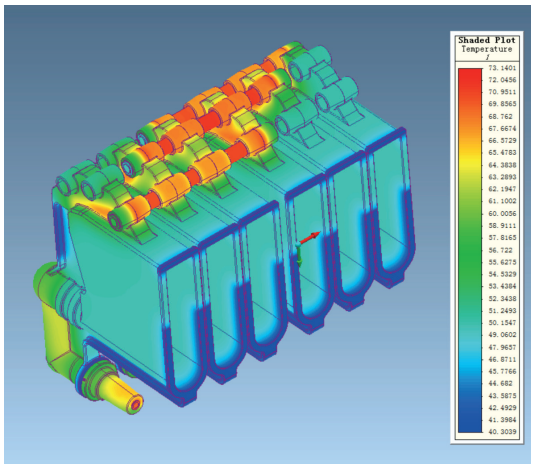


图2　绝缘模块磁热耦合温度分布图

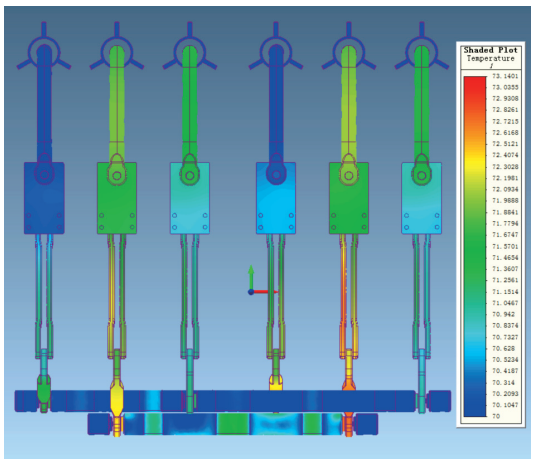
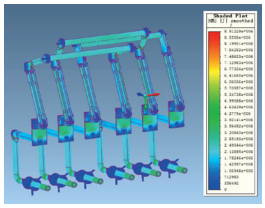
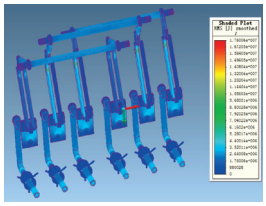
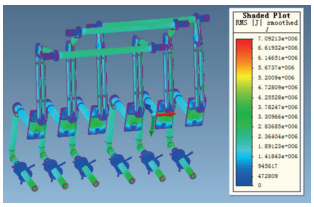
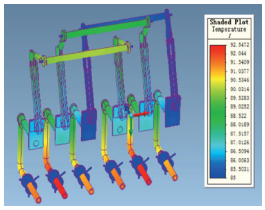
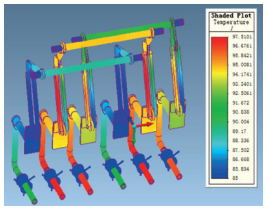
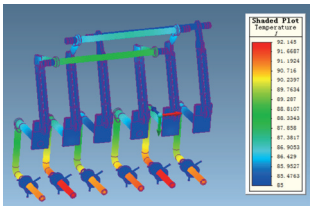


图3　内部导电回路整体磁热耦合温度分布图

因隔离开关仿真结果温升普遍较高，考虑优化隔离开关的结构，针对不同规格隔离开关在相同条件下进行了对比仿真分析，如表3所示。通过比较表3中不同规格隔离刀的磁热耦合的仿真结果，可知选用扁平结构的隔离开关，在减小导电

表3　不同形状隔离开关磁热耦合仿真

类别	隔离开关规格8 mm×20 mm	隔离开关规格10 mm×20 mm	隔离开关规格6 mm×30 mm
主要参数	其余仿真参数相同		
导电回路涡流电流密度图			
导电回路热分布（环温20 ℃）			
	导电回路中最高点温升72.5 K	导电回路中最高点温升77.5 K	导电回路中最高点温升71.4 K

截面积的情况下，反而可以得到更低的温升表现。

机柜级热仿真

利用软件ICEPAK进行机柜级热仿真，考察导电回路通电发热后热能的分布和散热形式，以及箱体对热量传递的影响。

（1）技术要求

温升标准参考GB/T 11022—2011《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》。

根据相关标准规定：人员可触及外壳部分最高温度为70 ℃，温升为30 ℃；人员不可触及外壳部分最高温度为80 ℃，温升为40 ℃；导体最高温度为115 ℃，温升为75 ℃，触头最高温度为105 ℃，温升为65 ℃。

在温升试验中，通常会以1.1倍额定电流作为试验电流，以代替太阳辐射造成的温升。

（2）软件设定

初始温度为20 ℃；三相电相位角为0°、120°、−120°。

（3）仿真结果

机柜级热仿真结果如图4所示，因密封箱体上顶板与绝缘模块上部间距较小，箱体上部有效散热面积比较小，热量集中在顶部不易散出，进而导致母线温升居高不下。考虑到给密闭箱体更多的散热空间，对箱体进行优化，提升箱体高度，并在箱体内部表面增加散热涂层。

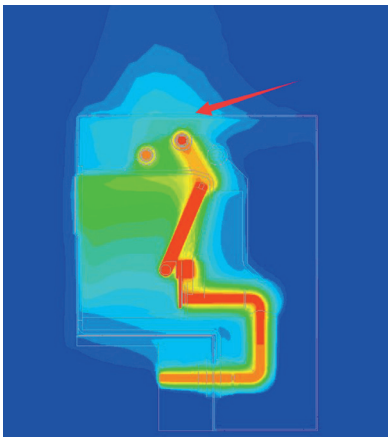


图4　密封腔室内外的热能分布

结构优化后的温升试验

基于上述仿真研究和总结温升试验，整改了箱体和部分零部件后，进行温升试验，如表4所示。

样机的温升如表4所示，再次试验已经顺利达标，并且有至少8.5 K以上的设计余量。

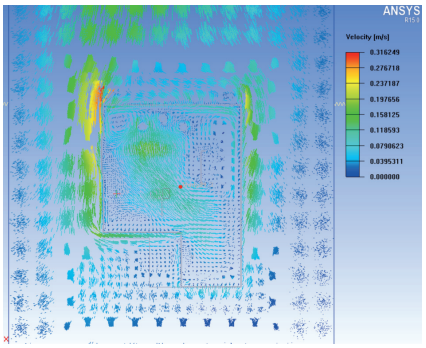
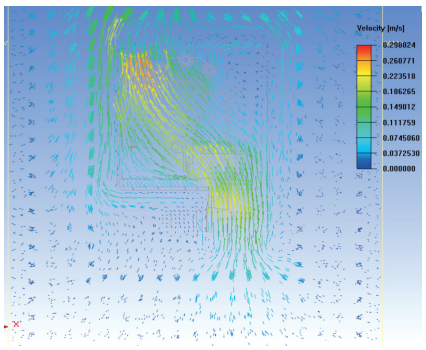
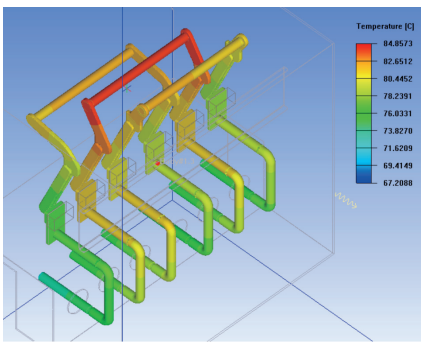
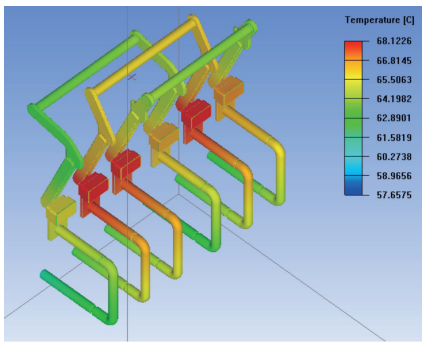
后续优化设计及整改

鉴于温升的重要性，以及不合格后造成的后果，虽然温升试验达标了，仍然需要进一步优化设计，提升样机性能，将温升的余量控制在12～15 K。比如绝缘模块上细节部分的处理，暂未做试验，仿真结果如表5所示。

表4　样机优化后进行温升研究性试验

序号	测温点位置	标准/K	热平衡/K	温升/K	离标准偏差/K	备注
1	A相隔离开关转轴处	65.0	72.4	55.2	+9.8	满足要求
2	A相隔离开关末端	65.0	73.7	56.5	+8.5	满足要求
3	B相隔离开关转轴处	65.0	73.6	56.4	+8.6	满足要求
4	B相隔离开关末端	65.0	73.6	56.4	+8.6	满足要求
5	C相隔离开关转轴处	65.0	69.6	52.4	+12.6	满足要求
6	C相隔离开关末端	65.0	70.7	53.5	+11.5	满足要求

表5　绝缘模块上细节优化前后温升对比图

类别	绝缘模块有加强筋结构	优化绝缘模块加强筋结构
绝缘模块正中间气流速率		
导电回路温度分布		

通过上述仿真可知，优化主绝缘模块的结构后，内部散热通道比较合理，内部导电回路整体温升下降裕度空间还是比较大的，但有待进一步试验论证。

结束语

利用计算机仿真技术和温升试验相结合的组合设计方式，进行固体绝缘环网柜结构优化设计，是产品温升数据符合了GB/T 11022—2011《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》中规定的温升标准要求，并且留有较大裕度。**EA**

（收稿日期：2017.10.27）

（编辑：刘群垚）