

# 高压开关柜温度场数值分析

陈荆洲, 杜志叶, 王 栋, 任君鹏, 阮江军  
(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 高压开关柜过热是威胁其安全稳定运行的关键因素, 准确计算开关柜内部温升很有必要。本文采用 Solidworks 软件建立开关柜精细 3D 有限元模型, 基于 Icepak 软件进行温度场和流体场的数值计算和分析。考虑空气对流散热和风扇强迫风冷的因素, 通过控制热流路径上的空气网格尺寸和形状, 实现了复杂模型温度分布的准确求解。以典型 10kV 高压开关柜为对象, 根据开关柜各个部位的发热量, 计算了柜体内的温度分布, 计算结果表明断路器模块是开关柜中温度较高的区域, 最高温度出现在上动触头处, 是开关柜温度监控的关键。对开关柜进行了温升试验, 通过对比仿真计算结果和试验结果, 验证了仿真计算的准确性。

**关键词:** 高压开关柜; 过热; 温度场; 流体场; 数值仿真

**DOI:** 10.12067/ATEEE1611065      **文章编号:** 1003-3076(2018)01-0038-07      **中图分类号:** TM591

## 1 引言

高压开关柜作为电力系统中重要的终端执行元件, 其安全运行决定着电力系统供电的安全性和可靠性<sup>[1-3]</sup>。在实际运行中, 发热问题是影响开关柜安全运行的关键因素, 近年来由于过热问题引起开关柜故障的案例越来越多, 已经引起了生产运营单位和研究机构的广泛关注<sup>[4-8]</sup>。高压开关柜主要采用封闭式结构, 散热性能较差, 当工作在高电压、大电流条件下就会产生温升, 严重时将会严重影响开关柜的运行状态<sup>[9]</sup>。目前, 国内外的主要工作集中在开关柜在线测温装置的研发和改进上, 应用较广泛的测温方法包括传统的温度传感器测温法、红外测温法和光纤光栅测温法<sup>[10-15]</sup>。

为进一步探究开关柜温度分布特点, 合理选择温度监测传感器布置位置, 提高过热监测的准确性, 需要获得开关柜内温度的特征。目前在开关柜内温度分布计算方面, 主要有平均温升简易算法、热路方法和温度场数值模拟算法三种。其中平均温升简易算法<sup>[16]</sup>是一种较粗略的估算方法, 该方法形式简单且易于使用, 但是误差略大于其余两种方法, 在实际应用中有一定的指导价值; 热路方法<sup>[17, 18]</sup>利用热电类比法建立开关柜某部件的热路模型然后求解温度

场, 但是该方法求解的精度不是很高, 需要进一步修正完善; 随着计算机技术的飞速发展, 通过多物理场耦合计算的数值模拟算法逐渐成为主流<sup>[19-21]</sup>。数值模拟算法虽然一定程度上提高了开关柜温度场求解的准确度, 但目前的研究分析大多对开关柜模型作了极大的简化或者单独考虑某个部件的温度场, 没有对开关柜的整体模型作全面的分析计算, 同时也未考虑开关柜的风机作用, 会影响开关柜温度场的求解精确度。

本文以 10kV KYN-28A 高压开关柜为研究对象, 通过 Solidworks 建立开关柜的实体模型, 利用 ANSYS Icepak 对开关柜的温度场、流体场进行数值计算和分析, 得到了开关柜整体的温度分布特征, 并且将仿真结果与温升试验数据进行对比, 验证了计算方法的准确性。

## 2 理论基础及控制方程

开关柜内的热量主要来自于回路载流导体的焦耳产热, 导体产生的焦耳热主要以热传导的方式在固体间传递, 同时通过热对流和辐射换热传递到柜体内空气中, 因此数值计算需要同时求解温度场方程和流体场方程。

**收稿日期:** 2016-11-25  
**作者简介:** 陈荆洲(1994-), 男, 湖北籍, 硕士研究生, 研究方向为多物理场耦合分析计算;  
杜志叶(1974-), 男, 河南籍, 副教授, 博士, 研究方向为电磁场数值计算、高电压与绝缘技术等。

## 2.1 温度场控制方程

开关柜内的热量传递包含三种基本方式: 热传导、热对流和热辐射。三种传热方式的方程分别如下所示:

$$Q_1 = -\lambda A \frac{\partial t}{\partial x} \quad (1)$$

$$Q_2 = h_c A (t_w - t_f) \quad (2)$$

$$Q_3 = \delta_0 A \varepsilon_{st} (T_1^4 - T_2^4) \quad (3)$$

式中,  $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$  分别为热传热量、热对流换热量和热辐射换热量;  $A$  为换热面积;  $\lambda$  为导热系数;  $h_c$  为对流换热系数;  $t_w$  为固体表面温度;  $t_f$  为周围空气温度;  $\delta_0$  为斯蒂芬—玻尔兹曼常数, 其值为  $5.669 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k}^4)$ ;  $\varepsilon_{st}$  为系统发射率;  $T_1$  为物体表面热力学温度;  $T_2$  为环境温度的热力学温度。

## 2.2 流体动力学控制方程

计算流体动力学一般包含三组控制方程, 分别是质量守恒方程、动量守恒方程和能量守恒方程。

质量守恒方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho V) = 0 \quad (4)$$

动量守恒方程:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u V) = \text{div}(\mu \cdot \text{grad} u) - \frac{\partial p}{\partial x} + S_u \quad (5)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v V) = \text{div}(\mu \cdot \text{grad} v) - \frac{\partial p}{\partial y} + S_v \quad (6)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w V) = \text{div}(\mu \cdot \text{grad} w) - \frac{\partial p}{\partial z} + S_w \quad (7)$$

能量守恒方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \text{div}(\rho T V) &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \\ &\frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial T}{\partial z} \right) S_T \end{aligned} \quad (8)$$

式中,  $V$  为流体流速;  $u$ 、 $v$ 、 $w$  为流速在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向上的分量;  $\rho$  为流体密度;  $\mu$  为流体动力粘度;  $T$  为流体温度;  $p$  为流体压力;  $C_p$  为定热容;  $S_u$ 、 $S_v$ 、 $S_w$  为动量守恒方程广义源项;  $S_T$  为粘性耗散项。

## 3 仿真计算与分析

### 3.1 计算模型

本文利用 Solidworks 软件针对 10kV KYN-28A 开关柜建立三维模型, 实际开关柜的模型极其复杂,

直接利用实物结构模型进行仿真计算非常困难, 需要根据研究问题的侧重点对实际开关柜模型进行简化, 删除一些对热分析影响不大的部件, 同时对一些复杂的结构建立简化的等效模型, 建立的模型如图 1 所示。

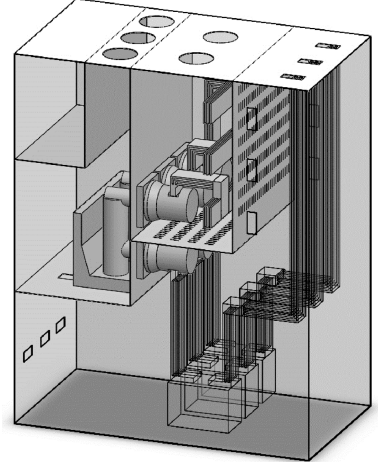


图 1 开关柜三维模型

Fig. 1 Three dimensional model of switchgear

开关柜模型包含四个独立的隔离室, 分别为母线室、架空进线室、断路器室和仪表室。断路器和电流互感器部分均采用简化模型, 同时删除了外壳及隔板上的安装孔。在 Workbench 平台下, Icepak 的标准 CAD 接口为 DesignMolder (DM), 需要把模型导入到 DM 进行修复处理, 将所有的部件转换为 Icepak 认可的几何体后, 由 DM 导入到 Icepak。开关柜实际模型中有 6 个风机, 其中 5 个位于顶部外壳, 1 个位于断路器底部, Icepak 具有独立的风机模块, 模型导入后需要在 Icepak 里添加风机模型。

### 3.2 热源分析

开关柜发热的热源主要包括载流导体和电接触的焦耳损耗。文献[22]表明电接触部分的产热对于开关柜温升有重要影响, 本文电接触部分的发热量将单独计算。整个载流回路发热功率为:

$$P = I^2 R \quad (9)$$

式中,  $I$  为流过载流导体的电流;  $R$  为载流导体电阻。载流导体的电阻由定义式计算, 电接触部分的接触电阻受接触表面状况、接触压力等诸多因素的影响, 文献[23]给出了接触电阻计算的公式:

$$R_c = K_c / (F_k / 9.8)^m \quad (10)$$

式中,  $R_c$  为接触电阻;  $K_c$  为接触材料系数;  $F_k$  为接触压力;  $m$  为与接触形式有关的系数。

开关柜内电接触部分包括母排搭接处、母排与静触头连接处和动触头梅花触指。其中母排搭接处及母排与静触头连接处通过高强螺栓进行连接,均为面接触, $m$  值取 1,同时接触压力可通过紧固力矩计算公式获得;梅花触指为点接触, $m$  值取 0.5,接触压力通过查找开关说明技术参数获得。经过计算,当开关柜流过额定电流 4000A 时各部分的热量计算结果见表 1。

表 1 开关柜各部分发热量

Tab.1 Heating power of each part of switchgear	
发热部位	发热功率/W
母线	330.9
架空进线	791.1
断路器	722.3
电流互感器	117

表 1 中所示发热量均为三相总发热量,也包括电接触的发热量。在仿真计算中,母排搭接处的发热量换算成体密度加载在母排上,母排与静触头连接处及动触头梅花触指处的电接触发热量加载在接触面上。

3.3 仿真计算

Solidworks 建好后的实体模型导入 ANSYS Icepak 后进行模型预处理,开始网格剖分,通过精细控制散热路径和母排表面的网格尺寸和数量,来准确模拟热流的传热特性和流动特性,剖分后网格数量约为 250 万单元。

母线室进线母排、架空进线母排、断路器静触头、动触头、触臂的材质为铜,绝缘套管、静触头盒材质为环氧树脂,柜体外壳为镀锌钢板。铜和镀锌钢板的物理参数参考文献[24]得到,环氧树脂的物理参数参考文献[25-27]整理得到。各种材质的物理参数见表 2。

表 2 材料物理参数

Tab.2 Physical parameters of materials				
材料	物理参数			
	热导率/ (W/(M·K))	密度/ (g/cm <sup>3</sup> )	比热率/ (J/(G·K))	电阻率/ (10 <sup>-6</sup> Ω·m)
铜	392	8.9	0.39	0.0179
环氧树脂	0.276	0.98	1.4	-
镀锌钢板	46	7.8	0.5	0.137

对各个部件定义物理参数后,按表 1 计算出的发热功率进行热源加载。环境温度设为 25℃,根据软件自动计算出的雷诺数和瑞利数选择湍流模型,外壳

设置对流换热系数,采用经验值 10W/(m<sup>2</sup>·K)。输入实际的风机 P-Q 曲线,计算模型较复杂,网格数量很多,为了加快求解速度采用双核并行计算。

3.4 计算结果分析

3.4.1 温度场分析

额定工况下开关柜的温度分布如图 2 所示,可以看出,断路器本体是开关柜中温度较高的部位,最高温度出现在中间上动触头处,可达 61℃,是开关柜温度监控的关键部位;母排的温度在 45℃左右,A 相母排靠近风扇,散热面积大,温度较 B 相和 C 相母排较低;母排与静触头接头由于与断路器直接接触,同时由于接触电阻的影响,出现了较高温升,其余载流回路的温度在 45℃-50℃之间。具体温度分布见表 3。

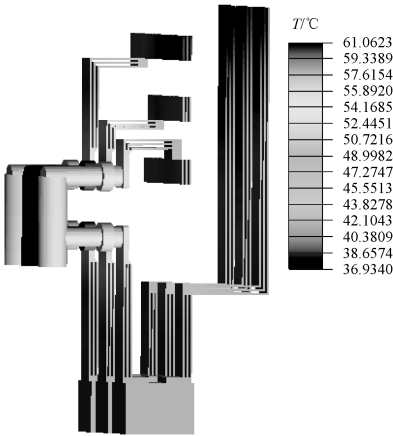


图 2 开关柜三维温度分布图

Fig.2 Three dimensional temperature distribution of switchgear

表 3 开关柜各部位计算温度值

Tab.3 Temperature value of each part of switchgear			
部位名称	平均温度/℃	部位名称	平均温度/℃
上动触头	56.5	上静触头	56.0
下动触头	55.9	下静触头	55.6
母线	46.2	架空进线	42.5
电流互感器	48.5	出线连接处	49.6

3.4.2 流体场分析

开关柜三维流场中三个不同截面的流速矢量图如图 3 所示。其中,图 3(a)为  $z$  轴中心的  $xy$  平面图;图 3(b)和 3(c)分别为  $x=0.55$  和  $x=1.45$  时的  $yz$  平面图。从流速矢量图中可以得出流体流动的方向和速度大小。

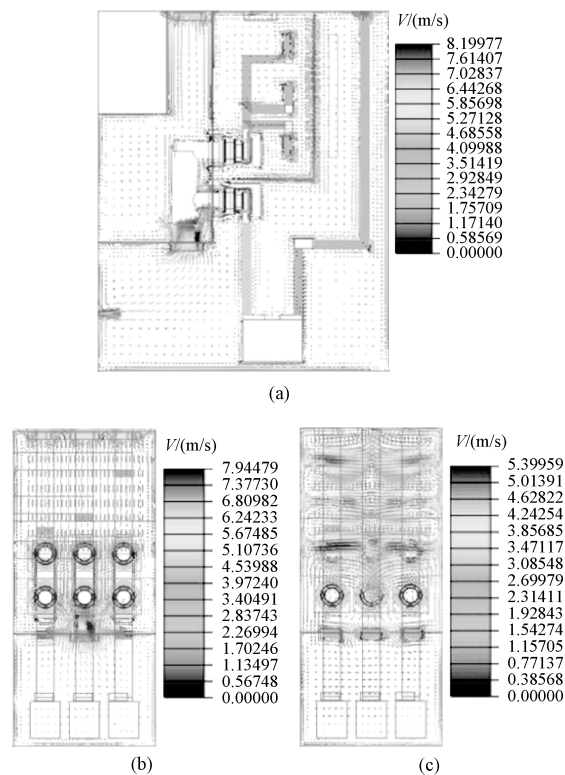


图3 开关柜截面速度矢量图

Fig. 3 Velocity vector diagram of cross section

在柜顶风机和断路器室底部风机的共同作用下,空气从左部外壳进风口和前后外壳进风口进入柜体内。从左板进风口进入的空气初始平均速度约为 5.7m/s;而从前后板进风口进入的空气初始平均速度约为 4.6m/s。从前后板进风口进入的空气大部分流入母线室和架空进线室,然后从母线室顶部风机流出,母线室和架空进线室风路较通畅,热量散失较快,因而温升较低。从左板进风口进入的空气在断路器底部风机的作用下大部分进入断路器室,然后一部分会从断路器外侧绕经仪表室,最后从断路器室顶部流出,然而断路器室结构较为封闭,风路狭窄,而且一部分气流在仪表室下侧形成环流,导致热流路径变长,风速降低;另一小部分则通过上静触头盒流至母线室,最后从母线室顶部流出,然而由于隔板的阻流影响,风速也很低。可以发现,断路器室封闭复杂的结构延长了热流路径,降低了风速,极大地降低了该处的散热能力,导致断路器部分整体温升较高。

4 试验对比

为了验证仿真计算结果的准确性,针对本开关柜开展了温升试验,温升试验中,电流为额定电流,

即 4000A,环境温度为 24.8℃。由于断路器及触头部分是开关柜温度较高的部位,因此测点主要布置在断路器处,温度通过温度传感器测得。共选取了 9 个温度测点,分别为后出线连接处、电流互感器处、进线与静触头连接处、下静触头、下动触头、上动触头、上静触头、母线与静触头连接处、上分支母线。测点布置如图 4 所示。取三相平均温度作为测点温度,数字 1-9 依次代表上述 9 个测点,仿真计算结果与试验结果对比见表 4,对比如图 5 所示。

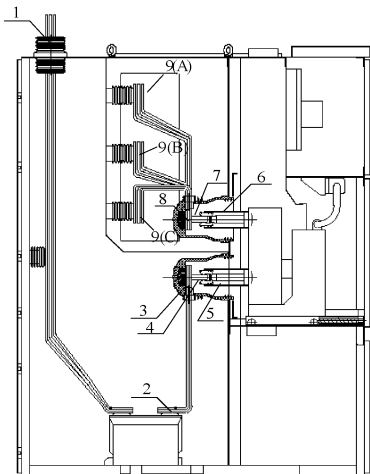


图4 开关柜温度测点布置图

Fig. 4 Arrangement of temperature measuring points of switchgear

表 4 试验仿真结果对比表

Tab. 4 Experiment result compared with simulation result			
测点编号	平均温度值/℃		相对误差 (%)
	实测值	计算值	
1	47.4	49.6	4.6
2	46.2	48.5	4.9
3	52.9	55.4	4.7
4	53.2	55.6	4.5
5	55.5	55.9	0.7
6	57.9	56.5	-2.4
7	54.9	56.0	2
8	53.8	56.2	4.4
9	45.2	46.2	2.2

从表 4 可以得出,仿真计算与试验实测的温度分布趋势一致,最高温度均在上动触头处。各个测点温度值与计算温度值也能较好地吻合,误差均在 5% 以内,工程上可以接受,验证了本文计算结果的正确性。



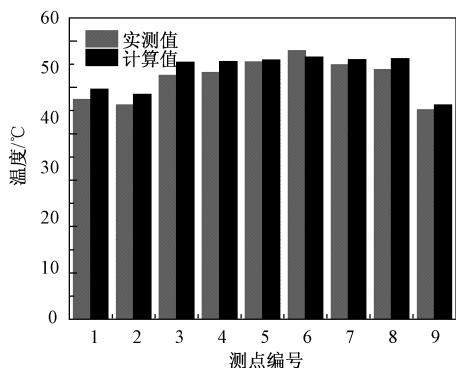


图5 温升计算值与实测值对比图

Fig. 5 Experiment result compared with simulation result

## 5 结论

(1)建立了开关柜有限元分析三维模型,计算了开关柜各个部位的发热功率,并对热流路径和流固交界面的网格进行了精细控制,在此基础上利用Icepak对开关柜的温度场和流体场进行了数值分析。计算结果表明上动触头是开关柜温度最高的部位,最高温升达到36℃,是开关柜温升控制和温度监控的关键。

(2)将仿真计算结果与温升试验结果进行对比,计算结果与试验结果吻合的很好,误差在5%以内,工程上可以接受,验证了仿真计算的准确性。

(3)对流体场进行了分析,发现由于断路器室结构较为封闭,导致热流路径延长,风速降低,极大的降低了断路器室的散热能力。在接下来的研究中,应根据开关柜实际情况,优化断路器室的风路结构,减小热流路径,来控制该处温升。

## 参考文献 (References):

[1] 丁健 (Ding Jian). 金属封闭高压开关柜触头发热机理分析及预防过热故障措施探讨 (Heating mechanism analysis on metal-enclosed high voltage switchgear contact with measures to prevent overheating) [J]. 高压电器 (High Voltage Apparatus), 2012, 48 (8): 114-122.

[2] 朱根良 (Zhu Genliang). 浅议中压开关柜事故调查中的故障分析 (Simple explanation of faults analysis in incident investigation of medlum voltage switchgear) [J]. 高压电器 (High Voltage Apparatus), 2002, 38 (5): 62-63.

[3] 王有元, 李寅伟, 陆国俊, 等 (Wang Youyuan, Li Yinwei, Lu Guojun, et al.). 开关柜局部放电暂态对地电压传播特性的仿真分析 (Simulation of transient earth voltage aroused by partial discharge in switchgears)

[J]. 高压技术 (High Voltage Engineering), 2011, 37 (7): 1683-1688.

[4] 李晶, 满家健, 周电波, 等 (Li Jing, Man Jiajian, Zhou Dianbo, et al.). 金属封闭高压开关柜手车触头温度场仿真分析及实验研究 (Simulation analysis and experimental research on temperature distribution of metal-enclosed high voltage switchgear handcart contactor) [J]. 高压电器 (High Voltage Apparatus), 2015, 51 (8): 74-79.

[5] 巩宪锋, 衣红钢, 王长松, 等 (Gong Xianfeng, Yi Honggang, Wang Changsong, et al.). 高压开关柜隔离触头温度监测研究 (Research on temperature monitoring of isolators in HV switchgear) [J]. 中国电机工程学报 (Proceedings of the CSEE), 2006, 26 (1): 155-158.

[6] 周岩 (Zhou Yan). 高压开关柜触头温度场的数值仿真分析 (Numerical simulation of high voltage switchgear panel contact temperature) [J]. 传感器与微系统 (Transducer and Microsystem Technologies), 2008, 27 (12): 102-105.

[7] 宋帆, 申春红, 徐建源, 等 (Song Fan, Shen Chunhong, Xu Jianyuan, et al.). 800kV GIS 隔离开关磁场—温度场计算与分析 (Calculation and analysis on magneto-thermal fields of 800 kV GIS disconnecter) [J]. 高压技术 (High Voltage Engineering), 2008, 34 (7): 1383-1388.

[8] 熊兰, 徐敏捷, 杨子康, 等 (Xiong Lan, Xu Mingjie, Yang Zikang, et al.). 高压开关柜电缆室温度场分析及在线监测系统构建 (Analysis of temperature field in cable chamber of high voltage switchgear and construction of on line monitoring system) [J]. 电力自动化设备 (Electric Power Automation Equipment), 2014, 34 (6): 153-157.

[9] 王新彤 (Wang Xintong). 基于光纤光栅的开关柜温度在线监测系统的开发与应用 (The development and application of switchgear temperature monitoring system based on fiber bragg grating) [D]. 北京: 华北电力大学 (Beijing: North China Electric Power University), 2010.

[10] 李成榕, 马国明 (Li Chengrong, Ma Guoming). 光纤布喇格光栅传感器应用于电气设备监测的研究进展 (Research and development of fiber bragg grating monitoring in electrical engineering) [J]. 中国电机工程学报 (Proceedings of the CSEE), 2013, 33 (12): 114-122.

[11] 张艳, 田竞, 叶逢春, 等 (Zhang Yan, Tian Jing, Ye Fengchun, et al.). 基于红外传感器的高压开关柜温度实时监测网络的研制 (Development of temperature

- real-time monitoring network for high voltage switchgear based on IR sensor) [J]. 高压电器 (High Voltage Apparatus), 2005, 41 (2): 91-94.
- [12] 郭钢 (Wu Gang). 光纤在开关柜触头温度监测中的应用 (Application of optical fiber in temperature monitoring of the contacts of switchgear) [J]. 高电压技术 (High Voltage Engineering), 2006, 32 (2): 122.
- [13] 赵炳成 (Zhao Bingcheng). 高压开关柜在线监测系统的开发与应用 (Development and application of on-line monitoring of high voltage switchgear) [D]. 杭州: 浙江大学 (Hangzhou: Zhejiang University), 2011.
- [14] 田毅, 黄新波 (Tian Yi, Huang Xinbo). 高压开关柜温升在线监测系统 (On-line monitoring system of temperature inside HV switchgear cabinet) [J]. 高压电器 (High Voltage Apparatus), 2010, 46 (3): 64-67, 71.
- [15] 张纯玺 (Zhang Chunxi). 光纤光栅温度监测系统设计及其在高低压开关柜中的应用 (Design of fiber Bragg grating temperature monitoring system and its application in high-voltage & low-voltage switchgear) [D]. 济南: 山东大学 (Jinan: Shandong University), 2010.
- [16] 黄恒禧 (Huang Hengxi). 应用高压开关柜温升的简易算法及降低相应发热的技术措施 (A study of simple arithmetic for applied high voltage switchboard temperature rise and the technical measures to reduce relevant heat) [J]. 福建建筑 (Fu Jian Architecture & Construction), 2008, 117 (3): 91-93.
- [17] 赵健康, 樊友兵, 王晓兵, 等 (Zhao Jiankang, Fan Youbing, Wang Xiaobing, et al.). 高压电力电缆金属护套下的热阻特性分析 (Thermal resistance properties of the part between metal sheath and conductor in high-voltage power cable) [J]. 高电压技术 (High Voltage Engineering), 2008, 34 (11): 2483-2487.
- [18] 孙凯祺, 刘浩, 傅晨钊, 等 (Sun Kaiqi, Liu Hao, Fu Chenzhao, et al.). 220kV 瓷柱式断路器修正热路模型研究 (Modified thermal circuit model for 220kV porcelain stanchion-type circuit breaker) [J]. 华东电力 (East China Electric Power), 2013, 41 (6): 1215-1219.
- [19] 廖才波, 阮江军, 刘超, 等 (Liao Caibo, Ruan Jiangjun, Liu Chao, et al.). 油浸式变压器三维电磁-流体-温度场耦合分析方法 (3-D coupled electromagnetic-fluid-thermal analysis of oil-immersed triangular wound core transformer) [J]. 电力自动化设备 (Electric Power Automation Equipment), 2015, 35 (9): 150-155.
- [20] 温志伟, 傅德平, 顾国彪 (Wen Zhiwei, Fu Deping, Gu Guobiao). 浸润式混合强迫内冷的蒸发冷却汽轮发电机定子三维温度场的仿真分析 (Simulation of 3D temperature distribution of immersion evaporative cooling turbo-generator combined with forced inner cooling system) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2006, 25 (3): 13-17.
- [21] 邹斌 (Zou Bin). 基于有限元法的配电柜温度场研究 (Research on temperature field of switchboard based on finite element method) [D]. 苏州: 苏州大学 (Shuzhou: Shuzhou University), 2009.
- [22] 王秉政, 江健武, 赵灵, 等 (Wang Bingzheng, Jiang Jianwu, Zhao Ling, et al.). 高压开关柜接触发热温度场数值计算 (Temperature field simulation of contact heating in high voltage switchgear) [J]. 高压电器 (High Voltage Apparatus), 2013, 49 (12): 42-48.
- [23] 郭凤仪 (Guo Fengyi). 电接触理论及其应用技术 (Electrical contact theory and applied technology) [M]. 北京: 北京电力出版社 (Beijing: China Power Press), 2008.
- [24] 徐国政 (Xu Guozheng). 高压断路器原理与应用 (Principle and application of high voltage circuit breaker) [M]. 北京: 清华大学出版社 (Beijing: Tsinghua University Press), 2010.
- [25] 程鹏, 杨永明, 庄晓芸, 等 (Cheng Peng, Yang Yongming, Zhuang Xiaoyun, et al.). 立体卷铁心干式变压器三维温度场计算与分析 (Calculation and analysis of three-dimensional temperature field of Dry-Type transformer with tridimensional wound core) [J]. 变压器 (Transformer), 2013, 50 (9): 12-15.
- [26] 蔡定国, 姚育成, 徐业彬, 等 (Cai Dingguo, Yao Yucheng, Xu Yebin, et al.). 基于流固耦合分析的干式变压器温度场数值分析 (Numerical simulation of dry type transformer temperature field based on the fluid solid coupling analysis) [J]. 华北电力大学学报 (Journal of North China Electric Power University), 2012, 39 (2): 34-38.
- [27] 范春桥 (Fan Chunqiao). 10kV 干式变压器温度场仿真计算与寿命评估 (The simulation of temperature field and life assessment of 10kV Dry-Type transformer) [D]. 北京: 华北电力大学 (Beijing: North China Electric Power University), 2012.

Numerical analysis of temperature field of high  
voltage switchgear

CHEN Jing-zhou, DU Zhi-ye, WANG Dong, REN Jun-peng, RUAN Jiang-jun  
( School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China )

**Abstract:** Overheat of switchgear is the key factor to threat its normal operation. It is necessary to accurately calculate the temperature distribution of switchgear. In this paper, the accurately 3-D finite element model of switchgear is established by Solidworks, and the temperature field and fluid field of switchgear are calculated based on Icepak. Considering the factors of air convection cooling and forced air cooling, the temperature of the complex model is solved accurately by controlling the size and shape of the grid on the hot flow path. With typical 10kV high voltage switchgear as the object, the temperature distribution is calculated according to the heating power of each part of switchgear. The result shows that circuit breaker is high temperature position in switchgear and the highest temperature appears on the moving contact, and it should be the key to temperature control. The temperature rise test is done. Compared simulation with experimental results, the accuracy of the simulation is verified.

**Key words:** high voltage switchgear; overheat; temperature field; fluid field; numerical simulation