

一种动态无功补偿柜散热仿真

王英鉴, 蔡昌友, 王健钢, 王玉峰

辽宁科技大学电子与信息工程学院, 辽宁 鞍山

收稿日期: 2024年9月5日; 录用日期: 2024年10月10日; 发布日期: 2024年12月11日

摘要

随着时间的推移, 电气设备的体积逐渐减小, 而其功能却不断增加, 导致设备内部元件的功耗和运行温度持续上升, 使得电气设备过热问题变得更加突出。散热技术的研究与开发在电气装备的设计和制造过程中占据了很重要的地位, 它直接关系到设备在正常运行状态下的热管理效率, 进而影响产品的可靠性和预期寿命。在产品进入生产阶段之前, 需要利用热分析软件对产品进行散热和结构优化。本研究以动态无功补偿器为研究对象, 采用Solidworks软件对动态无功补偿器的电气柜进行热仿真分析。研究内容主要包括: 在模型构建阶段, 对模型进行必要的简化, 以满足散热仿真的参数要求, 并确立无功补偿器的模型图。在热仿真阶段, 利用Solidworks软件中的模块, 对电气柜进行流体分析。通过设定流量边界条件和初始温度条件, 模拟电气柜内部的流场和温度分布, 生成温度分布云图。针对动态无功补偿器的散热需求, 本研究设计了风冷散热方案。通过对比有风扇和无风扇条件下电气柜内部的流场和温度分布云图, 评估风扇对散热性能的影响。仿真结果表明, 在配备风扇的情况下, 电气柜内部温度显著降低, 这有助于提高设备的长期运行安全性和稳定性。

关键词

动态无功补偿器, 热分析, 箱体建模, 边界条件

A Thermal Simulation of Dynamic Reactive Power Compensator Cabinet

Yingjian Wang, Changyou Cai, Jiangan Wang, Yufeng Wang

School of Electronic and Information Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan Liaoning

Received: Sep. 5th, 2024; accepted: Oct. 10th, 2024; published: Dec. 11th, 2024

Abstract

Over time, the physical dimensions of electrical equipment have gradually diminished, while their functionalities have continually expanded. This has led to a persistent increase in the power

consumption and operating temperatures of internal components, thereby exacerbating the issue of electrical equipment overheating. The research and development of thermal management technologies hold a significant position in the design and manufacturing processes of electrical equipment, as they directly impact the thermal management efficiency during normal operation, which in turn affects the product's reliability and expected lifespan. Prior to the production phase of a product, it is imperative to utilize thermal analysis software for optimizing the product's thermal performance and structural design. This study focuses on dynamic reactive power compensators, employing Solidworks software to conduct thermal simulation analysis on the electrical cabinets of dynamic reactive power compensators. The research primarily encompasses the following aspects: during the model construction phase, the model is simplified as necessary to meet the parameter requirements for thermal simulation and to establish the model diagram of the reactive power compensator. In the thermal simulation phase, the software's modules are utilized to perform fluid analysis on the electrical cabinet. By setting the flow boundary conditions and initial temperature conditions, the internal flow field and temperature distribution within the electrical cabinet are simulated, generating a temperature distribution cloud map. In response to the thermal requirements of dynamic reactive power compensators, this study designs a wind cooling solution. By comparing the internal flow field and temperature distribution cloud maps under conditions with and without fans, the impact of fans on thermal performance is assessed. The simulation results indicate that with the installation of fans, the internal temperature of the electrical cabinet is significantly reduced, which contributes to enhancing the long-term operational safety and stability of the equipment.

Keywords

Dynamic Reactive Power Compensator, Thermal Analysis, Box Modeling, Boundary Conditions

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国种类繁多具有很大波动性负荷的电气设备不断出现,使得电网电压质量下降,影响电气设备的正常运行[1]-[4]。目前,无功补偿器的研究已经成为电力行业关注的。因产品需达到规定的规范标准,优秀的防护和电磁屏蔽的效果是必须的,所以在设计电气箱体时通常会考虑封闭的结构,不过实验得出结论封闭结构的散热效果不理想[5]。想要散热效果达到标准,较好的做法是添加电扇,所以散热设计不是简单就能完成的,电气设备的热研制在整个生产过程中占有重要的位置[6]。学者们利用仿真软件对电气柜进行热仿真分析,预测和优化设备在不同工作条件下的热行为,优化产品内部散热条件。研究人员通过仿真能够提出优化措施,如调整柜体开孔结构和增加散热方式等。这些研究表明,电气柜散热仿真技术正不断发展,通过仿真分析可以有效地优化电气柜的散热设计,提高其可靠性和稳定性。

2. 动态无功补偿器散热方案的确定

(1) 冷却方式的选择

在功率相对较小的情况下工作时产生的较少的热量,使用自然冷却。以外,还可根据实际情况对电气装置内部的热源进行均匀地排布,防止在空气中产生一个局部的热点,影响到整体的散热效果,还需要尽量减少电气元器件与壳体相互之间的导热阻力。当电气装置的发热功率在逐渐增大时,使用强迫式风冷。强迫式风冷系统可以划分为两种:抽风系统和送风传输系统,我们建议考虑采用送风系统。

(2) 风机和散热器的选择

在对风机的选择上, 需要根据情况综合地考虑不同的性能指标, 首先应考虑电扇的性能能不能满足设备所需要的要求即箱体流动的流量能否满足要求。然后要考虑电扇和设备的运行环境, 如环境的温度、气候等。

系统所需风量的计算公式如下:

$$Q = \frac{q}{0.335\Delta T}$$

式中:

ΔT ——是流入风量空洞的温度差值, $^{\circ}\text{C}$: 通常表示为 $11^{\circ}\text{C}\sim 16^{\circ}\text{C}$;

Q ——是流入系统的风量, m^3/h ;

q ——散热量, W 。

3. 动态无功补偿器的热仿真

本研究使用 Solidworks Flow Simulation 进行稳态热分析。初步设计箱体各个部分, 查找各个元件的尺寸, 根据电气设计规范完成电气柜的设计。设计后的实物图如图 1 所示。

根据设计完成仿真模型, 如图 2 所示。为方便散热仿真计算和缩短仿真求解时间, 我们对三维模型进行简化, 去掉那些对仿真结果几乎不会产生影响的细节, 例如弯角, 螺纹孔等, 得到简化模型, 如图 3 所示。

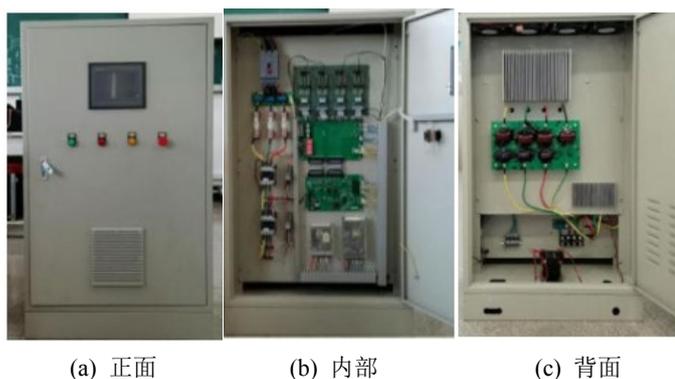


Figure 1. Actual picture of the box
图 1. 箱体实物图

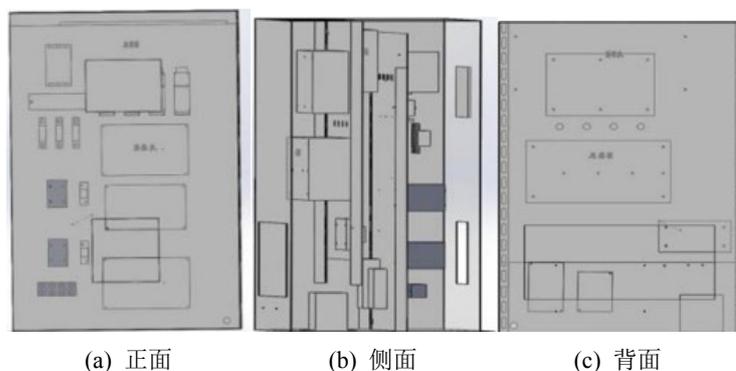


Figure 2. 3D model
图 2. 三维模型图

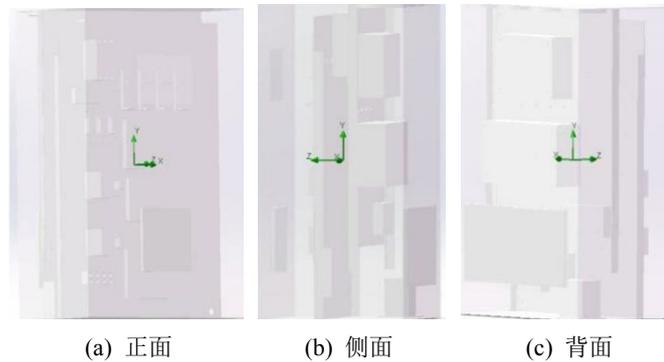


Figure 3. Analysis model diagram
图 3. 分析模型图

不同的类型分析关键材料不同类型一般都会因为需要不同的关键材料重要属性，对于热物理分析，有三个关键材料的重要属性一定都需要事先做好确立和进行定义，否则热物理分析就可能无法正常地进行，本实验所需的材料在 Solidworks 数据库均有定义，可以直接采用数据库所定义的材料。通过查阅资料和考察实际设备型号，在进行散热仿真实验时选择合适的风扇以及合适的环境压力条件进行散热工作。如图 4 和图 5 所示。最后划分合适的有限元网络运行并求解，如图 6 所示。

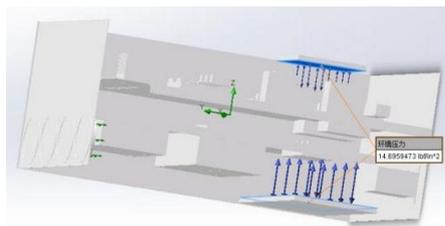


Figure 4. Cooling hole boundary diagram
图 4. 散热孔边界图

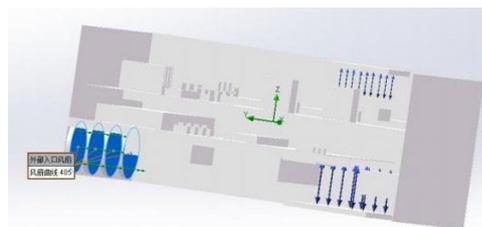


Figure 5. External inlet fan diagram
图 5. 外部入口风扇图

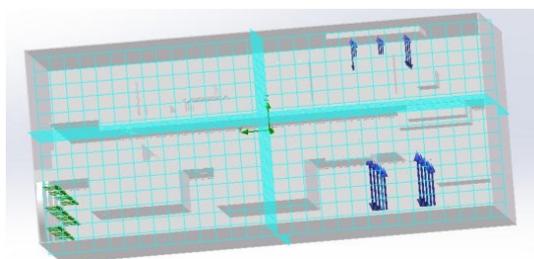


Figure 6. Grid division diagram
图 6. 网格划分图

4. 箱体散热仿真结果分析

通过使用 Solidworks 对模型进行仿真，得到有风扇和没有风扇两种情况下动态无功补偿器电气柜内部的温度场和速度场分布图，如图 7 所示，观察可得温度对比表 1 所示温度数据分布。

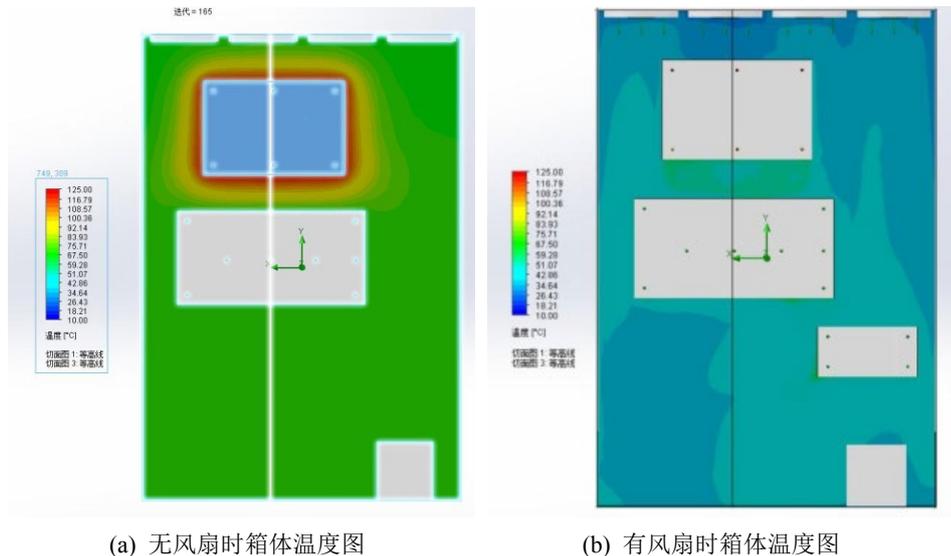


Figure 7. Box temperature diagram
图 7. 箱体温度图

在有风扇散热的情况下，整个电气柜内壁面温度最高的地方温度为 75.71℃且高温面积仅占极少的面积，壁面最低温度为 26.43℃且低温面积占比较大。发热元件最高温度为 100℃，也仅为极小的部分，最低温度为 59.28℃，占较大部分。

在没有风扇散热的情况下，整个电气柜内壁面温度最高的地方温度为 92.14℃，比有风扇时高出 16.43℃，最低温度也有 75.71℃，比有风扇时高出 49.28℃。发热元件最高温度为 125℃且高温面积占比较大，最低温度为 83.93℃。相比有风扇散热时的情况，发热元件的最高温度高出 25℃，最低温度高出 24.65℃。

通过仿真结果的对比分析可知，在没有风扇散热的条件下，各个关键元器件的表面温度都应该低于最大极限值 110℃，基本上能够满足产品的散热。在有风扇散热的情况下，关键发热元件和电气柜壁面温度都远低于无风扇时的情况。

Table 1. Temperature comparison table

表 1. 温度对比表

环境温度 20.05℃	壁面温度		发热元件温度	
	最高温度	最低温度	最高温度	最低温度
有风扇	75.71℃	26.43℃	100℃	59.28℃
无风扇	92.14℃	75.71℃	125℃	83.93℃

5. 结论

本文对一款动态无功补偿器柜进行热设计及结构分析，通过 Solidworks 中热仿真模块进行散热仿真

分析结果可知,改进散热措施后的箱体各元件温度均处于安全范围内,满足产品热设计要求。(1)通过对电气柜体进行热仿真分析,提出柜体前后开通风孔和增加风扇等措施,得到较理想的散热方案。(2)对电气柜体进行热平衡试验验证,实测结果表明:各元件的温度值均处于安全范围内。(3)柜体结构设计结合热仿真软件 Solidworks Flow Simulation 进行热仿真分析,不仅为改进设计提供依据,还可降低样机测试开发成本,提高了设计效率,也为其他类似产品的开发提供设计参考。未来随着计算流体力学和热分析软件的进步,研究将更加精确和高效。

参考文献

- [1] 王贺祺. 知识类比驱动下的产品设计应用研究——以甘肃工大舞台产品为例[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州理工大学, 2023.
- [2] 霍佳雨, 何俊, 张文尊, 等. 风冷光纤激光器的热分析和热管理[J/OL]. 激光杂志, 2024: 1-9. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1085.TN.20240829.1300.002.html>, 2024-09-01.
- [3] 秦军, 马艳平, 孔祥剑, 等. 高温熔盐压力变送器设计与热仿真分析[J/OL]. 工业仪表与自动化装置, 2024: 1-4. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1121.TH.20240824.1110.002.html>, 2024-09-01.
- [4] 陶唯乐. 基于某机箱散热设计的航空航天散热解决方案[J]. 今日制造与升级, 2024(5): 50-52.
- [5] 姜慧枫, 张萌, 颜倩. 某型电子设备机箱散热结构设计及试验测试[J]. 机械设计, 2024, 41(1): 218-224.
- [6] 杨阳辉. 两轮车动力电池散热结构设计[J]. 机电技术, 2023(5): 16-18.