

基于强迫风冷的风电变流器散热设计

李 勇

株洲中车时代电气股份有限公司 湖南 株洲 412001

摘要: 在兆瓦级风电变流器中,主电路的器件体积和热功率都比较大,使得变流器的热设计越来越重要。本文介绍了利用仿真软件进行风电变流器热设计,通过仿真软件的辅助,能够快速仿真计算出热设计是否满足要求,大大减少了整个产品的开发周期。最后,对产品进行了试验验证,并得出了产品的温升试验数据,证明了利用仿真软件进行热设计,结果真实可靠,风机选型也能满足器件的散热要求。

关键词: 风电变流器; 散热设计; 结构

前言

风能作为一种清洁的可再生能源,越来越受到世界各国的重视,我国有着丰富的风能资源,幅员辽阔、海岸线较长,风能资源比较充足,近几年来国家政策也大力扶持风电产业^[1]。风力发电变流器是风电机组中的核心部件之一。同时,风电变流器通常选用大功率的IGBT器件和散热效率更高的散热器,对于柜体的散热设计提出了更高的要求。

风电变流器作为一种电子装置,其散热系统主要用于辅助变流器的功能实现,但是涉及电学、结构力学、流体力学、传热学等多学科的相关知识,准确的设计需要投入大量的模拟计算和验证实验^[2]。

本文中,首先通过散热计算,然后利用热仿真软件分析验证优化,最后再开展实物验证优。

1 总体方案

在兆瓦级风力发电变流器中,主电路的器件体积和热功率都比较大,比如IGBT模块、滤波器件等,对于变流器散热方式的选择上,强迫风冷因结构简单,成本低等因素,是目前兆瓦级风电变流器中主流散热方式之一。

1.1 方案介绍

本风电变流器产品方案中,在结构设计阶段,我们按照产品功能进行分区设计,分别为开关柜、控制柜和功率柜。各分柜体间散热相互独立,保证了各自独立的散热效果。

在开关柜中,正面底部为进风口,背面上部装有吸风轴流风机,柜体内部布置有预充电组件单元、定子接触器、网侧接触器、网侧熔断器及主断路器等器件,主电路器件间均通过镀锡铜排进行连接。柜体外部冷空气由正面进风口进入,空气沿接线铜排(用于上下主电路

接线)由下而上流动,保证了铜排的散热效果,同时通过设置上风道绝缘板,保证柜体内部空气流动方向,确保关键区域的元器件的散热效果。

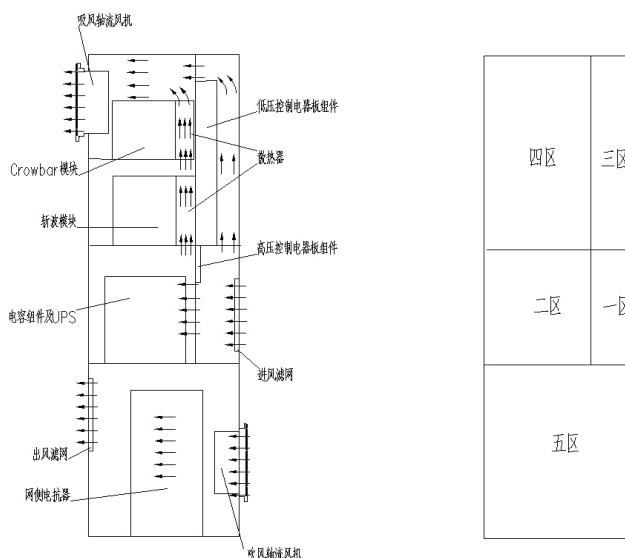


图1 器件布局及散热示意图

在控制柜中,器件布局左视图如图1中左图所示,同时对于各器件布局空间,整个柜体可分5个区,如图1中右图所示,一区、二区、三区以及四区低压控制区,五区单独构成的主电路高压区。五区中放置网侧电抗器,该区中,通过柜体前部设置的风机向该区域吹风,冷空气经过网侧电抗器,带着热量,由后部的出口滤网排出。如图1所示,冷空气由一区前部的滤网进入,通过设置一区与二区,一区与三区的间隔的方孔的数目,从而使进入的大部分冷空气通过一区与二区件的防护网格进入二区,另一部分空气向上进入三区,带走布置于三区中的低压控制电器板组件中的热量,并通过三区上部的网孔进入四区,最后热量通过背面上部设置的吸风轴流风机带出柜外。

作者简介: 李勇(1985-),男,工程师,主要从事新能源相关电子产品结构设计。

在功率柜中，主要布置有功率模块、电抗器及组合电阻器等器件，每个功率模块底部均装有配套的离心风机，离心风机与模块间设计专门对接风道，模块内部装有风冷型散热器，冷空气通过离心风机由柜体前后下部的滤网进入，空气向上流动，带走电抗器以及模块内部的热量，最后通过柜体上部的滤网排出柜外。

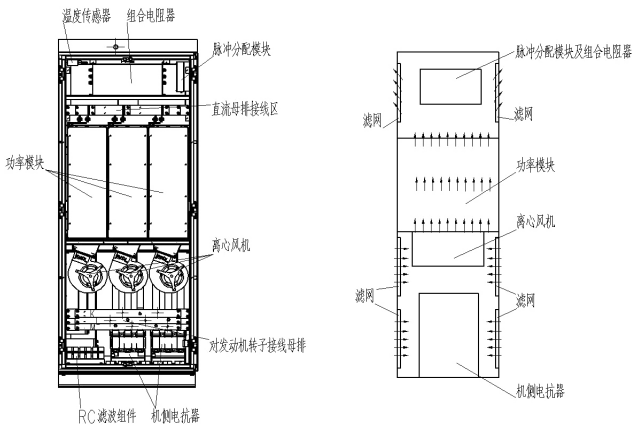


图2 功率柜器件布局及散热示意图

2 散热计算

变流器热设计，首先需要统计各主要器件损耗，再根据损耗开展风机选型，主要器件的损耗如表1所示。

表1 主要器件损耗表

| 发热器件 | 数量 (个) | 单个器件损耗 (W) | 总损耗 (W) |
|-----------|--------|------------|----------|
| 定子接触器 | 1 | 210 | 210 |
| 主断路器 | 1 | 110 | 110 |
| 24V电源模块 | 1 | 20 | 20 |
| 母排 | 1 | 200 | 200 |
| 功率模块 | 9 | 1800 | 16200 |
| 支撑电容 | 6 | 8 | 48 |
| 电容1 | 3 | 12 | 36 |
| 电容2 | 3 | 8 | 24 |
| 斩波模块 | 1 | 50 (200) | 50 (200) |
| Crowbar模块 | 1 | 50 (180) | 50 (180) |
| 组合电阻 | 1 | 100 | 100 |
| 机侧电抗器 | 2 | 136 | 272 |
| 网侧电抗器 | 1 | 1350 | 1350 |

通过器件功率损耗，综合风道设计，选用风机的指标为风量和风压，风量取决于功率损耗，损耗与所需风量之间关系如下^[1]：

$$Q = \frac{3600P}{cp\Delta T}$$

式中：Q为实际所需风量，m³/h；P为散热量，W；c为空气比热容，c = 1.026×10³J/kg·K；ρ为空气密度，按海拔2500m取值，如表2所示，ρ = 0.944kg·m³。

表2 海拔与空气密度关系

| 海拔高度/m | 0 | 500 | 1000 | 2000 | 2500 | 3000 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 空气密度/kg·m ³ | 1.293 | 1.233 | 1.148 | 1.012 | 0.944 | 0.753 |

将上述参数带入后，公式可以简化为

$$Q = \frac{P}{0.269\Delta T}$$

ΔT为风道进出口温差，取12K。从而得出每排出1kW功耗所产生的热量，需要风机的风量为309m³/h。按照1.5倍裕量选择风机的最大风量。本变流器共包含3个功率模块，总功耗为16.2kW，则需要风机提供至少16.2×309×1.5 = 7508m³/h；网侧电抗器部分散热，总功耗为1.5kW，则需要风机至少为1.5×309×1.5 = 695m³/h；机侧电抗器散热，总功耗为400W，则需要风机至少为0.4×309×1.5 = 185m³/h；如表1所示，开关柜主要器件损耗为1218W，则需要风机至少为1.218×309×1.5 = 565m³/h；控制柜控制部分（包括UPS）散热功耗按500W核算，则需要风机至少为0.5×309×1.5 = 155m³/h。

3 软件仿真

在进行热设计时，传统的热设计通常是经验或运用换热公式进行计算，然后进行实验验证，若不能满足要求，就要修改，再设计，再生产，再验证。如此反复的设计过程，开发周期长。因此，在产品的设计阶段就对产品开展有效的热仿真非常必要。

具体仿真过程中，通常按照三维模型处理、前处理与后处理以及仿真计算步骤进行。

3.1 仿真结果及分析

对于开关柜及控制柜，仿真环境温度设为20℃，通过仿真结果可知，定子接触器（58.32℃），断路器（39.16℃），电抗器（93.35℃）的温度均符合设计要求。功率柜柜内最高温度为IGBT上，其最高温度为109.17℃。柜内上部的空气温度为54.02℃。

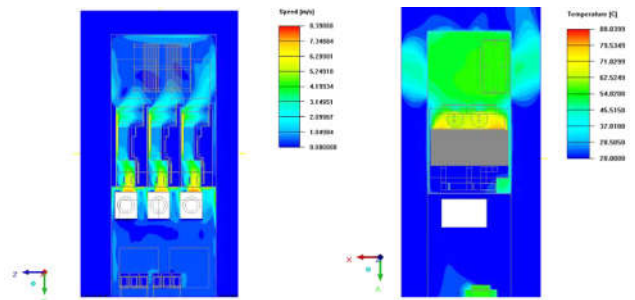


图3 温度及空气流场分布

通过仿真结果可知，开关柜、控制柜各器件的温升符合设计要求。功率柜中，柜体顶部温度超设计值，通过分析可知，功率柜出风口设计不合理，原方案中，柜体出风口设置在柜体前后部，风阻过大，影响柜体的整

个散热,导致柜顶热量聚集。针对仿真结果,我们优化了功率柜出风口结构位置,使功率柜的温度也能达到设计要求。

3.2 试验结果

变流器开展满功率考核试验,试验完成后,得到运行24h后的温升数据结果如表3所示。通过分析数据,可

知变流器的散热符合设计要求,同时结合运行工况条件,对功率柜的出风口进行优化设计,降低系统阻力,优化后功率柜功率模块温升降低为17.6K。通过上述产品的散热设计流程,可知利用仿真技术能够大幅提升产品开发质量,缩短产品设计研发周期。

表3 24h温升数据表

| 时间 (小时) | 网侧模块 散热器 | 机侧模块 散热器 | 控制 柜顶 | 斩波 模块 | 网侧滤 波电容 | 开关 柜顶 | 网侧电 抗器 | 机侧电 抗器 | 功率柜 温度 | 环境 温度 |
|------------|-------------|-------------|----------|----------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 3 | 74.9 | 82.2 | 57.1 | 54.1 | 54.6 | 52.3 | 71 | 54 | 62 | 44.9 |
| 6 | 75.4 | 82.7 | 57.4 | 54.6 | 55.1 | 52.5 | 72 | 54 | 62 | 44.4 |
| 12 | 72.9 | 80.4 | 57.4 | 53.6 | 53.9 | 52.2 | 73 | 52 | 59 | 52.9 |
| 24 | 75.3 | 83.5 | 57.2 | 54.8 | 55 | 52.5 | 72 | 54 | 62 | 44.5 |
| 温升(24h) | 31K | 38.3K | 13K | 10.2K | 10.7K | 8.1K | 27.6K | 9.6K | 17.6K | 44.5 |

结束语

随着风电变流器功率等级的不断提高,风电变流器的散热设计变得越来越重要,通过设置科学合理的产品散热开发流程,提升产品的竞争力,是我们产品开发人员必须解决的现实问题。本文中,首先规划完成产品散热结构布局,再进行热计算及风机选型,然后通过热仿真,提前预测产品在不同环境工况下的表现,从而及早发现并解决问题,确保产品能够稳定可靠地运行。同时,通过仿真结果进行快速迭代优化设计方案,从而避免反复制作和测试样机。

参考文献

- [1]黄建峰.全球风力发电现状及展位[J].科技资讯,2011.
- [2]万和勇.新型整流柜散热计算与风机选型的研究[A].中国水利发电工程学会自动化专委会.2021年年会暨全国水电厂智能化应用学术交流会论文集[C]中国水利发电工程学会自动化专委会,2021.
- [3]陆再斌,钟兴民等.集散控制系统盘柜散热设计[J].仪器仪表标准化与计量,2020(6):24-27.