

[双馈变流器]

双馈变流器在风电机组塔筒内的散热仿真与分析

文/浙江运达风电股份有限公司, 浙江省风力发电技术重点实验室 林周泉 赵恺怡 李 芸

随着风电机组单机容量的不断增大, 双馈变流器运行时所产生的热量也随之增加, 因此, 对双馈变流器自身的散热设计以及塔筒内的通风散热能力提出了更高的要求。以 3.4 MW 双馈风冷变流器为例, 提出一种双馈变流器散热设计方案, 并且结合塔筒的模型进行散热仿真分析, 仿真结果验证了该散热设计方案满足双馈变流器运行要求。

双馈变流器是风力发电机组中的核心设备, 变流器通过对双馈异步风力发电机的转子进行励磁, 使得双馈发电机的定子侧输出电压的幅值、频率和相位与电网相同, 并且可根据需要进行有功和无功的独立解耦控制。变流器性能的优劣、可靠性的高低是影响风电机组发电质量的重要因素。但是随着大容量风电机组的发展, 变流器中的功率器件承受的电压和电流冲击越来越大, 导致功率器件的温度也越来越高, 较高的温度将影响风电机组变流器中器件的使用寿命。散热是保证双馈变流器正常运行必不可少的一个环节。本文将开展 3.4 MW 风冷双馈变流器的散热系统分析与研究, 并结合风机机组塔筒的模型进行热仿真分析验证。

变流器散热设计说明

3.4 MW 风冷双馈变流器由四个机柜组成, 分别是并网柜、控制柜、网侧功率柜和机侧功率柜, 如图 1 所示。

变流器在运行过程中产生废热, 废热的蓄积使变流器的温度升高, 影响设备的性能和使用寿命, 甚至造成设备的故障, 因此对变流器的散热需要做充分的考虑和详细的热设计, 确保变流器能够长期稳定可靠运行。

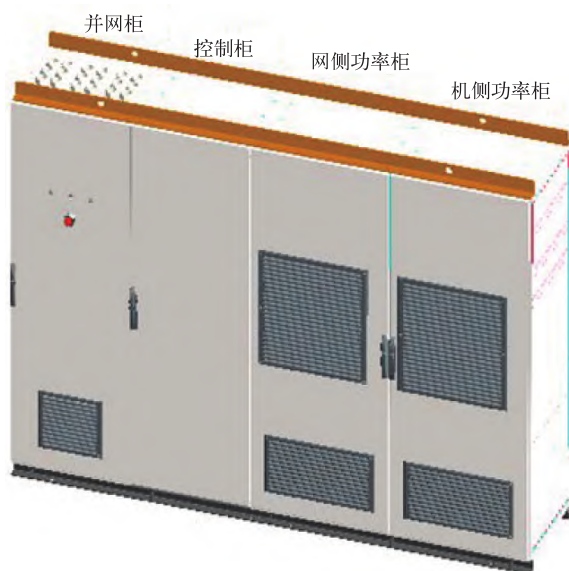


图1 变流柜结构

3.4 MW 风冷双馈变流器的整机散热方案采用风冷变流器系列化产品的设计思路, 如图 2 所示。各部分散热为独立的风道结构, 变流器进风方向为机柜正面和底部, 出风方向为机柜的背面, 且模组散热出风方向与塔筒出风方向一致, 整机采用组合式散热设计方案, 确保以最小的散热风量达到最佳的散热效果。

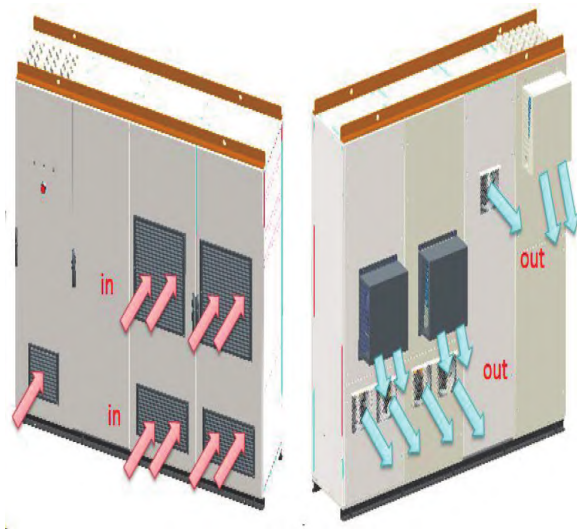


图2 变流柜散热示意图

散热所需的风量可以通过以下公式计算得出

$$V = \frac{Q}{\rho C_p \Delta T} \quad (1)$$

式中, V 为体积流量, m^3/s ; Q 为热损耗, W ; ρ 为空气密度, 一般采用平均温度下的密度来进行计算, 为 $1.1614 \text{ kg}/\text{m}^3$; C_p 为定压比热容值, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 取值为 1005 ; ΔT 为出风与进风的温差, 普遍采用温差为 $10 \sim 15 \text{ K}$ 。

变流器额定功率运行时损耗数据见表1。

表1 风冷变流器损耗数据

设备	理论计算损耗值/ kW
并网柜	2.8
控制柜	0.8
IGBT 模组	18.5
网侧、机侧电抗器	3.2
合计	25.3

根据表1各单元损耗, 通过式(1)计算出变流器散热所需的理论风量为

$$V = 25300 \times 3600 / (1.16 \times 1005 \times 15) \text{ m}^3/\text{h} \\ = 5208.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

在确定流量要求后, 需要计算气体在流动过程中需要克服系统内部的阻力, 通常使用软件模拟或试验估算系统阻抗。影响系统阻抗的因素有系统入风口百叶窗及过滤棉、内部器件的尺寸及位置、风道摩擦阻力和局部阻力、出风口防尘网及遮雨罩等, 产品结构设计中应尽量减少系统阻抗, 降低风道复杂度。依据风压及冷却流量选择轴流风机或者

离心风机, 按经验公式确定风机最大风量

$$Q_c = (1.2 \sim 1.8) Q$$

因此, 变流器功率柜配置风机风量

$$Q_c = 1.6Q = 1.6 \times 5208.4 \text{ m}^3/\text{h} = 8333.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

变流器柜体热仿真

仿真输入条件: 环境温度为 45°C , 变流器内总体热损耗为 25.3 kW 。变流器柜仿真模型如图3所示。

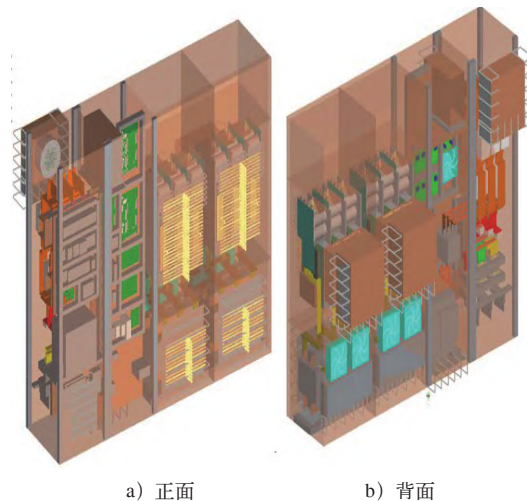


图3 变流器柜仿真模型

通过仿真软件计算变流器箱体内部温度分布, 采用高精度网格计算, 计算结果如图4、图5所示。

由图4、图5可知, 机侧功率柜模组单元进出风口温差约为 20°C , 与测试结论差异较小。

图6为机侧功率模组单元热仿真温度分布图, 得出IGBT基板最高温度为 106°C , 与测试的模块NTC温度值差异较小。

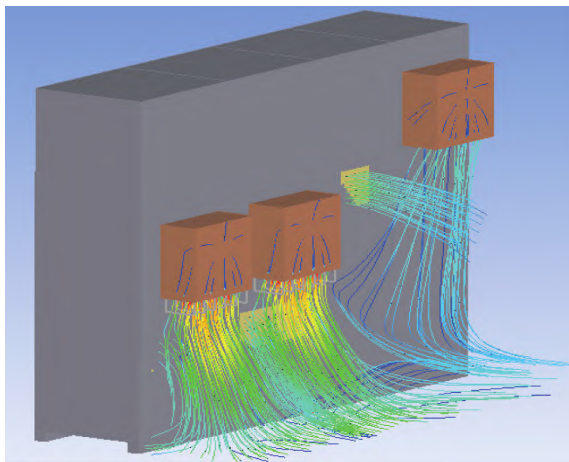


图4 变流器背面风速轨迹图

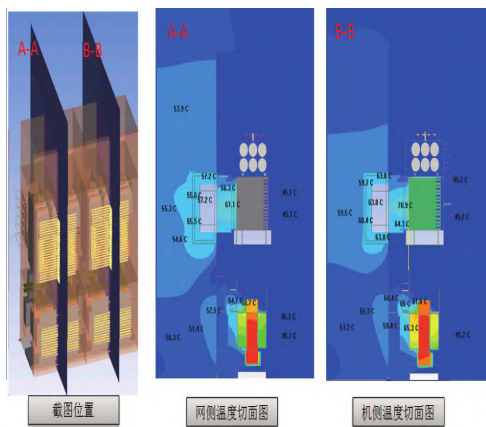


图5 功率柜网侧和机侧切面温度云图

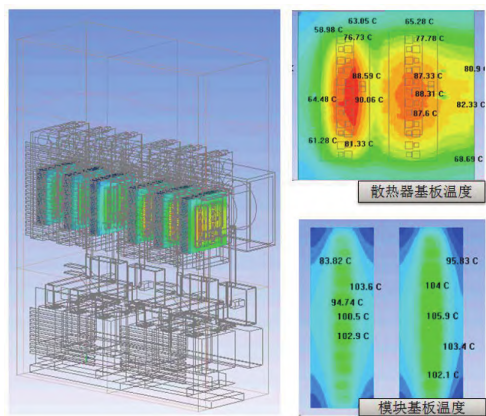


图6 模组单元散热器、IGBT温度分布

温度切面截图位置及视图方向如图7所示，并网柜和控制柜内部环境温度如图8所示。从图7、图8中可以看出，并网柜和控制柜内流场均匀，并网柜进出风口温度差为10℃左右，控制柜进出风口温度差为5℃左右。

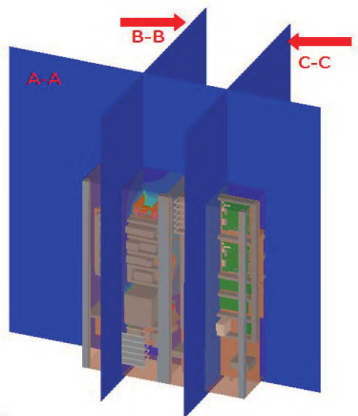


图7 温度切面截图位置及视图方向

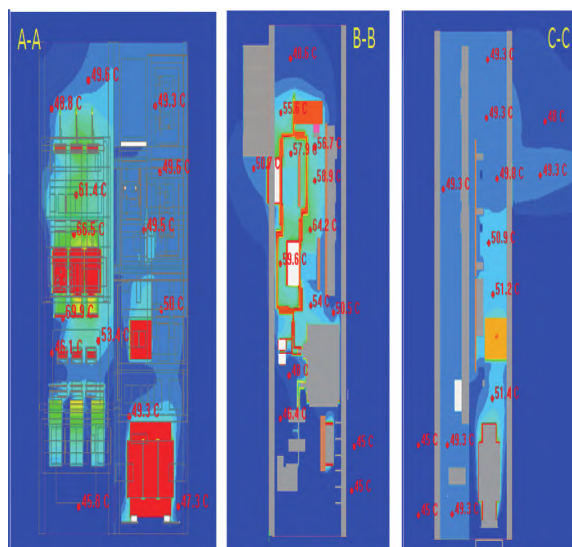


图8 并网柜和控制柜内部环境

塔筒及变流器流场仿真

3.4 MW风冷双馈变流器在实际应用中是安装在风电机组塔筒内，因此针对塔筒内的散热设计方案，进行仿真评估，从而得知3.4 MW风冷双馈变流器的散热能否满足机组要求。与运达公司技术人员进行交流，确定塔筒内塔基平台的散热方案。

1) 塔筒总高为100 m，分为5层，变流器放在第二层中，第二层高度为19 m。每一层有隔板和通风孔。

2) 第二层塔筒门上设计有进风百叶窗，外部环境的冷空气从百叶窗进入机组塔筒内部。

3) 变流器安装在塔基平台上，塔基平台在变流器的后方位置开设通风格栅，在塔筒的第一层安装有排气的轴流风扇，轴流风扇吸入变流器排出的热气并排放到塔筒外部环境中。

依据现有的塔筒散热设计方案，确定了塔筒、变流器在塔筒内模型及塔筒散热气流流向图，如图9所示。

3.4 MW风冷双馈变流器在机组塔筒内的热仿真输入条件为：塔筒外部环境温度为40℃；塔筒第一层散热的轴流风扇型号为YWF500，最大风量为10 800 m³/h；建立塔筒、变流器热仿真模型。

塔筒内流场分布及风速轨迹图如图10所示。

由图10的内流场分布可以得出，3.4 MW风冷双馈变流器内排出的热空气的流向分为两部分：一部

分热空气因塔筒的烟囱效应流向塔筒顶端；另一部分热空气被塔筒第一层的轴流风扇吸入，排放到大气环境中。由风速轨迹图可以得出，塔筒内部越接近塔筒顶部风速越小，而安装在塔筒第一层的轴流风扇的风速非常大，出风口最大风速为5 m/s以上。

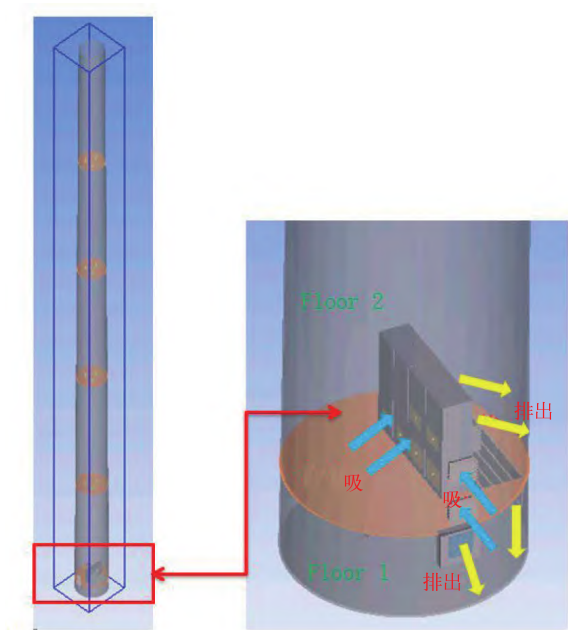


图9 塔筒及变流器仿真模型及气流走向示意图

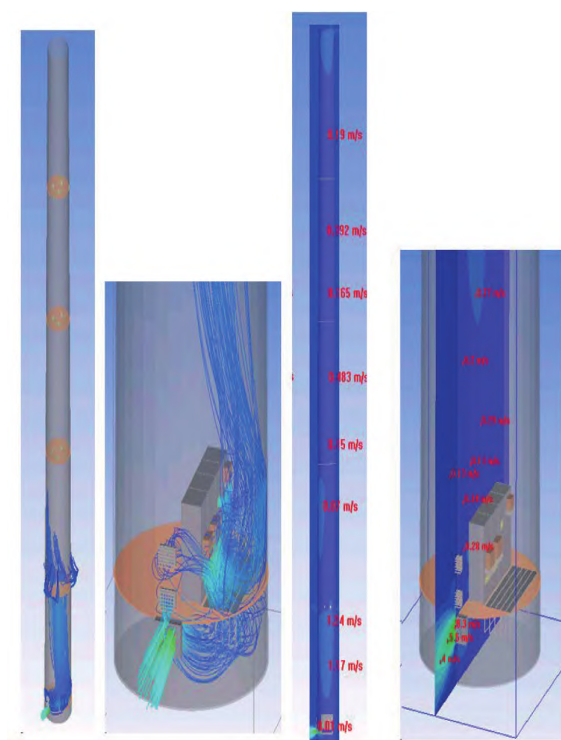


图10 塔筒内流场分布及风速轨迹截图

由塔筒内部环境温度分布可得出，塔筒内第三层及以上的塔筒层受变流器热气影响很小。

由变流器层的内部环境温度分布可知，在塔筒外部环境温度为40℃时，塔筒内变流器出风口的最高温度不超过60℃，变流器的进风口的前腔体温度较低，为45℃左右，变流器出风口的后腔体，平均环温在60℃以下，变流器出风口的热气经过塔基平台的通风格栅，流到塔筒底部第一层空间，塔筒第一层最高环境温度为49℃左右，但空间较大，被轴流风扇吸入时，入风口温度在45℃左右。

综上，现有的机组塔筒散热设计方案能够满足3.4 MW风冷双馈变流器的散热要求。

结束语

本文通过对3.4 MW风冷双馈变流器散热设计进行分析说明，并且结合风电机组的塔筒模型进行散热仿真分析验证，仿真结果表明：变流器以及塔筒的散热设计方案满足风电机组的运行要求。EA

参考文献

- [1] 董红云, 高首聪, 宋建秀, 等. 风电机组塔筒内大功率风冷变流器的散热研究[J]. 大功率变流技术, 2017(1): 50-54.
- [2] 孟建岭. 风力发电机组变流器散热装置的设计与研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2020.
- [3] 胡建辉, 李锦庚, 邹继斌, 等. 变频器中的IGBT模块损耗计算及散热系统设计[J]. 电工技术学报, 2009, 34(03): 159-163.
- [4] 杨旭, 马静, 张新武, 等. 电力电子装置强制风冷散热方式的研究[J]. 电力电子技术, 2000, (04): 36-38.
- [5] 牟金善. 一种海上风电机组变流器共模电流干扰的抑制方法[J]. 电气应用, 2020, 40(5): 76-81, 106.
- [6] 肖金红, 童剑雄, 廖高煜, 等. 大功率风电机组供电变压器寿命损失分析[J]. 电气应用, 2020, 40(10): 62-65.
- [7] 田宇, 赵恒阳, 柯艳国, 等. 智能变电站智能控制柜散热策略研究[J]. 电气应用, 2020, 39(6): 40-45.

(收稿日期: 2021-11-24)