

某风力发电机温度场仿真分析

Wind Generator Temperature Field Simulation Analysis

贾志超 张海凤

(湘潭电机股份有限公司 湖南 湘潭 411101)

摘要: 本文利用 STAR-CCM+ 对某风力发电机的温度场进行了模拟, 了解了各部件的温度分布, 为今后结构的改进设计提供了依据。同时, 本文通过分析结果与样机试验结果对比, 证明了 CFD 方法的可行性及有效性。

关键词: 风力发电机; 温度场; CFD; STAR-CCM+

Abstract: The temperature field of a wind generator was simulated by STAR-CCM+. And the temperature distribution of each component was analyzed for design improvement of the structure. Also, this paper compares the results of analysis and experiment, proving the feasibility and effectiveness of CFD.

Keywords: wind generator, temperature field, CFD, STAR-CCM+

1. 分析模型

图 1 为某外转子内水冷永磁直驱风力发电机整机模型, 图 2 为本文的分析模型。分析模型的简化方法为取实物模型圆周 1/32 轴向 1/2, 忽略机座外表面的不平滑对外流场、转子转动对内流场的影响。分析模型中的固、液、气各组件如图 3 图 4 所示, 其中定子线圈、定子铁芯、转子磁钢为热源, 冷却液、外流场为冷却源。建模时未考虑定子线圈绝缘, 在计算时以等效热阻的方式处理。冷却液入口温度取进出口温度设计值的平均值, 计算结果中各部分的温度相当于进、出位置的平均。

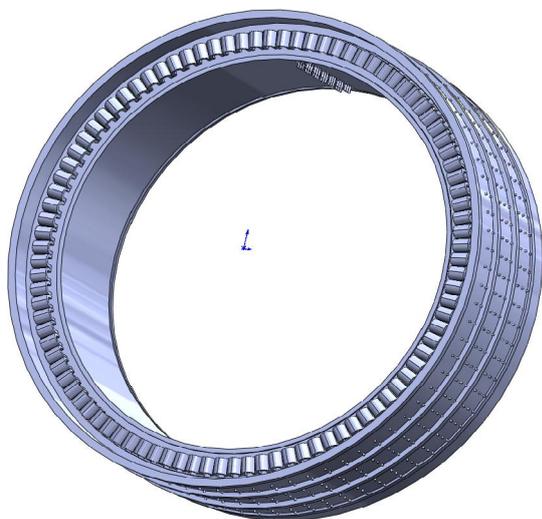


图 1 整机模型

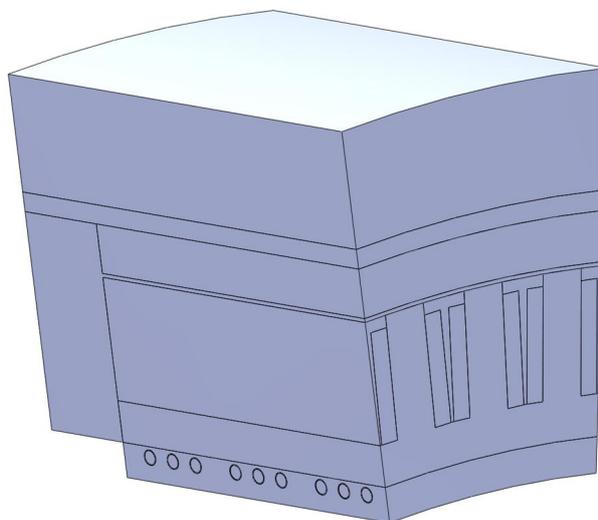


图 2 分析模型

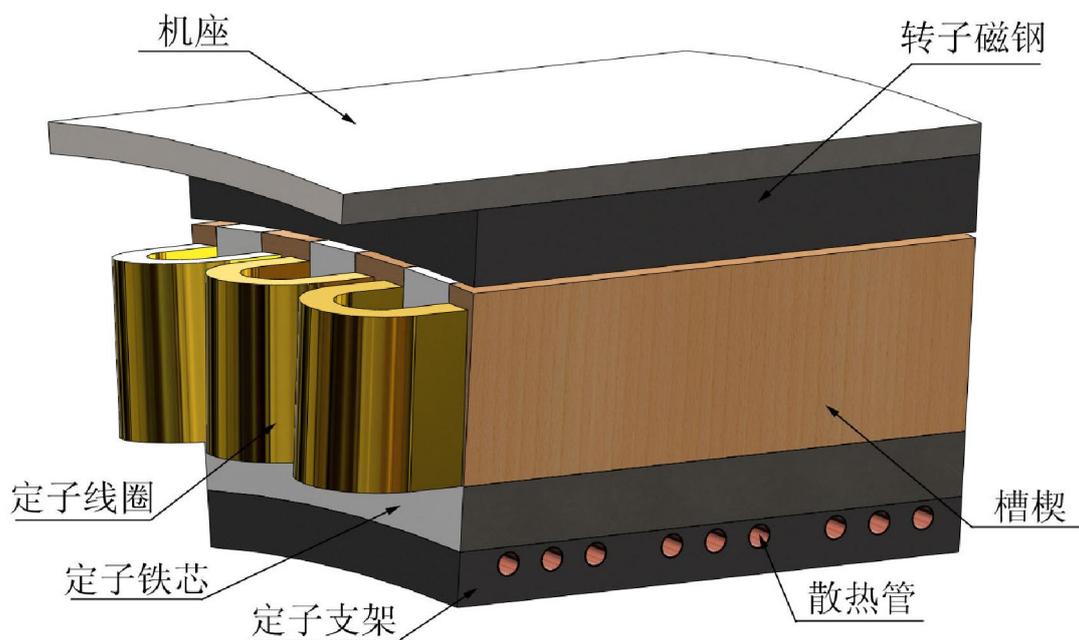


图 3 分析模型中固体部分

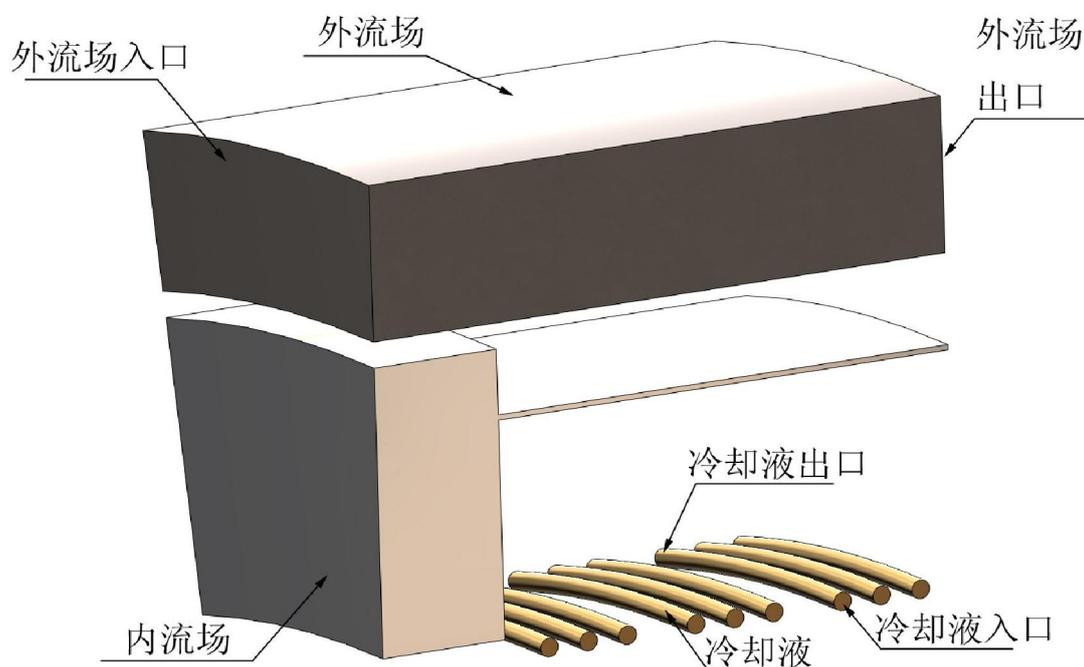


图 4 分析模型中液体、气体部分

2. 网格划分

面网格处理是流固耦合类分析中较为关键的步骤，主要的原则就是消除导入模型后的重合面并创建 Interface 以供分析中各 Region 交换能量。本文模型中存在较多的细小尺寸如厚度仅有 1mm 的散热管，因此借助 STAR-CCM 中强大灵活的针对 FeatureCurve Boundary Region 的布尔操作工具采用手动修复方式处理面网格。

体网格采用多面体网格，多面体网格对模型中曲面的适应性、网格数量以及迭代收敛速度优于切割体网格。网格总数约 176 万，如图 5 图 6 所示。整体平均网格质量为 0.65，各 Interface 上的节点对应情况为完全匹配，散热管处的网格也有较好的质量，保证了计算的精度。

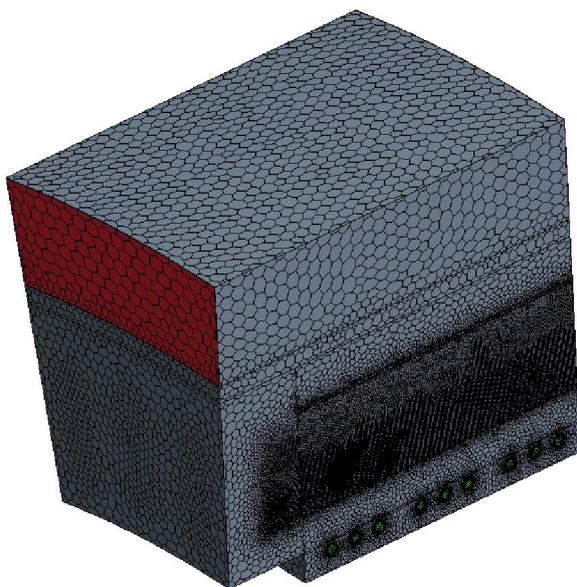


图 5 整体体网格

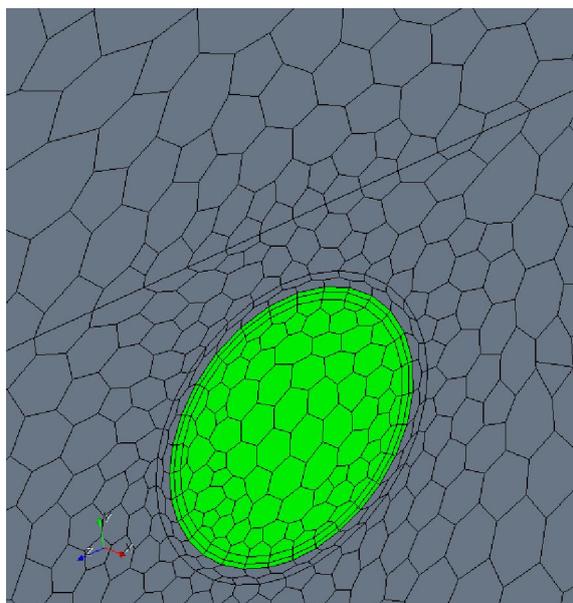


图 6 散热管处体网格

3. 物性参数

各组件的物性参数见表 1。

表 1 各组件物性参数

	外流场	内流场	机座	转子 磁钢	定子 铁芯	定子 线圈	槽楔	定子 支架	散热 管	冷却液
材质	空气	空气	钢	钢	钢	铜	玻璃 布板	钢	铜	60%乙二 醇 40%水
密度 (kg/m ³)	1.128	1.128	7800	7800	7800	8900	1700	7800	8900	1066
比热容 (J/kg·K)	1003.62	1003.62	448	448	448	386	2093	448	386	2847.024
导热系数 (W/m·K)	0.026	0.026	80	80	80	398	0.167	80	398	0.346416
动力粘度系数 (Pa·s)	1.87E-5	1.87E-5	---	---	---	---	---	--	---	1.46E-3
热生成率 (W/m ³)	---	---	---	41494	9581	99525	---	--	---	---

4. 边界条件

环境温度 40 。

外流场入口速度 11m/s, 入口温度 40 , 出口为自由出口。

冷却液入口速度 1.6m/s, 入口温度 47.85 , 出口为自由出口。

定子线圈与槽楔、定子线圈与铁心、定子线圈与内流场之间的接触热阻为 0.015m²/W。

考虑散热管与定子支架安装时的接触情况, 给定接触热阻 0.005m²/W。

5. 解算信息

分析采用定常稳态计算, 以定子线圈、定子铁芯、转子磁钢的体平均温度变化和迭代残差为收敛判据, 迭代至 4000步时趋于收敛, 如图 7 图 8所示, 解算时间约 6小时。

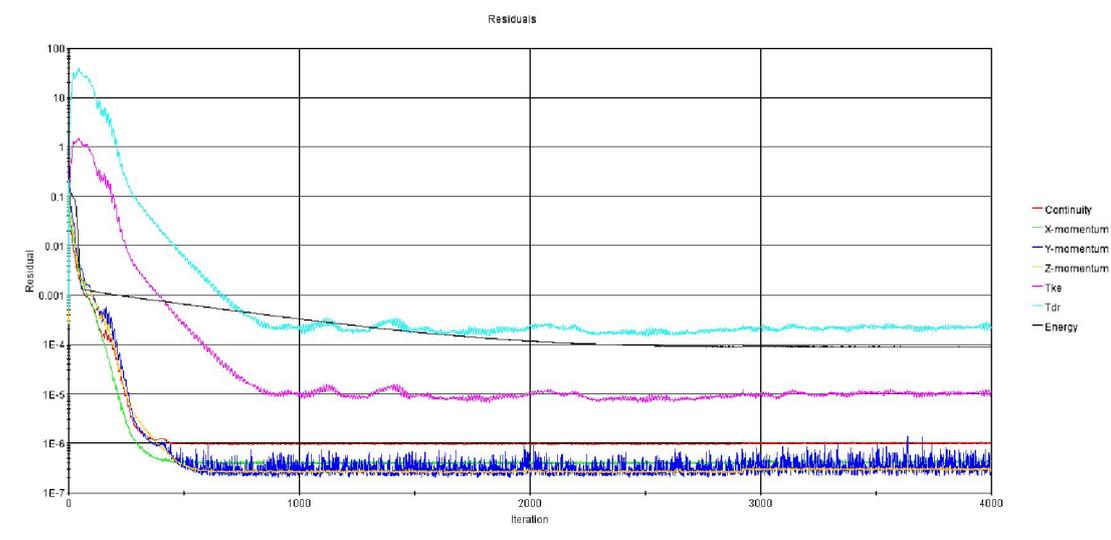


图 7 残差曲线

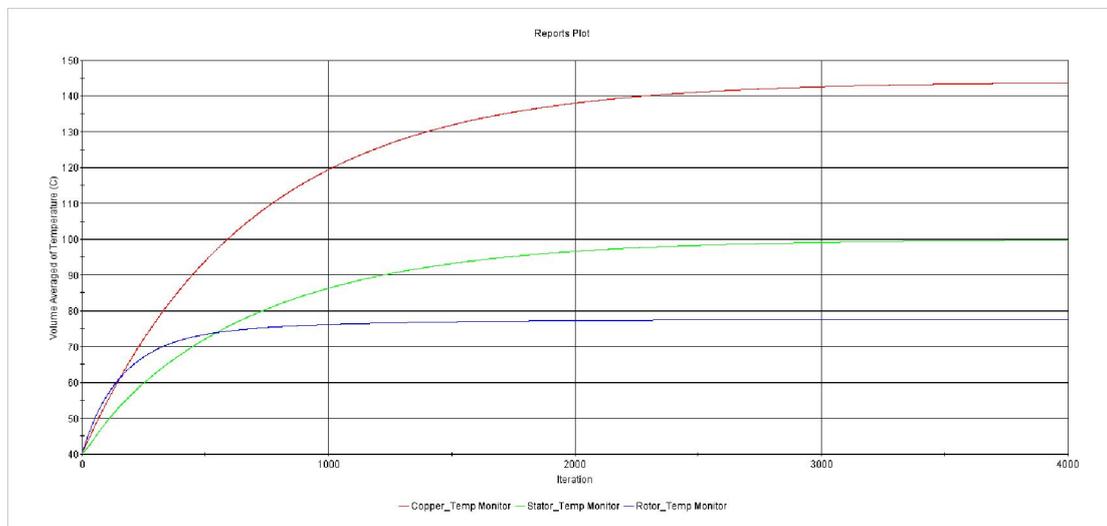


图 8 体平均温度曲线

6. 分析结果

整体及各部件的温度云图见图 9-图 16所示。定子线圈最高温度 148.50 ，平均温度 143.67 ；定子铁芯最高温度 108.80 ，平均温度 99.70 ；槽楔最高温度 146.81 ，平均温度 133.60 ；转子磁钢最高温度 80.60, 平均温度 77.54 ；定子支架最高温度 91.91 ，平均温度 87.92 ；散热管的最高温度 50.64 ，平均温度 50.32 ；冷却液出口平均温度 48.01 ，进出口压差为 838Pa, 即冷却液在整机上的压降为 4.83MPa

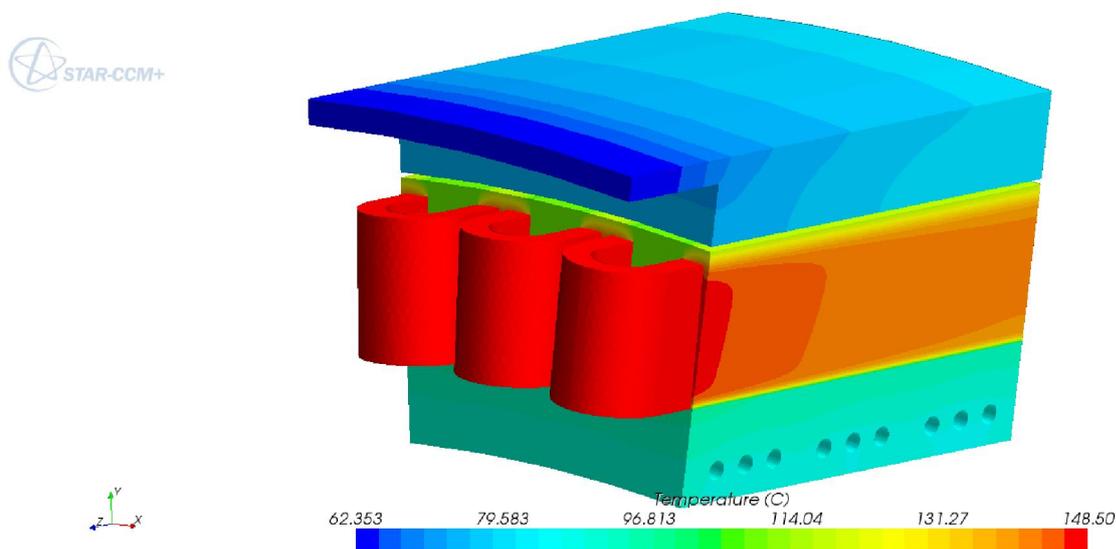


图 9 固体温度云图

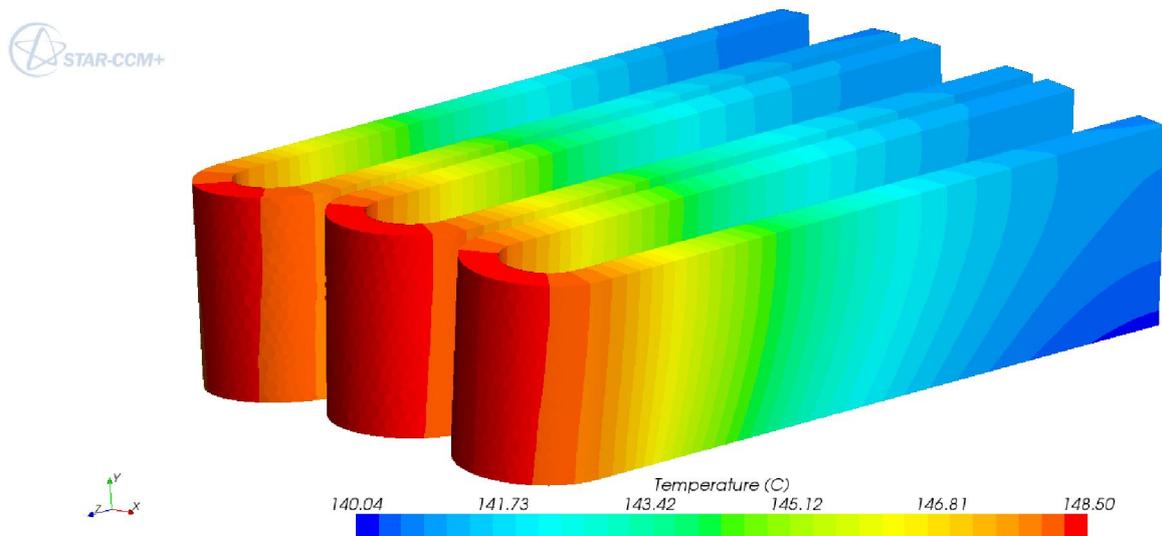


图 10 定子线圈温度云图

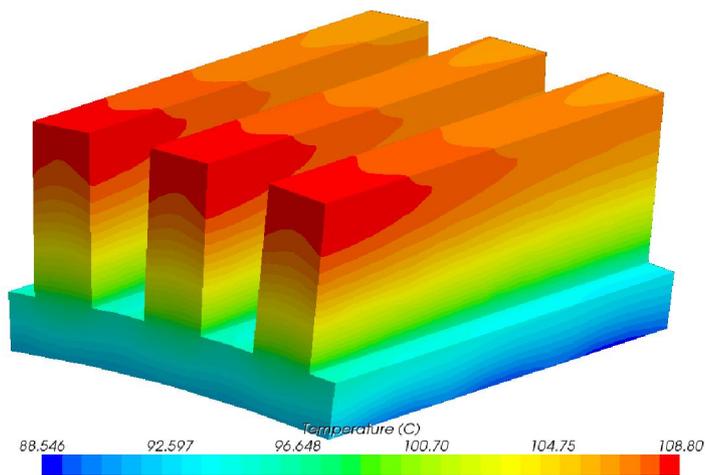


图 11 定子铁芯温度云图

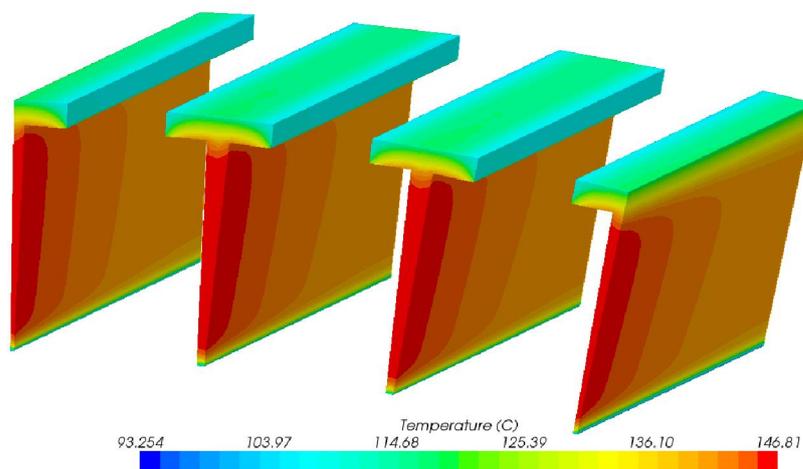


图 12 槽楔温度云图

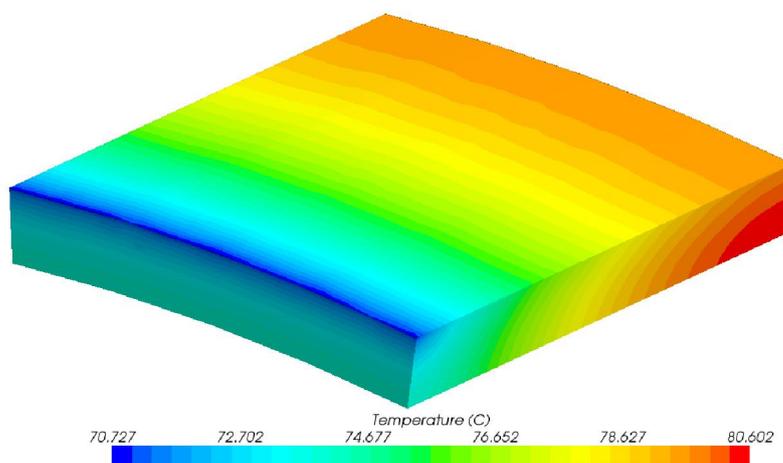


图 13 转子磁钢温度云图

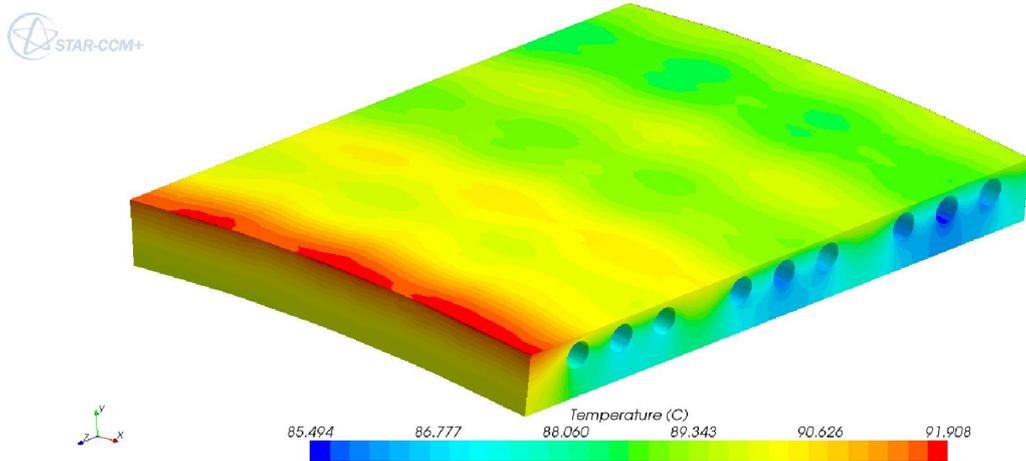


图 14 定子支架温度云图

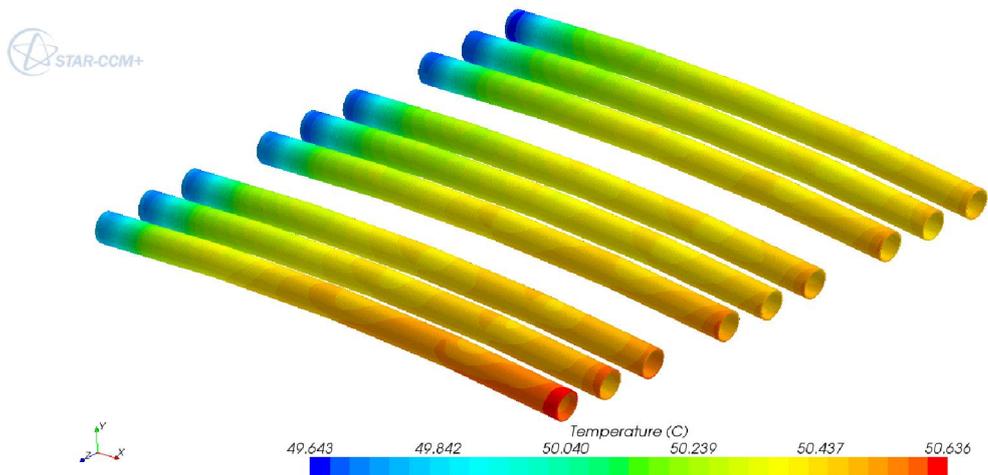


图 15 散热管温度云图

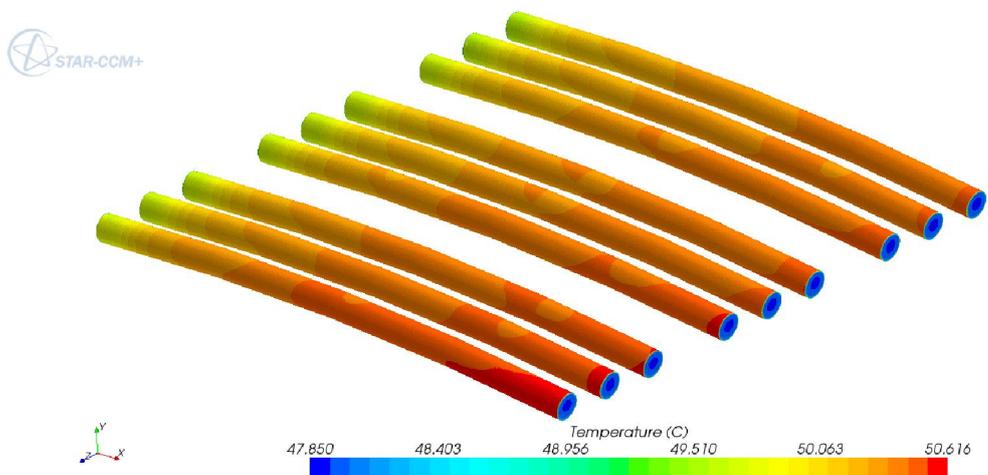


图 16 冷却液温度云图

7. 分析结论

本文通过对风力发电机温度场的仿真分析，达到了较为准确地了解了其内部温度分布的目的，并得出以下结论：

1) 与原理样机试验结果比较，定子线圈、定子铁芯的最高温度仿真值和测量值误差在 2 以内，证明了 CFD 方法的可行性和有效性。

2) 通过去除定子支架与散热管间接触热阻的后续分析，定子线圈、定子铁芯温度降低了 30 左右，因此在不增加冷却系统负担（压降 4.83MPa 已接近泵的最大工作压力）的情况下，降低电机温升最有效的方法就是使定子支架与散热管的接触更为良好。

3) STAR-CCM+ 以其友好的界面、强大的功能以及优秀的并行计算能力，能够在保证结果准确的前提下大大提高分析效率，以仿真驱动设计，得出最行之有效的改进方向。本文分析和后续分析在一天内完成，效率较高。

8. 参考文献

[1] 王福军，《计算流体力学分析》，北京：清华大学出版社，2004

[2] CD-Adapco Inc., STAR-CCM+ User' s Guide, CD-Adapco Inc., 2008