

空冷异步电机外风路分析

Analysis of air-cooled motor outside the air duct

赵颖 王云飞

沈阳远大科技电工集团/电机事业部

摘要: 为了详细了解空冷异步电动机外风路系统中冷却空气的流动状况, 现以我公司 YKK560-4 1250KW 10KV IP54 三相异步电动机为研究对象, 运用有限元分析软件 STAR-CCM+ 对其外风路系统进行数值模拟计算。基于流体力学基体原理及风路系统的结构特点, 建立电机外风扇、风扇罩及冷却器的三维模型, 给出边界条件, 利用有限体积法进行数值模拟, 力求所得结果对改进其机械结构提供理论依据。

关键词: 空冷异步电机; 流体场; Moving Reference Frames; STAR-CCM+

Abstract To learn more about the condition of the flow of cold air in the air-cooled motor outside the air duct system, now I plant YKK560-4 1250KW 10KV IP54 three-phase asynchronous motor as the research object, using the finite element analysis software STAR-CCM + outer air duct system for numerical simulation. Based on the principle of fluid dynamics matrix and structural characteristics of the air duct system, establish the motor outside the three-dimensional model of fan, fan cover and cooler given boundary conditions, finite volume method for the numerical simulation results provide a theoretical basis for improving its mechanical structure

Key words: Air-cooled asynchronous motors; fluid field; Moving Reference Frames; STAR-CCM +

1 引言

随着单机容量的不断增大, 电机的温升问题一直制约着现代电机产业的发展。准确温升计算是国内外电机研究与设计制造部门多年来致力解决的问题。采用有效的冷却技术、合适的空气流量分布及温升计算方法, 以提高其散能力及计算结果的准确性。空冷电机的结构特点是用随处可用的自然空气结电机进行冷却, 多采用强制通风设备(外带风扇或风机)。电机外风路系统中的流场研究对提高电机空冷效果具有重要意义、对风量分布的准确计算也很有必要, 根据计算结果, 可对其通风结构进行改进和优化, 使其通风结构达至最优设计, 从而减小通风及电机的总体机械损耗, 进而提高电机的效率。

本文以我公司生产的 YKK560-4 1250KW 10KV IP54 三相异步电动机作为研究对象, 根据计算流体力学利用有限元分析软件 STAR-CCM+, 对电机冷却系统的外风路部分的三维流体场进行分析计算, 研究冷却空气在其内部的分布及流动特性。

2 计算模型

2.1 基本数学理论

流体流动要受到物理守恒定律的支配，即流动要满足质量守恒方程、动量守恒方程、能量守恒方程。

① 质量守恒方程(连续性方程)

定律表述为：在流场中任取一个封闭区域，此区域称为控制体，其表面称为控制面，单位时间内从控制面流进和流出控制体的流体质量之差，等于单位时间该控制体质量增量。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = s_m$$

式中， t 为时间； $x_j (j=1,2,3)$ 为坐标； ρ 为密度； u_j 为气流密度分量； s_m 为质量源项。

② 动量守恒方程(N-S 方程)

任何控制微元中流体动量对时间的变化率等于外界作用在微元上各种力之和。

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + s_i \quad (i=1,2,3)$$

式中， p 为气体压力； $s_i (i=1,2,3)$ 为动量源项； τ_{ij} 为作用在与 i 方向相垂直的平面上的 j 方向上的应力

$$\tau_{ij} = 2\mu s_{ij} - \frac{2}{3}\mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} - \overline{\rho u'_j u'_i},$$

μ 为动力粘性系数； s_{ij} 为流体变形率张量； u' 为湍流脉动速度； δ_{ij} 为克罗内尔符号；

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right),$$

③ 能量守恒方程

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j h + \overline{\rho u'_j h'}) = \frac{\partial p}{\partial t} + u_j \frac{\partial p}{\partial x_j} + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + s_h$$

式中， h 为气体的比焓； s_h 为能量方程的源项。

2.2 几何模型

为保证计算结果的准确性，我公司的计算机工作站配置也能满足计算迭带要求，所以整个过程采用三维模拟。

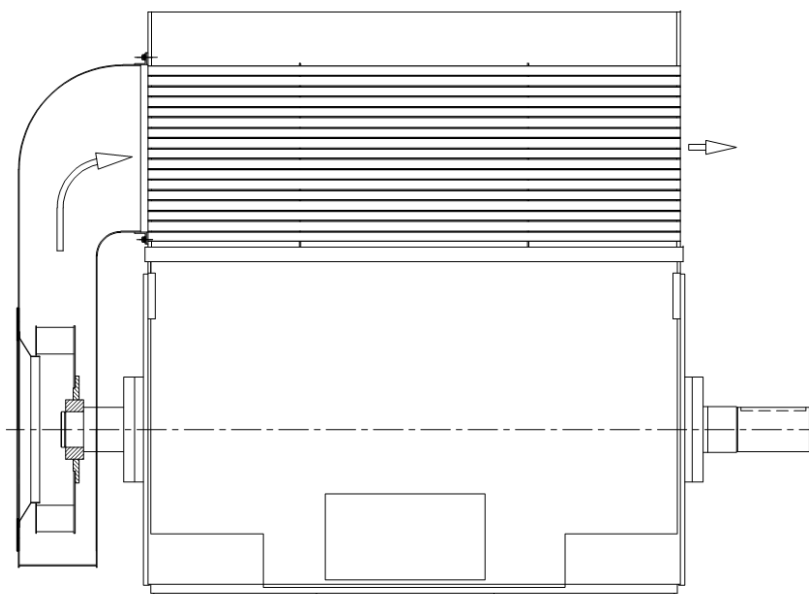


图 1 电机外风路示意图

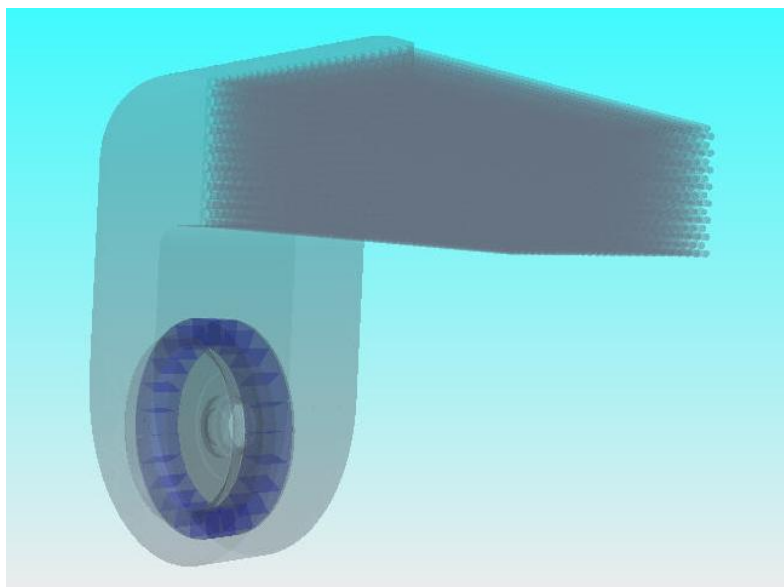


图 2 外风路流体场

2.3 计算设置及边界条件

将整个流体场计算区域分成两部：一个计算域为离心风扇区——fan 区，fan 区采用 Moving Reference Frames 模型；除去 fan 风扇区以外的流体场为另一计算区域，设为 cool 区。cool 区的入口边界设为 Stagnation inlet，出口设为 pressure outlet。先建立一个 Moving Reference Frames 模型要求的相对旋转坐标系，转速为电机的转速 1492/rpm。其他所有边界均为 wall。共有三个 interface，fan 区的进、出口与 cool 区重合面定义为连接状态，另一个 interface 定义为 Ballfe 障碍板。计算需要，创建两个辅助面，一个是沿电机轴向中心，另一个沿风扇的径向切面。

2.4 网格生成

整个流体场计算区域均定义生成 STAR-CCM+特有的多面体网格，并考虑边界层，边界层数定义为两层。总体的网格单元数为 10475630 个 cell，其中 fan 区 453200 个，cool 区 10022430 个，如图 3、图 4 所示。

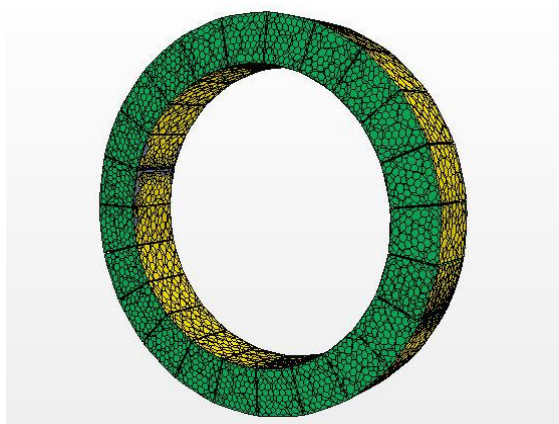


图 3 fan 区网格模型

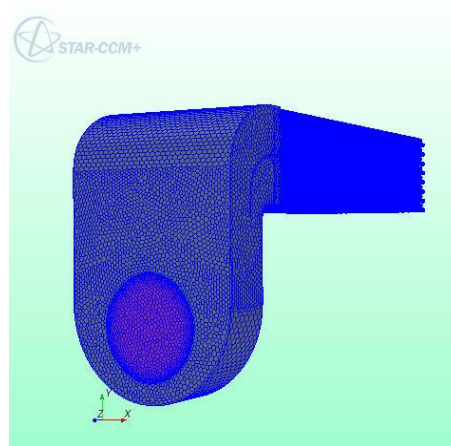


图 4 cool 区网格模型

3 计算结果

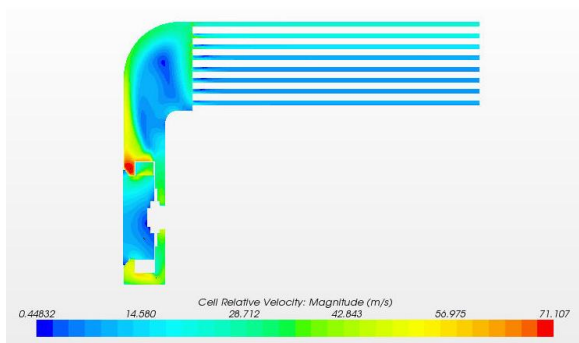


图 5 近壁处轴向速度分布云图

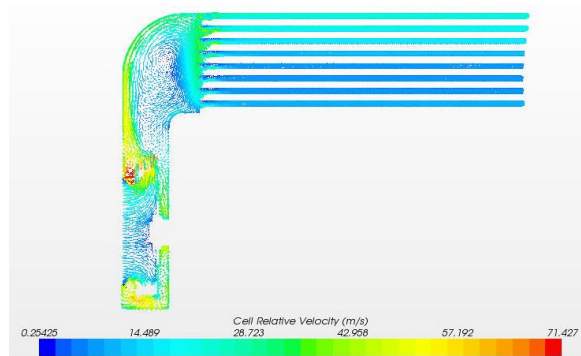


图 6 近壁处轴向速度矢量分布图

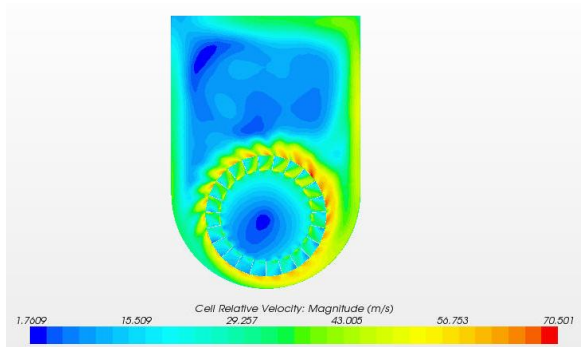


图 7 风扇近壁处径向速度分布云图

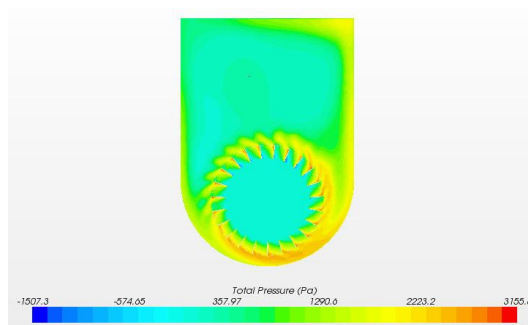


图 8 径向压力分布云图

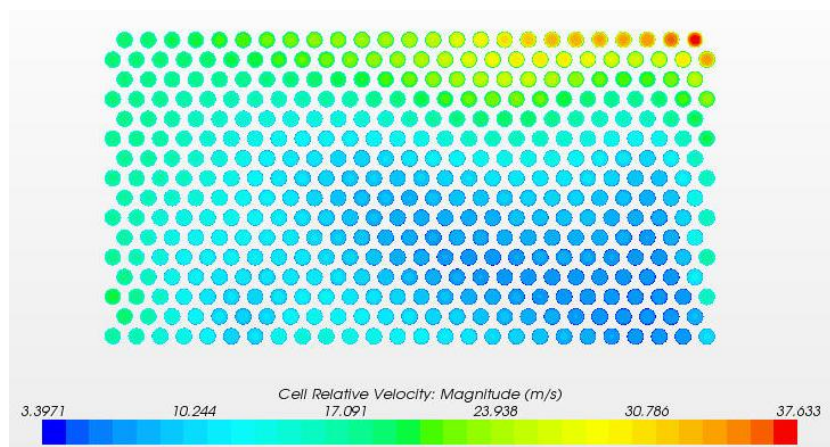


图 9 冷却器出口近壁处速度分布云图

4 结论

整个流体场中冷却空气的分布与我们想象的情况差别很大，这些通过理论计算是无法发现的。近壁处的速度轴分布见图 5、图 6，从图可以看出由于冷却空气经风扇加压后大部分沿风扇罩的外缘上升之后向下分散后进入冷却管。在风扇罩的弧形区形成一个较大的涡流区。进入冷却管的风量分配很不均，约从 6m/s 到 18m/s。从图 6、图 7 可以发现由于电机旋转的原因，造成冷却空气沿径向分布也不均，所以冷却器出口处的风量分布横向、纵向都有差别，如图 9 所示。

电机的实际生产设计中我们可以通过改变风扇的结构尺寸及安装位置、增加挡风板、改变风扇罩结构形状减小涡流区，尽量使风量分配均匀些，从而改善冷却器的冷却效果，有效控制电机的温升，提高电机效率。

5 参考文献

- [1] 丁舜年编《大型电机的发热与冷却》科学出版社 1992.7
- [2] 魏永天 孟大伟 温嘉斌编《电机内热交换》机械出版社 1998.5
- [3] 景思睿 张鸣远编《流体力学》西安交通大学出版社 2001.7