

# 直接空冷系统噪声分析及估算

崔超

(中国大唐科技工程有限公司,北京 100097)

**摘要:**直接空冷系统的噪声主要包括风机群的气动噪声,其中偶极子声源占主导地位。利用 Fluent 声学模块对空冷岛进行了流场模拟和噪声估算,可以看出 Fluent 可对流场进行有效模拟,可考虑采取降低低频噪声的方式来改善直冷系统对周围环境的影响。

**关键词:**直接空冷;气动噪声;流场分析;噪声估算;风机群;低频噪声

**中图分类号:**TK 83 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-1951(2017)08-0029-03

## 0 引言

我国燃煤电厂受到水资源的制约较为严重,而 1 座湿冷电厂的耗水量相当于 10 ~ 15 座同容量空冷电站的耗水量,所以发展空冷技术是解决这一问题的的重要途径<sup>[1]</sup>。电厂空冷技术经过了多年发展,技术已经日臻成熟,且在我国北方缺水地区得到了应用<sup>[2]</sup>。其中,直接空冷系统是采用机械通风强迫对流方式对汽轮机的排汽进行冷却,通常 1 台直接空冷机组需要配置数十台轴流风机,而直接空冷系统在运行时会产生相当大的噪声,是电厂的主要噪声源。因此,直接空冷风机群产生的噪声已成为公害之一<sup>[3]</sup>。风机群噪声在厂界内是否满足厂界噪声环境标准是影响直接空冷系统及建设的重要问题。

## 1 噪声分析

直接空冷系统的噪声主要是由轴流风机群高速运转产生的。轴流风机的噪声主要为机械噪声和空气动力性噪声。机械噪声包括电动机噪声、传动件引起的噪声、风机叶轮不平衡所引起的振动噪声等。空气动力性噪声主要包括离散噪声和宽带噪声,前者与叶轮的旋转有关,具有离散的频谱特性,后者是由于气流流动时的各种涡流分离产生的,是一种频率连续变化的宽频噪声。根据气动声学莱特希尔基本方程可知,风机叶片噪声是由 3 种典型声源组成的,分别是单极子声源、偶极子声源和四极子声源。大量试验和实践证明,偶极子声源占主导地位。

近年来,随着计算流体动力学(CFD)的快速发展,给我们提供了一种通过建立流场模型来模拟风机运行时的流场分布,来探讨最佳风机配置方案的方法<sup>[4]</sup>。本文根据现场某电厂实际配置方案,建立

了 5 × 6 台风机规模的直接空冷岛模型。利用 Fluent 软件对直接空冷岛模型进行了流场模拟,并通过声学模块对空冷岛噪声进行了估算。

## 2 模型的建立及网格划分

本文采用 Gambit 软件和网格处理软件建立了模型,并且为模型绘制了网格。依据直接空冷系统空冷岛的实际布置方式,建立了计算域内的几何模型如图 1 所示:挡风墙设置为 wall,换热翅片管束简化为 radiator 平面,风机也简化为面,设置为 fan。按照实际尺寸进行建模,尽可能地反映了电厂直接空冷岛的真实情况。几何模型采用了足够大的计算域,以消除计算边界的影响。模拟对象为三维模型,绘制了精确的网格,设定了准确的边界条件。本文的计算域采用四面体和六面体网格,遵循点线面体的原则逐步绘制,整个过程兼顾到计算条件和计算精度,选择了合适的网格间距,同时对多尺度计算数据的传递有较好的连续性。本文模型中的空冷岛及其周围区域采用适应性较强的四面体网格,如图 2 所示,其他区域则采用质量较好的六面体网格。

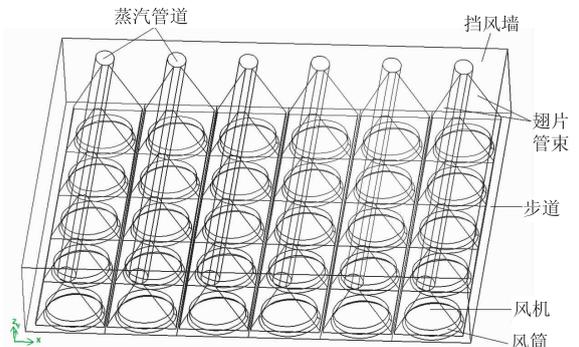


图 1 空冷岛模型

## 3 流场分析及噪声估算

在数值计算过程中,空气被认为是不可压缩的

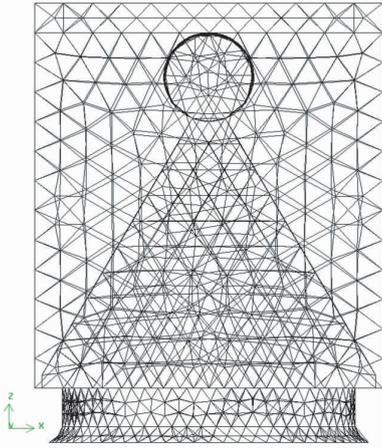


图 2 空冷岛部分网格划分

理想流体,流体在固体壁面上无滑移,流动为湍流流动。在进行气动噪声的模拟时,为缩短计算时间,首先经过稳态计算流场稳定后再进行非稳态计算,待计算稳定后再开启声学模块进行噪声估算。稳态计算中紊流模型采用 RNG  $k-\epsilon$  模型,压力-速度的耦合采用 SIMPLE 算法。噪声估算采用的是非稳态隐式求解,紊流模型采用 LES 大涡模型,采用 PISO 算法计算。

### 3.1 LES 模型

LES 的基本假设:(1) 动量、能量、质量及其他标量主要由大涡输运。(2) 流动的几何和边界条件决定了大涡的特性,而流动特性主要在大涡中体现。(3) 小尺度涡旋受几何和边界条件影响较小,并且各向同性;大涡模拟过程中,直接求解大涡,小尺度涡旋模拟,从而使得网格要求比 DNS 低。

LES 控制方程如下:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}, \quad (2)$$

式中: $\rho$  为流体密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $t$  为时间,  $\text{s}$ ;  $\bar{u}_i, \bar{u}_j$  为速度分量,  $\text{m/s}$ ;  $x_i, x_j$  为长度分量,  $\text{m}$ ;  $\mu$  为动力粘度,  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ;  $\bar{p}$  为压力,  $\text{Pa}$ ;  $\tau_{ij}$  为亚网格应力,  $\text{MPa}$ 。

### 3.2 FW&H 模型

LES 的基本假设:Fluent 中用 Ffowes Williams 和 Hawkings 提出的 FW-H 方程模拟声音的产生与传播,这个方程中采用了 Lighthill 的声学近似模型。FW&H 方程如下:

$$\frac{1}{a_0^2} \frac{\partial^2 p'}{\partial t^2} - \nabla^2 p' = \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \{ T_{ij} H(f) \} - \frac{\partial}{\partial x_i} \{ [p_{ij} n_j + \rho u_i (u_n - v_n)] \delta(f) \} +$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \{ [\rho_0 v_n + \rho (u_n - v_n)] \delta(f) \}, \quad (3)$$

式中: $p'$  为远场声压,  $\text{Pa}$ ;  $a_0$  为远场声速,  $\text{m/s}$ ;  $T_{ij}$  为 Lighthill 压力张量,  $\text{Pa}$ ;  $H(f)$  为亥维赛函数;  $p_{ij}$  为压应力张量,  $\text{Pa}$ ;  $n_j$  为指向外部的单位法向量;  $\delta(f)$  为狄拉克得尔塔函数;  $u_i$  为  $x_i$  方向流速分量,  $\text{m/s}$ ;  $u_n$  为垂直于  $f=0$  表面的流速分量,  $\text{m/s}$ ;  $v_n$  为垂直于表面的表面速度分量,  $\text{m/s}$ ;  $\rho_0$  为未振动流体密度,  $\text{kg/m}^3$ 。

### 3.3 FW&H 模型计算结果及分析

稳态计算收敛后的压力及流线分布如图 3 所示。选取  $y=0$  截面,从图 3 中可以看出,空气在流动过程中偏转最大的区域在空冷岛两侧空气入口处,此处的压力也是最低的。而空冷单元的 A 型区域由于流道有遮挡,阻力增大,导致空气流动产生阻塞,在此处形成高压,而在换热翅片管束出口处形成低压区。 $y=0$  截面的温度场分布如图 4 所示。

由图 4 可以看出,高温区呈锥形分布。从模拟结果来看,与实际空冷岛的流场分布情况是比较符合的。

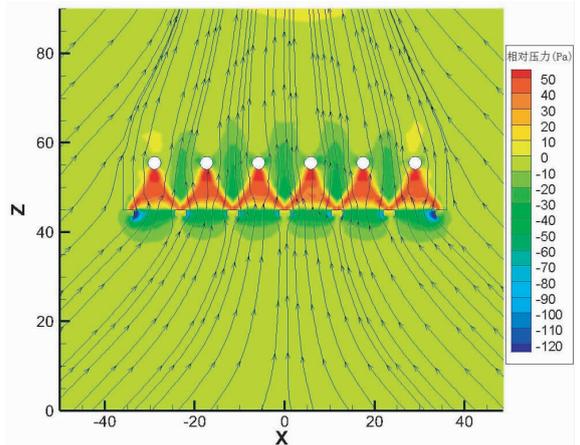


图 3  $y=0$  截面压力及流场分布(截屏图)

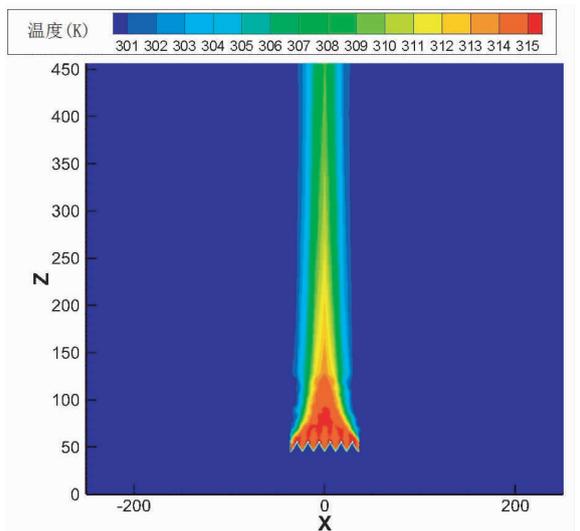


图 4  $y=0$  截面温度场(截屏图)

气动噪声的生成和传播可以通过求解可压 N-S 方程的方式进行数值模拟。然而声波的能量与气流流动的能量相比要小几个数量级,客观上要求气动噪声计算所采用的格式应有很高的精度,同时从音源到声音测试点划分的网格也要足够精细。因此,进行直接模拟对系统资源的要求很高,而且计算时间也很长。为了弥补直接模拟的这个缺点,本文采用了 Lighthill 的声学近似模型,将声音的产生与传播过程分别进行计算,从而达到加快计算速度的目的<sup>[5]</sup>。

本文采用 Ffowcs Williams 和 Hawkings 提出的 FW-H 方程模拟声音的产生与传播,这个方程中采用了 Lighthill 的声学近似模型。Fluent 采用在时间域上积分的办法,在接收声音的位置上,用 2 个面积分直接计算声音信号的历史。这些积分可以表达声音模型中单极子、偶极子和四极子等基本解的分布。积分中需要用到的流场变量包括压强、速度分量和音源曲面的密度等,这些变量的解在时间方向上必须满足一定的精度要求。满足时间精度要求的解可以通过求解非定常雷诺平均方程 (URANS) 获得,也可以通过大涡模拟 (LES) 或分离涡模拟 (DES) 获得。大涡模拟把湍流分成大尺度湍流和小尺度湍流,通过求解三维经过修正的 Navier-Stokes 方程,得到大涡旋的运动特性,而对小涡旋运动还采用上述的模型。音源表面既可以是固体壁面,也可以是流场内部的一个曲面。声音的频率范围取决于流场特征、湍流模型和流场计算中的时间尺度。基于 LES 模型的基本假设,Fluent 中用 Ffowcs Williams 和 Hawkings 提出的 FW-H 方程模拟了声音的产生与传播,这个方程中采用了 Lighthill 的声学近似模型。

#### 4 流场分析及噪声估算

气动噪声的计算大体上可以分为两大步:首先通过流场计算,求出满足时间精度要求的各相关变量(压强、速度和密度)在音源曲面上的变化过程;然后利用求出的音源数据计算声音接收点处的声音压强信号。

本文在直接空冷岛模型中选取了 6 个接收点,分别为 X 轴和 Y 轴方向离空冷岛 0, 100, 200 m 的 6 个点,计算了常规空冷岛的噪声分布情况,并对不同距离的声压级噪声进行了对比。如图 5 所示,直接空冷岛噪声主要集中在 500 ~ 2000 Hz,高频噪声衰减较快。

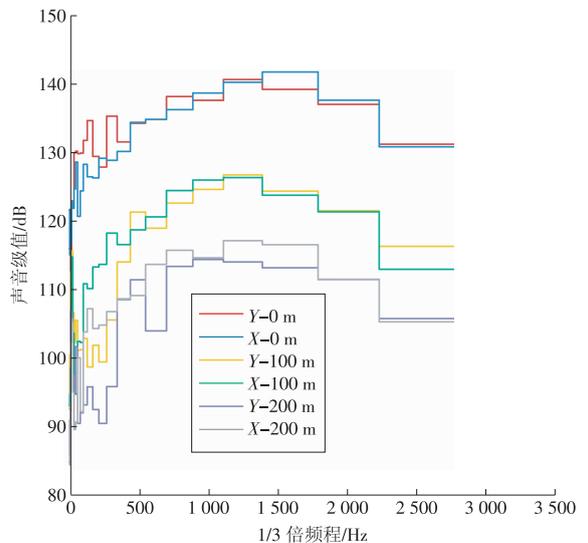


图 5 空冷岛噪声分布

#### 5 结论

通过计算可以看出,Fluent 可以对流场进行有效模拟,可以考虑采取降低低频噪声的方式来改善直冷系统对周围环境的影响。

工程中控制噪声的方式一般有 2 种,一种是降低噪声源的噪声,另一种是控制噪声的传播。对直接空冷岛来说,声源噪声可以通过改变风机结构(叶片型式、数量、角度等参数)、优化管束布置等进行控制。控制噪声的传播则主要是通过安装消音器、加装隔声罩、布置吸音材料等。

本文通过搭建直接空冷岛噪声的流场模型,给相关研究人员进行多方案比较、选择最优方案提供了一个可供借鉴的解决方案。

#### 参考文献:

- [1] 束红,陈杰. 直接空冷与间接空冷机组的工程造价及经济性分析[J]. 山东电力高等专科学校学报, 2011, 14(6): 35-39.
- [2] 马义伟. 发电厂空冷技术的现状与进展[J]. 电力设备, 2006, 7(3): 5-7.
- [3] 王佩璋. 600 MW 火电直接空冷风机的噪声及降噪措施[J]. 电力环境保护, 2002, 18(4): 26-29.
- [4] 刘悦卫,陆森林,左言言. 基于 Fluent 的高速列车气流噪声数值模拟[J]. 机械制造与自动化, 2015, 44(5): 127-130.
- [5] 汪怡平,谷正气,李伟平,等. 汽车气动噪声数值计算分析[J]. 汽车工程, 2009, 31(4): 385-388.

(本文责编:白银雷)

#### 作者简介:

崔超(1980—),男,河南商丘人,高级工程师,工学硕士,从事电厂空冷、烟气污染物控制技术等方面的工作(E-mail: cuic@cdte.com.cn)。