

# 旋转风机的数值模拟及其型式的选择

## Numerical Simulation of Wind Turbine and Alternativeoption of Model

张英朝 张 喆

(吉林大学汽车工程学院 吉林大学机械科学与工程学院)

**摘 要:**本文应用 STARCD 软件对多种旋转风机方案进行了基于计算流体力学的有限体积法的数值模拟研究。采用 STARCD 软件提供的瞬态滑动网格方法,进行瞬态的数值模拟,得到了不同的风机型式的旋转风机的气动力特性。经过比较分析,选出性能优秀的方案,它能够使旋转风机有更高的效率。

**关键词:**旋转风机 气动力特性 STAR-CD 计算流体力学

**Abstract :** Applying commercial CFD software - - STARCD , which based on the theory of finite volume analysis ,it simulated the flow field around wind turbine .STARCD provide some technology about moving mesh. Sliding interface is one of them which can realize mesh rotating. So four types wind turbines were simulated ,and their transient aerodynamic character were obtained .After Comparison ,choose the best project which is more effective.

**Key words:** wind turbine , aerodynamic character , STARCD , CFD

## 1 概述

### 1.1 现状

风力发电是世界上发展最快的绿色能源技术,由于海上丰富的风能资源和当今技术的可行性,海洋将成为一个迅速发展的风电市场。国外的风力发电已经非常普及,有些国家已经开始了沿海地区风机发电。我国东部沿海海岸线辽阔,风力资源丰富,而且距离电力负荷中心(沿海经济发达电力紧缺区)很近,随着风电技术的发展成熟,风电必将会成为我国东部沿海地区可持续发展的重要能源来源。

在一些风力资源丰富的地方进行风力发电,能够缓解我国部分地区的电力紧张问题。根

据某风机厂家要求,对风机的型式进行数值模拟,根据数值分析的结果选择比较好的风机叶片布置型式。

## 1.2 海上风环境

陆地与海上风速剖面比较如图 1[1]所示。作者本次设计的风机目标是为了将来在沿海地区家庭民用的,所以不适合安装在非常高的地面上,设计以沿海地区的楼顶和屋顶为主要工作环境。因此风速一般在 5m/s 左右。

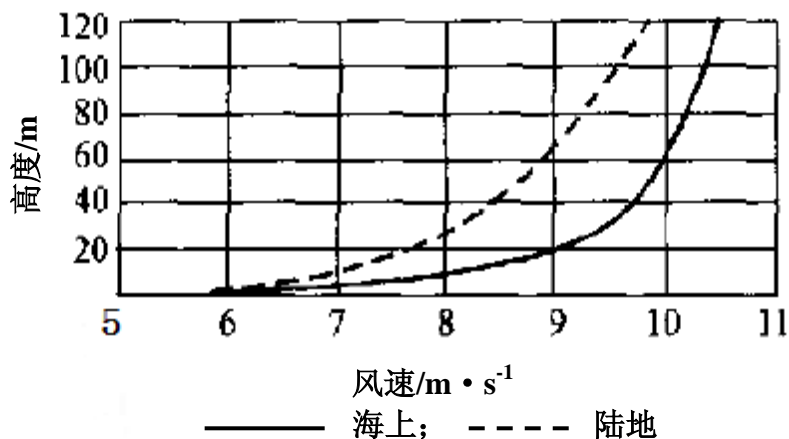


图 1 陆上风与海上风速度对比

## 1.3 风力机类型

从能量转换的角度看,风力发电机组由两大部分组成。其一是风力机,它的功能是将风能转换为机械能;其二是发电机,它的功能是将机械能转换为电能。这里介绍风力机的类型和结构。风力机的种类和式样很多,风力机依风轮的结构及其在气流中的位置大体上可分为两大类:一类为垂直轴风力机如图 2,一类为水平轴风力机如图 3。由于垂直轴风力机体积小、安装方便更适合民用,本次研究的风机就是垂直轴风力机。

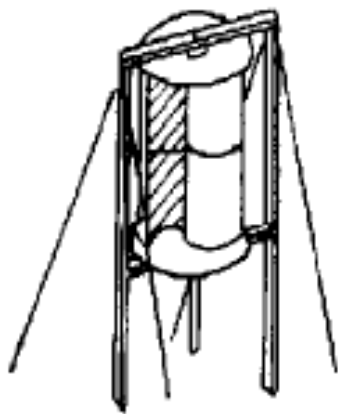


图 2 垂直轴风力机

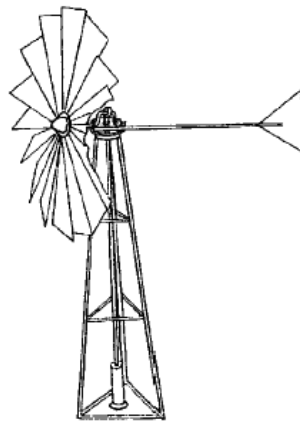


图 3 水平轴风力机

## 2 物理模型

研究方案确定为进行垂直式旋转风机的模拟，气体为空气，常温，无热交换，模拟风速 5m/s，风机叶片转速 300 转每分，进行风机旋转时的瞬态模拟研究。由于传统的都是 S 形的风机叶片，为了能够使风机具有更高的效率，设计了其它型式的风机方案进行对比分析。叶片型式如图 4，表 1 是改进的几种方案。



图 4 叶片型式

表 1 模拟方案

方案序号	叶片型式	是否有档板	中央是否连通
1	12 个圆弧叶片	无	是
2	12 个圆弧叶片	无	否
3	12 个圆弧叶片	有	是
4	12 个圆弧叶片	有	否

### 2.1 瞬态模拟方案

风机属于旋转机械，风机叶片会随时间绕固定轴转动，风机的气动特性也会呈周期性变化。所以本次方案采用瞬态模拟的方法。STARCD 针对旋转机械开发了专家系统的模块——es-tool 系列的 mixpert，但是对于本次研究模型我们可以使用 STARCD 基础模块 porstar 提供的 mixasi 命令[2][3]结合简单的模型创建来实现。

由于风机叶片结构比较简单，而且风机的高度比较大，所以可以将方案简化成二维对称边界的方式进行数值模拟研究。

### 2.2 网格划分

采用预先生成 patch，然后拉伸成单元网格的方式建立网格。本次模拟方案所用的 patch 是在其它 CFD 前处理软件中生成的，导入到 prostar 中，拉伸成二维的网格。网格方案如图

5, 而图 6 是风机叶片附近局部视图。旋转风机的叶片周围气体同大气是连通的, 所以应该模拟外流场, 为了减小阻塞效应, 消除计算域壁面对计算结果的影响, 选取一个足够大的计算域, 尺寸为: 6000mm (长)  $\times$  4000mm (宽)。风机的叶片外圆周直径 800mm。

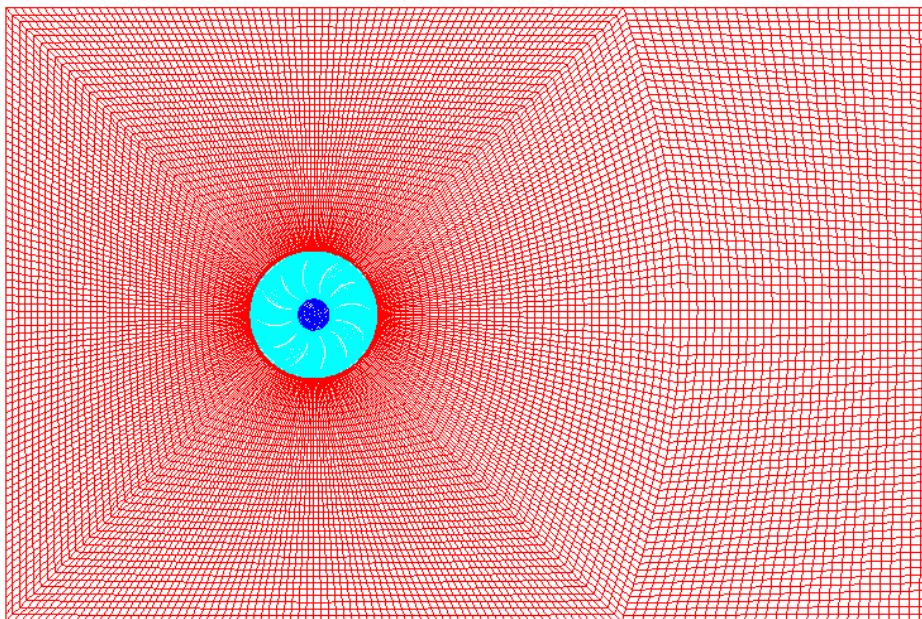


图 5 全计算域网格

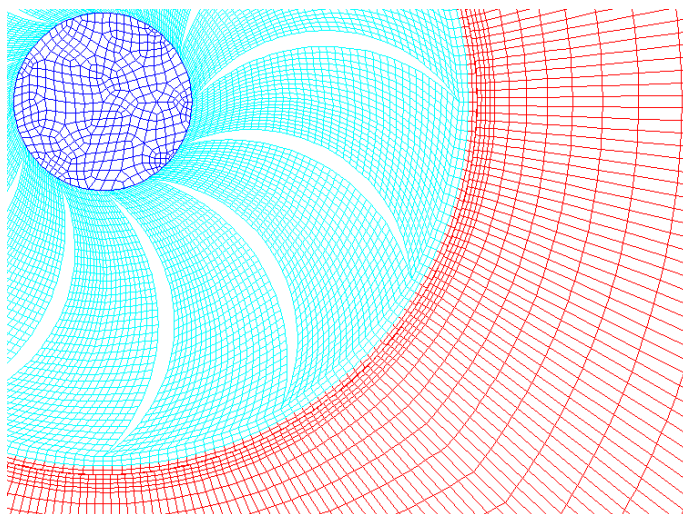


图 6 风机叶片附近网格

## 2.2 边界条件

计算域前方加 5m/s 的 inlet 入口边界条件, 后边界加出口边界条件。由于要用到动网格, 所以在应用 mixasi 命令之后会在固定区域 (蓝色区域) 和转动区域 (红色区域) 的交界面上生成 attach 边界条件。它保证了固定区域和转动区域在网格滑动过程中产生数据交换, 转动区域以 300 转每分的速度。在上下表面都设定了对称边界条件。图 7 是所设边界条件。

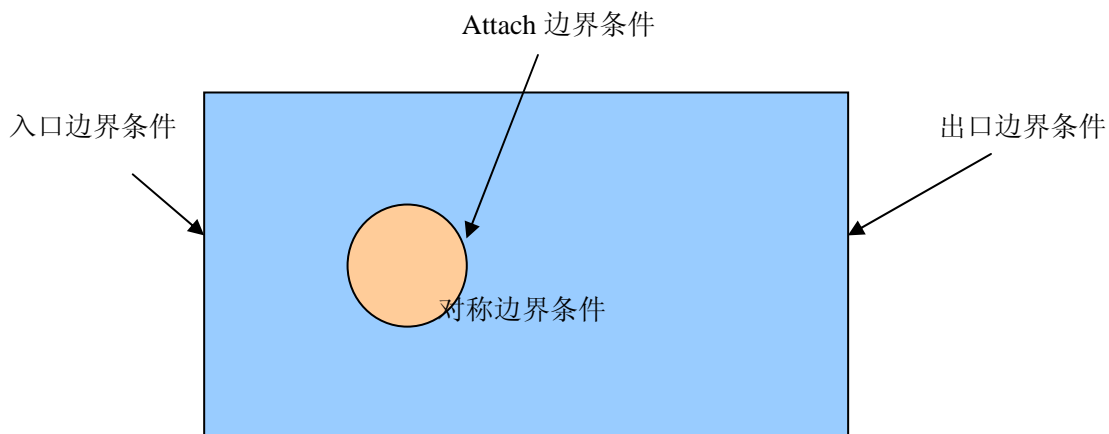


图 7 计算域及边界条件

### 3 计算结果

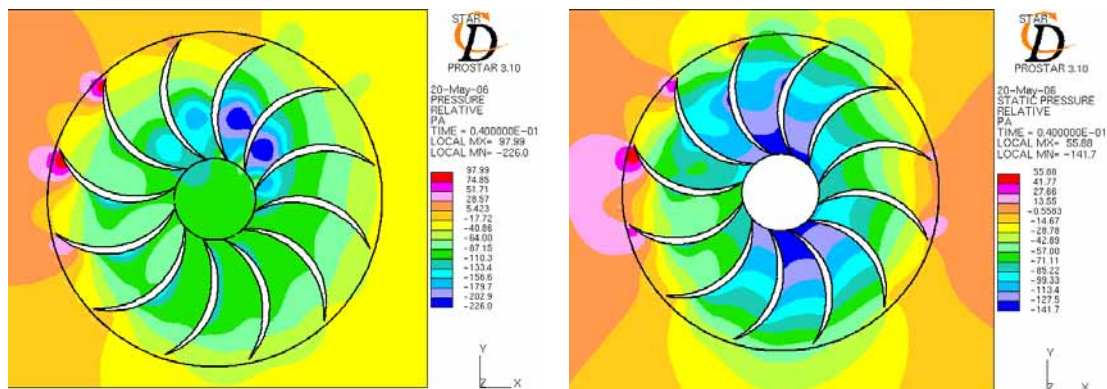
#### 3.1 计算

模拟从初始状态到转动一个圆周时间段的流场，时间间隔 $\Delta t=0.001s$ ，时间步数 200。所有四个方案经过计算很快就可以达到收敛。所有方案都采用上述的时间间隔和时间步数，计算都达到收敛。

模拟方案是基于有限体积法的离散方式，采用的 PISO 算法，应用  $\kappa - \varepsilon$  高雷诺数湍流模型。

#### 3.2 计算结果

计算结束后，提取某一时间的一部分结果，图片如图 8、图 9 所示。图 8 是风机周围流场压力分布，图 9 是风机周围流场速度标量分布。从方案的压力分布结果看，方案 1 具有更加合理的流场分布，应该可以产生更大的旋转力矩。方案 3、方案 4 加装挡板原本是为了减小气流对风机上侧叶片旋转的阻碍作用，但是从模拟结果看，由于挡板距离叶片太近反而产生了负面效果，因而这种做法并不合适。



A. 方案 1.

B. 方案 2



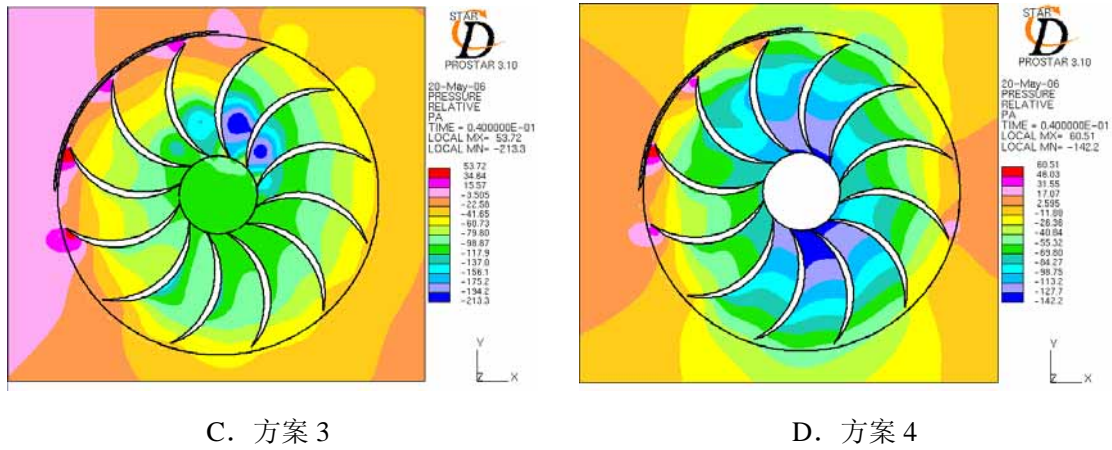


图 8 某一时间的压力分布图

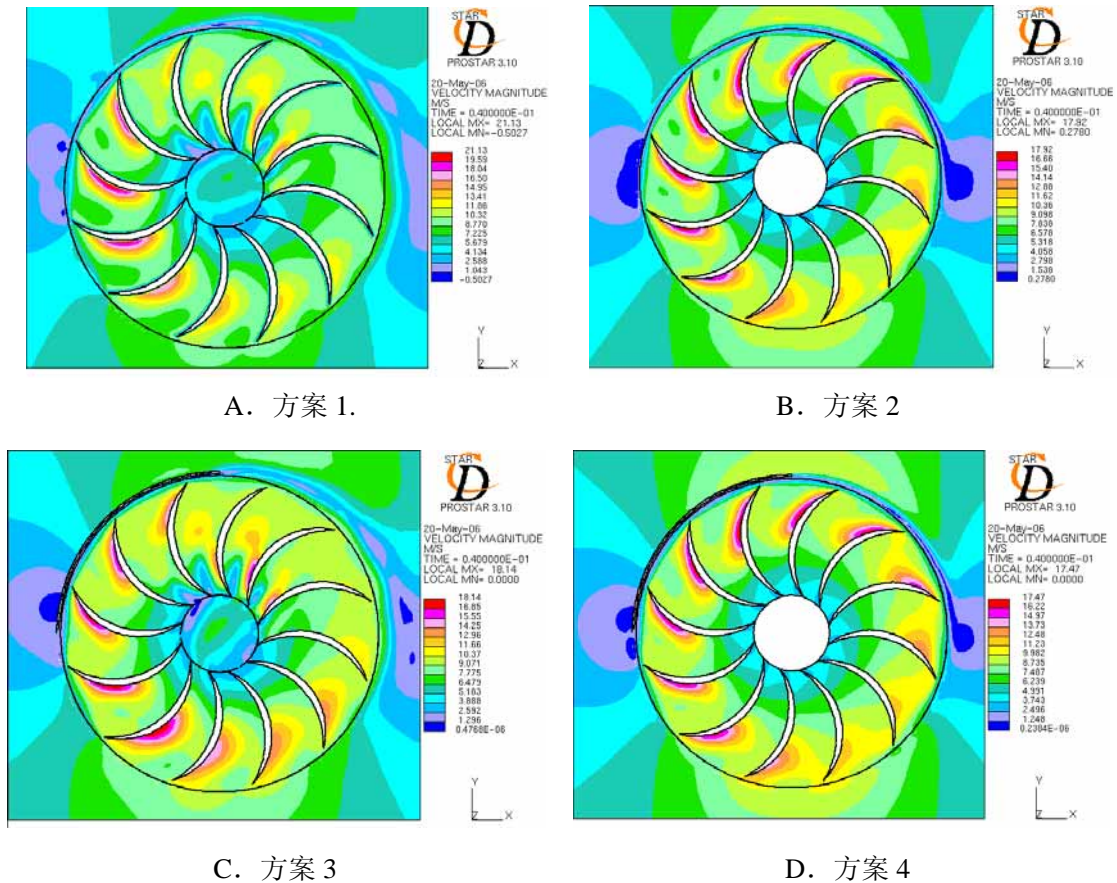


图 9 某一时间的速度分布图

方案 1 和方案 3 的通孔的方案对风机的效率提高有很好的作用,气流可以通过风机中心,对另一侧的气流产生影响,从而使另一侧受力减小,能够使风机具有更高的转矩。

## 4 分析与结论

单看流场的压力分布图和速度分布图，还不能定量的评价风机型式的优劣，为了评估各种方案的空气动力性能，我们提取了所有叶片在某一时间段内的转动力矩系数，如图 10。横轴是叶片转动的时间，选取时间段约为风机转动两个相邻叶片距离所用时间。纵轴为相对

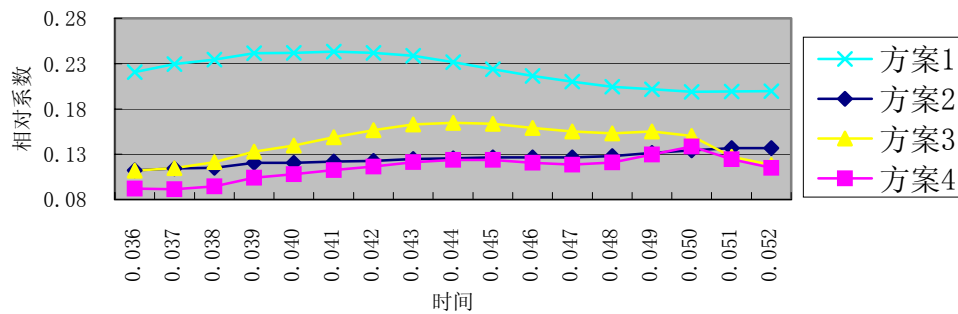


图 10 力矩系数随时间变化的趋势

系数，相对系数是正比于转动力矩的一个系数。从图示所得结果来看，方案 1 可以产生更大的转动力矩，因而具有更高的转动效率，气动特性更加优良。最终选取方案 1 风机的型式。对于方案 2、方案 3、方案 4，虽然作者设计之初是为了使风机产生更高的效率，但是从模拟的结果看，没有达到当初预计的效果。方案 2、方案 4 转动力矩相对来说更加低，说明风机中轴连通可以显著改善风机的空气动力学性能，推荐在以后风机设计中应用。

## 5 参考文献

- [1] 战培国,于虹,侯波. 海上风力发电技术综述,电力设备 2005 年 12 月第 6 卷 12 期
- [2] STAR-CD User Guide Version 3.10, Computational Dynamics Limited 1999
- [3] STAR-CD Tutorial Version 3.10, Computational Dynamics Limited 1995