

# “X”型倾转旋翼飞艇气动特性研究

陈京名 乔森 葛剑东 周家昊 谢添祥  
西安明德理工学院 陕西西安 710124

**摘要:** 本文设计了一种“X”型倾转旋翼飞艇, 对该倾转旋翼飞艇的气动特性进行了研究。通过使用有限元分析软件 ANSYS 下流体分析模块 FLUENT 进行仿真模拟分析, 仿真分析了倾转旋翼飞艇在巡航状态下同时改变旋翼角度所带来的气动特性影响, 获得了旋翼以及飞艇整体在旋翼角度改变时的所引起的升阻力变化曲线, 为该倾转旋翼飞艇性能的优化及控制系统的设计提供了依据。

**关键词:** 倾转旋翼飞艇; 计算流体力学; 气动特性

## Aerodynamic characteristics of “X” tiltrotor airship

Jingming Chen, Sen Qiao, Jiandong Ge, Jiahao Zhou, Tianxiang Xie  
Xi'an Mingde Institute of Technology, Xi'an, Shaanxi 710124

**Abstract:** In this paper, an “X” type tilt-rotor airship is designed, and the aerodynamic characteristics of the tilt-rotor airship are studied. By using the fluid analysis module FLUENT under the finite element analysis software Ansys, the aerodynamic characteristics of tilting rotor airship under the cruise state and changing the rotor angle are simulated and analyzed, the lift-drag curves of the rotor and the airship are obtained, which provide the basis for the performance optimization and control system design of the tilt-rotor airship.

**Keywords:** Tilt-rotor airship; Computational fluid dynamics; Aerodynamic characteristics

传统的静浮力飞艇具有载重量大、滞空时间长等优点, 但同时也具有抗风性不好、机动性能差等缺点。本“X”型倾转旋翼飞艇是一种将倾转旋翼和气囊相结合的方式, 通过连击在机架上的倾转控制设备改变旋翼角度。可为飞艇提供不同方向不同大小的推力与升力, 通过静浮力和倾转旋翼的不同组合方式, 使“X”型倾转旋翼飞艇具有垂直起降和更好的抗风能力。

### 一、模型建立

“X”型倾转旋翼飞艇的三维模型如图1所示。数值模拟其主要结构包括气囊, 机架以及旋翼。飞艇的主要几何参数为: 气囊直径2m; 机架由两根碳纤维杆固定在支座上, 碳纤维杆的长度为4m; 在顶端有倾转装置, 连接倾转杆; 文中涉及的所有旋翼桨叶的几何特性均完全相同, 采用双叶桨叶。

在计算过程中假设:

1. 暂不考虑模型受其他部件的气动影响;
2. 流动是定常且稳定的。组合模型如图1所示。

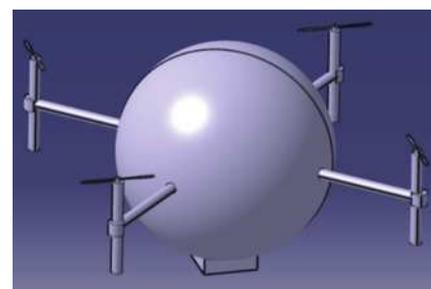


图1 “X”型倾转旋翼飞艇模型

### 二、网格划分

网格划分是数值模拟分析中的基础。网格的质量直接影响仿真分析的准确性和速度。特别是对于复杂模型, 网格划分通常会占用整个模拟分析周期中的大部分处理时间。选择合适的前处理工具对复杂模型进行网格划分具有加快仿真周期和提高工作效率的优势。本文使用网格划分软件ICEM进行网格划分。

在网格划分过程中, 算域是一整块网格, 限制了对复杂外形的适应能力。多块网格是指一个计算域由多个

网格块组成,提升了网格对几何模型的适应能力,但是不同的网格块之间需要交界面的匹配。因此在划分过程中为降低网格复杂度,提高计算效率,对划分网格的模型进行简化处理:略去倾转连杆、电机等结构。根据计算来流方向情况,为方便边界条件设置,本文将计算域设计为长方体形状,由于模型为轴对称模型,因此对“X”型倾转旋翼飞艇模型进行半模处理,并建立对称边界条件;由于气囊主体为2m,为保证各个方向气流都能充分发展不会对相关位置产生影响,计算域边长设计为30m,计算模型设置在计算域中心。网格最大尺寸参数为1000mm:计算域入口、出口及壁面网格参数均为300mm,除此之外还需要对旋翼转动区域的转动区域进行网格划分,网格大小为15mm,内部螺旋桨桨叶网格设置为5mm,最后生成的四面体非结构化网格,其中旋翼倾转 $20^\circ$ 时如图2所示。

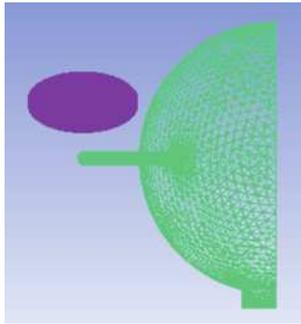


图2 旋翼倾转 $20^\circ$ 时网格划分

### 三、边界条件设置

在设置过程当中结合具体情况湍流模型选择为 $k-\omega$ SST两方程模型,边界条件设置如下:飞艇表面为无滑移壁面边界,计算域入口为速度入口边界,出口为压力远场边界,其他计算域壁面为对称面边界,压力-速度耦合求解器设置为sim-ple,空间离散方法采用二阶迎风格式。同时对该倾转旋翼飞艇在巡航过程中,旋翼倾转角度变化情况进行研究获得相关升阻力系数变化曲线,为该“X”型倾转旋翼飞艇气动性能的优化及控制系统的设计提供了依据。本文对在 $5\text{m/s}$ 巡航速度下进行工作的倾转旋翼飞艇进行研究,研究倾转旋翼角度改变所带来的气动特性变化,改变角度为 $0^\circ-60^\circ$ ,关注旋翼在倾转不同角度时旋翼不同方向的气动特性以及对飞艇整体气动特性的影响。

下图为通过Fluent软件对正向来流为 $5\text{m/s}$ ,旋翼转速为 $4000\text{rpm}$ 进行模拟仿真,观察倾转旋翼飞艇速度分布云图,图3为旋翼所在平面截图,倾转角度分别在 $0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$ ;可以观察出,在不同倾转角度

时所得到的倾转旋翼飞艇速度分布云图有很大区别,同时观察速度云图可以发现。可以看出随着倾转角度增大气流方向会产生变化,同时也会受到来流的影响。

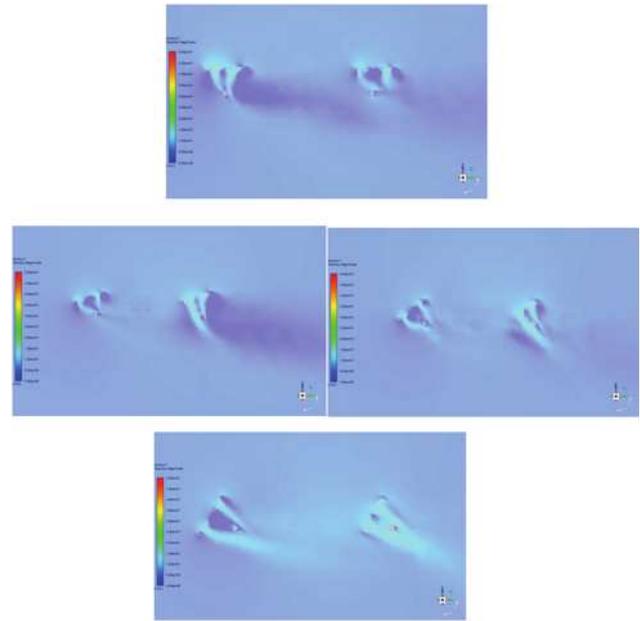


图3 旋翼倾转不同角度时速度云图

### 四、仿真结果与分析

1.如图4所示为来流速度为 $5\text{m/s}$ ,倾转旋翼改变量为 $0^\circ \sim 60^\circ$ 时,通过观察可以看出该“X”型倾转旋翼飞艇在旋翼倾转时,旋翼所提供的升力与飞艇整体气动升力的对比,可以看出由于旋翼的角度产生变化,倾转旋翼飞艇在升力的表现上有显著下降,这是由于旋翼角度改变造成Z方向气流分量减少所造成的,同时观察总体气动升力,其减少趋势较缓,这是由于旋翼带动气囊周围气流所造成的。

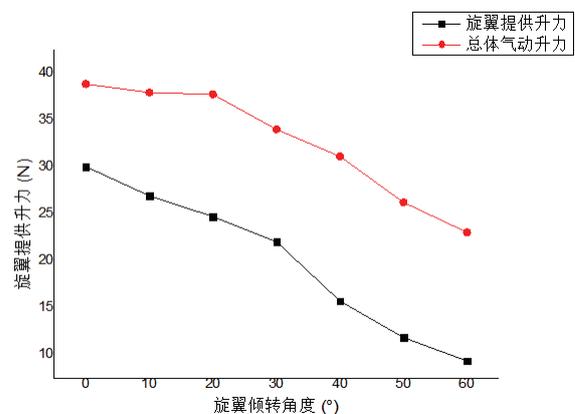


图4 旋翼倾转角度与相关升力的曲线图

2.如图5所示为来流速度为 $5\text{m/s}$ ,倾转旋翼改变量为 $0^\circ-60^\circ$ 时,观察旋翼所提供的推力与飞艇整体气动阻力的对比,经过观察可发现,由于倾转旋翼角度变化

所造成的下洗流和Y方向气流会冲击到机架以及气囊上,在变化角度较大时整体气动阻力变化较为平稳,同时在倾转角度为 $20^{\circ}$ 左右时,旋翼所产生的推力可抵消整体阻力,使飞艇整体产生向前的推力,使飞艇整体产生向前运动的变化。

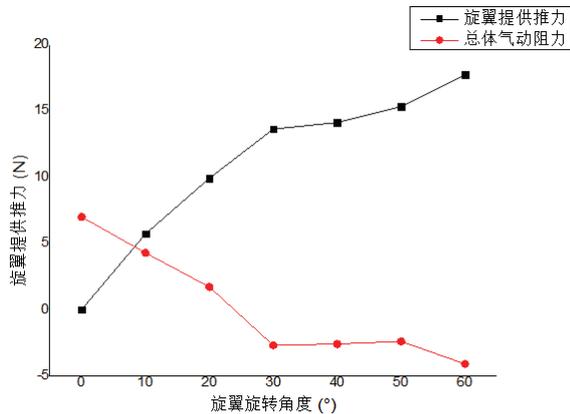


图5 旋翼倾转角度与推阻力曲线图

## 五、结论

1. 对于不同倾转角度时,飞艇整体升力会受到影响,由于旋翼的倾转角度不同,会有Y方向的分力产生,一定程度上会对Z方向分力的大小产生影响,同时旋翼角度变化影响一部分来流作用,影响飞艇整体气动升力的产生。

2. 在旋翼倾转不同角度的过程中,旋翼会为飞艇提供向前推力,该推力在一定角度下会抵消飞艇前进过程中的阻力。

3. 旋翼倾转时所带来的下洗流以及Y方向的气流变化会作用在机架以及气囊上,造成气动阻力的增大,因此在倾转旋翼角度较大时,飞艇整体气动阻力也会增大。

## 参考文献:

- [1]刘昌交.倾转旋翼螺旋桨气动设计及验证[D].北方工业大学,2021.DOI: 10.26926/d.cnki.gbfgu.2021.000442.
- [2]翟剑豪.新型倾转机翼无人机原理及应用[C]//2020中国航空工业技术装备工程协会年会论文集.[出版者不详],2020: 568-570.DOI: 10.26914/e.cnkihy.2020.036313.
- [3]林泽敏.横列式无人倾转旋翼机姿态控制技术研究[D].广东工业大学,2021.DOI: 10.27029/d.cnki.ggdgu.2021.001810.
- [4]刘重,何玉庆,谷丰,杨丽英,韩建达.四倾转旋翼无人机无源控制与飞行实验[J].控制理论与应用,2021,38(08): 1287-1298.
- [5]曾丽芳,潘定一,邵雪明,陈光炯.单倾转旋翼的气动多目标优化设计[C]//第十一届全国流体力学学术会议论文摘要集.[出版者不详],2020: 487.DOI: 10.26914/e.cnkihy.2020.035645.
- [6]许玮航.小型无人飞艇优化设计[J].内燃机与配件,2019(24): 234-235.DOI: 10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.24.124.
- [7]孙凯军,张碧辉,付义伟,张练.悬停状态倾转旋翼机非定常气动干扰研究[J].航空工程进展,2019,10(06): 744-749.DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2019.06.002.