

桨叶数目对共轴对旋桨气动特性影响的数值研究

何森¹ 张冰波¹ 王裕贤² 朱建勇^{2*}

1 空装北京局驻保定地区军事代表室 2 沈阳航空航天大学航空发动机学院

DOI:10.12238/etd.v5i5.9128

[摘要] 桨叶数目是螺旋桨重要设计参数之一,本文采用数值模拟手段研究不同后桨叶数目对流场特性的影响。具体桨叶模型为前桨叶数目为2,后桨叶数目分别为2、3、4,共三种工况。通过对比3个工况螺旋桨的气动特性参数变化,结果显示随着后桨叶数目增加,前桨盘的拉力、扭矩、功率和效率有减小的趋势,但是变化不大,后桨盘的拉力明显增大,后桨盘的扭矩增大,滑流的增速收缩以及外缘的旋转效应更加明显。

[关键词] 共轴对转螺旋桨; 桨叶数目; 气动特性; 数值模拟

中图分类号: U664.33 **文献标识码:** A

Numerical study of the effect of blade number on the aerodynamic characteristics of Contra-Rotating Propellers

Miao He¹ Bingbo Zhang¹ Yuxian Wang² Jianyong Zhu^{2*}

1 Office of Air Force Representative in Baoding District 2 School of Aero-engine, Shenyang Aerospace University

[Abstract] The blade number is one of important design parameters of propeller. In this paper, the numerical simulation is used to study the influence of different number of blades on flow field characteristics. The specific blade model is that the number of front blades is 2, and the number of rear blades is 2, 3 and 4 respectively, and there are three working conditions in total. By comparing the changes of the aerodynamic characteristics of the propeller under three operating conditions, the results show that the pull, torque, power and efficiency of the front paddle disk tend to decrease with the increase of the number of rear blades, but the change is little. The pull force of the rear paddle disk increases obviously, the torque of the rear paddle disk increases, the growth and contraction of the slipflow and the rotation effect of the outer edge are more obvious.

[Key words] Contra-Rotating Propellers; propeller number; Aerodynamic characteristics; Numerical simulation

引言

螺旋桨是一种可以把旋转动能转化为平动动能的装置,而本文所讨论的共轴对旋螺旋桨实际上是一对螺旋桨,只不过它的安装位置是一个直接接在另一个的后面,两个螺旋桨的旋转方向是相反的。从空气动力的角度来看,转向相反的双螺旋桨消除了反作用力矩和陀螺力矩,改善了飞行器使用性能,减少了螺旋桨后面的空气旋流,由前桨产生的旋转动能,会被后桨回收利用,产生一个作用在桨叶面上的向前推力。目前研究显示共轴对转螺旋桨虽然在气动方面确实优于单排螺旋桨,但其气动噪声问题比单排螺旋桨突出^[1]。对转桨前、后排的扭矩可以一定程度上相互抵消,气动参数有规律的周期性震荡,前、后桨桨叶的角度的合理匹配,有利于减小气动干扰强度和提高螺旋桨效率^[2]。来流为轴向时,机身存在降低了其后体附近空间区域的流动速度,使得螺旋桨桨盘平面的入流速度减小,螺旋桨拉力、功率和效率都有一定程度的提升(分别约提升了8%, 5%, 3%)^[3]。

通过压力系数以及轴向速度的径向分布情况看,70%左右的桨半径位置上非定常气动干扰强度相对较大^[4]。共轴刚性旋翼高速直升机的巡航速度可达常规单旋翼直升机的1.5倍以上^[5]。螺旋桨的位置变化会影响飞机的升阻特性^[6]。本文通过建立不同后桨叶数目共轴螺旋桨模型,分析不同后桨叶数目对共轴螺旋桨气动特性的影响。

1 共轴对转螺旋桨气动外形

螺旋桨旋转直径为1.18m,轮毂半径0.1m,设计转速为2650rpm。本文主要研究后桨盘桨叶数目对共轴对转螺旋桨气动性能的影响,因此,前桨盘桨叶数目为2保持不变,后桨盘桨叶数目分别为2、3和4,三个模型依次命名为fore2-rear2、fore2-rear3和fore2-rear4,具体三维模型见图1所示。

2 共轴对转螺旋桨数值模拟

2.1 数值计算模型及网格划分

前桨盘的桨叶数目不变,网格数量为190万,后桨盘因为桨

叶数目的改变, 网格数量随桨叶的数目的增大依次为180万、280万和360万。包裹共轴对转螺旋桨网格的外计算域为圆柱形, 其中上游、径向以及下游尺寸分别取螺旋桨旋转直径的10倍、10倍和30倍, 外计算域网格由螺旋桨附近向外逐渐过渡稀疏, 网格数量30万。

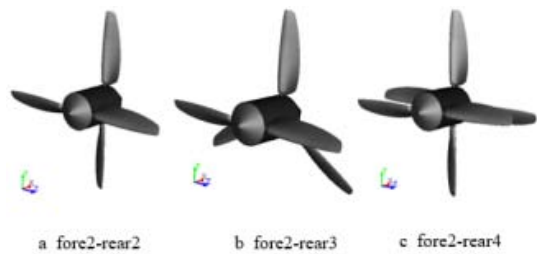


图1 共轴对转螺旋桨三维模型

外计算域进口设置为速度入口边界条件, 来流速度设置为5m/s用来模拟螺旋桨的前进速度。外计算域的侧面和出口设置为压力出口边界条件, 压力为相对大气压0Pa。螺旋桨桨叶和轮毂设置为壁面wall边界。共轴对转螺旋桨的前桨盘和后桨盘转速均为2650rpm。前桨盘沿着X轴顺时针方向旋转, 后桨盘旋转方向与其相反。

2. 2计算结果与分析:

2. 2. 1共轴对转螺旋桨拉力

可以看出三个模型的前桨盘的拉力均成周期性波动变化, fore2-rear2拉力波动幅值最大, 旋转一周存在四个周期, fore2-rear3拉力波动幅值最小, 拉力输出更加平稳, 旋转一周存在12周期, 同时可以发现三个模型对应的平均拉力相差不大。后桨盘的拉力明显增大, 当后桨盘为3和4时, 拉力波动明显减小。随着后桨盘桨叶数目的增多, 前桨盘单桨拉力的波动幅度和平均值逐渐减小, 旋转一周拉力的波动周期个数是前桨盘和后桨盘桨叶数目的乘积。

2. 2. 2共轴对转螺旋桨扭矩

前桨盘和后桨盘的扭矩变化规律跟拉力变化规律基本一致。当前后桨盘桨叶数据均为2时, 合扭矩几乎为零, 前后桨的扭矩几乎相互抵消。随着后桨盘桨叶数目的增多, 后桨盘的扭矩增大, 两者的合扭矩和扭矩绝对值之和明显增大。

2. 2. 3时均气动性能

表1 前桨盘时均气动数据

工况	拉力(N)	扭矩(Nm)	效率
fore2-rear2	630. 67	-76. 08	0. 14936
fore2-rear3	622. 58	-75. 46	0. 14865
fore2-rear4	615. 84	-75. 04	0. 14787

表2 后桨盘时均气动数据

工况	拉力(N)	扭矩(Nm)	效率
fore2-rear2	632. 57	83. 9	0. 13584
fore2-rear3	839	115. 78	0. 13056
fore2-rear4	1008	143. 4	0. 12665

表3 共轴对转螺旋桨整体时均气动数据

工况	拉力(N)	合扭矩(Nm)	效率
fore2-rear2	1263. 24	7. 82	0. 14227
fore2-rear3	1461. 57	40. 32	0. 1377
fore2-rear4	1624. 52	68. 36	0. 13399

随着后桨盘桨叶数目的增多, 前桨盘的拉力、扭矩、功率和效率有减小的趋势, 但是变化不大, 后桨盘的拉力、扭矩和功率增加比较明显, 同时效率减小也很明显。共轴对转螺旋桨整体的气动性能主要受后桨盘气动性能的影响。在任一模型下, 前桨盘的效率高于后桨盘效率, 螺旋桨的整体效率介于两者之间。

2. 2. 4桨叶表面压力分布

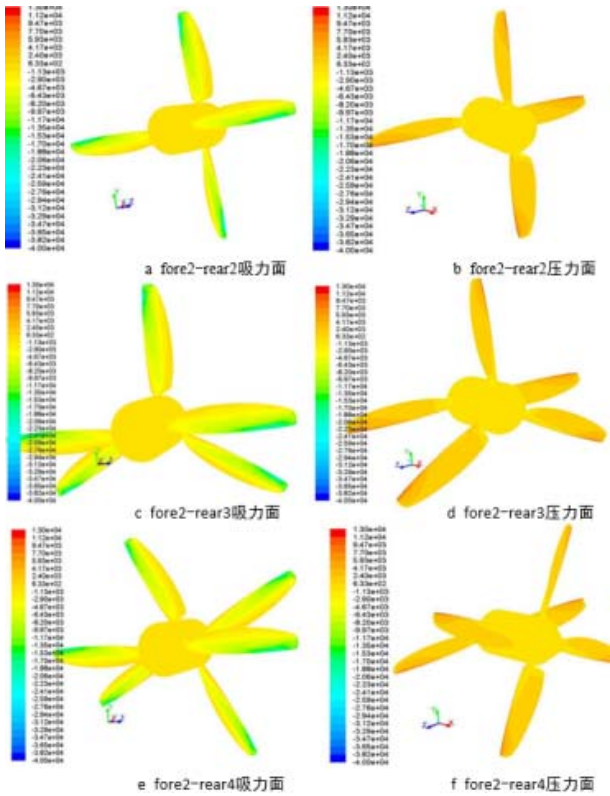


图2 共轴对转螺旋桨表面压力分布

图2是不同共轴对转螺旋桨桨叶表面压力分布云图。可以看出,螺旋桨吸力面吸力峰值位于桨尖前缘区域,吸力从桨尖到桨根逐渐减小,前桨盘的螺旋桨吸力面的峰值及其对应的范围几乎不受后桨盘桨叶数目的影响,然而,后桨盘螺旋桨吸力峰值及其对应的范围随后桨盘桨叶数目的增大而明显减小。共轴螺旋桨压力面的压力峰值及其范围同样位于桨尖前缘附近,压力从桨尖到桨根逐渐减小,前桨盘的螺旋桨压力面的压力峰值及其对应的范围几乎不受后桨盘桨叶数目的影响,然而,后桨盘螺旋桨压力峰值及其对应的范围随后桨盘桨叶数目的增大而明显减小。

2.2.5 滑流场分析

图3是不同共轴对转螺旋桨滑流场,可以清楚地看到靠近桨叶附近的诱导速度最大。螺旋桨的滑流由于螺旋桨桨叶的作用加速明显,相对螺旋桨旋转直径有着明显的收缩。滑流的外边缘有着明显的旋转流动,滑流内部旋转流动不明显。随着后桨盘桨叶数目的增多,滑流的增速收缩以及外缘的旋转效应更加明显。

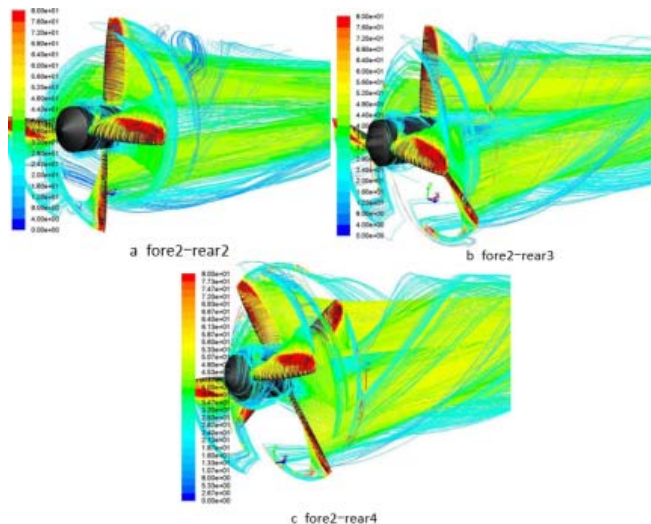


图3共轴对转螺旋桨滑流场

3 总结

本文通过对共轴对转螺旋桨的拉力、共轴对转螺旋桨扭矩、时均气动性能、桨叶表面压力分布以及滑流场进行分析。从而研究共轴对转螺旋桨前后桨叶数目不同对气动特性的影响。在螺旋桨设计中,桨叶数目是一项非常重要的设计指标,对螺旋桨的效率和气动特性有直接影响。以下是本文主要研究内容

的总结。主要结论如下:

(1)随着后桨叶数目增加,后桨盘的拉力明显增大。前桨盘单桨拉力的波动幅度和平均值逐渐减小,旋转一周拉力的波动周期个数是前桨盘和后桨盘桨叶数目的乘积。后桨盘单桨的平均拉力随着桨叶数目的增大减小明显,然而波动幅度和周期几乎不变。

(2)随着后桨叶数目增加,后桨盘的扭矩增大,两者的合扭矩和扭矩绝对值之和明显增加。

(3)随着后桨盘桨叶数目的增多,前桨盘的拉力、扭矩、功率和效率有减小的趋势,但是变化不大,后桨盘的拉力、扭矩和功率增加比较明显,同时效率减小也很明显。

(4)后桨盘桨叶数目因其对前桨盘桨叶吸力面和压力面较弱的影响,使其气动性能几乎没有变化,然而后桨盘桨叶数目使得后桨盘桨叶吸力面吸力减小、压力面压力减小,从而后桨盘的气动性能明显降低。

(5)随着后桨叶数目的增多,滑流的增速收缩以及外缘的旋转效应更加明显。

【参考文献】

- [1]刘沛清,吕昌昊,胡天翔,等.共轴对转螺旋桨气动与噪声特性研究进展[J].空气动力学学报,2023,41(10):100-125.
- [2]邓佳子.共轴对转螺旋桨级间非定常气动干扰及性能研究[D].北方工业大学,2023.
- [3]车海峰.共轴对转螺旋桨的参数优化和气动干扰研究[D].沈阳航空航天大学,2023.
- [4]闫文辉,汤斯佳,王奉明,等.共轴对转螺旋桨的非定常气动干扰[J].航空动力学报,2021,36(07):1398-1405.
- [5]黄明其,王亮权,何龙.共轴刚性旋翼高速直升机风洞试验研究综述[J].南京航空航天大学学报,2021,53(02):216-225.
- [6]李兴伟,李聪,高静,等.螺旋桨滑流对飞机纵向气动特性的影响研究[J].实验流体力学,2017,31(5):46-52.

作者简介:

何森(1987—),女,满族,黑龙江宁安人,研究生,职称:工程师,研究方向:航空装备。

通讯作者:

朱建勇(1987—),男,汉族,山东东营人,博士,副教授,研究方向:旋转流体机械空气动力学。