

桨刀对螺旋桨增效降噪的试验研究

北京航空航天大学 毛熙昌** 李红民 王界斌

【摘要】 某3叶螺旋桨模型在桨叶叶尖半径88%处的弦向位置安装桨刀,以分隔叶面径向流和环向流的交互影响,阻止桨尖附面层的分离和涡旋的形成。在风洞中进行了带桨刀与不带桨刀的对比试验。结果表明,在试验范围内的等值进距比 J 条件下,带刀的螺旋桨效率提高(1.9~4.9)%,噪音下降1.3~2.0dB左右。在地面静止状态下进行试验时,也得到类似的结果。

关键词: 桨刀 螺旋桨 增效降噪 试验

1 试验设备及测量

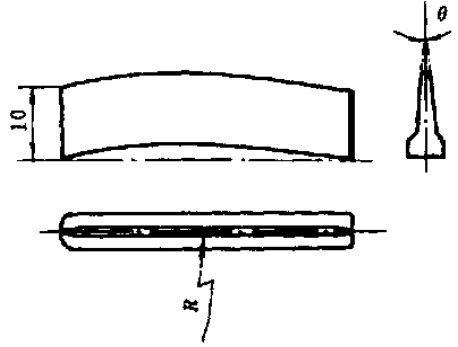
飞机螺旋桨在高速旋转时,在桨尖区域引起附面层分离及产生涡旋,严重时,会出现气流由桨叶后缘经叶背流向前缘的反向流动,这会使螺旋桨效率显著下降。反向流动在桨叶叶尖半径的85%左右最严重^[1]。今设计一种桨刀,装于88%桨叶半径附近,从而阻止附面层的分离和涡旋的形成,使螺旋桨在工作范围内效率提高,噪音下降。某3叶螺旋桨模型,在风洞中进行带桨刀与不带桨刀的对比试验。这是一种生产型号的缩尺模型,翼型面属NACA 64族,模型直径为0.66m,缩尺比为0.265,最大转速可达3000r/min,相应的叶尖切线速度和叶尖马氏数分别为 $U_{BT} = 103.7\text{m/s}$ 和 $Ma_{BT} = 0.305$ 。在风洞中作试验,如风速在50m/s以上,则在70%叶尖半径处的雷诺数为 $Re_{0.7} = 3 \times 10^5$ 以上。

螺旋桨模型由一台3kW的交流电动机驱动,通过变频器可任意调节转速。电动机和螺旋桨之间,装有测螺旋桨扭矩的传感器的二次仪表为JW-1A型微机扭矩仪。由传感器与扭矩仪的配套,可直接测读螺旋桨的转速、扭矩、功率。松动夹紧桨柄的螺栓,桨叶可任意转动以调整桨叶角 ϕ 的大小,根据试验的需要按刻度改变。螺旋桨拉力值可通过固定于支架末端的测力计直接读出。测量噪音采用声级计、麦克风、传声放大器及磁带机等仪器。在风洞中以及室内、外静止状态下分别进行测量。在室内、外分别进行试验时,桨叶角 ϕ 在某一要求的固定角度,从1500~3000r/min,每间隔300r/min测读数据一次。桨叶角从20~40°,每间隔5°录取数据一次。在设备、测量系统及其它方面条件相同情况下,对不同的试件螺旋桨进行试验对比。

在风洞中试验时,先起动风洞,测出螺旋桨未工作前各风速时的台架阻力,然后螺旋桨工作按地面静止状态试验时之方法录取各状态的参数,并同时要录取各状态的风速值。

进距比 $J = V/nD$,式中 V 为测量状态时的风速(m/s),相当于飞行速度; n_s 为螺旋桨每秒转速; D 为模型桨直径(m)。雷诺数 $Re_{0.7} = w b/\nu$,式中 $Re_{0.7}$ 、 w 、 b 分别为螺旋桨在70%叶尖半径处的雷诺数、总流速(m/s)、翼弦长(m)。 ν 为动力粘性系数(m^2/s)。修正阻力 $R_A = (V_A/\bar{V}_B)^2 \cdot R_B$, R_A 、 R_B 分别为螺旋桨工作时的修正阻力未工作时测得的阻力(N), V_A 和 $\bar{V}_B$ 分别为螺旋桨工作时的

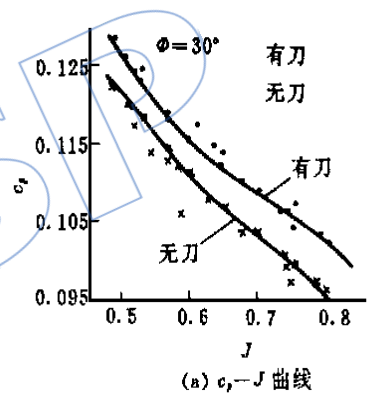
在相应飞行状态测得的风速 (m/s)。拉力系数 $C_T = T / \rho n^2 D^4$, 式中 T 为螺旋桨拉力 (N)。 ρ 为气流密度 (kg/m³)。功率系数 $C_P = 2\pi M_K / \rho n^3 D^5$ 或 $C_P = P / \rho n^3 D^5$, 式中 M_K 为扭矩 (N · M), P 为功率 (W)。螺旋桨效率 $\eta = J \cdot C_T / C_P$ 。桨刀形状如图 1 所示。桨刀的下面与 88% 半径处的叶背相吻合, 用粘合剂和胶纸牢固贴于桨叶上。桨刀材料选用有机玻璃。



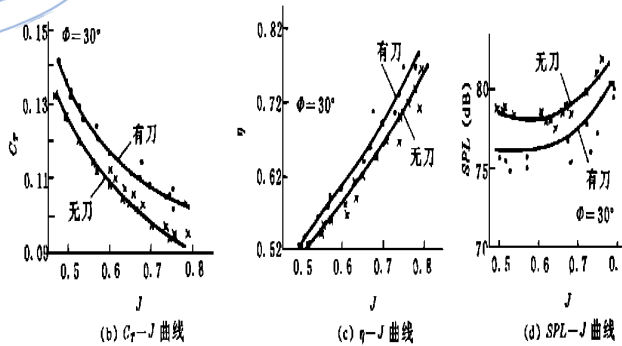
2 分析与讨论

图 2(a)~ (d) 分别表示某 3 叶桨模型的功率系数 C_P 、拉力系数 C_T 、螺旋桨效率 η 噪音 SPL 与螺旋桨进距比 J 的关系曲线。在每个图上, 同时绘出

了带桨刀与不带桨刀时的性能曲线, 以资比较。进距比 J 的调整是在桨叶角 ϕ 固定的情况下, 通过改变风洞风速 V 和螺旋桨转速 n_s 来实现。测噪音的声级计位置约在螺旋桨左侧下游 1.5m、高度低于螺旋桨旋转轴约 1m、与旋转轴成 45° 左右夹角的地方。在地面静止状态下, 在室内、外均做过某三叶螺旋桨带桨刀与不带桨刀的气动和声学性能对比试验。从图 2 对比曲线可以看出, 当叶角 ϕ 一定时 (30°), 在实验的进距比范围内: (1) 螺旋桨效率 η 随进距比 J 的增加而增加 (图 2c), 在 $J = 0.51 \sim 0.78$ 的范围内, 带刀的螺旋桨效率比无刀的螺旋桨效率约增大 1.9~ 4.9%。



(a) C_P - J 曲线



(b) C_T - J 曲线

(c) η - J 曲线

(d) SPL - J 曲线

图 2 有、无桨刀性能对比

(2) 噪音 (声压级) 的变化带刀螺旋桨比无刀的螺旋桨在整个试验范围内约低 1.3~ 2.0dB (图 2d)。

从图 2(a) 及 (b) 可以看出, 在整个试验范围内, 在等值进距比条件, 带刀螺旋桨的功率系数 C_P 及拉力系数 C_T 均比不带刀螺旋桨的相应系数要大, 但功率系数 C_P 增大的幅度比拉力系数 C_T 增大的幅度要小, 因而效率 η 得到提高。亦可看出, 在整个实验范围内, 在相同功率系数 C_P

时,带刀桨的 C_T 比不带刀桨的 C_T 要大。之所以出现这情况,是因为不带刀的螺桨所吸收的功率,要被桨尖的气流分离和涡旋等损失消耗一部分,因而转变为拉力的部分减少,故使拉力系数小些。由于桨刀的存在,使桨尖区域径流和环流交互作用的影响减少,使形成的气流分离和涡旋减弱,噪音降低。

在室内和室外地面静止状态下,也作了 3 叶桨带刀与不带刀的气动和声学性能对比试验。当转速和功率系数增大时,带刀桨的拉力系数 C_T ,逐渐趋近于不带刀桨的 C_T 并逐渐超过它,而且,超过的幅度也越来越大。从 3 叶桨有、无桨刀时, C_P 和 C_T 对噪音 SPL 的变化关系均可看出,在试验的范围内,在相同的功率系数 C_P 或相同的拉力系数 C_T 及桨尖马氏数相同的情况下,不管在室内或室外,带桨刀螺桨的噪音均比不带刀螺桨的噪音低,其值约为 1~3dB 左右。

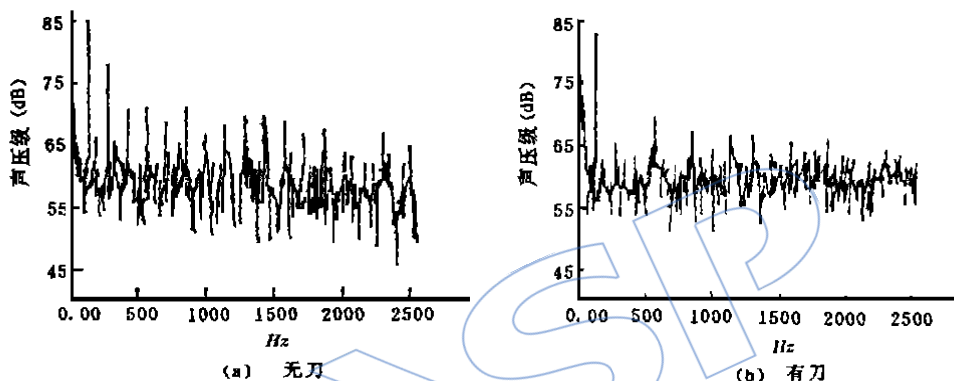


图 3 频谱(a、b 均为 $N=3$ 叶, $\Phi=20^\circ$, $\alpha=-45^\circ$, $R=1.0\text{m}$)

图 3(a)、(b)为带刀桨与不带刀桨在室外静止状态下试验时的噪音与频谱关系图。从图可见,不带桨刀螺桨的噪音(图 3a)比带桨刀螺桨的噪音高约 1dB(图 3b 的峰值)左右。

3 结 论

(1) 在风洞中试验的结果表明:当桨叶角 Φ 一定时,在试验的进距比范围内,带刀桨的效率比不带刀桨的效率增大(1.9~4.9)%。在试验范围内,带刀桨比无刀桨的噪音(声压级)下降 1.3~2.0dB。在功率系数相同时,带刀桨的 C_T 比无刀桨的 C_T 要大。(2) 在地面静止状态试验结果表明:在室内、外的试验中,当功率系数 C_P 或拉力系数 C_T 或桨尖马氏数 M_{aBT} 相同时,带刀桨的噪声均低于无刀桨的噪声。当转速一定, C_P 定值时,在试验的大部分 C_P 范围内,有刀桨比无刀桨的 C_T 大,且当螺桨转速提高时, C_T 增大的, C_P 范围也扩大, C_T 增大的幅度也增加。

致谢 向 550 厂李家树总师和有关同志表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- 1 Lepicovsky J. Laser Velocimeter Measurements in a Model Propeller Flow field. Transactions of the ASME, Journal of Fluids Engineering, 1988, 110(1)
- 2 毛熙昌,曾明,高春风. 旋转螺桨叶面流场显形试验. 航空动力学报, 1991, 6(4)
- 3 Black P J W, Martin R M. Results From Performance and Noise Tests of Model Scale Propeller. SAE 830730, April, 1983
- 4 毛熙昌,王界斌,李红民. 两个缩尺模型螺旋桨的气动与声学性能对比试验. 航空动力学报, 1991, 6(4)

EXPERIMENTAL STUDY ON PROPELLER FENCE FOR EFFICIENCY ENHANCEMENT AND NOISE REDUCTION

Mao Xichang, Li Hongmin, Wang Jiebing

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics)

ABSTRACT Three-blades scale-model propellers with and without propeller fence along the chord direction at 88% tip blade radius are compared experimentally in the wind tunnel in respect of aerodynamic and acoustic characteristics. Their rotational speeds vary between 1500rpm to 3000rpm. Experimental results indicate that under conditions of identical advance ratio J the efficiency of the propeller with propeller fence is enhanced 1.9% ~ 4.9% and its lower noise level is reduced 13~ 20dB. It is shown that the propeller fence is one of effective measures to increase efficiency and to decrease noise of propellers.

ON MODELLING CONDITIONS FOR COOLING EFFECTIVENESS EXPERIMENTS

Qiu Xuguang

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics)

ABSTRACT According to strict theory of similarity, the modelling conditions for model experiments on cooling blades or vanes of a gas turbine are obtained from a necessary set of differential equations and single-valued conditions. It is shown that when the pressure in modelling is lower than that in the actual turbine, the temperature in modelling must be lowered simultaneously in order to maintain the criterion on $p/\mu \sqrt{c_p T}$ for cooling air and for gas invariant. Therefore, it is necessary to increase the pressure and to decrease appropriately the temperature in modelling tests for the blades and vanes of high-pressure turbines with high pressure ratio.

SURFACE TEMPERATURE MEASUREMENT OF TURBINE DISKS

Wu Hongdao, Qu Yuwu, Li Xingguang, Du Shengqin

(Design Institute of Xi'an Aero-Engine Corporation)

ABSTRACT A new method of temperature measurement with a single-wire thermocouple-slip ring system is first introduced to measure the surface temperature of the turbine disks in the turbojet engines and the accuracy of this method is considered in this paper. In this case the limited channels of the slip ring are fully utilized and the measured surface temperatures of the disk are actual and believable enough. The problems in its application such as the installation of the thermocouples, the cooling of the slip ring and the balance of the turbine rotor with this system are also discussed briefly.

NUMERICAL STUDY OF TURBULENT COMBUSTION MODEL

Zhao Jianxing and Yi Yong

(Nanjing Aeronautical Institute)

ABSTRACT Although the $k-\epsilon$ turbulent combustion model becomes widespread in engineering application, but the coefficients of the model C_R , C_{g1} , C_{g2} and expressions of the square of concentration fluctuations g used by researchers are different. In