

文章编号 :1007-3124( 2001 )04-0082-04

# 0.66m 直径对旋式轴流风机的设计和性能估算

王振羽

(北京航空航天大学流体力学研究所 ,北京 100083)

**摘要** 对旋式轴流风机具有压力增益大、效率高、结构简单和轴向尺寸小等优点,但目前还缺乏现成的设计方法可供借鉴,为此笔者提出了一个可行的设计思路及方法,即按照常规单级后扭型和预扭型风机,分别设计对旋式风机的前后两级桨叶,然后修正它们之间的相互干扰。给出了这种设计方法的要点。讨论了两级桨叶的负载分配和前后桨叶各参数之间的关系。根据前后两级桨叶绕流过程的不同,重点考虑了它们之间的相互干扰,提出修正干扰的方法。进行风机性能估算,对缩短研制周期、及时修改设计参数、提高设计水平都是很有益的。样机试验表明,风机的设计和性能估算都是成功的。

**关 键 词** 轴流风机 ; 对旋式 ; 桨叶干扰

中图分类号 :TH432.1 文献标识码 :A

## Design and analysis of the 0.66m counter rotating axialfan

WANG Zhen-yu

( Inst. of Fluid Mech. , Beijing University of Aeronautics and Astronautics ,  
Beijing 100083 , China )

**Abstract :** The counter rotating axial fan has advantages like high gain of pressure , high efficiency , simple structure , and small axial-wise size etc. The basic design idea , method and analysis of a counter rotating axial fan put forward in this paper had striven to conquer problems such as low efficiency , high noise , vibrating in structure , motor burn out etc. The fan analysis is helpful to shorten the design and improve the design liability. The prototype test indicates that the design and analysis are successful.

**Key words** axial fan ; counter rotating fan ; interference between the two rotors

## 0 引言

所谓对旋式轴流风机,是指前后串联两个直径、桨毂比、转速都相同,而旋转方向相反的桨叶,通常由两个电机分别驱动的一种两级轴流风机。其优点在于:在流量相同的

情况下,可以成倍地增加压强增益(风机出口的总压相对进口总压的增量),克服轴流风机总压增益相对较低的固有弱点,第一级桨叶产生的气流旋转恰由第二级桨叶反向旋转而消除,直接产生符合出口要求的单一轴向流。不需要任何导流片,缩短轴向尺寸,使结构变得简单。根本避免了导流片上的气流分离,减小能量损失,提高效率并降低噪声。

## 1 设计工况和性能指标

根据风机用途,确定如下:风机直径  $0.66m$ ,总压增益  $\rho = 4475Pa$ ,流量  $Q = 26100m^3/h$ ,功率  $\leq 2 \times 26kW$ ,转速  $2940r/min$ ,总压效率  $\geq 80\%$ ,比A声级噪声  $\leq 25dB$ 。

## 2 设计思路

(1)按照常规后扭型风机,设计对旋风机的第一级桨叶,确定理论外形。并给出桨叶后气流的合速度,根据动量定理,气流所增加的动量矩是桨叶扭矩作用的结果,气流从单一轴向流变成有扭转流。

(2)按照常规预扭型风机,设计第二级桨叶。上述第一级桨叶的出流即为本级的来流,第二级桨叶反转作用的结果,气流又恢复为单一轴向流。由此可确定第二级桨叶的理论外形。

(3)然后进一步考虑两级彼此反向旋转桨叶之间的相互干扰。

## 3 设计要点和主要结果

### (1) 风机前后级的压力负载分配

风机负载指气流通过桨叶的压强增益。两级桨叶的负载分配是设计中的一个重要问题。第一级是后扭型,第二级是预扭型。两级桨叶转速相同。预扭型桨叶气流与叶片之间的相对速度比较大,这就决定了第二级的负载可以比较大,但又不宜太大。前后两级桨叶的气流相对速度比值  $v_1/v_2$  大约在  $0.7 \sim 0.8$  范围,若要求第一级有较大的负载,势必需要增大升力系数或迎角,但这是很有限的。升力系数过大很容易引起气流分离甚至失速。

第一级桨叶上的分离气流往往对第二级的影响更大,使后者出现剧烈的振动或断裂。所以不应使第一级的负载大于第二级。

第二级气流相对速度大,虽然可以有比较大的负载,但速度大会使摩擦损失加大,因而效率降低,相同负载下第二级桨叶效率比第一级约低  $6\%$  左右,功率增大约为 1.1 倍。因而经常发生第二级电机烧毁的现象。

所以也不应该使第二级的负载大于第一级。通常使前后两级桨叶的压力负载相等,即  $p_1 = p_2 = 2237.5Pa$ 。由于第二级效率稍低,在相同负载下其气流的反向旋转速度略大于第一级,造成风机出口气流有残存的旋转速度。本设计残存旋转速度不大,可忽略。

### (2) 单级桨叶的设计

单级后扭型桨叶设计可参考文献 [5],单级预扭型可参考文献 [1],这里不再赘述。

(3) 槽数比 取为 0.6,由于第二级桨叶下游装有小锥角的消声筒,可以保持气流通道

面积缓慢扩散,允许风机较大的桨毂比。风机通道内的轴向流速比较大,有利于提高压力增益。前后两级桨叶的升力系数从根部到尖部分别为第一级 $1.293\sim0.381$ ,第二级: $0.785\sim0.494$ 。显然除第一级根部升力系数偏大但还可以允许外,桨叶各剖面都处在正常升力系数范围,不会出现叶表面的气流分离或失速,设计是安全的。

(4)桨叶根部气流的旋转系数(旋转速度与轴向速度之比)最大。前后两级的值为1.115和1.201,相应允许极限为1.1和1.4。可见,第一级旋转系数偏大,略超出允许范围,这说明第一级的负载已不能再高了。

(5)桨叶剖面采用圆弧中线加C4对称翼型。其周线方程参见文献[1]。这是英国风机常用的一种先进翼型,其优点是升阻比高和可以解析变化弯度和厚度。

(6)叶片数目为第一级12片,第二级10片。通常第二级桨的叶片数目和实度都小于第一级。桨叶平面形状为梯形,梯形比0.95。从桨叶根部至尖部共取了等间隔9个剖面,各剖面的相对厚度都是9%,前后两级桨叶各剖面的几何参数如下(从根部至尖部):第一级弦长 $238.41\sim226.49\text{mm}$ 、圆弧角 $35.50^\circ\sim14.57^\circ$ 、安装角 $42.67^\circ\sim20.40^\circ$ ;第二级弦长 $177.98\sim169.08\text{mm}$ 、圆弧角 $20.31^\circ\sim13.27^\circ$ 、安装角 $25.38^\circ\sim18.05^\circ$ 。

(7)前后两级桨叶轴向距离约取1/2桨叶弦长为120mm。

## 4 前后两级桨叶的相互干扰

前后两级桨叶彼此反向旋转,必然存在相互干扰,我们粗略地仅考虑如下两个一次干扰:

### (1) 第二级对第一级的干扰

第二级在第一级后反向旋转,会诱导第一级桨叶的轴向来流产生一个负的预扭,因而气流的相对合速度减小,并使得它与弦线之间的夹角(即迎角)减小,因而升力系数变小,如图1虚线速度三角形所示。修正方法是适当增加第一级桨叶的迎角,即增加安装角,通过试验确定增加了 $5^\circ$ 。

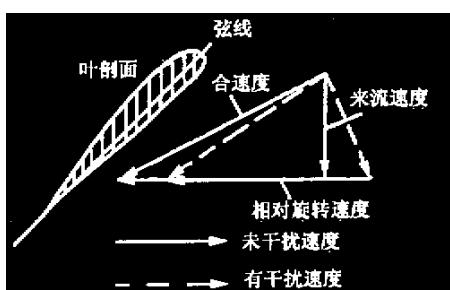


图1 第二级反向旋转使第一级迎角减小

Fig. 1 Angle of attack reduce on first rotor because reverse rotating of second rotor

### (2) 第一级对第二级的干扰

第一级相对第二级同样是反向旋转,使第二级桨叶来流的预扭分量产生一个增量,因而预扭速度增加,相对合速度也增加,并使它与弦线之间夹角增大,导致升力系数增大,如图2虚线速度三角形所示。修正方法是适当减小迎角,即减小安装角,通过试验确定减小了 $1^\circ$ 。

对于上述两个干扰影响,截止到目前为止,只是一种定性分析,没有适当模型,也没有系统研究,因而提不出定量的修正公式,

也没有很多试验数据和经验修正公式可供参考。目前的做法是适当预留安装角的调节范围,通过样机试验调节前后两级的安装角,使相互干扰达到最小,整机处于最佳状态。  
无方数据  
但上述分析给出的修正方向是正确的。

## 5 风机性能估算

一般的风机设计,只能在产品试制出来后通过样机试验评价其设计优劣。如果设计不成功,试制成本和时间都将损失。所谓性能估算,是针对现成的风机或已经设计好的风机外形,在给定转速下进行全工况范围的性能估算,详细可参考文献[1]。有了这个方法,就可以在设计阶段即预测风机性能曲线。对旋式风机没有现成的估算方法。类似上述设计过程,分别估算单级后扭型和预扭型桨叶的结果,然后叠加。

估算单级预扭型桨叶时,必须给定预扭系数。在本风机中,第二级桨叶的预扭系数实际是个变量,取决于第一级的运转情况,只能暂取设计状态下的值,当工况改变或安装角度变化时,就会产生一定误差。因而第二级以及整机的性能就很难估算准确,结果只能是近似的。

第一级桨叶偏转某个角度时,第二级桨叶应偏转多少,才能保持两级桨叶之间的良好匹配。这要经过试验确定。在缺乏数据和偏角不大的条件下,先考虑两级桨叶有同样的偏转,如 $-2^\circ$ , $-2^\circ$ 表示前后同时减小 $2^\circ$ 安装角,但这样可能会导致前后有些不匹配。

估算结果见图3。从图3可看出,桨叶安装角处在设计状态时,性能曲线相当逼近地通过原设计点(流量 $26100\text{m}^3/\text{h}$ ,压强增益 $4475\text{Pa}$ ),说明方法基本正确。在设计点附近的小范围内,桨叶安装角(前后两桨同时)每增加 $1^\circ$ ,压力增加约 $500\text{Pa}$ ,每减小 $1^\circ$ ,压力降低 $480\text{Pa}$ 。

## 6 样机试验结果

样机试验结果表明,风机设计是成功的,性能估算结果与试验的趋势比较接近。本风机已投入生产。

### 参考文献:

- [1] WALLIS R A. Axial flow fans and ducts. New York : a Wiley-Interscience Publication. 1983.
- [2] 伍荣林,王振羽.风洞设计原理.北京 北京航空学院出版社,1985.
- [3] (德国)埃克 B.通风机(中译本).北京 机械工业出版社,1983.
- [4] 李庆宣.通风机.北京 机械工业出版社,1981.
- [5] 王振羽.0.8m风洞风扇系统的设计和运转.流体力学实验与测量,1998,(12)(3):73~77.

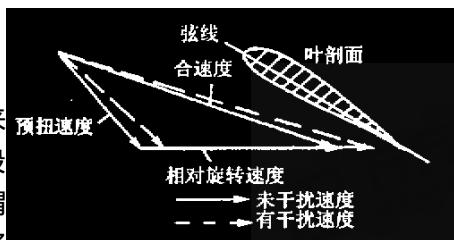


图2 第一级相对反向旋转使第二级迎角增大

Fig. 2 Angle of attack increase on second rotor because reverse rotating of first rotor

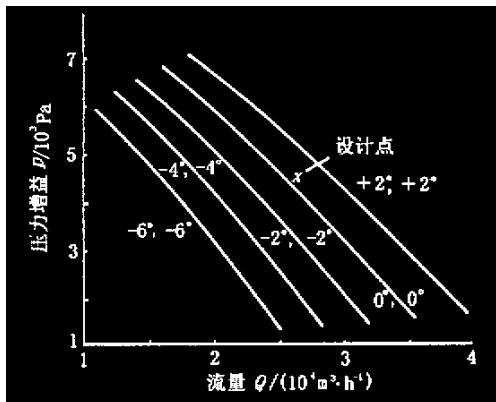


图3 不同安装角下的风机性能曲线

Fig. 3 Variable-pitch fan characteristic