

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 axial fan

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 $p = 4475\text{Pa}$,流量 $Q = 26100\text{m}^3/\text{h}$,功率 $\leq 2 \times 26\text{kW}$,转速 $2940\text{r}/\text{min}$,总压效率 $\geq 80\%$,比 A 声级噪声 $\leq 25\text{dB}$ 。

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 0.7~0.8 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 $p_1 = p_2 = 2237.5\text{Pa}$ 。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) 负载系数为 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:1.293~0.381,第二级:0.785~0.494。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238.41~226.49mm、圆弧角35.50°~14.57°、安装角42.67°~20.40°;第二级弦长177.98~169.08mm、圆弧角20.31°~13.27°、安装角25.38°~18.05°。

(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°。

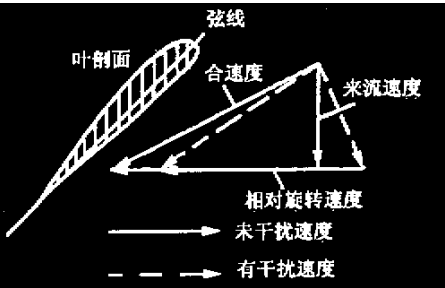


图1 第二级反向旋转使第一级迎角减小
Fig.1 Angle of attack reduce on first rotor because reverse rotating of second rotor

(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°。

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。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浆叶的结果 ,然后叠加。

估算单级预扭型浆叶时 ,必须给定预扭系数。在本风机中 ,第二级浆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。

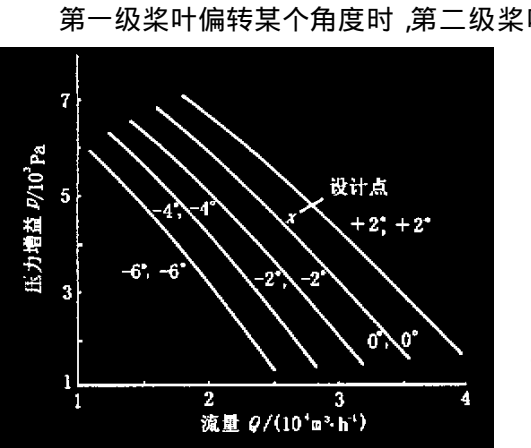


图 3 不同安装角下的风机性能曲线
Fig.3 Variable-pitch fan characteristic

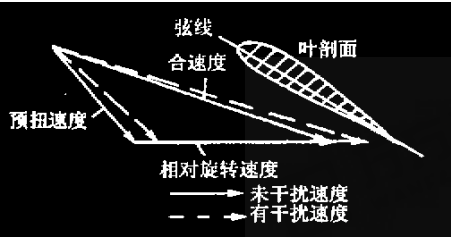


图 2 第一级相对反向旋转使第二级迎角增大
Fig.2 Angle of attack increase on second rotor because reverse rotating of first rotor

第一级浆叶偏转某个角度时 ,第二级浆叶应偏转多少 ,才能保持两级浆叶之间的良好匹配。这要经过试验确定。在缺乏数据和偏角不大的条件下 ,先考虑两级浆叶有同样的偏转 ,如 $-2^\circ, -2^\circ$ 表示前后同时减小 2° 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 ,浆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 4475Pa) ,说明方法基本正确。在设计点附近的小范围内 ,浆叶安装角(前后两桨同时)每增加 1° ,压力增加约 500Pa ,每减小 1° ,压力降低 480Pa 。

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] 李庆宜. 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 ,1(3) :73~77.