

风机叶片的圆锥面成型法

北京航空学院 韩明会 陆亚钧

摘 要

本文提出利用圆锥面成型钣金扭曲风机叶片的方法,能通过调节锥顶角的大小和叶片在锥面上的不同安放姿态来较好地满足各种径向扭曲规律,使成型的叶片能较好地符合气动设计要求,为钣金扭曲叶片成型提供了新的设计制造方法。该法有较大实用和经济价值。

一、引 言

要设计一台性能良好的轴流通风机,准确先进的气动计算方法是不可缺少的,但是正确地成型风机叶片使之既满足气动设计要求又不提高生产成本,对于民用通风机来说显得更为关键。据了解目前如果按一般的方法加工叶片冲模,单件加工费用约一万元以上,而实际使用寿命却只有几千次。因此,尽管我国科技人员对30K4型风机叶片做过新的设计,但最终不得不放弃新的叶片设计方案,而仍采用原风机叶型和成型方法。这些事实足以表明通风机叶片成型方法的重要性。为了使民用通风机成型叶片既具有规定的扭向形式,又不因成型模具的复杂加工而提高生产费用,我们发展了一种新的叶片成型方法,即锥面成型方法,它可以更好地满足叶片设计规律。

由于钣金扭曲叶片具有制造工艺简单、生产成本低廉等特点,所以在低压轴流通风机中得到了广泛的采用。据了解国内包括高压风机在内的大部分轴流通风机叶片都采用钣金扭曲叶片,国外在七十年代中期以前钣金扭曲叶片也被大量采用。我国T40风机叶片成型是照搬苏联提供的30K4型风机的叶片成型图纸,30K4型风机叶片是采用圆柱面成型,如图1所示。

圆柱面成型钣金扭曲叶片的方法是一位澳大利亚通风机学者首次提出来的,这种方法的提出使通风机的制造成本大幅度下降,他也因此而获得了这项发明专利权,专利号是132484,现收藏于澳大利亚公共福利供应部。

由图1可知,圆柱面成型原理十分简单,它是将裁好了的叶片毛坯的中心线按一定的角度(与圆柱轴线)置于圆柱体表面,然后利用冲压等手段来实现叶片钣金与圆柱面的贴合。这种方法尽管简单,但存在着许多不足之处。当叶片弦长沿径向的变化规律一定时,叶片的扭向

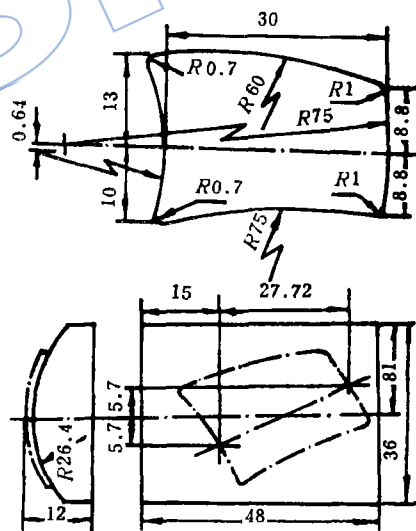


图1 某一T40-11型风机叶片柱面成型图

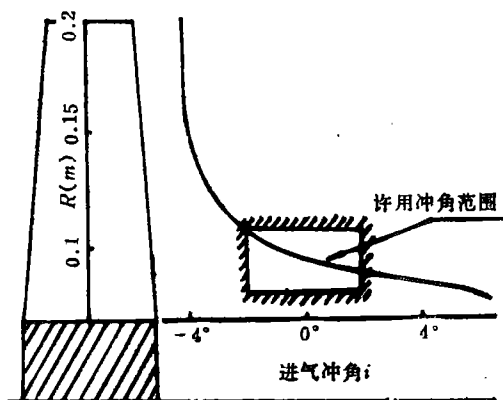


图 2 圆柱面成型叶片冲角沿叶高的变化。

(设计参数: $P = 127 \text{ Pa}$, $Q = 5000 \text{ m}^3/\text{h}$, $n = 1400 \text{ rpm}$, $D = 0.4 \text{ m}$, $d = 0.34$)

及弯角靠选择对应基元级椭圆上的不同位置来实现。一般来讲,这种方法很难满足沿叶高扭向和弯角剧烈变化的气动设计规律,其结果用圆柱面成型风机叶片常常导致叶片前缘部分区域气流的进气冲角增大。图 2 就是一个很好的例子,它是根据文献[1]给出的圆柱面成型一风机钹料扭曲叶片的最佳计算结果绘制的。叶片是按等环量设计规律设计。可以看出对于这一设计,圆柱面成型方法就不能够满足设计要求。因为钹料叶片的冲角 i 超过 $\pm 2^\circ$ 时,前缘处的流动扰动可能引起整个弦向范围内的流动分离[2],从而不可避免地造成气流的损失增大,噪声增强。

在此以前,为了避免上述缺陷,设计者们不得不采用沿叶高扭向和弯角变化比较缓慢的变环量设计规律进行设计。然而这项措施实际上仍不能解决圆柱面成型风机叶片的效率低,噪声大的问题,因为通风风机叶片一般都很长,为了达到扭向和弯角变化缓慢的目的,往往要求沿叶高环量变化非常剧烈才行。沿叶高环量的大幅度变化,造成了沿叶高加功量的大幅度变化,这样一来,除了造成叶片沿叶高各基元级之间流层速度梯度增大外,还由于转子叶片出口各基元级半径上不同能量的气流发生强烈的渗混,造成流场中的有旋流动而消耗气流能量,所以仍不能从根本上解决风机全压效率低这一问题。因此在不提高生产成本的基础上,寻求一种新的叶片成型方法,使它能够更好地满足气动设计要求,提高风机效率,降低噪声,是目前钹料扭曲叶片成型中的关键问题。

解决上述问题比较理想的办法就是改原来的圆柱面成型方法为圆锥面成型方法

二、原理和计算

如图 3 所示,用一组平行平面 $M_j (j = 0, 1, 2 \dots n)$ 截锥面得一组平行的椭圆曲线(注:图中限于清楚只画了三个平行平面),椭圆曲线的数目与设计时所选取的计算基元级的数目相同。各椭圆曲线上,满足相应叶型扭向和弯角要求的曲线段的前端点和后端点分别用一条曲线拟合,与上下两段曲线构成一空间曲面,这个曲面形状就是满足气动设计要求的没有厚度的叶片形状。

1. 各基元级叶型曲线段在相应椭圆曲线上位置的确定

设 $(x_{j,1}, y_{j,1}, z_{j,1})$ ($x_{j,2}, y_{j,2}, z_{j,2}$) 分别表示第 j 个基元级叶型在 xyz 坐标系里的叶型前缘点和叶型后缘点的坐标。根据叶片成型目的,可以求出用于确定与基元级叶型相对应的各段曲线在其相应椭圆曲线上位置的方程组。

(1) 满足叶型弦长条件:

$$(x_{j,2} - x_{j,1})^2 + (y_{j,2} - y_{j,1})^2 + (z_{j,2} - z_{j,1})^2 = b_j^2$$

(1)

(2) 满足扭向规律要求

$$\cos \Delta \varphi(j) = \frac{q_{n/2} \cdot q_j + k_{n/2} k_j + s_{n/2} \cdot s_j}{\sqrt{q_{n/2}^2 + k_{n/2}^2 + s_{n/2}^2} \cdot \sqrt{q_j^2 + k_j^2 + s_j^2}} \quad (2)$$

(3) $(x_{j,1}, y_{j,1}, z_{j,1})$ 和 $(x_{j,2}, y_{j,2}, z_{j,2})$ 在椭圆曲线 E_j 上,

$$(x_n - x_0)(x_{j,1} - x_j) + (y_n - y_0)(y_{j,1} - y_j) + (z_n - z_0)(z_{j,1} - z_j) = 0 \quad (3)$$

$$(x_n - x_0)(x_{j,2} - x_j) + (y_n - y_0)$$

$$(y_{j,2} - y_j) + (z_n - z_0)(z_{j,2} - z_j) = 0 \quad (4)$$

$$x_{j,1}^2 + y_{j,1}^2 = z_{j,1}^2 \cdot t_g^2 \beta \quad (5)$$

$$x_{j,2}^2 + y_{j,2}^2 = z_{j,2}^2 \cdot t_g^2 \beta \quad (6)$$

其中: b_j 是第 j 个基元级叶型弦长, γ 是平面 L_0 与 Z 轴的夹角; β 是圆锥面半顶角,

$$q_j = (x_{j,2} - x_{j,1})$$

$$k_j = (y_{j,2} - y_{j,1})$$

$$s_j = (z_{j,2} - z_{j,1})$$

$$\Delta \varphi(j) = \beta_A(j) - \beta_A\left(\frac{n}{2}\right)$$

$\beta_A(j)$, 是基元级叶型的安装角

2. 基元级叶型气动参数的选择。

与孤立叶型法设计相对应, 本节应选择合适的叶型以实现气动计算结果, 即在许用的攻角 α_j 范围内求各基元级满足弦长和升力系数

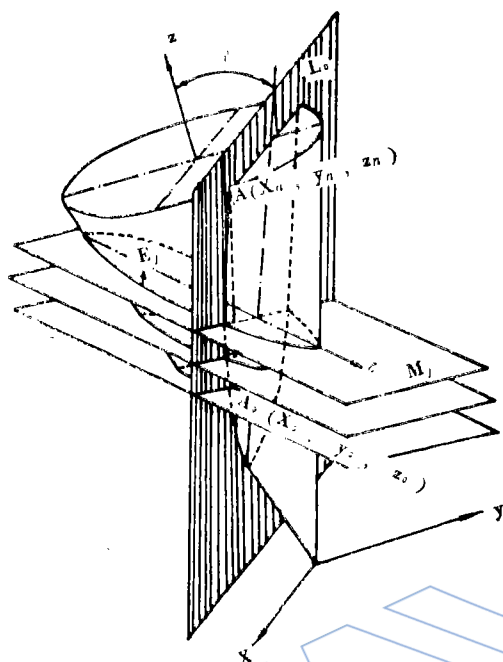


图 3 锥面成型钣金扭曲叶片原理图

C_y 要求的叶型几何形状及叶型安装角 $\beta_A = \beta_m + \alpha$ 。

在锥面上成型叶片, 由于叶片径向线一般不与母线重合, 所以各基元级叶型为椭圆上一段曲线形状, 目前由于缺少关于中弧线为椭圆曲线状的孤立叶型的完整的实验结果, 为此本文将利用已有的圆弧板叶型的实验结果^[3]来近似代替椭圆形孤立叶型的实验结果。

三、成型计算结果

低压轴流风机原始设计指标为: 流量 $Q = 15000 \text{ m}^3/\text{n}$, 转速 $n = 1450 \text{ RPM}$, 风压 $P = 196 \text{ Pa}$, 外径 $D_t = 0.6 \text{ m}$ 轮毂比 $\bar{d} = 0.38$ 。

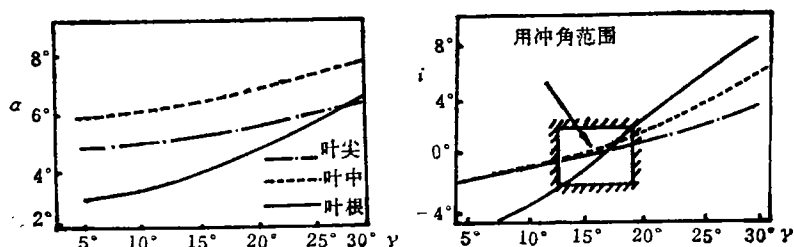


图 4 $\beta = 45^\circ$, $h_{n/2} = 0.24 \text{ m}$ 时 γ 对 α , i 的影响

气动设计得到孤立叶型的计算结果, 然后进行造型设计。

由于风机叶片较长, 同时又是按等环量规律设计, 可知叶片弯角及扭向沿叶高变化比较剧烈, 所以取较大的 β 值, 同时为了获得前掠明显的叶片, 需取较大的 $h_n/2$ 值, 参考图4可知, 当 $\beta = 45^\circ$, $h_n/2 = 0.24\text{m}$, γ 在 $12.5^\circ \sim 19^\circ$ 范围内取值, i 均落在许用值范围内, 成型计算中取 $\beta = 45^\circ$, $\gamma = 14^\circ$, $h_n/2 = 0.24\text{m}$ 。成型计算所得冲角和安装角沿叶高的分布如表1。

表1 成型计算结果

R	114	145	176	207	238	269	300
i	-1.984°	-1.767°	-1.22°	-0.86°	-0.344°	-0.137°	-0.167°
β_A	60.6°	50°	42.5°	37°	32.9°	30.4°	25.7°

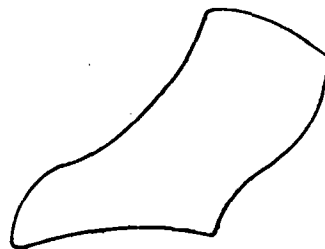


图5 成型风机叶片的平面展开示意图

图5 是成型叶片形状的平面展开示意图, 很显然该叶片具有前掠的特点。

四、成型叶片的安装和几何参数实测

当知道了叶中安装角后, 叶片在转子上的位置便唯一地被确定下来。如图6所示, 使计算得的 A_0An 线与径向线 R 重合, 并保证叶中安装角 β_{A_0} 等于成型计算的值即可。

为了了解锥面成型计算的可靠性, 把成型后的叶片按 $\beta_{A_0} = 37^\circ$ 焊在轮毂上, 然后利用铣床三自由度坐标系进行了叶片截面几何参数的精确测量, 测量结果如表二。

表2 测量值与计算值的比较

R		145	176	207	238	269
实际测量值	β_{1A}	36.8°	31.6°	28.5°	24.5°	22.5°
	i	-1.5°	-1.4°	-0.4°	-1.1°	-0.5°
	β_A	49.7°	43.3°	37°	32.6°	30.9°
成型计算值	i	-1.767°	-1.22°	-0.86°	-0.344°	-0.137°
	β_A	50°	42.5°	37°	32.9°	30.4°

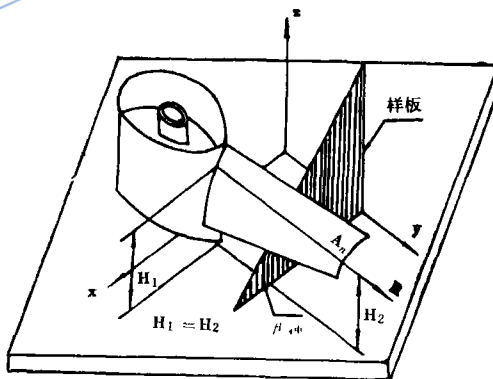


图6 叶片在轮毂上的安装及几何参数实测原理图

由表2可知, 成型后叶片几何参数与计算结果符合的相当好, 这说明成型计算的准确性以及成型加工的精确性。

参 考 文 献

- [1] 孙鹏飞, “低压轴流通风机的优化设计”, 清华大学毕业论文, 1984年。
- [2] R.A. Wallis, “Axial Flow Fans and Ducts”, JOHN WILEY & SONS 1984年。
- [3] B.ECK, “Fans”, Pergamon Press, 1973.

A CIRCULAR CONE SURFACE SHAPING METHOD FOR FAN BLADE

Han Minghui and Lu Yajun

(Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics)

Abstract

A new method, circular surface shaping method, has been developed to shape the sheet metal twisted blade. By changing the conical point angle and the location of the blade on the conic surface, this method can satisfy the various radial law and make the shaped blade meet the specifications of its aerodynamic design much better. The shortcoming of the existing cylinder shaping method that leads the inlet flow incidence to deviate from its permitted range can be overcome. In addition, the forwardswept blade shape can be obtained by controlling the blade location on the circular cone surface. As a result, a new design and manufacturing method is provided for sheet metal twisted blade shaping. The method is of great practical and economic value.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON INDUSTRIAL MODIFICATION OF WZ-5 AEROENGINE TO RUN ON MEDIUM BTU GAS FUEL

Liu Gaoun and wang Huafang

(Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics)

Abstract

The present work aims at industrial modification of WZ-5 aeroengine to run on medium BTU gas fuel which is a typical waste gas come from chemical fertilizer production. The medium BTU gas fuel contains 50% of H_2 , 20% of CH_4 and H_2 , and its low heating value is 3000 kcal/Nm^3 . Four injectors have been designed and tested in the combustor of the engine. Three of them have quite good performance, the injector with slat-shape opening at its end is unsuitable because of unacceptable temperature distribution at the exit of the combustor. It is also shown that there is the potentiality for the modified combustor to be improved as the medium BTU gas fuel contains a certain amount of H_2 .