

# 通风机叶片的仿生学试验研究

程 勒 石道中

(哈尔滨工业大学)

〔摘要〕介绍了通风机仿生学叶片对通风机性能、噪声影响的试验研究初步结果,表明仿生学在风机中应用的尝试是有益的。

关键词 通风机 仿生学 噪声 性能

## 1 前 言

常规通风机叶片材质一般为刚性材料。假如用软材料做叶片出气边,将会对风机的噪声和性能产生怎样的影响呢?自然给我们以启示,鱼具有良好的流体力学性能,鸟的羽翼具有极好的空气动力学性能。生物的某些优异性能令人叹为观止。本世纪60年代,出现了一门新兴边缘科学——仿生学。仿生学将有益的生物原理应用于工程技术。在仿生学的启示下,我们产生了一个设想:在通风机叶片上尝试应用仿生学。将叶片出气边改为软材料,例如橡胶板,并将出气边剪口,模拟鸟类羽翼。为此,我们用一系列软出气边叶片代替常规叶片制做叶轮,然后做系统的试验研究。本文是试验研究报告之一。

## 2 试验装置

本装置除叶片外,其余与常规通风机完全一样。该装置由通风机(具有仿生学叶片)、风筒、传动组、电动机(平衡电机)

及测试仪器组成。所构成的试验条件符合国家标准 GB1236—85(通风机空气动力学性能试验方法)和 GB2888—82(风机和罗茨鼓风机噪声测量方法)的规定,不再赘述。试验叶轮叶片是板式圆弧形叶片。每个叶片由基体部分(常规材料)和软边部分(橡胶板制)两部分构成。出气边处的厚度为 $\delta=3\text{ mm}$ 。软边部分的材料是普通橡胶板,邵氏硬度60,厚度为3 mm,并将软边剪口。剪口间距为 $t=0.1b$ ( $b$ 为叶轮出口宽, $b=100\text{ mm}$ ),每个剪口相对长度为 $\Delta l/\Delta L=0.66$ (见图1)。叶片基体材料为16Mn,基体与软边之间用胶粘方法固定,胶接处为 $30^\circ$ 的斜面。装有特殊仿生学试验叶片的风机叶轮见图1。其中, $L'$ 、 $\Delta L'$ 、 $\Delta l'$ 分别是叶片总长 $L$ 、软边长 $\Delta L$ 和剪口长 $\Delta l$ 的轴面投影。我们做了不同软边长度和不同剪口长度的叶片对风机性能及噪声的影响试验。本文给出了软边相对长度 $\Delta L/L=0.23$ 和 $\Delta L/L=0.10$ , $\Delta l/\Delta L=0.66$ 条件下的试验结果。有关参数如下:机号:№5号;叶轮外径 $D_2=500$ ;流量系数 $\phi=0\sim 0.30$ ;压力系数 $\psi=0.4\sim 0.7$ ;转速 $n=1450\text{ r/min}$ ;叶片数:18(有分流);叶片出口角 $\beta_2=$

收稿日期 1991-04-16 三稿定稿 1991-07-02

本文联系人 程勒 男 49 副教授 哈尔滨工业大学动力工程系 150006

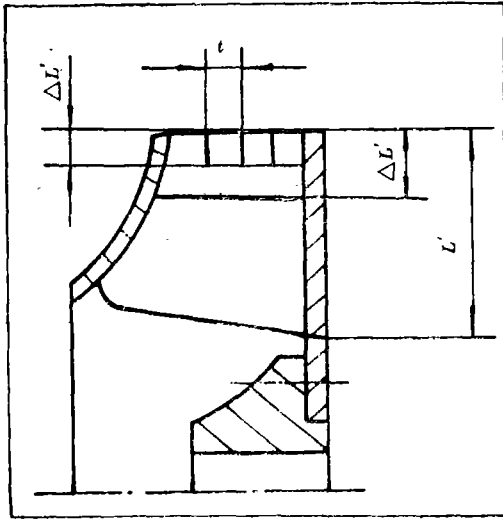


图1 试验叶片

100°。

另外，由于软边部分在离心力作用下会使 $\beta_2$ 趋向90°。为便于分析对比，我们还做了常规叶片，出口角分别为 $\beta_2 = 100^\circ$ 和 $\beta_2 = 90^\circ$ 的两种叶轮，除 $\beta_2$ 及叶片材料与仿生学叶片有所不同外，其余条件相同。用上述常规叶轮也做了试验。

### 3 试验结果及初步分析

根据GB1236—85编制了计算程序，使用高级BASIC语言编制。试验原始数据输入IBM—PC机，计算结果由微机打印输出，得到了以下四组曲线：

1. 仿生学叶片对通风机噪声频谱的影响（流量系数 $\phi = 0.15$ 时），见图2；
2. 仿生学叶片和常规叶片（ $\beta_2 = 100^\circ$ 、 $\beta_2 = 90^\circ$ ）对通风机比A声级噪声的影响，见图3综合对比曲线的下半部。
3. 仿生学叶片和常规叶片（ $\beta_2 = 100^\circ$ 、 $\beta_2 = 90^\circ$ ）对风机全压内效率（ $\eta_{in}$ ）的影响，见图3综合对比曲线的上半部。
4. 仿生学叶片和常规叶片（ $\beta_2 =$

100°、 $\beta_2 = 90^\circ$ ）对风机压力系数 $\psi$ 的影响，见图3综合对比曲线的中部。

为便于分析和对比以及综合比较，我们将上述的2、3、4三组曲线画在同一张图上，有共同的横坐标——流量系数 $\phi$ 。至于纵坐标有3种，它们的单位刻度分别对应于相关文字说明和符号，详见图3。

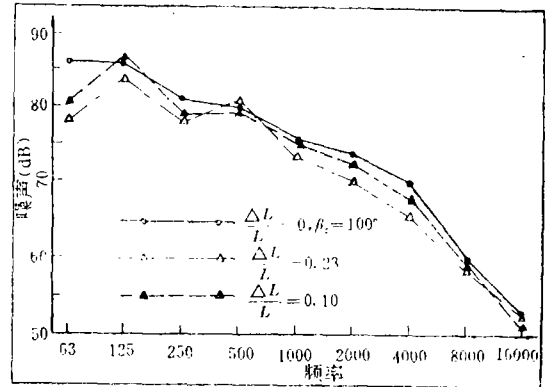


图2 仿生学叶片与常规叶片在流量系数 $\phi = 0.15$ 时的噪声频谱

由图2可见，仿生学叶片风机的噪声频谱除个别频率外，普遍比常规叶片风机的噪声低。其中软边相对长度 $\Delta L/L = 0.10$ 的曲线，除125 Hz一点比常规叶片高0.9 dB及1000 Hz一点持平外，一般都比常规叶片低，约低0.4~4.4 dB，噪声相对降低(0.9~5.1)%。而软边相对长度 $\Delta L/L = 0.23$ 的曲线，除500 Hz一点比常规叶片高0.5 dB外，一般都比常规叶片低，约低0.75~7.4 dB，噪声相对降低(1.3~8.6)%。剪口软边的相对长度 $\Delta L/L$ 的影响也较为明显，除500 Hz、16000 Hz两点外，随着 $\Delta L/L$ 的增加，噪声相对降低。 $\Delta L/L = 0.23$ 曲线比 $\Delta L/L = 0.10$ 的曲线大体上低1.0~3.1 dB，相对降低(1.6~3.9)%。

由图3下部一组噪声曲线可见，仿生学叶片风机对比A声级噪声（ $L_{SA}$ ）的影响曲线可分为两段。如以 $\beta_2 = 100^\circ$ 的常规叶片风机为基准，则以流量系数 $\phi = 0.17 \sim 0.176$ 为

分界点。左面一段较小流量区，仿生学叶片风机的比A声级噪声普遍低于常规叶片风机 ( $\beta_2 = 100^\circ$ )。其中  $\Delta L/L = 0.23$  的曲线比常规曲线约低 1.0~3.0 dB，噪声相对降低 (4.0~12)%。而  $\Delta L/L = 0.10$  的曲线比常规曲线约低 1.0~2.0 dB，噪声相对降低 (4.0~8.0)%。在左面一段，随着  $\Delta L/L$  增加， $L_{SA}$  随之降低。但在较大流量区 (即

右面一段)，规律正好相反。仿生学叶片风机的比A声级噪声普遍高于常规叶片 ( $\beta_2 = 100^\circ$ ) 风机。其中  $\Delta L/L = 0.23$  的曲线比常规曲线约高 1.0~4.5 dB，相对增大 (4.0~15)%。而  $\Delta L/L = 0.10$  的曲线比常规曲线约高 0.5~2.5 dB，相对增大 (2.0~8.3)%。另外，在右面一段，随着  $\Delta L/L$  增加， $L_{SA}$  增大。如以  $\beta_2 = 90^\circ$  的常规叶片风机为基

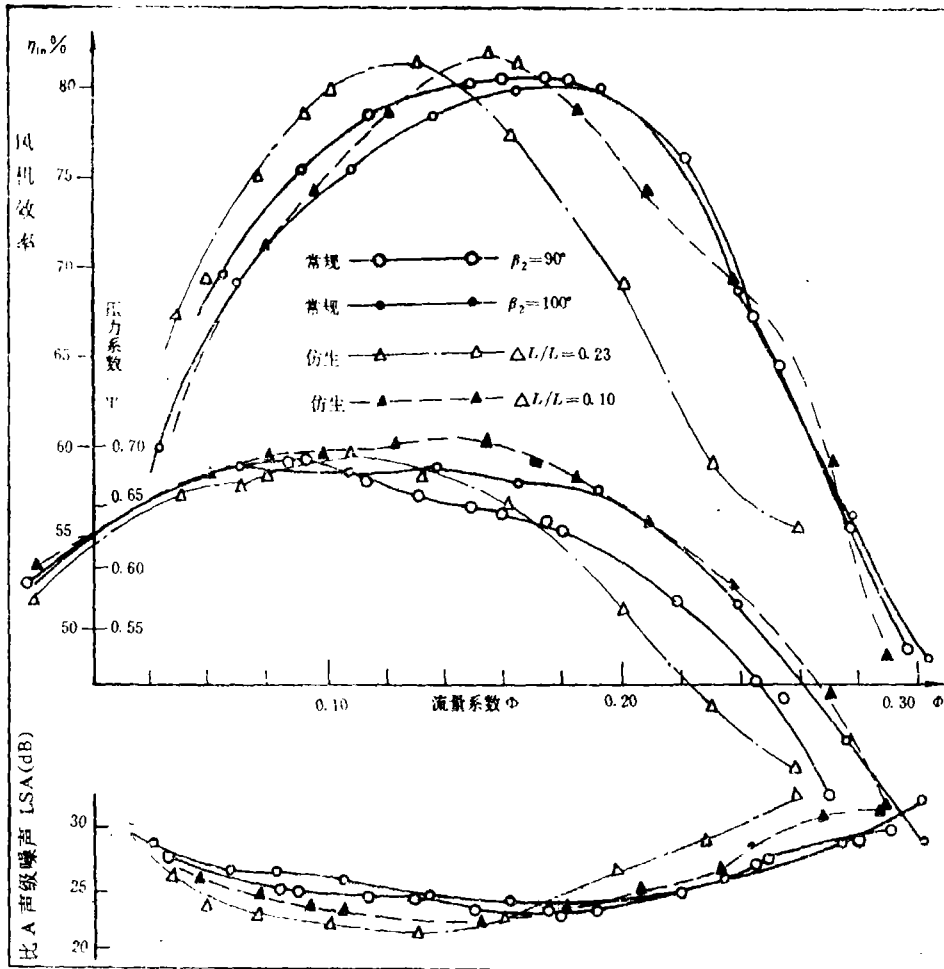


图3 仿生学叶片以及常规叶片 $\beta_2 = 90^\circ, \beta_2 = 100^\circ$ 对风机效率  $\eta_{in}$  压力系数  $\psi$  和比A声级噪声  $L_{SA}$  的影响综合对比曲线

准，则以流量系数 $\phi = 0.164$ 为分界点。基本规律与 $\beta_2 = 100^\circ$ 常规叶片为基准时相类似。左面较小流量区，仿生学叶片风机的  $L_{SA}$  低于常规叶片 ( $\beta_2 = 90^\circ$ ) 风机。其中  $\Delta L/L$

$= 0.23$  的曲线比常规曲线低 1.0~2.5 dB，而  $\Delta L/L = 0.10$  的曲线比常规曲线低 1.0~1.8 dB。右面较大流量区规律正好相反，仿生学叶片风机的  $L_{SA}$  高于常规叶片风机。其

中 $\Delta L/L = 0.23$ 的曲线右半段比常规曲线高 $1.0 \sim 4.0$  dB,  $\Delta L/L = 0.10$ 的曲线右半段比常规高约 $0.5 \sim 2.2$  dB。

由图3上部一组效率曲线可见, 仿生学叶片风机的效率曲线向左移动, 而最高效率点效率高于常规叶片风机。按最高效率点的位置, 从右向左依次为:  $\beta_2 = 100^\circ$ 、 $\beta_2 = 90^\circ$  常规,  $\Delta L/L = 0.10$ 、 $\Delta L/L = 0.23$  仿生学叶片。按最高效率比较,  $\Delta L/L = 0.23$  的最高点比 $\beta_2 = 100^\circ$  常规最高点高 $1.4\%$ , 比 $\beta_2 = 90^\circ$  常规最高点高 $0.8\%$ 。而 $\Delta L/L = 0.10$  的最高点比 $\beta_2 = 100^\circ$  常规最高点高 $2.2\%$ , 比 $\beta_2 = 90^\circ$  的常规最高点高 $1.9\%$ 。从四条效率曲线看,  $\Delta L/L = 0.10$  的效率曲线最高点最高。至于各曲线的变化, 图3上部表达的比较清楚, 不再赘述。

由图3中部的一组压力系数 $\psi$ 曲线可见, 仿生学叶片对压力系数 $\psi$ 的影响与比值 $\Delta L/L$ 有关。其中 $\Delta L/L = 0.23$ 的曲线, 在 $\phi < 0.097$ 时, 与常规曲线基本相同; 与 $\beta_2 = 90^\circ$  常规曲线比, 约在 $(-1.0 \sim +0.5)\%$  范围内变化; 与 $\beta_2 = 100^\circ$  常规曲线比, 约在 $\pm 1.25\%$  范围内变化。当 $0.097 < \phi \leq 0.13$  时, 比 $\beta_2 = 90^\circ$  常规曲线高 $(1.5 \sim 3)\%$ ; 比 $\beta_2 = 100^\circ$  常规曲线高 $(0 \sim 1.25)\%$ 。当 $0.13 < \phi \leq 0.16$  时, 比 $\beta_2 = 90^\circ$  常规曲线高 $(0 \sim 3)\%$ ; 比 $\beta_2 = 100^\circ$  常规曲线低 $(0 \sim 2.0)\%$ 。当 $\phi > 0.16$  后, 比 $\beta_2 = 90^\circ$  常规曲线约低 $(1 \sim 6)\%$ ; 比 $\beta_2 = 100^\circ$  常规曲线低 $(2 \sim 10)\%$ 。而 $\Delta L/L = 0.10$  的曲线, 在 $\phi \leq 0.097$ 时, 与 $\beta_2 = 90^\circ$  常规曲线基本相同。当 $0.097 < \phi \leq 0.19$  时, 比 $\beta_2 = 90^\circ$  常规曲线高 $(1.5 \sim 10)\%$ ; 比 $\beta_2 = 100^\circ$  常规曲线高 $(0.5 \sim 2.5)\%$ ; 当 $\phi > 0.19$  时, 比 $\beta_2 = 90^\circ$  常规曲线高 $(5 \sim 7)\%$ ; 与 $\beta_2 = 100^\circ$  常规曲线基本相同。

分析以上试验结果, 可以得出一个基本结论: 在较小流量区, 仿生学叶片风机的性能和噪声基本上优于常规叶片风机; 而在较

大流量区噪声劣于常规叶片, 性能则随软边相对长度 $\Delta L/L$ 变化,  $\Delta L/L$ 较大时性能下降较快(大流量区), 当 $\Delta L/L = 0.10$ 时, 性能基本保持不变(大流量区)。另外, 从图3综合对比曲线还发现一个很有意思的规律, 这就是另一个结论: 即常规风机最高效率点总是在最高压力系数点的右侧, 而最低噪声点基本与最高效率点重合。而对于仿生学叶片风机而言, 上述三个最高(或最低)点的流量系数都重合了。这对于变工况范围很小的风机是非常有益的。

产生上述试验结果的原因从机理上分析是十分复杂的。本文试作一初步分析, 供探讨。

在流量较小时, 在常规叶片非工作面上出现边界层分离<sup>[3]</sup>。注意到仿生学叶片与常规叶片对流场的影响有较大差别。由于软出气边在离心力及叶片工作面与非工作面之间压差的共同作用下产生了较大的变形, 加之在剪口处缝隙中气流的影响, 因而改善了流场, 减弱了叶道中的旋涡区以及尾迹涡流区, 从而改善性能和噪声。这是最可能的原因。但在流量较大时, 在常规叶片非工作面与工作面上均出现分离<sup>[3]</sup>。流量大意味着气流相对速度大。在这种情况下, 软出气边的变形对高速气流所起作用不是改善而是干扰主流, 因而造成额外损失, 这是较大流量下性能下降的最可能原因。也是较大流量下噪声不良的最可能原因。

#### 4 存在问题及改进方向探讨

1. 在离心力作用下, 叶片软边部分的出口角 $\beta_2$ 趋向 $90^\circ$ , 因此仿生学叶片对前向式叶片和后向式叶片的影响是不同的。本文所给出的是前向式叶片的试验结果。而对后向式叶片的影响如何应由试验确定(因经费所限未作后向叶片试验研究), 这有待今后继续深入研究。

2. 大流量区性能下降问题, 需要进一步研究新的仿生学叶片模型, 通过试验寻求改进措施。

3. 强度问题。仿生学叶片局部使用软材料, 而软材料的许用应力一般比常规刚性材料低。因此在应用仿生学叶片时, 必须验证强度。本文试验所用的橡胶板制软边, 在5号机条件下经受了1450r/min长时间运行考验, 没有发现强度问题。但对更大机号、更高转速是否适应尚待进一步试验。另一方面要寻找强度更高的软材料。

4. 耐磨性和耐高温问题。有些风机工作条件恶劣, 要求叶片耐磨损或耐高温(如: 引风机)而普通软材料上述性能较差。改进方向, 一方面寻找耐磨性好的材料; 另一方面可通过表面涂料来解决; 至于耐高温问题, 需要对各种材料的耐高温性能进行比较和必要的试验, 从中选择出适当的

材料。

总之, 风机叶片的仿生学试验研究仅仅是开始, 距工业应用尚有相当距离, 上面所提到的问题以及仿生学叶片的机理有待今后进一步深入研究。

### 参 考 文 献

- 1 王书荣. 自然的启示. 上海科学技术出版社, 1978:167~207
- 2 文中坚. 生物与仿生学. 广西人民出版社, 1982:1~14, 18~78
- 3 李庆宜. 通风机. 机械工业出版社, 1986:39~65
- 4 [联邦德国]埃克B. 通风机. 机械工业出版社, 1983:1~270
- 5 国家标准 GB 1236-85, 通风机空气动力性能试验方法. 1985
- 6 国家标准 GB2888-82, 风机和罗茨鼓风机噪声测量方法. 1982

## An Experimental Study of Fan Blade Bionics

Cheng Le, Shi Daozhong

(Harbin Institute of Technology)

### Abstract

This paper presents the preliminary experimental study results of the effect of bionics-based fan blades on fan performance and noise, which indicate that bionics can play a significant role in the improvement of fan performance characteristics.

Key words: fan, bionics, noise, performance

**欢迎订阅, 欢迎投稿!**