

文章编号: 1000-8055(2002) 03-0309-05

组合叶栅的定义及其应用研究

杨 波, 欧阳华, 钟芳源, 谷传纲
(上海交通大学 动力机械与工程教育部重点实验室, 上海 200030)

摘要: 提出了组合叶栅设想及其评价准则, 并对组合叶栅进行了性能实验。通过实验数据的分析, 肯定了组合叶栅设想应用于可逆风机叶片设计的可行性。实验还证明, 选取适当的叶栅组合参数 B 、 T , 可以使组合叶栅的整体性能得到大幅度的改善, 与现有的翼型相比, $C_{y\max}^{N+R}$ 、 $\alpha_{y\max}^{N+R}$ 均有不同程度的提高。

关 键 词: 组合叶栅; 风洞实验; 翼型

中图分类号: TH443

文献标识码: A

Research on the Combined Cascade

YANG Bo, OUYANG Hua, ZHONG Fang-yuan, GU Chuan-gang
(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: In this paper, a new design, named combined cascades, which is applied to blade design of reversible axial fan, is put forward based on the assimilating of the previous experience, the advanced technology and the up-to-date thinking. A new criterion for judging the blade performance in reversible axial fan is presented. NACA0012 airfoil is singled out as the experimental airfoil of the combined cascades. In the two-dimensional wind tunnel experiment, the comprehensive performance of the combined cascades is understood through analyzing pressure contours of both the blades and substantive data got from inlet and outlet of cascade at the different overlap ratios, pitch ratios and attack angles. Based on analyzing and comparing results gotten from experiment, it is found that the aerodynamic characteristic of combined cascades is superior to any other cascades. Compared with S type airfoil, which is specifically designed for reversible axial fan, maximum lift coefficient $C_{y\max}^{N+R}$ of the symmetrical combined cascades is improved by about 20% and the stall attack angle $\alpha_{y\max}^{N+R}$ about 23.5%. And with NACA0012 single cascade, lift coefficient increases by 8.46% and the stall attack angle 17.5%. The unique flow rules of the combined cascades are understood through analyzing data. The flow in the combined cascades must meet the flow prerequisite i. e. the static pressure must be equivalent along the pitch-wise at the outlet of the fan. The overlap ratio B is the one of the most important parameters by which the relative position of two rows of cascade could be determined. As B is chosen within 30% ~ 50%, two rows could be operated respectively at their own stall attack angles and the cascade performance could be improved obviously. The pitch ratio T is another important parameter and could effect cascade performance directly. The smaller T is more suitable to the cascade performance and the optimum range should lie in between 40% and 50%.

Key words: combined cascade; wind tunnel experiment; airfoils

1 前言

一般来讲,用于可逆式轴流风机设计的翼型可分为双向对称翼型、对称翼型、非对称翼型等3类。其中双向对称翼型,又可称正反双向对称翼型,是正反两个方向的流动性能相同的翼型。目前可采用的双向对称翼型有平板型(图1a)、椭圆型(图1b)和S型(图1c)3种。

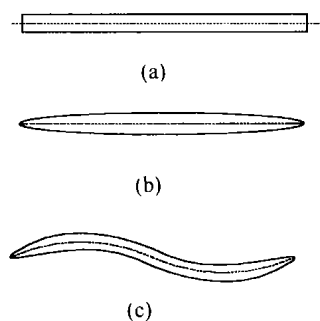


图1 可逆式轴流风机翼型

Fig. 1 The airfoils for reversible axial fan

从可逆风机叶片分析以及风机设计原理、叶片进出口速度三角形中可以清楚地认识到:要使得风机叶轮正反风性能完全相同,风机叶片必须采用双向对称叶片。文献[1]采用便于制造的无扭曲平板动叶片,反转时的反风率达到90%以上,但是最大静压效率却只有50%左右。另一种用于可逆风机的双对称翼型,就是目前国内外研究较多的S型翼型^[2~4]。此种翼型的特点是翼型的中弧线呈S型,从而保证了风机正反向运行时都能满足进口速度三角形,较好的兼顾了正反向性能,但在翼型的后半段不论正反向都不符合气流流动规律,造成风机整体性能指标的下降。

2 组合叶栅的参数定义以及评判准则

2.1 组合叶栅

鉴于以上可逆风机的研究现状,我们提出了组合叶栅的设想。组合叶栅的基本构想是这样的:如图2所示,将结构参数相同或不同的两排叶片,沿周向一个隔一个地、均分地、一前一后地、一正一反地以同样的安装角布置在同一个叶轮上,从而构成所谓的组合叶栅。由于在叶型正常工作范围内的气流转折主要在前半部分的弦长上,其出口落后角又近似保持不变,该组合叶栅的前列叶片不仅将承受大攻角下很大份额的负荷(升力),

而且还将承受绝大部分负荷的变化。而该组合叶栅后列叶片的攻角随着负荷的改变,变化很小(由于气流流经前排而转折),因此后列叶片承受几乎

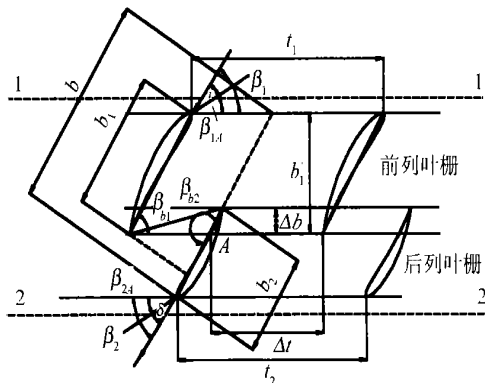


图2 组合叶栅

Fig. 2 The scheme of combined cascade

不变的较小的负荷。当可逆风机反转时,前后列叶片位置正好倒置,这样一来,组合叶栅的方案就可能保证叶栅正反向均能在最大(最佳)攻角下工作,从而可望超过单列叶栅的气动性能。

2.2 组合叶栅的几何及气动参数

组合叶栅因为由两排叶栅组成,所以还有表示前、后排叶栅相对位置的几何参数,如图2所示。由于篇幅所限,本文只对重合度 B 以及栅距比 T 作出定义说明。

(1) 重合度 B

重合度:
$$B = \frac{\Delta b}{b_1} \quad (1)$$

这里 b_1 为前排叶片的弦长在轴向的投影, Δb 为后排叶片前缘线伸入前排叶片出气边的轴向长度。值得注意的是:当前、后叶片采用不同的弦长时 ($b_1 \neq b_2$), 组合叶栅的正反向流动的重叠度 B 将为不同值。

(2) 栅距比 T

栅距比:
$$T = \frac{\Delta t}{t_1} \quad (2)$$

Δt 为前排叶片背弧面后缘点与左侧 A 点之间的距离。 A 点为后排叶片的叶弦与前排叶片出气边的交点。 t_1 为组合叶栅栅距。

2.3 可逆风机叶片性能的评价准则

与其它风机的设计不同,对于可逆风机的设计来说,除了要追求较高的效率以外,更主要的是使风机正反转时均能够获得较大的推力,与此同时又具有较宽的变工况范围。因此,根据可逆风机

的特点, 本文以 $C_{y\max}^{N+R}$, $\alpha_{y\max}^{N+R}$ 值的大小来评判可逆风机叶片性能的优劣。

本文的所作工作, 只是对组合叶片有了一个初步的认识和了解, 因此可逆风机叶片性能的评判, 一定会随着我们对组合叶片了解的深入, 不断地完善、科学。

3 组合叶栅实验

本文的实验是在上海交通大学动力机械与工程教育部重点实验室完成的。实验采用 NACA0012 翼型。其中 NACA0012 弦长为 80 mm。

NACA 0012 前后排的安装角均为 45° , 前排叶片数为 5, 后排叶片数为 4, 栅距 $t=50\text{ mm}$, 叶高 150 mm。其中, 在前后排叶片中各有一个叶片为测量叶片, 叶片表面开有 25 个直径为 $\Phi=0.3\text{ mm}$ 的表面静压测量孔, 测量孔通过橡皮管与精密微压计相连。

出口最大流量为 $13,000\text{ m}^3/\text{h}$ 。从风机出来的空气, 流经管道, 进入稳压段, 再经过收敛段, 以均匀的流速进入叶栅。

组合叶栅进出口截面, 均安装有三孔探针及温度计, 用以测量叶栅进出口的参数。

在实验之前, 采用 DANTEC Streamline System 测量叶栅进口紊流度及叶栅三维特性。通过测量, 进口紊流度最大为 0.74, 并且在叶高 $\pm 25\text{ mm}$ 之内, 可以保证气流的二维特性。

4 实验结果及分析

4.1 NACA0012 组合叶栅实验

实验分别是在 $T=40\%, 50\%, 60\%$; $B=100\%, 50\%, 30\%, 0\%$ 等几个工况条件下测量的, 实验发现, 当 $B=30\%, T=40\%, C_{y\max}=1.09$, $\alpha_{y\max}=14.7^\circ$ 。与单列 NACA 0012 叶栅数据比较, $C_{y\max}^{N+R}$ 提高了 8.46%, $\alpha_{y\max}^{N+R}$ 提高了 17.5%。由图 3 观察到: 虽然组合叶栅与单列叶栅比较, $C_{y\max}$ 稍有减小, 但是, 其 C_{y1}^R 却有大幅度提高, 并且 $\alpha_{y\max}^N$, $\alpha_{y\max}^R$ 都有不同程度的升高。另外, 与 S 型翼型比较, $C_{y\max}^{N+R}$ 提高了 20%, $\alpha_{y\max}^{N+R}$ 提高了 23.5%。正如事先预料的那样, 在整个组合叶栅的气动性能中, 前列叶栅的气动性能决定着整个组合叶栅性能的优劣。由图 4 中发现: 在最佳工况点处 ($B=30\%, T=40\%, \alpha=14.7^\circ$), 前列叶片的 C_{y1} 为 0.881, 后列叶片的 C_{y2} 仅为 0.209。而当 $B=100\%, T=50\%, \alpha=12.7^\circ$ 时, C_{y1} 只有 0.626, C_{y2} 为 0.194。不难发现, 在

这两种工况下, C_{y2} 的减小对整个组合叶栅性能的影响比起 C_{y1} 来说, 要小得多。所以, 前列叶栅应该是组合叶栅优化的关键。

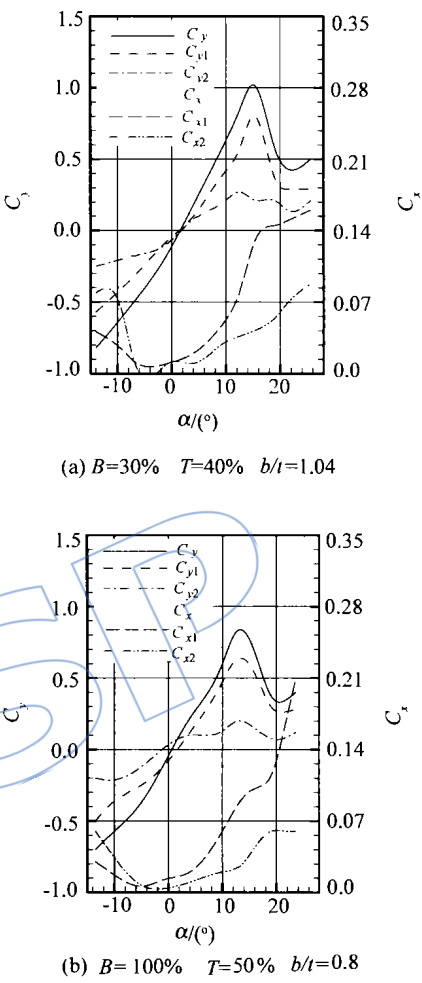


图3 NACA0012组合叶栅升、阻力系数
($Re=3.25\times 10^5$)
Fig.3 The lift and drag coefficient of
NACA0012 combined cascade
($Re=3.25\times 10^5$)

图4中, 在工况点 ($B=100\%, T=50\%, \alpha=12.7^\circ$) 处, 前列叶片的后段, 背弧面与腹面的压力线几乎重合, 不会对整个叶栅的升力水平作出贡献。甚至, 在工况点 ($B=0\%, T=50\%, \alpha=13.6^\circ$) 处, 前列叶片的后端, 表面的压力分布出现负压, 大大影响了整个组合叶栅的升力水平。同时, 由实验数据中还发现: 如果 B, T 选定后 (分别选取在 $30\%\leq B\leq 50\%, 40\%\leq T\leq 60\%$ 范围内), 攻角的改变对后列叶栅的 C_{x2}, C_{y2} 的影响不大。也就是说在这个范围内, 组合叶栅性能的变化几乎完全依

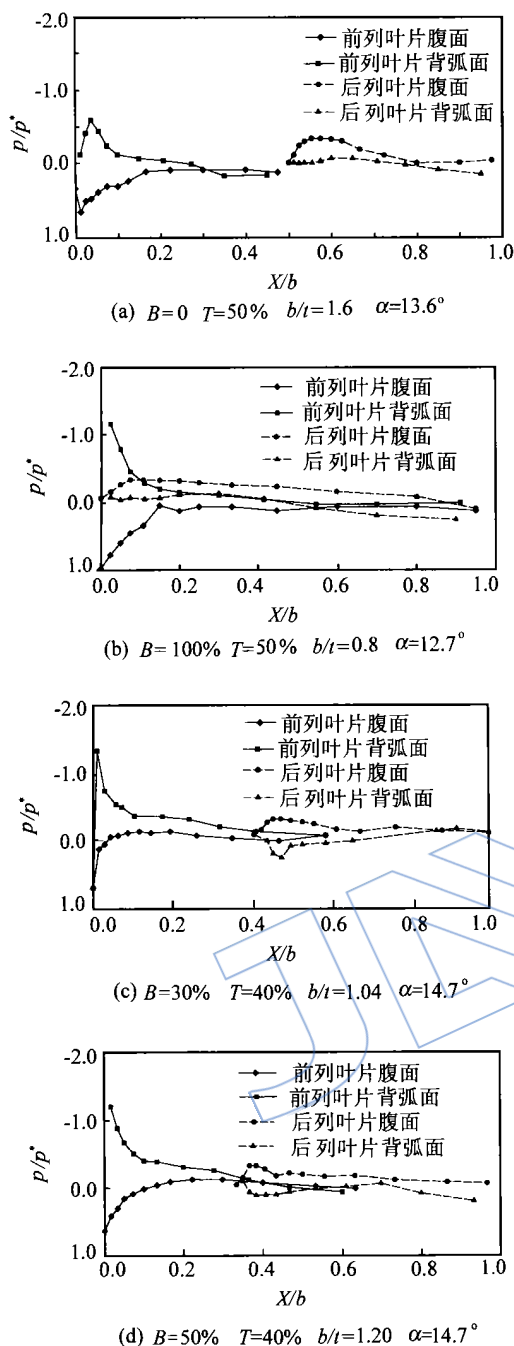


图4 NACA0012组合叶栅叶片表面压力分布
($Re = 3.25 \times 10^5$)

Fig. 4 The pressure contour of NACA0012 combined cascade

赖于前列叶栅性能随不同攻角的改变。

4.2 实验结果分析

4.2.1 组合叶栅内部流动初探

组合叶栅内部的气体流动,有自己独特的规律。要实现组合叶栅的正常工作,内部气流流动必

须满足联合工作条件,即:气流在叶栅出口截面上,沿平行额线方向,静压处处相等。由于联合工作条件以及叶片之间的干涉作用,使得组合叶栅在不同的流动区域呈现出不同的流动特征。

实际上,将后列叶片插入前列叶片的流场中,相当于在流场中引入了一系列的点涡,这些点涡对前列叶片环量产生诱导作用,使环量的大小发生变化,从而影响整个组合叶栅的升力水平。同理,前列叶片对后列叶片环量也有诱导作用,但由于在整个组合叶栅的负荷中,后列叶栅仅负担较小的一部分,所以前列叶栅诱导作用不是十分明显。

以上的阐述是在实验数据的基础上,对组合叶栅流动一个大致的认识和了解。实际上有关叶栅参数对流动和性能的影响,往往是好几个参数的综合对流动和性能影响,很难将某一参数的影响孤立起来。但是,为了方便分析,以下将对几个组合叶栅重要的参数分别讨论。

4.2.2 重合度

本文分别对重合度(正向) $B = 0\%, 30\%, 50\%, 100\%$ 作了实验研究。当 $B \approx 30\% \sim 50\%$ 时,组合叶栅的气动性能明显得到改善。由图3、4发现,前列叶片背弧面的分离点明显后置,相邻叶片之间的诱导作用,沿弦长将有所变化。总的来讲,与 $B = 100\%$ 比较,此时相邻叶片之间的诱导作用将有所减小,后列叶栅的存在,并没有大幅度地破坏前列叶片背弧面的流动。同时我们又注意到,由于前列叶栅的环量诱导作用,气流产生转折,从而加大了后列叶片的攻角。这样,使得后列叶片能够与前列叶片一起,各自在最大升力系数附近的攻角下工作,大大提高了组合叶栅的升力水平。因而,以这种方式将前后叶栅进行组合后,能够使前、后列叶片在满足联合工作条件的基础上,尽可能的提高组合叶栅的作功能力,使得组合叶栅整体性能的优势得到充分体现。

通过实验数据的对比分析,可以认为, $B \approx 30\%$ (正向) 时,组合叶栅可以达到最佳的气动性能。

4.2.3 栅距比

通过实验发现,较小栅距比,是一个较佳的方案。采用这种方案,后列叶片前段与前列叶片后段之间的干涉作用增强,后列叶片的入口条件得到改善,后列叶片进口段背弧的加速流动对前列叶片后段的扩压流动的干涉影响,有利于前列叶片

背弧面气流的流动。由图4发现, 此时, 前列叶片背弧面分离区域明显减小, 气流分离点后置, 同时, 后列后列叶片出口的条件也有所改善。

本文对不同的栅距比 $T = 40\%, 50\%, 60\%$ 作了实验研究, 可以得出: 栅距比的最佳范围应在 $40\% \sim 50\%$ 之间。

5 结 论

(1) 组合叶栅是一种全新的设计方法, 国内外目前为止还没有类似的实验和计算研究。通过本文实验数据的分析、对比, 我们发现: 在气动性能方面, 组合叶栅明显优于其它任何翼型组成的单列叶栅, 值得进一步花大力气去研究、探索。

(2) 组合叶栅内流体的流动, 与普通叶栅的流动有所区别, 有自己特有的规律。组合叶栅中, 前列叶片对整个叶栅升力的贡献远远大于后列叶片的贡献; 组合叶栅的流动必须满足联合工作条件, 这是组合叶栅正常工作并获得最佳性能的必要条件。

(3) 重合度 B 是组合叶栅特有的一个几何参数。实验表明: 重合度的选取有一个最佳的范围。当 $B \approx 30\% \sim 50\%$ 时, 组合叶栅的气动性能明显得到改善。

(4) 栅距比 T 的选择也直接影响组合叶栅的工作性能。较小栅距比, 是一个较佳的方案。采用这种方案, 有利于前列叶片背弧面气流的流动。栅距比的最佳范围应在 $40\% \sim 50\%$ 之间。

参考文献:

[1] 宁宣绥. 紧急通风用可逆式通风机的研制[J]. 风机技术, 1990, 3: 27- 33.

[2] 李超俊, 魏百锁. 一种用于可逆轴流风机的新翼型: 双圆弧 S 形翼型的研究[J]. 机械工程学报, 1992, 28(4): 37- 41.

[3] 李超俊, 赵德文, 魏百锁. 直接反转 反风轴流风机的理论与实验研究[J]. 西安交通大学学报, 1991, 25(3): 9- 13.

[4] 魏百锁. 摆线 S 型可反向轴流风机翼型的研究[J]. 流体工程, 1993, 21(1): 9- 12.

(责任编辑 杨再荣)

本刊传热方向文章将在国际学术期刊
《亚洲传热研究》上转载

《亚洲传热研究》(Heat Transfer Asian Research) 是向世界发行的国际学术期刊, 每年12期, 本部在美国, 其文章必须从亚洲各国出版的学术刊物或学术会议论文集上已经发表的论文中挑选。该刊地区编辑彭晓峰教授(也是本刊编委) 认为本刊论文质量较高, 过去也推荐过。在6月6日召开的部分编委会议上, 他提出: 以后他选定文章后, 由本刊编辑部组织作者翻译成英文, 通过他寄往该刊的编辑部。

论文在 Heat Tranqter Asian Research 》上转载后, 算在国际刊物上发表的另一篇论文。这对作者有极大的好处。希望传热方向(包括与传热有关的其他学科, 如: 气动等) 文章的作者, 提高论文质量, 争取在国际上转载。