

§1 概述

目前轴流通风机的设计方法主要有两种，一种利用单独翼形空气动力试验所得到数据进行设计，称为孤立叶形设计方法；另一种利用叶栅理论和叶栅吹风试验成果来进行设计，称为叶栅设计法。

对于轴流通风机，由于叶栅稠密度不大 $\frac{b}{t} < 1$ ，可以把叶片当作一个个互不影响的孤立叶片按孤立叶型法设计，即令 $C'_y = C_y$ 。这种方法广泛用于低压轴流通风机设计。B. Eck, R.A Wallis 的设计资料比较全。

对于高压通风机 $\frac{b}{t} > 1$ ，由于叶栅叶型间相互影响以及叶栅的扩压性质，使得叶栅的空气动力特性与孤立叶型有较大的区别。F.Weinig 提出的“干涉系数 K 法”：

$$K = \frac{C'_y}{C_y} \tag{5-1}$$

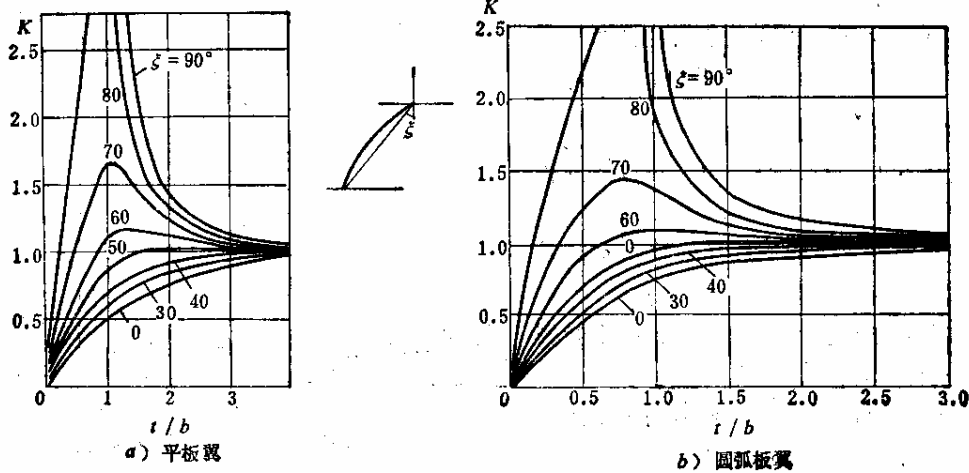


图 5-1

利用图 5-1 查出的干涉系数 K 来修正孤立叶型的试验数据。此法未获得广泛应用，但是当叶型的弯度和厚度不大时，此法还是可以的。在高压通风机中，叶片较多， C_y 与 C'_y 相差较多，所以利用叶栅吹风试验得到的实验曲线进行设计，称为叶栅设计法。一般 $\tau > 1$ 时采用叶栅法， $\tau < 1$ 时采用孤立叶型法，或导叶按叶栅设计，叶轮按孤立叶栅设计。

孤立叶型法设计步骤：

- (1) 一般选 $C_y^* = (0.8 \sim 0.9) C_{y_{max}}$ 为设计的工况点相对应的攻角为 α^* ($\alpha = 8^\circ$ 左右)；
- (2) 风机沿半径取 5~9 个断面，确定速度三角形，各断面的攻角 α 以轮毂到轮缘减少；

$$(3) \text{ 根据 } C_y \frac{b}{t} = \frac{2 \sin^2 \beta_m}{\sin(\beta_m + \varepsilon)} \frac{\Delta w_u}{w_z} \cos \varepsilon$$

$$\text{以及 } \varepsilon = \text{tg}^{-1} \frac{C_x^*}{C_y^*} \text{ (式 } \varepsilon = 3 \sim 5^\circ \text{)} \text{ 计算出 } \frac{b}{t}$$

- (4) 叶栅的安装角 $\beta_\Lambda = \beta_m + \alpha^*$ ，其中， β_Λ 为翼型弦线与周向夹角， β_m 为 W_m 与周向夹

角, α^* 为攻角。

(5) 选择叶片数 Z , 求出 t , 进一步求出 b

(6) 由于 α^* 各断面基本相同, 但是 β_m 不同, 所以 β_Λ 不同。

在叶栅法时, 吹风试验曲线是用“理论升力系数” C_{y0} 绘制的。所谓叶型的理论升力系数是指 $\varepsilon = 0$ 时, 该叶栅具有的速度三角形与 $\varepsilon \pm 0$ 时相同。

$$C_{y0} \frac{b}{t} = 2 \sin \beta_m \frac{\Delta w_u}{w_z} \quad (5-2)$$

$$\sin \beta_m = \frac{w_z}{w_m}$$

$$C_{y0} \frac{b}{t} = 2 \frac{\Delta w_u}{w_m} \quad (5-3)$$

(5-3) 式使用更为方便。

§ 2. 孤立叶型试验数据

一. RAF-6E, 美国发表的叶型。

$\bar{c} = 10.3\%$

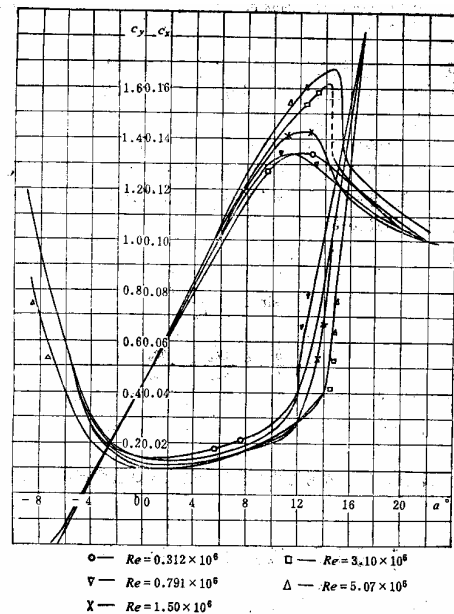
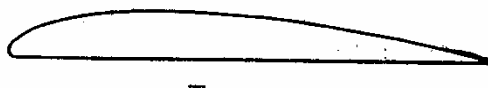


图 5-2 RAF-6E 叶型

二. CLARK Y 叶型

NACA 早期叶型 $\bar{c} = 10\%$

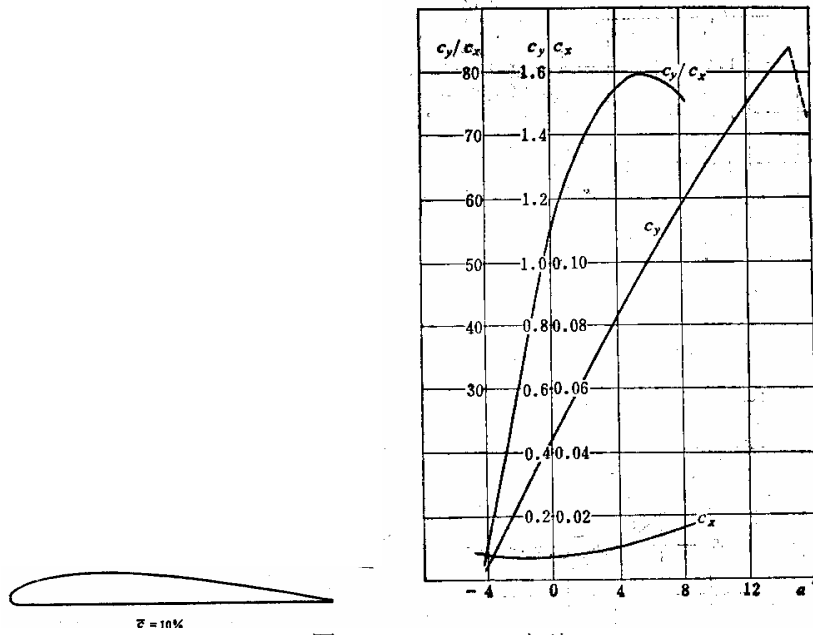


图 5-3 CLARK Y 叶型

三. LS 叶型, 英国 LS 螺旋桨翼型

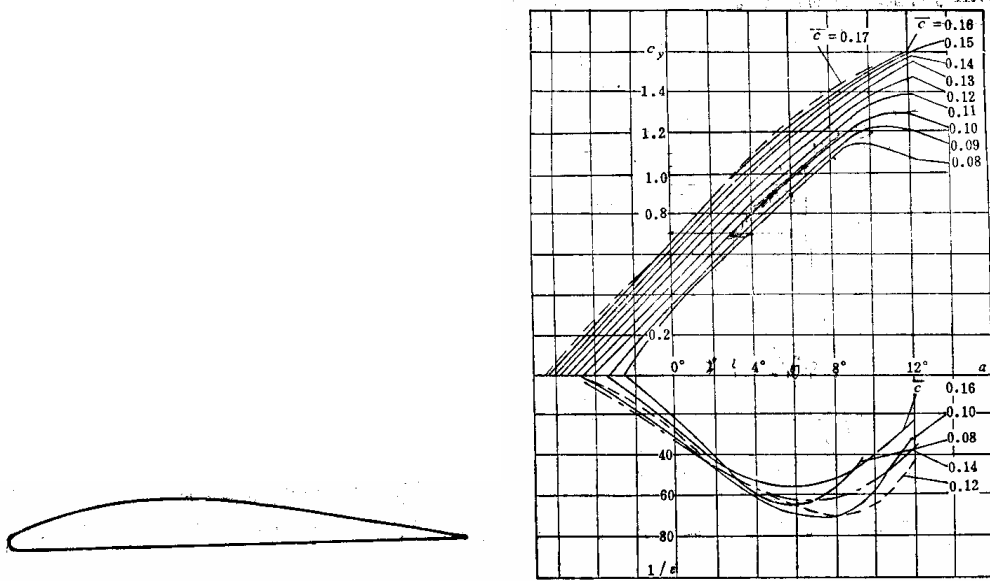


图 5-4 LS 螺旋桨翼型

四. 哥廷根叶栅

德国发展的翼型共有: 622, 623, 624, 625, 682 型号等 (PP291-294)

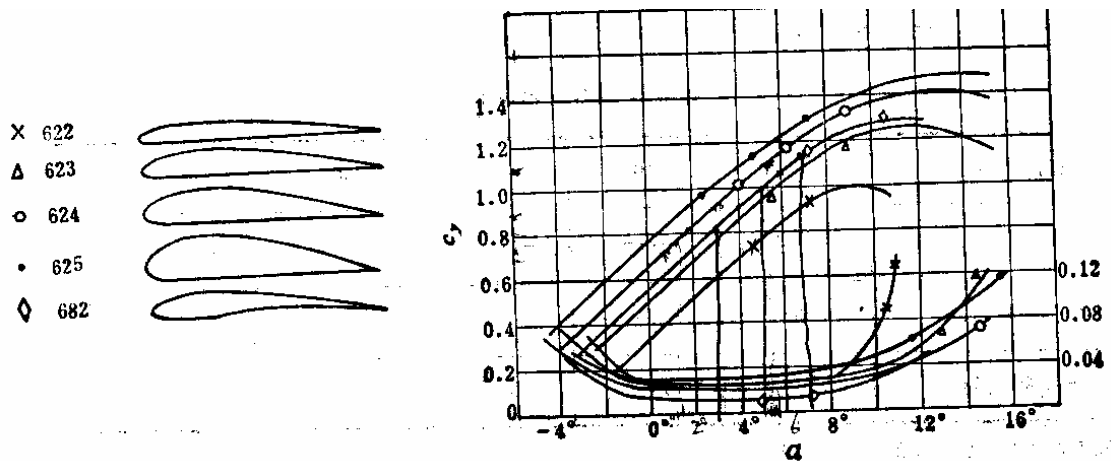


图 5-5 哥廷根翼型

五. 圆弧板叶型

由于翼型试验次料为: $\frac{l}{b} = 1:5$ (l 翼展, b 弦长)

冲角要检验: $\Delta\alpha$ 减少:

$$\Delta\alpha^0 = \frac{C_y}{\pi} \left(\frac{l}{b}\right) \cdot 57.3 = \left(\frac{C_y}{\pi} \frac{57.3}{5}\right) = 3.65C_y$$

$$\Delta C_x = \frac{C_y^2 l}{\pi b} = \frac{C_y^2}{15.7}$$

$$\text{对第四种翼型: } C_y = 4 \frac{f}{b} + 0.092\alpha^0$$

§ 3 主要参数的选取

在进行叶轮设计时, 必须合理选取叶轮的结构参数, 如轮毂比 ν , Z , 外径 D_t

一. 轮毂比 ν

$$\nu = \frac{D_n}{D_t} \quad (D_n \text{ 轮毂直径, } D_t \text{ 为外径})$$

ν 是一个重要参数, 它对风机的压力, 流量效率都有影响。

$$\nu = \frac{\Delta P}{\rho C_z \eta u_t} \frac{2 \sin \beta_m}{\frac{b}{t} C_y} \quad (5-4)$$

这样 ν 与 ΔP 成正比, 与 η 成反比。当风机压力或压力系数较高时, 应取较大的 ν , 但是 ν 过大, 叶片过短, 流速损失大, 风机性能恶化。如图 5-6 所示, 当 u_t 较大时, 可以选 ν 较小一些; 这样 η 大。对于风压高流量小的可取较高的 ν , 风压低流量大的风机取较小 ν 。 ν 太小, 叶片过长, 并在底部产生分离。 $\nu = 0.25 \sim 0.75$ 为常用。例如, 单独叶轮时, $\nu = 0.3 \sim 0.45$, 其他方案 $\nu = 0.5 \sim 0.7$, 也可以低于 0.5。

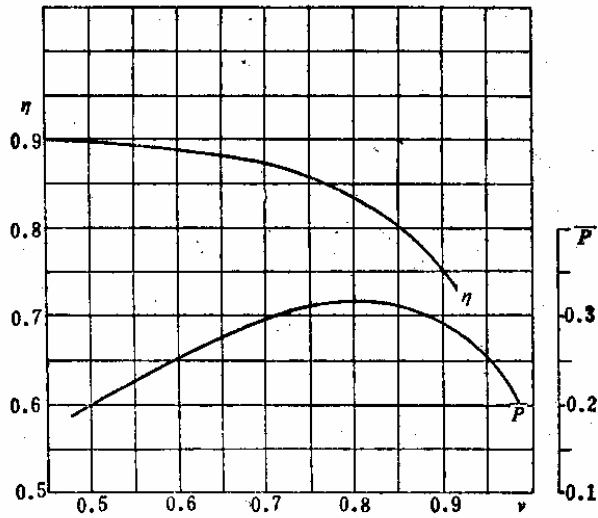


图 6-12
图 5-6

由大量试验， ν 与 n_s 的关系如图 5-7:

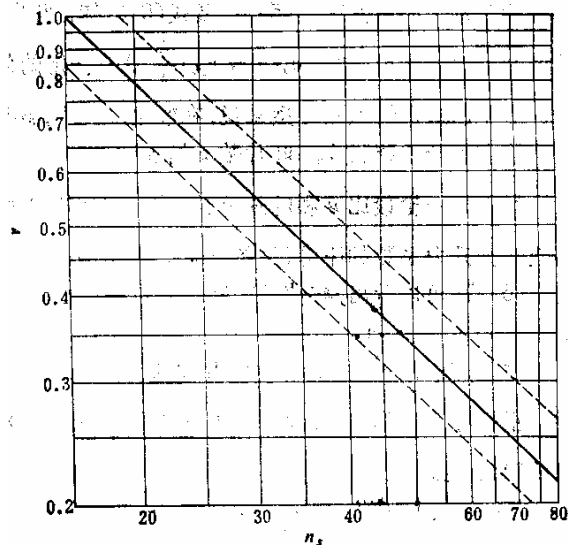


图 5-7

$$\log \nu = \frac{\log 1.0 - \log 0.55}{\log 15 - \log 30} (\log n_s - \log 30) + \log 0.55$$

$$\nu = 10^{-0.8624955 \log n_s + 1.0143734} \quad n_s \leq 35$$

$$\nu = 10^{-0.904504 \log n_s + 1.0637792} \quad 80 > n_s > 35$$

2. 叶轮外径

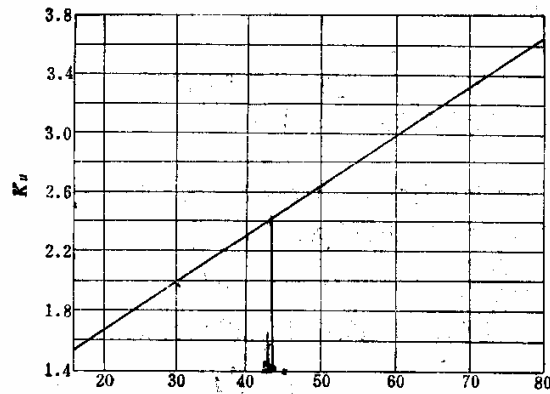


图 5-8

确定叶轮外径 D_t

$$K_u = \frac{u}{\sqrt{2g \frac{\Delta P}{\rho}}} = \frac{u}{\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}} \quad (5-5a)$$

根据图 5-8, 求出 n_s 下的 K_u , 然后可以计算出 D_t

$$D_t = \frac{60K_u \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}}{\pi n} \quad (5-6)$$

$$K_u = \frac{n_s}{30} + 1.0 \quad (5-5b)$$

$\rho = 1.20$ 时

$$D_t = \frac{77.4K_u \sqrt{\Delta P}}{\pi n} \quad (5-7)$$

此外 $u_t \leq 60 \sim 80 \text{ m/s}$

$$u_{t\max} < 130 \text{ m/s}$$

3. 叶片数 Z

ν	0.3	0.4	0.5	0.6	.07
Z	2-6	4-8	6-12	8-16	10-20

§ 4 孤立叶型设计方法之一

首先把给定参数转换成标准进口状态的参数。其设计步骤如下:

1. 根据压力系数或比转速, 进行方案选择:

$\psi < 0.15$ 或 $n_s > 32.5$	单独叶轮级
$\psi = 0.15 \sim 0.25$ 或 $n_s = 20.8 \sim 32.5$	叶轮加后导叶
$\psi > 0.25$ 或 $n_s = 14.5 \sim 0.8$	叶轮加前导叶

2. 选电机及转速 n

$$\text{轴功率: } N = \frac{Q\Delta p}{1000\eta \cdot \eta_m}$$

3. 计算比转速 n_s

$$n_s = n \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{\Delta P^{\frac{3}{4}}}$$

4. 确定外圆直径 D_t 和轮毂比 ν

$$K_u = \frac{n_s}{30} + 1.0$$

$$D_t = \frac{60K_u \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}}{\pi n}$$

按图 3-5 或公式选轮毂比 ν

一般:

$$\nu = 0.25 \sim 0.75$$

单独叶轮时, $\nu = 0.3 \sim 0.45$, 其他方案 $\nu = 0.5 \sim 0.7$, 也可以低于 0.5。总之 n_s 大, ν 小

5. 计算轮缘速度和压力系数:

$$u_t = \frac{n\pi D_t}{60} \quad \text{m/s}$$

$$\psi = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho u_t^2}$$

6. 计算轴向速度

$$C_z = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(D_t^2 - D_h^2)}$$

7. 计算各截面的扭速 ΔC_u

(1) 等环量设计: $\Delta p = \rho u \Delta C_u \eta$

$$\Delta C_u = \frac{\Delta P}{\rho u \eta}$$

式中: η 全压效率, 参照已有的风机选取, 或自行估算:

(2) 变环量设计:

计算几何平均断面的扭速 ΔC_{uM}

$$D_M = \sqrt{\frac{D_t^2 + D_h^2}{2}}$$

$$\Delta C_{uM} = \frac{\Delta P}{\rho u_M \eta} = \frac{\Delta P}{\rho \eta \frac{\pi D_M n}{60}}$$

$$\Delta C_u r^\alpha = \Delta C_{uM} r_M^\alpha$$

确定变环量的指数 $\alpha = 0 \sim 1$

$$\Delta C_u = \frac{\Delta C_{uM} r_M^\alpha}{r^\alpha}$$

8. 计算栅前和栅后的平均速度和气流角 w_m 和 β_m

$$w_m = \sqrt{C_z^2 + \left(u - \frac{\Delta C_u}{2}\right)^2}$$

$$\beta_m = \arcsin \frac{C_z}{w_m}$$

9. 选择叶片数, 根据 ν 选叶片数

10. 选择翼型, 根据翼型的试验气动力特性曲线选取 C_y 和 α

C_y 选用从叶尖到叶根逐步增加, 如相对厚度 \bar{c} 不变, 可取额定工况点的 C_y^* ($C_y^* = 0.8C_{y\max}$) 为叶根的 C_y' 。即叶根处: $C_y' = C_y^* = 0, 8C_{y\max}$, 然后依直线规律到叶尖减少。对各断面依此进行以下计算:

(1) 利用叶栅气动力基本方程计算弦长 b 。例如:

$$b = \frac{4\pi\Delta P}{C_y Z w \rho w_m \eta}$$

(2) 计算叶型安放角:

$$\beta_\Lambda = \beta_m + \alpha$$

(3) 叶栅绘型

例题: 设计轴流通风机叶轮, 给定如下设计参数:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 980 P_a & Q &= 50 m^3 / s & \rho &= 1.2 kg / m^3 \\ \text{单独叶轮级: } & & \eta &= 0.82 & \eta_m &= 0.98 \end{aligned}$$

计算表格和初步结果如下:

$$N = \frac{Q \cdot \Delta P}{1000 \eta \cdot \eta_m} = 61 kW$$

$$n = 1000 rpm$$

$$n_s = 40.5 \quad \nu = 0.4 \quad K_u = 2.4$$

$$D_t = 1.85 m \quad D_h = 0.74 m \quad u_t = 97 m / s$$

$$C_z = 22.2 m / s$$

压力系数 $\bar{p} = 0.166$

$$\Delta C_{Mu} = \frac{P}{\rho u_M \eta} = 12.9 m / s$$

$$\alpha = 0.5 \quad \Delta C_{uM} \left(\frac{D_m}{2}\right)^{0.5} = 12.9 \left(\frac{1:41}{2}\right)^{0.5} = 10.84$$

$$\Delta C_u = \frac{10.84}{r^{0.5}}$$

选取叶型: $\bar{c} = 0.1$

D 选取 0.7 1.13 1.41 1.645 1.85

$$u \text{ m/s} = \omega r^2 = \frac{n\pi D}{60}$$

η 选取 0.82

$$\Delta C_u = \frac{10.84}{r^{0.5}}$$

$$\Delta P = \rho u \Delta C_u \eta$$

C_z

C_z/u

$$\beta_1 = \text{tg}^{-1} C_z/u$$

$$u - C_{2u} (C_{2u} = \Delta C_u)$$

$C_z/(u - C_{2u})$

$$\beta_2 = \text{tg}^{-1} [C_z/(u - C_{2u})]$$

$$u - \frac{1}{2} \Delta C_u$$

$$(u - \frac{1}{2} \Delta C_u)^2$$

C_z^2

$$w_m = \sqrt{C_z^2 + (u - \frac{1}{2} \Delta C_u)^2}$$

C_z/w_m

计算 β , 轮毂—轮缘: 变小

C_y 和 α : 根据选用叶型确定

$$\beta_\Lambda = \beta_m + \alpha$$

Z (选取)

ω

$$b = \frac{\varphi \pi \Delta P}{C_y Z \eta \rho \omega w_m}$$

轮毂—轮缘: b 减少, β_Λ 减少

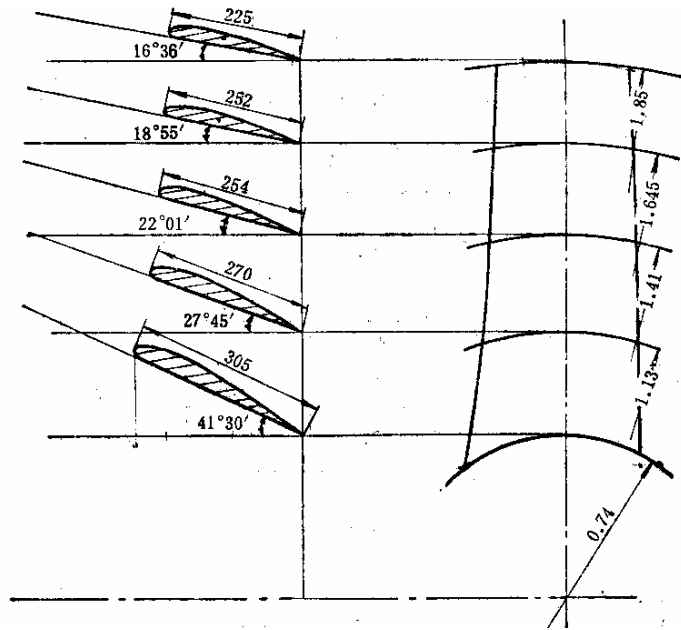


图 5-9

§ 5 孤立叶型设计方法之二

设计参数：流量： Q ，全压： ΔP 和转速： n_{sec} ($\frac{1}{s}$)，设计步骤如下：

$$1. \text{ 流量系数: } \varphi = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_t^2 u_t} = Q \frac{1}{D_t^3 n_{\text{sec}}} \frac{4}{\pi^2}$$

$$\text{比转速: } n_s = n \frac{Q^{1/2}}{\Delta P^{3/4}}$$

$$n_s = \frac{30}{\pi^{1/2}} \frac{\varphi^{1/2}}{\rho^{3/4} 2^{3/4} \psi^{3/4}} = 24.827 \varphi^{1/2} \psi^{3/4}$$

$$2. \text{ 压力系数: } \psi = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho u_t^2} = \frac{2 \Delta P}{\rho D_t^2 n_{\text{sec}}^2 \pi^2}$$

$$3. \text{ 直径系数: } \delta = D_t^4 \sqrt[4]{\frac{\psi}{\rho Q^2}} \sqrt{\frac{\pi}{4}} = \frac{\psi^{1/4}}{\varphi^{1/2}}$$

$$4. \text{ 转速系数: } \sigma = n_{\text{sec}} \sqrt[4]{\frac{Q^2}{\left(\frac{2P}{\rho}\right)^3}} 2\sqrt{\pi} = \frac{1}{28.5} n \frac{Q^{1/2}}{\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)^{3/4}}$$

直径系数，转速系数和压力系数流量系数的关系：

$$\psi = \frac{1}{\sigma^2 \delta^2}$$

$$\varphi = \frac{1}{\sigma \delta^3}$$

若已知优化的 σ_{opt} , δ_{opt} , 即可以求出优化的 ψ_{opt} 、 φ_{opt} , 这样优化的直径和转速为:

$$D_{t\ opt} = \frac{\delta_{opt}}{\sqrt[4]{\frac{2\Delta P}{\rho Q^2}} \sqrt{\frac{\pi}{4}}}$$

$$n_{opt} = \frac{\sigma_{opt}}{\sqrt[4]{\frac{Q^2}{(2P)^3}} 2\sqrt{\pi}}$$

$$D_t = \frac{60}{n\pi} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho\psi}}$$

$$u_t = \frac{n\pi D_t}{60}$$

计算步骤:

1. 求转速系数:

$$\sigma = n_{sec} \sqrt[4]{\frac{Q^2}{(2P)^3}} 2\sqrt{\pi}$$

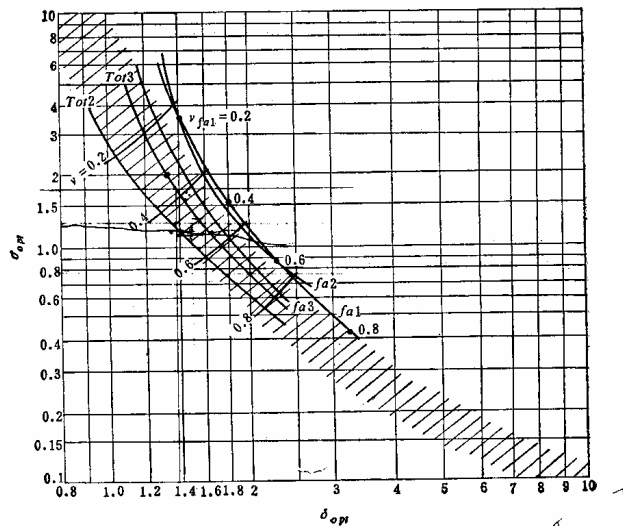


图 5-10

根据图 5-10 求出相应 δ 和 ν

2. 计算 $\varphi = \frac{1}{\sigma \delta^3}$ 和 $\psi = \frac{1}{\sigma^2 \delta^2}$

然后估计效率 η

$$3. D_t = \frac{60}{n\pi} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho\psi}}$$

$$u_t = \frac{n\pi D_t}{60}$$

$$4. C_z = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_t^2 (1-v^2)}$$

5. 选 Z

6. 计算各截面的转速，由断面方程 $\Delta C_{cu} = \frac{\Delta P}{\rho u \eta}$

$$D \quad u \quad C_z \quad \Delta C_u \quad u - \frac{\Delta C_u}{2}$$

$$w_m = \sqrt{C_z^2 + \left(u - \frac{1}{2} \Delta C_u\right)^2}$$

$$\beta_m = \sin^{-1} \frac{C_z}{w_m}$$

$$C_y b = \frac{4\pi P}{\rho Z \omega w_m \eta}$$



§ 6 平板叶栅吹风试验数据

一. 平面叶栅吹风试验 (根据试验求 C_{y0} , C_y , C_x) 如图 5-11

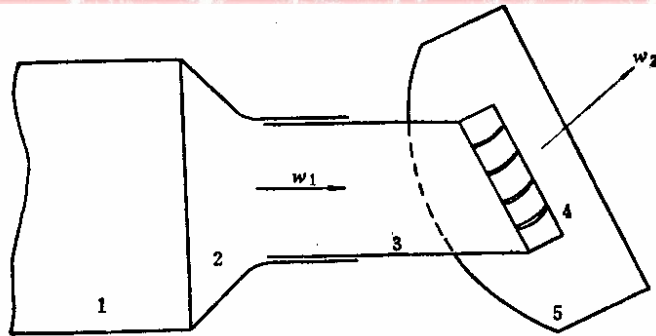


图 5-11

测量叶栅前后气流速度的大小方向，以及压力，计算出理论升力系数和阻力系数。
理论升力系数：

$$C_{y0} \frac{b}{t} = 2 \sin \beta_m \frac{w_{1u} - w_{2u}}{w_z}$$

$$C_{y0} = 2 \sin \beta_m (\text{ctg} \beta_1 - \text{ctg} \beta_2) \frac{t}{b} \quad (5-27)$$

$$C'_x \frac{b}{t} = \frac{2 \sin \beta_m}{\rho w_m^2} (p_1^* - p_2^*) \quad (5-8)$$

$$p_1^* = p_1 + \frac{1}{2} \rho \omega^2$$

$$w_{1z} - w_{2z} = w_z$$

$$w_m = w_1 \frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_m}$$

$$\text{又 } \rho \frac{w_r^2}{2} = p_1^* - p_1$$

$$w_m = \frac{2}{\rho} (p_1^* - p_1) \frac{\sin^2 \beta_1}{\sin^2 \beta_m}$$

p_1^* 、 p_2^* 是叶栅进口的滞止压力（总压）

p_1 进口的净压

$$C'_x = \frac{p_1^* - p_2^*}{p_1^* - p_1} \frac{\sin^2 \beta_m}{\sin^2 \beta_1} \frac{t}{b} \quad (5-9)$$

实际升力系数 C'_y :

$$\begin{aligned} C'_y \frac{b}{t} &= 2 \frac{\sin^2 \beta_m}{\sin(\beta_m + \varepsilon)} \frac{\Delta w_u}{w_z} \\ &= 2 \frac{\sin^2 \beta_m / (\sin \beta_m \cos \varepsilon)}{1 + \operatorname{tg} \varepsilon \operatorname{ctg} \beta_m} \frac{\Delta w_u}{w_z} \end{aligned}$$

$$\text{因为 } \cos \varepsilon \approx 1 \quad \operatorname{tg} \varepsilon = \frac{C'_x}{C'_y}$$

$$C'_y \frac{t}{b} = 2 \frac{\sin \beta_m}{1 + \frac{C'_x}{C'_y} \operatorname{ctg} \beta_m} \frac{\Delta w_u}{w_z}$$

$$C'_y = \frac{C_{y0}}{1 + \frac{C'_x}{C'_y} \operatorname{ctg} \beta_m}$$

$$C'_y = C_{y0} - C'_x \operatorname{ctg} \beta_m$$

$$C'_y = 2 \frac{t}{b} \sin \beta_m (\operatorname{ctg} \beta_1 - \operatorname{ctg} \beta_2) - C'_x \operatorname{ctg} \beta_m \quad (5-10)$$

这样就可以得出不同攻角情况下的 C_{y0} 、 C'_y 、 C'_x 曲线如图 5-12

也可以用气流折转角 $\Delta\beta$ 代替升力系数。

在计算时用 $\Delta\beta^* = 0.8\Delta\beta_{\max}$ 作为设计工况或称额定工况点。

二. 叶栅额定特征线

人们经过一定数量叶栅吹风试验数据的分析研究后。当 $\alpha^* = \pm 5^\circ$ ， $\theta = 0 \sim 40^\circ$ ， $\bar{c} = 5 \sim 12\%$ ， $a/b = 0.4 \sim 0.5$ 条件下，气流折转角 $\Delta\beta^*$ 主要是与 $\frac{b}{t}$ 和 β_2^* 有关。

即：
$$\Delta\beta^* = f\left(\frac{b}{t}, \beta_2^*\right)$$

这样可以将已有的叶栅试验曲线的数据 $\Delta\beta^*$ ， $\frac{b}{t}$ ， β_2^* 画成曲线如图 5-12。

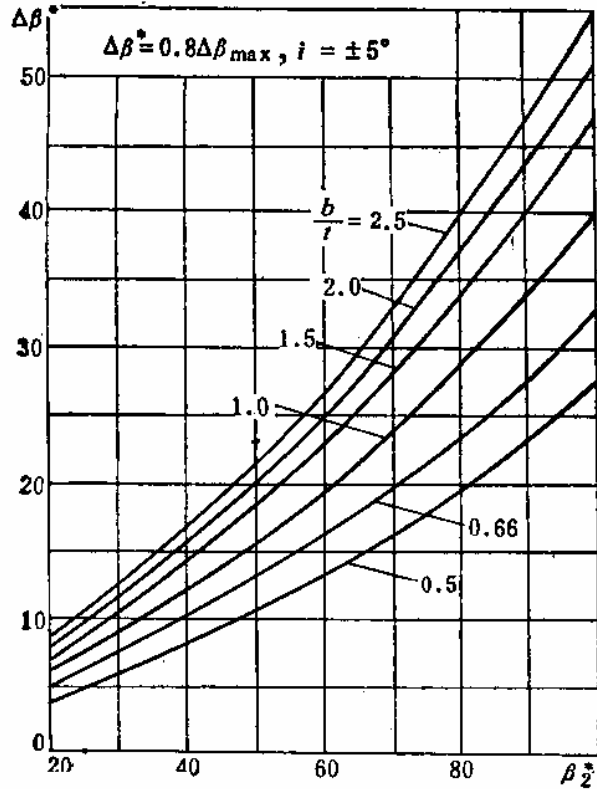


图 5-12

霍威尔提出经验公式计算叶栅的相对栅距 $\frac{b}{t}$ 和额定升力系数：

当 $\beta^* = 50^\circ \sim 90^\circ$ 时：

$$\frac{t}{b} = \frac{1.03}{\text{ctg}\beta_1^* - \text{ctg}\beta_2^*} - \frac{2}{3}$$

$$C_y^* = 2\left(\frac{\sin\beta_1}{\sin\beta_2}\right)^{2.75}$$

及茨威费尔经验公式：

$$\frac{t}{b} = \frac{\sin\beta_A}{2.5\sin^2\beta_2(\text{ctg}\beta_1 - \text{ctg}\beta_2)}$$

三、平面叶栅吹风试验的翼型造型

(一) 原始叶栅

对称叶型用的最多例如：C-4 叶型 ($\bar{c} = 10\%$) 和 NACA65010 叶型 ($\bar{c} = 10\%$)

(二) 翼型造型的几何角

$$(1) \beta_{1\Lambda} = \beta_1^* + \alpha^* \quad (\alpha^* = \pm 2^\circ) \quad (5-11)$$

$$(2) \beta_{2\Lambda} = \beta_2^* + \delta^* \quad (5-11)$$

通风机叶栅气流滞后期角：

$$\delta^* = m\theta \sqrt{\frac{t}{b}} \quad \theta = \beta_{2\Lambda} - \beta_{1\Lambda} \quad (5-13)$$

$$m < 0.23\left(\frac{2a}{b}\right)^2 - 0.002\beta_2 + 0.18 \quad (5-14)$$

收敛型叶栅 (透平叶栅)

$$\delta^* = \left[0.23\left(\frac{2a}{b}\right)^2 - 0.2\right]\theta \frac{t}{b} \quad (5-15)$$

$$(3) \theta = \beta_{2\Lambda} - \beta_{1\Lambda} = \Delta\beta^* - i^* + \delta \quad (5-16)$$

$$\theta = \frac{\Delta\beta^* - i^*}{1 - m\sqrt{\frac{t}{b}}}$$

(三) 叶型中心线绘型

1. 圆弧中心线

由两段圆弧组成： $\theta = x_1 + x_2$ ，这些叶栅都是在设计工作点上工作的。

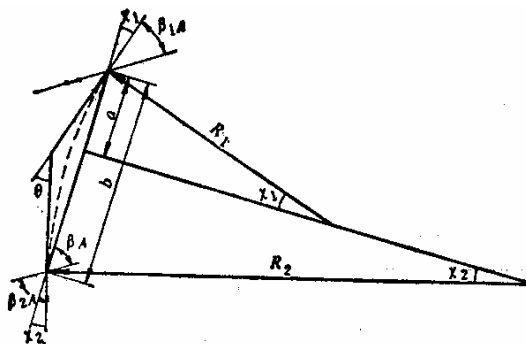


图 5-13

$$R_1 = \frac{a}{\sin x_1} \quad (5-17)$$

$$R_2 = \frac{b-a}{\sin x_2} \quad (5-18)$$

x_1 和 x_2 为叶型前后缘方向角。

一般取 $x_1 = 0.6\theta$ ， $x_2 = 0.4\theta$ ， $\frac{a}{b} \approx 0.45$

如果用一个圆弧

$$\frac{a}{b} \approx 0.5 \quad x_1 = x_2 = 0.5\theta$$

$$R_1 = R_2 = R = \frac{b}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad (5-19)$$

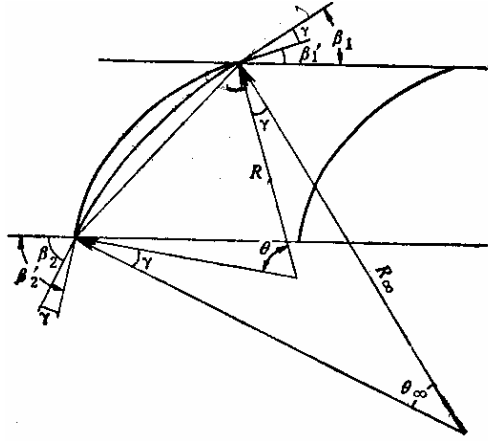


图 5-14

(2) 抛物线中心线

$$x^2 + 2Axy + A^2y^2 + Bx + Cy + D = 0 \quad (5-20)$$

$$x=0 \quad \frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}x_1 \quad y=0$$

$$x=b \quad \frac{dy}{dx} = -\operatorname{tg}x_2 \quad y=0$$

$$A = \frac{\operatorname{ctg}x_2 - \operatorname{ctg}x_1}{2}$$

$$B = -b \quad c = b \cdot \operatorname{ctg}x_1 \quad D = 0$$

$$y = -\frac{x^2 - Bx}{2Ax + c} \quad (\text{略去 } A^2y^2 \text{ 一项})$$

$$\frac{1}{y} = \frac{\operatorname{ctg}x_1}{2} + \frac{\operatorname{ctg}x_2}{b-x} \quad (5-21)$$

$$x_1 = \theta \left(1.5 - \frac{2a}{b}\right)$$

$$x_2 = \theta - x = \theta \left(\frac{2a}{b} - 0.5\right) \quad (5-22)$$

$$\frac{a}{b} = 0.4, \quad x_1 = 0.6\theta, \quad x_2 = 0.4\theta$$

中心线长度

$$\text{双圆弧} \quad l = \frac{ax_1}{\sin x_1} + \frac{(b-a)x_2}{\sin x_2} \quad (5-23)$$

$$\text{单圆弧} \quad l = \frac{bx_1}{\sin x_1} \quad (5-24)$$

$$\text{抛物线} \quad l \approx \frac{b\theta}{2\sin\frac{\theta}{2}} \quad (5-25)$$

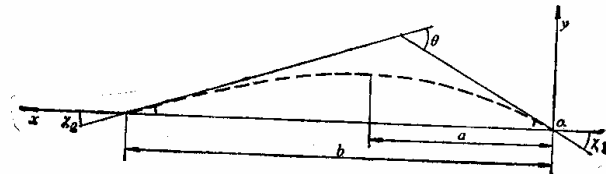


图 5-15

§7 叶栅设计方法之一

1. 选择风机转速 n ，计算比转速：

$$n_s = n \frac{Q^{1/2}}{\Delta P^{3/4}} \quad \text{并选择级的方案}$$

2. 确定 D_t ，并验算 u_t （同叶型设计方法之一）

$$D_t = \frac{60K_u \sqrt{\frac{2P}{\rho}}}{n\pi}$$

$$u_t = \frac{n\pi D_t}{60}$$

$$\varphi = \frac{2P}{\rho u_t^2}$$

3. 选择 ν （同叶型设计方法之一）

4. 计算 C_z

5. 计算 ΔC_u

6. 计算 $\beta_1, \beta_2, \Delta\beta$

7. $\Delta\beta = \Delta\beta^* \quad \beta_2 = \beta_2^* \quad \text{求出 } \frac{b}{t}$ （利用叶栅试验特征曲线）或按公式计算

8. 选择 Z ， $t = \frac{\pi D}{2}$

9. 计算 b

10. 选用 i^* （ $+5^\circ \sim -3^\circ$ ）

11. 计算 θ 计算滞后角

12. 叶栅绘型

§8 叶栅设计方法之二

对于低负荷风机：

计算系数 μ 考虑孤立叶型与叶栅的区别：

$$\mu = \frac{t/b}{\pi/2} \sin \beta_m \ln \frac{R^2 + 1}{R^2 - 1} \quad (5-26)$$

式中: $\mu = \frac{\theta_\infty}{\theta}$

θ_∞ 无限叶片数时, 圆弧叶片之圆心角

$$\theta_\infty = \beta_2 - \beta_1$$

θ 有限叶片数时的圆心角

$$\theta_m = \frac{1}{2}(\beta_1 + \beta_2)$$

R 圆弧叶栅保角变换特性值:

$$2\gamma = \theta - \theta_\infty$$

$$\gamma = \frac{\theta - \theta_\infty}{2} = \frac{\theta_\infty}{2} \left(\frac{1 - \mu}{2} \right) = \frac{\theta}{2} (1 - \mu)$$

其中: $0.5 < \frac{t}{b} < 1.5$

利用图 5-16 得出 μ , 计算出 γ

$$\beta_{1A} = \beta_1 - \gamma \quad \beta_{2A} = \beta_2 + \gamma$$

以上用于圆弧叶栅。当采用机翼型叶栅 β_m , 修正

$$\Delta\beta = \Delta\beta_1 \left(\frac{b}{t} \right)^2$$

由图 5-17 求出 $\Delta\beta_1$

$$\frac{c}{b} = 0.05 \sim 0.12$$

$$\beta_{1A} = \beta_1 - \gamma - \Delta\beta$$

$$\beta_{2A} = \beta_2 + \gamma + \Delta\beta$$

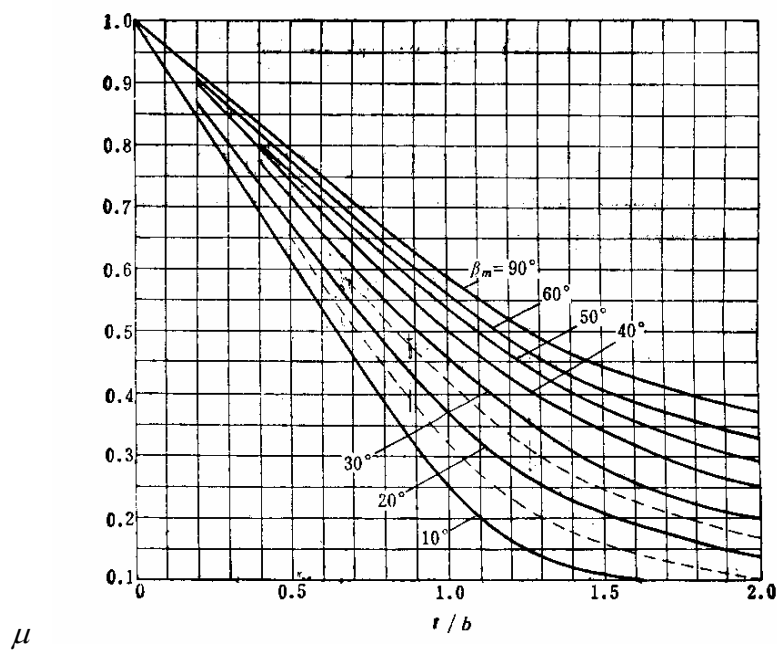


图 5-16

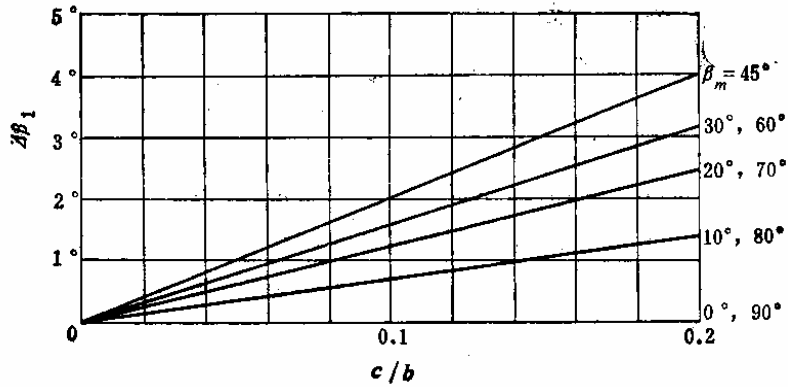


图 5-17

§9 导叶的计算

一. 前导叶

前导叶是进口导流器，可采用机翼型或圆弧板型，产生负预旋，是加速叶栅，压力不断下降。为了提高经济性，常使进口导叶可调方式，或带有调节机构的可转动叶片。

$$\alpha_{0A} = \alpha_0 + i \quad (i = 2^\circ \sim 5^\circ)$$

$$\text{出口角: } \alpha_{1A} = \alpha_1 + \delta \quad (\delta = 2^\circ \sim 4^\circ)$$

为决定 α_1 ，确定 C_{1u}

前导叶的出口环量：

$$\Gamma_{up} = \pi D C_{1u}$$

转轮的环量变化： $\Gamma_R = \pi D (C_{2u} - C_{1u})$

$$\frac{\Gamma_{up}}{\Gamma_R} = \frac{C_{1u}}{C_{2u} - C_{1u}} = n_1$$

$$\Gamma_{up} = n_1 \cdot \Gamma_R = n \frac{2\pi}{\rho \omega} \Delta p$$

$$\Gamma_R = \frac{2\pi}{\rho \omega} \Delta p$$

一般， $n_1 = (-0.5) \sim (-0.6)$

前导叶的数目略少于动叶：

$$\frac{t}{b} = 0.8 \sim 1.5$$

叶片厚度： $b = (0.2 \sim 1)l$

式中： l 为叶片的高度。

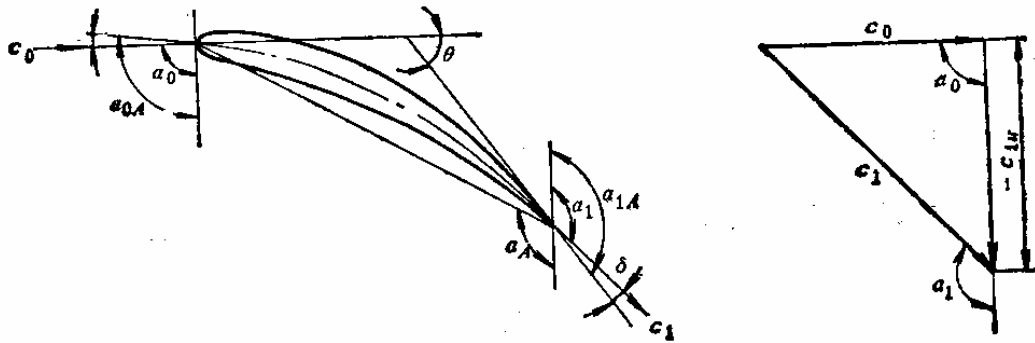


图 5-18 前导叶

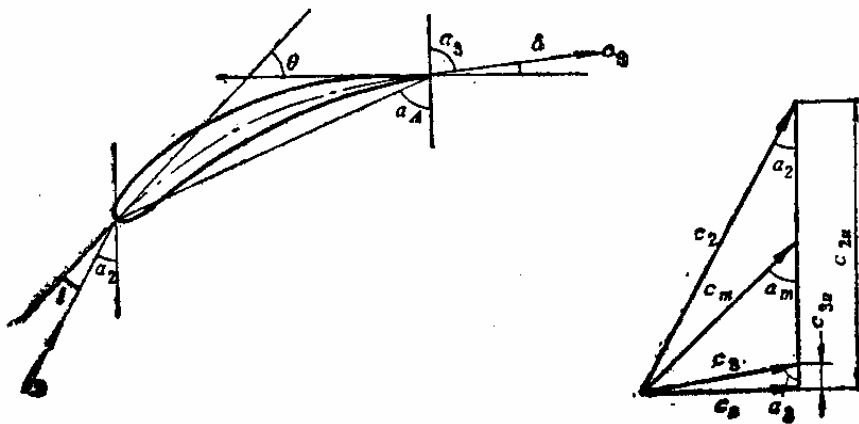


图 5-19 后导叶

二. 后导叶

后导叶即出口导流器，是一种扩压元件，其作用是把流出叶轮的偏转气流旋回轴向，同时将偏转气流的动能（ $\frac{1}{2} \rho C_{2u}^2$ ）转变为静压能。因此，相对于无后导叶的单叶轴流通风机而言，装有后导叶的风机，静压效率显著提高。并使风机最高全压效率工作点和最高静压效率工作点彼此接近。对于管网阻力大的场合的风机，一般使用后导叶。

后导叶可以采用机翼型，或等厚圆弧板叶型，试验表明，后者也有良好的空气动力性能。后导叶的设计计算也可以用孤立翼型法或叶栅法。

（一）孤立翼型法

采用公式：

$$C_y \frac{b}{t} = \frac{2\Delta C_u}{C_m}$$

$$C_y b = \frac{2\pi d \Delta C_u}{Z C_m} \quad (5-27)$$

式中， d 为导叶直径， Z 为导叶叶片数。

后导叶叶片数一般为也叶轮的1.5~2倍，为了防止振动，两个叶片数互为质数。导叶的安装角为：

$$\alpha_A = \alpha_m + \alpha \quad (5-28)$$

(二) 叶栅法：其步骤如下：

1. 求出导叶进出口气流角： α_2^* 和 α_3^*

$$\alpha_2 = \alpha_2^* = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_z}{C_{2u}} \quad (5-29)$$

$$\alpha_3 = \alpha_3^* = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_z}{C_{3u}} \quad (5-30)$$

$$C_{3u} = (0 \sim 0.25)C_{2u} \quad (5-31)$$

一般 C_{3u} 若为零，效率更高一些。

2. α_2 , α_3 , 求出气流折转角 $\Delta\alpha$

$$\Delta\alpha = \alpha_3 - \alpha_2 = \Delta\alpha^*$$

然后由 $\Delta\alpha^*$ 求出最佳稠密度 b/t

3. 选择叶片数 Z , 求出 t

4. 确定 b

5. 计算弯折角 θ

$$\theta = \frac{\Delta\alpha^* - i^*}{1 - m\sqrt{\frac{t}{b}}} \quad m = 0.23\left(\frac{2a}{b}\right)^2 - 0.002\beta_2 + 0.18$$

6. $i^* = 0 \sim 3^\circ$ $\alpha_{2A} = \alpha_2 + i^*$

7. $\delta^* = m\theta\sqrt{\frac{t}{b}}$ $\alpha_{3A} = \alpha_3 + \delta^*$

例如利用 **Winning** 法的计算步骤为下列顺序计算：

(1) 绘出直径 d ($v = 0.5 \quad 0.75 \quad 1.0$)

(2) $\Delta C_u (\approx C_{2u})$

(3) C_z

(4) α_2 进口

(5) $\alpha_3 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_z}{C_{3u}}$ ($C_{3u} = 0.2C_{2u}$)

(6) $\frac{\theta_\infty}{2} = \frac{\alpha_3 - \alpha_2}{2}$

(7) $\alpha_m = \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2}$

(8) $\frac{t}{b}$ 取, $v_i \frac{t}{b} = \frac{1.03}{\operatorname{ctg}\alpha_2 - \operatorname{ctg}\alpha_3} - \frac{\alpha}{3}$

(9) 查图得出系数 μ

(10) $\gamma = \frac{\theta_\infty}{2} \left(\frac{1 - \mu}{\mu} \right)$

(11) $\alpha_2' = \alpha_2 - \gamma$

(12) $\alpha_3' = \alpha_3 + \gamma$

(13) 选用叶片数 Z

$$(14) t = \frac{\pi d}{Z}$$

(15) 由叶栅稠密度计算出 b

(16) 叶栅相对厚度: c/b

(17) 根据翼型形式计算 $\Delta\beta_1$,

$$(18) \Delta\beta = \Delta\beta_1 \left(\frac{b}{t}\right)^2$$

$$(19) \alpha_2'' = \alpha_2' + \Delta\beta$$

$$(20) \alpha_3'' = \alpha_3' + \Delta\beta$$

§ 10 径向间隙和轴向间隙

一. 径向间隙

$\frac{\delta}{l} \leq 0.01$ 时: 间隙可能已被端面的附面层堵塞。

$\frac{\delta}{l} = 0.02$ 时: 效率下降 2 ~ 3% , 压头减少 4 ~ 6%

间隙控制在 $\frac{\delta}{l} \leq 0.008 - 0.01$

效率变化可估算: $\Delta\eta = 2.8\left(\frac{\delta}{l} - 0.01\right)$

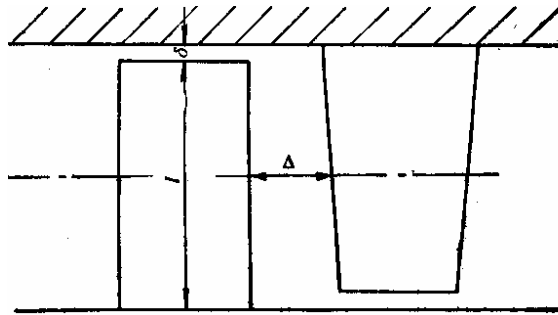


图 5-20 径向间隙

二. 轴向间隙

Δ 保持一定的厚度, 主要是为了消除叶栅间的影响, 保证叶栅后, 对下一叶栅有均匀进气条件,

$$\Delta \geq (0.25 \sim 0.4)b$$

§ 11 集流器, 整流器, 扩散筒

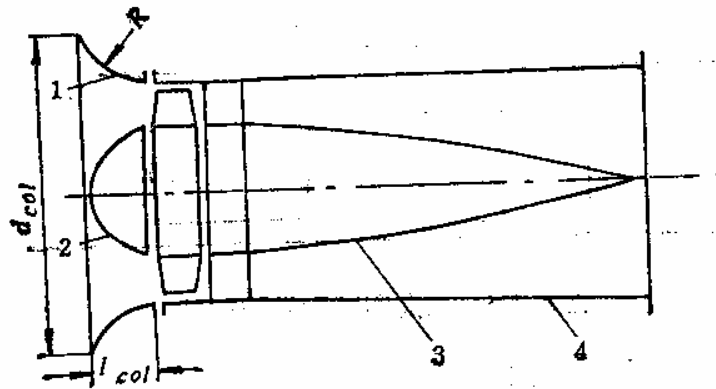


图 5-21

(1: 集流器 2: 整流器 3: 整流体 4: 扩散筒)

一. 整流器

整流器的作用是使气流加速，在压力损失小的情况下，保证进气速度均匀。加整流器风机效率提高10~15%。尺寸：

$$R \geq 0.25D_t$$

整流器的外径： $d_{cal} = (1.2 \sim 1.4)D_t$

整流器的长度： $l_{cal} = (0.2 \sim 0.4)D_t$

二. 扩散筒

1. 型式

2. 效率

令： p_3 ， C_3 ， A_3 为进口的压力，速度和面积， p_4 ， C_4 ， A_4 为出口的压力，速度和面积， Δp_d 为损失。扩散筒效率为：

$$\eta_d = \frac{p_4 - p_3}{\frac{\rho}{2}(C_3^2 - C_4^2)}$$

$$\eta_d = 1 - \frac{\Delta p_d}{\frac{\rho}{2}(C_3^2 - C_4^2)} = 1 - \frac{\Delta p_d}{\frac{\rho}{2}C_3^2[1 - (\frac{A_3}{A_4})^2]}$$

一般 $\eta_d = 0.8 \sim 0.85$

3. 扩散筒的长度： $L = (1.5 \sim 2.2)D$

4. 扩散筒的扩散角： $\text{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{d_4 - d_3}{2l}$ $\theta \leq 8^\circ \sim 12^\circ$