



## M5.2.2 压气机

## 修订批准页:

1

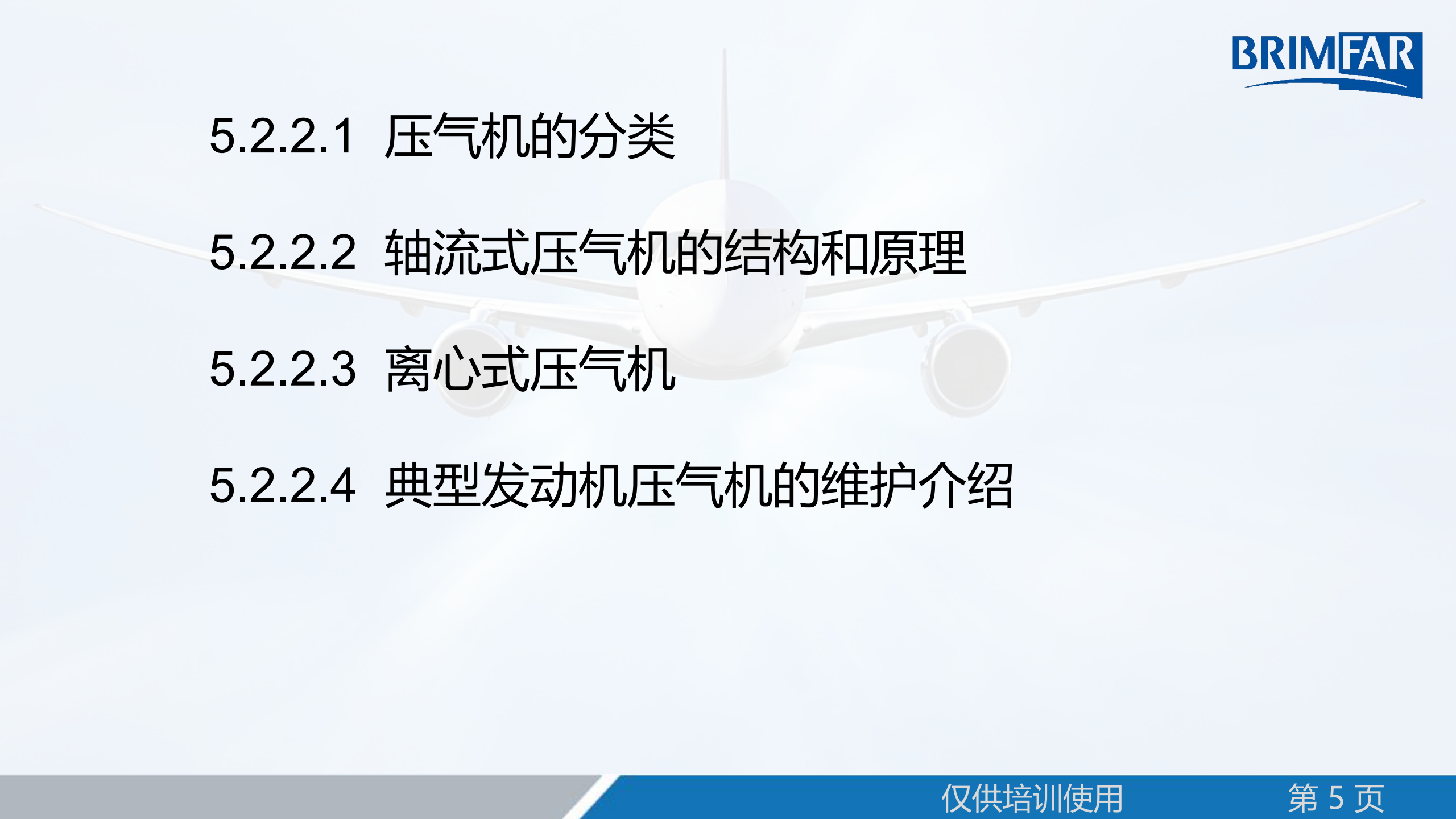
版次	修订时间	编写/改版	修订说明	审核/时间	审批/时间
R0	2020.06.14	谈海军	新编课件	谈海军 2020.08.06	张玉 2020.08.11

## 目的与要求:

<b>目的</b>	通过本次课程的学习，掌握压气机分类，轴流式压气机结构和原理，离心式压气机以及检查和维护方法
<b>要求</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 掌握轴流式、离心式和混合式</li><li>2. 作用、组成，转子和静子结构；风扇叶片和压气机叶片的特点，叶片的安装，</li><li>3. 离心式压气机组成、结构、增压原理和特点，</li><li>4. 压气机的检查和维护方法</li></ol>

# 课程安排:

序号	内容	等级	课时
1	压气机分类		1H
2	轴流式压气机结构和原理		5H
3	离心式压气机		1H
4	典型发动机压气机维护介绍		1H

A faint, light-colored image of a commercial airplane is visible in the background, centered horizontally and slightly above the middle vertically. The airplane is shown from a front-on perspective, slightly angled to the left.

5.2.2.1 压气机的分类

5.2.2.2 轴流式压气机的结构和原理

5.2.2.3 离心式压气机

5.2.2.4 典型发动机压气机的维护介绍

A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and tail.

## 5.2.2.1 压气机的分类

# 1. 压气机的分类

## a 作用

重要组成部分，接受涡轮功对空气压缩，提高空气压力

作用

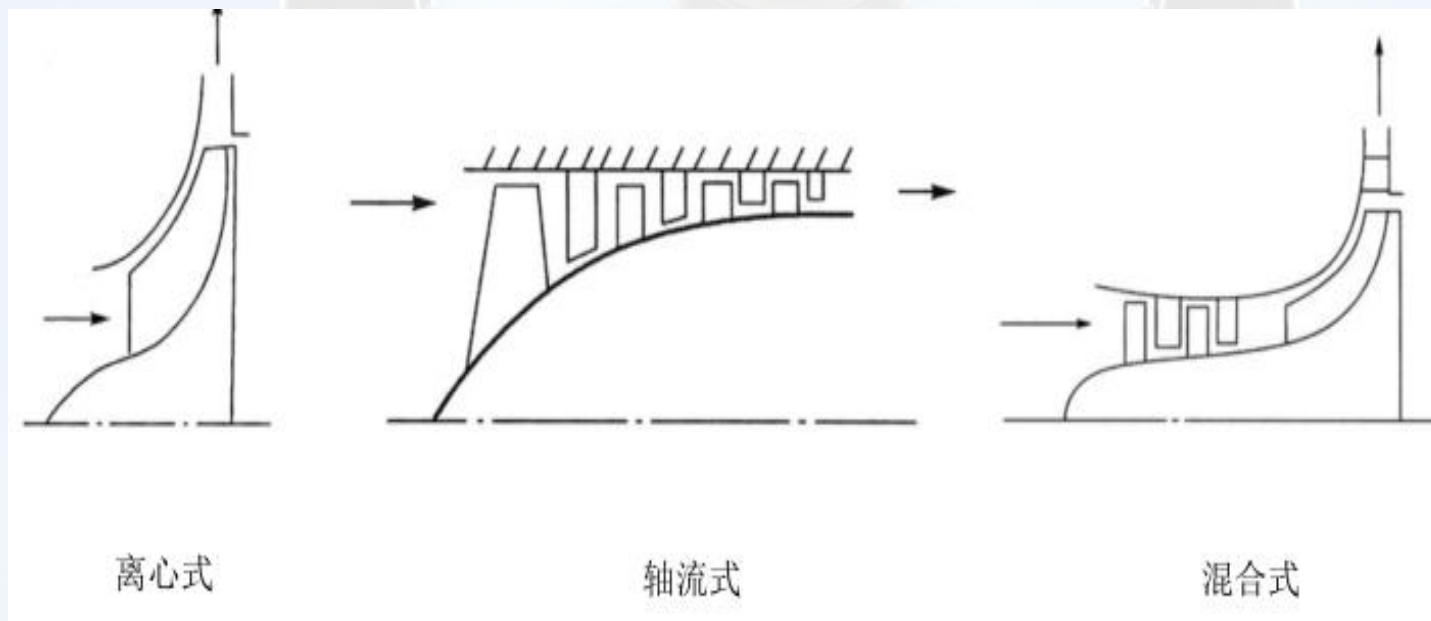
- ◆ 提高压力，创造膨胀条件，提高热效率，改善经济性，增加推力
- ◆ 引气，满足飞机用户座舱增压、座舱空调、驱动有关装置
- ◆ 调节部件和附件的温度

提高空气压力的方法，用高速旋转的叶轮，连续不断地对空气做功

## b 分类

压气机转子流  
动和增压方式

- a. 离心式压气机 气流沿离开叶轮中心方向流动
- b. 轴流式压气机 气流沿与叶轮轴平行方向流动
- c. 轴流式和离心式组合



A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and tail.

## 5.2.2.2 轴流式压气机的结构和原理

A faint, light-colored silhouette of a commercial jet airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and engines.

# 1 轴流式压气机的结构

# 1 轴流式压气机的结构

## a 介绍

- 组成 {
- a. 旋转部件, 转子; 做功, 压缩, 提高压力
  - b. 固定部件, 静子 扩压, 继续提高压力



## b 转子组成

转子由多级工作叶轮组成，支承在前后轴承上，涡轮带动旋转，对气流做功

单工作叶轮

- ◆ 叶片
- ◆ 轮盘
- ◆ 轴

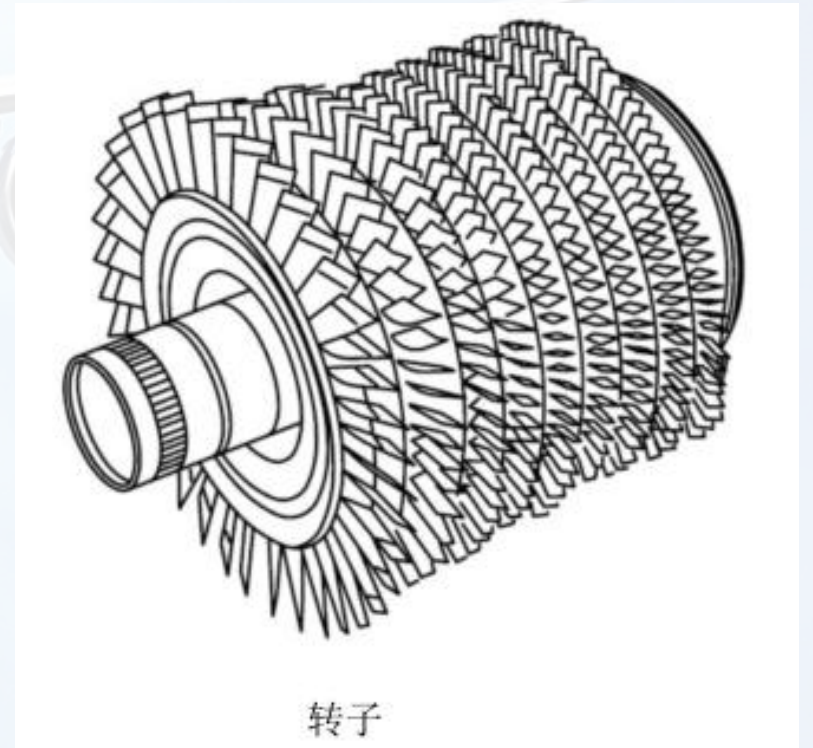
双转子发动机

- ◆ 低压转子
- ◆ 高压转子

没有机械上固定联系，各自转动

压气机转子支承

- ◆ 一般是筒支
- ◆ 悬臂支承
- ◆ 部分轮盘外伸



c 静子

静止组合件的总称

- ◆ 整流器
- ◆ 机匣

整流器又称整流环

- ◆ 一排整流叶片
- ◆ 内外环组成的圆环



固定在机匣上

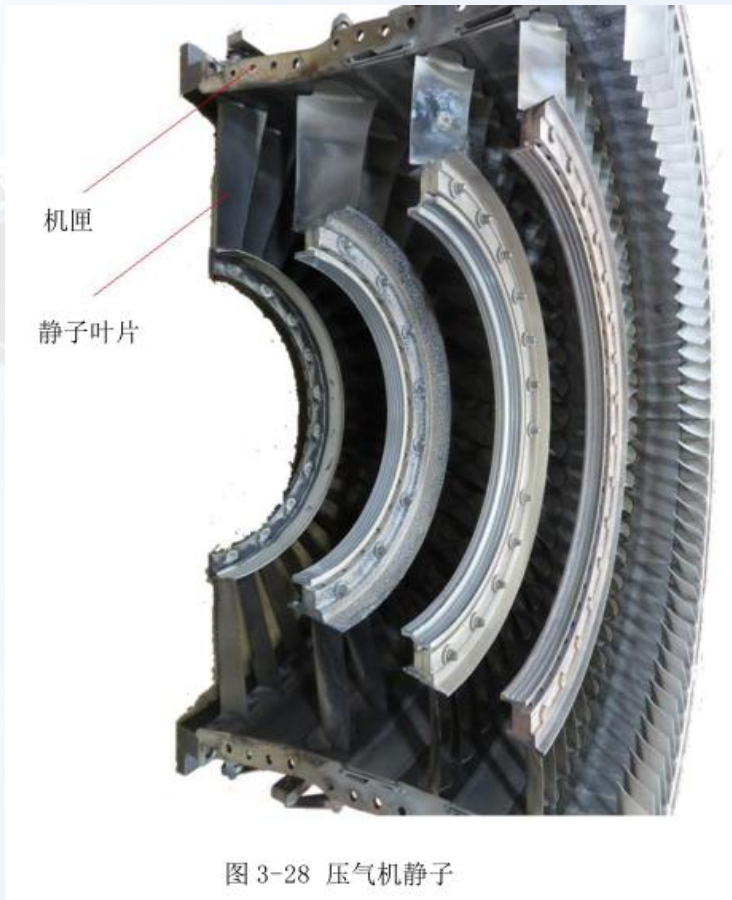


图 3-28 压气机静子

## d 机匣

双转子发动机压气机机匣组成

① 进气装置

② 整流器机匣

③ 扩压器机匣

单转子发动机压气机机匣组成

④ 中间机匣 高低压之间，将气流由低压顺利地引入高压

⑤ 分流机匣 风扇与压气机，将内外涵道的气流分开

## 1.1 轴流式压气机的转子

### a. 转子的基本形式

- a. 鼓式
- b. 盘式
- c. 鼓盘式

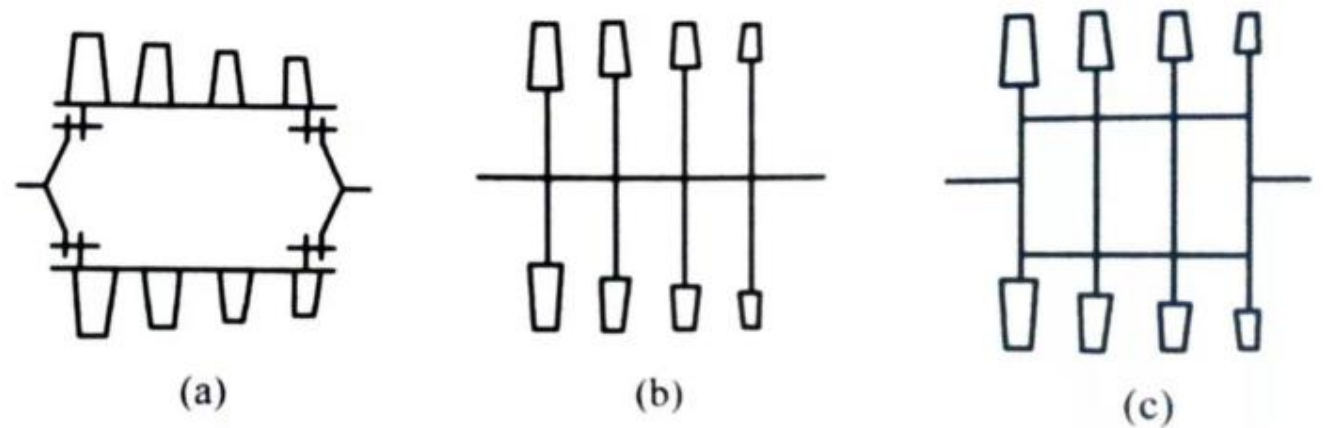


图 3-3 压气机转子的基本形式

(a) 鼓式；(b) 盘式；(c) 鼓盘式

- 气流通道分
- a. 等外径
  - b. 等内径
  - c. 等中径

## a) 鼓式 CFM56发动机低压压气机的转子

## 结构

圆柱形或圆锥形鼓筒，借安装边和螺栓与前、后半轴连接。  
外表面有环槽或纵槽，安装叶片。  
主要负荷鼓筒承受和传递。

主要载荷离心力，弯矩和扭矩

## 特点

结构简单，  
加工方便，  
高抗弯刚性，  
承受离心载荷差，圆周速度低使用。

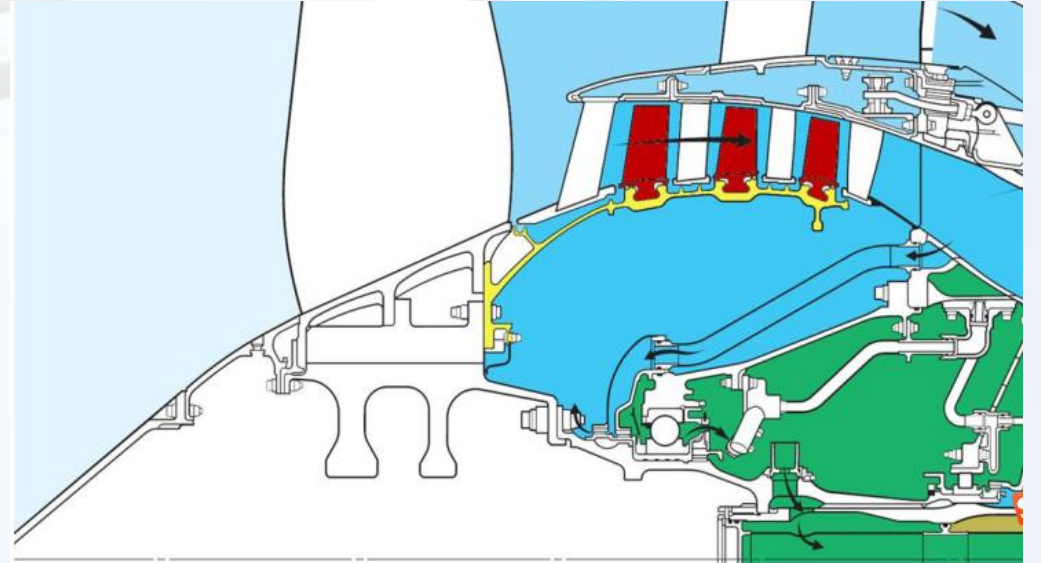


图 3-4 CFM56 发动机低压压气机的转子

## b) 盘式

结构

一根轴和若干个轮盘组成，用轴连成一体。

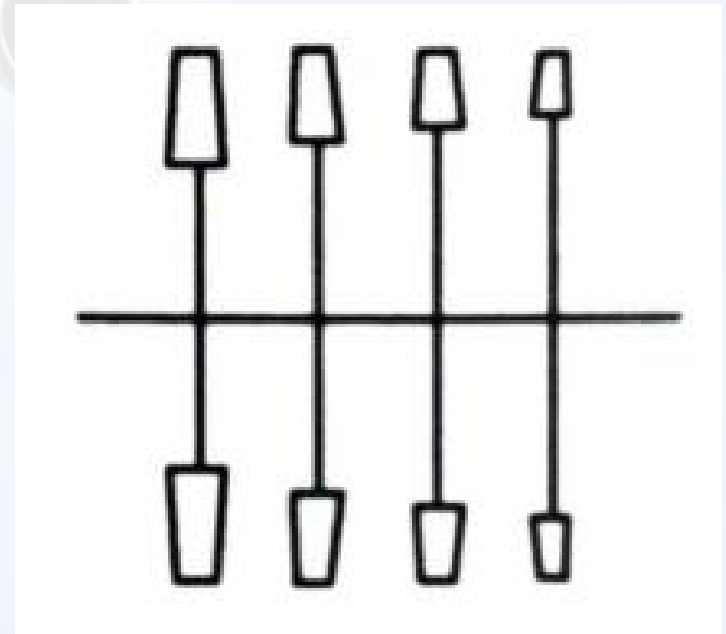
盘缘不同形式的榫槽安装叶片。

盘心成不同形式，即在共同的轴上定心和传扭

特点

盘式转子的优点是承受离心载荷

能力强。但是抗弯刚性差



c) 鼓盘式 CFM56 发动机高压压气机的转子

结构

- 1. 转子由若干个轮盘，鼓筒和前、后半轴组成。
- 2. 盘级榫槽装转子叶片

3. 级间连接

- 1. 焊接 → 整体式转子
- 2. 径向销钉
- 3. 轴向螺栓
- 4. 拉杆

鼓盘式转子

特点

- 1. 离心力轮盘和鼓筒共同承受
- 2. 扭矩经鼓筒传给轮盘和转子叶片，
- 3. 转子的横向刚性由鼓筒和连接件保证
- 4. 鼓盘式有鼓式抗弯性和盘式强度高

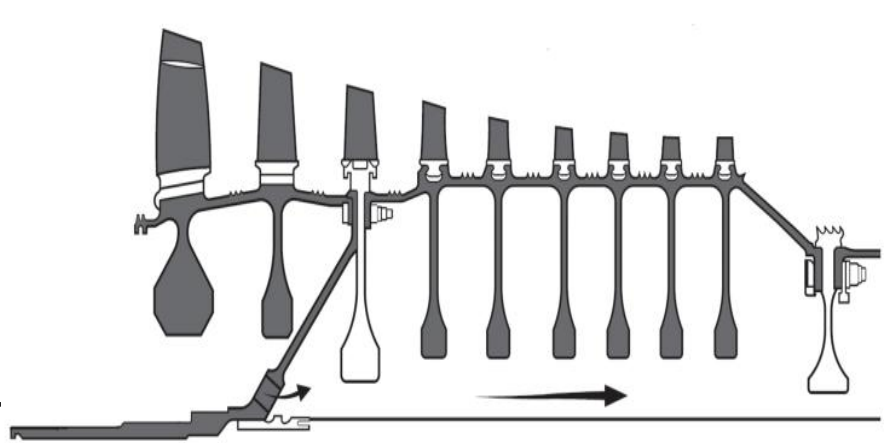


图 3-5 CFM56 发动机高压压气机的转子

#### d) 总结

由于转子是一个高速旋转的承力件，若转子零组件的定心不妥，转子装配不当，平衡不好，横向刚性不足，当压气机高转速工作时，转子就会剧烈振动而影响发动机正常工作

发动机上常采用以下几种形式的转子

用径向销钉联接的鼓盘式转子

用若干根拉杆或螺栓联接的鼓盘式转子

焊接的整体式转子

b 转子叶片

a) 风扇叶片

风扇叶片组成

- 叶身
- 榫头

现代宽弦叶片，无凸台，减重用蜂窝结构的钛合金叶片。

老式减振凸台或加强筋，避共振，伤叶片

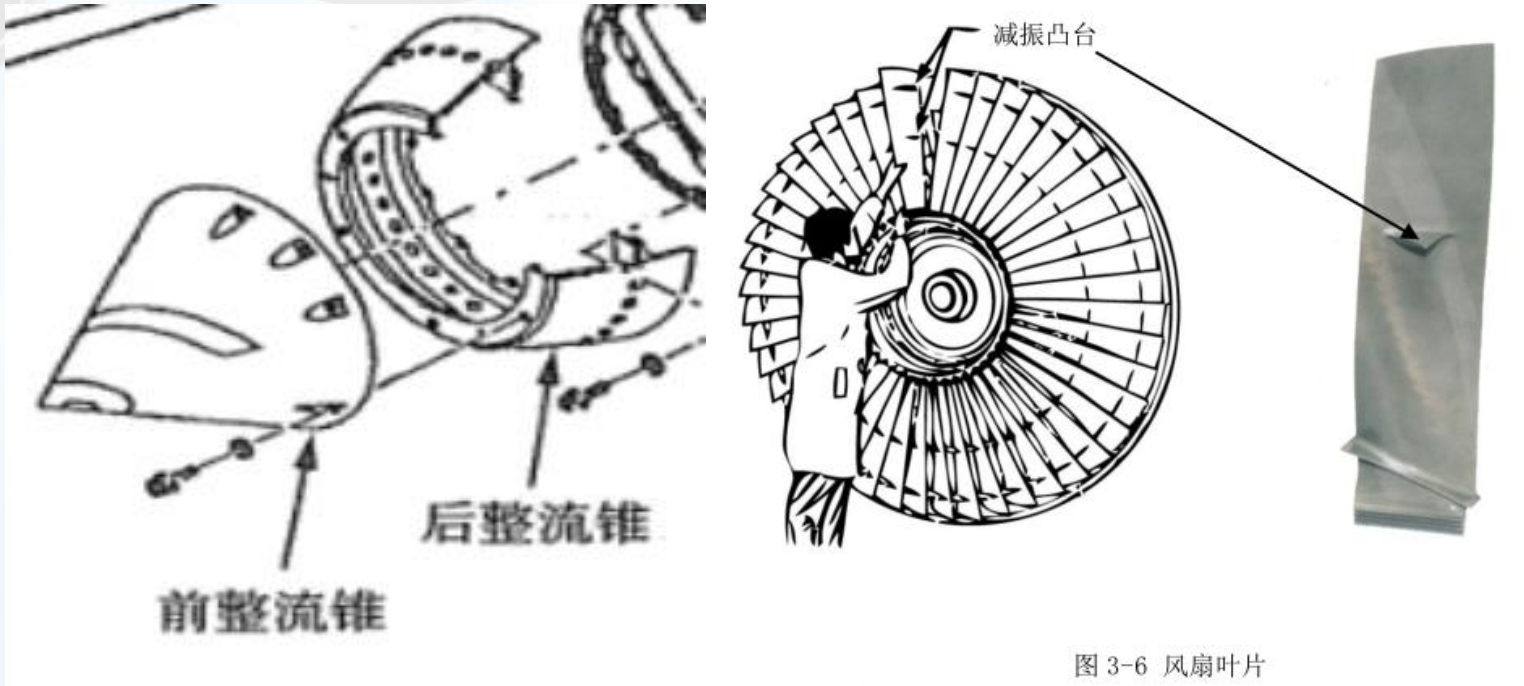


图 3-6 风扇叶片

## b) 榫头型式和特点

榫头

- ◆ 销钉式
- ◆ 燕尾形
- ◆ 枞树形

燕尾形榫头特点

- ◆ 尺寸小
- ◆ 重量轻
- ◆ 承受大负荷
- ◆ 拉削加工生产率高，加工方便

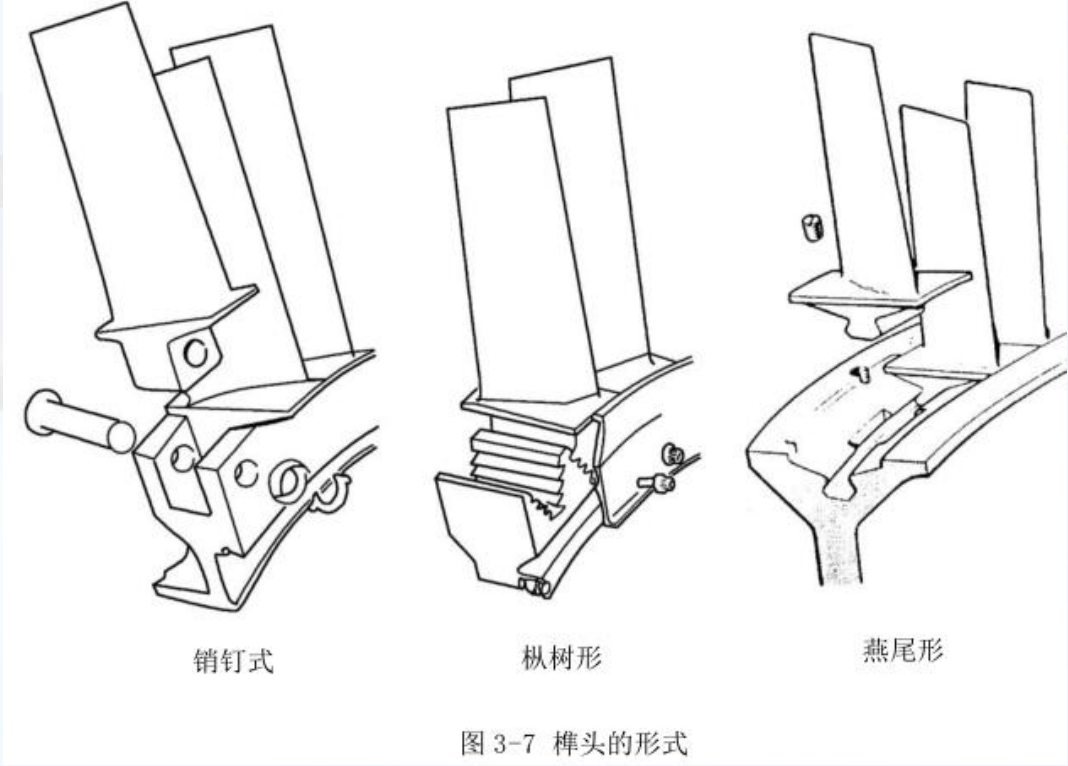


图 3-7 榫头的形式

叶片榫头必须**槽向固定**，防止叶片在气体力和离心力的槽向分力作用下槽内移动，保证**压气机可靠工作**，保持整个转子的平衡

## 1.2 轴流式压气机的静子

### a. 压气机机匣

#### a) 压气机机匣特点

形状圆柱形或圆锥形的薄壁圆筒（气流通道开头而定）

作用

- ◆ 静子的重量和惯性力
- ◆ 内外压差
- ◆ 整流器上的扭矩和轴向力
- ◆ 相邻组合件弯矩、扭矩、轴向力



基本要求

- ◆ 重量轻
- ◆ 强度和刚性好
- ◆ 精确的转子叶片尖部间隙

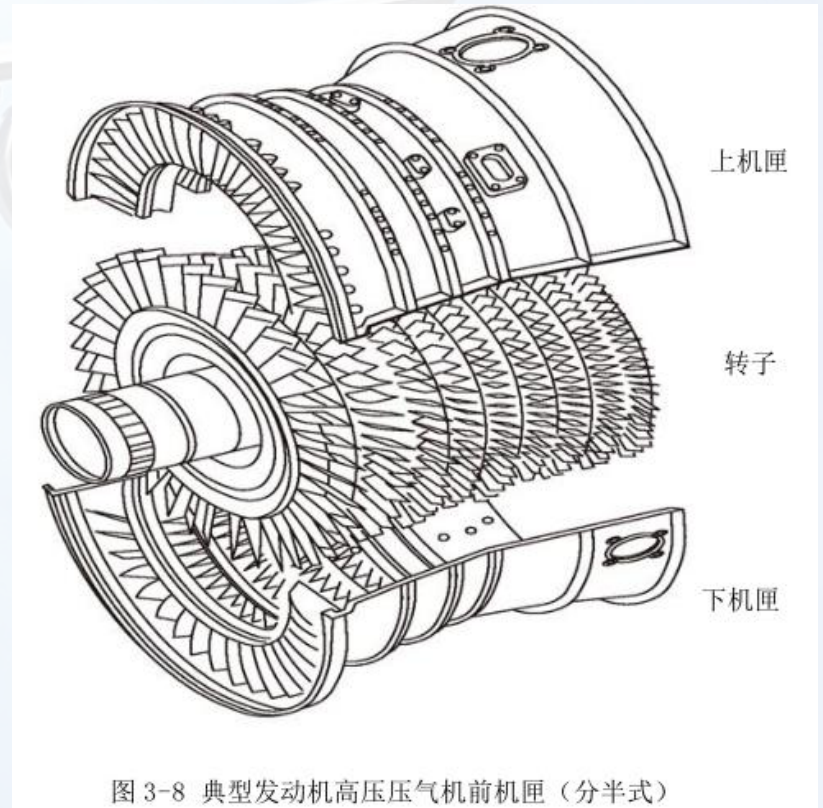

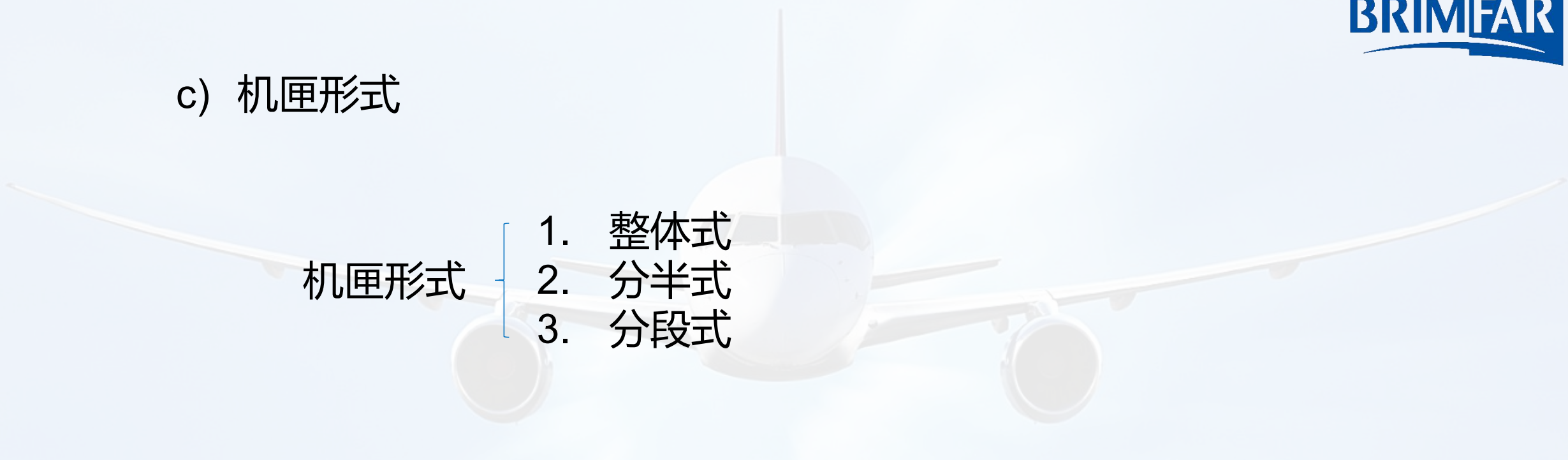


图 3-8 典型发动机高压压气机前机匣（分半式）

## b) 压气机机匣材料

- 
- 材料 {
1. 铝合金
  2. 合金钢，或用镍基合金
  3. 钛合金的刚性密度高更好。
- 前部用  
后部用

## c) 机匣形式

- 
- 机匣形式
1. 整体式
  2. 分半式
  3. 分段式

## d) 压气机机匣

高压机匣

前机匣

做成两半

1. 螺栓在中心线连接
2. 支持前面级的静子叶片
3. 支持结构载荷，弯曲和扭转
4. 后压气机机匣不因载荷变形

后机匣

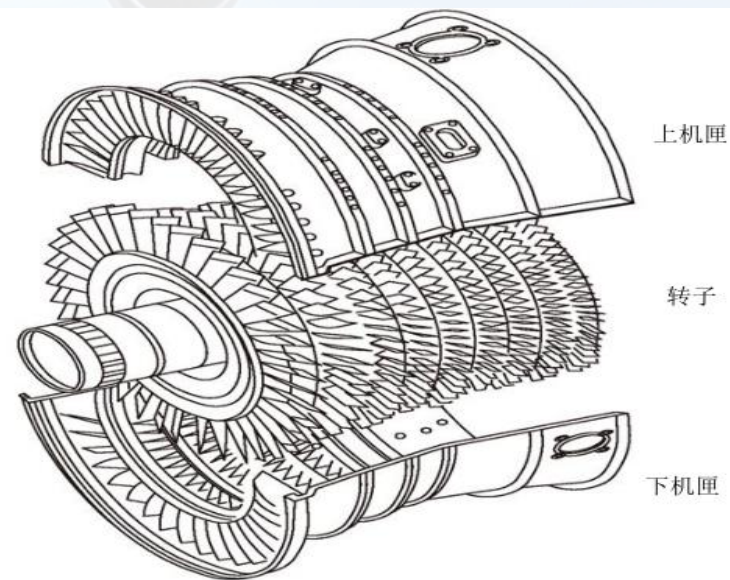
两半的  
轴向分段

图 3-8 典型发动机高压压气机前机匣（分半式）

## e) 压气机机匣引气

压气机静子机匣上有开口供应引气空气

- a. 引气空气取自不同的级满足使用要求
- b. 引气空气通过空心的静子叶片或通过静子叶片外平台的孔
- c. 引气孔围绕整个压气机机匣布局
- d. 引气总管收集从引气孔来的空气，供给各个需要用气的地方

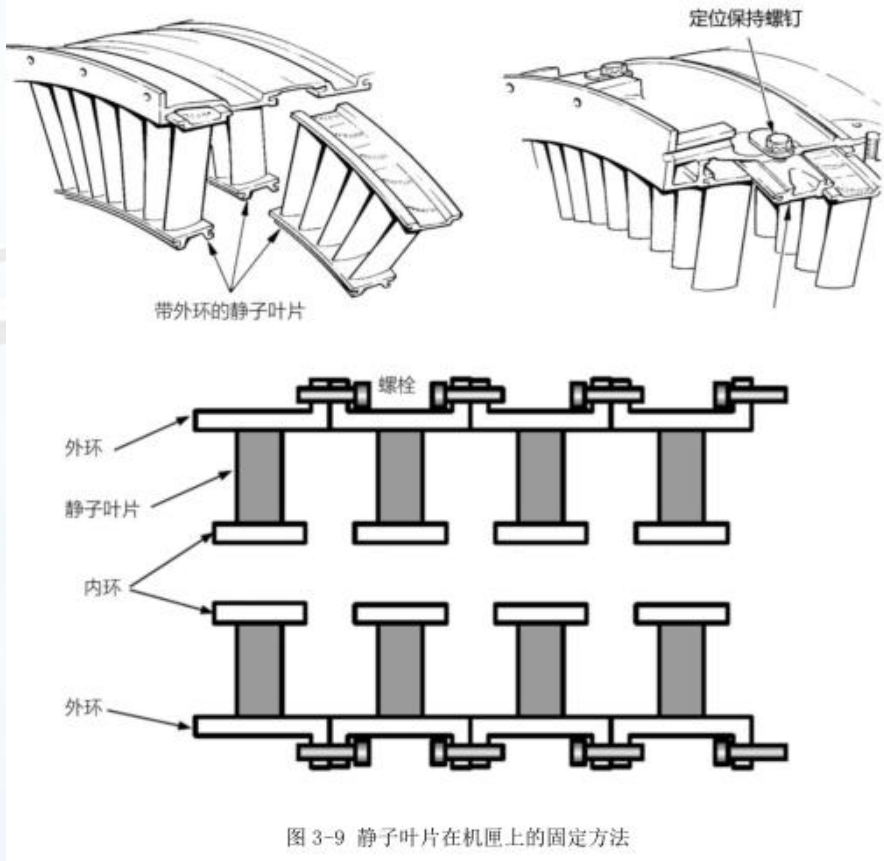
b. 静子叶片

a) 材料

材料

- ◆ 钢
- ◆ 镍基合金制造
- ◆ 钛合金于低压区的静子叶片

静子叶片安装在机匣内，位于两级转子之间，所以静子叶片的安装方案与转子和机匣的方案有着密切的联系



# b) 静子安装方式

固定方式

铸造的分半机匣，机匣壁较厚，静子叶片用 T 形、燕尾形榫头直接固定在机匣内壁特制的环形槽内

- ◆ 方案结构简单
- ◆ 连接可靠
- ◆ 叶片可以拆装

用径向螺钉固定在压气机机匣中

固定到静子保持环中，环再固定到机匣上

静子组件由多级静子环组成

- ◆ 内环
- ◆ 外环
- ◆ 静子叶片

静子叶片焊接到外环上，环之间螺栓连接



增加

转子旋转，空气吸入压气机。空气加速，到静子叶片。压力升高，提高速度。静子中减速（扩压）

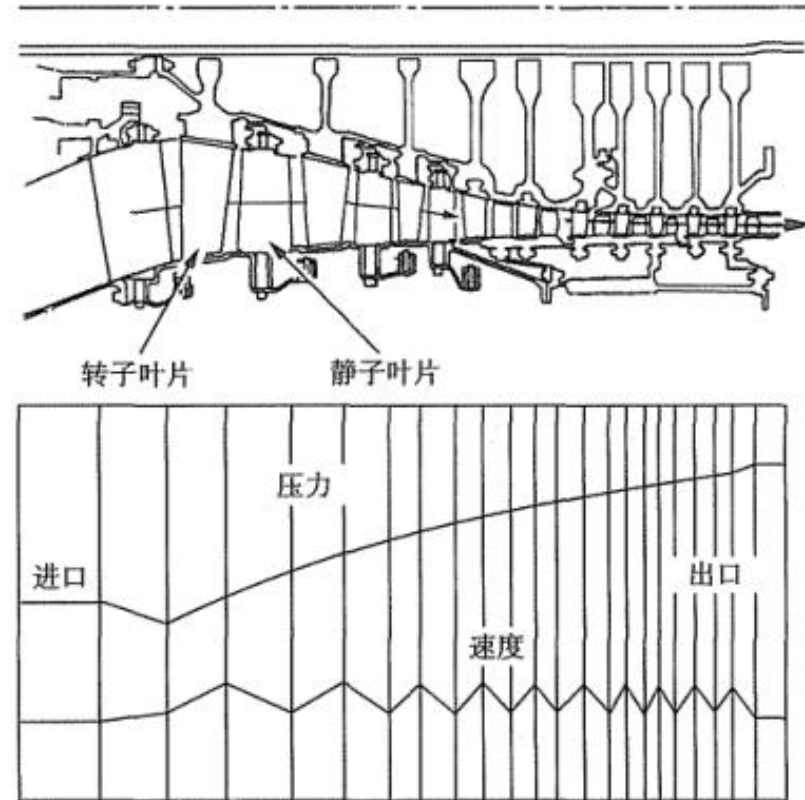


图 2-7 轴流式压气机中压力和速度的变化

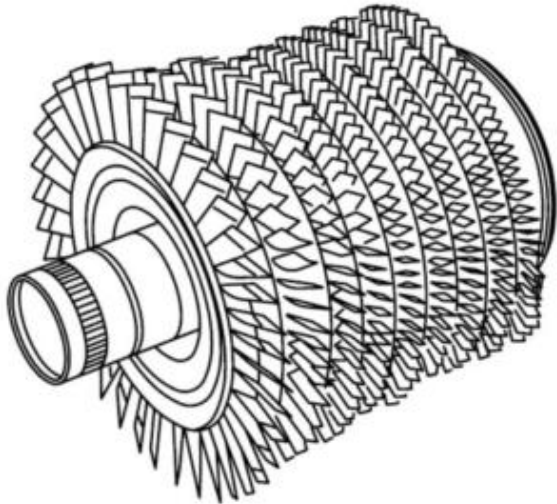
增加

优点

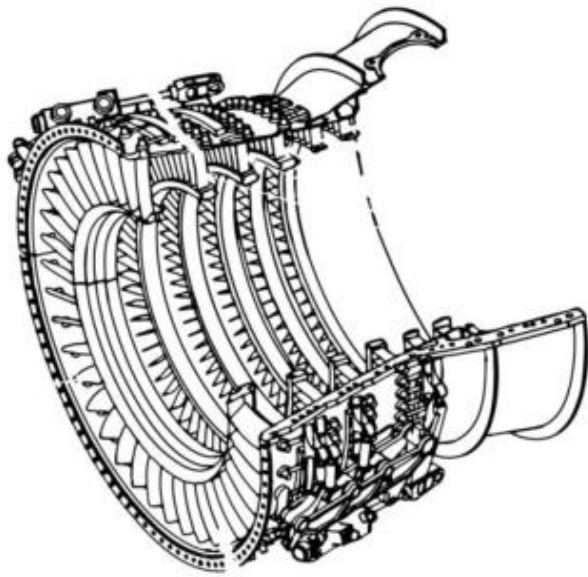
- 1. 增加级数提高总增压比
- 2. 单位面积的流通能力高
- 3. 迎风面积小，阻力小

缺点

- 1. 单级增压比低
- 2. 结构复杂



转子



静子

图 3-2 轴流式压气机的组成

A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and tail.

## 2 轴流式压气机的工作原理

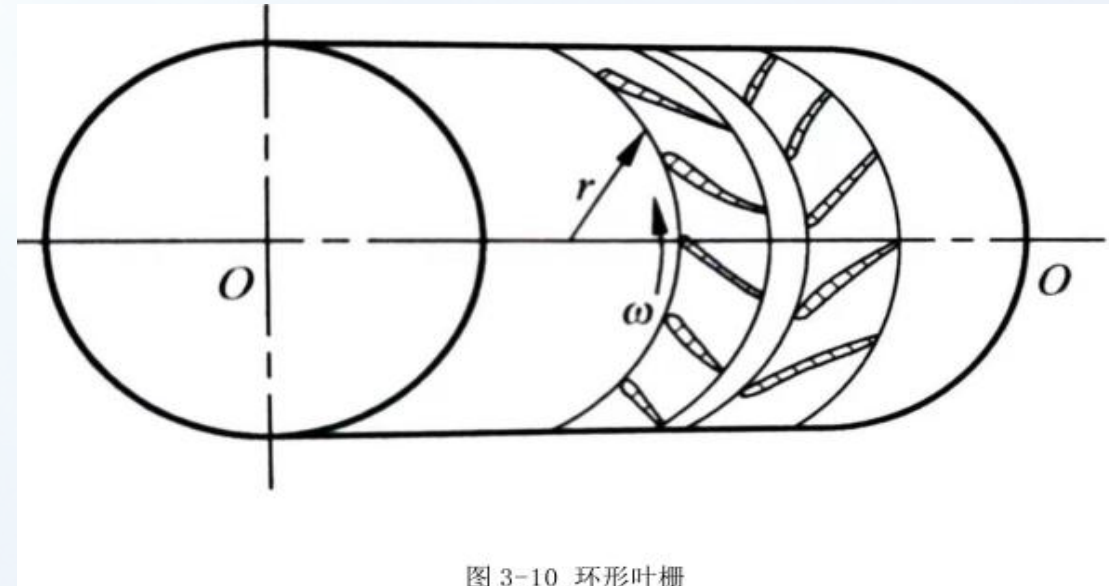
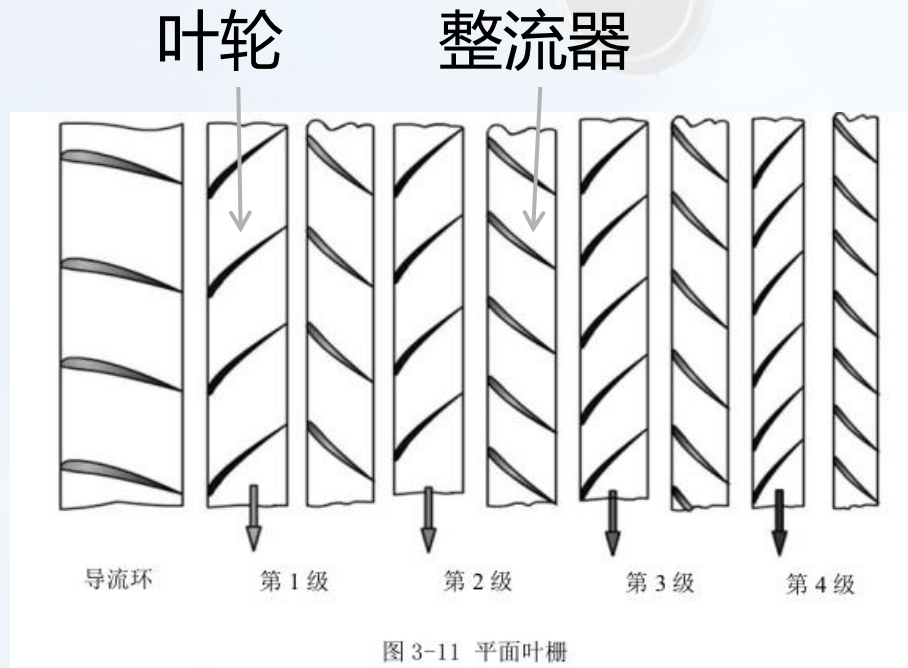
## 2 轴流式压气机的工作原理

### 轴流式压气机特点概述

1. 总增压比高、效率高、单位空气流量大
2. 用在大、中推力的发动机
3. 单叶轮，单整流器组成单级的式压气机
4. 多级组成

## 2.1 基元级叶栅变形原理

- ◆ 参数的变化，由叶片通道的几何参数决定以平均半径处的流动代表
- ◆ 轴同心的、半径为  $r$  和  $r + d$  的两个圆柱面，叶片环相截，环形叶栅
- ◆ 将环形基元级展开成平面，平面叶栅中的流动来代替环形叶栅



## 2.2 基元级的速度三角形

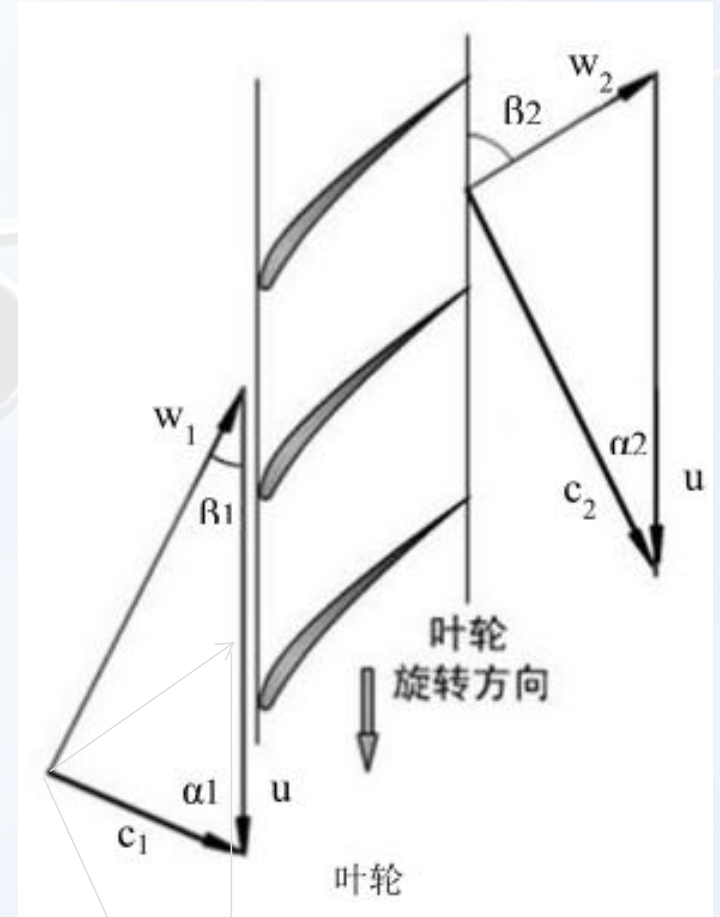
- ◆  $c$  表示绝对速度
- ◆  $w$  表示相对速度
- ◆  $u$  表示叶轮的圆周速度即力学中的牵连

速度三角形

$$\vec{c} = \vec{w} + \vec{u}$$

## a 空气在动叶叶栅内的流动

- 叶轮进口处，相对速度  $w_1$  为绝对速度  $c_1$  与牵连速度  $u$  的矢量差，与叶轮旋转面所成的夹角为  $\beta_1$ ；
- 工作叶片是弯曲的，方向逐渐改变，顺着弯曲的叶片通道流出，
- 相对速度  $w_2$  流出叶栅，圆周速度  $u$ ，绝对速度  $c_2$ ，是  $w_2$  与  $u$  的矢量和夹角叶轮  $\beta_2$
- $\beta_2$  称为相对气流出气角， $>\beta_1$
- 叶栅出口处气流绝对速度与圆周速度的夹角为  $\alpha$

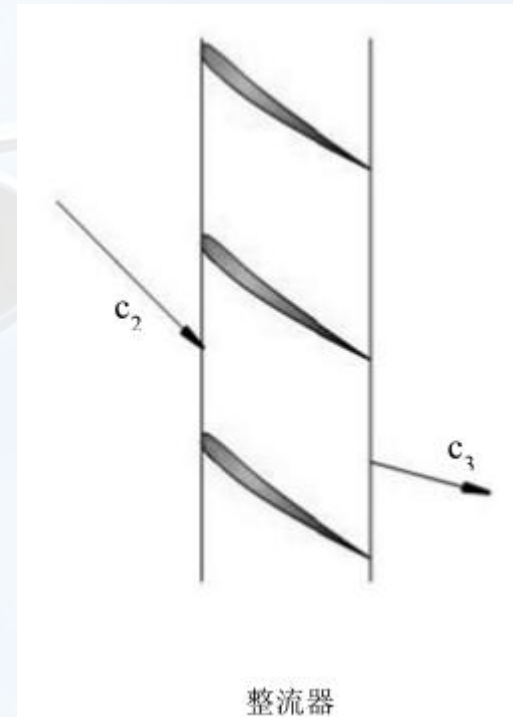


## b 空气在整流器叶栅内的流动

$c_2$  , 和  $c_3$  大小方向也大致相同

### 基元级速度三角形

- ◆  $c_1$ 、 $w_1$ 、 $u$  组成了叶轮进口处的速度三角形
- ◆  $c_2$ 、 $w_2$ 、 $u$  组成了叶轮出口处的速度三角形
- ◆ 将进出口速度三角形叠加在一起



c 决定速度三角形并对压气机工作有关系的参数如下:

分解成轴向和切向分速度,  $a$  和  $u$  表示

- 叶轮进口处空气绝对速度的轴向分速度  $C_{1a}$
- 叶轮进口处空气绝对速度的切向分速度  $C_{1u}$
- 圆周速度 (即轮缘速度)  $u$
- 叶轮前后相对速度 (或绝对速度) 在切向的变化量  $\Delta W_u$  (或  $\Delta C_u$ )

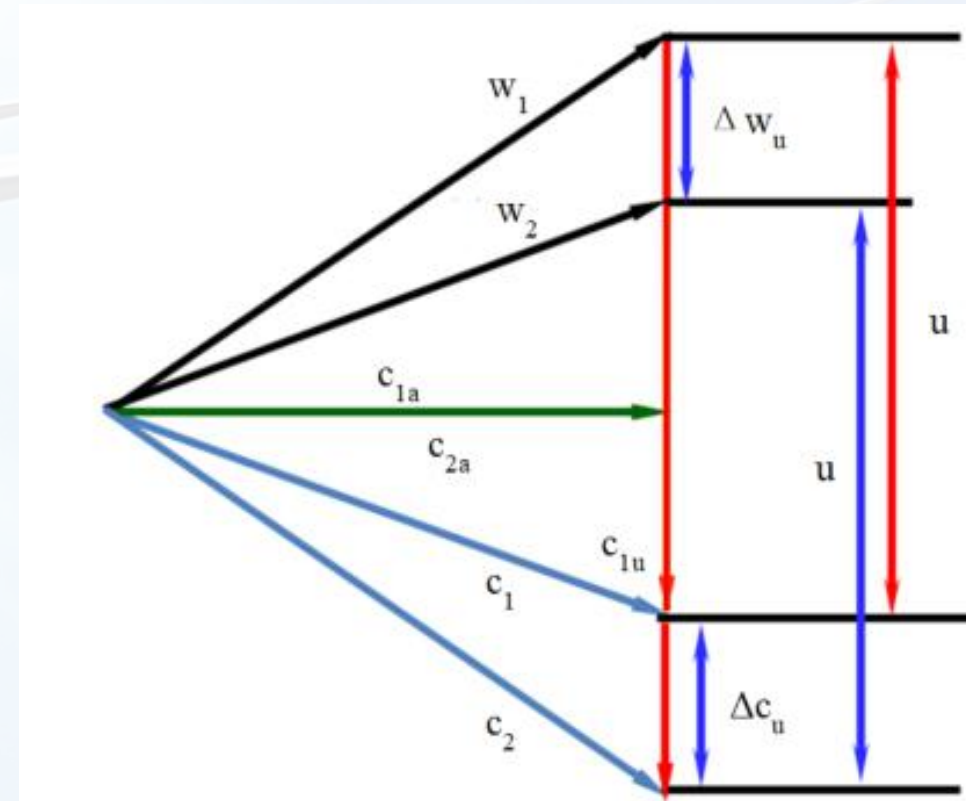


图 3-13 基元级速度三角形

## a) 叶轮进口处空气绝对速度的轴向分速度 $C_{1a}$

- ◆ 与流入的空气量有关，压气机进口面积和进口空气状态一定时， $C_{1a}$  增大，空气流量增大，发动机的推力和功率也增大；
- ◆ 空气流量一定， $C_{1a}$  增大，压气机横截面积就可缩小，有利于减小整台发动机的迎风面积。
- ◆  $C_{1a}$  的大小，直接影响发动机的功率和迎风面积的大小。

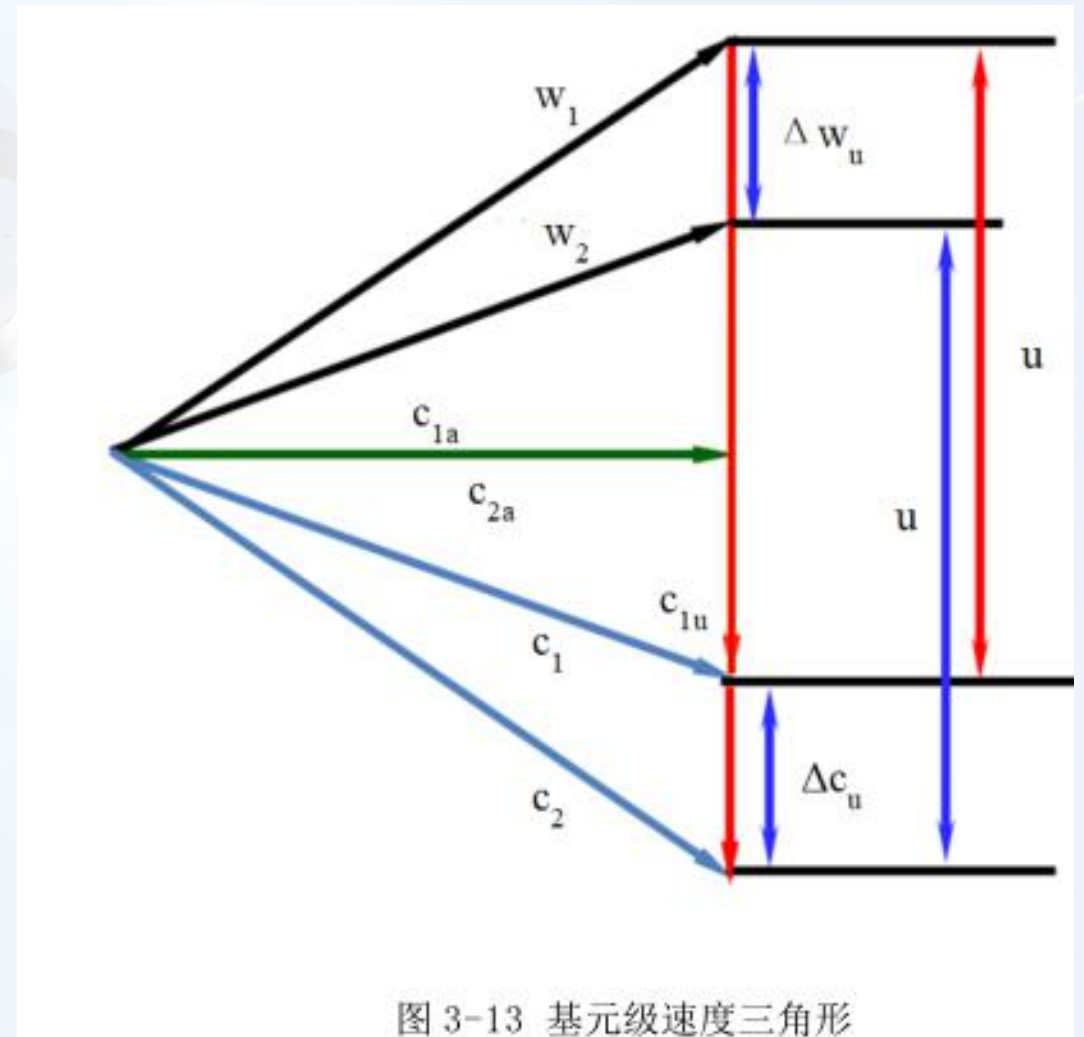


图 3-13 基元级速度三角形

## b) 叶轮进口处空气绝对速度的切向分速度 $C_{1u}$

- ◆ 预先的旋转切向分速度  $C_{1u}$  代表就叫**预旋**；反之，就称为**反预旋**。
- ◆ 有一排不动的叶片，叫进口导向叶片，也叫导流环，将产生**预旋**，用来防止压气机**喘振**。
- ◆ 有了  $C_{1a}$  和  $C_{1u}$ ，确定叶轮进口处空气的绝对速度  $C_1$ 。

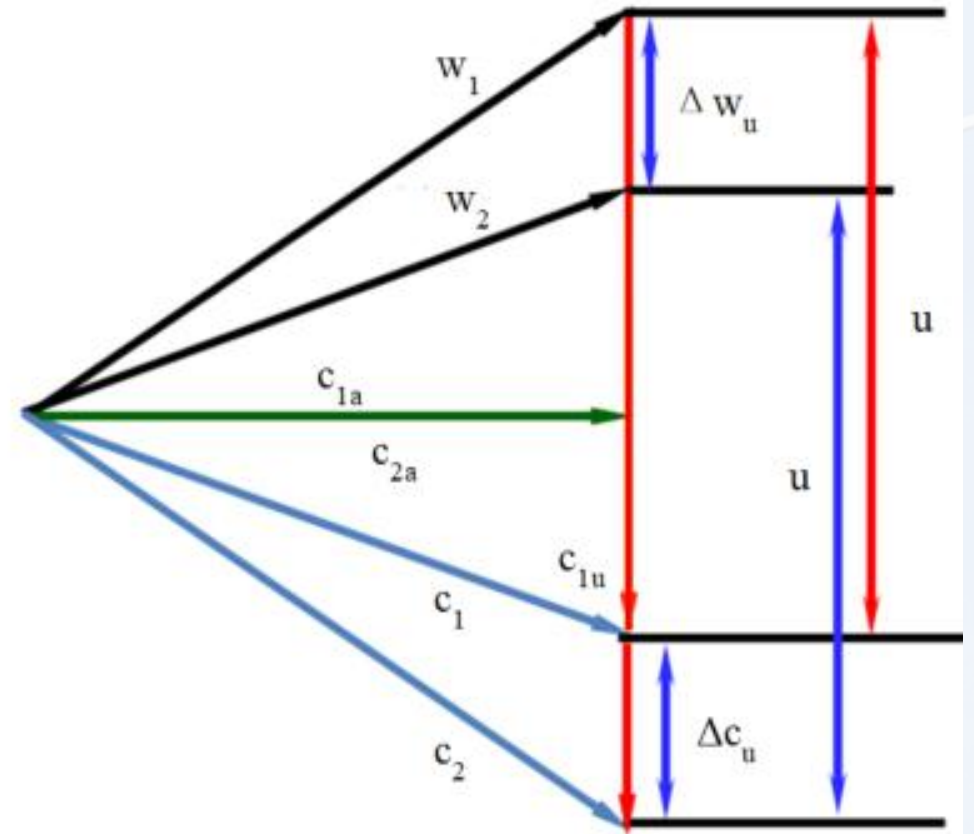


图 3-13 基元级速度三角形

c) 圆周速度 (即轮缘速度)  $u$

- ◆ 影响做功量的大小,  $u$  越大, 则对空气加入的轮缘功越多。
- ◆  $c_1$  和  $u$ , 就决定相对速度  $w_1$ 。确定进口的速度三角形。

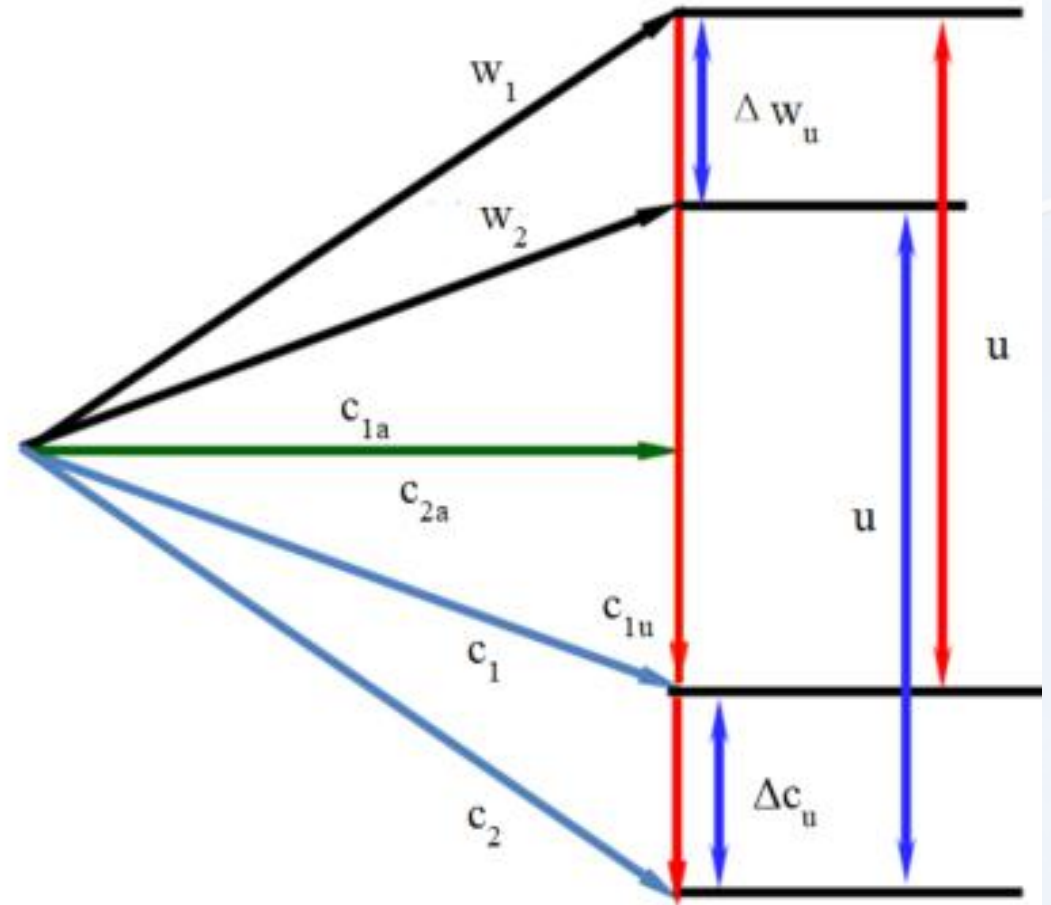


图 3-13 基元级速度三角形

d) 叶轮前后空气的相对速度（绝对速度）在切向变化量 $\Delta W_u$  ( $\Delta C_u$ )

◆ 气流在周向的扭转量，又叫做扭速。

$$\Delta W_u = \Delta C_u。$$

◆  $w_1$  和 $\Delta W_u$  就决定了空气的相对速度 $w_2$

◆  $w_2$  和 $u$  则可以确定  $c_2$ ，从而确定了出口的速度三角形。

四个参数，基元级的速度三角形确定了

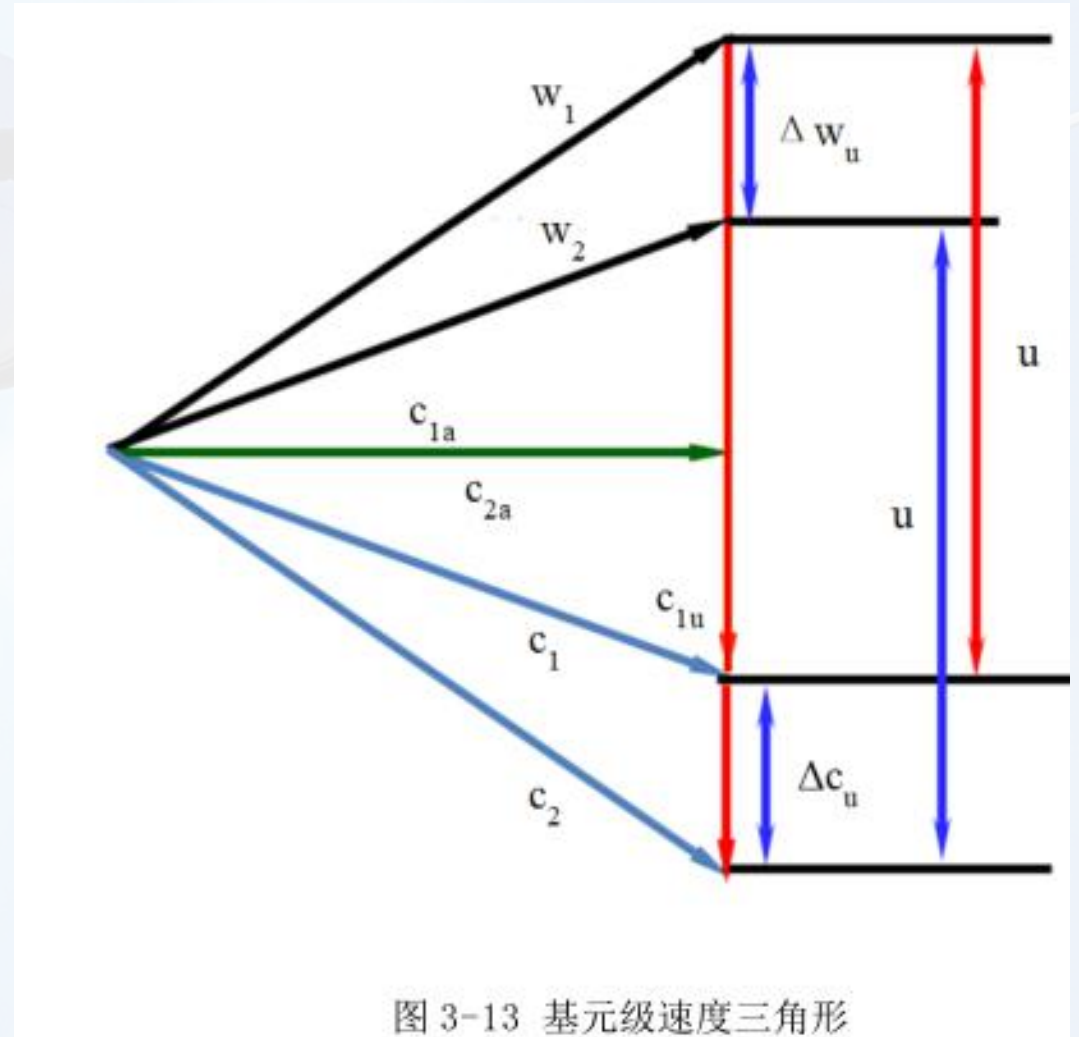


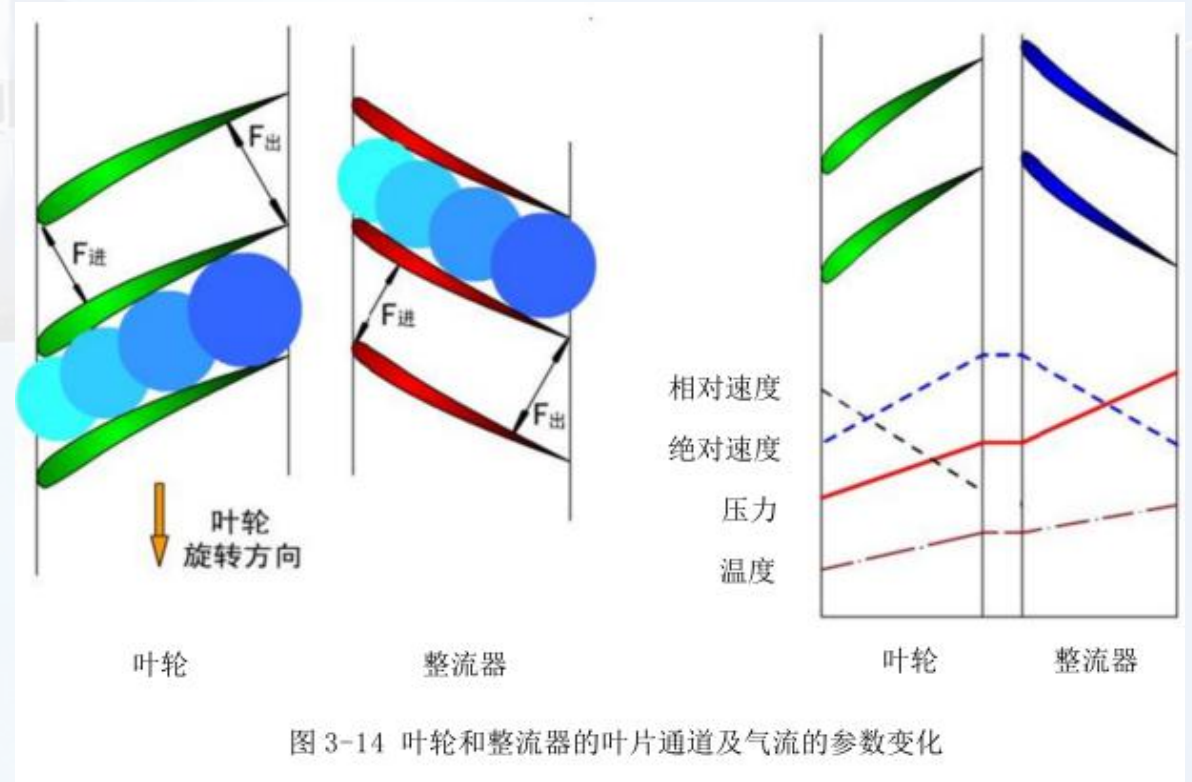
图 3-13 基元级速度三角形

## 2.3 基元级的增压原理

### 扩散增压的原理

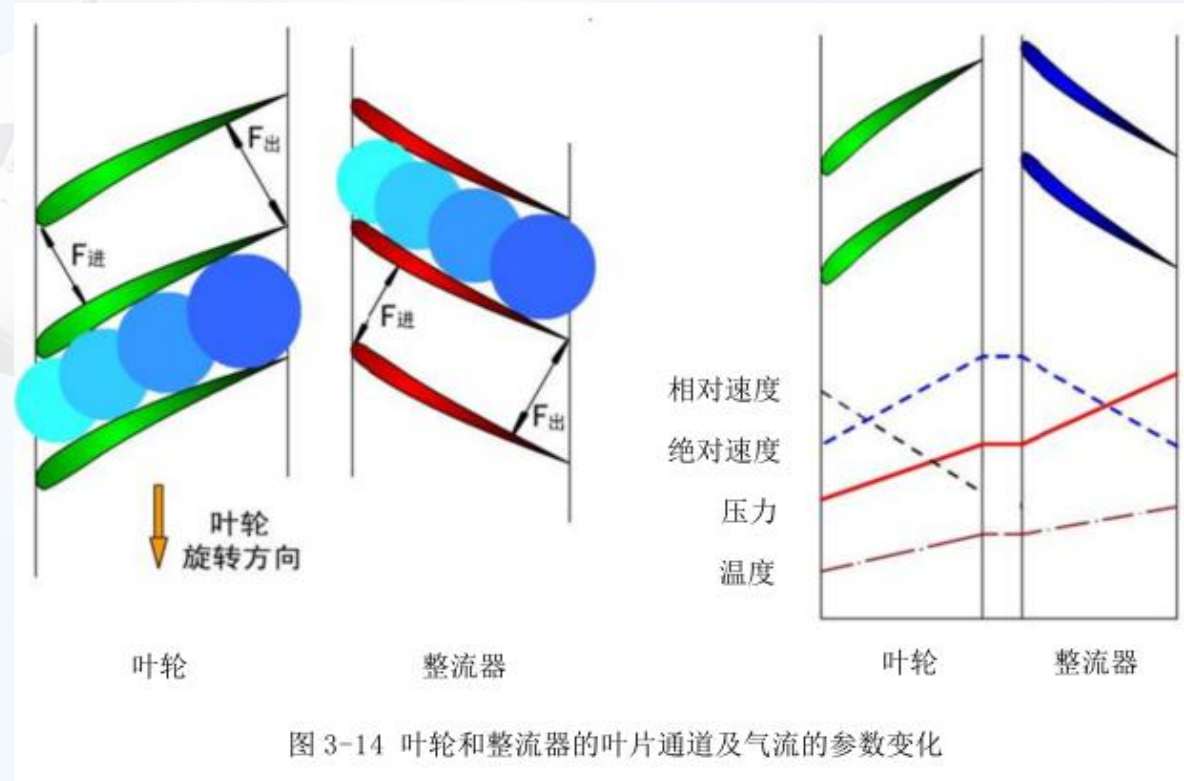
#### a 在工作叶栅通道

1. 通道扩张形的，相对速度降低，压力和温度上升，
2. 高速旋转的叶片对空气做功，使绝对速度增大，总压和总温都提高



## b 整流器叶栅通道

1. 扩张形的，绝对速度降低，压力温度提高，
2. 整流器叶栅通道内是绝能流动，总压略下降，总温不变。



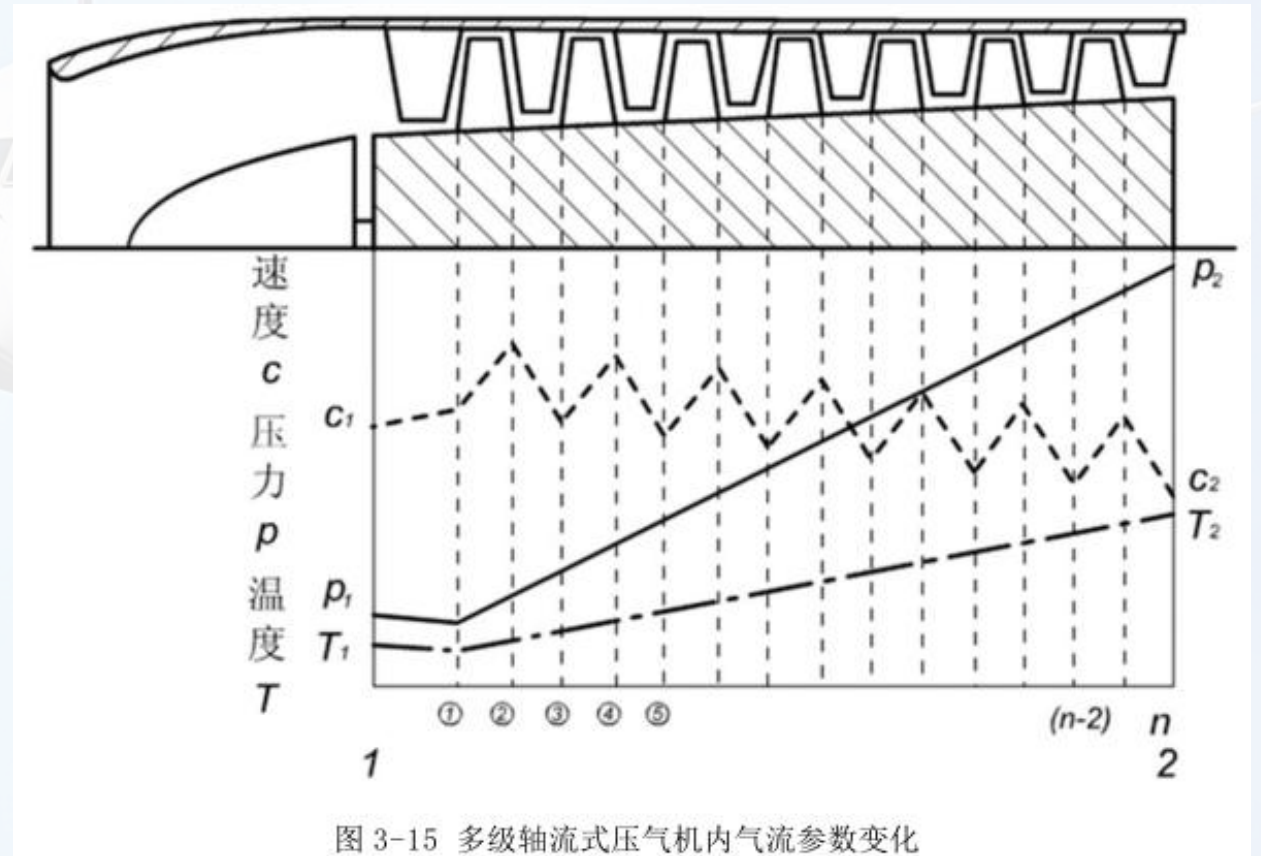
## c 总结:

- ◆ 在工作叶轮内，空气压力的提高，是相对运动动能减小的结果；
- ◆ 在整流器内，是绝对运动动能减小的结果。
- ◆ 不论是工作叶轮还是整流器，空气增压都是高速旋转的叶片对空气做功的结果。如果叶轮不转动，叶轮进口气流相对速度不提高，同样，叶轮不对空气做功，叶轮出口气流绝对速度也不提高

## 2.4 多级轴流式压气机

### a 特点

- ◆ 多级轴流式任一级，工作原理相同。
- ◆ 各个位置不同，几何尺寸和进口参数不同，有各个级的特殊性。
- ◆ 空气压缩，密度增加，通道面积逐渐减小，叶片高度逐渐减小，叶片数目逐渐增加。
- ◆ 通道截面积逐渐减小，等外径、等内径和等中径结构形式。
- ◆ 压气机出口气流速度稍低于压气机进口气流速度



## b 参数

轴流式压气机的增压比 $\pi_c^*$

1. 压气机出口处的总压 $p_2^*$  与压气机进口处的总压 $p_1^*$  之比
2. 压气机的总增压比等于各个级的增压比的乘积。

压气机效率

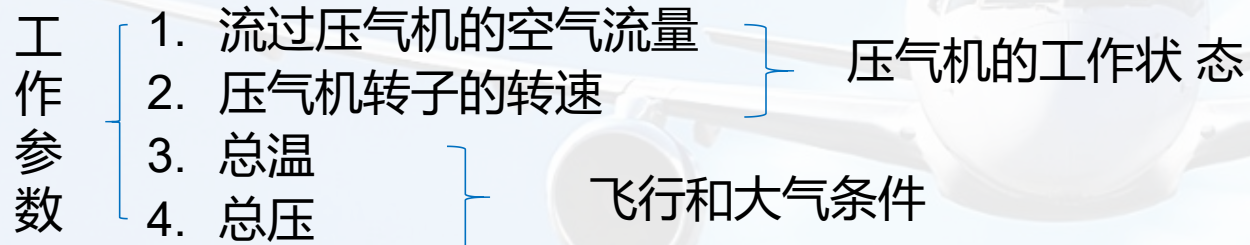
理想绝热压缩功与实际压气机功之比

## c 压气机效率反映压气机内的流动损失

- 1) 叶片表面附面层摩擦损失      气体的黏性，叶片表面总有附面层存在
- 2) 在逆压梯度，附面层气流分离损失 {
  1. 叶盆逆压梯度不大，附面层不太厚，损失不大
  2. 叶背逆压梯度大，激波，附面层厚，甚至分离，损失大。
- 3) 尾迹损失 {
  1. 到叶型尾缘时，附面层就汇合尾流；
  2. 叶背厚，叶盆薄，所以尾流是不对称的
- 4) 尾迹和主流区的掺混损失 {
  1. 尾流总压比主流总压低得多，损失的主要部分
  2. 尾迹和主流的掺混过程中也会有损失
- 5) 激波损失 → 叶片的前缘或背部出现超音速而造成
- 6) 环壁附面层及其叶形附面层的相互作用的损失
- 7) 径向间隙存在引起的损失 {
  1. 通过径向间隙轴向倒流至前方；
  2. 叶盆高静压向潜流至叶背
 → 叶栅增压和效率下降

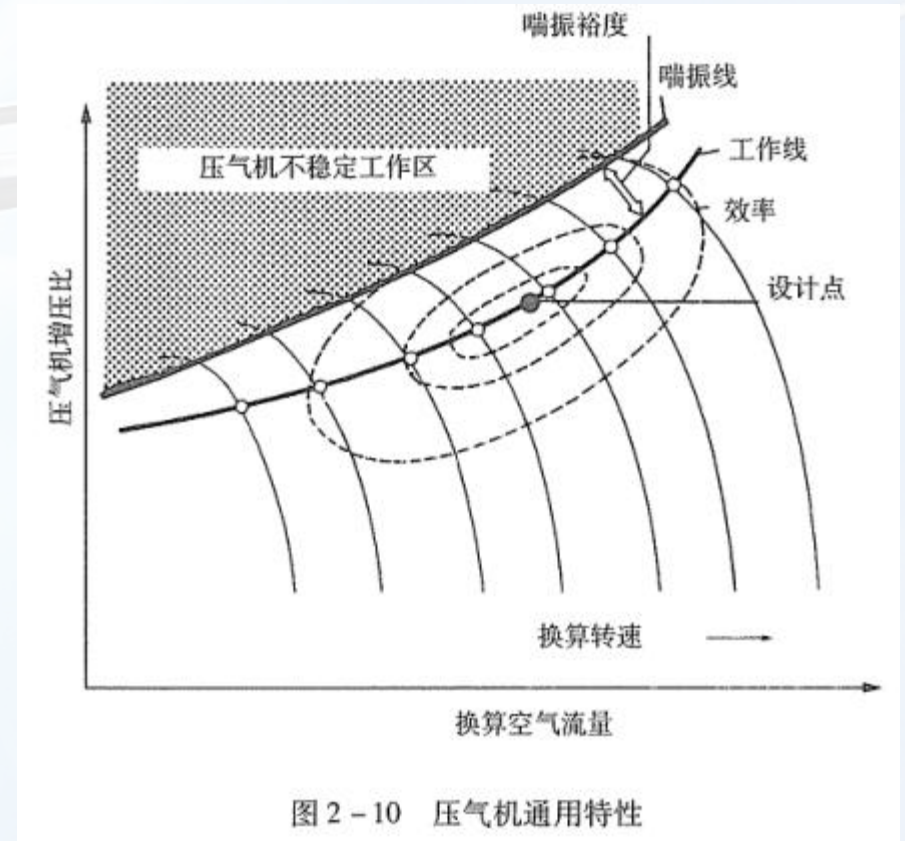
## 增加 d 压气机通用特性

对于给定的压力比、转速和空气流量，压气机工作在最佳工作状态，通常称为**设计点**。



**压气机特性：**压气机性能参数即增压比、效率随工作参数的变化规律

**压气机的流量特性：**压气机总温、总压不变，压气机的增压比和效率随空气流量、压气机转子转速的变化规律



## 2.5 压气机的喘振

### a. 攻角和流量系数

#### a) 攻角

- ◆ 叶片进口气流的相对速度  $w_1$  和方向为  $\beta_1$
- ◆ 叶片的几何进口角  $\beta_{1k}$

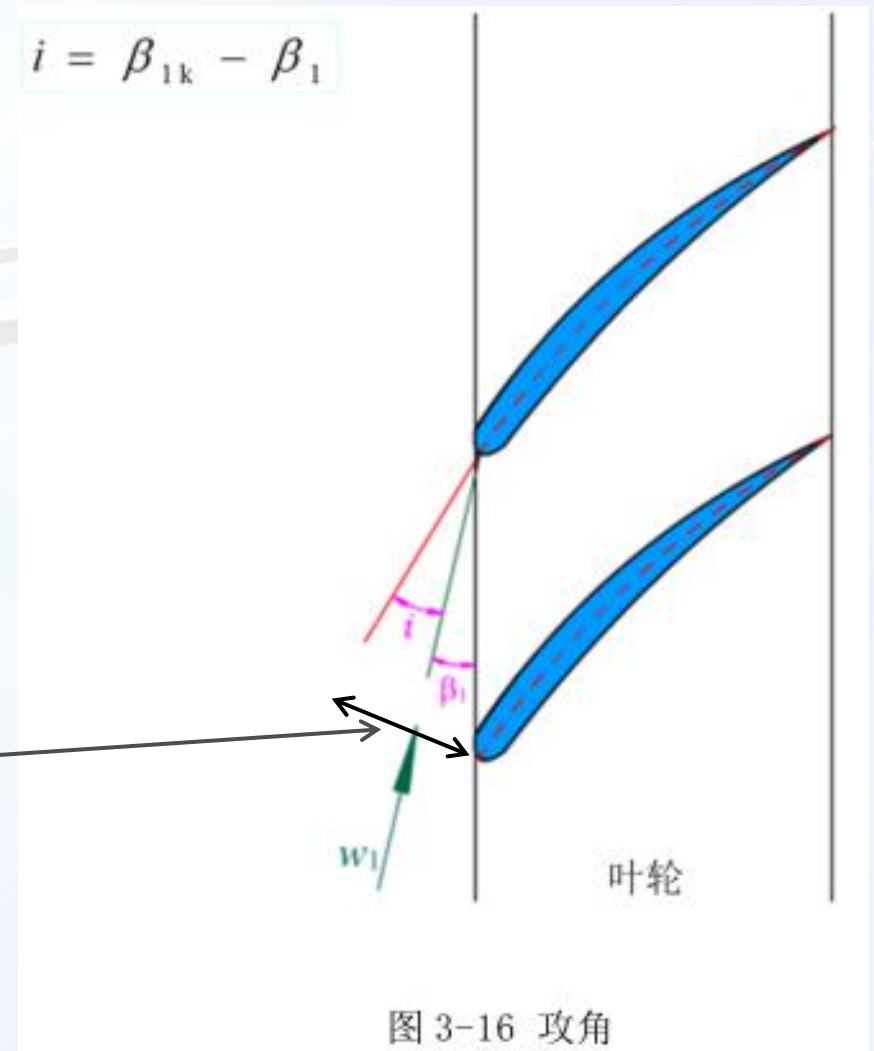
攻角  $i$ : 相对速度的方向与叶片弦线之间的夹角

$$i = \beta_{1k} - \beta_1$$

$\beta_{1k}$

影响攻角

- ◆ 转速
- ◆ 工作叶轮进口处的绝对速度



## b) 流量系数

工作叶轮进口处绝对速度在发动机轴线上分量和在工作叶轮旋转切向速度之比。

$$D = c_{1a} / u$$

- ◆ D小于设计值, C1小于设计值, C1变小, 正攻角大, 气流在叶背处分离
- ◆ D大于设计值, C1大于设计值, C1变大, 负攻角大, 气流在叶盆处分离,

设计值

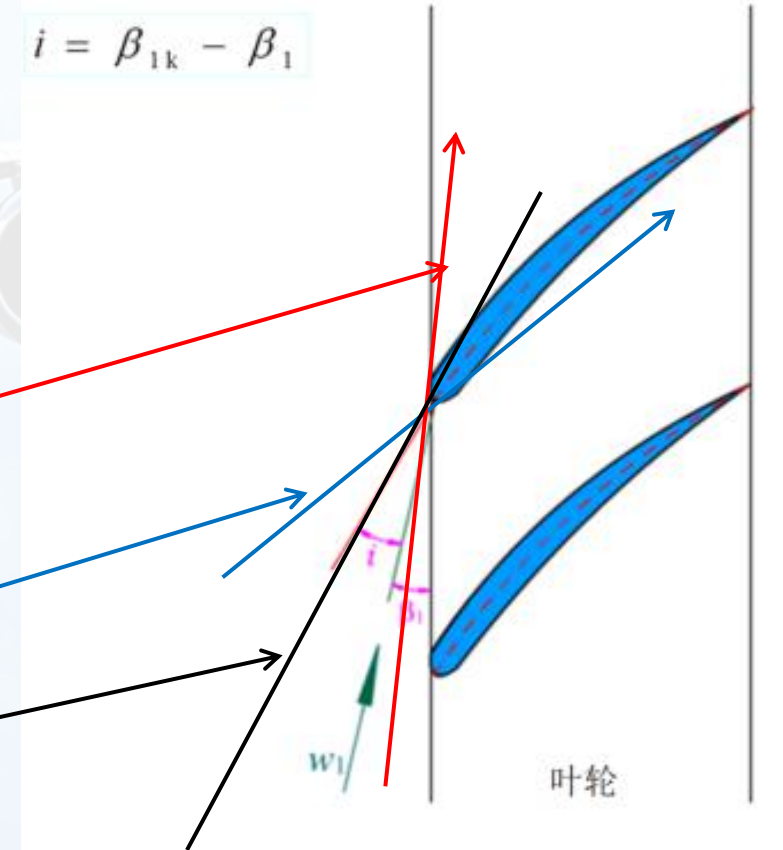


图 3-16 攻角

## b. 失速和堵塞

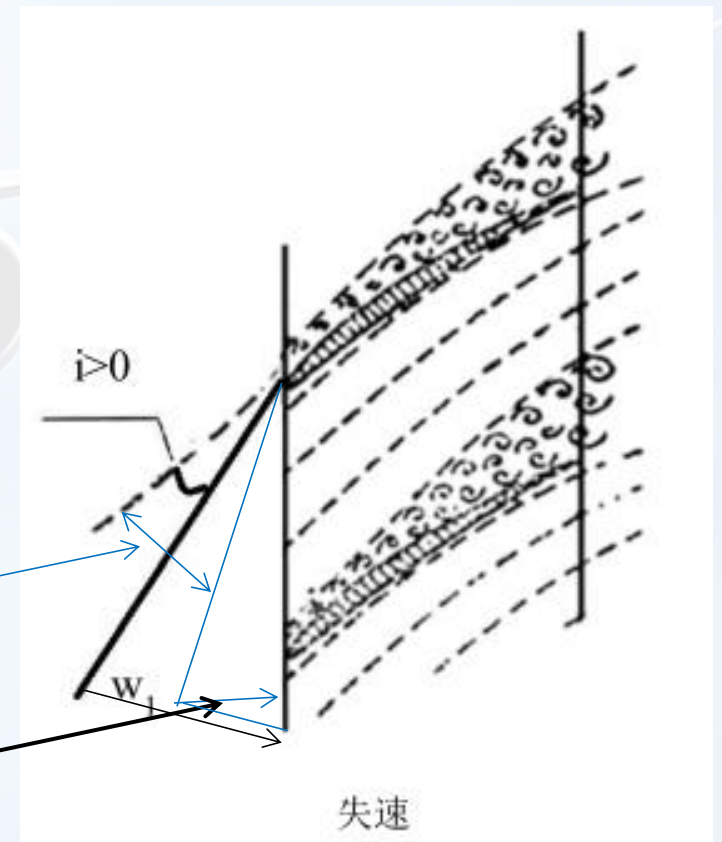
### a) 失速

转速一定时，进入发动机的空气流量减少，进口处绝对速度在发动机轴线方向上的分量下降，使攻角过大，气流在叶背处分离，

。

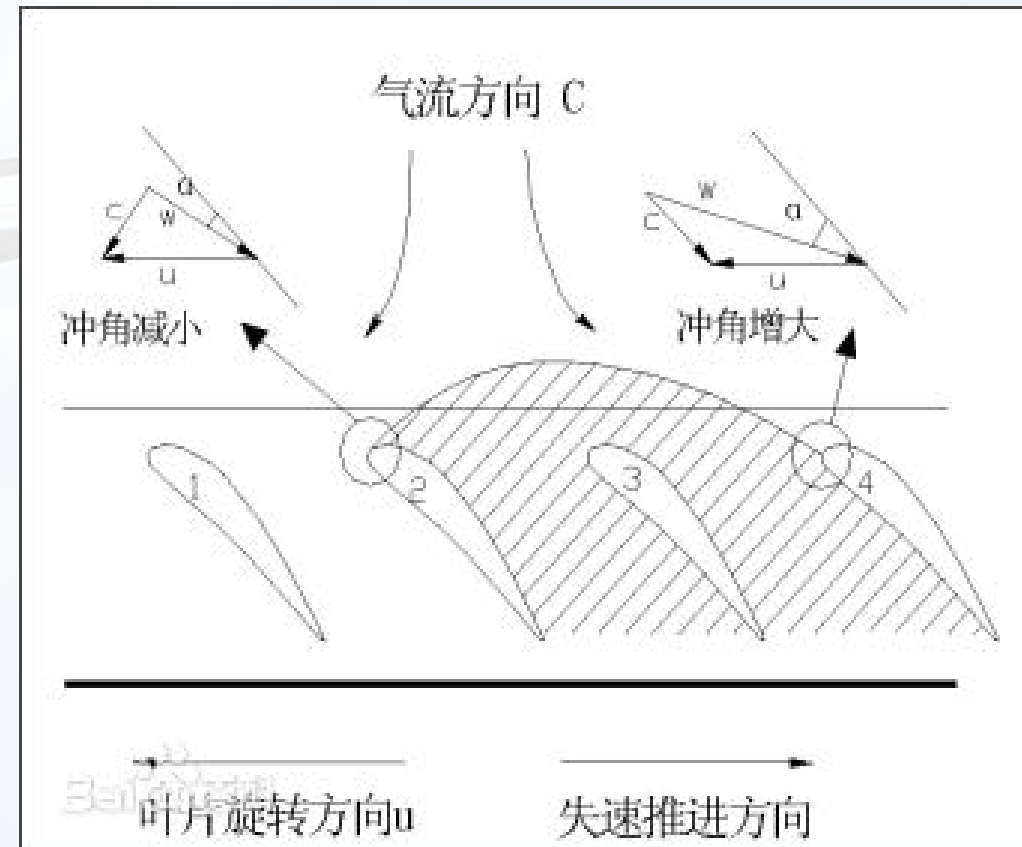
正攻角上升

分量下降



**旋转失速**：绝对坐标系上，失速区以较低的转速与压气机叶轮做同方向的旋转运动

1. 压气机空气流量减小，动叶攻角增大到临界攻角，动叶中的某几个叶片可能首先发生分离。
2. 出现分离区的叶片前面出现气流堵塞现象
3. 受阻滞的气流区使周围的流动发生偏转，从而引起上面叶片攻角增大并分离，下面叶片的攻角减小并解除分离
4. 分离区相对于叶片向上传播。失速区就与叶片旋转方向相反的方向移动，这种移动速度比圆周速度要小。

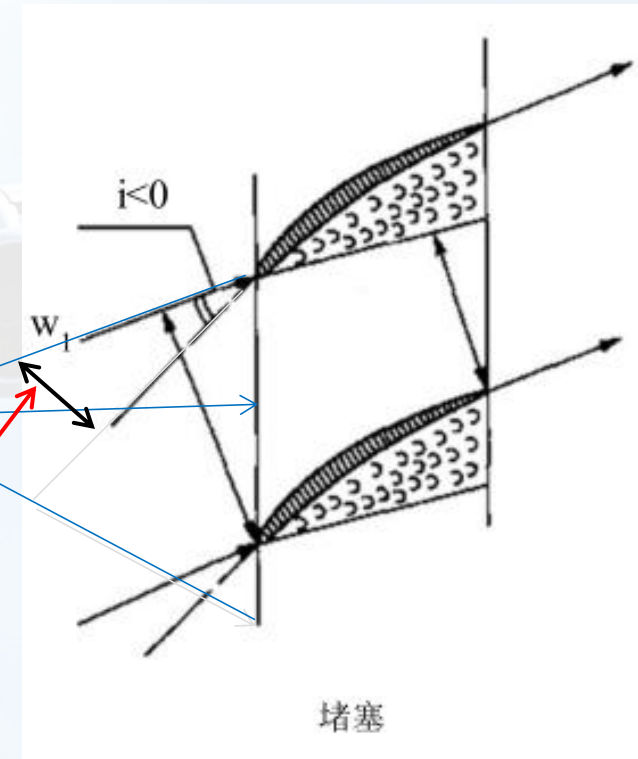


## b) 堵塞

转速一定时，工作叶轮进口处绝对速度在发动机轴线方向上的分量上升，使攻角下降，到一定情况，负攻角（数值）过大，气流在叶盆处分离，使叶片通道变小，出现喉道而发生堵塞

分量上升

负攻角过大



## c. 喘振

### a) 喘振危害

是气流沿压气机轴线方向发生低频率、高振幅的振荡现象

害处

- ◆ 强烈机械振动
- ◆ 热端超温
- ◆ 短时间内造成机件损坏

## b) 喘振时的现象

### 喘振时的现象

- ◆ 声音由尖哨转变为低沉
- ◆ 发动机的振动加大
- ◆ 压气机出口总压和流量大幅度的波动
- ◆ 转速不稳定
- ◆ 推力突然下降并且有大幅度的波动
- ◆ 发动机的排气温度升高，造成超温；
- ◆ 严重时会发生放炮
- ◆ 气流中断而发生熄火停车。

## c) 喘振原因

- 攻角过大，在叶背处分离，气流分离扩展到整个叶栅通道
- 叶栅完全失去扩压能力，后面反压不能将气流推向后方，流量急剧下降
- 动叶叶栅失去扩压能力，后面的高压气体可能倒流至前面
- 压气机后面的反压降的很低，整个压气机流路这一瞬间变得通畅。
- 压气机仍保持转速，气流吸入压气机，气流由负攻角很快增加到设计值，压气机后面也建立起高压气流，这是喘振过程中气流重新吸入状态
- 但发生喘振的流动条件没有改变，随着压气机后面的反压不断升高，压气机流量又开始减小，过程又重复。



压气机喘振探测依据压气机出口压力的下降率或转子的减速率来判断

## d) 喘振裕度和探测

压气机的工作状态偏离设计状态，发生气流分离和振动。

两种出现  
失速形式

迎角太大压气机前面级低转速下的问题  
迎角太小压气机后面级高转速下的问题



导致叶片振动

对于给定的压力比、转速和空气流量，压气机工作在最佳工作状态，通常称为**设计点**

**喘振裕度**即压气机工作线与喘振边界线之间有一定的距离

压气机喘振的探测依据压气机出口压力的下降率或转子的减速率来判断。

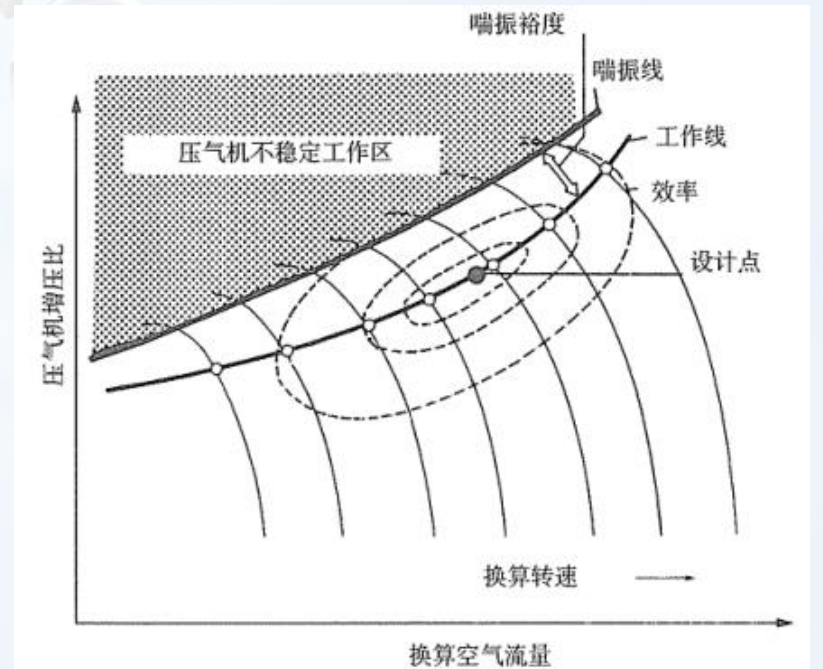


图 2-10 压气机通用特性

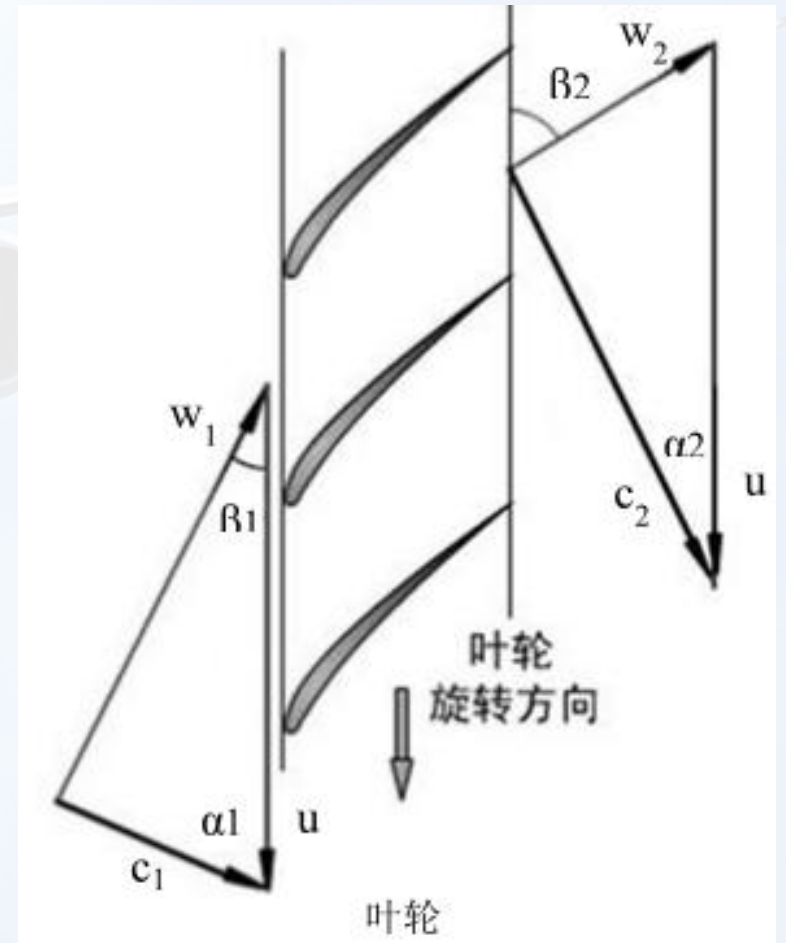
### e) 喘振发生的条件有

- ◆ 发动机转速减小，相对速度的方向变陡，流量系数变小；
- ◆ 进口总温升高，难以压缩，压气机增压比小于设计值；
- ◆ 空气流量骤然减小，如推油门过快，供油量增加过猛；
- ◆ 发动机进口流场畸变；
- ◆ 着陆滑跑速度低时仍用高反推；
- ◆ 进气道结冰；
- ◆ 发动机翻修质量差，外来物损伤，防喘机构工作不正常等

## 2.6 压气机的防喘原理

防喘是多级压气机在非设计状态下，保持与压气机几何形状相适应的速度三角形，也就是攻角不要过大或过小。

- ◆ 改变压气机的空气量，变C 1a，压气机中间级放气
- ◆ 改变预旋量的大小，改变C 1u，可调静子叶片
- ◆ 改变转速，改变圆周速度 u，双转子或三转子

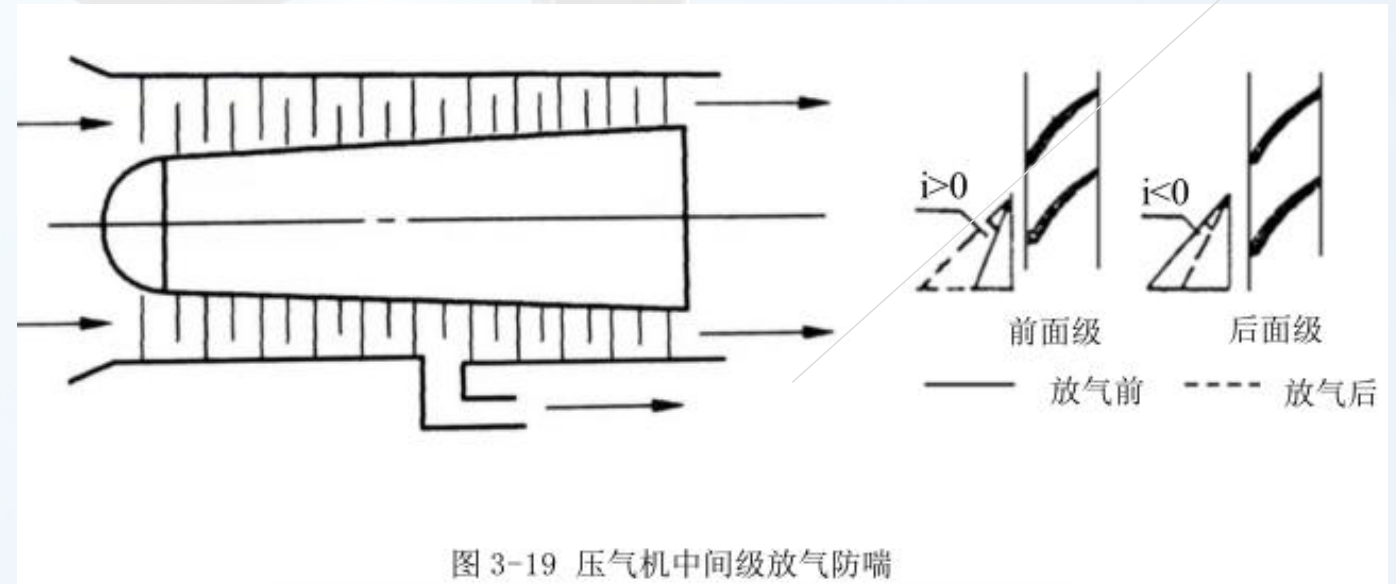


## a . 压气机中间级放气

改变气流流量  $C_{1a}$  的大小改变相对速度的大小和方向，改变攻角

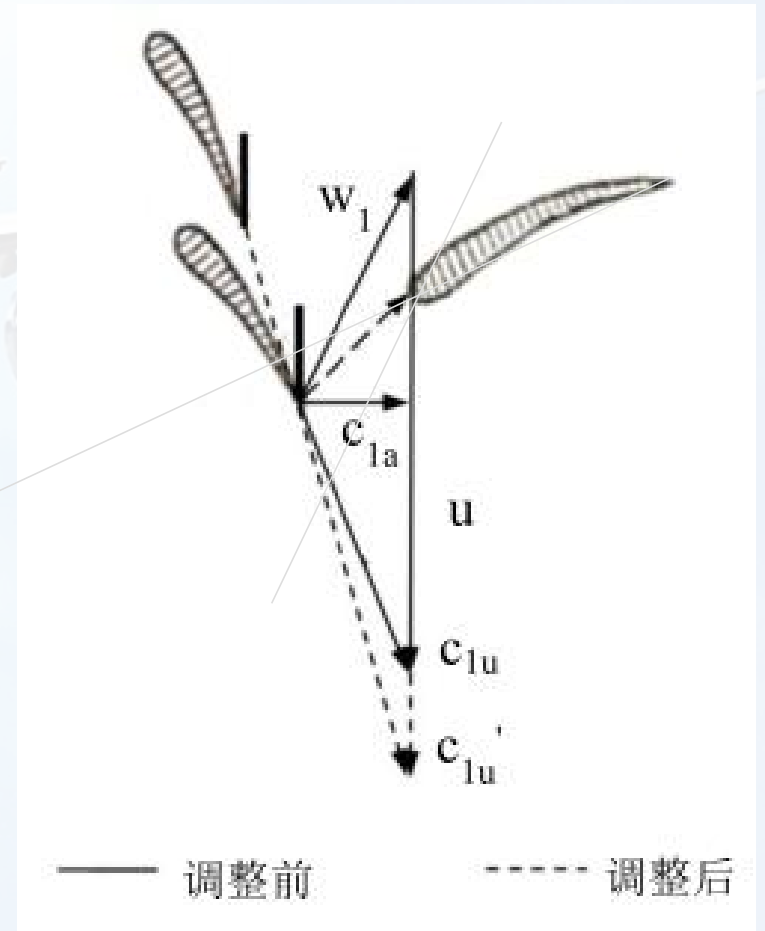
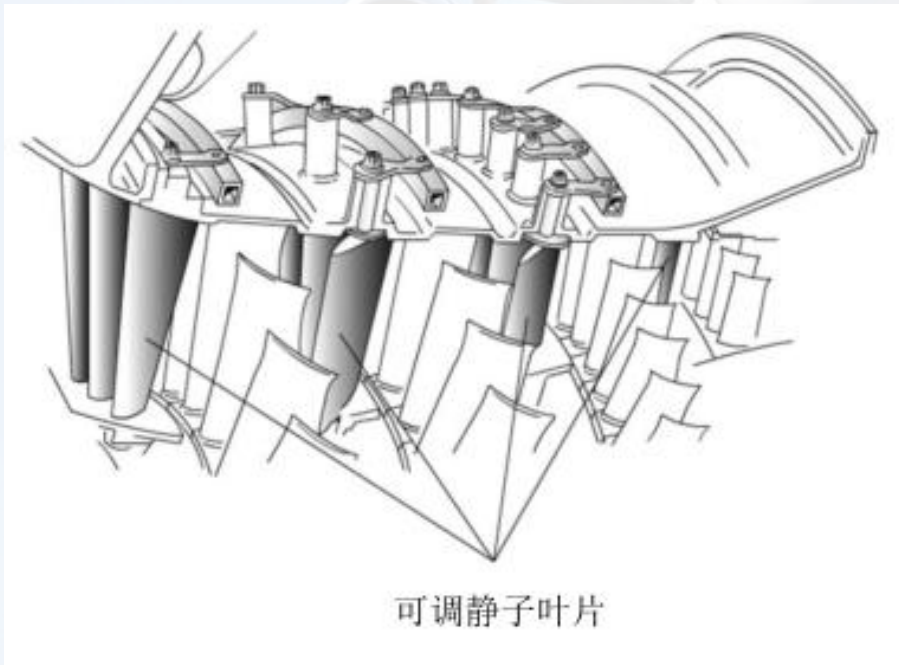
- ◆ 放气，减少阻力，空气流量就加轴向速度，攻角减小。避免喘振
- ◆ 放气后面的空气流量减少，攻角增加（数值减少），脱离堵塞状态

中间级放气会使压气机的增压比下降，减少功率输出



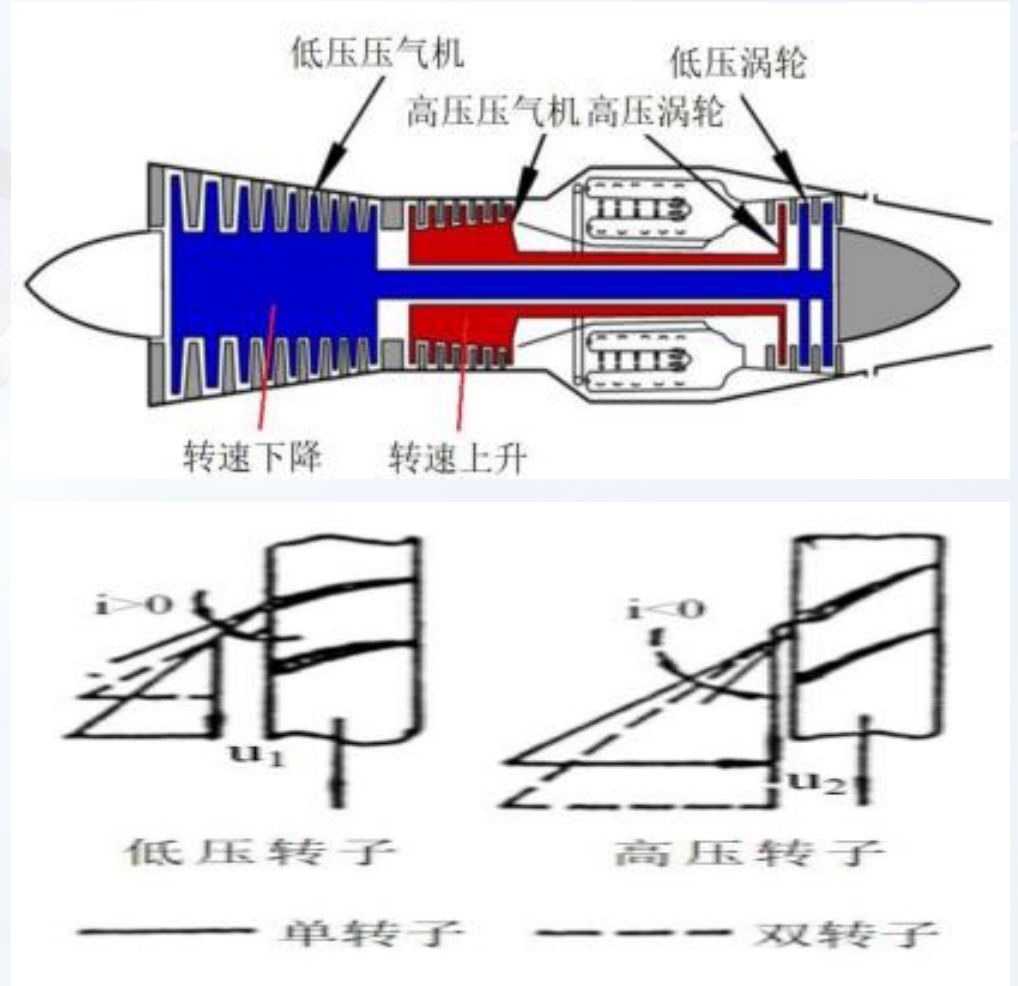
b 可调静子叶片  $i > 0$ , 正攻角

做成可调节的, 改变  $C_{1u}$ , 预旋量的大小, 改变进口处相对速度的方向, 减小攻角进行防喘



## c 双转子或多转子

- ◆ 改变圆周速度  $u$  的防喘方法
- ◆ 多级轴流式压气机，全部转速匹配所有的级是困难的将压气机转子分开成多个转子是防喘的好办法。
- ◆ 双转子或三转子防喘改变转子转速，改变切线速度  $u$ ，改变相对速度的方向，以减小攻角，进行防喘



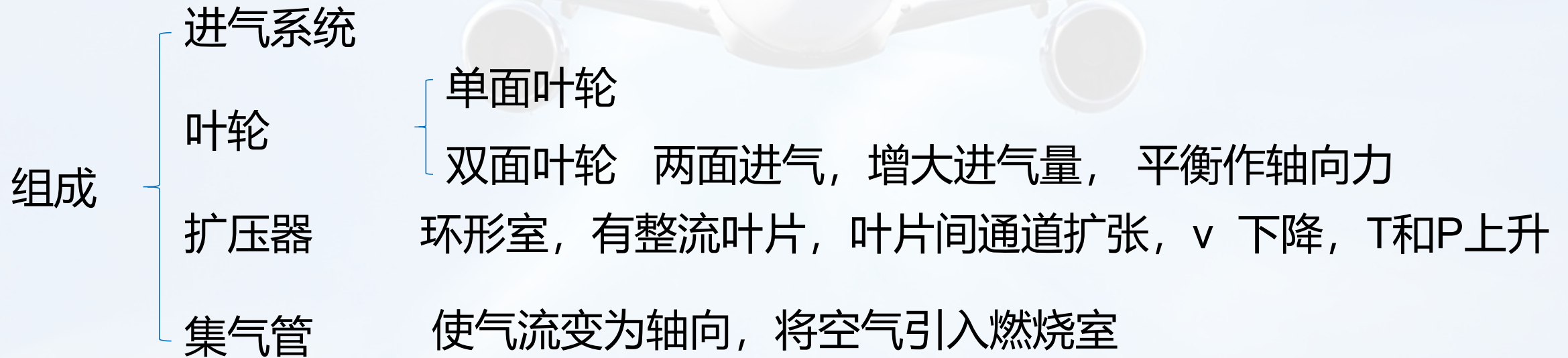
A faint, light-colored silhouette of a commercial jet aircraft is centered in the background, showing the fuselage, wings, and tail.

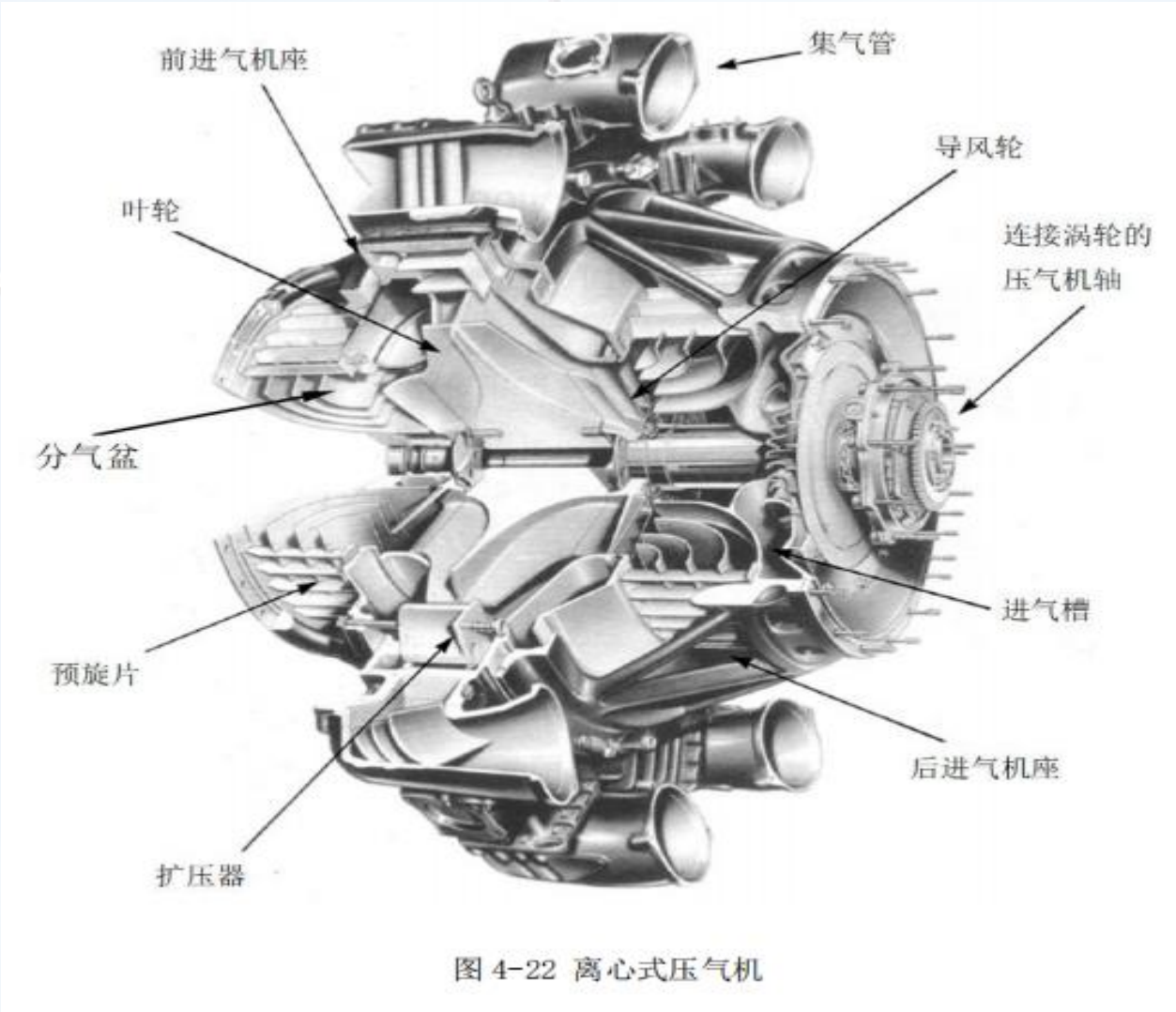
## 5.2.2.3 离心式压气机

# 1 离心式压气机的组成和工作原理

## a 组成

离心式压气机又称径向外流压气机，中间联轴节与涡轮轴相接





## b 工作原理

- ◆ 叶轮上叶片间的通道是扩张形的，叶轮高速旋转，空气流过它时，对空气做功，加速空气的流速，同时提高空气压力
- ◆ 离心力的作用使空气径向向外流向叶轮尖部，使空气加速并造成压力升高
- ◆ 扩压器位于叶轮的出口处，是一个环形室，装整流叶片，相邻叶片通道是扩张形，大部分动能转化成压力能， $v$  下降， $T$ 和 $P$ 上升

## 增加 c 叶轮形状

向旋转方向前弯。通道扩张，叶轮旋转,做功，加速，提压。

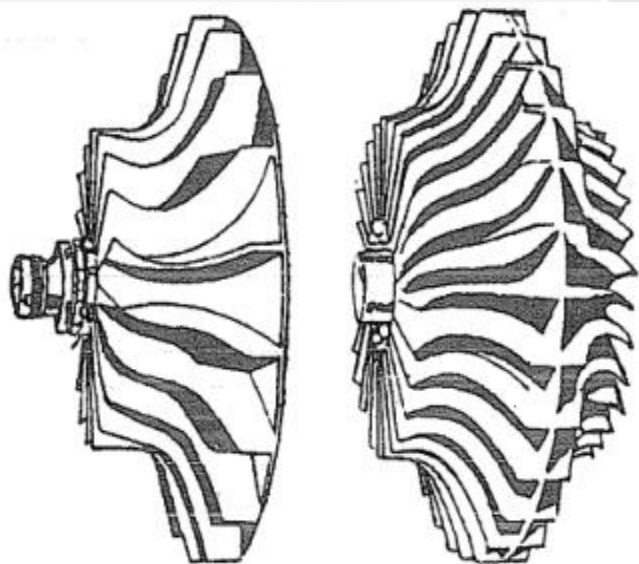


图 2-4 单面叶轮和双面叶轮

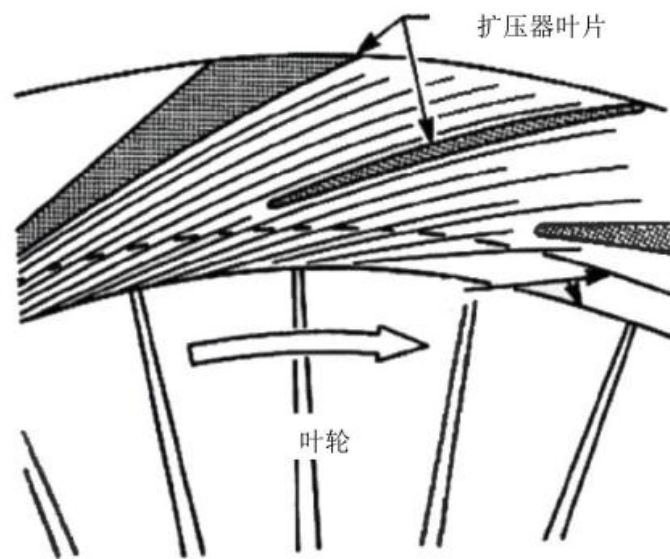


图 3-23 离心式压气机的扩压器

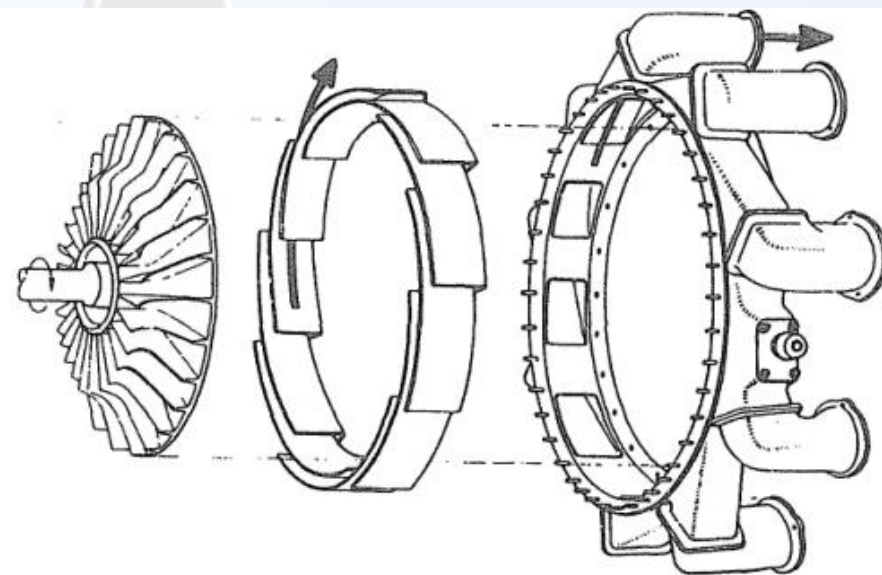


图 2-3 离心式压气机

## 2 离心式压气机的特点

### 优点

空气径向叶尖部， $V$ 和 $P$  增加  
扩压器段动能转化成压力能， $P$ 增加，

单级增压比高，可达12

成本低，维护方便

结构简单可靠，性能稳定

重量轻、长度短

工作范围宽，启动功率小

### 缺点

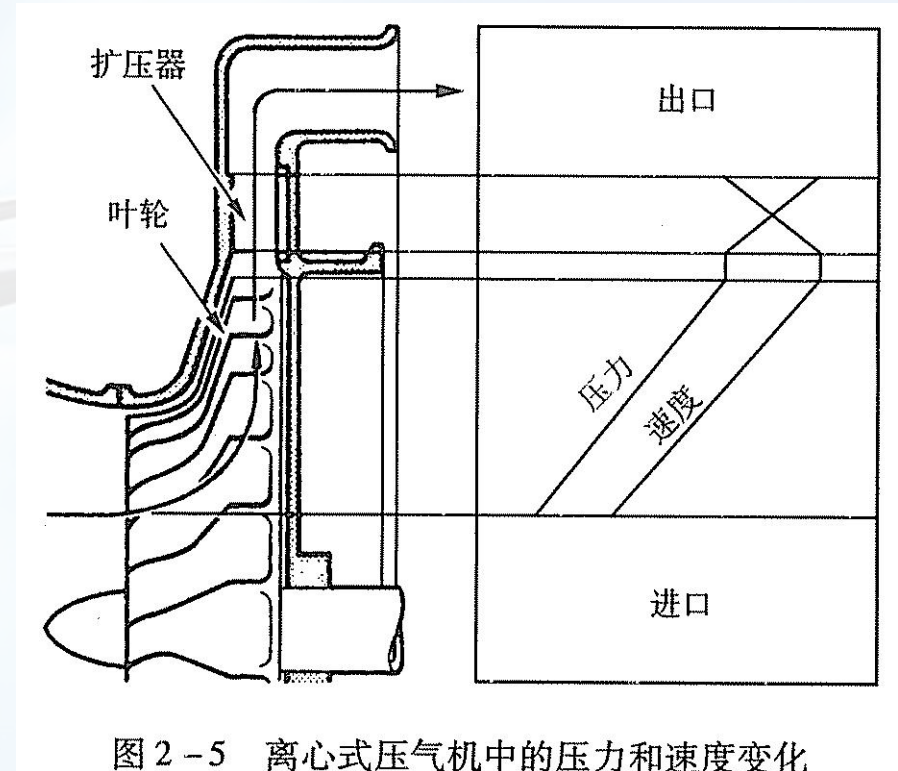
流动损失大，尤其级间损失，不用多级，  
2级串联是有效的。

效率较低，83%~85%。

单位面积的流通能力低

迎风面积大，阻力大。

用途：小型涡轴、涡桨发动机以及APU，



### 3 混合压气机

离心压气机的基础上面增加轴流级的级数

优点

1. 增大空气流量
2. 增压比, 以提高功率
3. 扩大使用范围
4. 降低油耗, 改善经济性。

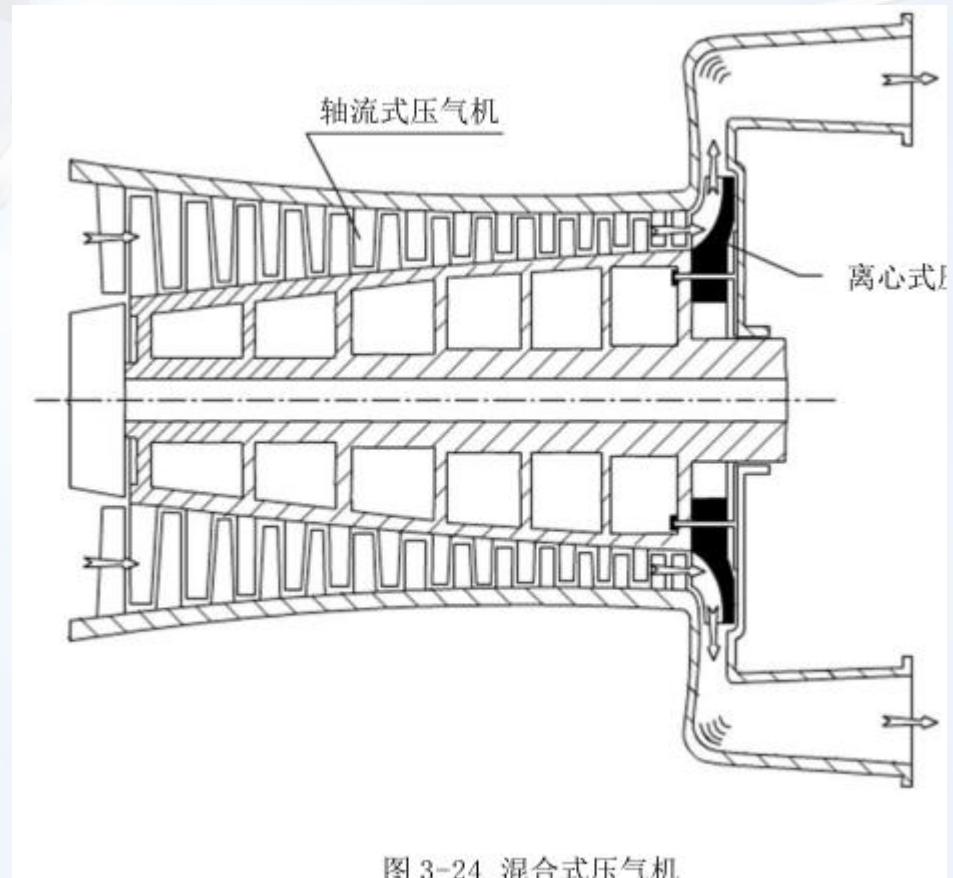


图 3-24 混合式压气机

A faint, light-colored illustration of a commercial airplane in flight, viewed from a front-quarter perspective, serving as a background for the slide.

## 5.2.2.4 典型发动机压气机的维护介绍

# 1 部件识别



图 3-25 压气机转子



图 3-29 压气机进口导向叶片



图 3-26 风扇叶片



图 3-27 压气机转子叶片

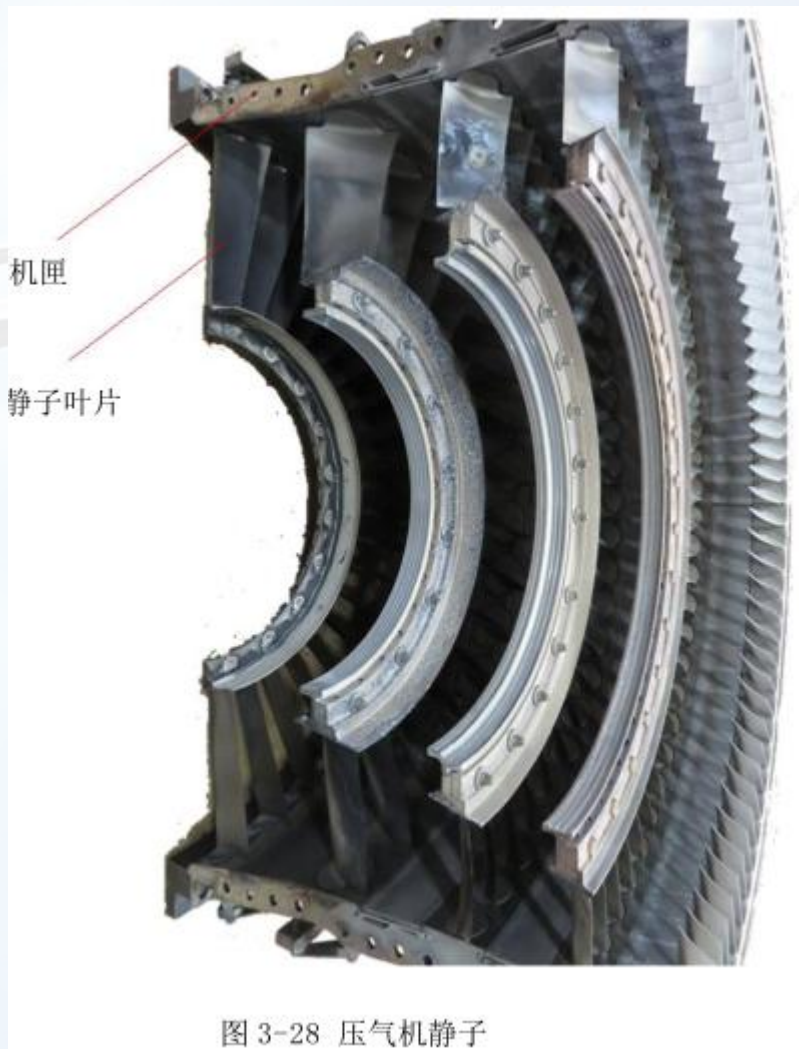


图 3-28 压气机静子

## 2 压气机的维护及安全注意事项

### a 风扇叶片的维护及安全注意事项

维护

- 风扇叶片榫头和风扇盘榫槽定期润滑
- 预防疲劳断裂，需要定期无损检测，
- 叶片成对更换，单片更换，重排叶片
- 停机坪  
跑道干净  
严格管理工具和零件  
防杂物吸入发动机或掉入打坏叶片

缺陷

- 易受鸟击等外来物  
损伤  
凹痕  
刻痕  
缺口  
裂纹  
撕裂  
断裂

## b. 压气机的维护及安全注意事项

缺陷

腐蚀  
疲劳裂纹  
断裂

维护

作动机构的校装  
油门杆动作不要过急过猛  
喘振，收油门  
进气道以及停机坪外来物  
清点好工具  
孔探和发动机附件拆装时防异物进入

叶片转子叶尖处较为尖锐，拆换叶片做好保护措施，避免人员受伤。

### c 地面试车安全注意

1. 试车避免人员或工具设备进气道被吸入
2. 试车接近发动机人员应注意遵守的安全通道
3. 系上安全带
4. 佩戴防护耳罩
5. 地面人员与试车人员沟通

# 小结:

A faint, light-colored image of a commercial airplane is visible in the background, centered behind the table.

序号	思考题
1	压气机原理
2	速度三角形
3	喘振原理
4	压气机维护



**感谢聆听，欢迎指正**