



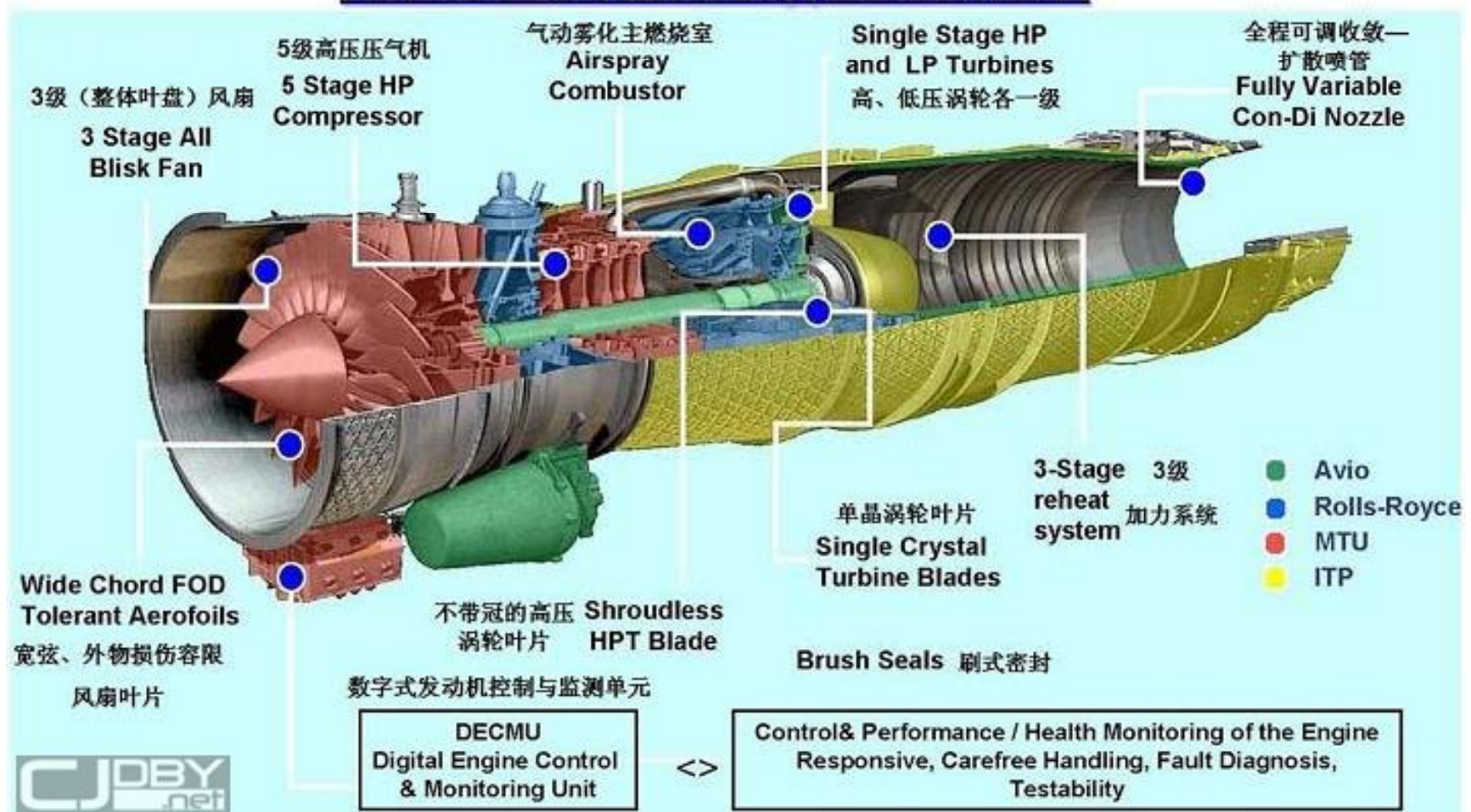
第四章 轴流式压气机工作原理

轴流式压气机主要用于燃气轮机和大型船用发动机增压器；

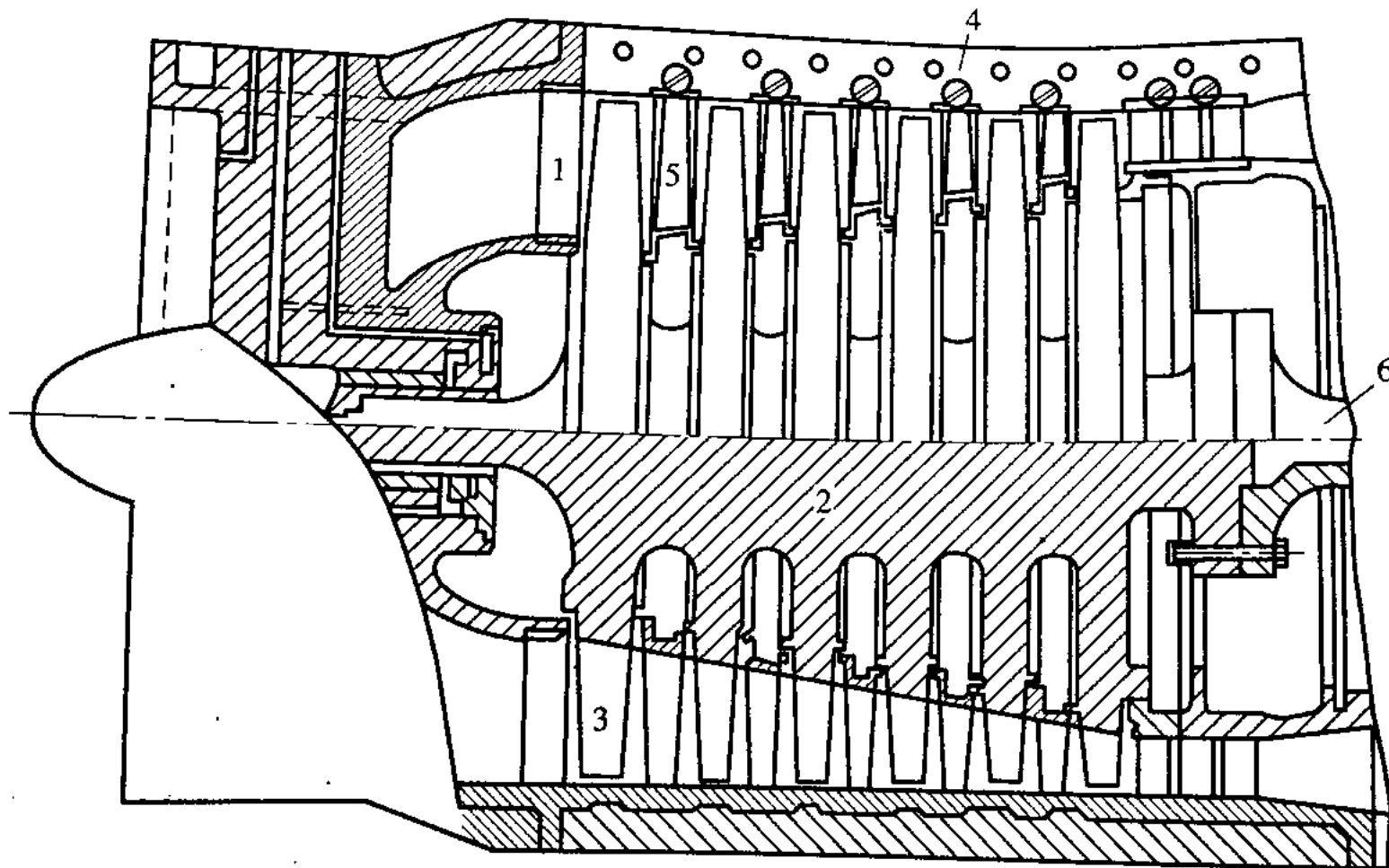
EUROJET

TECHNICAL PRESENTATION for ISABE 2005

EJ200 Technology Features

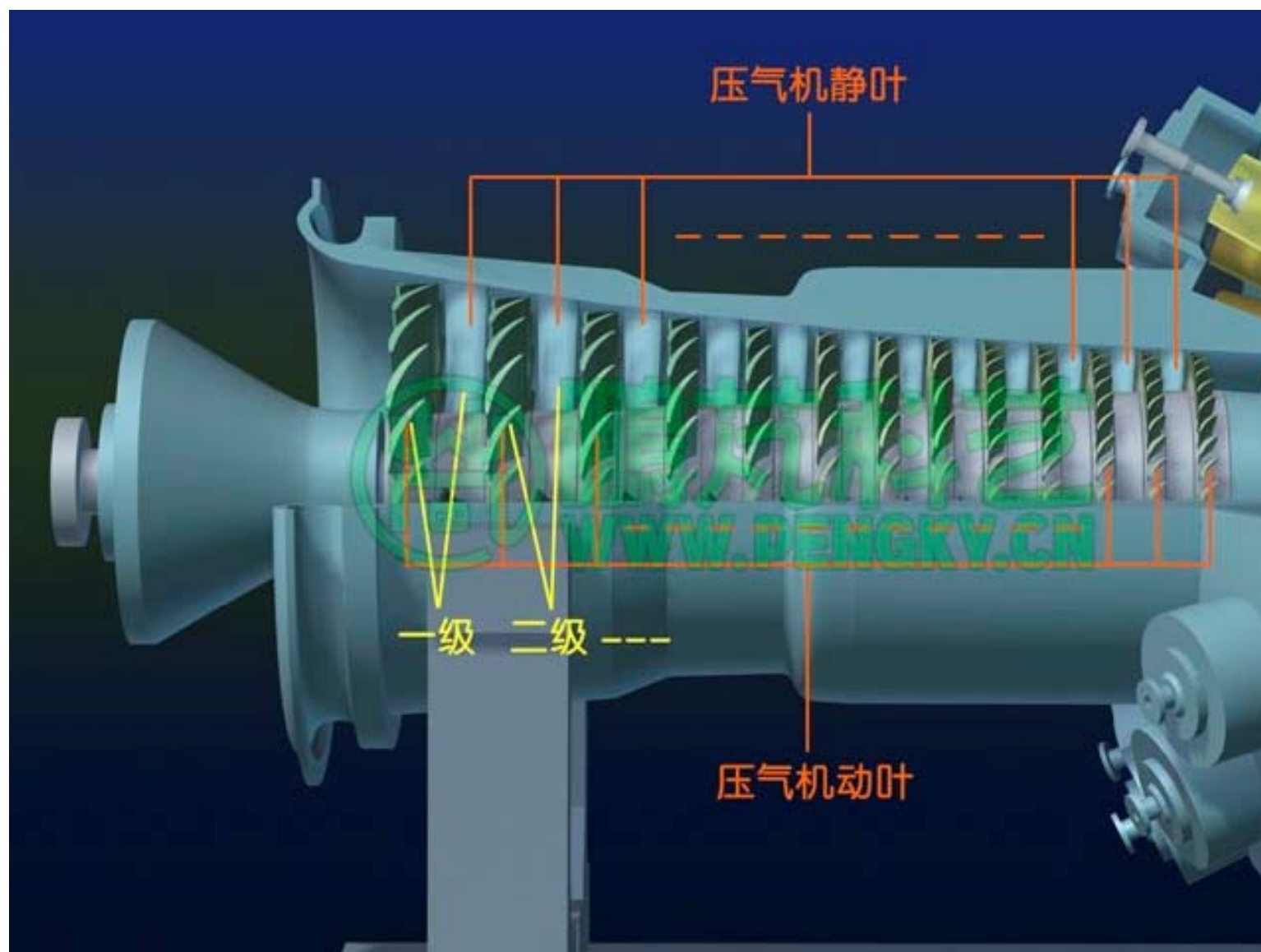


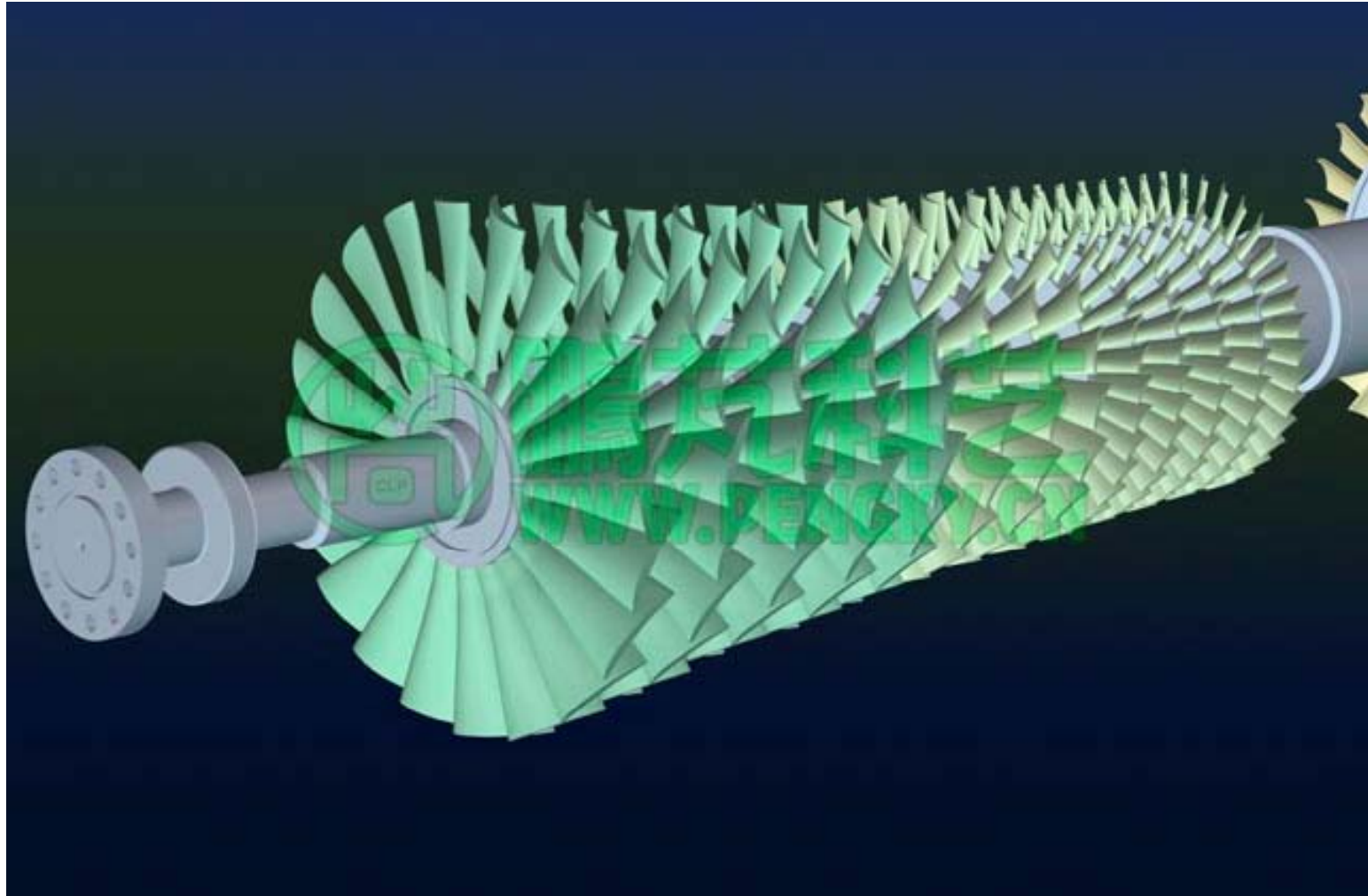
轴流机结构



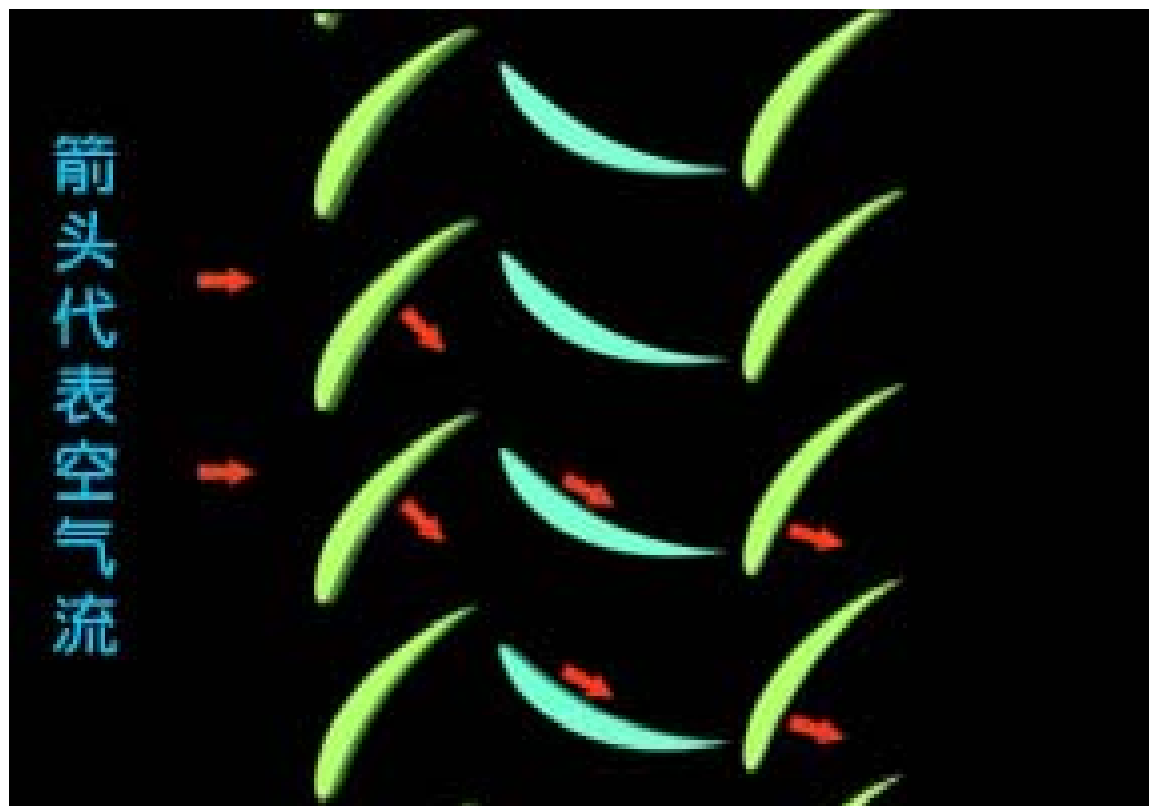
多级轴流式压气机剖面图

1-导向器 2-轮盘 3-工作叶片 4-机壳 5-整流叶片 6-转子轴



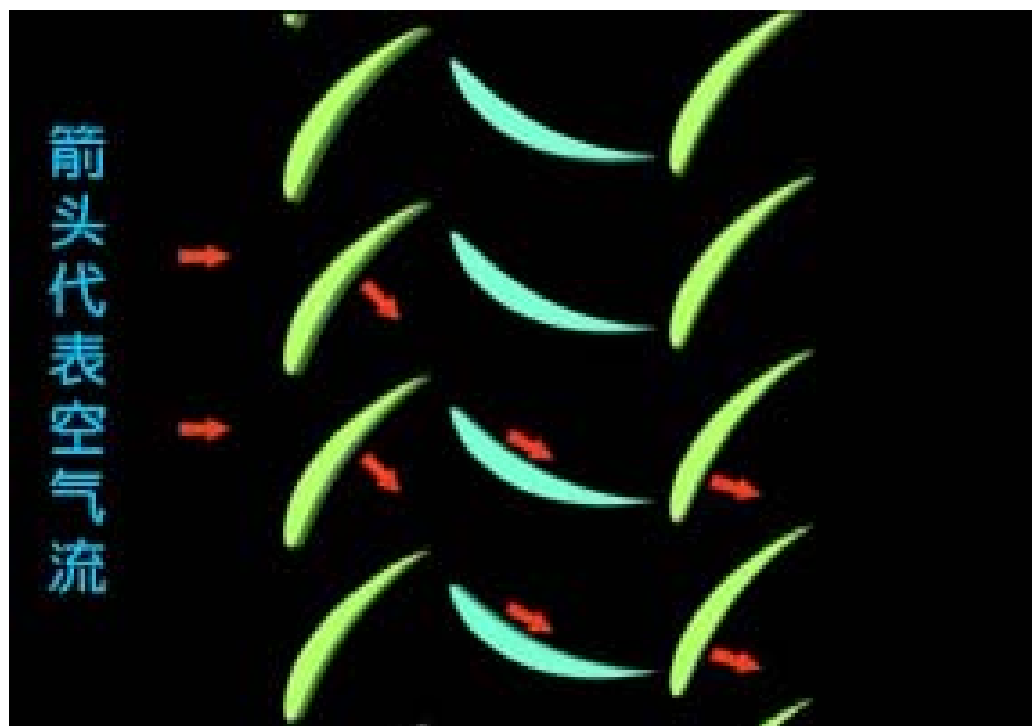


- 空气在轴流式压气机中的流动方向大致平行于工作轮轴；
- 结构上容易组织多级压缩，以每一级都较低的增压压力比获得较高的总增压压力比；每级压力比在1.15~1.35之间。



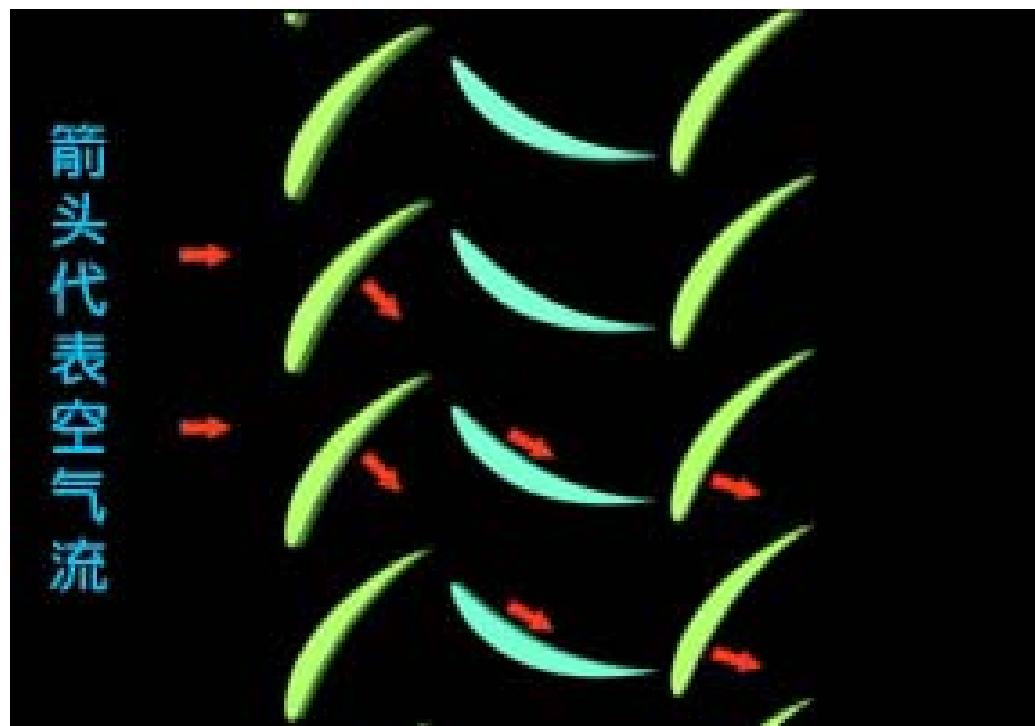
轴流压气机中气体流动动画

- 每级压力比较低，空气流经每级叶片通道时无需急剧改变方向，这样减少了流动损失，因而压气机效率较高。
- 特别是大流量时轴流式压气机较离心式压气机更容易获得较高的效率；

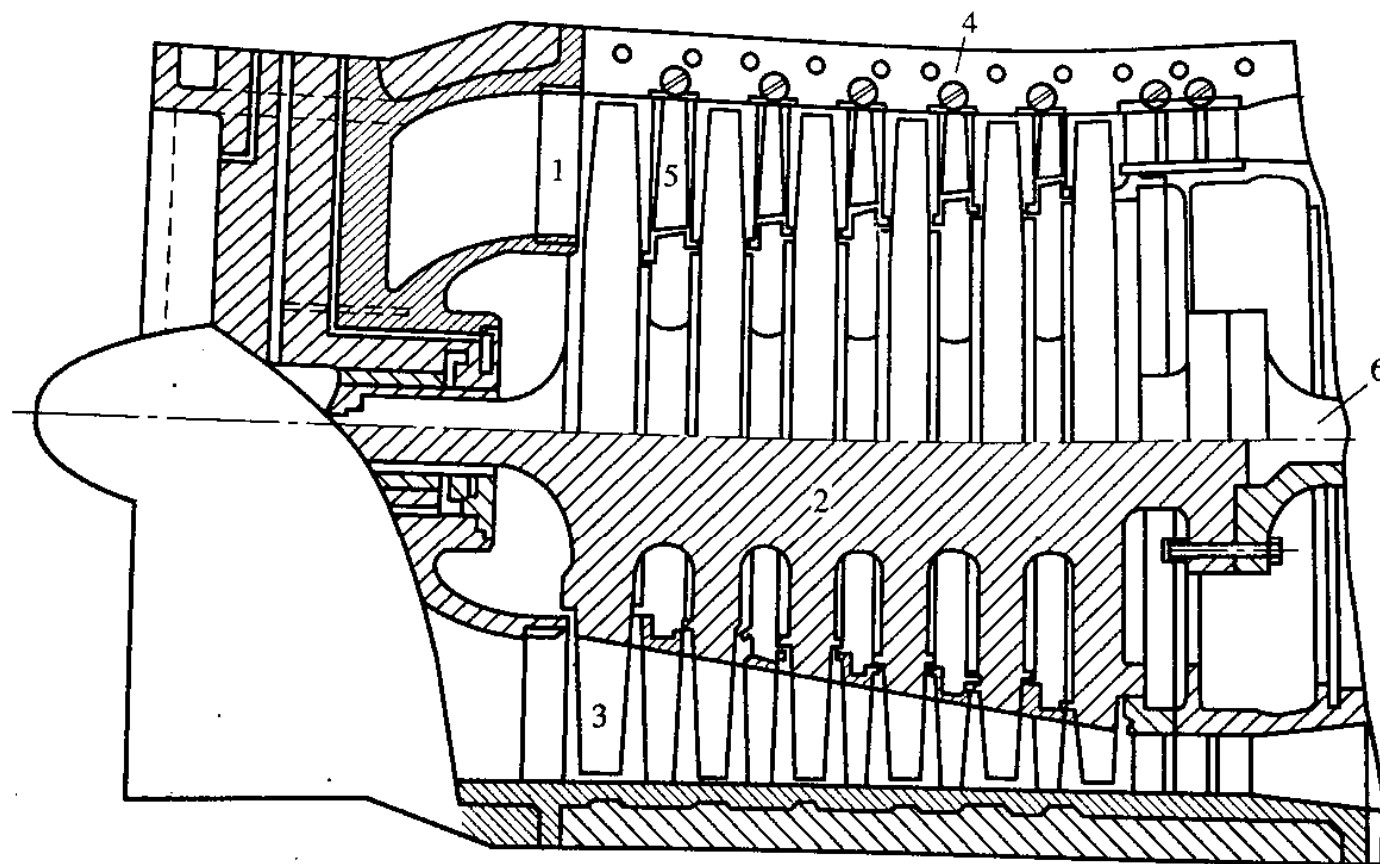


轴流压气机中气体流动动画

- 轴流式压气机效率一般在87%以上，而离心式压气机最高84~85%。
- 与离心式压气机相比，多级轴流式压气机具有流量大，效率高、迎风面积小等优点，在现代航空用燃气涡轮发动机中多采用轴流式压气机。

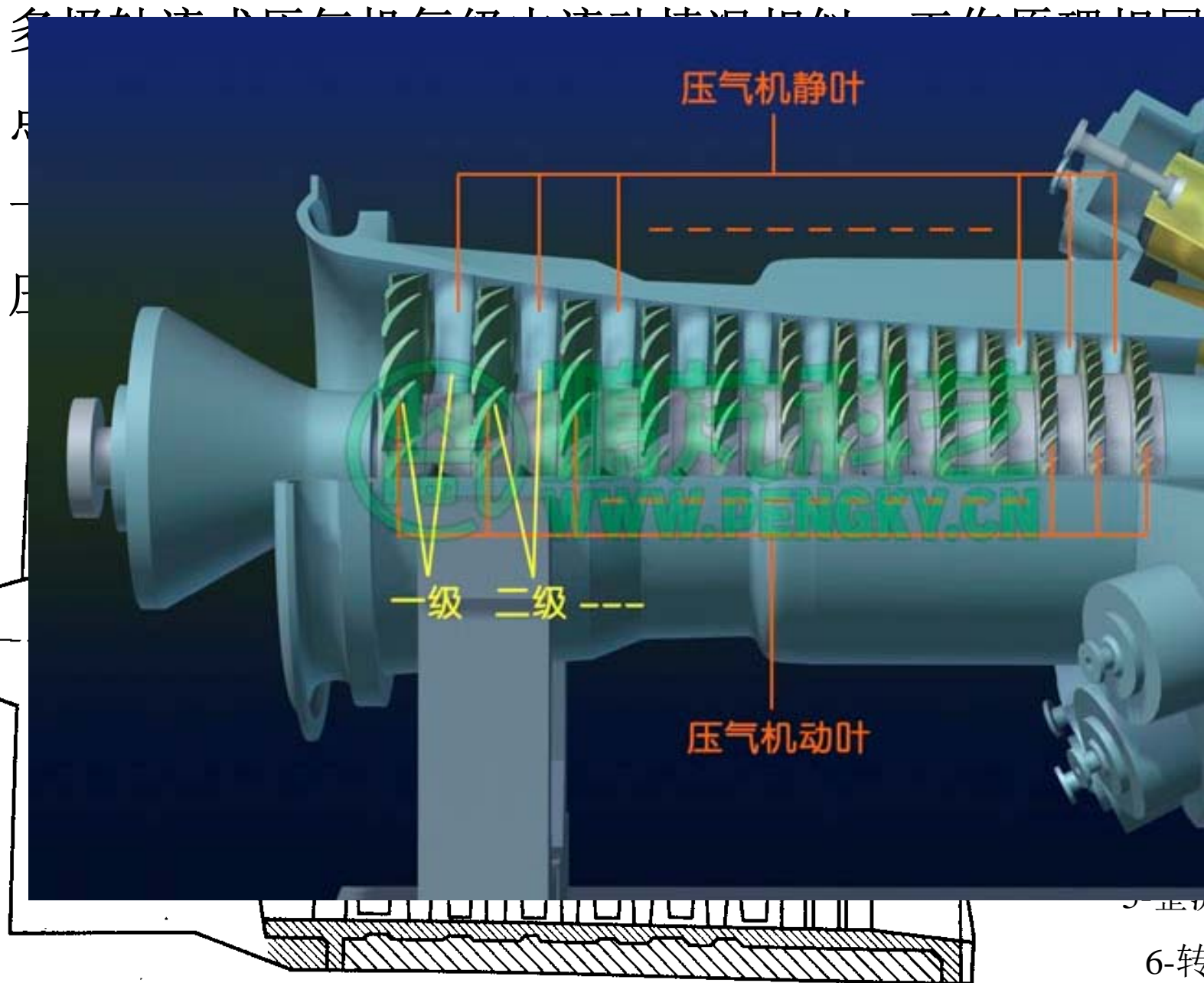
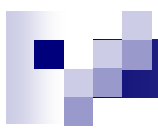


- 轴流式压气机通过**工作轮叶片**对空气做功，提高空气的**压力势能和动能**，然后再通过**整流器叶片**通道的扩压作用，使气体所具有的**动能进一步转化为压力能**，达到压缩空气的作用。



多级轴流式压气机
剖面图

- 1-导向器
- 2-轮盘
- 3-工作叶片
- 4-机壳
- 5-整流叶片
- 6-转子轴



的特

轴流

式压气机

面图

向器

轮盘

作叶片

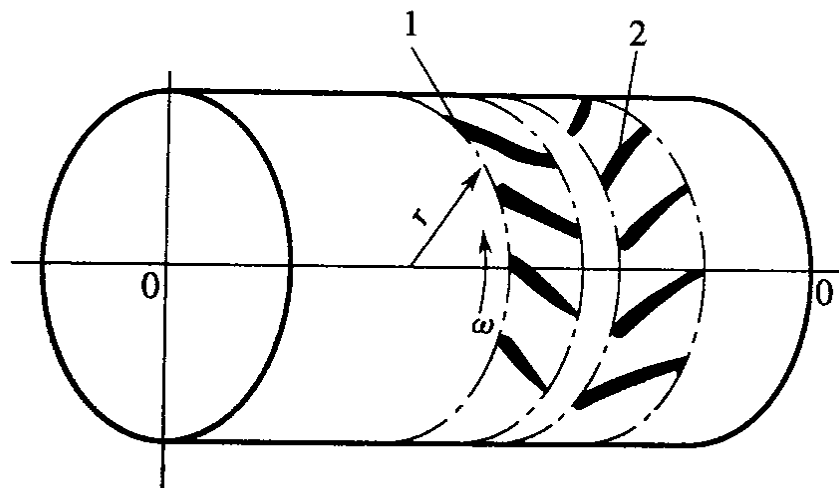
机壳

流叶片

6-转子轴

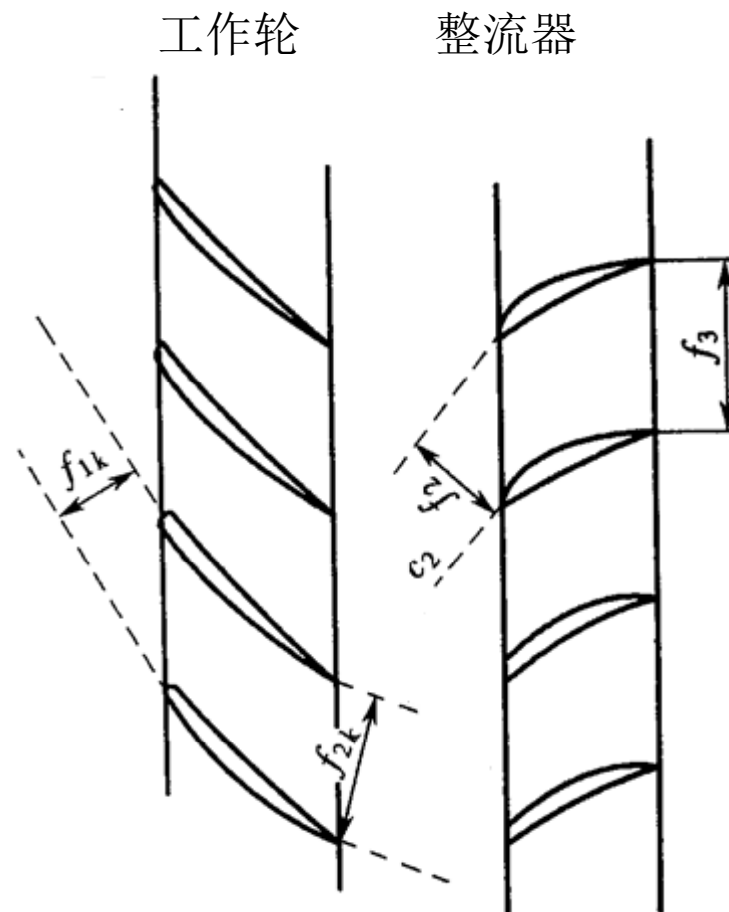
1. 环形叶栅和平面叶栅:

通道面积, 进出叶栅的相对速度



流道内某半径处的环形叶栅

1-工作轮叶栅 2-整流器叶栅



气流在平面叶栅中的流动

2. 基元级速度三角形:

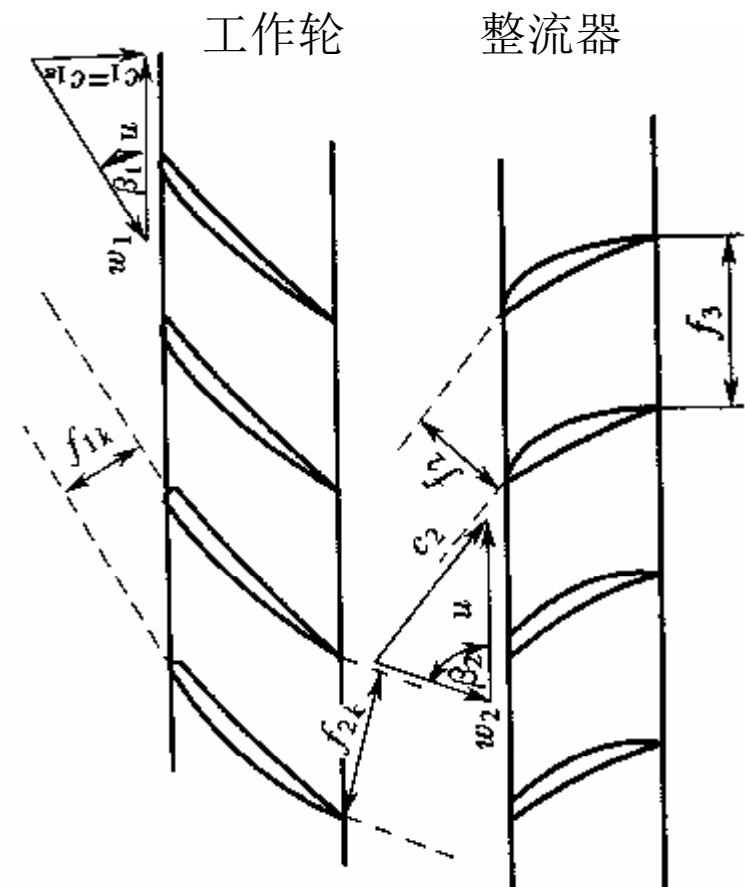
无论是工作轮还是整流轮, 通道都设计为扩压通道; 即叶片的出口截面积大于进口截面积。

基元级中气流速度的变化:

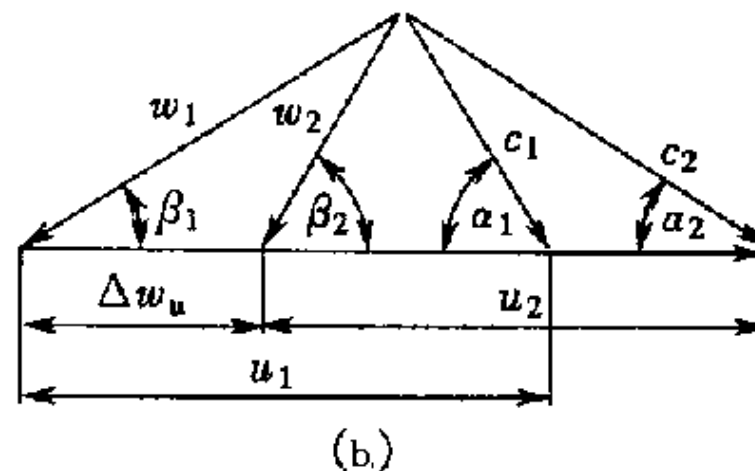
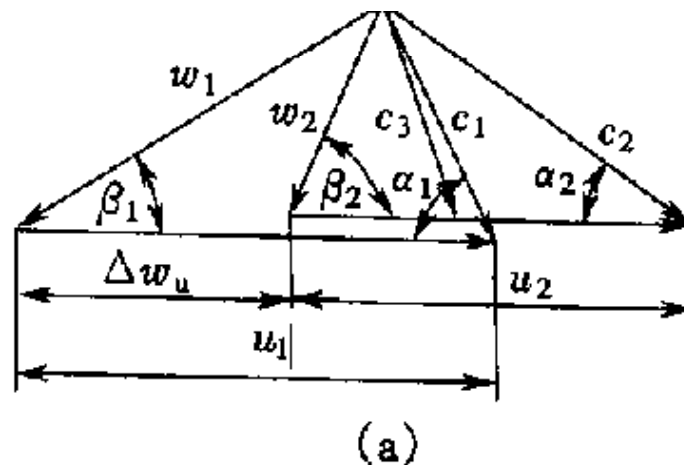
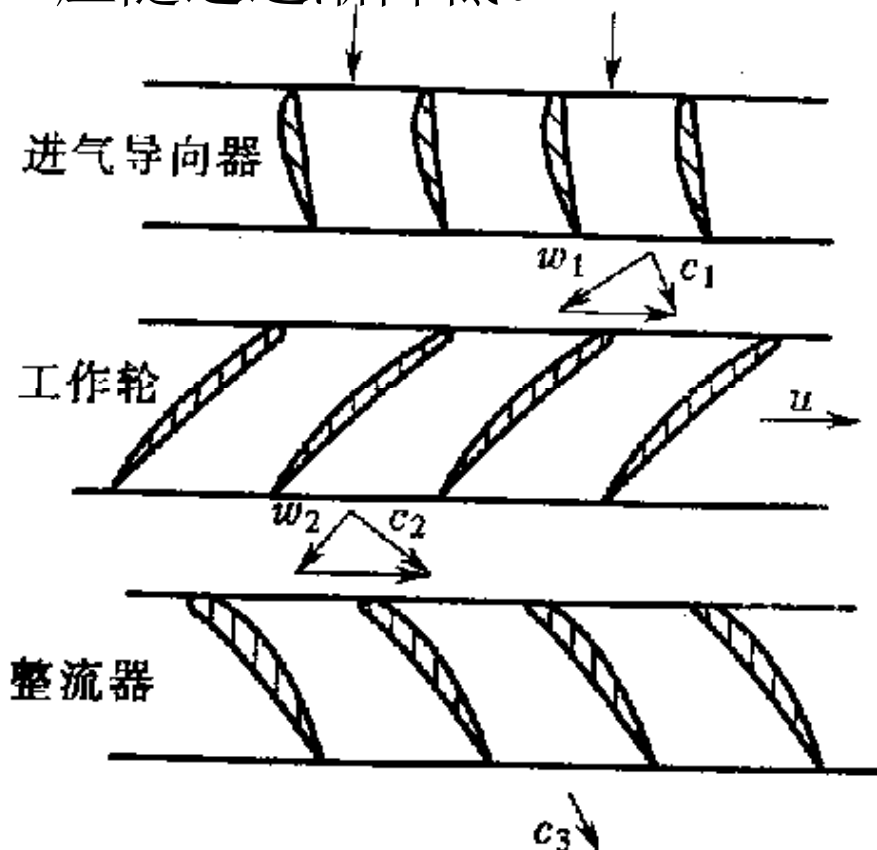
速度降低: $W_2 < W_1$, $C_3 < C_2$;

压力升高: $P_2 \gg P_1$, $P_3 > P_2$;

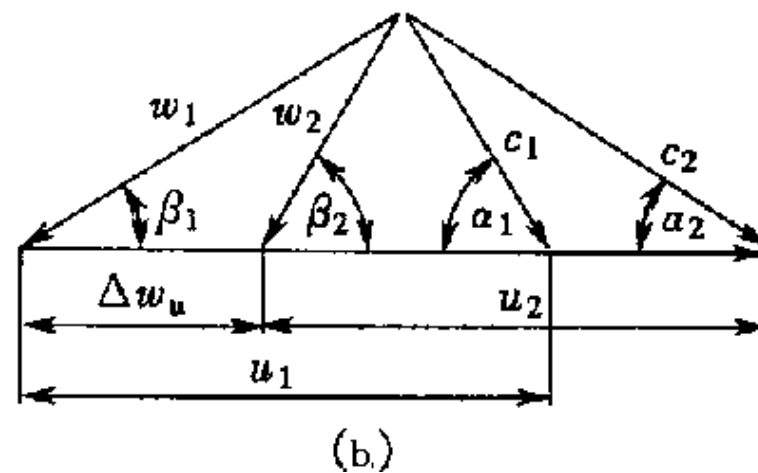
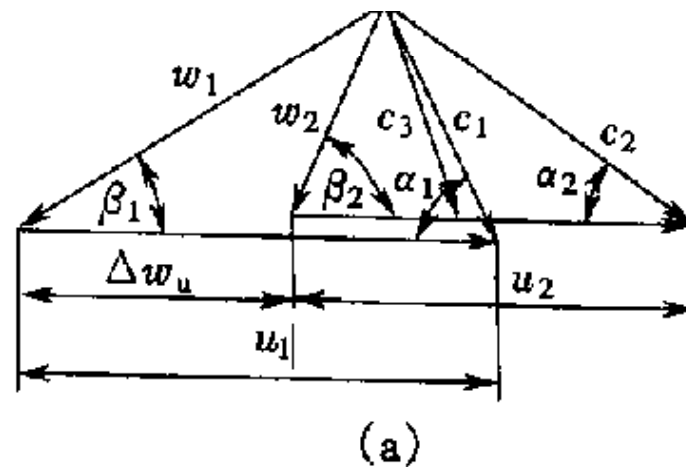
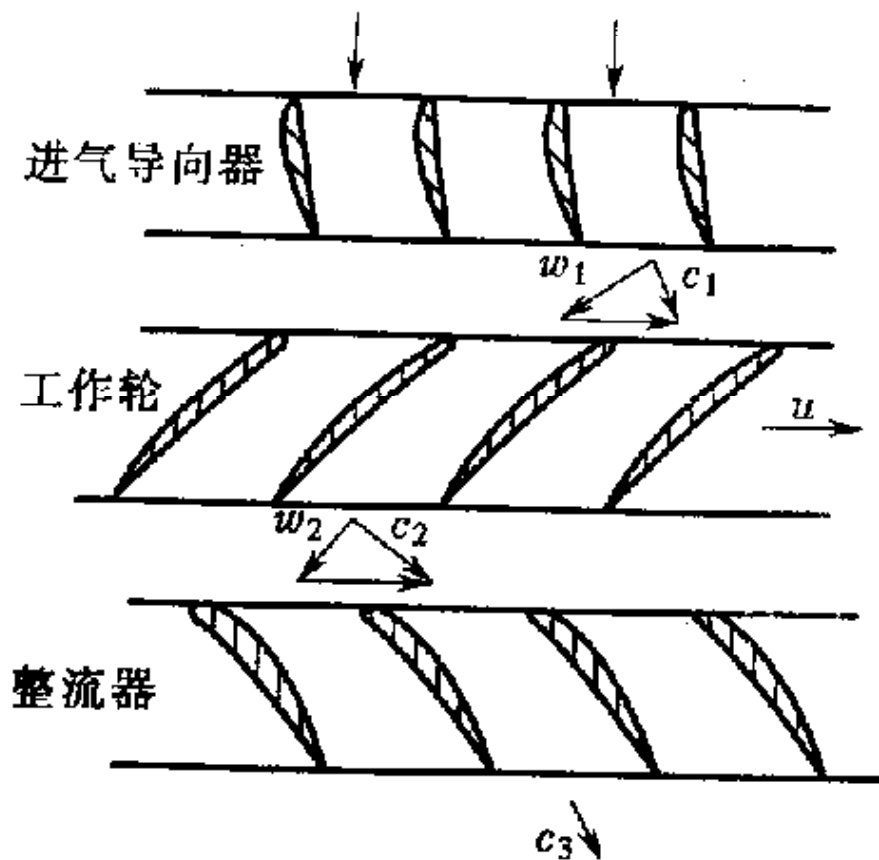
气体流过压气机工作轮与整流器后, 压力和密度相应增加;



- 由定常流连续方程可知：当整个压气机级的叶片高度相同时，由于密度增大，进、出口绝对速度的轴向分速 c_a 就会逐渐降低；
- 反之，若保持进出口轴向分速不变，则压气机级的叶片高度就应随之逐渐降低。

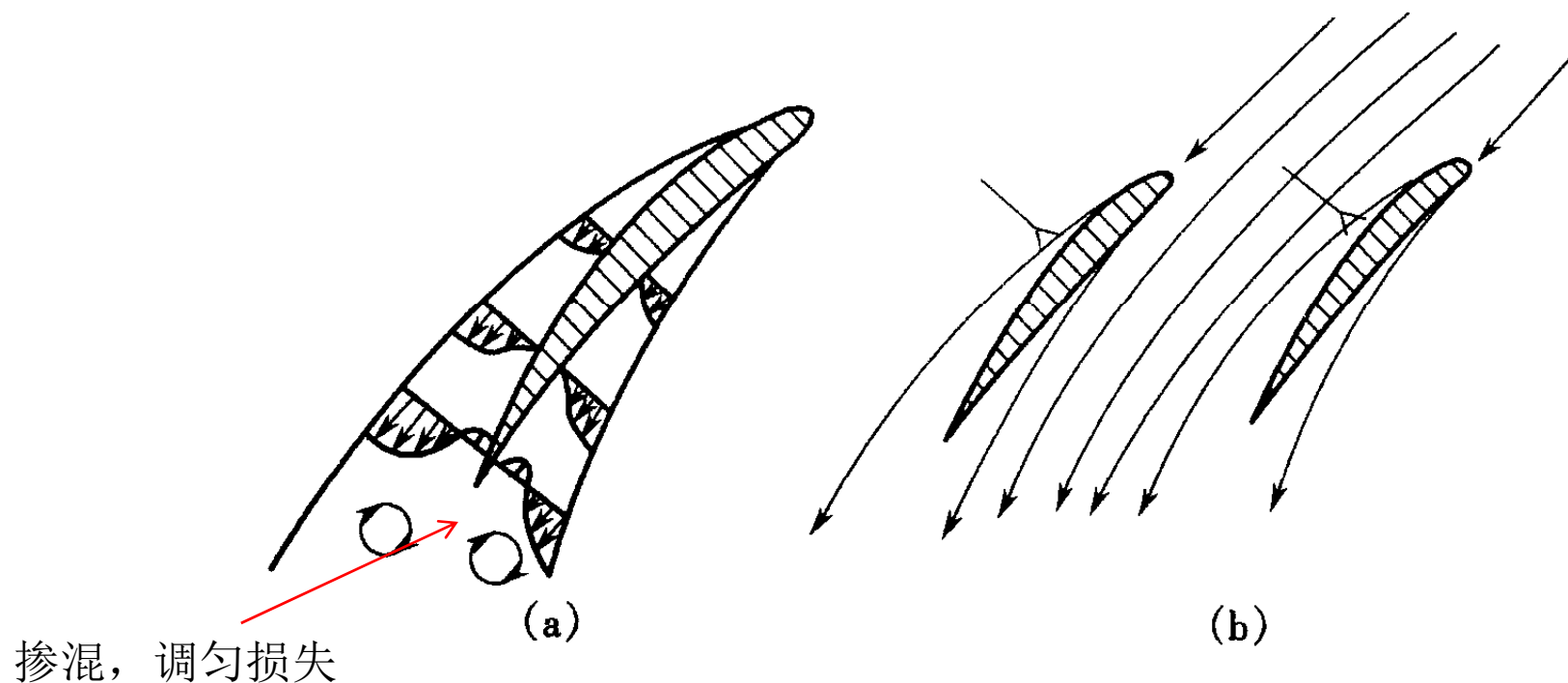


- 在实际轴流式压气机级的设计中多采用两者都变化的设计，即叶片高度由级的进口向出口递减，且轴向分速沿进口往出口方向而略有降低。



5. 气体在轴流式压气机中的流动与损失

气流流过叶片前缘时分为两股：分别流向叶背和叶腹；由于叶背和叶腹型线不同所以两股气流的速度也不同，叶背气流速度高，局部可达超声速，叶腹气流速度低。



平面叶栅中的叶型损失（调匀损失+激波损失）

(a) 叶型腹面与背面附面层情况 (b) 叶栅通道的激波

气流流过叶片时除平面叶栅的损失外，还有以下损失：

(1) 摩擦损失

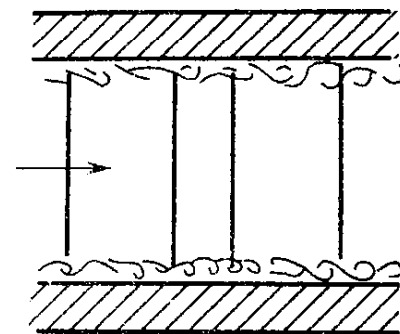
(2) 机械功损失；

叶片径向存在间隙，间隙存在轴向回流；

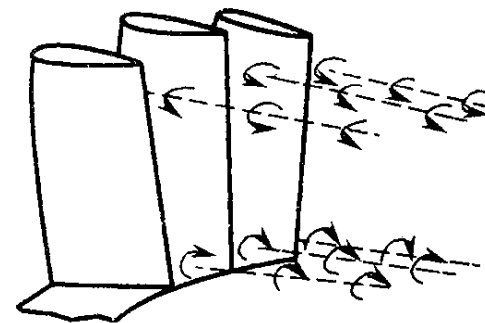
叶片的叶腹压力大于叶背压力，使得间隙中，存在同一叶片叶腹流向叶背的周向潜流。

(3) 二次流损失

由顶部潜流导致的底部补充回流



(a)



(b)

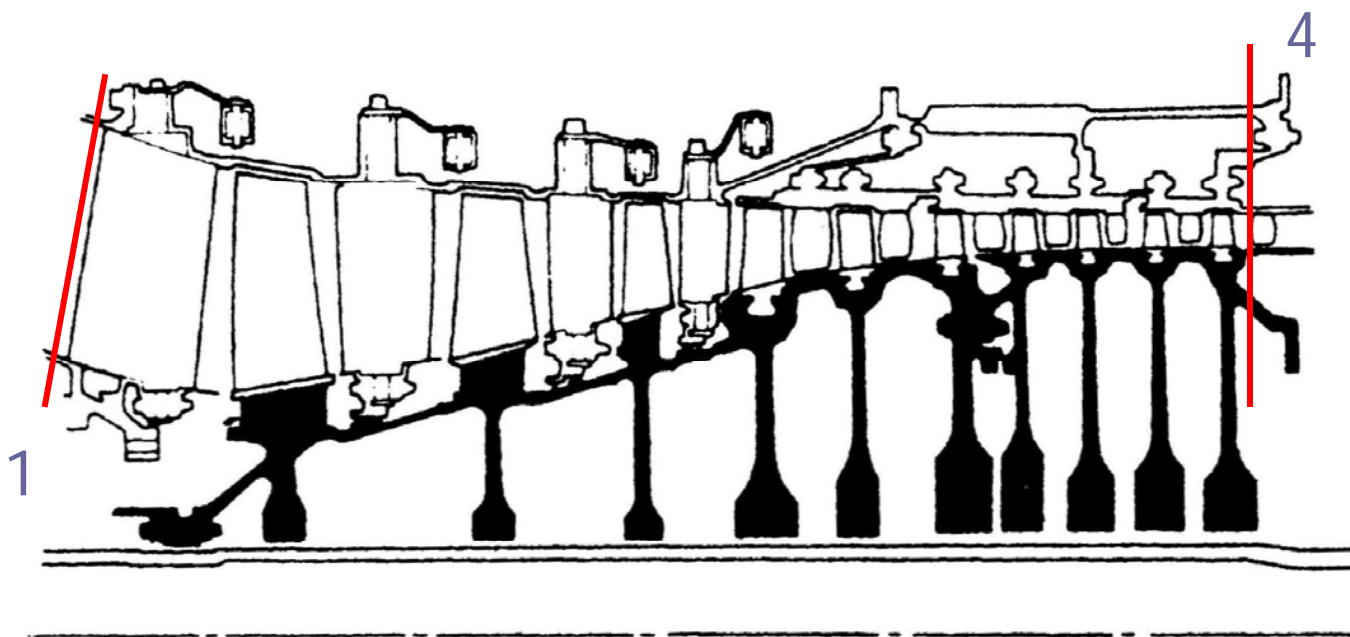
叶片通道内流动损失情况示意图

(a) 径向间隙中的流动情况；

(b) 端部的二次流情况

一、性能参数

1、压比



压气机的增压比定义：

$$\pi = \frac{p_4^*}{p_1^*}$$

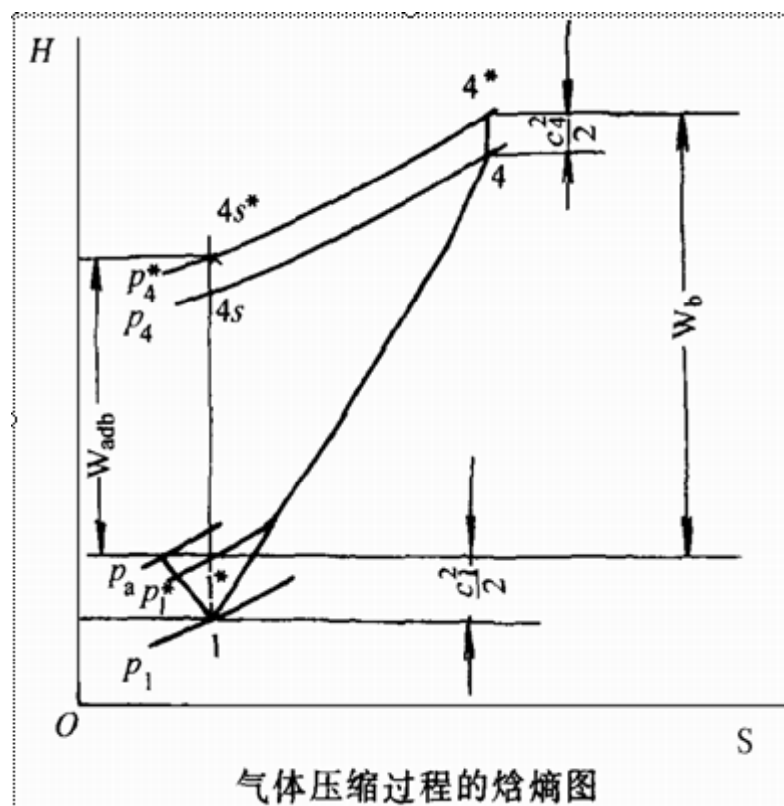


$$\eta = \frac{L_{uadb}}{L_u}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{h_{4adb}^* - h_1^*}{h_4^* - h_1^*} = \frac{C_p (T_{4adb}^* - T_1^*)}{C_p (T_4^* - T_1^*)}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{T_1^* (T_{4adb}^* / T_1^* - 1)}{(T_4^* - T_1^*)}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{T_1^* (\pi^{\frac{k-1}{k}} - 1)}{(T_4^* - T_1^*)}$$



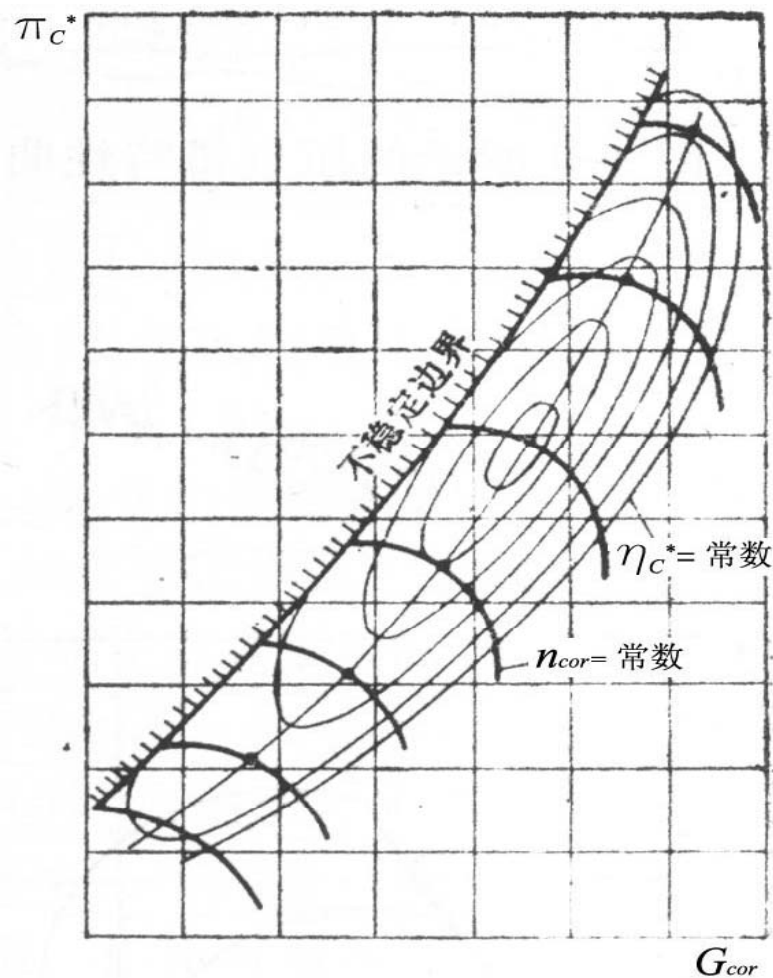
二、特性曲线

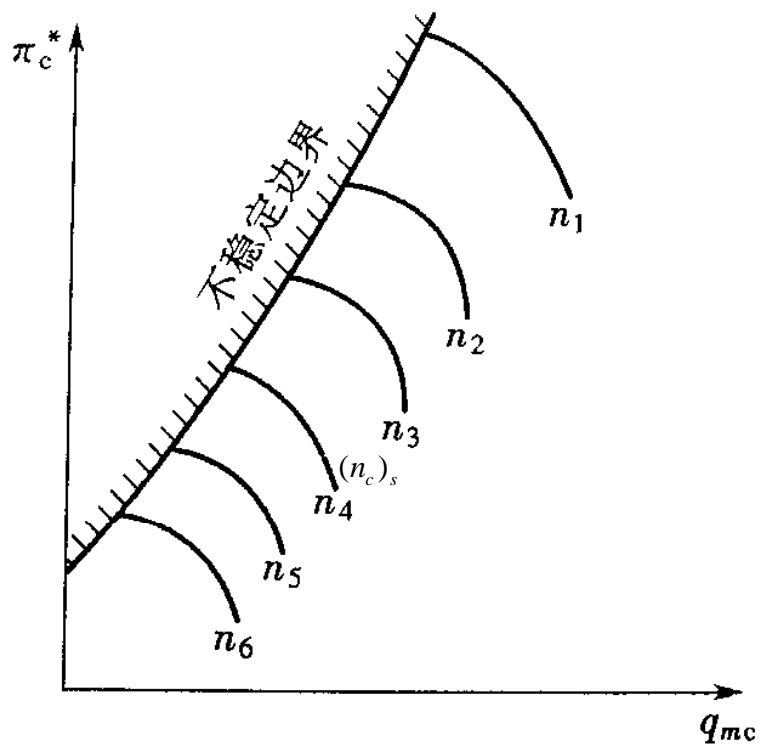
- 自变量——流量
- 参变量——转速
- 因变量——压比、效率

◆ 等效率线

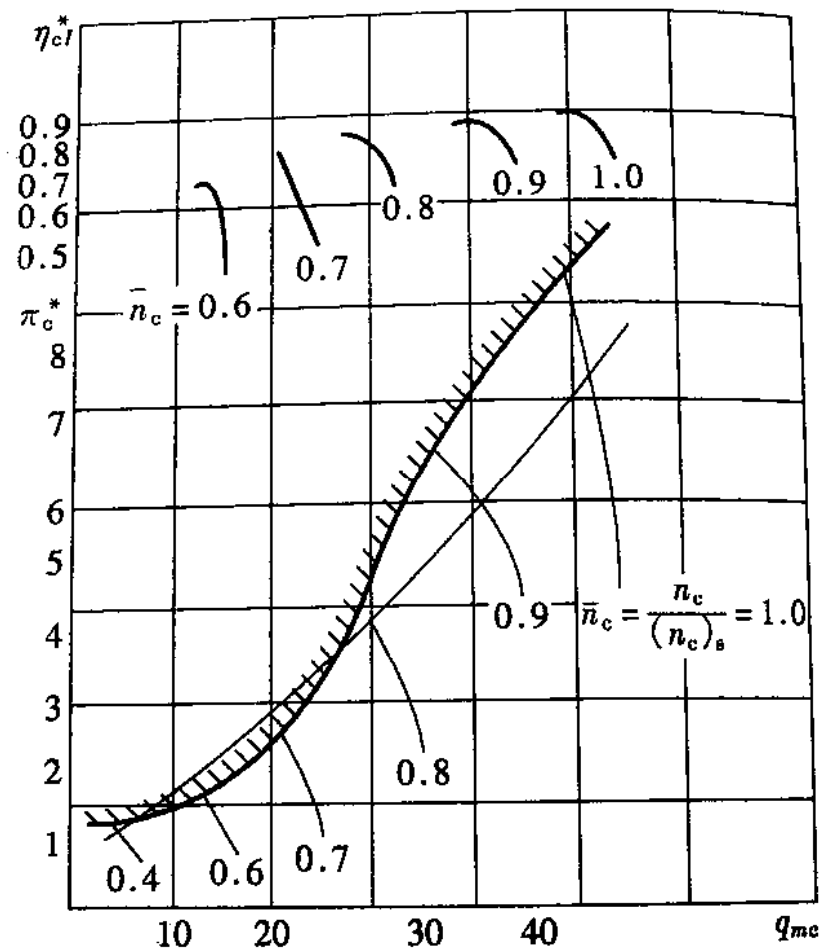
◆ 堵塞线

◆ 喘振线





单级轴流式压气机特性曲线



多级轴流式压气机特性曲线

\bar{n}_c —— 压气机相对转速

—— 压气机设计状态的转速

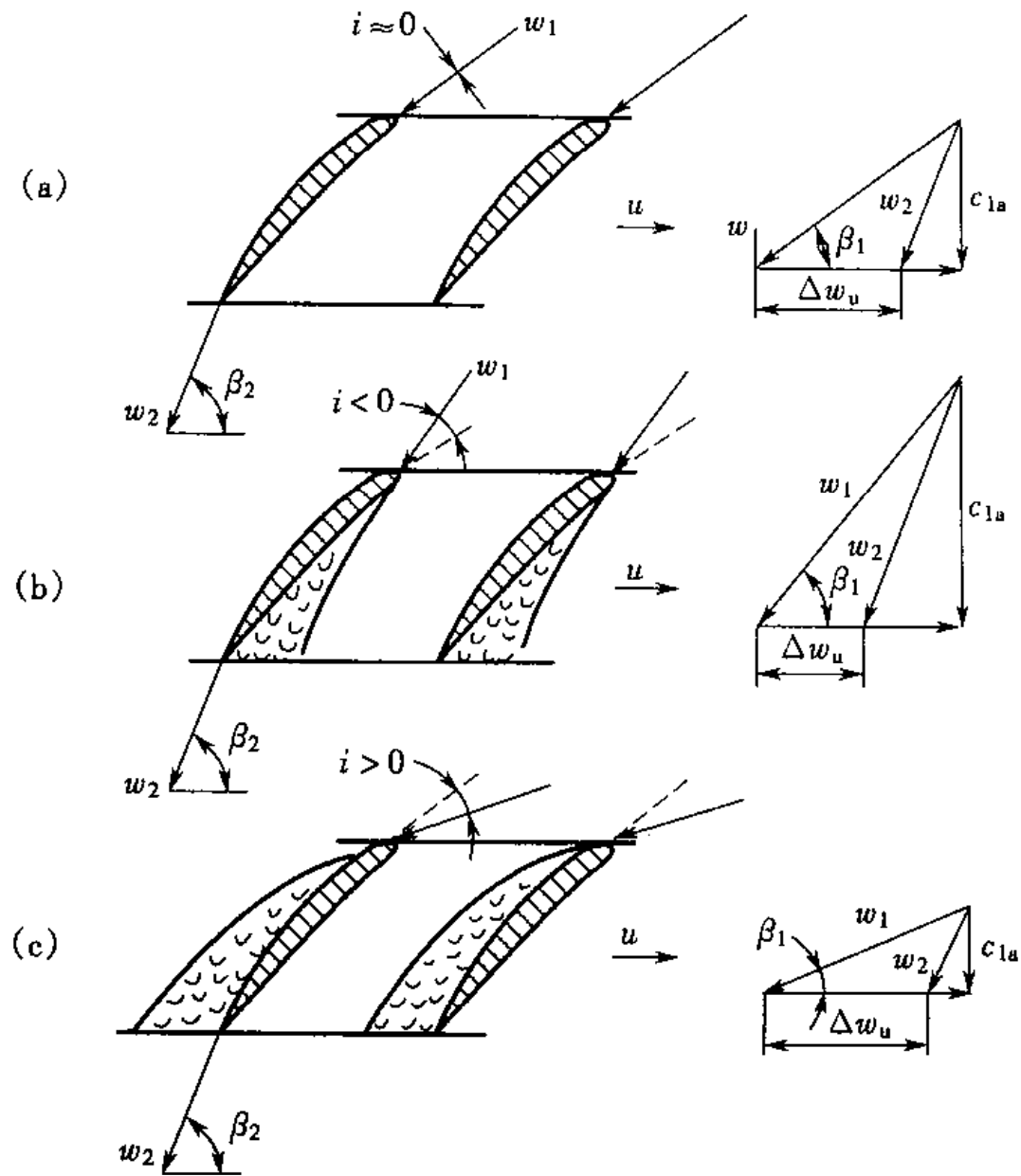


轴流式压气机的特性曲线的特点：

随空气流量增加，增压压力比与效率比单极下降得更剧烈，特别是在高转速下，特性曲线尤为陡峭。

即多级轴流式压气机的工作范围较单级的工作范围都狭窄。

因此，轴流式压气机不能适应在转速不变而空气流量变化较大的情况下工作，即轴流式压气机变工况能力差。



轴流式压气机在转速不变时，流量变化对速度三角形的影响
 (a) 设计工况时 (b) 流量增加时， $c_{1a} > c_{1a}''$ (c) 流量减小时， $c_{1a} > c_{1a} > c_{1a}''$

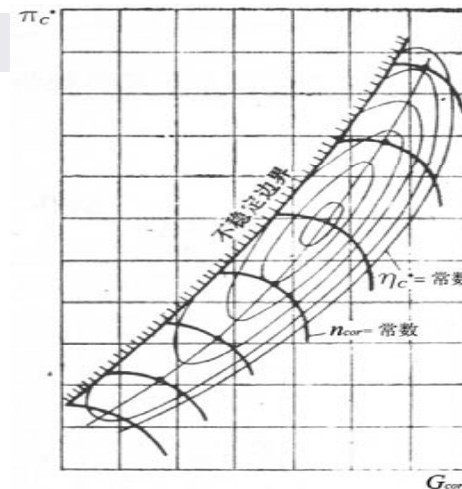
三、通用特性曲线

$$L_u = u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}$$

$$L_u = C_p T_1^* \left(\frac{T_2^*}{T_1^*} - 1 \right) = C_p T_1^* \left(\pi^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) / \eta$$

$$\dot{m} = K \frac{P_1^*}{\sqrt{T_1^*}} q(\lambda_1) \sin \alpha A_1$$

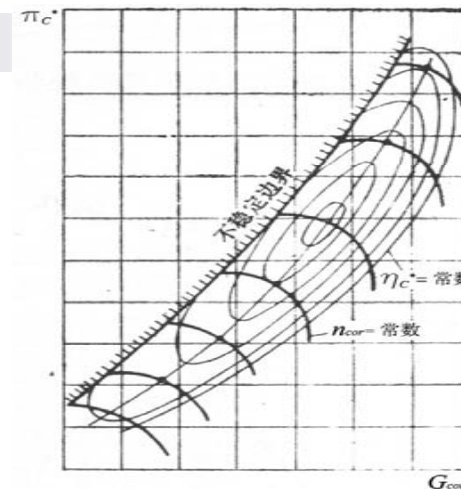
➤流量、压比等受环境因素的影响，如何才能使获得的性能特性曲线，在任何环境下都能使用？



$$L_u = u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}$$

$$L_u = C_p T_1^* \left(\pi^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)$$

$$\dot{m} = K \frac{P_1^*}{\sqrt{T_1^*}} q(\lambda_1) \sin \alpha A_1$$



$$\frac{n}{\sqrt{T_1^*}} = \frac{n_{cor}}{\sqrt{298K}} \quad \longrightarrow \quad n_{cor} = n \sqrt{\frac{298K}{T_1^*}}$$

$$\frac{\dot{m} \sqrt{T_1^*}}{P_1^*} = \frac{\dot{m}_{cor} \sqrt{298K}}{100kPa} \quad \longrightarrow \quad \dot{m}_{cor} = \dot{m} \sqrt{\frac{T_1^*}{298K}} \frac{100kPa}{P_1^*}$$

T_1^*, P_1^* 是环境温度和压强

➤ 折合流量、折合转速，消除了环境因素的影响

➤ 将真实流量换成折合流量，真实转速换成折合转速，得到通用特性曲线。