



青岛大学
QINGDAO UNIVERSITY

汽轮机原理

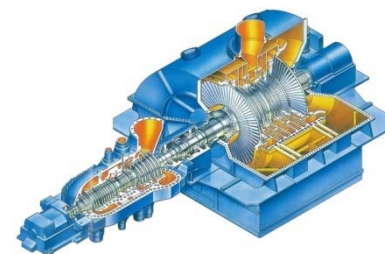
第一章 汽轮机级的工作原理

主讲教师：姜华伟

Tel: 15866823599

Email: jianghwwh@163.com

青岛大学热能与动力工程系



第一节 概述

第二节 汽轮机级的工作过程

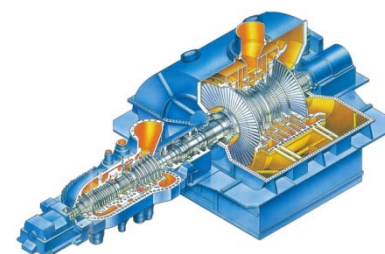
第三节 级的轮周效率与最佳速度比

第四节 级通流部分主要尺寸的确定

第五节 汽轮机级内损失和级效率

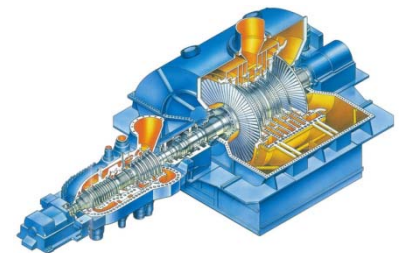
第六节 汽轮机级的热力计算示例

第七节 长叶片级



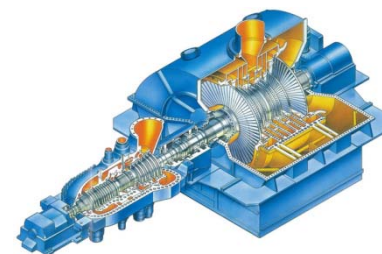
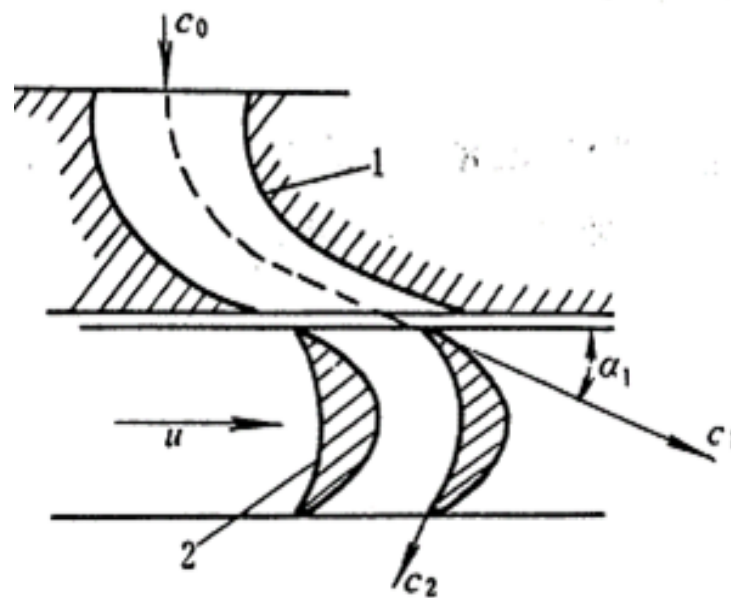
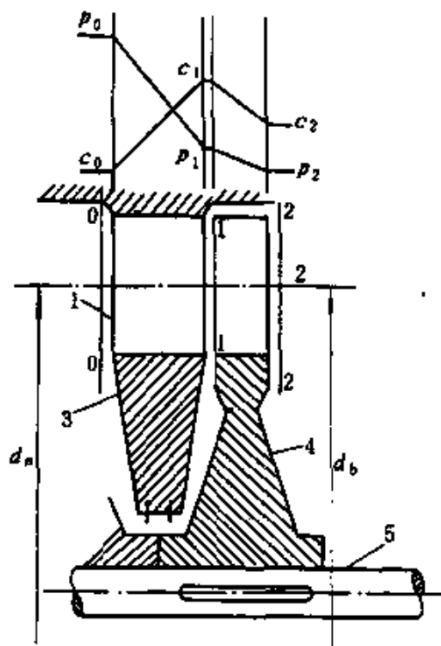
第一节 概述

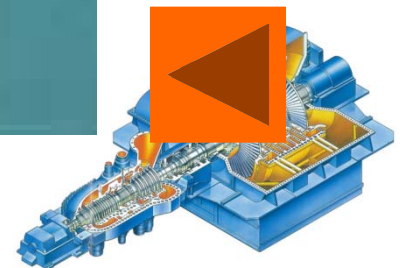
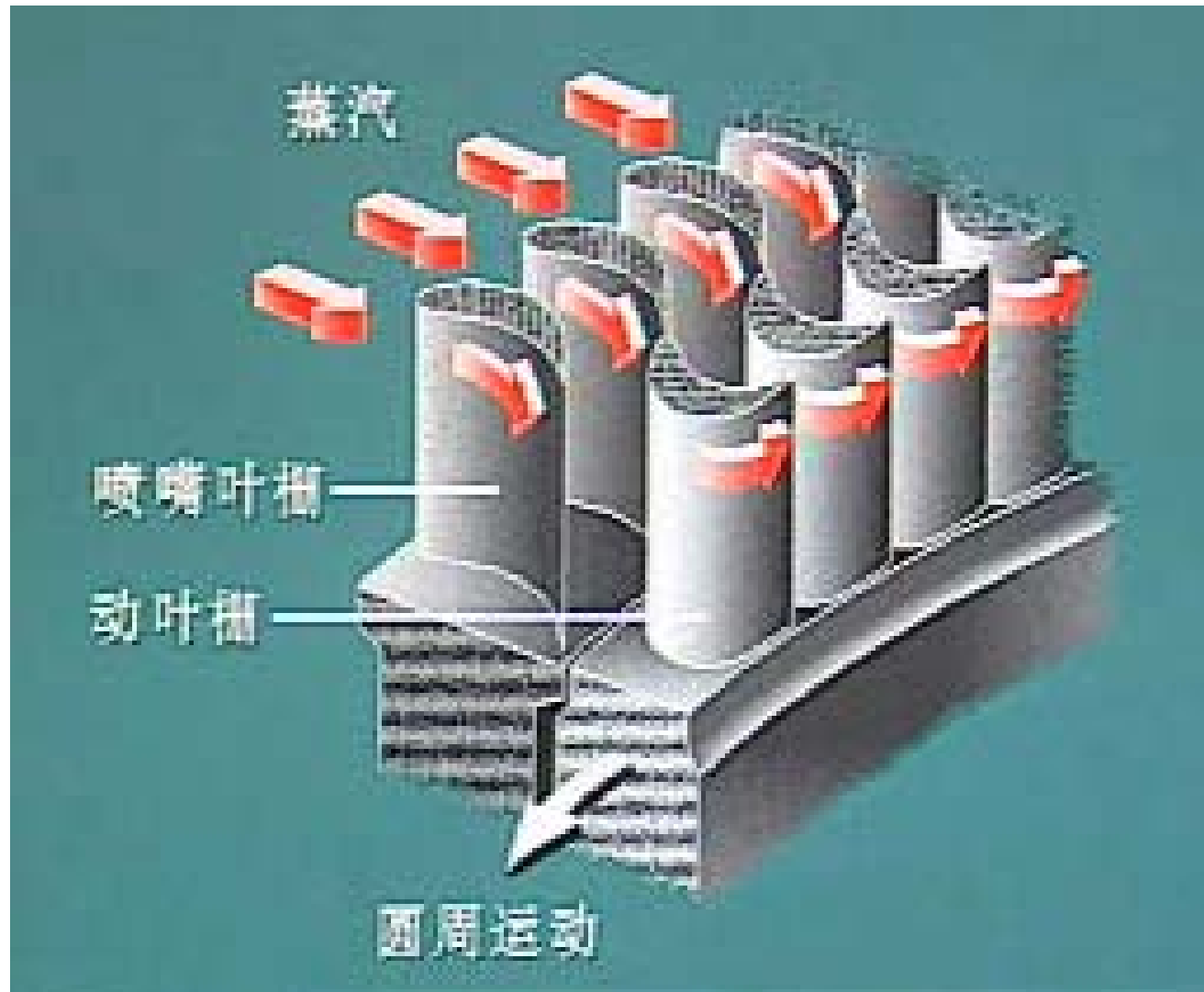
- 一、汽轮机级的概念、级内能量转换过程
- 二、蒸汽的冲动原理和反动原理
- 三、级的反动度
- 四、汽轮机级的类型
- 五、级的工作过程的研究方法



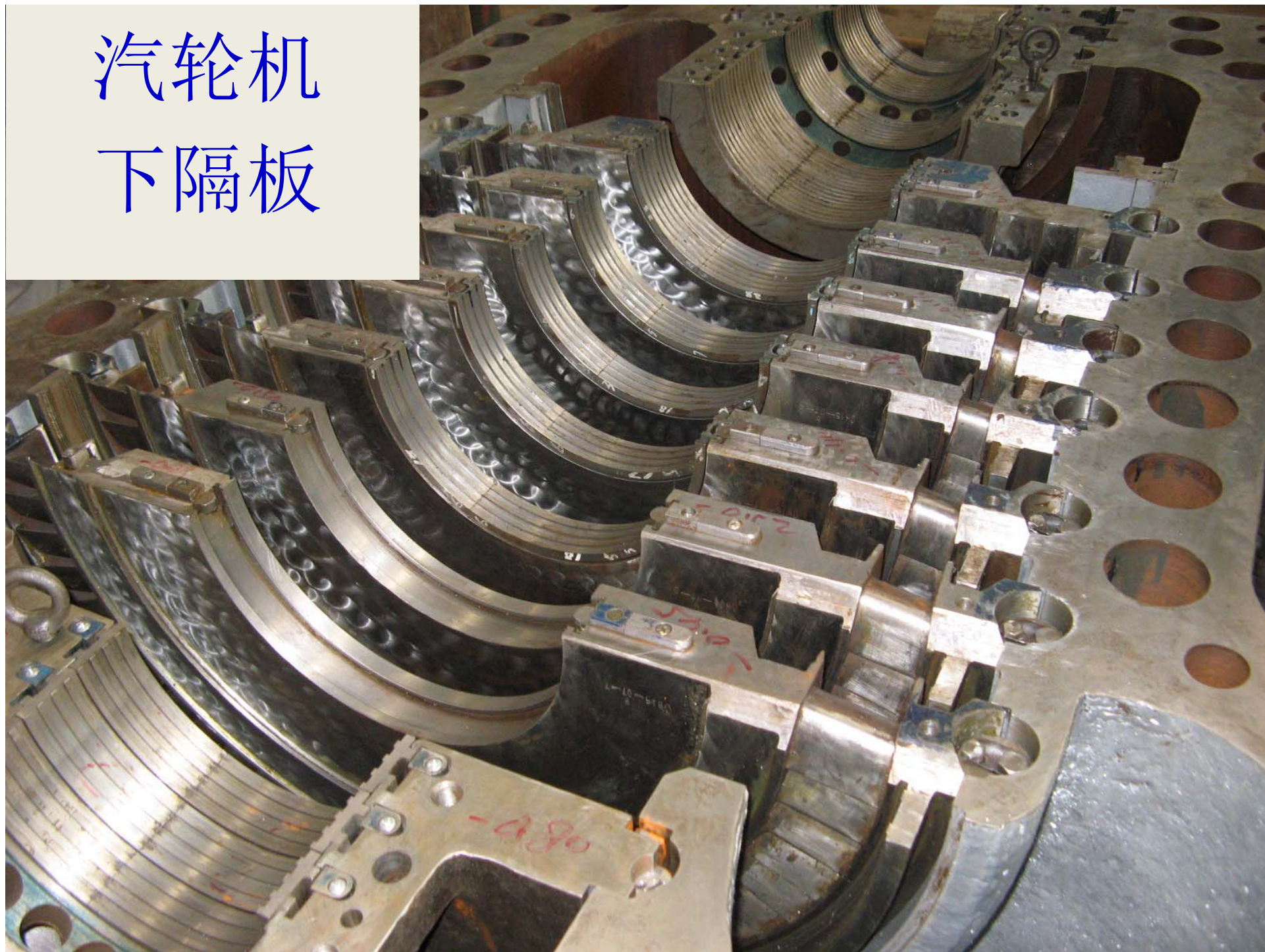
一、汽轮机的级、级内能量转换过程

汽轮机的级：由喷管叶栅和与之相配合的动叶栅组成，是汽轮机作功的基本单元。



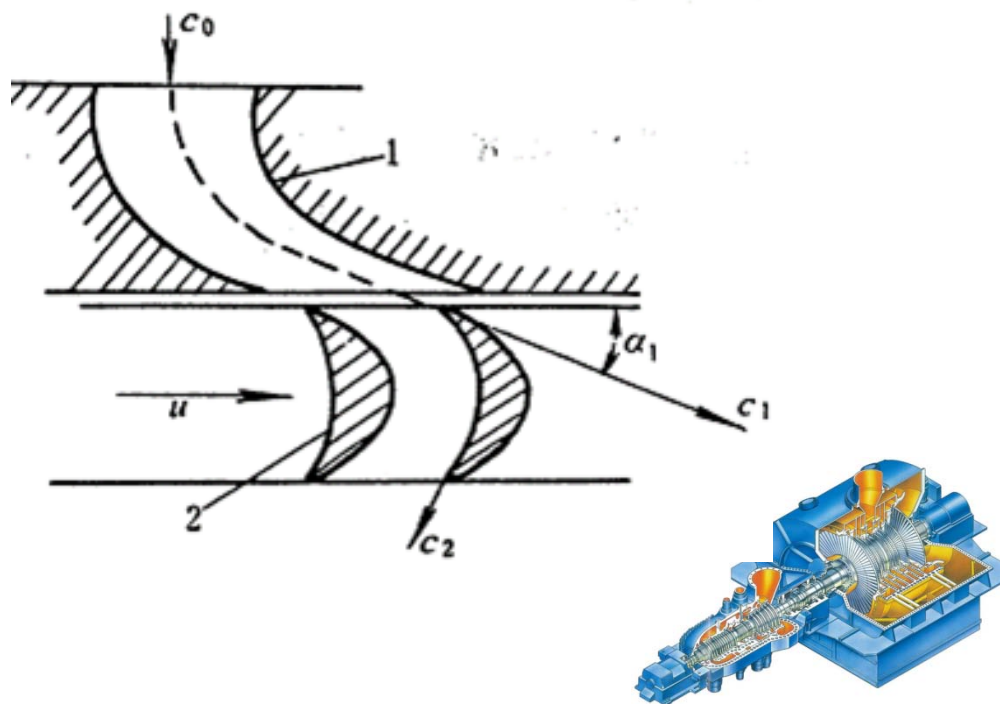


汽轮机 下隔板



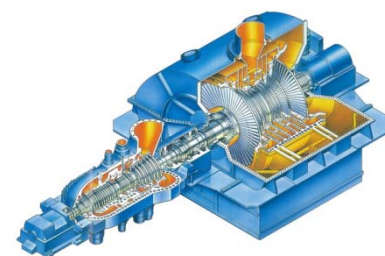
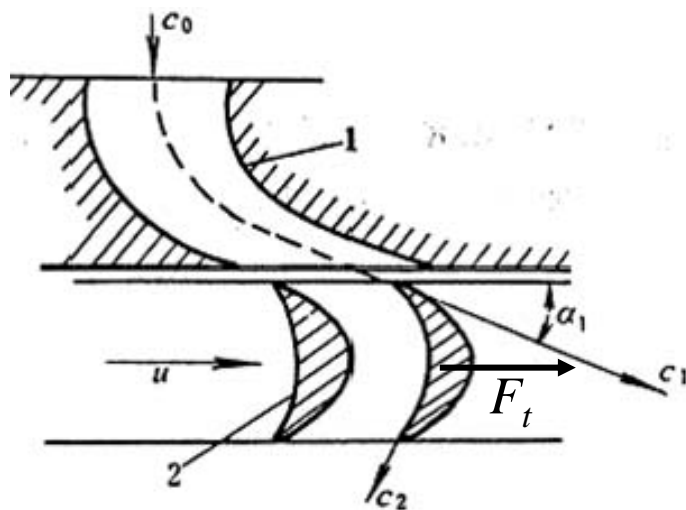
级内能量转换过程：

具有一定压力、温度的蒸汽通过汽轮机的级时，首先在静叶栅通道中得到膨胀加速，将蒸汽的热能转化为高速汽流的动能，然后进入动叶通道，在其中改变方向或者既改变方向同时又膨胀加速，推动叶轮旋转，将高速汽流的动能转变为旋转机械能。

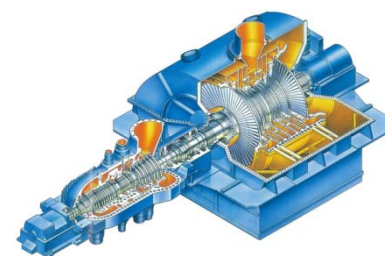
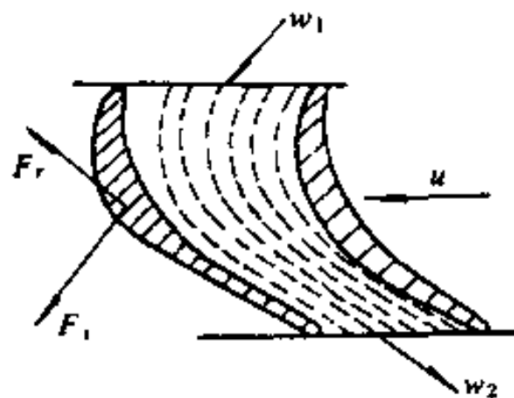


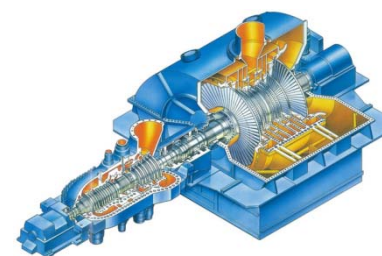
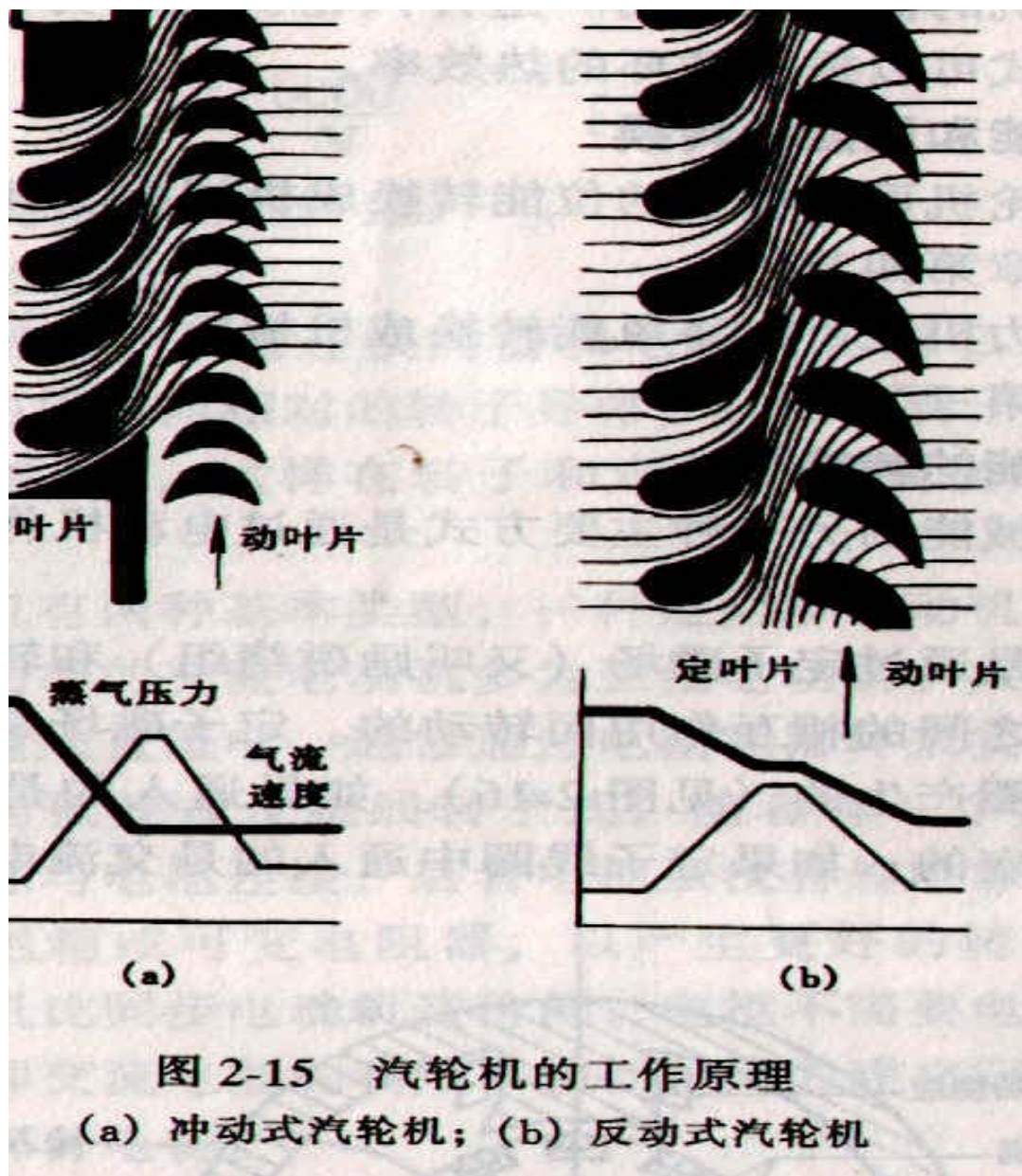
二、蒸汽的冲动原理与反动原理

1. 冲动级： 汽流在动叶汽道内不膨胀加速，而只随汽道形状改变其流动方向；汽流改变流动方向对汽道所产生的离心力，叫**冲动力**。这时蒸汽所做的机械功等于它在动叶栅中动能的变化量，这种级叫做**冲动级**。



2.反动级：蒸汽在动叶汽道内随汽道改变流动方向的同时仍继续膨胀、加速，加速的汽流流出汽道时，对动叶栅将施加一个与汽流流出方向相反的反作用力，这个作用力叫**反动力**。蒸汽通过这种级，两种力同时作功，通常称这种级为**反动级**。





三、级的反动度

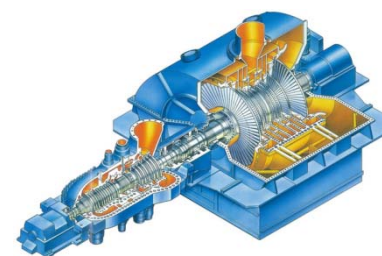
汽轮机级中反动力所占比例，即蒸汽在动叶中膨胀程度的大小，常用级的反动度表示：

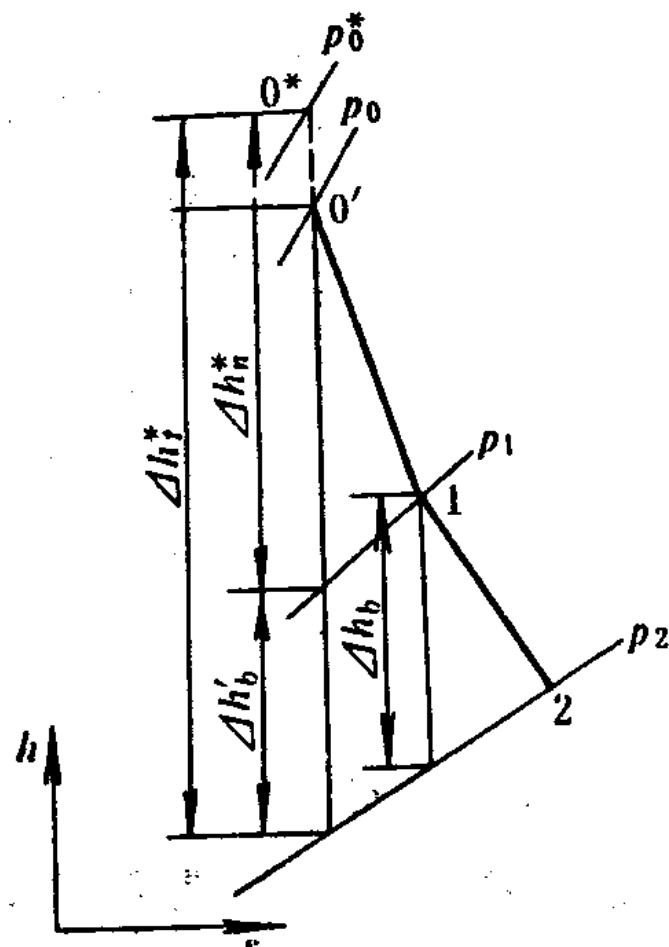
蒸汽在动叶栅中膨胀时的理想比焓降和整个级的滞止理想比焓降之比

$$\Omega_m = \frac{\Delta h_b}{\Delta h_t^*} \approx \frac{\Delta h_b}{\Delta h_n^* + \Delta h_b}$$

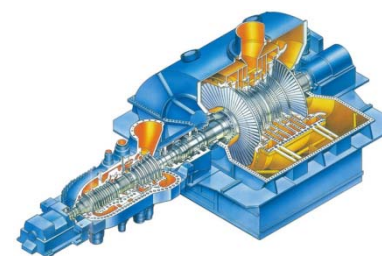
$$\Delta h_n^* = (1 - \Omega_m) \Delta h_t^*$$

$$\Delta h_b = \Omega_m \Delta h_t^*$$





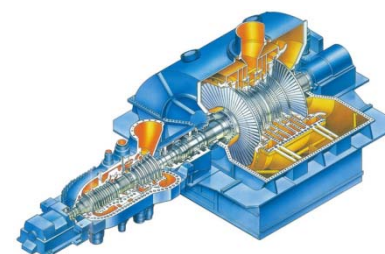
级中蒸汽膨胀在焓熵图上的热力过程线



实际上蒸汽参数沿叶高是变化的，蒸汽的理想比焓降也是沿叶高变化的，**级的反动度是随着叶片高度而变化的。**

对较短的直叶片级，由于蒸汽参数沿叶高差别不大，通常不计反动度沿叶高的变化，均**用平均反动度表示级的反动度。**

对长叶片级，在计算不同截面时，**须用相应截面的反动度。**



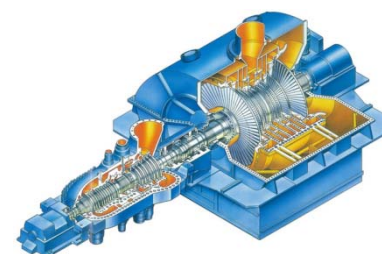
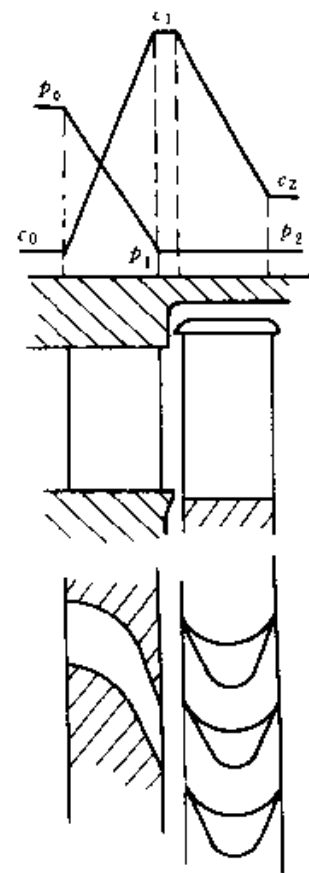
四、汽轮机级的类型

(一) 冲动级和反动级：

1. 纯冲动级：通常把反动度 Ω 等于零的级称为纯冲动级。

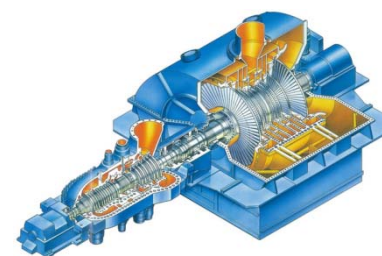
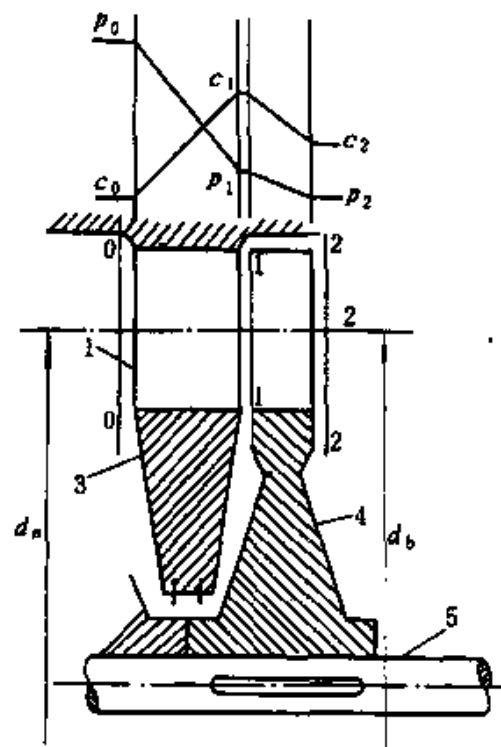
对于纯冲动级来说，蒸汽流出动叶的速度 C ，具有一定的动能未被利用的损失，称这种损失为余速损失。

$$\text{特点} \begin{cases} p_1 = p_2 \\ \Delta h_b = 0 \\ \Delta h_n^* = \Delta h_t^* \end{cases}$$



2. 带反动度的冲动级

为了提高级的效率，冲动级也带有一定的反动度（ $\Omega = 0.05 \sim 0.20$ ），这种级称为**带反动度的冲动级**，它具有作功能力大、效率高的特点。



3. 复速级

由喷管叶栅、装于同一叶轮上的两列动叶栅和两列动叶栅之间固定不动的导向叶栅组成的级，称为复速级，又称**双列速度级**。
 第一列动叶栅通道流出汽流，其流速还相当大，为了利用这一部分动能，在第一列动叶栅之后装上一列导向叶栅以改变汽流的方向，使之顺利进入第二列动叶栅通道继续做功。
 复速级也采用一定的反动度。**复速级具有做功能力大的特点。**

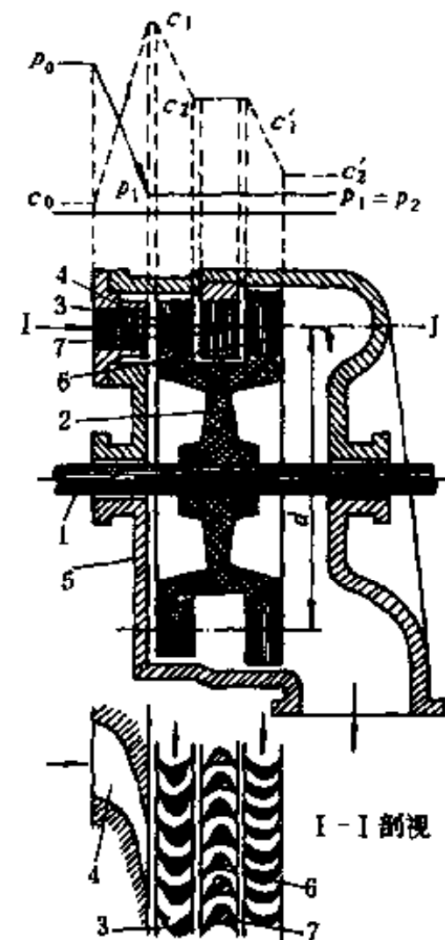
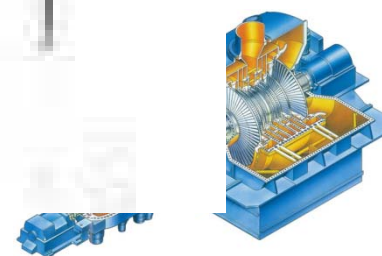
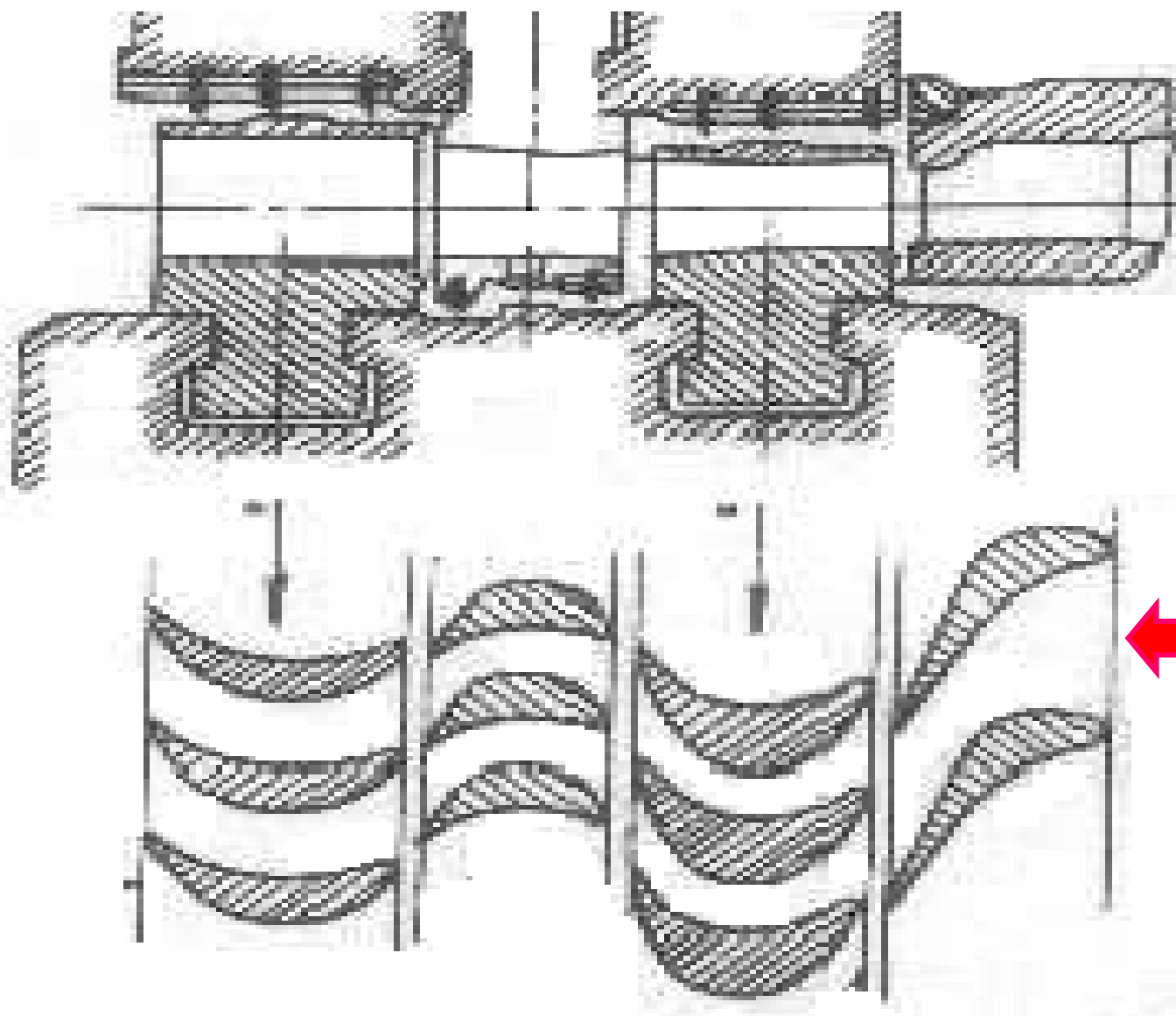


图 1.1.6 复速级单级汽轮机示意图

1—轴；2—叶轮；3—第一列动叶栅；4—喷嘴；
 5—汽缸；6—第二列动叶栅；7—导向叶栅
 ——蒸汽压力；----蒸汽的绝对速度



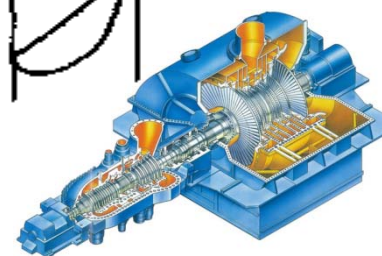
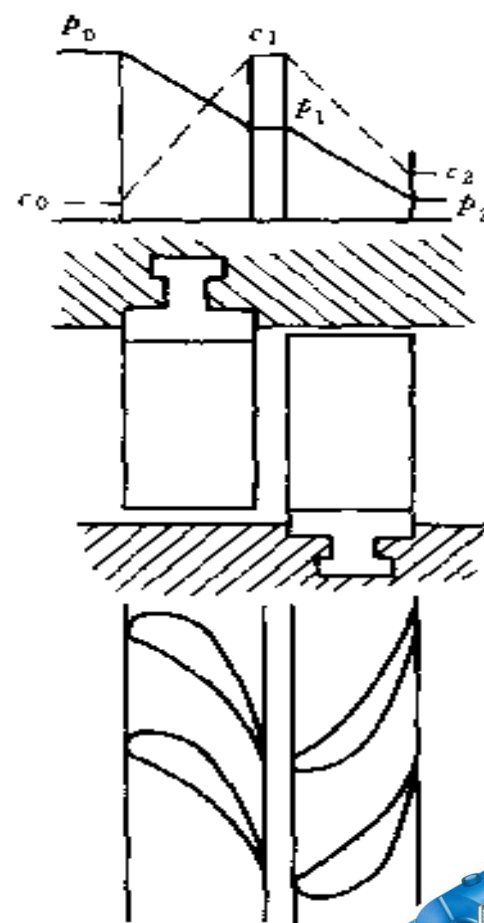


4. 反动级

通常把反动度 $\Omega = 0.5$ 的级称为反动级。对于反动级来说，蒸汽在静叶和动叶通道的膨胀程度相同，即反动级是在冲动力和反动力同时作用下做功。**反动级的效率比冲动级高，但作功能力小。**

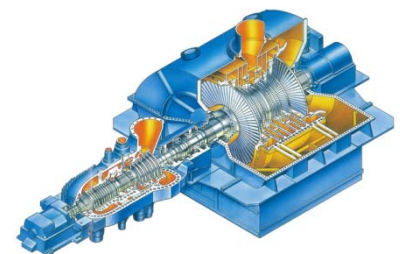
$$\Delta h_b = \Delta h_n^* = \frac{1}{2} \Delta h_t^*$$

$$p_1 > p_2$$



(二) 压力级和速度级

- **速度级**：利用蒸汽流速为主的级，级的比焓降较大。有双列和多列之分，如复速级。
- **压力级**：利用级组中合理分配的压力降和比焓降为主的级。效率较高，一般是单列级，可以是冲动级，也可是反动级。



(三) 调节级和非调节级

- **调节级：**第一级的通流面积是可以随负荷变化而改变的。可以是复速级，也可以是单列级。
- **非调节级：**第一级的通流面积不可以随负荷变化而改变。

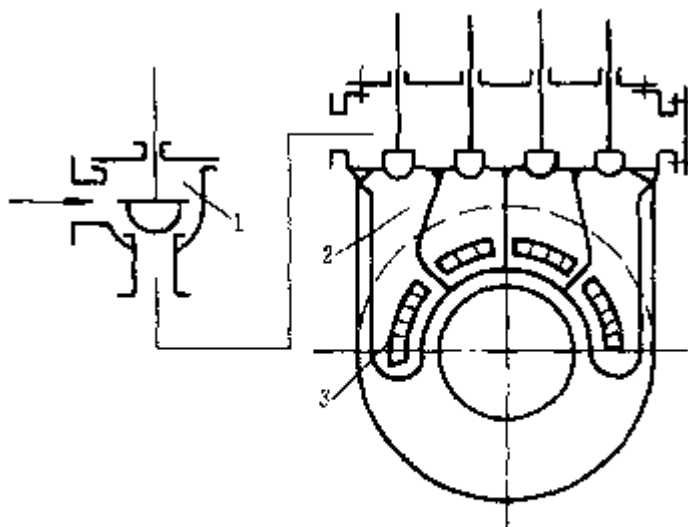
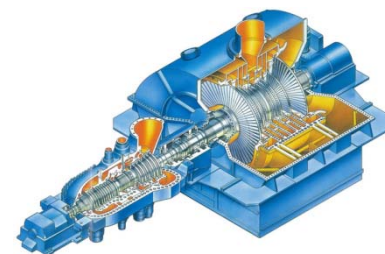


图 3-16 喷嘴调节结构示意图

1—主汽阀；2—进汽室；3—喷嘴组



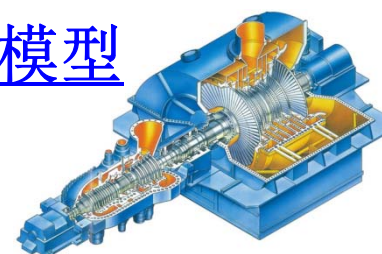
五、级的工作过程的研究方法

(一) 基本假设

蒸汽在汽轮机中的流动，实际上是有黏性、非连续性和非定常的三元流动。为了研究方便，特作如下假设：

1. **一元流动**：蒸汽在叶栅通道中流动时，参数只沿流动方向变化，而在与流动方向相垂直的截面上不变化。
2. **定常流动**：在流动过程中，通道中任意点的蒸汽参数不随时间变化而改变。
3. **绝热流动**：即蒸汽在叶栅通道中流动时与外界没有热交换。

→ 一元稳定等比熵流动的模型



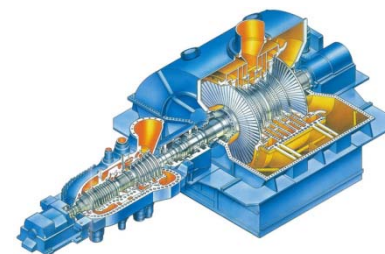
(二) 基本方程

根据三大守恒定律，和三个基本假设联系起来，导出计算级内蒸汽流动和能量转换所需要的基本方程。

1. 连续方程

对稳定流动来说，单位时间内流过流道各截面的蒸汽流量是相等的。

$$G = \rho c A = \text{const.} \quad \frac{dA}{A} + \frac{dc}{c} + \frac{d\rho}{\rho} = 0$$



2. 动量方程

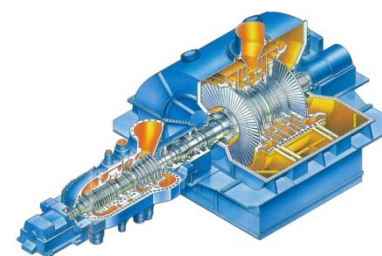
$$-\frac{dp}{\rho} - Rdx = cdc$$

无损失流动 $-\frac{dp}{\rho} = cdc$

3. 能量方程

对于稳定流动热力系统，输入系统的能量必须等于输出系统的能量。略去势能变化，

$$h_0 + \frac{c_0^2}{2} + q = h_1 + \frac{c_1^2}{2} + W$$



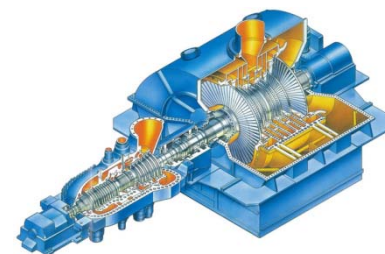
4. 状态方程

在实际计算水蒸气有关问题时，主要采用水蒸气图表来确定其状态。

对水蒸气流动进行分析和计算时，近似用理想气体状态方程：

$$p/\rho = RT$$

水蒸气通用气体常数 R ，即使在过热蒸汽区也不是常数，在湿蒸汽区变化更大。



蒸汽等熵膨胀过程方程式可写成

$$p/\rho^k = const.$$

蒸汽绝热过程方程式可表示为

$$p/\rho^n = const.$$

