

第八章

压气机的压气过程

能源与动力工程学院 新能源科学与工程系

吉恒松



8-1 压气过程热力学分析

一、压气机分类

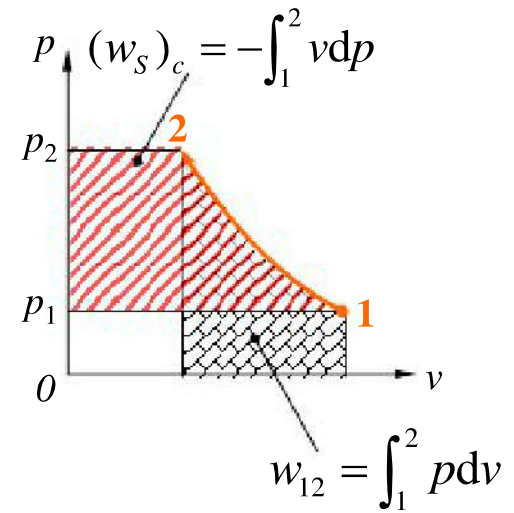
1、按照工作原理分类

- ①直接改变工质的容积。
- ②利用高速旋转的叶轮，获得高速的气体，然后利用**扩压管**使



3、按照压缩气体的压力范围分类

- ① 通风机 (<110kPa)
- ② 鼓风机 (110~400kPa)
- ③ 压缩机 (>400kPa)
- ④ 真空泵



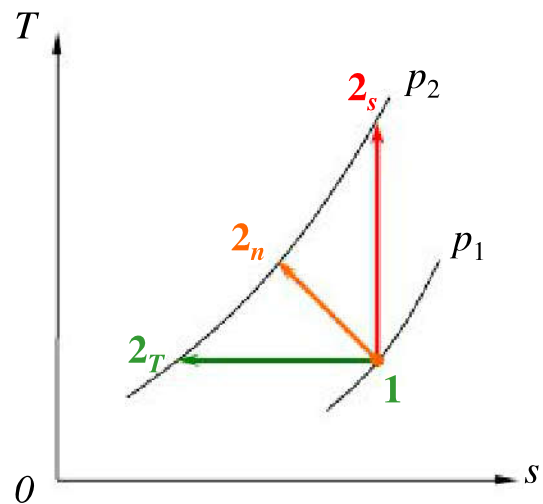
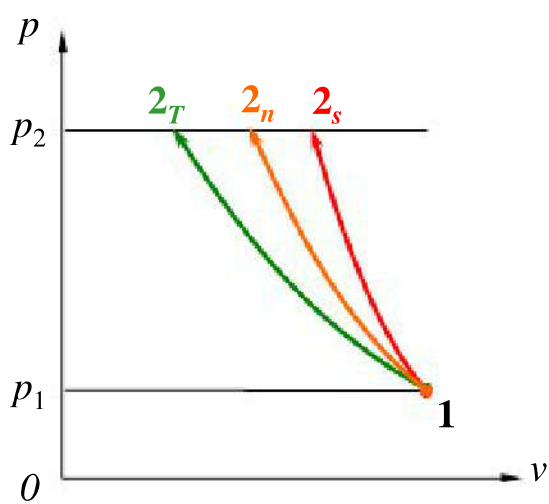
二、压气过程消耗的轴功

$$(w_s)_c = \int_1^2 p dv + (p_1 v_1 - p_2 v_2) = -\int_1^2 v dp$$

消耗的轴功等于**压缩过程的容积变化功**和**进、排气推动功**的代数和。

显然，当气体由初始状态经**不同的压缩过程**使气体的压力升高到相同的终了压力时，不同的压气过程消耗的轴功不同。





无冷却措施，压缩过程绝热

定熵压缩

$$n = k$$

理想的冷却措施

定温压缩

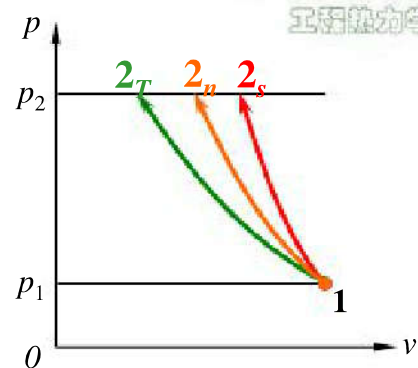
$$n = 1$$

有冷却措施，但不完善

多变压缩

$$1 < n < k$$

$$(w_S)_{c,T} < (w_S)_{c,n} < (w_S)_{c,S}$$



1、绝热过程 ($q=0$) $(w_S)_{c,s} = h_1 - h_2$

绝热压气过程中，压气机消耗的**轴功**转变为高压**气体的焓**。

$$(w_S)_{c,s} = k \int_1^2 p dv = c_{p0}(T_1 - T_2) = \frac{k}{k-1} R_g (T_1 - T_2)$$

$$(w_S)_{c,s} = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k-1)/k} \right] = \frac{k}{k-1} R_g T_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k-1)/k} \right]$$

[理想气体，定值比热容，**可逆过程**]

2、定温过程 $(w_S)_{c,T} = \int_1^2 p dv = R_g T_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = R_g T_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$

3、多变过程 $(w_S)_{c,n} = n \int_1^2 p dv = \frac{n}{n-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)$

$$(w_S)_{c,n} = \frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} \right] = \frac{n}{n-1} R_g T_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} \right]$$

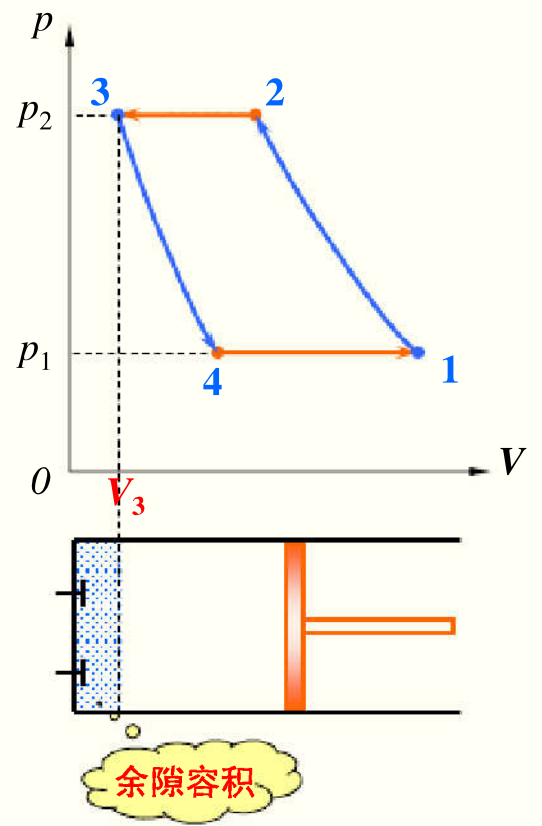
[理想气体，定值比热容，**可逆过程**]



8-2 活塞式压气机的压气过程

一、工作过程：

1—2：活塞由最右端向左侧移动，气体经历一个压缩过程。当气体的压力达到排气压力时，压缩



二、压气过程的轴功（按照示功图计算）

$$(W_S)_c = W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} + W_{4-1}$$

$$(W_S)_c = \int_1^2 p dV + p_2(V_3 - V_2) + \int_3^4 p dV + p_1(V_1 - V_4)$$

$$p_1 = p_4 \quad p_2 = p_3 \quad v_2 = v_3 \quad v_1 = v_4 \quad m_1 = m_2 \quad m_3 = m_4$$

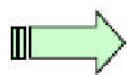
$$(W_S)_c = m_1 \left(\int_1^2 p dv + p_1 v_1 - p_2 v_2 \right) - m_3 \left(\int_3^4 p dv + p_1 v_1 - p_2 v_2 \right)$$

假设压缩过程1-2和膨胀过程3-4性质相同，即函数 $p=f(v)$ 相同，则有：

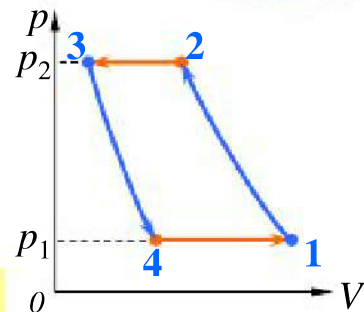
$$\int_1^2 p dv = \int_3^4 p dv$$

$$(W_S)_c = \underbrace{(m_1 - m_3)}_{\text{每个工作循环中压气机输出的高压气体的质量}} \left(\int_1^2 p dv + p_1 v_1 - p_2 v_2 \right)$$

每个工作循环中压气机输出的高压气体的质量

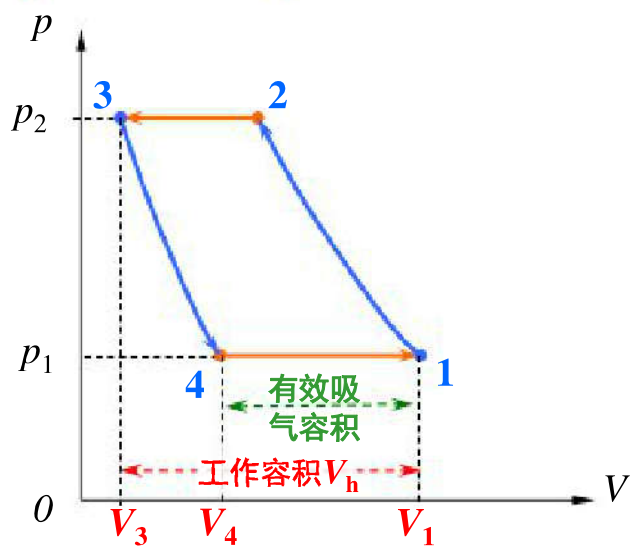


$$= - \int_1^2 v dp$$



因

几个概念：

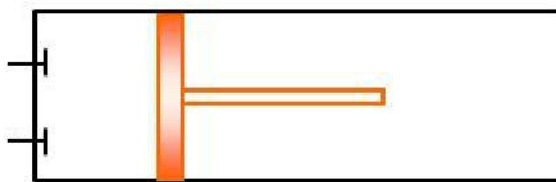


最大容积： V_1

余隙容积： V_3

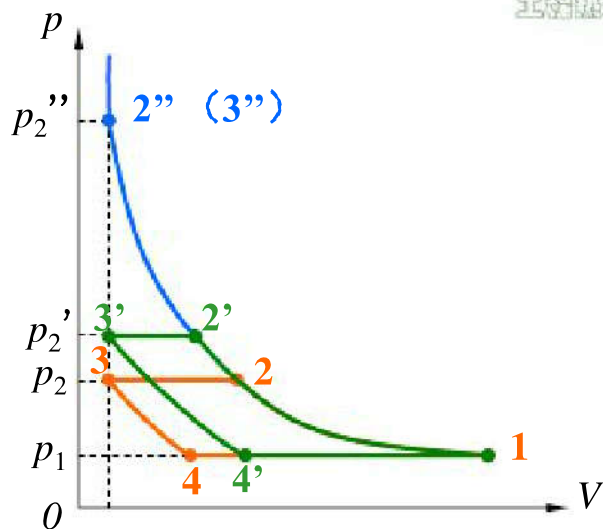
工作容积： $V_h = V_1 - V_3$ 气缸排量

有效吸气容积： $V_1 - V_4$



$$\eta_v = 1 - \frac{V_3}{V_h} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n} - 1 \right] = \frac{V_1 - V_4}{V_h}$$

- (1) 余隙比 V_3/V_h 增大, η_v 降低。
 (2) 增压比 p_2/p_1 增大, η_v 降低。



排气压力 p_2 提高, 有效吸气容积 ($V_1 - V_4$) 会减少很多, 从而使容积效率大大降低。

$$V_4 = V_3 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n}$$

如果把压缩终了压力提高到最高点, 则有效吸气容积将减少为0, 意味着压气机既不吸气也不排气, 气缸中的气体只是反复压缩、膨胀。

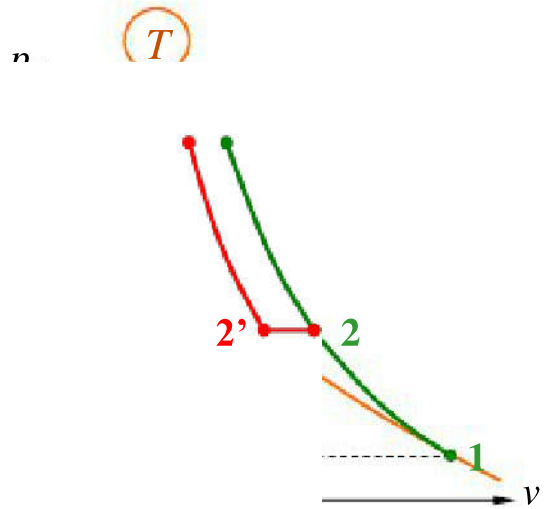
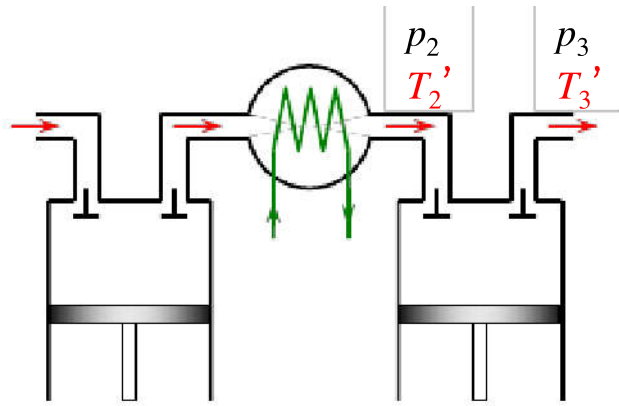
从压气机的角度考虑: 增压比过高会导致压缩终了温度提高, 影响压气机安全运行。

如何在保证一定容积效率的前提下, 制取压力较高的压缩气体?



8-3 多级压缩

一、多级压缩过程（以两级压缩为例）



中的增压
比，因而

与气体



二、多级压缩的轴功（以两级压缩为例）

两级压缩消耗的轴功：

$$(w_s)_c = \frac{n_1}{n_1 - 1} R_g T_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n_1 - 1}{n_1}} \right] + \frac{n_2}{n_2 - 1} R_g T_2' \left[1 - \left(\frac{p_3}{p_2} \right)^{\frac{n_2 - 1}{n_2}} \right]$$

如果中间冷却器能充分冷却 ($T_1 = T_2'$)，且两级压缩过程的多变指数相同 $n_1 = n_2$

$$(w_s)_c = R_g T_1 \frac{n}{n - 1} \left[2 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - \left(\frac{p_3}{p_2} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

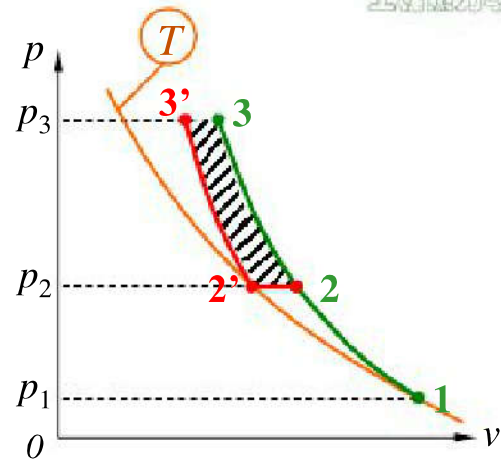
当 $\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_2}$ 时， $(w_s)_c$ 可取得**最小值**！

$$p_2 = \sqrt{p_1 p_3}$$

对于采用了中间冷却措施的两级压气机，当两级压缩机的**增压比相同**时，压气机消耗的轴功最少。

对于采用了中间冷却措施的多级压气机……

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_2} = \frac{p_4}{p_3} = \dots$$



8-4 压气效率

实际压气过程要比理想的可逆压气过程消耗更多的轴功。

若压气机**不采用冷却措施**，则理想的压气过程是**定熵过程**。定熵过程消耗的轴功与实际绝热压气过程的轴功之比称为**压气机的绝热效率**。

$$\eta_{c,s} = \frac{(w_s)_{c,s}}{(w_s)_c} = \frac{h_1 - h_{2s}}{h_1 - h_2} = \frac{T_1 - T_{2s}}{T_1 - T_2}$$

若压气机**采用冷却措施**，则理想的压气过程为**可逆定温过程**。可逆定温过程消耗的轴功和实际压气过程消耗的轴功之比称为**定温效率**。

$$\eta_{c,T} = \frac{(w_s)_{c,T}}{(w_s)_c}$$

