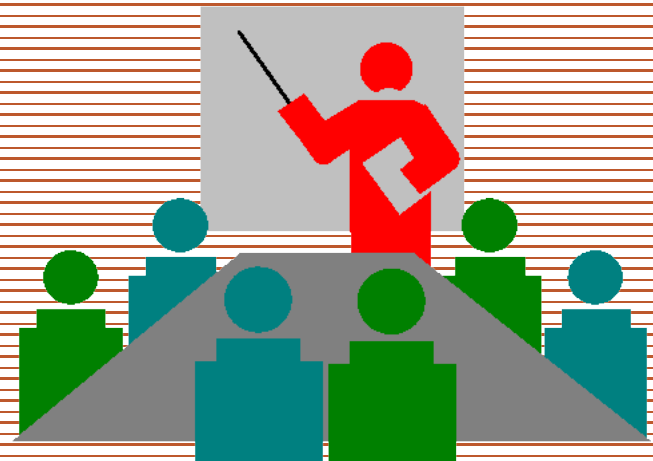


# 第五章 气体动力循环

## Gas Power Cycle



# 动力循环研究目的和分类

**动力循环：**工质连续不断地将从高温热源取得的热量的一部分转换成对外的净功

**研究目的：**合理安排循环，提高热效率

**气体动力循环：**内燃机

空气为主的燃气

按理想气体处理

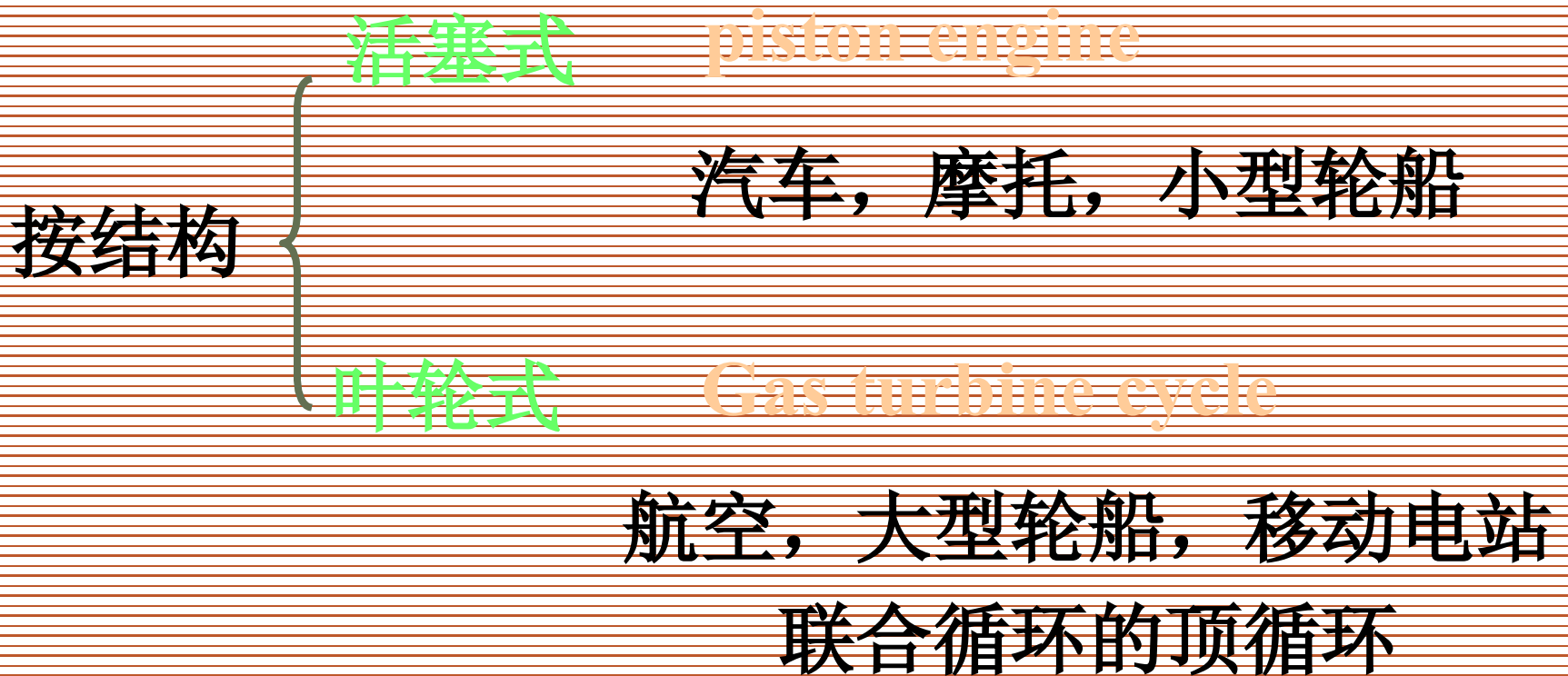
**蒸汽动力循环：**外燃机

水蒸气等

实际气体

按工质

# 气体动力循环分类



# 气体动力循环分类

---

按燃料

汽油机 **petrol (gasoline) engine**

小型汽车，摩托

柴油机 **diesel engine**

中、大型汽车，火车，轮船，  
移动电站

煤油机 **kerosene oil engine**

航空

# 气体动力循环分类

按点燃方式：**点燃式 spark ignition**

**压燃式 compression ignition**

按冲程数：**二冲程 two-stroke**

**四冲程 four-stroke**

# 动力循环研究方法

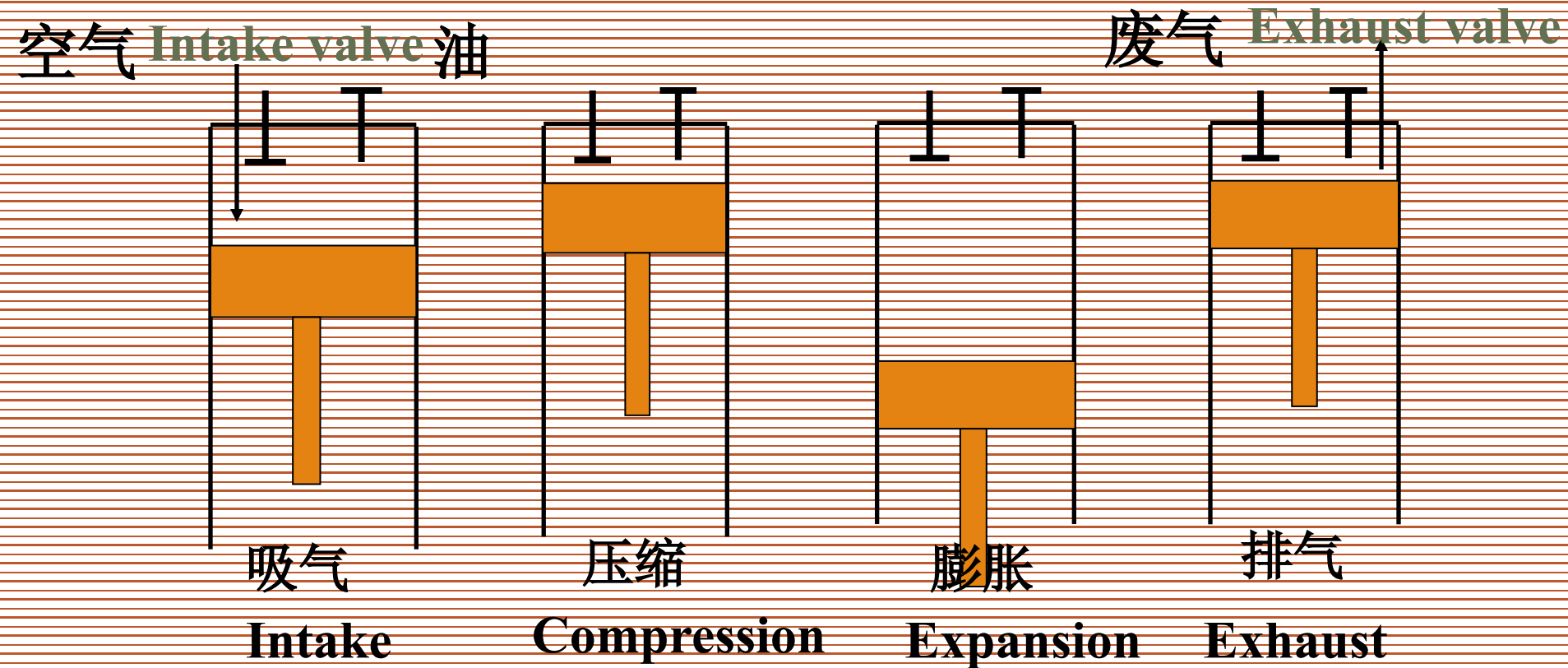
实际动力循环非常复杂

不可逆，多变指数变化，燃烧等

工程热力学研究方法，先对实际动力循环进行抽象和理想化，形成各种理想循环进行分析，最后进行修正。

# 活塞式内燃机动力循环

## 一、四冲程高速柴油机（混合加热循环）



# 四冲程高速柴油机工作过程

0—1 吸空气

1—2' 多变压缩 一般  $n=1.34\sim 1.37$

$p_2'=3\sim 5\text{MPa}$   $t_2'=600\sim 800^\circ\text{C}$

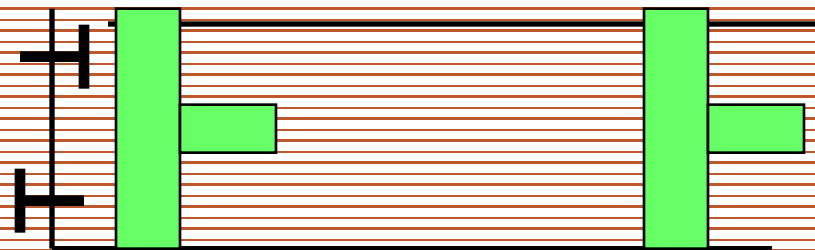
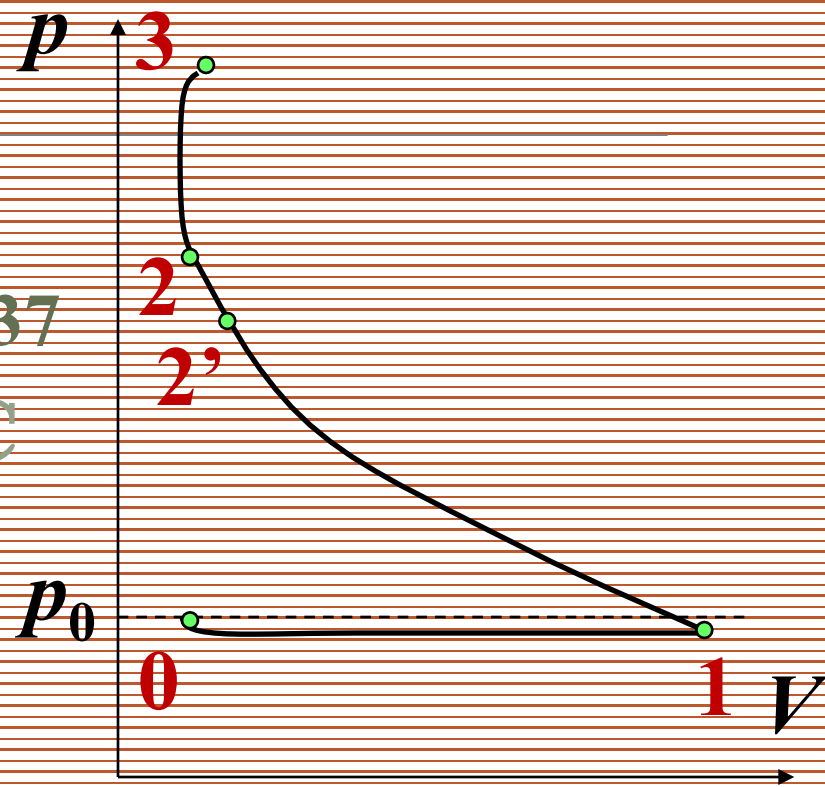
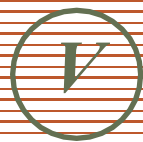
柴油自燃  $t=335^\circ\text{C}$

2' 喷柴油 Autoignition

2 开始燃烧

2—3 迅速燃烧, 近似

$p\uparrow 5\sim 9\text{MPa}$





# 四冲程高速柴油机工作过程

3—4 边喷油，边膨胀

近似  $(p)$  膨胀

$t_4$  可达  $1700\sim 1800^\circ\text{C}$

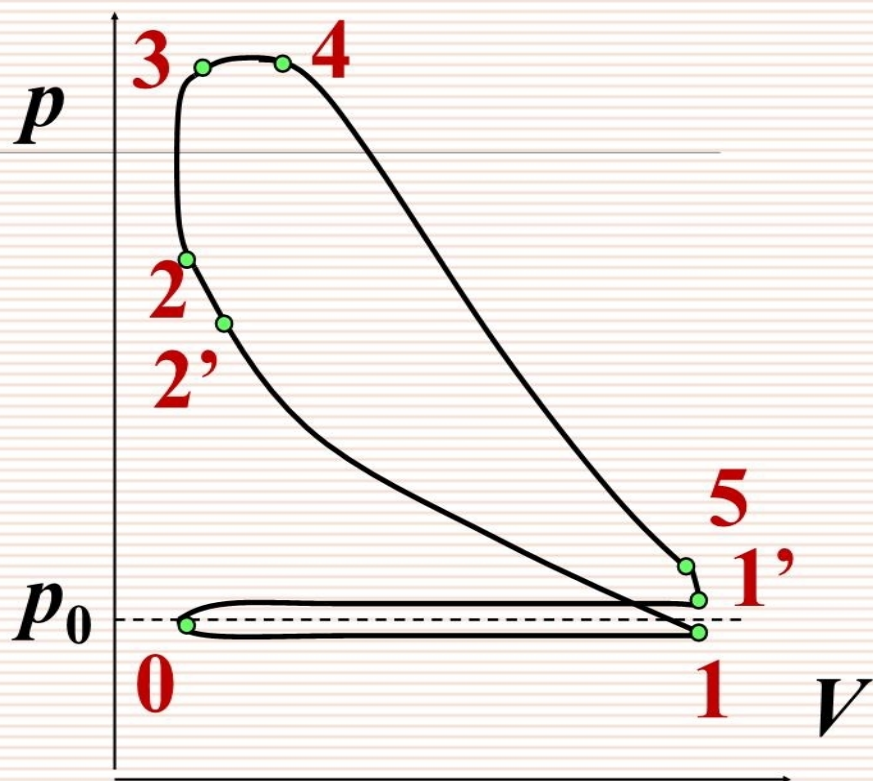
4 停止喷柴油

4—5 多变膨胀

$p_5 = 0.3\sim 0.5\text{MPa}$     $t_5 \approx 500^\circ\text{C}$

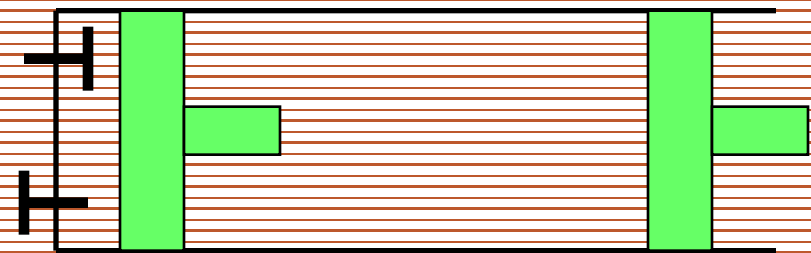
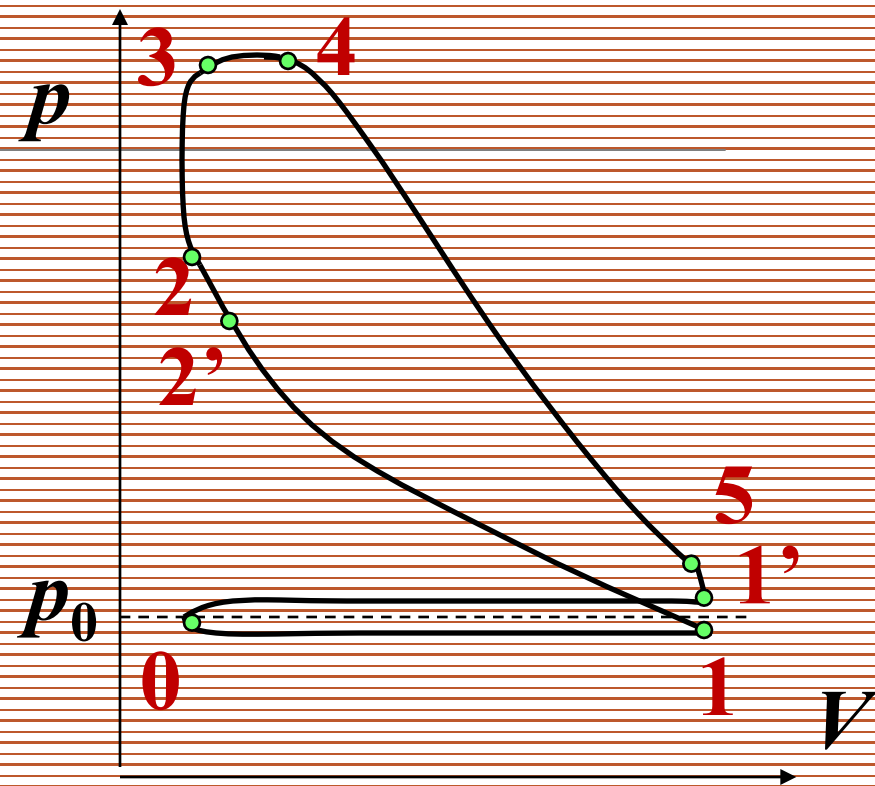
5—1' 开阀排气， $(V)$  降压

1'—0 活塞推排气，完成循环



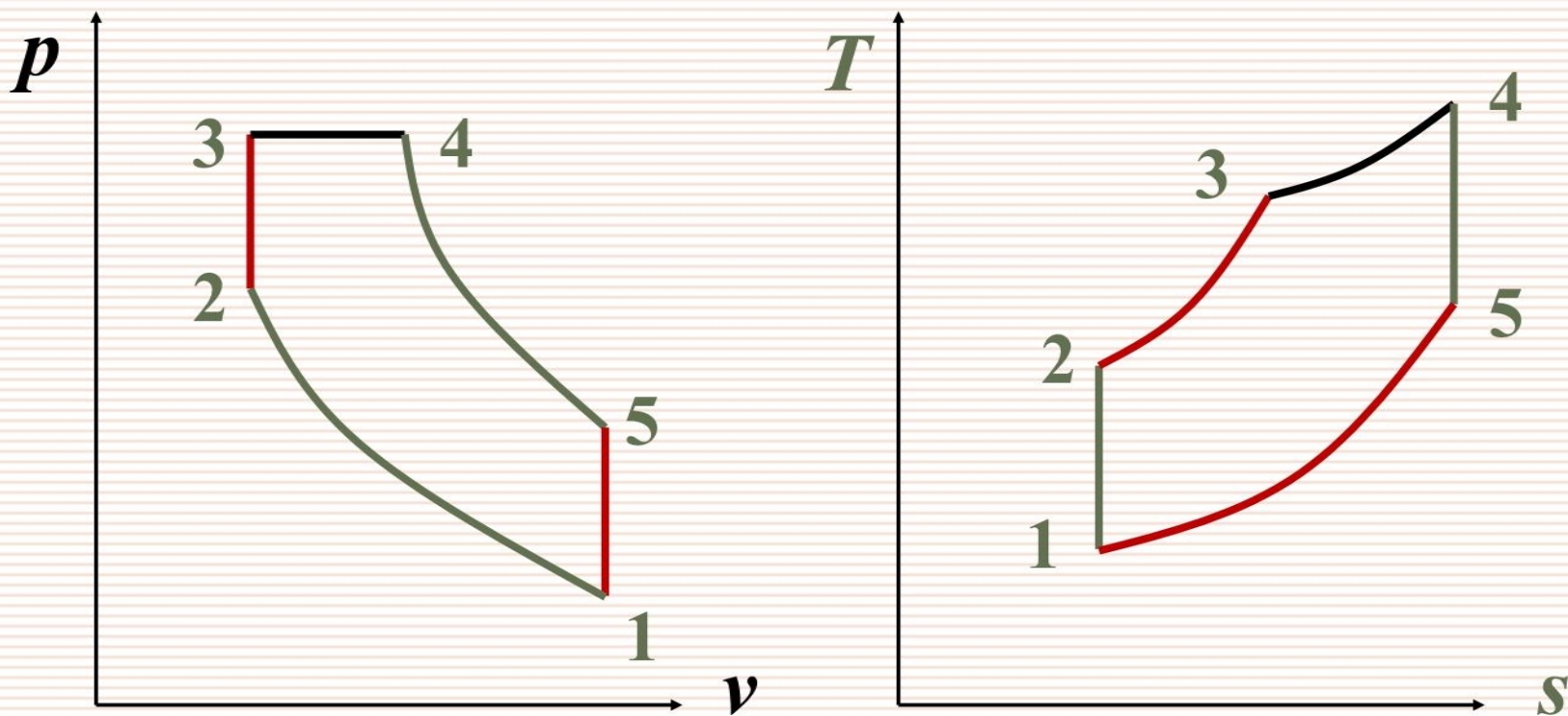
# 四冲程高速柴油机的理想化

1. 工质 定比热理想气体  
工质数量不变  
 $P-V$ 图  $\rightarrow$   $p-v$ 图
2. 0-1和1'-0抵消  
开口  $\rightarrow$  闭口循环
3. 燃烧  $\rightarrow$  外界加热
4. 排气  $\rightarrow$  向外界放热
5. 多变  $\rightarrow$  绝热
6. 不可逆  $\rightarrow$  可逆



# 理想混合加热循环 (萨巴德循环) (Sabathe) Dual cycle

分析循环吸热量，放热量，热效率和功量



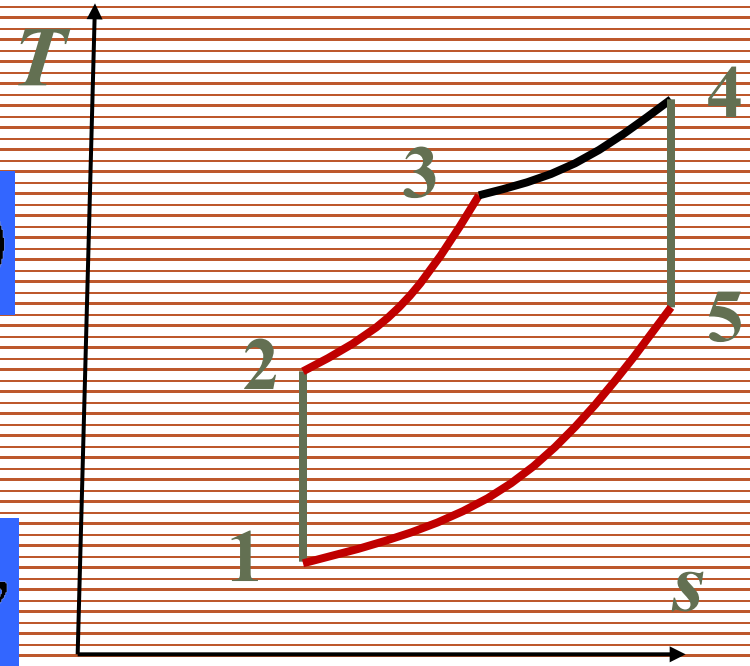
# 理想混合加热循环的计算

吸热量

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2) + c_p (T_4 - T_3)$$

放热量

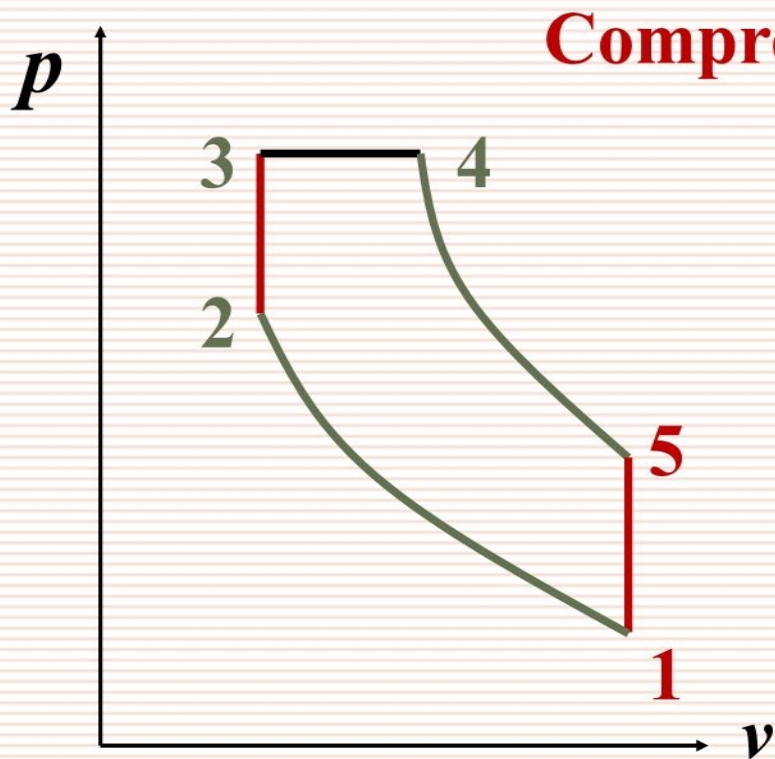
$$q_2 = c_v (T_5 - T_1) \quad \int \delta q = \int \delta w$$



热效率

$$\eta_t = \frac{w}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_5 - T_1}{T_3 - T_2 + k(T_4 - T_3)}$$

# 定义几个指标性参数



**Compression ratio**  
压缩比

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$$

反映气  
缸容积

定容增压比

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$$

反映供  
油规律

预胀比  
**Cutoff ratio**

$$\rho = \frac{v_4}{v_3}$$



# 理想混合加热循环的计算

## 热效率

$$\eta_t = 1 - \frac{T_5 - T_1}{T_3 - T_2 + k(T_4 - T_3)}$$

$$T_2 = T_1 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = T_1 \varepsilon^{k-1}$$

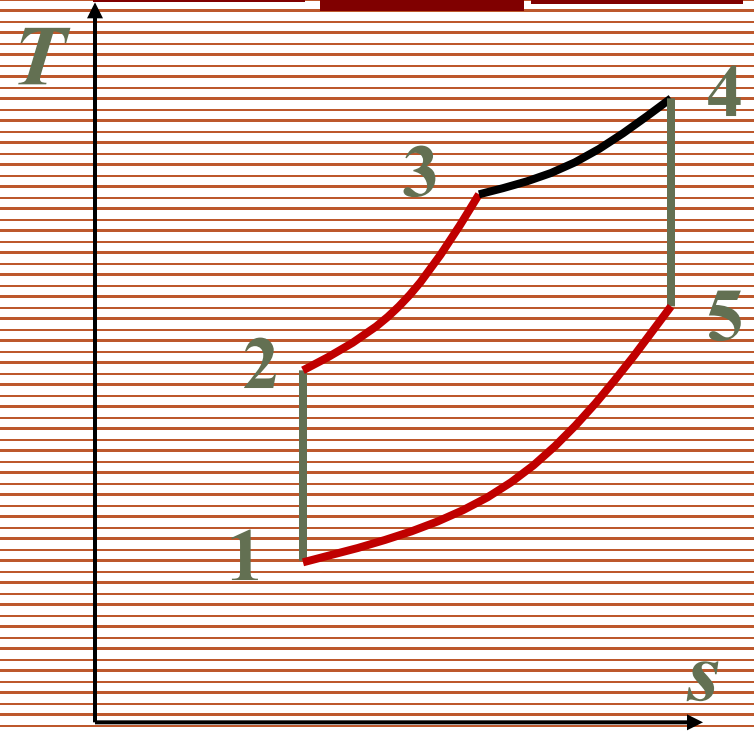
$$T_3 = \frac{p_3}{p_2} T_2 = \lambda T_1 \varepsilon^{k-1}$$

$$T_4 = \frac{v_4}{v_3} T_3 = \rho \lambda T_1 \varepsilon^{k-1}$$

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$$

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\rho = \frac{v_4}{v_3}$$



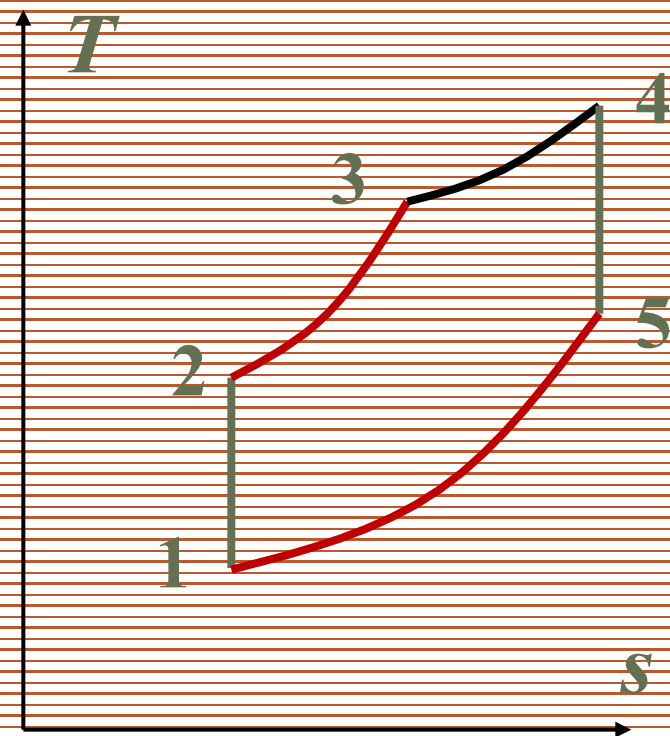
# 理想混合加热循环的计算

## 热效率

$$\eta_t = 1 - \frac{T_5 - T_1}{T_3 - T_2 + k(T_4 - T_3)}$$

$$T_5 = \left(\frac{v_4}{v_5}\right)^{k-1} \quad T_4 = \frac{p_5}{p_1} T_1 = \rho^k \lambda T_1$$

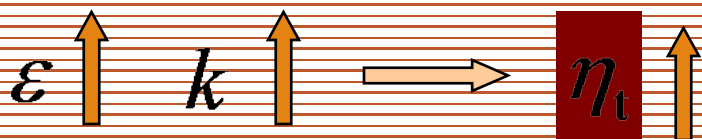
$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} [\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)]}$$



# 各因素对混合加热循环的影响

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} [\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)]}$$

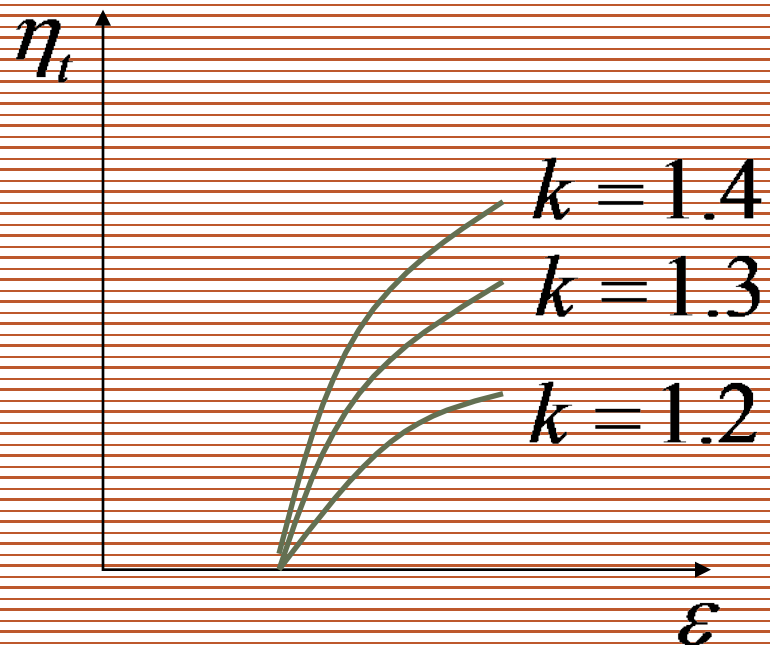
1、当 $\lambda$ 、 $\rho$ 不变



受气缸材料限制

一般柴油机    $\varepsilon = 14 \rightarrow 21$

潜艇用氢气,  $k=1.66$

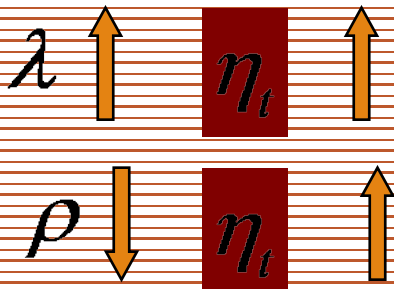




# 各因素对混合加热循环的影响

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} [\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)]}$$

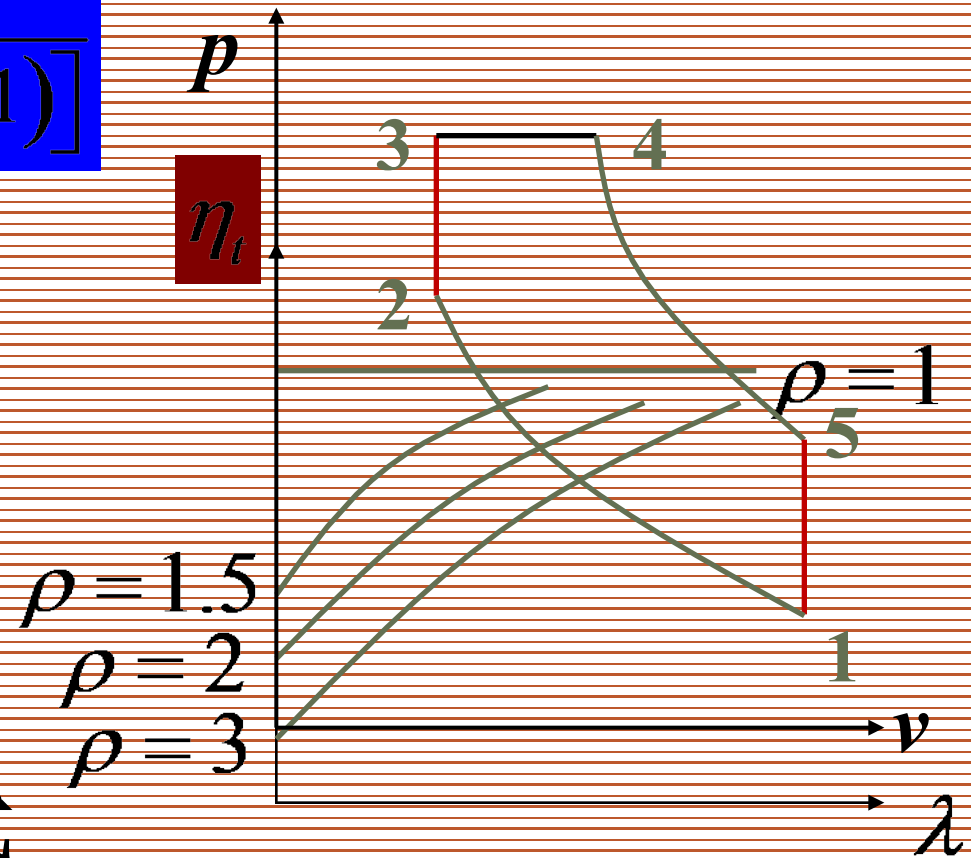
2、当  $\varepsilon$  不变



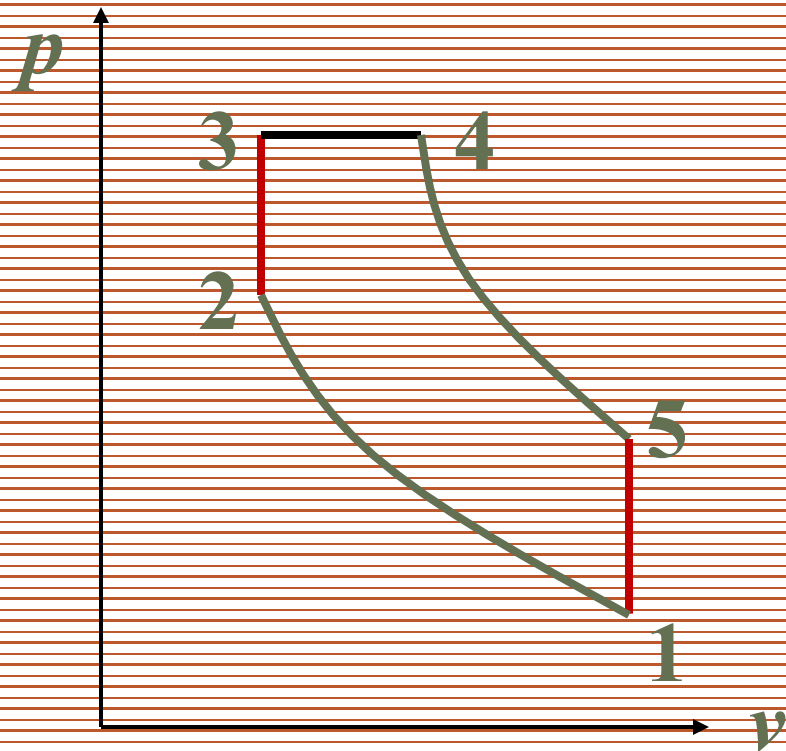
**注意:**

图示的研究方法

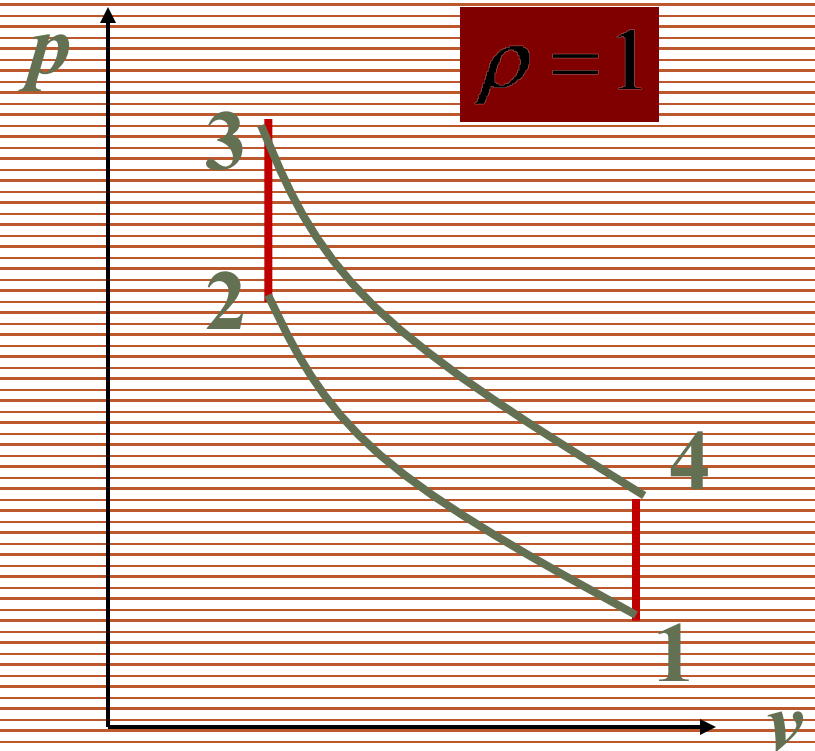
不必记忆  $\eta_t$  的复杂式



# 柴油机与汽油机动力循环图示

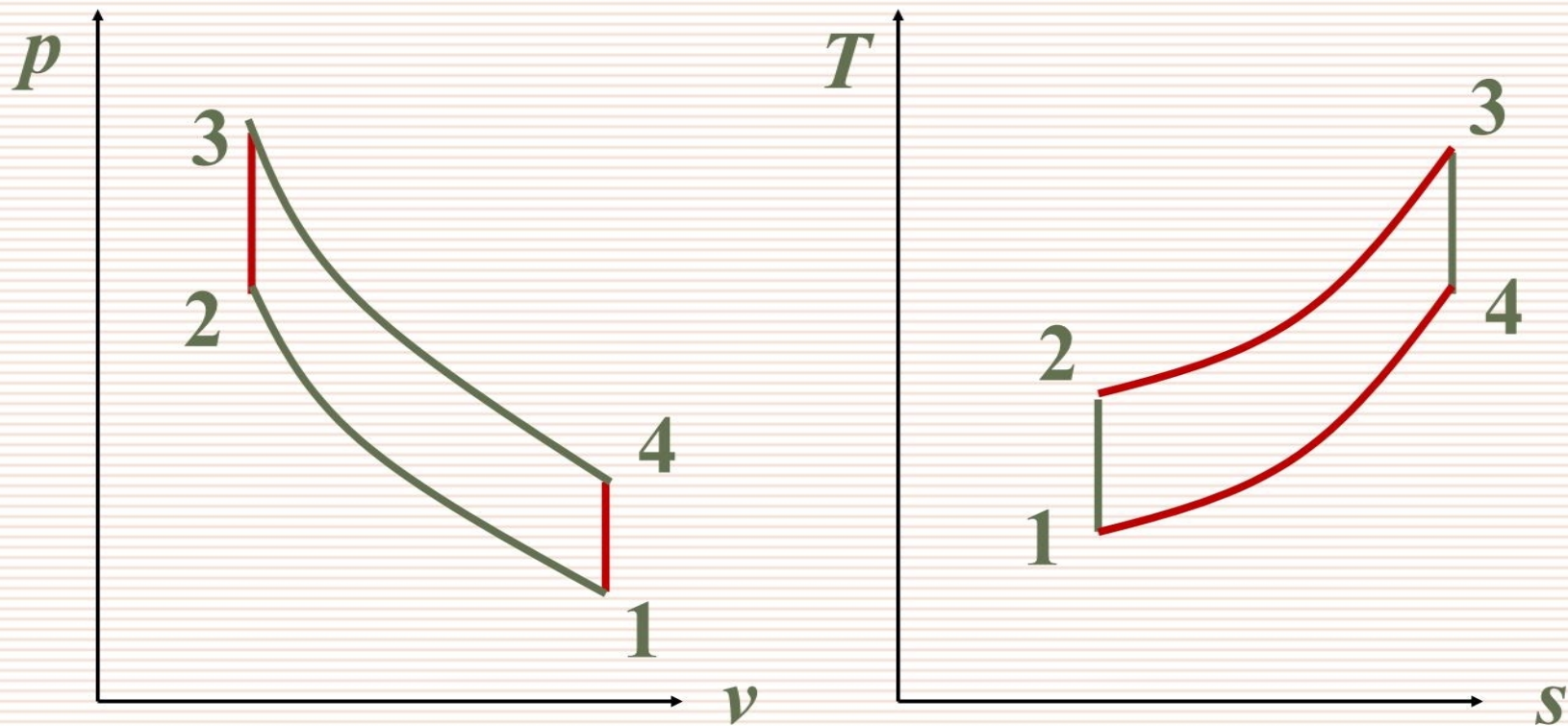


柴油机，压燃式



汽油机，点燃式

# 定容加热循环（奥图OTTO循环）



# 定容加热循环的计算

吸热量

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2)$$

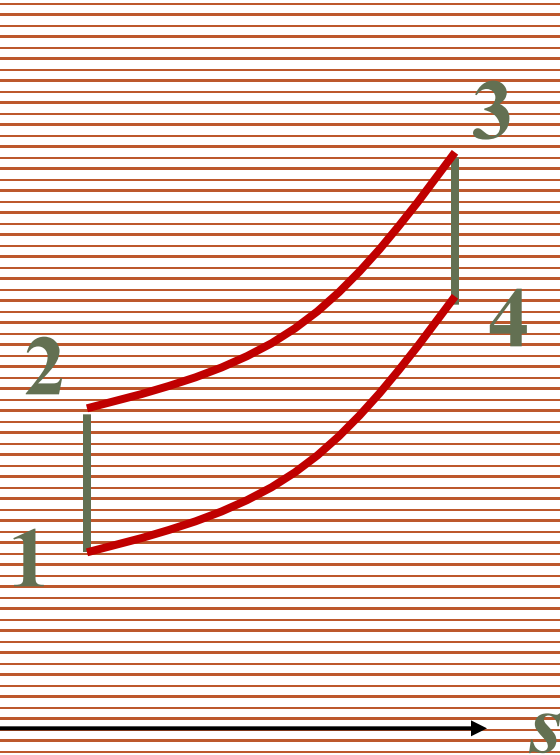
$T$

放热量

$$q_2 = c_v (T_4 - T_1)$$

热效率

$$\eta_t = \frac{w}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$



# 定容加热循环的计算

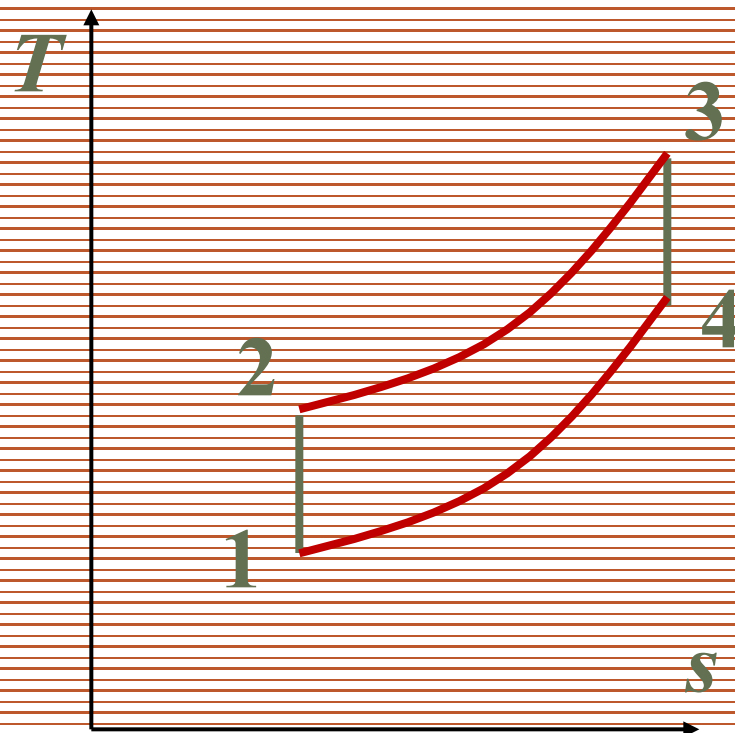
$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = \frac{T_3}{T_4}$$

热效率

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$= 1 - \frac{T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right)} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}}$$

$$= 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

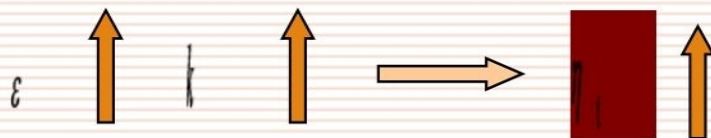


# 定容加热循环的计算

$$\eta = \frac{\gamma - 1}{\gamma} \left[ \frac{\lambda - 1}{\lambda} \right]$$

$$\rho = 1$$

$$\eta_k = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$



汽油易爆燃

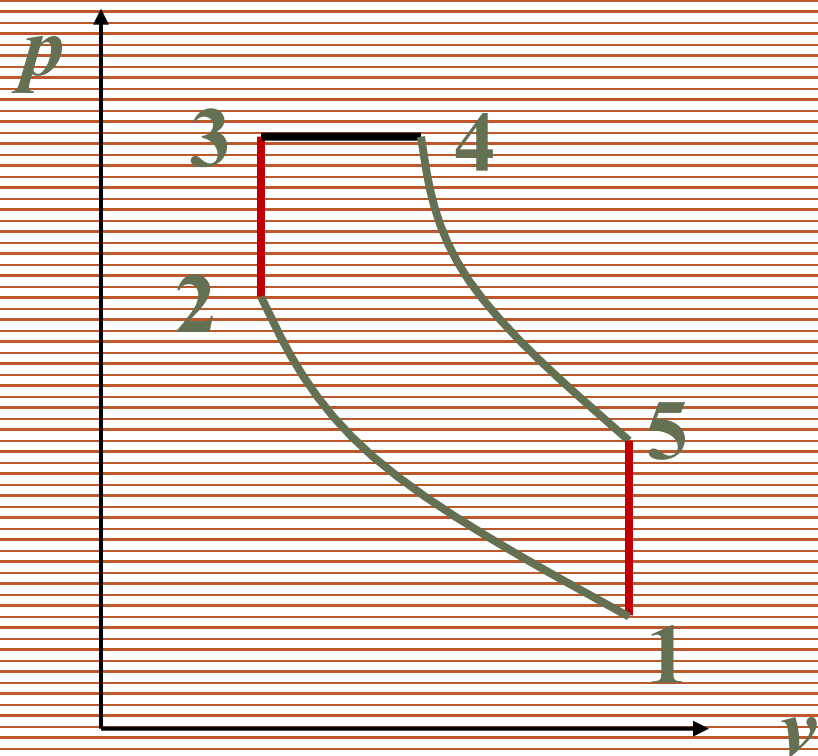
一般汽油机

$$\varepsilon = 5 \sim 10$$

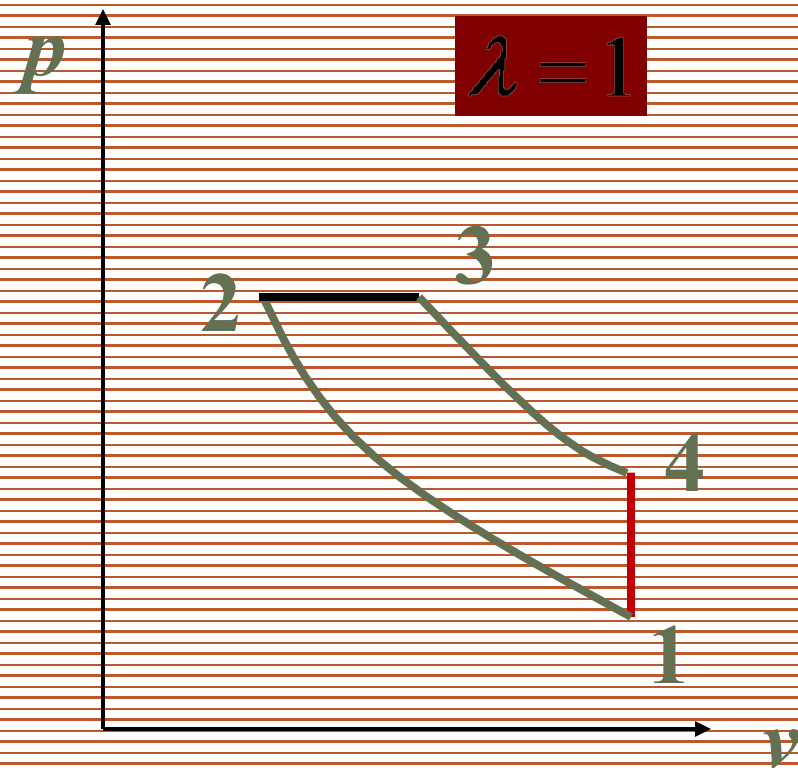
$$\varepsilon_{\text{柴油机}} = 14 \sim 21$$

一般柴油机效率高于汽油机的效率 但汽油机小巧

# 柴油机与低速柴油机循环图示

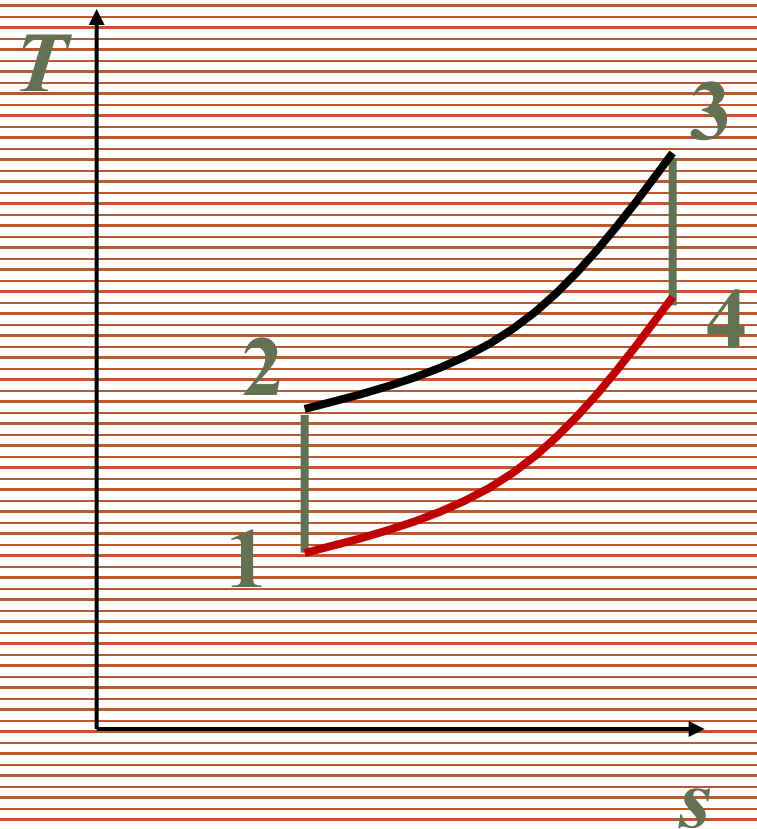
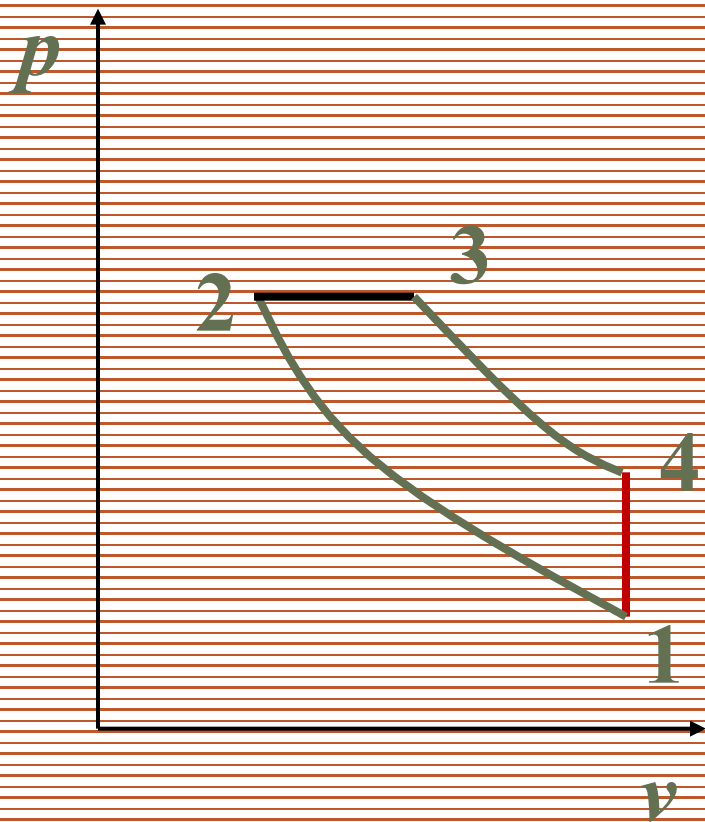


柴油机，压燃式



低速柴油机，压燃式

# 定压加热循环（狄塞尔Diesel循环）





# 定压加热循环的计算

吸热量

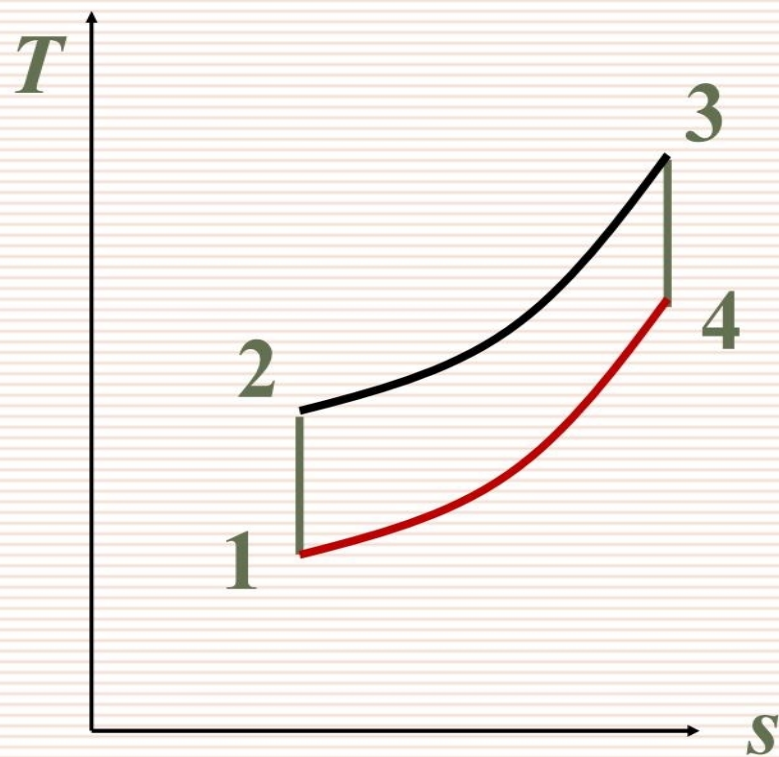
$$q = c_p (T_3 - T_2)$$

放热量(取绝对值)

$$q = c_v (T_4 - T_1)$$

热效率

$$\eta = \frac{w}{q} = \frac{q - q}{q} = 1 - \frac{q}{q}$$



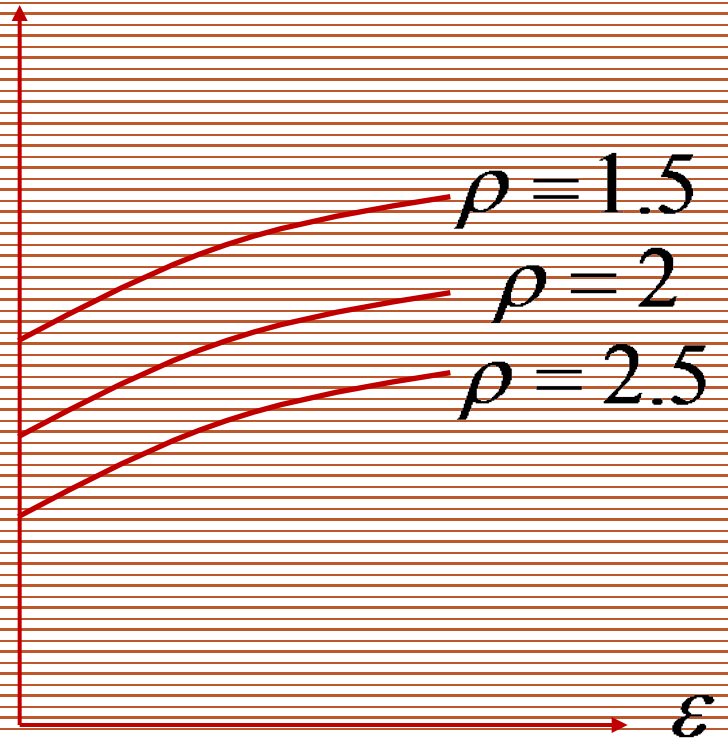
# 定压加热循环的计算

热效率

$$\eta_t = 1 - \frac{\rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} k (\rho - 1)}$$

当  $\rho$  不变  $\varepsilon \uparrow$   $\eta_t \uparrow$

当  $\varepsilon$  不变  $\rho \downarrow$   $\eta_t \uparrow$



# 活塞式内燃机循环比较

## 比较的条件

压缩比  $\varepsilon$       反映气缸结构尺寸、工艺材料

吸热量  $q_1$       反映作功量（马力）

最高压力  $p_{\max}$       反映材料耐压、壁厚、成本

最高压力  $T_{\max}$       反映材料耐温

比较的对象：混合加热，定容加热，定压加热

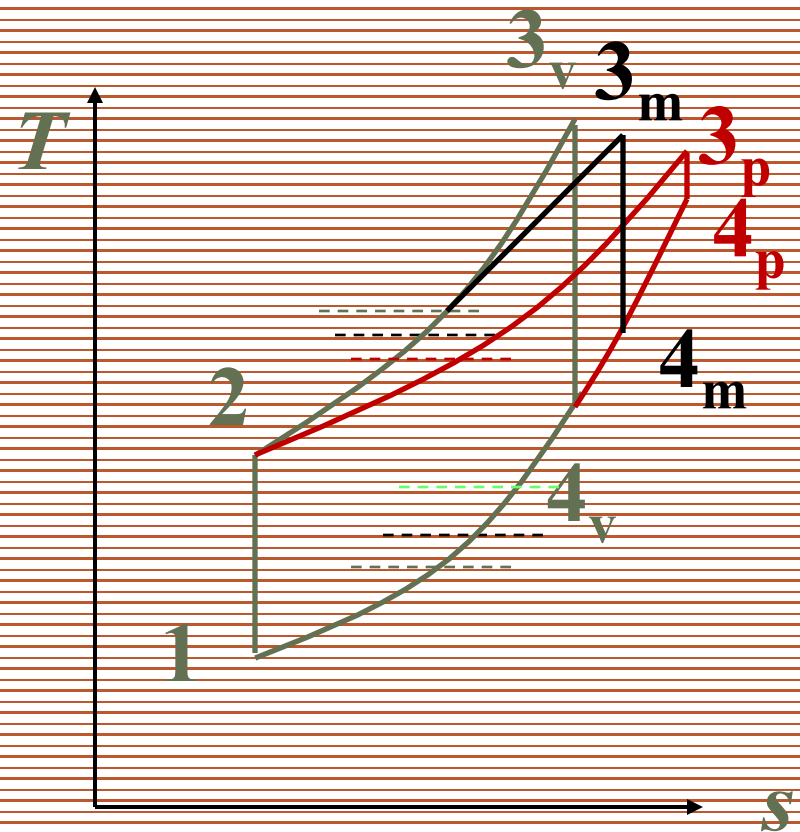
$\varepsilon$  和  $q_1$  相同

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

$$q_{2v} < q_{2m} < q_{2p}$$

$$\eta_{tv} > \eta_{tm} > \eta_{tp}$$

平均温度法



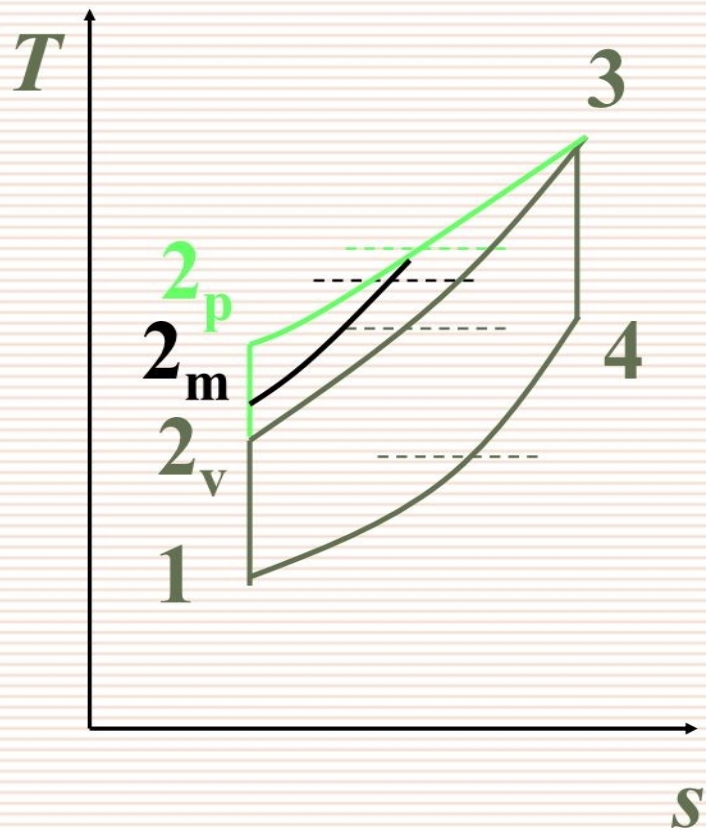
$p_{\max}$  和  $T_{\max}$  相同

$$\eta_i = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

$q_2$  相等

$$q_p > q_m > q_v$$

$$\eta_p < \eta_m < \eta_v$$

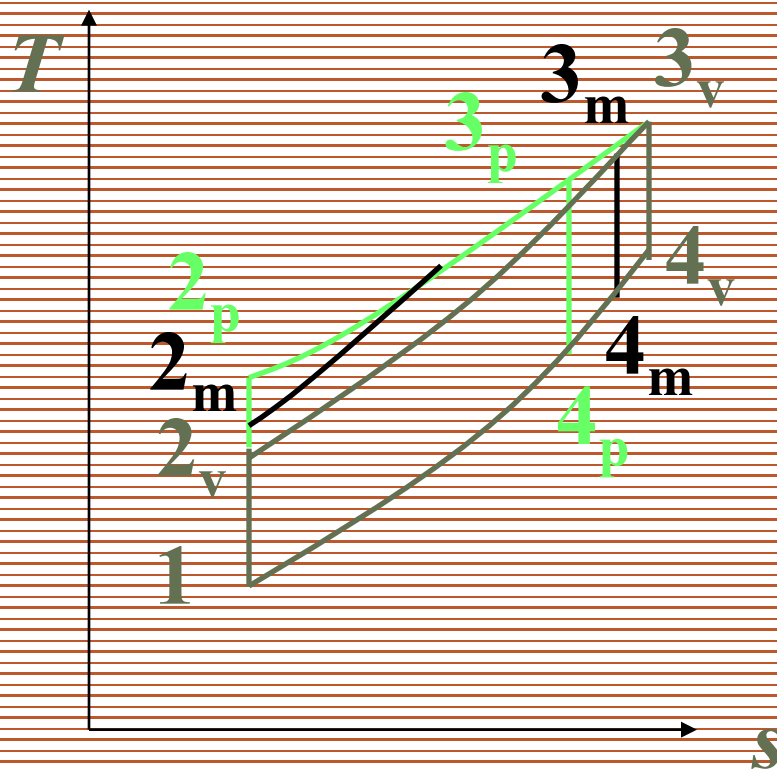


$P_{\max}$  和  $q_1$  相同

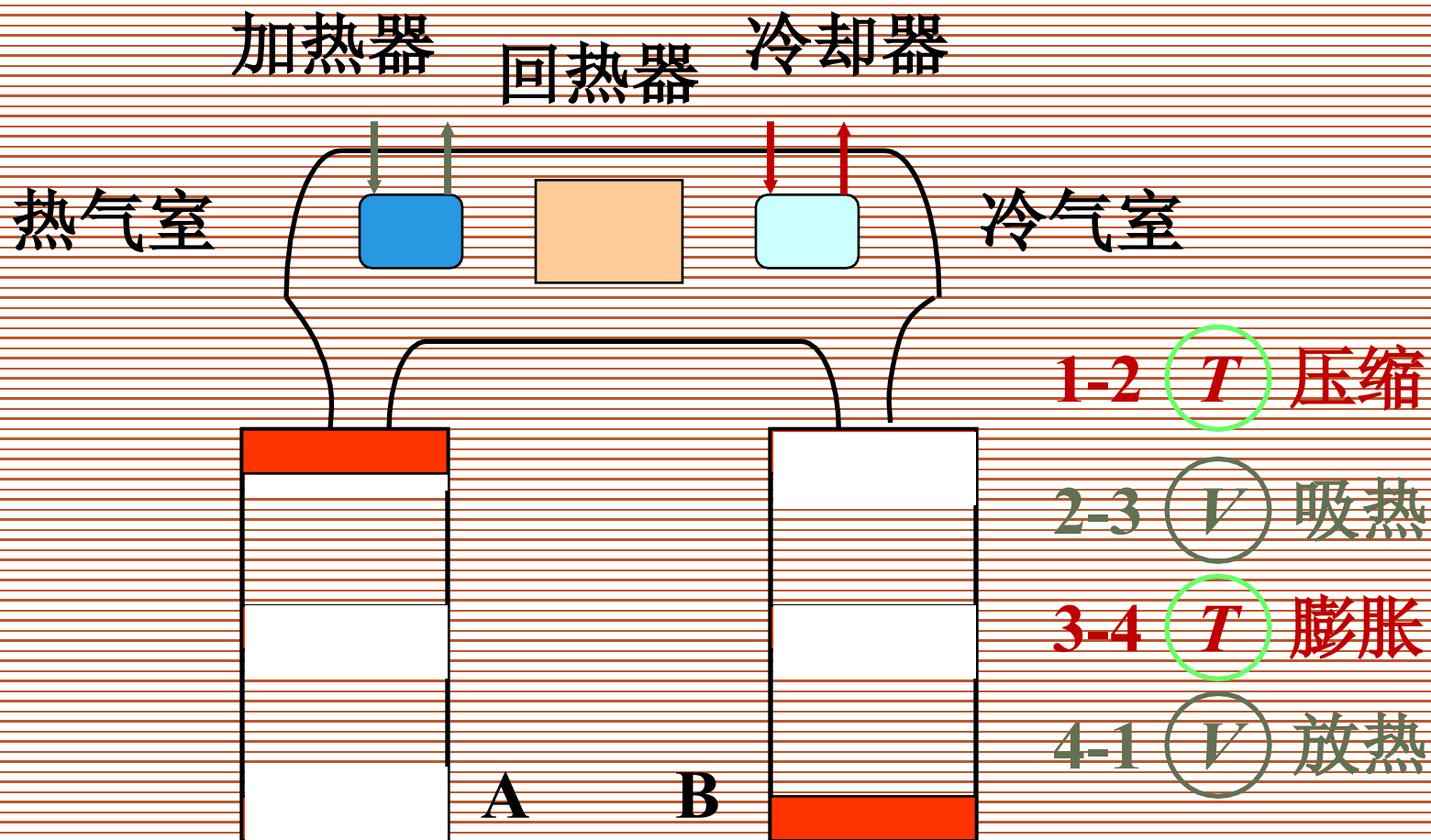
$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

$$q_{2p} < q_{2m} < q_{2v}$$

$$\eta_{tp} > \eta_{tm} > \eta_{tv}$$



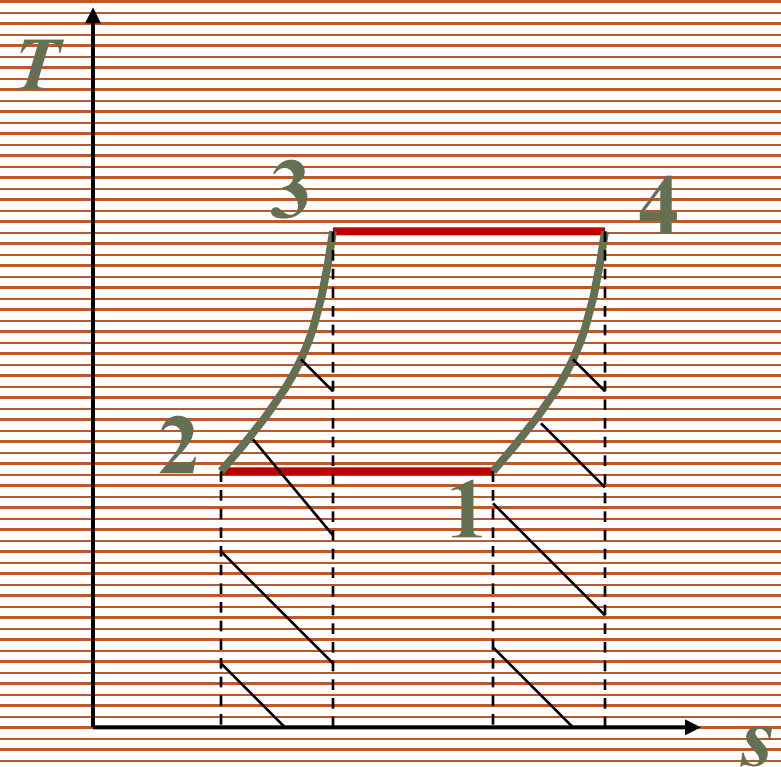
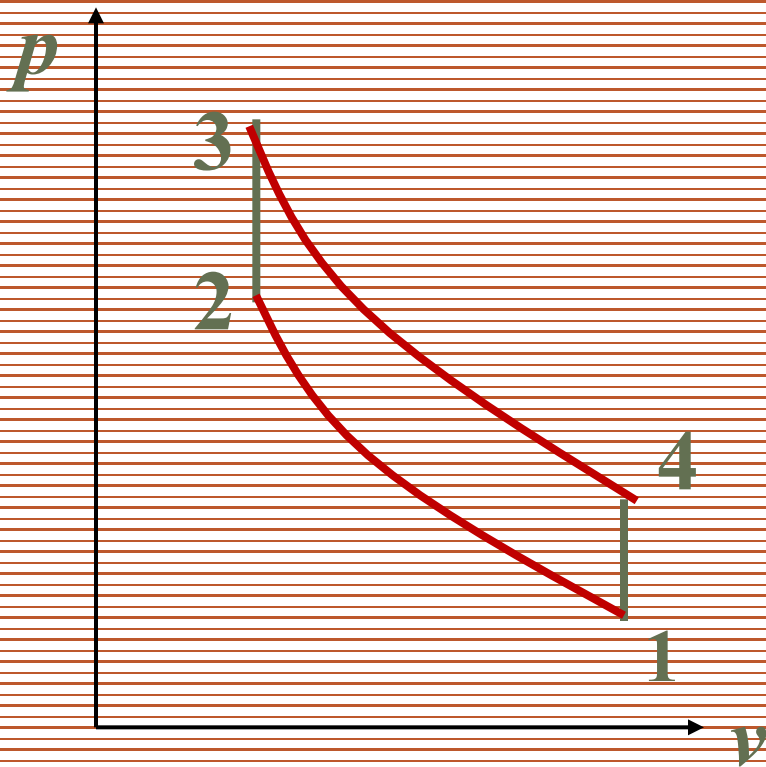
# 斯特林 (Stirling) 循环



# 斯特林循环图示

概括性卡诺循环

核潜艇，制冷





# 勃雷登循环 (Brayton Cycle)

用途:

航空发动机

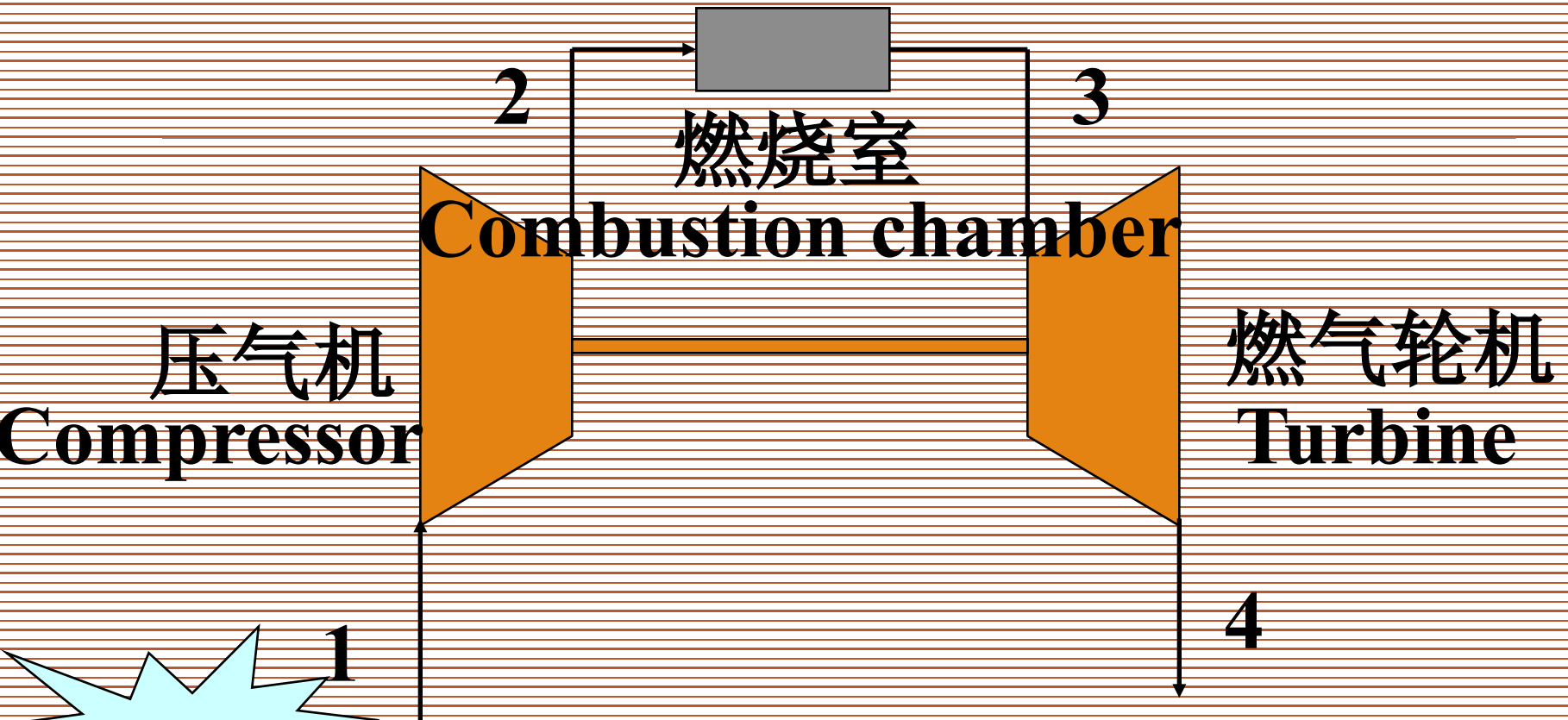
尖峰电站

移动电站

大型轮船

联合循环的顶循环

# 勃雷登循环示意图和理想化



**理想化:**

- 1) 工质: 数量不变, 定比热理想气体
- 2) 闭口  $\Rightarrow$  循环
- 3) 可逆过程

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/418067033026006123>