热力学 第二讲

12.3 绝热过程

绝热过程方程
绝热过程的功
绝热线与等温线比较
多方过程

12.4 循环过程

正循环效率
逆循环致冷系数
卡诺循环

§12.3 绝热过程 (Adiabatic process)

——系统和外界无热量交换

如何实现绝热过程？

1、绝热壁隔开系统和外界（**杜瓦瓶**）

2、过程很快，系统来不及与外界进行显著的热交换。

例. 内燃机气缸内气体的膨胀、压缩；
空气中声音传播引起局部膨胀或压缩。

一、理想气体准静态绝热过程

热传导时间 > 过程时间 > 驰豫时间

绝热　　　　准静态

1、准静态绝热过程方程

（1）状态方程：　$pV = \nu RT$

（2）过程方程：$\boxed{pV^{\gamma} = C_1}$（泊松公式）

γ —比热比　　$TV^{\gamma-1} = C_2$，

$p^{\gamma-1}T^{-\gamma} = C_3$

绝热过程方程推导

特征： ***Q=0*** **，** ***dQ=dE+pdV=0***

$$pdV = -dE$$
$$= -\nu C_V dT$$

$$pV = \nu RT$$

$$pdV + Vdp = \nu RdT \quad \frac{pdV}{C_V} R$$

$\boldsymbol{R=C_P-C_V}$

$$= pdV(1-\gamma) = -\frac{pdV}{C_V}\left(C_P - C_V\right)$$

$$\gamma pdV + Vdp = 0$$

$\boldsymbol{\gamma=C_P/C_V}$

$$\frac{dp}{p} + \gamma\frac{dV}{V} = 0$$

$$\boxed{pV^{\gamma} = \text{常量}}$$

$$\boxed{pV^{\gamma}=\text{常量}} \quad \textbf{(1)}$$

将pV/T=常量代入

$$V^{\gamma-1}T=\text{常量} \quad \textbf{(2)}$$

$$p^{\gamma-1}T^{-\gamma}=\text{常量} \quad \textbf{(3)}$$

理想气体的准静态绝热过程方程

二、准静态绝热过程的功

$$pV^{\gamma}=C=p_1V_1^{\gamma}=p_2V_2^{\gamma}$$

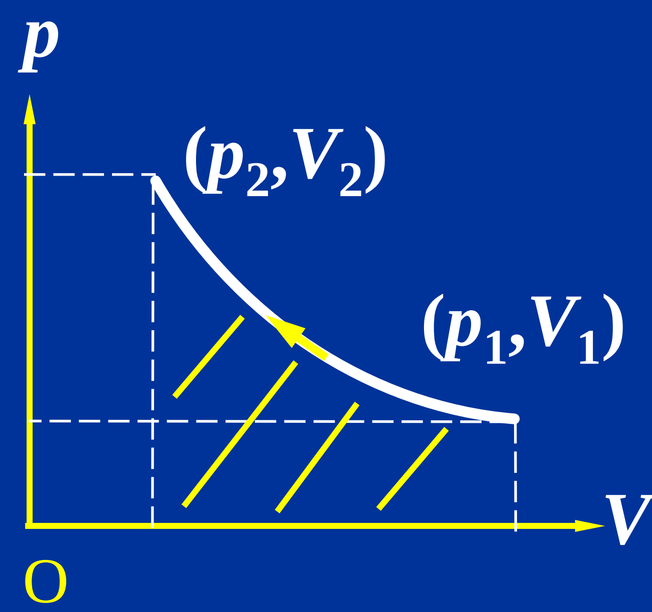
$$A=\int_{V_1}^{V_2}p\,dV=C\int_{V_1}^{V_2}V^{-\gamma}\,\mathrm{d}V$$

$$=C\frac{1}{-\gamma+1}V^{-\gamma+1}\Big|_{V_1}^{V_2}$$

$$\boxed{A=\frac{1}{\gamma-1}\left(p_1V_1-p_2V_2\right)}$$

又A=-ΔE

$$=-\frac{M}{\mu}C_V\Delta T=-\nu C_V\left(T_2-T_1\right)$$



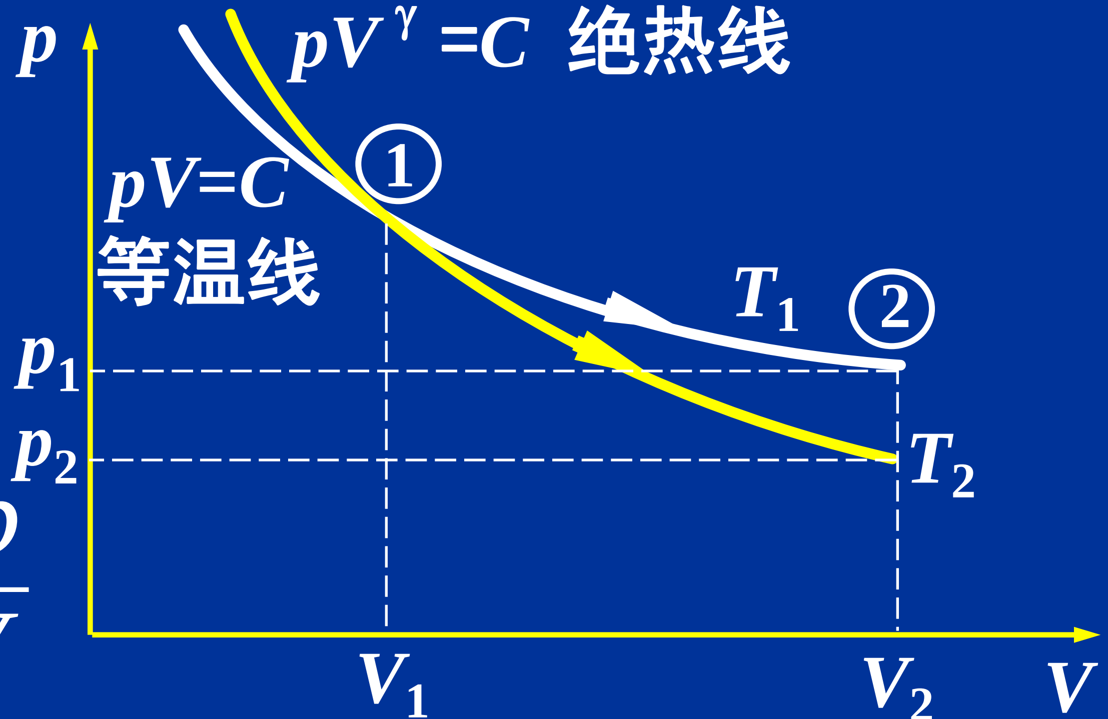
三、绝热线与等温线比较

①→②

绝热过程方程

$pV^{\gamma}=C$

$$\left(\frac{dp}{dV}\right)_Q = -\gamma\frac{p}{V}$$

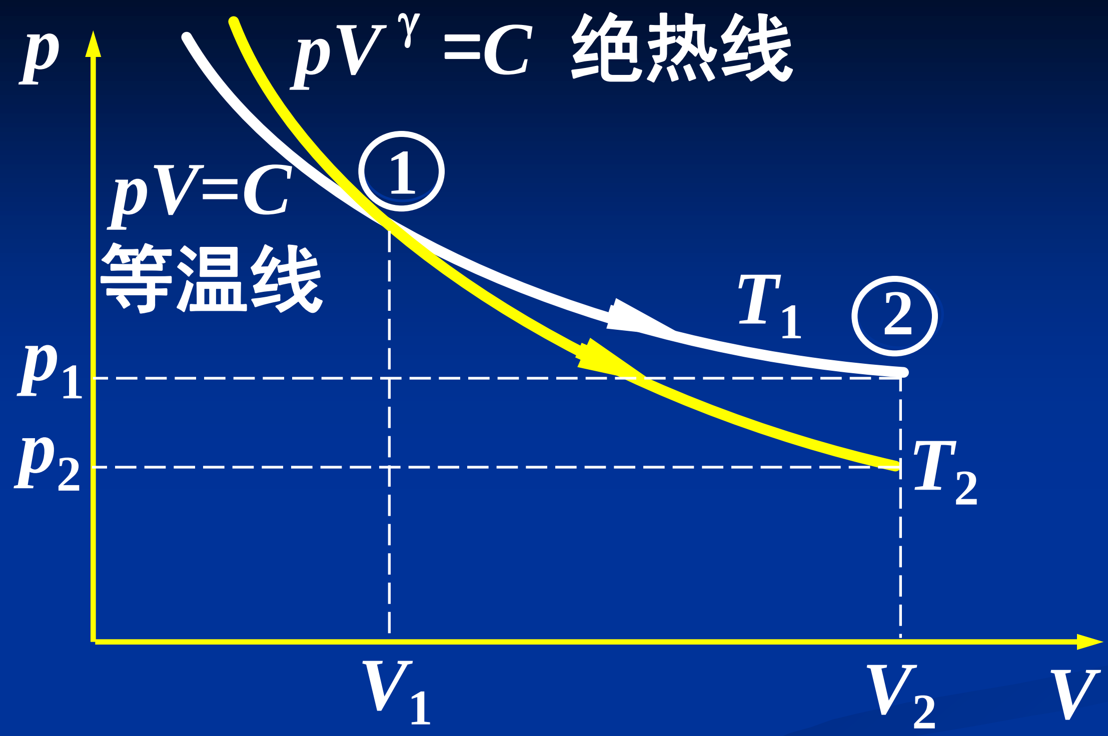


等温过程方程pV=C′

$$\left|\left(\frac{dp}{dV}\right)_Q\right| > \left|\left(\frac{dp}{dV}\right)_T\right|$$

$$\left(\frac{dp}{dV}\right)_T = -\frac{p}{V}$$

$$\gamma = C_p/C_V > 1$$



等温膨胀：内能不变，吸收热量全部转化为功

绝热膨胀：系统绝热，减少内能以对外做功

温度降低，$T_1>T_2$，$p_1>p_2$.

四、多方过程

理想气体的实际过程，常常既不是等温也不是绝热的，而是介于两者之间的多方过程

PV^n =常量　　$1 < n < \gamma$

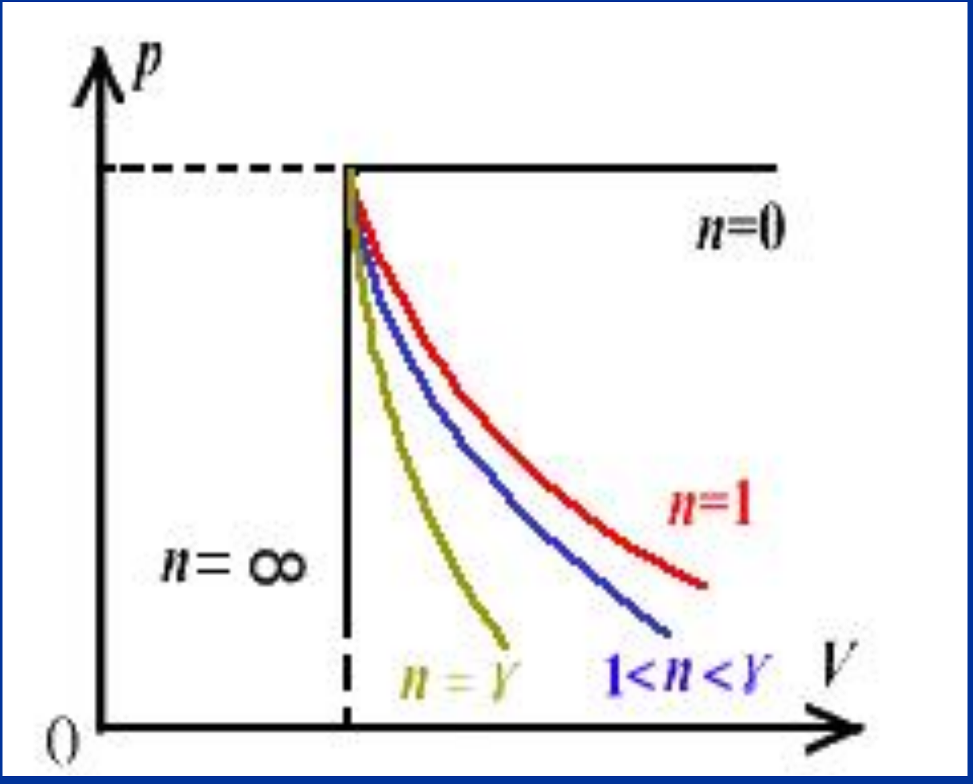
n—多方指数

$n=1$ — 等温过程

$n=\gamma$ — 绝热过程

$n=0$ — 等压过程

$n=\infty$ — 等体过程



理想气体在各种过程中的重要公式

过程	特征	方程	吸热Q	作功A	内能增ΔE
等体	V=C	$\frac{p}{T}=C$	$\nu C_V \Delta T$	0	$\nu C_V \Delta T$
等压	P=C	$\frac{V}{T}=C$	$\nu C_p \Delta T$	$p\Delta V$ $\nu R\Delta T$	$\nu C_V \Delta T$
等温	T=C	pV=C	$\nu RT\ln\frac{V_2}{V_1}$	$A=Q$	0
绝热	Q=0	$pV^{\gamma}=C_1$ $V^{\gamma-1}T=C_2$	0	$\frac{p_1V_1-p_2V_2}{\gamma-1}$	$\nu C_V \Delta T$
多方		$pV^n=C$	$Q=\Delta E+A$	$\frac{p_1V_1-p_2V_2}{n-1}$	$\nu C_V \Delta T$

热力学 第二讲

15.3 绝热过程

绝热过程方程

$$pV^{\gamma} = C$$

$$V^{\gamma-1}T = C_1 \qquad p^{\gamma-1}T^{-\gamma} = C_2$$

绝热过程的功

$$A_Q = -\nu C_V \Delta T = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1}$$

绝热线与等温线比较

多方过程

15.4 循环过程

正循环效率

逆循环致冷系数

卡诺循环

§15.4　循环过程

一、循环过程概念

循环过程-----物质系统经历一系列变化过程又回到初始状态的周而复始的过程。

循环过程的特征：

工作物质（工质）复原，内能不变

$\Delta E = 0$

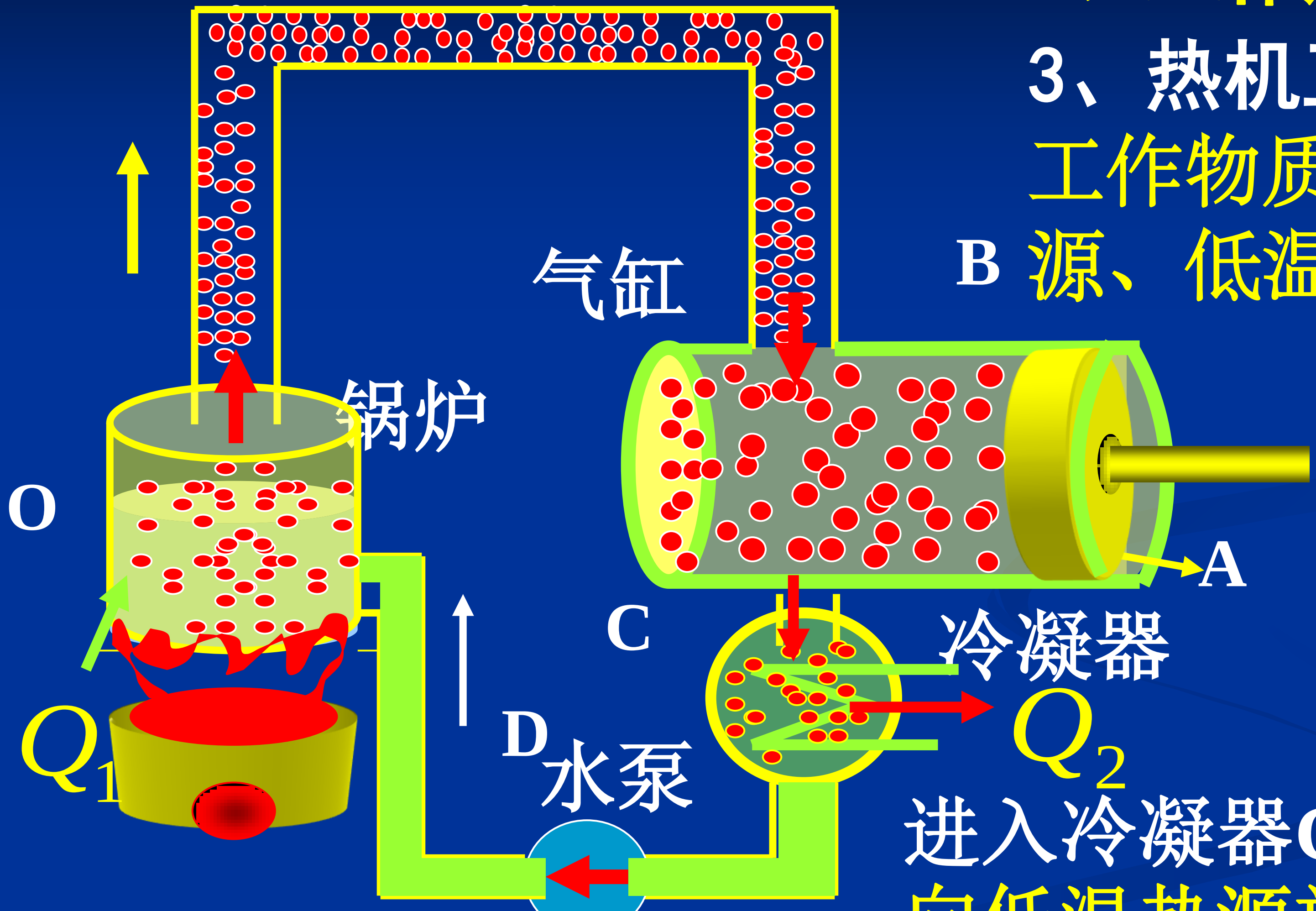
热机---通过循环过程不断把热转换为功的机器。

1、构造：

2、工作过程：

3、热机工作条件：
工作物质、高温热源、低温热源

水→高温高压气体
（吸热过程）

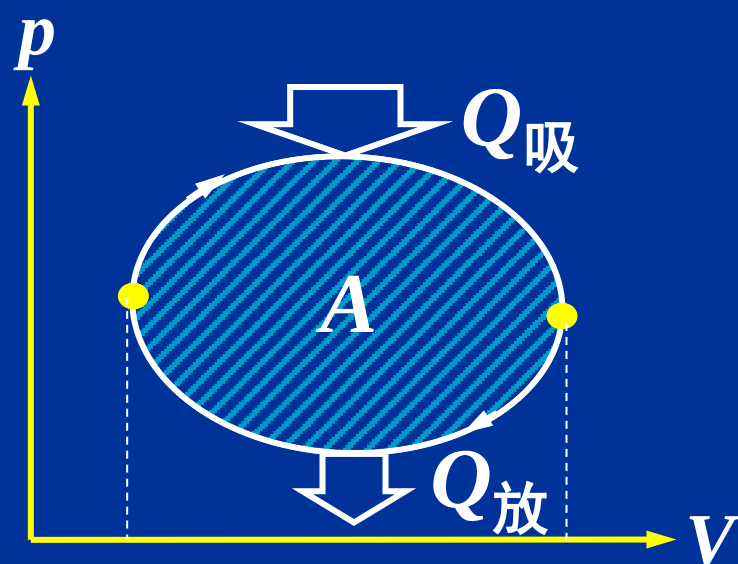


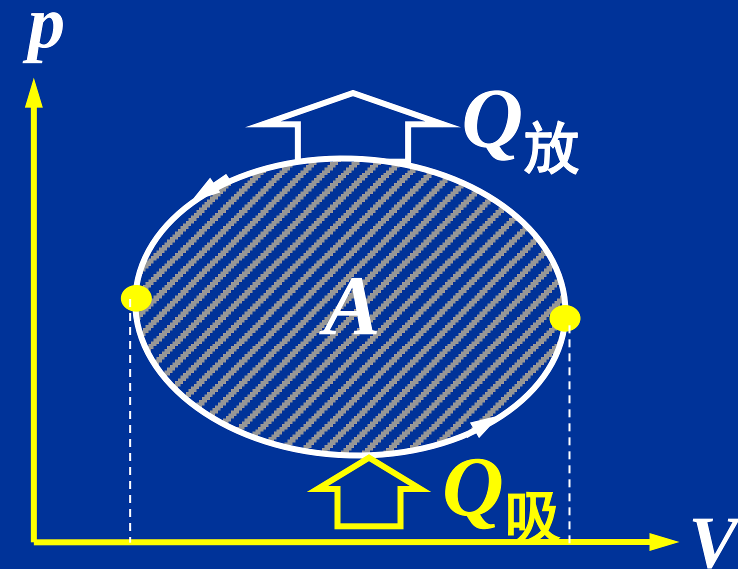
对外作功——
——内能减少

进入冷凝器C——
向低温热源放热

将水泵入锅炉
进入第二循环.

如果循环的各阶段均为准静态过程，则循环过程可用P-V图中闭合曲线表示：





正（热）循环

系统对外界做净功A

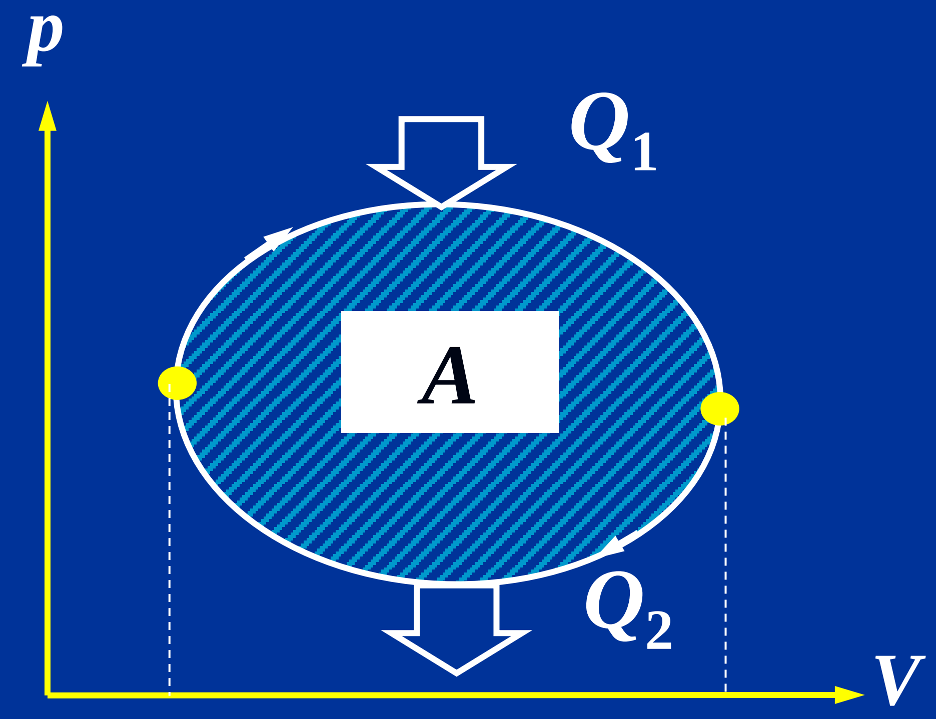
$A = Q_{吸} - Q_{放}$

逆（致冷）循环

外界对系统做净功A

$Q_{吸} = Q_{放} - A$

二、正循环的效率



工质复原内能不变

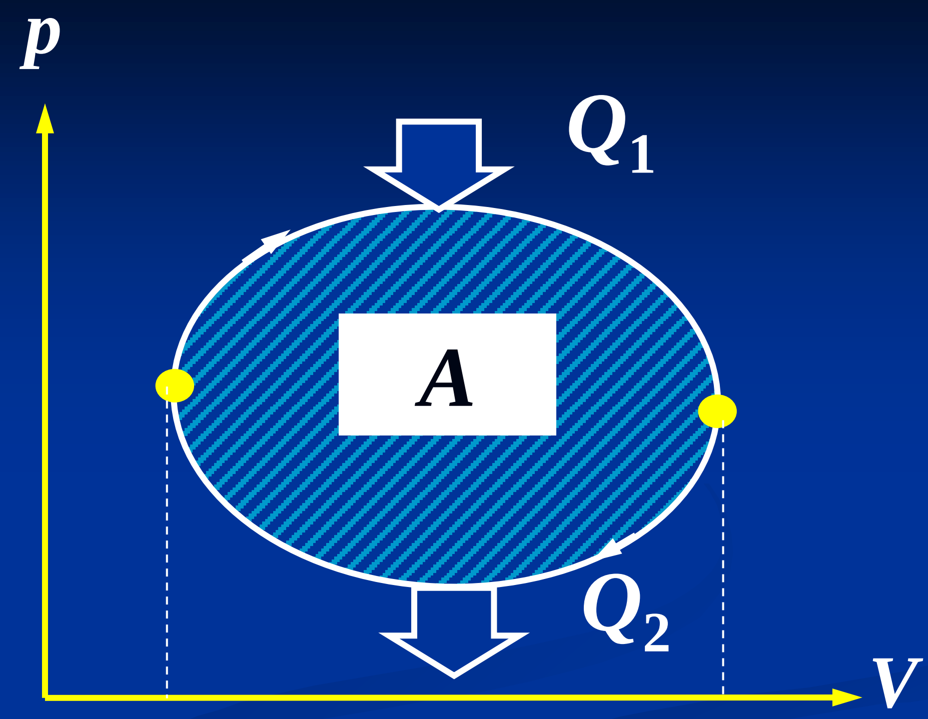
$$A = Q_1 - Q_2$$

Q_1—工作物质从高温热源吸收的热量；

Q_2—工作物质向低温热源（外界环境）放出热量的**绝对值**。

A—系统对外所作的**净功**。

效率：在一次循环中，工质对外做的净功占它总吸收热量的百分率。



$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

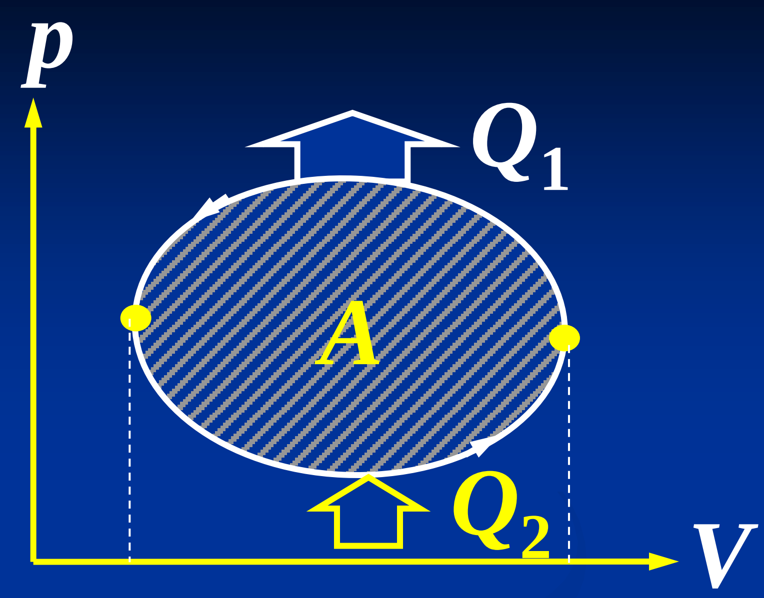
循环中各过程包括准静态和非静态过程。

逆循环的致冷系数

Q_1—工作物质向高温热源（外界）放热的**绝对值**；

Q_2—工作物质从低温热源吸收的热量。

A—外界对系统所作的净功。



逆(致冷)循环

$$A = Q_1 - Q_2$$

Q_2—追求的效果

A—付出的“成本”

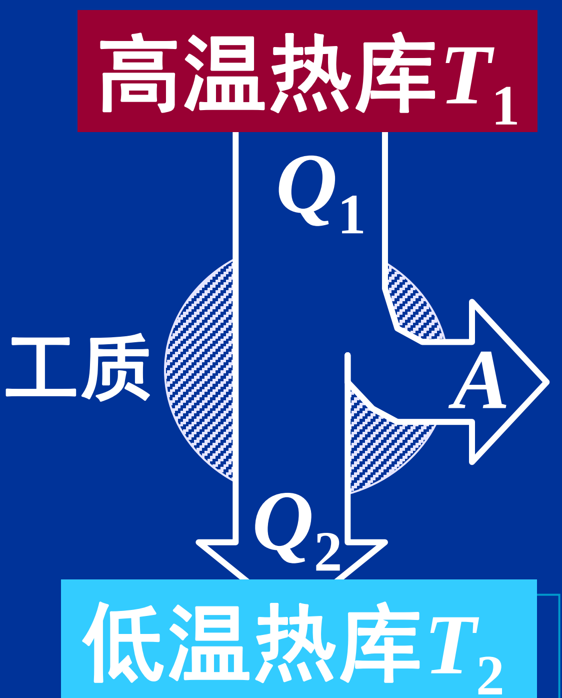
致冷系数：

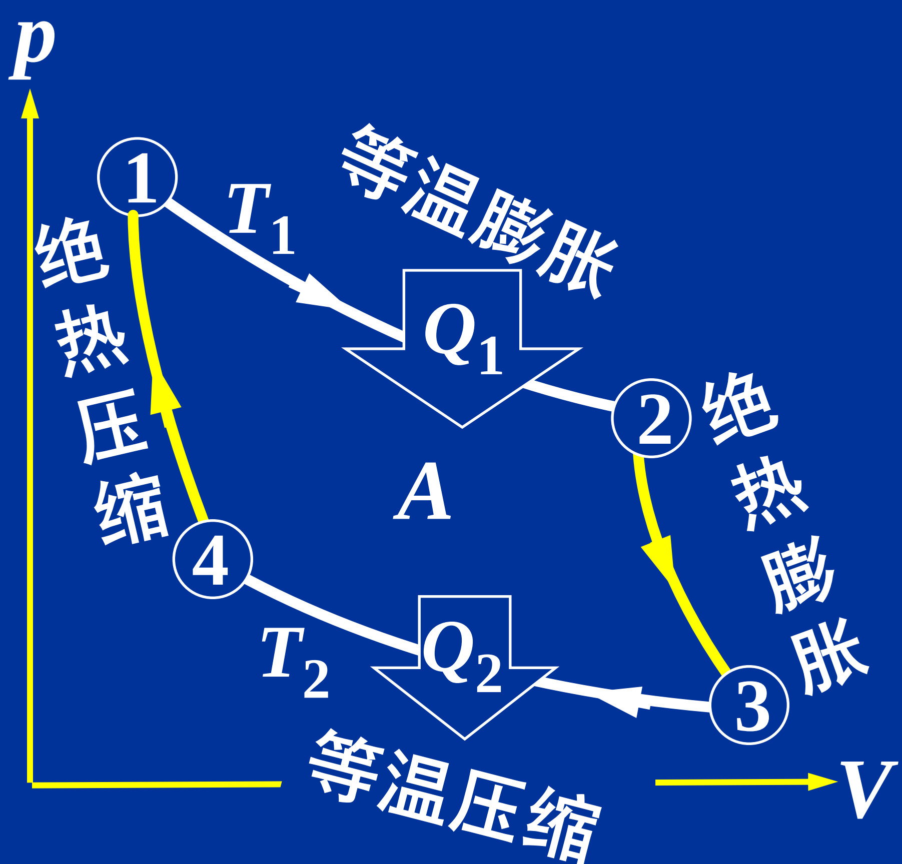
$$w = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

三、卡诺（Carnot）循环（1824）

卡诺循环：工质只和两个恒温热库交换热量的准静态循环。

按卡诺循环工作的热机—**卡诺热机**





卡诺循环的效率

①→② 等温膨胀

从高温热库吸热

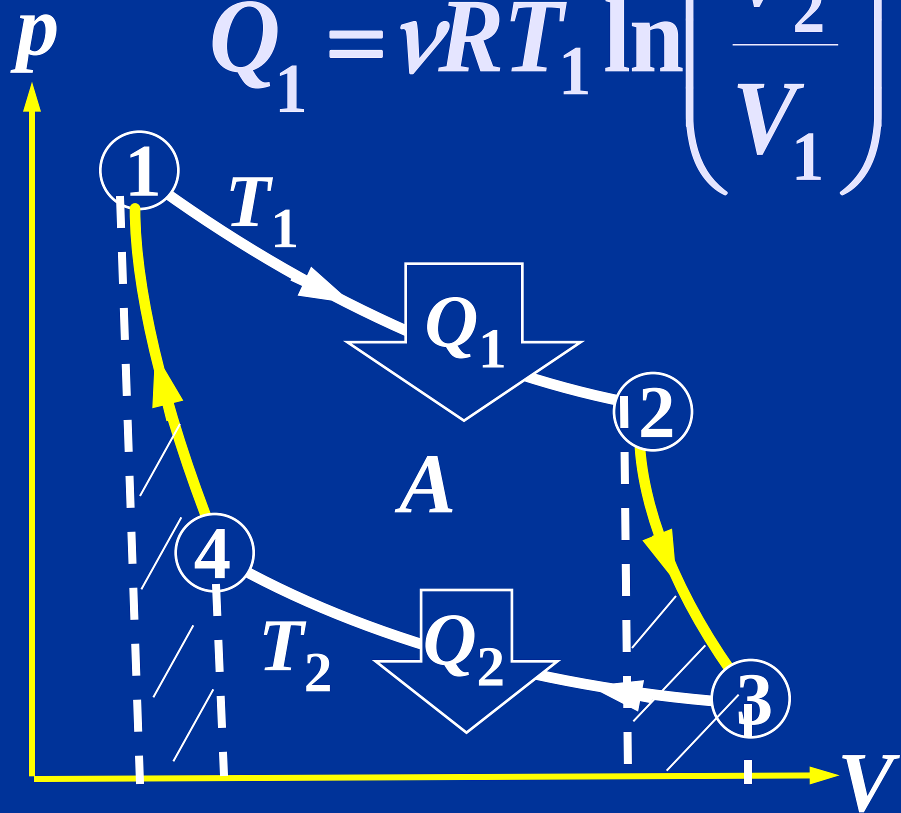
$$Q_1 = \nu R T_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

③→④ 等温压缩

向低温热库放热绝对值

$$Q_2 = \nu R T_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)$$

$$Q_1 = \nu R T_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \qquad Q_2 = \nu R T_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)$$



②→③ 绝热膨胀

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$$

④→① 绝热压缩

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$$

A_{23}=-A_{14} =-ΔE_{23}

因此 $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$

$$\eta_c = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\eta_c = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

说明：

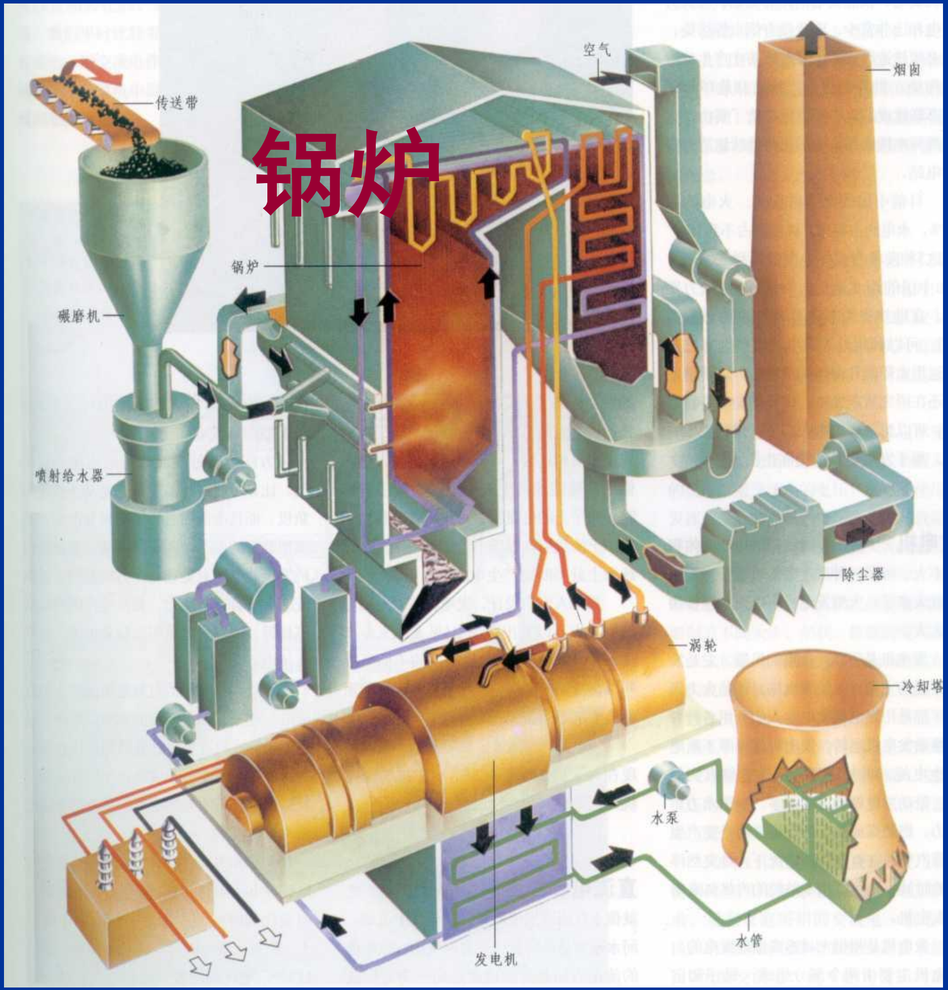
- 卡诺热机的效率只由高温热源和低温热源的温度决定.

$T_2 \downarrow$

$\eta \uparrow$

$T_1 \uparrow$

- T_1不可能无限制地提高， T_2也不可能达到绝对零度，因而热机的效率总是小于1。



例. 热电厂

$$T_1 = 580^\circ \mathrm{C}, T_2 = 30^\circ \mathrm{C}$$

按卡诺循环计算：

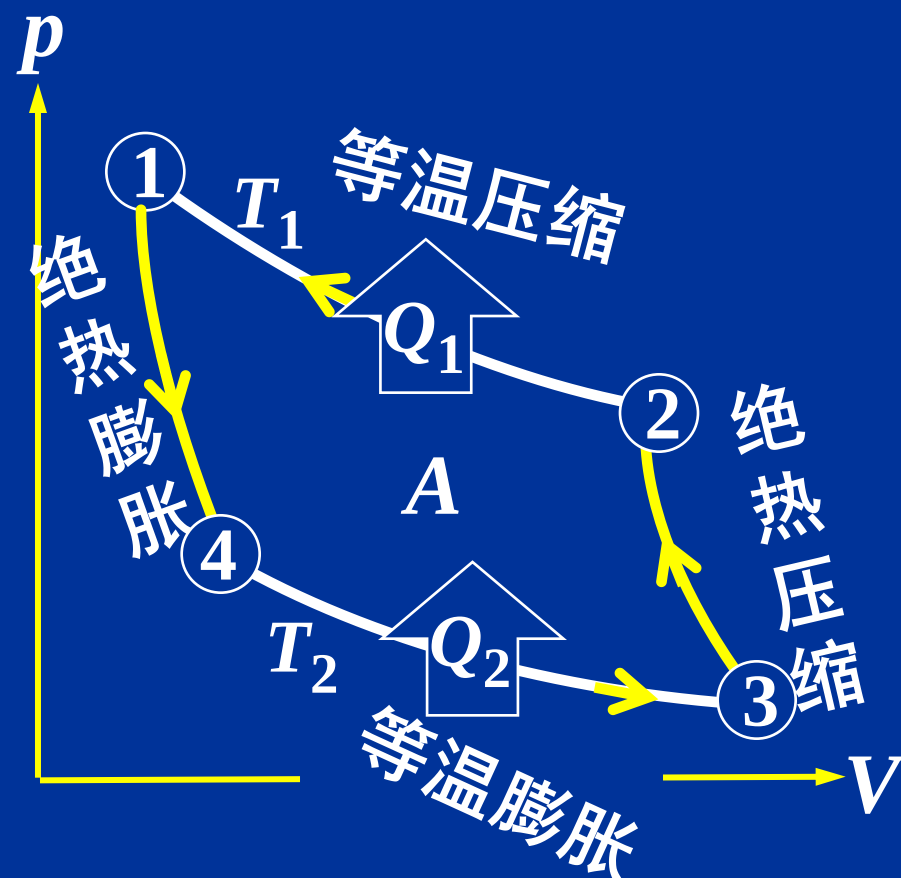
$$\eta_C = 64.5\%$$

实际最高效率： 36%　发电机　　冷凝塔

原因：**非卡诺循环、耗散（摩擦等）**

卡诺致冷循环

将待冷却物体作为低温热源，反向进行热机循环，可实现**致冷循环**。

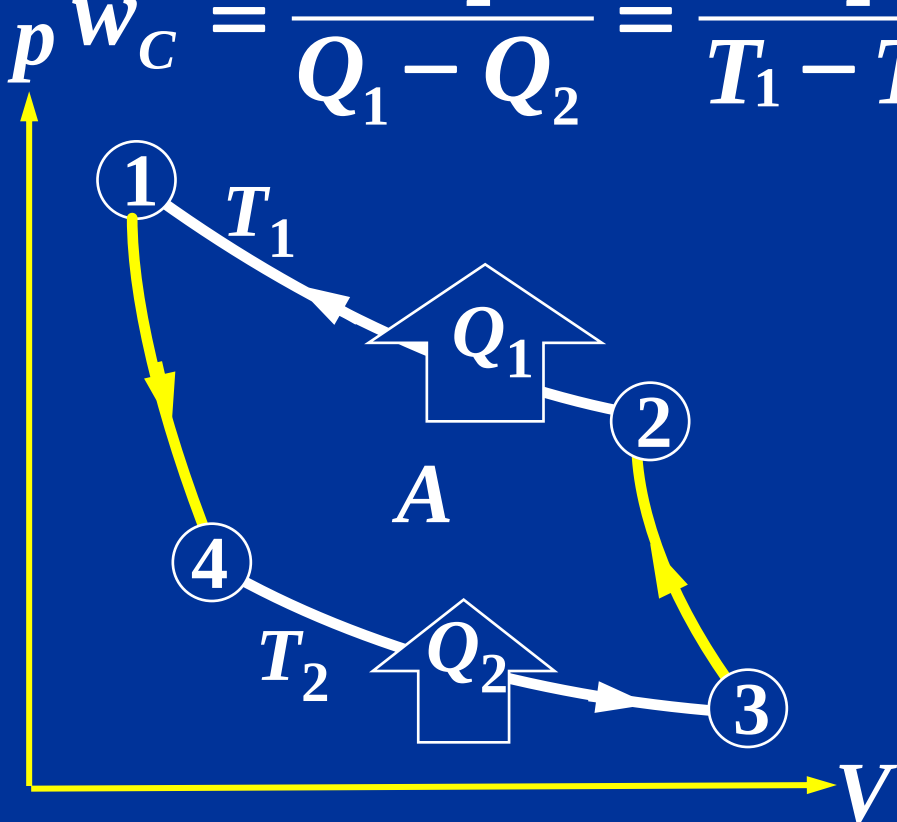


$$Q_1 = \nu R T_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \qquad Q_2 = \nu R T_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

卡诺致冷机致冷系数

$$w_C = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$



例12.7：一卡诺机工作于27°C与127 °C两热源之间，若从高温源T_1吸热3000J，可对外做功多少？若要从低温热源T_2吸热3000J，需做功多少?

解：第一过程为正循环

$$\eta=\frac{A_1}{Q_1}=1-\frac{T_2}{T_1}=1-\frac{273+27}{273+127}=\frac{1}{4}=25\%$$

$$A_1=\eta Q_1=\frac{Q_1}{4}=750J$$

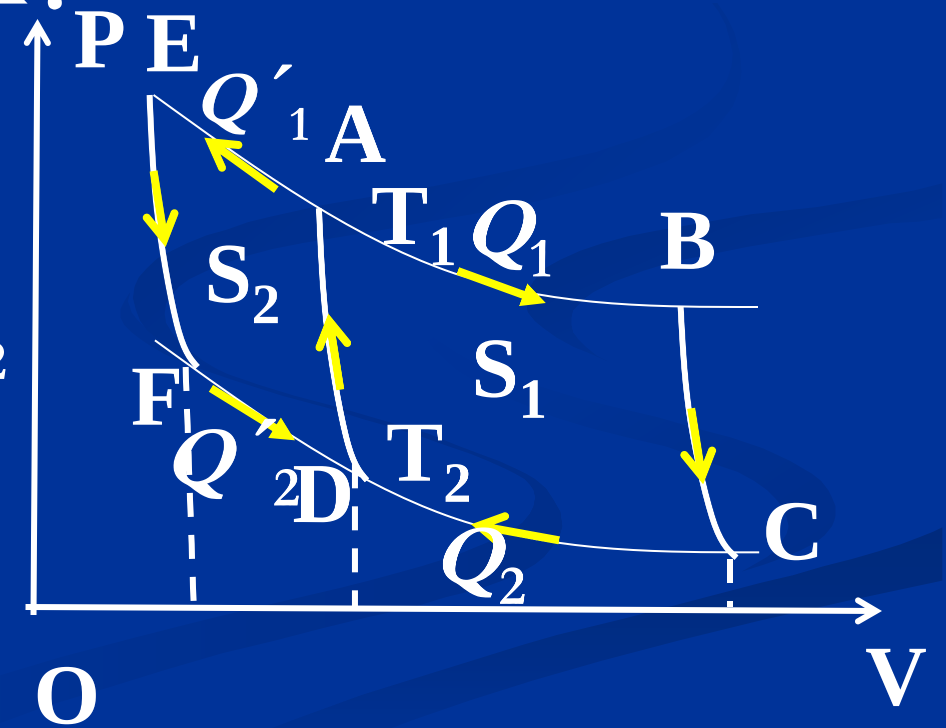
第二过程为逆循环 $w=\frac{Q_2}{A_2}=\frac{T_2}{T_1-T_2}=3$

$$A_2=\frac{Q_2}{w}=\frac{3000}{3}=1000J$$

例：如图所示，ABCDAEFDA为某种一定量的理想气体进行的一个循环过程，它是由一个卡诺正循环ABCDA和一个卡诺逆循环AEFDA组成．已知等温线温度比T_1 / T_2 = 4，卡诺正、逆循环曲线所包围面积大小之比为S_1 / S_2 = 2．求循环ABCDAEFDA的效率？

设Q_1与Q_2分别为ABCDA循环中系统吸的热与放的热量绝对值，Q'_1与Q'_2分别为AEFDA 循环中系统放的热与吸的热量绝对值，

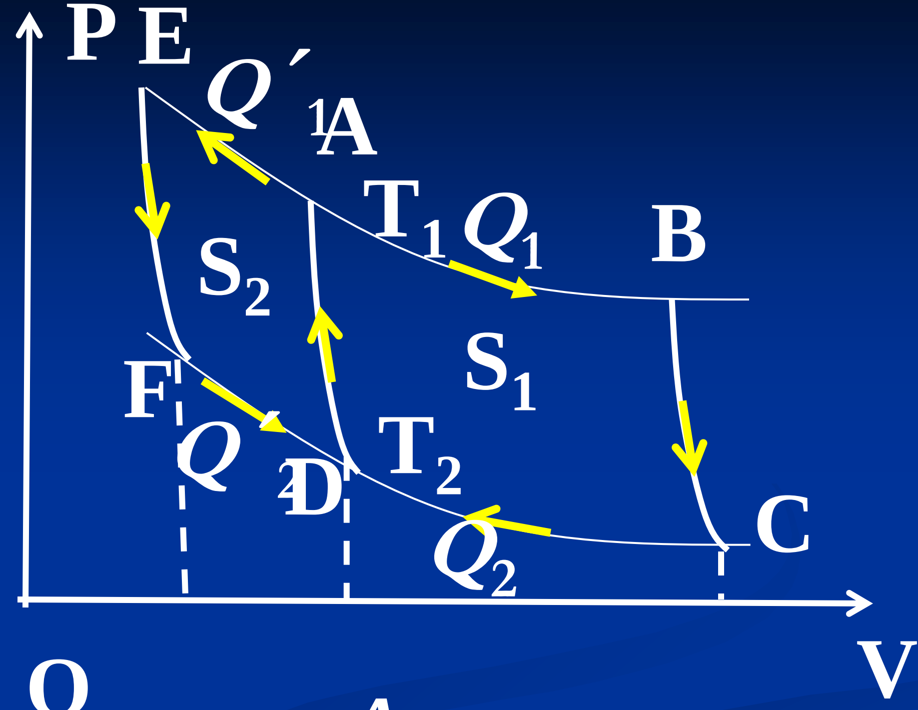
$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{T_2}{T_1}\qquad\frac{Q_2'}{Q_1'}=\frac{T_2}{T_1}$$



$$T_1 / T_2 = 4$$

$$S_1 / S_2 = 2$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \qquad \frac{Q_2'}{Q_1'} = \frac{T_2}{T_1}$$



$$Q_1 - Q_2 = S_1$$

$$Q_1' - Q_2' = S_2$$

$$\eta = \frac{A}{Q_1 + Q_2'}$$

$$= \frac{S_1 - S_2}{\frac{4}{3} S_1 + \frac{1}{3} S_2} = \frac{1}{3}$$

例12.5 奥托循环（汽油机循环）

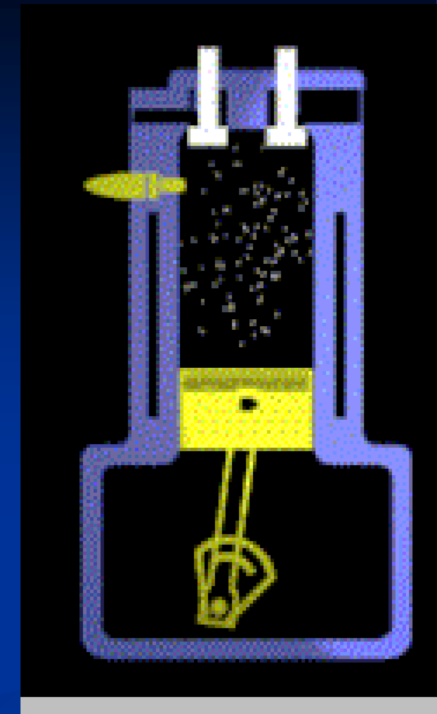
1）吸气过程（1—a）

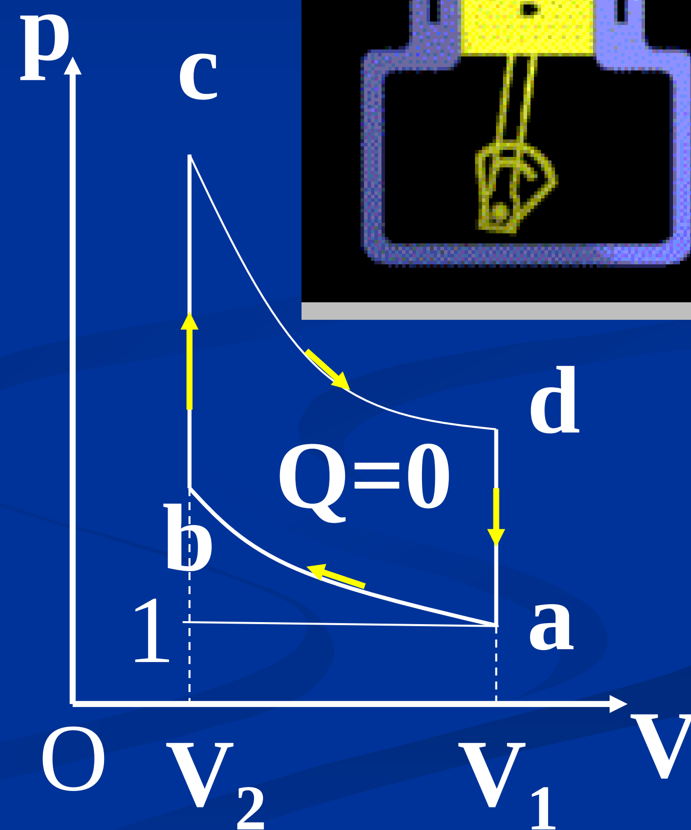
2）压缩（a—b绝热压缩）

3）点燃（b—c等体过程）

膨胀（c—d绝热膨胀过程）

4）排气（d—a—1）





理想汽油内燃机循环过程

奥托循环的效率

a—b绝热压缩　　$Q=0$;

b—c等体升压

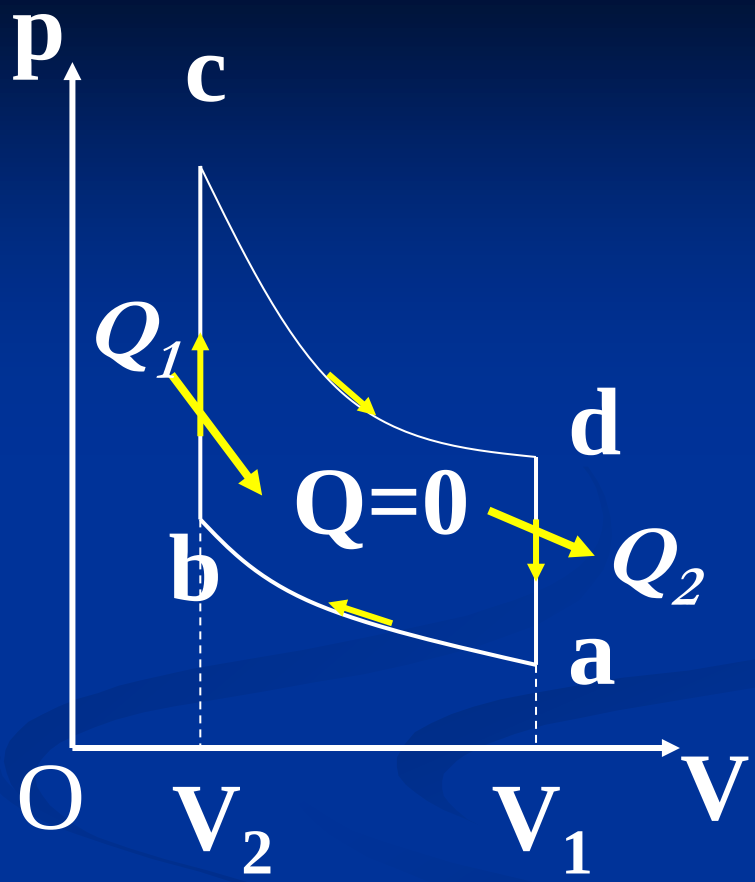
$$Q_1 = \nu C_V (T_3 - T_2)$$

c—d 绝热膨胀　　$Q=0$;

d—a等体降压

$$Q_2 = \nu C_V (T_4 - T_1)$$

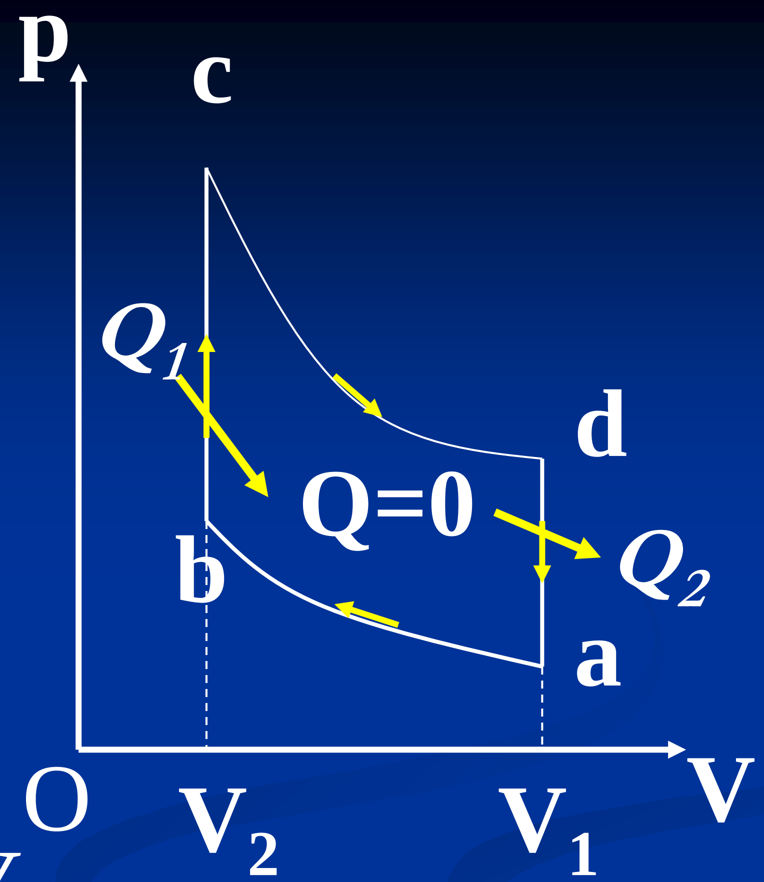
$A=Q_1-Q_2$



$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\left.\begin{array}{l} T_2 V_2^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1} \\ \\ T_3 V_2^{\gamma-1} = T_4 V_1^{\gamma-1} \end{array}\right\} \Rightarrow$$



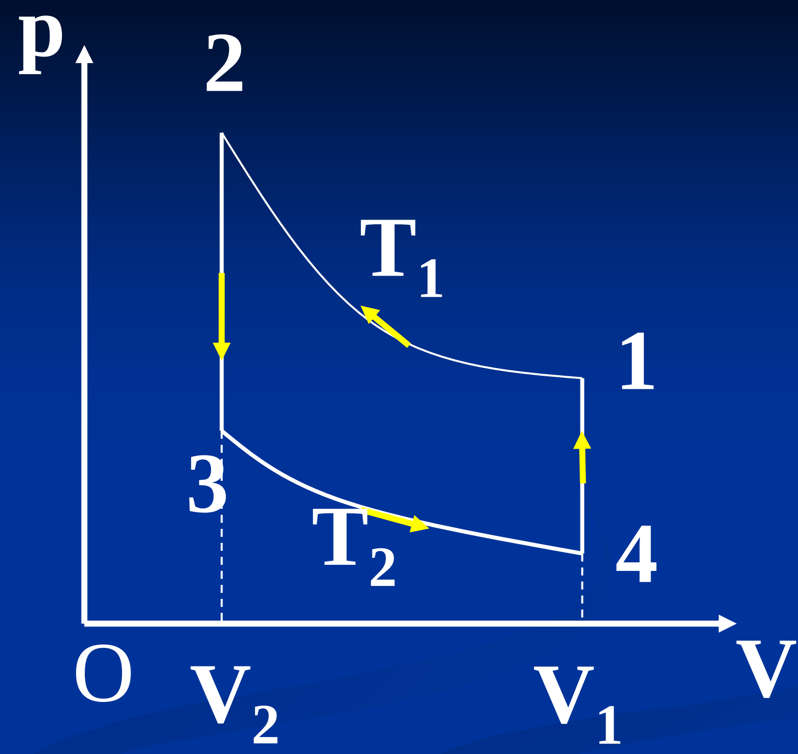
$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} = \frac{T_3 - T_2}{T_4 - T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

$$\therefore \eta = 1 - 1/\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 1 - \frac{1}{\delta^{\gamma-1}}$$

$\delta = V_1 / V_2$

绝热压缩比

例：逆向斯特林循环



1—2等温压缩

$$Q_1 = \nu RT_1 \ln\frac{V_1}{V_2}$$

2—3等体降压

$$Q_1' = \nu C_V (T_1 - T_2)$$

3—4等温膨胀 $Q_2 = \nu RT_2 \ln\frac{V_1}{V_2}$

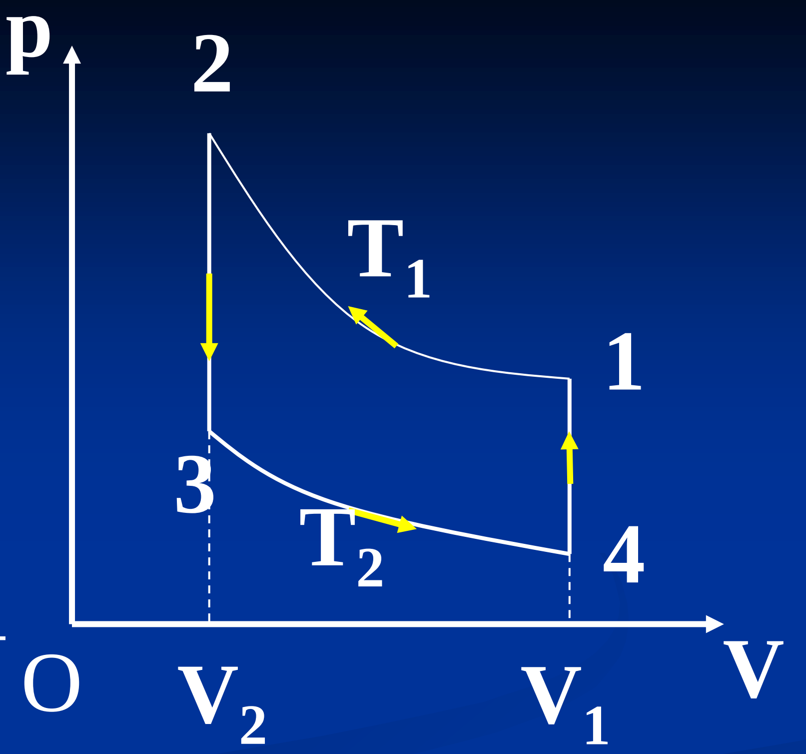
4—1等体升压 $Q_1' = \nu C_V (T_1 - T_2)$

$$A = Q_1 + Q_1' - (Q_2 + Q_2') = Q_1 - Q_2$$

$$Q_1 = \nu RT_1 \ln\frac{V_1}{V_2}$$

$$Q_2 = \nu RT_2 \ln\frac{V_1}{V_2}$$

$$w = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$



一般T_1为环境温度，取T_1 =300K，设Q_2=100J

若T_2=100K，A=200J

T_2=1K，A=3×10^4J

T_2=10^{-3}K,A=3×10^7J

$$T_2 \to 0, A \to \infty$$

绝对零度不能达到