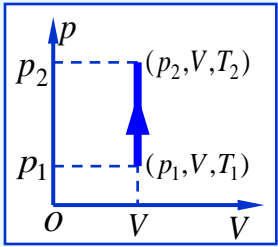
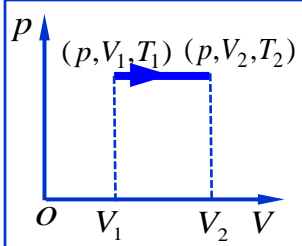
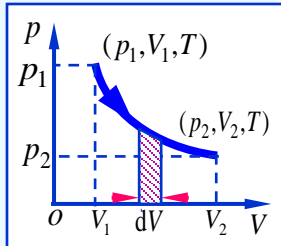
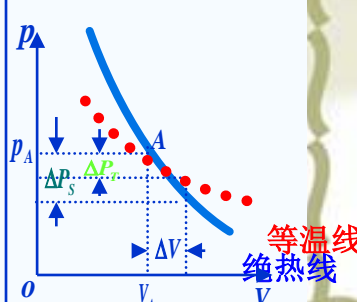


$pV = \nu RT$	$A = \int_{V_1}^{V_2} p d\nu$	ΔE	$Q = A + \Delta E$	$\frac{PV}{T} = C$	P-V图
等容 $dV = 0$	0	$\nu \frac{i}{2} R \Delta T$	$\nu \frac{i}{2} R \Delta T$ $\nu C_{Vm} \Delta T$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = C$	
等压 $dP = 0$	$P \Delta V$ $\nu R \Delta T$	$\nu \frac{i}{2} R \Delta T$	$\nu \frac{i+2}{2} R \Delta T$ $\nu C_{pm} \Delta T$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = C$	
等温 $dT = 0$	$\nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ $\nu RT \ln \frac{P_1}{P_2}$	0	$\nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ $\nu RT \ln \frac{P_1}{P_2}$	$P_1 V_1 = P_2 V_2 = C$	
绝热 $dQ = 0$	$-\nu \frac{i}{2} R \Delta T$ $\frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{\gamma - 1}$	$\nu \frac{i}{2} R \Delta T$	0	$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma = C$ $V^{\gamma-1} T = C$ $P^{\gamma-1} T^{-\gamma} = C$ $\gamma = \frac{C_{pm}}{C_{Vm}} = \frac{i+2}{i}$	



§ 8.4 循环过程 卡诺循环

历史上，热力学理论最初是在研究热机工作过程的基础上发展起来的。

热机发展简介 1698年萨维利和1705年纽可门先后发明了蒸汽机，当时蒸汽机的效率极低，1765年瓦特进行了重大改进，大大提高了效率。人们一直在为提高热机的效率而努力，从理论上研究热机效率问题，一方面指明了提高效率的方向，另一方面也推动了热学理论的发展。

各种热机的效率

液体燃料火箭 $\eta = 48\%$

柴油机 $\eta = 37\%$

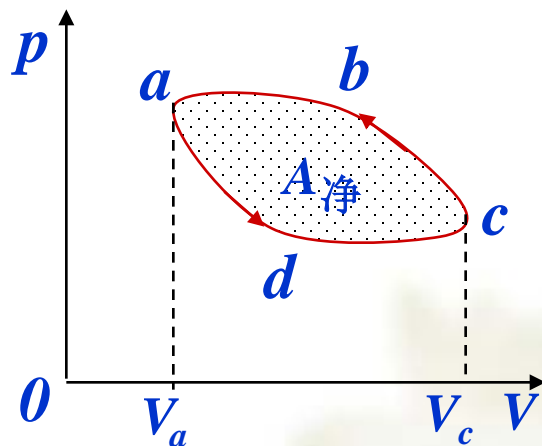
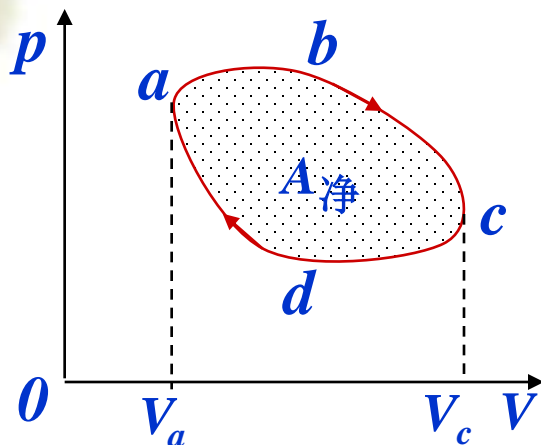
汽油机 $\eta = 25\%$

蒸汽机 $\eta = 8\%$



一、循环过程

准静态循环在 p — V 图上是一条封闭曲线。



特点: $\Delta E = 0$

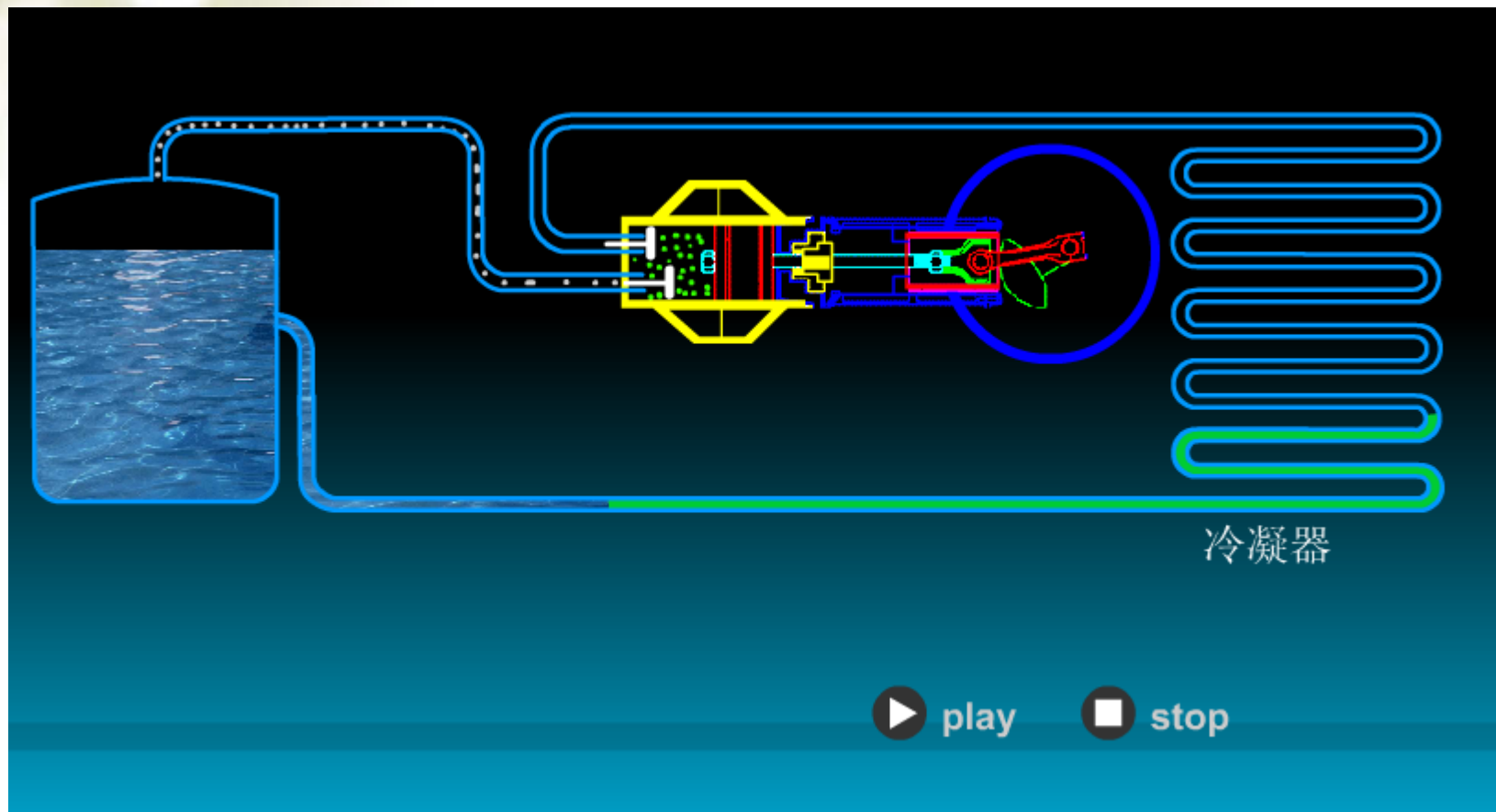
正循环和逆循环

正循环(顺时针): $A_{\text{净}} > 0$ \Rightarrow 热机

逆循环(逆时针): $A_{\text{净}} < 0$ \Rightarrow 制冷机



热机循环示意图



热机：持续地将热量转变为功的机器。



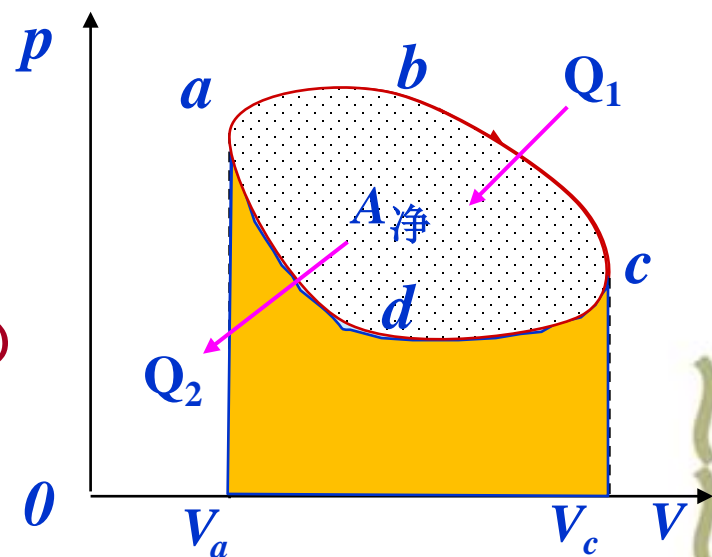
二、循环效率

正循环: 系统循环一次

净功 $A_{\text{净}} > 0$

净吸热 $Q_{\text{净}} = Q_1 - Q_2$ (取绝对值)

热一定律 $Q_1 - Q_2 = A_{\text{净}} > 0$



正循环过程是通过工质将吸收的热量 Q_1 中的一部分转化为有用功 $A_{\text{净}}$, 另一部分热量 Q_2 放回给外界.

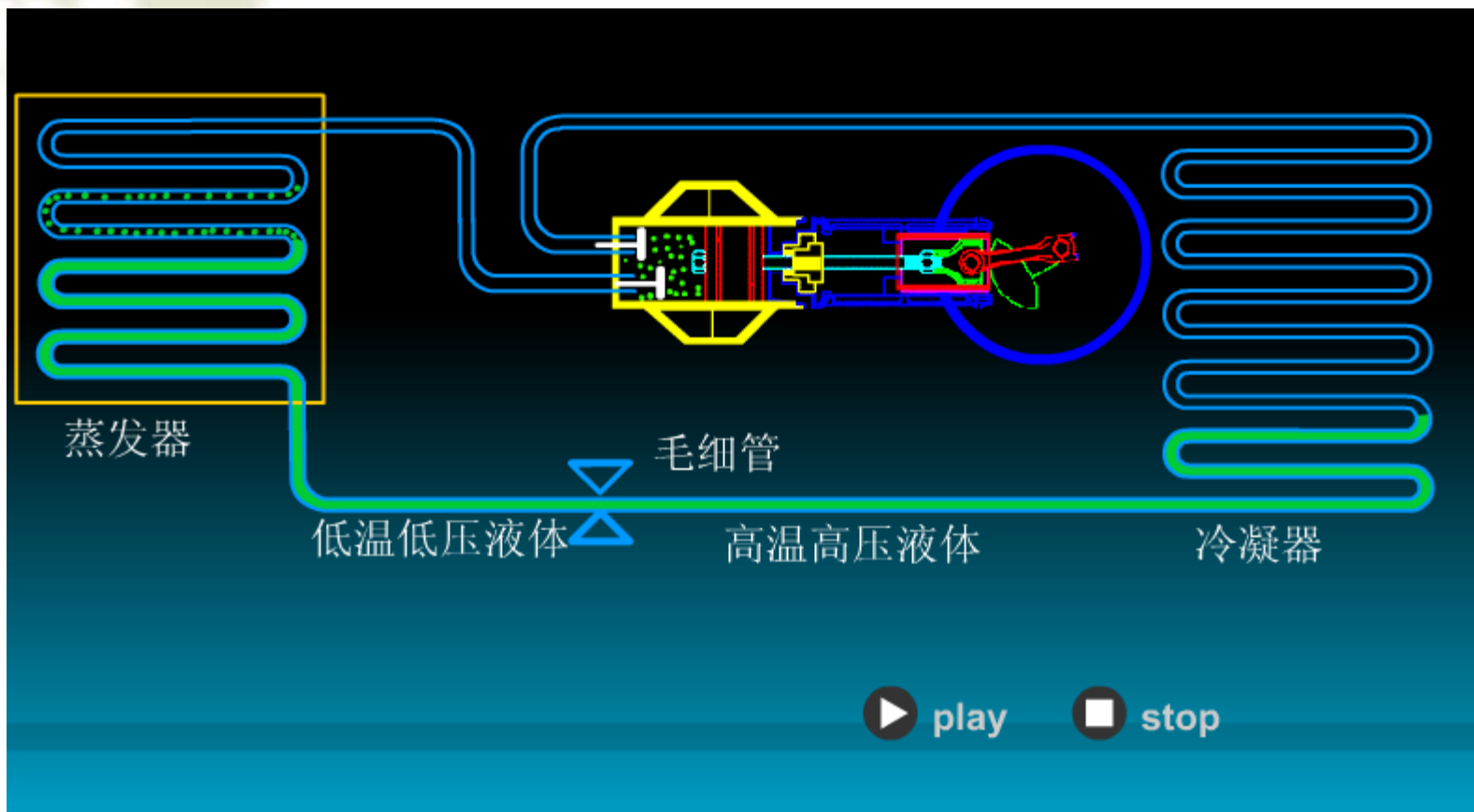
热机: 就是在一定条件下, 将热转换为功的装置

热机效率
$$\eta = \frac{A_{\text{净}}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

由于 Q 与过程有关, $\therefore \eta$ 与过程有关



制冷机循环示意图

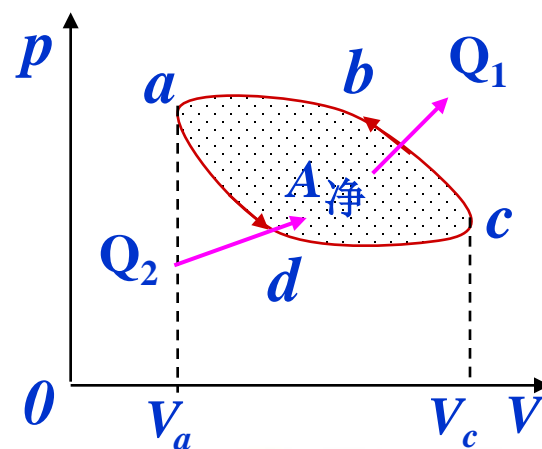


逆循环：系统循环一次

净功 $A_{\text{净}} < 0$

净放热 $Q_{\text{净}} = Q_2 - Q_1$

热一定律 $Q_2 - Q_1 = A_{\text{净}} < 0$



工质把从低温热源吸收的热量和外界对它所作的功以热量的形式传给高温热源。

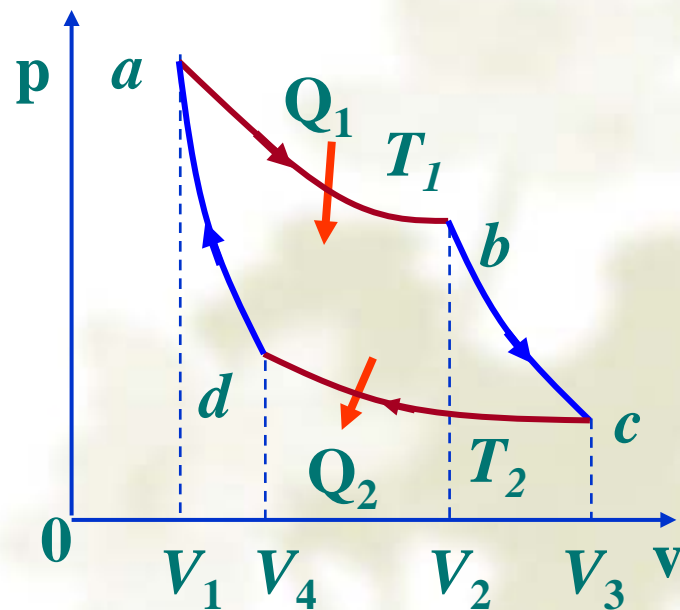
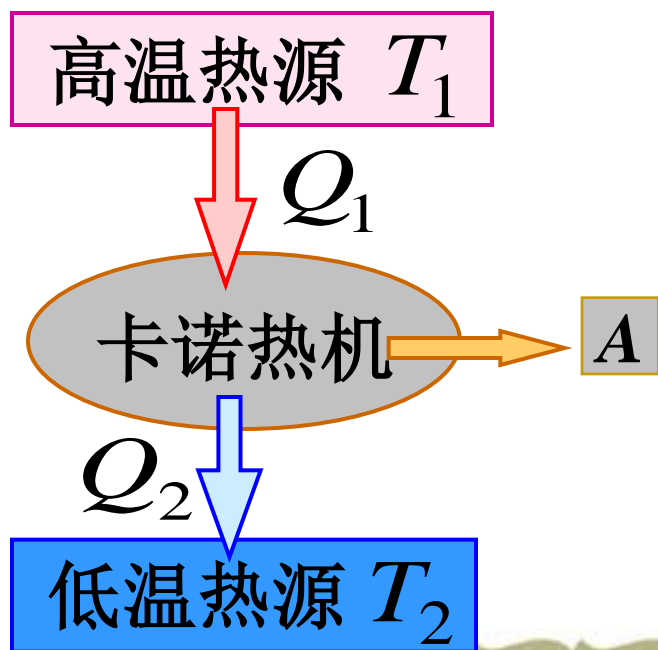
致冷系数：
$$e = \frac{Q_2}{/A_{\text{净}}/} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$



三. 卡诺循环

1824 年法国的年青工程师卡诺提出一个工作在两热源之间的理想循环——卡诺循环. 给出了热机效率的理论极限值; 他还提出了著名的卡诺定理.

卡诺循环是理想气体为工质由两个准静态等温过程和两个准静态绝热过程组成.



工质在两个恒定的热源($T_1 > T_2$)之间工作的准静态循环过程。由等温膨胀，绝热膨胀，等温压缩，绝热压缩四个过程组成。

1. 卡诺热机

等温线上吸热和放热

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

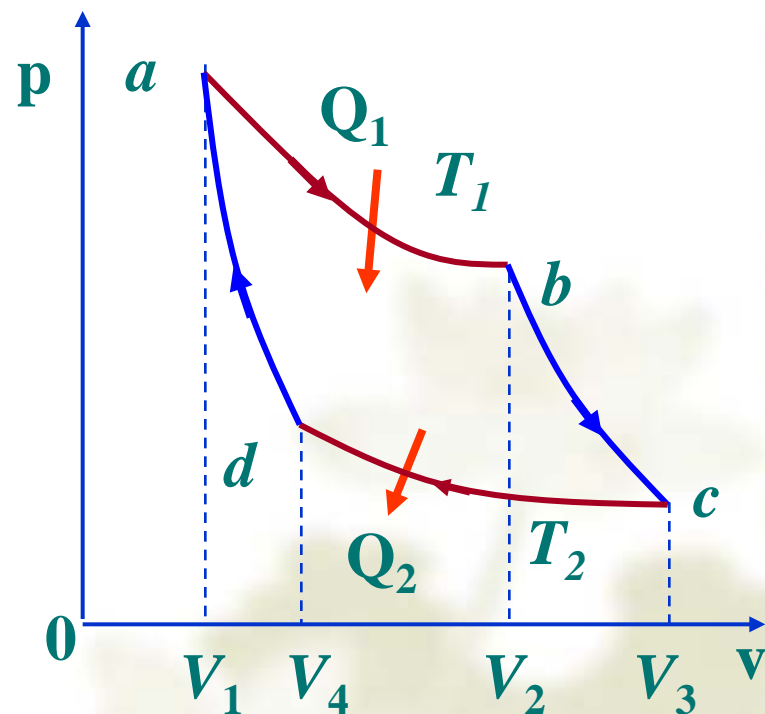
$$Q_2 = \nu RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

两条绝热线

$$b \rightarrow c \quad T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$$

$$d \rightarrow a \quad T_2 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}$$

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



$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{vRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - vRT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{vRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$



讨论

1) 卡诺热机效率: $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

卡诺热机效率与工作物质无关, 只与两个热源的温度有关, 两热源的温差越大, 则卡诺循环的效率越高.

2) 理论指导作用: 提高 η $\left\{ \begin{array}{l} T_1 \uparrow \\ T_2 \downarrow \end{array} \right.$

提高高温热源的温度现实些



3) 理论说明低温热源温度 $T_2 \neq 0$

说明热机效率

$$\eta \neq 1$$

且只能

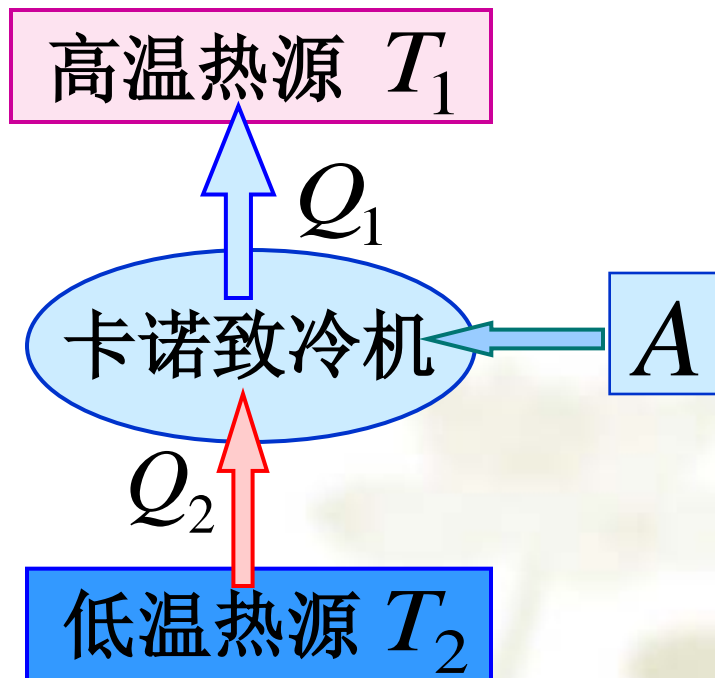
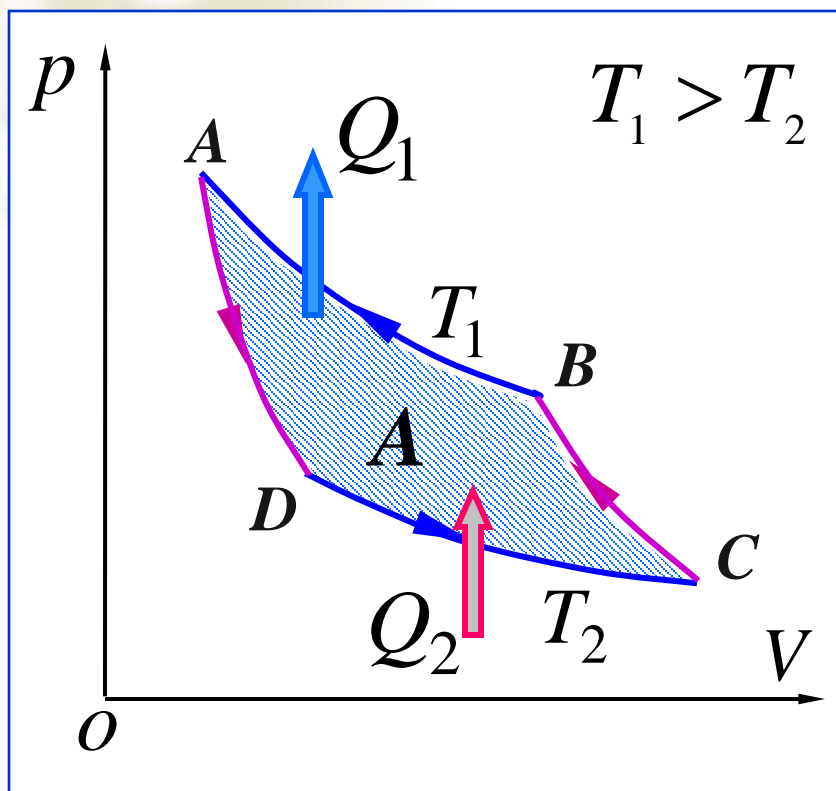
$$\eta < 1$$

进一步说明

- 热机循环不向低温热源放热是不可能的
- 热机循环至少需要两个热源。否则，海水降 0.01°C ，可供全世界1700年所需能量，就无能源危机了。



2 卡诺致冷机（卡诺逆循环）



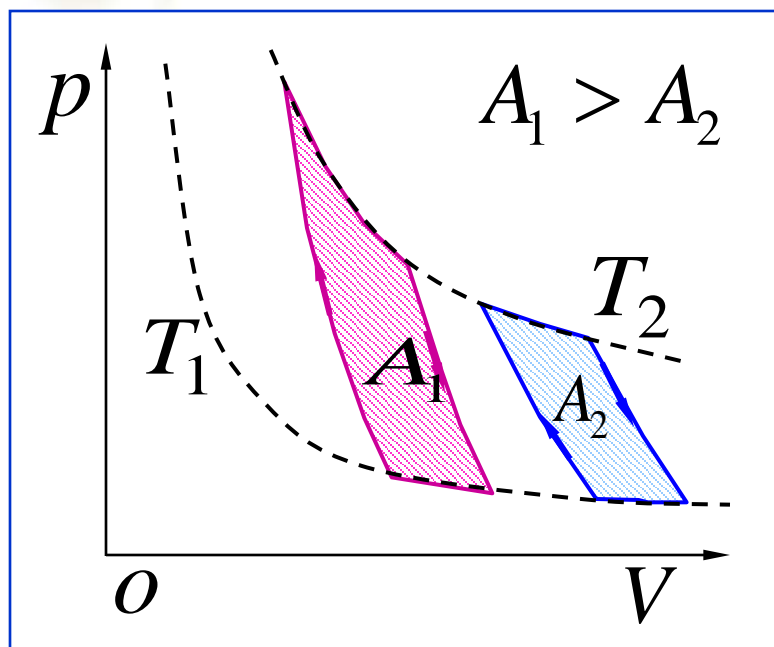
卡诺致冷机致冷系数 $\varepsilon = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$



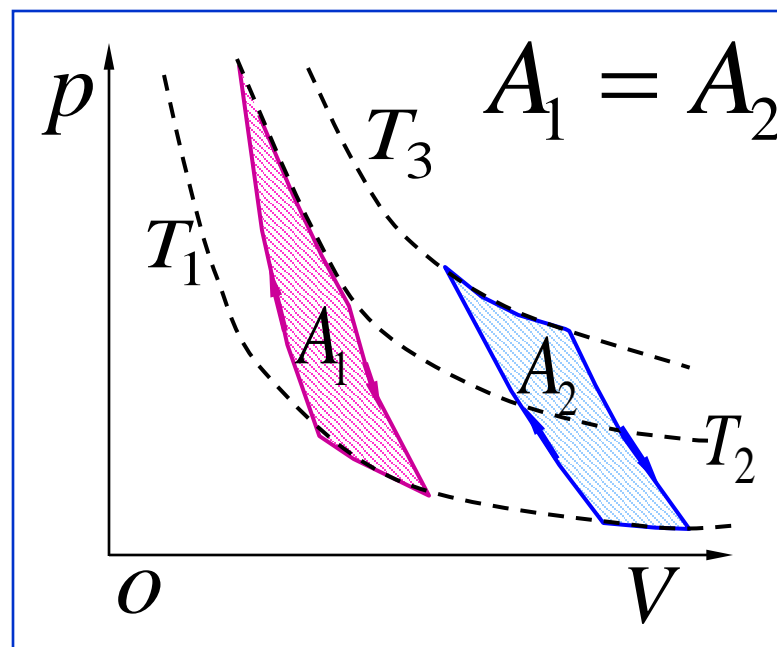
讨论

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

图中两卡诺循环 $\eta_1 = \eta_2$ 吗？



$$\eta_1 = \eta_2$$



$$\eta_1 < \eta_2$$

