

热机发展简介

1698年萨维利和1705年纽可门先后发明了蒸气机，当时蒸气机的效率极低。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 $\eta = 48\%$

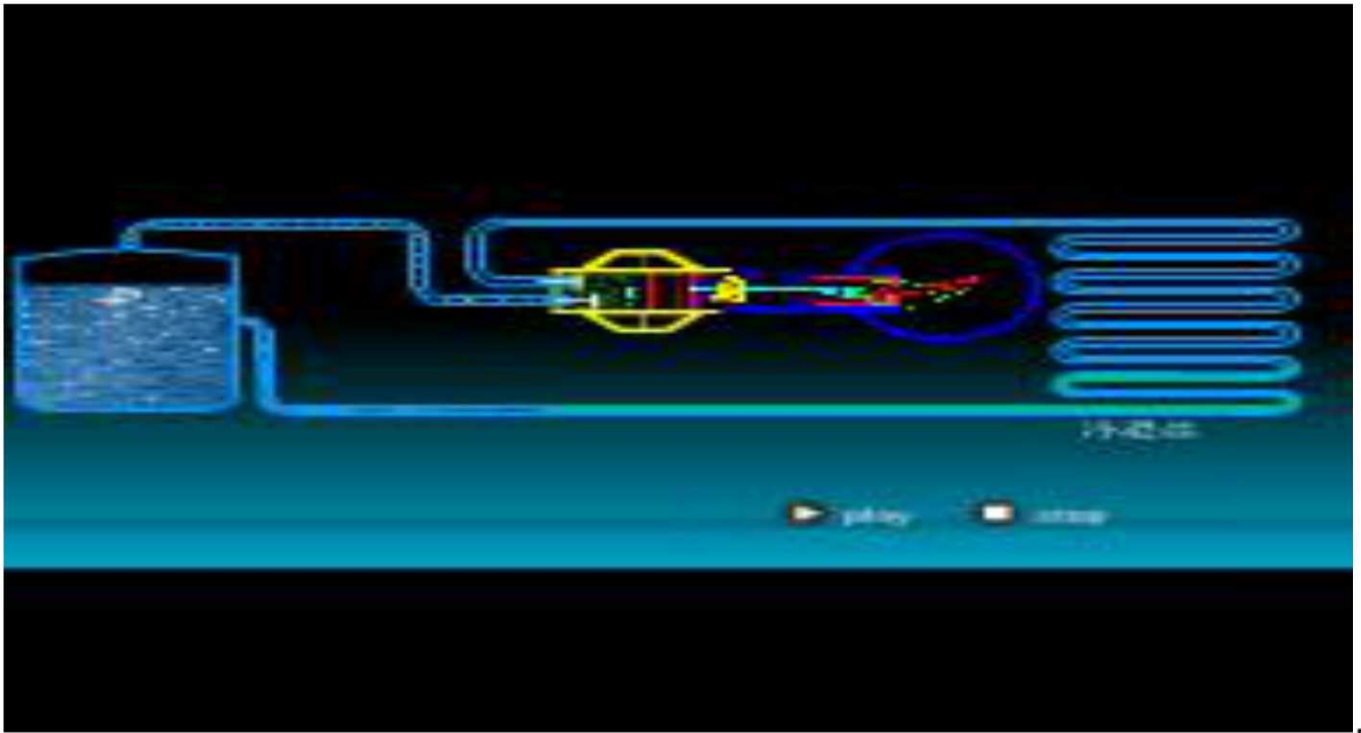
柴油机 $\eta = 37\%$

汽油机 $\eta = 25\%$

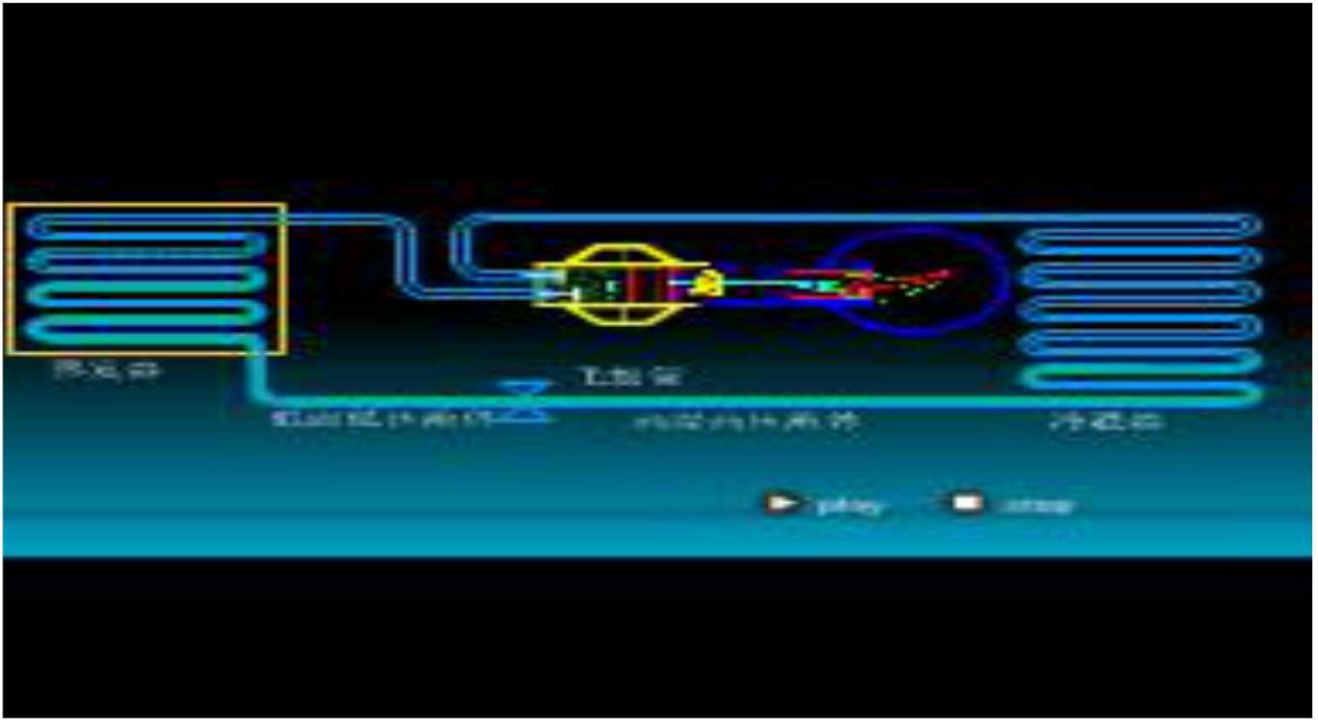
蒸气机 $\eta = 8\%$



热机：持续地将热量转变为功的机器。



冰箱循环示意图



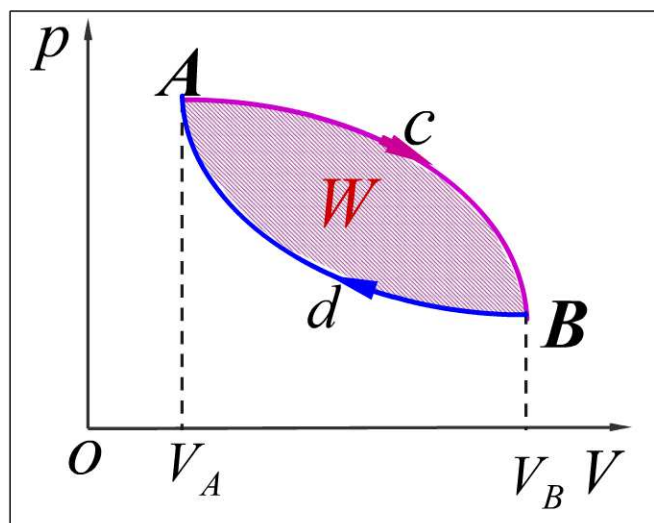
一 循环过程

系统经过一系列变化状态过程后，又回到原来的状态的过程叫热力学循环过程。

特征 $\Delta E = 0$

由热力学第一定律

$$Q = W$$



$$\text{净功 } W = Q_1 - Q_2 = Q$$

总吸热 $\longrightarrow Q_1$

总放热 $\longrightarrow Q_2$ (取绝对值)

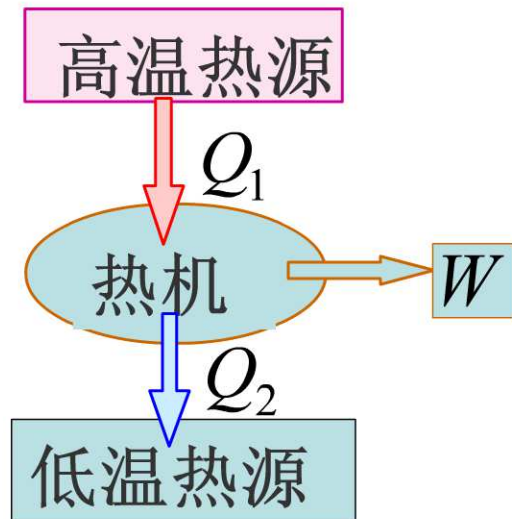
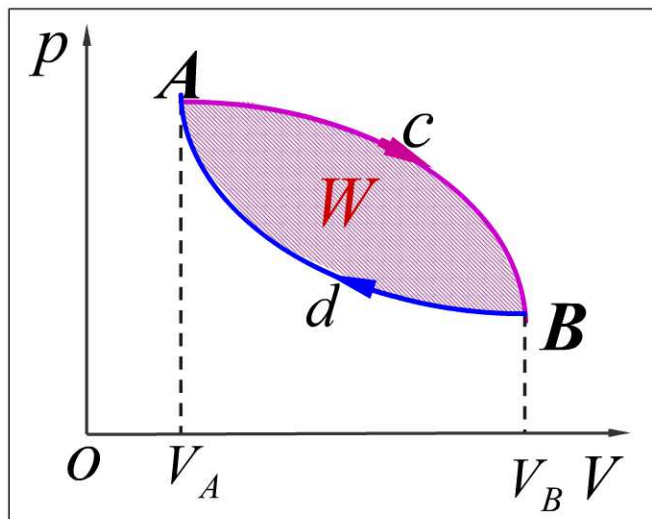
净吸热 $\longrightarrow Q$

二 热机效率和致冷机的致冷系数

热机 (正循环) $W > 0$

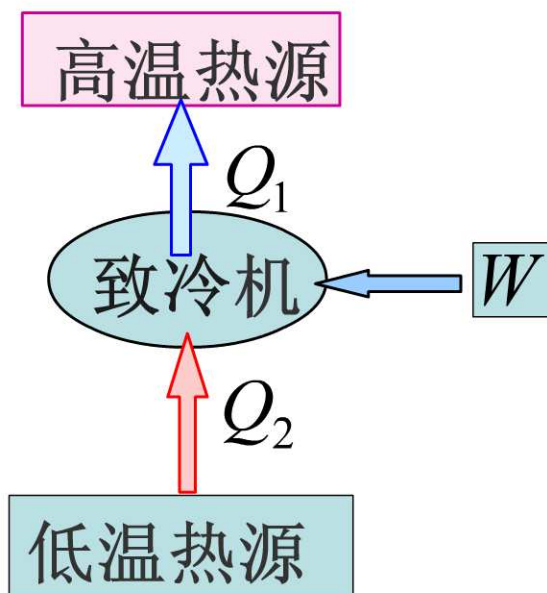
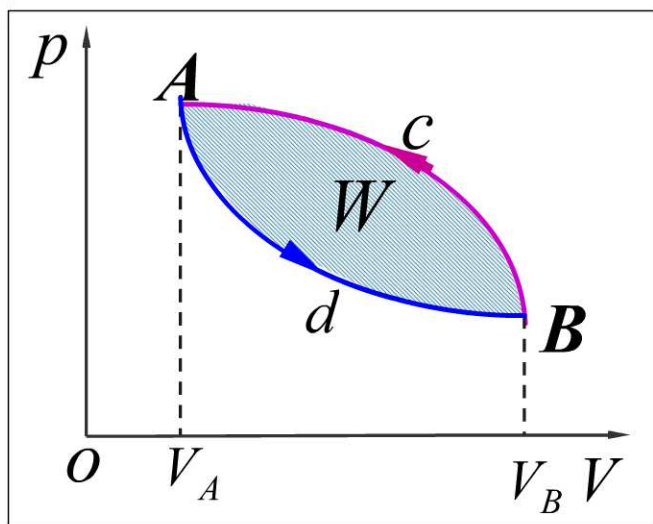
致冷机 (逆循环) $W < 0$





热机效率 $\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$





致冷机致冷系数

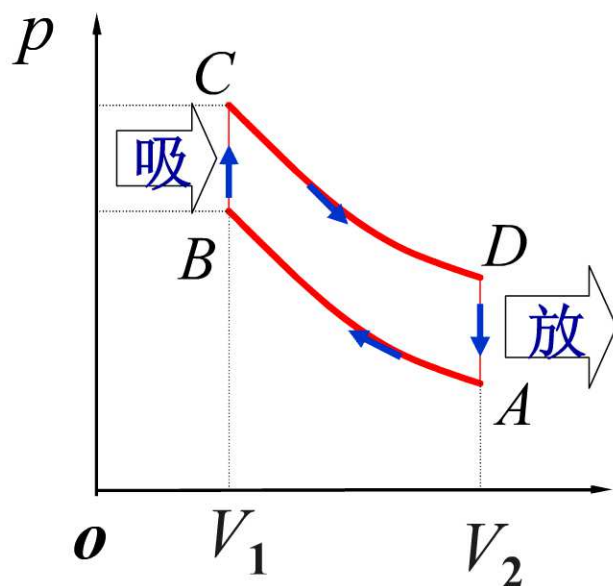
$$e = \frac{Q_2}{|W|} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$



例 1 汽油机可近似看成如图循环过程 (Otto 循环), 其中 AB 和 CD 为绝热过程, 求此循环效率.

解

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \frac{|Q_{DA}|}{Q_{BC}} \\ &= 1 - \frac{C_v(T_D - T_A)}{C_v(T_C - T_B)} \\ &= 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \end{aligned}$$



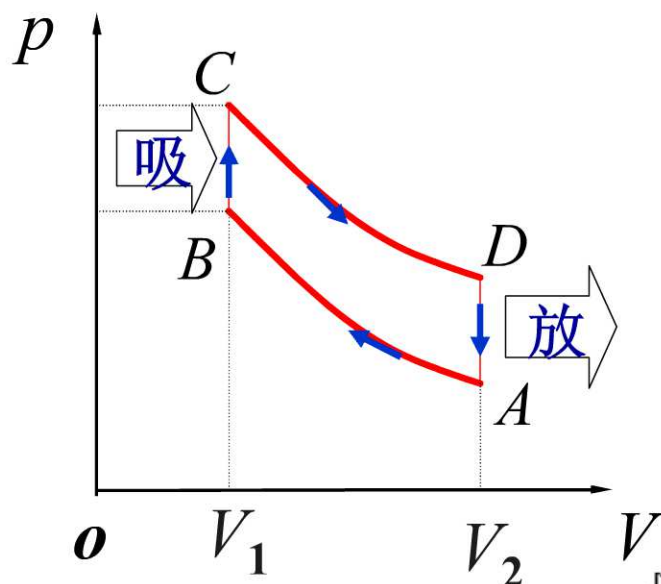
又BC和DA是绝热过程：

$$\frac{T_B}{T_A} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}, \quad \frac{T_C}{T_D} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

所以
$$\frac{T_B}{T_A} = \frac{T_C}{T_D}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \frac{T_A}{T_B}$$

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

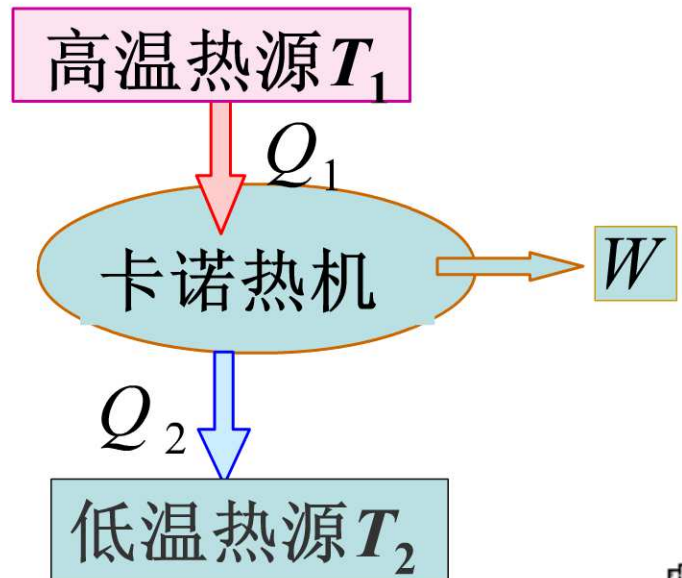
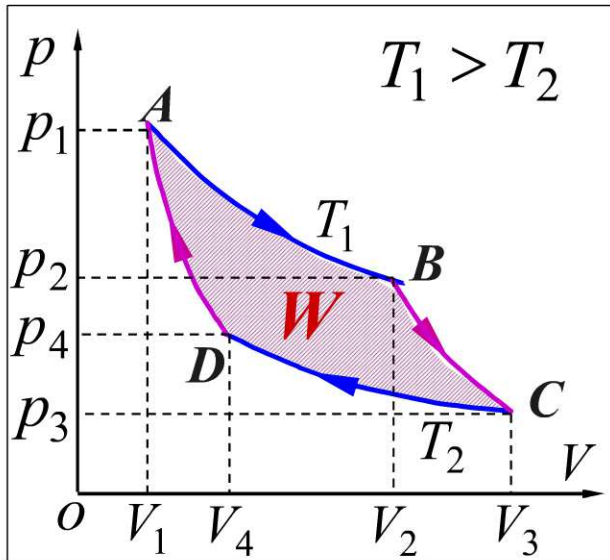


三 卡诺循环

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.

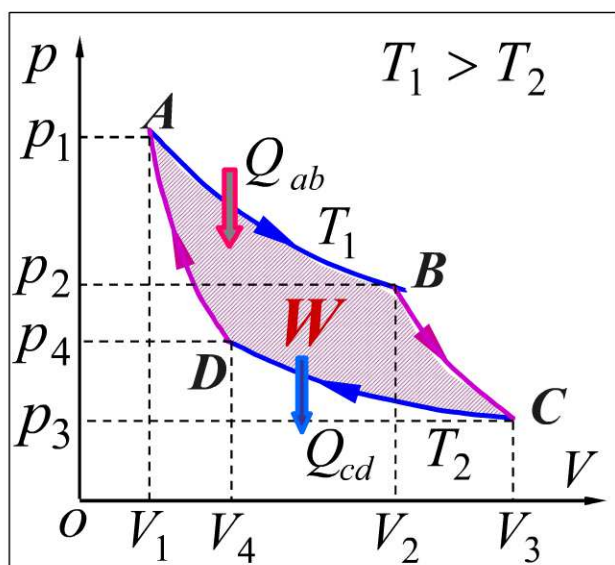


卡诺循环是由两个准静态等温过程和两个准静态绝热过程组成。



理想气体卡诺循环热机效率的计算

卡诺循环



A — B 等温膨胀

B — C 绝热膨胀

C — D 等温压缩

D — A 绝热压缩

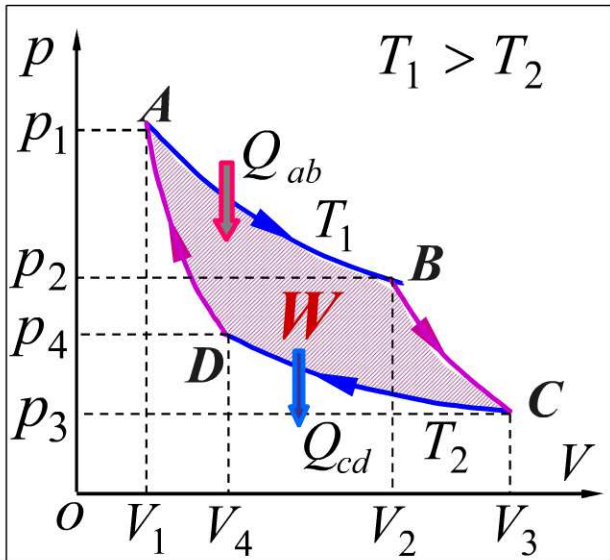


A—B 等温膨胀吸热

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

C—D 等温压缩放热

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



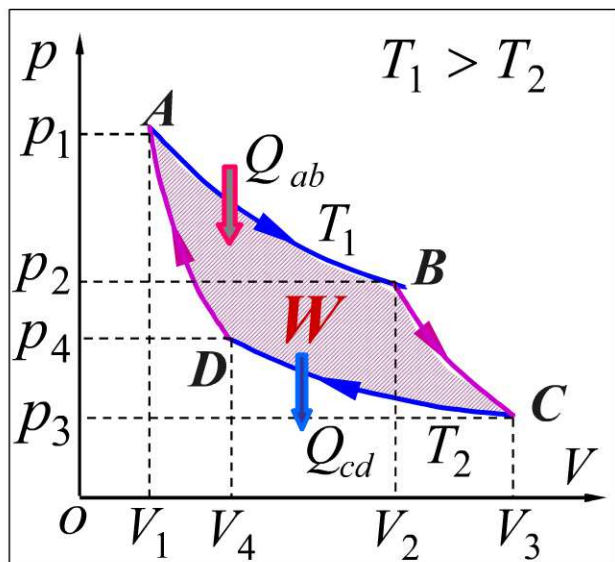
B — C 绝热过程

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

D — A 绝热过程

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

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



$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \frac{\ln \frac{V_3}{V_4}}{\ln \frac{V_2}{V_1}}$$

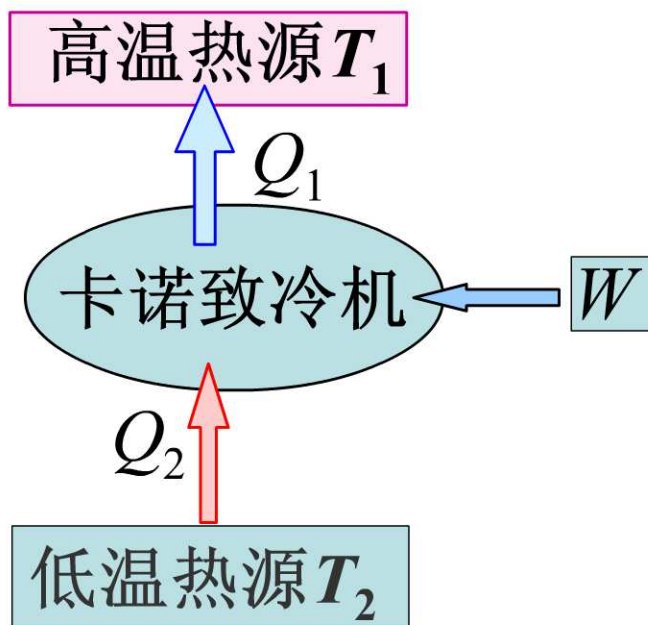
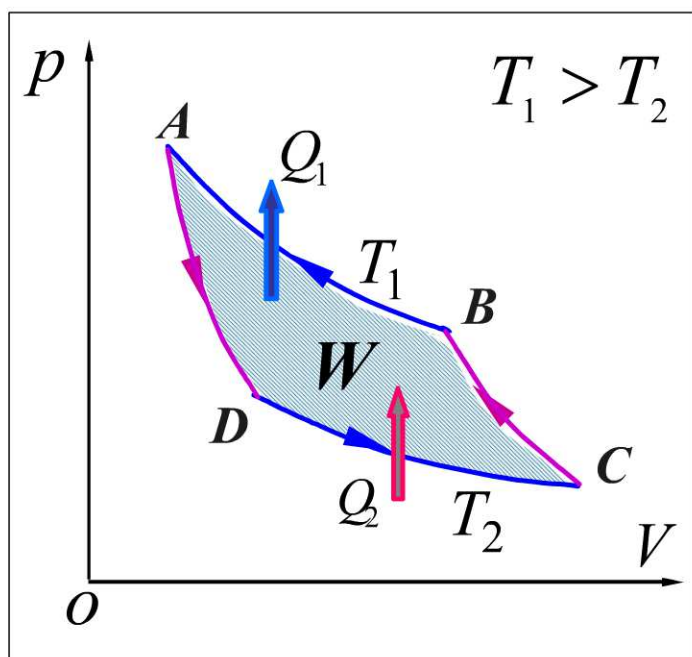
◆ 卡诺热机效率

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

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。



◆ 卡诺致冷机（卡诺逆循环）



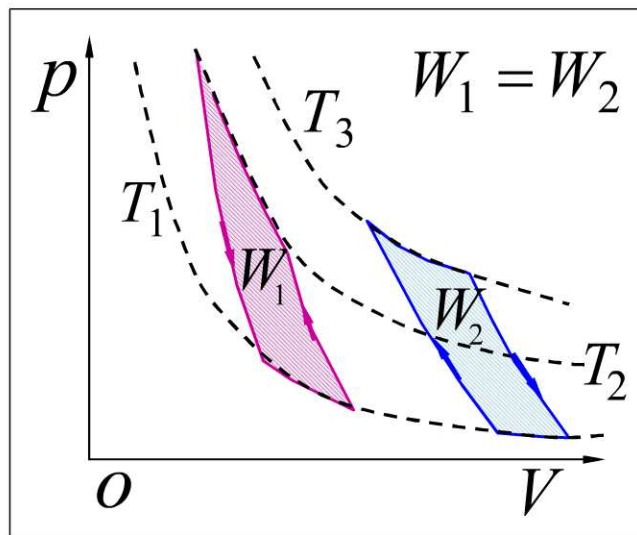
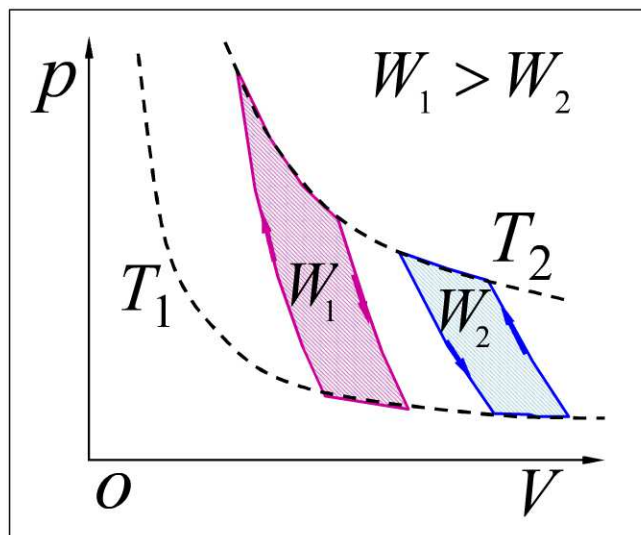
卡诺致冷机致冷系数

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



讨论

图中两卡诺循环 $\eta_1 = \eta_2$ 吗？



例2 一电冰箱放在室温为 20°C 的房间里，冰箱储藏柜中的温度维持在 5°C 。现每天有 $2.0 \times 10^7 \text{ J}$ 的热量自房间传入冰箱内，若要维持冰箱内温度不变，外界每天需作多少功，其功率为多少？设在 5°C 至 20°C 之间运转的冰箱的致冷系数是卡诺致冷机致冷系数的 55% 。

解
$$e = e_{\text{卡}} \times 55\% = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \times \frac{55}{100} = 10.2$$



$$\text{由 } e = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \quad \text{得 } Q_1 = \frac{e+1}{e} Q_2$$

房间传入冰箱的热量 $Q' = 2.0 \times 10^7 \text{ J}$

热平衡时 $Q' = Q_2$

$$Q_1 = \frac{e+1}{e} Q_2 = \frac{e+1}{e} Q' = 2.2 \times 10^7 \text{ J}$$



保持冰箱在 5°C 至 20°C 之间运转，每天需做功

$$W = Q_1 - Q_2 = Q_1 - Q' = 0.2 \times 10^7 \text{ J}$$

功率
$$P = \frac{W}{t} = \frac{0.2 \times 10^7}{24 \times 3600} \text{ W} = 23 \text{ W}$$

