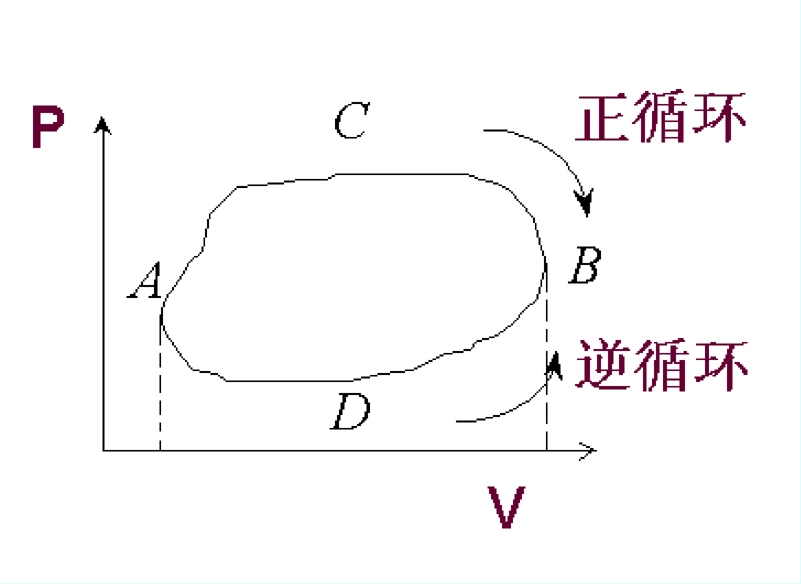
13-5循环过程、卡诺循环

(Cycling process .CANOT cycle)

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。

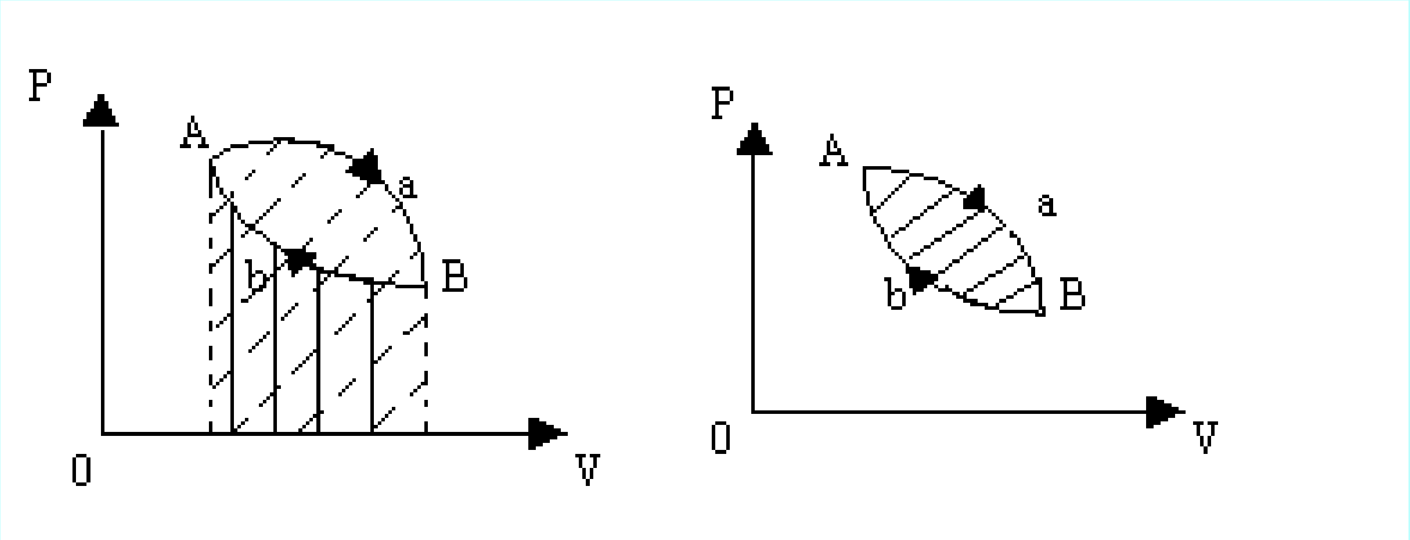
准静态循环表达：p—V图上一封闭曲线(如图）



一、循环过程特征：

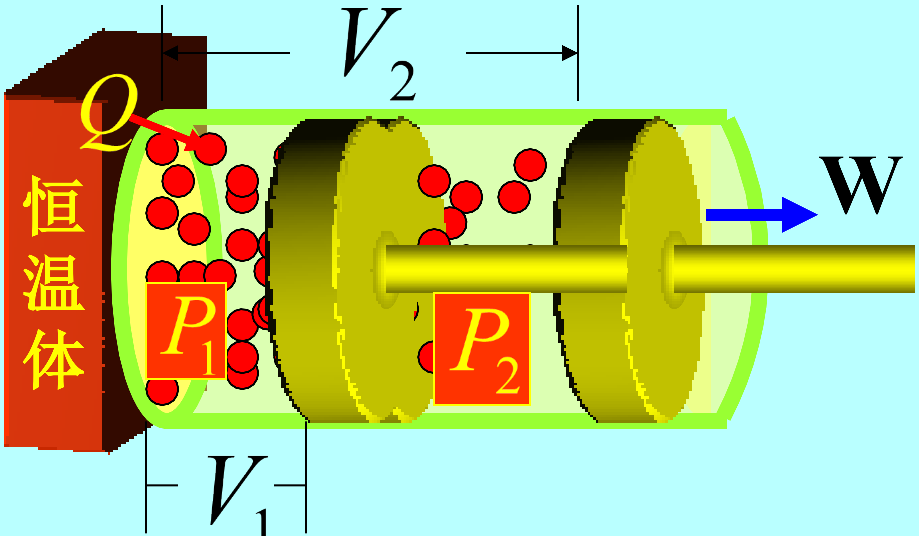
1) $\Delta E = 0 \quad \therefore Q_{净吸热} = W_{净功}$

2)循环过程一定伴随有吸热和放热过程



$$W_{净} = W_{AaB} - W_{AbB} = W_{AaB} + W_{BbA}$$

净功（循环过程气体对外作功）W绝对值的表达：p—V图上封闭曲线所包围的面积。



循环过程的提出是18世纪研究怎样将热转换为功的问题提出来的，表面上看，似乎等温膨胀最理想。即从外界吸收热全部变为功。这种想法怎样呢？

实际上阐明这种方法不行。

1）气缸长度是有限的，膨胀不可能无限制地进行下去。

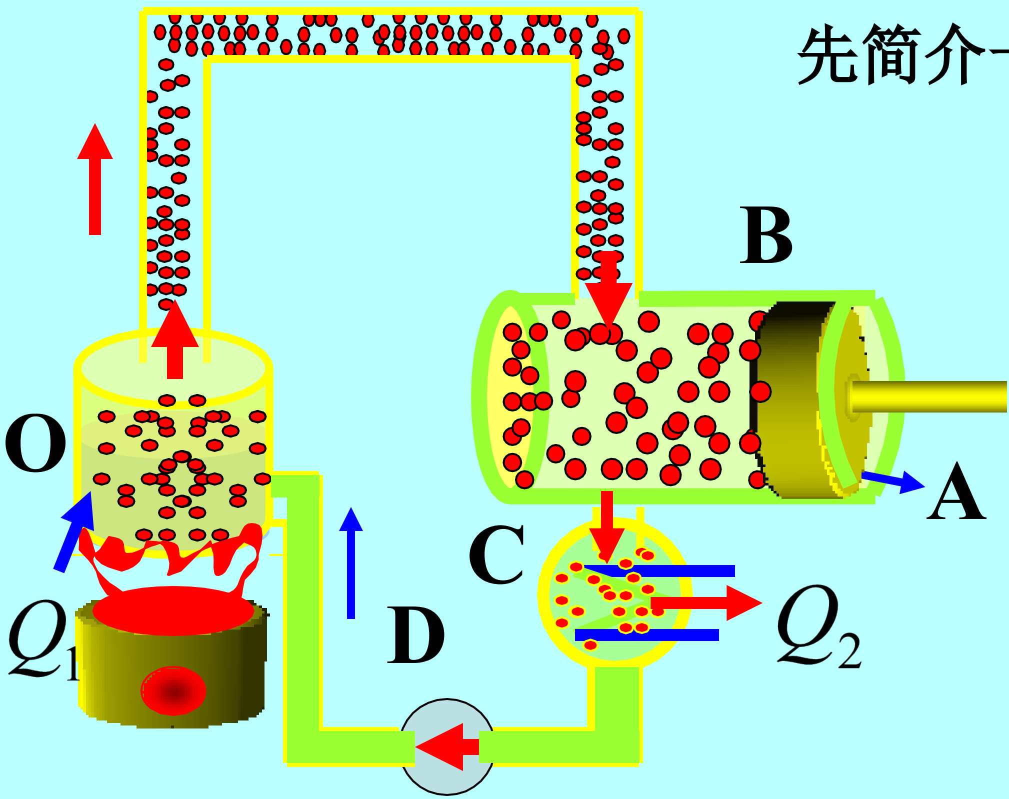
2）虽然气缸能够做得无限长，但当气缸内压强与外界一致时，膨胀也将停止。

大量事实证明；要连续地把热转换为功只有利用循环过程。 这种循环动作的机器称为热机。

二、利用循环过程的热机及致冷机的一般概念

1）热机：经过循环过程不断把热转换为功的机器

先简介一种详细的热机--蒸汽机

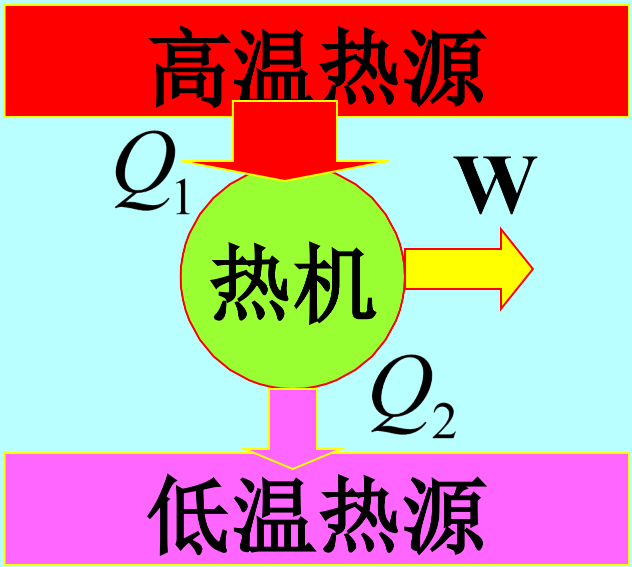


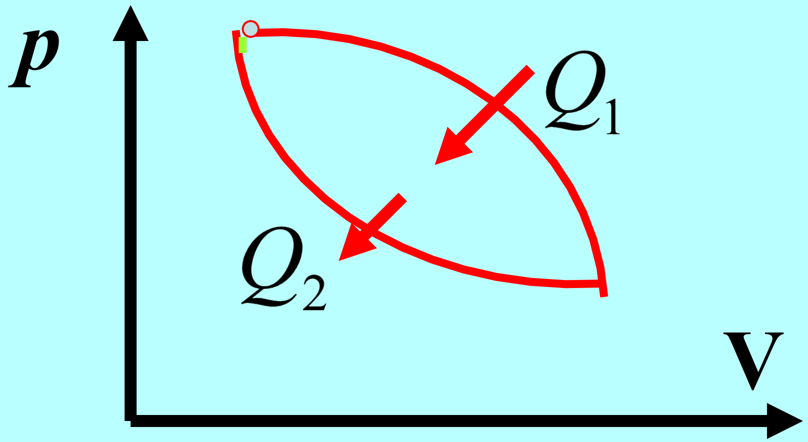
构造：

O：锅炉，　B：气缸

C：冷凝器，　D：水泵

①热机必须有工作物质、高温热源（锅炉）、 低温热源（冷凝器、大气）



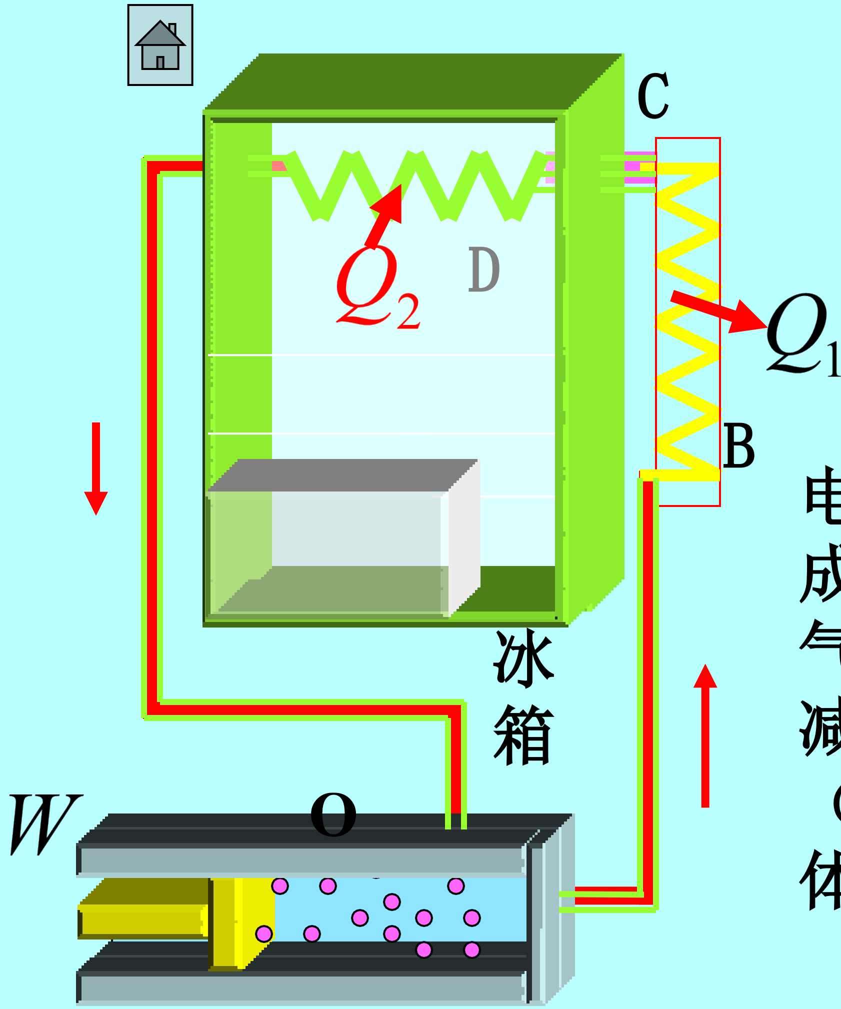


②热机的效率 $$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

大量事实证明 $Q_2 \neq 0 \rightarrow \eta < 1$

③热机在循环过程中作净功 $W > 0$

2）**致冷机**--在外界作功的条件下，工作物质从低温热源吸收热量传到高温热源去，使低温物体更低温的机器。



O电动压缩泵　B：冷凝器

C毛细管　D：蒸发器

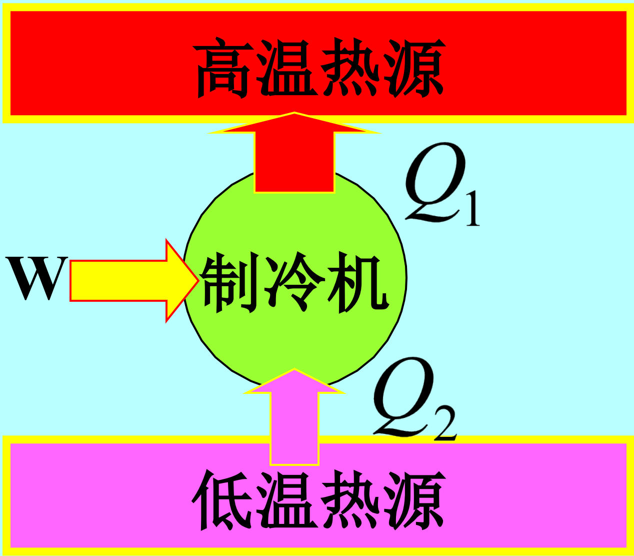
E工作物质：R--12（CCl_2F_2）

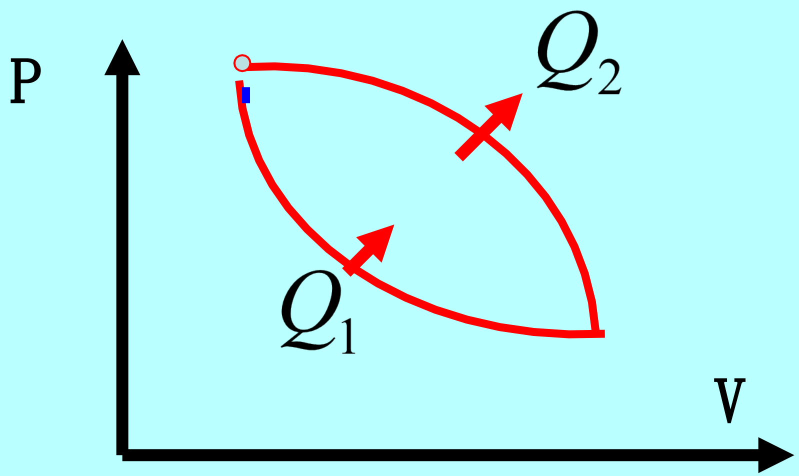
原理：

电动压缩泵将致冷剂（氟里昂）压缩成高温高压气体，送至冷凝器，向空气（高温热源）中放热。经过毛细管减压膨胀，进入蒸发器D吸收冰箱（低温热源）的热量之后变为低压气体再一次循环…．。

从以上能够看出：

①致冷机是在外界作功的条件下从低温热源吸收热量传向高温热源。





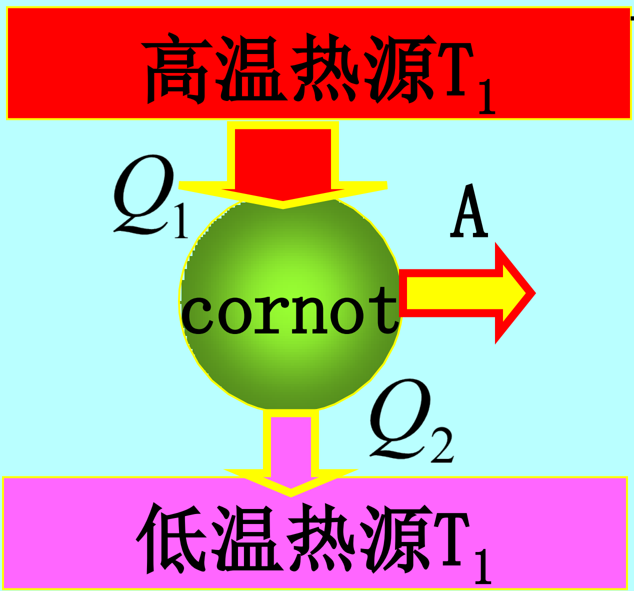
②致冷机希望作功少，提取热量多。故定义：

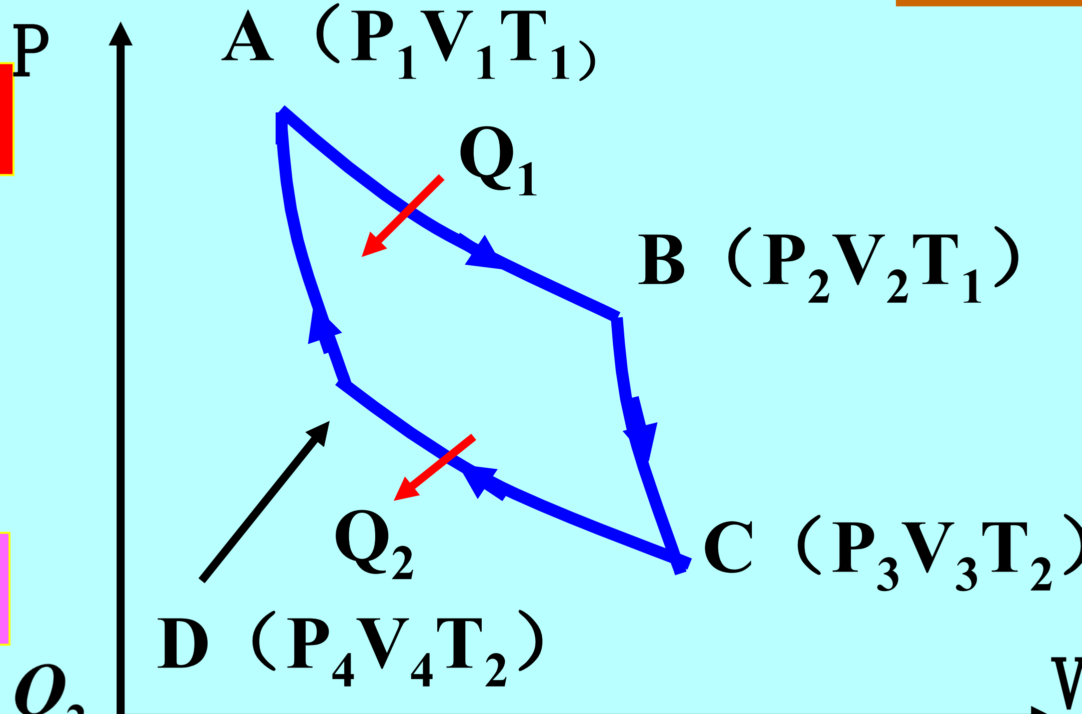
$$致冷系数 w=\frac{Q_2}{W}=\frac{Q_2}{Q_1-Q_2}$$

即用作单位数量的功所能从低温热源提取的热量来阐明致冷的性能。

三、卡诺循环

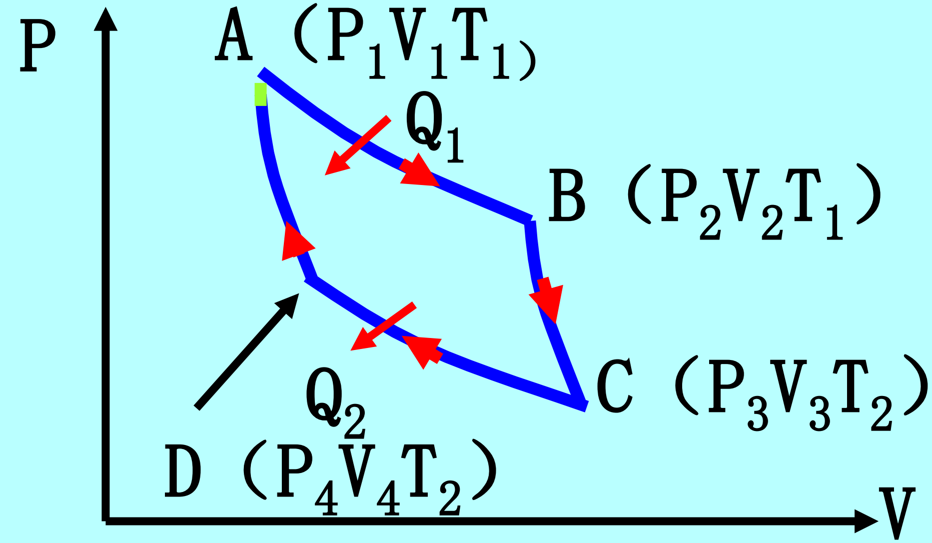
提出：1828年法国青年工程师为研究怎样提高热机效率而提出的一种理想热机。





效率：$\eta = \dfrac{W}{Q_1} = \dfrac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$

效率：$\eta = \dfrac{W}{Q_1} = \dfrac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$



A--B：等温膨胀吸热

$$Q_1 = \frac{m}{M} R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

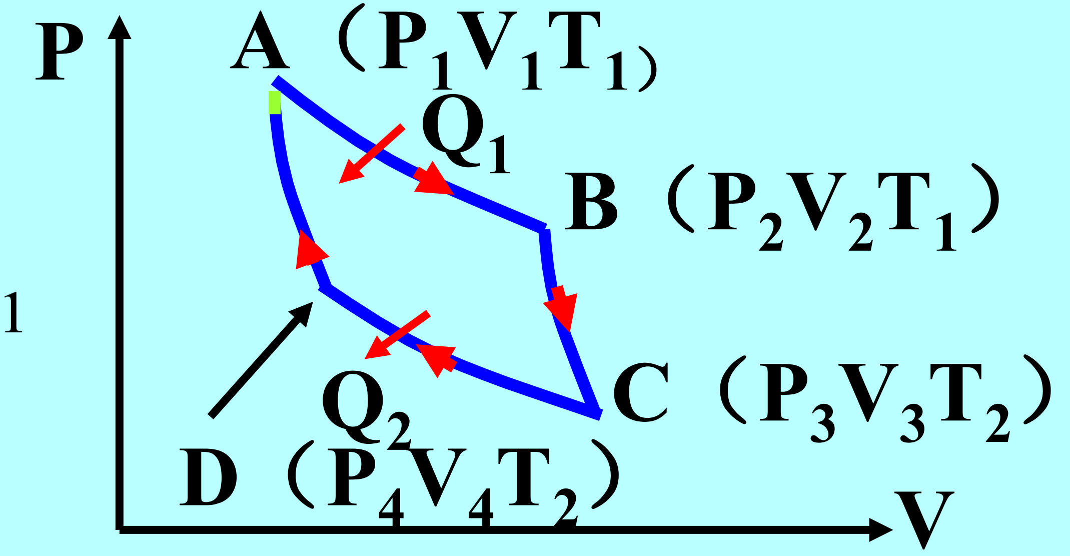
C--D：等温压缩放热 $Q_2 = \dfrac{m}{M} R T_2 \ln \dfrac{V_3}{V_4}$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{\frac{m}{M} R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - \frac{m}{M} R T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{\frac{m}{M} R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} \qquad \text{------- (1)}$$

$$TV^{\gamma-1} = c'$$

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

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



$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

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

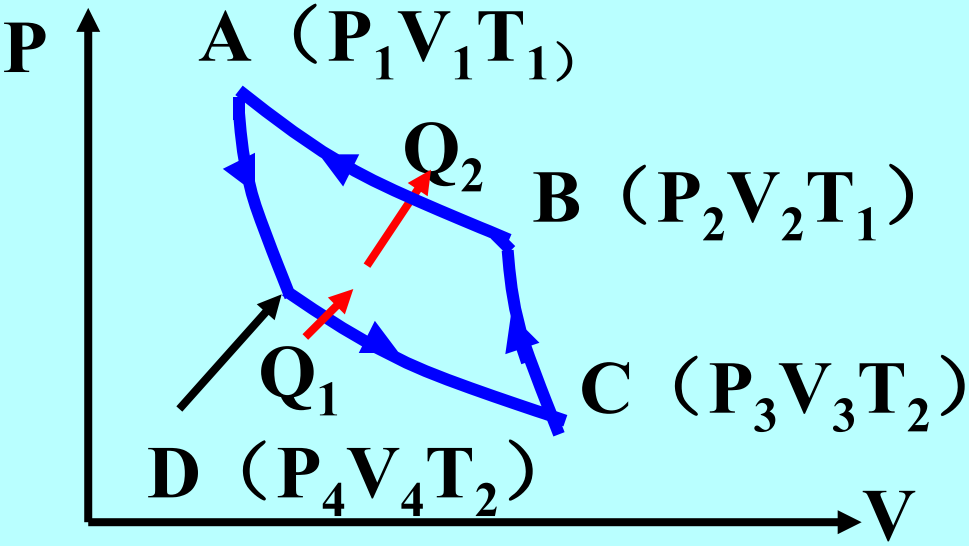
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

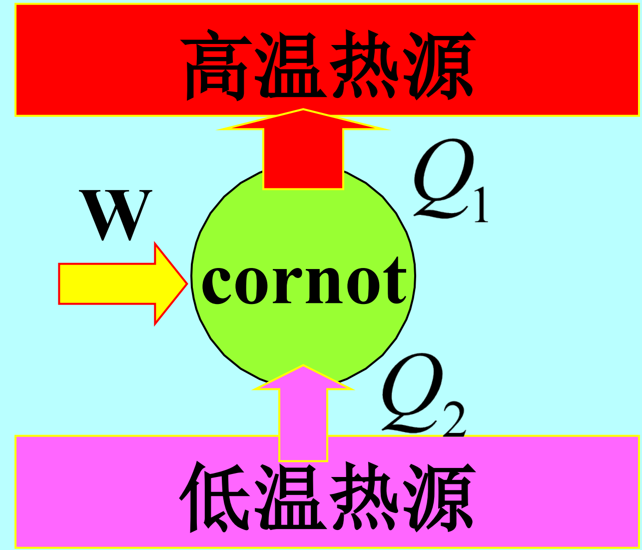
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

结论:1) Cornot循环的效率不大于1;

2) Cornot机的效率指出了提升热机效率的方向:提升高下温热源的温度差;(提升高温热源的温度)

3)卡诺循环作逆循环时则须外界对系统作功.



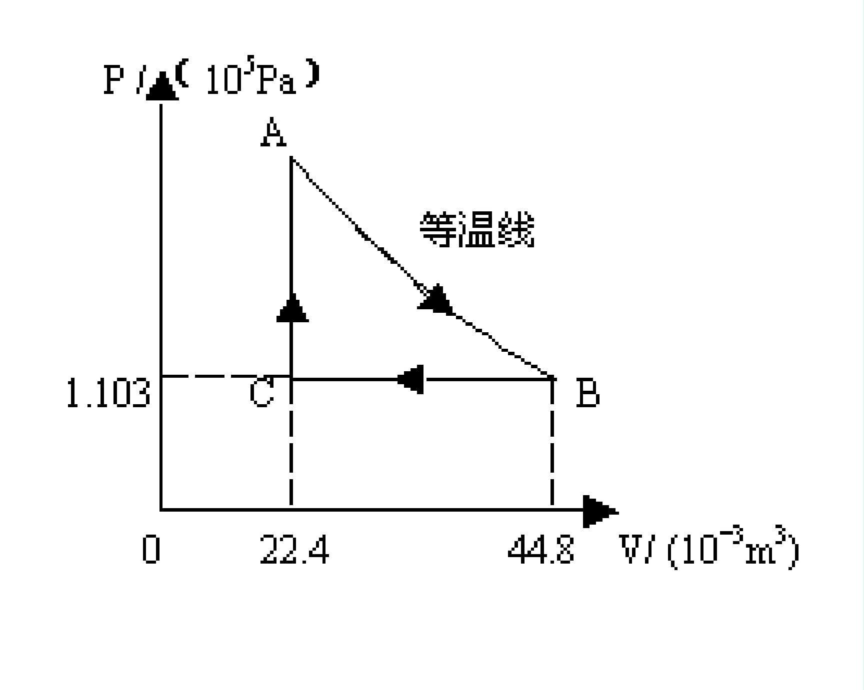


其致冷系数 $$w=\frac{Q_2}{W}=\frac{Q_2}{Q_1-Q_2}=\frac{T_2}{T_1-T_2}=\frac{1}{T_1/T_2-1}$$

T_2越小,致冷系数低.即低温热源的温度越低消耗的功就越多.

例：如图，使1mol氧气作ABCA循环，求：(1) 循环过程中系统吸收的热量；(2) 所做的功；(3) 循环的效率；(4) 若在此循环中的最高与最低温度之间作卡诺循环，求循环的效率。

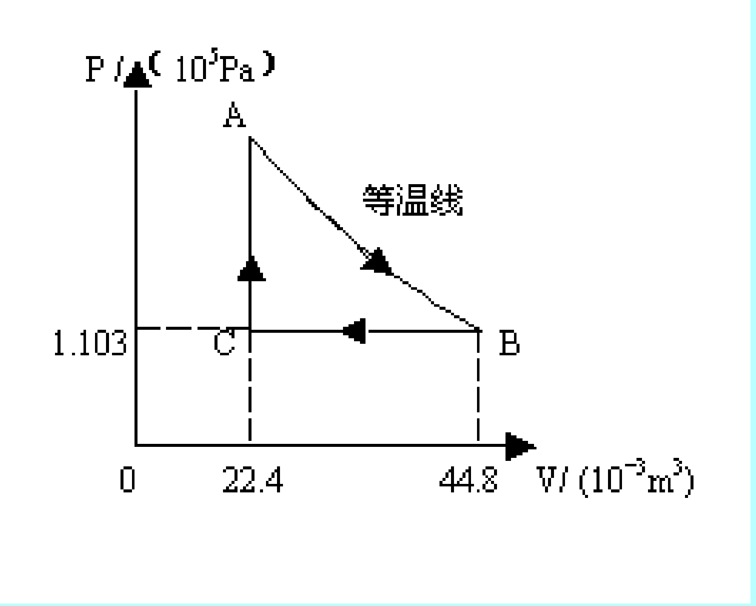
（已知氧气的$C_V = 2.5R$）



解：(1) 由状态方程

$P_C V_C = RT_C$ 得

$$T_C = \frac{P_C V_C}{R} \Rightarrow T_C = 273\text{K}$$



根据等压过程方程 $\frac{V_B}{T_B} = \frac{V_C}{T_C}$

$$T_B = \frac{V_B}{V_C} T_C = 546(K) \qquad T_A = T_B = 546k$$

各过程吸收的热量为:

$$Q_{AB} = \frac{m}{M} R T_A \ln \frac{V_B}{V_A} = 3145(J) \qquad (\frac{m}{M} = 1)$$

$$Q_{BC} = \frac{m}{M} C_P (T_C - T_B) = \frac{m}{M} (C_V + R)(T_C - T_B) = -7940(J)$$

$$Q_{CA} = \frac{m}{M} C_V (T_A - T_C) = 5672(J)$$

ABCA循环过程中吸收的总热量为：$Q_1 = Q_{AB} + Q_{CA}$=8817（J）

ABCA循环过程中放出的热量为： $Q_2 = |Q_{BC}| = 7940$（J）

ABCA循环过程中净吸收的热量为：$Q_1 - Q_2$ =877（J）

or:$Q_{AB} + Q_{CA} + Q_{BC} = 877$（J） （净功）

(2) 措施一：整个循环过程中系统所做的功W为曲线包围的面积

$$W = \frac{m}{M} RT_A \ln\frac{V_B}{V_A} - P_B(V_B - V_C) = 877(J)$$

措施二：由热力学第一定律有：$W = Q_1 - Q_2 = 877$（J）

(3) 循环效率： $\eta = \frac{W}{Q_1} = 9.9\%$

(4) 循环过程中的最高温度为 $T_A = T_B = 546K$，最低温度为 $T_C = 273K$,则 T_A 与 T_C 之间作卡诺循环的效率

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_A} = 50\%$$

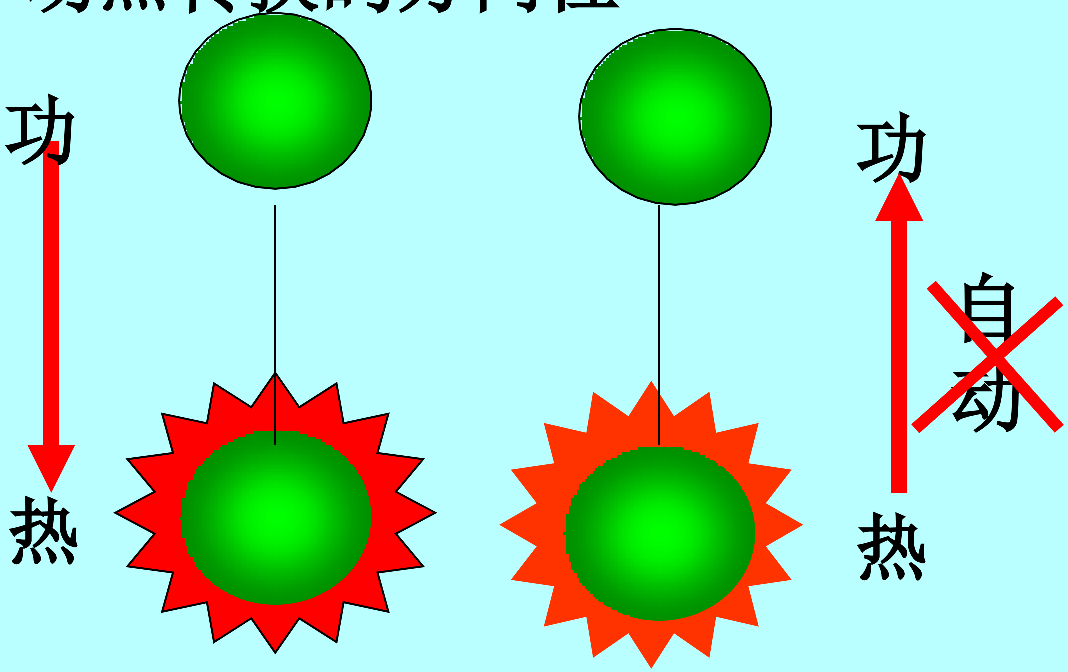
在一样的高温热源与低温热源之间，卡诺循环要比其他循环的效率高。

13-6热力学第二定律　卡诺定理
（The Second Law of the Thermodynamics ）

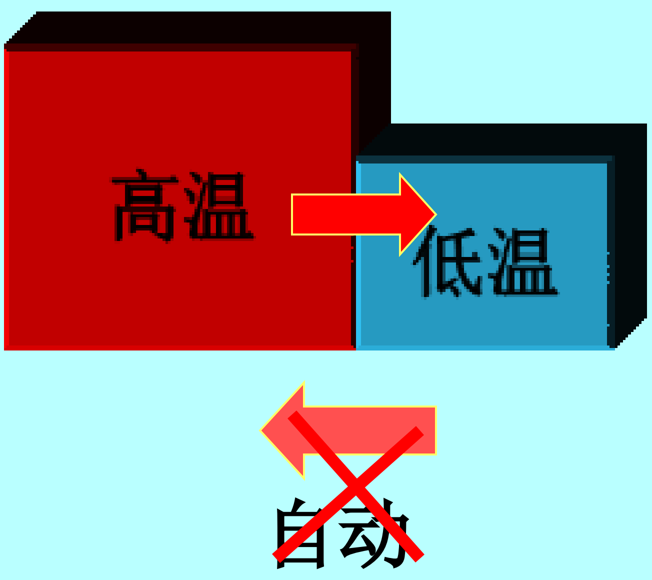
引言：凡符合热一律的过程---即符合能量守恒的过程式是否都能实现呢？这是热二律要回答的问题。

一、热力学过程的方向性

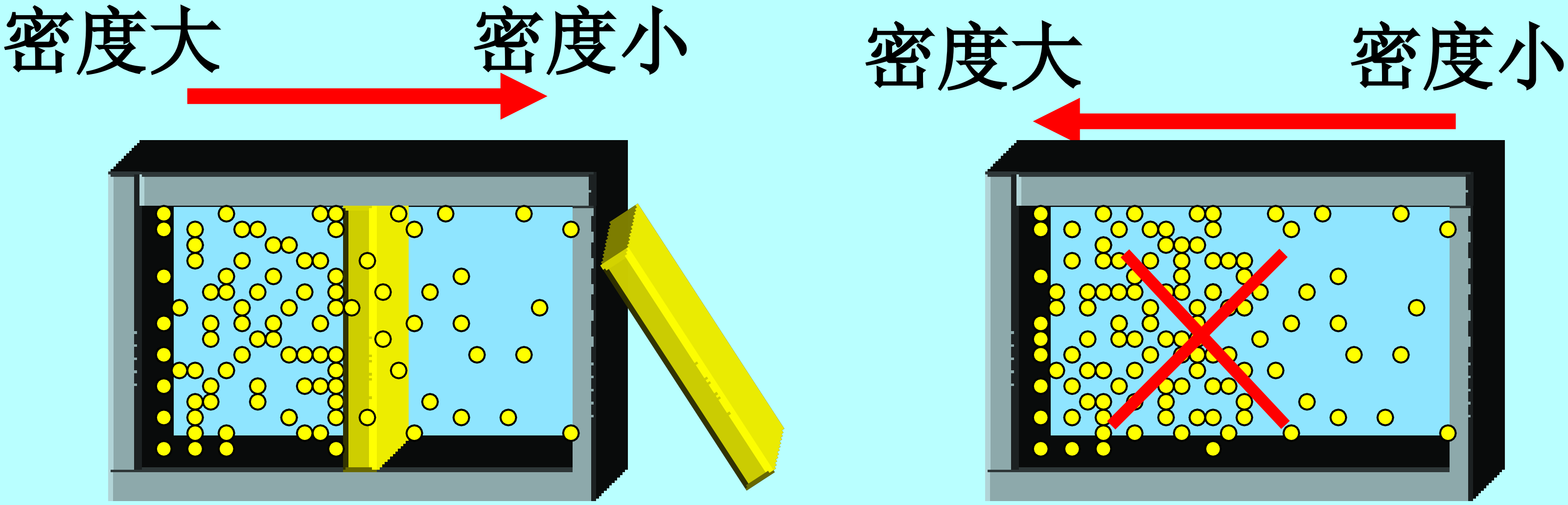
功热转换的方向性



热传导的方向性



气体的绝热自由膨胀



注意：这里的方向性，是指它们存在一种自动的、无条件的、自发的、不必外界帮助而进行的方向。而不是其反方向不能实现，只是实现其反方向过程要产生“对外影响”。