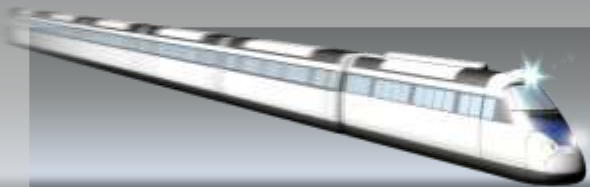




第五章热力学基础

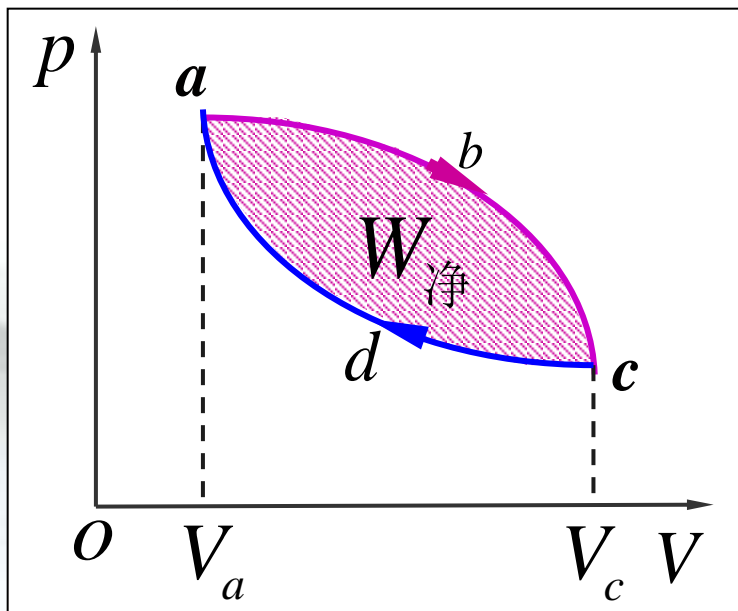
热力学第一定律



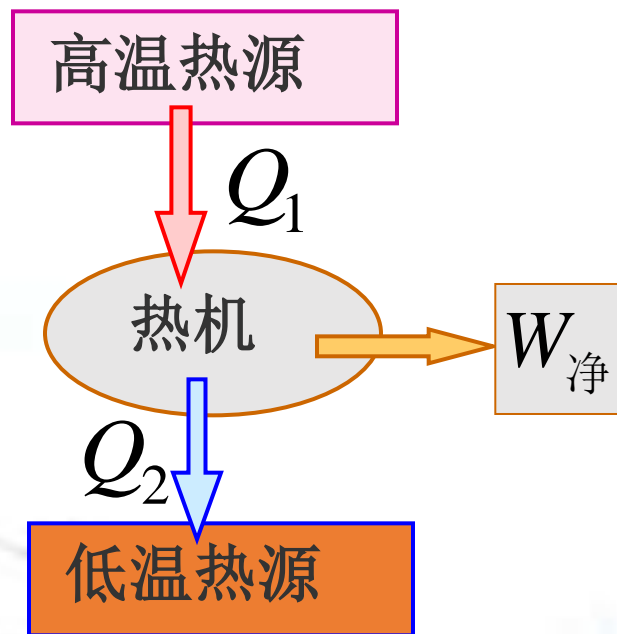


5.5.1 热机 热机效率

热机的效率

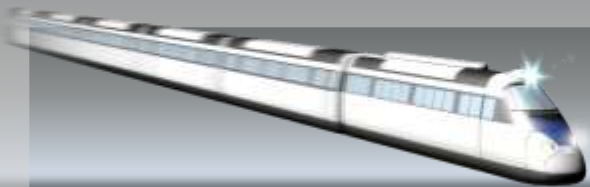


热机（正循环） $W_{\text{净}} > 0$



热机效率

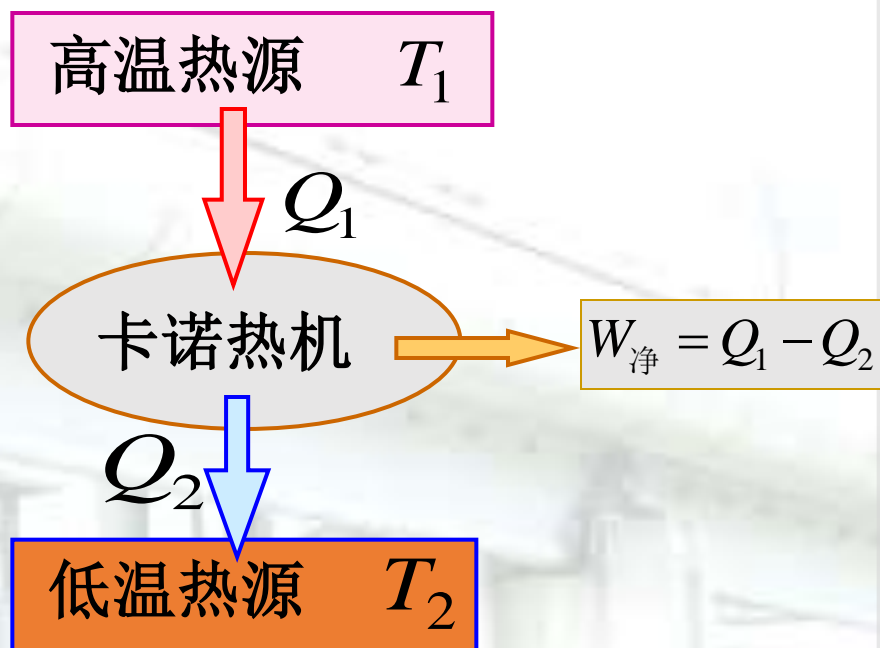
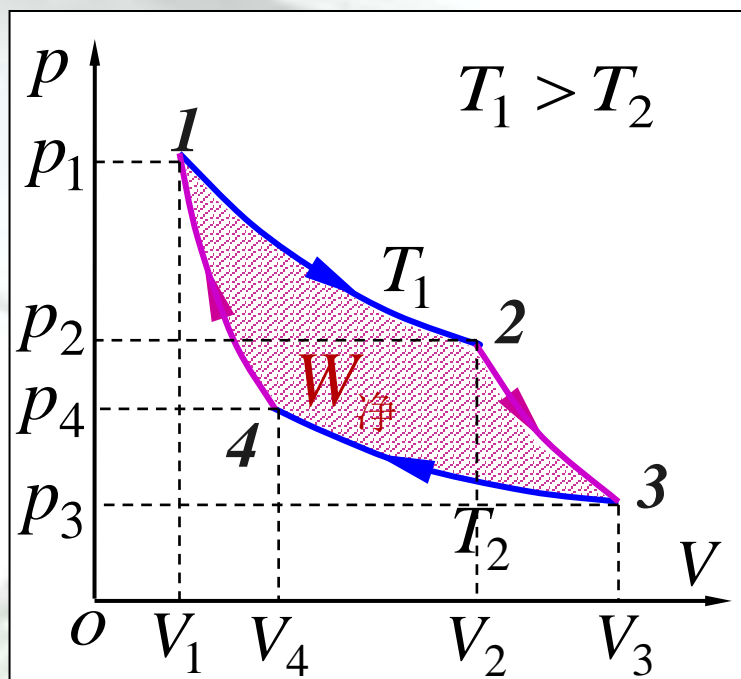
$$\eta = \frac{\text{输出功}}{\text{吸收的热量}} = \frac{W_{\text{净}}}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

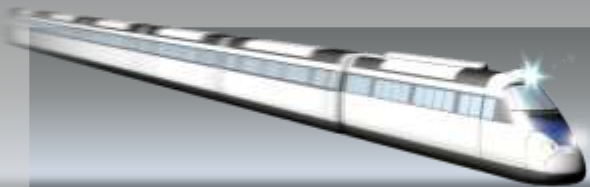


5.5.3 卡诺循环

1824 年法国的青年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。

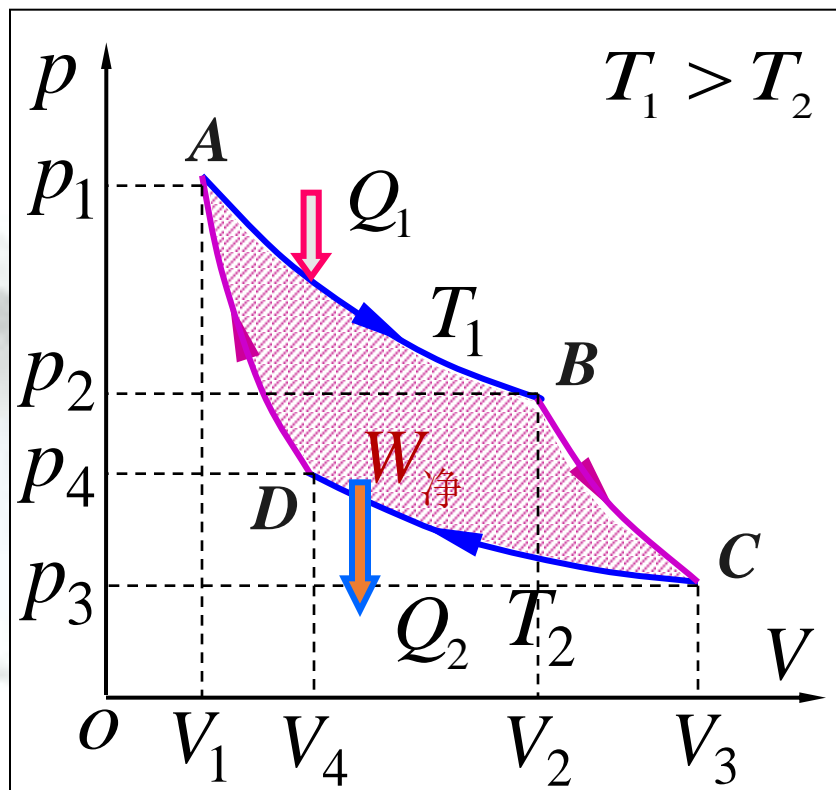
➤ 卡诺循环 { 两个准静态等温过程
两个准静态绝热过程 } 组成





5.5.3 卡诺循环

✓ 理想气体卡诺循环热机效率的计算



卡诺循环

$A \rightarrow B$ 等温膨胀

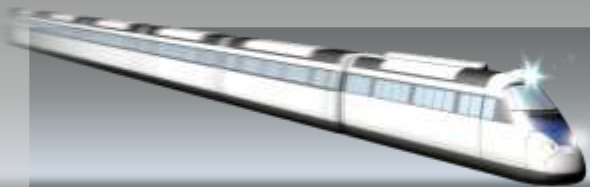
$B \rightarrow C$ 绝热膨胀

$C \rightarrow D$ 等温压缩

$D \rightarrow A$ 绝热压缩

$A \rightarrow B$ 等温膨胀吸热

$$Q_1 = \frac{M}{M_{mol}} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$



5.5.3 卡诺循环

两条绝热线

B—C 绝热膨胀

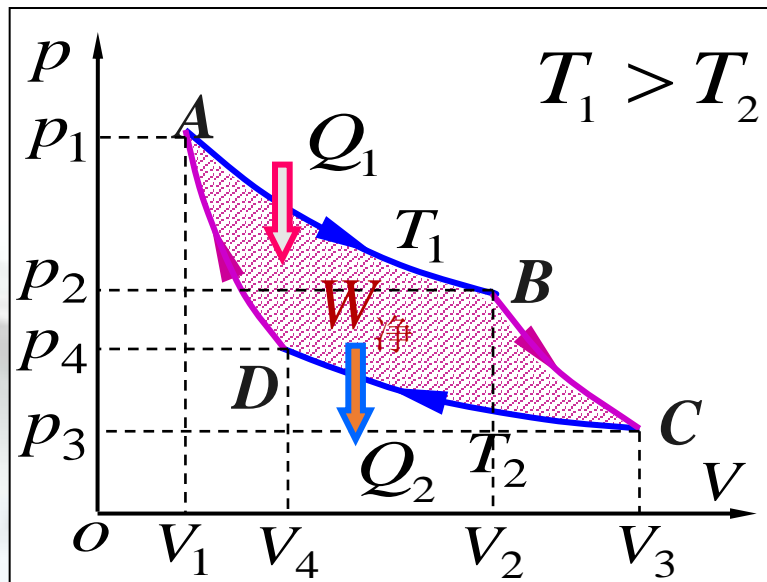
$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$$

C—D 等温压缩放热

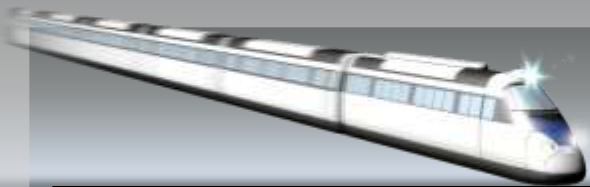
$$Q_2 = \frac{M}{M_{mol}} RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

D—A 绝热压缩

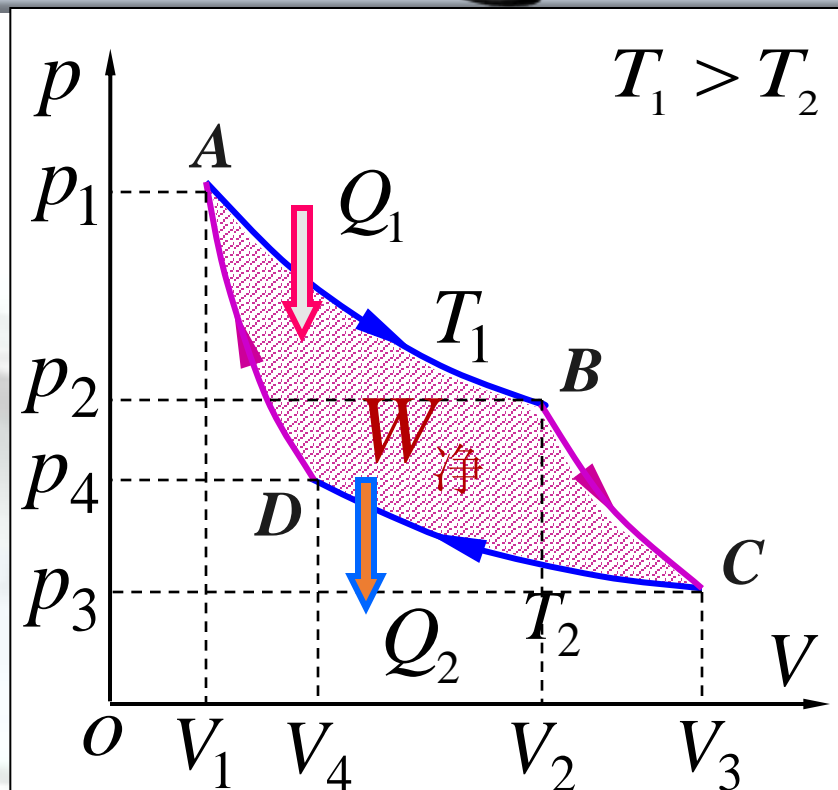
$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$$
$$\Rightarrow \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1}$$



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



5.5.3 卡诺循环

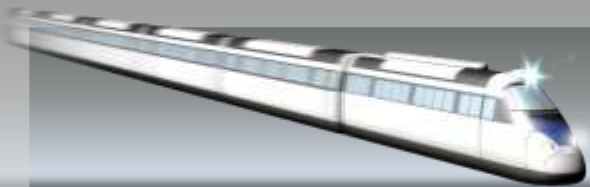


$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

✓ 卡诺热机效率

$$\eta_{\text{卡}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

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



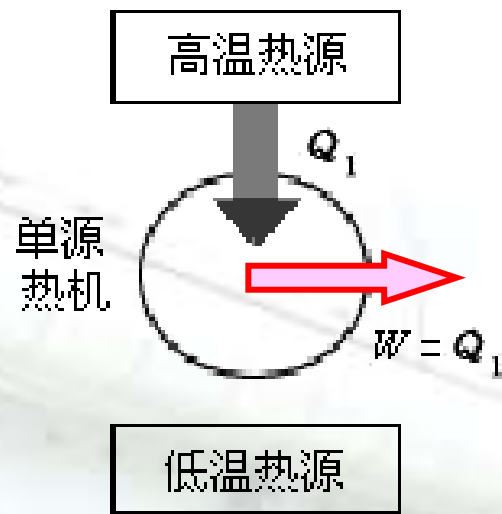
5.6 热力学第二定律

热力学第一定律指出了热力学过程中的能量守恒关系。但人们在研究热机工作原理时发现，满足能量守恒的热力学过程不一定都能进行。实际的热力学过程都只能按一定的方向进行，而热力学第一定律并没有阐述系统变化进行的方向。热力学第二定律就是关于自然过程方向性的规律。

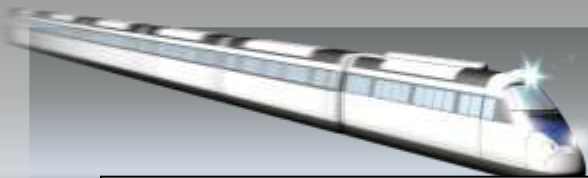
8.6.1 开尔文表述

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

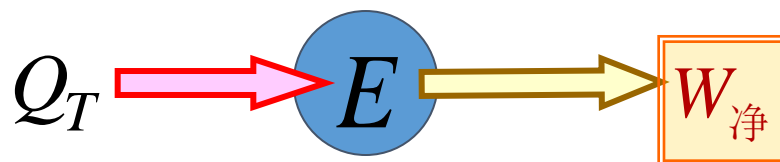
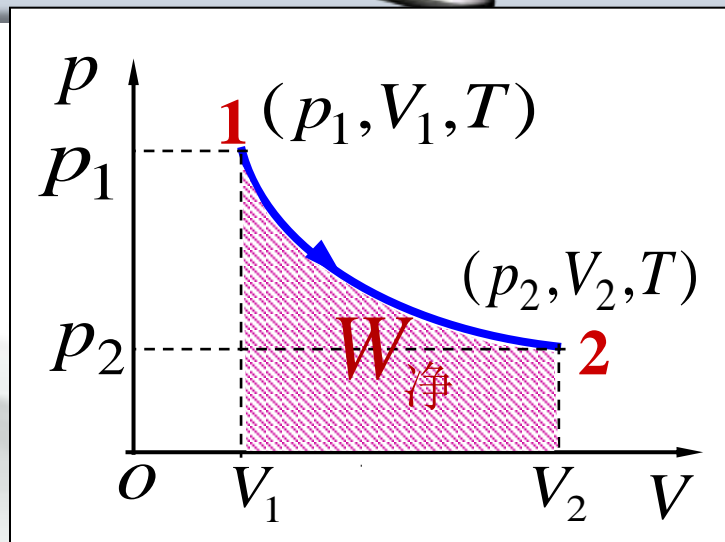
不可能制成一种循环动作的热机，它只从一个单一温度的热源吸取热量，并使其全部变为有用功，而不引起其他变化。这就是**热力学第二定律的开尔文表述**。



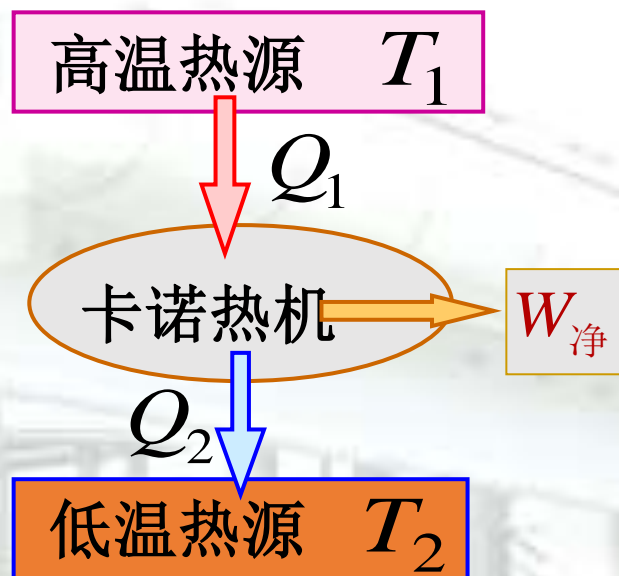
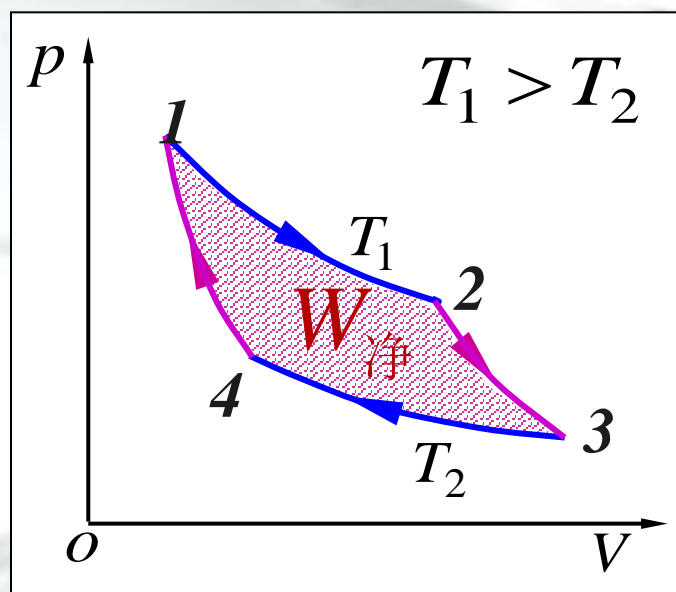
$\eta = 100\%$ 热机工作示意图



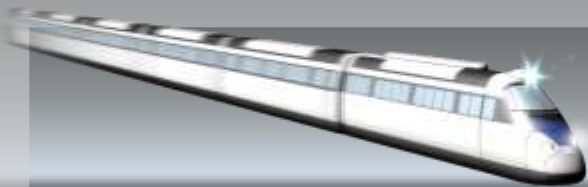
5.6.1 开尔文表述



等温膨胀过程是从单一热源吸热做功，而**不**放出热量给其它物体，但它不是循环过程。



卡诺循环是循环过程，但**需两个热源**，且使外界发生变化。

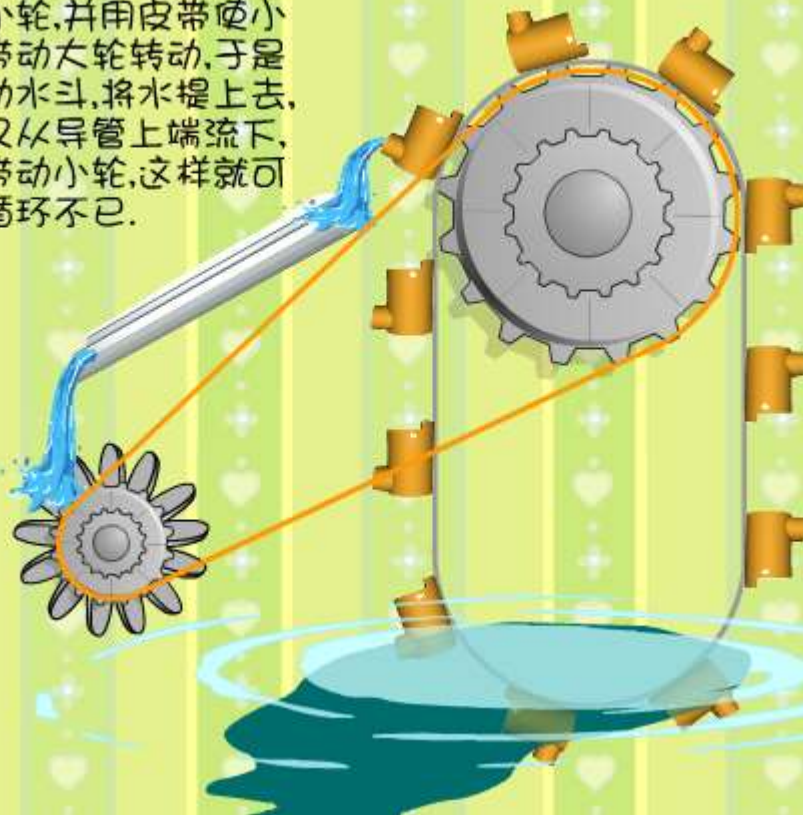


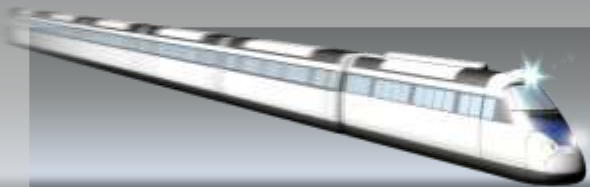
5.6.1 开尔文表述

只从单一热源吸收热量，并使之全部转化为机械功；它不需要冷源，也没有释放出热量。这种热机被称为第二类永动机。所以热力学第二定律亦可表达为：第二类永动机是不可能实现的。

永动机的设想图

导管内水流下来冲
动小轮,并用皮带使小
轮带动大轮转动,于是
拖动水斗,将水提上去,
水又从导管上端流下,
再带动小轮,这样就可
以循环不已。

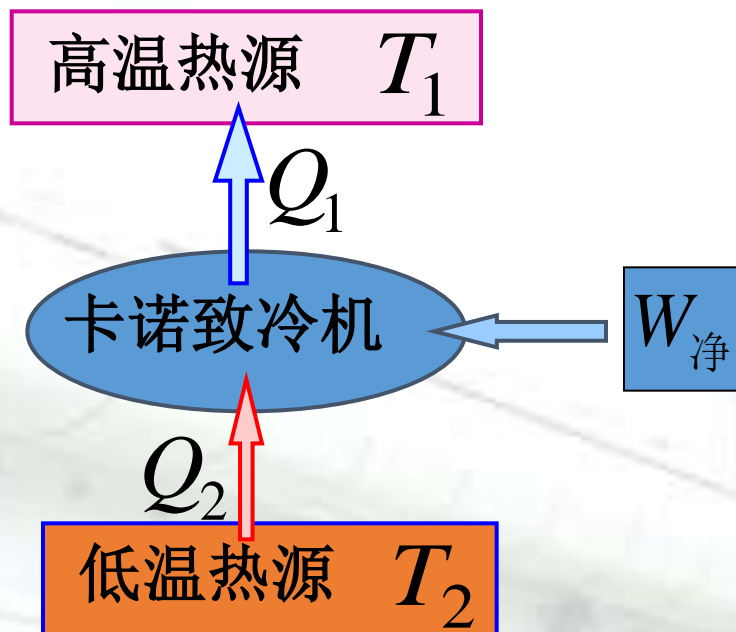
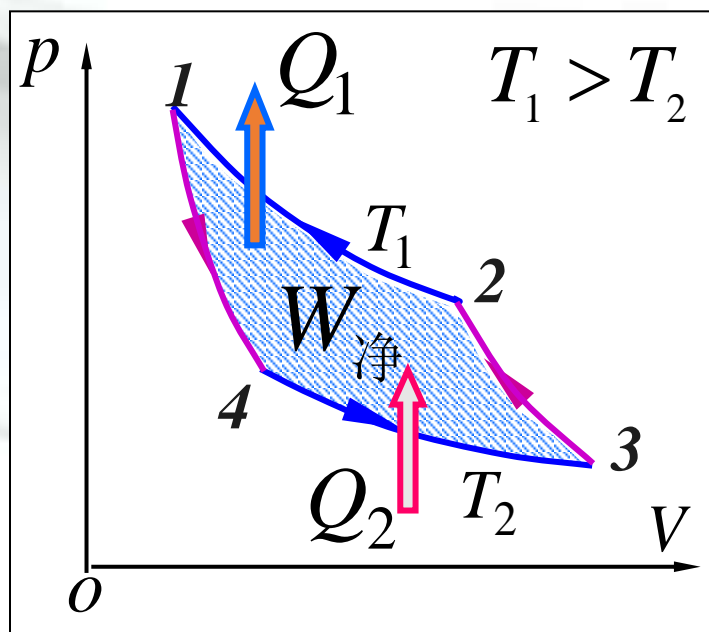




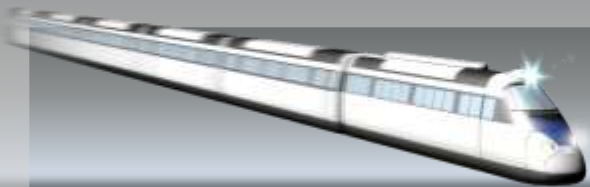
5.6.2 克劳修斯表述

$$\omega = \frac{Q_2}{|W_{\text{净}}|}$$

热量不可能自动地从低温物体传向高温物体。此即热力学第二定律的克劳修斯表述。



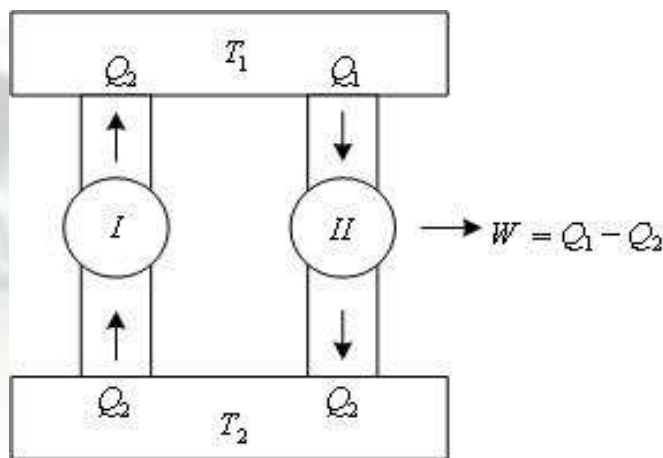
虽然卡诺致冷机能把热量从低温物体移至高温物体，但需外界做功且使环境发生变化。



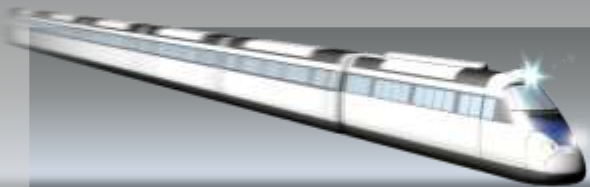
5.6.2 克劳修斯表述

热力学第二定律的两种表述表面上看是各自独立，由于其内在实质的同一性，所以两种表述是完全等价的。

先证违背克劳修斯表述，必然违背开尔文表述。假设克劳修斯表述不成立，即允许有一种装置 I，能使热量 Q_2 自动地从低温热源传向高温热源，而不引起其它变化。这时我们

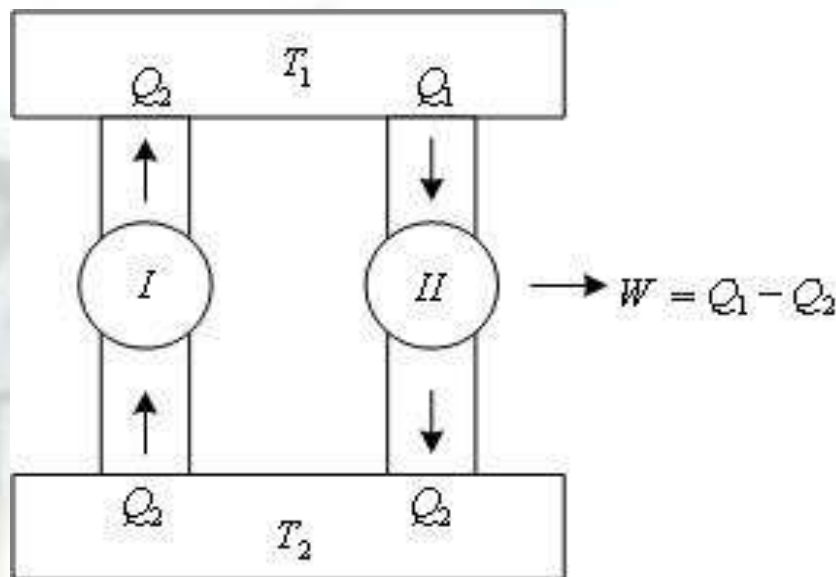


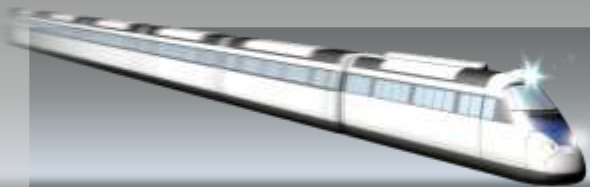
如果违反克劳修斯表述则必违背开尔文表述



5.6.2 克劳修斯表述

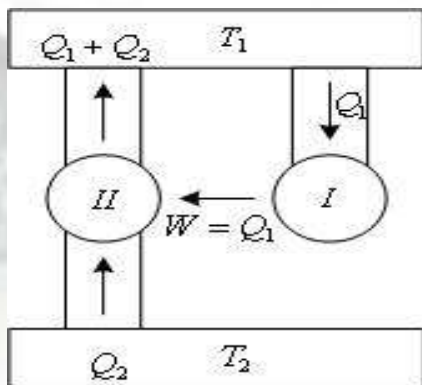
把违背克劳修斯表述装置 I 与一部卡诺热机 II 组成复合机，在一次循环中，低温热源没有变化；从高温热源放热 $Q_1 - Q_2$ ，对外做功 $W_{\text{净}} = Q_1 - Q_2$ ，其效果是从单一热源吸热完全变为有用功，而没产生其它影响，显然这违背了开尔文表述。再证违背开尔文表述，必然违背克劳修斯表述。

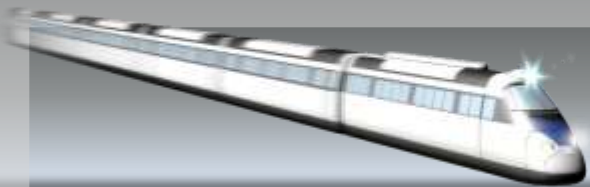




5.6.2 克劳修斯表述

假设开尔文表述不成立，即允许有一种装置 I，能从单一热源 T_1 吸热 Q_1 ，并完全变为功 $W_{\text{净}}$ 而不产生其它影响。这时可在热源 T_1 （高温热源）和 T_2 （低温热源）之间设计一卡诺致冷机 II，把 I、II 看成联合机。制冷机 II 接受装置 I 对外做的功 $W_{\text{净}}$ ，从低温热源吸热 Q_2 ，向高温热源放热 $Q_1 + Q_2$ ，则在一次循环中，低温热源放热 Q_2 ，高温热源吸热 Q_2 ；即相当于热量 Q_2 自动从低温热源传到高温热源，显然，这违背了克劳修斯表述。

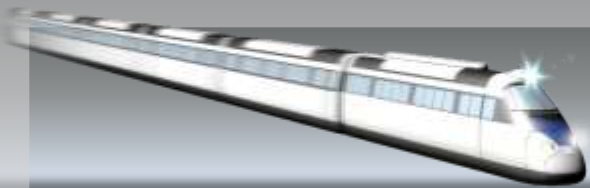




5.6.3 自然过程的方向性

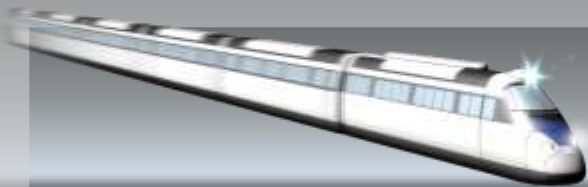
在一个不受外界影响的孤立系统内自动进行的过程叫自然过程。热力学第二定律表明与热现象有关的宏观自然过程都按一定的方向进行。

- ✓ 功热转换的过程是有方向性的（单摆）
- ✓ 热传导过程也具有方向性, 热量只能自发地由高温处向低温处传递, 相反的过程不能自动地发生;
- ✓ 气体向真空中绝热自由膨胀的过程是有方向性的, 气体只能自发地由高压处向低压处流动, 相反的过程不能自动地发生
- ✓ 水只能自发地由高处向低处流, 相反的过程不能自动地发生

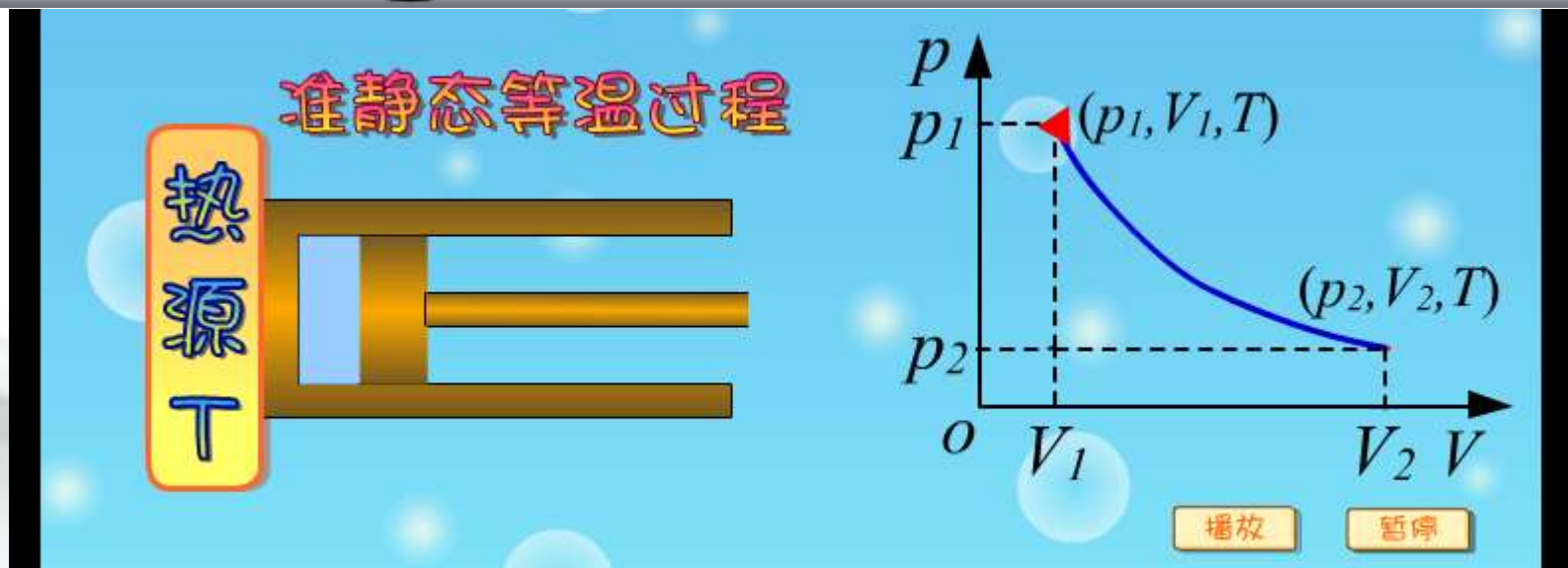


5.6.4 可逆过程和不可逆过程

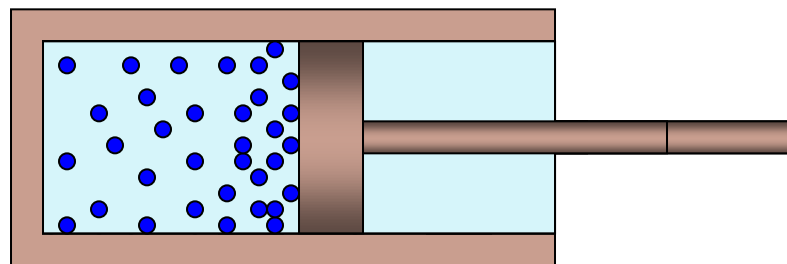
设有一个过程，使系统从某个状态1经过一系列的中间状态，最后变化到另一个状态2。如果使系统进行逆向变化，由状态2经历与原过程完全一样的那些中间状态，恢复到原状态1；并且在逆向变化的过程中，原过程对外界所产生的一切影响逐步地被一一消除，在外界不留丝毫痕迹，则由状态1到状态2的过程，称为可逆过程。反之，如果系统不能逆向恢复到1，或当系统在恢复到初状态1的逆向过程中，引起外界的变化，在外界留下了痕迹，使外界不能恢复原状，则由状态1到状态2的过程，称为不可逆过程。



5.6.4 可逆过程和不可逆过程

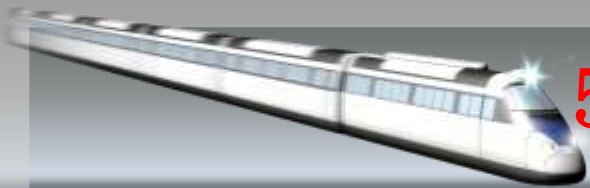


非准静态过程为不可逆过程。



✓ 可逆过程的条件

准静态过程（无限缓慢的过程），且无摩擦力、粘滞力或其他耗散力作功，无能量耗散的过程。



5.6.5 卡诺定理

卡诺定理

(1) 在相同的高温热源和相同的低温热源之间工作的一切可逆热机，其效率都相等，与工作物质无关。

(2) 在相同的高温热源和相同的低温热源之间工作的一切不可逆热机，其效率都不可能大于可逆热机的效率。

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \left\{ \begin{array}{l} < \text{ (不可逆机) } \\ = \text{ (可逆机) } \end{array} \right.$$

作业：



课后习题5.11 5.12 5.13 5.14 5.15

