

NO. 10 - 5

# 第十三章 热力学基础(3)

Fundamentals of Thermodynamics

2016 - 11 - 25

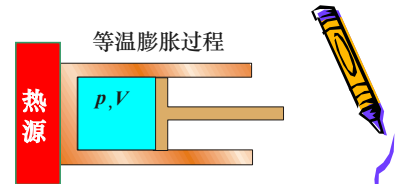
## 内容纲要

- 一、循环过程  
(正循环、逆循环、卡诺循环)
- 二、热力学第二定律
- 三、卡诺定理

## 问题:

1. 热机的效率能否达到100%吗?

## 分析:



- 随着气体膨胀, 压强逐渐减小, 当减至与外界压强相等时, 就不能再对外做功;
- 要让气体不断膨胀, 就必须做很长的气缸。

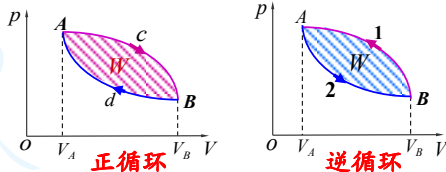
**不现实!**

- 为了能够**连续不断**地对外做功, 必须让工作物质经过膨胀做功后回到初始状态, 形成一个**循环过程**。

## 四、循环过程 (cycle process)

### 1. 循环过程

系统 (例如: 热机中的工作物质) 经一系列变化后又回到初态的整个过程叫循环过程。

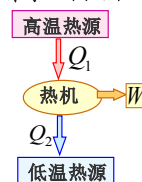


- 系统作净功:  $W > 0$  (正循环)  $W < 0$  (逆循环)
- 经过一个循环过程, 系统内能 **不变!**  $\Delta E = 0$
- 系统净吸热:  $Q > 0$  (正循环)  $Q < 0$  (逆循环)

## 四、循环过程 (cycle process)

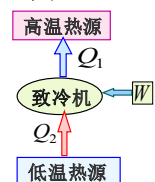
### 2. 热机、致冷机

**热机**  
(工作于正循环)



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

**致冷机**  
(工作于逆循环)

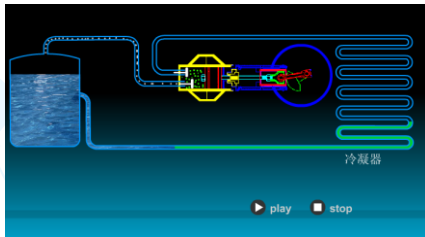


致冷系数:  $e = \frac{Q_2}{|W|} = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2}$

#### 四、循环过程 (cycle process)

**热机:** 蒸气机、内燃机、喷气机等

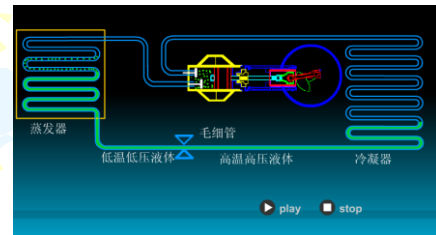
斯特林热机



蒸气机  $\eta = 8\%$       柴油机  $\eta = 37\%$   
汽油机  $\eta = 25\%$       液体燃料火箭  $\eta = 48\%$

#### 四、循环过程 (cycle process)

**致冷机:** 冰箱、冷气机、热泵、空调等



致冷机  $\longleftrightarrow$  制冷机

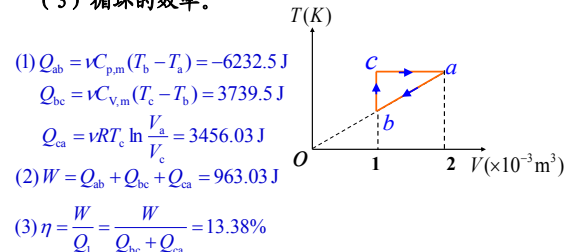
空调

#### 1. 热机的效率能否达到100%吗?

- 热机的效率不可能达到100% !
- 第二类永动机 (从单一热源吸取热量完全用来对外做功的热机) 不能实现!

**例1.** 1mol氦气理想气体 ( $C_{v,m}=3R/2$ ) 的循环过程如图T-V图所示, 其中c点的温度为  $T_c=600K$ , 试求:

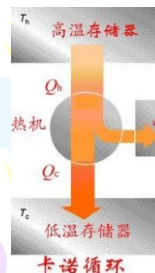
- (1) ab、bc、ca各个过程系统吸收的热量;
- (2) 经过一个循环系统所做的净功?
- (3) 循环的效率。



问题:

#### 四、循环过程 (cycle process)

##### 3. 卡诺循环 (Carnot cycle)



1824年法国的年轻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。

《对火的动力的看法》

## 四、循环过程 (cycle process)

### 3. 卡诺循环 (Carnot cycle)

- 由两个等温过程和两个绝热过程组成;
- 包括: 卡诺正循环、卡诺负循环。

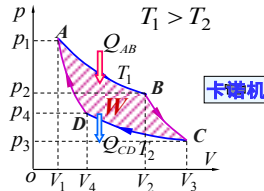
卡诺正循环: 等温膨胀 → 绝热膨胀  
绝热压缩 ← 等温压缩

- 卡诺热机的效率

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

- 卡诺致冷机的致冷系数

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



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

$$e = e_K \times 55\% = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \times \frac{55}{100} = 10.2$$

$$\text{由 } e = \frac{Q_2}{W} \text{ 得 } W = \frac{Q_2}{e}$$

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

热平衡时  $Q_2 = Q'$

$$W = 2 \times 10^6 \text{ J} \quad P = \frac{W}{t} = \frac{2 \times 10^6}{24 \times 3600} \text{ W} = 23 \text{ W}$$

## 问题:

## 五、热力学第二定律

### 1. 热力学第二定律的两种表述

**Kelvin 表述:** 热功转换过程具有方向性 (不可逆)。

不可能制造出这样一种循环工作的热机, 它只从单一热源吸取热量, 使之完全变为有用功而不引起其它变化。

不存在效率为100%的热机。

**Clausius 表述:** 热传递过程具有方向性 (不可逆)。

不可能把热量从低温物体自动传到高温物体而

不引起外界的变化。

不存在致冷系数为 $\infty$ 的致冷机。

开尔文从热机角度, 克劳修斯从致冷机角度描述热力学第二定律, 两者等价。

等价

自然界的自发过程具有方向性 (不可逆性)!

## 五、热力学第二定律

自然界的自发过程具有方向性 (不可逆性):

- 摩擦生热
- 热传导
- 气体的自由膨胀
- 不同气 (液) 体的混合
- 生命的成长与衰老
- 地球生物的进化
- 宇宙的进化

## 五、热力学第二定律

### 2. 可逆过程 不可逆过程

(1) 考虑系统从状态A到状态B的过程, 若当系统从B回复到A时, 外界也同时复原, 则称该过程为可逆过程; 如果外界不能同时复原, 就为不可逆过程。

(2) 自然界的一切实际过程 (自发过程) 都是不可逆的!

① 非静态过程; (存在不平衡因素);

原因: ② 有能量的耗散。(做功把机械能转化为热能)

(3) 可逆过程的条件:

① 准静态过程 (无限缓慢的过程);

② 无能量耗散 (无摩擦力、粘滞力或其他耗散力做功)。

## 五、热力学第二定律

### 3. 卡诺定理

#### (1) 可逆循环 可逆机

◆ 循环无限缓慢、无摩擦地进行，且正循环所产生的（外界、系统）变化能够被其逆循环完全复原。

◆ 以可逆循环工作的机器是可逆机。

#### (2) 卡诺定理

① 工作在相同高温热源和低温热源之间的任意工作物质的可逆机都具有相同的效率；

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

② 工作在相同的高温热源和低温热源之间的一切不可逆机的效率都小于可逆机的效率。

$$\eta' < 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

### 结论：

卡诺定理指明了热机效率的极限值：

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

卡诺定理指出了提高热机效率的方法：

- 尽可能提高高温热源的温度或降低低温热源的温度；
- 使热机尽可能接近可逆机，使热力学过程尽可能接近可逆循环过程；

### 问题：

## 六、熵 熵增加原理



### 问题：

在自然界实际热力学过程的初态和末态存在某种性质的不同，这种性质只由系统所处的状态决定，与过程无关！

### 今日作业

13 - 24, 26, 28, 31