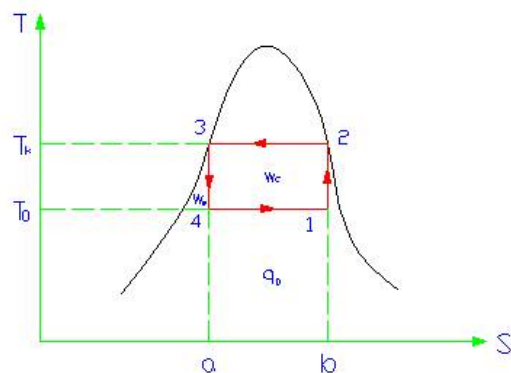


# 制冷原理与设备

能源与建筑环境系

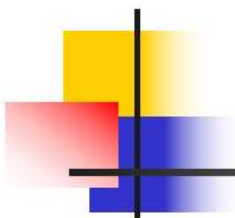
田玉兰 **4509**



逆卡诺循环过程

## 2. 制冷剂按逆卡诺循环的热力过程：

- (1) 绝热压缩(1—2):  $T_0$ 升至 $T_k$ , 外界输入功 $w$ ;
- (2) 等温冷凝(2—3): 等温 $T_k$ 向高温热源放出 $q_k$ ;
- (3) 绝热膨胀(3—4):  $T_k$ 降至 $T_0$ , 膨胀机输出功 $w_e$ ;
- (4) 等温蒸发(4—1): 等温 $T_0$ 吸收低温热源中 $q_0$ 。



单位质量的制冷剂吸收热量:

$$q_0 = T_0 (S_a - S_b) \quad [\text{kJ/kg}]$$

单位质量的制冷剂放出热量:

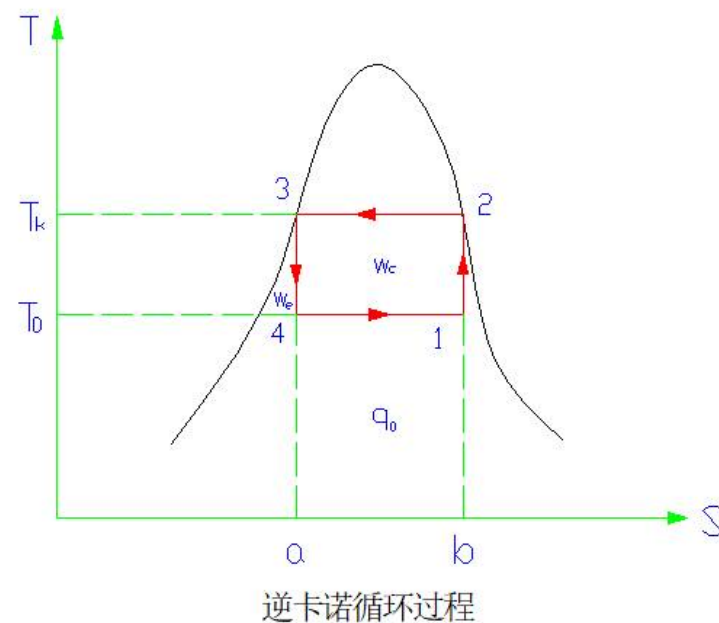
$$q_k = T_k (S_a - S_b) \quad [\text{kJ/kg}]$$

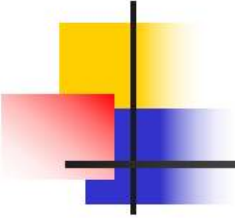
外界输入功:

$$w_c = w - w_e = q_k - q_0 = (T_k - T_0) (S_a - S_b) \quad [\text{kJ/kg}]$$

制冷系数 (COP):

$$\varepsilon = \frac{q_0}{w_c} = \frac{T_0}{T_k - T_0}$$





3. 如果考虑冷凝器和蒸发器的传热温差分别为 $\Delta T_k$ 和 $\Delta T_0$ 时, 则

$$\varepsilon' = \frac{T_0'}{T_k' - T_0'} = \frac{T_0 - \Delta T_0}{(T_k - T_0) + (\Delta T_k + \Delta T_0)}$$

热力完善度:  $\eta = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} < 1$

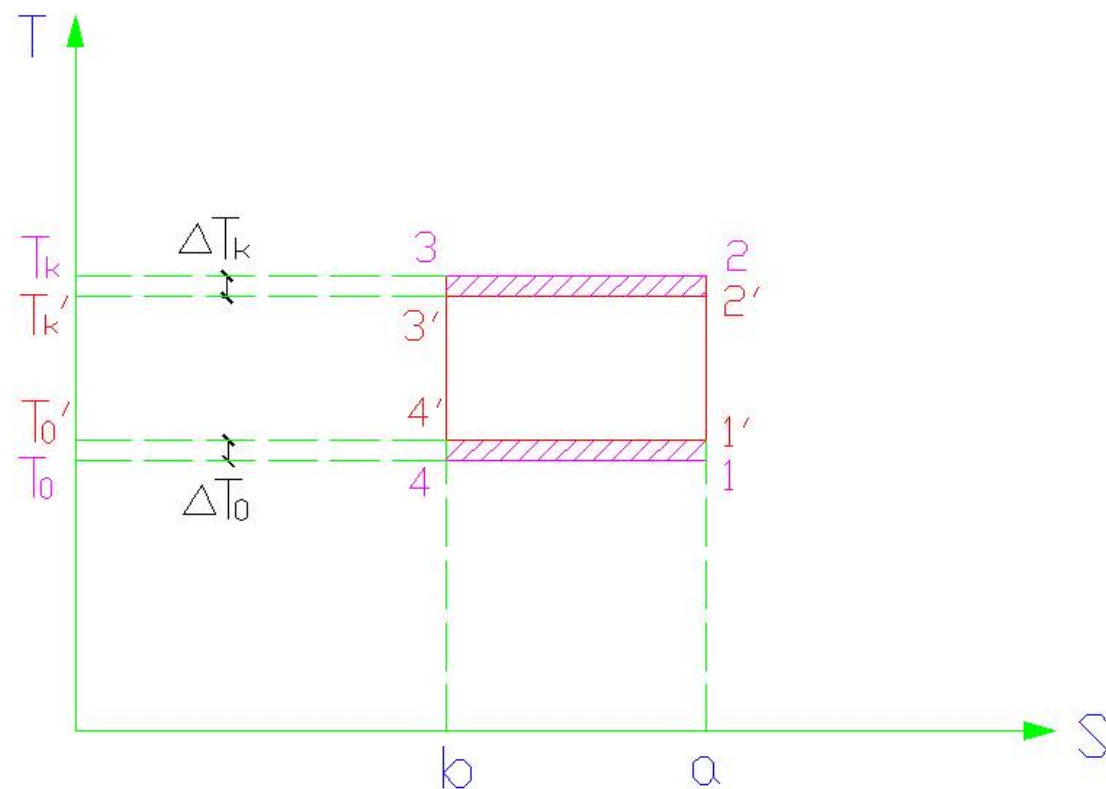


图1.3 具有传热温差的逆卡诺循环

## 高、低温热源温度和传热温差对制冷系数和热力完善度的影响

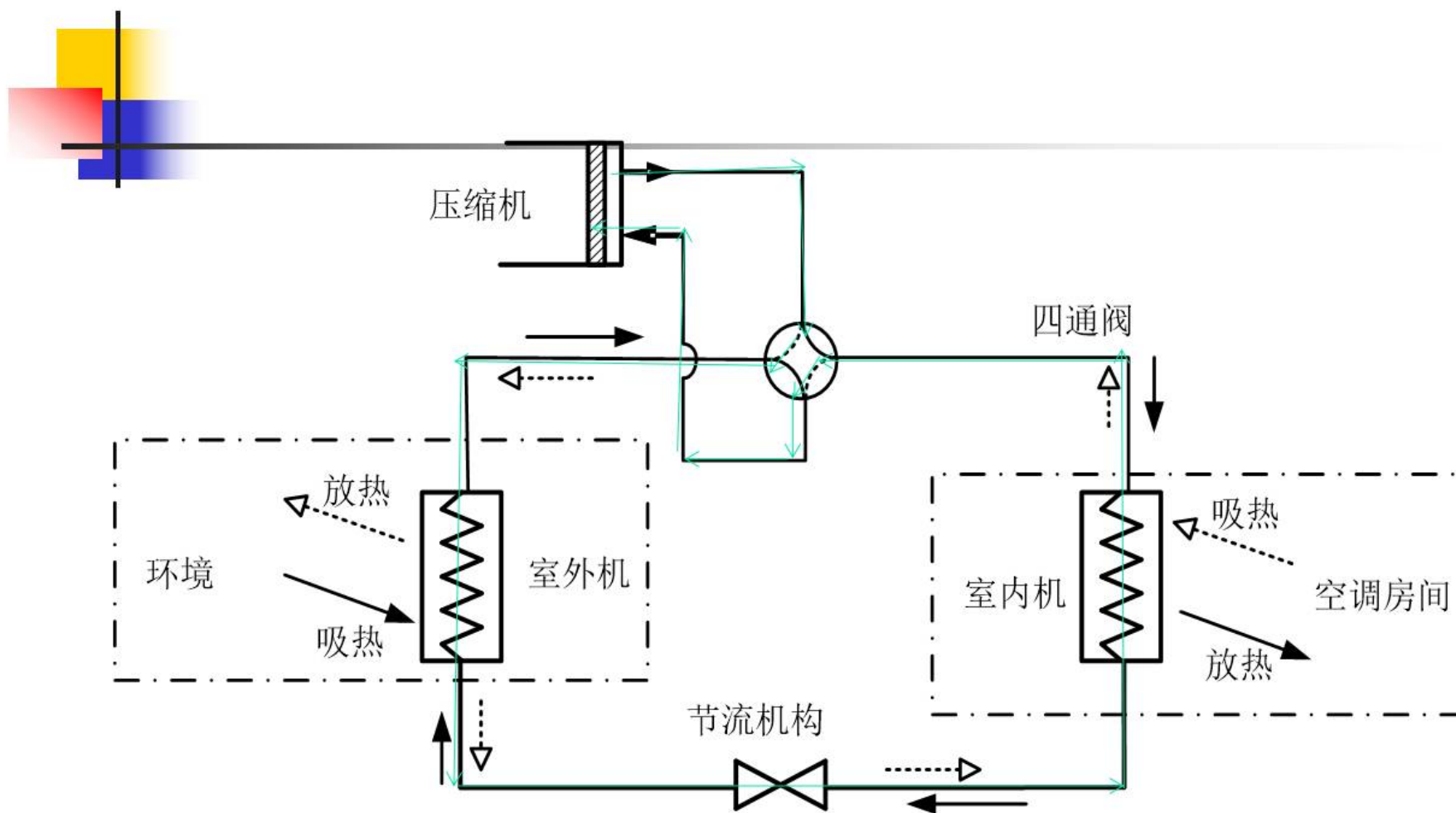
高温热源温度	低温热源温度	冷凝器 $\Delta t_k$	蒸发器 $\Delta t_0$	逆卡诺循环	有温差的逆卡诺循环	热力完善度
30	-5	0	0	7.66	7.66	1
40	-5	0	0	5.96	5.96	1
40	+5	0	0	7.94	7.94	1
40	+5	5	5		6.07	0.76
		10	10		4.87	0.61
		10	5		5.46	0.69



# 热泵的应用

(热力学原理图)









# 热泵的应用

供热系数:

$$\mu = \frac{q_k}{w_c} = \frac{w_c + q_0}{w_c} = 1 + \varepsilon > 1$$



## 总结：热泵与制冷的关系（难点）

- 1.联系：热泵循环就是制冷循环
- 2.区别：
  - 1) 两者的目的不同：
    - 如果目的是为获得高温，热泵。如果是获得低温，就是制冷。
  - 2) 两者的工作温度不一样：高温与低温都是相对于环境温度而言的，基本上工作温度不一样。



## 提醒与思考：

- 1. 以电能驱动的热泵供热比直接用电能供热要节能吗？为什么？
- 2. 是否能应用于所有的地区？
- 3. 与直接燃烧煤、燃气、油等一次能源的供热方式比较，则应考虑生产、输配电能的效率，就煤发电而言，一般制热系数大于**2.8-3.0**时，热泵供热的一次能源效率要高些，即有节能意义。



## 拓展

**8.3.1** 空气源热泵机组的性能应符合国家现行的规定，并应符合下列要求：

- 1 具有先进可靠的融霜控制，融霜所需时间总和不应超过运行周期时间的 20%。
- 2 冬季设计工况时机组运行性能系数（COP） $<1.8$  的地区，不宜采用空气源热泵空调机组。
- 3 冬季设计工况时机组运行性能系数（COP） $<2.0$  的地区，不宜采用空气源热泵热水机组。
- 4 在冬季寒冷、潮湿的地区，当室外设计温度低于当地平衡点温度，或对于室内温度稳定性有较高要求的空气调节系统，应设置辅助热源。
- 5 对于有同时供冷、供热要求的建筑，宜优先选用热回收式热泵机组。

注：冬季设计工况下的运行性能系数指冬季室外空气调节计算温度和达到设计需求参数时的机组供热量（W）与机组输入功率（W）之比。

## 二、劳仑兹循环（变温热源的逆向循环）

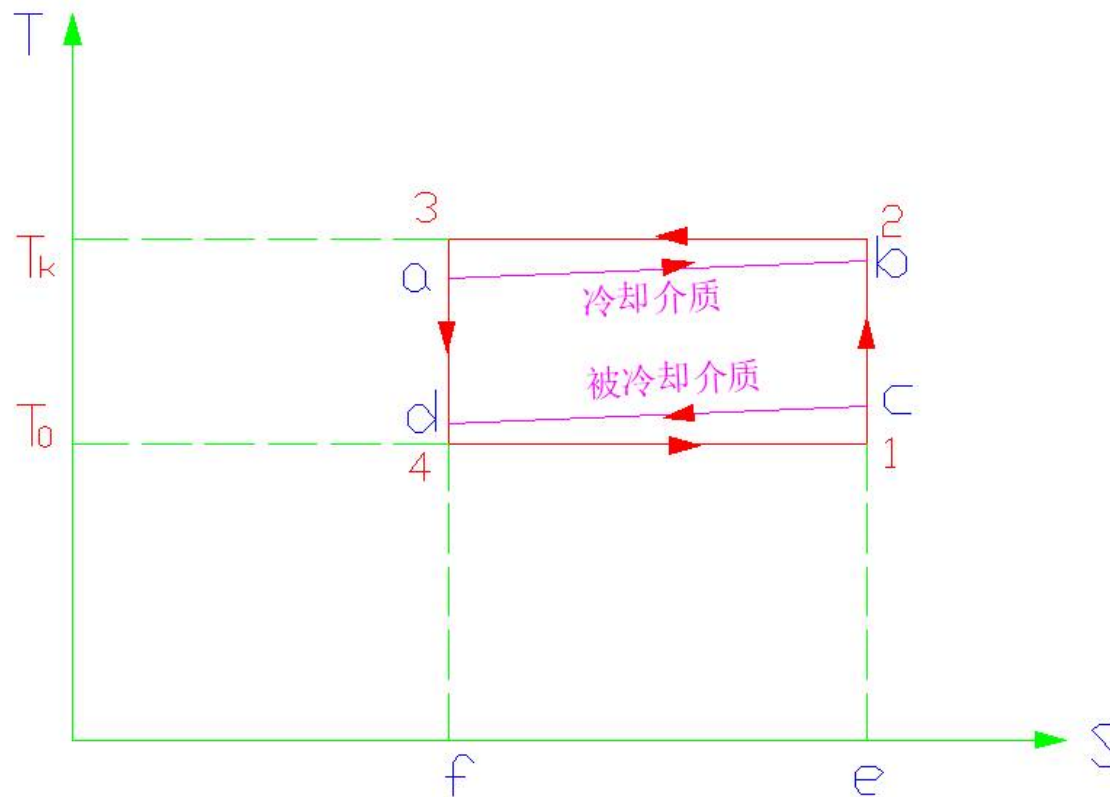


图1.4 恒温热源逆向循环



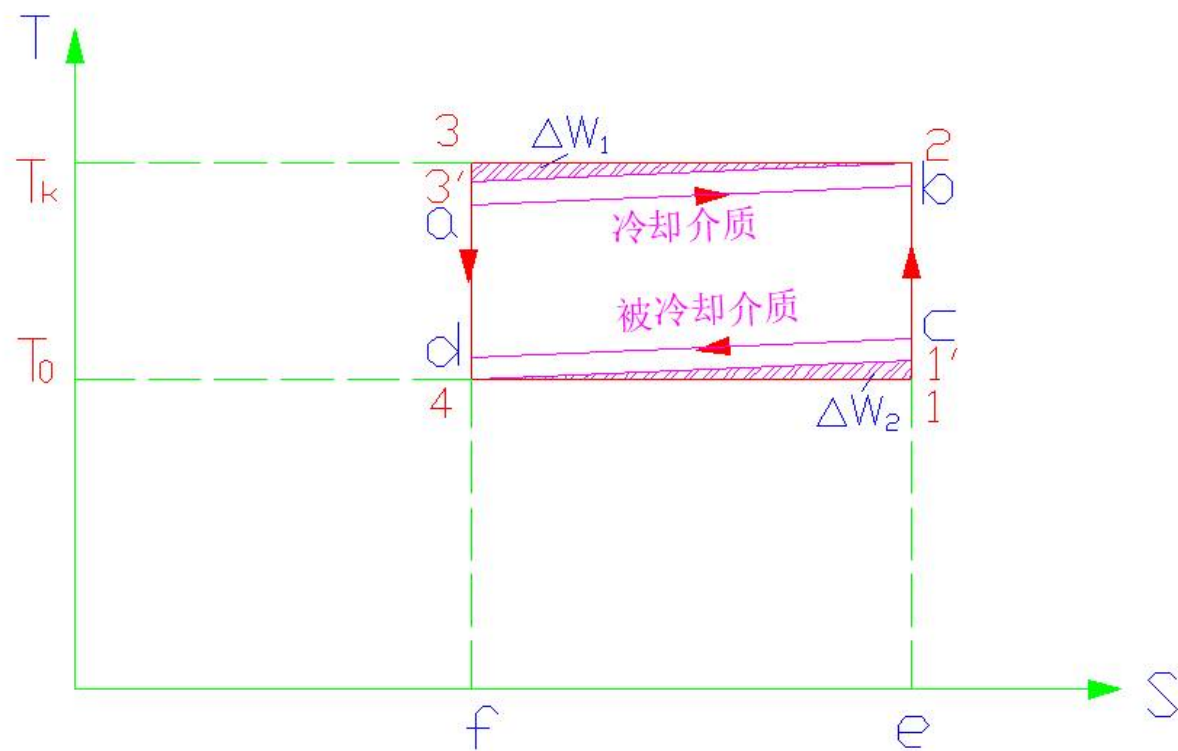
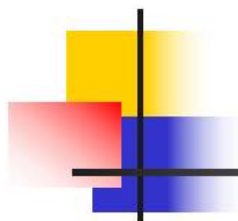


图1.5 变温热源逆向循环

## ■ 制冷系数

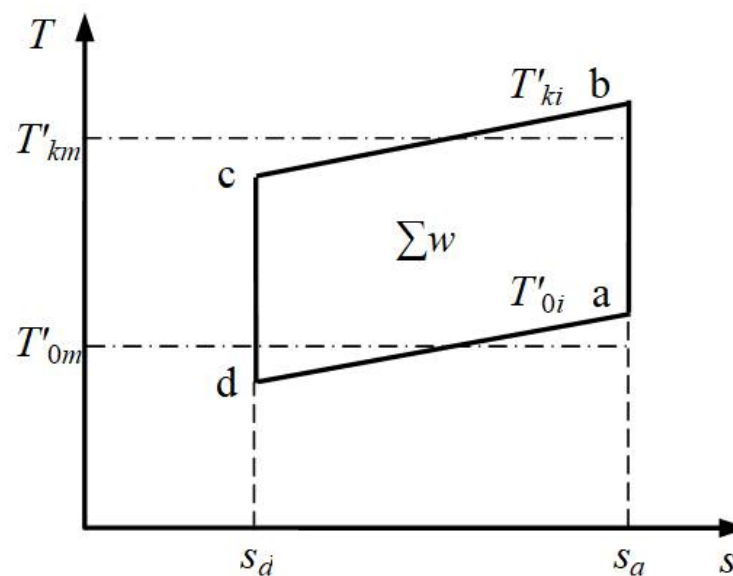


图 1-3 劳仑兹循环

$$\varepsilon_l = \frac{q_0}{\sum w} = \frac{q_0}{q_k - q_0} = \frac{T'_{0m}}{T'_{km} - T'_{0m}}$$



## 第二节 蒸汽压缩式制冷的理论循环

### 一、理论制冷循环与逆卡诺循环（理想制冷循环）的区别

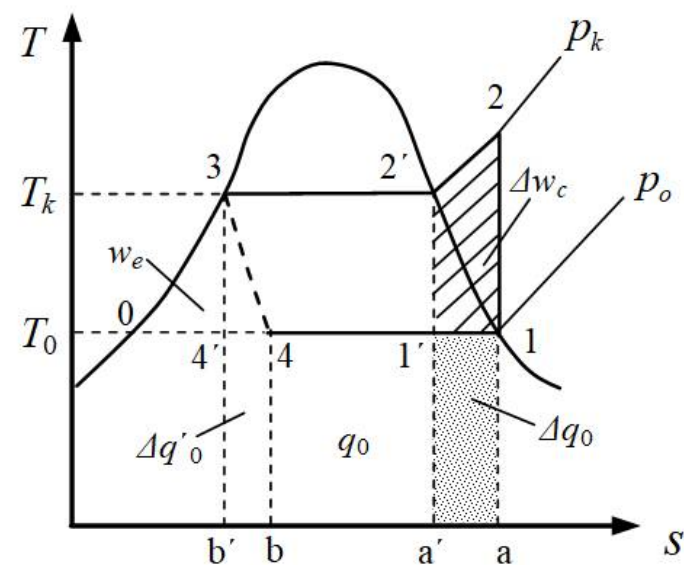
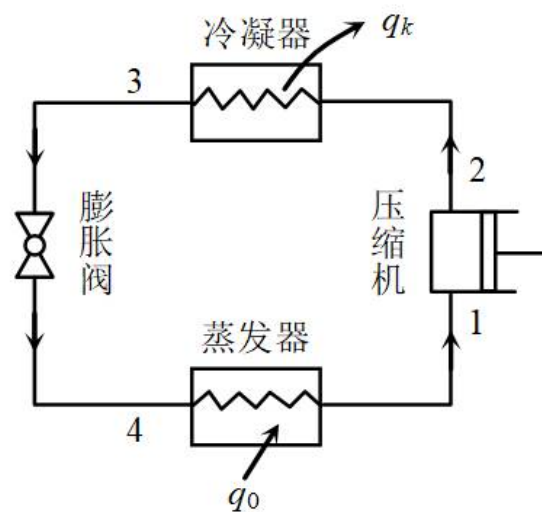
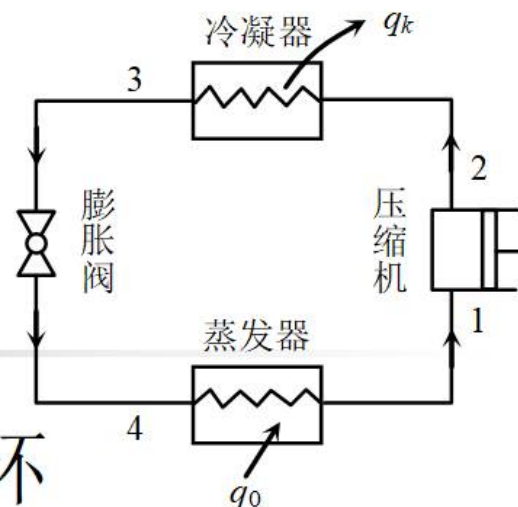
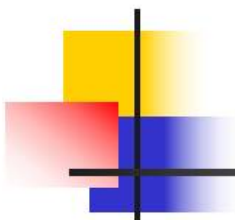


图1-4 蒸汽压缩式制冷的理论循环  
(a) 工作过程； (b) 理论循环



## 一、蒸气压缩式制冷的理论循环

理论制冷循环与逆卡诺循环（理想制冷循环）的区别：

1. 在冷凝器和蒸发器中，制冷剂按等压过程循环，且具有传热温差；
2. 制冷剂用膨胀阀节流，而非膨胀机；
3. 压缩机吸入饱和蒸气，而不是湿蒸气。

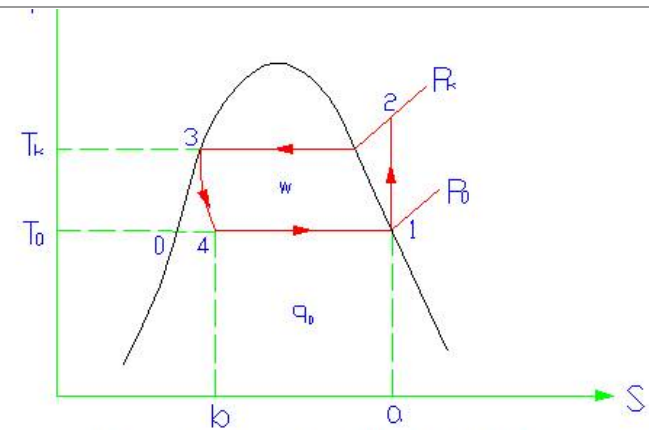
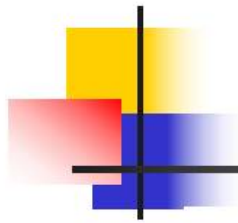
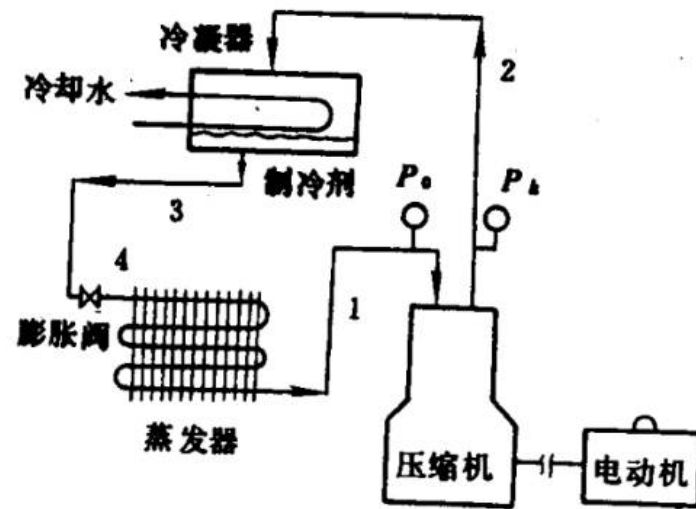
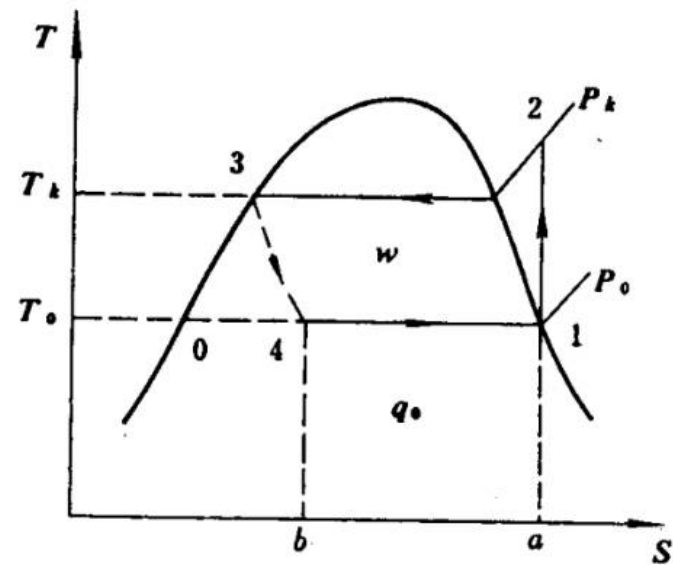


图1.7 理论制冷循环过程在T-S图上的表示



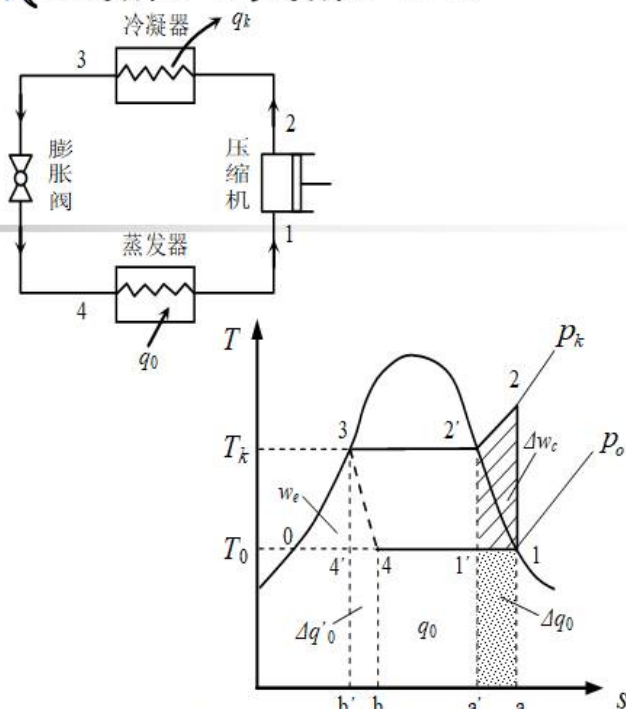
a)



b)

图 1.7 理论制冷循环过程及其在 T-S 图上的表示

# 1.用膨胀阀代替膨胀机后的节流损失(重点、难点) P6 (工程热力学温熵图)



(1) 节流过程3-4不可逆，  
制冷剂通过膨胀阀损失的冷量：

$$\Delta q_{01} = h_4 - h_{4'} = \text{面积} 4'4bb'$$

(2) 损失了膨胀功  $w_e$

绝热节流前后焓值不变，即  $h_3 = h_4$ ； **注意：非等熵过程**

$$w_e = h_3 - h_{4'}$$

(3) **思考：  $w_e$  与  $\Delta q_{01}$  相等？**

**证明**



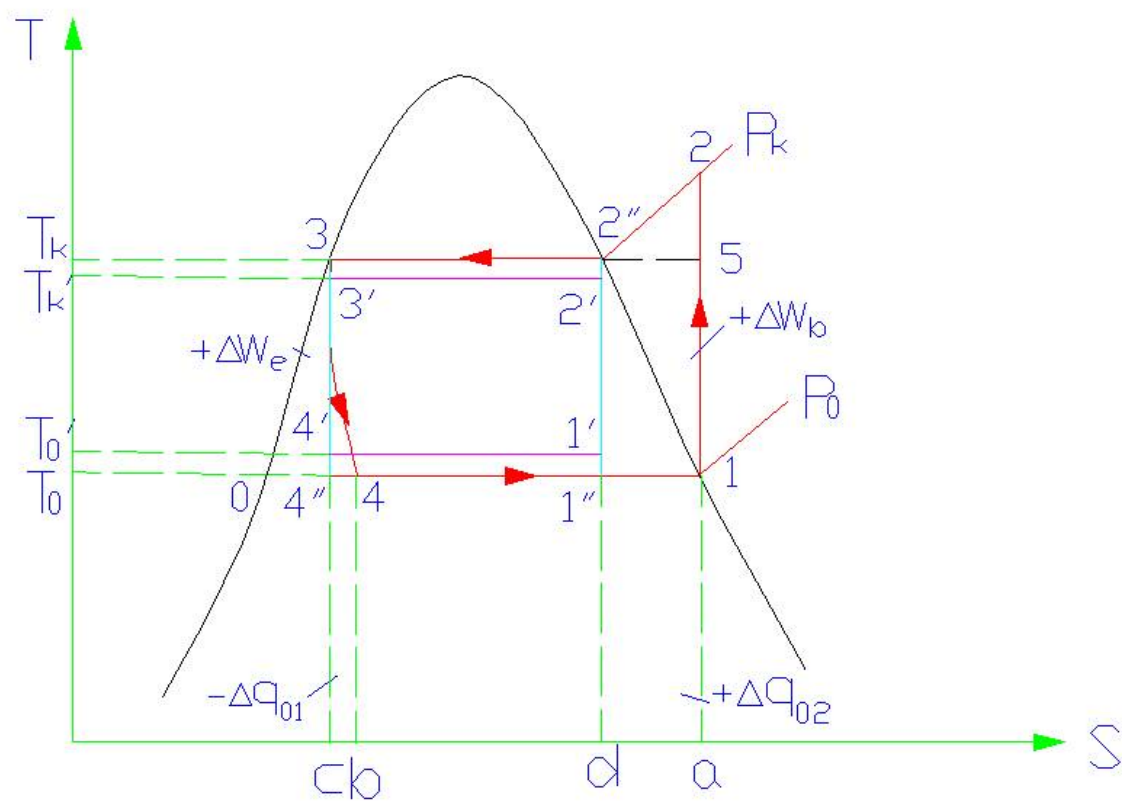
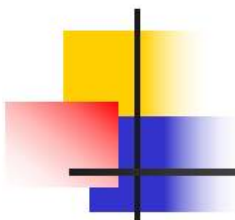
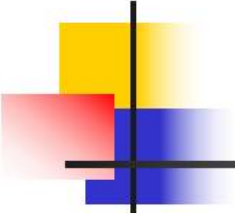


图1.8 三种制冷循环过程在T-S图上的表示





节流损失：制冷剂干度↑，液体含量↓，制冷能力↓。

$(T_0 - T_k)$  ↑ 或者制冷剂液态比热↑，则节流损失↑；反之↓。

用膨胀阀代替膨胀机后，增加了 $w_e$ ，损失了 $\Delta q_{01}$ ，使制冷系数和热力完善度下降。





## 2.用干压缩代替湿压缩后的饱和损失

(1) 危害：在制冷压缩机的实际运行中，若吸入湿蒸气，会引起液击，并占有气缸容积，吸气量减少，制冷量下降。

(2) 实现干压缩的措施：P6

(3) 过热损失 影响因素：  
节流损失大的，过热损失小



### 3.关于热交换过程的传热温差

- **思考：**几个循环的制冷系数比较：
- 理想循环**a**，有传热温差的逆卡诺循环**b**，理论循环**c**，实际循环**d**？

## 二、蒸气压缩式制冷理论循环的热力计算

### (一) 制冷剂的压-焓图 ( $\lg P$ - $h$ 图)

等压线

等焓线

等温线

等比容线

等熵线

等干度线

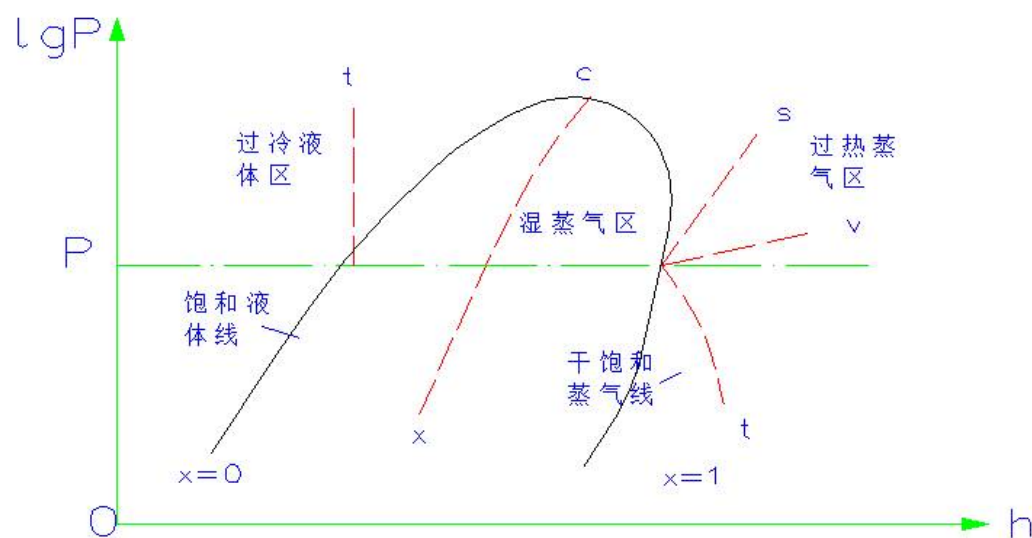


图 1.11 制冷剂的  $\lg P$ - $h$  图

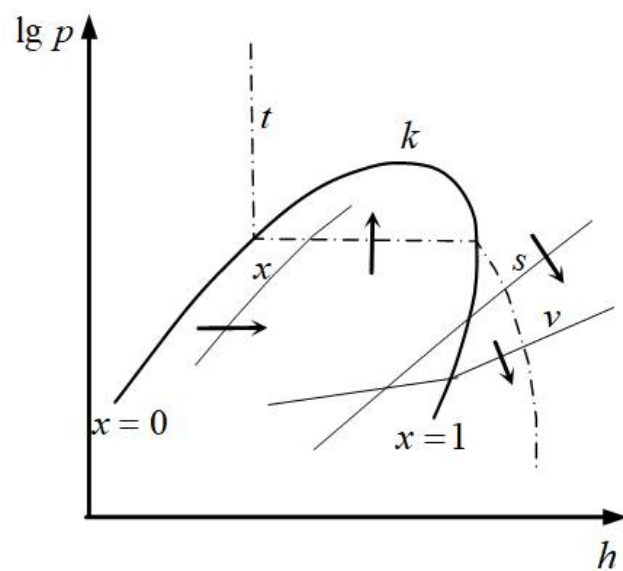
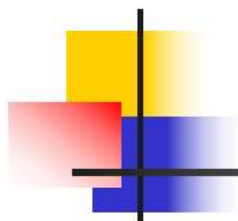


图 1-5 压焓图

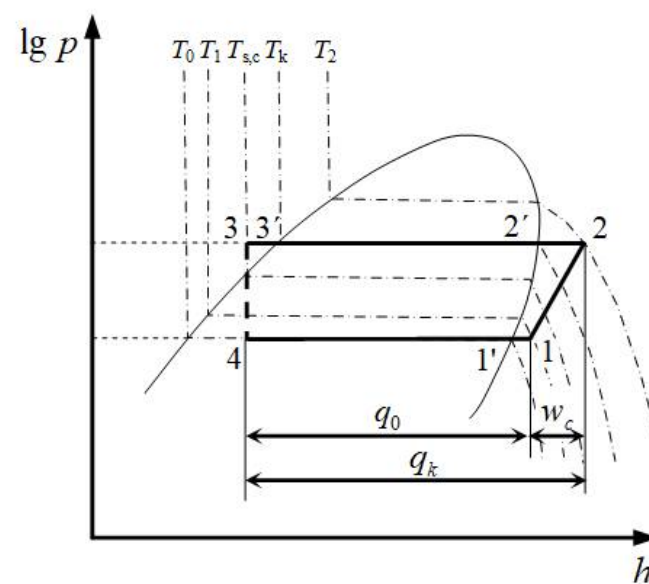


图 1-6 蒸气压缩式制冷理论循环

## (二) 热力计算

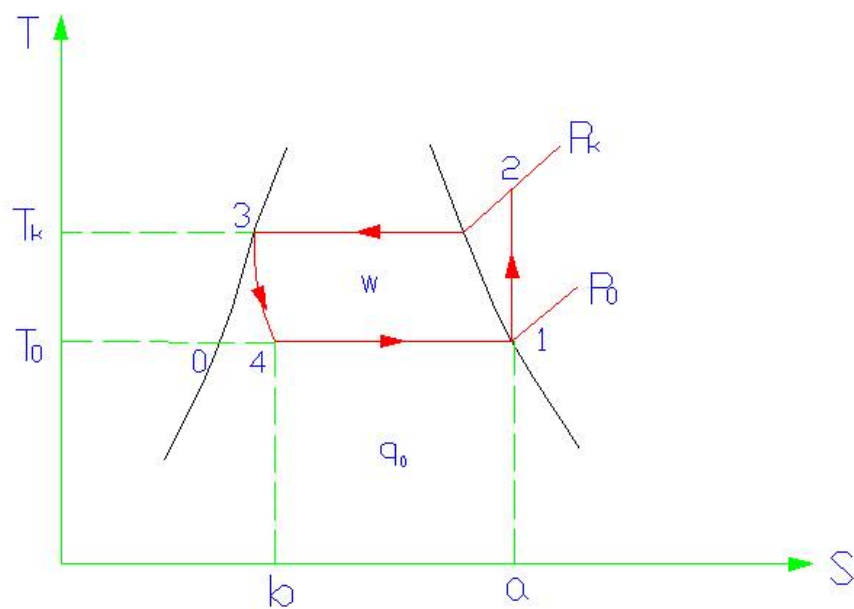


图1.12 蒸气压缩式制冷循环在T-S图上的表示

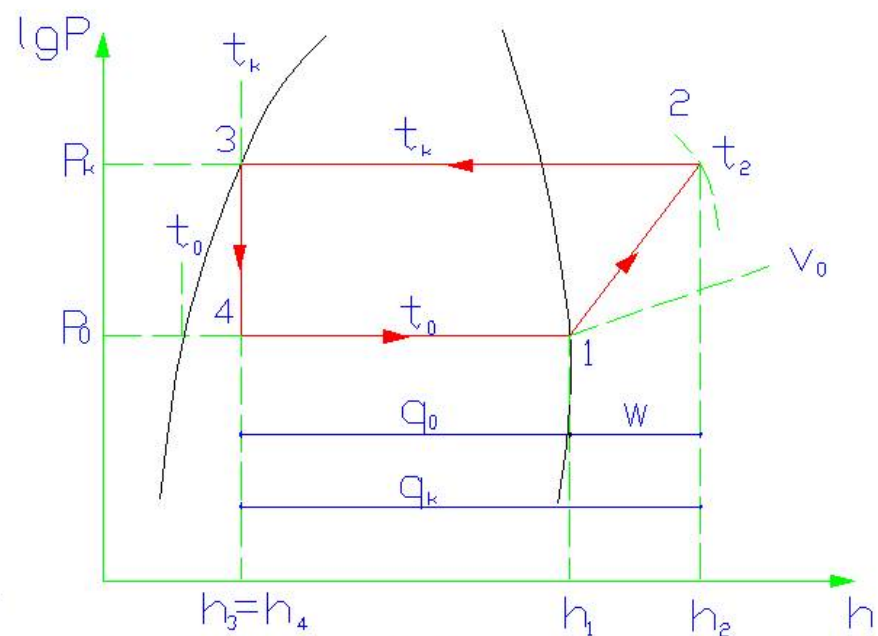
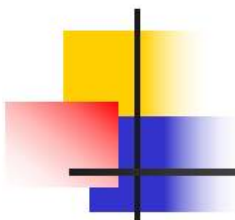


图1.13 蒸气压缩式制冷循环在lgP-h图上的表示



制冷剂在蒸发器中的单位质量制冷量:

$$q_0 = h_1 - h_4 \quad [\text{kJ/kg}]$$

压缩机的单位质量绝热压缩耗功量:

$$w = h_2 - h_1 \quad [\text{kJ/kg}]$$

制冷剂在冷凝器中的单位质量放热量:

$$q_k = h_2 - h_3 \quad [\text{kJ/kg}]$$

节流前、后焓值不变  $h_3 = h_4$ , 则  $q_k = q_0 + w$

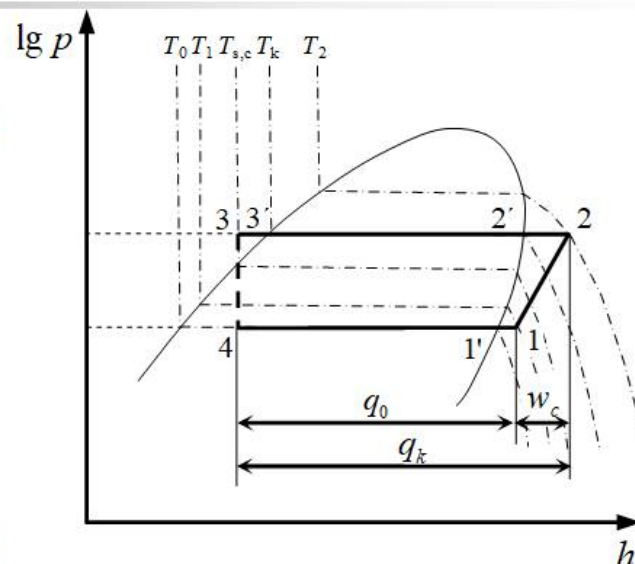


图 1-6 蒸汽压缩式制冷理论循环