

Chapter 11

Vapor power cycles

蒸汽动力循环

主讲：张金翠

Tel: 85953720 13515328653

E-mail: zjc0404@163.com

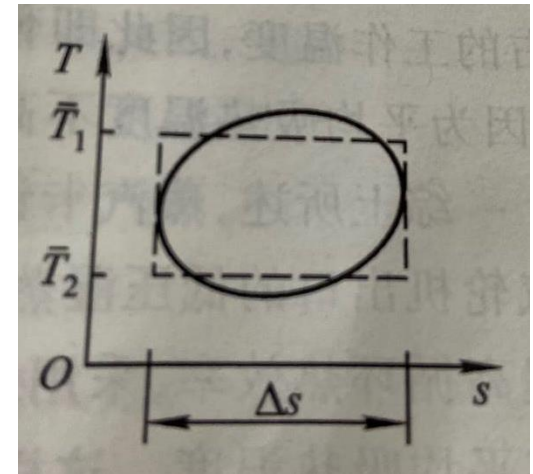


Chapter 11 蒸汽动力循环

- § 11-1 概述
- § 11-2 蒸汽卡诺循环
- § 11-3 朗肯循环
- § 11-4 提高朗肯循环热效率的途径
- § 11-5 再热循环
- § 11-6 回热循环
- § 11-7 热电循环

§ 11-1 概述

- 动力循环：热机的工作循环
- 热机：将热能转换为机械能的设备（蒸汽机、汽轮机、内燃机、燃气轮机）
 - 蒸汽动力循环（外燃动力装置）
 - 气体动力循环（内燃动力装置）



分析方法:

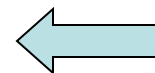
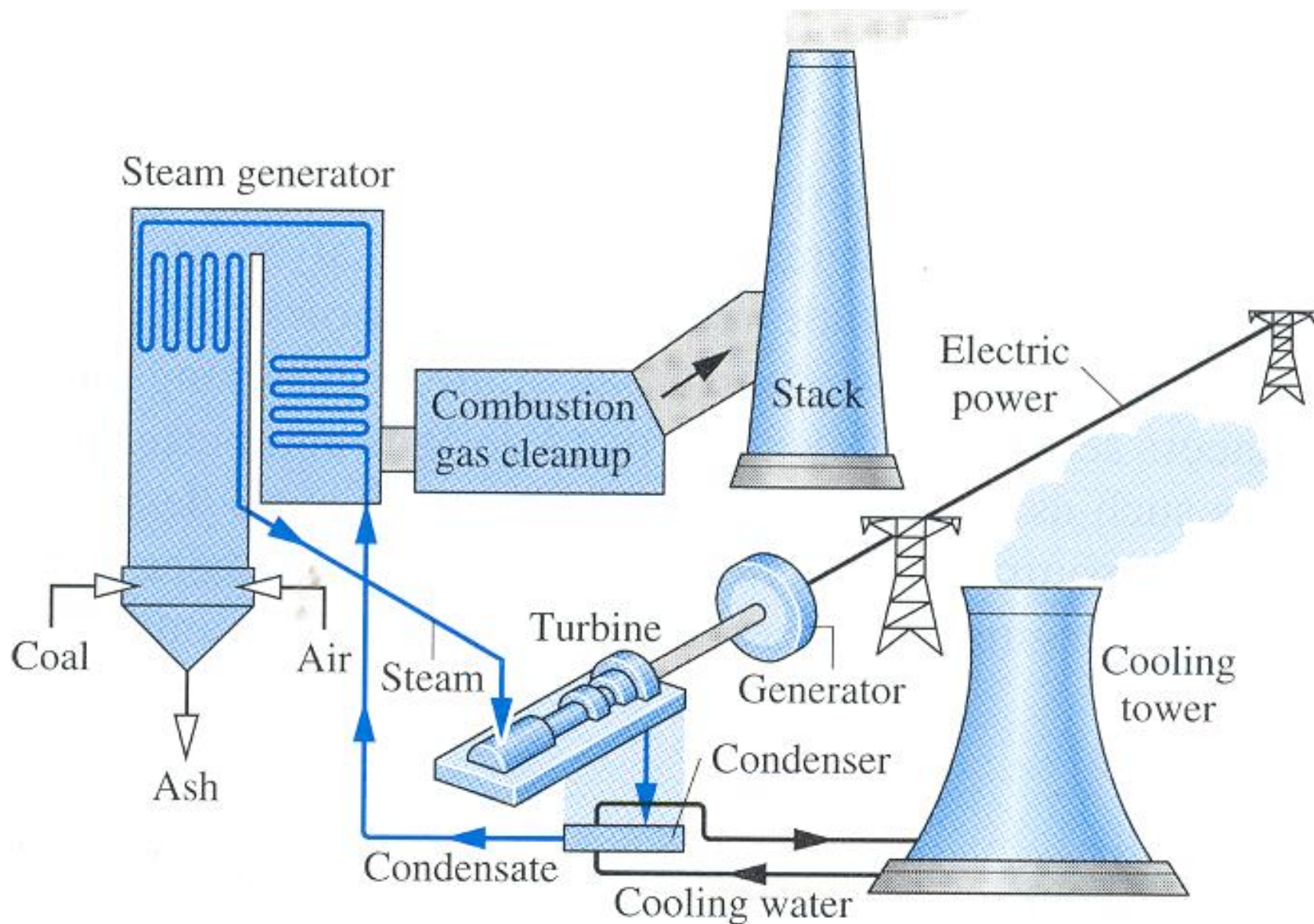
引入平均温度的概念

$$\eta_t = \frac{w}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{\bar{T}_2}{\bar{T}_1}$$

蒸汽电厂示意图



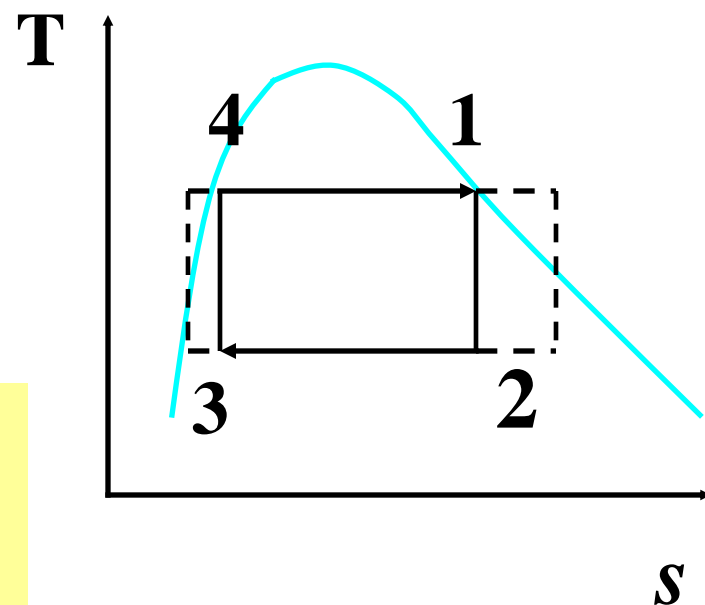
§ 11-2 蒸汽卡诺循环

理论上的过程组成：

- 4-1 水蒸汽的定压吸热
- 1-2 汽轮机中的定熵膨胀
- 2-3 冷凝器中的定压放热
- 3-4 压气机中的定熵压缩

思考题：

- 1、上述循环能否实现？
- 2、为何不采用虚线所示循环？



§ 11-3 朗肯循环

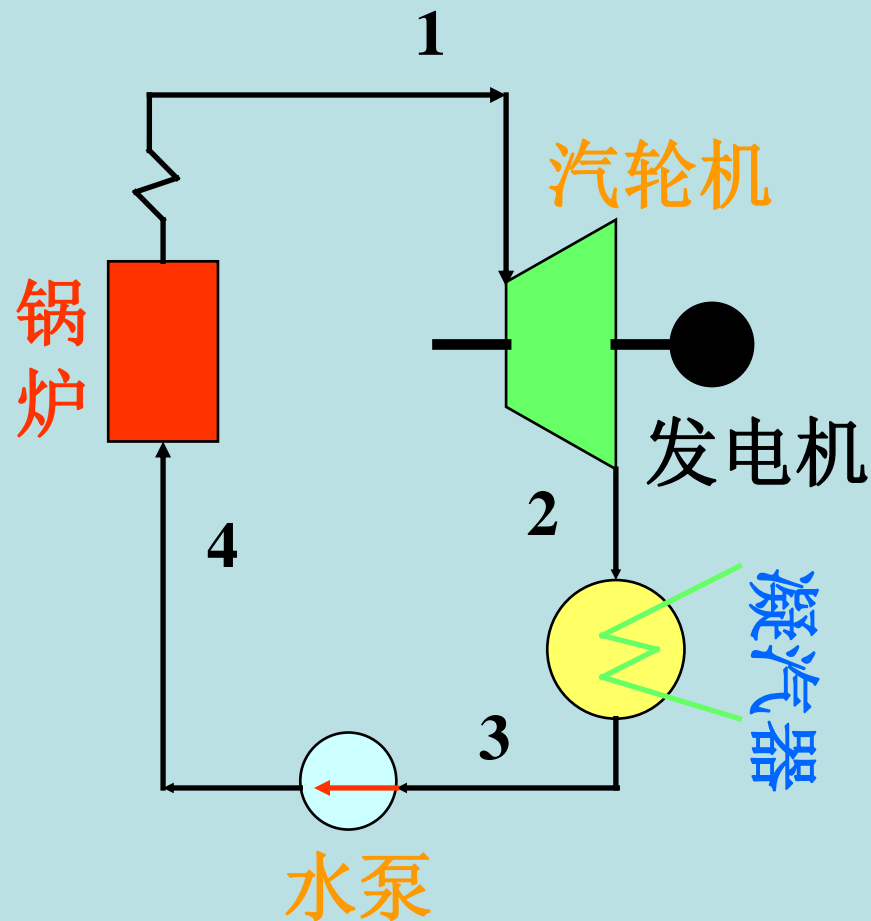
■ 一、循环构成

1→2 汽轮机中的定熵膨胀

2→3 凝汽器中的定压放热，
冷凝为饱和水

3→4 水泵 中的定熵压缩

4→1 锅炉中的定压预热，
变为**过热蒸汽**



思考题：朗肯循环与蒸汽卡诺循环的区别？

§ 11-3 朗肯循环

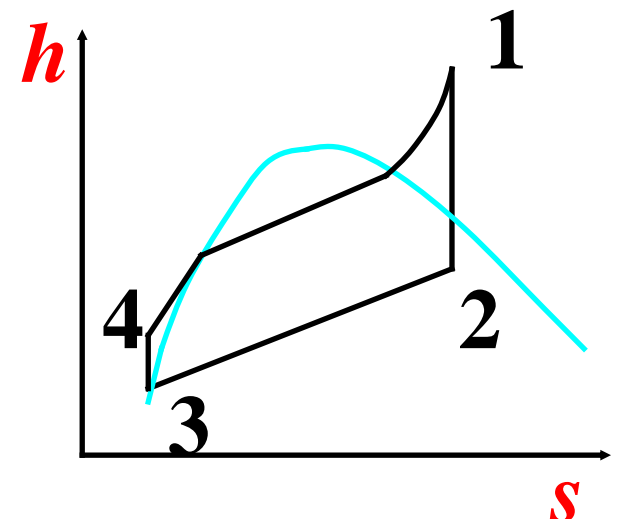
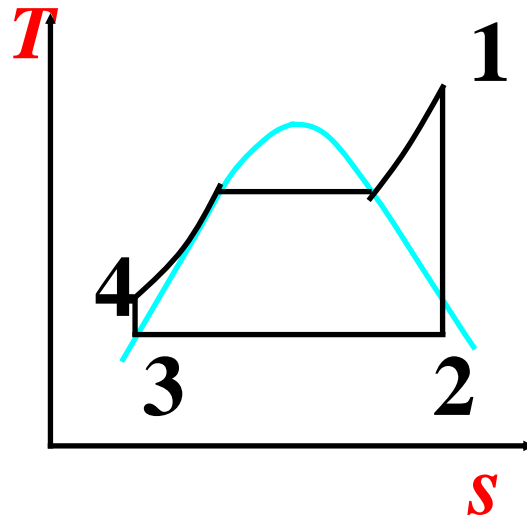
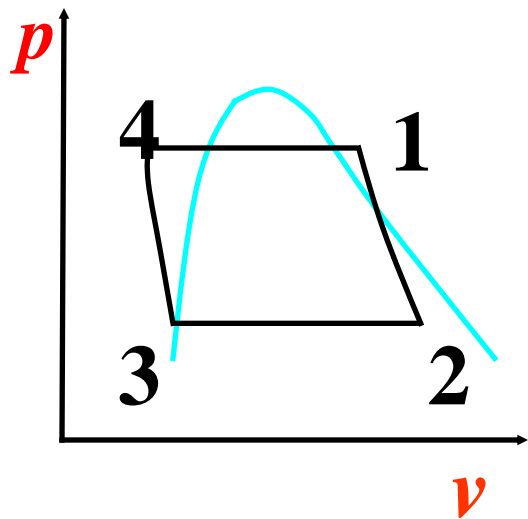
■ 二、朗肯循环的图示

1→2 汽轮机 (s) 膨胀

2→3 凝汽器 (p) 放热

3→4 给水泵 (s) 压缩

4→1 锅炉 (p) 吸热



§ 11-3 朗肯循环

■ 三、能量分析

汽轮机做功:

$$w_{s,1-2} = h_1 - h_2$$

凝汽器中的定压放热量:

$$q_2 = h_2 - h_3$$

水泵绝热压缩耗功:

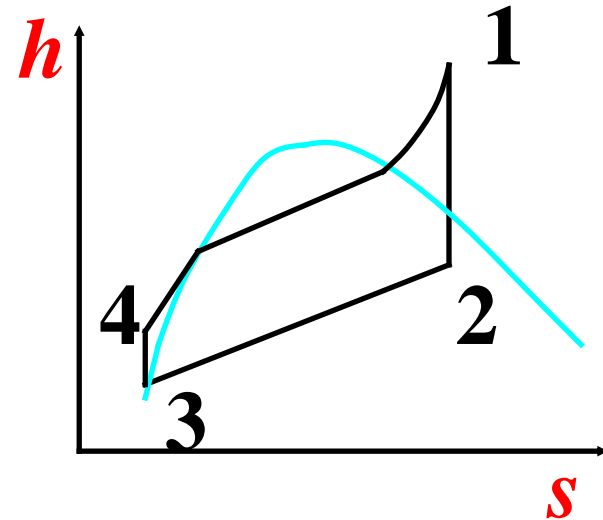
$$w_{s,3-4} = h_4 - h_3$$

锅炉中的定压吸热量:

$$q_1 = h_1 - h_4$$

循环热效率:

$$\eta_t = \frac{w}{q_1} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4} \approx \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_4}$$



§ 11-3 朗肯循环

■ 三、能量分析

功比:

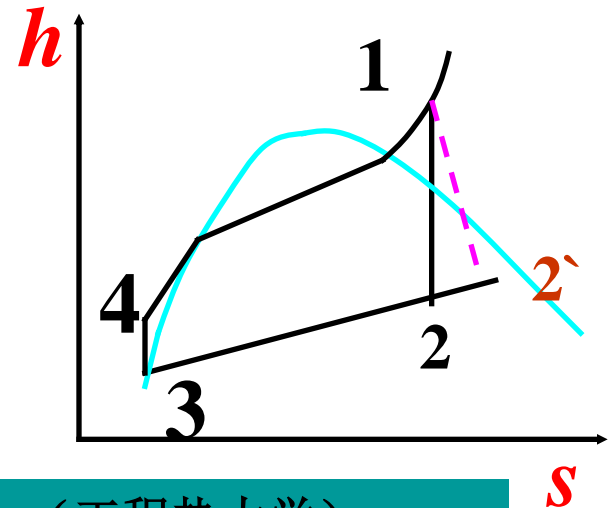
$$\gamma_w = \frac{\text{净输出功}}{\text{作功量}} = \frac{w}{w_T} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_2)}$$

汽耗率: 装置每输出单位功量 **1kW.h**
所消耗的蒸汽量 **kg**:

$$d = \frac{3600}{w}$$

相对内效率:

$$\eta_t = \frac{w_T}{w} = \frac{h_1 - h_{2'}}{h_1 - h_2} \quad (0.85 \sim 0.95)$$

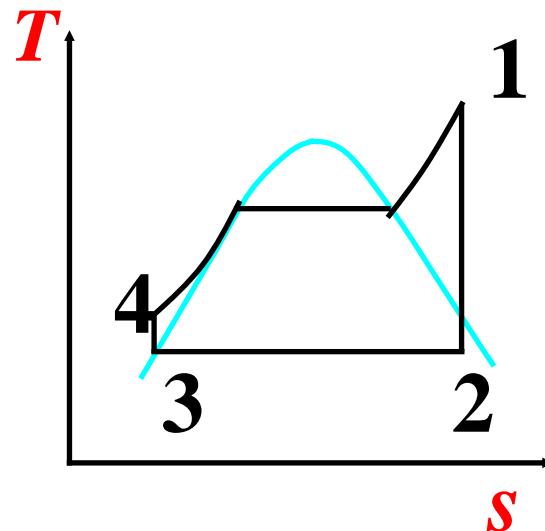


§ 11-4 提高朗肯循环热效率的途径

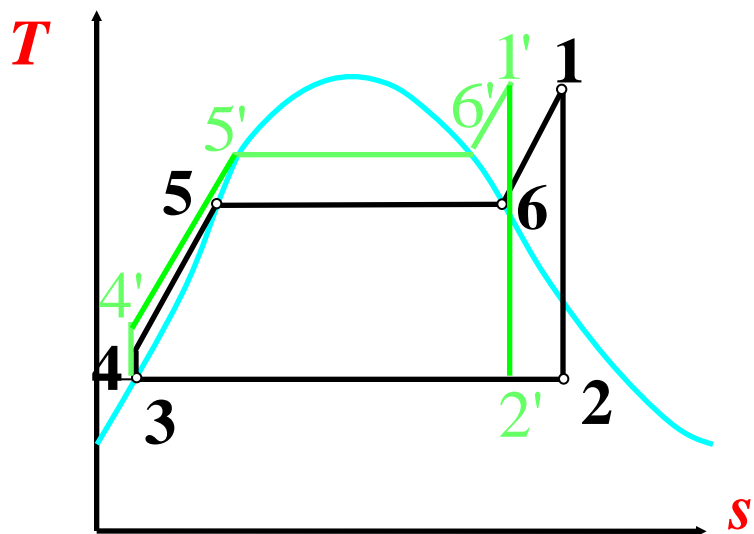
■ 影响热效率的参数？

p_1, t_1, p_2

$$\eta_t = \frac{w}{q_1} \approx \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_4} = 1 - \frac{\overline{T}_2}{\overline{T}_1}$$



■ 1、提高蒸汽初压 p_1



$\overline{T}_1 \uparrow$ $\eta_t \uparrow$

$x_2' \downarrow$

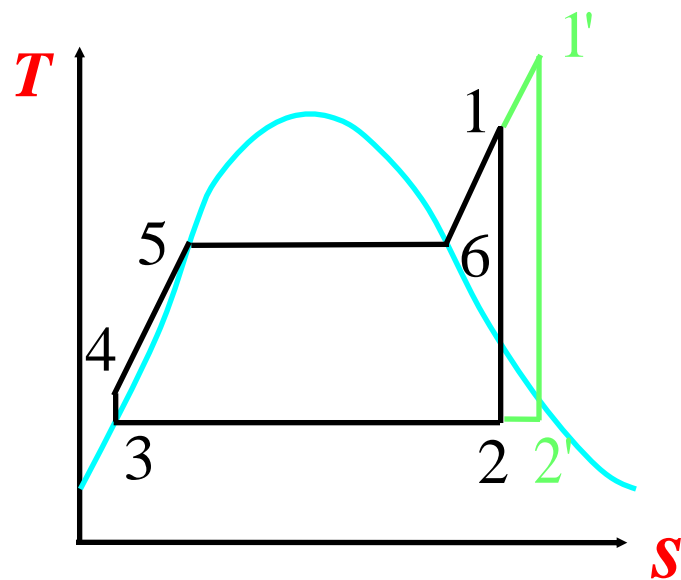
对强度要求提高

§ 11-4 提高朗肯循环热效率的途径

■ 2、提高蒸汽初温 t_1

$$\bar{T}_1 \uparrow \quad \eta_t \uparrow \quad x_{2'} \uparrow$$

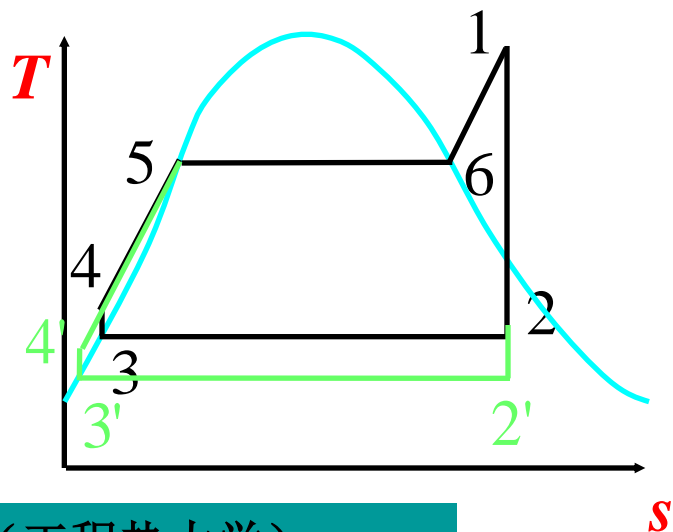
对耐热及强度要求高，目前最高初温一般在**600°C**左右



■ 3、降低蒸汽终压 p_2

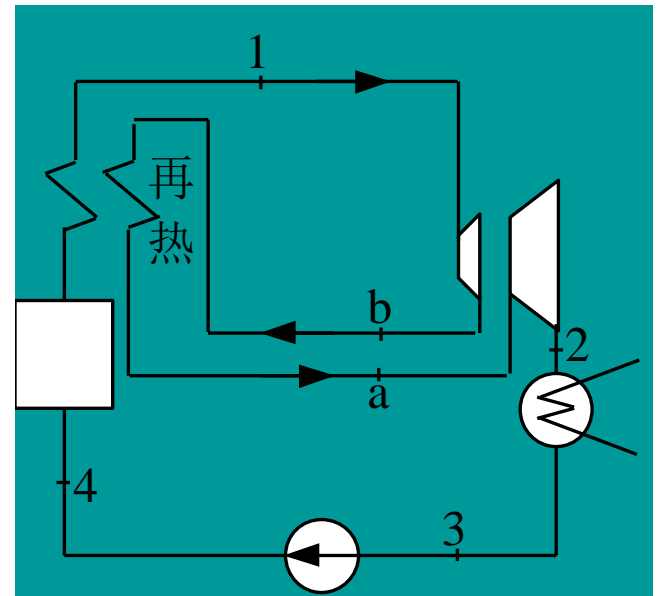
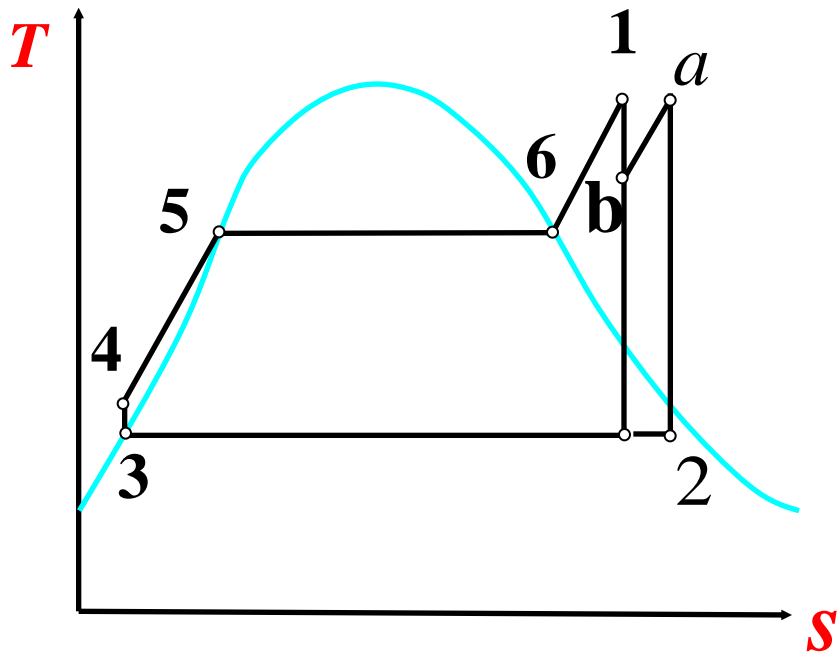
$$\bar{T}_2 \downarrow \quad \eta_t \uparrow$$

受环境温度限制，现在大型机组 p_2 为**0.003~0.004MPa**，相应的饱和温度约为**24~29°C**



§ 11-5 再热循环

■ 一、工作原理及图示



■ 思考：p-v图和h-s图如何表示？

§ 11-5 再热循环

二、循环的能量分析

吸热量: $q_1 = (h_1 - h_4) + (h_a - h_b)$

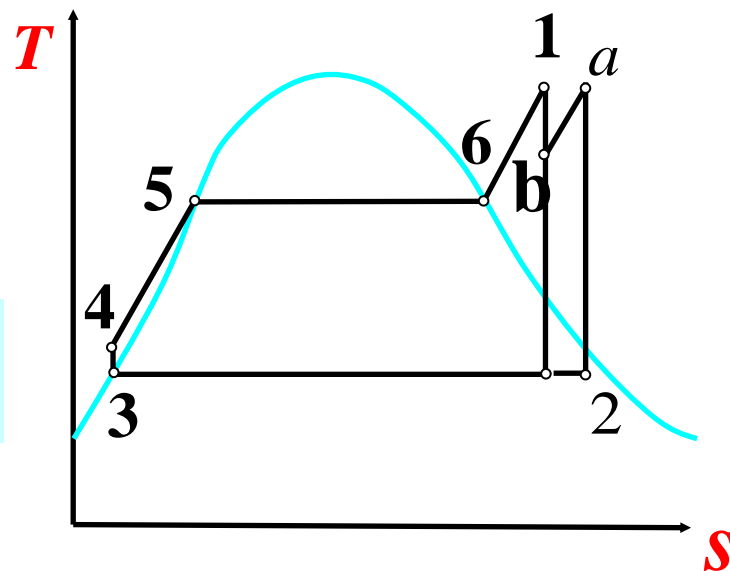
放热量: $q_2 = h_2 - h_3$

净功 (忽略泵功):

$$w_{\text{net}} = (h_1 - h_b) + (h_a - h_2)$$

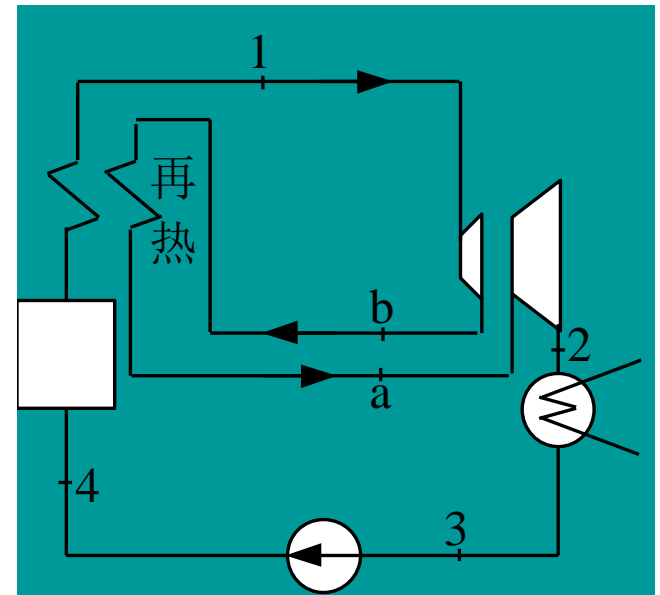
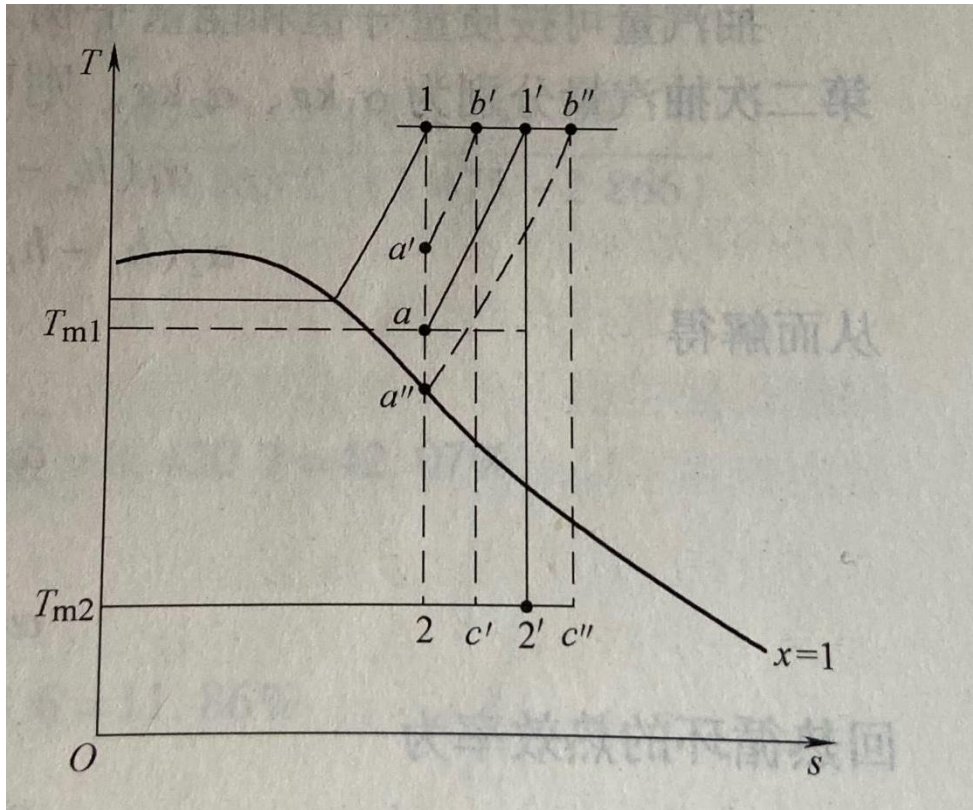
热效率:

$$\eta_{t,\text{RH}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_1} = \frac{(h_1 - h_b) + (h_a - h_2)}{(h_1 - h_4) + (h_a - h_b)}$$



§ 11-5 再热循环

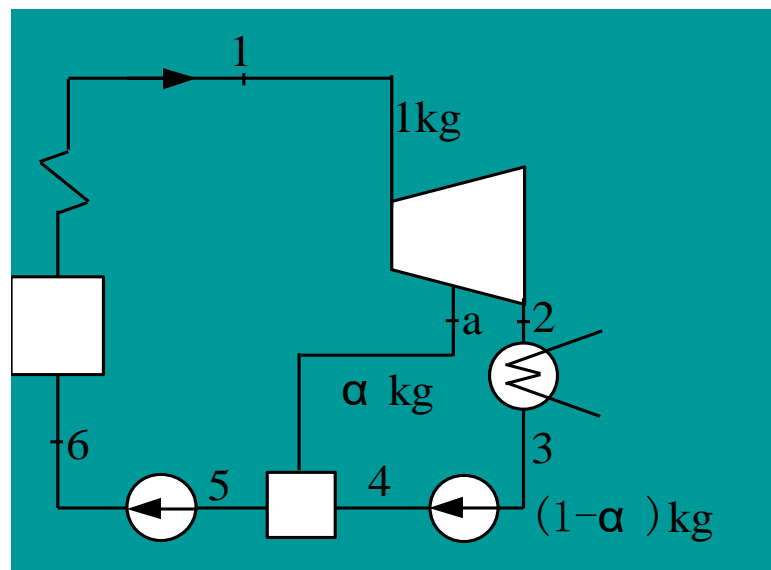
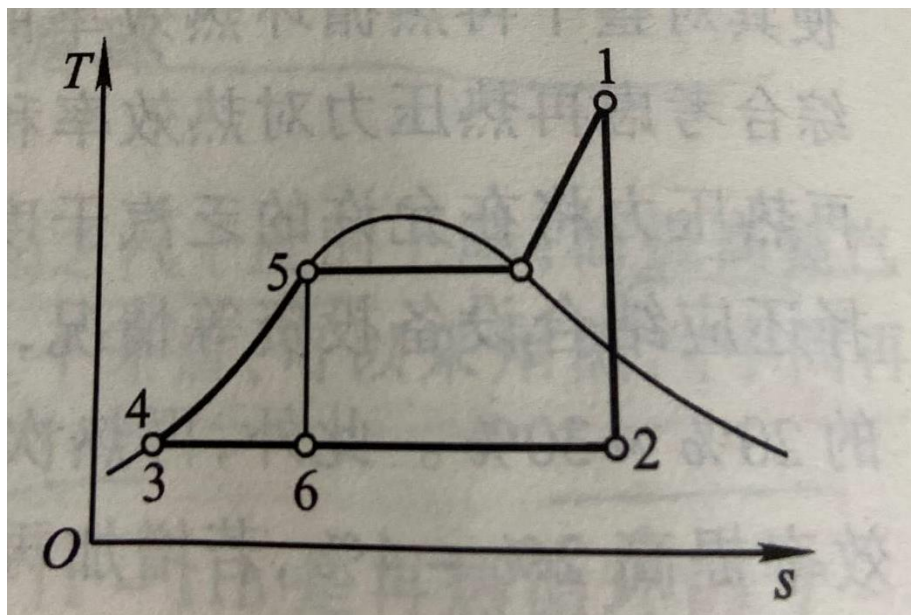
■ 三、再热压力和再热次数的确定



再热次数不超过两次

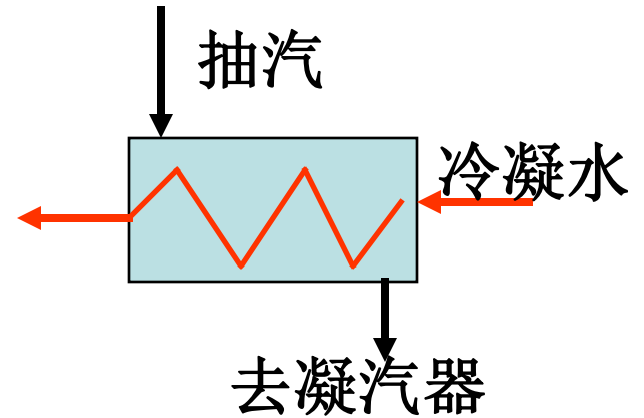
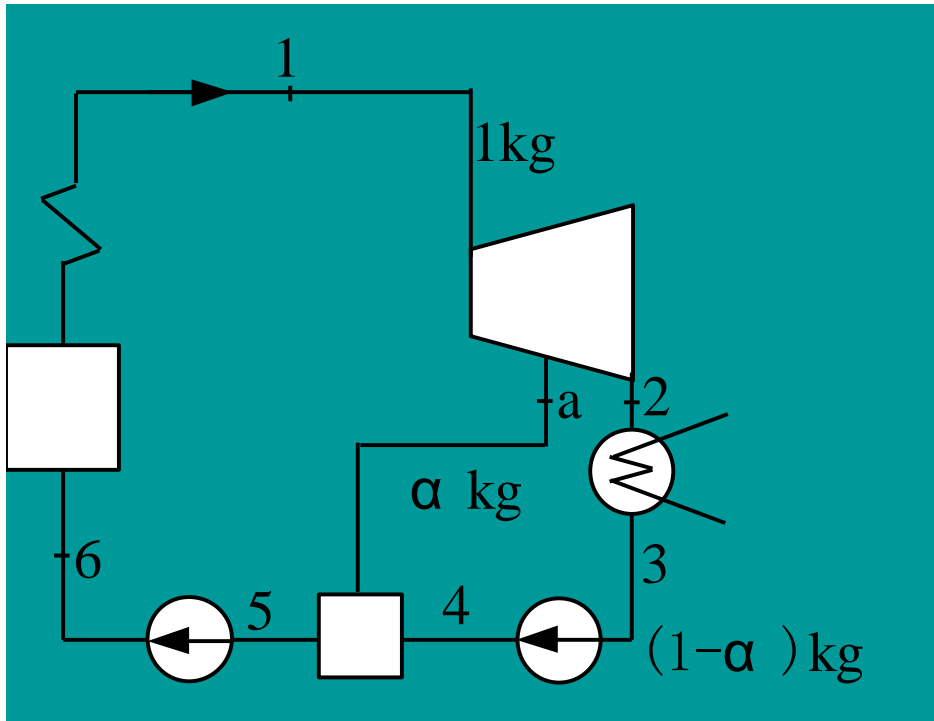
§ 11-6 回热循环

■ 一、工作原理

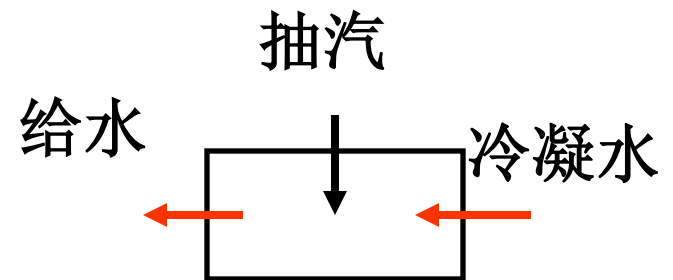


§ 11-6 回热循环

一、工作原理



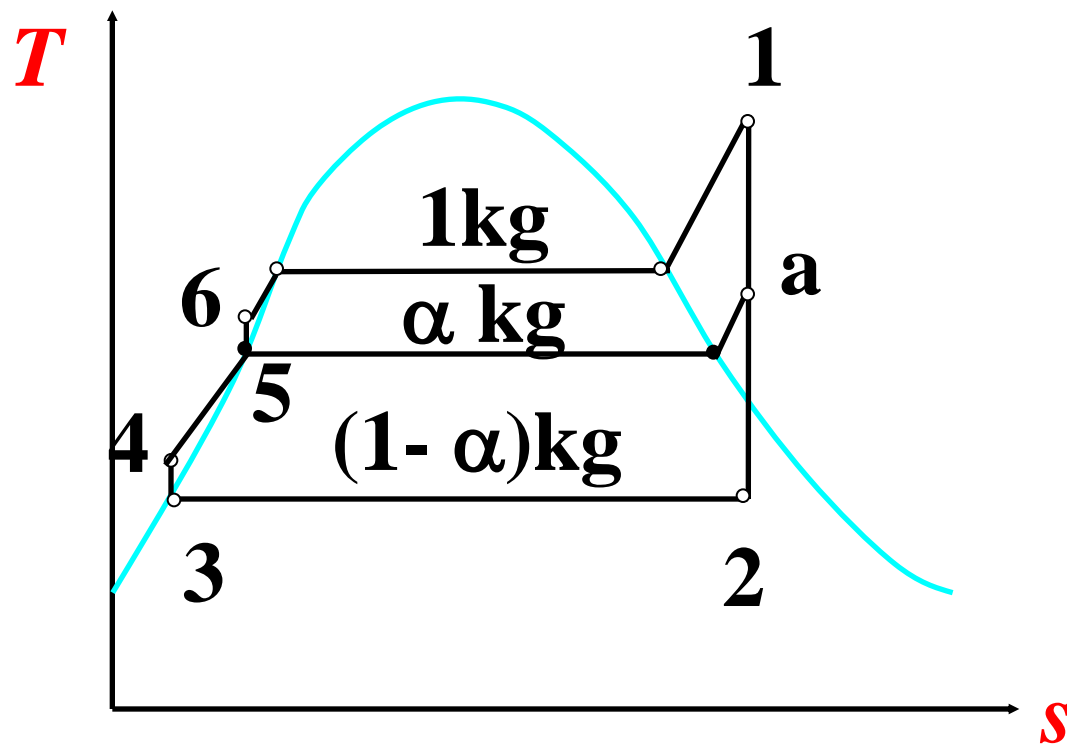
表面式回热器



混合式回热器

§ 11-6 回热循环

■ 二、图示



■ 思考：p-v图和h-s图如何表示？

§ 11-6 回热循环

■ 三、分析计算

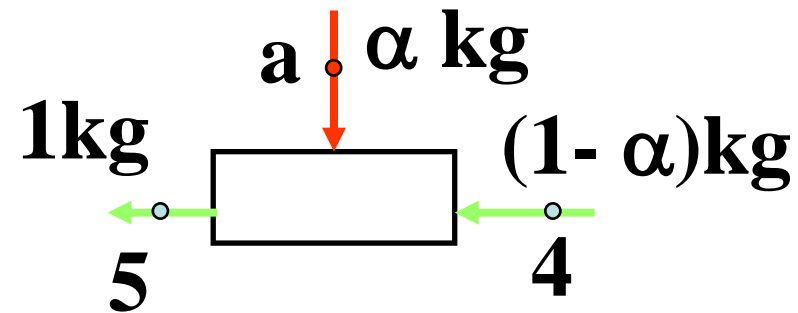
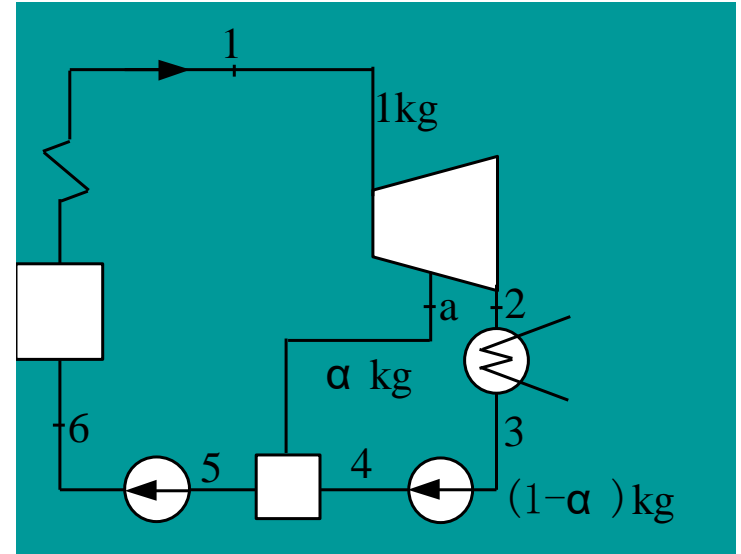
➤ 1、抽汽系数的计算

以混合式回热器为例：

由热一律

$$\alpha h_a + (1 - \alpha) h_4 = 1 \times h_5$$

$$\alpha = \frac{h_5 - h_4}{h_a - h_4}$$



§ 11-6 回热循环

三、分析计算

2、热效率的计算

吸热量:

$$q_1 = h_1 - h_5$$

放热量:

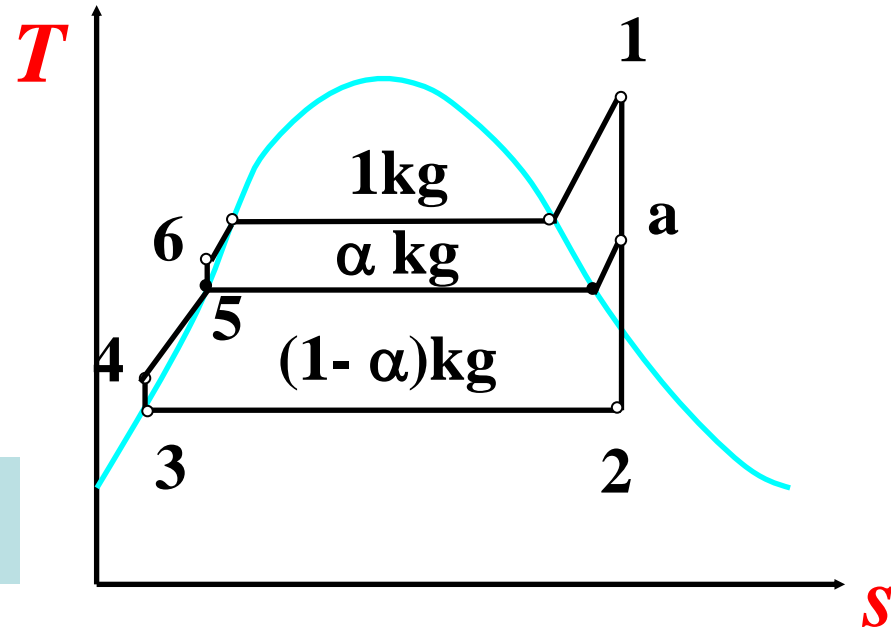
$$q_2 = (1-\alpha)(h_2 - h_3)$$

净功:

$$w = \alpha(h_1 - h_a) + (1-\alpha)(h_1 - h_2)$$

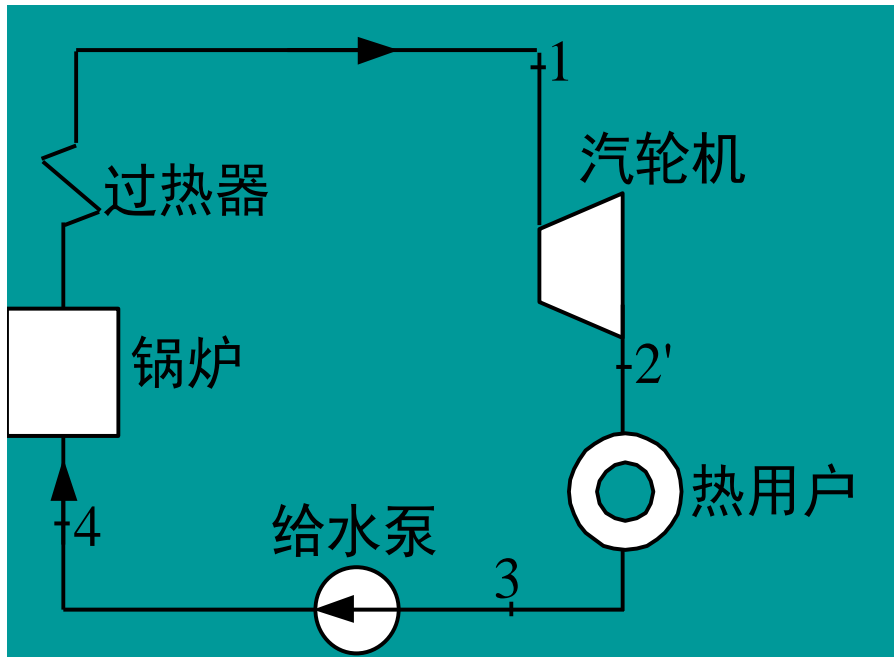
热效率:

$$\eta_t = \frac{w}{q_1} = \frac{\alpha(h_1 - h_a) + (1-\alpha)(h_1 - h_2)}{h_1 - h_5}$$

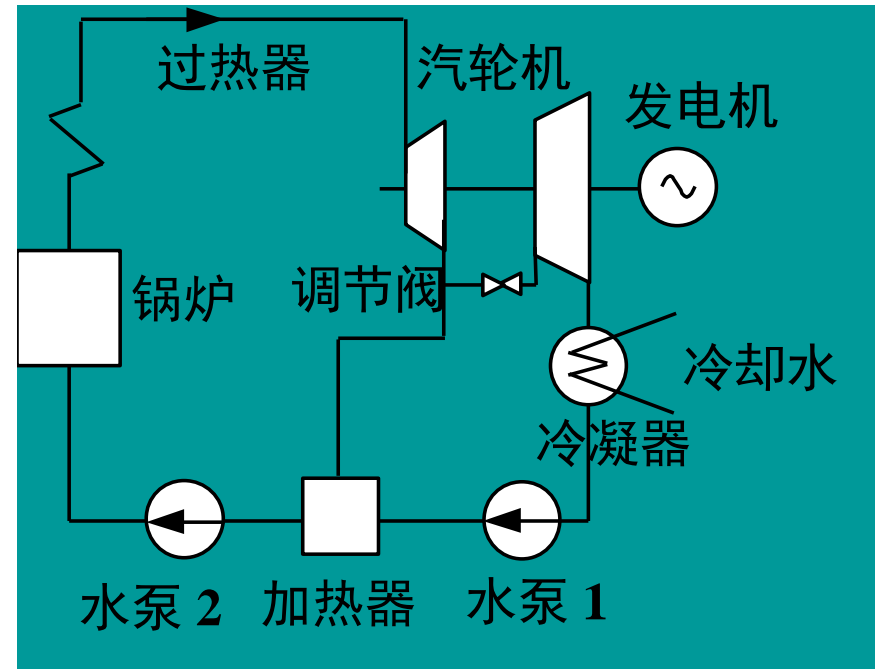


§ 11-7 热电循环

一、热电循环形式



背压式热电循环



抽汽式热电循环

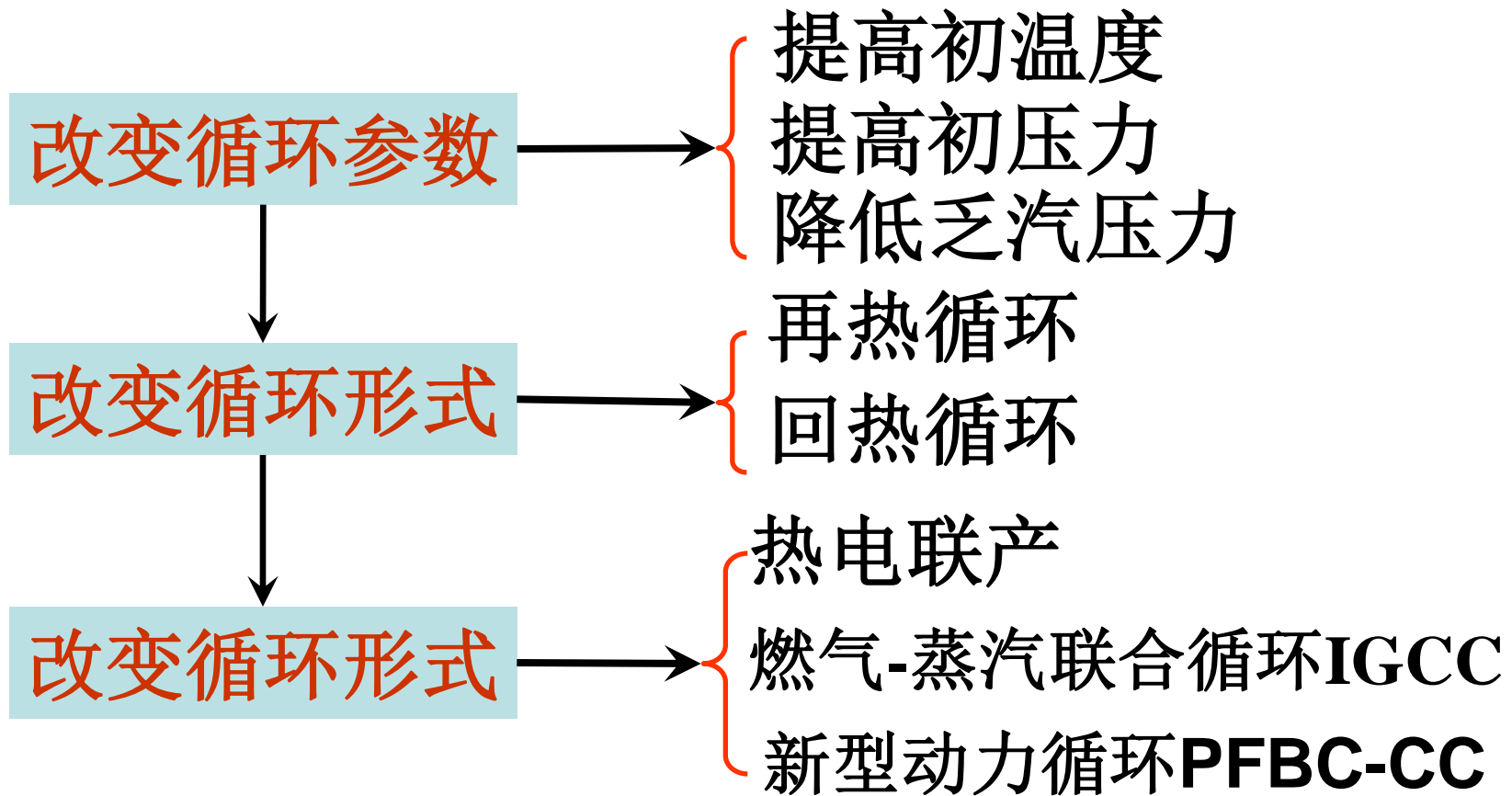
§ 11-7 热电循环

■ 二、能量利用系数

$$K = \frac{\text{已被利用的能量}}{\text{工质从热源得到的能量}} = \frac{q_{\text{供热}} + w_{\text{net}}}{q_1}$$

能量利用系数 K 理论上100%，实际约为70%

小结——提高循环热效率的途径



应用

例 10-2 我国生产的 300 MW 汽轮发电机组,其新蒸汽压力和温度分别为 $p_1 = 17 \text{ MPa}$ 、 $t_1 = 550 \text{ }^\circ\text{C}$,汽轮机排汽压力 $p_2 = 5 \text{ kPa}$ 。若按朗肯循环运行,求:汽轮机所产生的功 w_T 、水泵功 w_P 、循环热效率 η_t 和理论耗汽率 d_0 。

例 10-3 按照上例参数,假设锅炉中的传热过程是从 831.45 K 的热源向水传热,冷凝器中乏汽向 298 K 的环境介质放热,且汽轮机相对内效率为 $\eta_T = 0.90$ 。求:(1) 水泵功 w_P 、汽轮机产生的功 $w_{T,\text{act}}$ 和循环净功 $w_{\text{net,act}}$; (2) 循环内部热效率 η_i 和实际耗汽率 d_i ; (3) 各过程及循环的不可逆损失。