

# 全书内容

- 第一章 概述
- 第二章 燃料及其燃烧特性
- 第三章 燃料燃烧计算和锅炉机组热平衡
- 第四章 煤粉制备及系统
- 第五章 燃烧理论基础
- 第六章 燃烧设备和煤粉燃烧技术
- 第七章 过热器和再热器
- 第八章 省煤器和空气预热器

# 全书内容 (续)

- 第九章 锅炉炉膛换热计算
- 第十章 对流受热面的换热计算
- 第十一章 电站锅炉的受热面布置和优化设计
- 第十二章 自然循环蒸发系统及安全运行
- **第十三章 强制循环锅炉**
- 第十四章 电站锅炉蒸汽品质及其污染防治
- 第十五章 电站锅炉的运行与调节
- 第十六章 锅炉动态特性

[1] 樊泉桂 锅炉原理[M]. 第一版.北京: 中国电力出版社. 2008年9月.

00300530 锅炉原理

## 第十三章 强制循环锅炉

# 第十三章 强制循环锅炉

第一节 直流锅炉的主要特点和水冷壁型式

第二节 直流锅炉的水动力特性

第三节 亚临界压力下蒸发管的脉动性流动

第四节 直流锅炉的热偏差

第五节 超临界压力下水冷壁管内传热

第六节 低倍率和符合循环锅炉

第七节 控制循环锅炉

第八节 直流锅炉的启动系统

# § 13.1 直流锅炉的主要特点和水冷壁型式

## 一、直流锅炉的主要特点

1, 没有汽包

2, 循环倍率  $K=1$

3, 主要用于25MPa以上, 600~1000WM锅炉  
机组

## 二、直流锅炉水冷壁的型式

# § 13.1 直流锅炉的主要特点和水冷壁型式

## 一、直流锅炉的主要特点

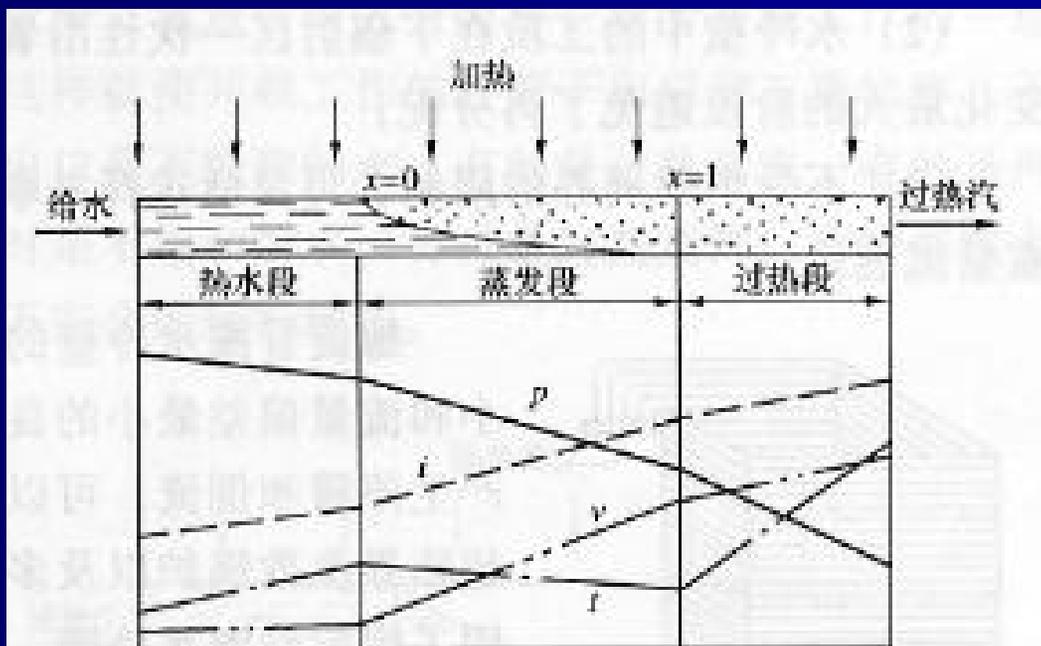


图 13-1 直流锅炉的工作原理

# § 13.1 直流锅炉的主要特点和水冷壁型式

## 二、直流锅炉水冷壁的型式

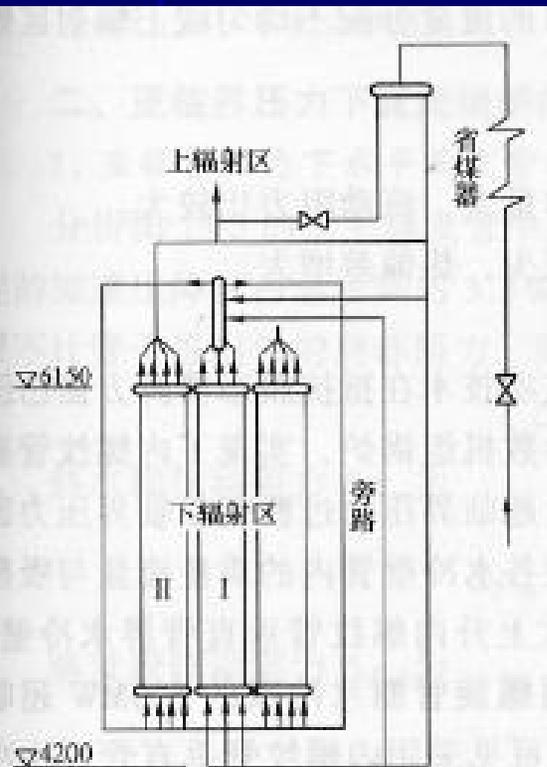


图 13-2 下辐射区水冷壁

- 1, 垂直管屏光管水冷壁
- 2, 螺旋管圈水冷壁
- 3, 内螺纹管水冷壁

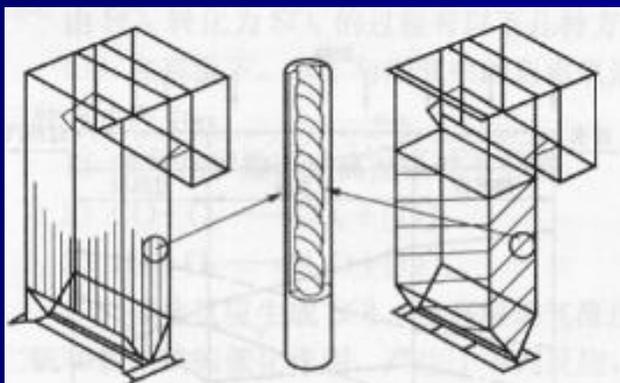


图 13-3 水平管圈水冷壁的结构

# § 13.1 直流锅炉的主要特点和水冷壁型式

## 二、直流锅炉水冷壁的型式

### 1，垂直管屏光管水冷壁

便于悬吊，容易因热偏差造成爆管

### 2，螺旋管圈水冷壁

抗爆管性能优越，管径较大，不便于悬吊

### 3，内螺纹管水冷壁

# § 13.1 直流锅炉的主要特点和水冷壁型式

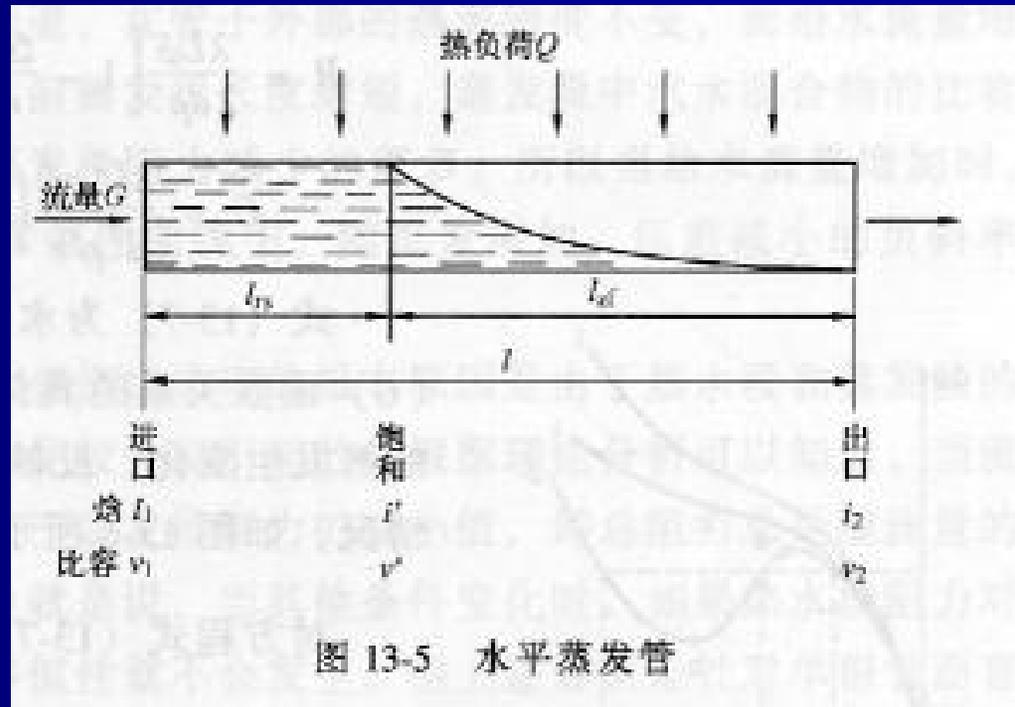
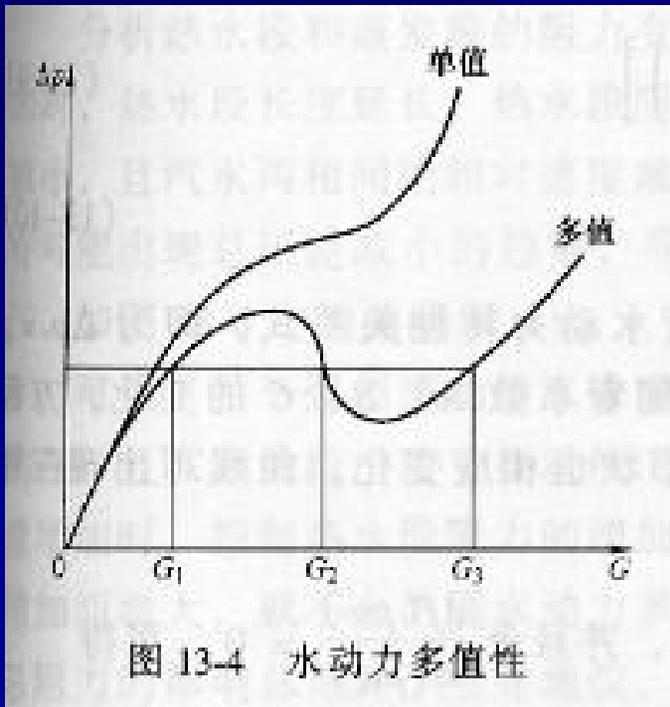
## 二、直流锅炉水冷壁的型式

### 3, 内螺纹管水冷壁

质量流速低，阻力小，抗爆管性能良好。

# § 13.2 直流锅炉的水动力特性

## 一、直流锅炉的水动力不稳定性



临界压力以下的锅炉

## § 13.2 直流锅炉的水动力特性

### 二、亚临界压力下直流锅炉的水动力特性

#### 1, 亚临界压力水平蒸发管的水动力特性

$$\Delta p = \Delta p_{lz} = \Delta p_{rs} + \Delta p_{zf}, \quad \text{Pa} \quad (13-1)$$

$$\Delta p_{rs} = \lambda \frac{L_{rs}}{d} \frac{\rho' w^2}{2} = \lambda \frac{L_{rs}}{d} \frac{(\rho' w)^2}{2\rho'}, \quad \text{Pa} \quad (13-2)$$

$$\Delta p_{zf} = \psi \lambda \frac{L - L_{rs}}{d} \frac{\rho' w^2}{2} \left[ 1 + x_p \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right], \quad \text{Pa} \quad (13-3)$$

## § 13.2 直流锅炉的水动力特性

### 二、亚临界压力下直流锅炉的水动力特性

#### 1, 亚临界压力水平蒸发管的水动力特性

$$x_p = \frac{q\pi d L_{zf}}{2Gr} = \frac{q\pi d (L - L_{rs})}{2Gr} \quad (13-4)$$

$$L_{rs} = \frac{G\Delta i}{q\pi d} = \frac{d\Delta i(\rho w)}{4q} \quad (13-5)$$

$$x_p = \frac{2qL}{(\rho w)rd} - \frac{\Delta i}{2r} \quad (13-6)$$

## § 13.2 直流锅炉的水动力特性

### 二、亚临界压力下直流锅炉的水动力特性

#### 1, 亚临界压力水平蒸发管的水动力特性

$$\Delta p = A(\rho w)^3 + B(\rho w)^2 + C(\rho w) \quad (13-7)$$

$$A = \frac{\lambda \Delta i \psi}{8q\rho'} \left[ \frac{1}{\psi} - 1 + \frac{\Delta i}{2r} \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right] \quad (13-8)$$

$$B = \frac{\lambda L \psi}{2d\rho'} \left[ 1 - \frac{\Delta i}{r} \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right] \quad (13-9)$$

## § 13.2 直流锅炉的水动力特性

### 二、亚临界压力下直流锅炉的水动力特性

#### 1, 亚临界压力水平蒸发管的水动力特性

$$C = \frac{\lambda L^2 q \psi}{2d^2 \rho' r} \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \quad (13-10)$$

$$\frac{d\Delta p}{d(\rho w)} = 3A(\rho w)^2 + 2B(\rho w) + C = 0 \quad (13-11)$$

$B^2 - 3AC > 0$  , 两个实根, 多值性

$B^2 - 3AC \leq 0$  , 一个实根, 单值性

# § 13.2 直流锅炉的水动力特性

## 二、亚临界压力下直流锅炉的水动力特性

### 1, 亚临界压力水平蒸发管的水动力特性

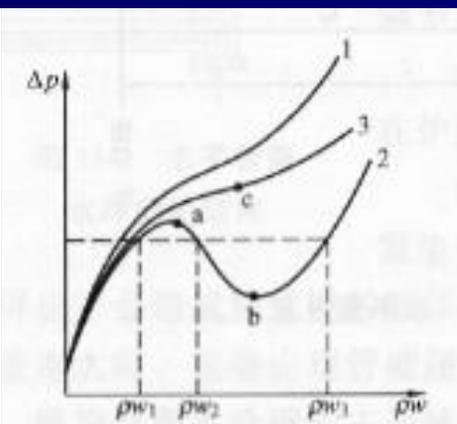


图 13-6 水平蒸发管  
水动力特性

1、3—单值特性曲线；  
2—多值特性曲线

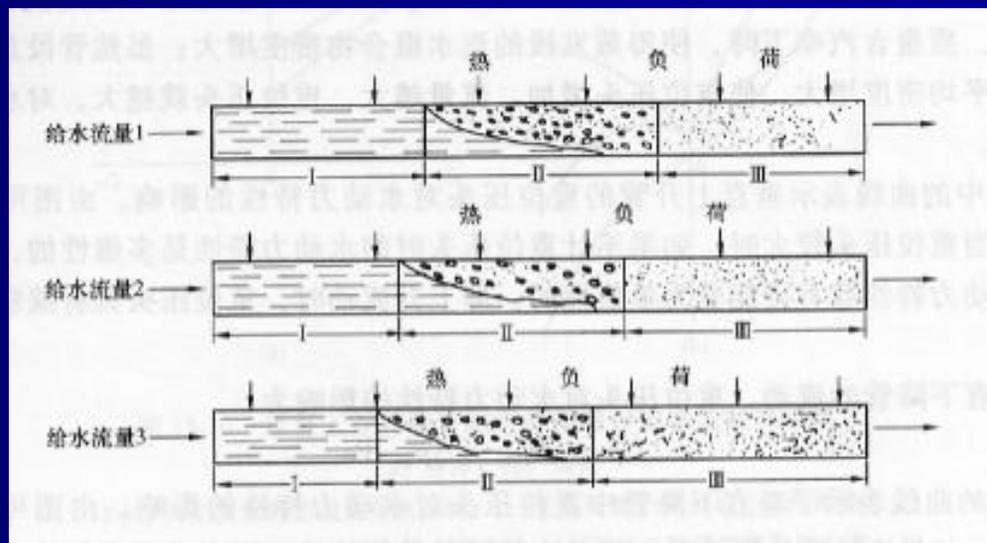


图 13-7 给水流量变化时直流锅炉各区段长度的变化

I—加热区段长度；II—蒸发区段长度；III—过热区段长度

给水流量 1 > 给水流量 2 > 给水流量 3

## § 13.2 直流锅炉的水动力特性

二、亚临界压力下直流锅炉的水动力特性

2, 亚临界压力垂直蒸发管的水动力特性

$$\Delta p = \Delta p_{lz} + \Delta p_{zw}, \quad \text{Pa} \quad (13-13)$$

$$\Delta p_{zw} = H_{rs} \rho_{rs} g + H_{zf} \rho_{zf} g, \quad \text{Pa} \quad (13-14)$$

垂直下降管

$$\Delta p = \Delta p_{lz} - \Delta p_{zw}, \quad \text{Pa} \quad (13-15)$$

# § 13.2 直流锅炉的水动力特性

## 二、亚临界压力下直流锅炉的水动力特性

### 2, 亚临界压力垂直蒸发管的水动力特性

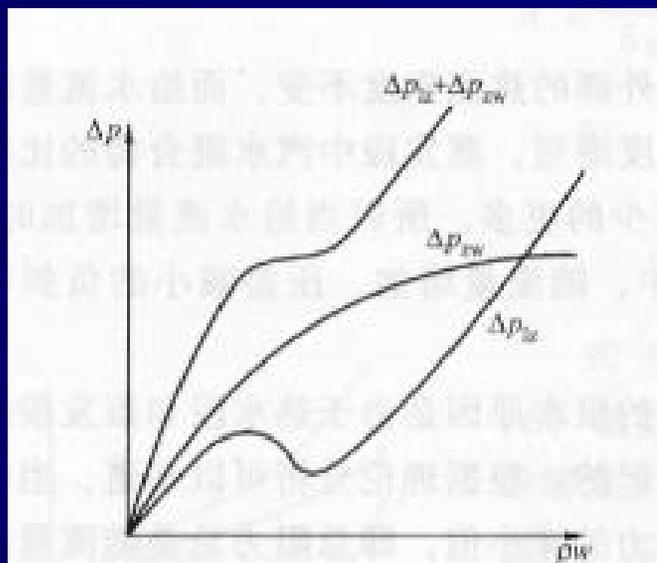


图 13-8 垂直上升管中重位压头对水动力特性的影响

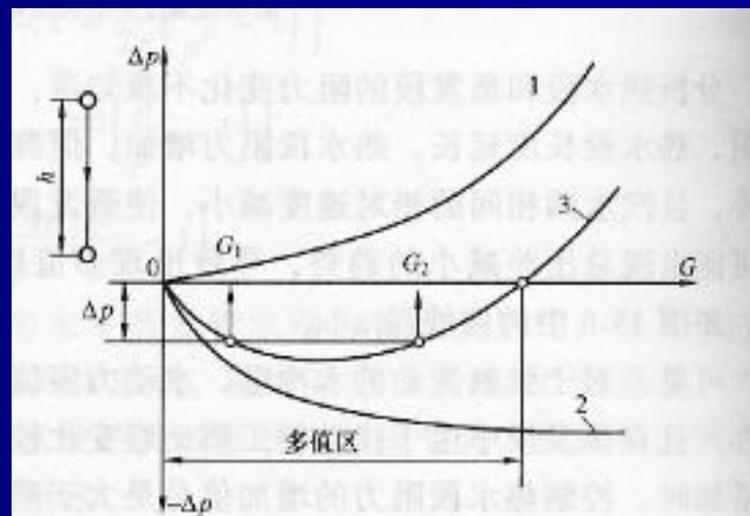


图 13-9 垂直下降管中重位压头对水动力特性的影响  
1—流动特性曲线；2—重位压力降；  
3—总水动力特性曲线

# § 13.2 直流锅炉的水动力特性

## 二、亚临界压力下直流锅炉的水动力特性

### 2, 亚临界压力垂直蒸发管的水动力特性

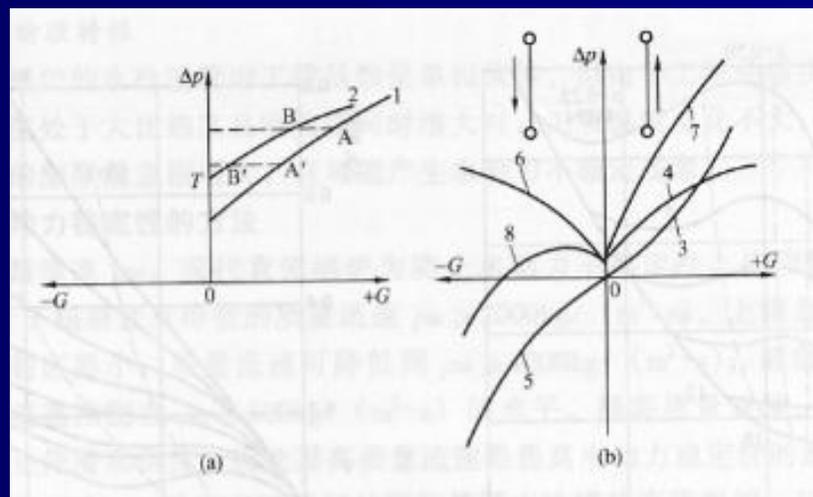


图 13-10 垂直上升并联管组中的停滞和倒流的特性曲线

(a) 停滞; (b) 倒流

- 1—平均工况管的水动力特性曲线; 2—受热弱管子水动力特性曲线;
- 3—平均工况管的流动阻力压力降曲线; 4—平均工况管的重位压力降曲线;
- 5—倒流管的流动阻力压力降曲线; 6—倒流管的重位压力降曲线;
- 7—平均工况管总水动力特性曲线; 8—倒流管的总水动力特性曲线

## § 13.2 直流锅炉的水动力特性

### 三、影响直流锅炉水动力多值性的因素

1, 工质压力; 2, 质量流速;

3, 蒸发管进口水欠焓;

4, 热负荷  $q$ ; 5, 锅炉负荷;

6, 重位压头; 7, 工质的热物理特性

# § 13.2 直流锅炉的水动力特性

## 三、影响直流锅炉水动力多值性的因素

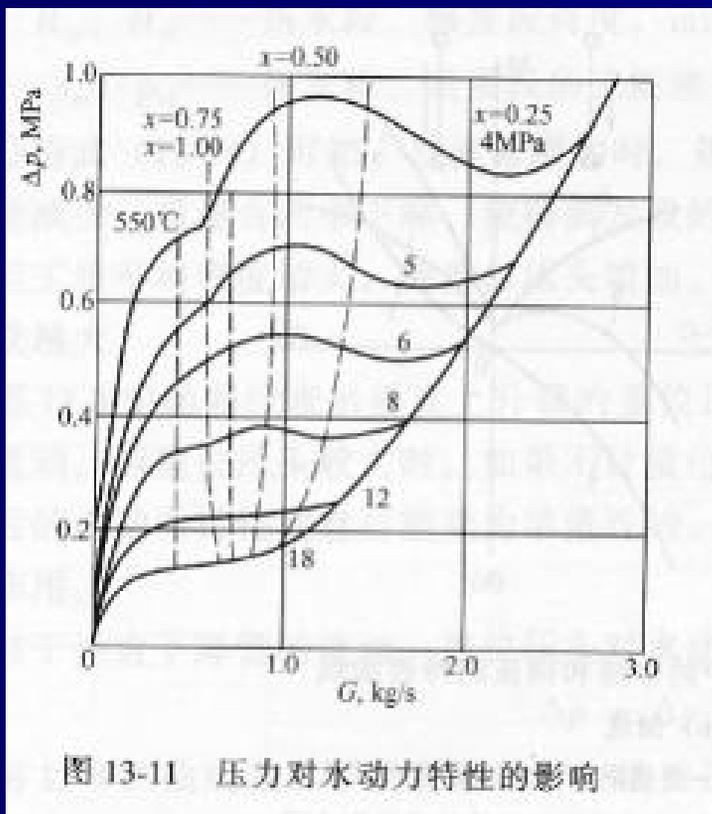


图 13-11 压力对水动力特性的影响

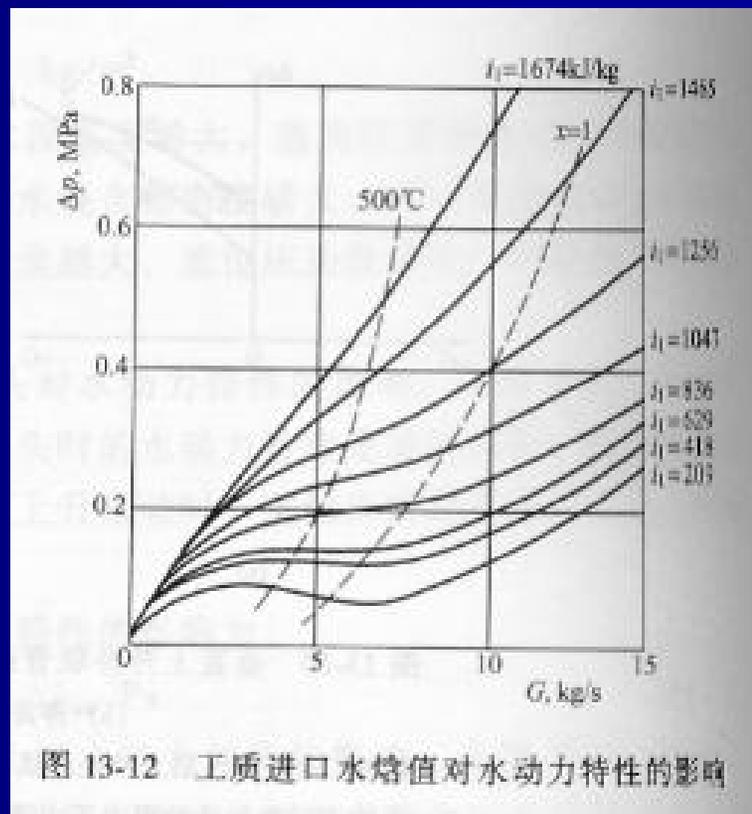


图 13-12 工质进口水焓值对水动力特性的影响

## § 13.2 直流锅炉的水动力特性

### 三、影响直流锅炉水动力多值性的因素

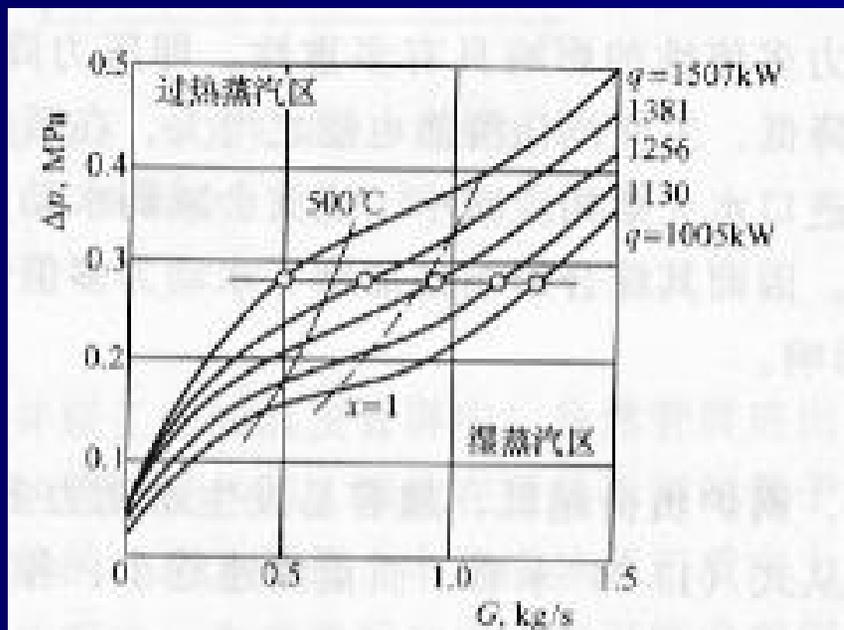


图 13-13 热负荷对蒸发管水动力特性的影响

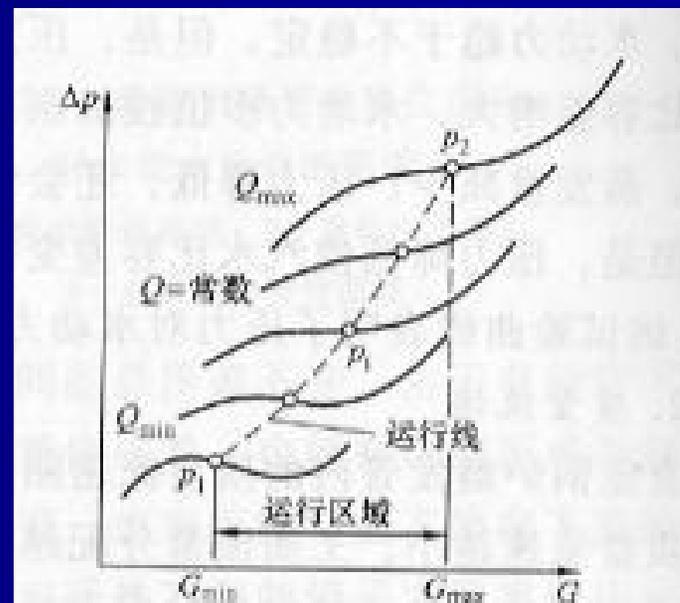


图 13-14 负荷变化对水动力特性的影响

## § 13.2 直流锅炉的水动力特性

### 四、提高水动力稳定性的方法

- 1, 提高质量流速;
- 2, 提高压力;
- 3, 安装节流圈;
- 4, 适当减小工质欠焓;
- 5, 减小受热偏差;
- 6, 控制下辐射区工质出口温度;
- 7, 控制水冷壁热负荷;

## § 13.2 直流锅炉的水动力特性

### 四、提高水动力稳定性的方法

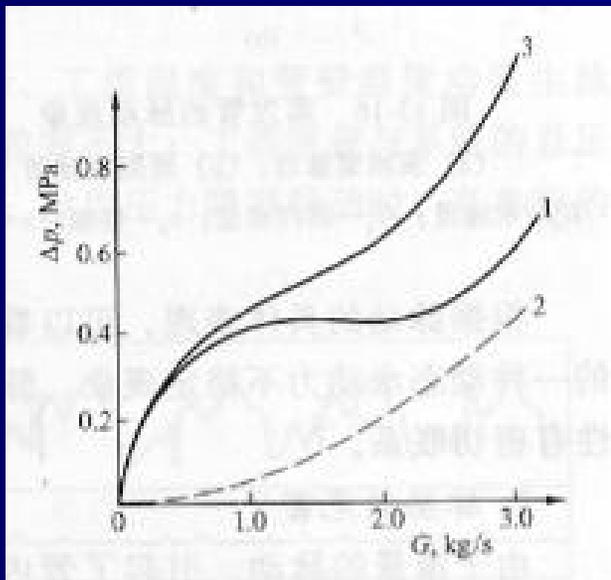


图 13-15 节流圈对水动力  
稳定性的作用

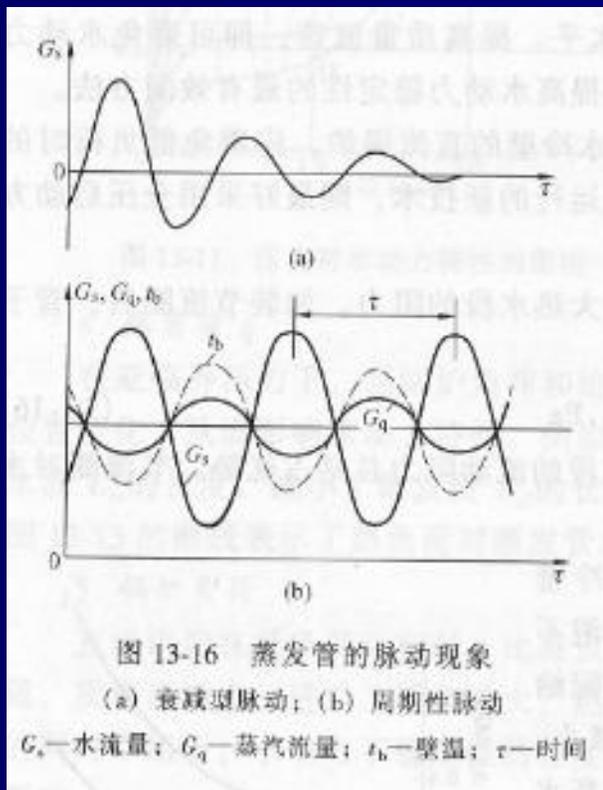
1—未加节流圈时的水动力特性；2—节流  
圈阻力特性；3—加节流圈后的水动力特性

$$\Delta p = \Delta p_{lz} + \Delta p_{j1}, \quad \text{Pa}$$

(13-16)

# § 13.3 亚临界蒸发管的脉动流动

## 一、脉动的现象及危害



### 1, 脉动现象

- (1) 并联管子；
- (2) 某一根管子；
- (3) 管组；

## § 13.3 亚临界蒸发管的脉动流动

### 一、脉动的现象及危害

#### 2, 脉动的危害

- (1) 热水段、蒸发段、过热段界面频繁波动；
- (2) 过热段长度变化引起中间点温度波动；
- (3) 蒸发段界面波动引起局部压力波动，进而引起机械应力；

# § 13.3 亚临界蒸发管的脉动流动

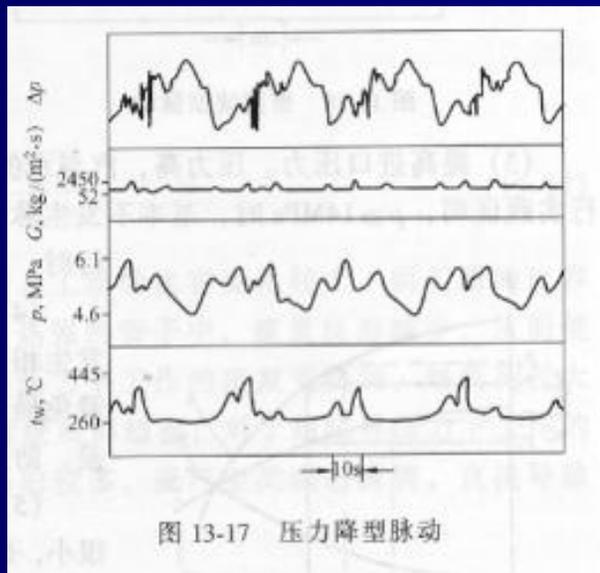
## 二、造成脉动流动的原因

1, 一般解释

2, 压力降型脉动, 密度波型脉动, 热力波型脉动

## 三、防止脉动的措施

1, 提高质量流速;



# § 13.3 亚临界蒸发管的脉动流动

## 二、造成脉动流动的原因

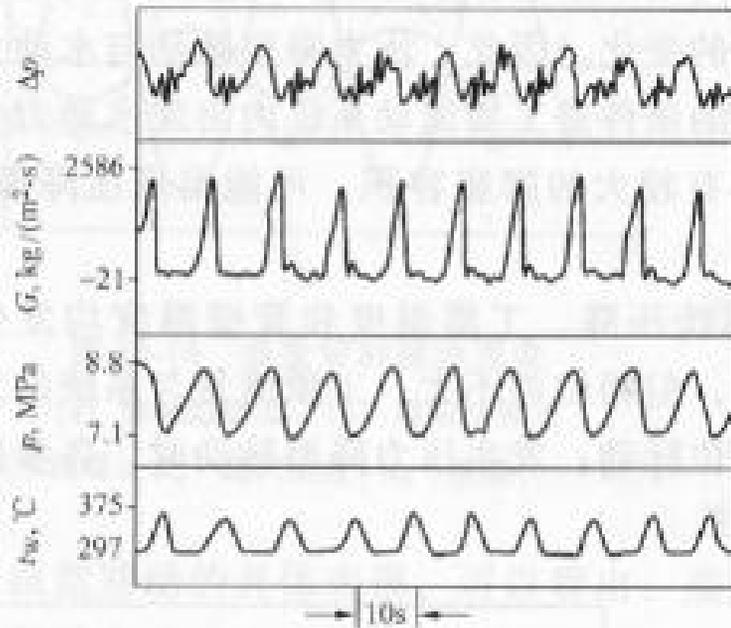


图 13-18 密度波型脉动

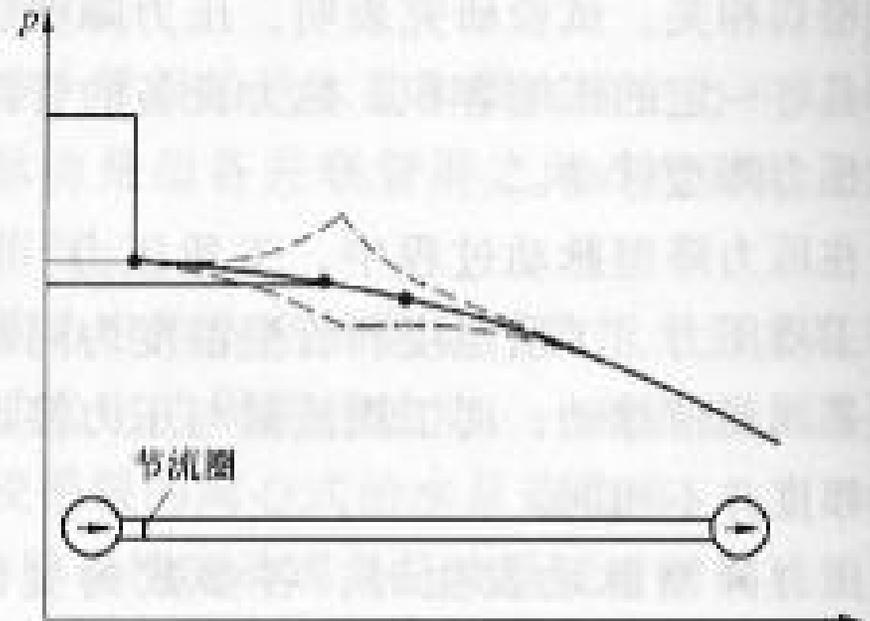


图 13-19 节流圈对消除脉动的作用

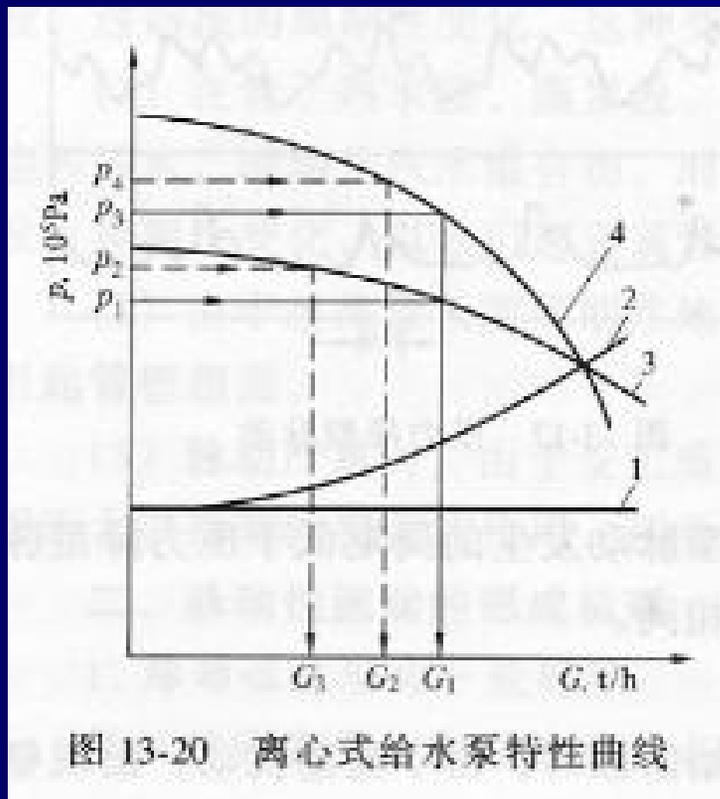
## § 13.3 亚临界蒸发管的脉动流动

### 三、防止脉动的措施

- 1, 提高质量流速;
- 2, 安装节流圈;
- 3, 提高(水冷壁)进口压力;
- 4, 降低蒸发点的热负荷和热偏差;
- 5, 避免脉动性燃烧;

# § 13.3 亚临界蒸发管的脉动流动

## 三、防止脉动的措施



6, 给水泵的特性;

## § 13.4 直流锅炉的热偏差

一、热偏差对直流锅炉工作安全性的影响

二、直流锅炉的流量偏差

1, 受热偏差对流量偏差的影响

$$\eta_G = \frac{G_p}{G_0} = \sqrt{\frac{R_0 v_0}{R_p v_p}} \quad (13-17)$$

## § 13.4 直流锅炉的热偏差

### 二、直流锅炉的流量偏差

#### 2, 重位压头对流量偏差的影响

上升流动:

$$R_0 G_0^2 v_0 + \frac{gH}{v_0} = R_p G_p^2 v_p + \frac{gH}{v_p} \quad (13-18)$$

$$\eta_G = \frac{G_p}{G_0} = \sqrt{\frac{R_0}{R_p} \frac{v_0}{v_p} \left[ 1 + \frac{gH(\rho_0 - \rho_p)}{R_0 G_0^2 v_0} \right]} \quad (13-19)$$

## § 13.4 直流锅炉的热偏差

### 二、直流锅炉的流量偏差

#### 2, 重位压头对流量偏差的影响

下降流动:

$$R_0 G_0^2 v_0 - \frac{gH}{v_0} = R_p G_p^2 v_p - \frac{gH}{v_p} \quad (13-20)$$

$$\eta_G = \frac{G_p}{G_0} = \sqrt{\frac{R_0 v_0}{R_p v_p} \left[ 1 - \frac{gH(\rho_0 - \rho_p)}{R_0 G_0^2 v_0} \right]} \quad (13-21)$$

## § 13.4 直流锅炉的热偏差

### 二、直流锅炉的流量偏差

#### 3, 加装节流圈对流量偏差的影响

$$\begin{aligned} & R_0 G_0^2 v_0 + R_{0,jl} G_{0,jl}^2 v_{0,jl} \\ &= R_p G_p^2 v_p + R_{p,jl} G_{p,jl}^2 v_{p,jl} \end{aligned} \quad (13-22)$$

$$\eta_G = \frac{G_p}{G_0} = \sqrt{\frac{R_0 v_0 + R_{0,jl} v_{0,jl}}{R_p v_p + R_{p,jl} v_{p,jl}}} \quad (13-23)$$

# § 13.4 直流锅炉的热偏差

## 三、热偏差与流量偏差实例分析

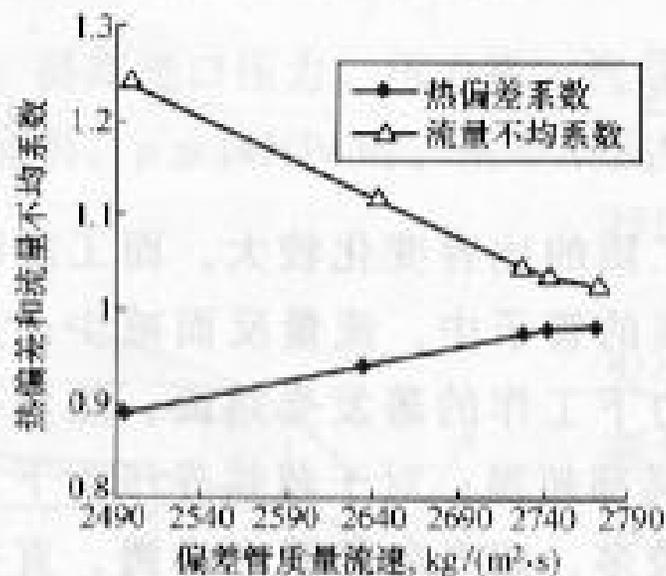


图 13-21 螺旋管水冷壁的热偏差及流量偏差

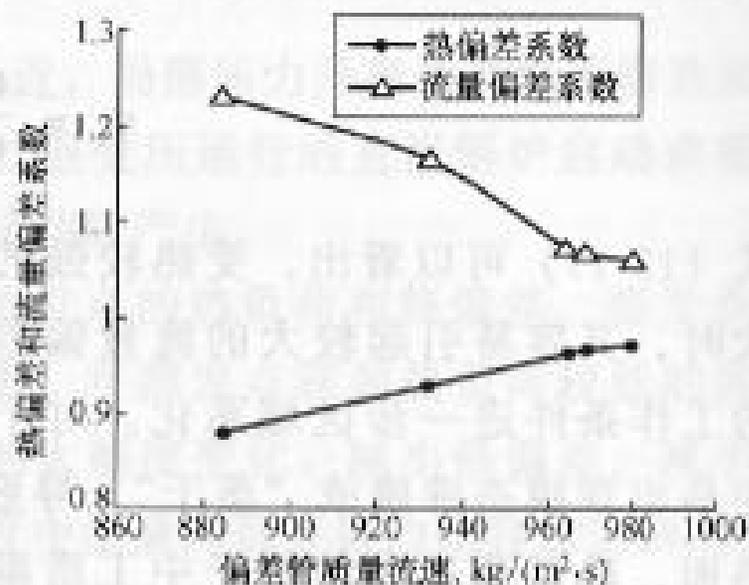


图 13-22 垂直管水冷壁的热偏差及流量偏差

# § 13.4 直流锅炉的热偏差

## 三、热偏差与流量偏差实例分析

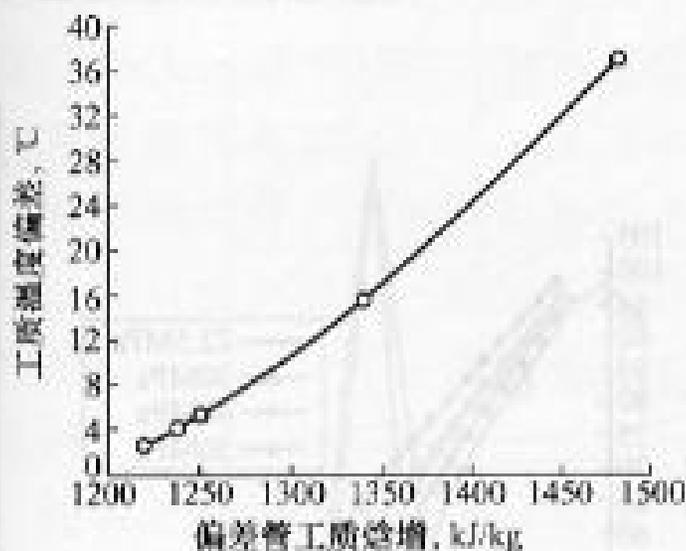


图 13-23 螺旋管水冷壁管中的工质焓增与温度偏差

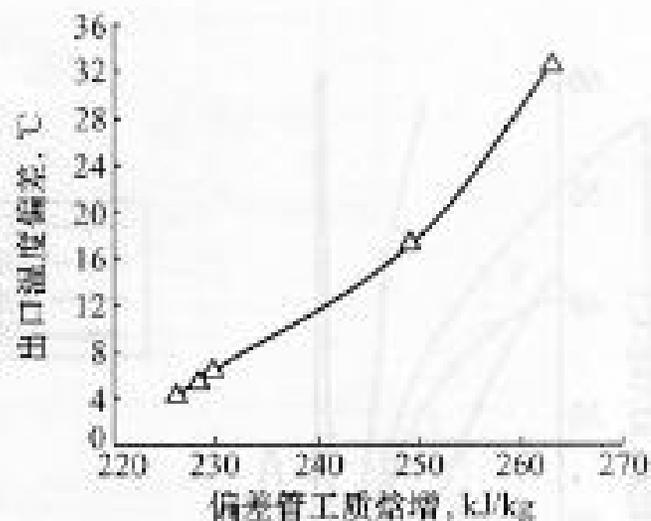


图 13-24 垂直管水冷壁管中的工质焓增与温度偏差

# § 13.5 超临界水冷壁内传热

## 一、超临界水和水蒸汽的热物理性质

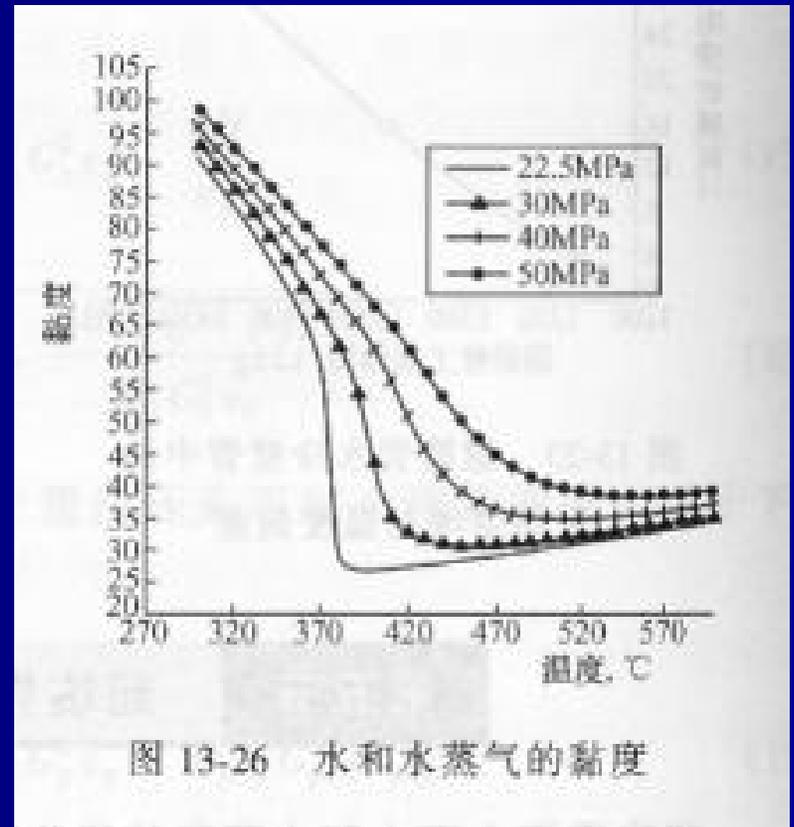
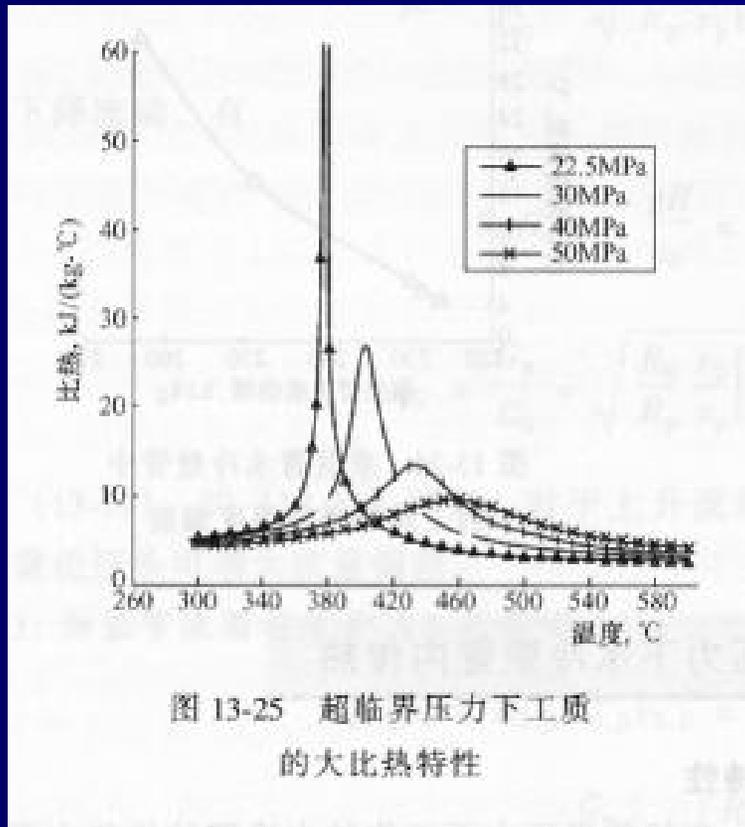
(1) 管内温度不断提高；

(2) 超临界区域，水冷壁管内传热与工质热物理性质密切相关。

## 二、超临界水冷壁管内传热

# § 13.5 超临界水冷壁内传热

## 二、超临界水冷壁管内传热



# § 13.5 超临界水冷壁内传热

## 二、超临界水冷壁管内传热

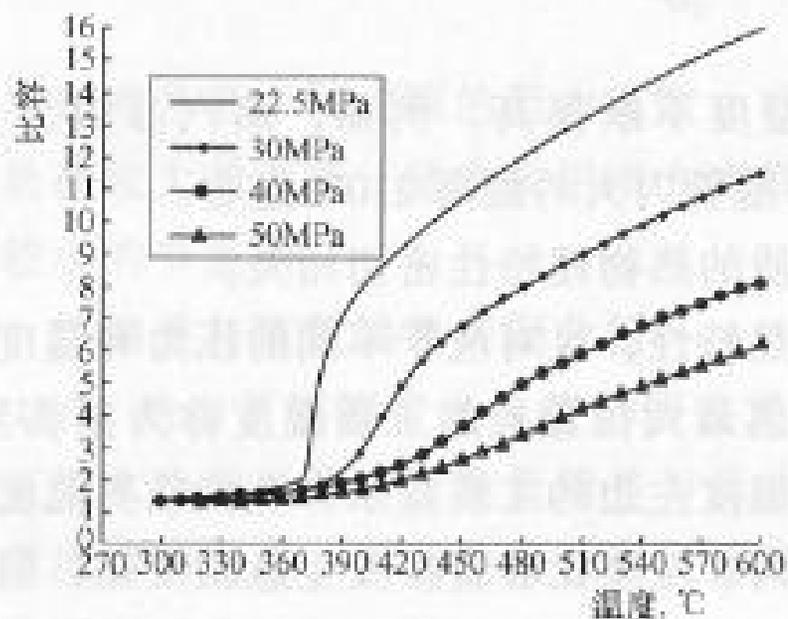


图 13-27 水和水蒸气的比容

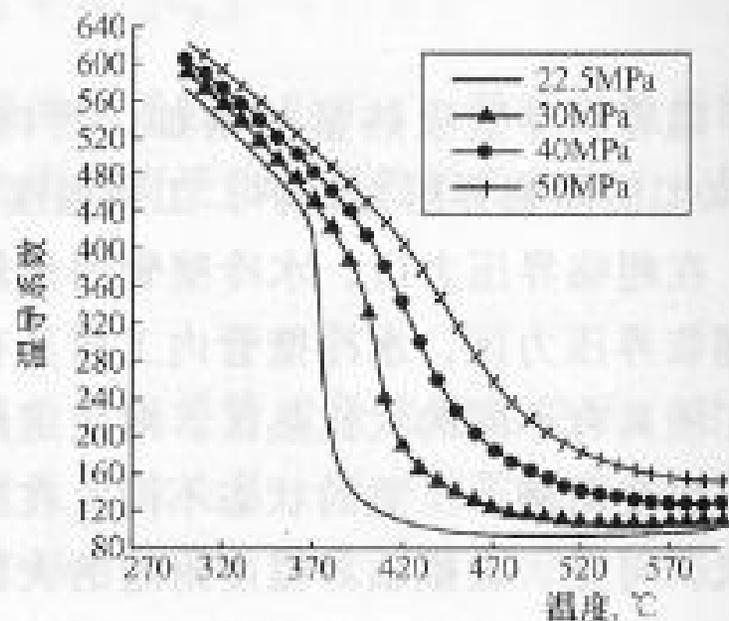


图 13-28 水和水蒸气的导热系数

# § 13.5 超临界水冷壁内传热

## 二、超临界水冷壁管内传热

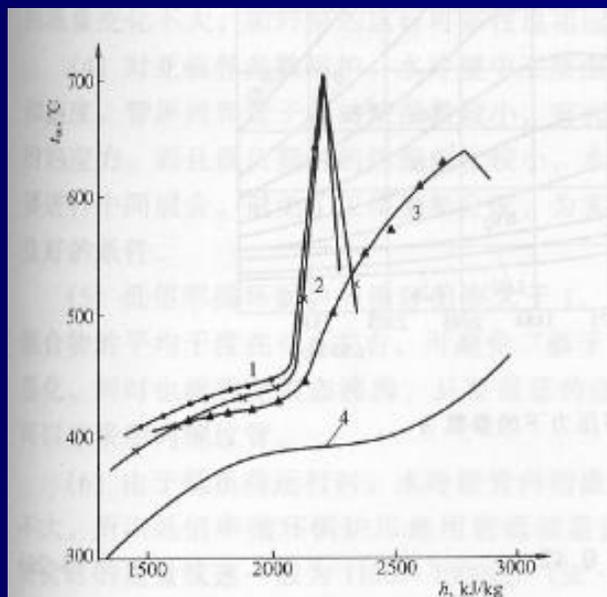


图 13-29  $p = 25\text{MPa}$  时管壁温度与工质焓的关系

$$p = 25\text{MPa} \quad \alpha = 14^\circ$$

1— $q = 410\text{kW/m}^2$ ,  $\rho w = 1000\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

2— $q = 350\text{kW/m}^2$ ,  $\rho w = 1000\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

3— $q = 250\text{kW/m}^2$ ,  $\rho w = 600\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

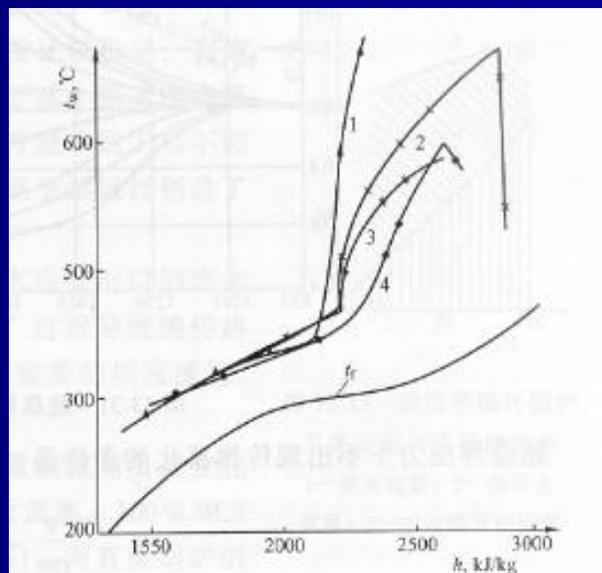


图 13-30  $p = 28\text{MPa}$  时管壁温度与工质焓的关系

$$p = 28\text{MPa} \quad \alpha = 14^\circ$$

1— $q = 410\text{kW/m}^2$ ,  $\rho w = 1200\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

2— $q = 300\text{kW/m}^2$ ,  $\rho w = 1000\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

3— $q = 250\text{kW/m}^2$ ,  $\rho w = 600\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

4— $q = 200\text{kW/m}^2$ ,  $\rho w = 600\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

## § 13.5 超临界水冷壁内传热

### 三、超临界水冷壁管内传热恶化判别方法

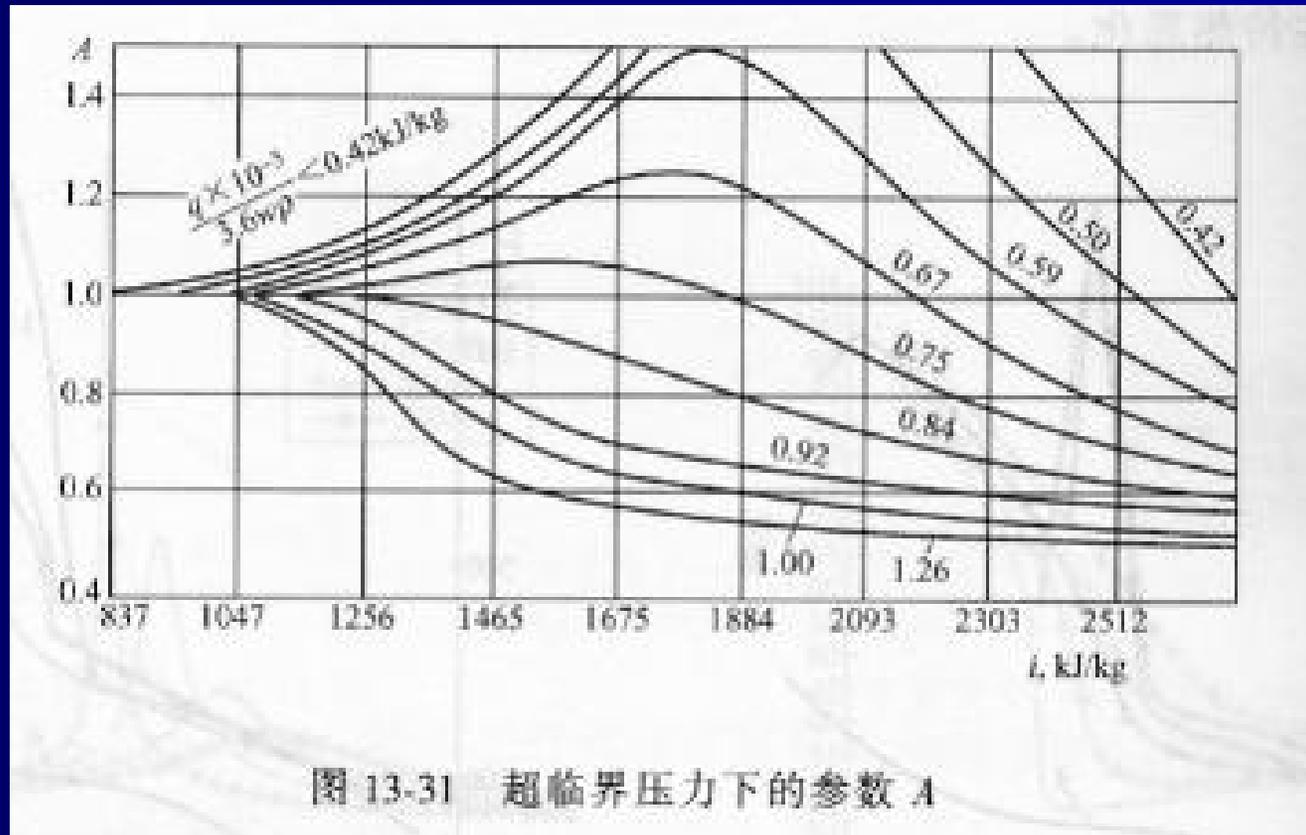
$$A = \frac{\alpha_2}{\alpha_0} \quad (13-24)$$

$$\alpha_0 = 0.021 \frac{\lambda}{d} \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{oC}) \quad (13-25)$$

$$q/(\rho w) \geq 0.84 \text{ kJ/kg} \quad \text{传热恶化}$$

## § 13.5 超临界水冷壁内传热

### 三、超临界水冷壁管内传热恶化判别方法



## § 13.5 超临界水冷壁内传热

### 三、超临界水冷壁管内传热恶化判别方法

超临界压力不出现传热恶化的条件

$$q / (\rho w) < 0.42 \text{ kJ/kg} \quad (13-26)$$

$$\alpha_0 = 0.023 \frac{\lambda}{d} \text{Re}^{0.8} \text{Pr}_{\min}^{0.4} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{oC}) \quad (13-27)$$

# § 13.6 低倍率和复合循环锅炉

## 一、低倍率循环锅炉的工作原理

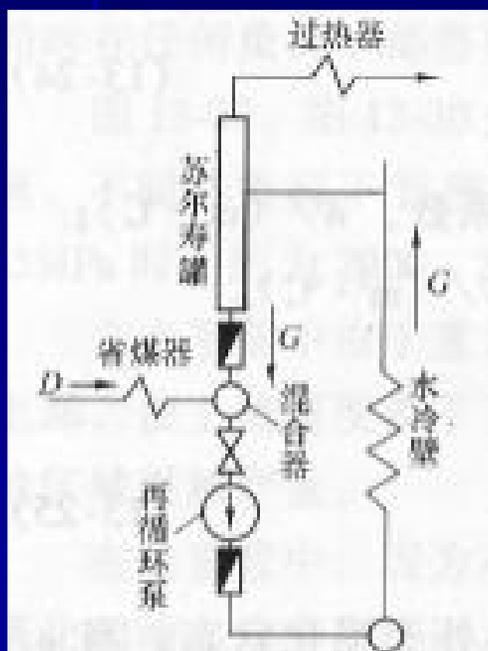


图 13-32 低倍率循环锅炉系统构成的示意图

## 二、低倍率循环锅炉的技术特点

- (1) 直流锅炉+再循环泵
- (2) 汽水分离器代替汽包。负荷降低，再循环流量增加；
- (3) 负荷变化时，水冷壁内工质流量变化不不大，启动过程

## § 13.6 低倍率和复合循环锅炉

### 二、低倍率循环锅炉的技术特点

- (3) .....和低负荷工况工作的可靠性提高。  
负荷变化时，循环泵流量变化不大。
- (4) 亚临界锅炉水冷壁温度稳定，有利于降低水冷壁的热应力。
- (5)  $K > 1$ ，出口  $x_c = 0.6$ ，避免“干蒸”。

## § 13.6 低倍率和复合循环锅炉

### 二、低倍率循环锅炉的技术特点

(6) 质量流速小，流动阻力小。

(7) 启动系统容量小，可减小启动过程的热损失。

(8) 锅炉出力很低时即可启动汽轮机，可以不设置保护再热器的低压旁路系统。

## § 13.6 低倍率和复合循环锅炉

### 二、低倍率循环锅炉的技术特点

(9) 再循环泵工作温度高，需要防止再循环泵入口水汽化。

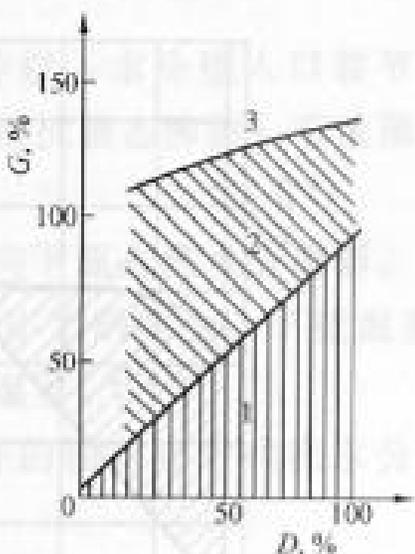


图 13-33 低倍率循环锅炉  
工质流量与负荷的关系  
1—给水流量；2—循环水  
流量；3—水冷壁管中流量

# § 13.6 低倍率和复合循环锅炉

## 二、低倍率循环锅炉的技术特点

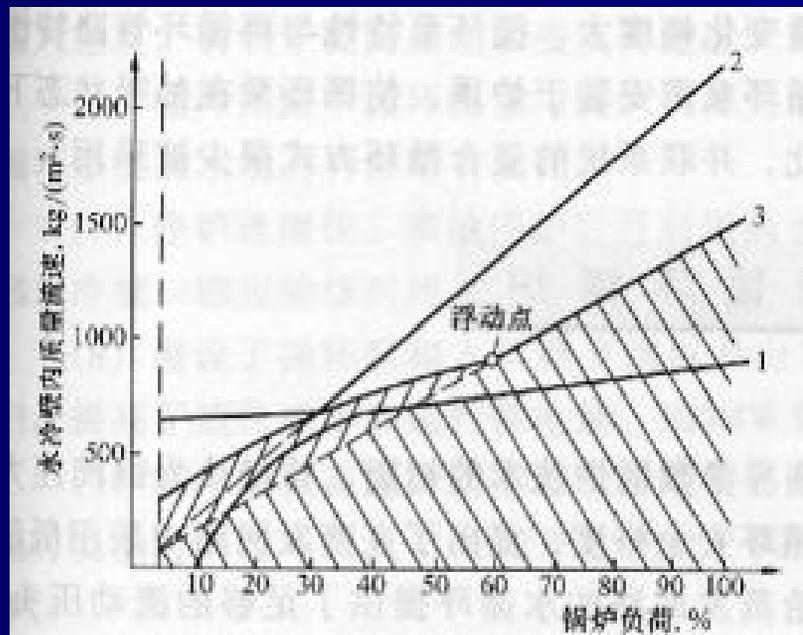


图 13-34 水冷壁管内的质量流速

1—传热所要求的临界质量流速；2—一般直流锅炉；3—复合循环锅炉

# § 13.6 低倍率和复合循环锅炉

## 三、复合循环锅炉的工作原理

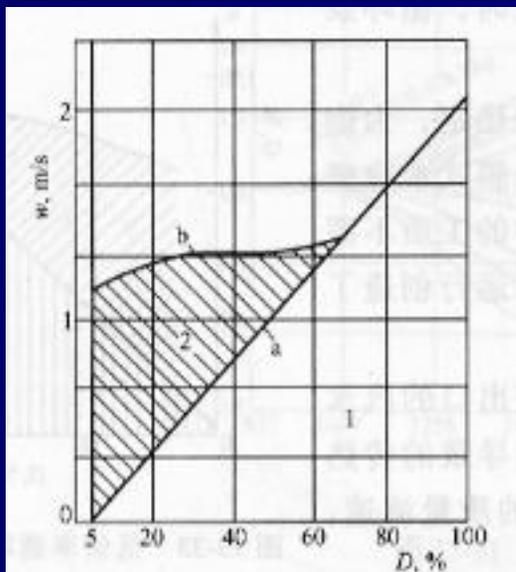


图 13-35 复合循环锅炉水冷壁  
流速与负荷的关系  
1—直流流量；2—再循环流量

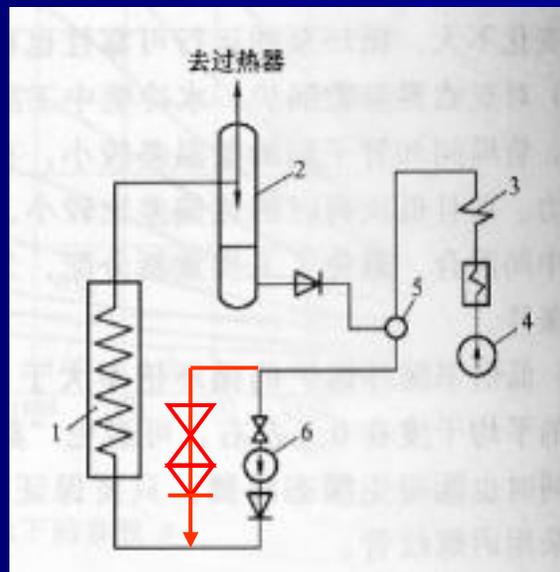


图 13-36 复合循环锅炉系统构  
成的示意图

1—水冷壁；2—汽水分离器；3—省煤器；  
4—给水泵；5—混合球；6—循环泵

# § 13.7 控制循环锅炉

## 一、控制循环锅炉的水动力特性

(1) 控制循环锅炉出现的原因

(2) 控制循环锅炉主要表现为强制流动特性

## 二、控制循环锅炉的技术特点

(1) 低压头循环泵+内螺纹水冷壁+水冷壁入口节流圈；

# § 13.7 控制循环锅炉

## 二、控制循环锅炉的技术特点

- (2) 汽包设有夹层，汽水混合物可以从汽包顶部引入，降低了汽包上下侧温差；
- (3) 循环压头足够大，可布置直径较小的汽水分离器，汽包直径小。
- (4) 循环倍率  $K=2\sim 2.5$

# § 13.7 控制循环锅炉

## 二、控制循环锅炉的技术特点

- (5) 与自然循环锅炉相比，水冷壁管径小，汽包直径小，热惯性小；
- (6) 循环流量与锅炉负荷关系不大，主要取决于投运的循环泵数量。
- (7) 停炉速度比较快。

# § 13.7 控制循环锅炉

## 二、控制循环锅炉的技术特点

- (8) 循环泵及其入口调节阀、出口逆止阀增加了锅炉的成本；
- (9) 压力变动时，循环泵入口可能发生汽化。出现故障的可能性增加。

# § 13.8 直流锅炉的启动系统

## 一、直流锅炉启动过程中的主要问题

- (1) 从启动开始，就必须向锅炉连续供水；
- (2) 单元机组启动时，锅炉送出的过热蒸汽参数按照汽轮机的要求逐步提高。
- (3) 直流锅炉启动过程的汽水膨胀可能导致蒸汽带水和水动力不稳定。

# § 13.8 直流锅炉的启动系统

## 一、直流锅炉启动过程中的主要问题

(4) 中间再热机组启动时需要设置保护再热器的汽轮机旁路系统；

## 二、启动系统的作用

(1) 建立起动压力和流量；

(2) 实现工质、热量的回收；

# § 13.8 直流锅炉的启动系统

## 二、启动系统的作用

(3) 实现锅炉各受热面以及锅炉与汽轮机之间的工质状态的配合。

## 三、带扩容器的启动系统

### 1, 启动系统的构成

内置分离器、分离器疏水阀、水位控制阀、

# § 13.8 直流锅炉的启动系统

## 三、600MW超临界参数机组启动系统

### 1, 启动系统的构成

.....水位旁路阀、疏水扩容器、100%MCR高压旁路系统、65%MCR低压旁路系统

### 2, 旁路系统的功能:

协调锅炉和汽轮机的工作参数

# § 13.8 直流锅炉的启动系统

## 三、600MW超临界参数机组启动系统

3, 600MW超临界参数机组启动系统的工作过程

(1) 0~37%MCR: 汽水分离器: 湿态运行;

(2) 37%~100%MCR: 汽水分离器: 干态运行;

# § 13.8 直流锅炉的启动系统

## 三、带扩容器的启动系统

### 3, 启动系统的工作过程

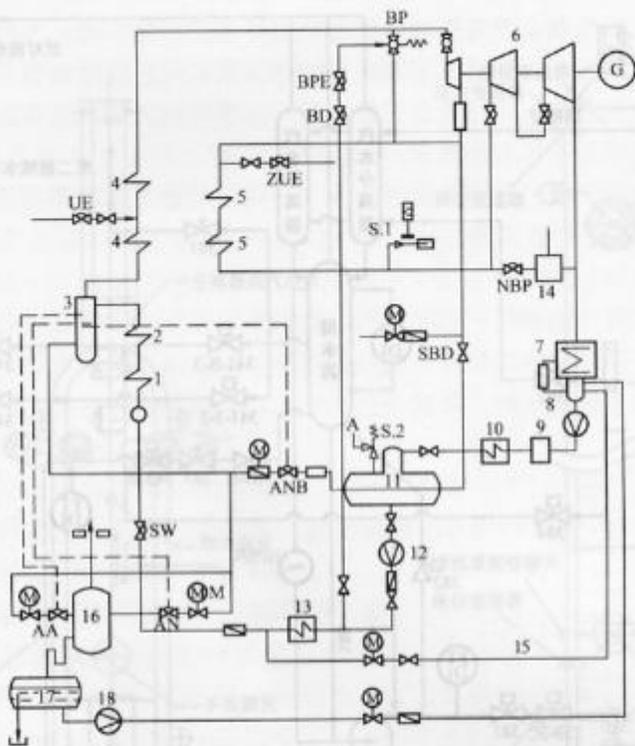


图 13-37 600MW 超临界参数锅炉启动系统

- 1—省煤器；2—蒸发系统；3—汽水分离器；4—过热器；5—再热器；6—汽轮机；7—凝汽器；  
 8—凝结水泵；9—凝结水除盐装置；10—低压加热器；11—给水箱及除氧器；12—给水泵；  
 13—高压加热器；14—低压减温器；15—再循环管道；16—大气扩容器；17—回收箱；  
 18—回收水泵；BP—100%MCR 的高压旁路；BPE—高压旁路喷水阀；BD—减温水减压阀；  
 NBP—低压旁路阀；UE—过热器喷水减温阀；ZUE—再热器喷水减温阀；  
 SBD—给水箱压力控制阀；SW—给水控制阀；AA—汽水分离器疏水阀；AN—汽水分离器液位控制阀；  
 ANB—汽水分离器液位控制旁路阀；S.1—再热器安全阀；  
 S.2—除氧器安全阀，流量按满负荷工况并 ANB 阀门全开时设计

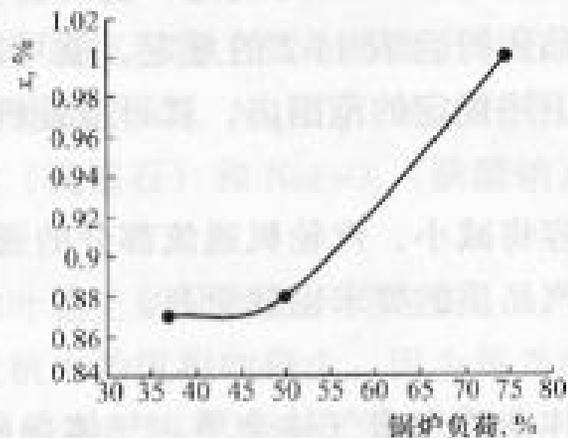


图 13-38 水冷壁出口的蒸汽干度

# § 13.8 直流锅炉的启动系统

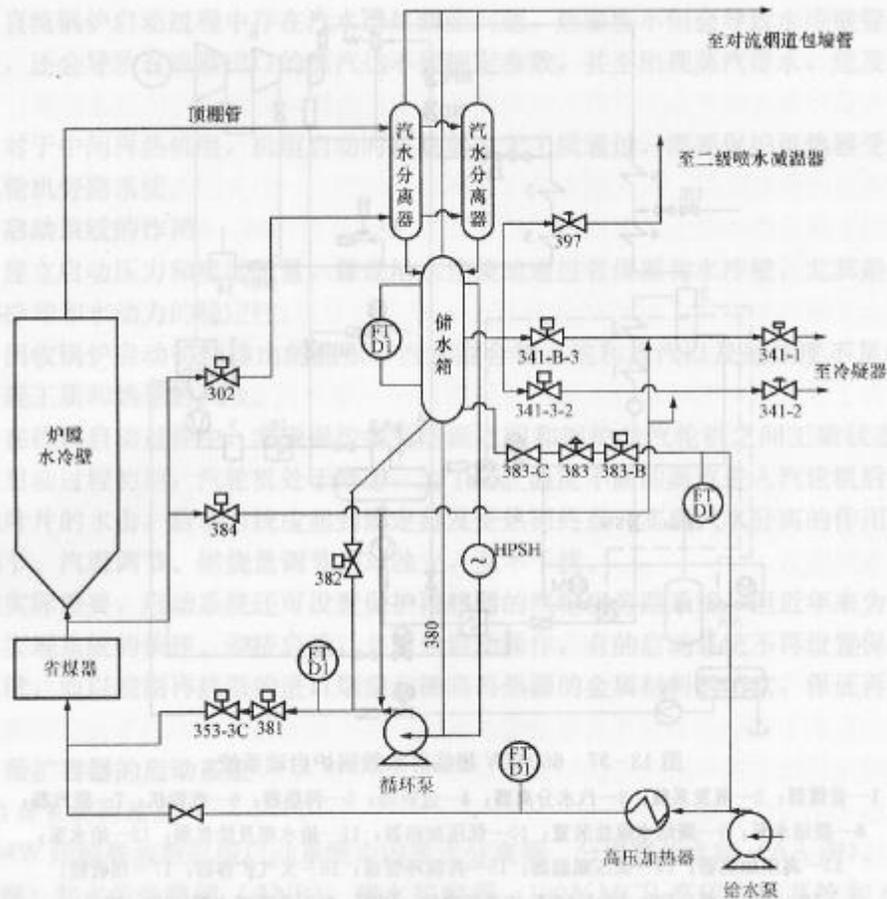


图 13-39 给水泵与循环泵并联的启动系统

## 四、给水泵与循环泵并联的启动系统

### 1, 启动系统的组成

# § 13.8 直流锅炉的启动系统

## 四、给水泵与循环泵并联的启动系统

### 1, 启动系统的组成

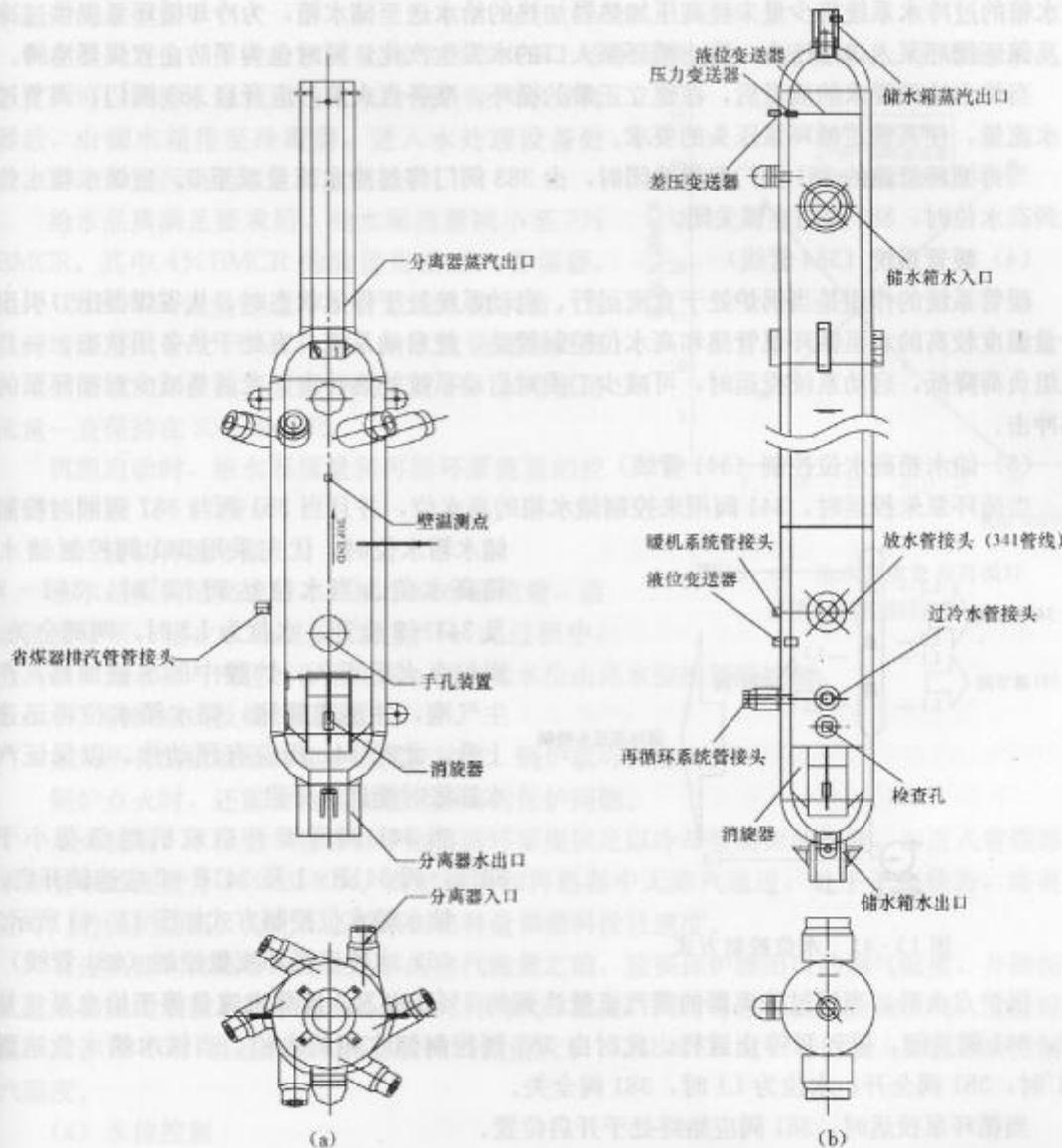


图 13-40 汽水分离器和储水箱  
(a) 汽水分离器; (b) 储水箱

# § 13.8 直流锅炉的启动系统

## 四、给水泵与循环泵并联的启动系统

### 2, 各管线的功能

- (1) 省煤器排气 (302管线)
- (2) 储水箱水位控制 (387管线)
- (3) 循环泵过冷水调节 (383管线)
- (4) 暖管系统 (384管线)

# § 13.8 直流锅炉的启动系统

## 四、给水泵与循环泵并联的启动系统

### 2, 各管线的功能

(5) 储水箱高水位控制 (341管线)

(6) 水冷壁循环流量控制 (381管线)

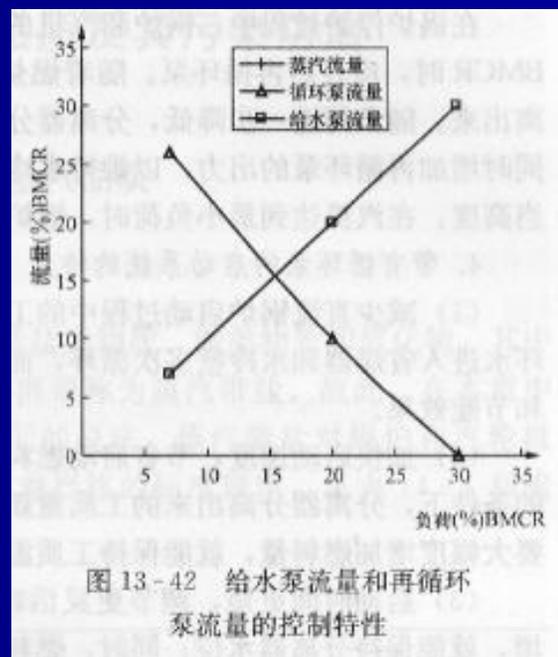
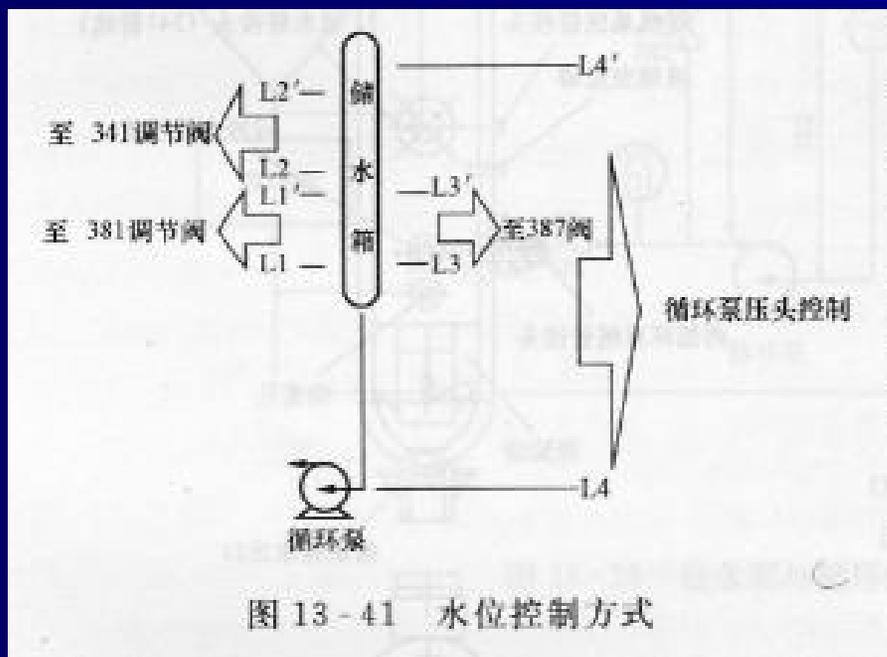
(7) 循环泵再循环管线 (382管线)

### 3, 机组启动过程中启动系统的运行方式

# § 13.8 直流锅炉的启动系统

## 四、给水泵与循环泵并联的启动系统

### 3, 机组启动过程中启动系统的运行方式



# § 13.8 直流锅炉的启动系统

## 四、给水泵与循环泵并联的启动系统

### 3, 机组启动过程中启动系统的运行方式

- (1) 锅炉上水
- (2) 启动再循环泵
- (3) 锅炉点火及受热面保护
- (4) 水位控制

## § 13.8 直流锅炉的启动系统

### 四、给水泵与循环泵并联的启动系统

#### 3, 机组启动过程中启动系统的运行方式

(5) 关闭再循环泵, 进入直流模式运行

#### 4, 带有再循环泵的启动系统的特点

(1) 减少启动过程中的工质和热量损失

(2) 加快启动速度, 节省燃料

## § 13.8 直流锅炉的启动系统

### 四、给水泵与循环泵并联的启动系统

#### 4, 带有再循环泵的启动系统的特点

(3) 启动时间短, 调节灵活, 运行稳定

(4) 满足带基本负荷和快速调峰的要求

(5) 减少启动过程中工质对循环泵和水冷壁的热冲击

## § 13.8 直流锅炉的启动系统

### 四、给水泵与循环泵并联的启动系统

#### 4, 带有再循环泵的启动系统的特点

(6) 控制灵活快速;

(7) 给水泵与循环泵可以串联或者并联运行

(8) 有利于大气环境、水资源和土地环境的保护

## § 13.8 直流锅炉的启动系统

### 四、给水泵与循环泵并联的启动系统

#### 4, 带有再循环泵的启动系统的特点

- (9) 循环泵体中的水为饱和状态, 压力降低时有气化的危险;
- (10) 造价高, 维修复杂
- (11) 启动操作较扩容器式启动系统复杂

# 第十三章 授课内容结束

- 请同学们提问。

延伸阅读 01

## 第十三章 基本要求

- 1, 强制循环锅炉的水动力特性
- 2, 强制循环锅炉的热偏差
- 3, 低倍率和复合循环锅炉的水循环特性
- 4, 脉动的成因与减轻脉动的措施

延伸阅读 02

## 第十三章 重点

- 1, 控制循环锅炉水冷壁的水动力特点
- 2, 低倍率、复合循环锅炉水冷壁的水动力特点
- 3, 直流锅炉水冷壁的水动力特点
- 4, 直流锅炉的水冷壁热偏差特点

## 延伸阅读 03

# 第十三章 难点

- 1, 强制循环锅炉的脉动成因与减轻脉动的技术措施
- 2, 直流锅炉的热偏差成因与减轻热偏差的技术措施。
- 3, 超临界锅炉的启动特性和启动系统的特点

## 延伸阅读 04

# 第十三章 关键词

控制循环锅炉

直流锅炉启动特性

直流锅炉

低倍率复合循环锅炉

超临界直流锅炉

启动系统的特点

脉动

启动分离器

热偏差

第二类传热恶化