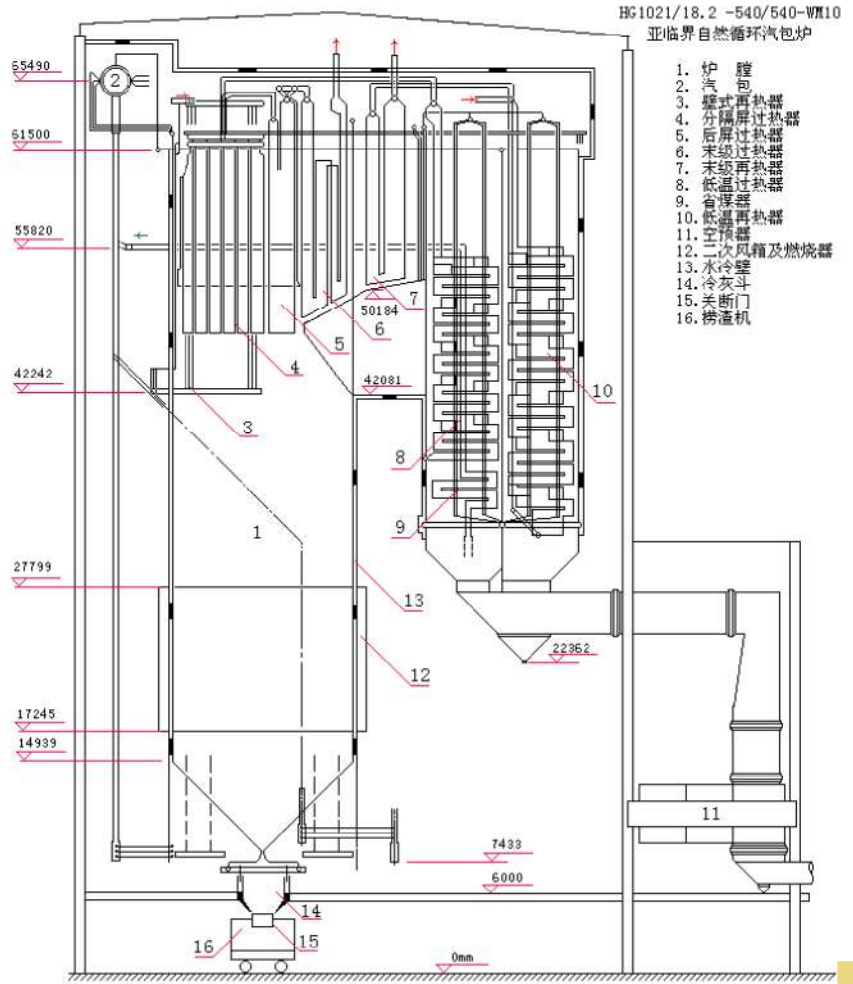
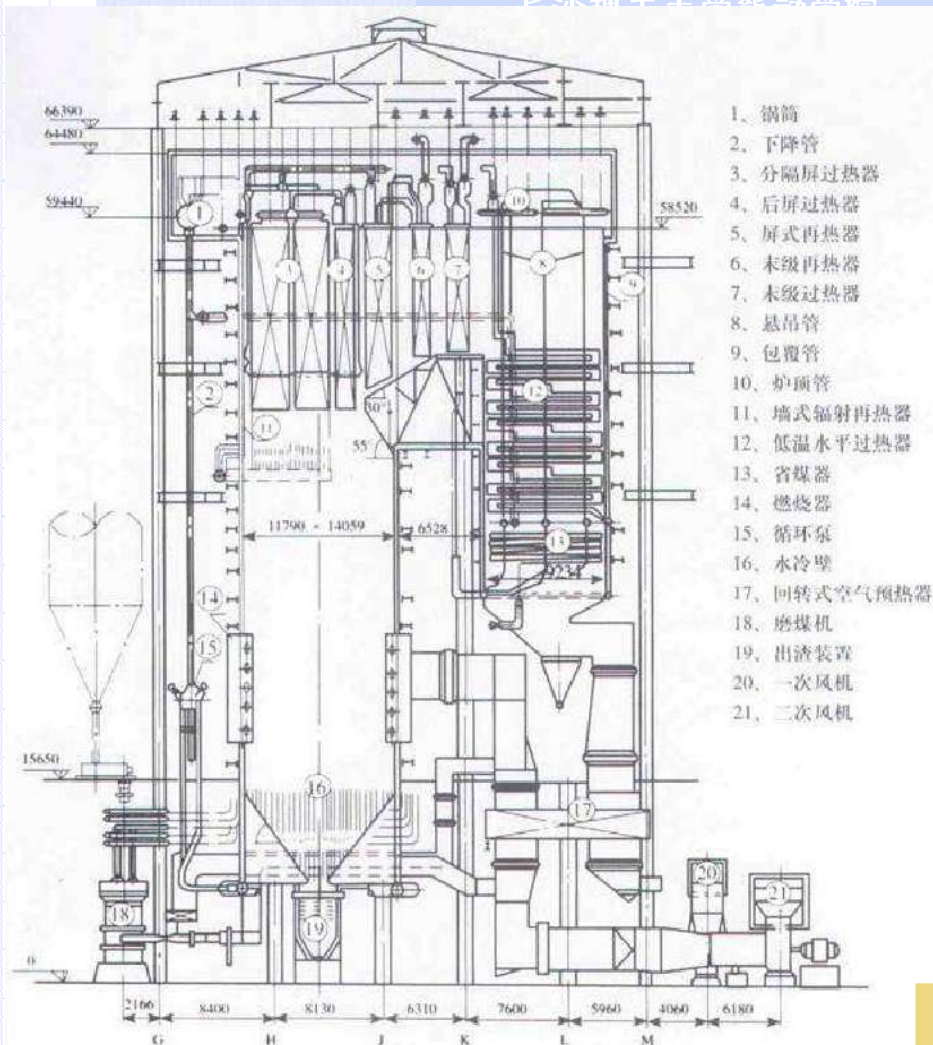


IG-亚临界自然循环汽包锅炉

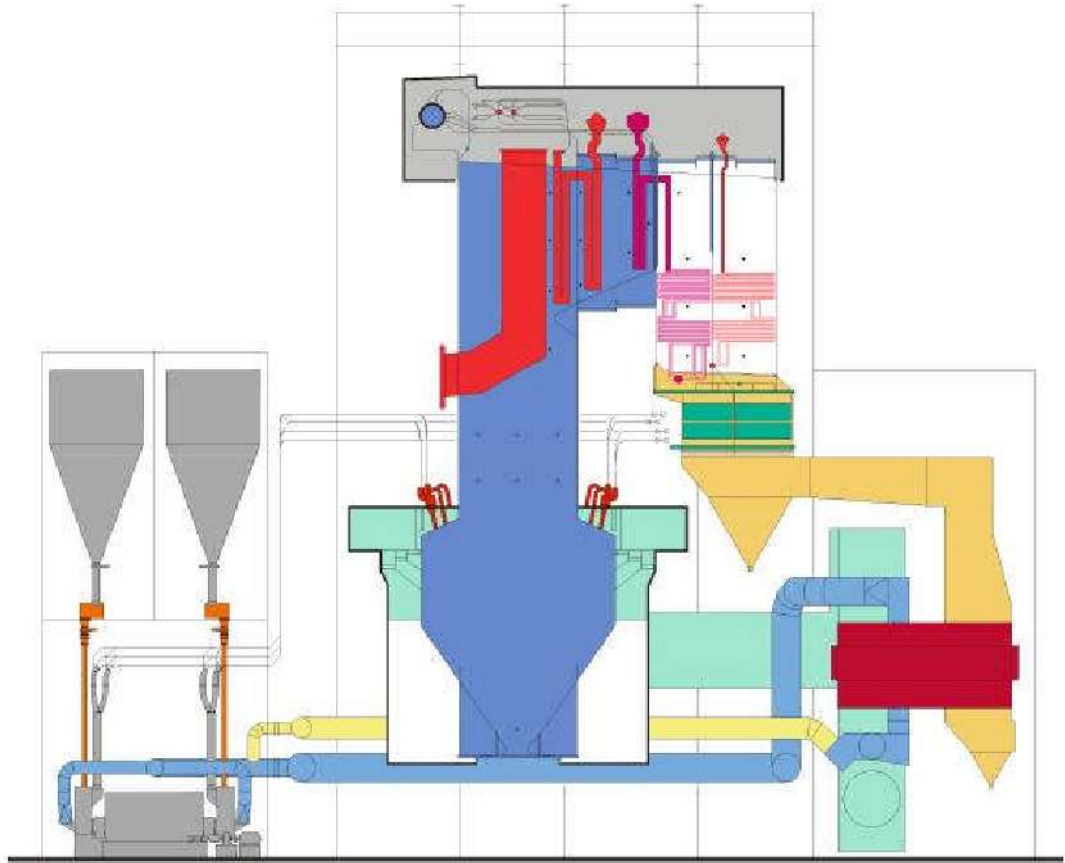


强制循环锅炉纵剖面布置图



717 MW_e Arch Fired Boiler

锅炉设备整体布置图片



§ 1、对流式过热器和再热器

- 1、对流式过热器和再热器分类
- 2、对流式过热器和再热器结构



对流式过热器和再热器分类

◆ 结构

◆ 分类：

- 立式、卧式
- 顺流、逆流、混合流
- 顺列、错列
- 多管圈、单管圈

◆ 工质质量流速

对流式过热器和再热器结构

- 由蛇形管及进、出口联箱组成,可分为立式、卧式布置;顺流、逆流和混合流连接;顺列、错列排列
- 大容量锅炉对流受热面的主要特点
 - 连接管和蛇形管采用 $\phi 60$, $\phi 63$ 等较大的管径,以增强管子刚性,降低受热面阻力,多管圈。
 - 蛇形管均采用不同管径、不同壁厚的异种钢焊接管,以适应不同热负荷区域的需要。
 - 蛇形管多采用顺列排列,管束的外表积灰很容易被吹灰器清除,可有效防止受热面污染。
 - 管内工质应保持一定的质量流速,以保证金属管壁得到充分的冷却

§ 2、半辐射、辐射式过、再热器

- ◆1、半辐射、辐射式过、再热器分类
- ◆2、半辐射、辐射式过、再热器结构
- ◆3、半辐射、辐射式过、再热器作用
- ◆4、过热器系统蒸汽流程
- ◆5、再热器系统蒸汽流程



半辐射、辐射式过、再热器分类

◆ 半辐射式

▶ 屏式过、再热器

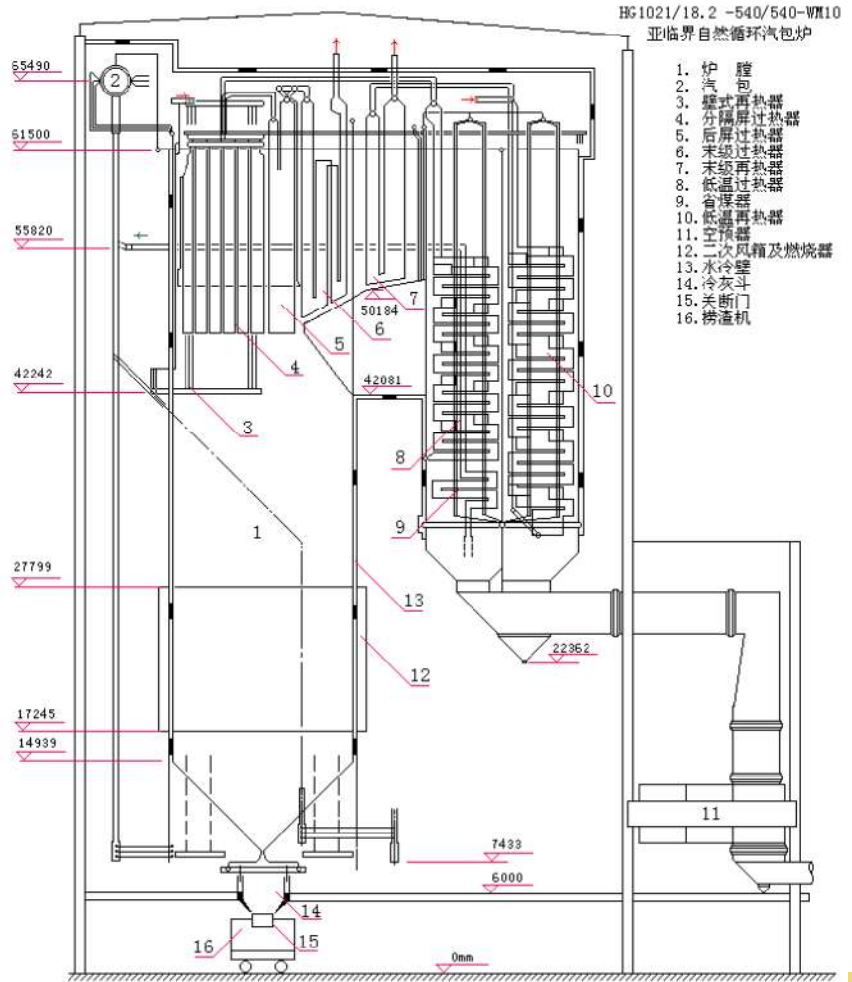
◆ 辐射式

▶ 墙式(壁式)过、再热器

▶ 前屏(分隔屏)过、再热器

◆ 顶棚、包墙管、悬吊管过热器

IG-亚临界自然循环汽包锅炉

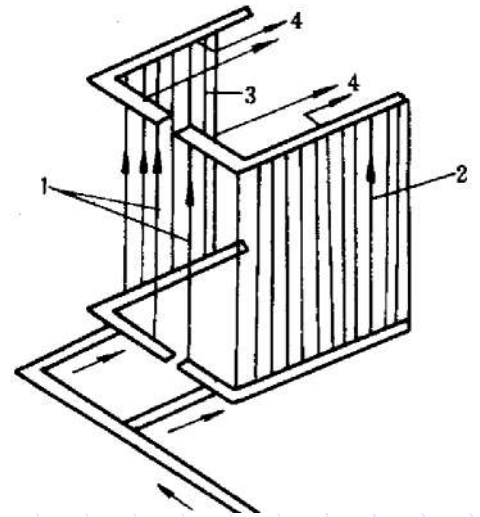


半辐射、辐射式过、再热器结构

做成挂屏、壁式形式，由U型管及进出口联箱构成

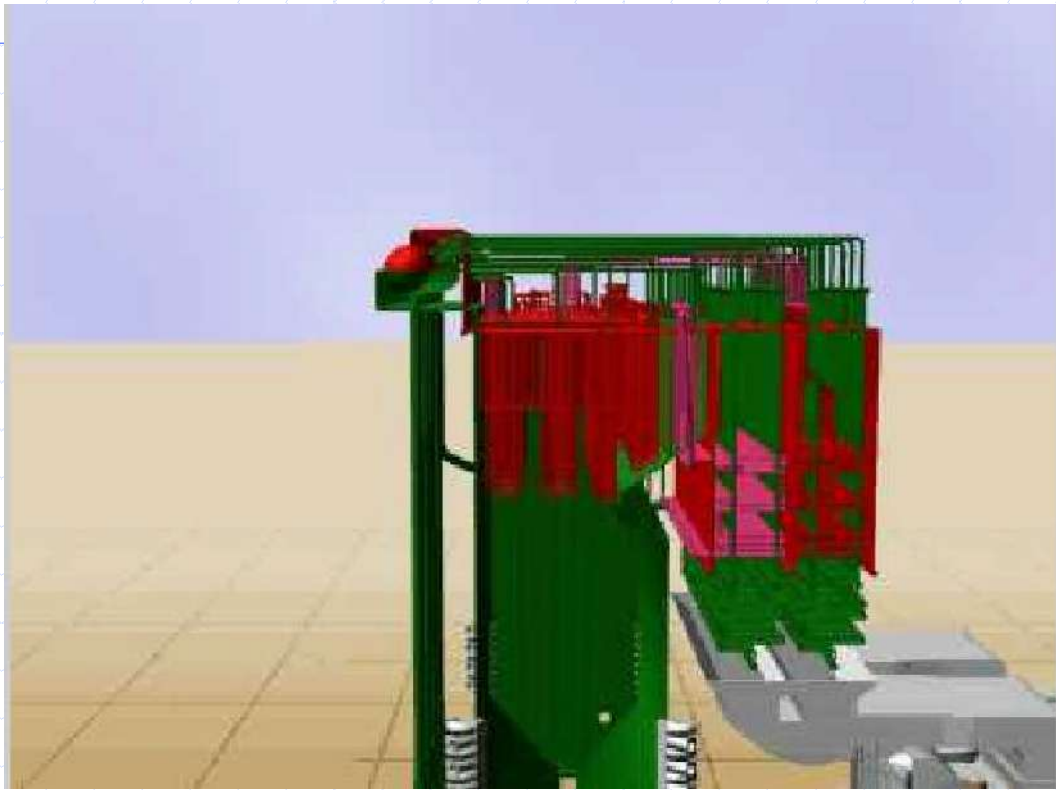
布置

- **半辐射式** 布置在炉膛出口烟窗处，称后屏
- **辐射式** 布置在炉膛上部的前墙和两侧的前半部或布置在炉膛顶部或悬挂在炉膛上部靠近前墙处，分别称为墙式、顶棚式和前屏（分隔屏）



1-前墙管；2、3-两侧墙管
4-上联箱工质引出管

屏式过热器



半辐射、辐射式过、再热器作用

● 作用

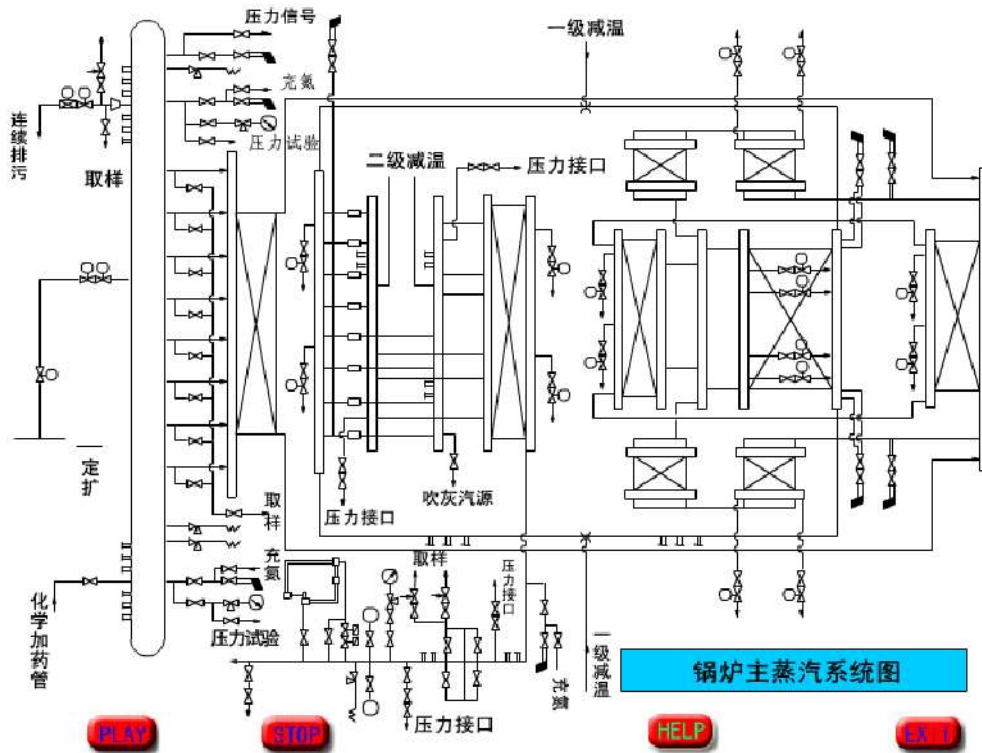
- 改善工质汽温特性；
- 降低锅炉金属耗量；
- 降低炉膛出口烟温，防止排列密集的对流受热面结渣；
- 消除气流的残余扭转，减少沿烟道宽度的热偏差；

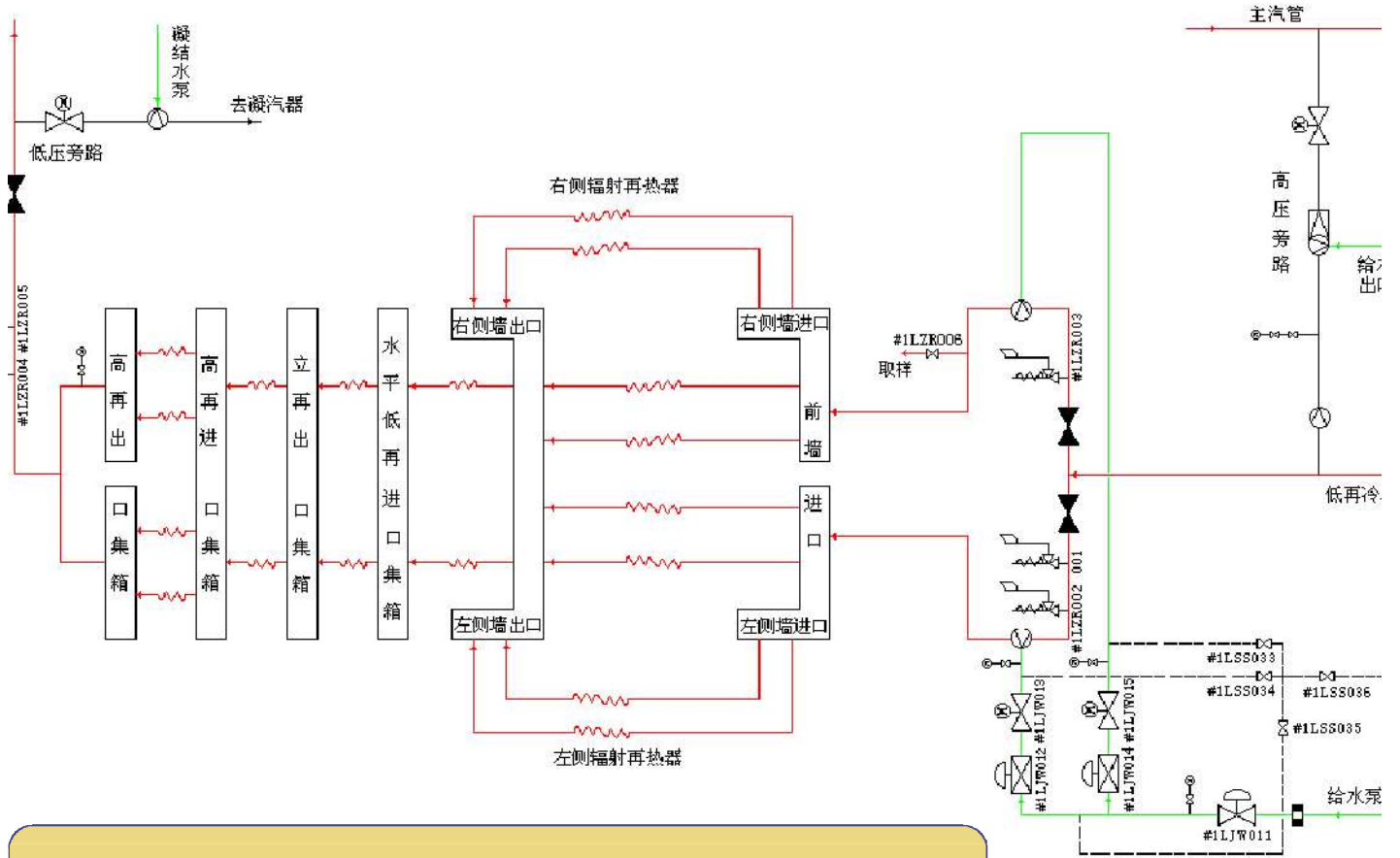
大节距的前屏可对炉膛出口烟气起阻尼和分割导流作用

● 改善受热面工作条件的措施

- 布置在远离火焰中心的炉膛上部；
- 作为低温级受热面；
- 采用较高的质量流速

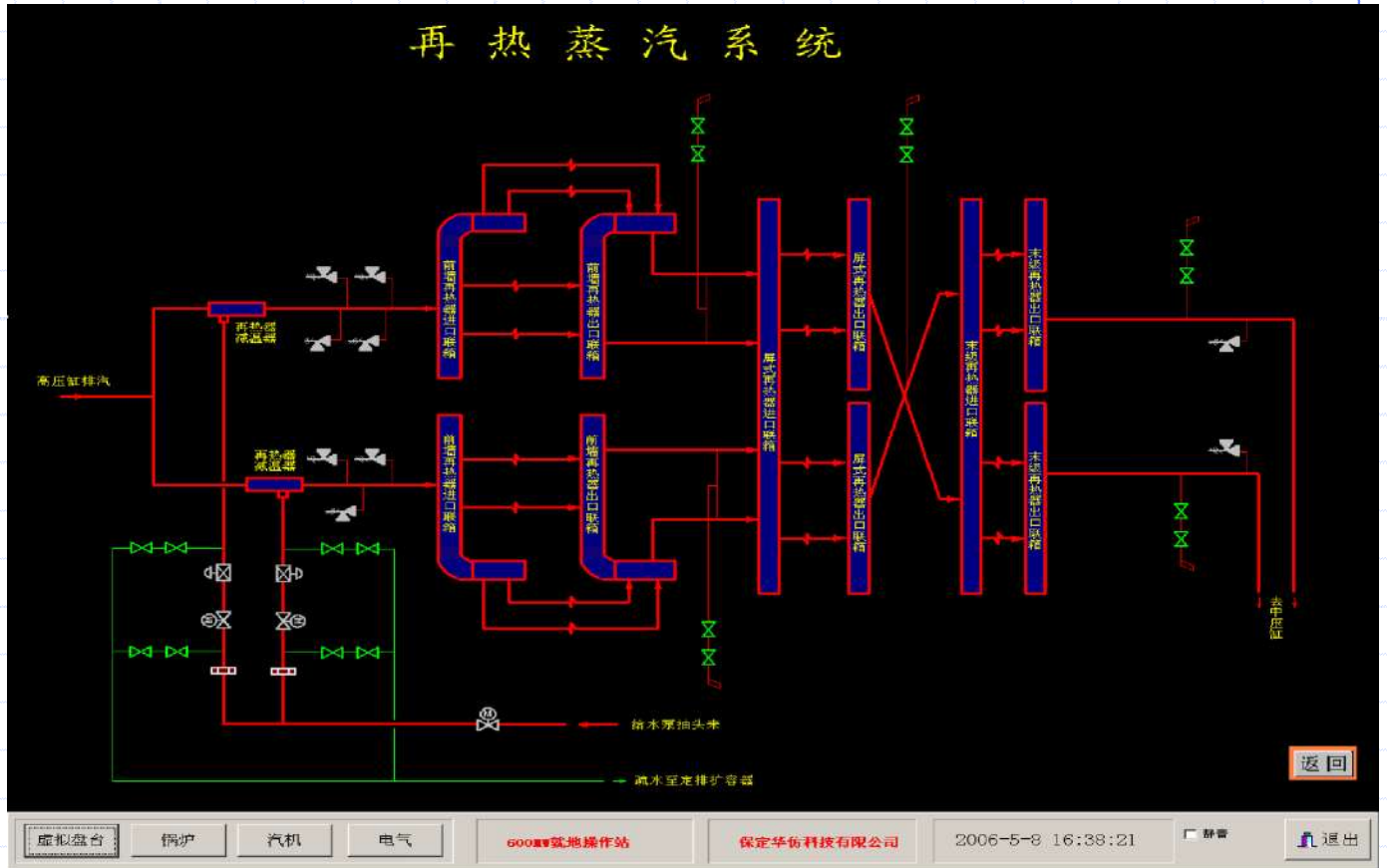
过热器系统蒸汽流程





再热器系统蒸汽流程

再热器系统蒸汽流程





§ 3、运行中影响汽温的因素

- ◆ 1、锅炉负荷：汽温特性
- ◆ 2、过量空气系数
- ◆ 3、给水温度
- ◆ 4、燃料性质
- ◆ 5、受热面污染情况
- ◆ 6、燃烧器的运行方式



运行中影响汽温的因素

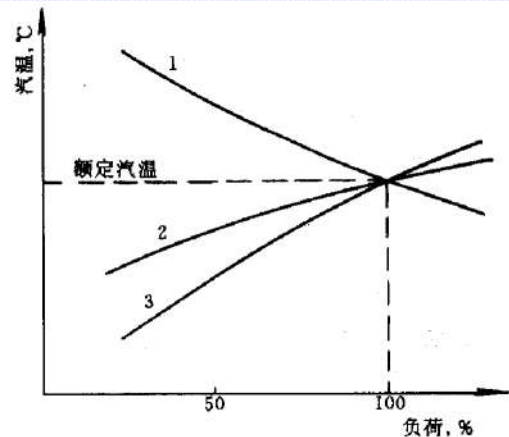
锅炉负荷

蒸汽温度与锅炉负荷之间的关系称之为**汽温特性**，采用不同传热方式的过热器与再热器，汽温变化特性不同

➤ **辐射受热面** 锅炉负荷 D 增加，工质流量和煤耗量 B 相应增加，炉内辐射热 Q_f 并不按比例增多， Q_f / D 减少，辐射受热面中蒸汽的焓增减少，**出口蒸汽的温度下降**，图中曲线1，炉膛出口烟温因此上升

➤ **对流受热面** 锅炉负荷 D 增加，流经对流受热面烟速和烟温提高，工质焓增升高，**出口蒸汽温度上升**，图中曲线2

➤ **采用半辐射式受热面**，可获得较为平坦的汽温变化特性，减小汽温调节幅度，提高机组对负荷变化的适应性



运行中影响汽温的因素

● 过量空气系数 α

α 增加，炉膛温度水平降低，辐射传热减弱，辐射受热面出口汽温降低；对流过热器则由于燃烧生成的烟气量增多，烟气流速增大，对流传热加强，导致出口过热汽温升高，以后者为主

● 给水温度 t_{gs}

t_{gs} 降低，煤耗量 B 增加，炉内烟气量增加，出口烟温增加，对流受热面出口蒸汽温度因此升高。辐射式受热面的出口汽温影响不大

● 燃料性质

燃煤中的 M 和 A 增加，烟气容积增大，烟速提高；而炉内温度水平降低，出口烟温升高，过热器出口汽温升高。煤粉变粗时，煤粉在炉内燃烬时间增长，火焰中心上移，导致汽温升高

运行中影响汽温的因素

● 受热面污染情况

过热器之前的受热面发生积灰或结渣时，进入过热器区域的烟温增高，过热汽温上升；

过热器本身严重积灰、结渣或管内结垢时，导致汽温下降

● 燃烧器的运行方式

摆动燃烧器喷嘴向下倾斜或多排燃烧器从上排喷嘴切换至下排，由于火焰中心下移，会使汽温下降。反之，汽温则会升高

§ 4、过、再汽温调节

- 1、汽温过高、过低的危害
- 2、蒸汽调温的主要方式
 - 过、再热汽温调节方式的不同
 - 过、再热汽温调节的主要手段与辅助手段
- 3、喷水减温方法
- 4、分隔道挡板
- 5、烟气再循环
- 6、改变火焰中心位置

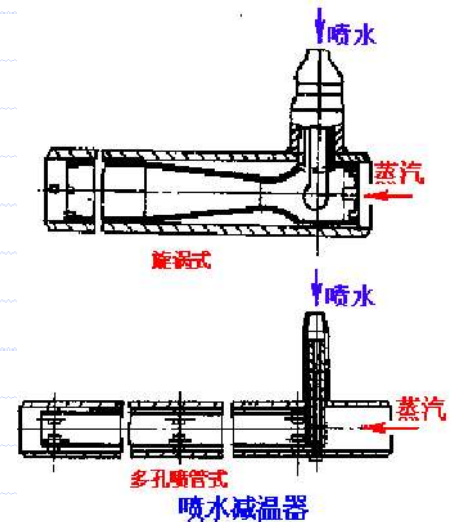


过、再汽温调节

- 运行中规定汽温偏离额定值的波动不能超过 $-10^{\circ}\text{C}\sim+5^{\circ}\text{C}$
 - 汽温过高，金属的许用应力下降，危及机组的安全运行；
 - 汽温下降，循环热效率降低；再热汽温变化过于剧烈，还会引起汽机中压缸的转子与汽缸之间的相对胀差变化，汽机振动增大
- 蒸汽调温的主要方式
 - 蒸汽侧调节 通过改变蒸汽热焓调节汽温，主要有喷水减温器
 - 烟气侧调节 通过改变锅炉内辐射受热面和对流受热面的吸热量分配比例的方法（如烟气再循环、摆动燃烧器）或改变流经过热器、再热器烟气量的方法（如分隔烟气挡板）调节汽温

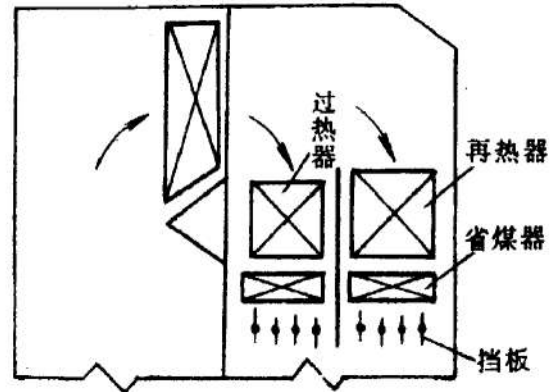
喷水减温方法

- 喷水减温器是将清洁度很高的水直接喷入过热蒸汽中以降低汽温。
- 喷水减温装置通常安装在过热器连接管道或联箱中。
- 主要有旋涡式、多孔喷管式两种。
- 结构简单、调节灵敏，易于自动化，可靠性高，有多级。



分隔道挡板

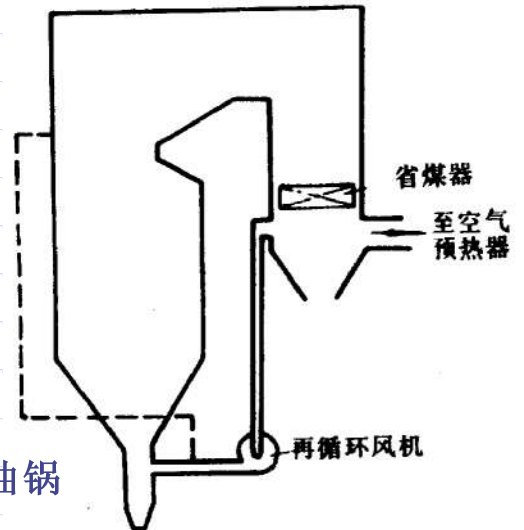
- 用挡板将尾部烟道分隔成两个并列烟道，其一布置再热器，另一侧布置过热器
- 调节布置在受热面后的烟气挡板开度，可改变流经两烟道的烟气量达到调节再热汽温的目的
- 结构简单，操作方便但延迟较大，挡板宜布置在烟温低于 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域，以免烧坏



烟气再循环

● 采用再循环风机从锅炉尾部低温烟道中（一般为省煤器后）抽出一部分温度为 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ 的烟气，从炉膛底部（如冷灰斗下部）送回到炉膛，用以改变锅炉内辐射和对流受热面吸热量的比例，从而达到调节汽温的目的。

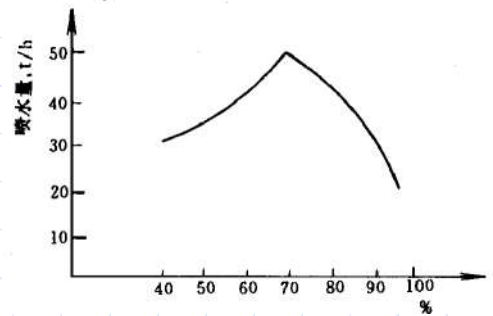
● 耗电量增大，风机磨损大。国内多用于燃油锅炉。



改变火焰中心位置

摆动式燃烧器

燃烧器上下摆动 $\pm 20\sim 30^\circ$ ，炉膛出口烟温变化约 $110\sim 140^\circ\text{C}$ ，调温幅度可达 $40\sim 60^\circ\text{C}$ 。燃烧器上倾角过大会增加燃料的未完全燃烧损失；下倾角过大又会造成冷灰斗的结渣。



摆动式燃烧器调节再热汽温的同时，会影响到过热汽温

锅炉在满负荷运行时，过热汽温和再热汽温均达到额定值，过热器减温水量理论上为零；锅炉负荷下降，再热汽温下降，燃烧器向上摆动，过热汽温随之上升，需要增加减温水量。负荷降到 $50\%\sim 60\%$ 额定负荷时，过热器减温水量达到最大。

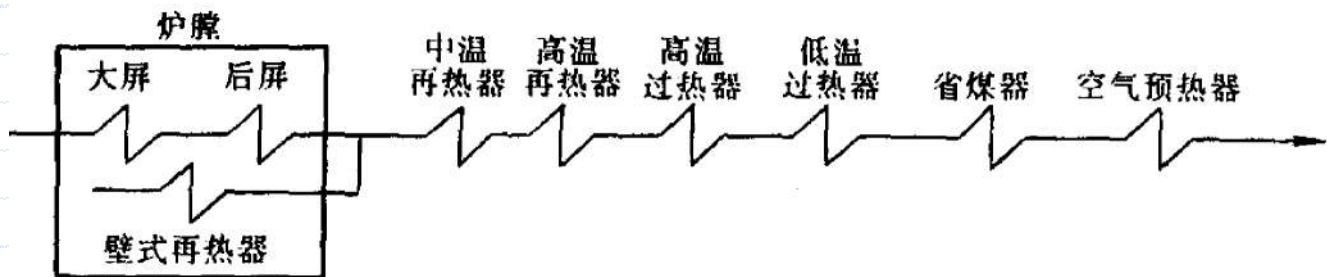
燃烧器运行方式如停用某层燃烧器

一般按燃烧调整的需要，只能作为辅助调温方式。

采用摆动燃烧器的蒸汽系统

为提高再热气温的能力，再热器向炉膛内移动或靠近，增强辐射传热

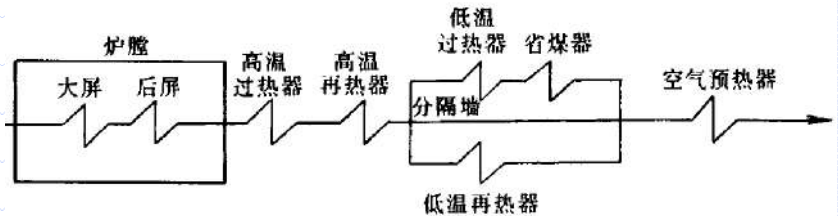
- 再热器高温布置，与采用烟气挡板调节方式相比，再热器的受热面积约减少 65 % ；使再热蒸汽流动阻力控制在 0.2MPa 以下
- 提高再热气温的调节能力，再热气温的调节响应特性比较灵敏



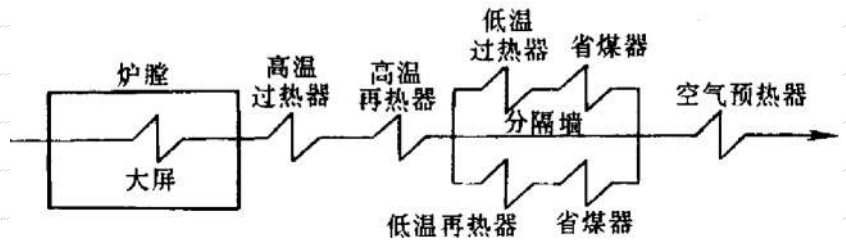
采用烟气挡板的蒸汽系统

大部分过热器向炉膛内移动或靠近，再热器受热面布置在对流传热较强的水平烟道后部及尾部烟道中

● 过热器高温布置，与摆动燃烧器调温方式相比，过热器受热面约减少25%



● 再热器受热面较多且处于低温烟道，再热汽温调节反应灵敏性较差，汽温达到稳定的时间比摆动燃烧器调温时间略长



§ 5、热偏差

- ◆1、热偏差的概念
- ◆2、烟气侧热力不均（吸热不均）
- ◆3、工质侧水力不均（流量不均）
- ◆4、减少热偏差的措施



热偏差的概念

热偏差是沿烟道宽度方向并列管子间因吸热不均和工质流量不均引起的现象，蒸汽焓增大于管组平均值的管子称偏差管，热偏差程度用热偏差系数 ϕ 表示

$$\phi = \Delta h_p / \Delta h_{pj}$$

式中： Δh_p 为偏差管焓增， $\Delta h_p = q_p F_p / G_p$ ；

Δh_0 为管组平均焓增， $\Delta h_0 = q_0 F_0 / G_0$

q 、 F 、 G 分别为管外壁**热负荷**、**受热面积**及**工质流量**

$$\text{令 } \eta_q = q_p / q_{pj}; \quad \eta_F = F_p / F_{pj}; \quad \eta_G = G_p / G_{pj}$$

则有

$$\phi = \eta_q \eta_F / \eta_G$$

式中： η_q 、 η_F 和 η_G 分别为**吸热**、**结构**和**流量不均匀系数**

显然， ϕ 越大，**偏差管与管组工质平均温度偏差越大**，偏差管易超温

烟气侧热力不均（吸热不均）

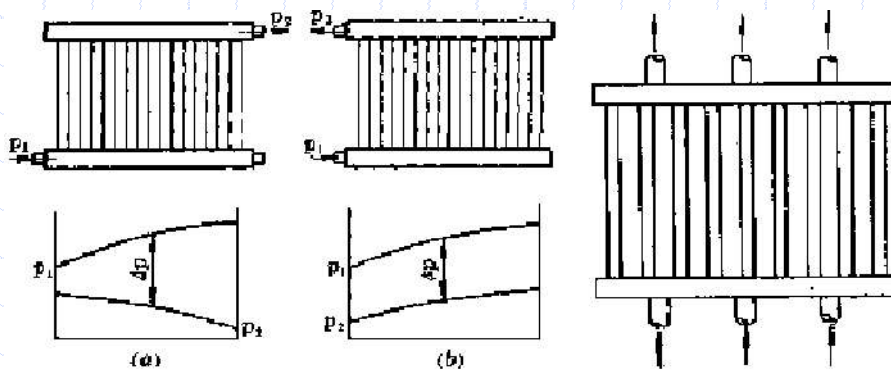
- 沿烟道宽度方向烟气速度场和温度场不均匀 炉膛四壁水冷壁的吸热与粗糙表面使炉壁附近烟气温度及流速远比火焰中心低，并延伸到对流烟道，烟气残余旋转，是造成过热器并列管组热力不均的主要原因
- **烟气走廊** 并列过热器管中个别管排间较大的节距形成。较大的烟气流通过截面使流阻小，烟速大，对流传热强；且具有较大的辐射层厚度，辐射吸热增加，造成热力不均
- 受热面不同程度的污染
- 燃烧器负荷不一致，火焰中心偏斜；炉膛上部或过热器局部地区发生煤粉再燃烧
- 炉膛出口烟气流的残余扭转

工质侧水力不均 (流量不均)

$$\eta_G = \frac{G_p}{G_{pj}} = \sqrt{\frac{K_{pj} \nu_{pj} \Delta P_p}{K_p \nu_p \Delta P_{pj}}}$$

● 各并列管圈进、出口压降 Δp 取决于进、出口联箱中压力的变化，而后者又取决于受热面的连接方式，Z形连接方式各并列管圈的 Δp 偏差最大，多管连接方式最小

Δp 大的管圈，蒸汽流量大， Δp 的偏差造成各管流量的不均



工质侧水力不均（流量不均）

● 管圈的阻力特性 K 与管子的结构尺寸、粗糙度等有关，管圈的 K 值越大，即阻力越大，流量越小

● 工质比容 v 并列管受热不均时，受热强的管吸热量多、工质温度高、比容 v 增大，蒸汽流量减小

$$\eta_G = \frac{G_p}{G_{pj}} = \sqrt{\frac{K_{pj} v_{pj} \Delta P_p}{K_p v_p \Delta P_{pj}}} \quad \varphi = \frac{\eta_q \eta_F}{\eta_G}$$

即使各并列管圈 Δp 、 K 相同，因受热不均，工质比容不同也将导致流量不均，使热偏差增大

发生热偏差时，平列管子中吸热量大的管子，热负荷较高（热负荷不均匀系数 $\eta_q > 1$ ），工质流量又较小（流量不均匀系数 $\eta_G < 1$ ），故工质焓增大，管子出口工质温度和管壁温度相应升高

减少热偏差的措施

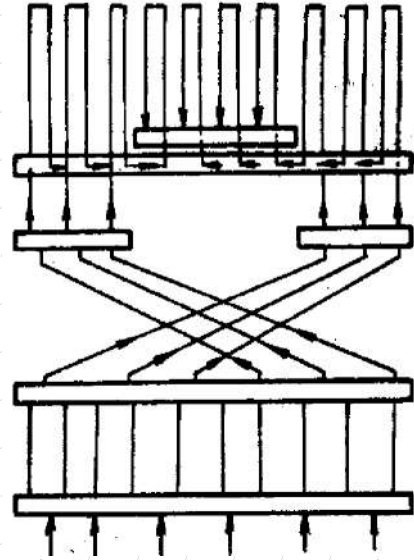
运行中确保燃烧稳定；烟气均匀充满炉膛；适时投入吹灰器减少积灰和结渣，沿炉膛宽度方向速度场和温度场尽量均匀

● 受热面分级（段）

$$\Delta h_p - \Delta h_{pj} = (\varphi - 1) \Delta h_p$$

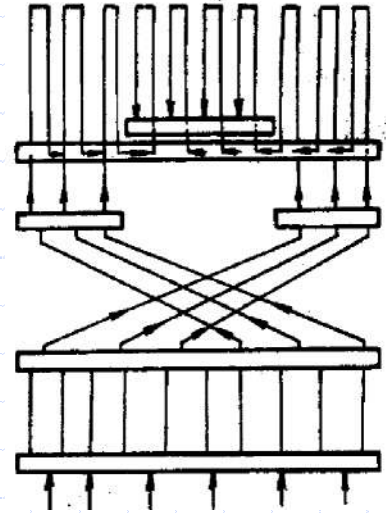
在 φ 一定的情况下， $\Delta h_p - \Delta h_{pj}$

与 Δh_{pj} 成正比，将受热面分成多级，每一级工质的平均焓增 Δh_{pj} 偏差管出口汽温及管组平均汽温的偏差就会减小



减少热偏差的措施

- 受热面各级之间通过中间联箱进行混合；联箱连接管左右交叉，避免前一级的热偏差延续到下一级而造成各级受热面热偏差的迭加
- 采用流量分配均匀的U形或多管连接方式
- 采用各种定距装置，保证受热面节距，防止在运行中的摆动，有效地消除管、屏间的“烟气走廊”
- 根据管圈所处的热负荷采用不同的管径和不同壁厚的蛇形管管圈，均匀各管流量，短接等。



问题与思考题

- 1、什么是过热器的热偏差?哪些因素会导致热偏差? 锅炉设计和运行时如何减小或消除热偏差?
- 2、某锅炉采用烟气再循环调节再热汽温, 制定了三个方案, 即再循环烟气分别从炉底、燃烧器附近区域及炉膛出口附近送入炉内, 试定性分析其对再热汽温的影响, 并从中选出最佳方案。
- 3、试述影响过热与再热汽温的因素分别有哪些?
- 4、试述调节过热汽温的主要手段与辅助手段分别有哪些?
- 5、试述调节再热汽温的主要手段与辅助手段分别有哪些?
- 6、什么是汽温特性? 有哪几类?
- 7、某电厂一台高压煤粉锅炉, 运行中发现过热器汽温偏低, 试分析可能的原因并提出在运行调整与锅炉改造中可以采用哪些技术措施提高汽温。

