

# 中国特种设备检测研究院

窦文宇

[dou\\_wenyu@csei.org.cn](mailto:dou_wenyu@csei.org.cn)

2011.10 北京



## 目 录

概述	第一章	绪论
	第二章	锅炉类别、参数及型号
	第三章	电站锅炉的基本组成及一般工作过程
结构	第四章	锅筒以及锅炉各种受热面的作用及结构
	第五章	减温器
	第六章	锅炉炉墙与构架
	第七章	锅炉安全附件
	第八章	锅炉辅助装置、设备及系统

# 第一部分 锅炉概述

## 第一章 绪论

## 通俗的说法：锅炉=“锅”+“炉”

从事锅炉工作的人在民间也称为烧水的。可见锅炉主要与水有关。

锅炉为了实现对水加热、汽化、蒸汽过热的过程，必须具有能从燃料获得足够热能的设备，即“炉子”，以及盛装水及蒸汽的耐压容器，并具有能吸收足够热量的受热面，这就是“锅”。这里所指的“足够”，取决于需要产生蒸汽的量，以及蒸汽的压力和温度。

## 通俗的说法：锅炉=“锅” +“炉”

我们来回顾一下水的性质。

水在自然界中有固态(冰)、液态(水)、气态(水蒸汽)三种形态。在一定的压力下，水被加热，吸收热量以后，温度就逐渐升高，到一定温度时，水便开始沸腾。水沸腾时的温度，叫做沸点。沸点状态下的水称为饱和水。沸点也叫饱和温度。1 kg的水由0℃加热至饱和温度，所吸收的热量称为水的液体热。

水达到饱和温度后，继续加热，水便开始汽化，水温不再升高，所加入的热量使部分水转化为蒸汽。沸腾现象即水中形成大量的汽泡并上升至水面的过程。沸腾时所生成蒸汽的温度仍维持饱和温度，这种蒸汽叫饱和蒸汽。使1 kg饱和水完全汽化为饱和蒸汽所需的热量称为汽化潜热。

在等压下继续加热饱和蒸汽，蒸汽温度便会逐渐升高，这种温度高于饱和温度的蒸汽叫过热蒸汽。超出饱和温度的度数称为过热度。蒸汽过热所吸收的热量称过热热量。

# 锅炉概述

在不同的压力下，水的饱和温度、液体热、汽化潜热是不同的，表1-1中列出了几种压力下，它们的相应值。蒸汽过热热量则与过热度 and 压力有关。汽化潜热为零的状态称为临界状态，相应的各项参数称为临界参数。

表1-1 不同压力下水的热物理量

绝对压力 (MPa)	0.1	1	10	22.12
饱和温度 ( °C )	99.6	179.9	310.9	374.15
液体热 (kJ/kg)	417.5	762.6	1409	2095
汽化潜热 (kJ/kg)	2258	2014	1316	0



## 锅炉的科学定义：

锅炉也称蒸汽发生器，是一种利用燃料等能源的热能或工业生产中的余热，将工质加热到一定温度和压力的换热设备。——实用锅炉手册（锅炉=蒸汽发生器？）

锅炉是一种将燃料燃烧，使其中的化学能转变为热能，并将此热能传递给水（也可能是其它工质），使工质变为具有一定压力和温度的蒸汽或热水的设备。——锅炉本体布置及计算（锅炉only燃料燃烧？）

## 锅炉的科学定义：

在我国，根据《特种设备安全监察条例》中的定义，亦即监察的对象以及范围，锅炉是指利用各种燃料、电或者其他能源，将所盛装的液体加热到一定的参数，并对外输出热能的设备，其范围规定为容积大于或者等于30L的承压蒸汽锅炉；出口水压大于或者等于0.1MPa（表压），且额定功率大于或者等于0.1MW的承压热水锅炉；有机热载体锅炉。

## 锅炉的用途

- 火力发电和工业生产需要燃烧燃料，也就需要锅炉。
- 锅炉是火力发电厂三大主机之一，火力发电的发展要求锅炉工业以相应的速度发展。
- 在各种工业企业的动力设备中，锅炉也是重要的组成部分。
- 锅炉生产的蒸汽供工业生产直接需用，还供取暖使用。
- 还有用于生活热水供应、洗浴和采暖的所谓生活锅炉。
- 用于工业生产和生活的锅炉数量大、分布广。
- 随着人民生活水平的提高，对能源的需求量急剧增大，锅炉的数量也就越来越多。

## 工业锅炉

### (1) 量大面广

- 2009年底，全国在用工业锅炉约58.48万台
- 总容量约166.5万MW，单台平均容量约2.85MW
- 广泛应用于国民经济的各个领域（工厂动力、建筑采暖、人民生活）
- 是工业和社会的必须消耗品

### (2) 能源消耗与污染排放巨大

- 年耗煤量约4亿t，约占我国煤炭总产量的四分之一
  - 工业锅炉的SO<sub>2</sub>排放占总量36.7%
  - 烟尘排放平均占到总量的44.8%
- } 城市主要大气污染源
- 工业锅炉能源消耗和污染排放均位居全国工业行业第二，仅次于电站锅炉，煤炭消耗量远高于钢铁、石化、建材等高耗能工业行业

## 工业锅炉

### (3) 经济和社会发展的需要

- 依靠高投入、高能耗、高污染、低效率拉动经济增长
- 我国经济增长模式具有明显的重化工业特征
- 重化工业生产依赖于锅炉提供热能和电力
- 人口和城市化发展使热能需求快速增长
- 人民生活水平提高使热能需求快速增长

### (4) 工业锅炉成为我国开展节能降耗、提高能效、减少污染的主要对象之一

- 《中国国民经济和社会发展十一五规划纲要》
- 《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020年）》
- 《十一五科技攻关计划发展纲要》
- 国家发改委《节能中长期专项规划》

## 工业锅炉

### (5) 行业生产情况及特点

截止2009年底，全国工业锅炉制造许可持证企业1171家，年产量为292149.85万蒸吨

我国锅炉行业生产企业的数量见下表

年份	A级	B级	小计	C级	D级	合计
2001	38	199	237	210	522	969
2002	44	208	252	203	918	1373
2003	62	203	265	264	1001	1530
2006	72	241	376	329	710	1415
2008	-	-	-	-	-	1121
2009	-	-	-	-	-	1171

## 工业锅炉

### (6) 我国工业锅炉行业产品构成

70家主要企业蒸汽锅炉和热水锅炉的生产情况

	2007年		2008年	
	台数	蒸吨	台数	蒸吨
总计	14159	84890.6	15285	101612.4
蒸汽锅炉	11384	64071.1	11715	80246
占总产量比例%	80.40	75.47	76.64	78.97
热水锅炉	2775	20819.5	3570	21366.4
占总产量比例%	19.60	24.53	23.36	21.03

产品构成:

- 小容量燃煤锅炉在节能和环保性能上达不到要求，已逐步让位于燃气锅炉、电加热锅炉和大容量燃煤锅炉
- 蒸汽锅炉仍占据主导地位，大容量热水锅炉的比重在逐渐增加

## 工业锅炉

### (7) 我国现役工业锅炉的运行情况

#### (7.1) 数量多，容量小，分布广

截止至2009年底

- 锅炉容量小于35 t/h的约占工业锅炉总量的98.9%
- 锅炉容量为2~10t/h的占75%
- 锅炉平均容量不到3 t/h
- 燃煤工业锅炉占80%以上，燃油气锅炉约占15%，电加热锅炉占1%左右，其余的是以沼气、黑液、生物质等为燃料的锅炉

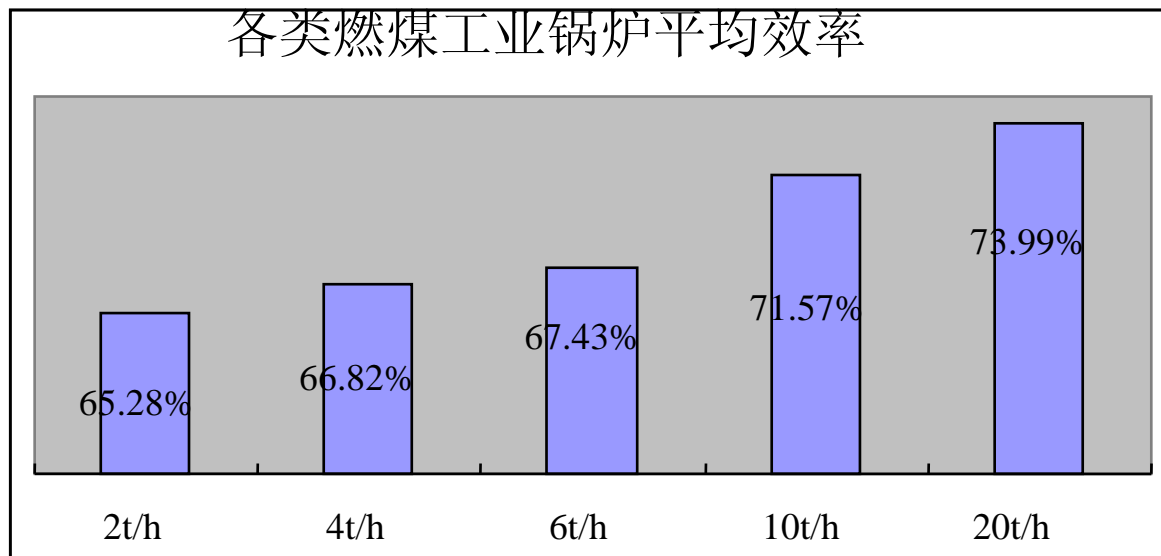
#### (7.2) 热效率低下，能耗大

- 全国工业锅炉设计效率为72%~80
- “大马拉小车”——绝大多数锅炉处于低负荷运行状态（运行效率平均在67%左右<<欧美的80%）
- 年耗能（煤，油，气）5.0 亿吨左右
- 对全国现役工业锅炉运行测试效率统计表明——燃煤锅炉热效率低下，燃油燃气锅炉热效率也不理想（详见下图）



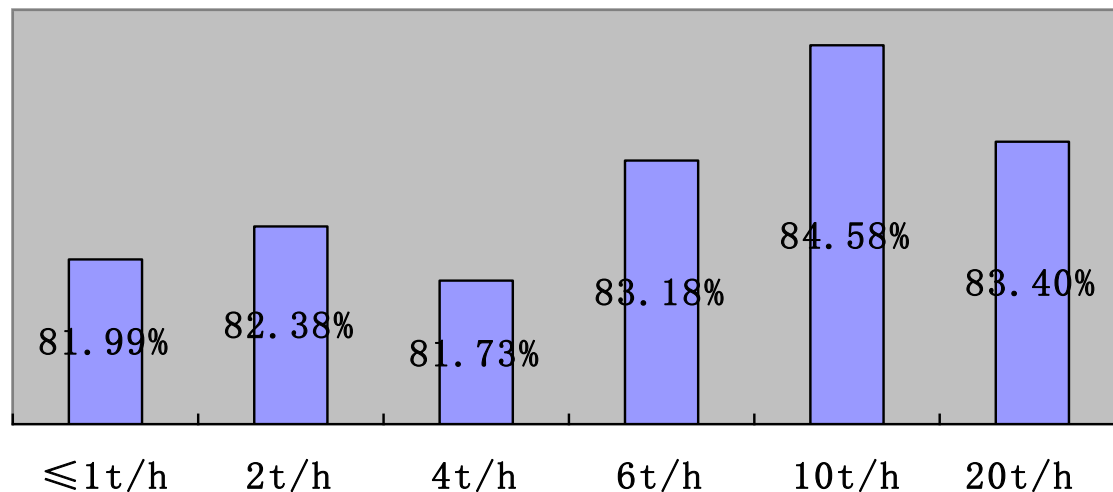
# 锅炉概述

## 各类燃煤工业锅炉平均效率



20t/h及以下  
燃煤工业  
锅炉的加权  
平均热效率  
为68.72%

## 各类燃油(气)工业锅炉平均效率

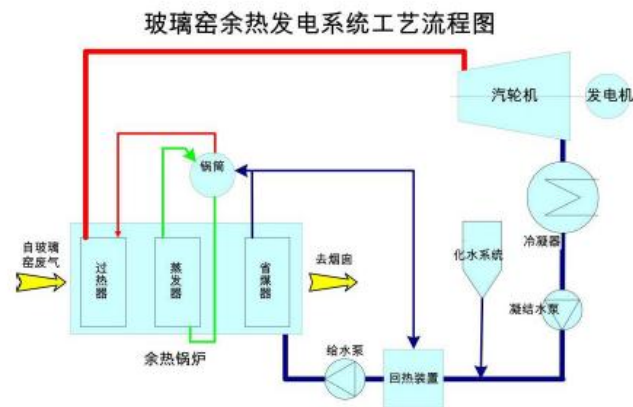
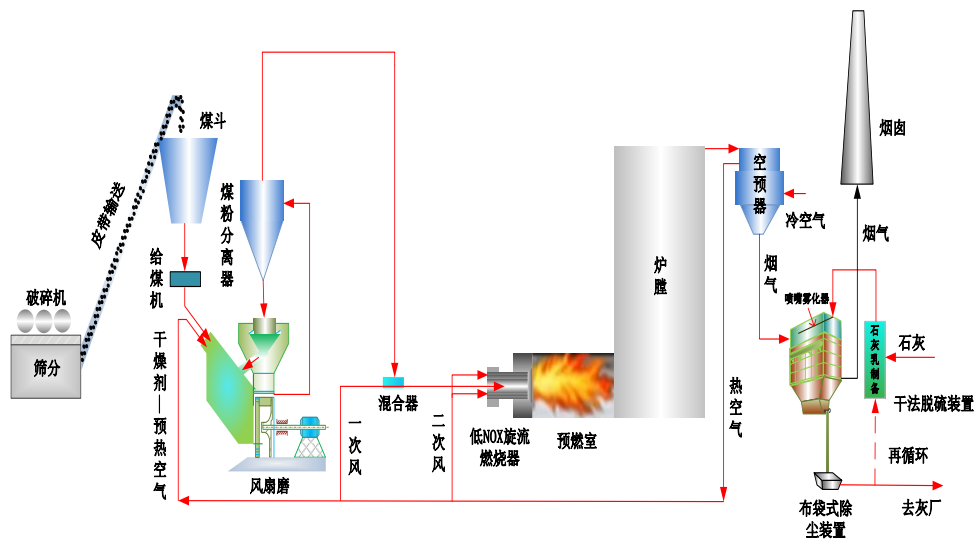
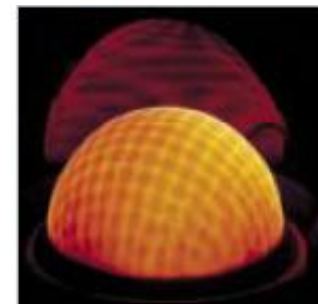
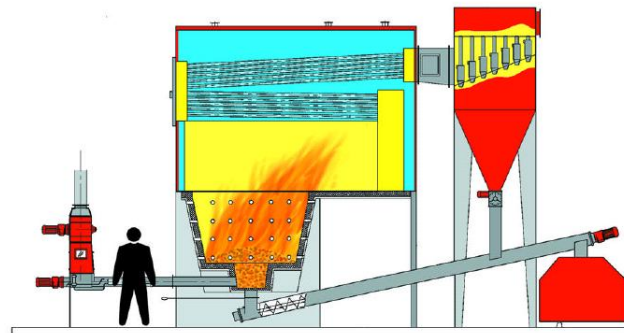


20t/h及以下  
燃油(气)工  
业锅炉的加权  
平均热效率为  
82.61%

## 工业锅炉

### (8) 工业锅炉技术发展趋势

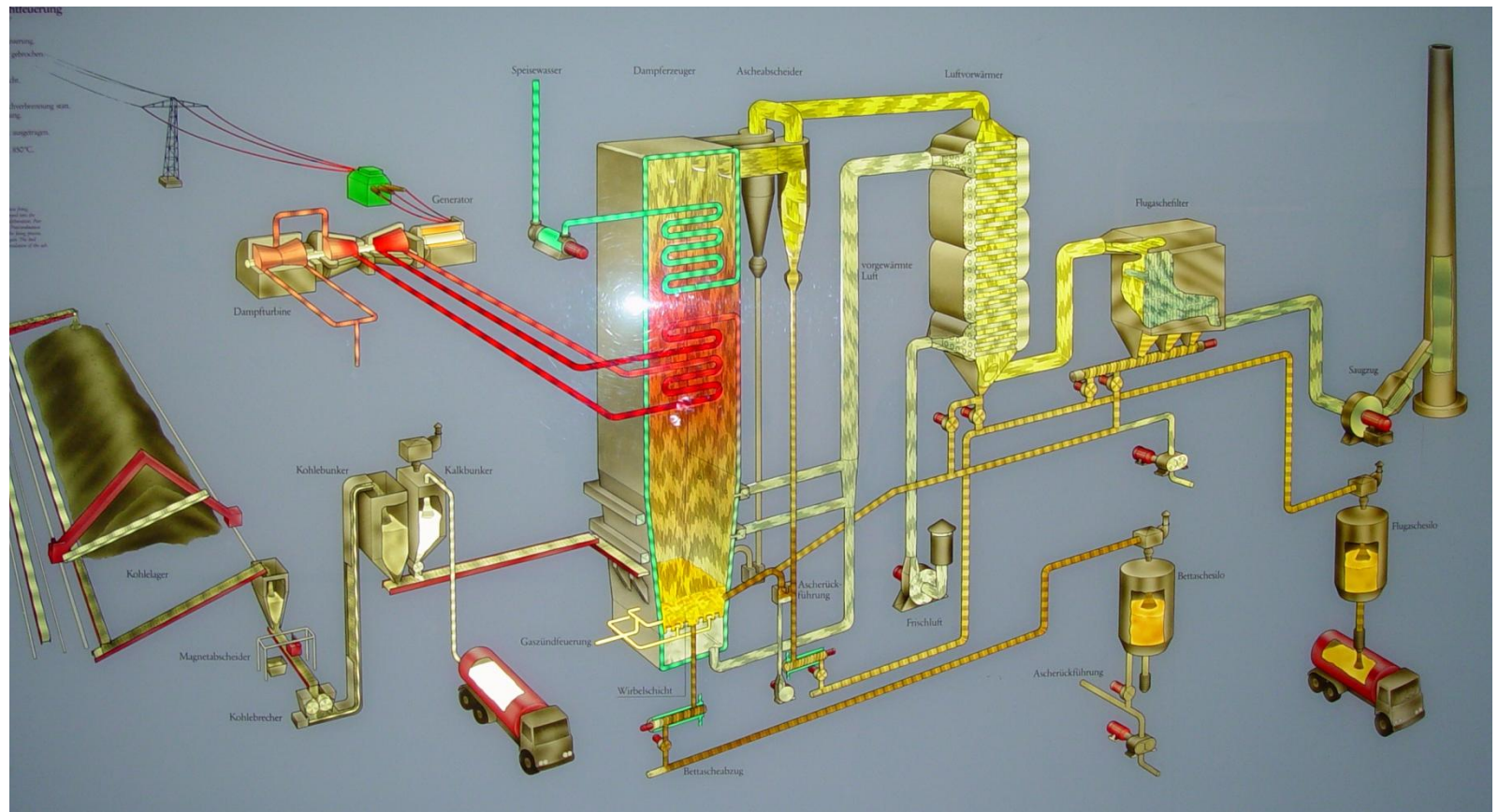
- 燃煤锅炉向大容量高参数方向发展
- 燃油燃气锅炉向中、小容量和低参数方向
- 加速发展生物质和太阳能可再生能源利用技术
- 工业过程余热利用技术替代部分燃煤工业锅炉



# 锅炉概述

## 电站锅炉

- 主要提供高温高压蒸汽推动汽轮机，汽轮机带动发电机发电。



## 电站锅炉

### (1) 中国电力工业基本概况

- 120多年的发展历史，1882年中国第一个火电厂
- 2000年底，我国发电装机达到3.19亿千瓦，发电量约1.37万亿千瓦时，均居世界第二位。
- 2006——6.22亿千瓦（当年装机容量超过1亿千瓦，打破美国20世纪70年代年装机容量世界纪录）
- 2009年底，全国发电达到8.7407亿千瓦，其中燃煤发电比例超过92.8%；燃气发电为3.7%；燃油发电为1.28%；而余能余压发电为1.81%

## (2) 中国电站锅炉基本概况

- 2002年至今，火力发电井喷式发展（截止到2005年底，全国共有在役电站锅炉为7983台，其中，300MW以上的电站锅炉为394台，600MW及以上机组电站锅炉43台）
- 发展趋势：SC超临界 USC超超临界（仅2004年1月至2005年底，国家新核准和开工的火电项目达12840.40万千瓦，其中，300MW级以上的电站锅炉256台，600MW及以上机组电站锅炉129台，参数多为超临界，部分为超超临界）
- 2010年年底：超（超）临界电站锅炉346台；全世界大多数超超临界机组集中在中国

## (3) 电站锅炉发展趋势

- 洁净煤电发电技术→循环流化床（CFBC）、增压流化床（PFBC）、整体煤气化联合循环（IGCC）以及超临界（SC）与超超临界（USC）
- 从技术难度和现实性看，近期广泛发展→超临界（SC）、超超临界（USC）  
注：超超临界——商业性的称谓，以表示出发电机组具有更高的压力和温度参数，即其效率更高。各国、甚至各公司对超超临界参数的起始点定义也有所不同，例如：日本（压力大于24.2MPa,或温度达到593℃）；丹麦（压力大于27.5 Mpa）。我国——主蒸汽压力为25~31MPa，主蒸汽和再热蒸汽温度为580~610℃。
- 目前——先进超超临界（A-USC）（700℃计划，欧洲AD700、日本9年计划、美国15年计划）

# 锅炉概述

## 不同参数燃煤发电机组的热效率和煤耗

参数名称	蒸汽温度 (°C)	蒸汽压力 (MPa)	热效率(%)	煤耗(g/kWh)
中温中压	435	3.5	24	480
高温高压	500	9.0	33	390
超高压	535	13	35	360
亚临界	545	17	38	324
超临界	566	24	41	300
超超临界	600	27	43	284
700°C超超临界	700	35	>46	210

## (4) 大容量高参数发展中的问题

- 合金钢应用比例增大，比如T23/P23， T91/P91, Super304H, T92/P92, T122/P122, TP347HFG, HR3C等等，而我国对其原材料和焊接接头常温 and 高温性能、微观组织结构特征、耐热钢的强化机理等方面研究比较薄弱，缺乏相应的基础数据；
- 锅炉受压元件制造、安装焊缝数量大为增加，焊接工艺的复杂性增大，并且复杂结构和应力状态的受压元件的应用比例开始上升或者新出现，如汽水分离器、三通等，导致焊接缺陷以及受压元件运行中出现失效的可能性增大；
- 锅炉受压元件的布置更为复杂，以水冷壁为例，超临界以上锅炉的水冷壁为避免出现水动力不稳定区以及水冷壁传热恶化，均采用与亚临界以下自然循环（或控制循环）锅炉垂直上升水冷壁完全不同的布置和结构方式，比如，水平环绕螺旋上升水冷壁，并且采用内螺纹管以及水冷壁进口安装节流孔圈；
- 材料特性、介质（水以及水蒸气）特性、热负荷特性等会发生重大改变，一些中低参数没有或很少出现的失效模式开始出现，如：水冷壁高温腐蚀、过/再热器管内氧化皮的剥离等。



鉴于锅炉在国民经济中的重要地位以及中国锅炉发展历史、现状与趋势，对锅炉检验人员提出了更高的要求

- 扎实的专业基础（锅炉、材料、焊接、力学、化学、热控等）
- 丰富的经验积累（接近寿命与超期服役电站机组的检验与评价、能效测试）
- 与时俱进的学习精神（超临界、超超临界机组的发展，能效测试与评价）
- 高度的社会责任感（公共安全，社会与经济效益）

# 第二章 锅炉类别、参数 及型号

# 本章内容

- § 2-1 锅炉的分类及主要型式
- § 2-2 锅炉的容量、参数和型号
- § 2-3 锅炉发展简史
- § 2-4 锅炉的性能指标

## § 2—1 锅炉的分类及主要型式

### 一、锅炉的分类 I

— 锅炉的分类有多种方法。

按用途

电站锅炉: 发电

工业锅炉: 工业生产

生活锅炉 : 采暖和热水供应

按结构

火管锅炉: 烟气在管内流过

水管锅炉: 汽水在管内流过

## 锅炉的分类 II

按循环方式

### 自然循环锅炉:

具有锅筒，利用下降管和上升管中工质密度差产生工质循环，只能在临界压力以下应用。

### 控制（强制）循环锅炉:

在循环回路的下降管与上升管之间设置循环泵用以辅助水循环并作强制流动，又称辅助循环锅炉，只能在临界压力以下应用。

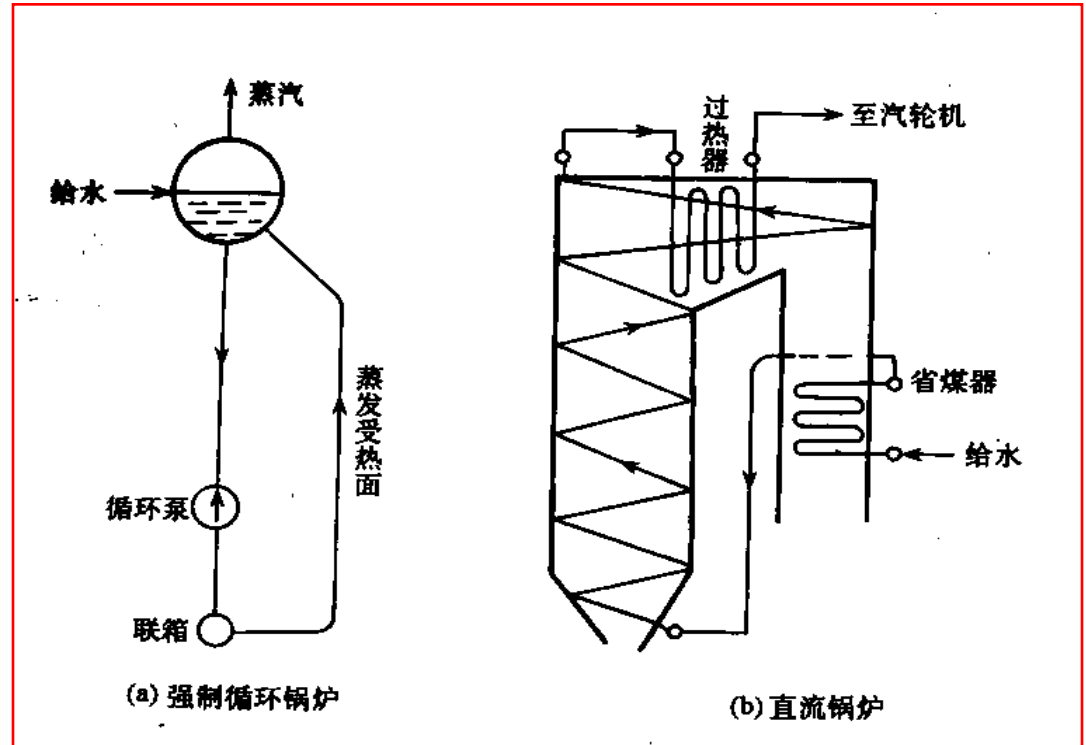
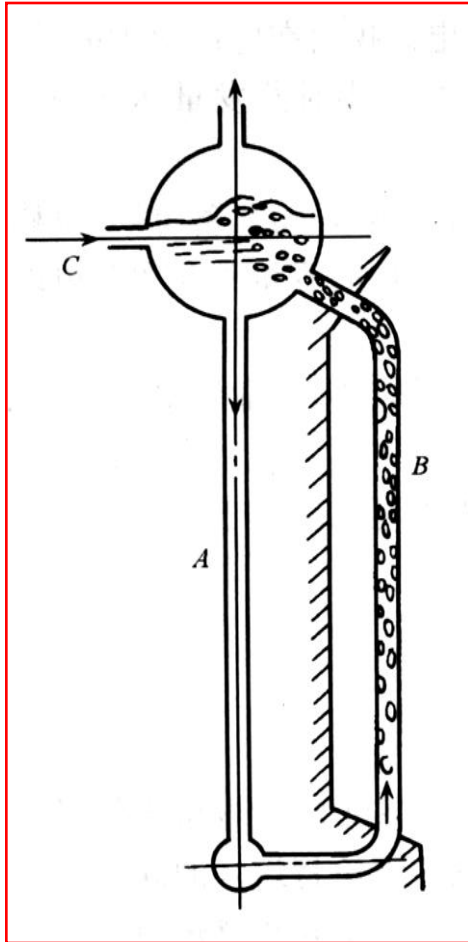
### 直流锅炉:

无锅筒，给水靠水泵压头一次通过受热面，适用于各种压力。

### 复合循环锅炉:

具有再循环泵。锅炉负荷低时按再循环方式运行，负荷高时按直流方式运行。可应用于亚临界压力和超临界压力

# 锅炉概述



## 锅炉的分类 III

按出口工质压力

常压锅炉: 表压为零

微压锅炉: 表压为几十个Pa

低压锅炉: 压力一般 $<1.275\text{MPa}$

中压锅炉: 压力为 $3.825\text{MPa}$

高压锅炉: 压力一般为 $9.8\text{MPa}$

超高压锅炉: 压力一般为 $13.73\text{MPa}$

亚临界压力锅炉: 压力一般为 $16.67\text{MPa}$

超临界压力锅炉: 压力 $23\sim 25\text{MPa}$

超超临界压力锅炉: 压力一般 $>27\text{MPa}$

## 锅炉的分类IV

按燃烧方式

火床燃烧锅炉

火室燃烧锅炉

流化床燃烧锅炉

旋风燃烧锅炉

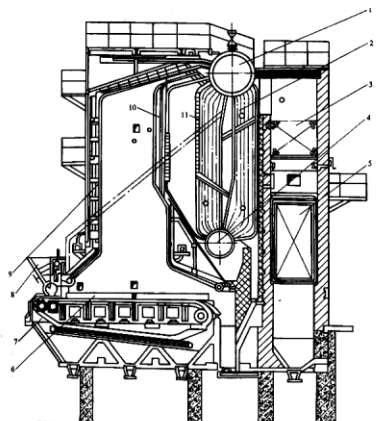
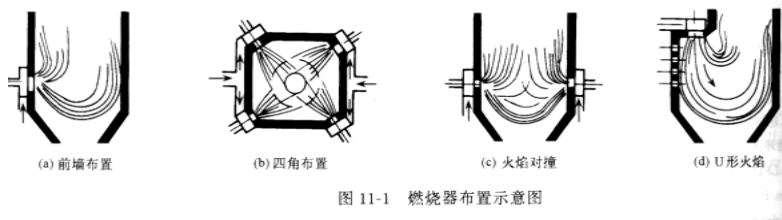
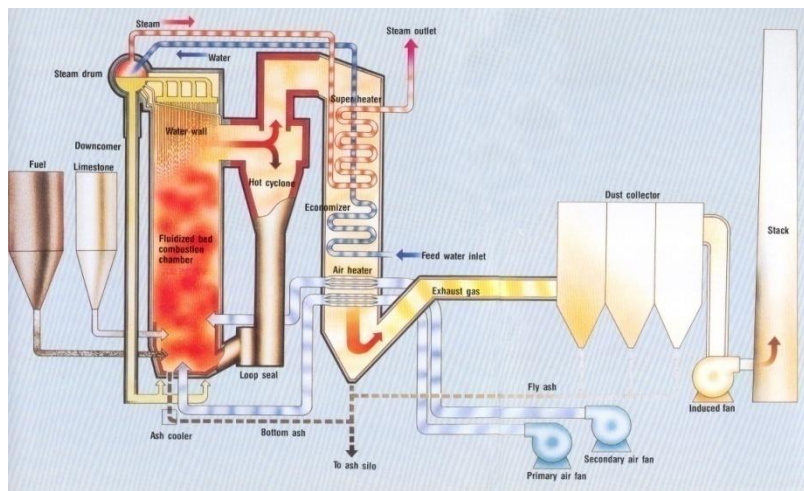


图 7-2 链条炉排炉结构简图  
(锅炉容量  $D=20\text{t/h}$ ; 蒸汽压力  $p=1.3\text{MPa}$ )  
1. 上锅筒; 2. 炉排管架; 3. 省煤器; 4. 下锅筒; 5. 空气预热器; 6. 水冷壁下联箱;  
7. 链条炉排; 8. 煤斗; 9. 水冷壁; 10. 减温管架; 11. 排气阀





# 锅炉概述

按所用燃料或能源

固体燃料锅炉

液体燃料锅炉

气体燃料锅炉

余热锅炉

原子能锅炉？

废料锅炉

按排渣方式

**固态排渣锅炉：**燃料燃烧后生成的灰渣呈固态排出  
燃煤锅炉的主要排渣方式

**液态排渣锅炉：**

燃料燃烧后生成的灰渣呈液态从渣口流出

在裂化箱的冷却水中裂化成小颗粒后排入水沟中冲走

## 锅炉的分类 V

按炉膛烟气压力

- 负压锅炉:** 炉膛压力保持负压, 有送、引风机, 燃煤锅炉主要型式
- 微正压锅炉:** 炉膛表压力为 $2 \sim 5\text{kPa}$ , 不需引风机, 宜于低氧燃烧
- 增压锅炉:** 炉膛表压力大于 $0.3\text{MPa}$   
用于配蒸汽-燃气联合循环

按锅筒数目

单锅筒

双锅筒锅炉

现代锅筒型电站锅炉: 单锅筒型式;  
工业锅炉: 单锅筒或双锅筒型式。

## 锅炉的分类VI

按整体外形

U型  
塔型  
箱型  
T型  
U型  
N型  
L型  
D型  
A型

电站锅炉

工业锅炉

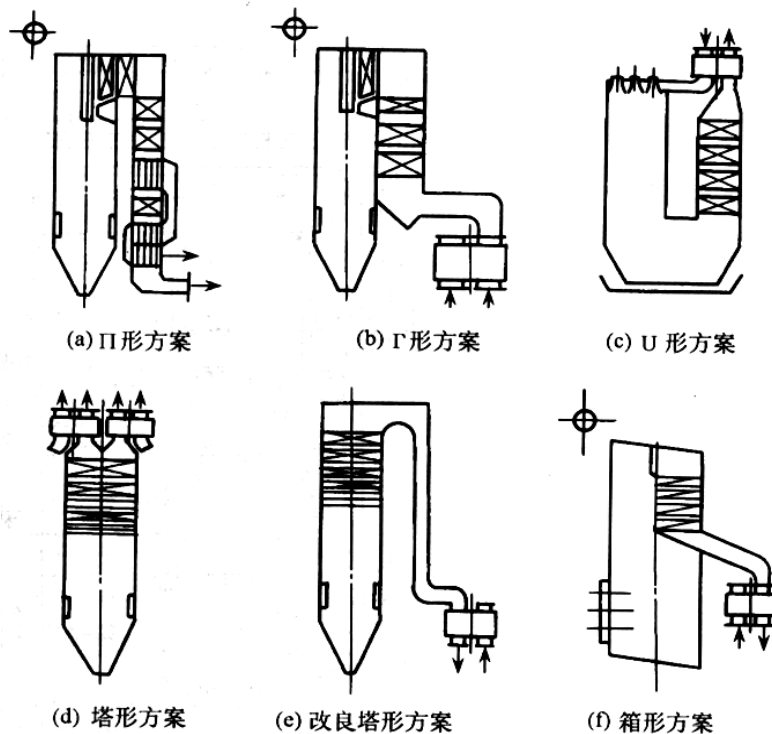
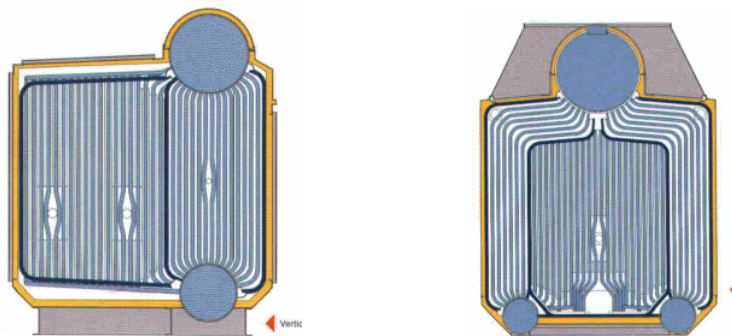
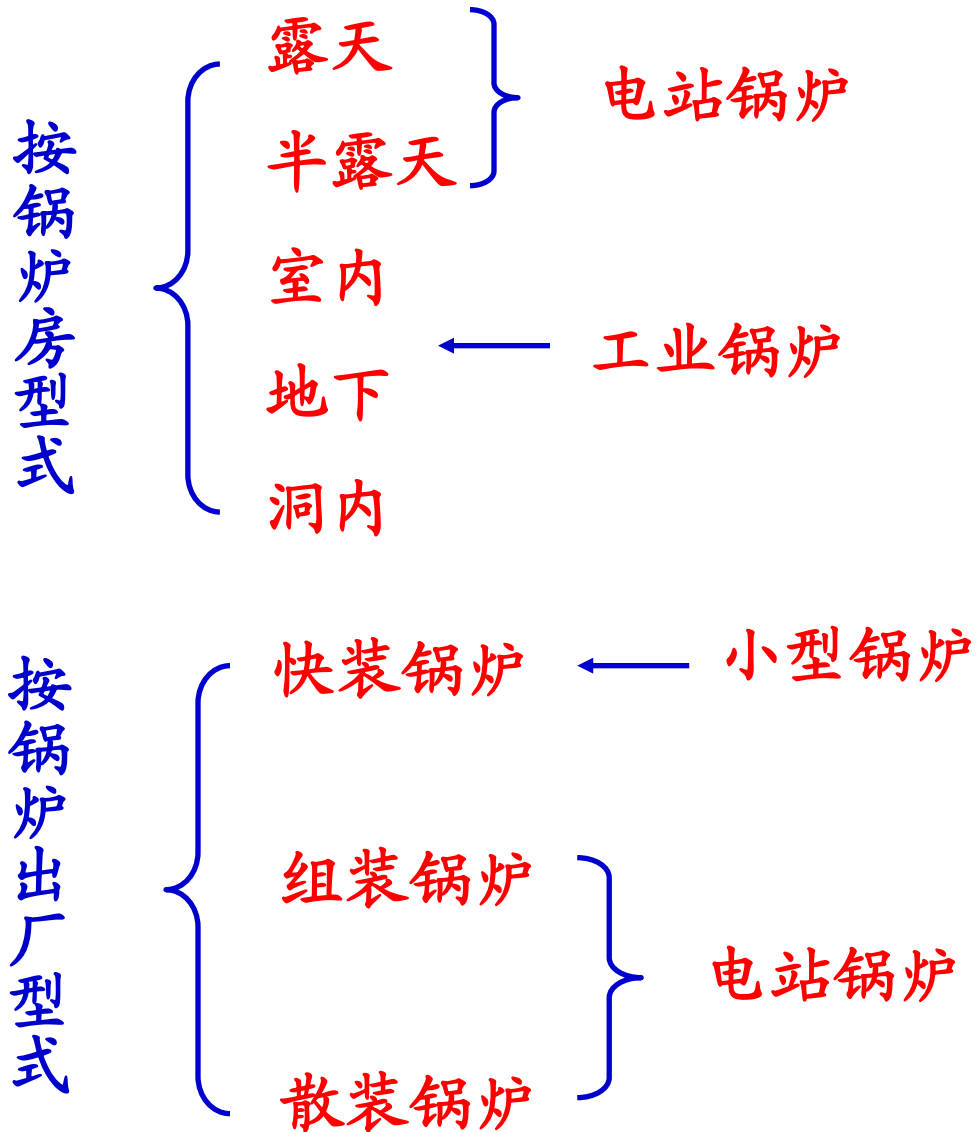


图 4-8 锅炉的总体布置



# 锅炉概述



## § 2—2 锅炉的容量、参数和型号

- 锅炉的大小和锅炉单位时间内所传递的热量的多少密切相关。
- 产生蒸汽的锅炉需要用如下四个参数来描述：
  - 蒸发量 t/h, kg/s
  - 出口蒸汽压力 MPa
  - 出口蒸汽温度 °C
  - 给水温度 °C

## 锅炉参数

- 产生热水的锅炉需要用如下四个参数来描述：
  - 热功率 MW
  - 出口热水压力 MPa
  - 出口热水温度  $^{\circ}\text{C}$
  - 给水温度（回水温度）  $^{\circ}\text{C}$
- 锅炉参数：

一般指：蒸发量、蒸汽压力、蒸汽温度和给水温度  
或者：热功率、出口热水压力、出口热水温度和给水温度（回水温度）。

# 锅炉的参数——锅炉的蒸发量 I

- **锅炉的蒸发量:**

锅炉在确保安全的前提下长期连续运行、每小时所产生蒸汽的数量。

- 又称为“出力”或“容量”

- 符号: D

- 常用的单位: t / h

- **分类:**

- 额定蒸发量

- 经济蒸发量

- 最大蒸发量

# 锅炉的参数——锅炉的蒸发量 II

- **额定蒸发量:**

- 锅炉在额定压力，蒸汽温度、额定给水温度下，使用设计燃料和保证设计效率的条件下连续运行所应达到的每小时蒸发量。
- 新锅炉出厂时，铭牌上所标示的蒸发量就是这台锅炉的额定蒸发量。

- **经济蒸发量 (ECR):**

- 在保证安全的前提下，锅炉连续运行，热效率最高时的蒸发量。
- 锅炉的经济蒸发量应在额定蒸发量的80% ~ 100%范围内。

- **锅炉最大蒸发量 (MCR):**

- 指在规定的工作压力下或低于工作压力下，连续运行，不考虑其经济效果，每小时能产生的最大蒸发量。
- 最大时可大于额定蒸发量的20%。



# 锅炉的参数——锅炉的蒸发量 II

- 国外锅炉功率的单位还有马力（Hp）和锅炉马力（BHp）。
- $1\text{Hp} = 0.745\text{kw}$ ,  $1\text{BHp} = 9.81\text{kw}$
- 欧美蒸汽锅炉蒸发量标示中常注有：“at 212”字样，是说它的蒸发量是指212华氏度的水蒸发为212华氏度的蒸汽量，也就是 $100^{\circ}\text{C}$ 的水蒸发为 $100^{\circ}\text{C}$ 的蒸汽量。这样1kg蒸发量相当于540kcal热量，我们把它称作“当量蒸发量”，即： $1\text{T/h} = 54$ 万kcal/h。
- 显然，1T/h“当量蒸发量”比我国的1T/h蒸发量小。这就是欧洲燃烧器与欧洲锅炉匹配合适，而与我国相同蒸发量锅炉匹配则常常出力不足的主要原因。

# 锅炉的参数——压力和温度

- **锅炉蒸汽压力和温度：**
  - 指过热器主汽阀出口处的过热蒸汽压力和过热蒸汽温度。
  - 对于无过热器的锅炉，用主汽阀出口处的饱和蒸汽压力和温度表示。
- **锅炉给水温度：**
  - 指进省煤器的给水温度
  - 对无省煤器的锅炉指进锅炉锅筒的水的温度。
- **对产生饱和蒸汽的锅炉，蒸汽的温度和压力存在一一对应的关系。**

# 锅炉的容量

- 热水锅炉的容量也用额定供热量表示。
- 严格地讲，容量和压力及温度是相互独立的量。但为了组织社会化生产，各国都制订了锅炉的参数系列。
- 我国的锅炉参数系列分别见表2-1、表2-2和表2-3。 GB/T3166《热水锅炉参数系列》及GB/T1921《工业蒸汽锅炉参数系列》、GB/T 753《电站锅炉蒸汽参数系列》

注意：随着生产的发展，系列是可变动的。

- 受材料强度的限制，锅炉的压力和温度都有限。

# 锅炉概述

## 表2-1 中国工业蒸汽锅炉参数系列

额定蒸发量	额定出口蒸汽压力 MPa										
	0.4	0.7	1.0	1.25		1.6		2.5			
	额定出口蒸汽温度℃										
	饱和	饱和	饱和	饱和	250	350	饱和	350	饱和	350	400
0.1	△										
0.2	△	△									
0.5	△	△									
1	△	△	△								
2		△	△	△			△				
4			△	△			△		△		
6			△	△	△	△	△	△	△		
8			△	△	△	△	△	△	△	△	△
10			△	△	△	△	△	△	△	△	△
15				△	△	△	△	△	△	△	△
20				△		△	△	△	△	△	△
35				△			△	△	△	△	△
65										△	△



# 锅炉概述

## 表2-2 GB/T3166—2004热水锅炉参数系列

额定热 功率	额定出口热水温度 ℃										
	95/70			115/70		130/70		150/90		180/110	
	额定出口热水压力 MPa										
	0.4	0.7	1.0	0.7	1.0	1.0	1.25	1.25	1.6	2.5	
0.1	△										
0.2	△										
0.35	△	△									
0.7	△	△		△							
1.4	△	△		△							
2.8	△	△	△	△	△	△	△	△			
4.2		△	△	△	△	△	△	△			
7.0		△	△	△	△	△	△	△			
10.5					△		△	△			
14.0					△		△	△	△		
29.0							△	△	△	△	
46.0									△	△	
58.0									△	△	
116.0									△	△	



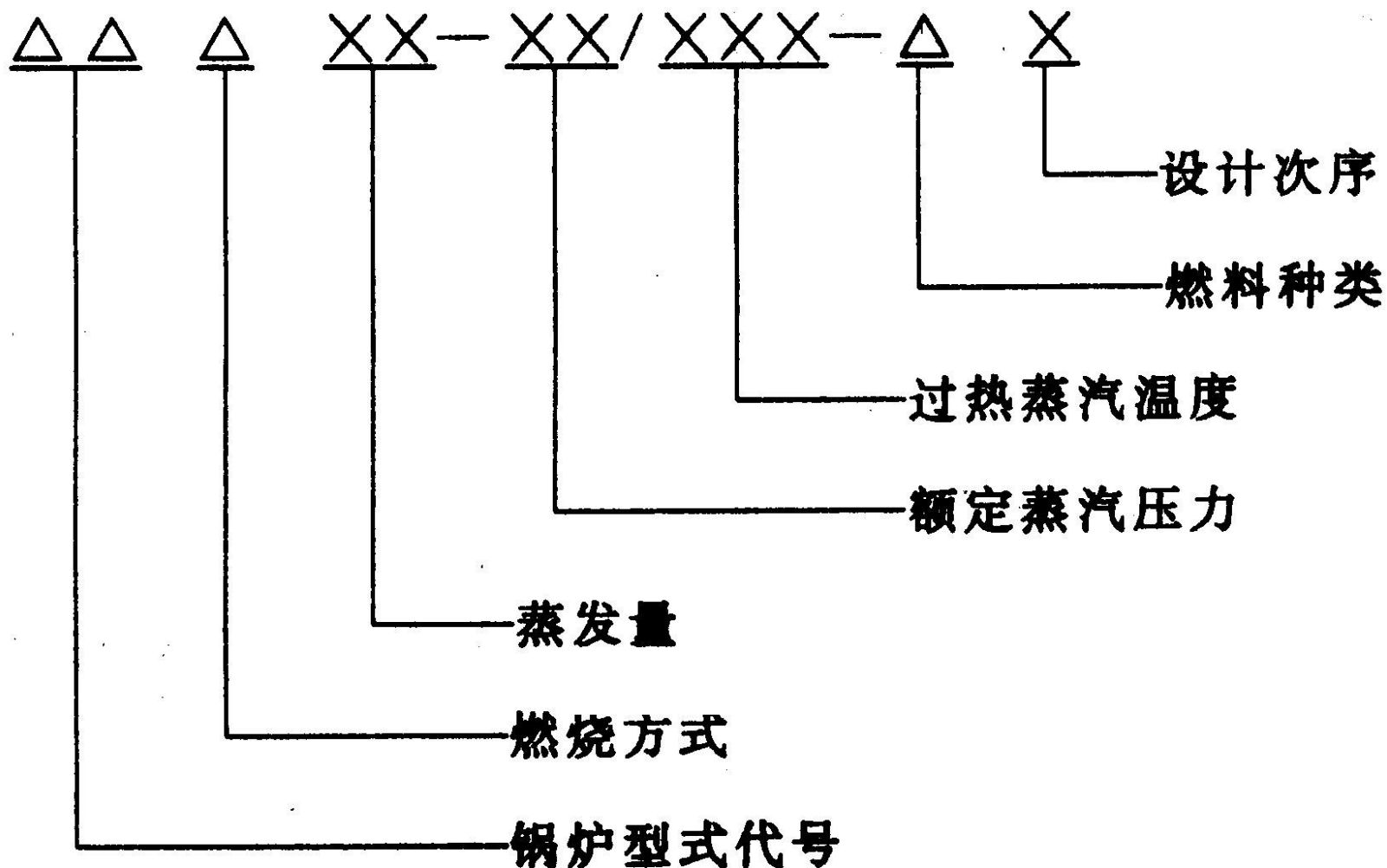
## 表2-3 中国电站锅炉参数系列

额定蒸发量 T/H	额定蒸汽压力MPa					机组 功率 MW
	3.82	9.8	13.7	16.7	>22.1	
35	450					5
65	450					10
130	450					25
220		540	540			50
410		540	540			100
670			540			200
1000				550	555	300
2000				550	555	600

# 我国工业锅炉的型号表示法

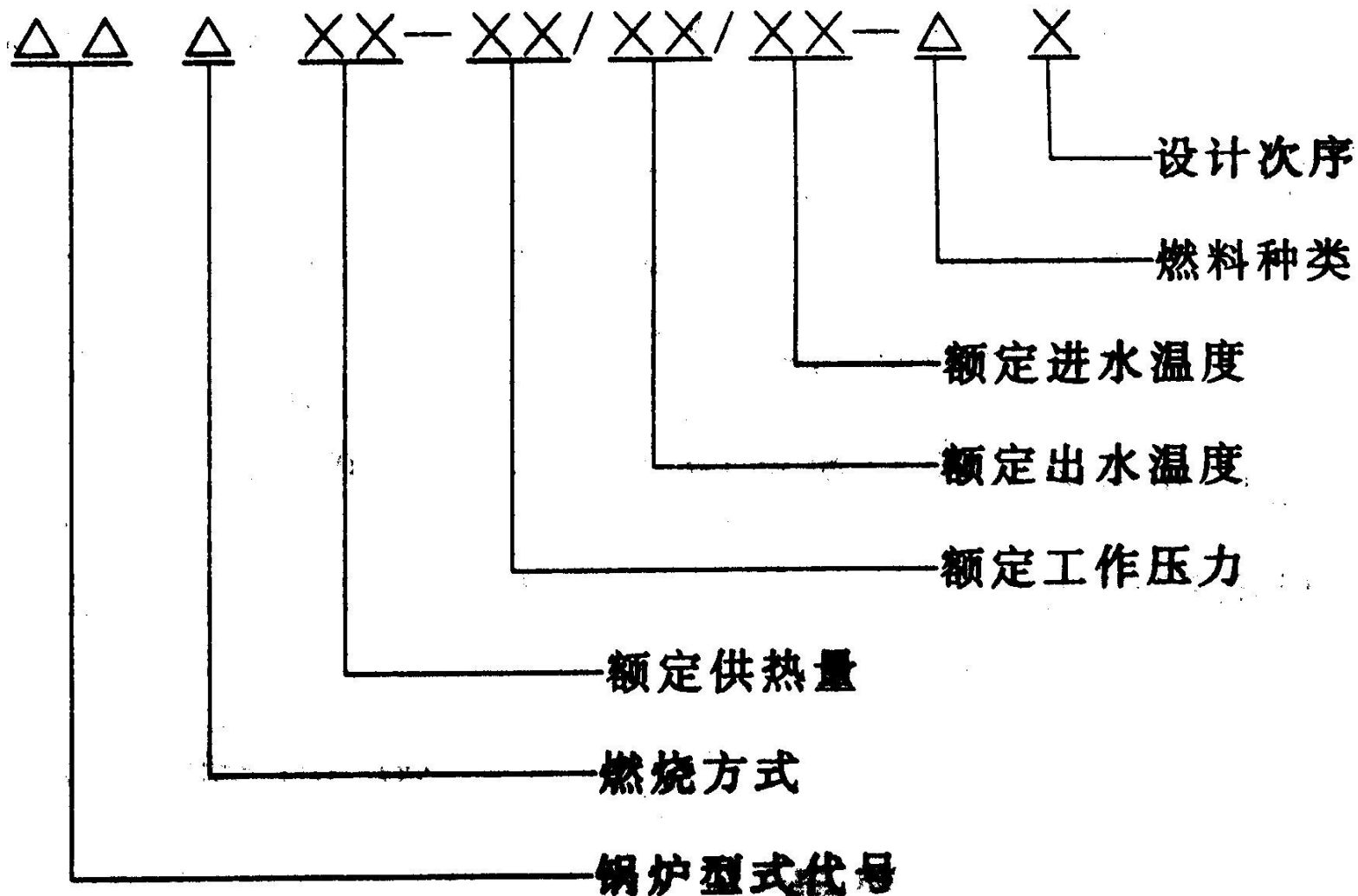
- 为了规范锅炉的表示方法，我国制订了锅炉产品的型号表示法。
- 我国工业锅炉产品型号由三部分组成，各部分用短横线相连。见图2-1和图2-2。

图2-1 工业蒸汽锅炉型号形式





# 图2-2 热水锅炉型号形式



## 工业锅炉的型号表示法 I

### • 第一部分分三段:

- 锅炉型号: 用汉语拼音字母代号, 见表2-4

锅炉型式	代 号	锅炉型式	代 号
立式水管	LS (立, 水)	单锅筒横置式	DH (单, 横)
立式火管	LH (立, 火)	双锅筒纵置式	SZ (双, 纵)
卧式内燃	WN (卧, 内)	双锅筒横置式	SH (双, 横)
单锅筒立式	DL (单, 立)	纵横锅筒式	ZH (纵, 横)
单锅筒纵置式	DZ (单, 纵)	强制循环式	QX (强, 循)

表2-4 工业锅炉型式代号

- 燃烧方式: 用汉语拼音字母代号, 见表2-5

燃烧方式	代 号	燃烧方式	代 号	燃烧方式	代 号
固定炉排	G (固)	倒转炉排加抛煤机	D (倒)	沸腾炉	F (沸)
活动手摇炉排	H (活)	振动炉排	Z (振)	半沸腾炉	B (半)
链条炉排	L (链)	下饲炉排	A (下)	室燃炉	S (室)
抛煤机	P (抛)	往复推饲炉排	W (往)	旋风炉	X (旋)

表2-5 燃烧方式代号



# 工业锅炉的型号表示法 II

- 蒸发量：用阿拉伯数字表示，单位为t/h；
  - 热水锅炉为供热量，单位为MW；
  - 余热锅炉以受热面表示，单位为 $m^2$
- 注：
  - 快装式水管锅炉在型号第一部分用K(快)代替表2-4中的锅筒数量代号。
  - 快装纵横锅筒式锅炉用KZ(快，纵)代号；
  - 快装强制循环式锅炉用KQ(快，强)代号。
  - 常压锅炉的型号在第一部分中增加字母C。

# 工业锅炉的型号表示法III

- 第二部分表示工质参数:

- 对工业蒸气锅炉:

- 两段: 额定蒸汽压力和额定蒸汽温度, 中间以斜线相隔。
- 蒸汽温度为饱和温度时, 型号第二部分无斜线和第二段。

- 对热水锅炉:

- 由三段组成: 额定压力、出水温度和进水温度, 段与段之间用斜线隔开。

## 工业锅炉的型号表示法IV

- 第三部分表示燃料种类及设计次序，共两段：
  - 第一段表示燃料种类（用汉语拼音字母代号，见表2-6可），
  - 第二段表示设计次序（用阿拉伯数字表示），原型设计无第二段。

燃烧种类	代 号	燃烧种类	代 号	燃烧种类	代 号
无烟煤	W (无)	褐煤	H (褐)	稻壳	D (稻)
贫煤	P (贫)	油	Y (油)	甘蔗渣	G (甘)
烟煤	A (烟)	气	Q (气)	煤矸石	S (石)
劣质烟煤	L (劣)	木柴	M (木)	油页岩	YM (油母)

注：1. 如同时燃用几种燃料，主要燃料放在前面。

2. 余热锅炉无燃料代号。

表2-6 燃料种类代号

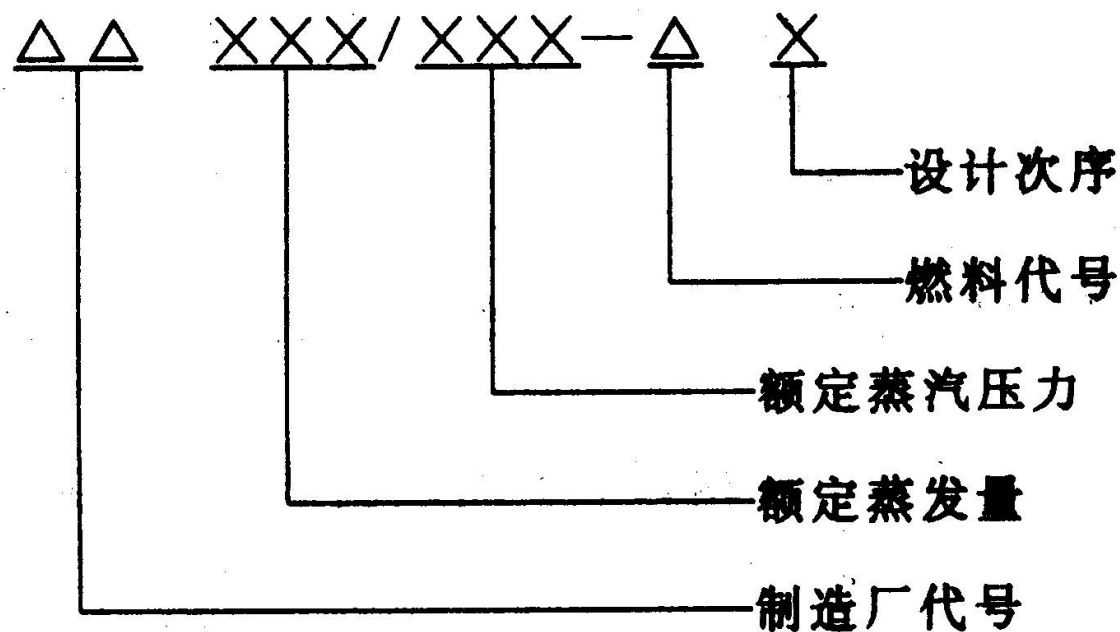
# 工业锅炉的型号表示法举例

- **DZL4-1.25-W**: 表示单锅筒纵置式链条炉排炉，蒸发量4t/h，压力1.25MPa，饱和温度，燃用无烟煤，原型设计。
- **SHS10—1.25/250—A2**: 表示双锅筒横置式室燃锅炉，蒸发量10t/h，压力1.25MPa，过热蒸汽温度250℃，燃用烟煤，第二次设计。
- **QXW2.8—0.7/95/70—A2**: 表示强制循环式往复炉排热水锅炉，额定供热量2.8MW，额定工作压力0.7MPa，额定出水温度95℃，额定进水温度70℃。燃用烟煤，第二次设计。

## 我国电站锅炉型号 I

### • 三部分组成:

- 第一部分表示锅炉制造厂代号 (表2-7);
- 第二部分表示锅炉参数;
- 第三部分表设计燃料代号 (表2-8) 及设计次序。



## 我国电站锅炉型号 II

表2-7 某些电站锅炉制造厂代号

锅炉制造厂名	代 号	锅炉制造厂名	代 号	锅炉制造厂名	代 号
北京锅炉厂	BG	杭州锅炉厂	NG	武汉锅炉厂	WG
东方锅炉厂	DG	上海锅炉厂	SG	济南锅炉厂	YG
哈尔滨锅炉厂	HG	无锡锅炉厂	UG		

表2-8 设计燃料代号

设计燃料	代 号	设计燃料	代 号	设计燃料	代 号
燃煤	M	燃气	Q	可燃煤和油	MY
燃油	Y	燃其他燃料	T	可燃油和气	YQ

- **注：**使用联合设计图样制造的电站锅炉型号，可在型号第一部分工厂代号后再加L表示。



# 电站锅炉型号举例

- **HG—670/13.72—M**：表示哈尔滨锅炉厂制造的670t/h，13.72MPa工作压力的电站锅炉，设计燃料为煤，原型设计。
- **SG—1000/16.66—YM2**表示：上海锅炉厂制造的1000t/h，16.66MPa工作压力的电站锅炉，设计燃料为油煤两用，第二次变型设计。

## § 2—3 锅炉发展简史

- 据考证，公元前200年左右，古希腊一位叫希罗（Hero）的人发明了如图所示的一种可供宫廷欣赏之用的装置。
- 由于下部容器中的水受热后转变成为蒸汽，在反冲力的作用下会使得上方的圆球旋转。
- 据认为，这是利用水蒸汽产生动力最早的装置，也因此被认为是最早的锅炉。

# 锅炉概述

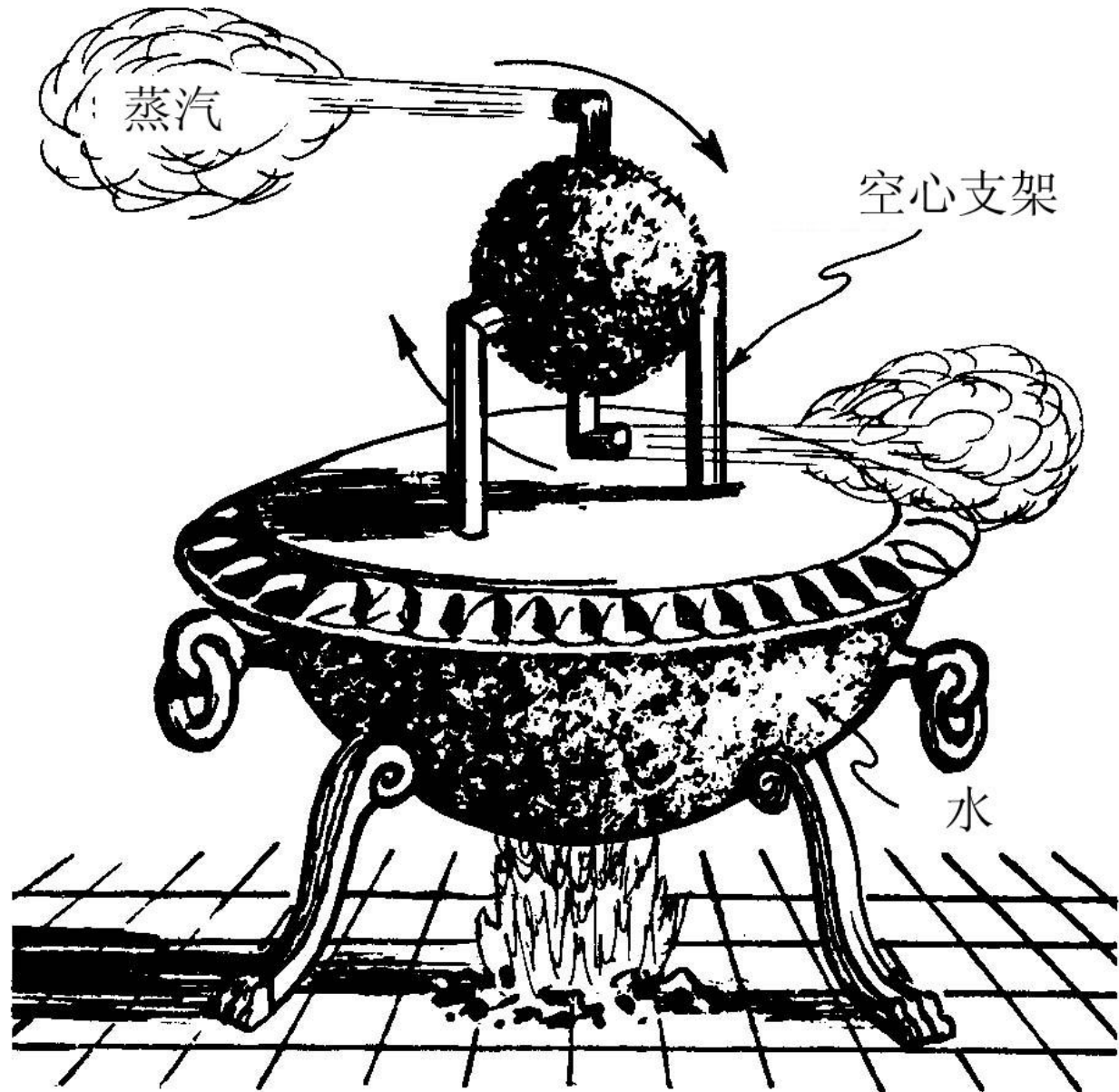


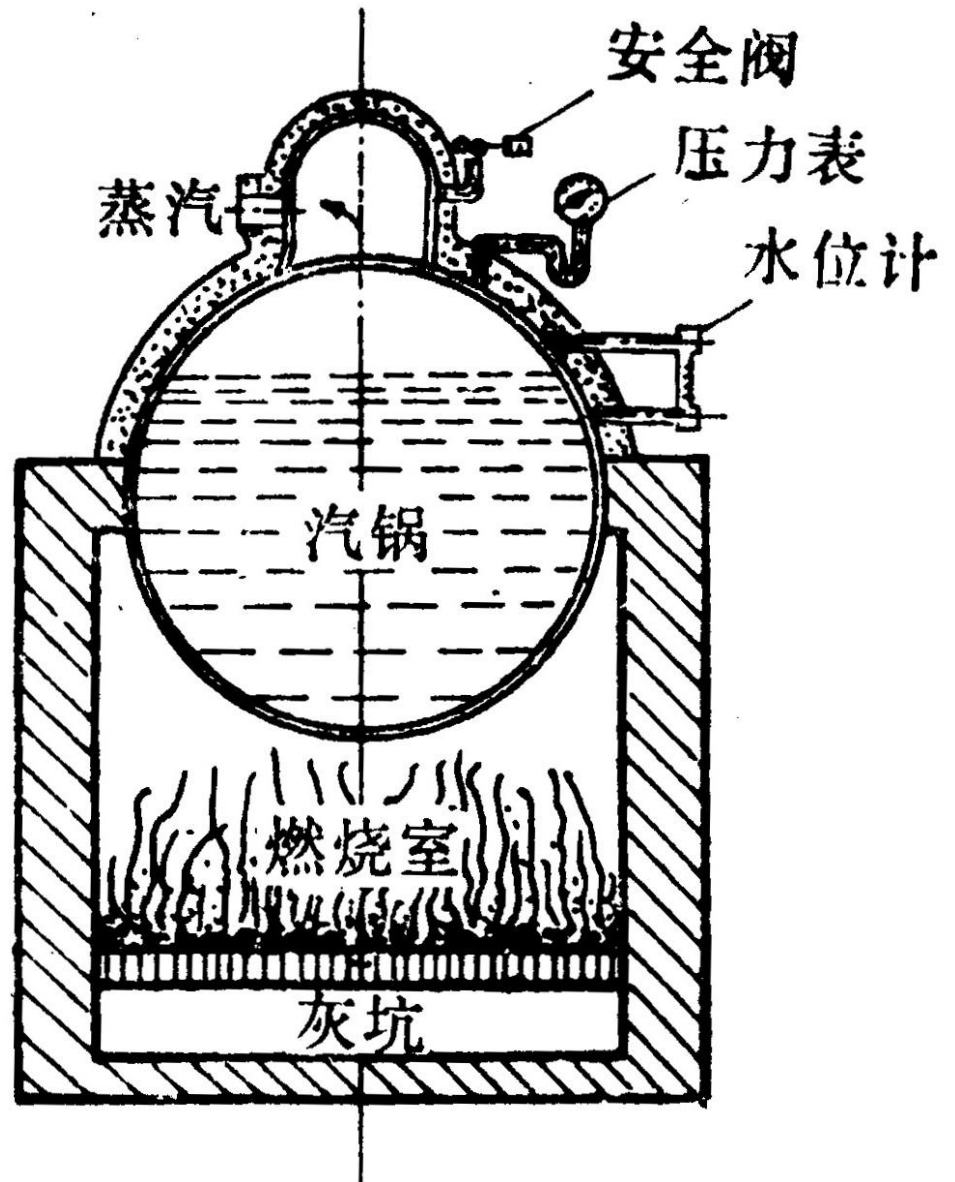
图 2-1-4 Hero 发明的装置

# 锅炉发展简史 II

- 但直到工业革命之前，所谓的锅炉几乎没有发展。
- 工业革命在英国迅速发展后，由于矿井抽水的需求，对动力的需要增大，瓦特在纽卡门的发明基础上，完善了蒸汽机。

# 锅炉概述

- 但当时用于产生蒸汽的锅炉主要为圆筒形，筒外加热，
- 见右图2-5：最简单的锅炉



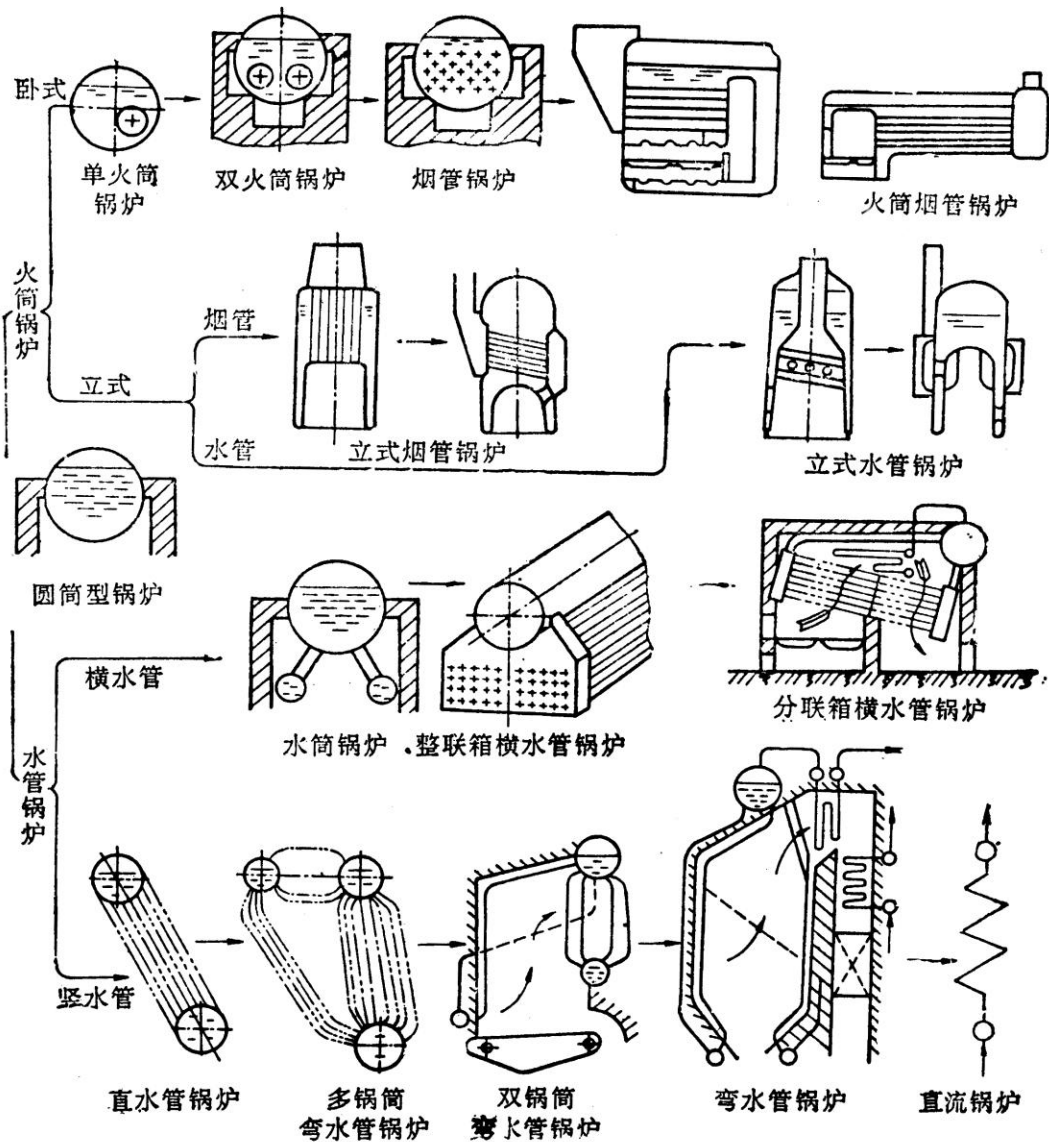
# 锅炉发展简史III

- 随着工业的发展，锅炉向两个方向发展：
  - 在圆筒内部增加受热面积。开始是在一个大圆筒内增加了一火筒，然后两个，直到多个。最后发展为现代的火管锅炉。
  - 增加筒外部的受热面积，即增加水筒的数目。燃料在筒外燃烧，与火管锅炉的发展相似，水筒的数目不断增加，发展成为很多小直径的水管。由于水在管中流动，称为水管锅炉。
- 水管锅炉的发展有两个分支：
  - 横水管锅炉：逐渐被淘汰
  - 竖水管锅炉：现代锅炉的主要形式

# 锅炉概述

图 2-1-6

锅炉发展过程简图



# 锅炉发展简史总结

总之，锅炉的发展史就是为了增加蒸发量、提高蒸汽参数、减少煤耗、节省钢材和改进工艺过程的历史。



# 锅炉发展方向

- **电站锅炉**：向高效率（部分减少污染）、大容量、高参数、低污染、自动化、高可靠性、低成本（金属消耗量）方向发展；
- **工业锅炉**：更注重高效率、低污染、自动化、低成本（金属消耗量）；
- **生活锅炉**：追求低污染、自动化、安全可靠。

## § 2-4 锅炉的性能指标

- 通常用**经济性、可靠性及机动性**3项指标来表示。
- 1. **经济性**：指**热效率、成本、煤耗和厂用电量**等。

### (1) 锅炉热效率：

指送入锅炉的全部热量中被有效利用的百分数

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_r} \times 100\%$$

$Q_1$ ：锅炉有效利用热

指单位时间内工质在锅炉中所吸收的总热量，包括水和蒸汽吸收的热量以及排污水和自用蒸汽所消耗的热量。

# 锅炉概述

$Q_r$ ：单位时间内所消耗燃料的输入热量

指随每kg或每m<sup>3</sup>燃料输入锅炉的总热量，它包括燃料的收到基低位发热量和显热，以及用外来热源加热燃料或空气时所带入的热量。

**锅炉净效率：**指扣除了锅炉机组运行时的自用能耗(热耗和电耗)以后的锅炉效率。

$$\eta_j = \frac{Q_1}{Q_r + \Sigma Q_{zy} + \frac{b}{B} 29270 \Sigma P} \times 100\%$$

式中：

$B$ ：锅炉燃料消耗量，kg / h     $\Sigma P$ ：锅炉辅助设备实际消耗功率，kW

$Q_{zy}$ ：锅炉自用热耗，kJ / kg

$b$ ：电厂发电标准煤（7000KCAL）耗量，kg/kw.h



# 锅炉热效率

- 现代电站锅炉的热效率都在90%以上。
- 火力发电厂一次能源（煤炭）利用率：发电机对亚临界参数为38%左右，对于超临界参数可提高到41%左右，对于超超临界参数可提高到45%左右。

## (2) 锅炉成本 I

- **表示方法：**成本中的重要经济指标**钢材消耗率**
- **钢材消耗率：**
  - **定义：**锅炉单位蒸发量所用的**钢材重量**
  - **单位：** $t \cdot h / t$
  - **锅炉参数、循环方式、燃料种类及锅炉部件结构对钢材消耗率均有影响。**
    - 锅炉蒸汽参数高、容量小、燃煤、采用自然循环、采用管式空气预热器及钢柱构架可使钢材消耗率增大。
    - 蒸汽参数低、容量大、采用直流锅炉、燃油或燃气、采用回转式空气预热器及钢筋混凝土柱构架可使钢材消耗率减小。

# 锅炉成本 II

- 由于钢材、耐火材料等价格经常变化，为了便于比较，往往用**钢材消耗量**来表示锅炉成本。
- **增大单机容量和提高蒸汽参数是减少金属耗量和投资费用的有效途径。**
  - 一般来说，机组容量由300MW提高到600MW，每kW投资可降低10%-15%；
  - 由亚临界压力增加到超临界压力，每kW投资增加1%-5%。所以超临界与大容量相结合，机组的综合经济效益可大大提高。
  - 国外资料显示，一台600MW机组与两台300MW机组相比，电站单位造价可降低10%，运行人员和检修费用降低一半，金属耗量减少20%，基建劳动消耗减少30%。

## (3) 煤耗和厂用电量

- 在电厂运行中用煤耗和厂用电量作为经济考核指标。
- 发电(或供电)煤耗率:  
每发出(或供应)1 kW·h的电所消耗的煤量。
  - 与机组参数有关, 参数越高, 供电煤耗越低。
  - 燃料种类, 负荷方式, 厂房布置条件, 单机容量以及其他一些条件也影响供电煤耗。
- 厂用电率:  
辅机设备用电量占机组发电量的比。
  - 与辅机设备的配置选型密切相关, 尤其是燃料制备系统, 还受燃料品种、燃烧方式的影响。

## 2. 锅炉可靠性

- 常用下列3种指标来衡量:

连续运行时间=两次检修之间的运行时间 (用小时表示)

$$\text{事故率} = \frac{\text{事故停用时间}}{\text{运行总时间} + \text{事故停用时间}} \times 100\%$$

$$\text{可用率} = \frac{\text{运行总时间} + \text{备用总时间}}{\text{统计时间总时间}} \times 100\%$$

目前中国电站锅炉的较好指标是:

连续运行时间在4000h以上; 可用率约为90%。



## 3. 机动性

- 随着现代社会生活方式和用电负荷新的变化，要求锅炉运行有更大的灵活性和可调性。
- 在电站负荷方面，除基本负荷、调峰负荷和循环负荷外，还应具有承担最低负荷的能力。
- 从运行压力来看，存在定压、滑压等运行方式。

# 机动性的要求

- 机动性的要求:

快速改变负荷，经常停运及随后快速启动的可能性和最低允许负荷下持久运行的可能性。这些要求已成为锅炉产品的重要性能指标。

- 另外，燃煤锅炉在遇到煤质降低，燃用劣质燃料，燃料品种改变等都会降低机组的机动性。

## 第三章 电站锅炉的基本组成及一般工作过程

## 本章内容

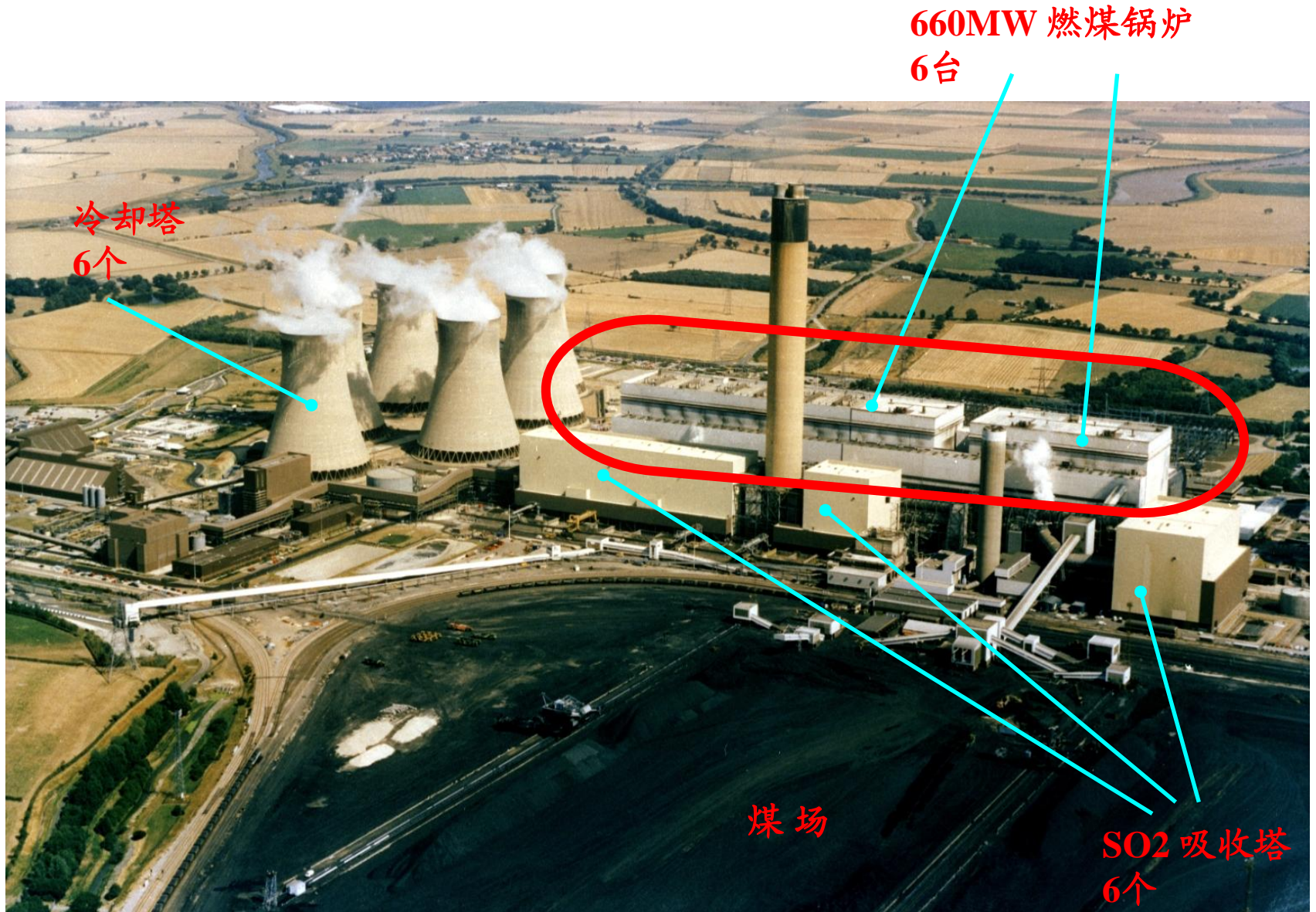
- § 3-1 基本概念
- § 3-2 电站锅炉基本组成
- § 3-3 电站锅炉的一般工作过程

## § 3-1 基本概念

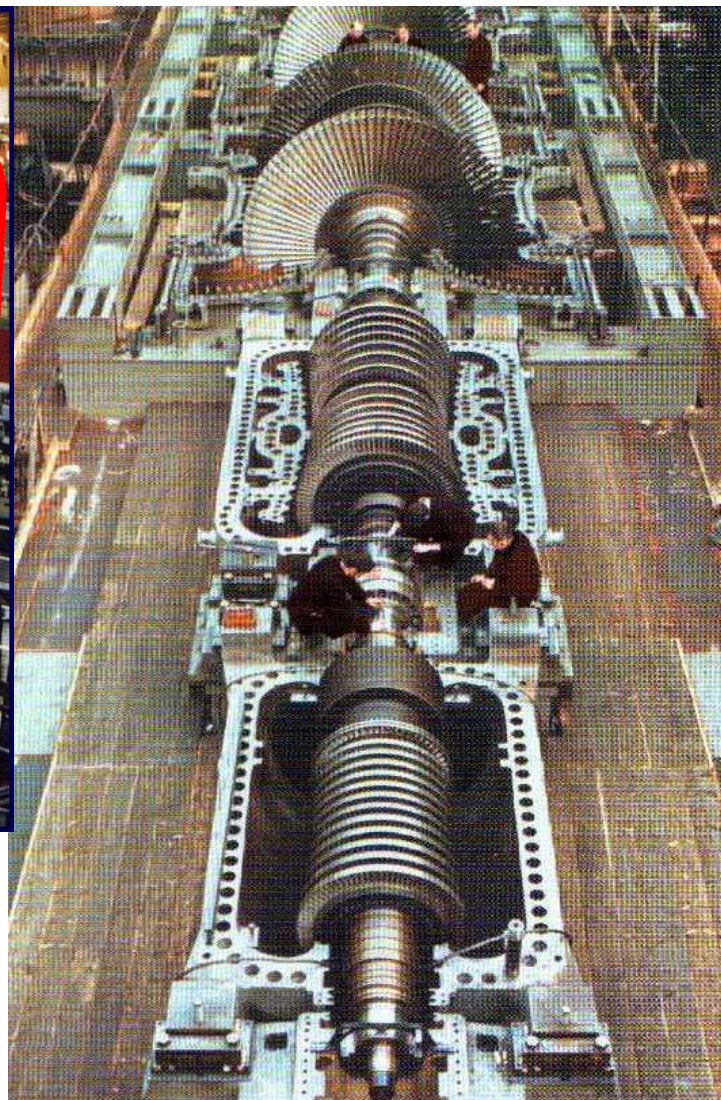
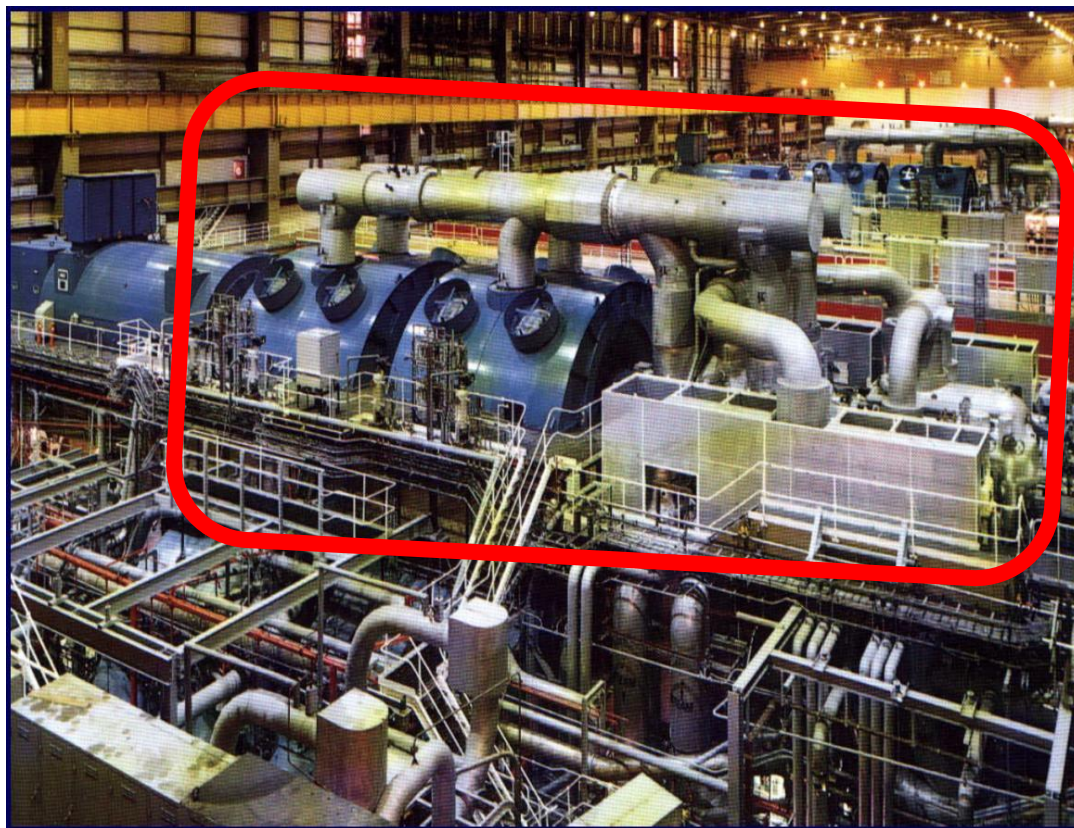
### 火力发电厂三大主机

- 电站锅炉
- 蒸汽轮机
- 发电机

# 电站锅炉概述



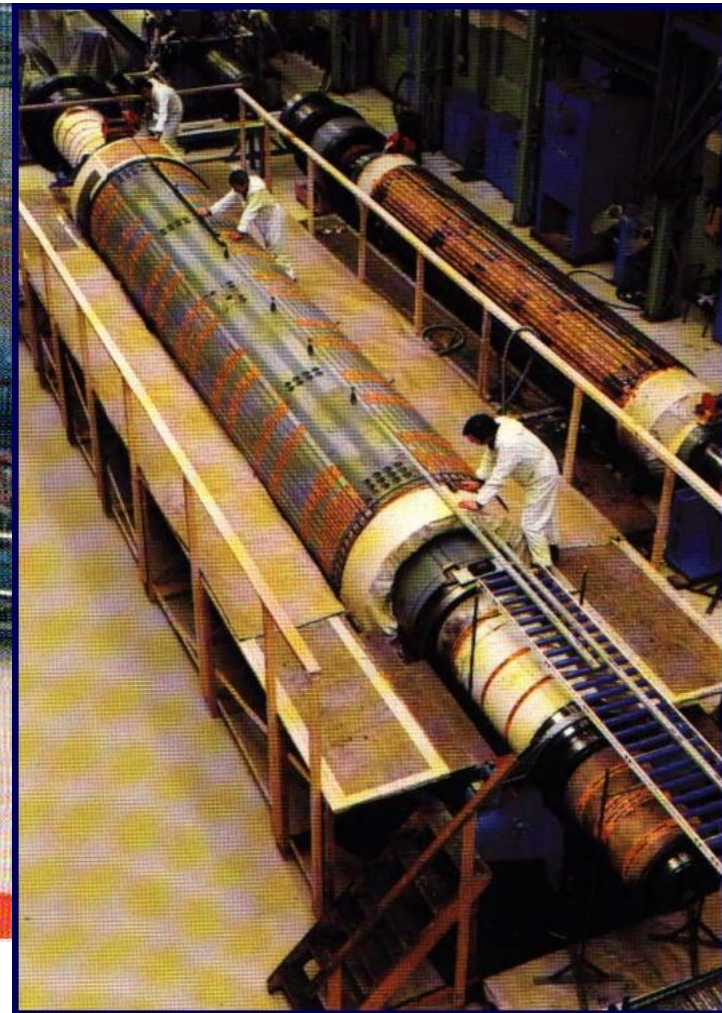
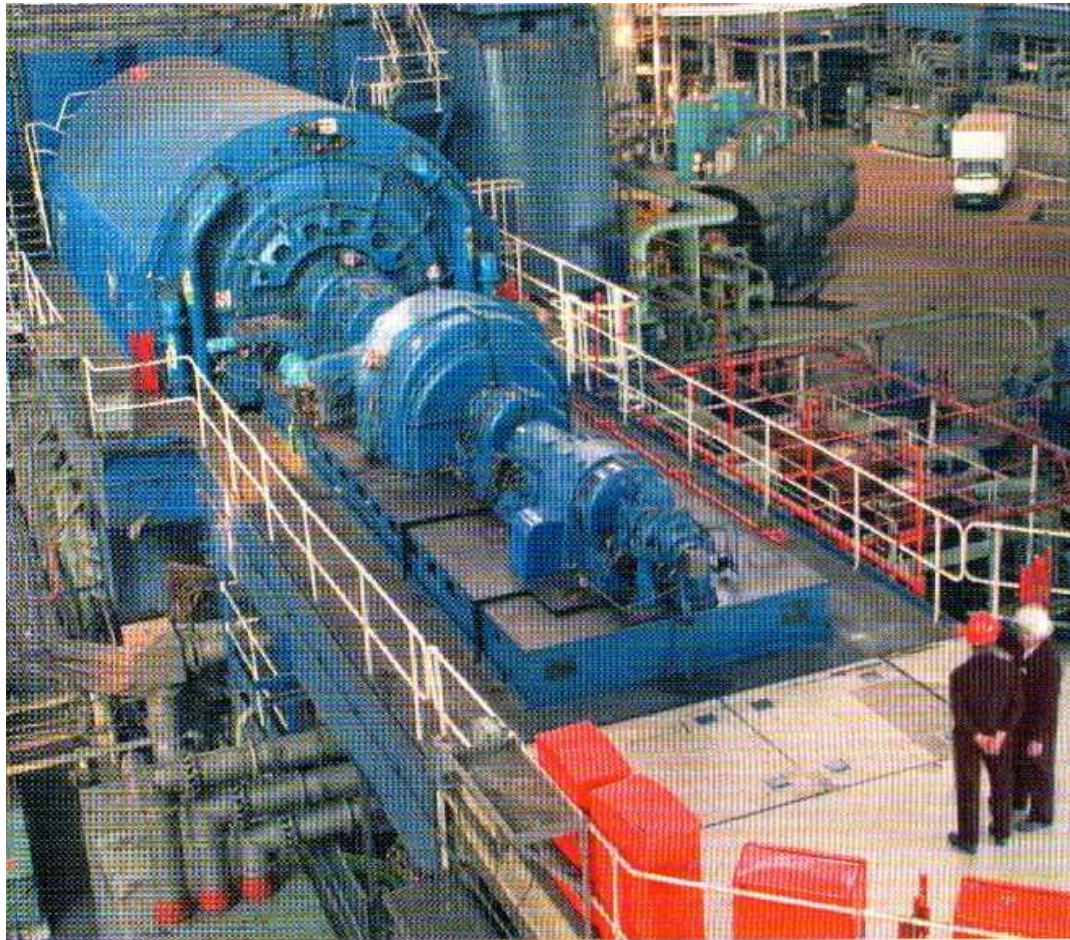
# 电站锅炉概述



高温:  $\sim 540\text{ }^{\circ}\text{C}$   
高压:  $\sim 17.0\text{ MPa}$   
高速: 3000 转/分钟



# 电站锅炉概述



600MW等级的发电机





## 电站锅炉四大管道

- 主蒸汽管道
- 再热热段管道
- 再热冷段管道
- 主给水管道

## 电站锅炉受热面管（四小管）

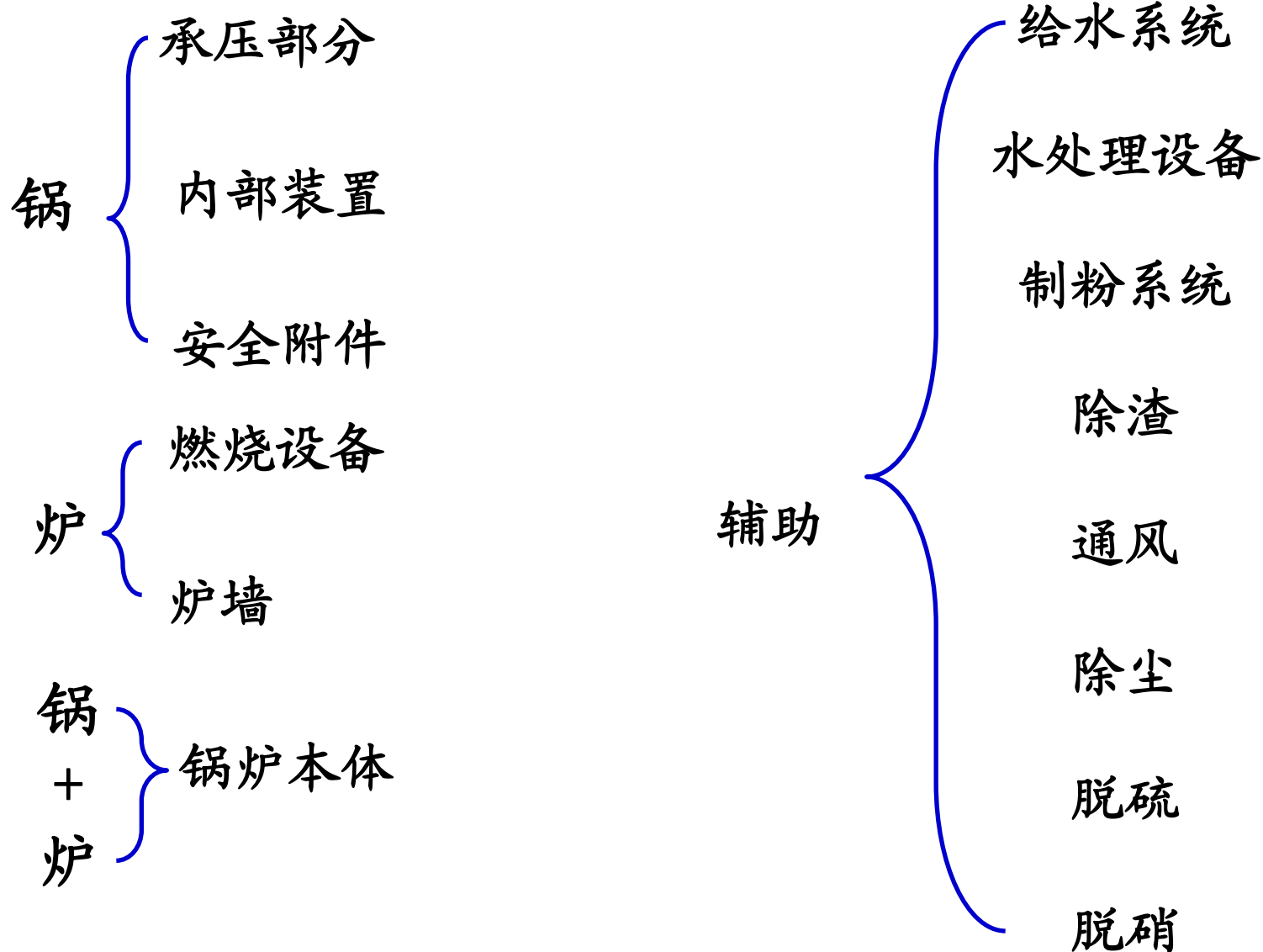
- 水冷壁管
- 过热器管
- 再热器管
- 省煤器管

## § 3-2 电站锅炉基本组成

•锅炉本体指由锅筒、受热面及其集箱和连接管道，炉膛、燃烧器、空气预热器（包括烟道和风道），构架（包括平台和扶梯），炉墙和除渣设备等所组成的整体。；

•辅助设备：指指由锅炉本体及配合锅炉本体工作的其它设备或机械构成的成套装置。包括：鼓引风设备，运煤、除灰渣设备，制粉设备（煤粉燃烧锅炉），给水设备，水处理设备及烟气除尘、脱硫及脱硝设备等。

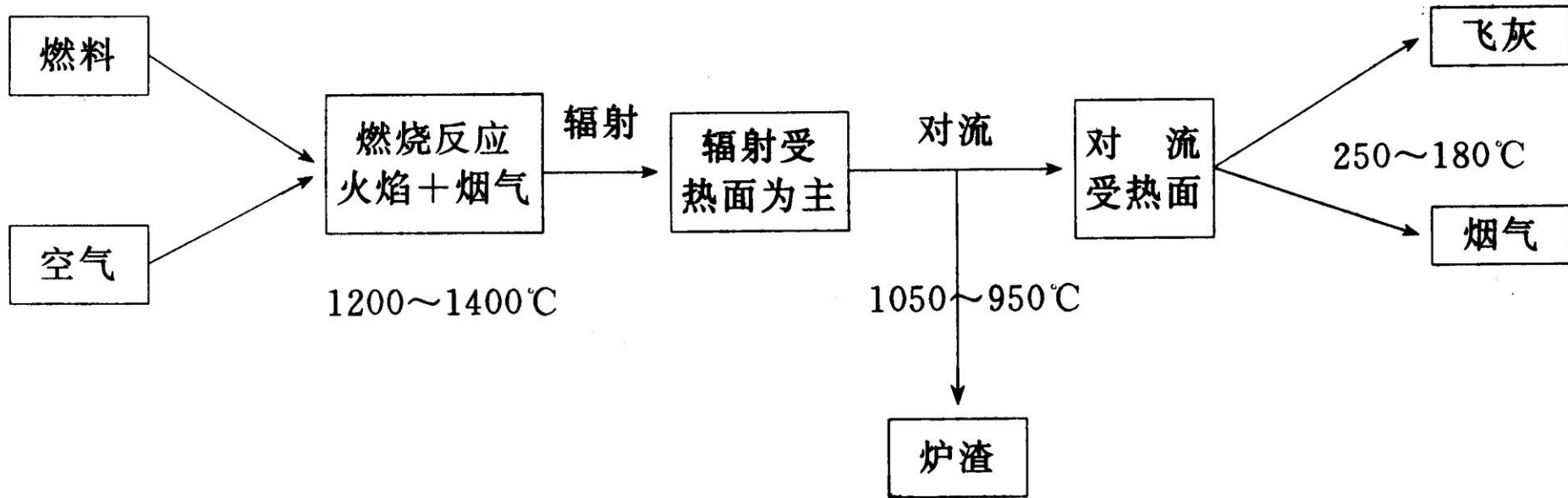
# 电站锅炉概述



## § 3-3 电站锅炉的一般工作过程

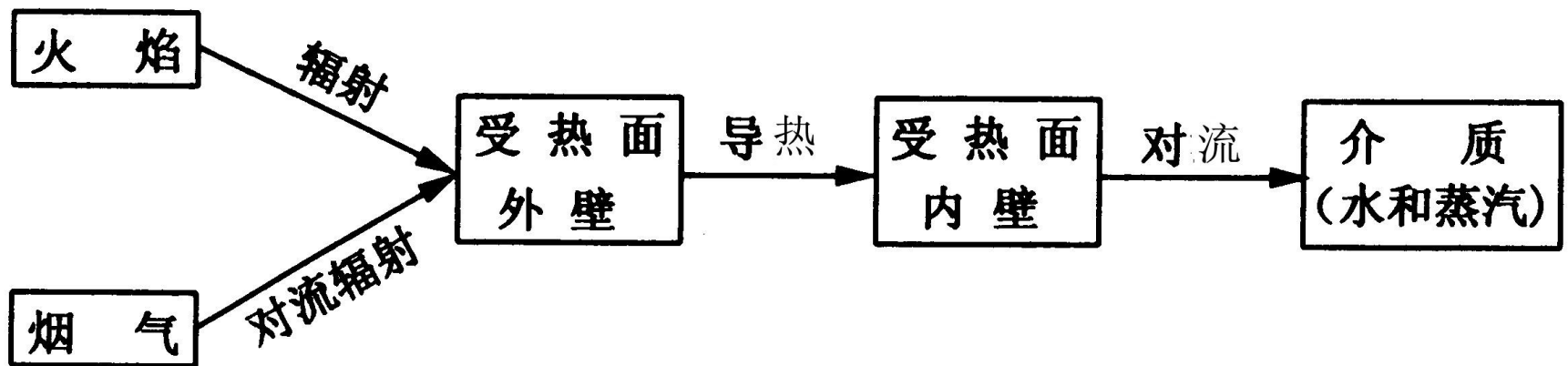
### (1) 燃料的燃烧过程（炉内过程）：

燃料中的化学能被释放出来并转化成为被烟气所携带的热能。



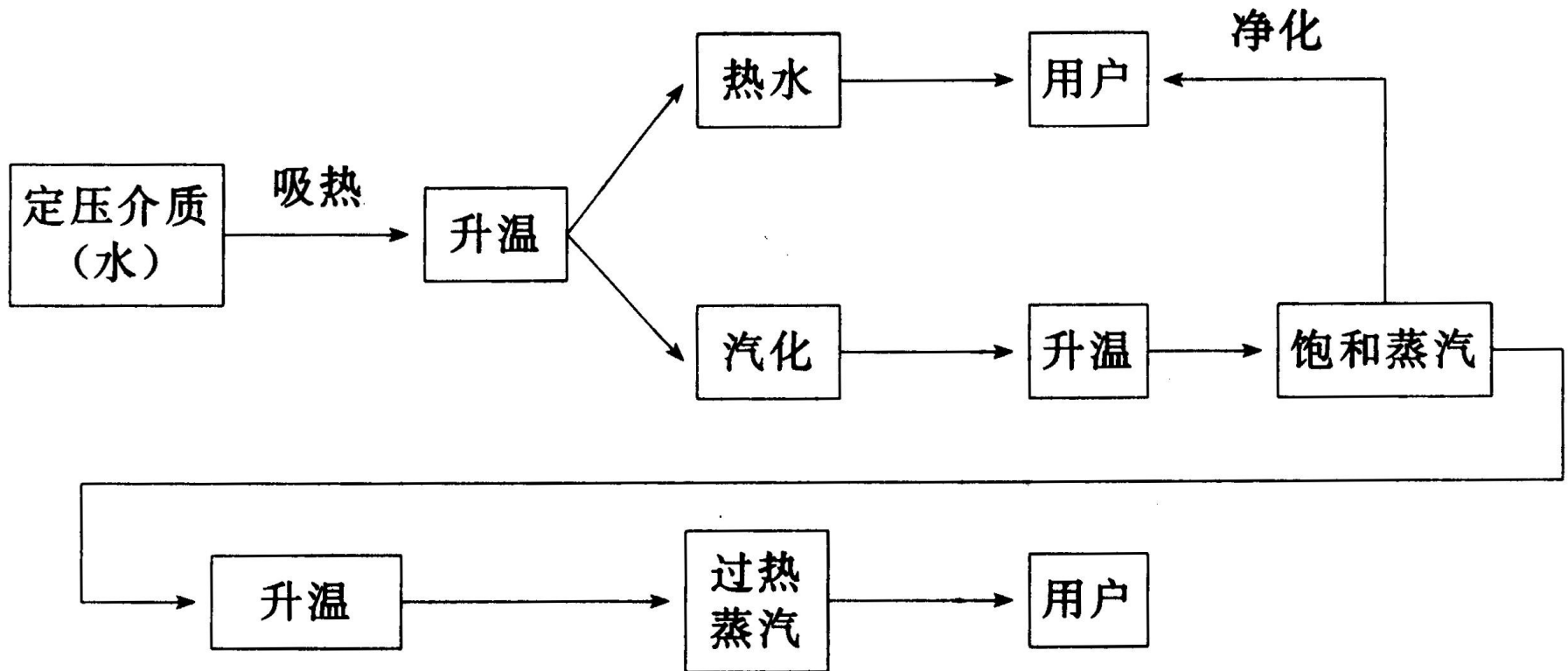
## (2) 传热过程:

在这个过程中，烟气所携带的热能通过锅炉的各种受热面传递给锅炉的工质。



## (3) 工质的升温、汽化、过热过程：

在这个过程中，工质吸收热量而被加热到所期望的温度。这一过程也称为锅内过程。

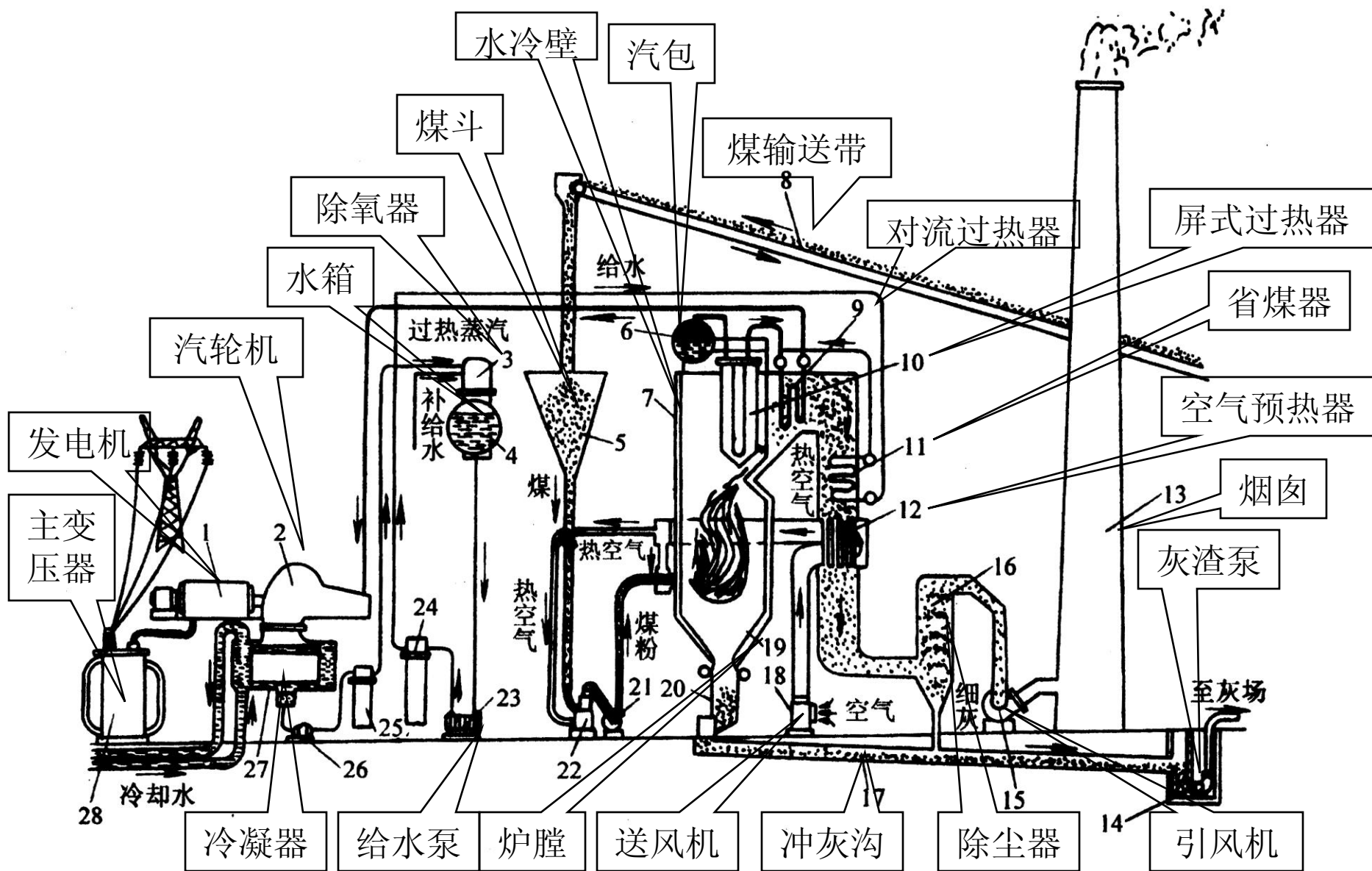


## 电站锅炉三个流程

- 燃料、空气的流程
- 烟气流程
- 汽水流程



# 电站锅炉概述



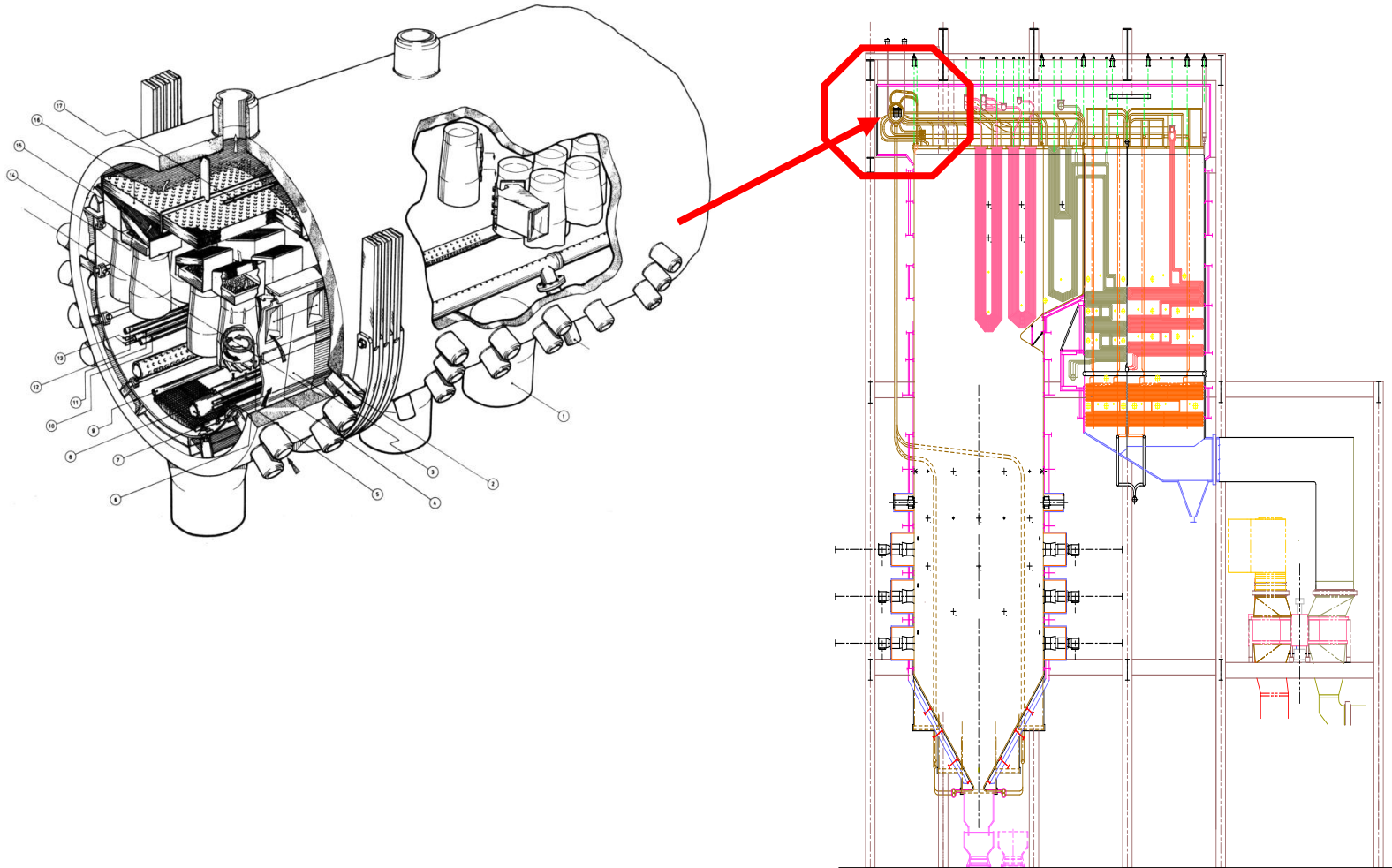
# 第二部分 电站锅炉结构

# 第四章 锅筒以及锅炉各种受热面的作用及结构

## 本章内容

- § 4-1 锅筒
- § 4-2 水冷壁、凝渣管和对流管束
- § 4-3 过热器及再热器
- § 4-4 省煤器及空气预热器

## § 4-1 锅筒

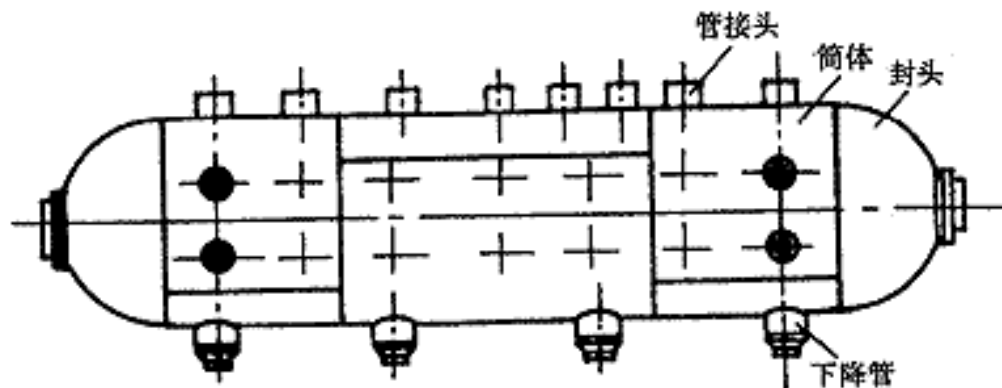


## § 4-1 锅筒

●一般是由钢板卷制、焊接加工而成的圆筒形容器，有三部分：中间部分是筒体部分，水管锅炉的筒体开有很多管孔，是用来连接受热面管（对流管，水冷壁管）及下降管的。锅筒与受热面管的连接有焊接和胀接两种。

## 作用：

- 汽水分离、提高蒸汽品质、提高锅炉过热器受热面及汽轮机的安全性。
- 作为循环回路的闭合件将锅炉各部分的受热面如：水冷壁、省煤器、过热器、对流管束连接起来。
- 内部装有汽水分离器。

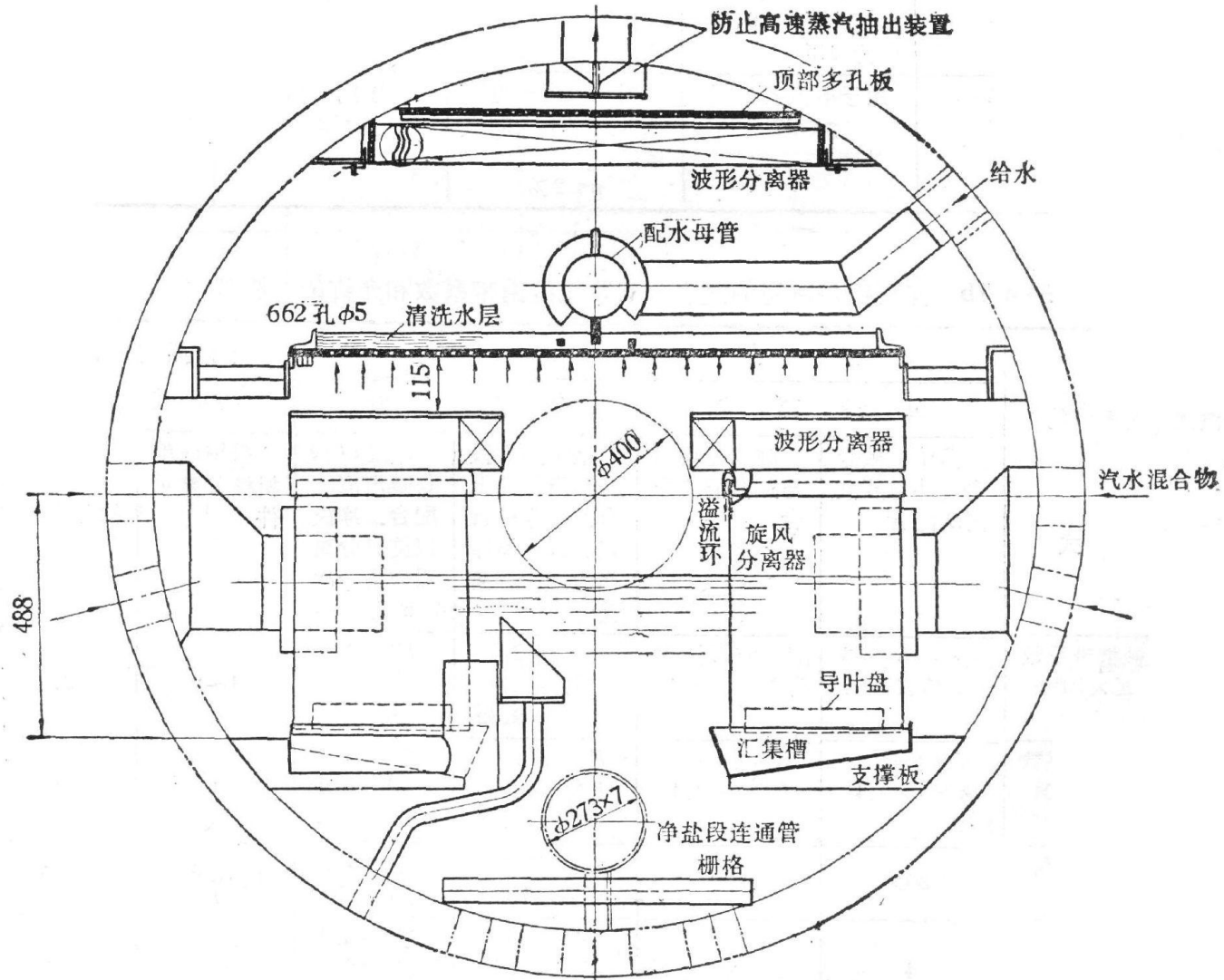


## 锅筒结构要求:

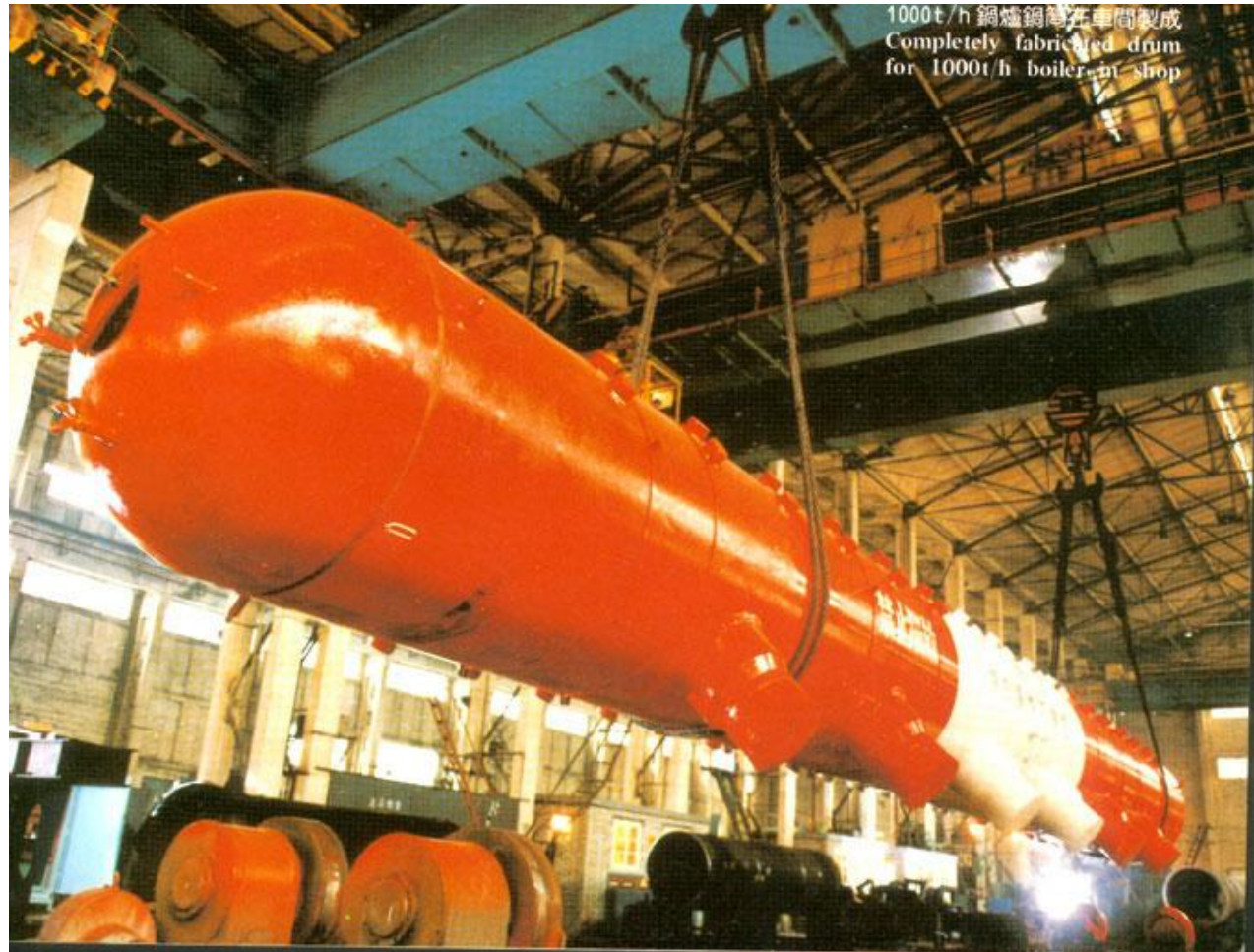
- 适当的尺寸，使其具有足够的蒸汽容积和水容积。
- 正确选择汽水分离系统及锅筒内部装置，使其满足蒸汽品质，及水循环可靠性要求。
- 合理布置锅筒内各种管道，如给水引入管、饱和蒸汽引出管、汽水混合物引入管、下降管、排污管、及加药管等。



# 电站锅炉结构



# 电站锅炉结构



配300MW火力发电机组的锅炉(1025t/h)锅筒  
全焊接结构：重210t、直径1.782m、长30m

## 锅筒主要失效方式和典型位置：

### ●低周热疲劳

**原因：**频繁启停和变动负荷+汽包壁厚大产生温差值

**典型位置：**筒体内壁、集中下降管座、人孔加强圈、内部构件、给水套管、加药管孔、安全阀管座

### ●氧腐蚀

**原因：**给水带氧

**典型位置：**筒体内壁、下降管孔、给水套管及管孔、加药管孔、再循环管孔、安全阀管座

### ●苛性脆化

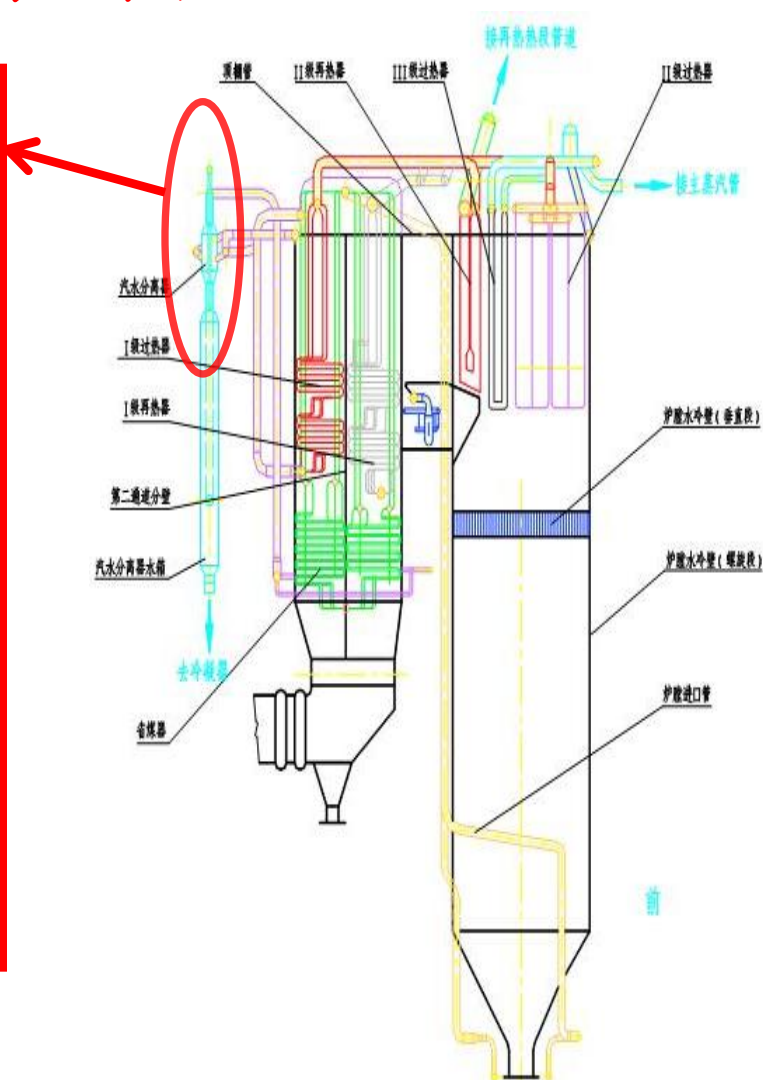
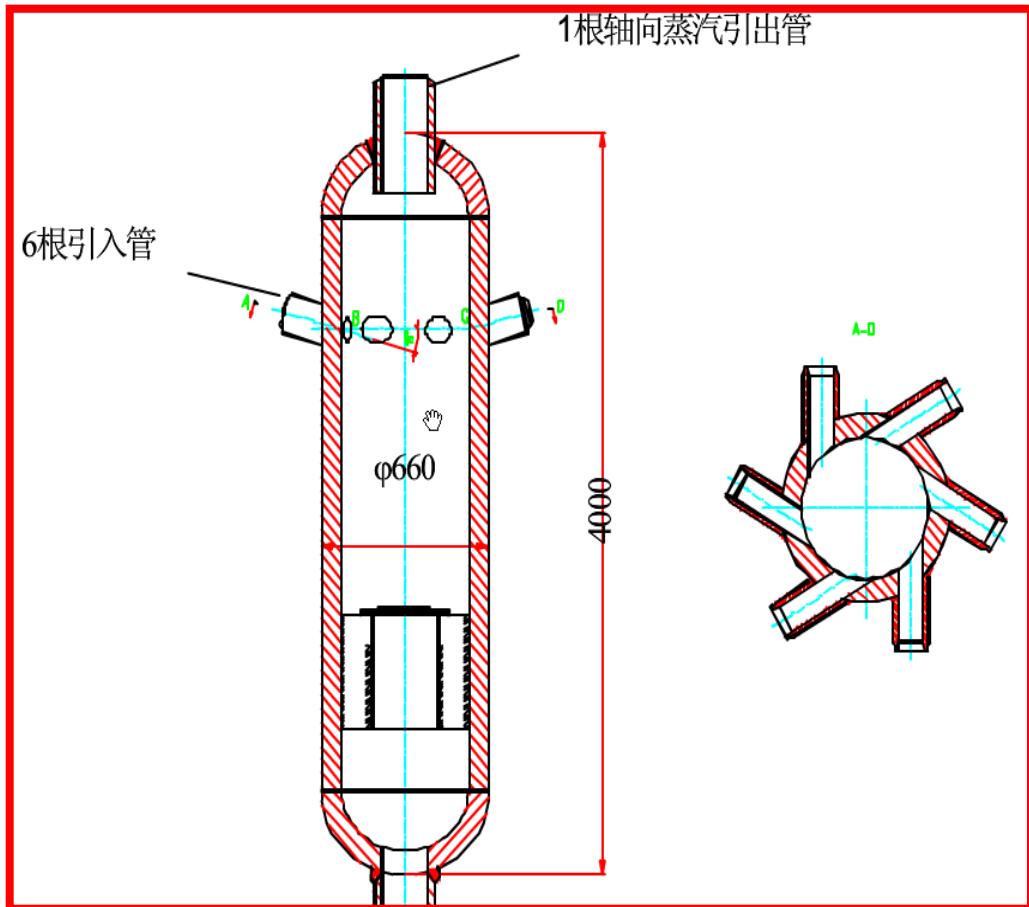
**原因：**金属在拉应力区域内，由于高度浓缩的碱性溶液的腐蚀作用

**典型位置：**锅水碱度过高以及可能发生锅水浓缩的位置，如汽包及蒸发管的胀口处、焊口处，以及有裂纹、狭缝、凹陷等部位，或有锅水长期渗漏的部位

## 类似部件——启动（汽水）分离器：

超（超）临界锅炉在运行过程中，水冷壁上段内部工质全部变成气态，所以不需要锅筒进行汽水分离。但在锅炉启动初期，在水冷壁出口出来的还是汽水混合物，这样就需要有一个装置——汽水（启动）分离器，把初期运行产生的汽水进行分离，一般在运行达到30%BMCR后，水冷壁出口工质就全部转变为气态了，这时启动分离器就从循环回路中断开（外置式断开，内置式紧关闭相关阀门）。也就是说启动分离器主要作用就是在锅炉启动初期进行汽水分离的作用

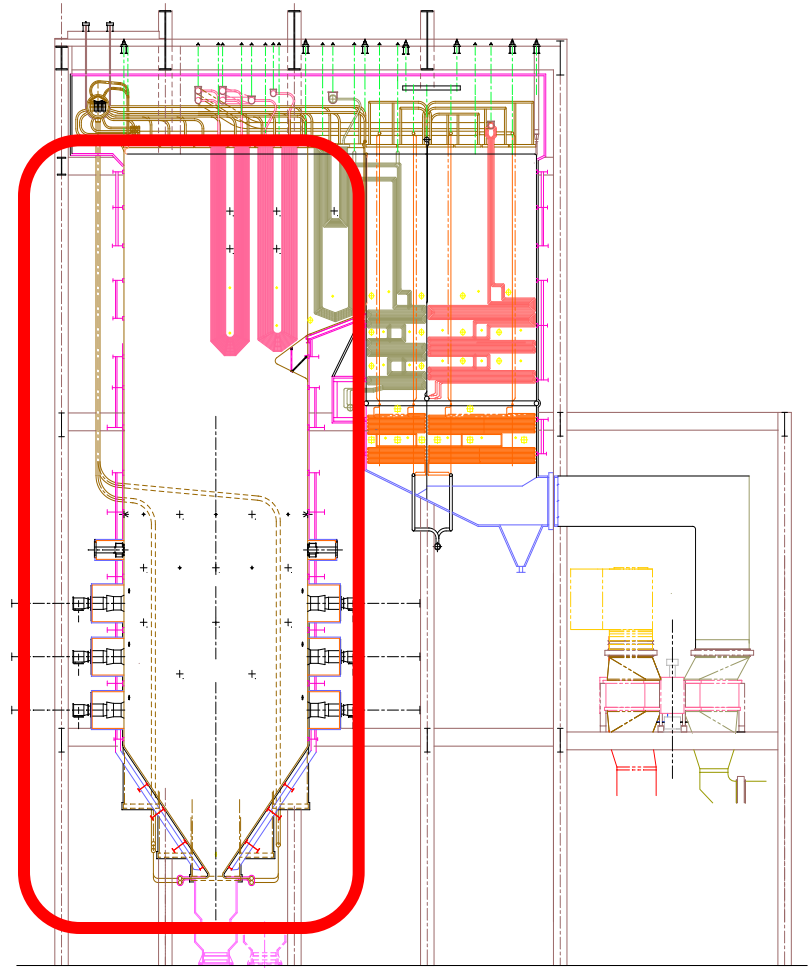
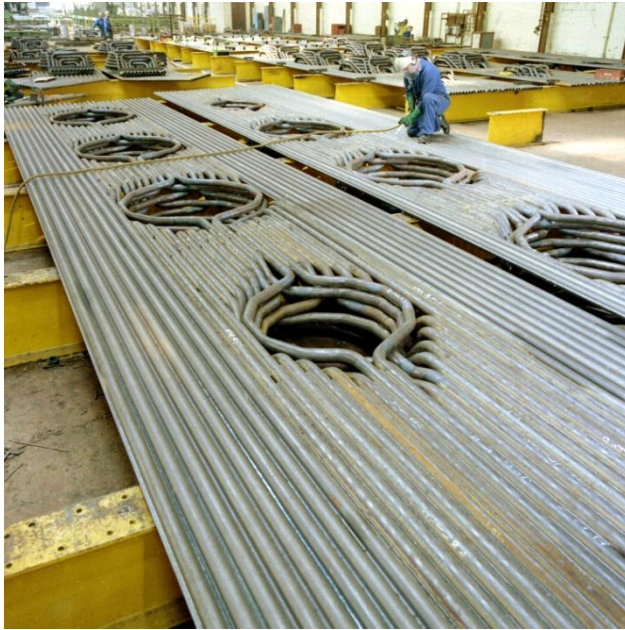
## 启动（汽水）分离器



## § 4-2 水冷壁、凝渣管和对流管束

- 水冷壁、凝渣管和对流管束在蒸汽锅炉中也称蒸发受热面。
- 一、炉膛水冷壁
- 二、凝渣管束
- 三、锅炉管束

## 一、炉膛水冷壁 I



- 定义:所谓的炉膛水冷壁就是布置在炉膛四周的、管内流动介质一般为水或汽水两相混合物的受热面。管内工质一般向上流动,因而水冷壁也称上升管。
  - 水冷壁的基本作用:
    - (1) 吸收炉膛内火焰的热量。由于炉内火焰温度较高,且烟速很低,因此这种吸热主要通过辐射方式来进行,在炉膛出口处将烟气的温度冷却到足够低的程度。
    - (2) 保护炉墙。由于水冷壁的存在,使得火焰只能部分或完全不接触炉墙,从而起到保护作用。除此之外,水冷壁还能起到悬吊炉墙、防止炉壁结渣等作用。
- 若锅炉为蒸汽锅炉,水冷壁主要为蒸发受热面;若锅炉为热水锅炉或超临界压力锅炉,则水冷壁主要为加热受热面。



## 一、炉膛水冷壁 II

水冷壁主要有两类，即光管式水冷壁和膜式水冷壁。

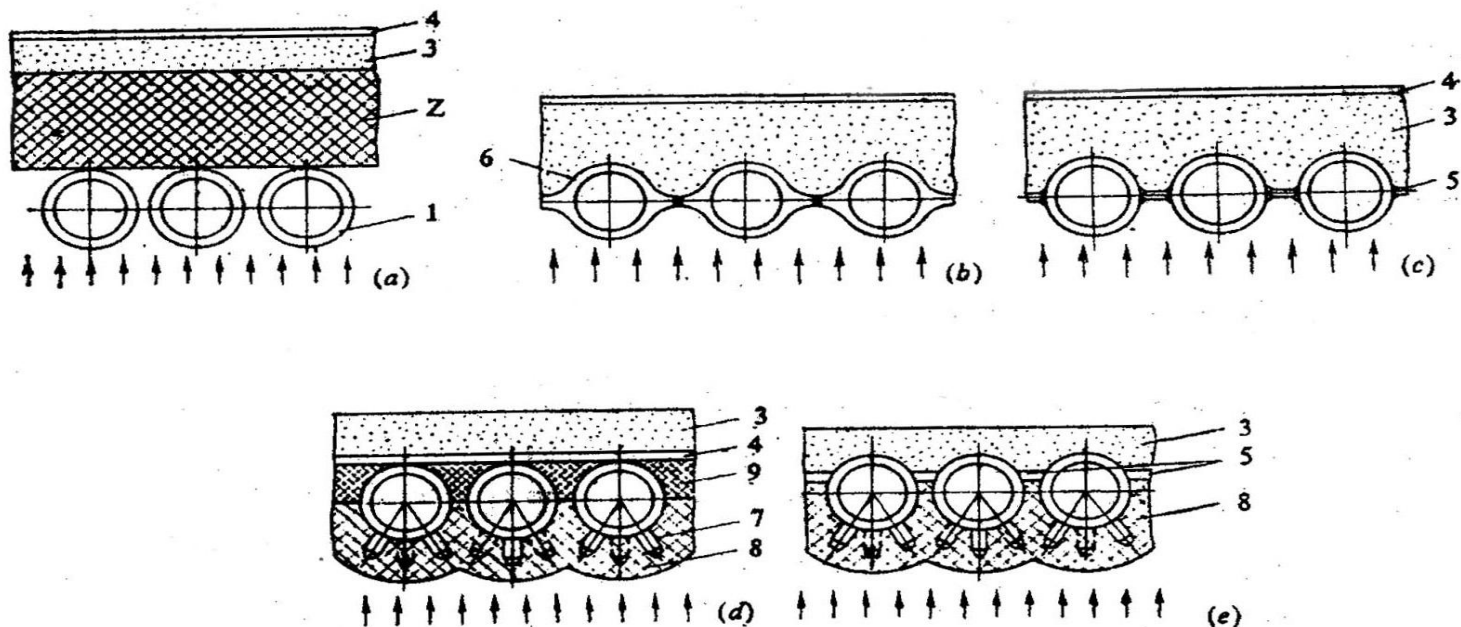
### 1. 光管式水冷壁

通过锅筒及集箱连接起来的一排布置在炉墙内侧的光管

### 2. 膜式水冷壁

各光管之间用鳍片或扁钢焊接成的一组管屏

## 一、炉膛水冷壁 II



(a)光管；(b) 鳍片管焊成的膜式水冷壁(c) 用扁钢焊成的膜式水冷壁；

(d)光管上涂有耐火泥； (e) 涂有耐火水泥的膜式水冷壁

1—管子； 2—耐火层； 3—绝热层； 4—护板； 5—扁钢； 6—鳍片管； 7—特制销钉；  
8—耐火水泥； 9—耐火材料

图4-1 水冷壁管的型式

## 一、炉膛水冷壁 II

膜式水冷壁管现场照片（超临界锅炉）



## 一、炉膛水冷壁III

### 1.光管水冷壁

优点:

光管式水冷壁具有制造、安装简单等优点。但它的缺点是保护炉墙的作用小，炉膛漏风严重。由于焊接工艺的限制，以前普遍采用光管式水冷壁。现代小型锅炉受制造成本的限制时，也较多应用光管式水冷壁。

## 一、炉膛水冷壁 IV

### 2. 膜式水冷壁

两种型式：

一种是光管之间焊扁钢形成膜式水冷壁；

另一种是由轧制成型的鳍片管焊成。

## 一、炉膛水冷壁IV

### 2.膜式水冷壁

优点：

- 膜式水冷壁对炉墙的保护最好，炉墙的重量、厚度大为减少。
- 因为膜式水冷壁的炉墙只需要保温材料，不用耐火材料，因而可采用轻型炉墙。
- 同时，水冷壁的金属耗量增加不多。
- 此外，膜式水冷壁的气密性好，大大减少了炉膛漏风，甚至也可采用微正压燃烧，提高锅炉热效率。
- 由于蓄热能力小，炉膛燃烧室升温快，冷却亦快，可缩短启动和停炉时间。
- 厂内预先组装好才出厂，可缩短安装周期，保证质量。

膜式水冷壁由于有显著的优点，因而得到了广泛的应用。大型锅炉几乎全部采用的是膜式水冷壁

## 一、炉膛水冷壁 IV

### 2.膜式水冷壁

缺点：

- 膜式水冷壁的缺点主要是制造工艺较复杂，设计时必须考虑到它的一些特点。如不允许两相邻管子的金属温度差超过 $50^{\circ}\text{C}$ (这个要求对自然循环锅炉是容易做到的)，因要把水冷壁系统制成整体焊接的悬吊框式结构，设计膜式水冷壁时必须保证有足够的膨胀延伸自由，还应保证人孔、检查孔、看火孔以及管子横穿水冷壁等处有绝对的密封性。

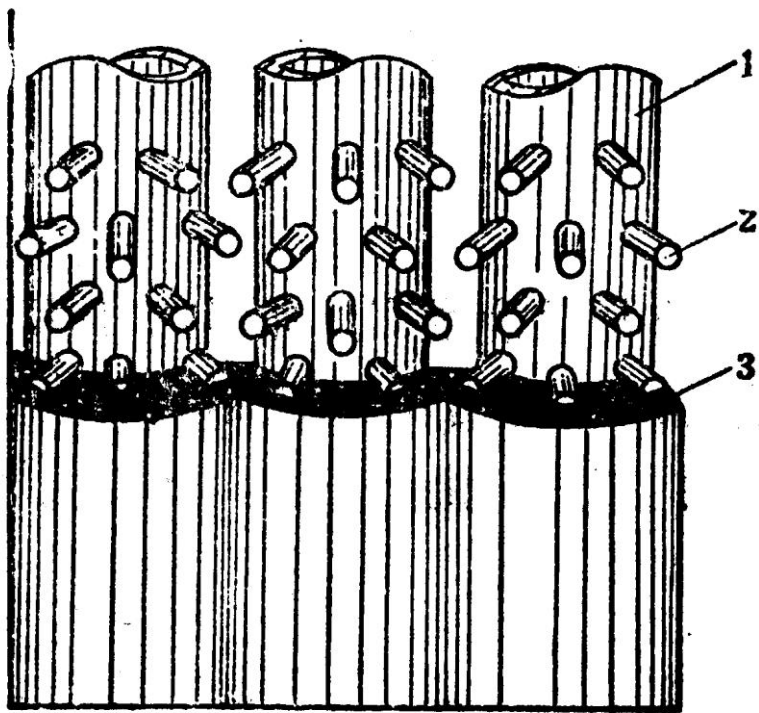
## 一、炉膛水冷壁 V

### 卫燃带

- 定义:对于不易着火的燃料,为使燃料迅速着火和稳定燃烧,或在旋风炉及液态排渣炉中为了获得较高的温度,常常需要把一部分水冷壁管表面遮盖起来,以减少该部位的吸热量,这部分水冷壁表面称为卫燃带
- 方法:常用的敷设卫燃带的方法是在卫燃带区域的水冷壁管表面焊上许多长20~25mm、直径6~12mm的销钉(或称抓钉),然后敷上铬矿砂耐火料,如图4—2所示。



## 一、炉膛水冷壁 V



- 耐火塑料是97%铬矿砂和3%耐火粘土，再加上6%~7%的水玻璃。铬矿砂耐高温性能良好，而其导热系数比粘土耐火砖高得多，有利于冷却。在这种卫燃带构造中销钉起着冷却和固定的作用，焊接质量要好。

1—水冷壁管；2—销钉；  
3—铬矿砂耐火涂料  
图4—2 卫燃带的构造

## 一、炉膛水冷壁VI

### 水冷壁的固定

- 小容量工业锅炉中，水冷壁管常是用支撑下集箱的办法固定，热膨胀向上进行
- 大型电站锅炉的水冷壁与上下集箱直接焊接，长度达几十米，采用上部固定、下部能自由膨胀的方法解决其热膨胀问题，即将水冷壁的上集箱吊挂、固定在锅炉钢架上，下集箱则由水冷壁悬吊着。如图4-3所示。水冷壁悬挂在锅炉钢架或锅炉房钢架的大梁1上，用拉杆2把上集箱吊住

## 一、炉膛水冷壁VI

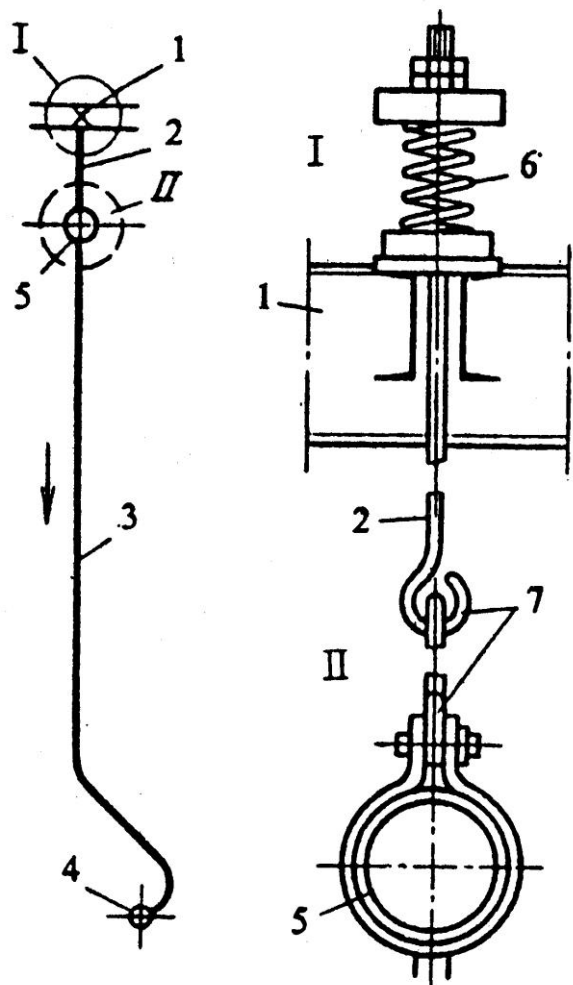
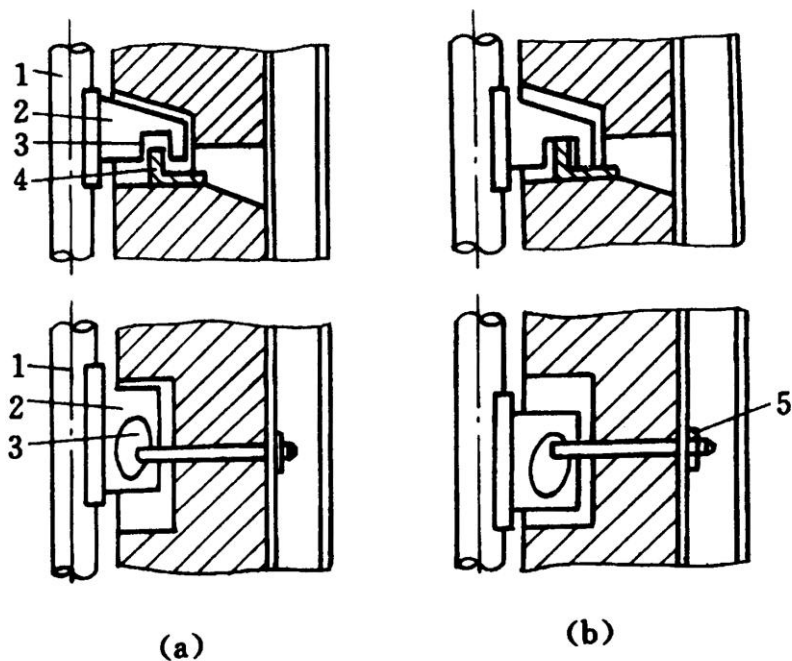


图4-3 水冷壁悬吊结构

- 1—钢架大梁； 2—拉杆； 3—水冷壁管； 4—下集箱； 5—上集箱  
6—弹簧； 7—吊钩

## 一、炉膛水冷壁VI



(a)安装时位置；(b)运行时位置

1—水冷壁；2—挂钩；3—膨胀间隙；

4—支架；5—张力构件

图4—4 水冷壁吊拉件示意图

- 为使长且薄的水冷壁具有足够的刚性，避免受热产生结构变形，在炉墙外，沿炉膛高度方向，每间隔3~4m，设置一层环绕炉壁的水平刚性梁。刚性梁由工字钢组成，通过吊拉件与水冷壁管连接。图4—4所示的吊拉件能限制水冷壁管在水平前后方向移动，但又可保证其能左右和上下滑动。

## 一、炉膛水冷壁Ⅶ

- 水冷壁管穿过炉墙的部分要留出膨胀间隙。为了防止漏风，间隙内填充石棉绳。对于敷管炉墙，炉墙贴附在膜式水冷壁管外面形成一个整体，穿墙部分可不留间隙。
- 直流锅炉的水冷壁，其中的工质是靠水泵压头作强制流动，不像自然循环锅炉那样总是布置成垂直上升管屏，而可以较自由地布置成各种型式，如图4—5所示为几种基本型式

## 一、炉膛水冷壁Ⅶ

### 几种基本型式

- 水平环绕上升式水冷壁对炉膛四周吸热不均性不很敏感，允许工质焓增大(达 $1200\text{kJ}/\text{kg}$ )。因无中间集箱，金属耗量小些。但是，在安装工地装配的焊口多，安装周期长。这种型式的水冷壁在超临界压力和亚临界压力情况下均可应用。
- 水平曲折上升式水冷壁(图4—5(g))对炉膛各面墙宽度的吸热不均匀性也不敏感，易于组装，但制造稍为复杂，阻力比前一种型式大。有许多弯头，不易做成膜式水冷壁。

## 一、炉膛水冷壁Ⅶ

### 几种基本型式

- “U”型上升下降式、 $\Pi$ “ ”型上升下降式及多次上升下降管屏式水冷壁便于组装，但不易疏水。因弯头多，做膜式壁较麻烦。它们对沿宽度的吸热不均性比较敏感。
- 多次上升式水冷壁(图4—5(c))易于组装，易做成膜式水冷壁，易疏水，工质一次上升之后有混合，但因有较多的集箱和不受热的下降管，金属耗量较大。

## 一、炉膛水冷壁Ⅶ

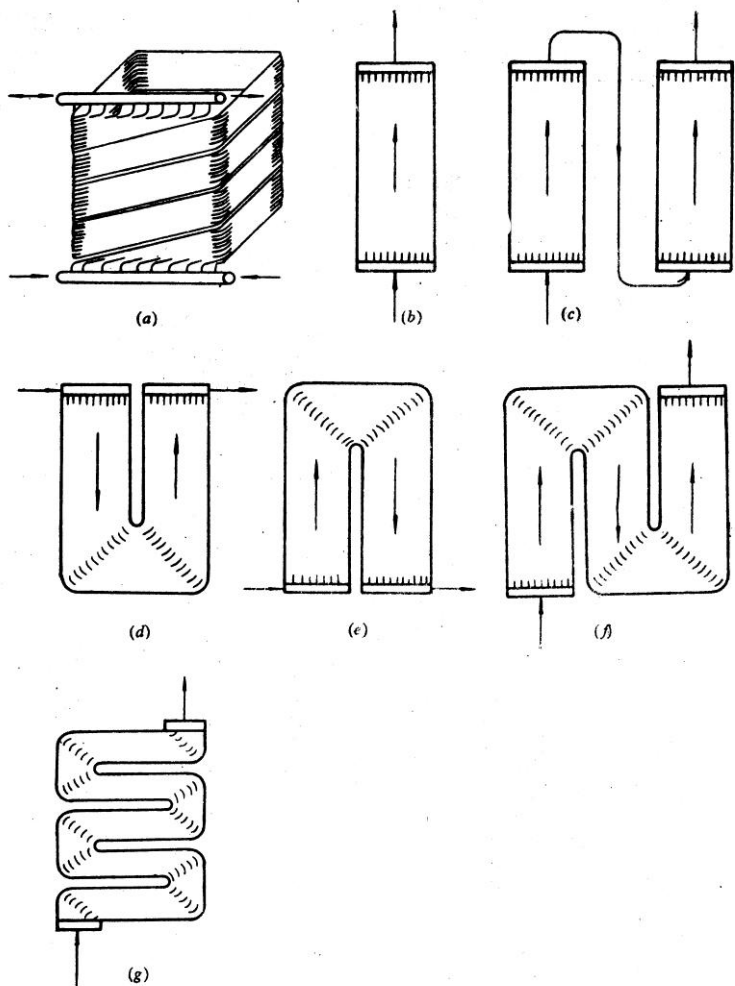


图4—5 直流锅炉的水冷壁系统

(a)水平环绕上升式；(b)一次上升式；(c)多次上升式；(d)“U”型下降上升式；(e)“S”型上升下降式；(f)多次上升下降式；(g)水平曲折上升式



## 一、炉膛水冷壁Ⅷ

- 较大容量的锅炉一般做成平炉项，炉顶由顶棚管过热器组成。但一般在炉膛后墙水冷壁上接近炉膛出口处设有折焰（烟）角。见图4-6。
- 目的：提高炉膛内的充满程度，避免涡流与死角，提高炉膛辐射受热面的利用程度，改善屏式过热器及对流过热器的冲刷条件，防止上部烟气短路。增加水平连接烟道长度，在不增加锅炉深度下，可布置更多的对流受热面。

## 一、炉膛水冷壁VIII

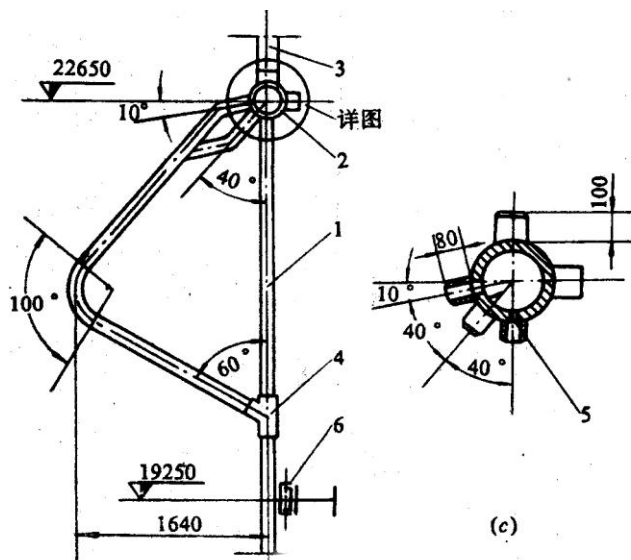
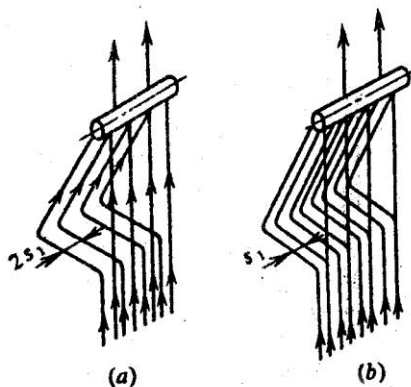


图4-6 折焰角结构  
示意图

a)用于燃煤炉；(b)用于  
燃油然气炉；(c)HG-410  
/ 100—1型锅炉所用结  
构

1—上升管； 2—集箱；  
3—连接管； 4—三叉管；  
5—节流小孔；  
6—刚性梁



## 一、炉膛水冷壁

### 水冷壁管失效方式及失效位置

失效方式	常见区域			典型位置
	燃烧器层以下	燃烧器层	高于燃烧器层	
短时过热	/	是	是	倾斜管；有流动紊乱，管子堵塞后泄漏的下游部位；直接受火焰冲击部位；发生膜态沸腾区域
碱性腐蚀	/	是	是	高热流区；倾斜管；焊缝弯头水流紊乱下游区
氢损伤	/	是	是	碳钢、钼含量小于0.5%的Mo钢；高热流区；倾斜管；焊缝，燃烧器周围管段
水冷壁向火侧腐蚀	是	是	是	燃烧器周围管段；受火焰冲刷区域或受到强烈热冲击的部位
掉渣腐蚀	是	/	/	冷灰斗管段
吹灰腐蚀	/	/	是	吹灰器周围管段；受吹灰器直接冲刷的炉膛角部管道
吹灰冲蚀	/	/	是	吹灰器周围管段；受吹灰器直接冲刷的炉膛角部管道
煤粒磨损	/	是	/	燃烧器周围管段
机械疲劳	/	/	是	定位夹悬吊屏；承压管与非承压支撑件接合处
热疲劳	是	/	是	灰水溅泼到的管；吹灰器中凝结水溅到的管子
腐蚀疲劳	是	是	是	弯管段；焊缝处；两壁呈直角相接时拐角部位
石墨化	/	是	是	燃烧器层及以上区域管子；焊缝

## 二、凝渣管束

- 目的:后墙水冷壁管穿过炉膛出口烟道时,由于管子横向节距较小管排较密集,当锅炉燃用煤等固体燃料并且炉膛出口烟温较高时,管排上会发生严重的结渣,为此必须增加管子的横向节距以避免烟道堵塞。
- 凝渣管束可以保护后面密集的过热受热面不结渣堵塞,因此有时它也称为防渣管束。

## 二、凝渣管束

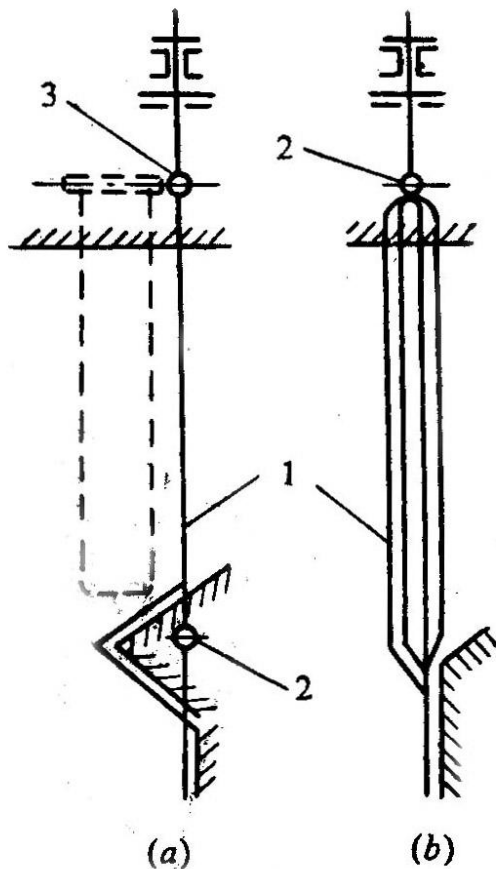


图4-7 凝渣管束

(a)  $P \geq 9.8 \text{ MPa}$ ;

(b)  $P < 9.8 \text{ MPa}$ 时

1—凝渣管束排;

2—后水冷壁上集箱

3—凝渣管排上集箱

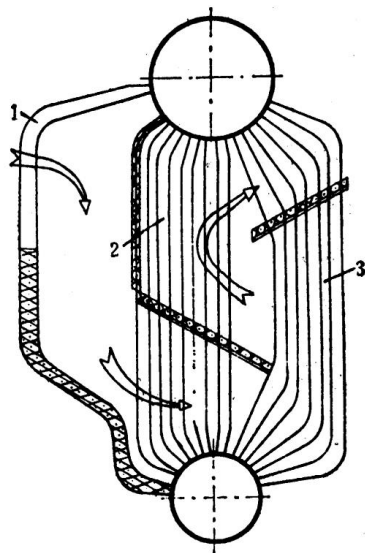
## 三、锅炉管束

- 对于低、中压锅炉，由于蒸发吸热量较大，仅布置水冷壁还不足以满足需要，还要布置对流蒸发受热面。
- 定义:所谓的锅炉管束就是布置在上、下锅筒之间的密集管束。
- 管束与锅筒可以是胀接，也可以是焊接。管内的水及汽水混合物自然循环流动，受热强的管子为上升管，受热弱的管子为下降管。



## 三、锅炉管束

- 特点:通常在管束中用耐火砖或铸铁板把烟道隔成几个流程,同时各流程的烟气流通截面随烟气温度降低而逐渐缩小,以保持足够高的烟气流速。有时为了防止烟气从炉膛流入管束时结渣而堵塞烟气管道,把入口处几排管子的节距加大。
- 缺点:锅炉管束中管子较多,若管束中间某根管子损坏(通常多是因腐蚀而损坏),修理十分困难,只能在锅筒中把管子两头堵住焊起来。这是这种结构的一大缺点。



## 三、锅炉管束

- 典型的锅炉管束见图4-8。
- 我国小型锅炉一般采用  $51 \times 2.5\text{mm}$  的管子作锅炉管束，节距=100mm、=95mm，管子弯曲半径  $R=160\text{mm}$ 。
- 事实上，在低压小容量锅炉中，除水冷壁外和凝渣管外，其它用于加热或蒸发的受热面都可称为锅炉管束或对流管束。例如“A”型锅炉中与锅筒和集箱相连的密集管排及锅壳式锅炉的对流烟管等。

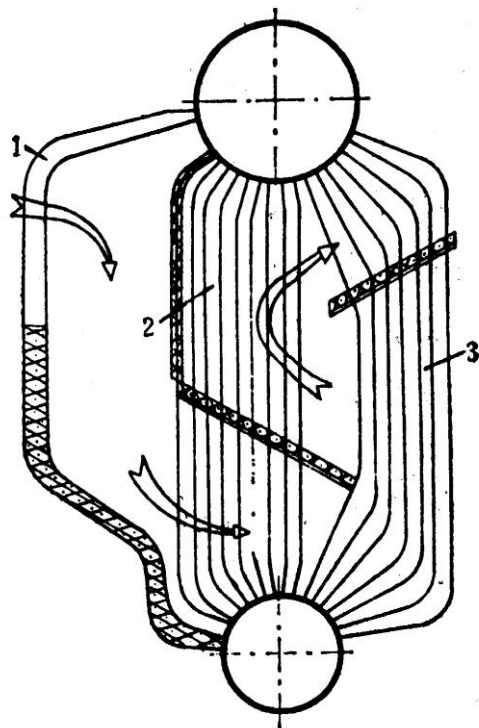


图4—8 对流管束的布置  
1—第一管束；2—第二管束；  
3—第三管束



## § 4—3 过热器及再热器

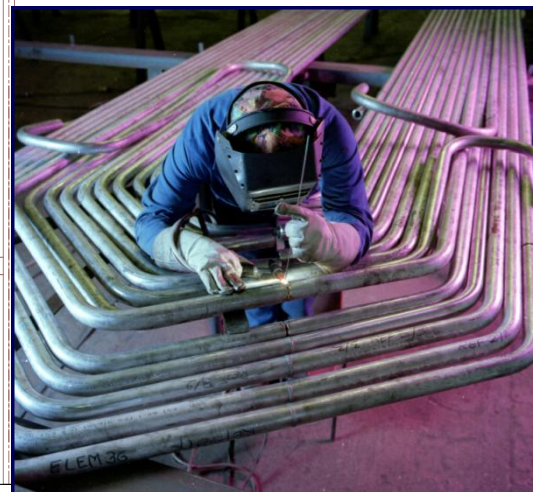
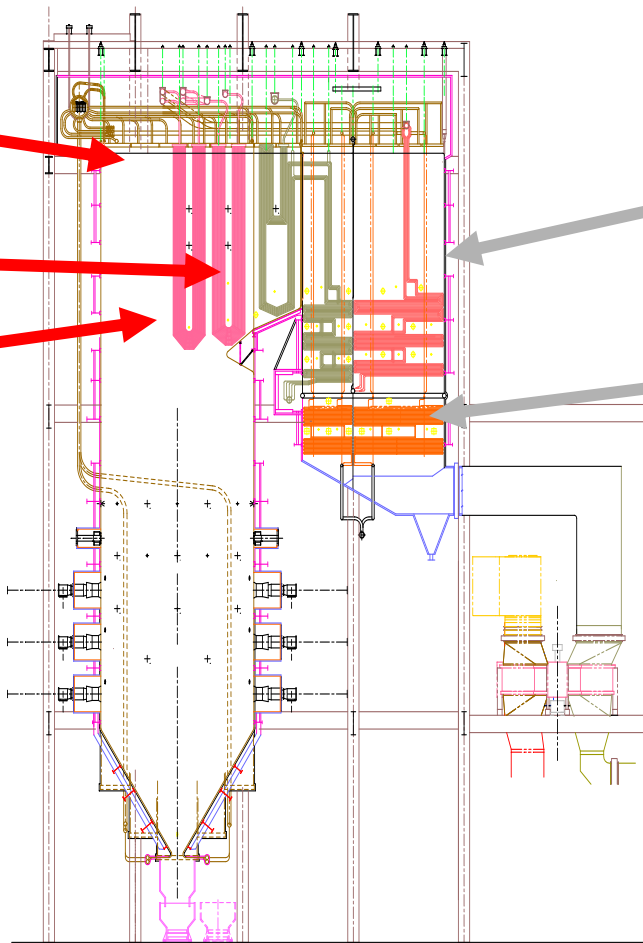
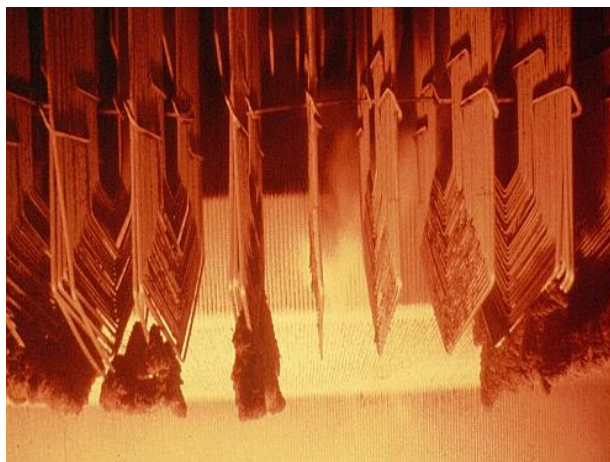
1. 顶棚过热器

5. 高温过热器

4. 屏式过热器

2. 包墙过热器

3. 低温过热器



## 1. 过热器

- 作用:过热器就是将锅筒出来的饱和蒸汽, 进行加热到规定的过热温度的受压部件。在火力发电厂中, 提高蒸汽的过热温度, 可以降低蒸汽耗量。还可以防止由于蒸汽带水对汽轮机叶片的冲击和盐垢集积。一些特殊工艺过程的单位也需要过热蒸汽。

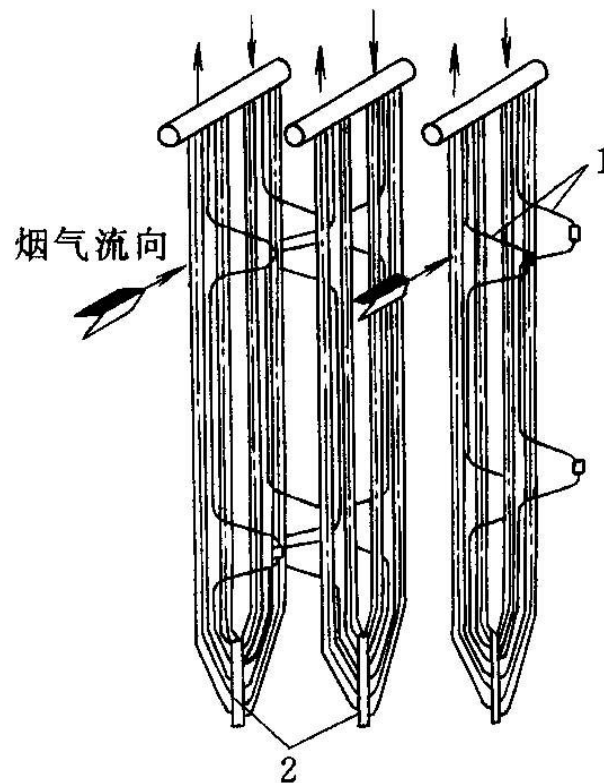
对于电站锅炉, 过热器是必需的受热面; 对于工业锅炉, 有无过热器取决于生产工艺是否需要; 对于生活采暖锅炉, 则一般无过热器。

- 按传热方式来分类:主要可分为对流式、半辐射式和辐射式过热器三种。

## 一、过热器及再热器的作用及结构

### 1. 过热器

- 辐射式：布置在炉壁上，结构与水冷壁相似，如包墙管，顶棚管过热器等。
- 半辐射式：通常称为屏式过热器。所谓的屏式过热器是由节距很小的管子组成的屏，它既吸热炉膛内的辐射热，也吸收烟气的对流热，一般布置在炉膛的上方。



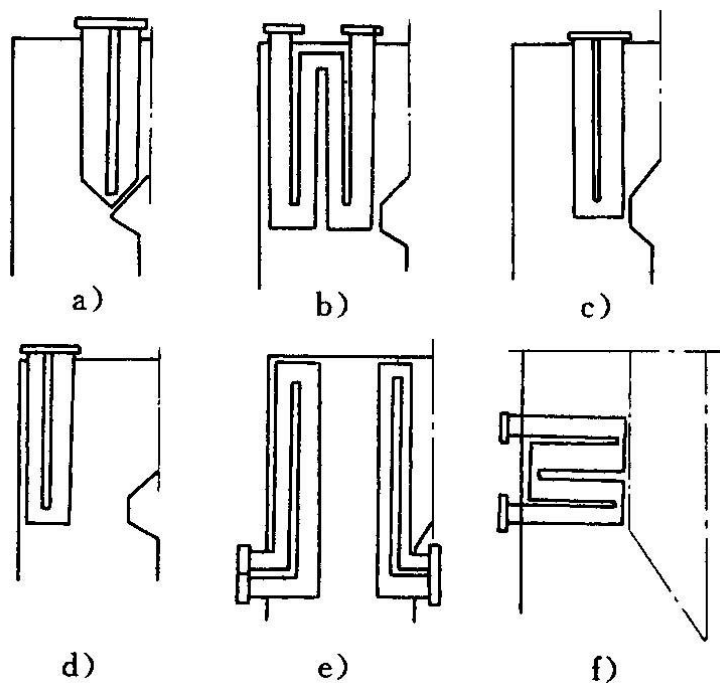


包墙过热器

## 一、过热器及再热器的作用及结构

### 1. 过热器

- 布置炉膛前上方的屏称前屏，布置在炉膛后上方的屏称后屏。布置在炉膛整个上方的屏称大屏。

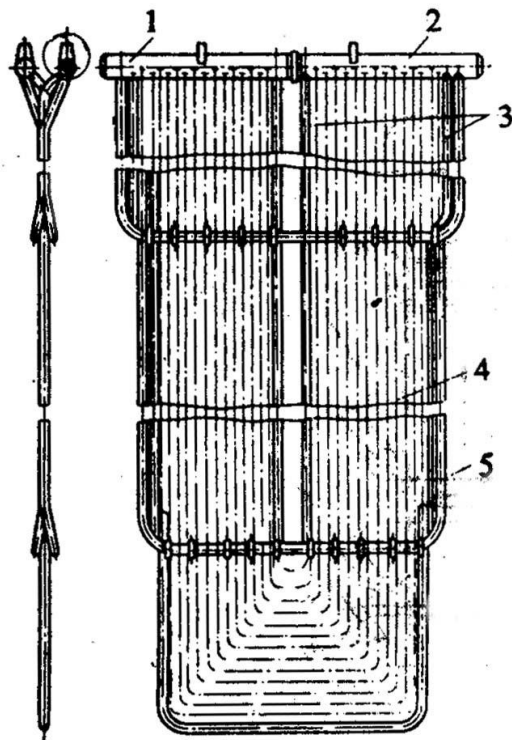


a)后屏； b)大屏； c)半大屏； d)前屏；  
e)能疏水的屏； f)水平布置的屏  
图4—10 屏式过热器的布置

## 一、过热器及再热器的作用及结构

### 1. 过热器

- 屏式过热器可水平放置，也可垂直放置。水平放置时疏水容易，但固定困难。垂直放置时，正好相反。我国多采用垂直放置。



- 1—进口集箱；2—出口集箱；  
3—节距排列很小的管子；  
4—形成的平面管屏；  
5—缩短了并用作夹持管屏的管子
- 图4-11 立式屏的结构示例



屏式过热器

## 一、过热器及再热器的作用及结构

### 1. 过热器

- 对流式过热器:是由许多平行连接的蛇形管连接在进口、出口箱上形成的部件。

蛇形管的外径一般采用32~42mm,通常作顺列布置,管子横向节距与管子外径之比为2~3,纵向节距与弯管半径有关,一般此节距与管子外径之比为1.6~2.5。过热器管与集箱连接采用焊接。

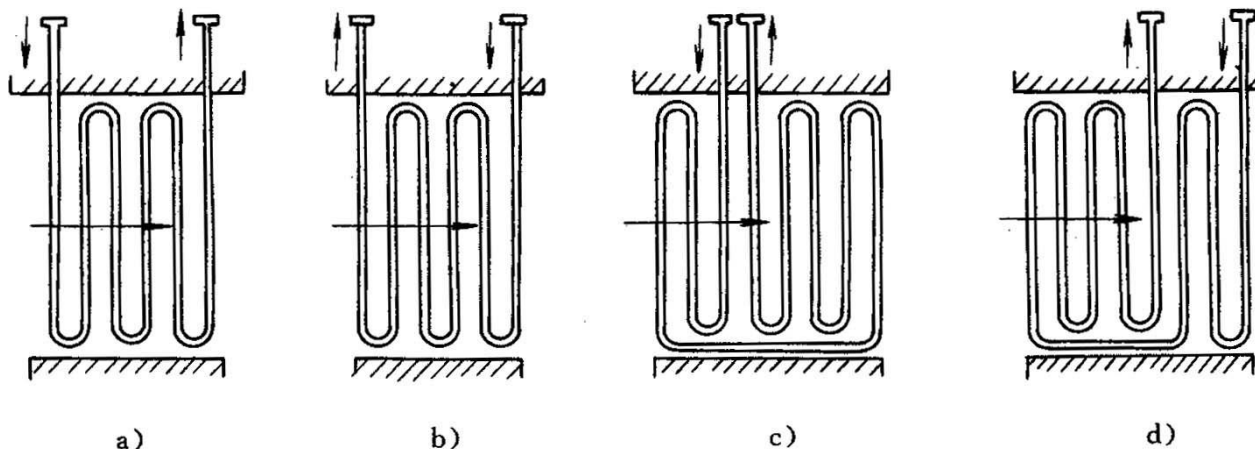
对流过热器位于炉膛出口水平烟道中,它受较高温烟气的冲刷,以吸收烟气对流热为主,烟气辐射热为辅,故称对流过热器。图4—13为130t/h的过热系统图。



## 一、过热器及再热器的作用及结构

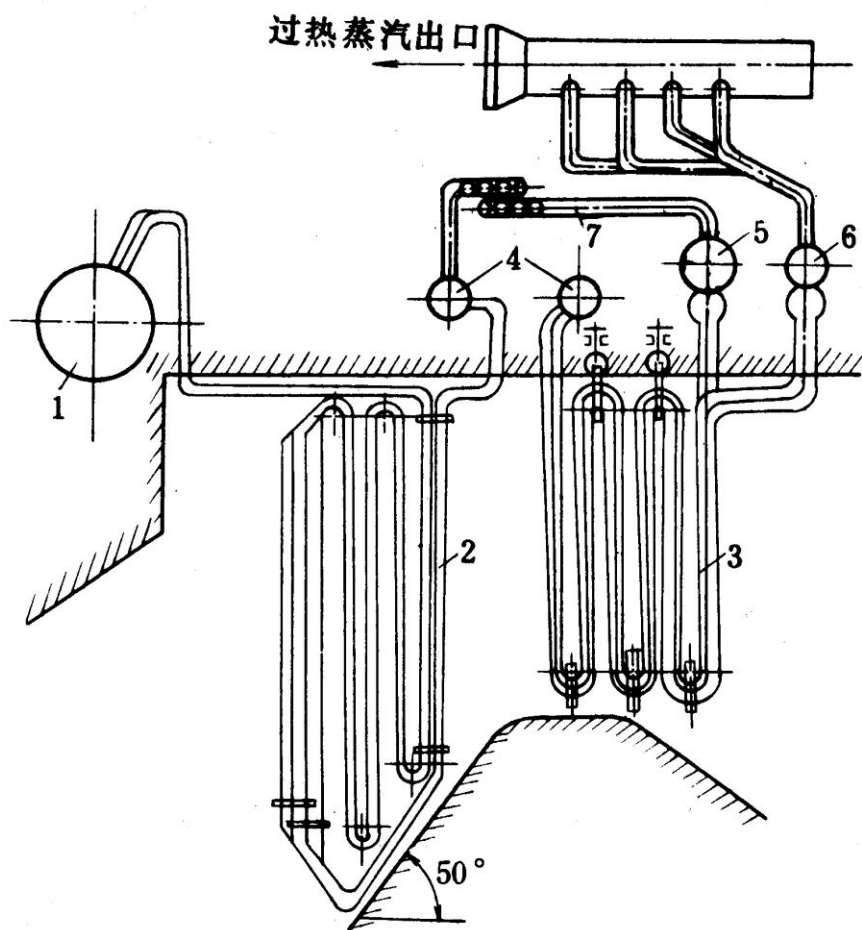
### 1. 过热器

- 对流式过热器蒸汽的流向与烟气的气向可是逆流（蒸汽流向和烟气流向相反），顺流（蒸汽流向和烟气流向相同）或混流（蒸汽进出口均在烟气的中部和后部），见图。纯逆流时，温压大，节省金属，但管壁温高，故高温过热器常采用混流布置。



a) 顺流式 b) 逆流式 c) 双逆流式 d) 混流式  
根据烟气与蒸汽相对流动方向划分的过热器型式

## 一、过热器及再热器的作用及结构



- 1—锅筒；
- 2—对流过热器；
- 4—中间集箱；
- 5—表面式减温器；
- 6—过热器出口联箱；
- 7—交叉管

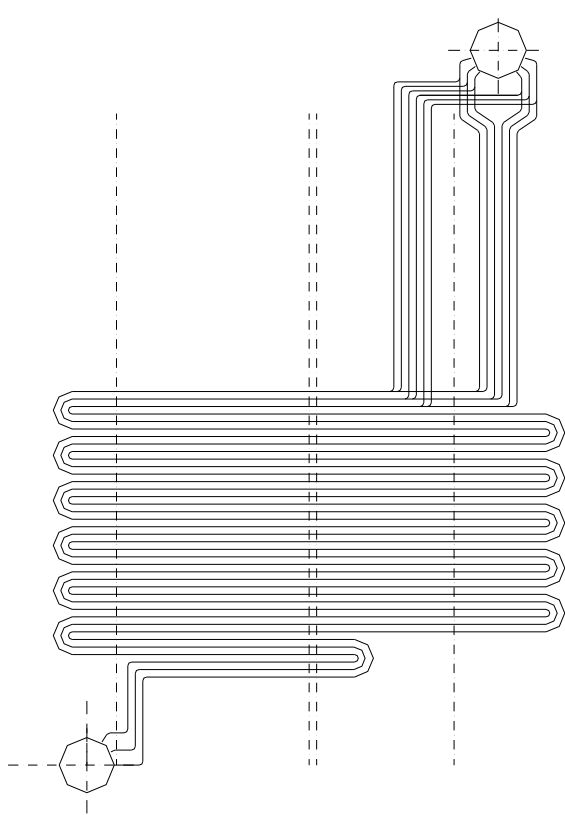
图4—13 130t/h锅炉对流过热器结构图

## 一、过热器及再热器的作用及结构

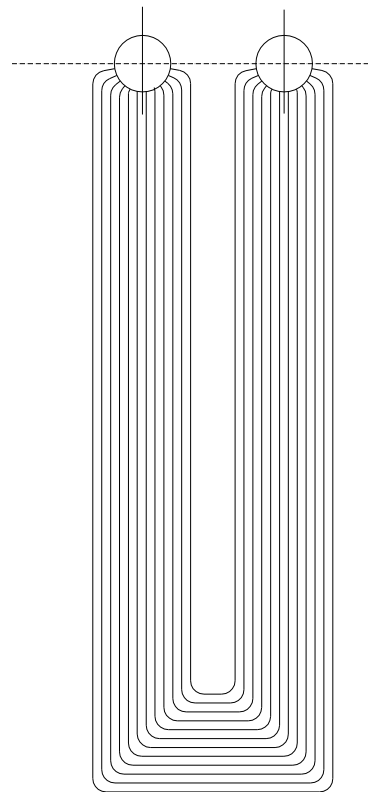
### 2.再热器

- 定义:过热器在汽轮机中膨胀做功到一定程度后,再回到锅炉中进行加热,然后再回到汽机中做功,这种受热面就叫再热器。
- 再热器实质上也是过热器,但与前面所讲的过热器相比,工质的压力较低,大约 $1/5\sim 1/3$ 。一般都做成对流式,布置在水平烟道或垂直烟道中。布置在水平烟道中,常垂直放置,布置在垂直烟道中,常水平放置。由于蒸汽的压力低,密度小,放热系数小,使得再热器不宜放在烟温度较高的区域,一般 $\leq 800^{\circ}\text{C}$

# 电站锅炉结构

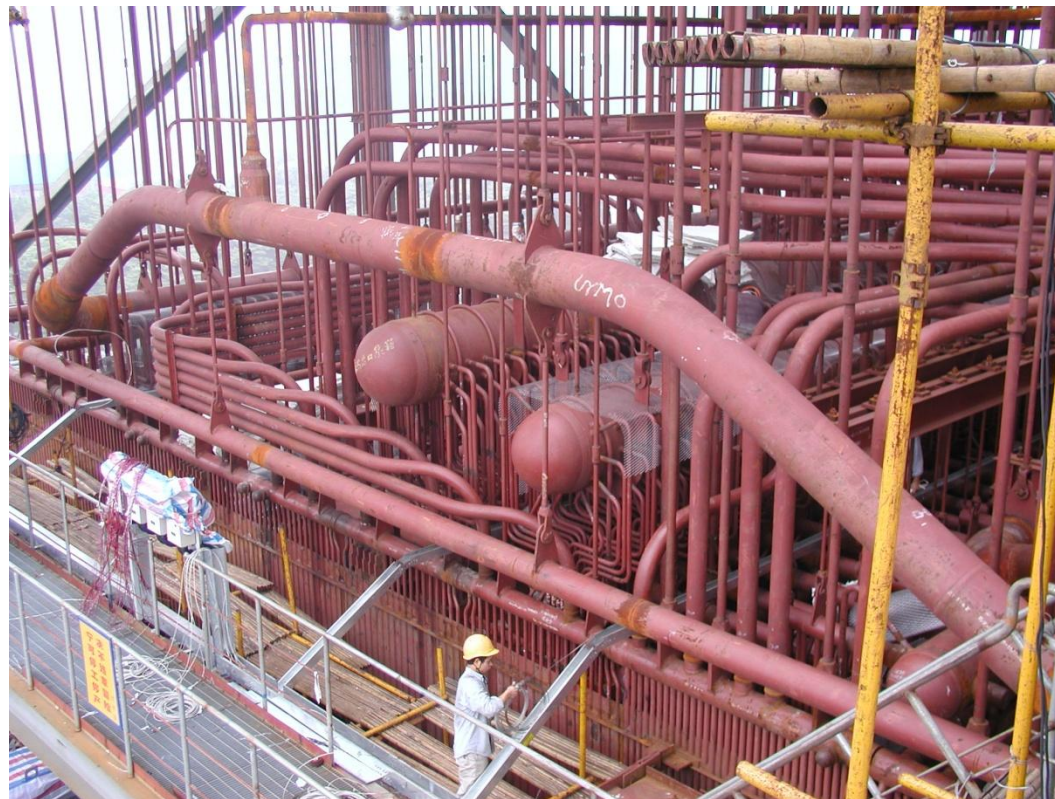


低温过/再热器（尾部烟道）



高温过/再热器（水平烟道）

# 电站锅炉结构



电站锅炉多级布置的过热器或再热器系统

# 电站锅炉结构

## 过热器和再热器管失效方式及失效位置

失效方式	常见区域		典型位置
	辐射式流程	对流式流程	
短期过热	是	是	悬吊式管屏下弯头处，或由于上游爆管而出现流量减少部位
高温蠕变	是	是	管排出口和突出的管段，部分被异物堵塞的部位，内壁结垢部位，弯头，悬吊管最外几圈
异种钢焊接	是	是	壁温超过设计温度区域，热膨胀受阻管段
石墨化	是	是	低温段碳钢管子
点蚀	是	是	悬吊式管屏下部水平管，水平管下垂部分
应力腐蚀	是	是	弯头或焊接处，汽侧或火侧有沉积物的地方，焊接结合处
高温热腐蚀	是	是	管屏出口段管，管排突出管段，发生高温蠕变的相同地点，换用高等级材料的结合部
飞灰磨蚀	/	是	管排突出管段，烟气旁路通道处，低温段，炉墙开裂有漏风处附近管
吹灰磨蚀	/	是	沿吹灰器的吹灰方向管，设于烟气入口处的可伸缩式吹灰器，靠近炉墙第一根管子
飞灰冲蚀	/	是	低温段，炉膛顶部区域，高流速烟气区域
吹灰冲蚀	/	是	沿吹灰器的吹灰方向管，设于烟气入口处的可伸缩式吹灰器，靠近炉墙第一根管子，水平管和联箱间的直管段
机械疲劳	/	是	焊接有固定管夹的垂直屏，附近水平管处
热疲劳	是	是	吹灰介质中凝结下来的水溅到处，喷水减温器附近管
腐蚀疲劳	/	是	弯头，焊接处，联箱对接焊缝处，联箱两端膨胀最大处

# 电站锅炉结构

## 高温联箱失效方式及失效位置

失效方式	常见区域			典型位置
	筒体	封头	接管座	
蠕变、组织老化	是	是	是	筒体、接管座部位；超温、超期服役机组联箱
疲劳	是	是	是	吊耳、支座、管座角焊缝、应力集中部位
蠕变-疲劳	是	是	是	接管座部位
腐蚀	是	是	是	筒体内壁、接管
应力腐蚀	/	/	是	水冷壁联箱应力集中部位

## § 4—4省煤器及空气预热器

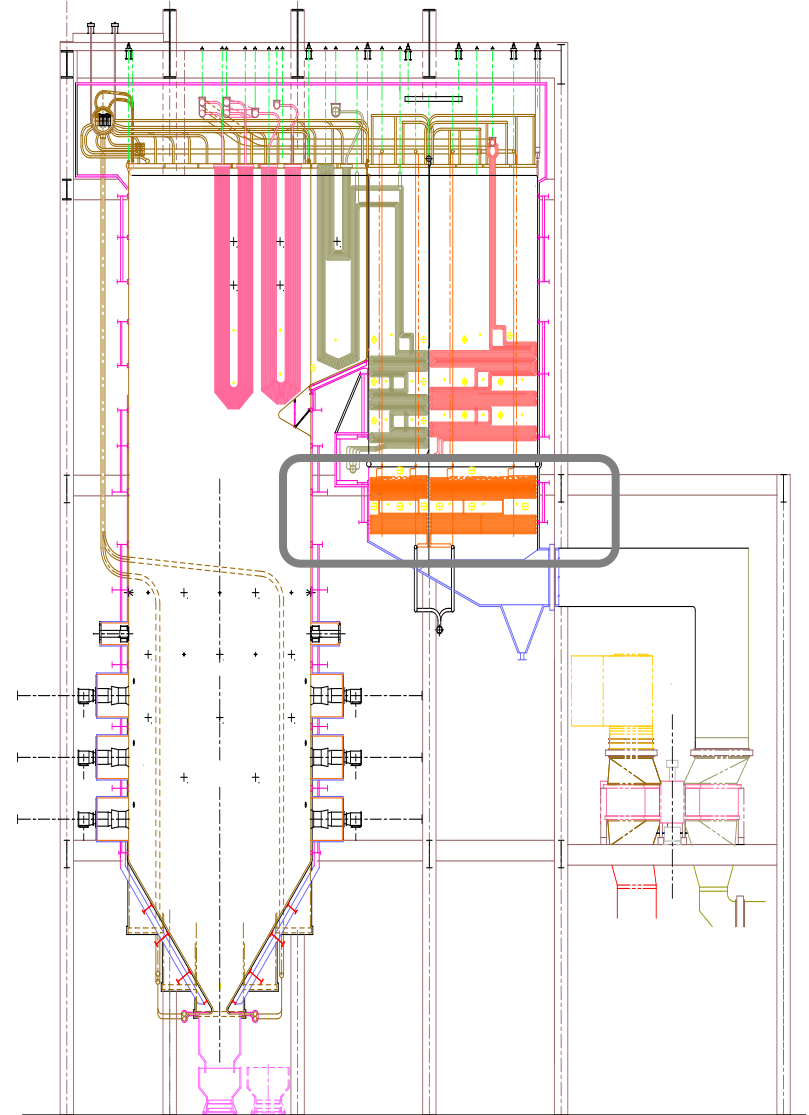
- 一、省煤器的作用及结构
- 二、空气预热器的作用及结构
- 三、省煤器与空气预热器的联合布置



# 电站锅炉结构



省煤器



## 一、省煤器的作用及结构

- 省煤器是利用锅炉尾部烟气的热量来加热给水的一种热交换器。
- 省煤器的作用主要为：
  - (1) 降低排烟温度，提高锅炉效率，节省燃料。
  - (2) 充当部分加热受热面或蒸发受热面。
- 如果锅炉的给水不经过省煤器（即不安装省煤器）而直接进入锅筒，由于锅筒内的水温接近饱和温度，而且压力越高，这个饱和温度的数值就越高。这势必导致离开锅炉的烟气温度仍很高。而有了省煤器后，给水先流经省煤器，利用给水和烟气的较大温差进行换热，使烟气充分冷却，降低了排烟温度。
- 值得注意的是，由于采用回热循环可提高电厂的热效率，现代大型锅炉的给水温度也较高，仅利用省煤器已不能充分降低排烟温度了，而需布置空气预热器。

## 一、省煤器的作用及结构

- 分类:

按材料省煤器可分为铸铁式和钢管式;

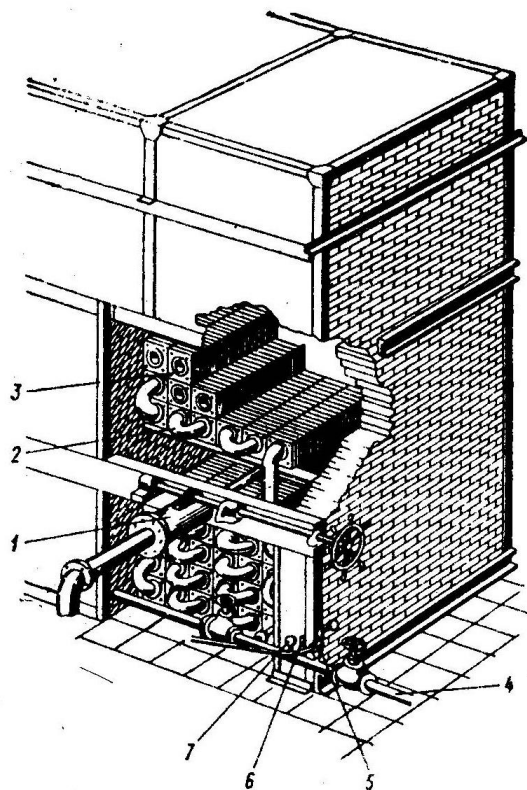
按出口是否沸腾可分为沸腾式和非沸腾式

- 铸铁省煤器:

由一系列外侧带有方形肋片的铸铁管通过180°铸铁弯头串接组成，如图4-31所示。

## 一、省煤器的作用及结构

- 铸铁省煤器
- 水从最下层排管的一侧端头进入，水平来回流动至另一侧的最末一根管子，再进入上一层排管，如此由下向上流动。烟气则由上向下流动，与水流形成逆流换热。一般水流速不小于0.3m/s，使给水加热过程中产生的O<sub>2</sub>及CO<sub>2</sub>等气体能随水流带走。



1—吹灰器；2—连接弯头；3—省煤器管子；  
4—给水管道；5—安全阀；  
6—温度计插座；7—压力表  
图4-31 组装成的铸铁式省煤器

## 一、省煤器的作用及结构

- 铸铁式省煤器的优点：

耐腐蚀、耐磨损。低压锅炉一般都没有装置良好的给水除氧设备，内部易发生氧腐蚀；同时由于给水进省煤器时水温很低，管外壁容易结露，烟气中的SO<sub>2</sub>及SO<sub>3</sub>达露点后就在管外壁形成酸液而发生外部酸腐蚀。因此，大多数低压锅炉都采用铸铁省煤器。但是铸铁省煤器的强度不高，即承压能力低（ $\leq 2.4\text{MPa}$ ）。中压锅炉或容量较大的低压锅炉常采用钢管省煤器。

**铸铁式省煤器的缺点：**不能做成沸腾式。否则易发生水击，损坏省煤器；铸铁省煤器管壁较厚，体积和重量都大；肋片间易积灰、堵灰；弯头多易渗水漏水。

## 一、省煤器的作用及结构

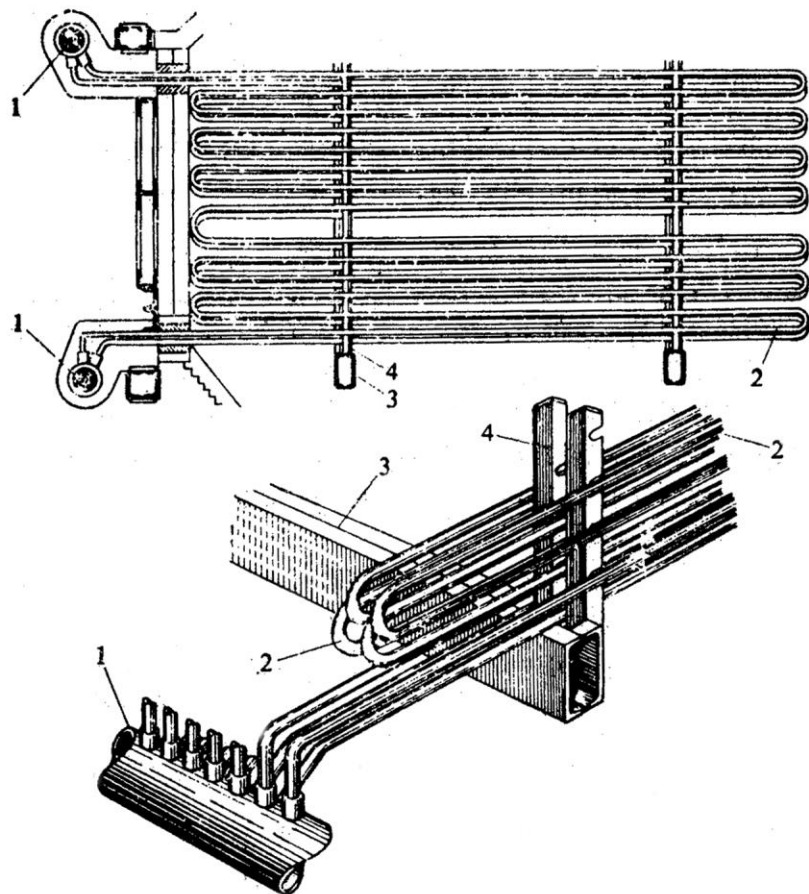
- 铸铁省煤器
- 水在铸铁省煤器中要防止汽化而发生水击，因铸铁较脆，承受冲击能力差。故铸铁省煤器又称为非沸腾式省煤器，其出口水温至少应比相应压力下的饱和温度低30-40℃，以保证安全可靠。
- 铸铁式省煤器已经系列化，设计时可按有关手册选用。
- 管内介质中的水的放热系数非常大，并且流速的影响不大。流过省煤器（横向冲刷）的烟速应在6-9m/s，以避免严重积灰。为了保证受热面清洁，需布置吹灰器。最好有旁通烟道，水路也有旁通水路。

## 一、省煤器的作用及结构

### • 钢管式省煤器

- 钢管式省煤器一般都是蛇形管，可作成沸腾式，也可做成非沸腾式。管子可错列，也可顺列布置，钢管直径一般在28~38mm，每组高度不超过1.5m，以便于检修和吹灰。蛇形管的平面可平行前墙，也可垂直前墙。当平行前墙时，省煤器受到磨损时，更换容易，并且只需更换几排，故多采用。

## 一、省煤器的作用及结构



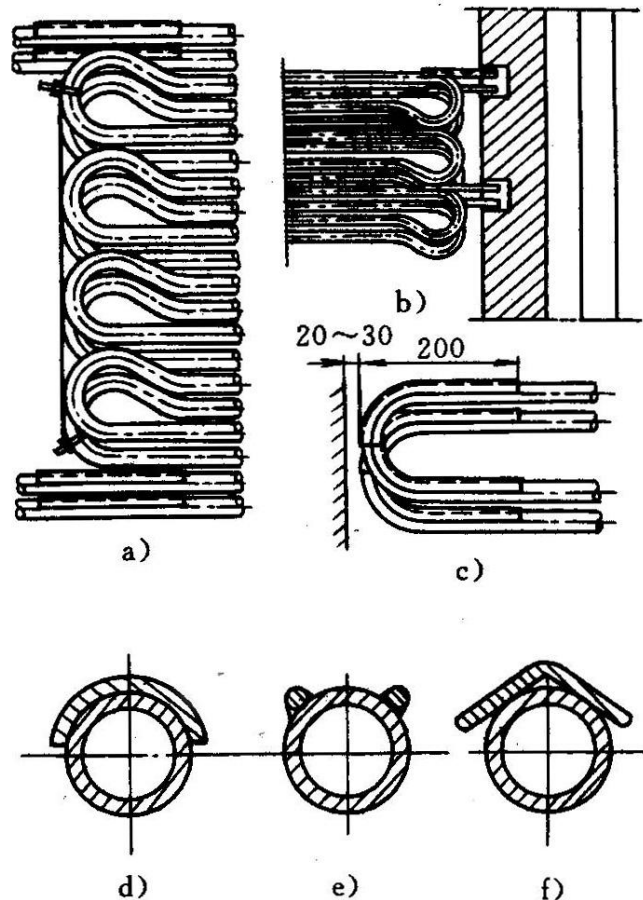
1—集箱；2—蛇形管；3—支撑梁；4—定位支架

图4—34钢管式省煤器



## 一、省煤器的作用及结构

- 钢管式省煤器
- 对于含灰量高的劣质燃料，省煤器受热面设计应该采用适当的防磨措施，才能有效地解决磨损问题，这除了在省煤器受热面设计中采用大直径的厚壁管和管束作顺列布置外，主要是针对容易引起磨损的部位，装设各种形式的防磨装置，如图所示。



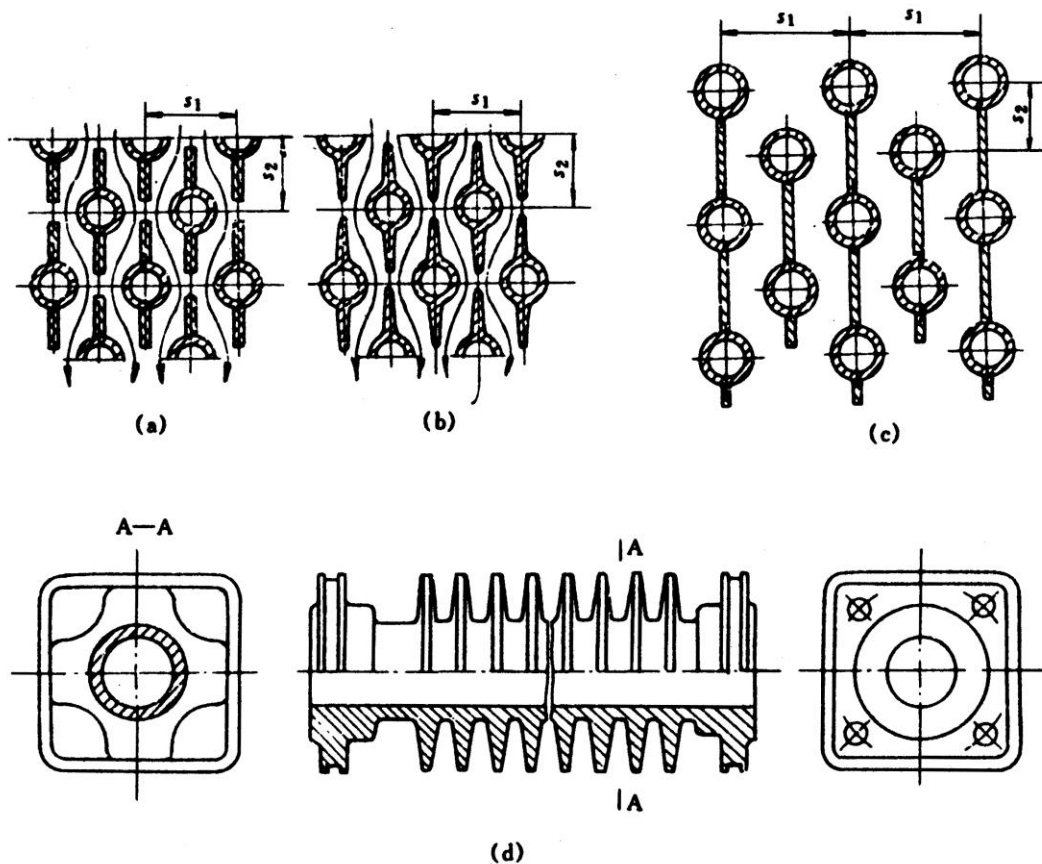
a)弯头部位加装防磨板； b)弯头和炉墙之间的防磨阻流板； c)、d)弯头和直段部位加装半圆形防磨罩； e)前几排直管正面焊上圆钢条； f)直接焊角钢形的防磨罩

图4-35 省煤器防磨措施

## 一、省煤器的作用及结构

- **钢管式省煤器**
- 钢管式省煤器中的水速：对非沸腾式不应低于 $0.3 \sim 0.4\text{m/s}$ ，以便能带走空气（溶解在水中的受热后析出的气体），避免氧腐蚀；对沸腾式，不低于 $1\text{m/s}$ ，以避免汽水分层。任何情况下不应高于 $2\text{m/s}$ ，否则阻力太大。低压不大于 $8\%P_g$ （锅筒压力）；高压不大于 $5\%P_g$ 。
- 近几年来为了进一步强化传热，采用了鳍片管式省煤器和膜式省煤器并取得一定的效果，其结构示于图。鳍片管的成本稍高，而中间焊上 $2 \sim 3\text{mm}$ 厚的扁钢成本稍便宜些。

## 一、省煤器的作用及结构



(a)焊接鳍片管式省煤器；(b)轧制鳍片管式省煤器；(c)膜式省煤器；(d)肋片管式省煤器  
图4-36 扩展表面的省煤器受热面

## 一、省煤器的作用及结构

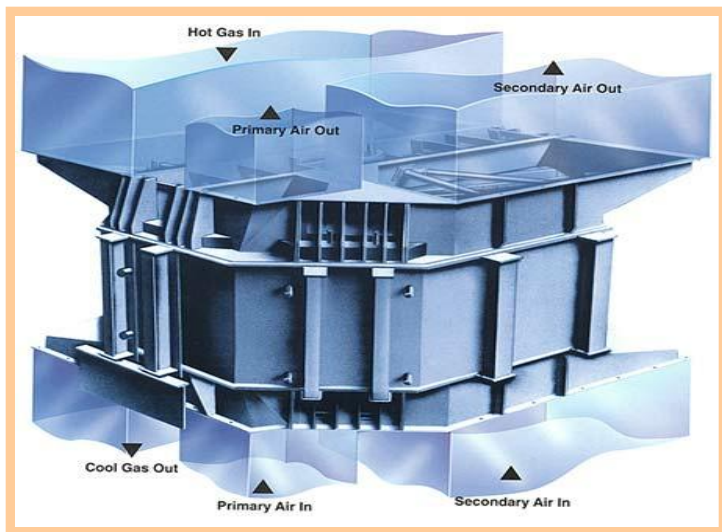
- 无论是鳍片管省煤器还是膜式省煤器大约增加烟气侧受热面积30%左右，从而降低了单位蒸发量的金属耗量，阻力及积灰也减轻了。
- **钢管式省煤器优点**：钢管式省煤器可用于任何压力和容量的锅炉，置于不同形状的烟道中。其优点是体积小，重量轻，价格低廉。在钢管式省煤器进口集箱和锅筒之间还装有不受热的再循环管。在启动过程中，省煤器中预先上满的水受热升温或产生蒸汽，而再循环管中水温较低，形成自然循环来保护省煤器。

## 一、省煤器的作用及结构

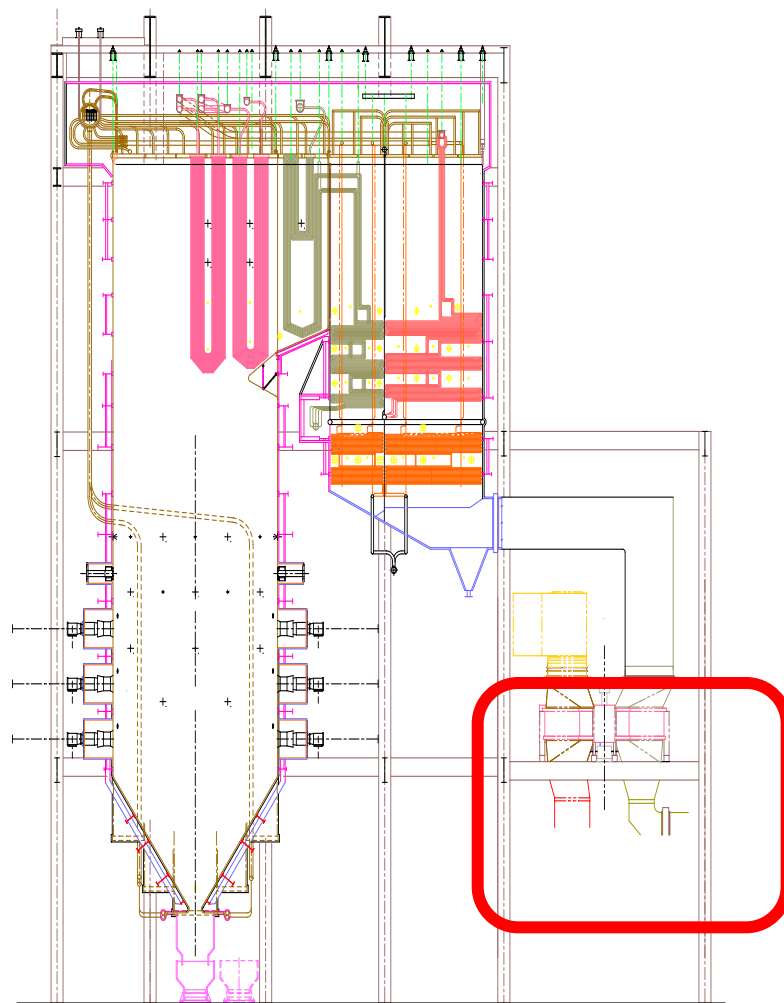
### 钢管省煤器管失效省效方式及失效位置

失效方式	常见区域			典型位置
	给水入口处	弯头	烟气入口处	
点蚀	是	/	是	停机期间可能存水的水平管段，给水入口段
氧腐蚀	是	/	/	入口端管子内部、入口集箱内部
低温腐蚀	是	/	/	温度低于烟气酸露点管子，给水入口段
飞灰磨蚀	/	是	是	排列不当或突出管子，靠近包墙管的管弯头上升管，烟气入口处
吹灰磨蚀	是	/	是	吹灰器吹灰方向管子，烟气入口处
飞灰冲蚀	/	是	是	弯头，上升管，高流速烟气区域
吹灰冲蚀	是	/	是	烟气入口处，吹灰器吹灰方向管子
热疲劳	是	/	/	与给水进口集箱连接的管接头处
腐蚀疲劳	是	是	/	U形弯头，管夹或管子焊接有附件，焊缝结合处

## 二、空气预热器的作用及结构



空气预热器



## 二、空气预热器的作用及结构

### • 1. 空气预热器的作用

- (1) 降低排烟温度提高锅炉效率。
- (2) 改善燃料的着火条件和燃烧过程，降低燃烧不完全损失，进一步提高锅炉效率。
- (3) 热空气进入炉膛，提高理论燃烧温度，强化炉膛的辐射传热，进一步提高锅炉的热效率。
- (4) 热空气还作为煤粉锅炉制粉系统的干燥剂和输粉介质。

鉴于以上几点，现代锅炉中，空气预热器成为锅炉不可少的部件。

对于低压锅炉，因给水温度很低，用省煤器已能很有效地将烟气温度冷却到合理的温度，常无空气预热器，不过有的工业锅炉，给水除氧后，温度也有 $104^{\circ}\text{C}$ ，尤其是燃用着火困难的燃料，为了改善着火燃烧条件，也有采用空气预热器的。

对于火床燃烧的工业炉，因炉排片温度的限制，即使有空气预热器，空气的温度也不超过 $150\sim 180^{\circ}\text{C}$ 。

## 二、空气预热器的作用及结构

### 2. 空气预热器的分类

按空气预热器的工作原理，空气预热器可分为间壁导热式和再生式两种。

- 间壁导热式空气预热器的特点是在烟气与空气之间存在一个壁面，烟气将热量通过这中间壁面传给空气。
- 再生式空气预热器是烟气和空气轮流地流过一种中间载热体(金属、陶瓷、液体等)来实现传热，当烟气流经中间载热体时，把再热体加热。当空气流经载热体时，载热体本身受到冷却，而空气却得到加热。
- 间壁导热式可分为管式和板式预热器。再生式空气预热器可分为转子转和风罩转等型式。



## 二、空气预热器的作用及结构

### 2. 空气预热器的分类

- 管式空气预热器:由许多薄壁钢管装在上、下及中间管板上形成的管箱。
- 最常用的电站锅炉管式空气预热器有立式和卧式两种。
- 立式预热器是烟气在管内纵向流动,空气在管外横向流动冲刷管子。
- 卧式预热器是烟气在管外横向冲刷管子,空气在管内纵向流动。总之,烟气、空气作相互垂直的逆向流动。

## 第五章 减温器

## 本章内容

- § 5-1 汽温调节方法
- § 5-2 减温器作用和结构

## § 5—1 汽温调节方法

- 锅炉在实际运行中蒸汽参数总是处在不断变化之中
- 影响汽温是否变化的因素分别来自烟气侧和蒸汽侧
- 获得相对稳定或变化很小的蒸汽参数是我们的目的

## • 汽温的调节方法

可分别考虑从烟气侧和蒸汽侧对汽温进行调节。

要求调节方法：①调节惯性或延迟时间要小，即灵敏；②调节范围要大；③结构简单可靠；④对循环效率的影响要小；⑤附加的金属和设备的消耗要少；⑥尽可能起到保持金属的作用。

- 烟气侧汽温调节方法主要有：

- (i) 烟气再循环

- (ii) 采用烟气挡板

- (iii) 改变火焰中心位置

调节精度低，一般只能进行粗调节

## • 蒸汽侧汽温调节方法

- 蒸汽侧调节的原理是利用减温器来降低过热蒸汽的焓，使汽温降低到需要的温度。
- 这种调节方法的特点是：① 调节精度高；② 若布置合理，能起到保护过热器金属的作用，能使各蛇形管中的蒸汽温度均匀；③ 只能降低温度，为此就必须在设计时各布置全适量的受热面，使过热器的钢材消耗量加大，还要额外消耗减温所需的材料。
- 目前，中参数锅炉（2.5,3.9MPa）的汽温调节多采用蒸汽侧调节，更高参数的锅炉多采用蒸汽侧和烟气联合调节的方法。

## § 5—2 减温器作用和结构

- 所谓的减温器实质上就是一种换热器。

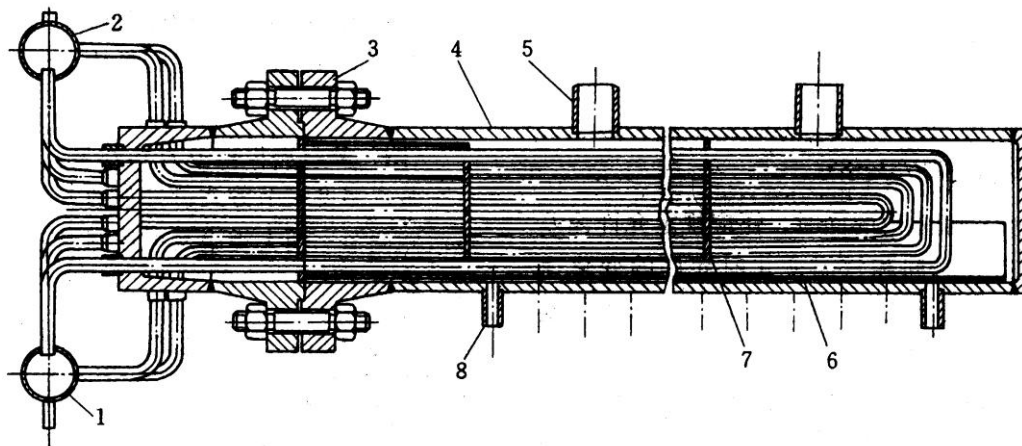
- 减温器可分为面式减温器和喷水减温器两种。

- 面式减温器是一种管壳式热交换器，它利用锅炉给水或炉水作为冷却介质，通过与过热蒸汽的对流换热来冷却蒸汽

- 它的优点是冷却介质不与蒸汽接触，对冷却介质没有特殊要求，故常用于中小型锅炉。但一般说来，对于一定的减温器，减温幅度有一饱和值，即冷却水量增加到一定值后，即使再增加流量，减温幅度也不再变化。若要继续增加减温幅度，只能更换容量更大的减温器。



## • 常见的面式减温器为U型管表面式减温器



1—冷却水进口小集箱；2—冷却水出口小集箱；3—法兰；4—减温器壳体；  
5—蒸汽引入管；6—U形管；7—隔板；8—蒸汽引出管

图5-1 U形管减温器

- **喷水减温器就是一种接触式换热器。**
- 喷水减温器中，减温水直接喷入过热蒸汽中，经喷嘴雾化后的减温水滴从蒸汽中吸收热量后汽化，并与蒸汽混合，从而降低过热蒸汽的温度。
- 特点：减温水与蒸汽直接接触，对减温水的水质要求较高；惯性小，调节灵敏，易于实现自动化；减温幅度与喷水量成正比，减温幅度大，高达100℃；压力损失小；结构简单，省材料，一般在过热器的中间集箱或蒸汽管道间喷入减温水，无复杂设备。

- 按减温器的结构型式，喷水减温器有：  
多孔式喷水减温器、文丘利管式和旋涡式等。

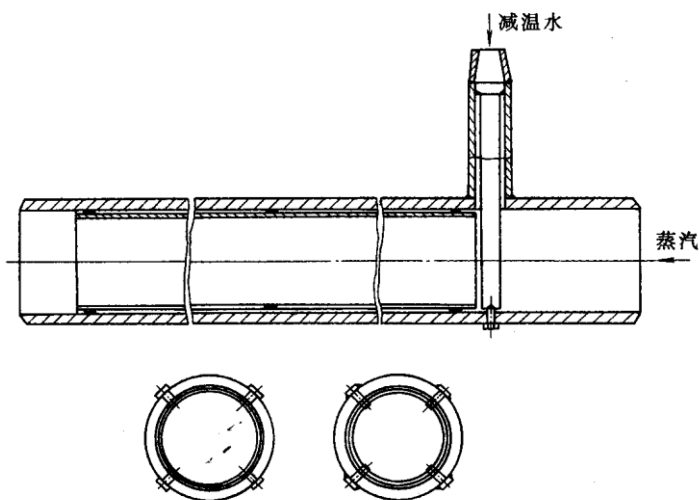


图5-2 1根笛形管式喷水减温器

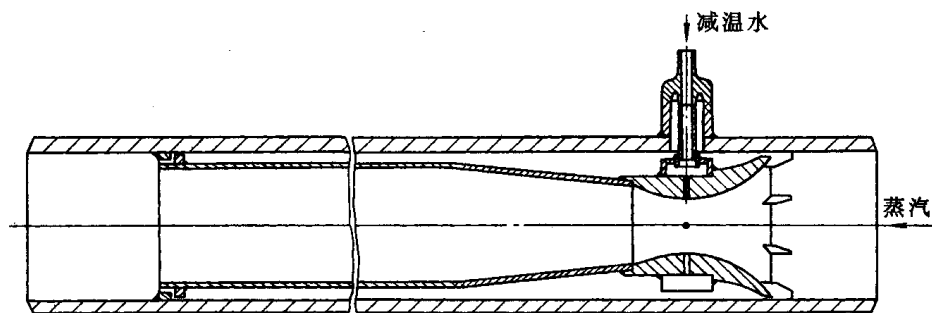


图5-3 文式管式喷水减温器

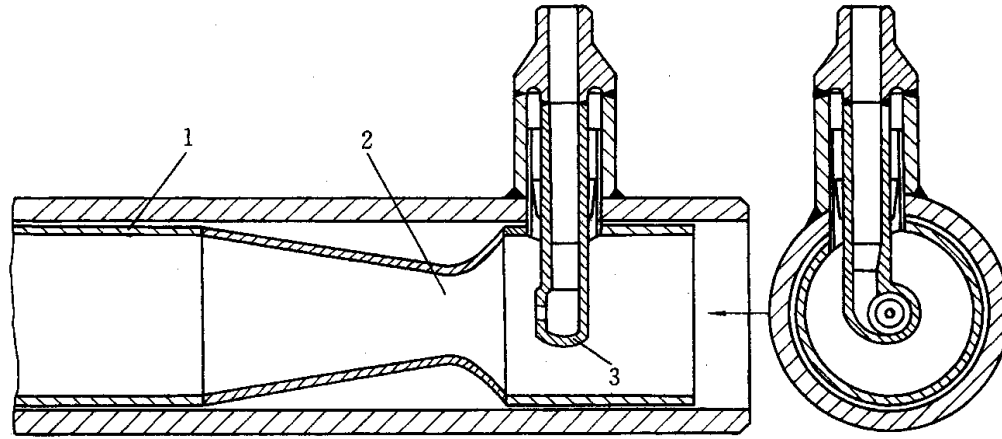


图5-4 旋涡式喷水减温器

## 内衬管的作用有：

- 使得喷入的冷却水在内衬管的长度范围内完全汽化，防止水滴撞击管壁，造成局部应力过大，导致疲劳破坏，
- 防止水滴进入下级过热器，造成热偏差。
- 混合内衬管的长度应根据水的汽化长度来确定。减温水的汽化长度是指喷水点到喷入的减温水完全汽化所需的距离。影响汽化长度的因素主要有：雾化质量；蒸汽温度；减温水的温度等。目前完全依靠理论分析来求解汽化长度尚有困难。目前只能依靠经验公式，先确定汽化时间，然后再确定汽化长度。

## 按减温水的来源，喷水减温器可分为：

### ① 给水喷水减温器

减温水在给水泵出口抽取，依靠给水本身具有的压力喷入蒸汽。

### ② 冷凝水喷水减温器

在给水产品较差的电厂中，将一部分冷凝水单独收集，并专用减温水泵将冷凝水喷入蒸汽。

### ③ 自制冷凝水喷水减温器

将部分饱和蒸汽在专用冷凝器中冷凝作为减温水，并利用减温水和过热蒸汽之间的压差将其喷入蒸汽。

# 电站锅炉结构

## 喷水减温器失效方式及失效位置

失效方式	常见区域				典型位置
	筒体、封头	喷头	文丘里混合管	衬套	
蠕变	是	是	是	/	筒体、接管座部位
疲劳	/	是	是	是	衬套焊缝、固定销等定位元件的焊缝、筒体内壁
蠕变-疲劳	是	是	是	接管座部位	接管座部位
腐蚀		是	是	是	喷嘴和内衬套连接焊缝
冲蚀	是	是	是	是	喷嘴、内衬套、混合管内壁

# 第六章 锅炉炉墙与构架



## 本章内容

- § 6-1 锅炉炉墙作用、种类以及典型结构
- § 6-2 锅炉构架及其类型

## § 6—1 锅炉炉墙作用、种类以及典型结构

锅炉炉墙是用耐火和保温材料所砌筑或敷设的锅炉外壳，是使锅炉本体燃烧室和尾部烟道等区域的火焰和高温烟气与外界隔开的围墙。

锅炉炉墙的主要作用是：

1. 构成密闭的燃烧室和一定形状的烟气流动通道，为锅炉燃烧和传热过程的正常进行提供必要的空间条件。
2. 对于负压运行的锅炉，防止外界的冷空气漏入炉膛或烟道内，以免使锅炉效率下降，影响锅炉的经济性；对于正压运行的锅炉或由于种种原因锅炉出现正压时，亦可防止炽热的火焰和烟气外泄，以免威胁运行人员的安全和影响环境卫生。
3. 防止锅炉热量向周围环境散失，这样既有助于保持炉内的高温环境，强化炉内燃烧和传热过程，同时也减少了锅炉散热损失，保证运行人员有良好的工作条件。

## § 6—1 锅炉炉墙作用、种类以及典型结构

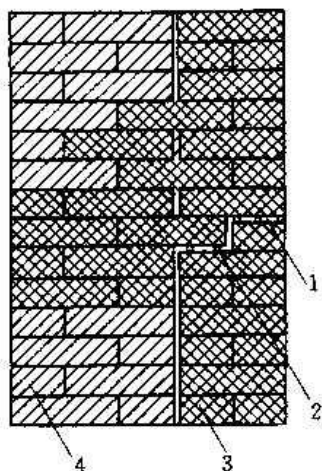
三种基本结构型式，即重型炉墙、轻型炉墙及敷管炉墙。

### 1. 重型炉墙的结构

重型炉墙是较早的锅炉炉墙结构形式，现用于无水冷壁或水冷壁管稀少的小型锅炉中。

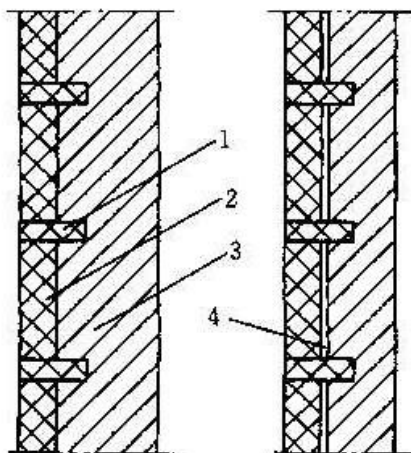
重型炉墙的特点是墙体直接砌筑在锅炉的钢筋混凝土地基或梁上，其重量为地基或梁所承受。在厚度方向它通常由两层组成：用标准耐火砖(230×113×65mm)做内衬墙，用机制红砖(240×115×53mm)做外包墙。内衬墙用耐火砖，是为了能承受高温；外包墙用机制红砖是因为其绝热性较好而且价格便宜。有时为了提高重型炉墙的保温性能，也在两层之间留有7~20mm的空气夹层或放置耐火纤维材料。在烟气温度 $\leq 500^{\circ}\text{C}$ 的锅炉低温烟道部分，炉墙可全部用机制红砖砌筑。

## § 6—1 锅炉炉墙作用、种类以及典型结构



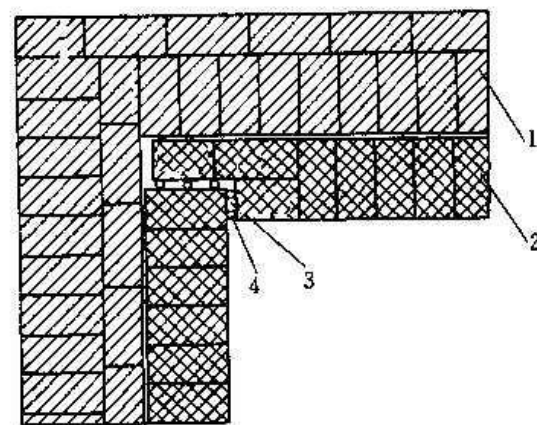
重型炉墙的卸载结构

1 - 水平膨胀缝; 2 - 耐火绳索;  
3 - 耐火砖; 4 - 机制红砖



重型炉墙的牵连结构

1 - 牵连砖; 2 - 耐火砖; 3 - 机制红  
砖; 4 - 空气层或耐火纤维层



重型炉墙的垂直膨胀缝结构

1 - 机制红砖; 2 - 耐火砖;  
3 - 垂直膨胀缝; 4 - 耐火绳索

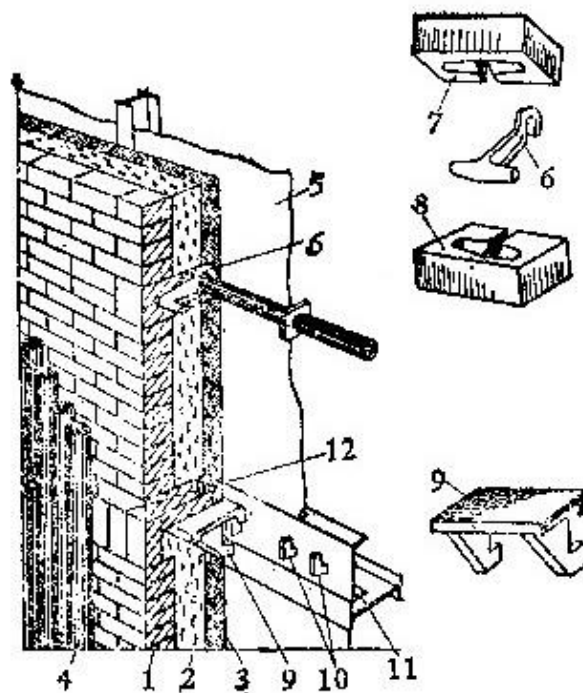
## § 6—1 锅炉炉墙作用、种类以及典型结构

### 2. 轻型炉墙的结构

轻型炉墙是相对重型炉墙而言的，它是在重型炉墙的基础上发展起来的。国产的蒸发量小于130t/h的锅炉炉膛和过热器烟道部分皆采用该型炉墙。

轻型炉墙的特点是炉墙分段压在金属托架上，每段高度为5m左右，由托架把每段炉墙的荷载传到锅炉构架上，所以这种炉墙高度可远远超过上述的重型炉墙。轻型炉墙常用于水冷壁管较密的炉膛或炉膛内壁面温度低于600~1000℃的场合，炉墙厚度一般为260~310mm，比重型炉墙薄而轻，每平方米炉墙面积约重400kg左右(不包括钢制护板的重量)。因为轻型炉墙每段的高度不大，所以炉墙的总高度不受限制，承受横向力(如地震力等)的能力大。但是轻型炉墙的金属消耗量大(要用炉墙托架、拉钩、护板，并且要加强锅炉构架)，砖砌的轻型炉墙还需采用价格比普通耐火砖高2-3倍的异形耐火砖，砌筑这些异形耐火砖的费用比普通砖贵3~4倍。

## § 6—1 锅炉炉墙作用、种类以及典型结构



轻型砖砌炉墙的结构

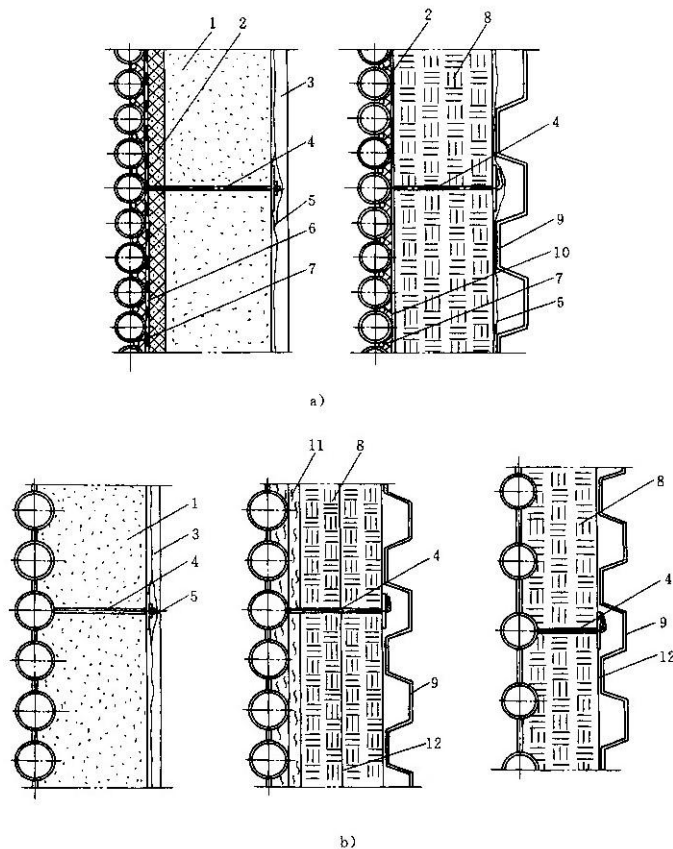
- 1 - 耐火砖； 2 - 硅藻土砖； 3 - 石棉白云石板； 4 - 水冷壁管； 5 - 钢制护板； 6 - 拉钩； 7, 8 - 异型砖； 9 - 托架； 10 - 托架的支座搭钩； 11 - 锅炉构架的框架梁； 12 - 膨胀缝

## § 6—1 锅炉炉墙作用、种类以及典型结构

### 3. 敷管炉墙的结构

所谓敷管炉墙是将轻质炉墙材料敷设在膜式水冷壁或光管水冷壁、包覆过热器的内扩板上形成的炉墙。敷管炉墙的特点是炉墙材料重量直接由受热面支承，炉墙材料和受热面一起膨胀。敷管炉墙的材料可以采用不定形材料和纤维状材料，这些材料有：耐火混凝土、保温混凝土、膨胀珍珠岩、微孔硅酸钙、硅酸铝耐火纤维、岩棉、矿棉和玻璃棉等，有时泡沫石棉也用作保温材料。保温混凝土的敷管炉墙用抹面涂料作防护层，纤维状保温材料的敷管炉墙用金属护板作防护层。敷管炉墙由于重量轻、保温性、气密性好，是近代大容量电站锅炉普遍采用的一种炉墙结构形式，目前400t/h以上的大型锅炉无一例外都采用这种炉墙结构。

## § 6—1 锅炉炉墙作用、种类以及典型结构



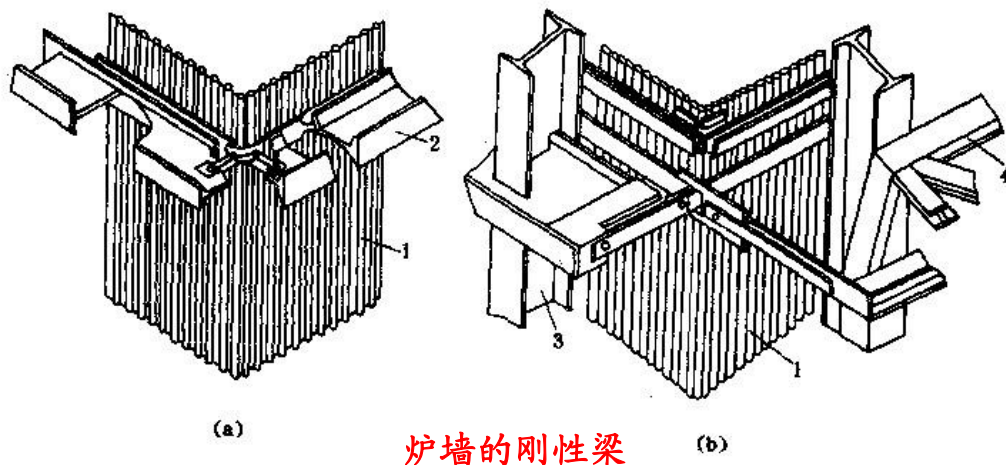
敷管炉墙的典型结构

a) 光管敷管炉墙    b) 膜式壁敷管炉墙



## § 6—1 锅炉炉墙作用、种类以及典型结构

敷管炉墙由于是直接敷贴在锅炉受热面的管子上，所以要求管排平整。在炉膛和烟道内出现正压或负压使管子和炉墙受到很大的推力时不能凸起和出现裂缝。轻型砖砌炉墙的最外层有钢板和框架梁，具有很大的刚性，能承受这种推力。为了使敷管炉墙能承受这种推力，常沿炉墙高度每隔3~4m装设一圈刚性梁，用来把炉墙和管子箍起来并使之形成具有刚性的平面，图就是该型炉墙所用的刚性梁结构。



炉墙的刚性梁  
(a) 搭接式 (b) 框架式  
1 - 水冷壁; 2 - 刚性梁; 3 - 钢柱; 4 - 桁架

## § 6—2 锅炉构架及其类型

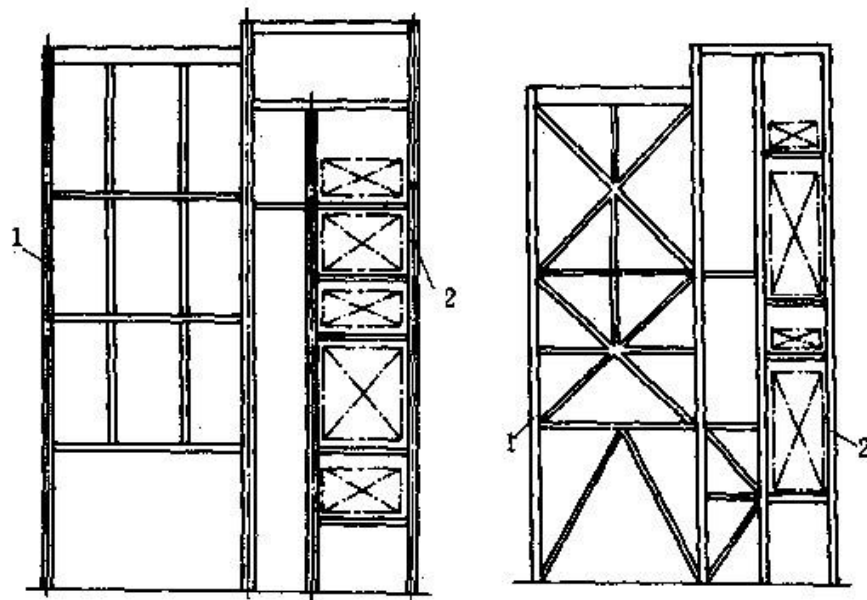
锅炉构架是由梁、柱、支撑等构件所组成的钢结构或钢筋混凝土结构空间体系，是锅炉的主要承载部件和支撑骨架，锅炉的所有重量都通过构架传给锅炉基础或整个厂房的基础。所以，锅炉构架型式的合理选择和结构的正确设计直接关系到锅炉自身坚固性、稳定性、美观性和经济性。

锅炉构架的型式与锅炉的整体结构有很大的关系，尤其与锅炉炉墙采用的结构型式密切相关。小型工业锅炉大多采用重型炉墙，其受热面和汽包的总重量也不大，常把它们支座在钢筋混凝土短柱或直接安放在锅炉基础上，尽可能不采用钢构架来支承或悬吊。所以小型锅炉的构架基本上是不承重的，主要是用来箍紧炉墙和承受一些不大的横推力以及个别部件的重量，仅用来连接一些必不可少的锅炉平台、扶梯。这种构架常用一些小型型钢(角钢、槽钢等)连成柱和拉条，是一种简单、轻便的钢构架。

大中型锅炉的受热面以及汽包常需架在几十米高的位置，而且一般采用轻型或敷管炉墙，所以汽包，受热面和炉墙必须用钢构架或钢筋混凝土构架来支承或悬吊。相对而言，其构架比较复杂。

## § 6—2 锅炉构架及其类型

按其结构，中、大型锅炉的构架可分为框架式和桁架式两类。如图所示，框架式构架一般为梁与柱刚性连接的空间框架；桁架式构架的各个平面由桁架组成，或在框架内加斜支撑。与框架式构架相比，桁架式构架更利于抵抗水平力，金属耗量也比框架式少。



锅炉构架的结构形式

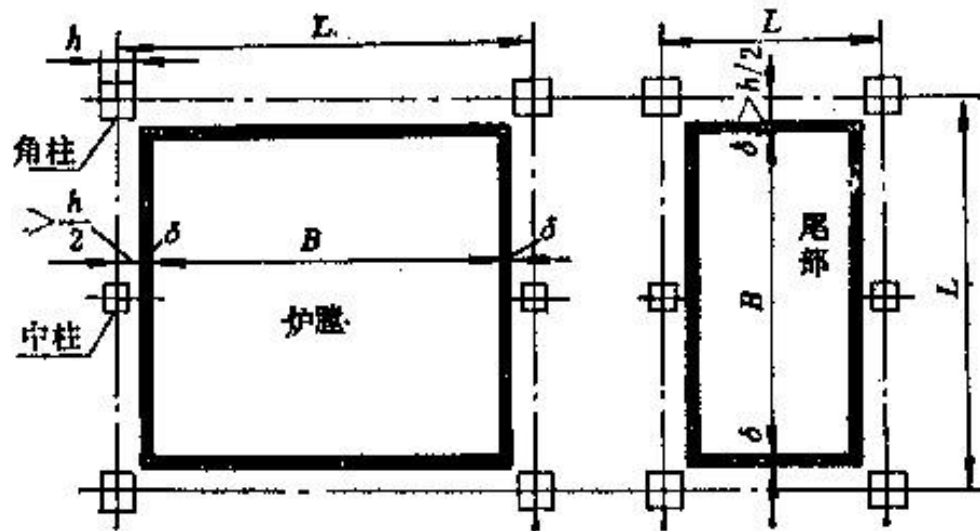
(a) 框架式构架； (b) 桁架式构架

1 - 炉膛部分构架； 2 - 锅炉尾部构架

## § 6—2 锅炉构架及其类型

按其承载方式，中、大型锅炉的构架又可分为支承式构架和悬吊式构架两类。对于支承式锅炉，当主要部件的支承点较分散且用轻型炉墙时，可采用框架式构架；当采用重型炉墙或锅炉的重量集中支吊在炉顶时，可采用桁架式构架；露天布置或安装在地震区时则应采用桁架式构架。由于尾部构架支杆布置较困难，一般常采用框架式构架。对于悬吊式锅炉，构架一般由钢结构的炉顶梁格和钢筋混凝土框架组成(参看图)，当钢筋混凝土框架过高时(例如塔式布置锅炉)，则应用桁架式构架代替钢筋混凝土框架。锅炉尾部为单级回转式空气预热器时，应另设构架支承，尾部受热面双级布置的半悬吊式锅炉，一般也另设钢结构的框架式构架支承。

## § 6—2 锅炉构架及其类型

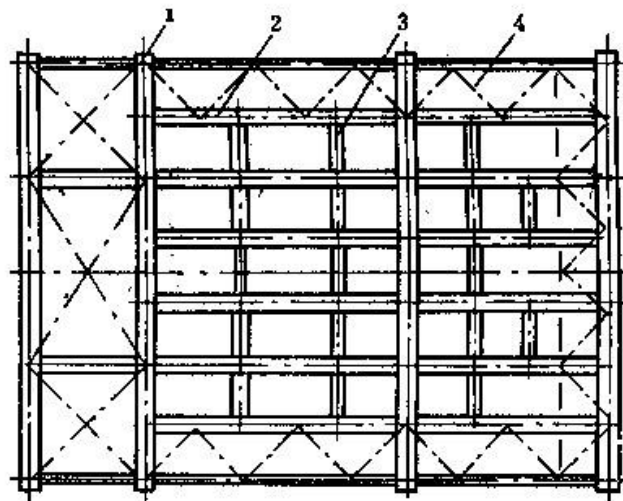


支承式锅炉构架立柱的布置

## § 6—2 锅炉构架及其类型

悬吊式锅炉构架的荷重方式和上述支承式锅炉构架不同，大中型悬吊式锅炉的所有重量，包括汽包、受热面、炉墙等都通过吊钩悬吊在顶板的大钢板梁或桁架式顶板上，强度很大的顶板被支座在30~60m高的立柱顶上，通过立柱把巨大的荷重（300MW自然循环锅炉总荷重约为7000t）传给锅炉的混凝土基础。

如图所示，悬吊式锅炉的顶板系统是由主梁，次梁，小梁和支撑构件组成的桁架结构。



悬吊式锅炉的顶板系统

1 - 主梁； 2 - 次梁； 3 - 小梁； 4 - 支撑构件

## § 6—2 锅炉构架及其类型

主梁由柱顶直接支承，并将悬吊载荷传递给立柱。主梁的布置有横向布置和纵向布置两种方式，通常，由于锅炉宽度方向的柱距大于深度方向的柱距，由跨距大的梁来承受较大的载荷比较经济，所以在一般情况下，主梁都是沿锅炉宽度方向布置。

次梁是直接支吊载荷的构件，并将载荷传递给主梁。次梁应对称于锅炉中心线布置，并在主梁两侧成一直线，其跨距应小于主梁。次梁与主梁的连接应采用刚性连接。

当支吊点不在次梁位置时，需用小梁直接支吊载荷，并传递给次梁。小梁还可作为保证次梁稳定和传递炉顶水平力的构件。

顶梁系统承受着锅炉大部分垂直载荷，当锅炉露天布置或在地震区时，还要承受风载和地震水平力的作用。为了保证主梁端部的稳定性和顶梁系统在水平方向具有一定的整体刚度，必须设置支撑构件。支撑构件常用交叉斜杆形式。

# 第七章 锅炉安全附件



## § 7—1 压力表

压力表是测量锅炉压力的仪表。压力是锅炉运行的一个重要参数，需要随时加以监视。按照规定，锅炉中需要安装压力表的部位通常有：锅筒蒸汽空间，省煤器出口，以及再热器出、入口。除此之外，还应在下列部位装设压力表：直流锅炉启动分离器，直流锅炉一次汽水系统的阀门前，强制循环锅炉水循环泵出、入口，燃油锅炉油泵进、出口，燃气锅炉的气源入口等。

每台蒸汽锅炉必须装有与锅筒蒸汽空间直接相连接的压力表，还应在给水调节阀前、可分式省煤器出口以及过热器出口与主汽阀之间装设压力表。每台热水锅炉的进水阀出口、出水阀入口及循环水泵的进水管和出水管上也应装压力表。除此之外，压力表的精度、表盘公称直径、校验和维护等国家均有相关的法规标准规定。

## § 7—2 安全阀

安全阀是一种自动泄压报警装置。它的主要作用是：当锅炉压力超过允许的数值时，能自动开启排汽泄压，同时能发出音响警报，警告操作人员，以便采取必要的措施，降低锅炉压力。同时，安全阀能自动地将锅炉工作压力控制在预定的允许范围之内。当锅炉压力超过允许工作压力时，安全阀就自动开启，排出蒸汽或热水，直到锅炉压力降低到允许的工作压力，才会自动地关闭，使锅炉工作压力经常保持在允许的工作压力下运行，而不致因为超压酿成锅炉爆炸事故。因此，不装安全阀或安全阀不灵敏的锅炉是绝对禁止运行的。

我国对锅炉安全阀的数量、类型、装设位置、排量计算、定压、操作等均在相关法规标准中提出要求。

## § 7—3 水位表

水位表是用来显示锅内水位高低的，蒸汽锅炉上如果不安装水位表或者水位表失灵，操作人员将无法了解锅内水位的高低，蒸汽锅炉在运行中不可避免地会造成锅内缺水或满水事故；特别是锅内严重缺水时，还可能造成锅炉爆炸事故。所以，为了确保蒸汽锅炉的安全运行，每台蒸汽锅炉必须按规定装设灵敏可靠的水位表。没有水位表或者水位表失灵的蒸汽锅炉，是绝对不允许投入运行的。

水位表的数量、安装位置、结构、防护装置以及操作等项目我国均有相关法规标准要求。

## § 7—4 保护装置

蒸汽锅炉应当装设高、低水位报警及低水位联锁保护装置，额定蒸发量大于或者等于6t/h的锅炉，应当装设蒸汽超压报警和联锁保护装置；室燃锅炉应当装设点火程序控制装置和熄火保护装置，全部送风机或引风机跳闸时，自动切断全部送风和燃料供应装置；锅炉的过热器和再热器有防止金属壁超温装置。总之，对于不同的炉型，不同的安装位置，需要配置相应的自动保护装置，以便保护锅炉和人员的安全。

# 第八章 锅炉辅助装置、 设备及系统

除上述本体设备外，锅炉还需要辅助设备来配合工作，才能保证锅炉生产过程的正常进行。

主要的辅助系统有：

- 通风系统
- 燃料输送系统
- 制粉系统
- 除尘除灰系统
- 排污系统

通风系统是用以供给燃料燃烧和制粉所需要的空气以及排出燃料燃烧后所生成的烟气。设备包括送(鼓)风机、引风机、风道、烟道、烟囱等。

燃料输送系统的作用是将燃料从燃料储存场运输至锅炉房。在现代电厂中，燃料运输设备由专门的燃运车间来进行管理。

# 电站锅炉结构

制粉系统的任务是将原煤干燥，磨碎成一定细度的煤粉，并送入炉膛中燃烧。包括煤斗、给煤机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉机等设备组成。

除尘除灰系统(除尘器)的作用是清除烟气中携带的飞灰，尽量减少随烟气从烟囱排出的飞灰量，以减轻飞灰对环境的污染和对引风机的磨损。除灰设备是用来清除燃料燃烧后从燃烧室落下的灰渣和由除尘器分离出来细灰，并将其送往储灰场。现在还可有效利用灰渣，如加工制作成工程用材料等。

排污系统的作用是定期排出炉水中的沉淀物和连续排出炉水中溶解的部分盐分，使炉水的含盐量和其他水质指标保持在规定的范围内。包括排污装置、管道、阀门和排污扩容器等。

吹灰系统的作用是清除水冷壁、过热器、再热器、省煤器和空气预热器等锅炉受热面外部的积灰，以增强传热效果。包括吹灰器、阀门、管道等。主要有蒸汽吹灰和超声波吹灰等型式。



谢谢！