

发电工程设计项目经理（设总）培训课题

第二部分：专业设计基础知识

## 第十五章：除灰专业设计基础知识

华北电力设计院工程有限公司

2012 年 8 月 北京

编写：赵丽琼

校审：郭 利、彭 方

# 目 录

1 设计范围和主要设计内容 .....	1
1.1 除灰专业的设计范围 .....	1
1.2 主要设计内容 .....	1
2 设计接口 .....	3
2.1 与院外(业主、设备供应商)接口 .....	3
2.2 院内设计接口 .....	5
3 相关设计规程 .....	6
4 影响除灰系统拟定的因素 .....	7
5 系统拟定原则 .....	7
6 典型系统设计简介 .....	8
6.1 系统设计基础数据 .....	8
6.2 典型灰渣处理系统 .....	9
6.3 典型工程设计实例 .....	17
6.4 典型灰渣处理系统流程图 .....	35
6.5 典型工程照片 .....	35



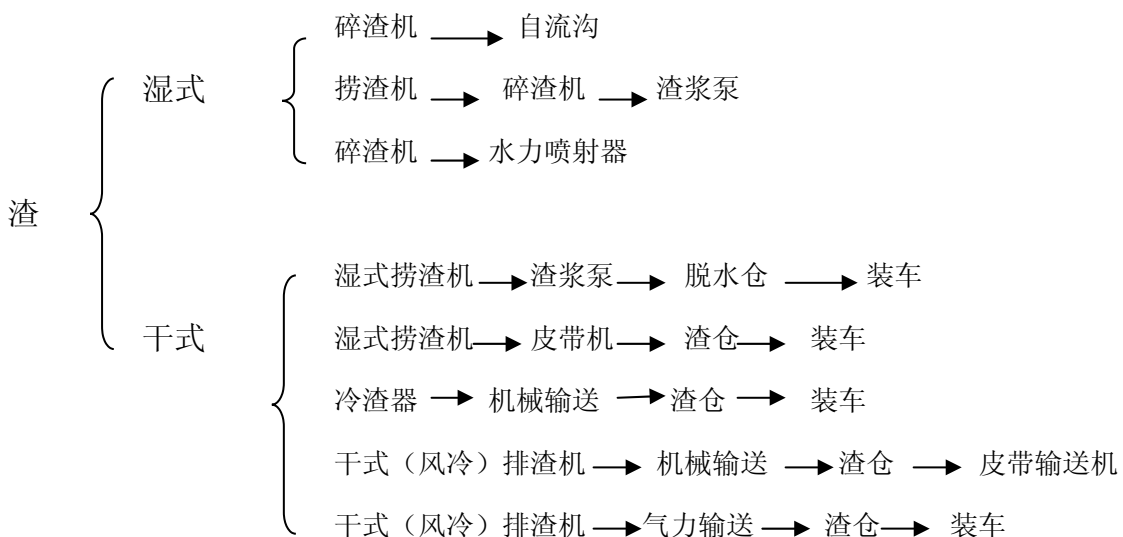
## 1 设计范围和主要设计内容

### 1.1 除灰专业的设计范围

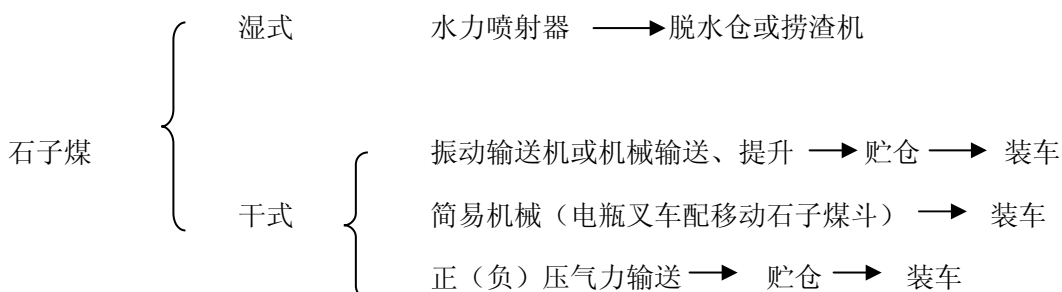
除灰专业的设计范围主要是发电厂排放的固体废弃物的处理。可分为以下几部分：炉底渣处理系统；石子煤处理系统；飞灰处理系统(包括：除尘器飞灰、省煤器飞灰、空气预热器飞灰和脱硝灰斗灰的收集、储存和输送、干灰分选、干灰磨细)；脱硫废弃物处理；循环流化床锅炉的石灰石粉气力输送、锅炉床料机械和气力输送、水煤浆输送等气固、液固两相流输送；灰渣厂外输送系统（包括：灰渣泵、管道输送；皮带输送；水路和陆路汽车输送等）；辅助系统：灰渣处理系统的供水和渣水闭式循环系统、压缩空气系统、灰库辅助卸料系统等。

### 1.2 主要设计内容

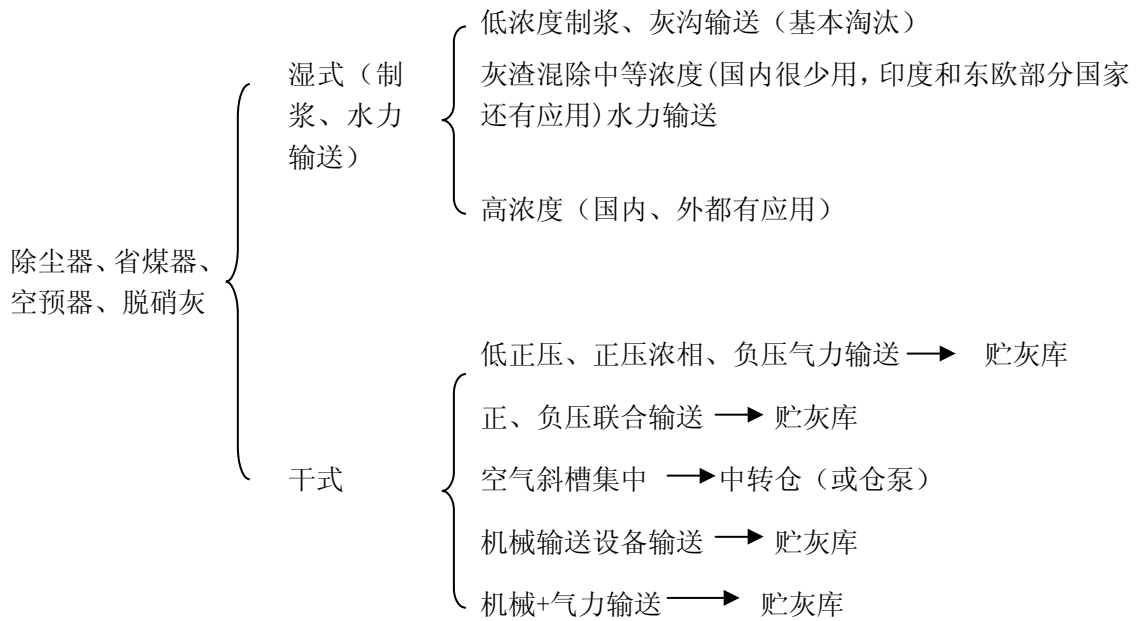
#### 1.2.1 除渣部分的炉底渣系统基本型式可分为：



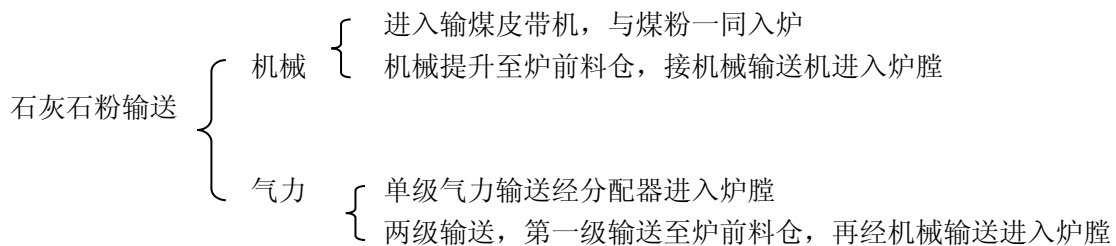
#### 1.2.2 中速磨石子煤处理系统基本型式可分为：



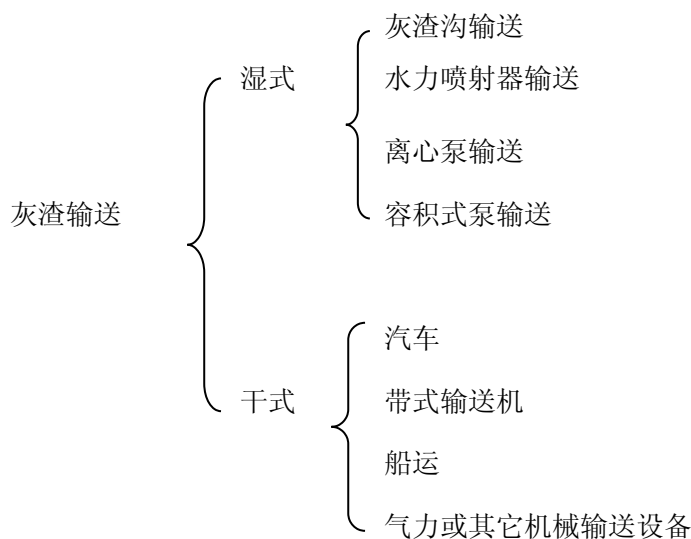
### 1.2.3 飞灰处理系统基本型式可分为：



### 1.2.4 石灰石粉输送系统基本型式可分为：



### 1.2.5 厂外灰渣输送系统基本型式可分为：



1.2.5 供水和渣水闭式循环系统主要包括：炉底渣冷却用水，冲灰、冲渣用水，转动机械冷却用水，炉渣冷却、冲渣水的循环复用。

### 1.2.6 压缩空气系统

全厂公用空压机组、除灰用压缩空气系统。

### 1.2.7 仪表、控制及通讯设计要求

- 1) 除灰系统装设的仪表要求
- 2) 除灰设备上装设的报警信号要求
- 3) 除灰系统的控制方式及联锁要求
- 4) 各除灰值班室之间的通讯联络要求

## 2. 设计接口

### 2.1 与院外(业主、设备供应商)接口

#### 2.1.1 与建设单位的接口配合

- 1) 对建设单位提供的电厂周边环境信息进行分析，确定系统设计原则；
- 2) 在项目单位的协调下，配合水工专业做好项目固体废弃物的综合利用专题报告，除灰专业应重点落实综合利用对固体废弃物的品质要求，并配合综合利用要求，制定飞灰处理的设计方案。如：分选、磨细、混合添加剂、灼烧等。
- 3) 详细了解贮灰场距电厂运输距离、高差以及周边环境情况。

#### 2.1.2 与主设备供应商接口

##### 1) 锅炉厂

##### a. 接收锅炉厂提供资料：

排渣温度	℃	
灰渣分配比		
锅炉吹灰时排渣量	t/h	
炉膛底部工作压力	Pa	
炉膛底部报警压力	Pa	
冷灰斗排渣口喉部尺寸	mm×mm	
下联箱中心标高	mm	
密封板连接尺寸、图纸	mm	
密封板处热位移值	mm	
省煤器灰斗排灰温度	℃	
省煤器灰斗排灰量	t/h	
省煤器灰斗出口法兰标高、连接尺寸	m	
省煤器灰斗数量		
省煤器灰斗出口处热位移值	mm	
省煤器灰斗检修平台尺寸、标高	mm	
锅炉区域钢结构框架图		

b. 提供给锅炉厂资料

风冷排渣机冷却风量	kg/min	
风冷排渣机冷却风入炉温度	℃	
排渣设备布置图		与锅炉厂配合,避免相互碰撞
与下联箱连接处反作用力(机械密封有此项)	kN	
省煤器灰斗排灰设备、管道作用在每个灰斗上的荷载	t	

2) 除尘器厂

a. 接收除尘器厂提供资料:

静电除尘器	电袋复合式除尘器	袋式除尘器
排灰温度	排灰温度	排灰温度
各电场排灰分配比	电除尘各电场、袋式除尘排灰量分配比	各排灰斗排灰量分配
各电场排灰量	电除尘各电场、袋式除尘排灰量	各排灰斗排灰量
除尘器总图	除尘器总图	除尘器总图
排灰斗接口规格、标高	排灰斗接口规格、标高	排灰斗接口规格、标高
排灰斗处热位移值	排灰斗处热位移值	排灰斗处热位移值
灰斗检修平台尺寸、标高	灰斗检修平台尺寸、标高	灰斗检修平台尺寸、标高
灰斗电加热器功率	灰斗电加热器功率	灰斗电加热器功率
灰斗料位计安装位置	灰斗料位计安装位置	灰斗料位计安装位置
对除灰设施的其他要求	对除灰设施的其他要求	对除灰设施的其他要求

b. 提供给除尘器厂资料

适用于各种型式除尘器

内 容	备 注
灰斗出口法兰标高要求	
对灰斗数量设置的建议值	
灰斗检修平台尺寸、标高	与设备厂配合、确定
除灰设备、管道作用在灰斗上的荷载	当采用悬吊式安装方式时有此项
气力输灰设备、管道布置图	除尘器本体平台、扶梯的布置设计应考虑避让输灰设备、管道

3) 除灰、渣设备供应厂商

按照技术协议要求内容进行资料交接配合; 核对、确认设备厂提供资料的完整性、正确性和有效性。

4) 中速磨煤机设备供应商

a. 磨煤机设备供应商提供资料:

内 容	备 注
磨煤机台数	



每台磨石子煤排放量	
最大粒度、粒度分布	
石子煤温度	
排放口标高、接口尺寸	
对处理设备的要求	

b. 提供给磨煤机厂资料

内 容	备 注
磨煤机石子煤排放接口	设计界限
石子煤排放口标高最小值的建议	

5) 脱硫、脱硝系统供应商

a. 脱硫、脱硝系统供应商提供资料:

内 容	备 注
排放的固体废弃物成分	
固体废弃物排放量	
最大粒度、粒度分布	
固体废弃物排放温度	
排放运行方式	连续/间断
排放口数量、位置、接口尺寸	
对固体废弃物处理设备的要求	

b. 提供给脱硫、脱硝系统供应商资料

内 容	备 注
固体废弃物排放接口参数	设计界限, 工艺接口和机械接口参数
固体废弃物处理系统对各排放口标高的建议值	
固体废弃物处理系统设备、管道布置	避免与脱硫脱硝设备管道碰撞。

2.2 院内设计接口

2.2.1 接收以下资料作为除灰系统设计依据

工程气象条件、燃料量、灰成分、炉型、磨煤机型式、主设备运行模式、石灰石粉用量、除灰用水水质、灰场贮灰方式和距电厂距离、灰渣综合利用要求、厂

区总平面布置、厂外运输条件等。

### 2.2.2 提供资料作为相关专业的设计依据

灰、渣、石子煤排放量和排放方式、对锅炉排渣口、灰斗排灰口接口参数要求、用水和排水参数（水量、水温、水压和水质）要求、设施占地、设备电负荷、自动控制、建构筑物设计参数（结构尺寸、荷载、采暖通风）、灰渣运输方式和输送设备参数等。

## 3. 相关设计规程

### 3.1 主要通用规程

GB50660-2011	大中型火力发电厂设计规范
GB50029	压缩空气站设计规范
GB4053.1~GB4053.3	固定式钢梯及平台安全要求
DLGJ 158-2001	火力发电厂钢平台扶梯设计技术规定
DL50013.1	电力建设安全工作规程
DL/T5054	火力发电厂汽水管道设计规定
DL/T 5204	火力发电厂油气管道设计规程
DL/T5072	火力发电厂保温油漆设计规程
DL/T 5053.1	火力发电厂劳动安全设计规程
DL/T 5053.2	火力发电厂职业卫生设计规程
GB/T 1596-2005	用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB150-2011	压力容器
GB 50049	《小型火力发电厂设计规范》
待定	《秸秆发电厂设计规范》
GB/T 17119	《连续搬运设备 带承载托辊的带式输送机 运行功率和张力的计算》

### 3.2 专业相关规程、手册

DL5142	火力发电厂除灰设计技术规程
CJJ90-2009	生活垃圾焚烧处理工程技术规范
Q/DG1-A009-2009	大型循环流化床锅炉系统设计导则
Q/DG1-C001-2011	火力发电厂除灰系统设计技术导则
Q/DG1-C002-2011	火力发电厂除渣系统设计技术导则

Q/DG1-C003-2011	火力发电厂石子煤系统设计技术导则
DL/T 1128-2009	风冷式钢带输渣机
DL/T 1006-2006	高温碎渣机
	《除灰计算手册》

#### 4. 影响除灰系统拟定的因素

##### 4.1 外部影响因素

1) 国家、行业相关规程规定,《粉煤灰综合利用管理办法》、《资源综合利用管理办法》、〈工业固体废弃物排放管理规定〉、〈固体废弃物综合利用〉等和项目所在地方相关管理规定以及用户特殊要求;

2) 贮灰场型式,如:干式、湿式;

3) 贮灰场距电厂距离、高差、地质、地形、气象条件;

4) 灰渣外运条件(公路、铁路、水陆等);

5) 灰渣综合利用要求,包括对灰渣状态(活性、粒度分布、含水率、混合物成分等)要求。

##### 4.2 厂内影响因素

###### 4.2.1 主设备对灰渣处理系统拟定的影响

锅炉型式、除尘器的型式、磨煤机型式;

###### 4.2.2 灰渣的化学、物理特性,水质对灰渣处理系统拟定的影响;

###### 4.2.3 布置影响,如:磨煤机、渣仓、灰库的位置,运输道路的通畅等;

###### 4.2.4 灰渣排放量多少,如:排渣量过大不适宜采用风冷式排渣机等。

#### 5. 系统拟定原则

##### 5.1 除灰系统应按发电厂建设规模统一规划,分期建设。

5.2 除灰系统的选择应根据燃料特性及锅炉、除尘器和磨煤机等型式,灰渣量,灰渣的化学、物理、输送和储存特性,灰场贮灰方式,灰渣综合利用条件,电厂与贮灰场的距离、高差,以及总平面布置、交通运输、地质、地形、水源和气象条件等,通过技术经济比较后确定。

5.3 除灰系统根据具体工程情况和条件可采用气力、机械、水力输送系统或组合系统,应符合下列要求:

- 1 固态排渣炉排渣宜采用机械除渣系统;液态排渣炉排渣宜采用水冷式机械

除渣系统。炉膛内正压运行锅炉不适宜风冷干式排渣系统。

2 煤粉锅炉飞灰宜采用正压气力除灰系统,条件适宜时也可采用负压气力除灰系统;半干法烟气脱硫灰可采用机械或气力除灰系统。

3 中速磨煤机石子煤宜采用机械输送系统,条件适宜时也可采用水力、气力输送系统。风扇磨、钢球磨无需设置石子煤处理系统。

4 循环流化床锅炉排渣宜采用机械除渣系统,不适宜湿式排渣系统。飞灰宜采用正压气力除灰系统。

5 采用干式贮灰场时,灰渣、石子煤、石膏的厂外输送系统宜采用汽车运输方式,条件适宜时也可采用带式输送机、船舶输送等方式。运输车辆、船舶宜利用社会资源。

6 采用湿式贮灰场时,灰渣厂外输送系统应采用水力管道输送。经技术经济比较后,半干法脱硫灰或湿法脱硫石膏浆液也可与灰渣一并采用水力管道输送。

7 灰渣中的 CaO 含量大于 10%时,不宜采用水力输送系统。

5.4 除灰设计应为灰渣综合利用创造条件。

5.5 厂外除灰系统的设计容量应结合具体工程条件及灰渣综合利用的落实情况确定。

5.6 除灰系统应按锅炉最大连续蒸发量工况燃用设计燃料时的灰渣量进行设计,并按燃用校核燃料时的灰渣量进行校核,各分系统的容量裕度应按规定设计。

5.7 除灰系统宜设置集中控制室。控制室内应考虑良好的采光、防噪声及通讯联络设施,根据地区条件和控制设备要求,可设置采暖、通风、空调设施。

## 6. 典型系统设计简介

### 6.1 系统设计基础数据

6.1.1 每台锅炉产生的灰渣量计算:

煤粉燃烧锅炉、秸秆燃烧锅炉、垃圾燃烧锅炉应按下式计算:

$$G_{hz} = G_m \left( \frac{A_{ar}}{100} + \frac{Q_{net,v.ar} q_4}{33870 \times 100} \right)$$

循环流化床锅炉应按下式计算:

$$G_{hz} = G_m \left( \frac{A_{zs}}{100} + \frac{Q_{net,v.ar} q_4}{33870 \times 100} \right)$$

式中:  $G_{hz}$ ——每台锅炉产生的灰渣量 (t/h);

$G_m$ ——每台锅炉最大连续蒸发量工况的实际燃料 (t/h);

$A_{ar}$ ——燃料收到基灰分（%）；

$Q_{net, v, ar}$ ——燃料收到基低位发热量（kJ/kg）；

$q_4$ ——锅炉机械未完全燃烧损失（%），由锅炉厂家提供或参照表 A.1 选取；

$A_{zs}$ ——循环流化床锅炉入炉物料折算灰分（%）。

循环流化床锅炉入炉物料折算灰分应按下式计算：

$$A_{zs} = A_{ar} + 3.125S_{ar} \times [m(100/K_{CaCO_3} - 0.44) + 0.8\eta_s/100]$$

式中： $A_{ar}$ ——燃料收到基灰分（%）；

$S_{ar}$ ——燃料收到基硫分（%）；

$m$ ——Ca/S 摩尔比，由锅炉厂提供或按 2.0~2.5 选取；

$K_{CaCO_3}$ ——石灰石中  $CaCO_3$  含量，即石灰石纯度（%）；

$\eta_s$ ——脱硫效率（%），由锅炉厂提供。

#### 6.1.2 不同类型燃煤锅炉的灰渣分配率表

锅炉形式	固态排渣炉(%)	液态排渣炉(%)	循环流化床炉(%)
渣	10~20	40~60	40~60
灰	90~80	60~40	60~40
当设有省煤器灰斗时，其灰量按总灰渣量的 3%~5% 计算；			
当设有空预器灰斗时，其灰量按总灰渣量的 2%~3% 计算。			

### 6.2 典型灰渣处理系统

#### 6.2.1 排渣系统

##### 1) 风冷式机械排渣系统

经不完全统计，截止到 2010 年初我国火力发电厂设计、安装和投入运行数量为：1000MW 机组 28 台；600MW 级机组 112 台；300MW 级机组 143 台；300MW 以下机组 73 台。该系统能否选择成功其最为引人关注的是进入炉膛的冷却风对锅炉效率是否产生负面影响问题。

在干除渣系统中，高温热炉渣经炉底排渣门落到排渣机输送带上，排渣机在高温条件下连续缓慢运转，一部分冷风靠炉内负压吸入到锅炉底部的干除渣机内。在干除渣机内，这部分冷风吸收热炉渣的物理显热和炉渣可燃物燃烧释放出来的热量，升温至 200~400℃，高温炉渣被冷却到 200℃ 以下，完成冷空气和高温炉渣的热交换，低温灰渣进入随后的破碎和输送系统中。这样可将干除渣系统中钢

带输渣机部分比作一微型空预器（其加热风量占燃烧总风量的 1%左右），其对锅炉效率的影响取决于炉渣冷却风的风量和冷却风进入炉膛的温度。当炉渣冷却风吸热量一定时，冷却风风量越大，风温就越低。当冷却风进入炉膛的温度接近但低于二次风的热风温度时，在入炉总燃烧空气量保持不变的情况下，冷却风作为燃烧所需空气从炉底送入，而经过空气预热器的冷空气量相应减少，这样锅炉的排烟温度会略有上升；但炉底冷却风可以回收炉渣的大部分物理显热及炉渣可燃物进一步燃烧放出的热量，这样，锅炉热效率基本不变。

从锅炉吸热量平衡的角度分析，炉渣冷却风进入炉膛的温度存在着一个影响锅炉效率变化趋势的转折点，如果冷却风进入炉膛的温度低于转折点温度，将会造成锅炉排烟温度上升，锅炉效率降低；如果冷却风进入炉膛的温度高于转折点温度，锅炉排烟温度下降，在维持吸热量不变的前提下，燃料消耗量减少，锅炉效率升高。以上的关系可以表示为图 1-1 所示的曲线。

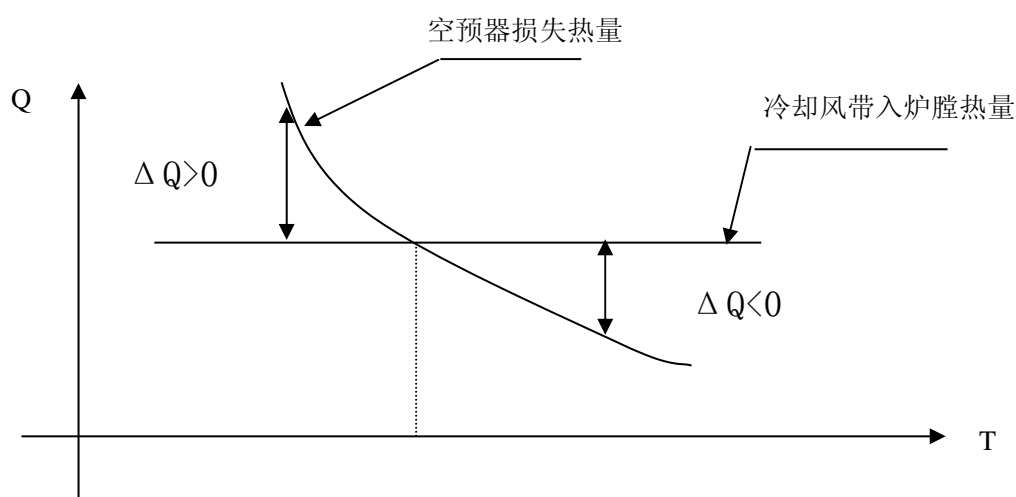


图 1-1 锅炉热平衡示意图

其中， $\Delta Q$  为锅炉损失的热量， $T$  为炉渣冷却风进入炉膛的温度，该关系在炉底冷却风量一定的条件下成立，也就是说在不同冷却风门开度下，对应不同的影响锅炉效率转折点的温度点。

对于某一锅炉来说，满负荷时炉底排渣量一定，排渣温度和干渣出口温度基本一定，也就是说炉底进风吸热量一定，这样炉底进风量越大，进风温度越低，对锅炉效率负面影响就越大，炉底进风量越小，进风温度越高，对锅炉效率负面影响就越小。这就需要对于除渣系统的换热进行优化，尽可能达到以较小的风量（小

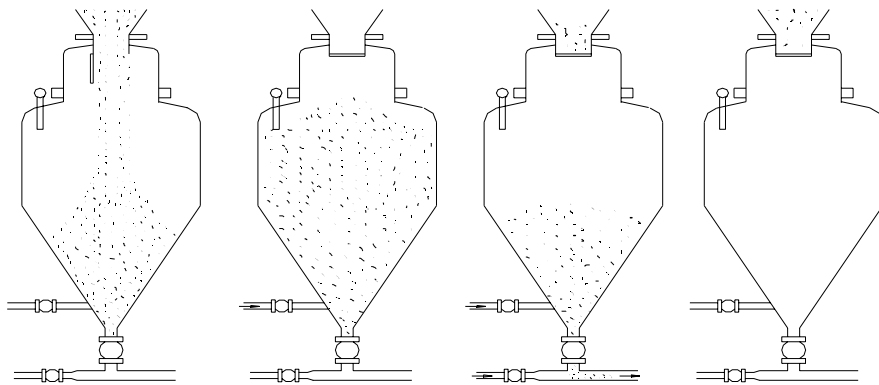
于入炉总风量的 1%) 来冷却炉渣。当计算出冷却风量大于入炉总风量的 3% 时, 不应采用风冷排渣系统, 否则将影响锅炉效率或需要增加辅助系统, 设置耐磨、耐高温的大型冷却/过滤设备, 增加大量投资。当计算出冷却风量在入炉总风量的 1~3% 时, 应与锅炉厂协商, 与排渣设备制造厂配合, 通过改变设备结构和系统优化设计, 采取措施防止影响锅炉效率。

## 2) 刮板捞渣机排渣系统

作为一种常见的除渣系统, 其显著的优势是系统成熟, 安全可靠。特别是对燃煤结焦倾向明显和灰分高的机组有较好的适应性, 因此, 几十年来仍然被延续使用。随着对渣水自平衡系统的开发和应用, 刮板捞渣机系统的优势会更加明显。

### 6.2.2 气力输灰系统

正压浓相气力输送系统的基本原理: 浓相干输灰是根据固气两相流的气力输送原理, 利用压缩空气的静压和动压高浓度、高效率输送物料。飞灰在仓泵内必须得到充分流化, 而且是边流化边输送。输送部分根据输灰量的要求, 配以相应规格的输送器(仓泵)组成, 每台输送器都是一个独立体, 既可单机运行, 也能多台组成系统运行。每输送一泵飞灰即为一个工作循环, 每个循环分四个阶段。



a. 进料阶段: 进料阀呈开启状态, 一次进气阀和出料阀关闭, 仓泵上部与灰斗连接, 除尘器捕集飞灰藉重力自由或经卸料机落入仓泵内, 当灰位高至使料位计发出料满信号, 或按系统进料设定时间到, 进料阀关闭, 进料状态结束。

b. 加压流化阶段: 进料阶段完成后, 系统自动打开一次进气阀, 经过处理

的压缩空气经过流量调节阀进入仓泵底部流化锥，穿过流化锥后使空气均匀包围在每一粒飞灰周围，同时仓泵内压力升高，当压力高至使压力传感器发出信号时，系统自动打开出料阀，加压流化阶段结束。也有进气阀和出料阀同时开启的输送系统。

c. 输送阶段：出料阀、三次进气阀打开，此时仓泵一边继续进气，边气灰混合物通过出料阀进入输灰管，飞灰始终处于边流化边进入输送管道进行输送，当仓泵内飞灰输送完后，管路压力下降，仓泵内压力降低，当仓泵内压力下降至使压力传感器发出信号时，输送阶段结束，进气阀和出料阀保持开启状态，进入吹扫阶段。

d. 吹扫阶段：进气阀和出料阀保持开启状态，压缩空气吹扫仓泵和输灰管道，定时一段时间后，吹扫结束，关闭进气阀，待仓泵内压力降至常压时，关闭出料阀，打开进料阀，进入进料阶段，至此，系统完成一个输送循环，自动进入下一个输送循环。

气力输灰系统经过二十多年运行证明是合理安全可靠的。近期出现的为满足综合利用和其它要求，采用气力输送炉底渣、石子煤应用实例。由于气力输送对物料粒度大小有要求，对输送量变化比较敏感，不适应煤种变化大的场合，同时存在系统复杂，运行环节多，初投资较高，底渣、石子煤属强磨蚀性物料，运行费用高等特点，因此建议慎用。

### 6.2.3 石子煤

a. 中速磨煤机产生的石子煤具有比重大、温度高、颗粒大及硬度高等特性，输送较一般灰渣难度大。另外我国电厂燃煤普遍煤种多变、煤质不稳定，产生的石子煤不仅杂质多，而且排量变化大。即使煤种相同，不同型式的磨煤机，不同的运行管理方式，石子煤排量相差较大。由于石子煤排量、温度以及颗粒大小都存在着不确定性，加之磨煤机周围空间狭小，环境要求高，因此给石子煤处理系统的设计带来了很大的困难。目前运行的石子煤处理系统通常分为：人工及简易机械、水力、机械和气力输送四种，除气力输送方式外，其余三种方式应用均非常普遍。几种不同的系统，又分别有许多变化，各种方案又可以互相组合。总体来说，使用叉车的方式单个活动斗装载量最大，工作强度也较低，使用人力小车的方式最为灵活。叉车这种简易机械输送系统每班运行不宜超过 3 次，每炉每次作业时间不宜超过 1h。



b. 机械输送方式，锅炉房内的地下隧道是必不可少的，总是有一条或二条输送机需布置在地下密闭空间内，检修和运行维护条件差、难度大。地下隧道需要占用炉后、炉侧位置，给主厂房整体规划布置带来不便。

c. 相比机械输送方式而言，水力石子煤输送系统优点是布置灵活，维护方便；系统可采用程序控制，自动化程度高；石子煤由封闭的管道输送，对周围环境基本无污染，无粉尘飞扬、干净、卫生。但是，存在出力调节性能差、对颗粒度变化适应性较差、输送系统复杂，设备投资高等问题。设计中需要特别考虑上述易发生问题的环节，系统设计出力留有足够余量。

d. 气力输送石子煤系统均属于稀相负压/正压气力输送系统。负压气力输送是依靠大气压进行低压、大风量的一个气固两相流输送。它具有稀相输送的共同特点，即进料阀安装高度要求较低，输送距离较短，管道系统出力相对较小，调节范围较窄，输送速度高、系统能耗大，除尘设备复杂等。石子煤颗粒大、比重大，输送速度要求较灰渣还要高，导致系统能耗大，设备管道磨损严重，因此，负压气力输送系统用来输送石子煤的方案，目前在全世界范围内使用较少，据我们所知，国内江苏泰州电厂、四川金堂电厂、大唐张家口#4 炉等几个电厂在使用，运行效果都不太理想。

正压气力输送系统也是采用稀相气力输送系统，依靠空压机提供输送气源，属于压力相对高、风量相对较小的一个气固两相流输送。它具有输送距离相对较远，同样管道系统出力相对较大，调节范围较宽，输送速度相对较低、系统能耗相对较小，除尘设备相对简单等特点。同样由于以上稀相输送系统的特点，以及石子煤颗粒大、比重大和输送速度高，势必造成系统能耗大，设备管道磨损严重的现象，因此，正压气力输送系统用来输送石子煤的方案，目前在全世界范围内也使用较少，据了解，仅印度几个电厂在使用，运行效果不够理想。

目前，国内仅有四川金堂电厂于 2009 年 10 月在#1 炉 F 磨下改造安装了正压气力输送系统，系统设计出力为 9t/h，输送距离为 93m 左右。于 11 月 3 日投入运行，由于石子煤量较大，50~60mm 的石子煤较多，原设计的 50×50mm 孔径的筛网上石子煤堆积严重，不得不经常通过大颗粒排放阀向外排放。现场将筛网孔径改为 60×60mm 后，50~60mm 的石子煤进入气力输送管道，未对输送造成影响。但该系统运行时间较短，系统整体运行情况尚待考验，管道及阀门磨损情况、设备对石子煤的高温适用情况等无法判断，且仅应用于单台磨煤机，对于数台磨煤

机的系统配置及运行情况不得而知。

e. 系统选择建议：

1) 对于煤源较稳定，且石子煤排量较小的电厂，建议采用人工及简易机械输送方式。

2) 对于采用人工及简易机械输送方式的电厂，应采取必要的抑尘及降温等措施，以解决工人劳动安全及环保问题。

3) 对于石子煤排量较大的电厂，可采用机械输送/水力输送方式，机械输送需解决地下隧道内扬尘、高温及排污问题，应选用质量过关及密封性好的设备。水力输送石子煤斗内应设置隔栅，隔栅孔径可取  $30 \times 30\text{mm}$  或  $35 \times 35\text{mm}$ 。

4) 正/负压气力输送方式因投资大，管道磨损严重、运行效果不理想等问题，一般不推荐采用。

## 6.2.4 垃圾焚烧发电厂灰渣处理系统

### 1) 特点

1 垃圾焚烧炉排渣口排出的残渣称为炉渣，经过鉴定不属于危险废物，可以利用。从烟气净化系统排出的固态物质称为飞灰。根据《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2001)，垃圾焚烧炉产出的飞灰应按危险废物处理，而锅炉尾部余灰需要按《危险废物鉴别标准-浸出毒性鉴别》(GB5085.1 ~5085.3-2007) 进行鉴别，如属危险废物，则应与飞灰一并处置，属危险废物的飞灰必须经过稳定固化处理后方可送至填埋场或其它场所贮存。

2 根据一些城市经验，垃圾焚烧估算残渣量为焚烧垃圾量的 15~25%。灰渣分配比与焚烧炉炉型有关，流化床炉的飞灰量远高于炉排炉。一般情况下炉排炉的飞灰量是垃圾量的 2%~5%，流化床炉的飞灰量是垃圾量的 8%~12%，故垃圾焚烧炉的灰渣分配比应由焚烧炉厂家提供，未取得焚烧炉厂家资料时，灰渣分配比可按下表估算。

灰渣分配表

炉型 项目	机械炉排炉 (生活垃圾)	气化熔融炉 (生活垃圾)	流化床炉 (生活垃圾)
炉渣 (%)	90~80	95~90 熔融灰渣	70~60
飞灰+锅炉灰 (%)	10~20	5~10	30~40

### 2) 灰渣处理系统

1 机械炉排式垃圾焚烧炉的排渣宜采用水浸式刮板捞渣机。焚烧炉的炉渣转运可采用带式输送机或振动输送机等输送设备。

2 飞灰宜采用机械式收集、输送方式，条件适宜时可采用气力输送方式。

飞灰稳定化处理方案之一水泥固化为：飞灰通过水泥固化法+螯合剂处理后装车，运往焚烧垃圾消纳场做填埋处理是常见处理方式。即：在贮灰仓旁设置1座混凝土黏合剂仓（水泥仓），通过水泥仓底部给料设备向灰里掺加一定量的水泥。灰仓下的给料输送机设有两个排灰口，其中一个排灰口通过加湿搅拌机，掺加15~25%水和适量螯合剂对其进行搅拌固化，降低飞灰中有害物质含量和防止飞灰中重金属溶出对环境造成的污染。搅拌固化后装车运往垃圾场填埋处理。另一个排灰口可通过包装机对干灰进行打包，装车运往垃圾消纳场填埋处理。

目前，灰渣固化处理主要分为水泥固化、沥青固化、塑料固化、玻璃固化和石灰固化等。其中水泥固化法+螯合剂处理方案控制有害物排放效果好，运行经济性较好、再次污染性小，实用性较好。

#### 6.2.5 秸秆发电厂除灰渣系统

##### 1) 特点

无论是“软质秸秆”或“硬质秸秆”作为燃料，均具有发电厂容量小，排灰渣量少、综合利用好的特点，因此，一般不采用不利于灰渣的存储和综合利用的水力除灰渣系统。

灰渣分配表

项 目	层燃炉		循环流化床炉	
	硬质秸秆	软质秸秆	硬质秸秆	软质秸秆
渣（%）	20~50	50~80	5~10	5~10
灰（%）	80~50	50~20	95~90	95~90

##### 2) 灰渣处理系统

目前，国内电厂机械除渣系统方式较多，主要有：水浸式刮板捞渣机系统、冷渣器配埋刮板输送机或链斗输送机系统。

秸秆发电厂容量小，灰量少，若气力输送系统出力太小，管径细，易造成堵管，因此锅炉排灰量小于0.05t/h时，宜采用简易除灰装置；锅炉排灰量大于或等于0.05t/h时，采用简易人工打包方式工人劳动强度大，宜采用机械或气力除

灰系统。灰渣卸料设备应考虑打包机。

#### 6.2.6 气源系统

现有火力发电厂压缩空气系统的设计大致可分为以下几种方式：

(1) 按专业需求分散设计，分散布置；(2) 按专业需求分散设计，集中布置；  
(3) 按专业需求联合设计、集中布置，出口母管连接，系统运行分开，加隔离门，公用备用空压机。

第一种系统设计方式是以往较普遍的方式，仪用厂用空压机布置在两台锅炉之间或汽机房或输煤栈桥下，除灰空压机房大多布置在两台炉电除尘器之间，与电除尘器配电室合设一座建筑物，上下层布置。仪用厂用空压机的控制在机组 DCS 系统，除灰空压机的控制在除灰程控系统。仪用厂用空压机设 2 台备用空压机，除灰空压机设 2 台备用空压机。

第二种系统设计方式是布置集中，系统分开，集中管理，减少建筑物，起吊设备公用。空压机的控制系统和空压机的备用量与第一种系统设计方式相同。随着机组容量的增大，电厂所需的空压机台数增多，超过 8 台时，空压机房的占地面积超过 400m<sup>2</sup>，在锅炉房之间、电除尘器之间都布置困难，需在离主厂房较远的地方布置，空压机房双列布置。

第三种系统设计方式是设全厂空压机站，按专业需求联合设计、集中布置、系统运行分开，空压机出口设大母管，母管上设隔离阀，公用备用空压机。正常运行时仪用空压机与除灰空压机通过隔离阀系统分开运行；设备故障时，通过阀门切换到备用空压机。从母管引出不同用途的仪用及除灰用气支管分别进入各自的空气干燥设备、储气罐，最终供气至不同的用户，达到减少空压机数量，提高备用率和利用率。全厂空压机的控制在除灰程控系统或机组 DCS 系统或辅网，根据空气管道压力设定值自动启停空压机。

现有螺杆式空压机可靠性高，仪用（及厂用）气所需空压机台数可配置为 3 台螺杆式空压机，2 台运行 1 台备用，另 1 台备用空压机由全厂公共备用空压机提供。所有空压机出口接入总母管，母管设有隔离阀；并保证仪用气系统优先，在母管仪用空压机侧设单向阀，当仪表用气不够或空压机事故时，可打开隔离阀，使公共备用空压机作其备用，公共备用空压机只能向仪用气系统供气。止回阀可以防止因输灰引起仪表控制用压缩空气的压力波动。从母管引出的厂用气管道上

设置电动阀，母管压缩空气压力下降超过设定值时，快速切断厂用气。

仪用空压机和除灰输送空压机的容量和压力等级不一致时，会出现公共备用空压机不匹配，如 300MW 级机组仪用空压机采用 20m<sup>3</sup>/min 级空压机，除灰输送空压机采用 40m<sup>3</sup>/min 级空压机时，备用空压机不匹配，需要统一空压机的规格。目前大多数电厂采用后 2 种方式。

也有少数电厂采用按专业需求全厂集中设计、集中布置的方式，出口母管制，不设隔离门，按需分别供气方式。将全厂空压机集中设计、集中布置，采用相同型式和容量的空压机，出口母管制，分别向各用气点供气。全厂空压机站在机组 DCS 系统或除灰程控系统。依据各专业的提资分析计算压缩空气总容量(如最大/最小用气量、平均用气量等)；包括后处理设备的附加压缩空气量，确定空压机的容量和台数，并设 2~3 台备用空压机。厂用气部分不经后处理直接供使用，采取快速切断供应措施；仪用气部分控制设倒流措施(设止回阀)；除灰输送用气部分设控制压力和流量的措施(设智能压力/流量控制器或流量孔板)。气力输送管道上配置流量孔板，使孔板后的压力与孔板前的压力比为 0.528:1 时，可以进入临界流，限制流量，不会影响仪用气的流量和压力。空压机的启停完全由母管压力控制，保证母管压力保持在所需压力范围。已运行的电厂有古交、武乡、大唐运城、河曲、巢湖、大唐马鞍山、福州可门、福建永安等。

## **6.3 典型工程设计实例**

### **6.3.1 600MW 煤粉炉发电厂**

#### **燕山湖发电厂**

位于辽宁省朝阳市西南 13.8km，厂址东侧距大凌河 4km，北部与 101 国道相距 3km，沈承铁路在厂址东南 3.5km 通过。一期工程建设 2×600MW 国产亚临界空冷燃煤机组，沟门子山谷干灰场作为碾压灰场。

#### **1) 主要设计原则**

- a. 采用灰渣分除方式
- b. 输灰系统采用正压浓相气力输送系统
- c. 输渣系统采用风冷式钢带输渣机机械输送系统
- d. 厂外灰渣采用汽车运输，并考虑灰渣综合利用

#### **2) 设计范围**

除灰渣部分的设计范围是：灰、渣处理系统。按工艺流程划分：1) 飞灰处理系统是从除尘器灰斗出口法兰以后至贮灰库装车口出口为止；2) 炉渣处理系统是从锅炉排渣出口至渣仓装车口出口为止，全部的工艺系统。辅助系统包括：压缩空气系统，除尘器灰斗、灰库气化风系统等。

### 3) 设计原始资料

#### a. 锅炉燃料资料

名 称	单位	设计煤种	校核煤种
低位发热量 $Q_{\text{net}}^{\text{ar}}$	kJ/kg	14510	12570
灰份 $A^{\text{ar}}$	%	15.99	19.12
燃煤量 $q_{\text{m}}$	t/h. 台	388.20	448.70

#### b. 灰份分析

灰成份	符号	单位	设计煤种	校核煤种
二氧化硅	$\text{SiO}_2$	%	56.87	58.61
三氧化二铝	$\text{Al}_2\text{O}_3$	%	27.93	22.87
三氧化二铁	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	%	2.07	3.01
氧化钙	$\text{CaO}$	%	3.73	6.53
氧化镁	$\text{MgO}$	%	1.09	0.92
氧化钾	$\text{K}_2\text{O}$	%	1.27	1.29
氧化钠	$\text{Na}_2\text{O}$	%	0.64	0.49
三氧化硫	$\text{SO}_3$	%	3.72	3.89
氧化钛	$\text{TiO}_2$	%	0.68	0.96
二氧化锰	$\text{MnO}_2$	%	0.09	0.061
其它			1.91	1.369

#### c. 灰渣量

煤 种	1 台炉小时排灰渣量 (t/h)				2 台炉年排灰渣量 ( $\times 10^4$ t/h)			
	渣量	灰量	石子煤量	灰渣总量	渣量	灰量	石子煤量	灰渣总量
设计煤种	6.29	56.48	1.94	64.71	6.92	62.12	2.14	71.18
校核煤种	8.66	77.77	2.24	88.68	9.53	85.55	2.47	97.54

#### d. 锅炉除渣装置的型式及排渣方式

每台炉下安装 1 台风冷式钢带输渣机，高温热渣经炉底排渣门进入风冷式钢带机的输送带上，经外界自然风的冷却后将渣低速送出到碎渣机中破碎和中转，再由机械(斗链提升机)系统将渣送至最终的渣仓贮存。

#### e. 除尘器的形式及排灰方式

选用电除尘器，除尘效率 99.74%，干除灰采用正压浓相气力输送方式。

#### f. 灰 场

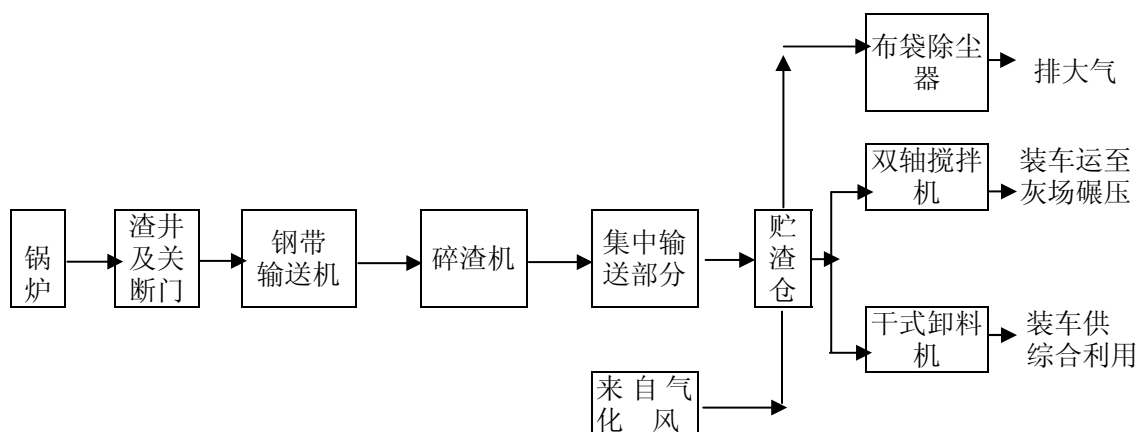
沟门子山谷干灰场作为贮灰渣碾压场，距电厂约 1.5km。

### 4) 除灰渣系统的选择

#### a. 除渣系统

##### ● 炉底渣处理系统方案一

炉底渣 — 风冷式干排渣机 — 碎渣机 — 斗式提升机 — 渣仓 — 装车外运方案。即炉底渣经渣井落在干式排渣装置的输送钢带上，在输送过程中通过自然冷风将高温含有大量热量的热渣冷却成可以直接储存和运输的冷渣，冷却用的空气是利用锅炉炉膛负压的作用，从干式排渣装置外部吸入干式排渣装置内部的，被渣加热后的热空气直接进入炉膛，将热渣从锅炉带走的热量再带入炉膛内，从而减少锅炉的热量损失，提高锅炉的效率。炉渣在排渣机出口经碎渣机破碎后再由二级输送机将渣送入缓冲仓储存，然后通过机械集中输送系统将冷渣送至贮渣仓贮存，集中到贮渣仓的炉渣通过卸料机定期装车运至综合利用或贮灰场。方案一炉底渣处理系统流程框图如下：



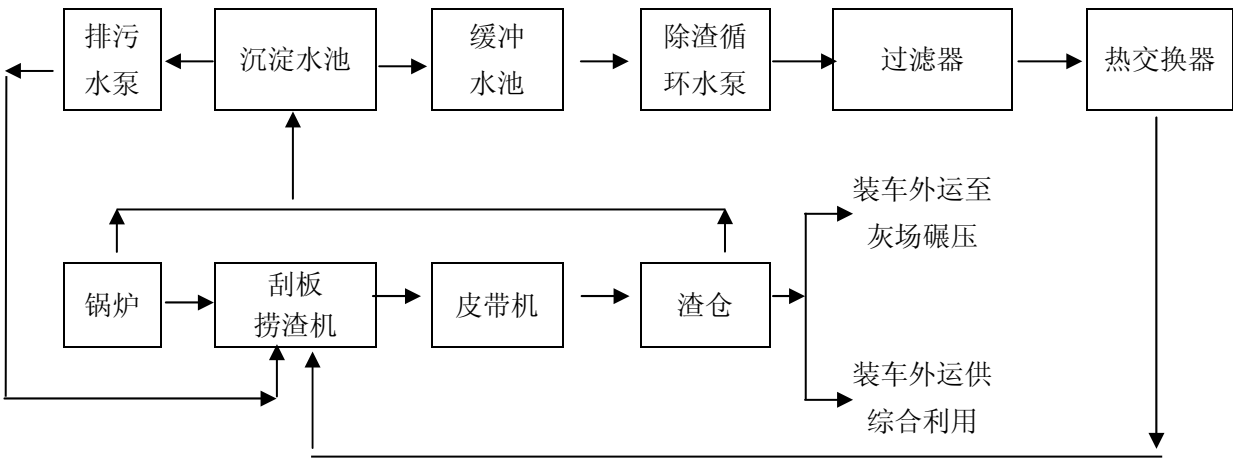
#### 方案特点：

冷却用风直接和热渣接触，渣中未完全燃烧的碳在超级输送带上继续燃烧，

燃烧后的热量和热渣中所含的热量，由风带入炉膛，减少热量损失，有利于提高锅炉的效率；干渣中的氧化钙未被破坏，可直接用于建筑材料，干渣的综合利用效益好；不用冷却水，节约了大量水资源，降低电厂运行成本；无废水排放，无需废水处理系统，有利于环境保护；

● 炉底渣处理系统方案二

炉底渣处理系统方案二:炉底渣 — 湿式刮板捞渣机 — 皮带机 — 渣仓 — 装车外运方案。该系统是在每台锅炉冷灰斗底部安装 1 台水浸式刮板捞渣机，出力为 10~35t/h，总提升高度约 17m，两级总长约 55m。捞渣机将渣连续捞出，并经过捞渣机的倾斜段脱水，使渣的含水率≤30%，然后直接排入具有一定脱水功能的贮渣仓贮存，再由自卸汽车运至贮灰场或综合利用。刮板捞渣机溢流水经沉淀、过滤、换热后由水泵送回除渣系统循环使用。除渣系统框图如下：



该方案特点是：系统可靠性高、节省初投资； 有水量消耗；渣水循环系统运行费用较高；系统相对复杂、占地面积较大。

● 炉底渣处理系统方案比较

i) 主要设备比较(一台炉)

设备分类	干式排渣系统			湿式除渣系统		
	设备名称	数量	性能参数	设备名称	数量	性能参数
排渣设备	渣井及关断门	1 套	容积：50m <sup>3</sup>	渣井及关断门	1 套	容积：50m <sup>3</sup>
	钢带输送机	1 台	出力：10~35t/h, 电机功率：11kW	水浸式刮板捞渣机	1 台	出力：10~35t/h 电机功率：45kW



设备 分类	干式排渣系统			湿式除渣系统		
	设备名称	数量	性能参数	设备名称	数量	性能参数
	碎渣机	1 台	出力：10~35t/h， 破碎后渣的粒径不 大于 20mm， 电机功率：11kW			
集中输 送设备	斗链提升机	1 台	出力：10~35t/h 提升高度：20m， 电机功率：22kW	皮带输送机	1 台	B=650mm L=21m N=7.5kW
	渣仓	1 座	直径：8 米， 容积 240m <sup>3</sup>	渣仓	2 座	直径：6.5m， 容积 120m <sup>3</sup>
后处理 设 备	布袋除尘器	1 台	过滤面积：30m <sup>2</sup>	除渣循环水泵	2 台	Q=80~150m <sup>3</sup> /h P=0.6MPa N=55kW
	真空压力释放阀	1 台	508 型	热交换器	2 台	处理量 150m <sup>3</sup> /h
	干灰卸料器	1 台	出力：100t/h， 电机功率：4kW	过滤器	2 台	处理量 150m <sup>3</sup> /h， N=3kW
	湿式双轴搅拌机	1 台	出力：100t/h， 电机功率：22kW	排污水泵	4 台	Q=55m <sup>3</sup> /h P=0.2MPa N=11kW
	电动给料机	2 台	出力：100t/h， 电机功率：3kW	管道、阀门	1 套	
				沉淀水池	2 座	V=41m <sup>3</sup>
				缓冲水池	1 座	V=23m <sup>3</sup>

ii) 技术经济比较(两台炉)

序 号	方 案 项 目	干式排渣方案	湿式除渣方案
1	除渣设备对锅炉排渣结焦的适应性(神府煤特点：灰熔点低 ST=1160℃，SR=50.85 小于 65，RS=1136 小于 1150，属于严重结焦性。)	渣井相对于锅炉排渣口偏心布置，从三河一期运行情况看，适应性较好	适应性较差
2	对灰渣结垢的适应性	无此问题	捞渣机溢流水——回水系统和渣仓可能结垢。

序号	项 目 \ 方 案	干式排渣方案	湿式除渣方案
3	系统特点	环节少，系统简单	环节多，系统较复杂。
4	系统可靠性	技术成熟，从三河一期和其它电厂运行情况看，对该煤种适应性好，系统设备可靠性高。	技术成熟，较可靠。
5	对锅炉运行的影响	干式排渣机用空气冷却热渣，排渣机内无水，运行安全可靠，并可回收热量，提高锅炉效率 0.1% 左右	湿式捞渣机用水冷却热渣，对易结焦煤种，大块渣掉入冷却水中，热渣遇水发生爆炸，易造成事故。
7	系统消耗水量	0	30m <sup>3</sup> /h
8	系统耗电量	机械：88kW 气力：396kW	220kW
9	检修维护费用	较低	较高
10	除渣设施对布置条件的要求	较高	较高
11	渣的综合利用	底渣为干渣，含活性 CaO，含碳量少，综合利用价值较高，将来的潜在经济效益较好。	底渣为湿渣，渣中含水、含碳量高，综合利用价值不高。
12	除渣设施占地	小	较小
13	系统设备工作场地环境	场地整洁干净	皮带回程粘渣带渣，造成托辊磨损和场地需经常打扫。
14	设备费用 (包括工艺系统、仪表控制)	机械：1500 万元 气力：1700 万元	1100 万元 (包括除渣循环水系统)
15	系统材料费	5 万元	55 万元
16	土建费用	10 万元	80 万元
17	安装费用	30 万元	40 万元
18	方案可比总费用	机械：1545 万元 气力：1745 万元	1275 万元
19	方案费用差	机械：270 万元 气力：470 万元	0 万元

年运行费用是基于以下数据：

- 年运行小时数为 5500 小时；
- 每台炉设计煤种耗煤量为 404.36t/h 标煤，采用干式排渣方案可提高锅炉效率 0.1%；
- 年固定费用率取 0.14；
- 电费：0.234 元/度；水费：2.0 元/吨；煤价：223 元/吨标煤；干渣：10 元/吨；湿渣：5 元/吨；运行人员年工资：5.0 万元/年。

除渣方案最小年费用对比表

序号	比较内容	干式排渣方案	湿式除渣方案
1	年固定费用	机械: +216.3 万元 气力: +244.3 万元	+178.5
2	年运行水费	0	+33 万元
3	年运行电费	机械: +11.32 万元 气力: +50.97 万元	+22.23 万元
4	年节煤费用	-99.19 万元	0
5	年检修维护费用	机械: +8 万元 气力: +30 万元	+40 万元
6	运行人员年工资	+20.0 万元	+25.0 万元
7	年卖渣费用	-36.03 万元	-18.02 万元
8	年总费用	机械: +120.40 万元 气力: +210.05 万元	+280.71 万元
9	年总费用差值	机械: 0 万元 气力: 0 万元	+160.31/+70.66

通过上述两表比较可知:

干式排渣方案(机械/气力)前期投资费用 1545/1745 万元,比湿式除渣方案高 270/470 万元;最小年费用干式排渣(机械/气力)比湿式除渣方案分别低 160.31/70.66 万元。通过比较可以看出,虽然干式排渣方案前期投资高,但年费用低,运行 2~3 年左右投资可以全部回收。干式排渣方案运行环境好、系统简单、占地面积小;干渣综合利用价值较高,无需消耗水资源、废水可达到零排放,对环境污染小;可回收炉底渣残余热,有利于提高锅炉效率,降低煤耗。

湿式除渣方案初期投资费用低,但系统环节多,占地面积大;湿渣的综合利用的价值不高;渣的冷却水系统无法外排,只能重复循环使用,因此管道及设备易磨损结垢,运行维护费用较高。

综上所述,干式排渣方案年费用低于湿式除渣方案,技术更先进,无废水排放,无环境污染,可解决湿式除渣方案因渣水混合给系统运行带来的诸多问题。干式排渣的采用使整个除渣系统更简化,环节更少,控制更简单,相应运行维护费用少,可提高系统的经济效益。

本工程风冷式钢带机的后续系统推荐为机械输送方案，主要是机械方案系统简单、输送对渣的颗粒度要求不高、投资省，但自动化程度较低、布置受场地条件的限制。气力方案虽然自动化程度高、布置灵活，但输送对渣的颗粒度要求很高、系统流速快磨损大、运行维护费用高，投资最贵。

#### b. 除灰系统

##### ● 常见的气力输灰方式比较

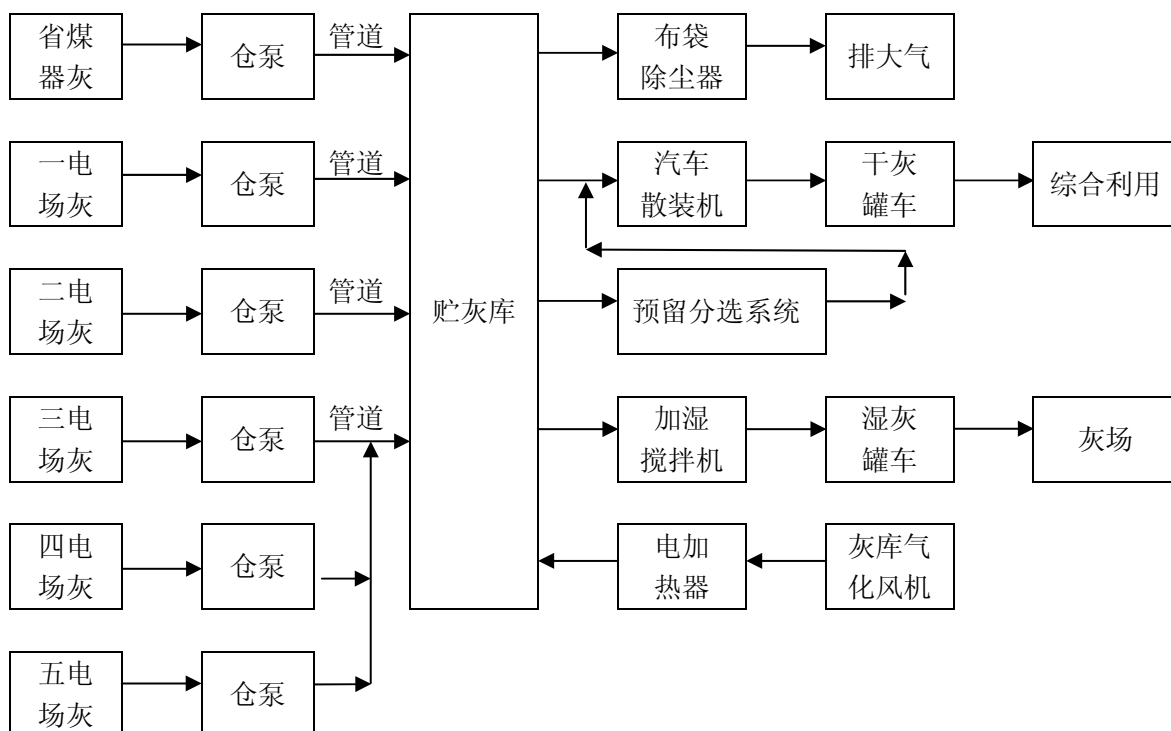
序号	特 点	低正压气力输送系统(稀相)	负压气力输送系统(稀相)	正压气力输送系统(浓相)	备 注
1	输送距离(m)	≤1000	≤200	≤1000	比较经济的范围
2	系 统 出 力 (t/h.套)	较大	≤50	大	
3	系统可靠性	可靠	可靠	可靠	
4	输送初速度(m/s)	19~21	19~21	2~12	
5	气灰比	低	低	高	相同输送距离
6	能耗	高	高	低	
7	输灰量变化的适应性和防止堵管能力	控制不好易发生堵管	控制不好易发生堵管	好	
8	输灰管规格	大	大	小	
9	管道、阀门、设备磨损情况	要求输灰管道采用耐磨材质	要求输灰管道采用耐磨材质，卸灰阀动作频繁、过滤/分离器易磨损	输灰管道采用普通碳钢	
10	工作场地环境卫生	较好	很好	较好	
11	飞灰综合利用条件	好	较好	好	

考虑到本工程灰量较大，为保证系统运行的安全可靠、防止堵管、提高输送灰气比、节约能耗、减少投资、贮灰库的布置位置在满足厂区整体布局的条件下，输送距离尽可能短。根据输送距离和上述集中气力输灰系统的比较情况，推荐采用浓相正压气力输送方式。两台炉设3座贮灰库，其中2座粗灰库、1座细灰库。为防止贮灰库内干灰起拱导致卸灰口堵灰、卸灰不畅，设置灰库气化装置。

每台炉配置一套浓相正压气力输送系统，其输送能力按锅炉MCR工况下设计煤种排灰量的150%进行设计。

每台炉省煤器和电除尘器每个灰斗下设 1 台仓泵，利用压缩空气作动力源将灰送往灰库。灰库下设四个卸灰口：一路直接卸干灰，通过干灰散装机装车外运，供综合利用；二路通过双轴搅拌机调湿，用汽车将湿灰运到灰场碾压。另预留一出口。

工艺流程框图如下：



### c. 石子煤处理系统

本工程拟采用简易机械输送，工艺流程如下：



经过对石子煤电瓶叉车输送方案进行了改进完善，即：在磨煤机出口关断门至石子煤斗入口之间增设一道水平布置关断门，以保证装料过程中密封更严密；石子煤斗采用完全密封设计，卸料管与石子煤斗采用自动气密封软连接，既避免了卸料过程中的环境污染，也提高了自动化程度；石子煤斗上加装叉车悬挂孔，便于叉车搬运，同时在叉车安装旋转器，减轻了斗卸料时工人劳动强度；改原石子煤斗料位控制为重量控制，即在石子煤斗下设承重应力传感器，当达到设定重量

时，即发出信号提示转运。使运行人员对石子煤斗的装料情况了解更准确。

#### d. 灰渣厂外输送系统

在贮灰库下分别设四个卸灰口：一路直接卸干灰，通过干灰散装机装车外运，供综合利用；其它二路通过双轴搅拌机调湿，掺加 15~25%适量的水进行搅拌后，搅拌成“手握成团，落地自散”的湿灰装车外运至事故灰场碾压堆放；另预留一出口。

汽车运输方式灵活，灰场内无需二次倒运，初投资相对较省、并有成熟可靠的运行经验，可随着灰渣综合利用市场的开拓，减少运行费用优势会更好体现等诸多特点。因此，本工程推荐汽车运输方式。

#### e. 压缩空气系统

本期工程采用全厂除灰和仪用、厂用空压机集中布置，统一设置压缩空气系统，母管设置隔离阀和单向阀，确保仪用气源安全。

### 6.3.2 300MWCFB 锅炉

秦皇岛热电厂三期工程

#### 1) 工程概况

秦皇岛热电厂三期工程建设规模为 2×300MW 机组，采用国产 300MW 亚临界供热汽机，配循环流化床锅炉，燃用开滦劣质煤。锅炉除尘方式采用双室五电场静电除尘器，除尘效率达到 99.9%。

#### 2) 主要设计原则

- 除灰渣系统采用干式灰渣分除方式，按两台炉 1 个单元进行设计，为灰渣综合利用创造条件。

- 贯彻节约用水的原则，积极采取节水措施。

- 充分考虑节约用水、一水多用。除灰渣用水首先利用海水或工业废水的原则制定供水系统，若采用淡水必须考虑循环使用。

- 灰渣采用干式分除系统

炉底渣采用干式机械除渣方式，将渣送至厂内渣转运站贮存；省煤器和电除尘器的灰均为浓相气力输送方式，将灰集中至厂内灰库贮存。厂内综合利用不掉的灰、渣采用汽车运输方式送至灰场贮存。运至厂内的石灰石来料为已加工好的成品粉状石灰石，粒度直径 1mm 以下进厂，并采正压气力输送方式将石灰石粉送至锅炉房的石灰石料仓。

- 防腐措施

所有直接接触海水的除灰设备(包括调湿灰、渣车厢)、管道及阀门等均应采取防腐措施。

- 污染防治措施

干除灰系统全部采用封闭式的输送、贮存和运输,减少了周围环境的污染。炉底渣的冷却水循环使用,贮渣库和灰库零米处设地面冲洗设施,污水由排污泵送至水工处理站进行处理,保证除灰渣系统达到零排放,满足环保的要求。

- 灰渣的综合利用

随着国有耕地不断减少,各有关部门对土地使用加强管理,开始大量推动新型墙体建筑材料的使用,其中一个很重要的措施就是要逐步限制直至取消黏土砖在基建工程中的应用,推行以工业废料为主的各种新型墙体材料。本期的除灰系统可保证灰在输送的过程不会发生化学变化,保持灰的原有特性,有利于综合利用。秦皇岛电厂三期工程灰渣量为 103.7 万吨/年,三期工程电厂已与 11 家水泥厂签订用灰意向书,年用灰量共计 83 万吨/年;电厂自建的两条灰渣砖生产线拟用灰渣 24 万吨/年;三期工程投产后,灰渣利用量将达到 107 万吨/年,灰渣利用前景良好。

### 3) 设计范围

a. 提供一套除渣系统。该系统的界限范围是从锅炉冷渣器排渣口下部密封旋转阀出口起至贮渣库卸料出口,不包括厂外渣的运输。

b. 提供一套除灰系统。该系统的界限范围是电除尘器灰斗排灰出口起至厂内新建贮灰库卸料出口,不包括厂外灰的运输。

c. 石灰石粉输送系统的设计范围是从汽车卸石灰石粉出口管道至石灰石粉库、石灰石粉库至锅炉房内的石灰石粉料仓的进料口。

d. 从贮渣库下部出口至锅炉炉膛、外置床及回料器的启动床料添加系统。

e. 输送及仪用压缩空气系统。

f. 贮灰库、石灰石粉库及电除尘器灰斗气化风系统。

g. 除灰保温油漆设计。

### 4) 设计原始资料

a. 锅炉燃煤资料

锅炉燃煤资料(1 台炉)

名 称	单位	设计煤种	校核煤种 1	校核煤种 2	校核煤种 3
低位发热量 $Q_{\text{net.ar}}$	kJ/kg	16149.2	17870	20090	14550
灰份 $A^{\text{ar}}$	%	41.9	20.8	31.27	46.01
燃煤量 $q_m$	t/h	186.2	159.3	142.8	199.76
机械未完全燃烧损失 $q_4$	%	1	1	1	1
硫份 $S^{\text{ar}}$	%	0.73	1.02	0.92	1.33
氧化钙含量 CaO	%	2.45	5.86	3.61	2.70

b. 灰成分分析

灰成份分析

项 目	符 号	单 位	设计煤种	校核煤种 1	校核煤种 2	校核煤种 3
二氧化硅	$\text{SiO}_2$	%	51.36	58.28	50.15	53.46
三氧化二铝	$\text{Al}_2\text{O}_3$	%	34.10	16.49	33.63	29.94
三氧化二铁	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	%	4.20	7.86	4.61	5.90
氧化钛	$\text{TiO}_2$	%	1.22	0.65	1.09	1.16
氧化钙	CaO	%	2.45	5.86	3.61	2.70
氧化镁	MgO	%	1.39	1.00	1.20	1.80
氧化钾	$\text{K}_2\text{O}$	%	1.35	1.38	1.03	1.64
氧化钠	$\text{Na}_2\text{O}$	%	0.21	0.41	0.34	0.18
三氧化硫	$\text{SO}_3$	%	1.23	6.37	2.06	1.79
二氧化锰	$\text{MnO}_2$	%	0.03	0.04	0.03	0.04
其它		%				

c. 机组年利用小时为 5000 小时，锅炉年利用小时为 5600 小时计。

d. 锅炉除渣装置的形式及排渣方式

每台炉下安装 4 台风水联合冷渣器，冷却后的底渣采用机械输送方式，用刮板输送机和斗链式提升机送至贮渣库储存。

e. 除尘器的型式及排灰方式

每台锅炉设 2 台双室五电场电气除尘器，除灰系统采用浓相气力输送方式，将灰集中至厂内贮灰库储存。

f. 灰渣外运

灰渣全部综合利用，灰渣可直接汽车外运至综合利用用户，剩余的少量灰渣采用汽车送至距电厂约 1km 的海边滩涂灰场，灰场标高与电厂接近进行碾压堆放。



g. 综合利用

电厂已与抚宁县信合水泥厂等 11 家建材企业签订用灰意向书，用灰量约 83 万吨/年；电厂自建的两条灰渣砖生产线拟用灰渣 24 万吨/年，年总用灰量约 107 万吨。

h. 石灰石

脱硫剂采用石灰石粉，电厂直接采购已加工好的成品石灰石粉，其颗粒直径 $\leq 1\text{mm}$ 。

5) 除灰渣系统、石灰石粉输送系统、锅炉启动床料添加系统

a. 锅炉排灰渣量

容 量 项 目 煤 种 单 位		1×300MW 循环流化床锅炉				2×300MW 循环流化床锅炉			
		灰量	渣量	灰渣总量	省煤器灰量	灰量	渣量	灰渣总量	省煤器灰量
设计煤种	t/h	39.668	48.532	88.2	4.41	79.336	97.064	176.4	8.82
	t/d	872.696	1067.704	1940.4	97.02	1745.392	2135.408	3880.8	194.04
	10 <sup>4</sup> t/a	22.214	27.178	49.392	2.470	44.428	54.356	98.784	4.939
校核煤种 1	t/h	20.29	24.823	45.113	2.26	40.58	49.646	90.226	4.52
	t/d	446.38	546.106	992.866	5.41	892.76	1092.6	1985.36	99.44
	10 <sup>4</sup> t/a	11.362	13.901	25.263	1.266	22.725	27.802	50.527	2.531
校核煤种 2	t/h	24.511	29.987	54.498	2.73	49.022	59.974	108.994	5.46
	t/d	539.242	659.714	1198.956	60.06	1078.54	1319.43	2397.91	120.12
	10 <sup>4</sup> t/a	13.726	16.793	30.519	1.529	27.452	33.585	61.037	3.058

b. 脱硫剂采用石灰石，锅炉石灰石粉耗量

石灰石粉耗量表

项目	单位	小时耗量 (t/h)	日耗量 (t/d)	年耗量 (10 <sup>4</sup> t/a)
1×300MW 循环流化床锅炉	设计煤种	12.6	277.2	7.056
	校核煤种 1	10.3	226.6	5.768
	校核煤种 2	8.6	189.2	4.816
2×300MW 循环流化床锅炉	设计煤种	25.2	554.4	14.11
	校核煤种 1	20.6	453.2	11.54
	校核煤种 2	17.2	378.4	9.63

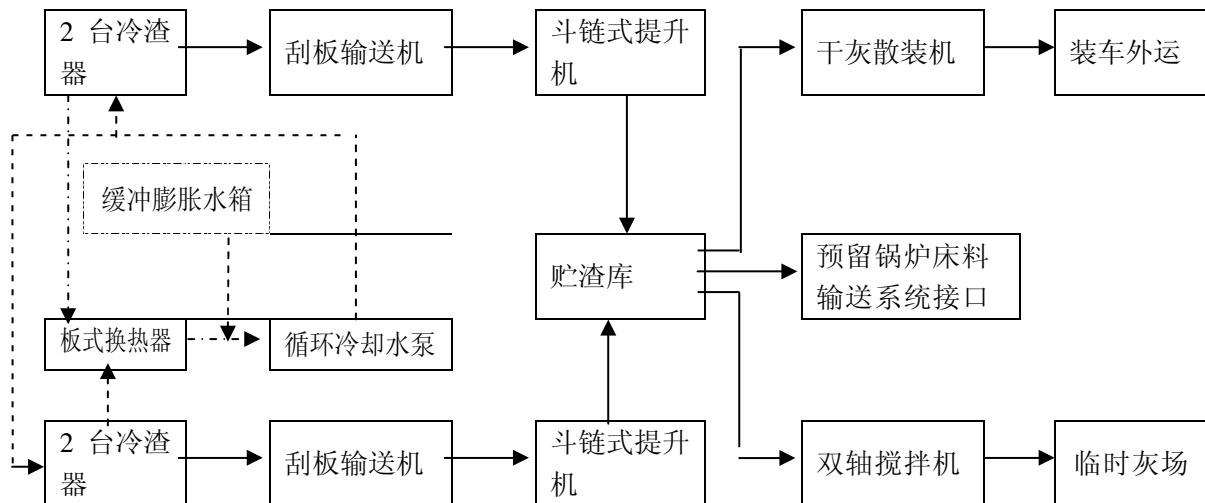
c. 除渣系统

除渣系统按一台炉一个单元设计，底渣采用机械方式两级输送。从锅炉冷渣器出口至贮渣库按连续运行设计。

本期共安装 2×300MW 循环流化床锅炉，每台炉下安装 4 台风水联合冷渣器，将炉膛落下的底渣由 800~850℃ 冷却到<150℃，冷却后的底渣采用机械输送方式输送至贮渣库。贮渣库分别布置在 5、6 号炉炉侧，贮渣库底部设三路排渣口，其一干渣经干灰卸车机装车外运，供综合利用；其二经双轴搅拌机加湿搅拌装车运至临时灰场；其三留有锅炉床料添加管道接口。除渣系统中刮板输送机和斗链式提升机的出力按每台炉设计排渣量的 250% 设计。锥斗设计成 60° 倾角，并设置气化装置，便于卸渣畅通。

对于 5 号锅炉，炉膛落下的底渣分别排入 4 台冷渣器，经冷渣器冷却后，底渣由 800~850℃ 采用除盐水为介质冷却到<150℃。冷却后的底渣每 2 台冷渣器为一个单元分别排入 5 号炉下的 2 条耐高温刮板输送机，由耐高温刮板输送机输送至锅炉房外的斗链式提升机，再提升进入 5 号炉炉侧贮渣库。6 号炉底渣输送系统与 5 号炉相同。刮板输送机预留启动床料加料口，贮渣库预留启动床料卸料口。

除渣系统框图如下（冷渣器闭式冷却水框图仅表示 1 台炉单侧冷却水系统）：

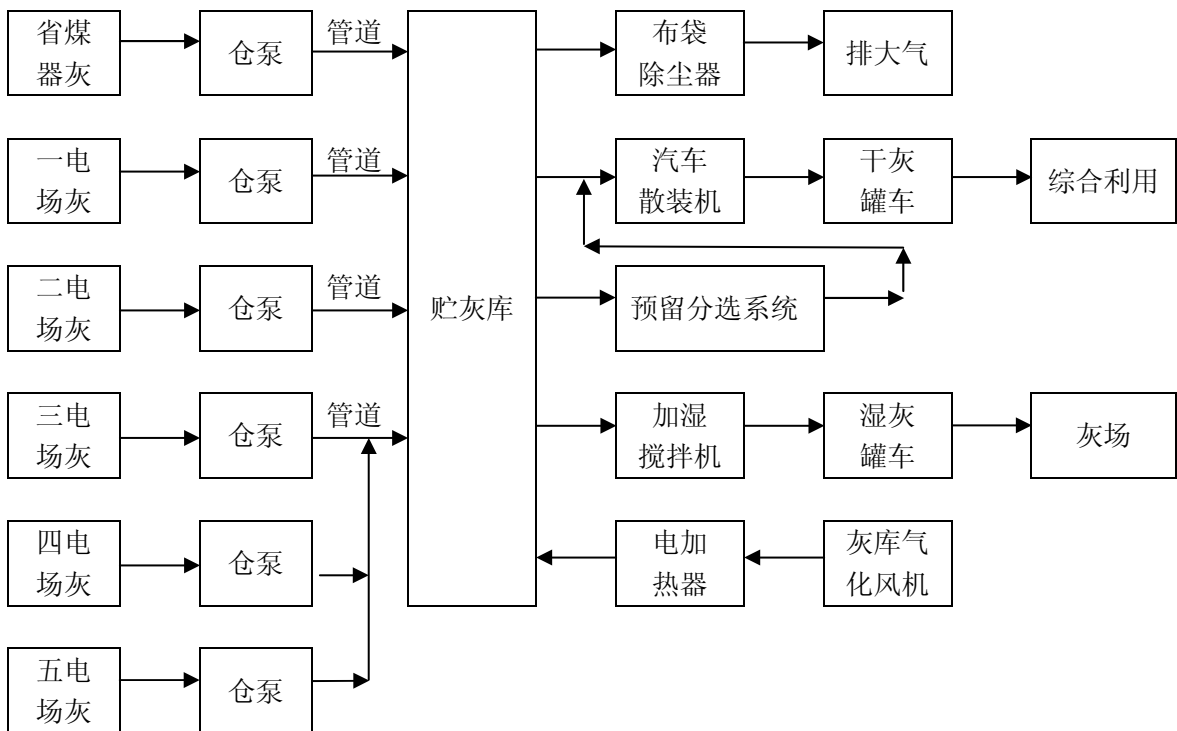


#### d. 除灰系统

省煤器、电除尘器灰斗下均设置压力输送器，用空压机的压缩空气作为输送气源，将各灰斗内的粗、细灰送至灰库分别贮存。为便于飞灰综合利用，采取粗、细灰分排、分贮方式。考虑到贮灰库容积的合理利用和便于维护管理，两台炉的贮灰库采取集中布置，粗、细灰库公用。每两台炉设 3 座贮灰库，其中 2 座粗灰库 1 座细灰库。5、6 号炉电除尘器一、二电场的干灰可以分别切换进入 3 座贮灰

库，省煤器灰并入二电场输灰管道一起输送；5 号炉电除尘器三、四、五电场的干灰可以分别进入 5 号炉粗灰库和细灰库；6 号炉电除尘器三、四、五电场的干灰可以分别进入 6 号炉粗灰库和细灰库。为防止贮灰库及电除尘器灰斗内干灰起拱导致卸灰口堵灰、卸灰不畅，设置有灰库库底及灰斗气化装置，省煤器灰斗不设气化装置。贮灰库内的灰经双轴湿式搅拌机调湿搅拌后装车运至灰场碾压，也可经干式卸灰机装车外运供综合利用。系统的出力按照锅炉燃用设计煤种，在 BMCR 工况下排灰量的 150%设计。

工艺流程框图如下：



两台炉共设 3 座贮灰库，其中每台炉设 1 座粗灰库，两台炉共用 1 座细灰库。每座灰库直径 15 米，有效容积 2600m<sup>3</sup>。

每个灰库顶部都安装有 1 个布袋除尘器和 1 个排风机。它保证能在所有运行条件下在灰库中维持一个微小的负压。可以避免由于卸灰等原因产生的粉尘减为最少，从而保持周围环境干净，无灰尘。

所有的灰库灰位控制器为连续料位指示器，还有高、低料位报警，因此，可以容易地对它们的控制箱进行操作。也可以远程指示灰库的实际料位。

灰库底部流化系统为 3 个灰库库底提供一定数量径向槽的库底流化系统，灰库中没有“死角”。

灰库流化系统所需气源，由罗茨风机供给，并配有电加热器对该气化空气进行加热。两台炉共设 4 套气化加热系统，每座灰库运行 1 套，1 套公共备用。

每座贮灰库下设 4 个排灰口，其一为干灰排放口，干灰经其下部的干灰散装机装车外运供综合利用。另一个为湿灰排放口，干灰经其下面的双轴搅拌机，加水搅拌制成含水率 25% 的湿灰后，由汽车运至灰场进行碾压。另外 2 个卸灰口预留。考虑到飞灰易板结，双轴搅拌机停运后应立即用水清理干净，以保证双轴搅拌机正常工作，同时为保持灰库周围环境，需定期对灰库地面和运转层进行清扫，清理后污水汇入排污水池，由排污水泵送入水工工业废水管网。双轴搅拌机用水由水工海水和生产废水两路供水，并对干灰进行加湿搅拌。

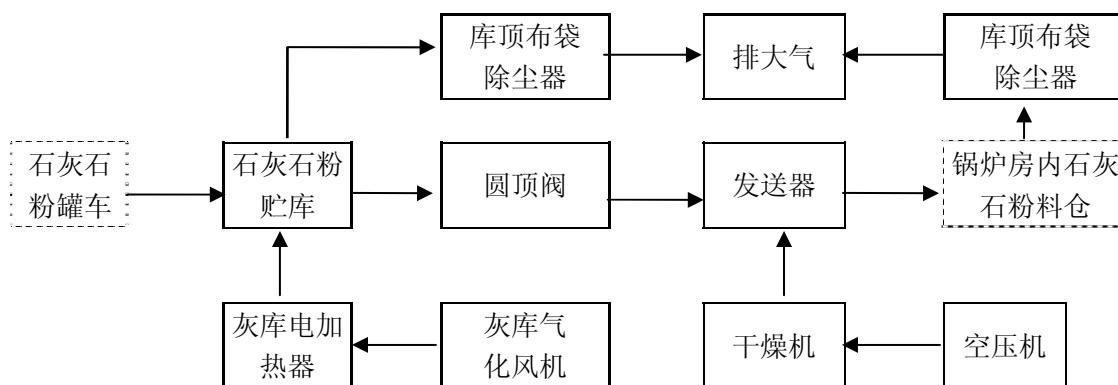
#### e. 压缩空气系统

压缩空气系统由输送空压机、组合式空气干燥机及储气罐等部分组成。两台炉设 6 台  $43.7\text{m}^3$  输送用空气压缩机，其中 4 台空气压缩机组成一个单元，3 台运行，1 台备用，用于气力除灰系统输送用气及吹堵用气。另外 2 台空气压缩机组成一个单元，1 台运行，1 台备用，用于石灰石粉系统输送用气及吹堵用气。两台炉用于气力除灰系统的仪用压缩空气由热机仪用空气母管来，并设 2 台  $2\text{m}^3$  仪用储气罐，每台炉 1 台，不再单设仪用空压机。5 号炉贮渣库仪用压缩空气引自锅炉房内热机仪用空气母管。

由于灰渣中氧化钙含量较高，同时考虑石灰石粉的吸湿性，所以压缩空气中应最大限度地除去水分以免影响输送。每台空压机后配置 1 台组合式空气干燥器，组合式空气干燥器前后配套气液分离器、除油过滤器、除尘过滤器，经过处理后空气品质达到以下参数：压力露点温度： $\leq -40^\circ\text{C}$ ；空气残余含油量： $\leq 0.01\text{mg}/\text{m}^3$ ；空气含尘粒度： $\leq 1\mu\text{m}$ 。

#### f. 石灰石粉输送系统

本期工程要求来厂的石灰石的颗粒是  $< 1\text{mm}$ 、湿度  $< 1\%$  的粉状物料，在厂内不需再设石灰石破碎系统。当地加工好的石灰石粉采用气卸汽车运送至石灰石库区，用汽车上的空压机将石灰石粉气力输送至石灰石库内储存。一台炉对应 1 座石灰石粉库及 1 套气力输送系统。石灰石粉库内的石灰石粉可以卸至发送器内，由空压机房来的压缩空气将石灰石粉输送到锅炉房内的石灰石粉料仓储存。石灰石粉库底设有气化槽，库斗有 2 个卸灰口，每个口下设 1 台发送器，定期运行。系统框图如下：



#### g. 锅炉启动床料添加系统

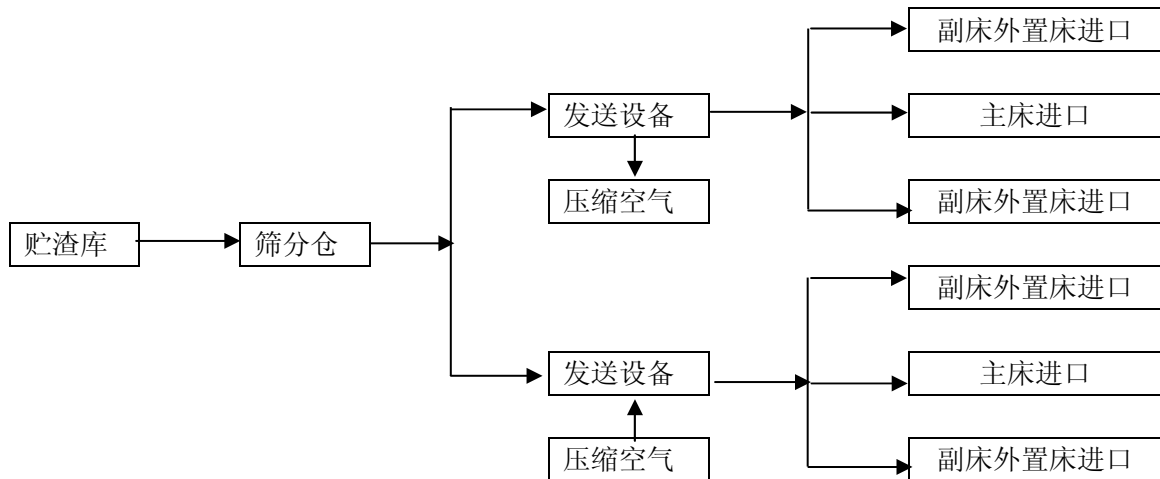
燃烧室、回料器和外置式换热器装填床料是锅炉投入使用所必须先期的步骤之一，没有足够的床料不能实现CFB 的循环燃烧。

向燃烧室加入床料时，初始床料可以是河沙（其磨损性小）、粗石灰石，也可以是炉渣，粒径 $d_{\max}=1\text{mm}$ ， $d_{50}=200\ \mu\text{m}$ 。床料中的 $\text{Na}_2\text{O}$  的含量小于1%，水份含量也必须小于1%。在启动前，向燃烧室（炉膛）每个支腿加入床料至少为100 吨。

外置式换热器初始床料的添加可以通过启动床料添加系统的各软管充入。每个外置式换热器所需要填充的床料量为80 吨。

锅炉启动床料添加系统按一台炉一个单元设计。刮板输送机预留启动床料加料口，锅炉初次启动时，启动床料刮板输送机预留启动床料加料口进入除渣系统，经斗式提升机提升进入贮渣库。贮渣库底部预留启动床料卸料口，启动床料由预留卸料口进入筛分仓，经筛分仓的两个卸料口分别进入发送设备，通过气力输送将启动床料分别送至副床外置床进口及主床进口。启动床料系统在锅炉启动时运行，床料到达要求厚度后停止运行。

系统流程框图如下：



#### h. 供水系统及方式

该系统为全厂除灰渣系统提供所需的设备冷却水、冲洗水、双轴搅拌加湿水等，原则上 1 台炉一个单元。除灰渣供水系统设两路水源，一路由化学除盐水提供，作为冷渣器冷却水；另一路由水工海水提供，供冷渣器冷却水一次水、清扫卫生和双轴搅拌机加湿用。冷渣器冷却水采用除盐水，每台炉设置一套单独的闭式循环冷却水系统。冷却水一次水采用除盐水，二次水采用海水。从冷渣器排出的 65℃ 除盐水由循环水泵打入板式换热器利用海水冷却进行换热，换热后温度低于 33℃ 的冷却水进入冷渣器将热渣冷却。海水供水水温 30℃，板式换热器除盐水进水温度 65℃，出水温度 33℃。每台炉设 2 台闭式循环冷却水泵、2 台板式换热器，与热机共用 1 台缓冲膨胀水箱。闭式循环冷却水泵和板式换热器均为 1 台运行、1 台备用。

耗水量如下：

序号	用水点	水量 (m <sup>3</sup> /d)	用水 方式	水温 (℃)	水压 (MPa)	水质	回水量 (m <sup>3</sup> /d)	水温 (℃)	备 注
1	贮灰库下 调 湿 灰 (为平均 耗水量)	1050	一班, 每班 7 小时		0.2~0.4	海水或工业废 水回收水(考 虑综合利用)	0		由水工提供
2	贮灰库地 面清扫	22	定期		0.2~0.3	工业废水 回收水	22		经水工污水处理 后再重复利用
3	贮渣库下 调 湿 渣 (为平均 耗水量)	700	一班, 每班 7 小时		0.2~0.4	海水(废弃至 灰场)或工业 废水回收水 (考虑综合利 用)	0		由水工提供
4	贮渣库及 石灰石粉 库地面清 扫	33	定期		0.2~0.3	工业废水 回收水	22		经水工污水处理 后再重复利用
5	电除尘场 地地面清 扫	44	定期		0.2~0.3	工业废水 回收水	22		经水工污水处理 后再重复利用
6	板式换热器	1810	连续	≤ 27.7	>0.1	海水	1810	52	换热后排回水工

本工程除灰渣系统设计中，供水系统尽量循环使用，并采用电厂工业废水和排污水作为除灰渣用水，严格贯彻了节约用水的原则，做到一水多用，循环利用，以达到节约用水的目的。

#### 6.4 典型灰渣处理系统流程图

详见附件一。

#### 6.5 典型工程照片

详见附件二。