

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

第四章 煤粉制备及系统

第四章 煤粉制备及系统

第一节 煤粉的一般特性

第二节 煤粉细度和煤粉颗粒分布特性

第三节 煤的可磨系数和磨损指数

第四节 磨煤机

第五节 制粉系统

第六节 给煤机和给粉机

第七节 煤粉分离器

§ 4.1 煤粉的一般特性

- 1, 流动特性 表观堆积密度 $400\sim 500\text{kg/m}^3$
- 2, 自燃与爆炸性
- 3, 堆积特性: 压紧的煤粉表观密度
 700 kg/m^3

表 4-1

煤 的 爆 炸 特 性

着火指数 R_0	爆炸指数 B_0	爆 炸 性	着 火 性
≤ 3.5	< 20	极难爆炸	极难着火
$> 3.5 - 4.65$	$20 - 30$	难爆炸	难着火
$> 4.65 - 5.7$	$> 30 - 45$	中等易爆炸	中等易着火
> 5.7	$> 45 - 70$	易爆炸	极易着火
> 5.7	> 70	极易爆炸	极易着火

§ 4.1 煤粉的一般特性

表 4-2 煤的挥发分与煤的爆炸性

干燥无灰基挥发分 V_{daf} (%)	爆炸性
< 6.5	极难爆炸
> 6.5 ~ 10	难爆炸
> 10 ~ 25	中等爆炸性
> 25 ~ 35	易爆炸
> 35	极易爆炸

§ 4.1 煤粉的一般特性

表 4-3 磨煤机出口最高允许温度 $t_{M,2}$ °C

干燥介质 制粉系统型式	用空气干燥		用烟气空气混合干燥
	风磨磨煤机直吹式 系统粗粉分离器后	贫煤 ~ 150 烟煤 ~ 130 褐煤、页岩 ~ 100	
钢球磨煤机贮仓式 制粉系统	贫煤 ~ 130 烟煤、褐煤 ~ 70		褐煤 ~ 90 烟煤 ~ 120
反进双出钢球磨直吹式 制粉系统分离器后	烟煤 85 褐煤 75 $V_{\text{air}} \leq 15\%$ 的煤 ~ 100		
中速磨煤机直吹式 制粉系统分离器后	$V_{\text{air}} < 40\%$ $\frac{5(82 - V_{\text{air}})}{3} + 5$ $V_{\text{air}} \geq 40\%$ < 70°C		
HP、HP 中速磨煤机直吹式 制粉系统分离器后	高热值烟煤 < 82, 低热值烟煤 < 71, 次烟煤、褐煤 < 66		

§ 4.1 煤粉的一般特性

磨煤机出口煤粉水分

- 烟煤： $0.5 \sim 1.0M_{ad}$
- 无烟煤： $\leq M_{ad}$
- 褐煤： $8.0 + M_{ad}$

§ 4.2 煤粉细度和煤粉颗粒分布特性

1, 煤粉细度

$$R_x = 100a / (a + b) \% \quad (4-1)$$

a——筛子上余质量； b——过筛质量；

表 4-4

常用筛子规格及煤粉细度表示符号

筛号 (每厘米长的孔数)	6	8	12	30	40	60	70	80
孔径 (筛孔的内边长) (μm)	1000	750	500	200	150	100	90	75
煤粉细度表示	R_1	R_{75}	R_{50}	R_{200}	R_{150}	R_{100}	R_{90}	R_{75}

§ 4.2 煤粉细度和煤粉颗粒分布特性

1, 煤粉细度

$$D_x = 100b / (a + b) \% \quad (4-2)$$

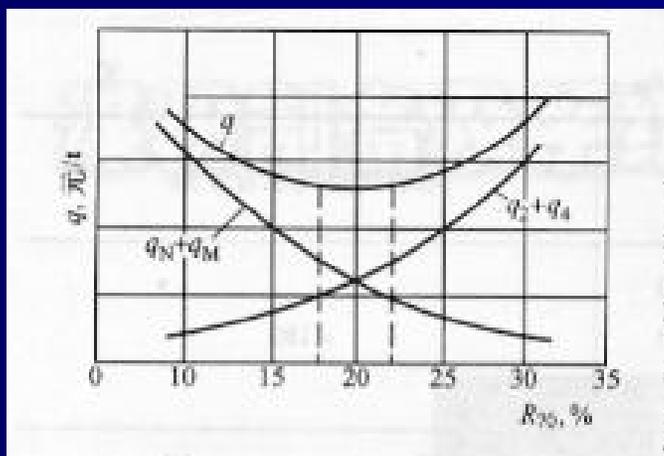


图 4-1 煤粉的经济细度的确定

q_2 —排烟热损失； q_4 —机械不完全燃烧损失；

q_N —磨煤电耗； q_M —制粉设备金属消耗；

Σq — q_2, q_4, q_N, q_M 的总和

经济细度：

q_4 与制粉电耗之和最小的煤粉细度

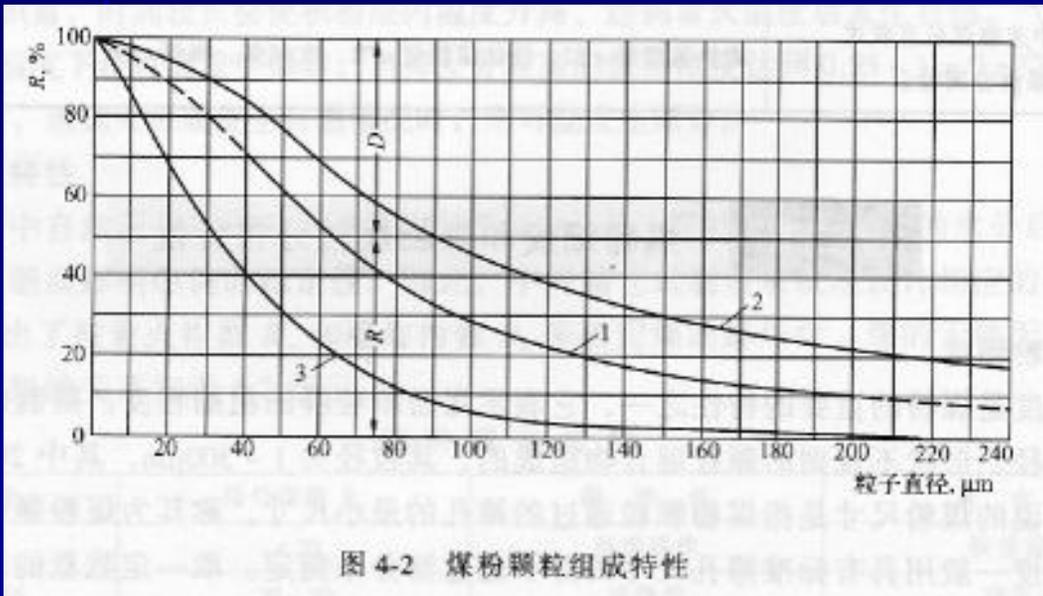
§ 4.2 煤粉细度和煤粉颗粒分布特性

2, 煤粉颗粒分布特性

$$R_x = 100 \exp(-bx^n) \quad (4-3)$$

$$b = \frac{1}{90^n} \lg \frac{100}{R_{90}} \quad (4-4)$$

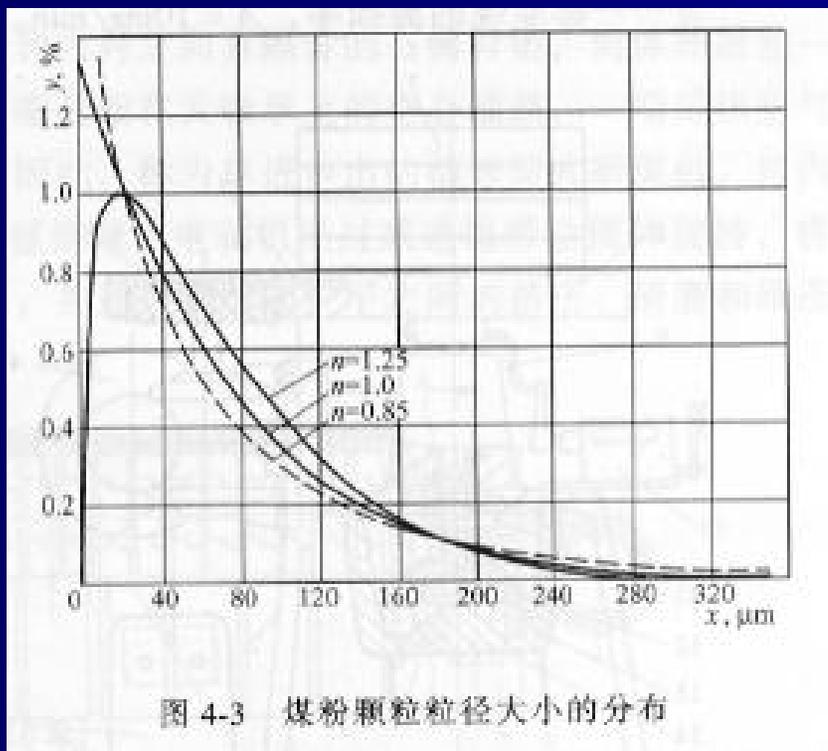
$$n = 2.88 \lg \frac{2 - \lg R_{200}}{2 - \lg R_{90}} \quad (4-5)$$



n——煤粉均匀性指数

§ 4.2 煤粉细度和煤粉颗粒分布特性

2, 煤粉颗粒分布特性



n ——煤粉均匀性指数， n 值越大，煤粉越均匀。

§ 4.3 煤的可磨性和可磨指数

1, 煤的可磨性指数

$$K_{\text{km}}^{\text{Ha}} = 13 + 6.93D_{74} \quad (4-7)$$

D_{74} ——通过孔径为74微米的筛子的煤粉量

2, 煤的磨损指数

$$K_e = \delta / (A\tau) \quad (4-8)$$

δ ——纯铁试样从开始到 $R_{90}=25\%$ 的磨损量, mg

§ 4.3 煤的可磨性和可磨指数

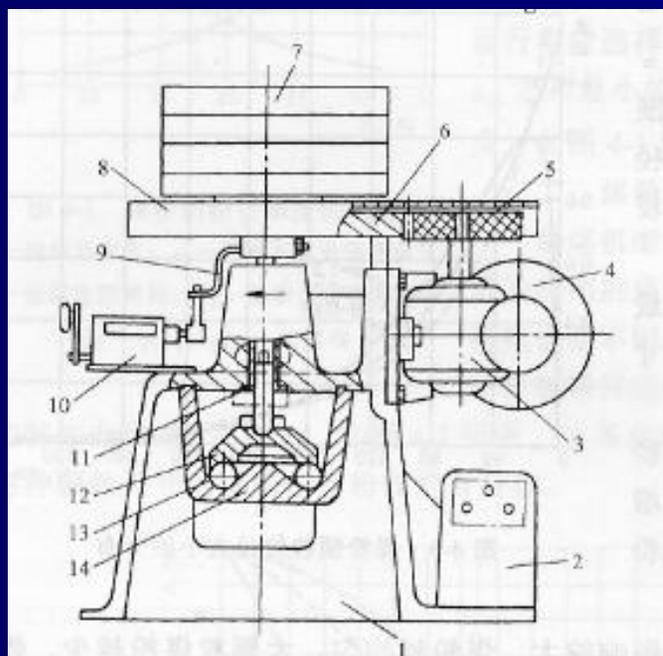


图 4-4 哈氏可磨性试验仪

1—机座；2—电气控制盒；3—钢轮盒；4—电动机；5—小齿轮；6—大齿轮；7—重块；8—护罩；9—拨杆；10—计数器；11—主轴；12—研磨环；13—钢球；14—研磨碗

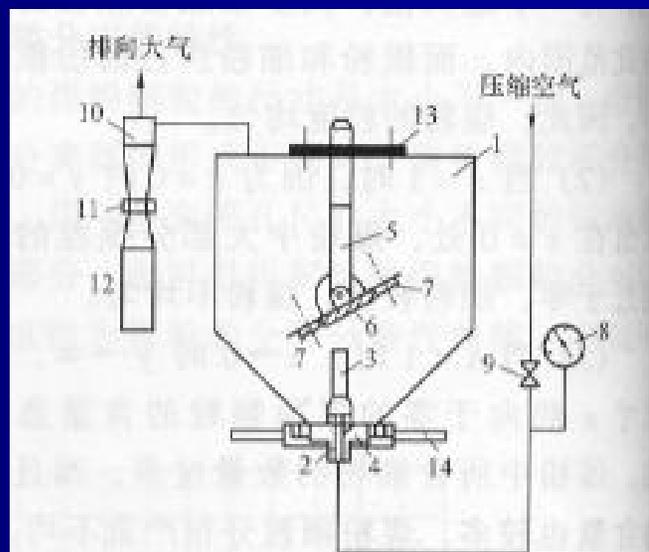


图 4-5 冲刷式磨损试验仪

1—密封容器；2—喷嘴；3—喷管；4—旁路孔；5—支架；6—磨损试片；7—活动夹片；8—压力表；9—透气阀；10—煤粉分离器；11—活接头；12—煤粉罐；13—螺母；14—底部托架

§ 4.3 煤的可磨性和可磨指数

表4-5 煤的磨损型和冲刷磨损指数的关系

K_e	<1.0	1~2	2~3.5	3.5~5	>5.0
磨损性	轻微	不强	较强	很强	极强

§ 4.4 磨煤机

磨煤机种类

- 1, 低速磨煤机, 15~25 r/min
- 2, 中速磨煤机, 50~300 r/min
- 3, 高速磨煤机, 750~1500 r/min

§ 4.4 磨煤机

1, 低速磨煤机, 15~25 r/min

1.1 钢球磨煤机

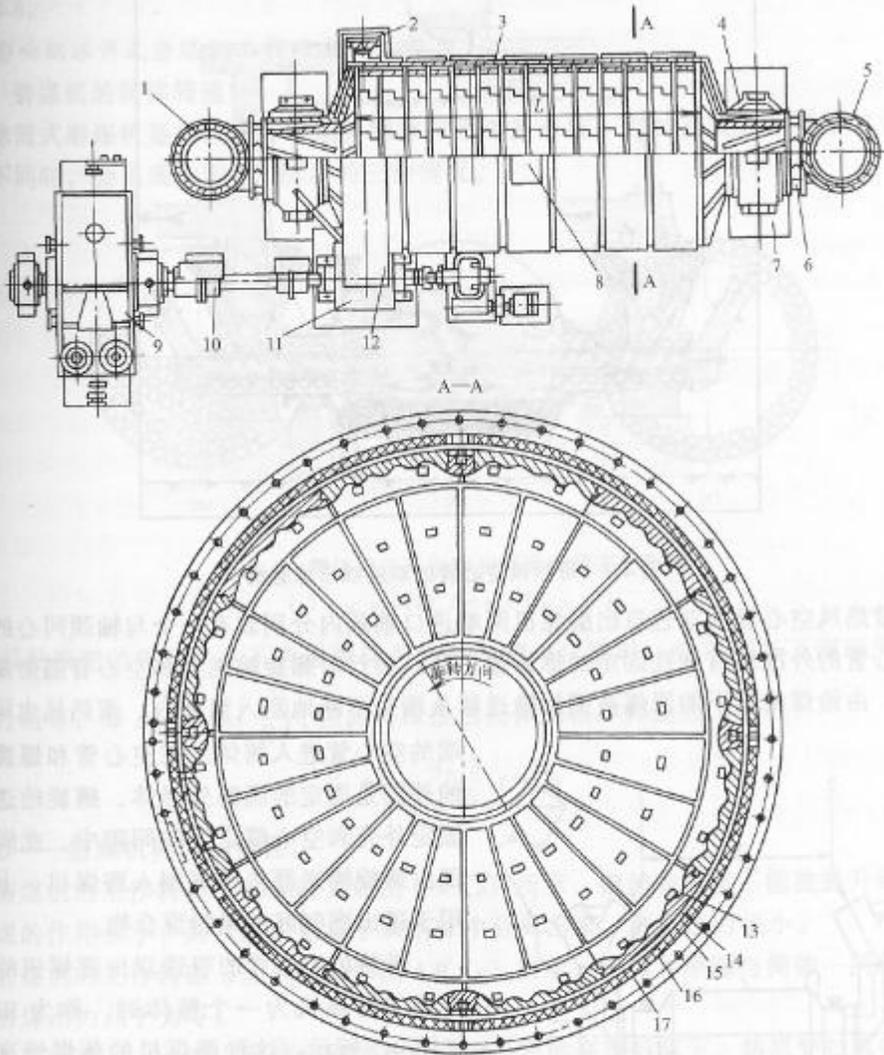


图 4-6 钢球筒式磨煤机

1—煤和热风进口管；2—大齿轮轮廓；3—磨煤机筒体；4—轴承座；5—煤粉出口管；6—密封装置；7—轴承座基础；8—检查孔；9—电动机；10—联轴器；11—小齿轮；12—齿轮外罩；13—筒身；14—护甲；15—石棉垫；16—隔音毛毡；17—外包铁皮

带热风空心管

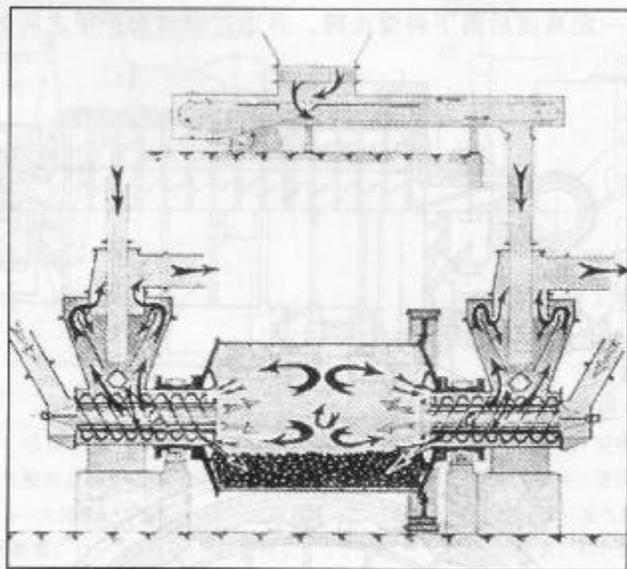


图 4-7 带热风空心管的双进双出球磨机

不带热风空心管

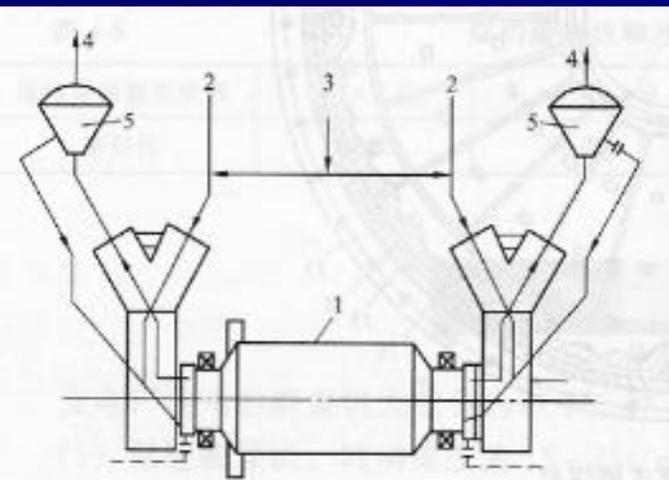


图 4-8 不带热风空心管的双进双出球磨机

1—球磨机筒体；2—进煤管；3—热风（干燥剂）进口；

4—煤粉干燥剂出口；5—分离器

§ 4.4 磨煤机

1, 低速磨煤机, 15~25 r/min

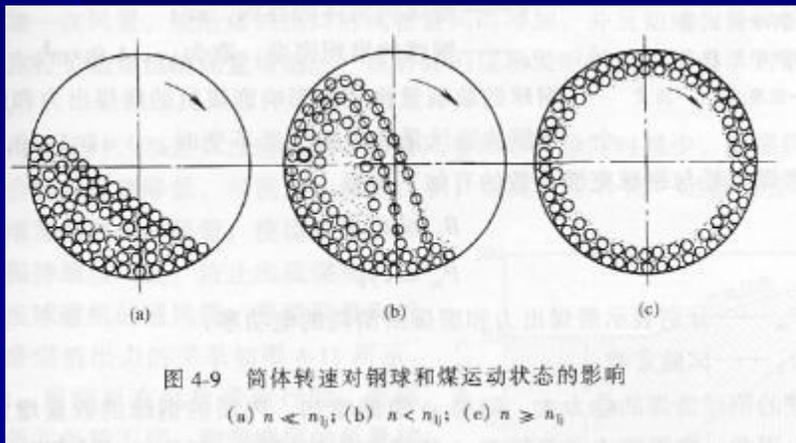
1.2 双进双出钢球磨煤机

§ 4.4 磨煤机

1, 低速磨煤机, 15~25 r/min

1.3, 影响钢球磨煤机工作的主要因素

(1) 筒体转速



$$n_{lj} = \frac{42.3}{\sqrt{D}} \text{ r/min} \quad (4-9)$$

$$\frac{n_{zj}}{n_{lj}} = 0.74 \sim 0.8 \quad (4-10)$$

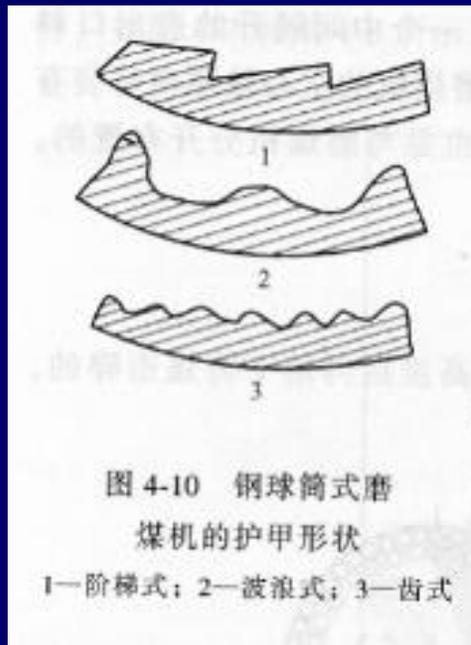
引进的欧美型磨煤机, $n_{zj}/n_{lj}=0.72\sim0.9$ (4-11)

§ 4.4 磨煤机

1, 低速磨煤机, 15~25 r/min

1.3, 影响钢球磨煤机工作的主要因素

(2) 护甲结构



(3) 钢球充满系数

$$\psi = \frac{G}{\rho_{gq} V} \quad (4-12)$$

§ 4.4 磨煤机

1, 低速磨煤机, 15~25 r/min

1.3, 影响钢球磨煤机工作的主要因素

(3) 钢球充满系数

$$B_m = c_1 \psi^{0.6} \quad \text{t/h} \quad (4-13)$$

$$P_m = c_2 \psi^{0.9} \quad \text{kW}$$

$$\psi_{zj} = 0.12 / \left(\frac{n}{n_{1j}} \right)^{1.75} \quad (4-14)$$

§ 4.4 磨煤机

1, 低速磨煤机, 15~25 r/min

1.3, 影响钢球磨煤机工作的主要因素

(4) 磨煤机的筒体通风量

$$V_{\text{tf}}^{\text{zj}} = \frac{38V}{n\sqrt{D}} \left(1000 \left(K_{\text{km}}^{\text{Ha}} \right)^{1/3} + 36R_{90} \sqrt{K_{\text{km}}^{\text{Ha}} \psi^{1/3}} \right) \quad (4-15)$$

1.4, 钢球筒式磨煤机的技术特点

§ 4.4 磨煤机

1, 低速磨煤机, 15~25 r/min

1.4, 钢球筒式磨煤机的技术特点

(1) 单进单出磨煤机

- 1) 煤种适应性强;
- 2) 单机容量大;
- 3) 对原煤中的杂质不敏感;
- 4) 金属消耗量大;

§ 4.4 磨煤机

1, 低速磨煤机, 15~25 r/min

1.4, 钢球筒式磨煤机的技术特点

(1) 单进单出磨煤机

5) 噪音大, 煤粉均匀性差

(2) 双进双出磨煤机

1) 煤种适应性强;

2) 对原煤中的杂质不敏感;

§ 4.4 磨煤机

1, 低速磨煤机, 15~25 r/min

1.4, 钢球筒式磨煤机的技术特点

(2) 双进双出磨煤机

3) 维护费用低;

4) 占地面积小、电耗小、噪音小;

5) 锅炉负荷变化时响应速度快; 10s内
20%/min。

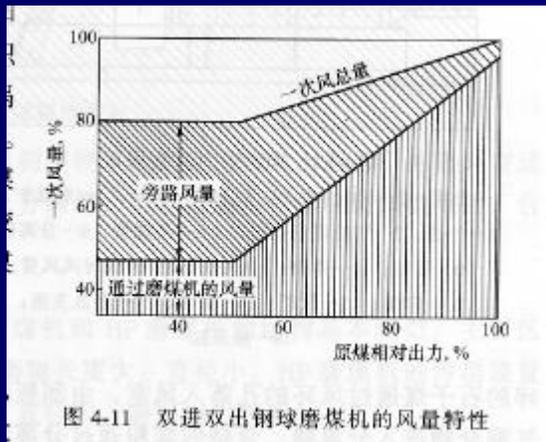
§ 4.4 磨煤机

1, 低速磨煤机, 15~25 r/min

1.4, 钢球筒式磨煤机的技术特点

(2) 双进双出磨煤机

6) 储粉量大, 运行灵活性好;



2, 中速磨煤机

2.1 MPS磨煤机

§ 4.4 磨煤机：MPS

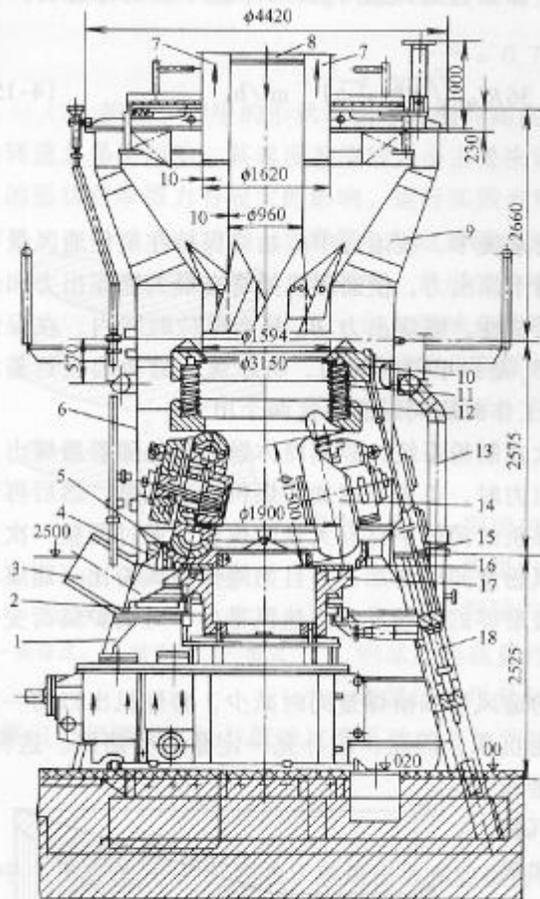


图 4-12 MPS 型中速磨煤机

- 1—支座；2—刮板；3—进风口；4—风环；5—磨盘护瓦；
 6—外壳；7—气粉混合物出口；8—落煤管；9—分离器；
 10—压盖；11—弹簧；12—托架；13—密封风风管；
 14—磨辊；15—拉绳；16—磨盘；17—磨盘支座；
 18—液压缸

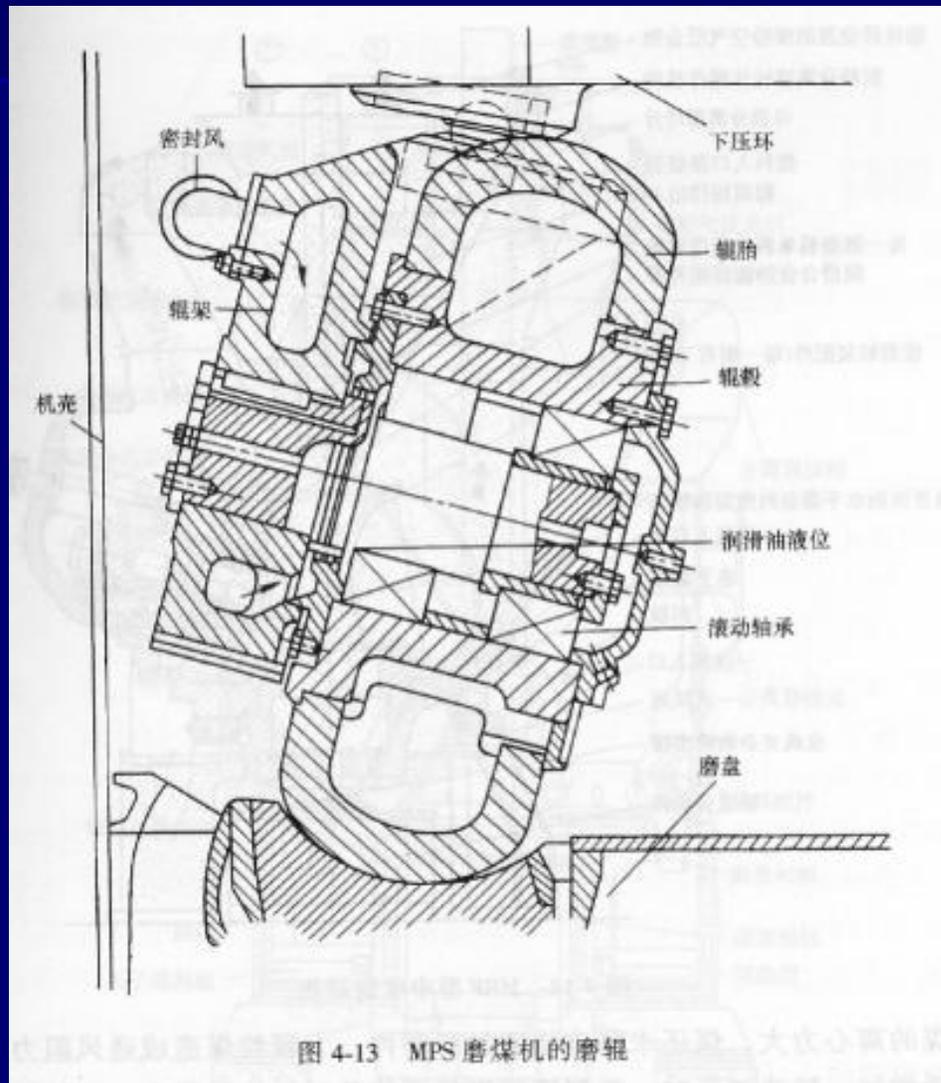


图 4-13 MPS 磨煤机的磨辊

§ 4.4 磨煤机

2, 中速磨煤机 2.2 MBF磨煤机

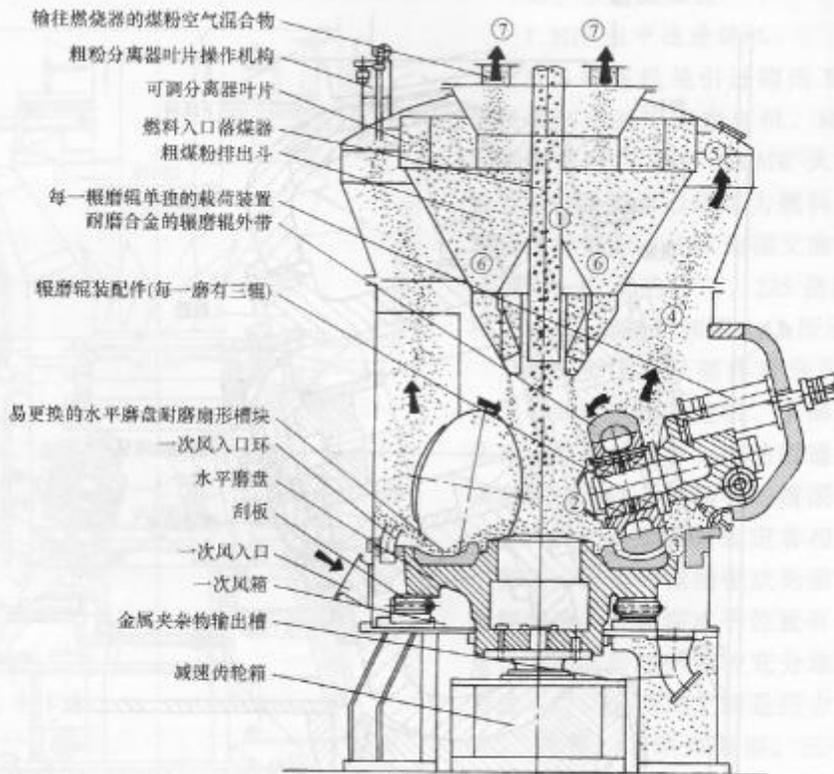


图 4-14 MBF 型中速磨煤机

§ 4.4 磨煤机

2, 中速磨煤机

2.3 HP (RP) 磨煤机

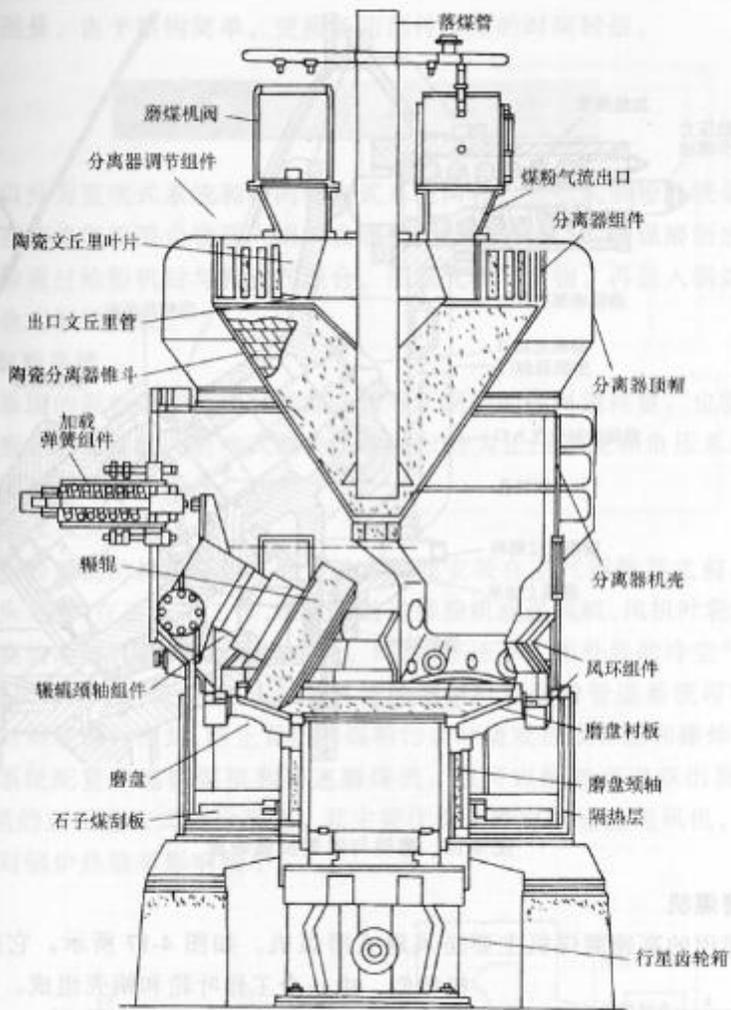


图 4-15 HP 型磨煤机结构

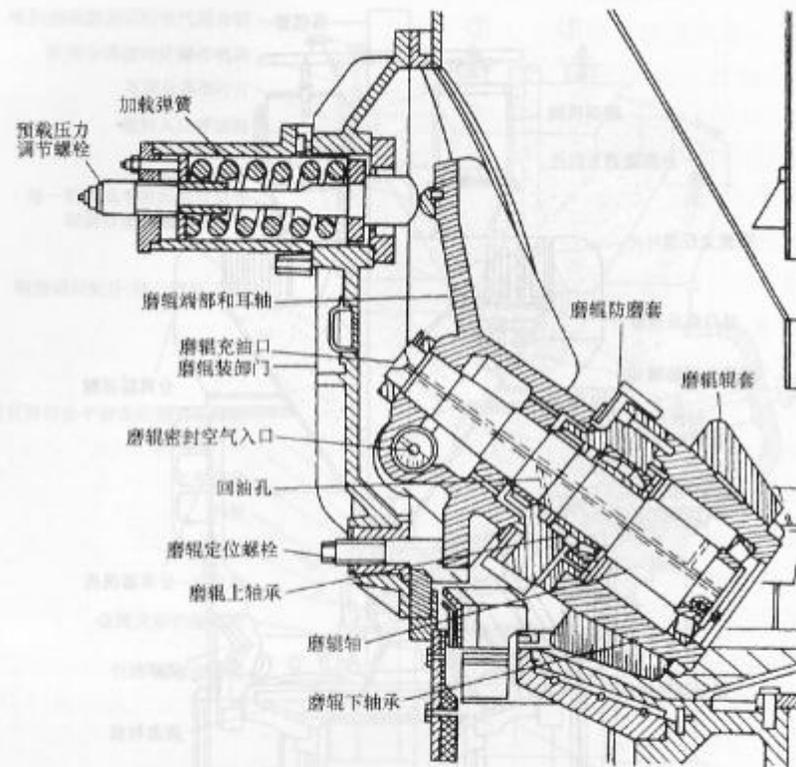


图 4-16 磨辊与弹簧加载装置

§ 4.4 磨煤机

2, 中速磨煤机

2.4 影响中速磨煤机工作的因素

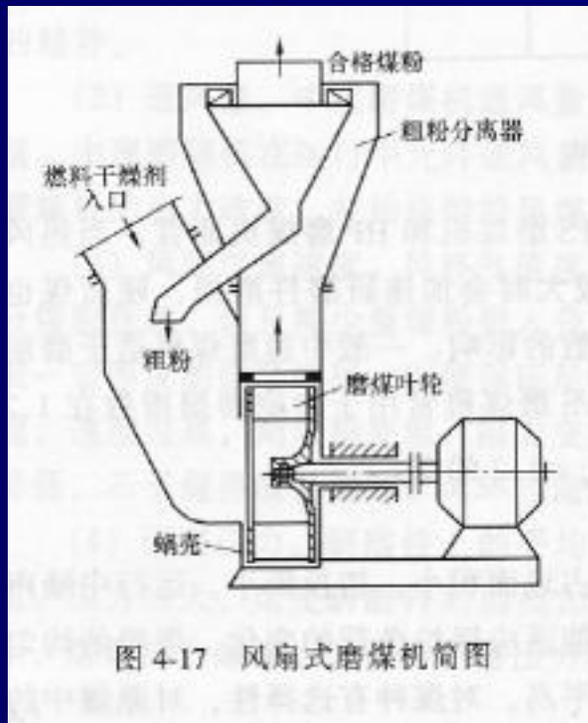
- (1) 转速；
- (2) 通风量；
- (3) 风环气流速度
- (4) 研磨压力；
- (5) 燃料性质

2.5 中速磨煤机特点

- (1) 结构紧凑；
- (2) 占地面积小，金属消耗量低；
- (3) 噪音低；
- (4) 电耗低

§ 4.4 磨煤机

3, 高速磨煤机



适用于 $K_e < 3.5$, $M_{ar} > 35\%$
的软褐煤与木质褐煤

§ 4.5 制粉系统

1, 直吹式制粉系统

1.1 中速磨直吹式制粉系统

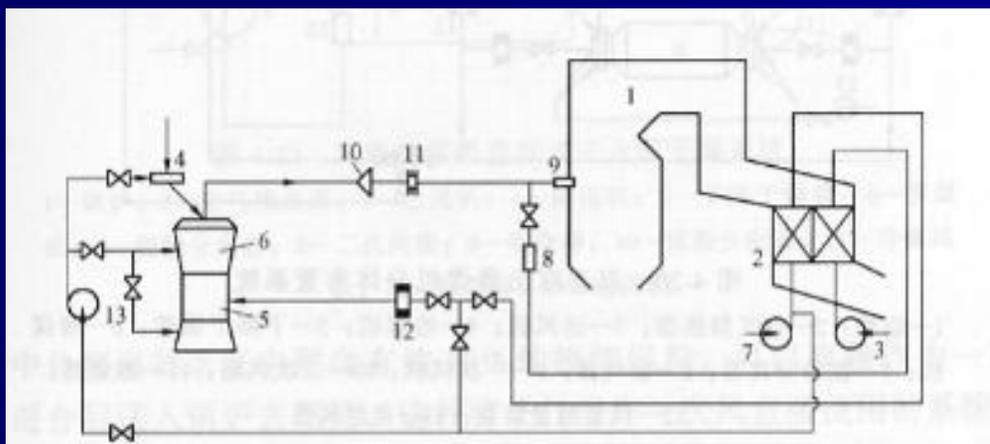


图 4-18 中速磨煤机正压直吹式系统

注：图中送风机和一次风机为并联，也有采用串联布置方式，图中未画。

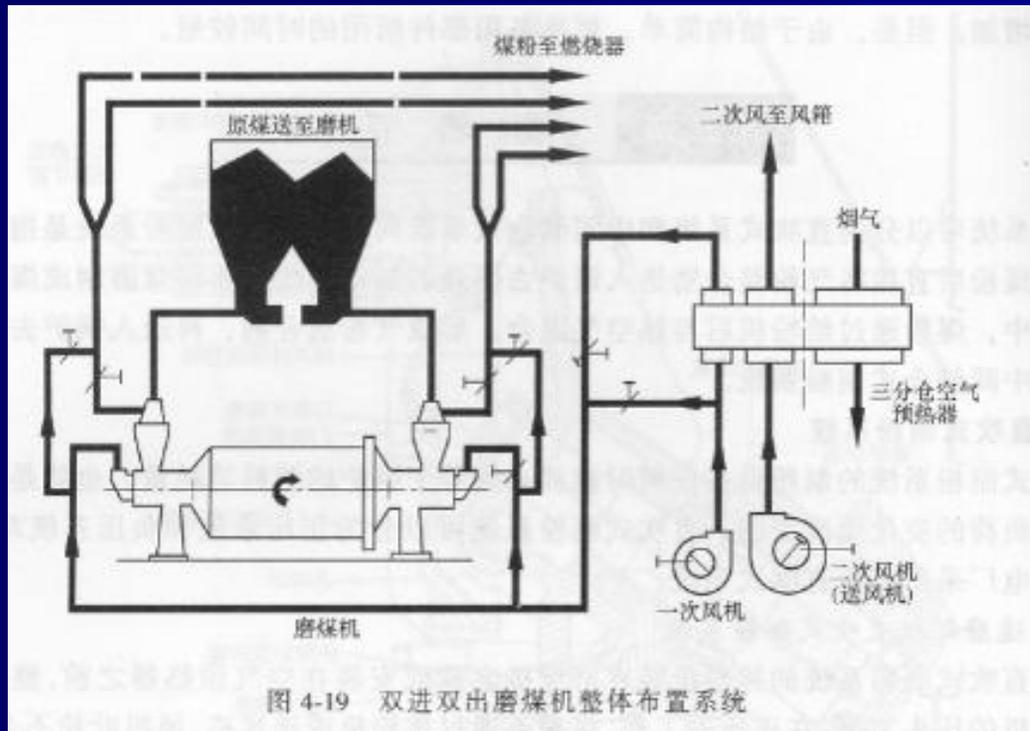
1—锅炉；2—空气预热器；3—送风机；4—给煤机；5—磨煤机；6—粗粉分离器；7—一次风机；8—二次风箱；9—燃烧器；10—煤粉分配器；11—隔绝门；

12—风量测量装置；13—密封风机

§ 4.5 制粉系统

1, 直吹式制粉系统

1.2 双进双出磨煤机直吹式制粉系统



整体布置

§ 4.5 制粉系统

1, 直吹式制粉系统

1.2 双进双出磨煤机直吹式制粉系统

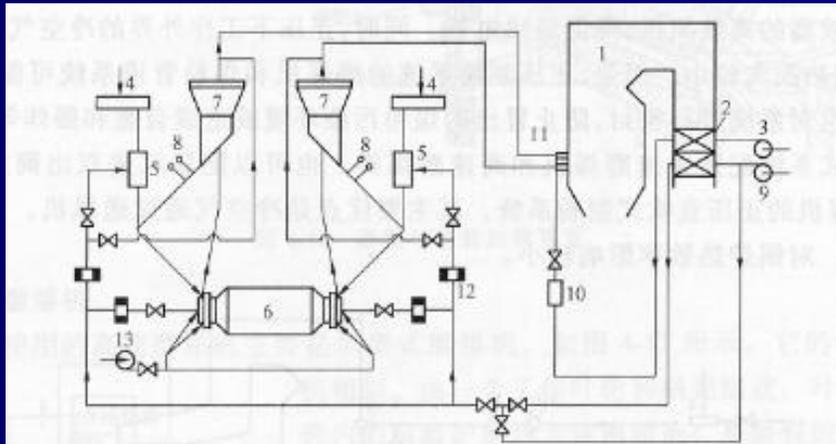


图 4-20 双进双出磨煤机分体布置系统

1—锅炉；2—空气预热器；3—送风机；4—给煤机；5—下降干燥管；6—磨煤机；7—粗粉分离器；8—锁气器；9—一次风机；10—二次风箱；11—燃烧器；12—风量测量装置；13—密封风机

分
体
布
置

§ 4.5 制粉系统

1, 直吹式制粉系统

1.3 风扇磨直吹式制粉系统

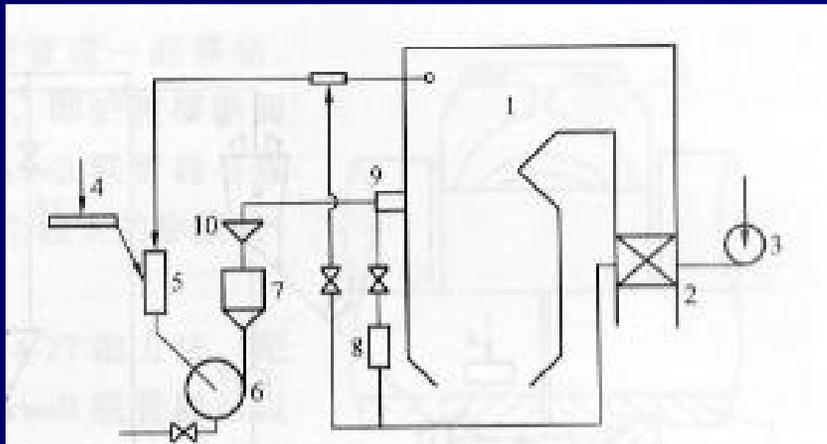


图 4-21 风扇磨煤机直吹式二介质干燥系统

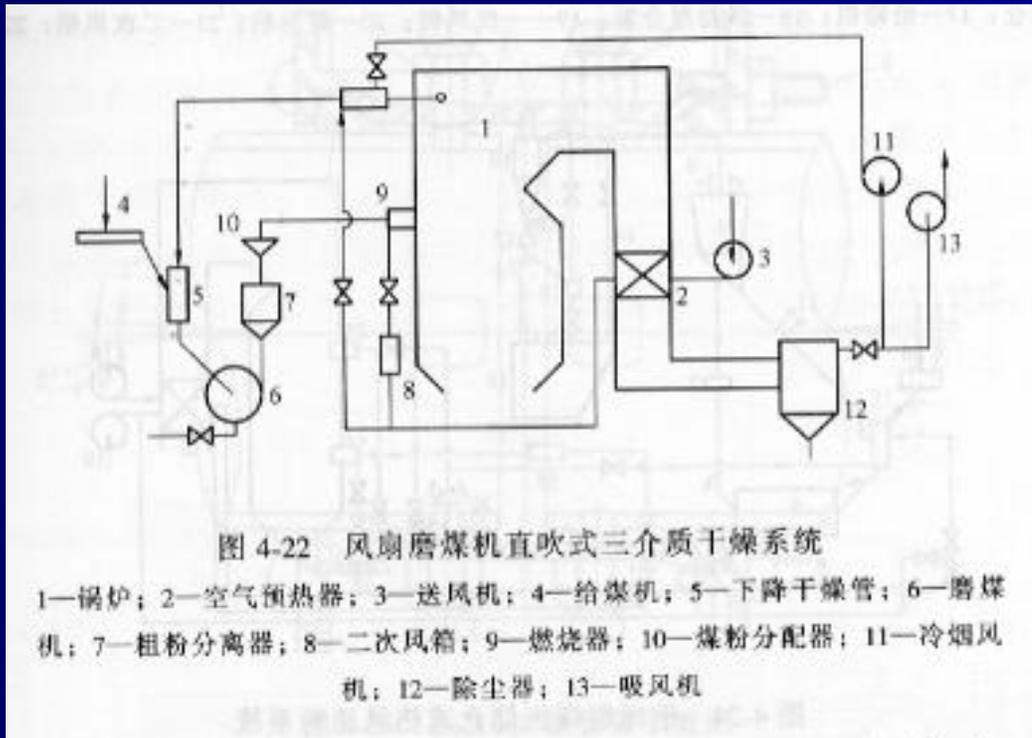
1—锅炉；2—空气预热器；3—送风机；4—给煤机；5—下降干燥管；6—磨煤机；7—粗粉分离器；8—二次风箱；
9—燃烧器；10—煤粉分配器

二
介
质
干
燥

§ 4.5 制粉系统

1, 直吹式制粉系统

1.3 风扇磨直吹式制粉系统



三介质干燥

§ 4.5 制粉系统

2, 中间储仓式制粉系统

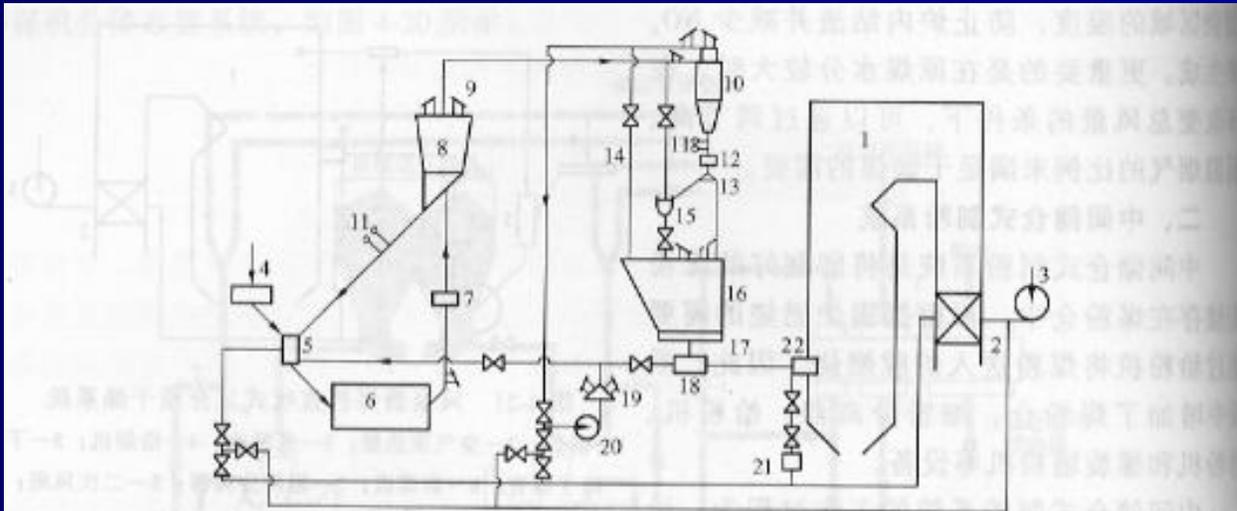


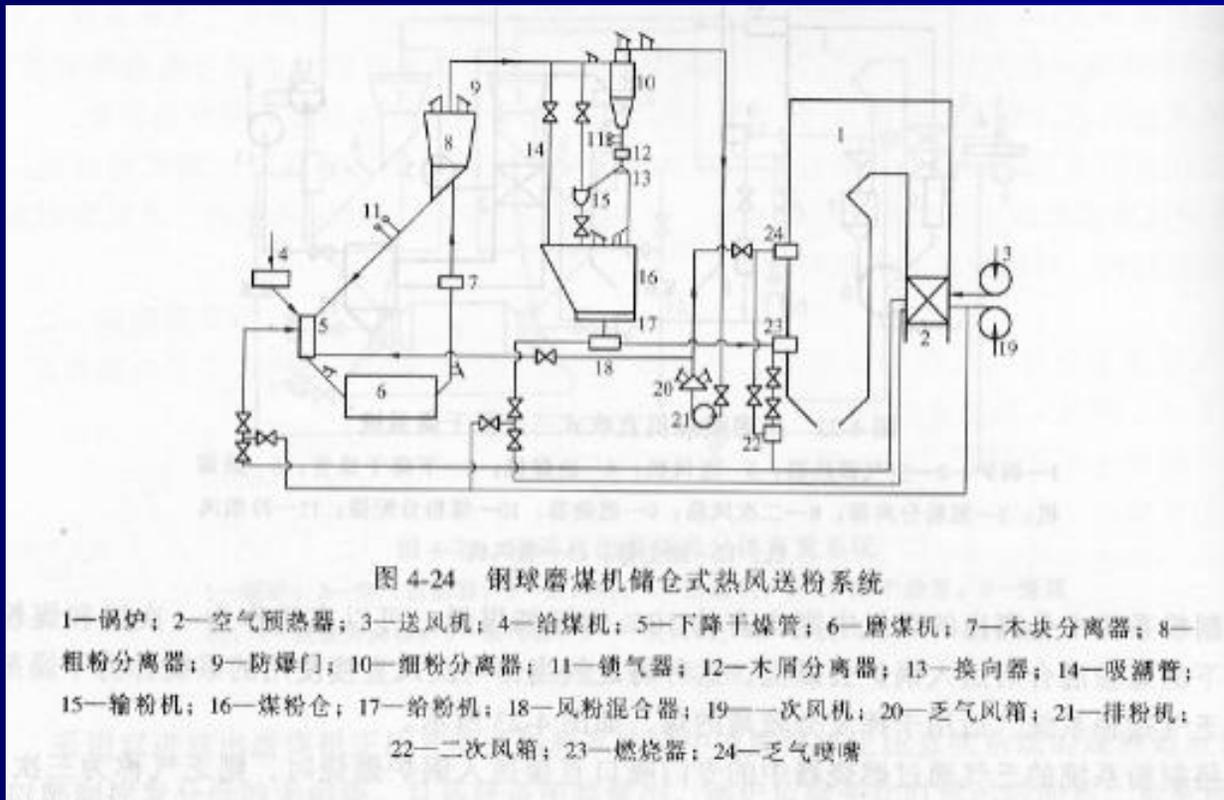
图 4-23 钢球磨煤机储仓式乏气送粉系统

- 1—锅炉；2—空气预热器；3—送风机；4—给煤机；5—下降干燥管；6—磨煤机；7—木块分离器；8—粗粉分离器；9—防爆门；10—细粉分离器；11—锁气器；12—木屑分离器；13—换向器；14—吸潮管；15—输粉机；16—煤粉仓；17—给粉机；18—风粉混合器；19—一次风箱；20—排粉机；21—二次风箱；22—燃烧器

乏气送粉

§ 4.5 制粉系统

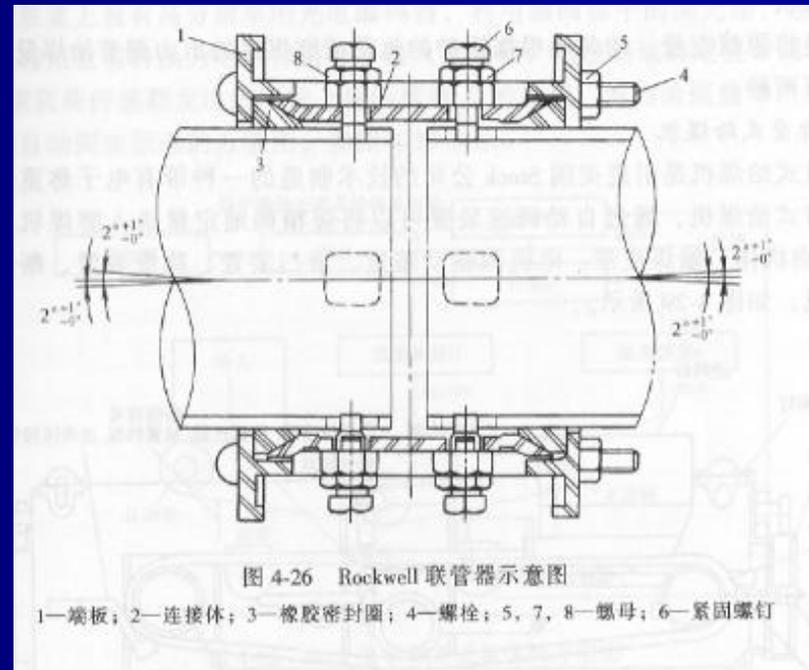
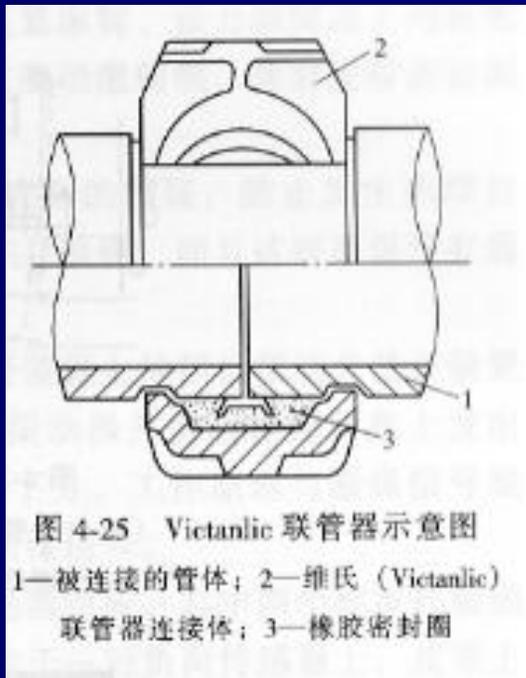
2, 中间储仓式制粉系统



热风送粉

§ 4.5 制粉系统

3, 联管器和“肘节”结构



§ 4.5 制粉系统

3, 联管器和“肘节”结构

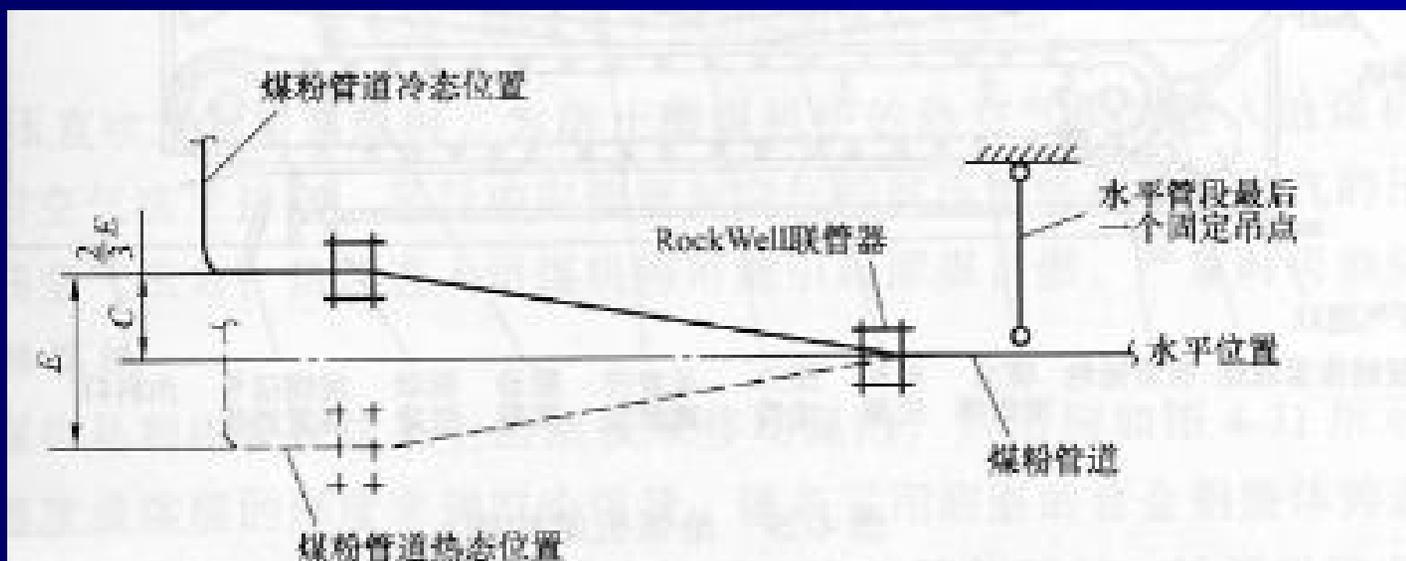


图 4-27 设置于水平管段上的肘节结构吸收垂直的膨胀示意图

E —燃烧器随炉膛（水冷壁）向下膨胀量； C —煤粉管道安装冷拉量

§ 4.5 制粉系统

3, 联管器和“肘节”结构

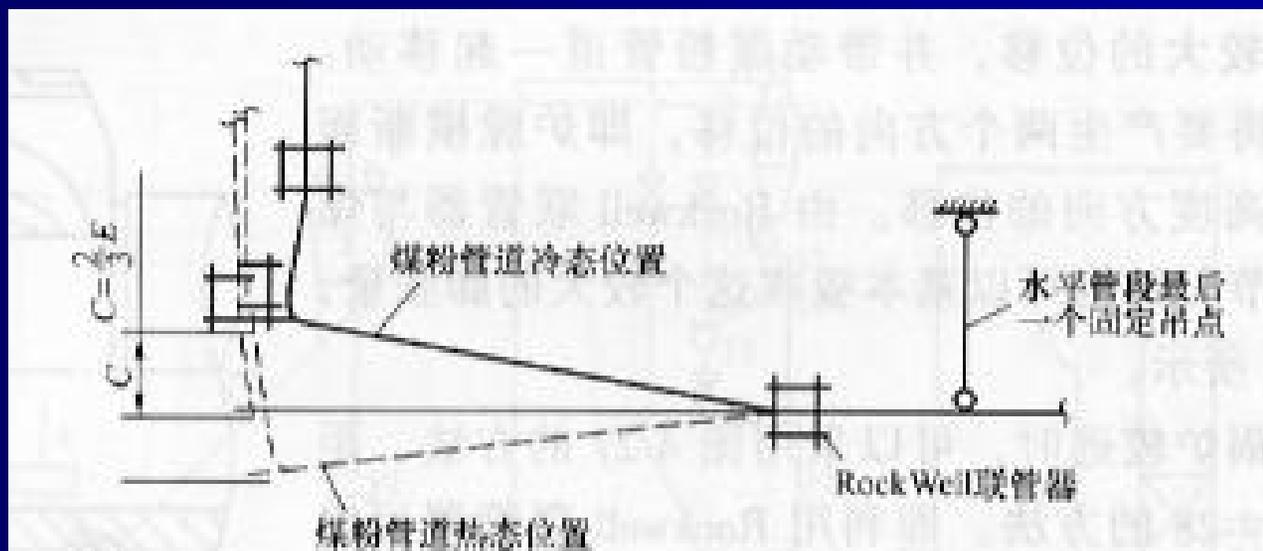


图 4-28 肘节结构吸收垂直方向的膨胀示意图

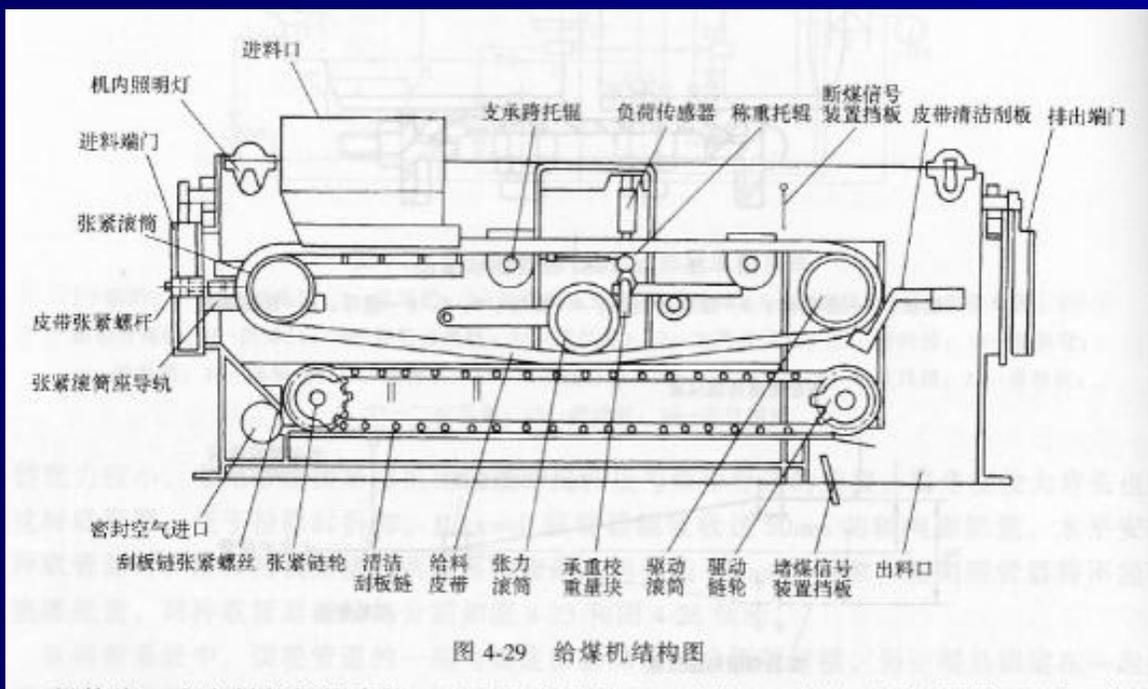
(一个联管器设置于水平管段, 另一个设置于垂直管段)

E —燃烧器随炉膛向下膨胀量; C —煤粉管道安装冷拉量

§ 4.6 给煤机和给粉机

1, 给煤机

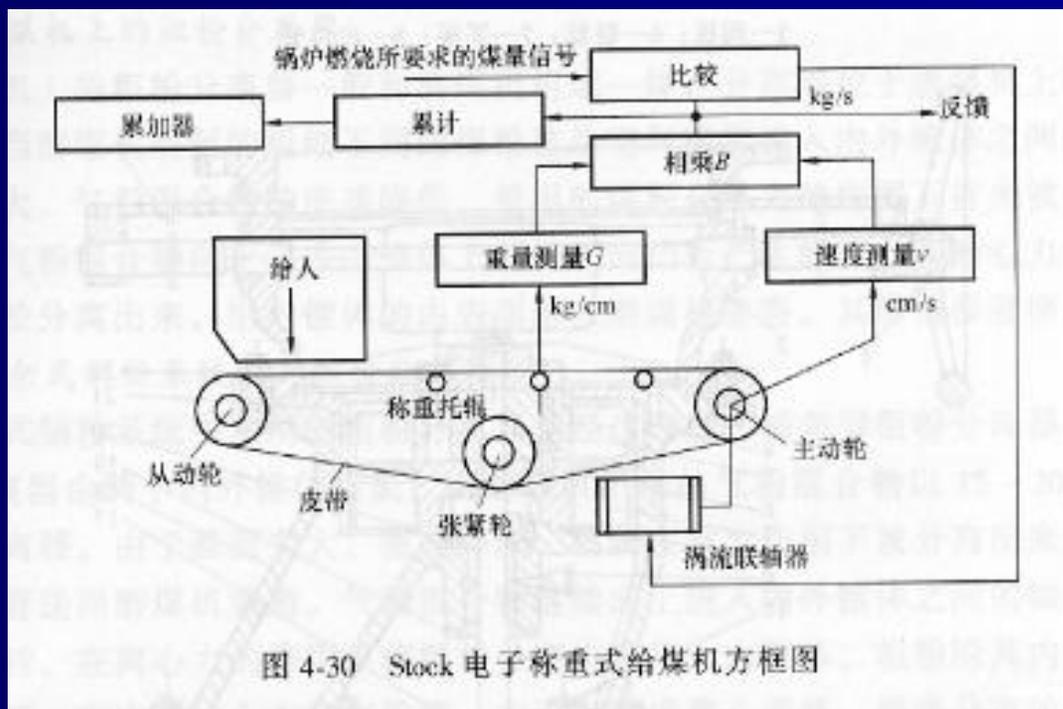
1.1 电子称重式给煤机



§ 4.6 给煤机和给粉机

1, 给煤机

1.1 电子称重式给煤机



§ 4.6 给煤机和给粉机

1, 给煤机 1.2 刮板式给煤机

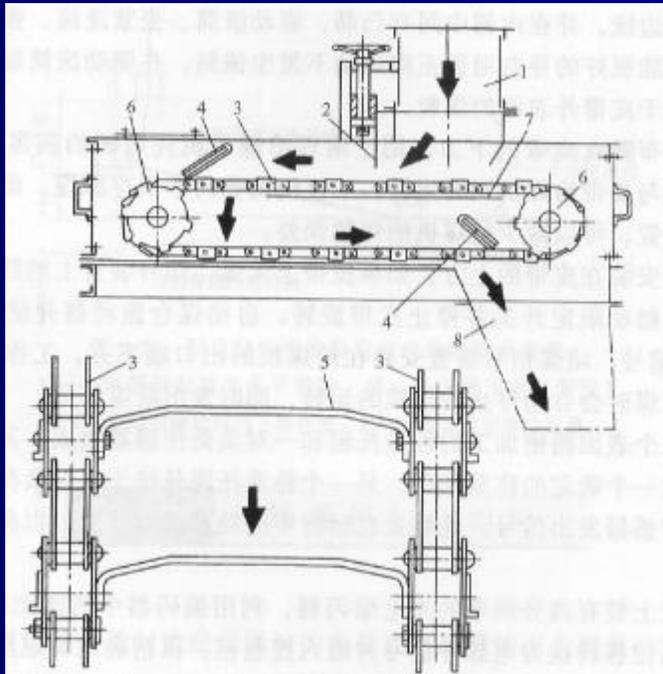


图 4-31 刮板给煤机

1—原煤进口管；2—煤闸；3—链条；4—挡板；
5—刮板；6—链轮；7—平板；8—出口管

§ 4.6 给煤机和给粉机

2, 给粉机

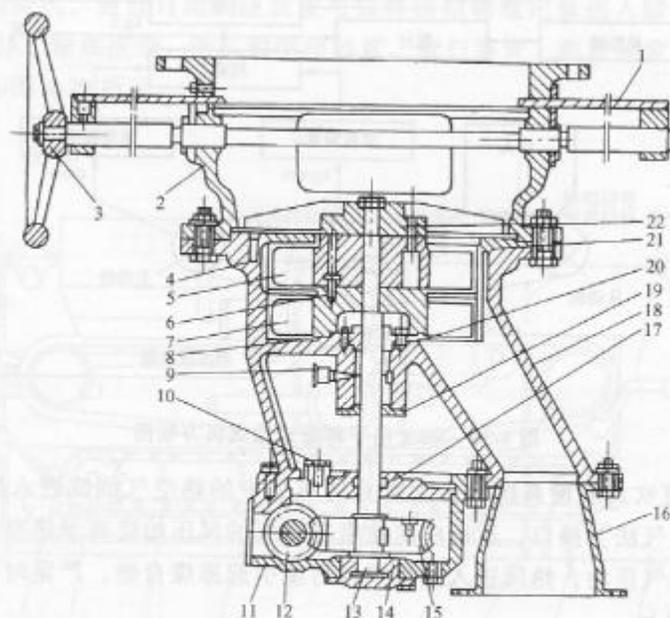


图 4-32 叶轮给粉机结构

1—网板；2—上部体；3—手轮；4—供给叶轮壳；5—供给叶轮；6—传动销；7—测量叶轮；8—座；9—黄干油杯；10—放气塞；11—蜗轮壳；12—蜗杆；13—主轴；14—圆锥滚子轴承；15—蜗轮；16—出粉管；17—蜗轮减速箱上盖；18—下部体；19—压紧帽；20—油封；21—衬板；22—刮板

§ 4.7 煤粉分离器

1, 粗粉分离器

1.1 中速磨上的粗粉分离器

1.2 中间储仓式制粉系统中的粗粉分离器

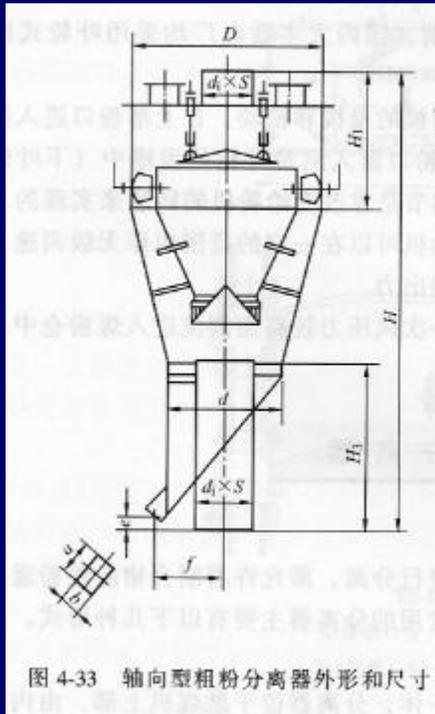
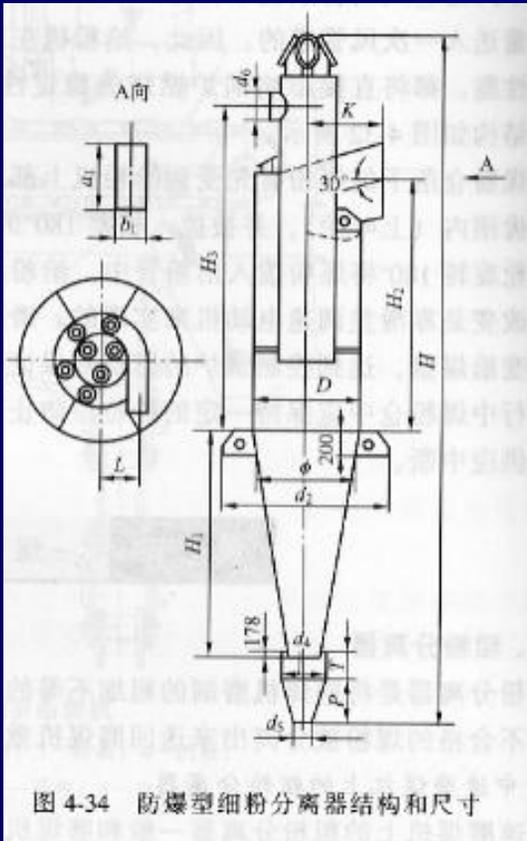


图 4-33 轴向型粗粉分离器外形和尺寸

§ 4.7 煤粉分离器

2, 细粉分离器



第四章 授课内容结束

- 请同学们提问。

延伸阅读 01

第四章 基本要求

- 1, 掌握煤粉的密度、细度的定义
- 2, 掌握煤的可磨性系数、磨损指数的定义。
- 3, 掌握磨煤机的类型及其特点
- 4, 掌握制粉系统的类型及其特点

延伸阅读 02

第四章 重点

1, 无烟煤→钢球磨+中间储仓式系统

2, 贫煤→钢球磨+中间储仓式系统

或者 中速磨煤机+直吹式系统

3, 烟煤→中速磨煤机+直吹式系统

4, 褐煤→钢球磨+中间储仓式系统

或者 风扇磨煤机+直吹式系统

延伸阅读 03

第四章 难点

- 1, 中间储仓式热风送粉系统：三次风
- 2, 钢球磨煤机（含双进双出）的特点
- 3, MPS, MBF, HP, RP磨煤机的应用范围：与磨损指数 K_e 有关。

延伸阅读 04

第四章 关键词

经济细度	给粉机	给煤机
可磨性系数	联管器	低速磨
磨损指数	临界转速	中速磨
粗粉分离器	钢球充满系数	高速磨
细分分离器	最佳通风量	