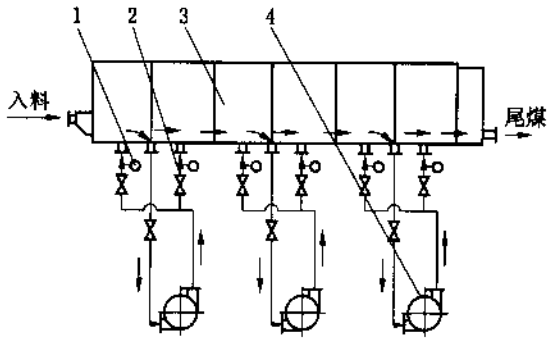
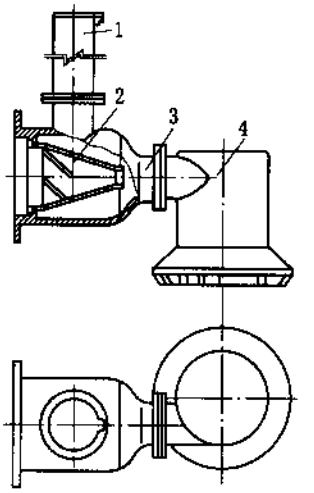


1—压力表；2—阀门；3—浮选槽；4—循环泵

图10-3-58　XPM型浮喷射式浮选机及其循环泵关系图



1—进气管；2—喷嘴；3—混合室；4—旋流器

图10-3-59　XPM-4型浮选机充气搅拌装置示意图

（3）高速射流能将药剂、空气流切割分散成微细状态，使药剂受到激烈的乳化作用，提高药剂效率，降低药剂用量。

（4）循环煤浆从旋流器或伞形器斜下方甩出，造成有助于分选的“W”形煤浆运动方式。

（5）煤浆经循环泵加压循环，浮选槽内分离区紊流程度低，有利于矿化气泡上浮。

（6）生产能力大。

2）FJC系列喷射式浮选机

在XPM-8型喷射式浮选机的基础上，通过吸收国外非机械搅拌式浮选机研究成果，开发成功我国第三代FJC系列喷射式浮选机。与XPM-8相比，在充气搅拌装置、浮选机槽箱的结构参数、浮选槽箱内煤浆流动形态、浮选入料方式等进行了优化和改进，使FJC系列喷射式浮选机结构形式和结构参数更加合理，其技术性能指标和分选效果都有明显提高。

FJC系列喷射式浮选机与XPM-8相比主要进行了以下改进：

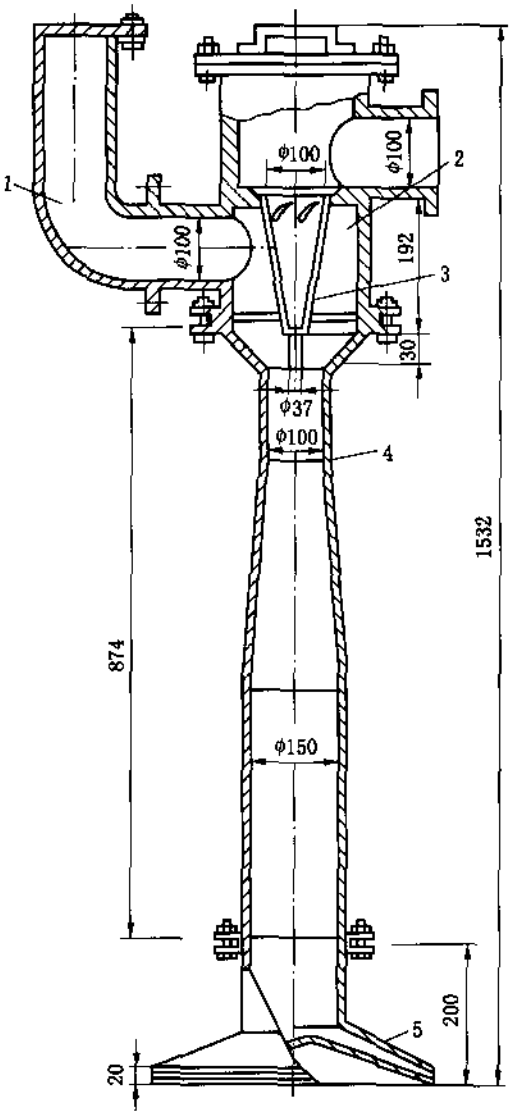
（1）优化喷射式浮选机的核心部件——充气搅拌装置的结构参数，使结构形式和结构参数更趋合理，其混合系数大幅提高。

（2）采用兼有直流和吸入式入料优点的新型入料方式，克服原直流式入料容易“串料”缺点。

（3）改进浮选机槽箱内煤浆流动形式和循环煤浆抽取方式，使浮选槽箱内煤浆流动更趋合理。

（4）改进浮选机头槽箱入料口形状，使进入浮选槽箱的入料分布更加均匀。

（5）优选了与FJC系列浮选机配套的高效、耐磨煤浆循环泵，使浮选机的装机容量



1—吸气管；2—混合室；3—喷嘴；4—喉管；5—伞形器

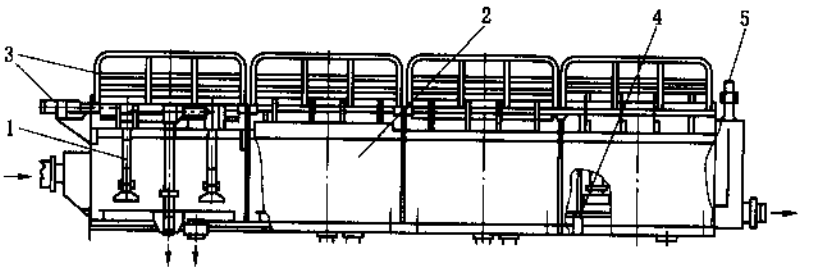
图 10-3-60 XPM-8 型浮选机充气搅拌装置示意图

和吨煤电耗都有所降低。

目前 FJC 系列浮选机已形成单槽容积分别为 $4m^3$、$8m^3$、$12m^3$、$16m^3$、$20m^3$ 系列产品。

FJC 系列浮选机的结构示意图如图 10-3-61 所示，其技术规格见表 10-3-23。

（1）充气性能指标。FJC20 浮选机的充气性能指标见表 10-3-24。FJC 浮选机的各项充气性能指标均很好，特别是充气均匀系数和充气容积利用系数分别高达 90.36% 和 100%。



1—充气搅拌装置；2—浮选槽箱；3—刮泡机构；4—放矿机构；5—液面调整机构

图 10-3-61　FJC 系列浮选机结构示意图

表 10-3-23　FJC 系列浮选机规格（4 槽箱）

型号	槽箱容积/m^3	生产能力/($m^3 \cdot h^{-1}$)	刮泡器			电动执行器		循环泵			外形尺寸/(mm×mm×mm)	总质量/kg
			型号	转速/($r \cdot min^{-1}$)	功率/kW	型号	行程/mm	扬程/MPa	流量/($m^3 \cdot h^{-1}$)	功率/kW		
FJC4	4	≤160	BWD_3-43-2.2	35	2.2	DKZ-510	0~100	≥0.22	≥230	30	8316×2780×2150	10800
FJC6	6	160~240	BWD3-43-2.2	35	2.2	DKZ-510	0~100	≥0.22	≥300	37	9125×3230×2260	12600
FJC8	8	240~320	BWD3-43-2.2	35	2.2	DKZ-510	0~100	≥0.22	≥460	45	9942×3600×2483	15900
FJC12	12	320~480	BWD3-43-2.2	35	2.2	DKZ-510	0~100	≥0.22	≥580	55	11800×3800×2820	24100
FJC16	16	480~640	BWD4-59-3	25.4	3	DKZ-510	0~100	≥0.22	≥820	75	12800×4070×3020	29400
FJC20	20	640~800	BWD4-59-3	25.4	3	DKZ-510	0~100	≥01.22	≥980	90	13850×4300×3120	34000
FJC20A	20	640~1000	BWD4-59-3	25.4	3	DKZ-510	0~100	≥0.22	≥1100	110	13850×4300×3120	34000

表 10－3－24 FJC20 浮选机充气性能指标

工作压力/MPa	循环泵工作电流（2 槽箱）/A	平均充气量/（$m^3 \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$）	充气均匀系数/%	气、水混合系数/（$m^3 \cdot m^{-3}$）	充气容积利用系数/%
0.17	146	1.62	90.36	2.82	100

（2）生产性能指标。2005 年在安徽淮北矿业（集团）公司某选煤厂安装了一台 FJC20 型浮选机，并与同时安装在另一个系统的 XJN－14 型机械搅拌式浮选机进行了对比试验。

采取 XJN－14 和 FJC20 浮选机正常生产条件下的入料和产品煤样，测定各项工艺技术指标，结果见表 10－3－25。

表 10－3－25 FJC20 与 XJN－14 浮选机工艺技术指标

型号	入料		精煤/%				尾煤灰分/%	生产能力/（$m^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$）	电耗/（$kW \cdot h \cdot t^{-1}$）	药剂用量/（$kg \cdot t^{-1}$）		浮选完善指标/%	可浮性等级
	灰分/%	浓度/（$g \cdot L^{-1}$）	产率	灰分	水分	可燃体回收率				起泡剂	捕收剂		
XJN－14	25.04	52	78.8	12.85	29	91.61	72.36	4.38	5.2	0.31	1.34	51.18	极易浮
FJC20	24.18	80	76.23	11.2	18.8	89.28	65.82	8.16	3.46	0.23	1.05	52.97	极难浮

从表 10－3－25 中可以看出，FJC20 浮选机的各项工艺指标仍显著优于 XJN－14 型机械搅拌式浮选机，如表征分选选择性的浮选完善指标高 2.79%，浮选机单位容积处理能力高约一倍；浮选剂用量低 0.37kg/t，下降 22%；电耗低 1.74kW·h/t，下降 33%。

3）FCSMC 系列旋流—静态微泡浮选柱

FCSMC 系列旋流—静态微泡浮选柱是我国 20 世纪 90 年代自主开发的细粒煤分选设备，目前已形成柱体直径为 1500mm、2000mm、3000mm、4000mm、4500mm 及床体面积为3000mm×6000mm、6000mm×6000mm 系列产品。该系列设备已通过五项省、部级鉴定。

（1）旋流—静态微泡浮选柱的结构和工作原理。旋流—静态微泡浮选柱主要由柱体、气泡发生器、循环泵、喷淋水装置等组成，其结构示意图如图 10－3－62 所示。

浮选柱主体结构包括分离段、旋流分离段、管浮选装置三部分。

柱分离段位于整个柱体上部，在其顶部设置了喷淋水管和泡沫精矿收集槽，浮选精煤由此排出，浮选入料口位于柱分离段中上部。旋流分离段采用分选旋流器结构，并与柱分离段呈上、下结构直通连接，尾煤由旋流分离段底流口排出。管浮选装置布置在柱体外面，其出流沿切线方向与旋流分离段柱体相连，相当于分选旋流器的切线给料管，管浮选装置包括气泡发生器和浮选管段两部分。气泡发生器是柱分选设备的关键部件，它采用类似于射流泵的内部结构，具有依靠射流负压自身引入气体，并把气体粉碎成气泡的双重作用，在旋流—静态微泡柱分选设备内，经过加压的循环矿浆进入气泡发生器，引入气体并形成含有大量微细气泡的气、液、固三相体系，在浮选管段内高度紊流矿化，然后以较高能量状态沿切向高速进入旋流分离段。这样，管浮选装置在完成浮选充气与高度紊流矿化

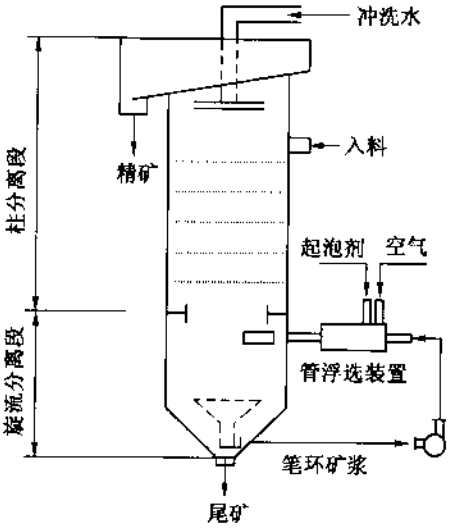


图 10-3-62　旋流—静态微泡浮选柱的结构示意图

的同时，又以切向入料的方式在浮选柱底部形成了旋流力场。

当大量气泡沿切向进入旋流分离段时，由于离心力和浮力的共同作用，便迅速以旋转方式向旋流分离段中心汇集，进入柱分离段并在柱体断面上得到分散。与此同时，由上部给入的矿浆连同煤颗粒呈整体向下塞式流动，与呈整体向上升浮的气泡发生器逆向运行与碰撞；气泡在上升过程中不断矿化，形成柱分选的持续矿化过程。在静态微泡浮选柱分选设备中，柱分离段的更重要的作用是精选作用，它要对来自柱分选设备底部的旋流力场及管浮选回收的中矿进行精选，并从总体上保证整个柱分选设备的精煤产品质量。

气泡发生器是浮选柱的关键部件，它包括喷嘴、吸气室、喉管和扩散管四部分，其结构如图 10-3-63 所示。

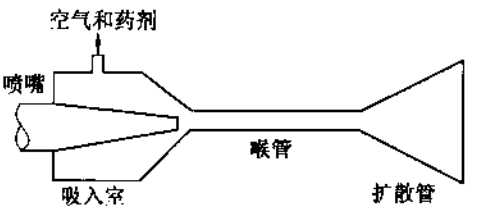


图 10-3-63　气泡发生器结构图

（2）技术特点：

① 采用自吸射流成泡方式形成微泡，过饱和溶解气体析出，提高了细颗粒煤矿化效率；

② 三相旋流分选与柱浮选相结合，产生了按密度分离与表面浮选的叠加效应，保证了微细粒旋流分选作用的发挥；

③ 利用煤泥的密度与可浮性的联系，将浮选与重选方法相结合，形成多重矿化方式为核心的强化分选回收机制；

④ 高效多重矿化方式是提高整个矿化效率的关键，管流矿化进一步提高了难浮煤的分选效率；

⑤ 形成了有利于提高浮选精煤质量的合理分选梯度、泡沫层厚度及二次富集作用的强化。

（3）FCSMC 浮选柱和浮选床的技术规格及应用。FCSMC 浮选柱和浮选床的技术规格见表 10－3－26。

表 10－3－26 FCSMC 浮选柱和浮选床的技术规格

型号		矿浆量/($m^3 \cdot h^{-1}$)	容积/m^3	电机功率/kW	设备总质量/t	外形尺寸($\phi \times H$, $L \times B \times H$)/(mm×mm)，(mm×mm×mm)
浮选柱	FCSMC－1500	50～60	7.5～8	15～22	8	ϕ2200×6500
	FCSMC－2000	100～120	18～20	30～37	16	ϕ2800×6500
	FCSMC－3000	200～250	40～42	55～75	24	ϕ4000×6500
	FCSMC－4000	350～450	73～75	90～132	36	ϕ51000×6500
	FCSMC－4500	420～540	92～95	150～220		ϕ5600×6500
浮选床	FCSMC－3000 6000	400～500	100～110	110	45	7000×4500×6500
	FCSMC－6000 6000	800～1000	200～220	200～220	75	7000×8500×6500

旋流—静态微泡浮选柱主要用于小于 0.5mm 煤泥的浮选，以及低灰低硫洁净煤的制备。由于具有以下特点：单位容积生产能力大，生产流程简单，分选选择性好，效率高，特别适用于分选灰分高，粒度特细的难选煤和高硫煤；无运动部件，易于安装、维护、操作，易于自动化，电耗低，占地面积小，与常规技术相比，投资与运行费用可降低 1/3；统配置简单，安装方便，节省厂房体积、节省基建投资，节能经济效益高；设备运行稳定可靠，维修量少，维修费用低。目前，在全国广泛推广应用。

4）FXZ 静态浮选柱

FXZ 静态浮选柱是我国自行开发的浮选柱，1999 年通过技术鉴定，目前已形成直径为 1m、1.3m、1.8m、2.0m、3.0m 系列产品。

（1）FXZ 静态浮选柱的结构特点。FXZ 静态浮选柱的结构与 FCSMC 浮选柱相仿，气泡发生器由文丘里管和静态混合器组成，其结构特点主要有：

① 为解决泡沫易自溢而影响浮选柱生产能力的问题，在 FXZ－1 型静态浮选柱的设计中增加了机械刮泡装置；

② 为了降低设备造价，采用手动调节尾矿 U 形管及溢流堰高度，以控制泡沫层厚度，人工改变加药量和给料量；

③ 浮选柱各部分是组合式的，可以根据需要增加或减少某些部分，增加了灵活性。

（2）FXZ 静态浮选柱的工业应用效果。FXZ－1 型和 FXZ－1.3 型静态浮选柱分别在甲、乙两个选煤厂的应用效果见表 10－3－27。

表10-3-27　静态浮选柱应用效果

选煤厂代号	生产能力/($m^3 \cdot h^{-1}$)	入料浓度/($g \cdot L^{-1}$)	入料灰分/%	精煤产率/%	精煤灰分/%	尾煤灰分/%	药剂耗量/($kg \cdot t^{-1}$)	浮选完善指标/%
甲厂	60	128.3	28.33	61.29	11.14	55.55	1.15	51.89
乙厂			12.41	71.70	5.06	29.90		48.48

5）双流态浮选机

双流态微泡浮选机从20世纪90年代开始研制，2003年通过技术鉴定，目前已形成直径为2m、3m、4m、5m、6m系列产品。

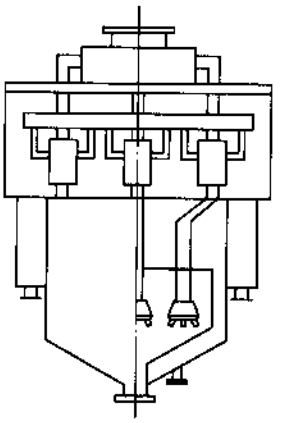


图10-3-64　双流态微泡浮选机的结构示意图

双流态微泡浮选机主要由入料口、矿浆分配器、风室、浮选桶、精矿收集槽和尾矿口组成，其结构示意图如图10-3-64所示。

（1）双流态微泡浮选机的工作原理。浮选机入料和浮选药剂由给料泵打入矿化器，药剂在与矿浆混合过程中被雾化，乳化后均匀分散，空气则被压入矿化器并从微孔管喷出微气流，当矿浆和浮选药剂通过微孔管时切割微气流，相互作用形成微气泡。同时，微气泡与煤粒在高紊流状态分散体系中剧烈碰撞、吸附，实现强制矿化。矿化后的矿浆由下部喷头喷出时，压力骤减，使溶解于其中的气体在疏水矿物表面析出，形成微气泡，进下矿化，最后进入限流桶的低紊流状态分散体系中进行分选，精煤上浮，中矿循环，尾矿从尾矿口排出，完成浮选过程。实际操作过程中可通过调节中矿循环量的大小、进入矿化器的空气压力和尾矿调节箱的高低来调节产品的质量和浮选处理量，以达到最佳浮选效果。

（2）双流态微泡浮选机的技术特点：

① 压气式微泡矿化器。在矿浆进入分选桶之前设置了一个专门的压气式矿化器，矿化器中的空气被压入微孔管喷出微气流，与矿浆相互切割产生微气泡。气泡大小可通过改变微孔管的微孔直径来控制。调整进气压力可控制气泡量。矿浆、药剂与微气泡在一定的压力下碰撞，充分接触矿化。同体积内，当充气量一定时，气泡越小，气泡数量越多，气泡群的表面积越大，气泡与煤粒碰撞的就越高，矿化效果也就越好。

② 矿化与分选分置作业。双流态微泡浮选技术改变了传统的浮选过程混合工作环境，实现矿化与分选分置作业。矿化作业强制在高紊流状态的分散系中完成，矿化效果好；在低紊流状态的分散系中实现分选作业，减少了精矿和尾矿的混合、干扰，分选效果好。设备柱体矮，占用空间小。由于浮选柱作业是在两种流态情况下完成的，因此称为双流态微泡浮选。

③ 分选桶内设置限流桶。双流态微泡浮选机在分选桶内设置限流桶，可以减少中矿循环流与尾矿流的干扰和混杂，从而有效控制中矿、尾矿灰分，使中矿循环量<30%，处理量大，浮选柱的中矿循环量为70%左右，处理量受限。

④ 优化的前置加药方式。前置加药方式配合给料泵和矿化器使药剂雾化、乳化后均匀分散在矿浆中，使药剂耗量 <0.65kg/t。

（3）双流态浮选机的工业应用效果。双流态浮选机的工业应用效果见表 10－3－28。

表 10－3－28 双流态浮选机的工业应用效果

矿浆通过量/($m^3 \cdot h^{-1}$)	干煤泥处理量/($t \cdot h^{-1}$)	单位体积处理量/($t \cdot h^{-1} \cdot m^{-3}$)	吨煤电耗/($kW \cdot h \cdot t^{-1}$)	精煤产率/%	精煤灰分/%	尾煤灰分/%
250	25	0.83	5.2	83.97	8.86	51.41

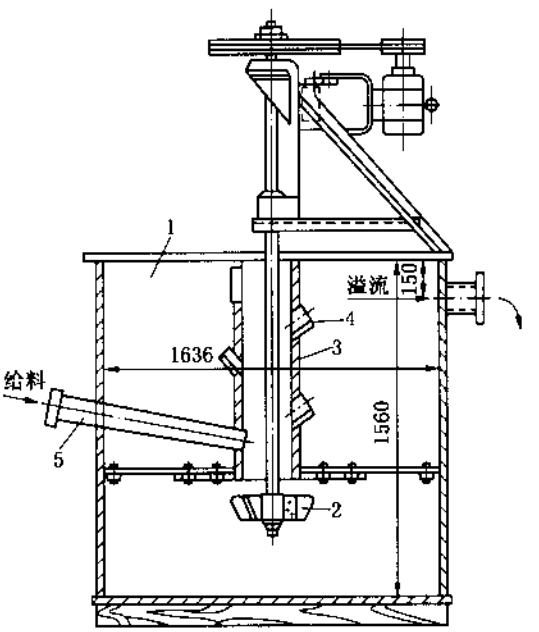
3.3.3.2 辅助设备

为保证浮选过程顺利地进行，药剂和矿浆要有一定的接触作用时间，浮选入料必须有合适的浓度；因此，在浮选前设置煤浆预处理作业，为进行浮选准备合适的条件。

煤浆预处理设备主要有搅拌桶、矿浆准备器和矿浆预处理器等。

1. 搅拌桶

图 10－3－65 为搅拌桶结构示意图，搅拌桶由桶体、搅拌机构、套筒、循环孔和入料管组成。



1—桶体；2—搅拌机构；3—中央套筒；4—循环孔；5—入料管

图 10－3－65 搅拌桶结构示意图

矿浆由入料管给入桶内，药剂由上部加入，搅拌过程中与矿粒进行作用，上部矿浆又经循环孔不断循环，提高药剂在桶内的分散及与矿粒的接触机会。当浓度过高时，可以向桶内补加清水，经调节后的矿浆由溢流口排出进入浮选机。

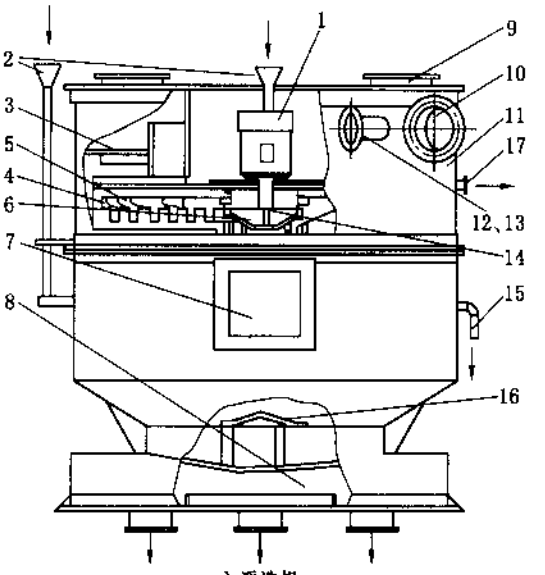
2. 矿浆准备器

矿浆准备器的作用与搅拌桶相同，但结构比搅拌桶合理，效果更好。XK型矿浆准备器现有直径2.0m、2.5m和3m三种规格，其技术参数见表10－3－29。

XK型矿浆准备器的结构示意图如图10－3－66所示，由桶体、药剂雾化系统和矿浆分散系统等组成。上桶体侧壁沿切线方向装有煤浆入料管和稀释水管，在桶体内设有上、下两个同心环形槽，起浓度调配的作用。在下桶体内安装16个扇形分散槽，煤浆通过时被分散成许多股。药剂由给药漏斗经过油嘴直接喷射到起雾器中央，在离心力的作用下，向外扩展，形成液膜，被圆盘边缘齿尖切割成雾滴，并与分散的多股煤浆流在桶体下部空间充分接触和混合，再经底部的排料管排出去浮选机。

表10－3－29　XK型矿浆准备器技术参数

型　　号		XK－400	XK－800	XK－1600
设计煤浆通过能量/($m^3 \cdot h^{-1}$)		300～400	600～800	1200～1600
煤浆管直径/mm		250	300	400
清水管直径/mm		150	200	300
排料管直径/mm		200	300	400
浮选剂雾化效率/%		>95	>95	>95
电动机	型号	$Y100L-2-V_1$	$Y100L-2-V_1$	$Y100L-2-V_1$
	功率/kW	3	3	3
	转速/($r \cdot min^{-1}$)	2880	2880	2880
外形尺寸($\phi \times H$)/(mm×mm)		2000×2184	2500×2398	3000×2838
设备质量/kg		3373	4914	6950



1—雾化机构；2—加药漏斗；3—混合槽；4—扇形分散槽；5—喷雾盘；6—回药盘；7—检修孔；8—排料箱；9—观察孔；10—入料口；11—桶体；12、13—清水及滤液口；14—给药管喷嘴；15—回药管；16—分压盘；17—采样管

图10－3－66　XK型矿浆准备器结构示意图

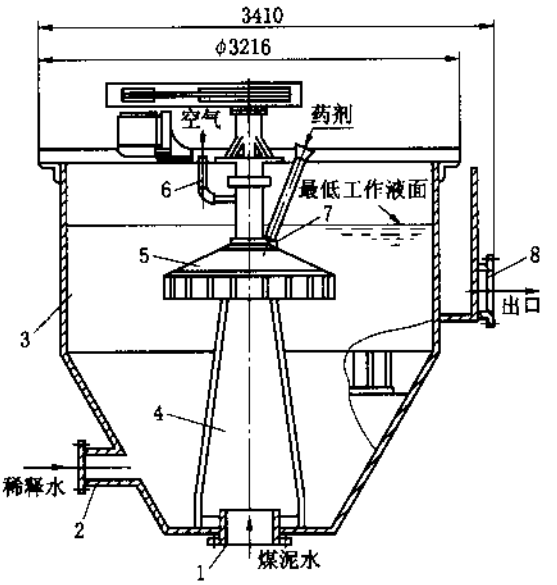
3. XY 型矿浆预处理器

XY 型矿浆预处理器是 XJX 型浮选机的配套设备，现有 XY－1.6、XY－2.0、XY－3.0 三种型号，其技术参数见表 10－3－30。

表 10－3－30 XY 型矿浆预处理器技术参数

型　　号	XY－1.6	XY－2.0	XY－3.0
矿浆处理量/($m^3 \cdot h^{-1}$)	200	400	1000
容积/m^3	2.0	4	13
桶直径/m	1.6	2.0	3.0
叶轮直径/mm	400	500	750
电机功率/kW	3.0	5.5	7.5
外形尺寸，长/mm	2128	2376	3406
宽/mm	1766	2172	3216
高/mm	2504	2840	3805
质量/kg	1052.53	2500	3907
代替搅拌桶型号	ϕ2.5	ϕ3.0	ϕ3.5

XY 型矿浆预处理器结构示意图如图 10－3－67 所示，由进料口、稀释水进料口、桶体、锥形循环筒、叶轮定子混合器、进气管、加药嘴和排料口组成。



1—进料口；2—稀释水进口；3—槽体；4—锥形循环桶；5—叶轮定子混合器；
6—进气管；7—加药嘴；8—排料口

图 10－3－67 XY 型矿浆预处理器结构示意图

XY 型矿浆预处理器的叶轮呈伞形，分上、下两层，上层叶片吸入空气和药剂，形成气溶胶，下层叶片具有大流量特性，从底部吸入新鲜矿浆，并促使槽内矿浆循环，使矿浆

呈悬浮状态，同时完成搅拌矿浆和预矿化作用。

4. 表面改质机

表面改质机是新研制一种煤泥矿浆预处理设备，近年来，国内一些选煤厂开始引进使用或联合开发应用，该设备具有较好药剂分散乳化和煤粒表面改质效果。

1）表面改质机的结构与工作原理

表面改质机（图10-3-68）主要由搅拌桶、主轴、搅拌叶轮、隔板、电动机、减速器组成。该机主体为卧式圆柱形结构，并被多个隔板分隔成了多段。桶体中心布置有搅拌轴，轴上配有弯曲涡轮型搅拌叶轮，分别置于各段搅拌槽中。在前方两段隔板中，为了能将煤炭、水及油等不同密度的物质搅拌均匀，设置了放射状的汇流板。

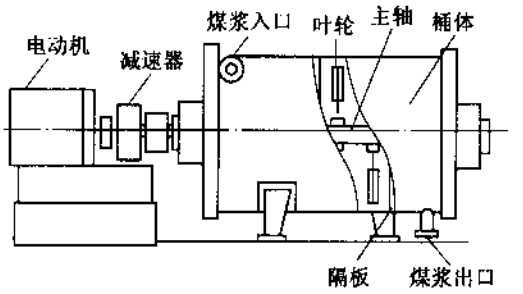


图10-3-68　表面改质机结构示意图

煤泥表面改质机是利用高剪切作用在煤炭表面产生综合的机械力化学效应，使煤炭产生表面晶体结构效应，激活原本疏水性的煤炭表面和暴露更多的新鲜表面，提高药剂与煤炭的接触率和吸附活性，并增加药剂在矿浆中的分散度。显著提高了煤炭的改质速度和改质效果，从而提高了煤炭的可浮性，使原来难浮的煤泥，甚至是不能浮选的煤泥都能获得有效的分选和回收。

表面改质机采用圆柱形多段卧式布置及后掠式挠性叶片特殊结构形式，在叶轮与隔板之间相对的高速旋转（高速叶轮转子外端的线速度>16m/s）能产生很高的剪切应力和高频机械效应，给矿浆带来强劲的剪切动能（它导入介质的能量是普通搅拌器的1000倍以上）。使不同性质的物料瞬间产生几十万次的液力剪切、液层摩擦、撕裂碰撞、离心挤压和高强度涡流等综合作用，使互不相溶且性质差异大的固—液相（煤、矸石、硫铁矿与水），液—液相（水与油），固—固相（煤、矸石、硫铁矿之间）等多相之间产生高度分散、细化、混合、乳化、破碎、均质等多重效应。

表面改质机的工作原理：矿浆与浮选捕收剂一起从圆柱形桶体的入口沿切线方向进入表面改质机。煤粒与浮选药剂在弯曲涡轮型搅拌叶轮的作用下，进行逐级分散、混合、擦洗和剪切。在高速剪切力场作用下煤炭表面被改质，然后从出口排出进入浮选作业。

2）技术特点

（1）煤泥水矿浆与浮选捕收剂一起从圆柱形主桶体的煤浆入口进入表面改质机，煤泥水中的煤粒与浮选药剂经弯曲涡轮型搅拌叶轮进行逐级的分散、混合、擦洗、剪切和搅

拌，在表面改质机的高速剪切力场作用下完成煤炭表面改质后，从表面改质机的煤浆出口排出，然后进入后续浮选作业。

（2）表面改质机的几何结构特征（ϕ2.1m×6室，2次流隔板等）保证了合理的流体剪切力大小和流场分布，从而可在60～90s内使几乎所有的煤颗粒（接近100%）得到有效的改质——均质作用。

（3）表面改质机采用圆柱形多段卧式布置及后掠式挠性叶片的特殊结构形式，在叶轮与隔板之间相对的高速旋转能产生很高的剪切应力和高频机械效应，使不同性质的物料和多相之间产生乳化、物理化学、团聚、活化等多重综合效应，从而可使几乎所有的煤颗粒得到有效的改质，并且加快了浮选速度。

3）技术参数

国内相关矿山设备制造厂与国外联合研制出大型（ϕ2100）煤炭表面改质机，生产能力：1000m^3/h；入料压力：≥1kg/cm^2；入料粒度：≤0.5mm；额定功率：630kW；额定电压：6000V；转数：157r/min；内衬：耐磨陶瓷片；主机直径 D = 2100mm；容积：1417m^3；整机质量：37483kg；整机尺寸：L = 10530mm，B = 2525mm，H = 2855mm。

4）工业应用效果

表面改质机于2004年10月开始在山西某大型选煤厂进行工业性试验，经过一年多的运行，取得预想成效，浮选精煤抽出率提高约5%～8%。试验结果列于表10－3－31。

表10－3－31 经表面改质机处理与未经表面改质机处理浮选效果比较

项目		入料		精煤		尾煤灰分/%	生产能力/(m^3·h^{-1})	药剂单耗/(kW·h·t^{-1})	产率提高值/%	浮选完善指标/%
		浓度/(g·L^{-1})	灰分/%	产率/%	灰分/%					
8号	经表面改质机	107.32	11.93	87.95	8.53	39.38	261	1.42	8.18	28.46
	未经表面改质机	107.74	11.93	79.77	8.04	29.09	261	1.4		29.43
4号	经表面改质机	101.38	11.53	82.84	10.14	34.16	220	1.72	9.43	11.29
	未经表面改质机	123.97	11.53	73.41	9.7	25.37	240	1.43		13.17

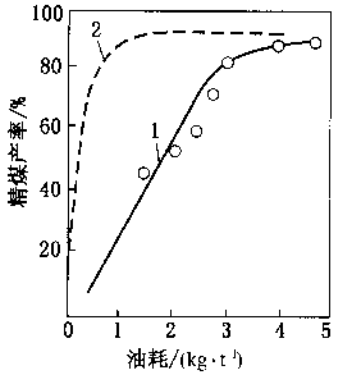
3.3.4 浮选过程的影响因素

浮选原料的性质、工艺因素和浮选机操作对浮选的结果都会产生重要的影响。其中最主要的影响因素有：煤的变质程度、煤岩成分、氧化程度、粒度组成、密度组成、矿浆浓度、药剂制度、浮选机充气搅拌性能等。

3.3.4.1 原煤性质对浮选的影响

1. 变质程度的影响

不同变质程度的煤，具有不同的可浮性。低变质程度的煤，表面具有较高的孔隙结构，有较多的含氧管能团，亲水性较强，可浮性较差。随变质程度增高，煤中分子排列越来越紧密，整齐，孔隙度降低，煤表面含氧官能团减少，疏水性增强，可浮性提高。当变质程度进一步提高时，孔隙度又增加，侧链数量减少，碳链变短，疏水性又随之降低。因此，具有中等变质程度的焦煤和肥煤天然疏水性最好。煤表面的孔隙结构对药剂用量影响极大，气煤的药剂消耗量比焦煤大约3.8倍（图10－3－69）。



1—气煤；2—焦煤

图10-3-69　气煤和焦煤精煤产率与油耗的关系

2. 煤岩成分的影响

一般来说煤岩组分的疏水性按镜煤、亮煤、暗煤和丝炭的顺序递减。因为镜煤、亮煤中含有大量性质不活泼的无结构基质，所以能优先浮出来。而暗煤、丝炭则相反，尤其是丝炭、其孔隙发达，能吸收大量的水，使其表面亲水性提高。

3. 密度组成的影响

煤泥表面的疏水性质与密度有极密切的关系，密度越高的物料疏水性越差。低密度级的煤泥中，多数是镜煤和亮煤，因而其可浮性好。即使可浮性较差的煤泥，密度小于1.3g/cm³的级别，当其中只使用一种起泡剂时，也具有较好的可浮性。随密度增高，可浮性变坏(图10-3-70)。从各密度级的有机元素含量分析证明，随密度级增高，碳、氢、氮元素的含量降低，而相应的劣质煤岩组分和无机矿物质含量却增高，可浮性变差。

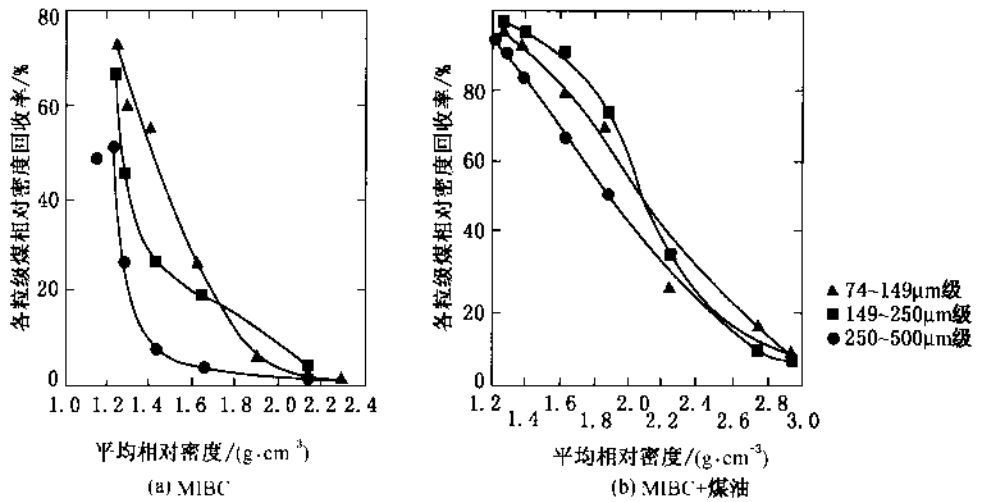


图10-3-70　密度对煤可浮性的影响

4. 氧化程度的影响

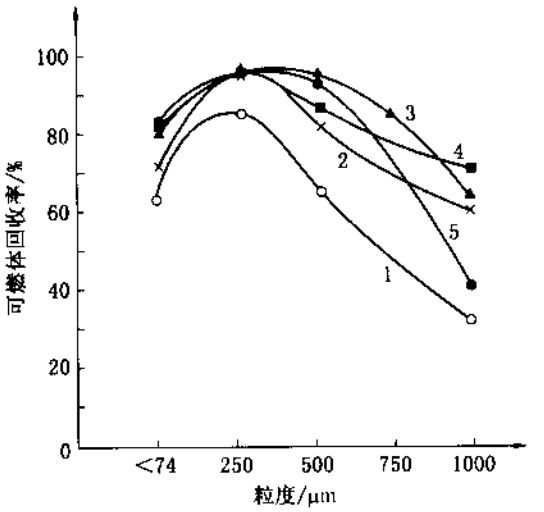
一般地说，煤粒表面的氧化导致在其表面产生更多的亲水的含氧官能团，因而能降低煤的可浮性。但是一些实验结果也表明，轻度氧化，并用松油—煤油作浮选剂时发现煤的可浮性反而改善。肯定地说，深度氧化使煤变得难浮。但是添加胺阳离子捕收剂可改善深度氧化煤的浮选。

3.3.4.2　入料粒度组成对浮选的影响

从技术经济方面考虑，煤泥浮选的入料上限应小于0.5mm，而分选下限有可能达到0.01~0.02mm。从可燃体回收率和选择性方面考虑，最佳的浮选粒度一般是0.1~0.3mm之间。较粗的粒级可燃体回收率低，而较细的粒级选择性变差。

不同的粒度在分选中具有不同的浮选速度，在工业生产条件下，各粒级煤的浮选速度顺序大致是：0.1～0.074mm＞0.12～0.1mm＞0.25～0.12mm＞0.25～0.42mm。浮选速度同时还受药剂用量的影响，在药剂用量足够的情况下，40～100网目的颗粒具有最快的浮选速度，而在药剂用量不足时，细颗粒容易首先浮起。

不同的粒度，浮选中有不同的回收率。粒度越大，回收率越低，只有在适宜的粒度范围内，才能获得最大的回收率。煤的可燃体回收率与粒度的关系如图10－3－71所示。粗颗粒煤的浮选性差，与它们浮选过程中在气泡上的附着几率小，脱落几率大有关。



1—50g/L；2—100g/L；3—150g/L；4—200g/L；5—250g/L

图10－3－71 煤的可燃体回收率与粒度关系

煤泥浮选的选择性，随着粒度的减水而降低。由于细泥对药剂常呈无选择性吸附，因此选择性差，造成对精煤的污染。在浮选精煤产品中，经常可以看到，随着粒度的减小，灰分逐渐增加。

一般情况下，粒度越细、灰分越高，这是因为重选分选效果随着粒度减小而降低，以及矸石泥化和丝炭易碎的结果。高灰细泥进入精煤主要原因有三种：其一是机械夹带。通常是浮选速度越快或形成的泡沫越黏，夹带越严重；其二是在煤粒或气泡表面形成覆盖层。细粒级表面积大，覆盖的细泥自然也多；其三是随水分夹带进入精煤。大部分细泥均匀地分布于水体中，并随水量分配进入各产品。所以在其他条件相同时，泡沫产品的浓度越低，细泥的污染就越严重。为了解决细粒煤浮选中选择性差的问题，在工艺上可采取下列措施：

（1）尽量采用选择性能好的药剂，并注意严格控制加药量。

（2）降低入料矿浆浓度。

（3）在泡沫层适当加喷水淋洗。

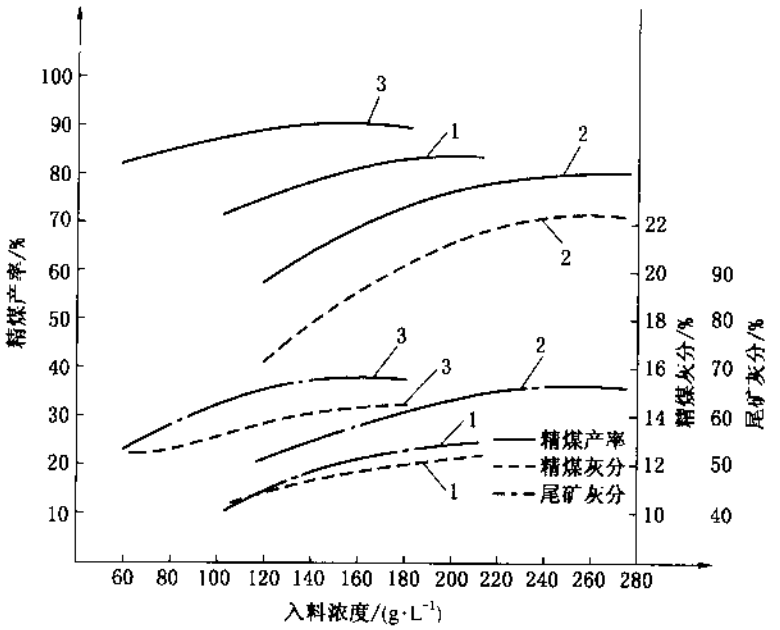
（4）采用分级浮选方法，预先排出部分高灰细泥并直接进入尾煤。

3.3.4.3 煤浆浓度对浮选的影响

煤浆浓度是煤泥浮选工艺过程中的重要因素之一，对浮选技术指标有直接的影响。它

是由煤泥的可浮性、粒度组成、细泥含量及对产品的数质量要求等确定的。

煤泥在不同浓度下浮选，其产品质量指标明显不同（图10－3－72）。提高煤浆浓度，精煤产率、精煤和尾煤灰分均随之增加，浓度过高时，其变化趋势变得平缓。



1—煤样1；2—煤样2；3—煤样3

图10－3－72　浓度对各浮选因素的影响

煤浆浓度与浮选数、质量指标的关系如图10－3－73所示。在低煤浆浓度的情况下，气泡容易兼并和破裂，泡沫的稳定性降低，为了保证浮选效果，必须增加入料干煤量计算的用药量，即增加药剂的消耗量。

煤浆浓度大小对处理量有很大影响，当采用低浓度浮选时，虽然浮选速度较快，浮选机的煤浆通量增加，但因其浓度低，固体含量不高，所以浮选机的干煤处理量降低。

煤浆的浓度对吸气量、吸浆量和电耗等也都有一定的影响。

我国选煤厂，浮选入料浓度一般为10%～15%，最高可达20%，低限为4%。煤浆浓度原则上可以根据以下几点加以确定：

（1）在工艺指标允许的条件下，为提高浮选机的生产能力，降低药剂消耗量，应尽量选用较高的浓度。

（2）在浮选煤质好、灰分低的煤泥时，可以采用较高的煤浆浓度，对高灰分细泥含量大的煤泥，就应该降低煤浆浓度。

（3）对于难选煤，在精选的浮选流程中，粗选时，可采用较高的煤浆浓度；精选时，就应该把浓度降低。

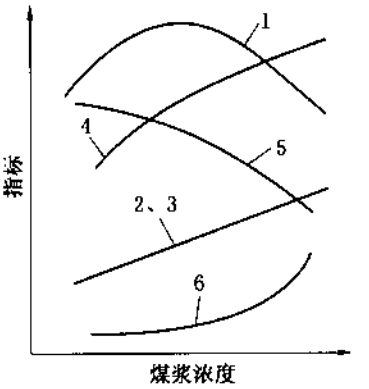
（4）直接浮选时采用较低浓度，而浓缩浮选时，浓度可适当提高。

3.3.4.4　药剂制度对浮选的影响

药剂制度是指浮选过程中使用的药剂种类、用量、加药地点和加药方式的总称。它对浮选效果的好坏起着很重要的作用。

煤泥浮选中，一般只使用捕收剂和起泡剂两种药剂。无论是捕收剂还是起泡剂的选择都与煤的可浮性及其所含矿物杂质的种类和数量有关。对于疏水差的煤泥，必须采用捕收性能强的浮选剂。对于高灰细泥含量的煤泥，应该采用选择性好的浮选剂。

我国较广泛使用的捕收剂是煤油和轻柴油，其用量一般在1～2kg/(t煤泥)，醇类起泡剂用量一般在0.1～0.3kg/(t煤泥)，捕收剂与起泡剂的比例一般在5∶1～10∶1的范围内。在多数情况下起泡剂比例过大，不仅造成循环水中存在大量过剩的起泡剂，泡沫到处泛滥，还使精煤受污染，泡沫产品浓度低，降低真空过滤机的生产能力。



1—煤浆充气程度；2—药剂体积浓度(单位质量煤的药剂耗量相同)；3—煤浆在浮选机中的停留时间；4—细颗粒的可浮性；5—粗颗粒的可浮性；6—煤的破碎程度

图10-3-73 煤浆浓度与浮选数、质量指标的关系

加药方式分为一点加药和多点加药两种。一点加药即把捕收剂和起泡剂全部加入煤浆预处理器中，虽然在操作上方便，但效果不如多点加药好。对于易选煤，常采用一点加药；对于难浮选的煤或浮选活性比较高的药剂，应采用多点加药。多点加药时，常将药剂总量的60%～70%加到煤浆预处理器中，其余分几次加到浮选机的中矿箱或浮选槽中。

3.3.4.5 充气搅拌性能对浮选的影响

煤浆中的充气量、气泡的尺寸及在浮选槽内分布的均匀程度等与浮选机的结构、充气搅拌强度以及浮选药剂等因素有关。

煤泥浮选时精矿产率大，因此要求有较大的充气量。机械搅拌式浮选机的充气量可达1.0$m^3/(m^2 \cdot min)$甚至更大，在其他条件相同时，充气量增加，浮选速度加快，浮选机的处理量增加，但充气量超过一定范围，会使浮选效果变坏，精煤质量下降。对可浮性较好的煤，充气量在0.6$m^3/(m^2 \cdot min)$左右为宜。充气量还与浮选槽所处的位置及浮选流程有关。气泡分布状况也是影响浮选机工作效果的重要因素。可采用充气均匀系数K来衡量气泡在煤浆中分布的均匀程度：

$$K = 100 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |Q_i - \overline{Q}_i|}{N\overline{Q}_i}(\%) \qquad (10-3-9)$$

式中 Q_i——浮选机液面被测点的充气量，$m^3/(m^2 \cdot min)$；

$\overline{Q}_i$——浮选机某一室的平均充气量，$m^3/(m^2 \cdot min)$；

N——测定点数，个。

充气容积利用系数F是评定浮选槽内气泡分布均匀程度的指标：

$$F = \frac{V'}{V} \cdot 100\% = \frac{n-n'}{n} \cdot 100\% \qquad (10-3-10)$$

式中 V'——浮选槽充气容积，m^3；

V——浮选槽有效容积，m^3；

n——浮选槽内测定充气量的总点数，个；

n'——充气量小于0.1m^3/(m^2·min)的点数，个。

3.3.5　浮选流程

煤泥浮选流程主要包括煤泥浮选原则流程和浮选流程内部结构两个方面。

3.3.5.1　煤泥浮选的原则流程

煤泥浮选的原则流程是指浮选与前续作业的连接形式，从对浮选原料的准备角度，目前主要有三种典型流程。

1. 浓缩浮选流程

浓缩浮选流程是指重选过程中所产生的煤泥水，经浓缩后，再进行浮选的流程，如图10-3-74所示。这种流程的特点是：①浓缩机底流浓度较高（300~400g/L），在煤浆预处理装置中要用清水稀释到（100~200g/L），再进入浮选。同时，因浮选浓度偏高，当浮选入料中细泥含量高时影响分选效果，降低精煤质量；②大量细泥集聚在洗水系统中，造成循环水浓度高，不仅影响重选作业效果，也影响浮选效果。这种流程因有容量很大的浓缩机，作为一个缓冲器，所以这适合于煤质变化大而频繁和细泥含量少的选煤厂。

近年来，许多选煤厂采用浓缩底流大排放浮选流程，其特点是将浓缩机的底流排放浓度控制在稍高于浮选机入选浓度条件下即可排放，以免底流浓度过高，造成细泥积聚。

2. 直接浮选流程

直接浮选流程是指主选过程中产生的煤泥水，不经浓缩，直接进入浮选的流程，如图10-3-75所示。

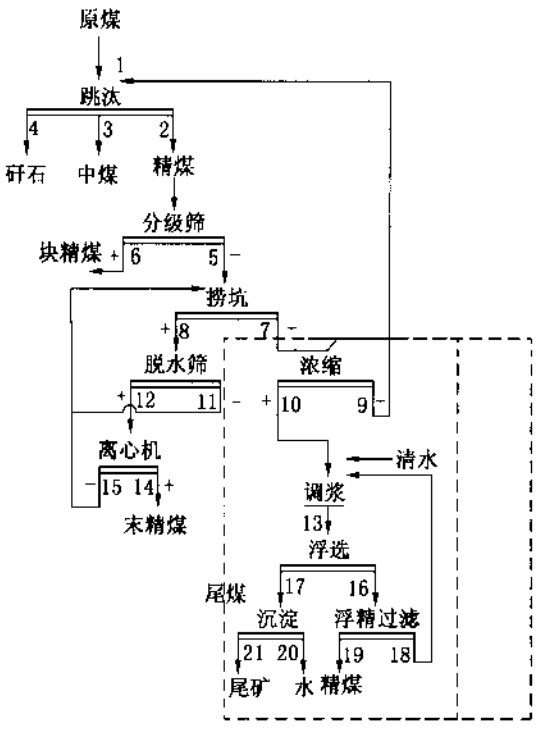


图10-3-74　浓缩浮选流程

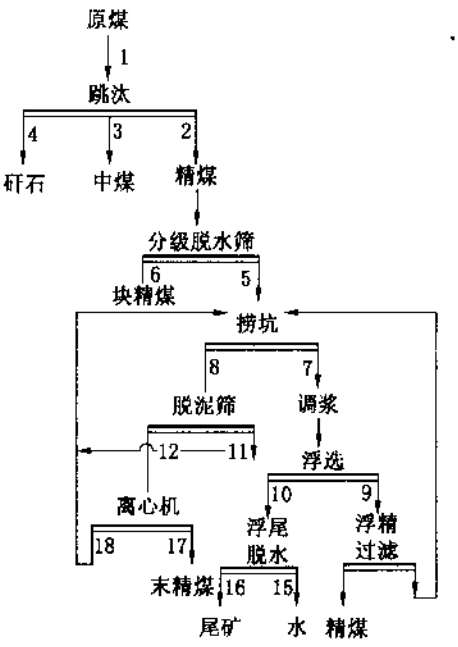


图10-3-75　直接浮选流程

我国一些炼焦煤选煤厂采用直接浮选流程，直接浮选降低了浮选入料的浓度，消除了浮选滞后于水洗的现象，可缩短煤在水中的浸泡时间，增强煤泥的可浮性和选择性，提高浮选效果。同时，选煤所用循环水由浮选尾煤经彻底澄清后返回使用，循环水浓度一般在0.5g/L，大大提高了跳汰分选效果。

直接浮选适合于煤泥含量大，细泥含量高的选煤厂。

3. 半直接浮选流程

半直接浮选流程有两种形式：

（1）斗子捞坑分出一部分溢流不进浓缩机，直接作为浮选入料的稀释水，其他部分仍经浓缩。既可保证浮选入料浓度不致过低，同时也减轻了浓缩机负荷，提高浓缩机的沉降效果。

（2）主选和再选分设捞坑，主选捞坑的溢流水可作为浮选入料，再选捞坑溢流水直接作为循环水。

3.3.5.2 浮选流程内部结构

浮选流程内部结构的制定与煤泥的性质、可浮性、用户对产品质量的要求等有关，几种典型浮选流程内部结构如下：

1. 一次浮选流程

一次浮选流程如图10-3-76所示，浮选入料从浮选机第一室给入，各室泡沫作为最终精煤，最后一室流出的是尾煤。

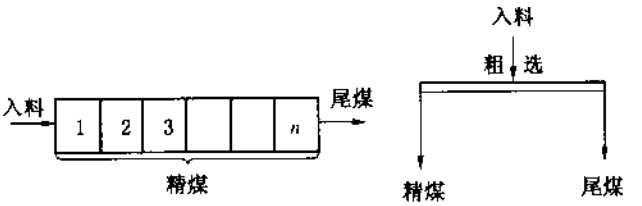


图10-3-76 一次浮选流程

该流程的特点是结构简单，操作方便，处理量大，但用于难浮煤时，精煤灰分高，不易同时得到合格的精煤和尾煤。适用于可浮性好或对精煤质量要求不太严格的煤泥。

2. 中煤再选流程

中煤再选可采用中煤返回再选或单独再选，其流程如图10-3-77所示。中煤返回再选流程是将浮选机后几室灰分较高的泡沫返回第二室或第三室再选，目的是提高浮选精煤产率或降低精煤灰分（图10-3-77a）。中煤单独再选是将中煤送到另外的浮选室再选来达到相同的目的，但需增加浮选机台数（图10-3-77b）。对一些特殊煤种的中煤，可通过磨矿解离释放低灰煤后返回再选，以提高精煤回收率。

中煤返回再选流程适合于可浮性中等的煤泥，对煤质变化有较强的适应性。

3. 精煤再选流程

图10-3-78为精煤再选流程，可对粗选精煤再设浮选机进行再选，也可在同一组浮选机里实现，即前室的泡沫引到后室再次分选。该流程适用于可浮性差、煤泥灰分高、细煤含量大、氧化程度高以及对精煤质量要求比较高的煤泥。

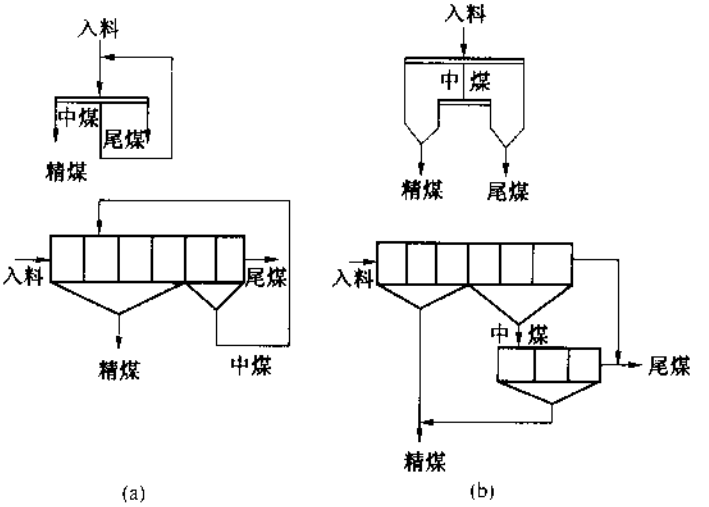


图 10-3-77　中煤再选流程

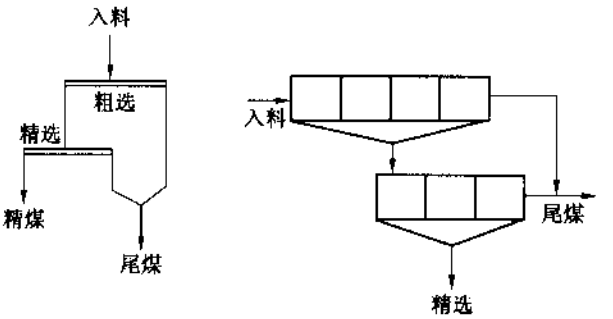


图 10-3-78　精煤再选流程

4. 三产品流程

三产品流程可产出精、中、尾三个产品，如图 10-3-79 所示。该流程可同时得到较低灰分的精煤和高灰分的尾煤，当中煤基本上是煤和矸石的连生体时，采用这种流程是合适的。但由于需要一套浮选中煤脱水回收和相应的输送设施，使全厂的生产系统复杂化。

3.3.6　浮选效果的评定

我国于 1988 年正式颁布的煤炭行业标准《选煤厂浮选工艺效果评定方法》(MT 180—1988) 中，采用了浮选精煤数量指数 η_{ef} 和浮选完善指标 η_{wf} 两项指标来评定。

浮选精煤数量指数用于评定不同煤之间的浮选工艺效果，即可用于选煤厂之间浮选工艺效果的比较。

浮选精煤数量指数 η_{ef} 计算式如下：

$$\eta_{ef}=\frac{\gamma_j}{\gamma_j'}\times 100\% \qquad (10-3-11)$$

式中 γ_j 和 γ_j' 分别为实际浮选精煤产率与精煤灰分相同时的标准精煤产率，与重选设

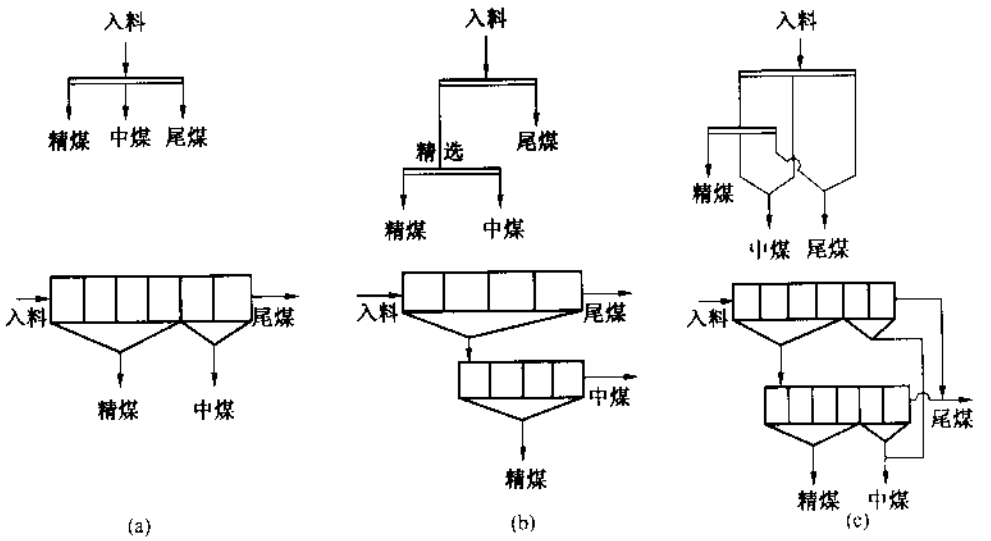


图 10-3-79 三产品流程

备工艺效果评定方法不同的是：γ_j 是根据《选煤实验室分步释放浮选试验方法》(MT 144—1997) 中浮选试验的结果所绘制的，类似可选性曲性线中的浮煤曲线，按实际浮选精煤灰分查出。这样可以在一定程度上反映煤泥的可浮性诸因素对浮选结果的影响。

浮选完善指标用于评定同一煤种在不同工艺条件下的分选完善程度：

$$\eta_{wi}=\frac{\gamma_j}{100-A_y}\cdot\frac{A_y-A_j}{A_y}\cdot 100\% \qquad (10-3-12)$$

式中 A_y、A_j 分别为计算入料和浮选精煤的灰分，%。

浮选完善指标实际上是选煤厂中广泛应用的汉考克公式。

分步释放浮选试验就是煤泥经过一次粗选、四次精选的实验室浮选试验，其试验步骤如图 10-3-80 所示。对第一次浮选的泡沫（粗选精煤）添加清水稀释，不再加入浮选剂进行精选，如此反复共精选四次。每次分选的尾煤和第四次精选的泡沫分别脱水、烘干、称量、化验灰分。

表 10-3-32 是某选煤厂浮选入料在实验室进行分步释放浮选试验的结果。根据这些数据，可计算出累计精煤产率和它的加权平均灰分，以此绘制浮选标准精煤产率曲线，如图 10-3-81 所示。

表 10-3-32 某选煤厂浮选入料分步释放浮选试验结果

浮选产物	精煤 5 J_5	尾煤 5 W_5	精煤 4 J_4	尾煤 4 W_4	精煤 3 J_3	尾煤 3 W_3	精煤 2 J_2	尾煤 2 W_2	精煤 1 J_1	尾煤 1 W_1	计算入料
产率/%	1.80	6.80		17.80		31.44		23.75		18.41	
灰分/%	4.96	6.21		7.86		11.61		21.12		72.52	
累计产率/%	1.80		8.60		26.40		57.84		81.59		100.00
加权灰分/%	4.96		5.95		7.24		9.62		12.89		23.86

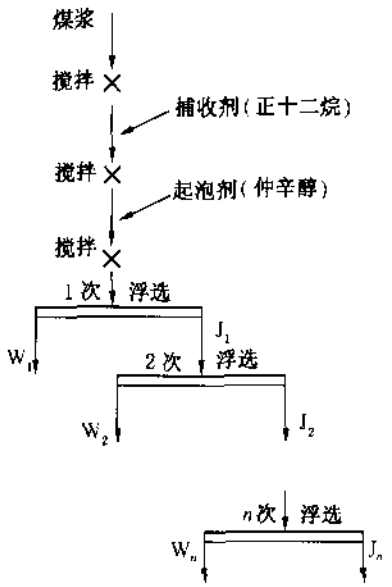


图 10-3-80　分步释放浮选试验步骤

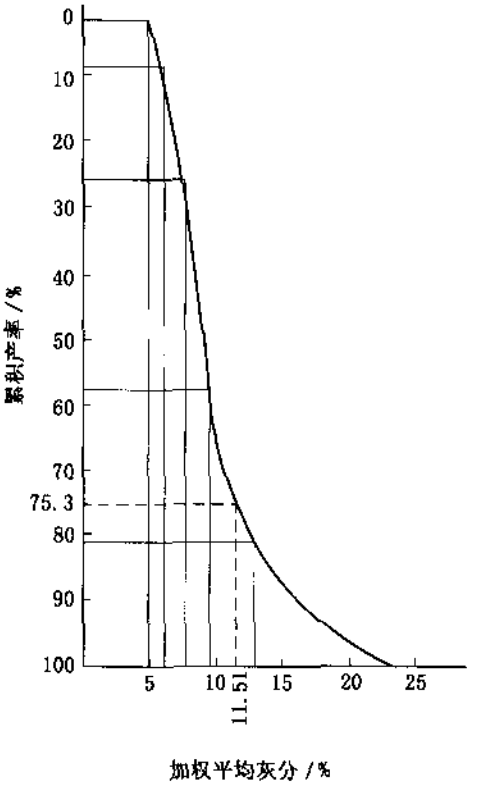


图 10-3-81　标准精煤产率曲线

3.4　粗煤泥分选

随着采煤机械化程度的提高和煤炭资源条件变差，选煤厂入选原煤中粉煤含量和灰分越来越高，对于这部分粗煤泥如果处理不好，将会给选煤生产带来一些系列问题。

为了提高分选效率，适应入选原煤煤质的不断变化，近几年来重介质选煤工艺已成为新建选煤厂的首选工艺，重介质旋流器成为煤炭分选的主导设备。

由于入选原煤中细粒煤含量大，如果不预先脱泥，将会影响重介旋流器的分选效果。同时，大量的煤泥进入介质系统，既限制了脱介筛的生产能力，又恶化了脱介效果，只有借助介质分流排出系统，才能保证介质系统中煤泥进出总量的动态平衡。而介质分流必然增加磁选机负荷，并影响磁选效率，因此，选前脱泥工艺被广泛采用。为保证脱泥效果，脱泥筛的筛孔尺寸一般取 1mm，甚至更大。脱泥筛下的煤泥进入煤泥水系统，使得传统的煤泥浮选工艺难以回收这部分粗粒煤。

浮选法一般可以对 <0.3mm 粒级煤泥实现有效分选，>0.3mm 的粗煤泥在浮选过程中往往因气泡的负载能力不足而损失在尾矿中，只有在煤泥水处理系统中采用粗煤泥分选和浮选联合工艺，才能最大限度地回收这些精煤，保证精煤产率。

另外，随着 ϕ1400mm 及其以上大直径旋流器的应用，其分选下限提高到 1.0mm 左右，传统的跳汰—浮选工艺还存在严重的跑粗现象；因此，为解决粗煤泥分选的问题，国

内外都作了大量研究，取得了一定成果。

目前，处理3～0.2mm粗煤泥的分选方法主要有干扰床分选、煤泥重介和螺旋分选等，并已形成比较成熟的粗煤泥分选工艺。

3.4.1 干扰床选煤

干扰床分选机是近年来在国外选煤厂流型的一种新型粗煤泥分选机，又称为液、固流化床分选机，英文Teetered Bed Separator，简称为TBS。

2000年以来，我国开始从国外引进并逐步在国内动力煤和炼焦煤选煤厂中应用，并取得理想的效果。同时，国内一些科研单位和矿山设备制造企业也相应开发出不同类型的干扰床分选机。在回收粗煤泥的工艺中，TBS干扰床分选机表现出较大的优势。

1. 结构和工作原理

图10－3－82为干扰床分选机的结构示意图，其主体部分是一个简单的柱型槽体，槽体的底部有一个布满冲孔并呈一定角度的布水板。水按一定的压力由底部给入，经过布水板进入干扰床工作室，形成上升水流。布水板的作用是使水在工作室内均匀分布。干扰床的上部有一个入料井，矿浆切向给入入料井，入料浓度一般在40%～60%，干扰床的顶部设有溢流槽。

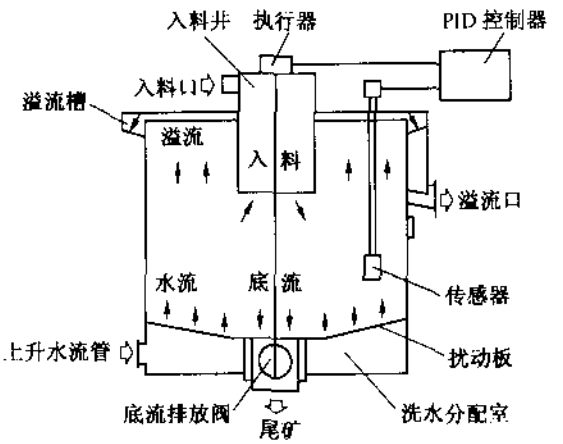


图10－3－82 干扰床分选机结构示意图

入料经入料井向下散开，与上升水流相遇，使矿物颗粒在工作室内作干扰沉降运动。由于颗粒密度的不同，其干扰沉降速度存在差异，从而为分选提供了依据，其分选过程主要取决于各种颗粒相对于水的沉降速度。沉降速度大于上升水流流速的颗粒进入底流，而沉降速度小于上升水流流速的颗粒进入溢流。在干扰床的下部形成由悬浮颗粒组成的流化床层，该床层中颗粒高度富集，成为自生介质层。与在纯水中的情况不同，颗粒在下降过程中相互干扰，并经历一个密度梯度，限制了物料进入底流。当系统达到稳定状态时，入料中那些密度低于干扰床层平均密度的颗粒将浮起，进入溢流。而那些比干扰床层平均密度大的颗粒就穿透床层进入底流，并通过设备底部的排料口排出。

为了使干扰床能有效地工作，必须使槽体中干扰床层悬浮液的平均相对密度保持稳定。为此，在工业装置中配备了一个反馈控制器，它用压力传感器探测床层悬浮液中某一特定水平的压力，并将其转换成密度。PID控制器从传感器得到4～20mA信号，此信号和传感器上方的悬浮液实际密度成正比。将此实际密度值与操作的设定值相比较，如果实际密度高，执行器就会使排料阀打开，排出床层中多余的物料。相反，如果实际密度低，控制系统将阻止床层中物料的排放。

2. 特点及技术参数

干扰床分选机有以下主要特点：

（1）有效分选粒度范围为3～0.1mm，入料粒度上下限之比以4∶1为宜。

（2）不用磁铁矿粉或类似的介质，不用药剂，无运动部件，维护保养简单方便，生产成本低；

（3）用水量低。根据所处理物料的粒度和性质不同，一般每平方米工作面积用水10～20m^3；

（4）分选密度可以在1.3～1.9g/cm^3调节，简单易行，E_p值为0.06～0.15；

（5）结构紧凑，占地面积小，可降低基建费用。

干扰床分选机的规格及主要技术参数见表10－3－33。

表10－3－33　干扰床分选机的规格及主要技术参数表

标称直径/m	设计生产能力/(t·h^{-1})	箱体直径/mm	箱体容积/m^3	设备高度/mm	最大外径/mm	尾矿排料口数/个	设备净重/t
1.8	45	1800	5.1	3337	2310	1	1.50
2.1	60	2100	7.0	3384	2610	1	1.74
2.4	80	2400	10.0	4162	3093	3	3.49
3.0	125	3000	15.6	4162	3616	3	4.40
3.65	180	3600	27.5	4985	4574	3	7.25

3. 工业应用

目前国内已引进和自主开发的干扰床分选机已在几十家选煤厂应用，并取得了良好的效果。某选煤厂于2005年9月投入运行的ϕ2.4m干扰床分选机，处理粒度范围为1.0～0.125mm。实际生产数据见表10－3－34。

表10－3－34　ϕ2.4m干扰床分选机实际生产化验结果

煤样号	入料灰分/%	精煤灰分/%	尾煤灰分/%
1	39.85	19.51	83.17
2	31.7	17.26	64.65
3	36.63	17.87	79.27
4	57.08	10.71	81.34
5	66.98	11.39	82.18
6	53.00	10.24	80.99
7	39.39	11.71	80.88
8	53.02	11.93	80.04
9	32.29	11.3	79.67
10	37.91	12.12	79.98
11	39.94	12.79	79.39
12	41.12	16.35	79.19
13	52.87	11.25	78.95
14	26.93	10.62	78.74
15	39.43	9.66	79.48
平均	43.21	12.98	79.19

3.4.2 煤泥重介质分选

近年来，煤泥重介质旋流器配合大直径重介质旋流器分选煤泥的工艺已在选煤厂得到应用。设置煤泥重介质工艺的目的是对于不脱泥重介质分选工艺，弥补大直径重介质旋流器分选下限粗，无法对煤泥进行有效分选的问题；解决煤泥分流问题，有效地回收粗煤泥，使精煤灰分更容易控制；对于有浮选系统的选煤厂，减轻浮选压力，降低洗水浓度。

在我国，煤泥重介工艺流程基本上是从精煤弧形筛筛下的精煤分流箱分流出来一部分含有介质和精煤泥的悬浮液，经入料桶泵入小直径（ϕ150mm）重介质旋流器组进行分选。经煤泥重介质旋流器组分选的溢流和精煤稀介混合进入精煤磁选机回收磁铁粉；分选的底流进入中煤磁选机。精煤磁选机的精矿和精煤弧形筛分流箱的另一部分合格介质与精煤脱介筛第一段筛下合格介质一起回合格介质桶，作为分选介质循环使用，其煤泥重介分选工艺流程如图 10－3－83 所示。

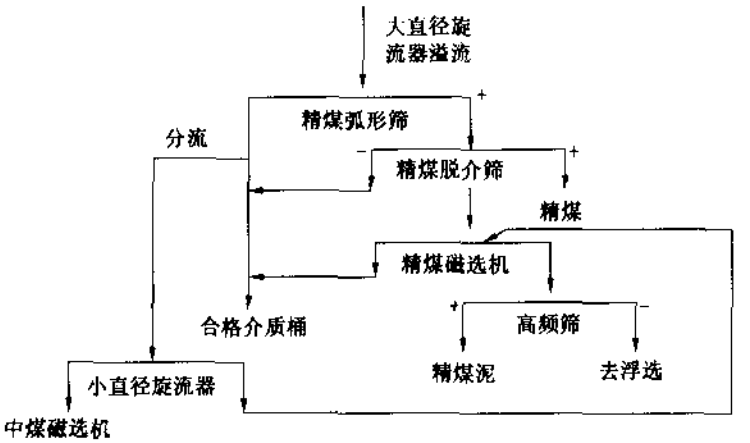


图 10－3－83 煤泥重介分选工艺流程

1. 煤泥重介分选工艺的特点

由于重介质旋流器本身的分级、浓缩作用使绝大部分 <0.5mm 的煤泥与 <0.074mm 磁性介质一起随轻产物从溢流口排出。溢流中重介质悬浮液密度低、粒度细，从而较好地解决了煤泥重介选需要特细介质的问题，无须单独设置超细粒介质系统，即可实现对 >0.045mm各粒级原煤的重介分选。

2. 工业应用及效果

表 10－3－35 为某选煤厂煤泥重介质旋流器组单机检查小筛分试验报告表，从小筛分数据可以看出：

（1）溢流精煤灰分由入料 16.92% 降至 11.83%，降灰 5.09%，底流灰分高达 41.66%，降灰效果显著。

（2）0.125～0.075mm 部分灰分由入料的 25.87% 分选成精煤的 14.06% 和尾煤的 51.45%，分选作用特别明显，可以肯定地说煤泥重介的分选下限已经达到了 0.075mm。

（3）溢流精煤中仍有灰分高达 25.94% 的小于 0.045mm 高灰细泥，有效地脱除这部分细泥是问题的根本。

表 10－3－35　煤泥重介质旋流器组单机检查小筛分试验报告

煤样名称	入　料		溢　流		底　流		溢流累计		底流累计	
煤样灰分	16.92%		11.83%		41.66%					
粒级/mm	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
>0.500	10.51	9.55	10.97	7.51	7.69	15.21	10.97	7.51	7.69	15.21
0.500～0.250	41.12	8.08	40	7.54	25.64	26.59	50.97	7.53	33.33	23.96
0.250～0.125	31.78	17.89	29.68	11.29	30.77	49.21	80.65	8.92	64.1	36.08
0.125～0.075	1.87	25.87	0.64	14.06	2.56	51.45	81.29	8.96	66.66	36.67
0.075～0.045	10.28	40.26	10.97	23.21	17.95	50.94	92.26	10.65	84.61	39.7
<0.045	51.5	7.74	25.94	15.39	52.42	52.42	100	11.83	100	41.66
合　计	100	16.92	100	11.83	100	41.66				

表 10－3－36、表 10－3－37 为邢台选煤厂煤泥重介质旋流器组单机检查小浮沉试验结果，从小浮沉试验结果看，分选效果同样明显，溢流精煤中密度小于 1.4g/cm^3 部分占本级达 90% 左右，灰分仅 5% 左右，而底流灰分高达 57% 以上，实现了按密度分选。

表 10－3－36　煤泥重介质旋流器组单机检查小浮沉试验结果（一）

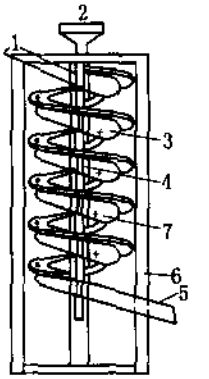
密度级/(kg·L^{-1})	入　料		溢　流		底　流	
	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
<1.3	58.29	3.52	63.32	3.63	14.57	4.67
1.3～1.4	27.06	9.86	26.08	9.05	6.03	9.08
1.4～1.5	5.56	17.31	6.57	18.66	4.02	16.99
1.5～1.6	3.06	25.59	1.53	29.74	0.5	27.26
1.6～1.8	2.01	35.53	0.5	45.5	5.53	49.91
>1.8	4.02	78.99	2.01	62.69	69.35	76.53
合计	100	10.53	100	7.83	100	57.88

表 10－3－37　煤泥重介质旋流器组单机检查小浮沉试验结果（二）

密度/(kg·L^{-1})	入料累计		溢流累计		底流累计	
	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
<1.3	58.29	3.52	63.32	3.63	14.57	4.67
1.3～1.4	85.35	5.53	89.39	5.21	20.6	5.96
1.4～1.5	90.91	6.25	95.96	6.13	24.62	7.76
1.5～1.6	93.97	6.88	97.49	6.5	25.13	8.15
1.6～1.8	95.98	7.48	97.99	6.7	30.65	15.68
>1.8	100	10.35	100	7.83	100	57.88

3.4.3 螺旋分选机选煤

螺旋分选机是一种依靠液流特性，在重力和离心力的作用下实现不同密度矿物分离的分选设备。自20世纪90年代初螺旋分选机开始应用于选煤业，用于分选3~0.15mm级粗煤泥。在美国和澳大利亚等产煤国，螺旋分选机已得到普遍应用。近几年，螺旋分选机在我国一些选煤厂得到成功应用。螺旋分选机一般适宜处理选易选煤和中等可选煤，分选密度要求为1.5~2.1g/cm^3，最佳分选粒度范围为1.5~0.1mm。



1—给矿槽；2—冲洗水导槽；3—螺旋槽；4—连接用法兰盘；5—尾矿槽；6—机架；7—重矿物排出管

图10-3-84 螺旋分选机结构示意图

1. 结构与工作原理

螺旋分选机的主体工作部件是一个螺旋形溜槽，螺旋有3~5圈，为了节省空间，往往将2~3螺旋分选槽叠放在一起，用支架垂直地安装起来，如图10-3-84所示。螺旋槽的断面形状由复合曲线组成，即内外缘选用不同的抛物线或1/4椭圆曲线，中间段为直线平滑过渡。槽底在纵向（沿矿流流动方向）和横向（径向）均有相当的倾斜度。在入料端设有1圈直径较小、断面形状不同于分选段的稳定槽，以缩小液流的横向分布区域，并设有将稳定槽与分选段连接起来的过渡段。在入料前往往设有入料分配器，使组合螺旋分选机中各头入料分配均匀。

入料自螺旋分选机上端给入，不同密度的颗粒所受到的重力、离心力、水流动压力及摩擦力不同。首先，颗粒在流体动压力的推动下沿槽的纵向运动，并在运动中发生松散和分层。由于液流速度沿深度有差异，悬浮在上层的矿泥及分层后的轻矿物具有很大的纵向运动速度，因而派生出相当高的离心加速度。而位于下层的重矿物沿纵向运动的速度则较低，离心加速度亦较小。其次，由于螺旋槽在纵向和横向都有倾角，故重力的分力在推动颗粒沿纵向移动的同时，也促使其向槽的内缘运动。密度不同的颗粒这种运动速度是不同的。这多种力的综合作用结果，使得上面的矿泥或低密度物料所受横向合力指向槽的外缘，而下层的高密度物料所受横向合力指向槽的内缘，中间密度物所受横向合力等于零。也就是说，不同密度的矿物在螺旋槽的横向展开了分带，轻的在外缘，重的在内缘，中间密度物在中部，最后经各自的排料槽排出。

2. 主要影响因素

1）操作因素

（1）给料粒度。螺旋分选机的入料粒度为3.0~0mm，有效分选粒度为3.0~0.044mm，最佳分选粒度1.5~0.1mm。

（2）入料浓度。螺旋分选机可有较宽的给矿浓度范围，在固体质量占10%~35%时，对分选指标影响不大。入料浓度过低时，物料颗粒成一薄层沿槽底流动，不能充分分层和分带，入料浓度一般以25%~35%更佳。

（3）矿浆通过量。在入料浓度不变时，加大矿浆通过量可以增加螺旋分选机的处理量，但矿浆通过量过大时，离心力增强，使部分高灰分颗粒进入精矿中，提高了精煤灰分；矿浆通过量过小时，离心力不强，颗粒在螺旋槽内得不到充分的分层和分带。

（4）分流滑板的位置。根据化验结果和产品质量要求，及时调节分流滑板的位置，从而调节分带后的物料进入尾矿的数量，以保证产品的质量。

2）结构因素

（1）螺旋直径。螺旋的直径 D 是代表螺旋分选机规格并决定其他结构参数的基本参数。研究表明，处理1～2mm的粗粒级煤泥时，应当采用直径1000mm以上的螺旋分选机；处理1～0.074mm的煤泥时，螺旋直径对选别影响不大。

（2）螺距。螺距 h 决定了螺旋的纵向倾角，因此影响了矿浆在槽内的流动速度与流膜厚度。选别细粒物料的螺距要大于处理粗粒物料的螺距。用于分选粗煤泥的螺旋分选机其外缘纵向倾角选取7°～10°，螺距与直径的比值一般为0.4～0.6。

（3）圈数。螺旋槽的圈数决定矿石分层和分带所需运行的距离。通常，对易选煤选取4～5圈已足够了，对于我国的难选煤，选用6圈比较合。为了增加单位面积的处理量，可将螺旋槽嵌套组装，用增加头数的办法解决。

（4）槽面粗糙度。槽面具有一定的粗糙度可以降低沿槽面运动的重矿物的速度，增大矿层的层间剪切速度差，促使床层松散，从而有助于按密度差发生分层但是在横断面上，较大的粗糙度使沉降到槽底面上的重矿物向内缘移动的速度降低，以致难以推向内缘区，影响矿粒按密度分带，导致分选指标下降。因此，要求螺旋槽面在纵向有一定的粗糙度，而在横向则尽量光滑为此可用刻与横向成一定角度的槽来达到增加纵向粗糙度，减少横向摩擦因数之目的。

3. 技术参数及应用效果

1991年，我国开发的用于分选炼焦煤的XL D750型螺旋分选机四台一组完成了工业性试验。多年的生产实践表明：该设备精选粗粒煤泥，效果良好，入料粒度3～0mm，矿浆处理量6～10m^3/（台·h），干煤泥处理量2～3.4t/（台·h），数量效率大于85%，尾煤段 I=0.066～0.088，中煤段 I=0.115～0.183。不仅解决了选煤厂浮选系统跑粗的问题，而且大大减轻了浮选系统的压力。

适合分选无烟煤的大处理量螺旋分选机XL D900型8组共32台于1997年在某选煤厂作为煤泥主选设备投入使用，入料灰分19%左右，精煤灰分11.86%～12.31%，精煤产率70%～80%；其中大于0.045mm级精煤灰分8.44%～8.90%，数量效率82.63%，可能偏差0.095，不完善度0.157；矿浆处理量17m^3/（台·h），干煤泥处理量6t/（台·h）。

3.5　其他选煤方法

3.5.1　干法选煤

在我国，占可采储量2/3的煤炭资源分布在山西、陕西、内蒙古和宁夏等西部和北方地区，由于缺水，而无法采用现行耗水量较大的湿法选煤方法来提高煤质。在国外很多国家和地区也存在类似问题，如在美国西部因缺水而影响该地区丰富煤炭资源的开发利用。从20世纪80年代我国开始研究新型高效干法选煤技术。自行研制的空气重介质流化床干法选煤技术和复合式干法分选机已在现场投入使用。这些技术和设备能较好地满足干旱缺水地区的选煤需要，应用在严寒地区选煤还可避免产品的冻结，此外它们还适用于动力煤排矸及褐煤和易泥化煤的分选。

3.5.1.1　空气重介质流化床干法选煤

空气重介质流化床干法选煤是将流态化技术用于选煤领域里的一种新的高效干法分选技术，它的特点是以气固两相流作为分选介质，被分选的物料可以精确地按密度分离，其分选效果与湿法重介选相当。这是一种很有发展前景的选煤方法。

1. 分选原理

所谓空气重介质流化床分选就是利用气固流化床的似流体特性，在流化床中形成具有一定密度的均匀稳定的气固两相悬浮体，其床层平均密度 ρ 为

$$\rho = (1-\varepsilon)\cdot\rho_s = \frac{W}{H\cdot A\cdot g} \qquad (10-3-13)$$

式中 ρ——床层平均密度，kg/m^3；

ε——床层空隙度，%；

ρ_s——床层中固体颗粒的密度，kg/m^3；

W——床层颗粒总重量，$kg\cdot m/s^2$；

H——床层高度，m；

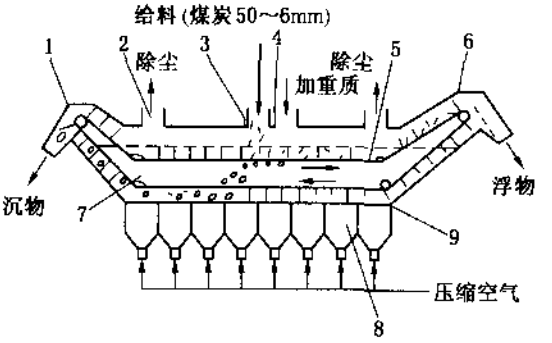
A——床层截面积，m^2；

g——重力加速度，m/s^2。

根据阿基米德定律，被分选物料在床层中按密度分层，即小于床层密度的轻产物上浮；大于床层密度的重产物下沉，经分离和脱介后获得两种合格的产品。

2. 分选机结构与技术参数

我国研制的空气重介质流化床干法分选机的结构示意图如图 10-3-85 所示。该机由空气室、气体分布器、分选室和产品运输刮板装置等部分组成。物料在分选机中的分选过程是：经筛分后的 6～50mm 块状物料与加重质分别给入分选机中，来自风包的具有一定速度的有压气体经底部空气室通过气体分布器后均匀作用于加重质而发生流化作用，在一定的工艺条件下形成具有一定密度的均匀稳定的气—固两相流化床。物料在流化床中按密度分层，小于床层密度的物料上浮，称为浮物；大于床层密度的物料下沉，称为沉物。分层后的物料分别由低速运行的无极链刮板输送装置逆向输送，浮物（精煤）从右端排料口排出，沉物（矸石或尾煤）从左端排料口排出。分选机下部各风室与供风系统连接，



1—排矸端；2—集尘口；3—原煤入料口；4—介质入料口；
5—刮板机；6—排煤端；7—流化床；8—气室；9—压链板

图 10-3-85 空气重介质流化床干法分选机结构示意图

设有风压与各室风量调节及指示装置。分选机上部与引风除尘系统相连，设计中要求引风量大于供风量，以使分选机内部呈负压状态，可有效地防止粉尘外逸。

空气重介质流化床分选机，可有效地分选6～50（80）mm粒级煤。分选精度高，可能偏差在0.05～0.07范围内。

表10－3－38列出了空气重介质流化床分选机的主要技术参数。

表10－3－38　空气重介质流化床分选机的主要技术参数

参数名称		参数值		
处理量/($t \cdot h^{-1}$)		10	25	50
分选物料	粒度/mm	50～6	50(80)～6	50(80)～6
	表面水分/%	<2	<2	<2
分选密度/($g \cdot cm^{-3}$)		1.3～2.0	1.3～2.0	1.3～2.0
有效分选床层	长度/mm	5500	5000	5000
	宽度/mm	500	1000	2000
	高度/mm	360	360	360
电动机	型号	YCT220－4A	YCT220－4A	YCT250－4B
	功率/kW	5.5	11	22
	转速/($r \cdot min^{-1}$)	1250～125	1250～125	1320～132
减速机	型号	WD210－33－Ⅲ	ND210－33－Ⅲ	NBZD280－56－Ⅱ
	变速比	33	33	64.09
外形尺寸（长×宽×高）/(mm×mm×mm)		7890×600×2030	7890×1200×2030	8253×2544×2707
总质量/kg		6558	11200	15850

3. 干法选煤工艺系统

根据流化床选煤工艺的要求，工艺系统主要包括原煤准备，分级与干燥、分选、产品脱介与介质净化回收，供风与引风除尘等部分组成，其工艺原则流程如图10－3－86所示。

（1）原煤准备作业。原煤准备作业包括毛煤的预先筛分，分级粒度为50mm或80mm，检查性手选或手选，大块煤破碎等环节，目的是控制入选上限，除去煤中铁器、杂物、过大块矸石，保障后续作业正常工作。

（2）分级与干燥。根据入选下限的要求，分级粒度一般定在6mm。也可以按照用户要求将分级粒度提高到13mm。入选煤下限的提高，有利于降低入选煤水分及提高分选效果。

分级作业的好坏，直接影响分选效果。主要有两方面原因，一是小于6mm物料在分选机中不能得到有效分选，将损失于矸石中或影响精煤质量；二是小于6mm煤的表面水分高，进入分选机不利于分选作业的正常进行。

在一定范围内，煤炭的表面水分是按其表面积进行分配的，细粒煤比表面积远大于粗

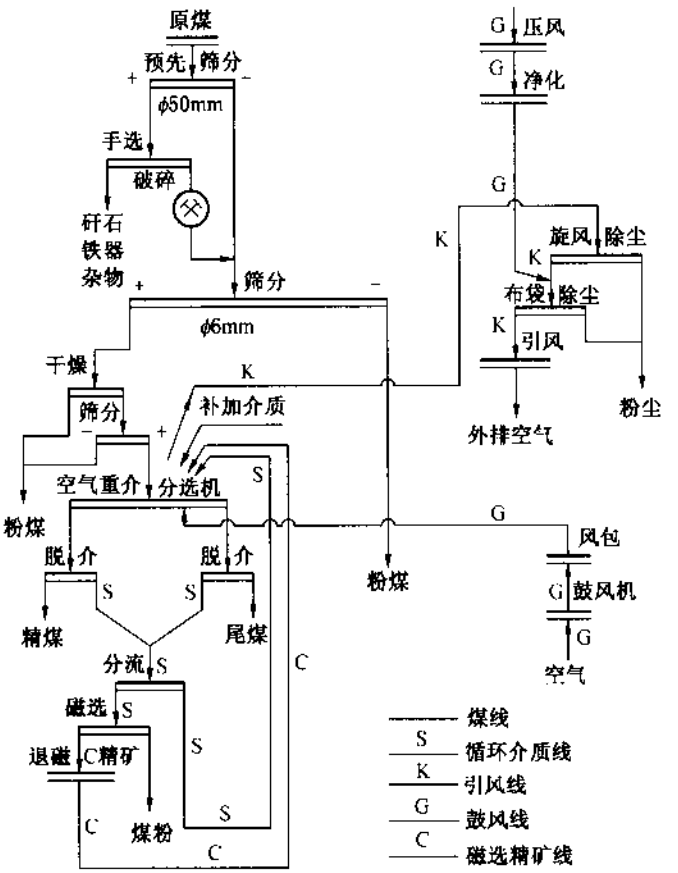


图 10-3-86 空气重介质流化床选煤工艺原则流程图

粒煤。所以煤炭表面水量的大部分分配在末煤中，这部分煤炭筛分得越净，入选煤的外在水分就越低。入选煤的表面水分对分选效果影响极大，表面水分过高，流化床黏度大，不能充分松散，影响流化质量；表面水分过大也将加速分布器的堵孔，使流化效果恶化；入选煤表面水分过大将造成脱介效果差，介耗增大。实践表明入选煤的表面水分必须控制在2%以下，才能保证分选过程的正常进行。对于不同煤种，不同条件所控制的水分有所不同。

由此可见，分级筛分设备的选择十分重要。为保证分级效果，可以采用两段筛分分级作业。

当原煤水分高，细泥含量大，采用二次筛分仍不能满足要求，在这种情况下应设置入选煤干燥作业，如流程图中虚线所示。

为了使生产能连续正常进行，不因雨天或其他原因造成原煤水分大时而影响生产，故在一般情况下都应设置干燥作业。干燥作业可设置在两级筛分作业中间，即第一级筛上物进入干燥作业，这样可以大大减少干燥入料。

被干燥物料为50~6mm级煤，由于粒度大、空隙大，易于干燥。对干燥作业的要求

是：对物料的破碎作用小；产品水分低，外在水分小于2%。为了不影响煤的挥发分等内在性质，干燥过程必须快速、高温。

干燥方法选择振动穿流床为好，以热烟气为干燥介质，工作温度为400℃，干燥时间在10～15s。干燥后的物料进入第二级筛分分级。

（3）分选作业。50～6mm入选煤和加重质分别通过电振给料机及叶轮给料机进入流化床分选机。

由供风系统向流化床提供压缩空气，分选机上部接引风除尘系统。要保证流化床的均匀、稳定，必须设置风量和风压的调节装置和显示仪表。分选机的给料要沿床层宽度均匀给入，给煤量和介质量应连续可调。为保证稳定的分选效果，必须设置密度测量与自动控制装置。

采用空气重介质流化床分选，当只要求出两个产品时采用一次分选，得到精煤和尾煤。当一次分选达不到精煤或尾煤灰分要求时，应采用两次分选。

（4）产品脱介及介质净化回收。分选机排出产品中带有一定量的介质，必须设置产品脱介作业，用于产品与介质的分离。干法脱介不仅要求密封性能好，分离效果好，而且具有抗堵性能，一般采用专用干法密封式脱介筛。

流化床分选机工作过程中，不断会有一些煤粉会随入选煤带入床内及次生煤粉产生，由于介质系统中煤粉的积累会降低流化床分选密度，并造成分选环境恶化，所以为使分选密度稳定，必须设置回收介质净化作业，排除流化床中多余的煤粉，这一环节由干式磁选机完成。将循环介质的一部分进入该作业，通过控制介质分流量，使排出的煤粉量与带入的煤粉量平衡，使系统中煤粉含量保持动态稳定。也可直接采用磁分离技术代替脱介环节。

在磁选过程中，由于磁性介质会被磁化，产生剩磁形成磁絮团，造成流化效果变差。当采用钒钛磁铁矿粉作加重质时，这一现象非常明显，所以必须设置退磁作业，将其剩磁脱除，使絮团分散。

（5）供风与除尘作业。空气重介质流化床是一种微粒固体介质通过与气体接触而转变成类似流体状态的过程。固体加重质能否流化，形成稳定的气、固两相悬浮体，除了要有合适的气体分布器外，还必须有良好的供风系统。

空气重介质流化床工作时需要风压为0.012～0.022MPa，考虑到管路损失等因素，一般风机出口风压选择在0.029MPa以上。风机类型采用罗茨风机。风量大小可按单位面积耗气量（400$m^3/m^2 \cdot h$）确定，并适当留有余量。

为了防止干法选煤过程中粉尘污染环境，采用旋风除尘器和布袋除尘器二级除尘系统。在分选机的顶部设置吸尘罩，并使吸风量大于床层流化所需的送风量，机内呈负压状态，分选机中粉尘不外逸。同时，在容易产生粉尘的振动筛，介质皮带和提升机机头处、磁选机等均设置吸尘罩，整个系统处于全密封工作状态。

除尘为旋风除尘和布袋除尘两级。在设备集中的地方可设置集中除尘系统，通过引风管网，集中除尘。在距离较远处宜设置局部除尘器组。

4. 实际应用及效果

50t/h空气重介质流化床分选机的工业性试验表明，在不同分选密度时，可能偏差E_p值为0.05～0.07，数量效率在90%以上。

3.5.1.2 复合式干法选煤

复合式干法选煤是我国研究开发的又一种煤炭干法选方法，主要用于易选或中等可选性煤炭的分选、动力煤排研、劣质煤提质等。具有不用水、工艺简单、投资少、生产成本低、工效高等优点，近年来在煤炭企业得到了广泛应用。目前，FGX 型复合式干法分选机已形成系列化产品。

1. 结构及工作原理

（1）结构。复合式干法分选机由分选床、振动器、风室、机架和吊挂装置组成，如图 10－3－87 所示。

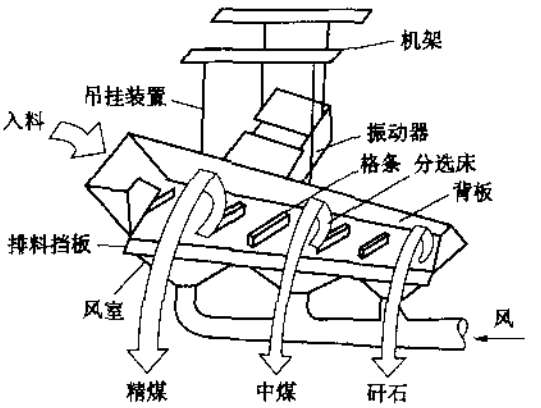


图 10－3－87 复合式干法分选机示意图

分选床内床面、背板、格条、排料挡板组成。床面下面三个可控制风量的风室，由离心通风机供风，气流通过床面上的风孔向上作用于分选物料。由吊挂装置将分选床、振动器悬挂在机架上，可任意调节分选床的纵向及横向坡度。

（2）工作原理。FGX 型干选机分选过程如图 10－3－88 所示。物料给入梯形的分选床后，在风力和振动力的共同作用下，物料按密度分层。由于振动力垂直于床面的长度方向，床面底部物料向背板方向运动，受背板的阻挡，折而向上运动，上面的低密度物料在向上运动物料的推力和重力的联合作用下，从排料边排出。矸石、黄铁矿等高密度物料逐渐移动到矸石排料端排出，从而完成分选过程。在排料边，从精煤、中煤到矸石灰分逐渐增高，可出多种产品。

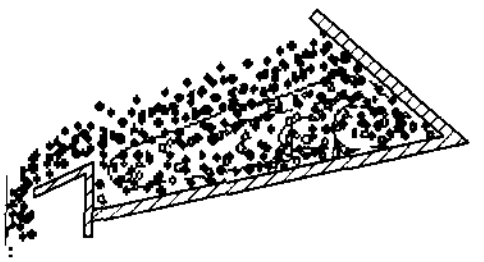


图 10－3－88 FGX 型干选机分选过程

2. 技术特征

目前复合式干选机系列已有10多种型号，其技术参数见表10－3－39。

表10－3－39　复合式干选机技术参数

型　号	入料粒度/mm	生产能力/($t \cdot h^{-1}$)	分选效率/%	系统总功率/kW	外形尺寸(长×宽×高)/(m×m×m)
FGX－1	60～0	10	>90	24.28	5.7×3.13×6
FGX－2	60～0	20	>90	59.81	7.6×6.9×6.7
FGX－3	80～0	30	>90	73.57	9.2×8.3×8.7
FGX－6	80～0	60	>90	146.57	11.4×10.7×9.3
FGX－9	80～0	90	>90	274.04	12.9×12×9.5
FGX－12	80～0	120	>90	328.04	14.2×13.2×9.6
FGX－18A	80～0	180	>90	499.71	18.6×14.2×9.5
FGX－24A	80～0	240	>90	656.08	23.3×14.7×9.6
FGX－24	80～0	240	>90	645.99	19.1×14.5×11.7
FGX－48A	80～0	480	>90	1300.83	25.4×20.9×11.7

3. 工业应用效果

2006年，单机生产能力最大的FGX－48A型复合式干法选煤系统在神华集团投产使用。实际效果表明：FGX－48A型复合式干选机处理量达485～499.3t/h，在原煤灰分为27.90%时，精煤灰分为18.43%，矸石灰分80.53%。目前，复合式干法选煤系统已在全国推广应用800余套。

3.5.2　螺旋滚筒选煤

自生介质螺旋滚筒选煤方法与常规选煤方法不同，它是利用入选原煤中<0.5mm的粉煤作为加重质，并与水混合形成较稳定的悬浮液，进行矿物分选的一种方法。螺旋滚筒选煤机和自生介质旋流器相配合，可以分选100～0mm的原煤。其中，螺旋滚筒选煤机分选100～6mm的块煤，自生介质旋流器分选6～0mm的末煤。螺旋滚筒选煤机主要优点是结构和工艺流程简单，工艺布置紧凑，占地面积和空间小，并具有可移动的优点；耗水耗电少，采用自生介质，选煤成本低；可用于动力煤、煤焦煤（易选、中等可选）、脏杂煤及煤矸石的分选。

1. 结构及工作原理

自生介质螺旋滚筒选煤机主要由螺旋分选筒、滚筒驱动装置、给料溜槽、介质管道和机架等部件组成。它的结构示意图如图10－3－89所示。

螺旋分选筒是由一段圆柱形筒和一段圆锥形筒组成。筒体内壁等分均布三头螺旋隔条，螺旋隔条上开有长孔，这些螺旋隔条上具有双重功能：一方面是将矸石旋起来并排出筒外；另一方面又提供了一个动力效应，即产生相对于下降流的上升或上推效应。筒体倾斜安装在机架上，进料溜槽一直伸入螺旋分选筒内，介质管道平行布置在进料溜槽的一侧。

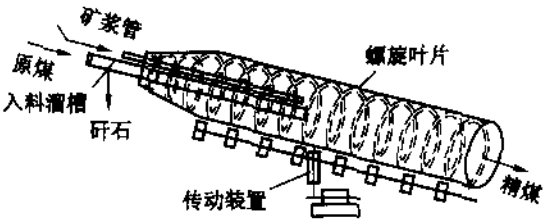


图 10-3-89 螺旋滚筒选煤机结构示意图

自生介质滚筒分选是运用了介质流的动力和滚筒的机械力综合作用的结果，其分选特点主要有以下三方面：

（1）自生介质悬浮液使净煤与矸石的有效重力产生较大差异，为矿粒按密度分选创造了必要的条件。

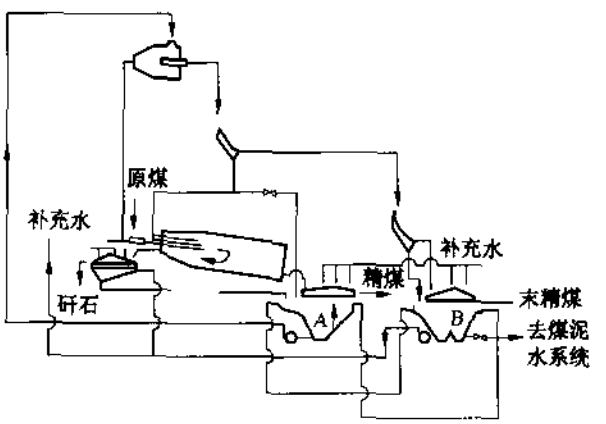
（2）介质的水平流起到分离、运输轻物料的作用，同时还可以提高分选密度。在其他条件一定时，调节流速可改变实际分选密度。

（3）滚筒的回转，能及时分离出重物料，同时适宜的转速可以加强分选的动力作用，提高分选的精度。

原煤随一定速度的介质流给入螺旋分选筒的中部，滚筒在其驱动装置的带动下，作逆时针方向回转，筒内物料及矿浆随筒体回转，在筒内螺旋隔条的作用下作连续提升一跌落运动，由于精煤相对于介质的密度差小，而矸石相对于介质的密度差大，因此，在介质中矸石的沉降速度较精煤快。在筒体的连续旋转中，精煤和矸石得到充分的分层，精煤处于流体上层，在介质流的携带下越过一道道螺旋隔条到排料端排出；而沉在流体下部筒壁上的矸石，则被螺旋隔条输送到滚筒的另一端排出。滚筒内精煤和矸石的分离是在分选介质、筒体旋转、螺旋隔条的综合作用下连续进行的。

2. 分选工艺

自生介质螺旋滚筒选煤流程如图 10-3-90 所示。从该流程中可以看出，它不仅是一



A—自生介质桶；B—煤泥桶

图 10-3-90 自生介质选煤流程

个分选流程，而且还包含了自生介质流程，即旋流器溢流，经过一段、二段弧形筛和脱泥筛脱水的筛下水，作为合格介质进入螺旋滚筒。合格介质的密度通过脱泥筛上的喷淋水量大小来调节。

3. 技术特征

我国自行设计制造的LZT型系列螺旋滚筒选煤机主技术参数见表10－3－40。

表10－3－40　螺旋滚筒选煤机技术参数

型　　号	LZT14/80	LZT16/90	LZT18/90
入料料度/mm	6～100	6～200	6～200
生产能力/(t·h^{-1})	25～35	40～50	60～80
滚筒直径/mm	1400	1600	1800
滚筒长度/mm	8000	9000	9000
滚筒转速/(r·min^{-1})	14～22	8～12	8～12
安装倾角/(°)	5～7	8～10	8～10

4. 工业应用及效果

LZT18/90型自生介质螺旋滚筒选煤机在某矿务局选煤厂进行了工业试验。入选原煤为无烟煤，灰分在40%以上；当入选粒度为100～13mm级时，入选原煤属高灰、高硫煤，但灰分随粒度减小而逐渐降低，煤质较脆；当精煤灰分要求小于20%时，分选密度大体在2.3～2.4g/cm^{3}之间，分选密度±0.1含量小于10%，为极易选煤。工业性试验结果汇总见表10－3－41。

表10－3－41　螺旋滚筒选煤机工业性试验汇总表

粒度/mm	原煤灰分/%	精　煤		矸　石		理论精煤产率/%	数量效率/%	可能偏差	不完善度	分配密度
		产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%					
>100	26.71	84.61	24.18	15.39	78.77			0.018	0.016	2.407
100～50	41.65	60.59	18.40	39.41	78.73			0.062	0.070	2.188
50～25	37.52	70.61	17.49	29.39	85.22			0.080	0.086	2.230
25～13	28.85	85.01	20.10	14.99	84.44			0.114	0.108	2.360
13～6	28.40	94.95	24.88	5.05	85.48					
>25	36.64	69.25	18.79	30.75	81.92	70.50	98.23	0.057	0.059	2.260
>15	35.74	71.12	19.07	28.88	82.25	72.00	98.78	0.072	0.073	2.285
>6	35.02	74.66	20.96	25.34	82.51	78.00	95.72	0.073	0.069	2.348

自生介质螺旋滚筒分选机也能适应难选煤分选。不同可选性原煤分选结果见表10－3－42。

3.5.3　摇床选煤

摇床选煤是在一个倾斜的宽阔床面上，借助床面的不对称往复运动和薄层斜面水流的

表 10-3-42 螺旋溜筒选煤机分选不同可选性原煤汇总表

原煤可选性	粒级/mm	原煤灰分/%	精煤		矸石		实际分选密度/(g·cm⁻³)	可能偏差	数量效率/%
			产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%			
易选煤	200~50	51.83	45.65	10.64	54.35	85.98	1.714	0.021	98.57
	50~25	40.88	56.16	8.81	43.84	81.97	1.589	0.050	
	25~13	35.29	62.68	8.85	37.32	79.70	1.577	0.016	
	13~6	25.18	78.30	9.57	21.7	81.49	1.729	0.040	
难选煤	200~50	59.88	31.86	10.92	68.14	82.39	1.394	0.07	7.32
	50~6	37.78	59.51	11.04	40.49	77.08	1.486	0.061	
	200~6	46.46	47.01	11.03	52.99	77.89	1.462	0.053	

作用，进行煤炭分选的方法，主要用于对末煤和粗煤泥的降灰和脱硫，以及从洗矸石中选硫。

我国从 20 世纪 70 年代研制成功 XLY-4 型悬挂式菱形四层平面摇床。在此基础上，又研制成功悬挂式双联四层平面摇床。

1. 摇床的结构和工作原理

摇床主要由床面、机架和传动机构三大部分组成，其典型结构如图 10-3-91 所示。床面近似梯形，床面横向呈微倾斜，其倾角不大于 10°，一般在 0.5°~5°之间；纵向自给料端至精矿端有极微向上倾斜，倾角为 1°~2°，但一般为 0°。床面用木材或铝制作，表面涂漆或用橡胶覆盖。给料槽和给水槽布置在倾斜床面坡度高的一侧。在床面上沿纵向布置有若干排床条（也称格条），床条高度自传动端向对侧逐渐降低，沿一条或两条斜线尖灭。整个床面由机架支撑或吊挂。机架安设调坡装置，可根据需要调整床面的横向倾角在床面纵长靠近给料槽一端配有传动装置，由其带动床面作往复差动摇动。即床面前进运动时速度由慢变快，以正加速度前进；床面后退运动时，速度则由快变慢，以负加速度后退。

摇床的工作过程如图 10-3-92 所示。矿浆给到摇床面上以后，矿粒群在床条沟内借摇动作用和水流冲洗作用产生松散和分层。分层不同密度和粒度矿粒沿床面的不同方向移动，分别自床面不同区间内排出。最先排出的是漂浮于水面的矿泥，然后依次为：粗粒轻矿粒、细粒轻矿粒、粗粒重矿粒。最后，从床面最左端排出的是床层最底的细粒重矿粒。

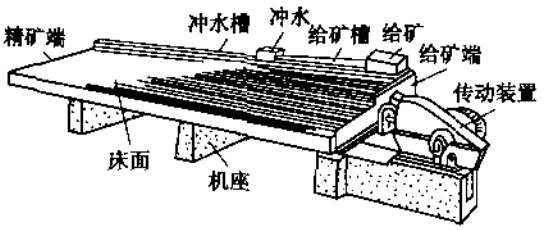


图 10-3-91 典型摇床结构示意图

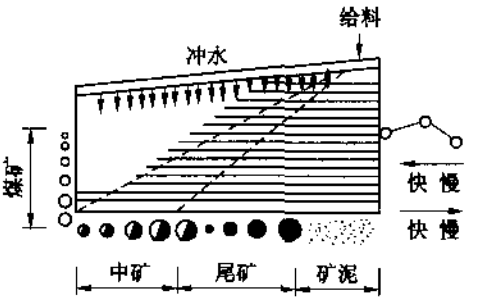


图 10-3-92 摇床工作过程

物料在摇床床面上分选，主要是由床条的类型、床面的不对称运动及床面上的横冲水三个因素综合作用的结果。

首先，由于床面上床条在床面激烈摇动时，加强了斜面水流扰动作用。增强了旋涡和由此产生的水流垂直分速对物料的悬浮作用。使物料悬浮并按密度和粒度进行分层。与此同时，由于床面的激烈摇动还将产生按粒度和密度的析离作用。图10-3-93为物料在床条间的分层状况。

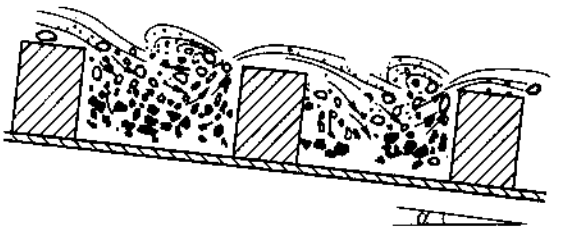


图10-3-93　物料在床条间的分层状况

此外，摇床床面作差动运动的惯性力和水流的冲刷作用，使不同粒度和密度的矿粒具有不同的运动速度和方向，这是使产品得以分离的原因。

2. 主要因素影响

摇床的分选指标除与摇床本身的结构有关外，在设备已定的条件下，主要取决于摇床的操作因素。包括摇床的冲程、冲次、给矿浓度、冲洗水、床面的横向坡度、原料的粒度组成及给矿量等。

（1）冲程、冲次。摇床的冲程和冲次综合决定着床面运动的速度和加速度。为使床在差动运动中达到适宜的松散度，床面应有足够的运动速度，而从产物分选来看，床面还应有适当的正、负加速度之差值。冲程、冲次的适宜值主要与入选物料粒度的大小有关。冲程增大，水流的垂直分速以及由此产生的上浮力也增大，保证较粗较重的颗粒能够松散。冲次增加，则减低水流的悬浮能力。因此，选粗粒物料用低冲次，大冲程；选细粒用高冲次，小冲程。

（2）横向坡度与冲洗水。冲洗水由给矿水和洗涤水两部分组成。冲洗水的大小和坡度共同决定着横向水流的流速。横向水速大小一方面要满足床层松散的需要，并保证最上层的轻矿物颗粒能被水流带走；另一方面又不宜过大，否则不利于重矿物细颗粒的沉降。冲洗水量应能覆盖住床层。增大坡度或增大水量均可增大横向水流。处理粗粒物料时，既要求有大水量又要求有大坡度，而选别细粒物料时则相反。处理同一种物料“大坡小水”和“小坡大水”均可使矿粒获得同样的横向速度，但“大坡小水”的操作方法则有助于省水，不过此时精矿带将变窄，而不利于提高精矿质量。因此用于粗、扫选的摇床，宜采用“大坡小水”的操作方法；用于精选的摇床则应采用“小坡大水”的操作方法。

无论哪种操作方法，肉眼观察最适宜的分选情况应是：无矿区宽度合适；分选区水流分布均匀且不起浪，矿砂不成堆；精选区分带明显，精选摇床分带尤应更宽。

（3）给矿性质。给矿性质包括：给矿的粒度组成和给矿浓度和给矿量等。

给矿量和给矿浓度在生产操作中应保持稳定，当给矿量和给矿浓度变化，将影响物料在床面上的分层，分带状况，因而直接影响分选指标。当给矿量增大，矿层厚度增大，析离分层的阻力也增大，从而影响分层速度。同时因横向矿浆流速增大，也使尾矿损失增加。如果给矿量过少，在床面上难以形成一定的床层厚度，出影响分选效果。适宜的给料量还与物料的可选性和给料的粒度组成有关。当给矿粒度小、含泥量高时，应控制较小的给矿浓度。正常给矿浓度，一般为 15% ~30% 。

给矿粒度组成，因在摇床选别中析离分层占主导地位，所以，最佳的给矿粒度组成，应是密度大的矿粒粒度均比密度小的矿粒粒度小。这就需要物料在选前，进行水力分级，因为分级结果不但改变了物料的粒度组成，而且原料还被分成了不同的粒度级别。便于按物料粒度及粒度组成的不同，选用不同结构型式的摇床。

3. 工业应用及效果

某选煤厂使用双层平面摇床处理高硫煤的工业性试验结果见表 10－3－43 ~ 表 10－3－46。从表 10－3－43 的结果可看出，入选物料破碎粒度越细，脱硫效果越好。表 10－3－44 却反映了入料中硫的各组分的变化对摇床脱硫效果的影响；煤中黄铁矿硫含量愈高且单体解离程度愈好，摇床的脱硫效果也就越好。表 10－3－45 反映了摇床选煤的分选效果受入料粒度组成的影响。影响结果是：粗粒度煤比细粒度煤分选效果好，窄级别煤比宽级别煤分选效果好。表 10－3－46 则反映了摇床生产能力与入选物料粒度的关系，其结论是分选粗粒度煤比选细粒煤处理量大。

表 10－3－43 选煤摇床对不同粒级的脱硫效果

入料性质	粒度/mm	降硫率/%	脱硫率/%
跳汰中煤破碎	13 ~0	23.90	44.07
跳汰中煤破碎	6 ~0	41.60	63.37
跳汰中煤破碎	3 ~0	60.60	79.40

表 10－3－44 选煤摇床对煤中硫铁矿含量及其单体解离程度不同的脱硫效果

煤层名称	入料			精煤			脱硫率/%
	A_d/%	$S_{t,d}$/%	$S_{p,t}$/%	γ/%	A_d/%	$S_{t,d}$/%	
矿子洞	24.90	4.82	4.03	44.16	13.79	1.48	69.29
大连子	13.09	2.41	1.25	76.09	10.46	1.50	37.76
楼板洞	18.12	3.77	1.31	64.23	10.42	3.08	18.30

表 10－3－45 选不同粒级跳汰中煤的分选效果

粒级/mm	分选密度/(g·cm^{-3})	可能偏差 E	不完善度 I
13 ~0.5	1.6	0.18	0.30
13 ~6	1.5	0.10	0.20
6 ~3	1.56	0.12	0.21

表 10－3－45（续）

粒　级/mm	分选密度/(g·cm^{-3})	可能偏差 E	不完善度 I
3～1	1.58	0.15	0.25
1～0.5	1.72	0.22	0.31

表 10－3－46　选不同粒级跳汰中煤的实际操作参数

粒级/mm	入料液、固比	入料浓度/%	入料体积/(m^3·h^{-1})	生产能力/(t·h^{-1})
13～0	1.48	40.32	35.98	16.76
6～0	2.12	32.05	28.43	10.2
1～0	1.42	41.32	16.36	7.54

当然，对可选性不同的煤，摇床的生产能力也是不相同的。如南桐选煤厂用双层平面摇床选末煤（末煤摇床）时，处理可选性好的大连子煤时，生产能力可达16t/h；而处理可选性差的矿子洞煤时，生产能力最大达10t/h。

SXLY－4型悬挂式双联四层摇床的脱硫效果和分选效果见表10－3－47和表10－3－48。从表10－3－47来看，由于入料形态硫组分中有机硫占全硫比例较高；因此，全硫脱硫效果较差，但对黄铁矿硫来说，脱硫效果较好。从表10－3－48来看，该摇床分选效果较好，但生产能力偏低，这是因为该摇床试验时，采用选煤厂原有的XLY－4型悬挂式四层摇床的床面，这种床面床条高度偏低只有15mm，对于上限为13mm的入料来说显得不相适应；另外，由于设备安装位置的限定，排料管坡度不够，影响了该机的生产能力。

表 10－3－47　SXLY－4型悬挂式双联四层摇床的脱硫效果

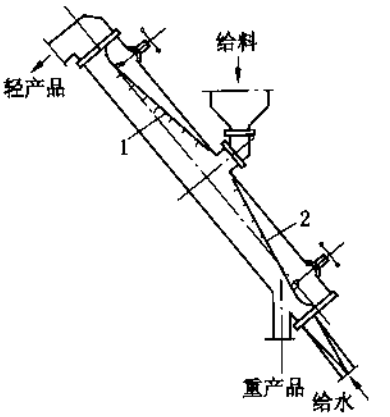
试验编号	形态硫	硫　分/%			精煤产率/%	降硫率/%	脱硫率/%
		入　料	精　煤	矸　石			
1号床体	全　硫	2.85	2.39	4.04		16.14	39.45
	黄铁矿硫	1.40	0.38		72.21	72.86	82.69
	有机硫	1.45	2.01				
2号床体	全　硫	2.56	2.17	4.22		15.23	31.31
	黄铁矿硫	1.25	0.55		81.03	56.00	61.34
	有机硫	1.31	1.62				

表 10－3－48　SXLY－4型悬挂式双联四层摇床的分选效果

试验编号	入料特征			生产能力		分选效果		
	粒度/mm	理论分选密度/(g·cm^{-3})	$\delta\pm0.1$ 含量/%	t/(台·h)	t/(层·h)	可能偏差 E	不完度 I	数量效率/%
1号床体	13～0	1.65	12.0	18.12	2.27	0.110	0.17	92.3
2号床体	13～0	1.63	11.8	11.34	1.42	0.072	0.13	94.3

3.5.4 溜槽选煤

斜槽分选机是近年来研制成功的一种新型重力选煤设备，具有结构简单，制作容易，操作维护方便，基建和生产费用较低等优点，它是一种洗选脏杂煤、劣质煤和跳汰机选矸，以提高产品质量，回收可燃体的分选设备，已在我国兴安台、袁庄、新河等选煤厂使用，并取得了较好的分选效果。



1—上调节板；2—下调节板

图 10-3-94 斜槽分选机结构示意图

1. 槽体结构

斜槽分选机（图 10-3-94）槽体断面为矩形，整机钢板焊接而成，分上、中、下三段，也称为轻产品段、入料段和重产品段，在上、下段的槽体中各设一块带有若干隔板的调节板，每块调节板的位置可根据工艺要求通过与之相连的调节机构进行调整调节板的位置，可以改变槽体内工作区的断面，从而造成适宜湍流度的上升流，被选物料进入槽体中段后分成两股物料流，轻产物由分选介质流带入上段，进一步分选后排出槽体，重产物克服与之相逆的水流进入下段，由脱水斗式提升机运出。

表 10-3-49 为斜槽分选机的技术参数。

表 10-3-49 我国斜槽分选机的技术参数

型　　号	XSF 600×550	XSF 500×600	XSF 400×650	XSF 300×500
入选物料	选矸	劣质煤	原煤排矸	劣质煤
粒度/mm	<100	<80	<200	<50
生产能力/(t·h^{-1})	40～50	20～45	25～40	～12
外形尺寸（长×宽×高）/(mm×mm×mm)	500×600×550	5300×500×600	5000×400×650	4000×300×500
斜槽质量/kg	2000	1342	1400	—
斜槽进水口压力/MPa	～0.05	～0.05	0.04～0.05	～0.05
进水口直径/mm	200	—	150	—
调节板隔板高度/mm	80～170	—	110～170	100～150
调节板隔板间距/mm	180	—	250	220
电动机型号	—	JO$_3$－2255－40	—	—
转速/(r·min^{-1})	—	1480	—	—
功率/kW	—	5.5	—	—

2. 分选原理

水流以一定压力和流量从槽体底部给入，被选物料从槽体中部进入。在逆向上升水流作用下，颗粒运动方向取决于水流上升速度和颗粒的下降速度。密度大的颗粒下降速度大

于水流上升速度，于是向下沉降，由斗式提升机排出。密度小的下降速度小于水流上升速度，结果被水流向上托起，从上部轻产品口排出。槽体内隔板的存在使水流速度局部增加，在隔板间产生涡流，松散物料，调节板是由多块隔板组成，那么物料流沿槽体长度发生周期性的松散、密实。这样，就把混杂在其中的错配物部分地释放出来，保证了最终产品的质量。

3. 工艺操作

（1）调节用水量。调节用水量，实际上是改变输送介质流的速度使之造成适宜的湍动流。调节用水量包括调节从槽体下部给入的水量和同原煤一起进入槽体的水量，前一种水量决定重产品段的水流速度；前后两种水量共同决定轻产品段的水流速度，这两种水量应与重产品段和轻产品段通过能力相适应，以保证工作区内分选密度的相对稳定。

如果入料稳定，正常用水量为3.5～4m^3/t，若入料波动程度较大，用水量应加大到5～6m^3/t。

（2）变换调节板位置。改变调节板位置，实际上是改变槽体内部通流区的断面大小，从而改变轻、重物料流之间的接触面积，以利于各密度级物料朝着各自密度区运动，并改变轻、重产品的排卸量。当斜槽主要用于排矸时，为了减少煤的损失，操作中主要调节下调节板，以控制矸石排卸的质量和数量。

总起来看，斜槽分选机的操作比较简单，在正常生产情况下，需根据产品质量的变化情况，略加调节用水量或改变调节板位置。当矸石产品中带煤量较大时，可适当加大顶水量或下调下调节板，减小矸石排放口，上提上调节板，扩大轻产品排放口。减慢矸石排放速度、增加其他密度级物料从中分离出来的几率。反之，如果精煤产品受污染过多，则减少进水量或下调上调节板，上提下调节板，加速矸石排放，防止重产物过多地进入精煤产品中去。

4. 工业应用及效果

XSF500×600型斜槽分选机分选粒度为80～0mm的劣质煤，当入料灰分为58%左右时，可获得灰分为23%～28%的商品煤和灰分为80%以上的矸石，生产能力为20～45t/h。循环水量大，每小时达200～320m^3，不完善度I=0.16～0.18。

XSF400×650型斜槽分选机分选粒度小于200mm的原煤，入料灰分为45%左右时，可获得灰分约为23%的商品煤和灰分为80%以上的矸石。分选效率相当高，特别是大于50mm级，数量效率均在95%左右，不完善度I=0.12左右。

斜槽分选机是一种结构简单、操作维修方便、生产能力大、无动力的选矸装置。具有投资少、收效快的特点。缺点是洗水用量较大，但对洗水浓度要求不严格。它可广泛地应用于处理劣质煤、脏杂煤和代替人工拣矸，以充分回收、利用煤炭资源和提高煤炭质量。尤其适用于没有选煤厂的中、小型动力煤煤矿和地方煤矿。

3.6　重选生产工艺

物料在重选设备中分选结果好坏，除与物料性质、设备结构性能、操作制度外，在很大程度上，还取决于选煤厂工艺流程。最佳的工艺流程，一方面要能满足选煤技术上的要求，另一方面要能获得最大的经济效益。制定选煤工艺流程在技术上的主要依据是：原料煤的工艺性质、用户对产品的质量要求、设备自身的性能。

3.6.1 炼焦煤选煤典型重选工艺

炼焦煤的主要加工方法，目前仍以跳汰选、重介质选为主，由于煤的可选性难度增加，用户对精煤灰分的要求较严，为了提高选煤效率、精煤产率和企业的经济效益，在新建和改扩建工程中，均重视采用重介质选煤法；但近几年来跳汰机在大型化和结构上也有改进，因此，跳汰选仍占有重要地位。在选煤厂建设中，一般均采用跳汰选和重介质选的联合流程及其他方法，但煤泥大多采用浮选法处理。实例如图 10－3－95～图 10－3－99 所示。

3.6.1.1 跳汰主、再选工艺

选煤工艺为：50～0mm 用跳汰主、再选，<0.5mm 煤泥直接浮选，工艺流程如图 10－3－95 所示。

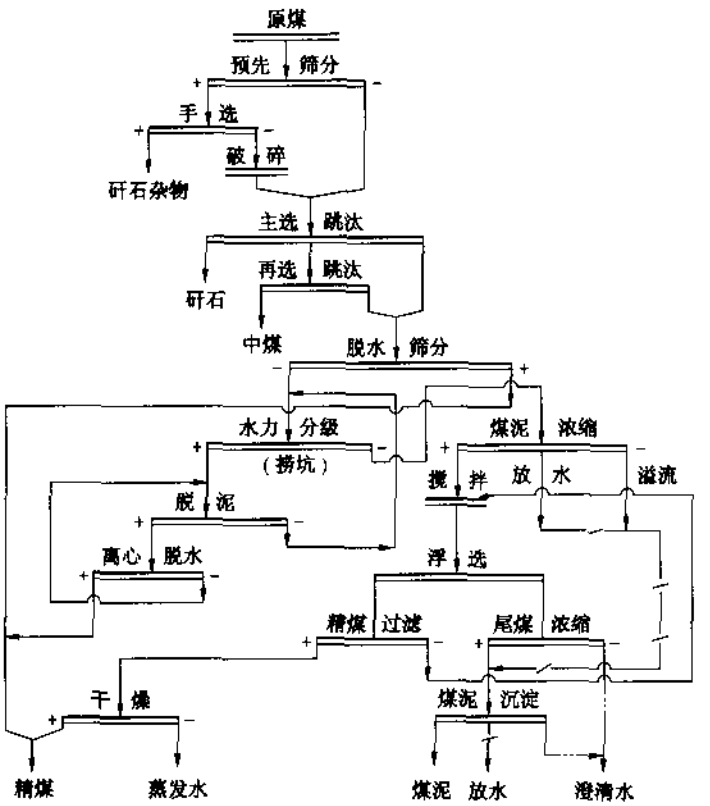


图 10－3－95 跳汰主、再选—煤泥浮选工艺流程

该工艺适用条件：原煤属易选、中等可选或偏难选的炼焦煤，对产品灰分要求不严，不要求出低灰精煤时常用此流程。本流程生产操作容易，当原煤属易选时，可获得较高精煤产率。

3.6.1.2 块煤重介、末煤跳汰联合工艺

选煤工艺为：100～13mm 块煤主、再选用斜轮重介质分选机精选，13～0.5mm 末煤跳汰选，<0.5mm 煤泥浮选，其工艺流程图如图 10－3－96 所示。

该工艺适用条件：块煤含量多且难选、末煤较易选的原煤宜采用此流程。采用本流程时，应在重视各粒级可选性差异的前提下，既要考虑适当减少重介入选量，又要考虑提高

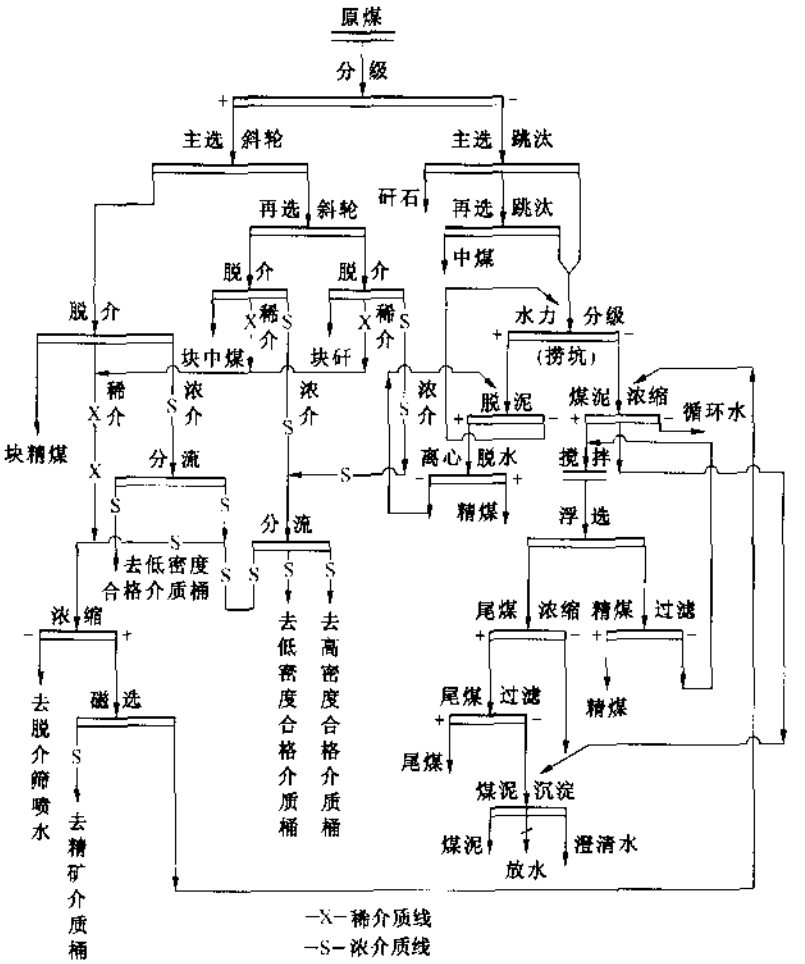


图 10－3－96　块煤重介—末煤跳汰联合工艺流程

分级和脱介筛的效率，综合权衡利弊确定分级粒度。

3.6.1.3　块、末煤全重介，煤泥浮选工艺

选煤工艺为：300～13mm 块煤用斜轮重介质分选机分选，13～0.5mm 末煤用重介质旋流器分选，<0.5mm 煤泥浮选，其工艺流程如图 10－3－97 所示。

该流程适用条件：原煤可选性属难选和极难选的优质、稀缺煤种，适于采用此流程，分级粒度应根据各粒级的分选密度的相近性来划分，尽量取偏小值（13mm 或 6mm）为宜，以减少重介质旋流器负荷，简化介质回收系统，降低选煤费用。

3.6.1.4　跳汰粗选、粗精煤用重介质旋流器精选、煤泥浮选工艺

采用的工艺为：<50mm 原煤用跳汰机粗选、跳汰精煤按 37mm 分级，50～37mm 块精煤破碎到 37～0mm 作为 2 号精煤，37～0.5mm 末精煤用重介质旋流器再选，轻产物为 1 号精煤，重产物为中煤，其工艺流程如图 10－3－98 所示。

该工艺适用条件：用于分选难选和极难选原煤，且对产品有特殊的要求。如：气煤出高灰分块精煤和低灰分配焦精煤两种产品；或者对稀缺煤种炼焦煤，将跳汰块粗精煤破碎

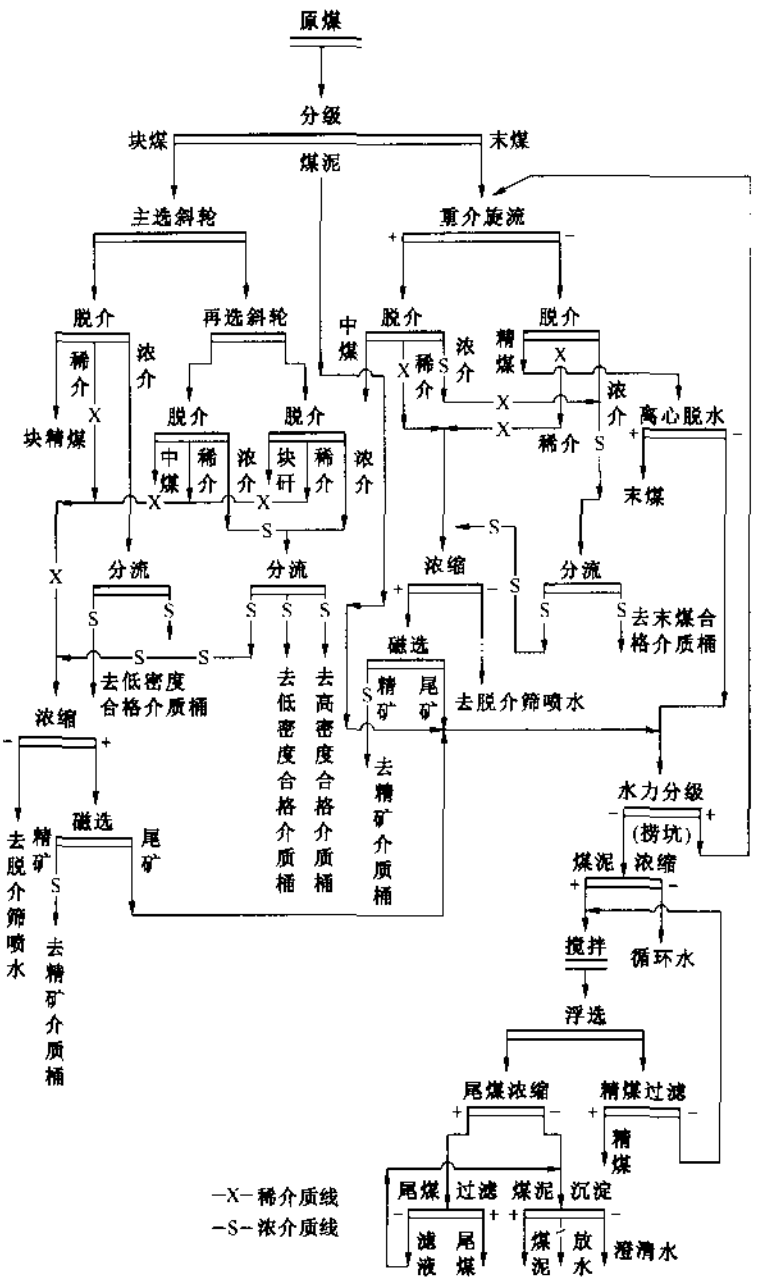


图 10-3-97 块、末煤全重介—煤泥浮选工艺流程

后与末粗精煤合并作为重介质旋流器原料，出合格精煤。这种流程可以利用较简单的跳汰选特点，减少重介质旋流器负荷，以达到提高产品产率和降低选煤费用的目的。

3.6.1.5 块煤重介、末煤跳汰、跳汰中煤重介质旋流器再选、煤泥浮选工艺

选煤工艺为：120～13mm 块煤用主、再选立轮重介质分选机选，13～0.5mm 末煤用巴达克跳汰机选，跳汰中煤用重介质旋流器再选，<0.5mm 煤泥浮选，其工艺流程如图 10-3-99 所示。

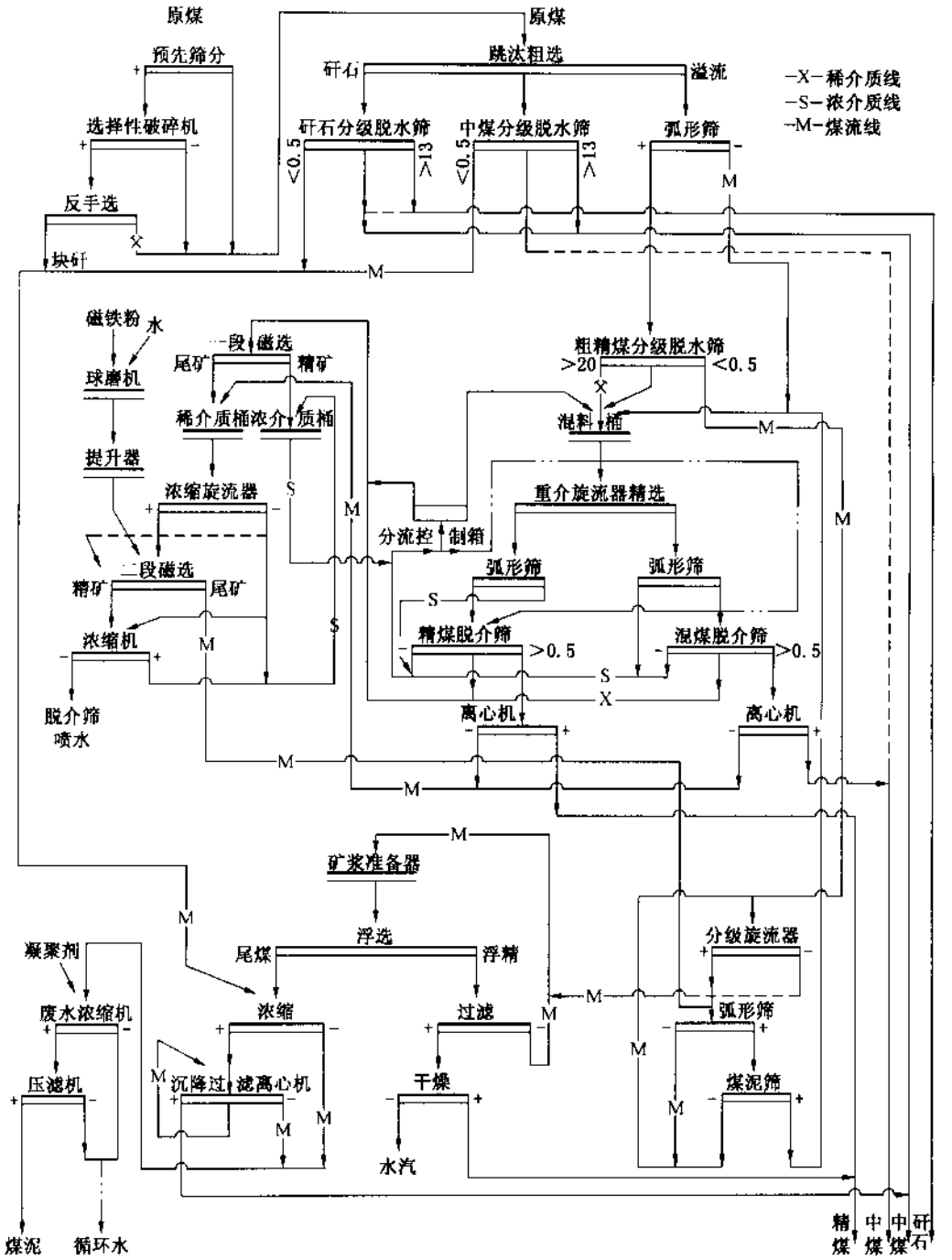


图 10-3-98　跳汰粗选—粗精煤重介质旋流器精选—煤泥浮选工艺流程

该工艺适用条件：块煤含量多且难选、末煤难选、中煤含量大，为了充分回收炼焦煤资源，提高精煤产率和经济效益，采用此流程。

3.6.2　动力煤选煤典型重选工艺

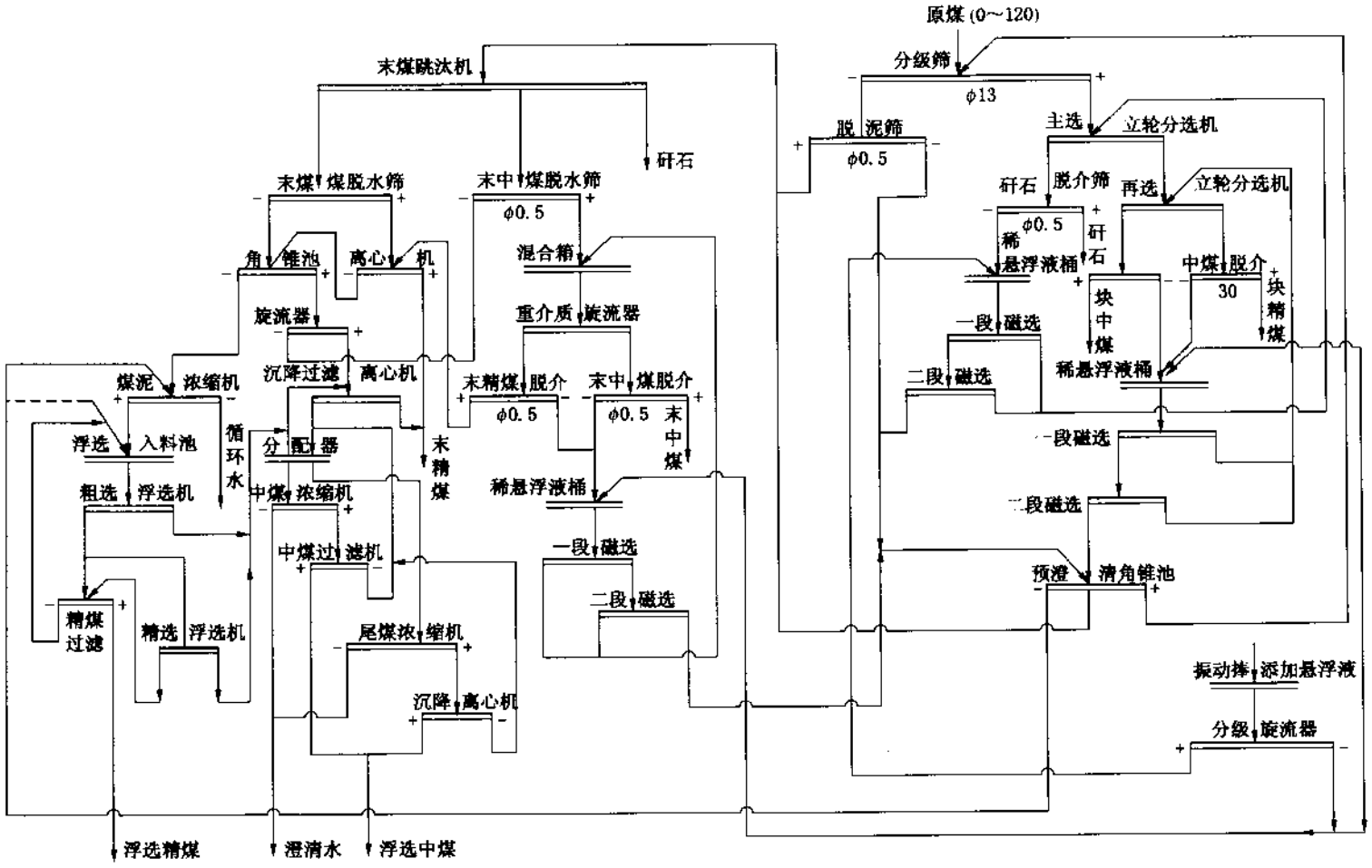


图 10-3-99 块煤重介—末煤跳汰—跳汰中煤重介质旋流器再选—煤泥浮选工艺流程

我国动力煤的分选，主要是选高灰分长焰煤、气煤、黏结煤、无烟煤、贫煤及少量褐煤。入选煤主要是含矸量较大的块煤和高灰分末煤。

3.6.2.1　块煤重介质排矸、末煤不入选工艺

采用的工艺为原煤经13mm分级后，300～13mm经斜轮重介质分选机分选，13mm以下末煤不入选，其工艺流程如图10-3-100所示。

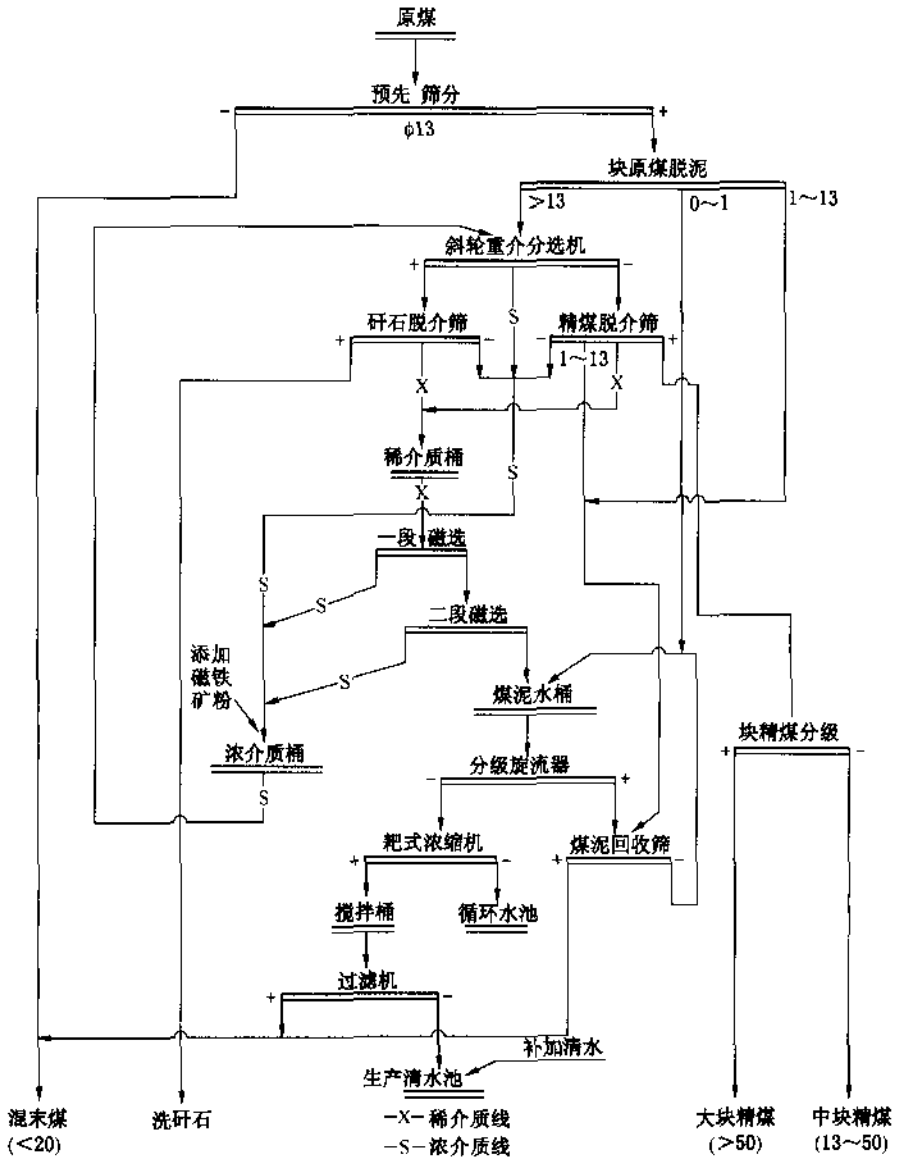


图10-3-100　块煤重介质排矸—末煤不入选工艺流程

该工艺适用条件：原煤中块煤含量大且含矸率高，可选性属较难选，且末煤灰分不高，水分较低，易于分级时，可采用此流程。分级粒度一般为25mm或13mm。当原煤水分较高，分级粒度在25mm以下时，分级效率可能偏低、且块煤表面粘附有煤粉；因此对

分级后的入选块原煤须预先脱泥。

3.6.2.2 块煤重介质排矸、末煤跳汰选工艺

用斜轮分选机选 300～50mm 大块煤，50～0mm 原煤用跳汰机选，其工艺流程如图 10-3-101 所示。

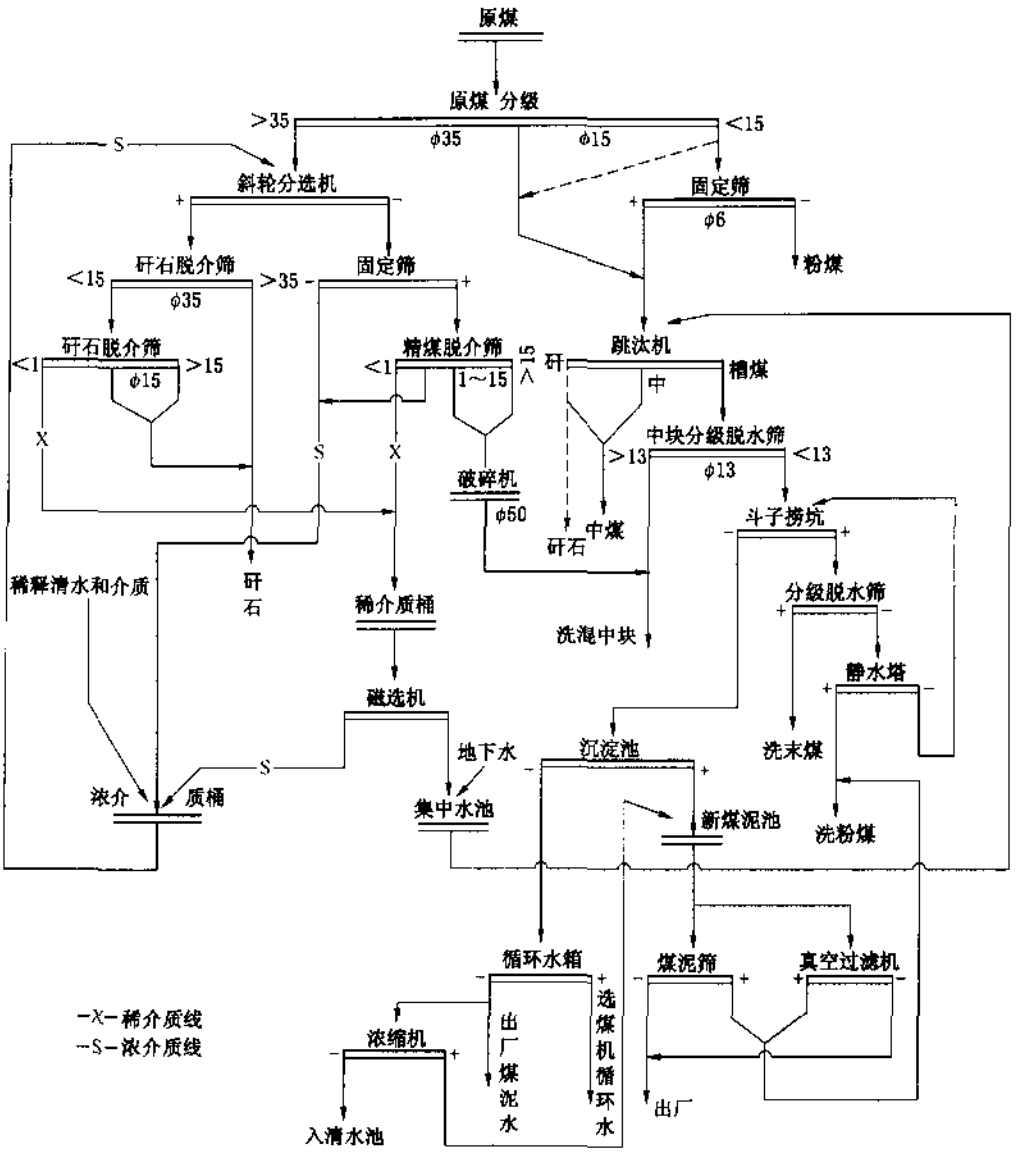


图 10-3-101 块煤重介质排矸—末煤跳汰工艺流程

该工艺适用条件：大型矿或露天矿生产的动力原煤（如长焰煤等），各粒级灰分均较高，特大块矸石含量较多，必须经过洗选才能满足用户要求时，可以采用此流程。其分级粒度视各粒级分选密度的相近性和原煤水分大小而定，一般取 20～35mm。

4　选煤产品脱水与干燥

4.1　选煤产品脱水方法分类

脱水和干燥是固体和液体分离的过程。绝大多数选煤厂分选过程是在水中进行的，为此，选煤产品在出厂前需进行脱水，以满足用户和运输要求。我国现行产品目录规定精煤水分为12%～13%，个别用户、出口煤和高寒地区湿煤冬运要求精煤水分在8%～9%以下。水是煤中的杂质，不仅对用户使用和冬季运输有害，而且占用货运量，浪费运输能力。因此，选煤厂的出厂产品必须尽量降低水分。

1. 脱水方法

根据不同的工艺环节，使用的脱水方法很多，选煤厂常用的脱水方法是重力脱水、机械脱水和热能脱水。

（1）重力脱水。靠重力而实现的脱水。重力脱水又可细分为以下两种形式：

自然重力脱水：即利用物料颗粒表面水分的重力作用而脱水。

重力浓缩脱水：即依靠细粒物料的重力作用，在液体中沉降的方法，来实现固、液分离。

（2）机械力脱水。靠机械力而实现的水和物料的分离。机械力脱水又可分为以下几种：

筛分脱水：靠物料与筛面作相对运动产生的惯性力而脱水，如直线振动筛的脱水。

离心脱水：利用离心力作用使固、液分离或提高煤泥水的浓度，如过滤式离心机和沉降式离心脱水机等的脱水。

过滤脱水：利用真空抽吸的负压力使固、液分离，如真空过滤机的脱水。

压力脱水：利用机械力造成的正压力使固、液分离，如板框压滤机的脱水。

（3）热能脱水。利用热能使水气化而蒸发的脱水，如火力干燥及日光暴晒等。

2. 脱水的作用

（1）降低产品中的水分，满足一定的产品质量要求。

（2）减少运输的费用。铁路运费是以质量作为计费依据的，水分越大，运输费用就越高。

（3）防止影响冬季铁路运输，避免冻车或涨车。

4.2　粗颗粒物料的脱水

4.2.1　脱水筛

脱水筛是选煤厂使用最广泛的脱水设备之一，通常分级用的筛分设备把结构作相应的改变均可用于脱水。选煤厂常用的脱水筛有固定筛、摇动筛和振动筛。

4.2.1.1　固定筛

固定筛固定不动，筛面倾斜安装，物料在倾斜的筛面上完全靠自重下滑，水则通过筛孔排除。固定筛主要安装在运动的脱水筛之前，进行预先脱水，以减少进入运动脱水筛的水量，提高脱水效率。固定筛又可分为条缝筛、弧形筛和旋流筛。

1. 条缝筛

条缝筛安装在运动的脱水筛的给料溜槽上，其宽度与溜槽相等，长度一般不超过2m，筛缝尺寸一般为0.5mm，最高泄水能力可达200～300$m^3/(h \cdot m^2)$（筛面面积），经预先脱水后的产品液固比约为2～3。

2. 弧形筛

弧形筛既可用于细粒物料的脱泥、脱水，也可对悬浮液中细小颗粒进行精确分级；还可用于重介质选矿产品的脱介。

弧形筛的筛条由不锈钢或尼龙制成，截面为长方形或梯形，筛缝宽一般为0.15～1mm，筛条排列成弧形。其给料方式有两种：一种为无压给料，称自流弧形筛，给料速度为0.5～3m/s；另一种为压力给料，称压力弧形筛，给料压力为0.1～0.2MPa，料浆速度一般可达10m/s。弧形筛规格是以筛面的曲率半径（R），筛面宽度（B），弧度（α）表示，例如500mm×700mm×180°。自流弧形筛的弧度有45°、60°、90°等，多用于选煤厂的脱水及金属选矿厂的选别产品分级；压力弧形筛的弧度有180°和270°，其中270°弧形筛多用于水泥工业。通常选用的筛缝可为筛下产品最大粒度的1.5～2倍。

弧形筛的显著优点是结构简单、轻便、占地面积小、无运动部件和传动机构，处理能力大［按给料计算可达200～250$m^3/(h \cdot m^2)$］。其缺点是筛条磨损严重，筛面的安装和维护要求较高。为了延长筛面的使用寿命，不少弧形筛制成可逆转式，当前一端磨损后，可将筛面转动180°后继续使用另一端。为提高分级效率和减轻筛缝堵塞，可在筛面背面加设打击装置，使弧形筛产生振动。

4.2.1.2 振动筛

振动筛具有工艺效果好、结构简单、操作维修方便等优点，近年来发展很快。主要型号有圆运动振动筛、直线振动筛、高频振动筛和共振筛。圆运动振动筛多用于分级作业，选煤厂中多用直线振动筛和高频振动筛脱水。我国目前主要生产和使用的直线振动筛有吊式（DS型）和座式（ZS型）两种，这些筛子又分别有单层和双层两种。无论是DS型还是ZS型振动筛，均由筛箱、激振器及弹簧支撑或吊挂装置组成。

物料在筛面上的脱水过程，通常分三个阶段。第一个阶段为初步脱水；第二阶段为喷洗；第三阶段为最终脱水。喷水的目的是冲洗掉混在产品中的细泥。既降低灰分又降低水分，主要的细泥阻碍水分的泄出。喷水必须用澄清的循环水，水压常为0.15～0.2MPa。喷水点在整个筛子的中心处，沿全宽喷洒。有条件的厂最好安装3～4mm的喷嘴。

对块煤脱水及脱介，为提高脱水筛的生产能力，并减少对小筛孔条缝筛的磨损，通常采用双层筛，上层用编织筛网，筛孔为13mm，下层用条缝筛网，筛孔为0.5mm。

高频振动筛是近几年研制成功的一种高效脱水设备。它有平面筛面和曲面筛面之分，曲面筛面的特点是弧形筛和直线筛的完美结合。高频振动筛本身具有高振次和高振动强度，另外还具有寿命长、效率高、耗电少、维修方便等优点。可用于入料粒度0～1mm，入料浓度小于35%的末煤及煤泥的脱水、脱介。

4.2.2 离心脱水机

在重力场中进行的脱水，其效果受含水物料的性质影响较大，为了提高物料的脱水效果，人们又研制成功了在离心力场工作的离心脱水机。离心脱水机主要分为过滤式和沉降式两大类。过滤式主要用于较粗颗粒物料的脱水，如末精煤和粗煤泥的脱水；沉降式主要用于细颗粒物料的脱水，如浮选精煤、尾煤和细煤泥的脱水。这里我们主要介绍过滤式离心脱水机。

过滤式离心脱水机按卸料方式又可分为惯性卸料、刮刀卸料和振动卸料三种。首先以惯性卸料离心机为例来介绍其工作原理。

4.2.2.1　惯性卸料离心机

惯性卸料离心机工作原理如图10－4－1所示。

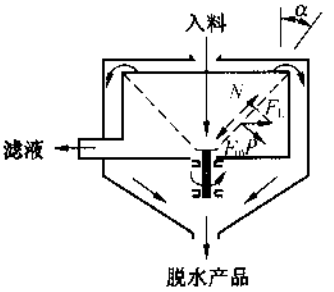


图10－4－1　惯性卸料离心机工作简图

其主要工作部件是筛篮，经传动轴由电机带动旋转，湿物料给到筛篮中心受离心力的作用被甩到筛篮壁上，形成沉淀物层，水分通过沉淀物层和筛篮上的筛孔排出，实现物料和水分的分离。

对于惯性卸料来说，满足什么条件才能使物料顺利排出呢？

从图10－4－1的受力分析可得

$$F_L = m\omega^2 r \quad P = F_L \cdot \cos\alpha \quad N = F_L \cdot \sin\alpha$$

式中，α为筛篮的半锥角，若物料与筛面间的滑动摩擦系数为f，则物料沿筛面滑动时的摩擦力F_m为

$$F_m = Pf = fF_L\cos\alpha$$

显然，只有当$N > F_m$时，物料才能沿筛面滑动，则有

$$\tan\alpha > f$$

若物料沿筛面滑动的摩擦角为β，则有

$$f = \tan\beta$$

根据上两式，可得

$$\alpha > \beta$$

即只有当筛篮的半锥角大于物料沿筛面滑动的摩擦角时，物料才能沿筛面滑动，完成脱水。由于惯性卸料离心机有此限制条件，导致它处理量小、脱水效率低，目前已经被刮刀卸料和振动卸料离心机所取代。

4.2.2.2　刮刀卸料离心脱水机

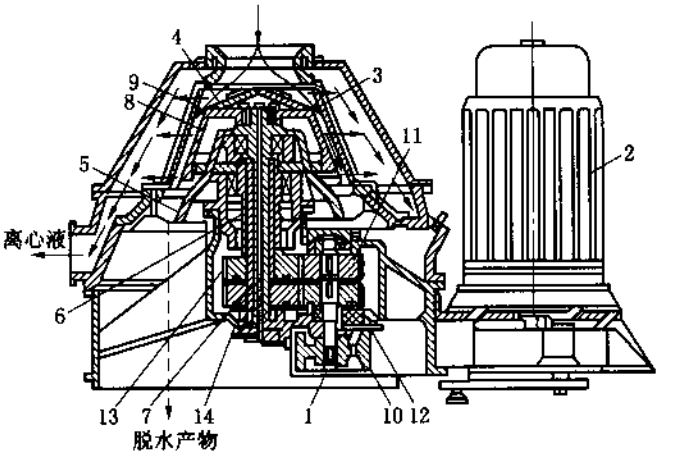
工作原理与惯性卸料大致相同，主要区别在于卸料方式不同，它是用刮刀把已脱水的物料强迫排出的。

以LL－9型离心机为例，其结构如图10－4－2所示。

全机由五部分组成：有传动系统、工作部件、机壳、隔振装置和润滑装置。机壳为不动部件，主要对筛网起保护作用，并降低从筛缝中甩出的高速水流速度。隔振系统是为了减小离心脱水高速旋转时，对厂房造成的振动；而润滑系统则为了保证传动系统灵活运转。传动系统和工作部件为主要部分。

1. 传动系统

LL－9型离心脱水机传动系统的主要部件是一根贯穿离心脱水机的垂直心轴，其外有空心套轴，下部装有减速器。空心套轴和心轴通过齿轮与由电动机带动旋转的中间轴连



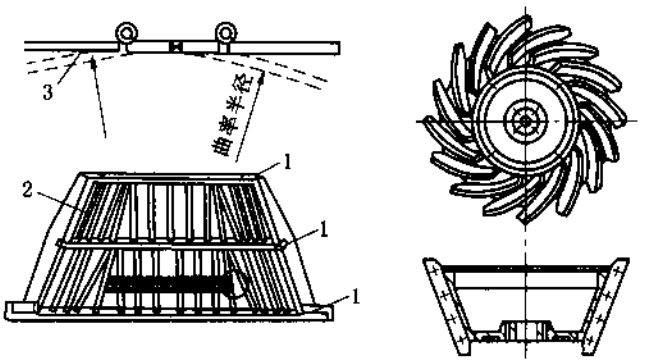
1—中间轴；2—电动机；3—筛篮；4—给料分配盘；5—钟形罩；6—空心套轴；
7—垂直心轴；8—转子；9—筛网；10—带轮；11、12、13、14—斜齿轮

图 10-4-2 LL-9 型螺旋卸料离心脱水机

接。空心套轴与心轴分别与筛篮和刮刀转子相连，同时旋转，而且方向相同。齿轮 11 齿数为 72，齿轮 12 齿数为 71，齿轮 13 和 14 齿数为 88；因此使筛篮和转子之间形成的速差为 7r/min，并决定了物料在离心机中的停留时间。

2. 工作部件

工作部件由筛篮、钟形罩、刮刀转子、给料分配盘和筛网组成。筛篮和刮刀转子结构如图 10-4-3 所示。



1—圆环骨架；2—拉杆；3—筛条

图 10-4-3 筛篮和刮刀转子

筛篮上有扁钢焊接成的圆环骨架，上面绕着断面为梯形的筛条，筛条由拉杆穿在一起，构成整体结构。筛篮用螺栓安设在钟形罩的轮缘上。钟形罩旋转时，筛篮便一起旋转。

筛篮是过滤式离心脱水机的工作面，必须保证内表面呈圆形，才能保证筛面与螺旋刮刀之间的间隙。筛篮上的筛条顺圆周方向排列，筛条缝隙通常为0.5～0.35mm。较小的筛缝，可减轻筛条的磨损，延长筛面的寿命，并减少离心液中的固体含量；因此，在保证水分的前提下应尽量减小筛缝。

4.2.2.3　振动卸料离心脱水机

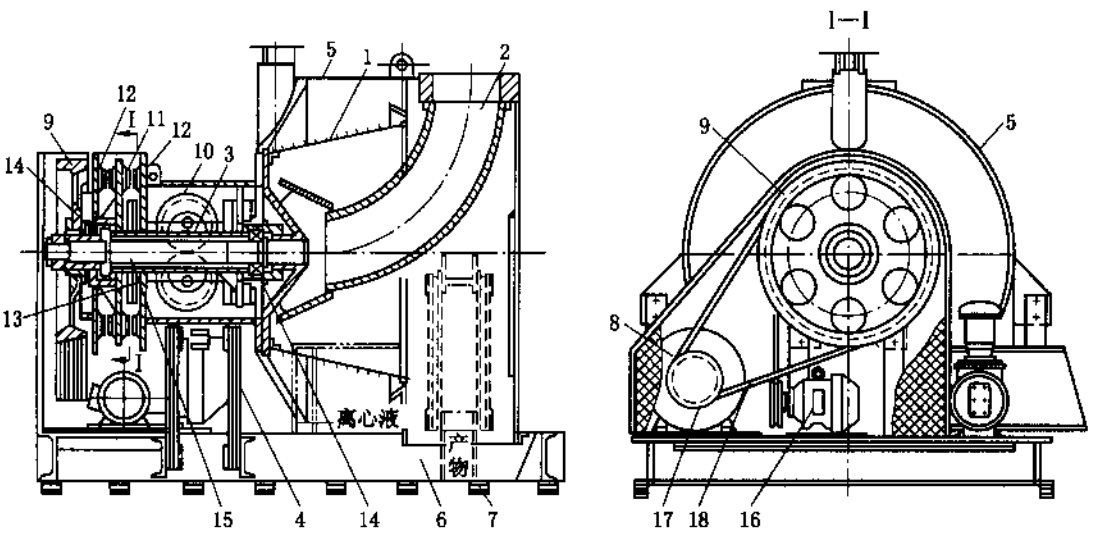
振动卸料离心脱水机的传动机构使筛篮一方面绕轴作旋转运动，另一方面又沿该轴作轴向振动；因此，强化了物料的离心脱水作用，并促使筛面上的物料均匀地向前移动。物料层抖动时，还有助于清理过滤表面，防止筛面被颗粒堵塞，减轻物料对筛面的磨损等作用。由于具有以上特点，振动离心脱水机得到了日益广泛的应用。

振动卸料离心脱水机又分卧式和立式两种。卧式有WZL－1000型、TWZ－1300型等；立式有VC－48和VC－56等引进设备，并已有仿制。目前有型号为TZ－12和TZ－14的振动卸料离心脱水机。

1. 卧式振动离心脱水机

以WZL－1000型为例来介绍其结构和工作原理。

卧式振动离心脱水机由工作部件、回转系统、振动系统和润滑系统四大部分组成，其结构如图10－4－4所示。筛篮是离心脱水机的主要工作部件，由筛座和筛框两部分组成，如图10－4－5所示。

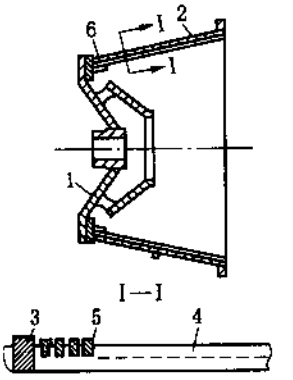


1—筛篮；2—给料管；3—主轴套；4—长板弹簧；5—机壳；6—机架；7—橡胶弹簧；8—主电动机；9—带轮；10—偏心轮；11—橡胶弹簧；12—冲击板；13—短板弹簧；14—轴承；15—主轴；16—激振用电动机；17—带轮；18—V带

图10－4－4　WZL－1000型卧式振动离心脱水机

筛框是一焊接件，它先将支杆、横梁和不锈钢楔形筛条在接触焊机上焊成扇形筛板，然后压成弧形，并在专用胎具上拼焊而成。为了减小物料在筛面上的运动阻力，筛条按锥体母线排列，筛缝宽度为0.25mm。筛篮极易磨损，一般寿命为1500～2000h。筛篮报废

也可按工艺要求而定，对末精煤脱水，筛缝的磨损极限可定为实际筛缝宽度大于0.6mm的数量超过90%时报废。检测筛缝时，可用标准的筛测尺。筛座是一个铸钢件，上有锥形突出部分，又叫分配锥。它与底座间由四个羽板相连而铸成一体分配锥的作用是用来减小给料对筛篮底部的冲击力，并将物料均匀送入筛网。



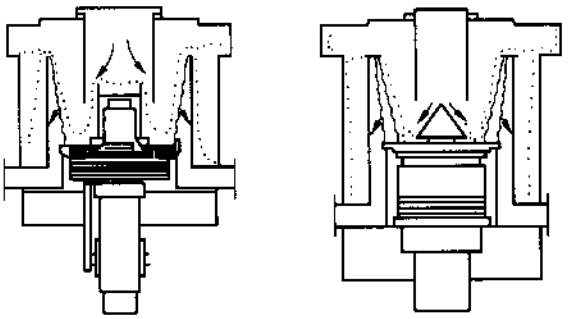
1—筛座；2—筛框；3—支杆；4—横梁；5—筛条；6—衬圈

图10-4-5 卧式振动离心机筛篮

2. 立式振动离心脱水机

立式振动离心脱水机从美国引进，其型号有VC-48和VC-56两种。该设备可用于75~0.5mm物料的脱水，其结构如图10-4-6所示。

其工作原理：物料经入料漏斗进入离心脱水机，并均匀地分配到筛篮底部。在摩擦力的作用下，逐渐加速，并达到和筛篮同速运动。筛篮除作旋转运动外，同时作垂直的振动。在振动力作用下，物料沿筛篮表面向上运动，在此过程中，水分通过筛孔排出，脱水后产品最终从筛篮顶部进入卸料区。振动作用还使物料处于松散状态，促进固、液分离，提高物料脱水的作用。



(a) VC-48型　　(b) VC-56型

图10-4-6 立式振动离心脱水机结构示意图

4.3 细颗粒物料的脱水

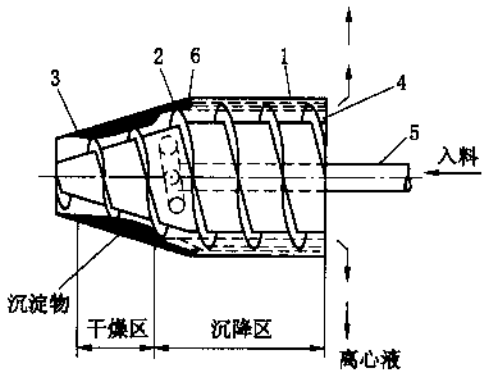
在选煤厂中细颗粒物料的脱水较为困难，采用的脱水机械主要有沉降式离心脱水机、真空过滤机、各种压滤机等。

4.3.1 沉降式离心脱水机

沉降式离心脱水机是利用离心力使煤水混合物中的固体浓缩并沉降在筒壁上，用螺旋刮刀进行卸料的一种脱水设备。它在选煤厂主要用于含泥较多的原生煤泥、浮选尾煤和浮选精煤的脱水，以及洗水的澄清。其入料粒度上限一般为1~3mm，但有时可达13mm。这种离心机既能够在入料浓度较低的情况下工作，又可用于处理经过浓缩浓度达300~500g/L的煤浆。离心强度为400~1500r/min，有的甚至更高。

4.3.1.1　沉降式离心脱水机的工作原理

沉降式离心脱水机的工作原理如图 10－4－7 所示。



1—外转筒；2—螺旋转子；3—沉淀物排出口；4—溢流口；5—中心入料管；6—喷料口

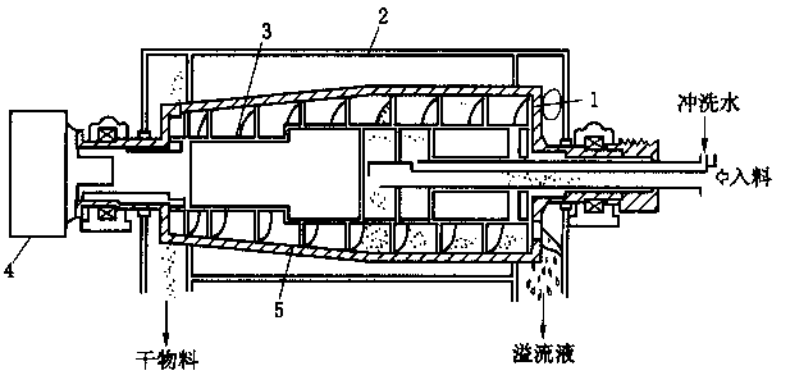
图 10－4－7　沉降式离心脱水机工作原理图

需进行固、液分离的混合物由中心入料管 5 给入，在轴壳内初步加速后，经螺旋转子 2 上的喷料口 6 进入到分离转筒内。因物料密度较大，在离心力作用下，被甩到转筒筒壁上，形成环状沉淀层。再由螺旋转子将其从沉淀区运至干燥区，进一步挤压脱水，然后由沉淀物排出口 3 排出。在沉淀物形成过程中，外转筒 1 中的液体不断澄清，并连续向溢流口流动，最终从溢流口 4 排出。实现了固、液分离。

物料在脱水机中的脱水过程由两个阶段组成，第一阶段为离心沉降阶段，固体颗粒在沉降区受离心力作用进行沉降，形成沉淀层；第二阶段为挤压脱水区，由螺旋转子的挤压作用，挤出沉淀物间隙中的残余物水分。第一阶段为主要脱水阶段。

4.3.1.2　沉降式离心脱水机的构造

沉降式离心脱水机的种类很多，按其入料方式又可分为顺流式和逆流式两种。工作原理基本相同，只是一些结构参数有差别。如顺流型入料从转筒大端给入，沉淀物和澄清水同向运动，澄清水再返回从大端溢流排出；而逆流型入料从中部给入，沉淀物和澄清水向相反方向运动。下面以顺流 TC 型沉降离心脱水机为例，介绍其构造，结构如图 10－4－8 所示。



1—溢流挡板；2—外罩；3—螺旋输送器；4—差速器；5—转筒

图 10－4－8　TC 型沉降式离心脱水机结构原理图

1. 转筒

转筒形状为圆柱—圆锥形，两端支在主轴承上。圆锥形端部设有沉淀物排出口，圆柱形端部设有溢流排出口，用闸板调节溢流口的高低。改变溢流口大小，脱水区和干燥区的长度比例也相应改变。

2. 螺旋转子

螺旋转子的轴颈与围绕在螺旋转子轴壳外部的螺旋叶片两端相接。轴颈一端与减速器相连，另一端为空心轴，并设有给料管。

3. 传动装置

转筒由电机直接带动，螺旋转子则由电机通过齿轮减速器带动。两者的旋转速度有一个速差2%，即螺旋转子每分钟比转筒慢2%转，使转筒和螺旋转子之间产生相对运动，借此将沉淀在筒壁的物料推移到转筒小端排出。

4.3.2 沉降过滤式离心脱水机

沉降过滤式离心脱水机是在沉降式离心脱水机的基础上，于20世纪60年代中期发展起来的一种新型脱水设备。在结构上，它是沉降式离心机和一个过滤式离心机的组合。因而，它兼有两者的优点，其结构及工作原理如图10-4-9所示。

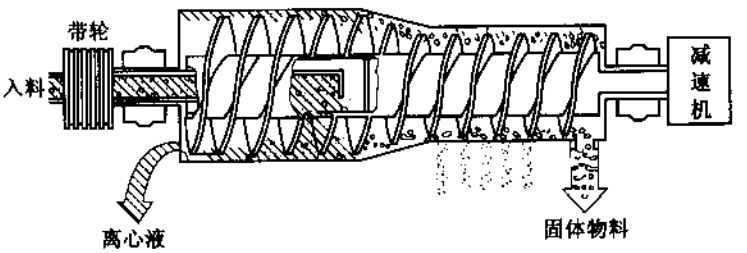


图10-4-9 沉降过滤式离心脱水机工作原理图

沉降过滤式离心脱水机结构除转筒与沉降式离心脱水机不同外，其他结构大同小异。沉降过滤型离心脱水机转筒由圆柱—圆锥—圆柱3段焊接组成。筒体大端为溢流端，端面上开有溢流口，并设有调节溢流口高度的挡板。转筒的小端为脱水后产品排出端，脱水区筒体上开设筛孔。脱水区进一步脱除的水分可通过筛孔排出。

矿浆经给料管给入离心脱水机转鼓锥段中部，依靠转鼓高速旋转产生的离心力，使固体在沉降段进行沉降，并脱除大部分水分。沉降至转鼓内壁的物料，依靠与转鼓同方向旋转，但速度低于转鼓2%的螺旋转子推到离心过滤脱水段。在离心力作用下，物料进一步脱水，脱水后的物料经排料口排出。由溢流口排出的离心液含有小量微细颗粒。由过滤段排出的离心液，通常含固体量较高，需进一步处理。

该离心脱水机沉淀物的水分比沉降型离心脱水机约低一半。这种离心脱水机常用于浮选精煤、浮选尾煤和旋流器底流的脱水。

4.3.3 压滤机

由于真空过滤机是靠负压工作的，压力的上限值受大气压的限制，所以过滤的推动力不大。而压滤机是靠正压力工作的，只要机器允许，其压力可达1MPa甚至更高。另外压滤机使用的滤布大都较细，因而压滤液的浓度也较低。压滤机处理细黏物料比真空过滤机有优势。

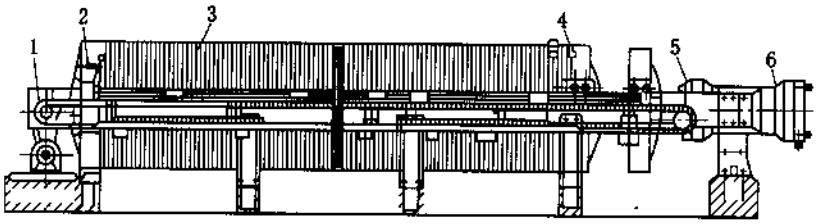
4.3.3.1 箱式压滤机

箱式压滤机有平板板框压滤机和凹板板框压滤机之分，两者之间主要差别是滤室的结

构不同。我国目前应用的多为凹板板框式压滤机，通常称箱式压滤机。

1. 箱式压滤机的结构

箱式压滤机一般由固定尾板、活动头板、滤板、主梁、液压缸体和滤板移动装置等几部分组成。固定尾板和液压缸体固定在两根平行主梁的两端，活动头板与液压缸体中的活塞杆连接在一起，并可在主梁上滑行，其结构如图10－4－10所示。



1—滤板移动装置；2—固定尾板；3—滤板；4—活动头板；5—主梁；6—液压系统

图10－4－10　XMY340/1500－61型压滤机结构图

1）滤板

滤板是箱式压滤机的主要部件，其作用是在压滤过程中形成滤饼并排出滤液。滤板为正方形。滤板的两侧包裹滤布，中间有一孔眼，供矿浆通过之用。滤板上面有凹槽，滤液可由此排到滤板上的泄液口，泄液口与泄液管相通，泄液管从滤板的侧下部伸出。滤板的材质可为金属或橡胶、塑料等。滤板通过其两侧的侧耳架在主梁上，放置于固定尾板和活动头板之间。

2）滤板移动装置

滤板移动装置的作用是移动滤板，在压滤过程开始前，需将所有滤板压紧以形成滤室；在脱水过程结束，需要卸饼时，相继逐个拉开滤板。

3）活动头板、固定尾板

活动头板、固定尾板简称头板、尾板。头板与液压缸体内的活塞杆连接，并通过两侧的滚轮支撑在主梁上。因此，头板可以在主梁上滑动。尾板固定在主梁上。尾板上有入料孔，需过滤的矿浆由此给入。头板与尾板配合，将滤板压紧，形成密封的滤室。由于头板的运动，将滤板松开以排卸滤饼。

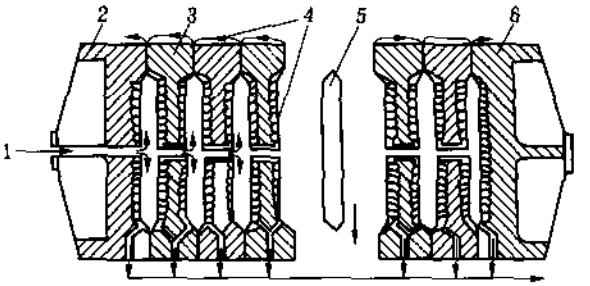
4）液压系统

液压系统用以控制滤板的压紧和松开，由电机、液压泵、液压缸、活塞、油箱等组成。油泵常采用高低压并联系统。高压油泵用于提高油压。低压油泵用于提高活动头板的移动速度。

2. 箱式压滤机的工作原理

箱式压滤机的工作原理如图10－4－11所示。当压滤机工作时，由于液压油缸的作用，将所有滤板压紧在活动头板和固定尾板之间，使相邻滤板之间构成滤室，周围是密封的。矿浆由固定尾板的入料孔以一定压力给入。在所有滤室充满矿浆后，压滤过程开始，矿浆借助给料泵给入矿浆的压力进行固液分离。固体颗粒由于滤布的阻挡留在滤室内，滤液经滤布沿滤板上的泄水沟排出。经过一段时间以后，滤液不再流出，即完成脱水过程。

此时，可停止给料，通过液压操纵系统调节，将头板退回到原来的位置，滤板移动装置将滤板相继拉开。滤饼依靠自重脱落，并由设在下部的输送带运走。为了防止滤布孔眼堵塞，影响过滤效果，卸饼后滤布需经清洗。至此，完成了整个压滤过程。



1—矿浆入口；2—固定尾板；3—滤板；4—滤布；5—滤饼；6—活动头板

图 10－4－11 箱式压滤机工作原理图

3. 箱式压滤机的给料方式

在压滤初期，首先要求把矿浆充满各滤室，需要大量的矿浆，最好使用大流量的泵；压滤开始后，需要较大的压力，这时最好使用高扬程的泵。

压滤机的给料方式有单段泵给料、两段泵给料和泵与空气压缩机联合给料三种形式。单段泵给料通常选用流量较大的泵。所以该给料方式适用于过滤性能较好、在较低压力下即可成饼的物料，该给料方式在选煤厂应用颇广。两段泵给料，压滤初期用低扬程、大流量的低压泵给料，经一定阶段再换用高扬程、低流量的高压泵给料，以满足压滤机不同阶段的压力要求。但在每个压滤循环中，中间需要换泵，操作较为麻烦。此外高压泵的磨损也较大，一般选煤厂不愿采用。泵和压缩空气机联合给料，在该系统中，需增加一台压缩空气机和贮料罐，因此，流程复杂，应用面不大。但此供料方式能实现压滤机的自动控制。

4.3.3.2 隔膜式快速压滤机

该压滤机是针对浮选精煤脱水难开发的一种新型压滤机，在传统厢式压滤机的基础上改进而成。其结构与传统压滤机相似，但压滤工艺不同。该快速压滤机亦适用于浮选尾矿或未浮选过的原煤泥压滤脱水。

1. 压滤机的主要过滤元件——压榨板

压榨板部件是该快速压滤机的关键过滤元件，它由滤板、压榨隔膜板、滤布、滤液管等组成，如图 10－4－12 所示；其工作原理如图 10－4－13 所示。

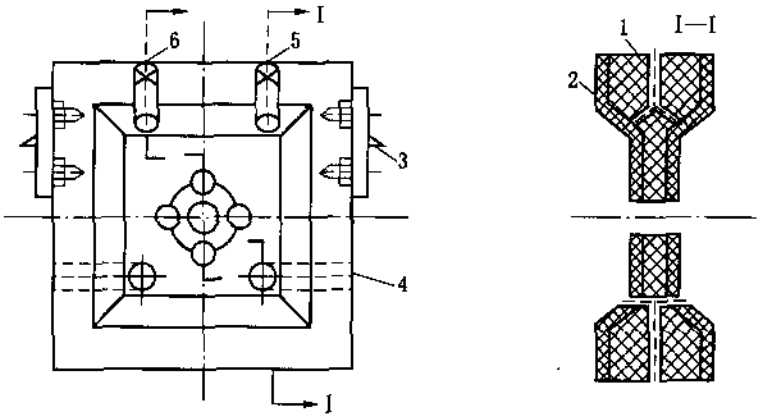
2. 快速压滤脱水工艺及脱水效果

精煤快速压滤机脱水工艺系统示意图如图 10－4－14 所示。

表 10－4－1 为系统阀门动作表，其脱水效果见表 10－4－2。

4.3.3.3 加压过滤机

加压过滤机是一种新型高效的细粒物料脱水设备，其特点是连续工作、生产能力大、产品水分低、电耗低。唐山煤研分院已研制成功了 GPJ60.3 型加压过滤机，并且在八一选煤厂投入生产使用。



1—滤板；2—压榨板隔膜；3—把手；4—滤液管；5、6—风管

图10-4-12　精煤压榨板结构示意图

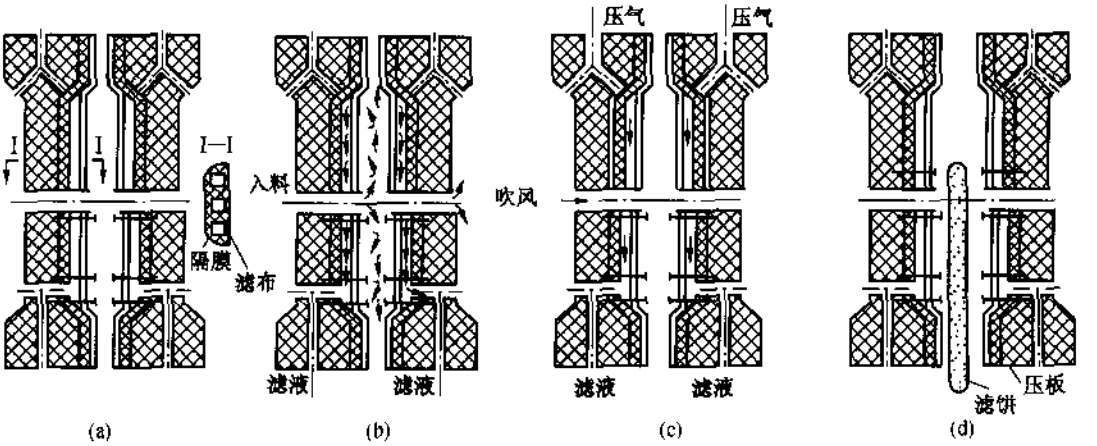
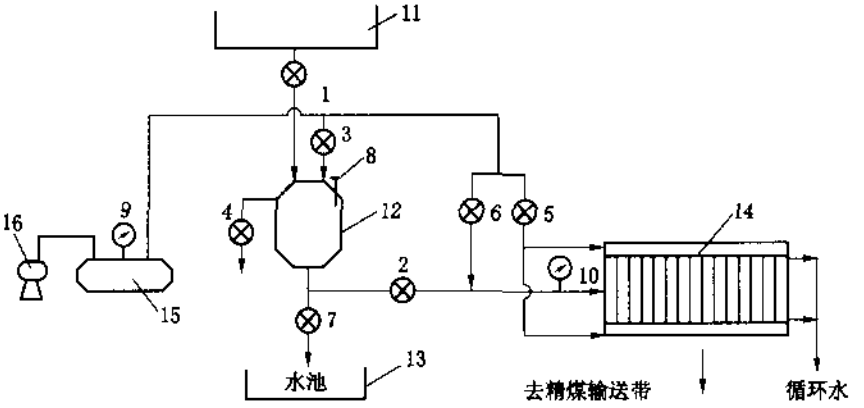


图10-4-13　快速压滤脱水工作过程原理

表10-4-1　系统阀门动作表

阀　　号	1	2	3	4	5	6
矿浆进罐	+			+		
矿浆进料过滤		+	+			
隔膜挤压					+	
吹风脱液						+
卸　料						
压紧板压紧						



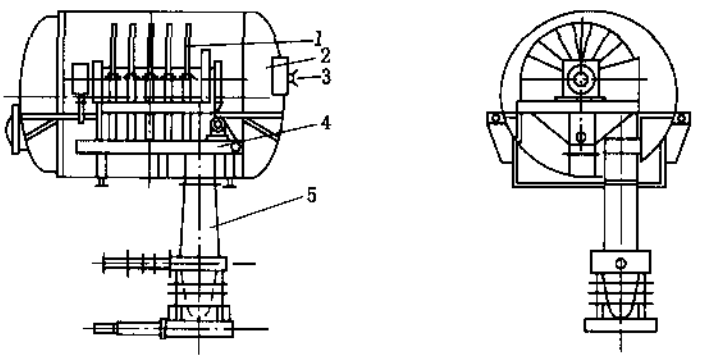
1、2、4—气动蝶阀；3、5、6—电磁截止阀；7—手动闸阀；8—料位计；9、10—压力表；11—浮选精矿槽；12—料罐；13—水池；14—精煤压滤机；15—风包；16—压风机

图 10-4-14　精煤快速压滤机脱水工艺系统示意图

表 10-4-2　快速精煤压滤机脱水效果

物料性质	入料浓度/($g \cdot L^{-1}$)	<200 网目含量/%	滤饼水分/%	生产能力/($t \cdot h^{-1}$)	滤液浓度/($g \cdot L^{-1}$)	吨煤电耗/($kW \cdot h \cdot t^{-1}$)
浮选精煤	160～250	51～87.18	22.2～24.5	8～10	<0.3	6.0

加压过滤机实际上是将类似于圆盘真空过滤机的设备装入特制的压力容器内，如图 10-4-15 所示。利用压缩空气作为过滤的推动力，在过滤介质两侧产生压差，使物料在过滤盘上形成滤饼，用瞬时吹风或刮刀把滤饼卸下。脱水后的滤饼由压力容器内的一台刮板输送机输送到密封排料仓的上仓，上仓装满后自动打开上闸板，将滤饼放入下仓，待上仓闸板关闭后，再将下仓闸板打开将滤饼排出仓外，上、下仓交替工作。滤液则通过滤液管排出机外。



1—过滤机；2—加压仓；3—电控系统；4—刮板输送机；5—密封排料装置

图 10-4-15　GPJ60.3 型加压过滤机

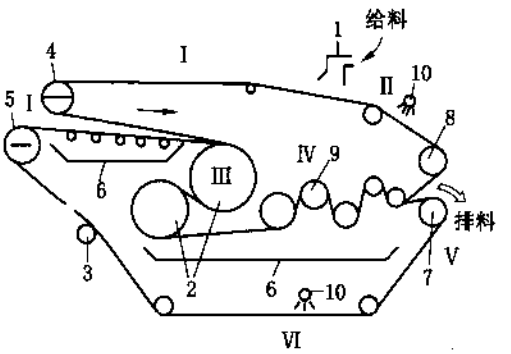
用该加压过滤机处理八一选煤厂的煤泥，入料浓度150～200g/L，<200网目的含量在60%～80%，采用的压力为0.3MPa，生产能力达40t/h，产品水分19.2%～20.98%，滤液中的固含量为4.8～6.5g/L。

4.3.3.4　带式压滤机

带式压滤机是一种连续工作的脱水设备，其结构简单，操作方便。虽然只有20多年的历史，但发展迅速。目前已被广泛的用于处理各种污泥、选煤产品、湿法冶金的残渣、管道输送的物料等，并准备用于过滤金属精矿。

1. 带式压滤机的结构

带式压滤机有各种不同的类型，但主要都是由一系列按顺序排列的、直径大小不同的辊轮、两条缠绕在这一系列辊轮上的过滤带，以及给料装置、滤布清洗装置、高速调偏装置、张紧装置等组成，其基本结构如图10－4－16所示。



1—头部给料及分配装置；2—预压力辊轮；3—托轮及调偏装置；4、5—过滤带上、下张力调节辊轮；6—滤液承受装置；7—卸饼辊轮；8—驱动辊轮及传动系统；9—压力区辊轮组（5个）；10—滤布清洗装置
Ⅰ—重力过滤脱水作业区；Ⅱ—楔形挤压区；Ⅲ—预挤压区；Ⅳ—挤压区；Ⅴ—卸饼区；Ⅵ—滤布清洗区

图10－4－16　带式压滤机结构示意图

带式压滤机的工作区间可以分为重力过滤脱水区、楔形挤压区、预挤压区、挤压区、卸料区及滤布清洗区。

2. 工作原理

带式压滤机是通过物料在两条过滤带间运行过程中，受到挤压和剪切作用，并受到重力作用使水分排出的。在脱水过程中，必须借助絮凝剂，使物料首先形成絮团，然后在压滤机挤压作用下，水分排出、絮团形成紧密的滤饼，实现固—液分离过程。

一定浓度的矿浆与预先配置的絮凝剂溶液，进行均匀混合，使固体颗粒进行絮凝。絮凝后的物料通过头部给料器均匀地分配在整个带宽上，即Ⅰ区。在该区中，物料可进行重力过滤脱水。经重力过滤脱水后的物料，进入两条过滤带之间的楔形区，并连续进入预压力辊轮和其他压力区辊轮组。在此过程中，由于压力辊轮直径不断减小，挤压力不断增加；因此，滤饼水分不断降低。滤带在辊轮中行进路线为S形，使滤饼在滤带中有一相对位移，有利于滤饼中水分的脱除。最后滤饼经过压力辊轮组后，在Ⅴ区由于滤带弯曲和滤饼的自重进行卸饼。为了提高滤带的透水能力，再次进入工作区前，用喷水进行清洗。

4.4 热力干燥

湿法选煤的显著特点是选后产品含有较高的水分，虽经机械脱水，但选后精煤的水分仍是很高。如块精煤经脱水筛脱水、末精煤经离心脱水机脱水后，其水分为8% ~10%。浮选精煤水分就更高，浮选精煤经圆盘真空过滤机脱水后，其水分仍在26% ~28%之间，有的厂甚至达到30%。

如前所述，精煤水分高，对产品的质量、产品的运输和储存都是不利的。研究表明，只有当煤的外在水分低于5% ~6%时，才没有冻结的可能。若超过这个水分，在冬季运输必须采取防冻措施。选煤厂没有设置干燥工艺之前，曾采用撒锯木屑、生石灰，车箱刷油、涂蜡和添加防冻剂等措施。

随着采煤机械化程度的不断提高，浮选精煤的比例越来越大。这部分精煤粒度细、水分高，因此，仅仅依靠湿煤防冻措施是不行的。为了保证用户对产品水分的要求，便于产品的运输和储存，必须进行进一步的脱水。

利用热能从物料中除去少量水分的操作称为干燥。在选煤厂，常用的干燥方法是以煤燃烧产生的高温烟气作为热介质，加热精煤，使精煤中水分汽化，达到降低精煤水分的目的。焦化厂所属的选煤厂常采用煤气作燃料。

干燥作业是选煤厂产品脱水作业中最后一道工序，其目的是进一步降低精煤的含水量，满足用户和运输的要求。但是，在干燥过程中要消耗大量的热能，因而，热力干燥成为一种昂贵的脱水方法，排除水量越多，热量的消耗就越大，干燥费用也就越高。因此，目前只有东北、西北、和华北等寒冷地区的选煤厂采用热力干燥。干燥期大约4 ~5个月。

干燥机是干燥脱水作业中的主要设备，物料的干燥脱水就是在干燥机中进行的。干燥机的类型很多，如按干燥介质的种类进行分类的有空气、热烟气和红外线等；以操作方法分类的有间歇的和连续的；以气体与物料运动方向不同分类的有顺流式、逆流式和复流式；按气体与物料间传热情况分类有直接传热、间接传热，也可以根据干燥机形状及物料运行情况分为膛式、管式、滚筒式、井筒式、沸腾床层式、螺旋式和振动式等。

目前，国内选煤厂所使用的干燥机有滚筒干燥机、管式干燥机和沸腾床层干燥机。

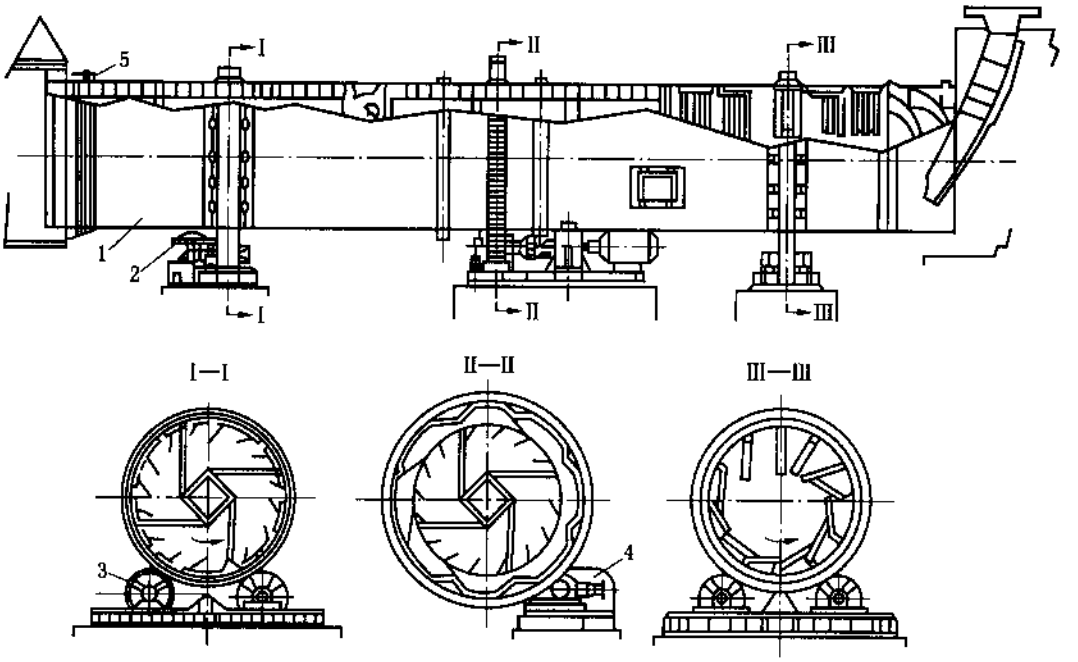
4.4.1 滚筒干燥机

滚筒干燥机是应用颇多的一种干燥机。滚筒干燥机适于处理细粒而不过分黏结的物料，既可混合干燥末精煤和浮选精煤，也可单独干燥浮选精煤。多用于干燥水分较高，0 ~13mm级中细粒含量较多的湿精煤。滚筒干燥机具有生产率高、操作方便、运行可靠、电耗低等优点。缺点是汽化强度小、钢材消耗大、干燥时间长、占地面积大。

1. 滚筒干燥机的结构

滚筒干燥机由滚筒、挡轮、托轮、传动装置和密封装置组成，滚筒干燥机的结构如图10-4-17所示。

托轮是滚筒的支撑装置，前端两个，后端两个，支撑着轮箍。托轮的作用是：①支撑滚筒，整个滚筒和滚筒内物料的质量全部压在四个托轮上，并在托轮上转动；②调整滚筒倾角，滚筒每端两个托轮在横向上可以移动，通过改变两端托轮间距离，调整滚筒倾角；③防止滚筒轴向移动，在托轮安装时，有意使两托轮轴线不平行，当滚筒在托轮上转动时



1—滚筒；2—挡轮；3—托轮；4—传动装置；5—密封装置

图10-4-17　滚筒干燥机

产生轴向推力，防止滚筒向下移动。滚筒是倾斜安装的，一般为1°～5°，为了防止滚筒沿轴向向下移动，在轮箍侧面装有挡轮。

滚筒是在传动装置带动下转动的，转速一般为2～6r/min。传动装置包括电动机、减速机、小齿轮和大齿圈。

由于滚筒干燥机是在负压下工作的，为了防止漏风，在滚筒两端与给料箱和排料箱连接部位，都装有密封装置。密封装置的形式很多，常见的有摩擦式、迷宫式及罩式三种。

滚筒是滚筒干燥机的主体，长度与直径之比一般为4～8，通常用8～14mm厚的钢板制造，外面装有两轮箍。滚筒内部装有输送松散物料的装置。以NXG型ϕ2.4×14m滚筒干燥机为例，其内部沿轴向分为6个区，各区输送和松散物料的装置不同。一区为大倾角导料板，二区为倾斜导料板，三区为活动箅条式翼板，四区为带有清扫装置的圆弧形扬料板，五区为带有清扫装置的圆弧形箅条式扬料板，六区为无扬料板区，如图10-4-18所示。

2. 干燥过程

当干燥物料进入干燥机一区时，随滚筒的转动，并借助大倾角导料板将物料迅速提起并逐渐洒落形成“料幕”，高温烟气从中穿过使物料预热并蒸发部分水分。反复数次后，移动到活动箅条式翼板上，物料又与经预热过的箅条式翼板夹杂在一起，吸收其热量，同时翼板夹带物料一同升起、洒落，并与热烟气形成传导及对流质热传递。当物料移动到带有清扫装置的圆弧形扬料板上时，链条将在上部空间接受的热量传给物料，物料随滚筒的转动被扬料板提起、洒落与热烟气进行较充分的质热传递，并将扬料板内外壁粘附的物料

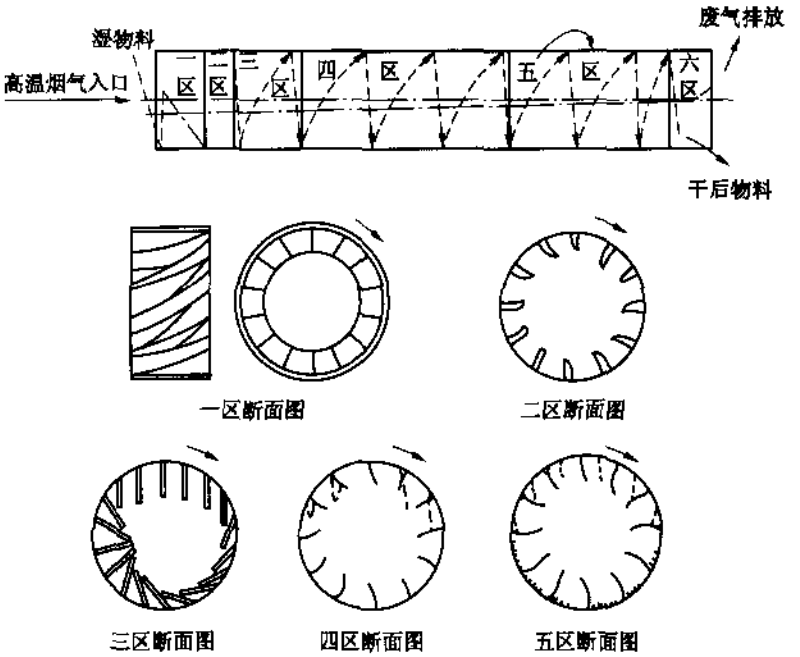


图 10-4-18 NXG 型 ϕ2.4×14m 滚筒干燥机内部结构图

清扫下来。同时，清扫装置对物料团球亦起破碎作用，大大增加了热交换面积，提高了干燥速率。当物料移动到带有清扫装置的圆弧形箅条式扬料板时，物料在干燥机内仍按四区的运动规律进行质热传递，但此区物料呈现两种状态：一种是干后呈粉状物料，随滚筒的转动并从箅条的间隙漏下；另一种是湿的团球留在扬料板圆环内，随滚筒的转动逐渐被破碎，使其中水分蒸发，最终被干燥。当物料移动到六区，已变成低水分松散状态，为减少扬尘，减轻除尘系统的负荷，在距筒体末端约 1m 左右的范围不设扬料板。干燥后物料滚动滑行到排料箱，完成整个干燥过程。

4.4.2 管式干燥机

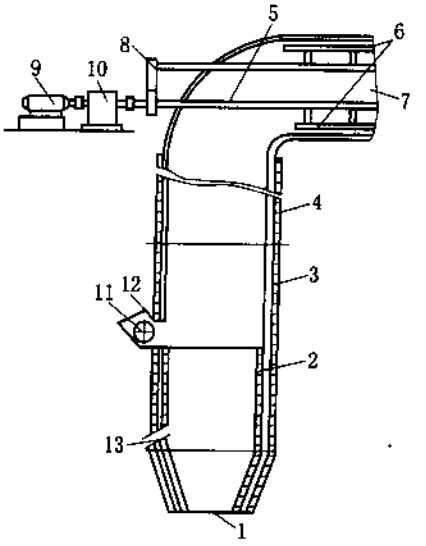
管式干燥机是利用高温高速烟气使精煤在悬浮状态下进行干燥的一种设备，尤其适于处理密度小的细粒物料，可处理 0~0.5mm 粒级含量不超过 40% 的 0~13mm 的湿精煤。

1. 管式干燥机的结构

管式干燥机包括干燥管、散煤器和清扫器三部分，如图 10-4-19 所示。

干燥管为一直立的大金属管，由钢板卷制而成，可分为若干段，借法兰盘连接或焊接，通常干燥管直径为 700~1000mm，长 15~25m。干燥管直径和长度取决于生产量和产品水分的要求。生产量越大，干燥管直径就越大；干燥后产品水分越低，其干燥管就应越长。

干燥管的结构可分为三部分，由干燥管底部到湿精煤入口处约 5~6m 为一段，热烟气由此段进入，所以管内衬耐火层，大块物料和浮选精煤团球出口在管子的底部；由湿精煤入口到上部弯管处的直管段为干燥段，为防止热量损失和烫伤工作人员，在管外表面包有石棉或其他隔热材料的保温层 4；上部弯管为一段，可改变气流方向，将干燥后精煤和



1—大块物料出口；2—耐火层；3—钢管；4—保温层；5—螺旋轴；6—螺旋叶片；
7—废气及干后物料出口；8—传动带轮；9—电动机；10—减速器；
11—散煤器；12—湿精煤入口；13—热烟气入口

图10-4-19　管式干燥机的结构图

废气送入除尘器。为防止精煤在弯管处沉积，引起燃烧和爆炸，螺旋清扫器可将沉积在弯管处的积煤送入除尘器。

2. 工作原理

管式干燥机的工作原理，是由燃烧炉产生的高温热烟气由干燥管下部给入，并在干燥管内以25～35m/s的速度由下而上流动，需干燥的湿精煤经星形给料机、散煤器均匀送入干燥管。在干燥管内，高温高速的烟气使进入干燥管的湿精煤呈悬浮状态，并沿干燥管上升。湿精煤和热烟气在上升中直接广泛地接触，传递热量，使水分汽化得到干燥，干燥后精煤、汽化的水蒸气和废气一起排出并进入除尘器。精煤在干燥管中，细粒度精煤由于质量轻，以接近烟气的速度上升；粒度较粗的精煤，由于质量较大，上升的速度小于烟气的速度，在干燥管内停留时间较长，恰好符合干燥的要求；个别大粒度颗粒和大块浮选精煤团球不能被烟气举起，落在干燥管下部溜槽中，经不透气闸门排出。产品的水分是上升的和下降的两部分物料的平均水分。为了使进入干燥机的湿精煤都能处于悬浮状态，得到干燥的物料随废气排走，要求烟气速度不能低于25～35m/s，而精煤粒度不能大于10～15mm。

4.4.3　沸腾床层干燥机

沸腾床层干燥机是一种新型的干燥设备，它适用于末精煤和浮选精煤混合干燥，该机的特点是：热效率高，小时汽化水量大，单台生产能力大，设备布置紧凑，占地面积小，操作人员少。缺点是：以精煤和油作燃料，浪费资源，不能单独干燥浮选精煤，干燥机结构复杂。

1. 沸腾床层干燥机的结构

沸腾床层干燥机的燃烧室和干燥室为一体结构，麦克纳利沸腾床层干燥机的结构如图10-4-20所示。

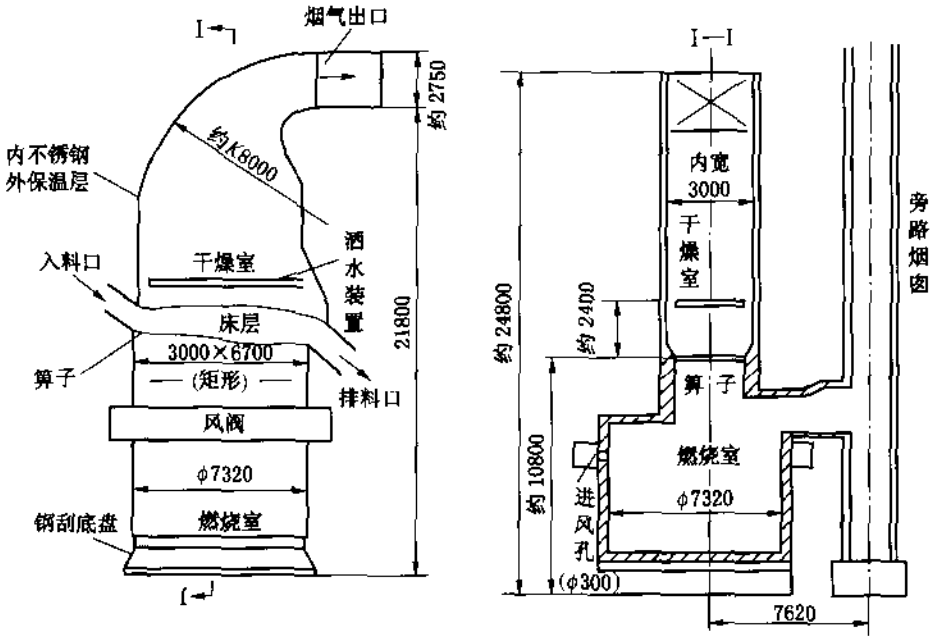


图10-4-20 麦克纳利沸腾床层干燥机结构示意图

燃烧室为一圆筒形结构，其外围用9mm不锈钢板围焊而成，内衬耐火砖砌成的耐火墙，钢板和耐火墙之间填有耐火泥。燃烧室底部铺有耐火砖和隔热耐火衬，底座为钢制底盘。燃烧室下部侧面有清理孔，中间有连接鼓风机的风圈，其上分布有进风孔，使风均匀地进入燃烧室以促进燃料充分燃烧和调节炉膛温度。

干燥室是沸腾床层干燥机的主要组成部分，干燥室的床层为一矩形平面，与燃烧室的分界处为算子，算条直径22mm，缝隙2～2.5mm在之间，开孔率为7%。算条入料端比排料端略高，其角度为2.5°。干燥室上部设有洒水装置，其作用是降温灭火。在干燥过程中，如果参数失调，床层温度突然升高，甚至引起火灾，或燃烧室温度超过530℃以上时，自控装置即动作，停车洒水降温灭火。在干燥机的一侧设置了旁路烟囱，其顶部装有盖板，用气缸控制开闭。

2. 工作原理

干燥后精煤的一小部分经粉碎机粉碎到小于50网目，与预热到80℃的空气按质量比为1∶1混合，被喷射器喷入燃烧室充分燃烧，产生的高温烟气以150m/s的速度通过算子进入干燥室。湿精煤经给料机由入料口进入干燥室后，沿算子坡度被高温高速烟气吹起呈沸腾状态（跳跃、流动），固体颗粒被高温烟气所包围，进行质热交换，由于干燥介质的蒸汽压力低于煤粒表面水分的蒸汽压力，湿精煤中水分不断汽化，转移到周围介质中，并被废气带走，从而降低了精煤的水分。经干燥后的精煤由排料口排出，废气、汽化的水蒸气和部分小于1.2mm的精煤从干燥机上部废气出口进入除尘器回收。

5　选煤厂煤泥水处理

选煤厂煤泥水处理是一个固、液分离及回收的过程。煤泥水处理同选煤厂技术经济指标和环境保护有着密切的联系。

在煤泥水系统中，开始时系统中的煤泥量不大，随着生产时间的延长，循环水中煤泥含量逐渐增大。当回收的煤泥量和产品带走的煤泥量等于入选物料中的煤泥量（包括次生煤泥）时，这一系统达到平衡；当回收的煤泥量不足时，将使某些作业效果变坏，因而不得不从系统中排出“多余”的煤泥水，造成煤泥流失、环境污染。

我国 MT/T 810—1999《选煤厂洗水闭路循环等级》规定了选煤厂洗水闭路循环的三级标准：

一级：洗水不向厂区外排放，煤泥全部室内机械回收。

二级：洗水不向厂区外排放，煤泥全部厂区机械回收。

三级：外排水符合环保要求，煤泥全部厂区回收。

5.1　煤泥水体系的主要性质及测定

5.1.1　煤泥水浓度

煤泥水的浓度是湿法选煤过程中表示煤泥和水混合物中煤泥和水（固体和液体）数量比值的一个重要参数。选煤各工艺环节的入料或产品均为不同比例的固体和液体的混合物。煤泥水处理的许多作业，如脱水、浓缩、澄清等，就本质上说就是改变入料或产品的浓度（在某些情况下浓度就是产品的水分）。在湿法选煤过程中，大多数环节都要掌握浓度的变化，作为控制和调整参数的依据；而对某些环节而言，浓度更是必须严格控制和掌握的最终指标，在选煤厂设计时，浓度也是工艺选择、设备选型、流程计算和管道校核的依据。

煤泥水的浓度作为煤泥和水混合物中煤泥和水数量比值的重要参数，和其他悬浮液浓度一样有两种表示方法：一种是单位体积悬浮液中固体体积与液体体积之比，称为体积浓度或体积稠度；另一种是单位体积悬浮液固体质量与悬浮液质量或水的质量比值，称为质量浓度或质量稠度。从理论上说，煤泥水的浓度用体积表示比用质量表示更准确些，但测定不方便，为计算和测定的方便，通常采用质量表示法。

煤泥水处理过程中，煤泥水的浓度可用不同的指标表示。常用的计算公式如下：

（1）液、固比。常用符号 R 表示，是煤泥水中液体质量 W 为固体质量 T 的倍数，即

$$R = W/T \tag{10-5-1}$$

（2）固体质量分数。常用符号 C 表示，为煤泥水中固体质量 T 占煤泥水质量 Q 的百分数，即

$$C = T/Q = T/(T+W) \tag{10-5-2}$$

（3）固体体积（容积）分数。常用符号 λ 表示，为煤泥水中固体体积与煤泥水体积

之比（以小数表示），即

$$\lambda = \frac{1}{1+\delta R} = \frac{T}{T+\delta(1-T)} \tag{10-5-3}$$

式中 δ——固体密度，t/m^3。

（4）矿浆中固体含量。常用符号 G 表示，为1L煤泥水中所含固体质量，单位为g/L，即

$$G = \frac{T\delta}{T+(1-T)\delta} \times 1000 = \frac{1000\delta}{1+\delta R} \tag{10-5-4}$$

5.1.2 煤泥水黏度

煤泥水黏度增大的一个主要原因是细颗粒所致，尤其是易泥化的矸石、矿物质等泥化解离出的各种黏土类颗粒在煤泥中积聚所致。

煤泥水黏度升高最主要的影响是造成颗粒在煤泥水中沉淀速度降低，细颗粒尤其如此；其次是造成煤泥和细粒产品的过滤、脱水等作业效果变坏以及各种产品的污染程度加大。

目前的选煤方法中重力选煤仍占主导，重力分选的原理就是根据不同密度、不同粒度和不同形状的颗粒在洗水（煤泥水）中的沉降速度不同而分成不同产品。对于作为分选介质的煤泥水来说，黏度的增加会使各粒级的沉降速度变慢，干扰沉降加剧，分选效率也随之降低，对细粒来说这种影响更为明显，有效分选下限加大，精煤产品灰分升高，尾煤产品灰分降低等。

对于需要浓缩、澄清的煤泥水，固、液分离主要就是依靠各种粒度颗粒在水中的沉降。煤泥水黏度增大将导致各种粒度煤泥的沉降减慢，细粒级沉降甚至停止，影响了固、液分离过程，降低了设备能力和分离效果。

对于需要进行各种机械脱水（如离心沉降过滤、真空过滤、压滤等）的产品，煤泥水黏度的增加将会使脱水效率降低，脱水减慢，脱水后颗粒表面附着水分增加。如果煤泥水中含有较多泥化的细泥质颗粒，它们会附着在颗粒表面或颗粒缝隙中，造成脱水产品的污染程度加大。

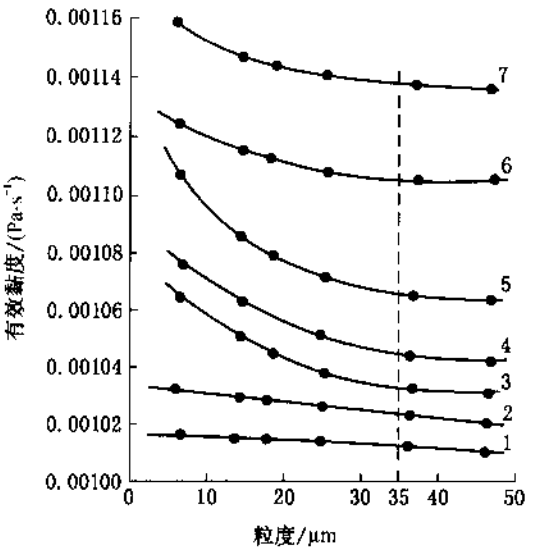
总之，对煤泥水黏度影响较大的几个因素分别是：煤泥的固体含量、煤泥的粒度组成和煤泥的灰分。为验证这几个因素对煤泥水黏度及分选效果的影响，有人采用不同密度组成、不同灰分的煤泥配成不同浓度的煤泥水，分别研究其黏度、沉降速度、分选效果等，所用的煤泥特性见表10－5－1所示。

表10－5－1 煤 泥 的 特 性

粒度/μm	43～50	30～43	20～30	16～20	12～16	<12
灰分/%	9.7	9.5	10.8	12.4	20.0	27.7

由上述粒度组成的煤泥在介质温度为20℃时制备的不同浓度煤泥水的有效黏度特性如图10－5－1所示。

图10－5－1表明，当煤泥粒度在35μm以下时黏度剧增；当煤泥的粒度增大时，煤泥水黏度实际并不增高，当煤泥水固体含量小于50g/L时，未发现黏度剧增的情况。



1—10g/L；2—25g/L；3—50g/L；4—75g/L；5—100g/L；6—150g/L；7—200g/L

图10-5-1　煤泥水黏度、固体含量（g/L）及粒度之间关系

5.1.3　煤泥水酸、碱度以及硬度的影响

煤泥水的酸碱度、硬度等对煤泥的分选和煤泥水絮凝沉降有不同的影响。这些影响总的来说十分复杂，影响过程和机理还有待进一步深入研究。

1. 煤泥水的酸、碱度及影响

煤泥水的酸、碱度是控制浮选及煤泥水处理过程的重要因素之一，它影响煤泥的表面性质，从而直接影响分选、絮凝过程和各种药剂的作用。

一般的规律是pH值对矿物颗粒或煤泥表面的电性有极大影响：当pH值大于颗粒零电点时，矿物或煤泥表面荷负电；当pH值小于颗粒零电点时，矿物或煤泥表面荷正电。矿物或煤泥表面的电性对浮选药剂、团絮药剂、絮凝药剂的表面吸附起重要作用，也对细泥在其表面的覆盖有重要影响。通常煤在等电点时浮选活性最大，pH值4～8时浮选活性较好，pH值小于4时不佳，所以各种煤在中性条件下浮选效果最好，药剂量也较稳定。

煤泥水的酸、碱度主要取决于生产过程添加水的酸、碱度，其次是生产过程中添加的各种药剂。其中有的药剂本身是强碱或强酸物质，还有的是药剂解离出不同数量的H^+或OH^-。酸、碱度除了直接对煤泥水处理产生以上影响外，还会导致设备的腐蚀以及外排出引起环境污染，还会对原煤中某些组分的溶解以及矿化度造成不同程度的影响。

2. 硬度及影响

硬度通常表示水中能生成水垢的钙、镁离子的总含量，目前硬度单位普遍采用mgN/L表示，也有采用CaO、$CaCO_3$或德国硬度表示。

选煤厂的煤泥水中通常都含有一定数量的可溶性盐类，这些无机盐类常以离子形式出现，常见有Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Fe^{2+}、HCO_3^-、Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}、SiO_2^-、Al^{3+}等。其中，Ca^{2+}和Mg^{2+}以及Na^+和K^+对浮选、絮凝、沉降影响最大。

许多厂由于洗水硬度不足，为加强絮凝和沉降效果，往往在煤泥水澄清作业时加入一

定数量的无机电解质凝聚剂（如明矾、硫酸铝等），增加煤泥水中的正离子，大量正离子能吸附到荷负电煤泥表面，降低其电荷量，减少相互间斥力，降低其稳定性，从而更容易兼并、絮凝，有利沉降。

对煤泥水澄清而言，含盐比不含盐更容易澄清。对一般煤泥水，含盐量在2g/L特别有效；而对浮选尾煤水，含盐量在6g/L时最有效，故有人主张选煤厂循环水含盐量应保持在3～6g/L的动态平衡中。

根据煤泥水的硬度不同，煤泥水的絮凝、沉降过程已形成几种不同模式：

（1）硬度大。不加凝聚剂、絮凝剂，自然出清水。

（2）硬度较小。需加凝聚剂或者絮凝剂。

（3）硬度小、杂质多。需加凝聚剂和絮凝剂。

现许多人主张在（2）和（3）中尽量加凝聚剂，不加絮凝剂，尽量多用凝聚剂（足量用药），少加絮凝剂（亏量用药），其目的也就在于提高硬度，提高矿化度。

5.1.4 煤泥水的沉降特性

煤泥水处理的一个重要内容是煤泥水的分级、浓缩和澄清作业，而它们主要的工艺和方法都是依据煤泥水中煤泥重力自然沉降来实现的，只是它们的重力自然沉降性质不同。对这些重力自然沉降式的分级、浓缩和澄清设备，要根据工艺的要求和满足工艺条件下的煤泥水沉降特性对其进行设计和计算。对于粗粒级颗粒，浓度较小时，可采用有关公式来计算其自由沉降速度或干扰沉降速度，从而确定其沉降性质。但对煤泥水中的大部分颗粒，由于粒度细、浓度高、相互影响大，用计算方法得出的沉降速度和实际相差较大，如果采用计算值作为工艺计算和设备选型的依据，将会和实际相差很大。为此，对于煤泥水的分级、浓缩和澄清作业设备的计算和选型，多是根据各自的煤泥水样所进行的沉降试验得出的沉降特性的有关参数选定的，这样能够满足现场实际要求。

另外，由于原煤性质、煤泥特性、水质、工艺等不同，各厂煤泥水性质可能相差很大，沉降特性可能相差许多倍。如前所述有的不加任何药剂浓缩机溢流可出清水，有的加许多药剂仍无济于事。沉降特性的巨大差异，使其不能像有的作业那样可按统一标准选取，只能根据各厂煤泥水实际沉降性质来选定指标。

造成煤泥水沉降特性差别的因素很多且很复杂，如上述的原料方面、水质方面、工艺和管理方面等等。因此，煤泥水沉降特性综合反映了各影响沉降的因素之间相互影响和最终效应，各厂在性质上千差万别的煤泥水最终反映的沉降特性有可能接近。煤泥水的沉降特性也综合反映了煤泥水处理的难易程度，可以说，沉降特性较好的煤泥水相对较好处理。

煤泥水的沉降特性研究主要包括两方面内容：一是测定煤泥水不加药剂的自然沉降性质，用此性质来进行煤泥水分级、浓缩作业的计算，因为往往在这些作业中根据工艺要求是不能添加药剂的；二是测定煤泥水中添加药剂（絮凝剂）后的絮凝沉降特性，用此特性来进行煤泥水澄清、浓缩作业的计算，而这些作业往往是需要添加絮凝剂的，以达到加速沉降的目的。此外，根据絮凝沉降试验还可得出特定条件的煤泥水所需的最佳絮凝剂种类、耗量及添加方式等，以达到最优化目的。总之，煤泥水沉降特性的测定为选煤厂设计、改造和生产提供依据。

5.1.5 煤泥的矿物组成

煤泥的矿物组成是指煤泥中无机矿物的种类和数量分布。如同煤泥的粒度组成和密度组成一样，煤泥是一个以多种无机物杂质和有机质煤颗粒组成的混合体。煤泥的矿物组成往往很复杂，这是由于煤本身矿物组成就很复杂，通常随煤的种类、产地、煤层分布、采选方法等不同而变化，一般资料上很少见到煤泥的矿相分析。一般来说，煤中矿物质不同程度地在煤泥中均有分布，表10－5－2列出了煤中的矿物组成。

表10－5－2　煤中的矿物组成

页岩组	伊利石、蒙脱石、漂云母、白云母、水云母
高岭土组	高岭石、准埃洛石
硫化物组	黄铁矿、白铁矿
碳酸盐组	方解石、蓝石英、白云石、铁白云石
氯化物组	天然氯化钠、天然氯化钾
次要矿物类	石英、石膏、绿泥石、金红石、赤铁矿、磁铁矿、闪锌矿、长石、石榴石、角闪石、绿帘石、黑云母、辉石、铁绿泥石、硬水铝石、纤铁矿、重晶石、蓝晶石、十字石、黄玉、电气石、叶蜡石、叶绿泥石

煤中矿物质的来源和分布特性影响煤泥的矿物组成，通常将煤中的矿物质分为以下三类。

（1）原生矿物质。原生矿物质即结构矿物质，是成煤植物本身所含的矿物，主要是碱金属或碱土金属盐类，含量为1%～2%，对煤泥或煤泥水处理影响不是很大，且机械方法也无法分离。

（2）次生矿物质。次生矿物质是成煤过程中由外界混入煤层中的高岭土、黄铁矿、方解石、石英、长石、云母等矿物，它们通常在煤中的嵌布状态为煤层中的矿物夹层、包裹体、细粒分布在煤基质中的浸染状和充填于煤裂隙中充填矿物。嵌布状态对矿物质在煤泥中分布有很大影响。

（3）外来矿物质。外来矿物质指开采过程中混入的顶、底板或夹矸，主要是碳酸盐、硅酸盐类。

次生和外来矿物质在开采、运输、分选过程中因破碎、碰撞、泥化等均会进入煤泥中，另外煤中矿物成分本身很复杂，且含量变化很大，从百分之几到万分之几十不等。这都决定了煤泥中矿物组分的复杂和多变，使得煤泥中矿物组成的分析、测定更加困难。

5.2　水力分级

5.2.1　水力分级原理

水力分级是煤泥在水流中按其沉降速度的差别分成不同粒级的过程。水力分级可以是独立作业，也可以是辅助作业或准备作业。在选煤过程中，水力分级常作为浮选前的准备作业，去除入料中的粗煤泥。有时也作为辅助作业，从煤泥水中回收粗煤泥。选煤厂粗煤泥分级时，分级粒度一般为0.3～0.5mm。

水力分级是在水平、垂直或旋转水流中进行的。煤泥在煤泥水中的沉降速度应按干扰

沉降速度公式计算。

煤粒在水中的自由沉降速度按斯托克斯公式求得

$$v_0 = 54.5x(\delta - \Delta)d^2 \qquad (10-5-5)$$

式中 v_0——煤粒在水中的自由沉降速度，cm/s；

d——煤粒的粒度，mm；

x——煤粒的形状系数，一般取 0.7；

δ——煤粒的密度，g/cm^3；

Δ——水的密度，1g/cm^3。

煤粒在煤泥水中的干扰沉降速度按下式计算：

$$v_{ST} = v_0(1-\lambda)^n \qquad (10-5-6)$$

式中 v_0——煤粒在水中的自由沉降速度，cm/s；

v_{ST}——煤粒在煤泥水中的干扰沉降速度，cm/s；

n——实验指数，一般取 $n=5\sim6$；

λ——给料煤泥水的固体容积分数（以小数表示）。

由式（10-5-5）和式（10-5-6）可知，煤泥在煤泥水中下沉的快慢取决于颗粒的密度、粒度和煤泥水的浓度。因为沉降速度和煤粒直径的平方成正比，所以煤泥的沉降速度主要取决于颗粒的尺寸。粒度大，下沉速度快；粒度小，下沉速度慢。

选煤厂煤泥水力分级大多是采用煤泥水流过宽阔的池面，在缓慢的水平水流中使粗煤泥沉降下来，细煤泥随水溢出。分级粒度的大小取决于煤泥在煤泥水中的下沉速度和煤泥水水平流速度。当沉淀面积一定时，给入的煤泥水量越多，水流速度越快，分级粒度就越粗。当给入的煤泥水量一定时，沉淀面积越大，水流速度越慢，分级粒度就越细。生产过程中分级粒度受沉淀面积和煤泥水量的影响最大。

5.2.2 水力分级设施与设备

5.2.2.1 角锥沉淀池

角锥沉淀池是用钢筋混凝土建造的上为方形、下为角锥形的池子，如图 10-5-2 所示。常在池子中间加上一段隔板，用于改变水流方向，以利于煤泥沉淀。从池子一侧给入煤泥水，另一侧流出溢流水。在角锥的底部接有排放沉淀物的管子，这段管子上还接着清水管或压缩空气管，当管子堵塞时用以疏通。为了让沉淀物顺利沉淀到锥底，锥体要有很大的坡度（65°）。池子的长度视建筑的跨度而定，一般在 5～7m。池子的数目根据所处理的煤泥水量决定，可以串联使用，也可以并联使用。串联使用时，入料端底流较粗，溢流端底流较细。

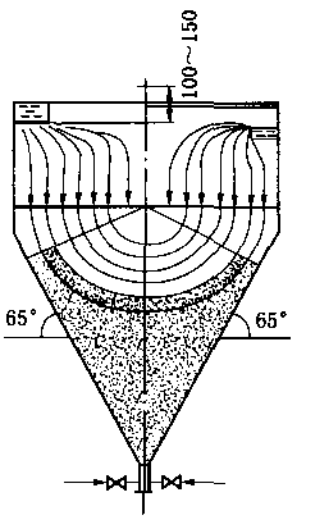


图 10-5-2 角锥沉淀池

5.2.2.2 水力旋流器

水力旋流器是利用离心力加速煤泥沉淀过程的煤泥分级装置。

1. 旋流器的构造和工作原理

旋流器的构造很简单，如图 10-5-3 所示，上部为圆柱体，下部为圆锥体。在圆柱体的中央插有溢流管，在圆锥体

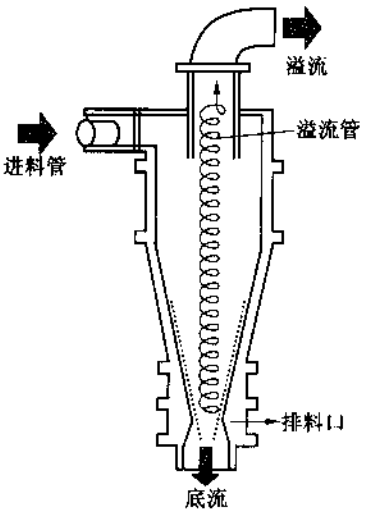


图10-5-3　水力旋流器的构造及工作原理图

的底部开有排料口，进料管与圆柱体相切连接。

煤泥水在一定压力下经进料管沿切线方向进入旋流器，在圆形筒壁的限制下作旋转运动。水流一方面旋转，一方面向下和向中心移动，一般情况下旋流器的中心有一空气柱。移向旋流器中心的水流经溢流管排出，称为溢流；沿旋流器壁向下运动的水流经排料口排出，称为底流。

旋流器内任一点水流的运动可以分解为切向、径向和轴向三个相互垂直的方向。水流中颗粒在切向和轴向的运动速度可以认为等于该处的水流速度（重力忽略不计），即随水流一同运动；在径向，如果颗粒受到的离心力大于水流的曳力，它就沿径向向旋流器壁运动进入底流，如果曳力大于离心力，颗粒进入溢流。粗颗粒所受的离心力比细颗粒大，所以粗颗粒被抛向器壁，并逐渐向下流动由底流口排出；细颗粒随向心水流经溢流管排出。对于某一确定的颗粒，受到的离心力和曳力取决于水流的切向流速和径向流速，即给料压力和给料量。

水力旋流器由于构造简单，便于制造，处理量大，没有运动部件，所以获得广泛使用（水力旋流器的生产能力和技术参数见表10-5-3和表10-5-4）。其主要缺点是动力消耗较大，高压给料时磨损严重；此外，操作较复杂，影响因素较多。所以不如重力分级设备工作稳定。

表10-5-3　水力旋流器生产能力

直　径/mm	溢流口直径/mm	生产能力/($m^3 \cdot h^{-1}$)			
		入料压力/MPa			
		0.05	0.10	0.15	0.20
250	50	15	21	26	30
250	62	19	26	32	37
300	62	25	35	43	50
300	75	30	42	52	60
500	110	50	71	87	100

表10-5-4　N（T）NX系列旋流器技术参数

型　号	600	500	350	300	250	200	150
旋流器直径/mm	600	500	350	300	250	200	150
入料浓度/($kg \cdot m^{-3}$)	150	150	120	120	100	80	80
入料粒度/mm	3~0	3~0	1~0	1~0	0.5~0	0.5~0	0.5~0
入料压力/MPa	0.1~0.2						
生产能力/($m^3 \cdot h^{-1}$)	120~180		60~120	50~80	30~60	20~40	10~30
分级粒度/mm	0.1	0.1	0.08	0.06	0.06	0.05	0.03

2. 旋流器的操作调整

影响水力旋流器工作效果的因素主要有结构参数和操作参数。

经验表明，旋流器主要结构参数（圆柱直径和圆锥锥角、溢流管直径及插入深度、给料口和底流口直径等）之间要符合一定比例，工艺效果才好，而且用于分级的旋流器直径越大，分级粒度越大，分级精度越差。另外，制造工艺也有影响，如内表面的光滑程度。

操作参数包括给料压力、粒度组成、给料浓度及溢流和底流的排放方式。

给料压力是影响旋流器生产能力的重要参数，并在较小程度上影响分级粒度。提高给料压力，煤泥水流速增大，分级效果可以得到改善，底流浓度也会提高，但底流口磨损大，动力消耗大。旋流器的入料压力通常取0.05～0.3MPa。

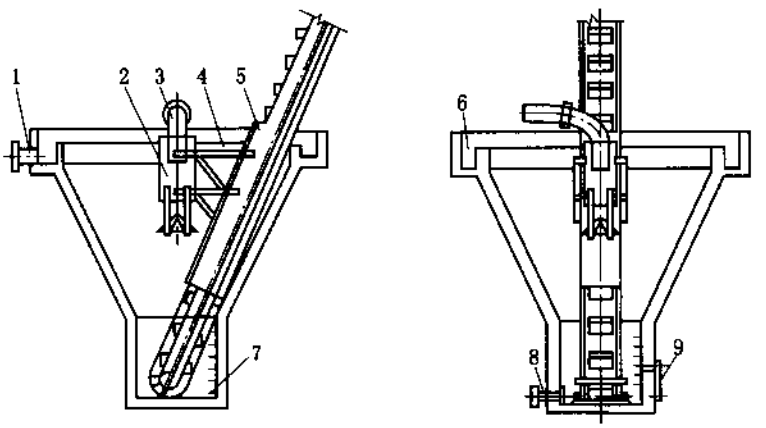
给料粒度组成和给料浓度对分级效率和产物浓度有重要影响。分级粒度愈细，给料浓度应愈低。给料浓度一般应控制在25%以下，低浓度能获得较好的分级效果。处理微细原料时，应采用较高给料压力或多台小直径旋流器并联工作。

正常工作的旋流器，底流呈伞状旋转排出，在旋流器轴线有一个中心空气柱。空气柱在向上流动的同时带动内层煤泥水向溢流管排出，有利于提高分级效率。如果底流口开得过小，底流呈柱状甚至间断排出，破坏了空气柱的正常形状，旋流器内液流不正常，这时将会有大量粗粒进入溢流，分级精度显著降低；因此，旋流器的给料压力、给料量和给料浓度应力求稳定。

旋流器在使用过程中易被磨损，应及时更换磨损部件。

5.2.2.3 斗子捞坑

捞坑是用混凝土或砖石建成的角锥形（或圆锥形）池子。池子装有脱水斗式提升机，如图10－5－4所示。将含有末精煤或粗煤泥的煤泥水注入坑中，下沉的精煤或粗煤泥被斗式提升机提出水面，带有细粒煤泥的煤泥水由坑边溢出。通常捞坑上部为5～7m的方形，锥壁斜度约60°，池底为2～3.5m矩形。



1—溢流管；2—稳流套筒；3—入料管；4—支架；5—脱水斗式提升机；6—溢流槽；7—爬梯；8—事故放水管；9—检修孔

图10－5－4 斗子捞坑

5.2.3　水力分级设备的工作指标和影响因素

1. 生产能力

斗子捞坑和角锥沉淀池单位面积的生产能力可从表10－5－5经验数据中选取。

表10－5－5　煤泥分级设备单位面积生产能力

设备名称	入　料	生　产　能　力		分级粒度/mm
		煤泥水/($m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)	干煤泥/($t \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)	
精煤斗子捞坑	精煤筛下水	15～20	—	0.2
煤泥斗子捞坑	煤泥水	13～15	0.5～0.8	0.2
角锥沉淀池	煤泥水	15～12	—	0.2

所需沉淀面积：

$$F=\frac{K}{q}\left(W+\frac{Q}{\delta}\right) \tag{10－5－7}$$

式中　F——所需的沉淀面积，m^2；

K——不均衡系数，取1.25；

Q——进入设备的干煤泥量，t/h；

W——进入设备的水量，m^3/h；

δ——煤泥的密度，t/m^3；

q——单位面积的生产能力，$m^3/(m^2 \cdot h)$。

2. 影响因素

捞坑和角锥池的工作指标除与入料量有关外，还与以下因素有关。

（1）入料方式（图10－5－5）。在单位面积处理量相同的情况下，设有缓冲套筒的中间入料、四周溢流（图10－5－5c）的捞坑，因延长了煤泥的流线，稳定了沉淀区的水流，从而提高了煤泥的分级效果，煤粒正好沉积在斗子里，能及时捞出，避免其在捞坑中淤积；一边入料、三边溢流（图10－5－5b）的捞坑，使煤粒沉积在入料端，不能被斗子及时捞出，另外部分溢流短路，降低了分级效率；一边入料、一边溢流（图10－5－5a）的捞坑，避免了溢流短路，改善了分级效果。

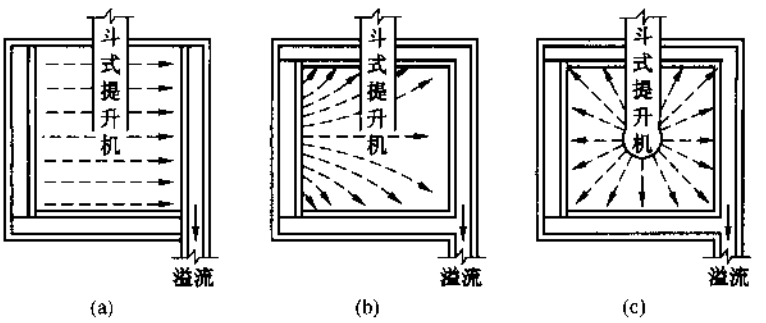


图10－5－5　斗子捞坑入料方式图

（2）排料方式。角锥沉淀池需设专职人员排放底流，而且各池连续排放，人工操作麻烦。往往排放不及时造成溢流跑粗，排放过多又会降低分级粒度；因此角锥池的分级粒度不易控制。

（3）内壁光滑程度。精煤斗子捞坑生产能力大的原因是粗煤泥与末精煤颗粒混合沉降，很容易沿捞坑壁下滑，被斗子及时排出，不像角锥池和煤泥捞坑那样容易沿池壁“挂蜡”，影响沉淀物及时排放。一些选煤厂在角锥池和捞坑内壁铺设瓷砖，四角做成圆弧状，加快沉淀物下滑速度，提高了分级效率。

（4）溢流堰平整情况。溢流周边不平或部分堆积煤泥，会使局部沉淀面积水流不通而成为死区，以致减少了分级设备的工作面积，降低了分级效率，所以溢流堰应修平，并经常清理淤泥。

5.2.4 水力分级设备工艺效果评定指标及方法

水力分级设备和筛分设备分级不同之处在于筛分是用筛孔大小来控制分级粒度的，而水力分级是通过调整煤泥水在沉淀设备中的停留时间来控制分级粒度的。水力分级和筛分分级效率一样，同时考虑产物中合格粒度的含量和非合格粒度的含量。如将煤泥水分成底流和溢流两个产品，则底流中大于分级粒度和溢流中小于分级粒度的粒度为合格粒度，而底流中小于分级粒度和溢流中大于分级粒度的粒度称为混杂的非合格粒度。

我国煤炭行业标准 MT/T 738—1997《选煤厂水力分级设备工艺效果评定方法》规定，工艺效果评定指标共三项：分级效率、平均分配误差和通过粒度，适用于斗子捞坑、角锥沉淀池、倾斜板沉淀槽、水力旋流器等设备（设施）。

1. 分级效率

分级效率按式（10－5－8）计算：

$$\eta = E_c + E_f - 100 \tag{10-5-8}$$

$$E_c = \frac{r_u \times u_c}{F_{c,r}} \times 100 \tag{10-5-9}$$

$$E_f = \frac{100F_{f,r} - r_u \times u_f}{F_{f,r}} \tag{10-5-10}$$

式中 η——分级效率，%；

E_c——粗粒物正配效率，%；

E_f——细粒物正配效率，%；

r_u——底流产物产率，%；

u_c——底流产物中粗粒物含量（占本级），%；

$F_{c,r}$——计算入料中粗粒物含量，%；

$F_{f,r}$——计算入料中细粒物含量，%；

u_f——底流产物中细粒物含量（占本级），%。

2. 平均分配误差

平均分配误差按式（10－5－11）计算：

$$PE_m = \frac{PE_n + PE_l}{2} \tag{10-5-11}$$

$$PE_n = \frac{S_{75}}{S_p} \tag{10-5-12}$$

$$PE_L = \frac{S_p}{S_{25}} \tag{10-5-13}$$

式中　PE_m——平均分配误差；

PE_n——上分配误差；

PE_L——下分配误差；

S_{75}——分配曲线上对应于分配率为75%的粒度值；

S_p——分配曲线上对应于分配率为50%的粒度值；

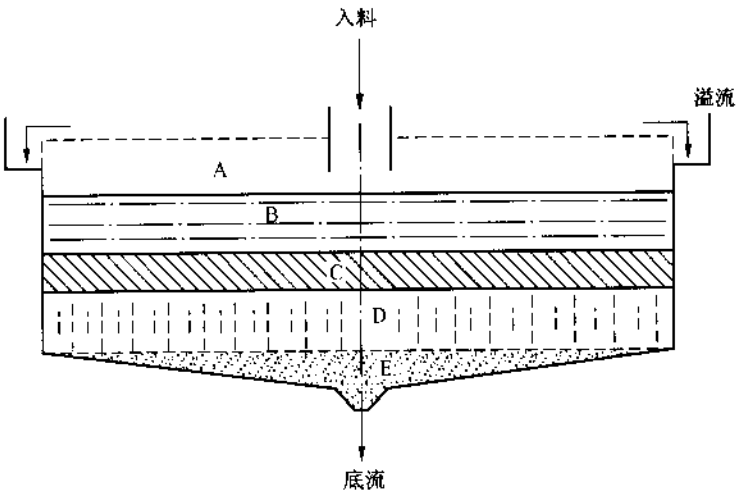
S_{25}——分配曲线上对应于分配率为25%的粒度值。

通过粒度d_{95}是用以检查分级作业的实际分级粒度，其确定方法是以溢流物中95%的量通过标准筛孔的大小来表示，单位为mm。

5.3　浓缩澄清

5.3.1　工作原理

浓缩澄清是一个固、液分离过程。图10-5-6表示在连续生产的浓缩机中的浓缩过程。需要浓缩的煤泥水送入圆筒形容器中央的自由沉降区B，下面是过渡区C，再下面是压缩区D，底层为耙子运动的锥形表面区E。在B区上面是澄清区A，澄清水流入环形槽中，作为溢流（循环水）排出。



A—澄清区；B—自由沉降区；C—过渡区；D—压缩区；E—锥形表面区

图10-5-6　耙式浓缩机的浓缩过程

对于一定的入料，浓缩机溢流的澄清度和底流的浓度与它在浓缩机中停留的时间有关，显然，入料停留的时间越长，溢流越清，底流越浓。

选煤厂的浓缩作业具有煤泥浓缩和洗水澄清两种作用，以得到稠煤浆，回收煤泥，澄清水循环使用。当然，随着浓缩设备在工艺流程中的位置不同，在操作控制上有所差别。如：尾煤及原煤煤泥水的浓缩，其溢流作循环水，底流去过滤或压滤，要求溢流浓度愈低愈好，底流浓度愈高愈好；而对底流去浮选的煤泥浓缩，则要求溢流的浓度愈低愈好，底

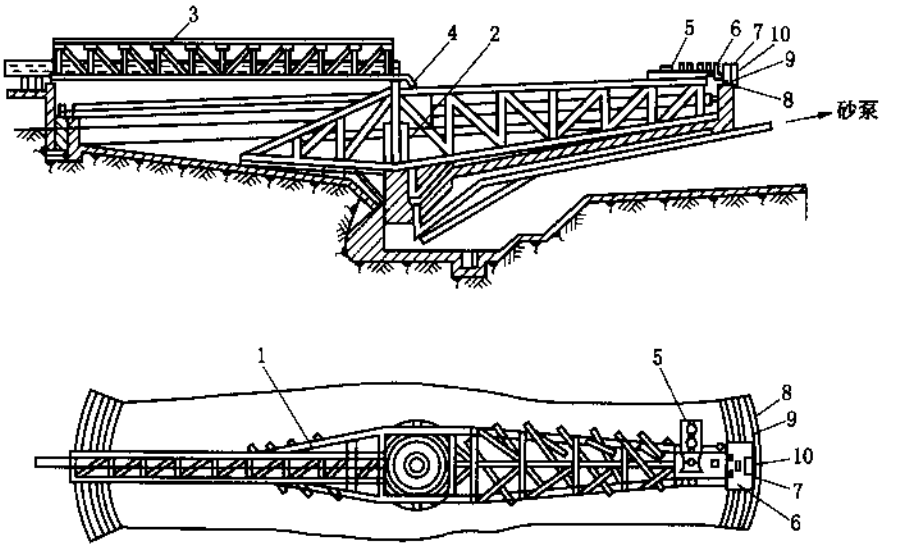
流的浓度符合浮选入料要求即可。在一般工作条件下，浓缩机入料中煤泥粒度应小于0.5mm，溢流中煤泥粒度应小于0.05～0.1mm。

5.3.2 浓缩澄清设施与设备

5.3.2.1 耙式浓缩机

耙式浓缩机是选煤厂广泛使用的澄清浓缩设备。它由一个上为圆筒形、下为圆锥形（坡度一般为6°～9°）的池子和一个将沉淀物收集到底流口的运输耙组成。

除小型浓缩机池体用铁板焊制外，一般都用钢筋混凝土建造。小型浓缩机为中央传动，大型为周边传动。图10－5－7是周边齿条传动的耙式浓缩机。支架4固定在钢筋混凝土支柱2上，耙架1的一端与支架固定，另一端与传动架6相连接，并通过传动机构上的辊轮7支撑在轨道8上，轨道和齿条9装在池体的边缘上。电动机5经减速装置使传动齿轮10沿齿条绕池体回转，从而带动耙架作圆周运动。物料由进料槽3通过支架流入浓缩池，在向周边流动的过程中，煤泥逐渐下沉。稠煤浆聚集在池底，用砂泵从底流口排出，作为浓缩产物。池面的澄清水自溢流槽流走，作为循环水。



1—耙架；2—钢筋混凝土支柱；3—进料槽；4—支架；5—电动机；
6—传动架；7—辊轮；8—轨道；9—齿条；10—传动齿轮

图10－5－7 周边传动耙式浓缩机

耙式浓缩机还有周边辊轮传动的，其结构与周边齿条传动式相似。不过这种浓缩机没有齿条，电动机直接带动辊轮在轨道上运行使耙架转动。齿条传动不会打滑，所以比辊轮传动工作可靠。为了防止耙架阻力增大时发生事故，通常使用热继电器保护电动机。近来有些耙式浓缩机把铁辊轮改为橡胶辊轮，直接放在混凝土池体边缘上滚动，取消了轨道，橡胶轮与混凝土之间不易打滑，工作可靠。表10－5－6为耙式浓缩机的技术规格。

5.3.2.2 高效浓缩机

高效浓缩机与普通耙式浓缩机的主要区别在于入料方式不同。普通浓缩机的入料方式

表 10－5－6　耙式浓缩机的技术特征

型　号	NG－15	NG－18	NG－24	NG－30	NT－15	NT－18	NT－24	NT－30
内径/m	15	18	24	30	15	18	24	30
深度/m	3.7	3.708	3.7	3.97	3.7	3.708	3.7	3.97
沉淀面积/m^2	176	225	452	707	176	255	452	707
生产能力/($t \cdot h^{-1}$)	3.6～16.5	5.29～23.3	9.4～41.6	65.4	3.7～16.25	5.29～23.3	9.4～41.6	65.4
电动机功率/kW	5.5	5.5	7.5	7.5	5.5	5.5	7.5	7.5
机器总重/t	10.32	11.54	23.171	25.870	14.166	20.250	28.136	30.986

注：1. NG—周边辊轮传动浓缩机。

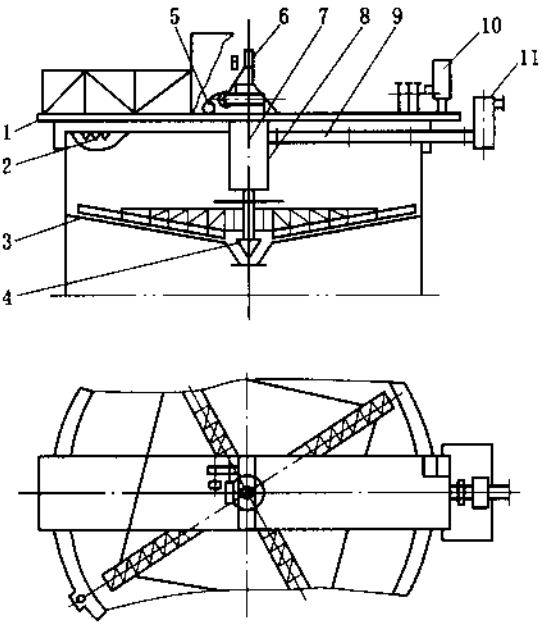
2. NT—周边齿条传动浓缩机。

是煤泥水从池中心直接给入，由于水流速度很大，煤泥不能充分沉淀，部分沉淀的煤泥层会受到液流的冲击而遭到破坏。高效浓缩机入料方式是煤泥水直接给到浓缩机布料筒液面下一定深处，当煤泥水由布料筒流出时，成辐射状水平流，流速变缓，有助于煤泥颗粒沉降，提高了沉降效果。另外，煤泥水由布料筒底部流出，缩短了煤泥沉降至池底的距离，增加了煤泥上浮进入溢流的阻力，从而使大部分煤泥进入池底。在相同的条件下，高效浓缩机的生产能力比普通浓缩机的生产能力约提高三倍。

GXN－18 高效浓缩机用于浮选尾煤水的浓缩、澄清，其结构示意图如图 10－5－8 所示。煤泥水经消泡器消泡后进入静态混合器，与絮凝剂充分混合均匀形成絮凝状态，由中心给料筒减速给入浓缩池的下部，经折射板沿水平缓缓向四周扩散。絮凝后的煤泥在水中形成大而密实的絮团，快速、短距离沉降并形成连续而又稳定致密的絮团过滤层，未絮凝的颗粒在随水流上升过程中受到絮团过滤层的阻滞作用，最终随絮团层的沉降进入浓缩机下部的压缩区，因而形成高效浓缩机的澄清区和压缩区，达到煤泥水絮凝浓缩与澄清的目的。表 10－5－7 为高效浓缩机的技术参数。

表 10－5－7　高效浓缩机的技术参数

型　号		GXN－6	GXN－9	GXN－12	GXN－15	GXN－18	GXN－21	GXN－24
浓缩池直径/m		6	9	12	15	18	21	24
沉淀面积/m^2		28.3	63.6	113	176	255	346	452
生产能力/($t \cdot h^{-1}$)		4～7.5	8～16	15～25	20～30	25～50	40～60	50～80
耙子转速/($r \cdot min^{-1}$)		0.3	0.25	0.2	0.152	0.152	0.1	0.12
提耙高度/mm		400			500			
传动电机	功率/kW	2.2		3		5.5		7.5
	转速/($r \cdot min^{-1}$)	1500						
提耙电机	功率/kW	0.75		1.5		2.2		3
	转速/($r \cdot min^{-1}$)	1500						
整机质量/kg						22712		



1—桥架；2—溢流堰；3—耙子；4—漏斗；5—传动装置；6—提耙机构；7—主轴组件；8—中心给料筒；9—静态混合器；10—给药箱；11—消泡器

图 10-5-8 GXN-18 高效浓缩机结构示意图

5.3.2.3 沉淀塔

沉淀塔像一个大型漏斗（图 10-5-9），直径为 10~12m，用钢筋混凝土建造，单独设在厂房外面。沉淀塔高约 25m，溢流水与选煤机之间保持 10m 左右落差。

煤泥水给到沉淀塔的中央，水向周边流，煤泥向下沉。下沉的煤泥顺锥壁滑向锥底，经闸门排出，去浮选或脱水。溢流经溢流槽流走，作循环水。沉淀塔的优点是不需专人看管，不用动力，但其建筑费用较高，而且尺寸不能过大。沉淀塔一般用于中、小型选煤厂。

5.3.2.4 深锥浓缩机

深锥浓缩机为上部圆筒形、下部圆锥形的机体，其锥体较深。深锥浓缩机的工作原理如图 10-5-10 所示，在添加絮凝剂的条件下，浮选尾煤送入下部带锥形分配口的入料筒。煤泥水中的大部分水在浓缩机圆筒部分的澄清区内流向周边溢出，小部分在絮团沉降区内形成小涡流。在机体的圆锥部分即压缩区内，沉淀物在重力作用下进行压缩，由底流口放出或用泵抽出。深锥浓缩机直径为 6~10m，圆筒部分高为 6~7m，圆锥部分高为 7~8m。

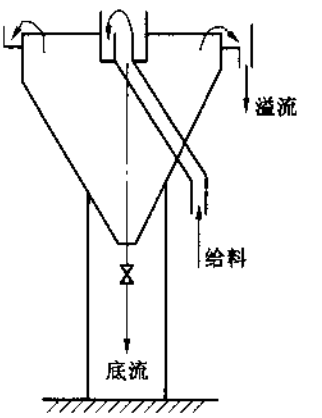


图 10-5-9 沉淀塔示意图

深锥浓缩机锥体较深，沉淀物在锥体底部承受大的重力压缩作用，使底流的固体含量很高。根据尾煤特性和底流排料量的不同，底流固体含量在 200~800g/L 之间。如对絮凝

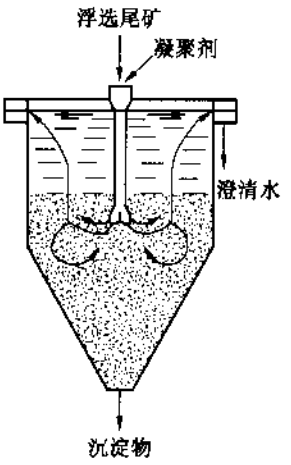


图10-5-10　深锥浓缩机工作原理图

后的沉淀物施加轻微搅拌，其压缩程度会更高，所以有的深锥浓缩机在锥体部分装有搅拌装置，以利于沉淀物继续脱水。

5.3.2.5　煤泥沉淀池

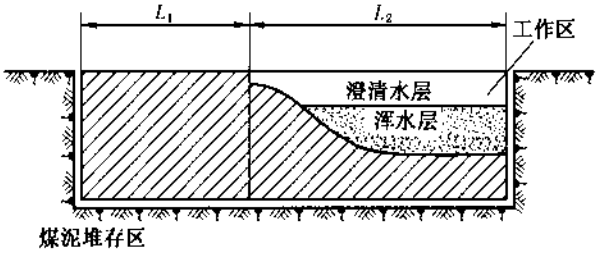
目前，多数选煤厂尚不能将煤泥全部在厂内回收，有一部分煤泥水要送到室外煤泥沉淀池作最后沉淀，以回收煤泥或浮选尾煤，有时也把煤泥沉淀池作为事故排放池。

煤泥沉淀池是矩形的池子，用块石或砖和水泥建造。长宽尺寸根据需要和地形而定，深度多为2~4m。煤泥沉淀池是间歇工作的，可并联或串联使用。它分三个阶段循环作业：

（1）工作阶段。煤泥水连续从池首进入，从池尾排出。水中煤泥借重力作用不断沉降堆积，先在池子前端堆积，待煤泥堆到与水面大致相平，就渐渐由池首向池尾推移，到达设计预定的距离L_1（图10-5-11）时，工作阶段结束，停止进水。

（2）静止沉淀阶段。池内工作区的水在本阶段先静止沉淀12h以上，水中细粒煤泥沉淀后，池子上部的清水由排水井徐徐排出。

（3）清理煤泥阶段。借助煤泥清理设备（有时用人力），将池中煤泥全部挖出运到煤泥堆放场，进一步晾干，以便装车外运。



L_1—设计预定距离；L_2—沉淀区域距离

图10-5-11　煤泥沉淀池示意图

以上是单个池子或几个池子并联工作的情况。在串联工作的沉淀池中，煤泥堆满到距池首L_1时，继续进水进行预沉，而澄清水引入另一个已挖完煤泥的池中再进行沉淀。

煤泥池的合理使用和正确管理很重要，挖掘不及时或水沟堵塞会造成煤泥水大量流失。为了合理使用煤泥池，可根据池子数目及工作、沉淀和清理等项作业所需要的时间，把池子分成几个组，订出循环作业表。表10-5-8所示为4个煤泥池循环作业表。

表10-5-8　煤泥池循环作业表

时　间/d	1　号　池	2　号　池	3　号　池	4　号　池
1~3	工作	工作	沉淀	清理
4~6	工作	沉淀	清理	工作

表 10-5-8（续）

时 间/d	1 号 池	2 号 池	3 号 池	4 号 池
7~9	沉淀	清理	工作	工作
10~12	清理	工作	工作	沉淀
13~15	工作	工作	沉淀	清理

为了节省选煤厂的用水量，并避免煤泥水污染河流，可设集水池，用水泵将沉淀池的溢流水送回厂内再使用。

5.3.3 澄清浓缩设备的工作指标和影响因素

1. 生产能力

沉淀塔和耙式浓缩机的单位面积生产能力 q，可根据煤泥水的沉降试验求得，也可从表 10-5-9 经验数据中选取。使用絮凝剂时，q 值可根据使用絮凝剂后煤泥水的沉降试验来确定。所需沉淀面积为

$$F=\frac{Q(R_1-R_2)K}{q\psi} \tag{10-5-14}$$

式中 F——需要的沉淀面积，m^2；

Q——进入设备的干煤泥量，t/h；

R_1——给料煤泥水的液、固比；

R_2——浓缩产品的液、固比；

K——不均衡系数；

ψ——沉淀面积的利用系数，一般为 0.9~0.95；

q——单位面积的生产能力，即理论分级粒度的沉淀速度值，$m^3/(m^2\cdot h)$。

表 10-5-9 沉淀塔和耙式浓缩机单位面积生产能力

设备名称	入 料	生 产 能 力		理论分级粒度/mm
		按煤泥水计/$(m^3\cdot m^{-2}\cdot h^{-1})$	按干煤泥计/$(t\cdot m^{-2}\cdot h^{-1})$	
浓缩机	煤泥水	2.0~3.5	0.4~0.7	0.06~0.08
沉淀塔	煤泥水	5~8	0.5~1.6	0.09~0.12

2. 影响因素

重力澄清浓缩设备的工作效果除与入料浓度、粒度有关外，还与操作因素有关。要降低入料流速和冲击力，让煤泥水进入沉淀设备后，能平稳地向溢流方向流动，提高沉淀面积的利用系数。稳定底流排料量，均衡排料。底部流态和浓度比较稳定，溢流量也就随之稳定。若间断排放底流，则底部流态和浓度均有变化，溢流量也时有波动。浮选尾煤浓缩时，由于尾煤中含有残存的浮选药剂，进入耙式浓缩机后形成一些泡沫，其表面带有少量的细粒矿泥，被溢流水带走会污染澄清水。在浓缩机上安设洒水消泡装置消泡，使细粒矿泥沉淀，或者将一条能浮起的弯管（例如中空橡胶管）用绳子缚在一个耙架上，耙架旋转时带动浮管将泡沫推向溢流堰，在溢流出口装设喷水嘴，使泡沫破裂而随溢流排出。溢

流堰应保持同一水平，淤泥应及时清理，以便有效地利用设备的沉淀面积。

5.3.4 浓缩设备工艺效果评定指标及方法

浓缩作业要求将煤泥水中的煤泥尽可能多地沉降下来，溢流中只含有一些来不及沉下去的细颗粒。因此，底流中的固体回收率越高越好，溢流中的水回收率也越高越好，但不同浓缩作业有时还有特殊要求。

按煤炭工业技术标准 MT/Z 6—1997 规定，采用浓缩效率 η_n 作为综合评定浓缩作业的指标，将底流固体回收率 ε_d 作为浓缩作业工艺效果的辅助评定指标。

1. 浓缩效率

$$\eta_n = \frac{(a-b)(c-a)100}{a(c-b)(100-a)} \times 100\% \qquad (10-5-15)$$

式中 a、b、c——入料、溢流、底流的质量浓度，%。

浓缩效率的含义：指由于浓缩作用使底流中增加的固体物数量占入料中固体物数量的百分率，按下式计算：

$$\eta_n = \frac{T_0}{T_r} \times 100\% \qquad (10-5-16)$$

式中 T_0——由于浓缩作用而进入底流的固体物增量；

T_r——入料中固体物数量。

2. 底流固体回收率

$$\varepsilon_d = \frac{c(a-b)}{a(c-b)} \times 100\% \qquad (10-5-17)$$

式中 a、b、c——入料、溢流、底流的质量浓度，%。

底流固体回收率 ε_d 的含义：表示经底流回收的固体数量占入料固体数量的百分率，即

$$\varepsilon_d = \frac{T_d}{T_r} \times 100\% \qquad (10-5-18)$$

式中 T_d——底流回收的固体数量。

从浓缩设备的工艺性质可知，从溢流角度而言，回收的水量越多，溢流浓度降低越多，则 η_n 值越高，浓缩效率越好；从底流角度而言，底流中固体回收率越大，底流中水量排出率越低，则 η_n 值越高。

有必要指出的是，底流去浮选的煤泥浓缩设备效率一般较低，不太符合一般浓缩作业效率的范围，这似乎是上式的不足；但实际上这种设备工作情况就是如此，尤其是在浓缩底流大排放的操作条件下，浓缩产品中固、液的组分相混杂程度很高。因此，效率普遍低是符合实际情况的，一样具有可比性。

底流固体回收率 ε_d 表示从底流中回收的固体值。这一指标虽然反映浓缩作业的主要性能，但不能直接表现溢流水量及其实质，如当大量排放底流时，其值就会很高，但这不一定符合作业总要求。例如，将入料全部从底流排出时（实际未起浓缩作用），ε_d 会达到 100%，显然这是不合理的。因此，不能单以 ε_d 作为浓缩效率评定指标，只有当底流浓度适当时，ε_d 值较大才为好，因为这表明回收的煤泥量较多，这时作为评价浓缩作业好坏的指标是合理的，所以应采用 ε_d 值配合浓缩效率 η_n 来综合评定浓缩设备的工艺效果。

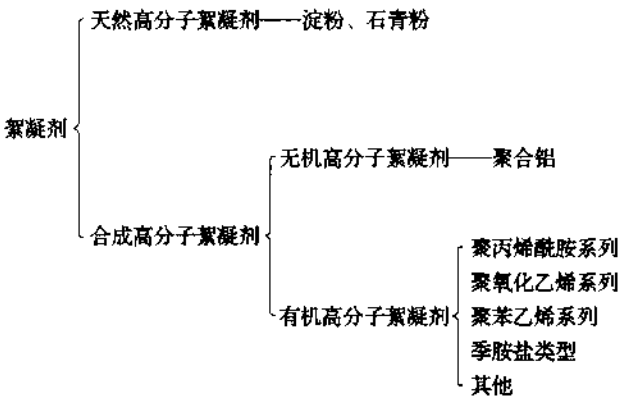
5.4 煤泥絮凝

絮凝是指液体中分散的细颗粒聚成较大絮团的过程，起絮凝作用的物质叫做絮凝剂。絮凝作用是絮凝剂分子长链上活性基团与很多颗粒表面吸附，从而使颗粒迅速地聚集成絮团。絮凝剂在选煤厂的主要用途有：加速微细颗粒煤泥在煤泥水中的沉降过程，提高澄清浓缩设备固、液分离效率；作为助滤剂提高过滤设备的工作指标；深锥浓缩机、高效浓缩机等新型设备，必须与适当的絮凝剂配合使用才能正常工作。

1. 絮凝剂的种类和作用

絮凝剂的种类很多，可以简单分类如下：

- 絮凝剂
  - 天然高分子絮凝剂——淀粉、石青粉
  - 合成高分子絮凝剂
    - 无机高分子絮凝剂——聚合铝
    - 有机高分子絮凝剂
      - 聚丙烯酰胺系列
      - 聚氧化乙烯系列
      - 聚苯乙烯系列
      - 季胺盐类型
      - 其他



在所有合成有机高分子絮凝剂系列内，又可根据分子量高低分成高、中、低三类，根据活性基团带电荷符号分成阳离子型、阴离子型和非离子型三类。迄今应用最广泛的是聚丙烯酰胺系列絮凝剂。

聚丙烯酰胺是一种非离子聚合物（PAM），为长链状分子。其化学式为：

$$\left[\begin{array}{l} -CH_2-CH- \\ \qquad\quad | \\ \qquad\quad C{=}O \\ \qquad\quad | \\ \qquad\quad NH_2 \end{array}\right]_n$$

，分子量在300万～1500万之间。

聚丙烯酰胺通过水解反应取代酰胺基，可以得到部分水解体的聚丙烯酰胺（PHP），如：

$$\left[\begin{array}{l} -CH_2-CH- \\ \qquad\quad | \\ \qquad\quad C{=}O \\ \qquad\quad | \\ \qquad\quad NH_2 \end{array}\right]_m \quad \left[\begin{array}{l} -CH_2-CH- \\ \qquad\quad | \\ \qquad\quad C{=}O \\ \qquad\quad | \\ \qquad\quad O-Na \end{array}\right]_m$$

。部分水解体的聚丙烯酰胺为阴离子型，在水中形成羧酸阴离子。选煤厂通常使用水解度为20%～40%的阴离子型聚丙烯酰胺产品。市场上的聚丙烯酰胺絮凝剂掺有辅助成分，常见的有含7%～10%有效成分的胶状体和有效成分占90%以上的粉状体。

由于煤泥水体系和絮凝剂作用过程都十分复杂，目前还无法根据煤泥水体系各参数和絮凝剂性能指标来预计絮凝行为，所以絮凝剂的选择只能逐个试验。试验条件尽可能接近将来应用的条件，从中挑选出最佳絮凝剂品种和用量。

2. 絮凝剂的配制、储存和使用

（1）絮凝剂水溶液的配制。

为了充分发挥絮凝剂的作用，使用的絮凝剂水溶液浓度一般低于1%，絮凝剂的最佳工作浓度可以通过试验确定。

絮凝剂产品不同，溶解方法也不同，但都要注意让絮凝剂充分溶解，同时要避免过度搅拌引起絮凝剂分子降解。可以取样检查，当溶液中没有鱼眼状未溶解胶块时（为观察清楚，可以在溶液中滴几滴带颜色的水），就认为全部溶解。

胶状体聚丙烯酰胺比较易溶，将胶状体适当弄碎，放入水中搅拌，即可溶解。粉状体聚丙烯酰胺溶解时，一定要让每个颗粒进入水中时都立刻被水包围。因为聚丙烯酰胺遇水立刻溶胀，如几个颗粒聚在一起落入水中，表层溶胀后颗粒不易再分开，造成絮凝剂溶解不完全。

（2）聚丙烯酰胺水溶液的储存。

聚丙烯酰胺水溶液容易变质，所以需要现用现配，使用新鲜溶液。

（3）絮凝剂与煤泥水的混合。

为使絮凝完全，必须使絮凝剂在煤泥水中充分分散，但过分搅拌又会使絮团受到破坏，絮团变小，降低絮凝沉降效果；因此，掌握好絮凝剂和煤泥水混合的条件、加药点和加药量，十分重要。

如果絮凝剂和凝聚剂配合使用，或和其他药剂配合使用，其配制设备和运送管路不能共用，两种药剂和加药点也要相隔一定距离。

3. 影响絮凝剂使用效果的因素

（1）煤泥水硬度。煤泥水中的钙、镁离子含量低时，絮凝效果不好。

（2）煤泥水浓度和粒度组成。絮凝剂用量与分散颗粒总比表面积成正比，所以煤泥粒度变小和浓度增加产生的影响相同，不仅絮凝剂用量增加，絮团结构也不如粗粒形成的絮团致密。

（3）煤泥水温度。煤泥水温度增加，絮团沉降速度加快。

（4）煤泥成分。絮凝剂分子在煤及各种矿物表面吸附能力不同，通常吸附在煤表面的絮凝剂较多。含有大量细泥的洗水最难澄清和沉降，往往需要凝聚剂、絮凝剂配合使用。

5.5　煤泥水系统

煤泥水处理主要采用分级、脱泥、浓缩、澄清、浮选、过滤、压滤等作业。各作业的不同组合，构成了不同的煤泥水系统。

对煤泥水系统的基本要求是：

（1）煤泥尽快回收，以减少煤泥在系统中循环，杜绝煤泥在系统中积聚。

（2）煤泥水尽可能澄清，以利于洗水循环复用（选煤要求洗水浓度一般不超过80g/L）或向厂外排放（环保要求外排水固体含量不得超过300mg/L）。

（3）因地制宜处理浮选尾煤。

（4）工艺简单，管理方便，技术经济指标合理，不污染环境。

5.5.1　煤泥水流程

1. 洗水闭路循环

选煤厂的煤泥水流程可以分为全闭路和半闭路两种，开路流程一般不用。

（1）全闭路煤泥水流程。煤泥在厂内（区）回收，洗水澄清后全部返回厂内循环使用（图 10－5－12）。选煤工艺系统补充的清水量正好等于产品带走的水量，洗水保持平衡。

（2）半闭路煤泥水流程。洗水部分煤泥厂内回收，部分进入厂外沉淀池。因补充水量过大（即洗水不平衡），沉淀池的部分澄清水必须排放出厂（图 10－5－13）。如果厂外沉淀池管理不善或容量不足时，将超标排放煤泥水，造成煤泥流失，污染环境。

2. 浮选流程结构

（1）浓缩浮选流程。捞坑溢流全部入煤泥浓缩机浓缩澄清，浓缩机的底流去浮选，溢流作循环水（图 10－5－13）。该系统的缺点是小于煤泥浓缩机截流粒度的细泥没有出路，在循环水中积聚；当循环水浓度太高无法选煤时，只好向厂外沉淀池排放，或停止洗煤用浮选处理；采用底流大排放，虽可减小截流粒度，减慢循环水浓度上升，但不能彻底解决细泥积聚的问题。优点是浮选入料浓度调节方便。

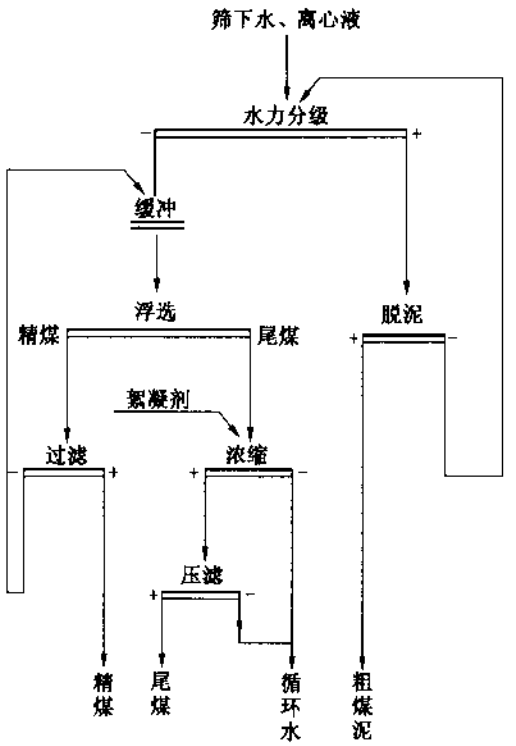


图 10－5－12 全闭路煤泥水流程

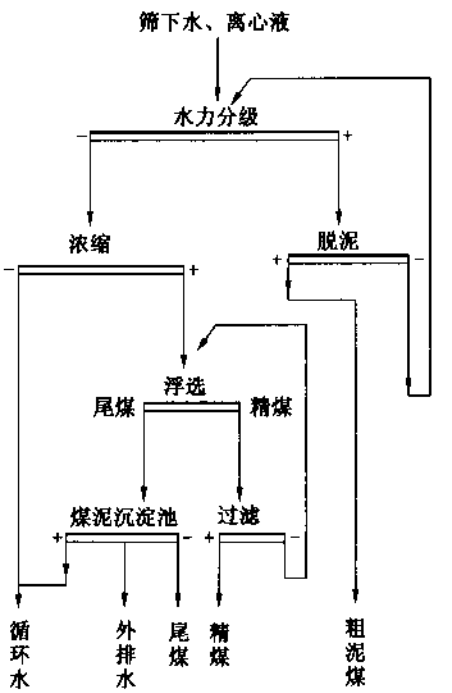


图 10－5－13 半闭路煤泥水流程

（2）直接浮选流程。捞坑溢流不经浓缩，直接入浮选机浮选（图 10－5－12）。浮选尾煤加絮凝剂入尾煤浓缩机浓缩澄清，底流压滤脱水，溢流作循环水。该流程解决了细泥在循环水中积聚的问题，同时由于尾煤水加絮凝剂浓缩澄清，所以循环水浓度很低，近乎清水。缺点是浮选入料量大、浓度低，占用设备多，消耗药剂多；因此，生产过程中应严

格控制选煤用水量。

部分直接浮选是一部分捞坑溢流不经浓缩直接去浮选，一部分捞坑溢流直接作循环水（或一部分捞坑溢流经浓缩，浓缩机底流和一部分捞坑溢流混合去浮选，煤泥和尾煤浓缩机溢流作循环水）。

（3）分级浮选流程。当浮选入料中细泥较多且多为泥质时，由于其浮选速度快，往往混入精煤中影响精煤质量和过滤脱水效果。为此，浮选前可用旋流器分级，脱除细泥再浮选（图10－5－14），这样不仅可改善浮选作业，还可降低药剂消耗和滤饼水分。

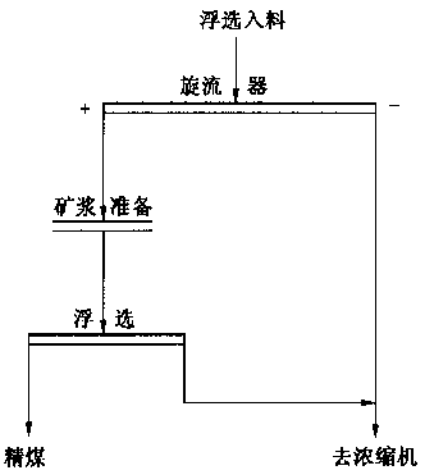


图10－5－14　分级浮选流程

5.5.2　煤泥水管理

我国“三废”排放试行标准规定，选煤厂排放出厂的煤泥水中悬浮物含量不准超过0.4g/L（新建厂和改建厂不准超过0.3g/L），pH值在6～9范围内，石油类不准超过10mg/L，挥发性酚不准超过0.5mg/L。

选煤厂煤泥水处理或管理不好，不仅流失煤泥和水，还淤塞河道，污染环境。为此，选煤厂要尽量实现洗水闭路循环，杜绝排放污水。

通常选煤厂原煤入厂水分低于产品出厂水分（水力采煤例外），即原煤带入选煤工艺中的水量小于产品带走的水量，因此，选煤过程中必须不断补充清水，生产才能正常进行。补充水量若大于产品带走的水量，则工艺中多出的水必然向外排放，使得洗水不能全部闭路；当补充水量恰好等于产品带走的水量时，则洗水平衡，此时不向厂外排放煤泥水而生产又能正常进行。

显然，达到洗水平衡是实现洗水闭路的先决条件，生产过程中时刻保持洗水平衡，实际很难做到。因此，选煤厂应设置一定容积的缓冲水池，把瞬时多余的洗水积存起来，调节补充水量，达到阶段洗水平衡，实现闭路循环。生产过程中必须严格控制补充水量和其他清水用量，如若用水太多，工艺系统和缓冲池容纳不下，必然向厂外排放。

此外，选煤厂还有一些水应加强管理，如真空泵、鼓风机用水，工艺系统滴、漏、冒水，检修和事故放水，清洗设备和地板水等，不考虑这些水就无法实现洗水闭路。真空泵

和鼓风机的工作水和冷却水应自成系统，循环使用，其他水应尽量减少，并汇入集水池澄清再用。

选煤厂应加强生产管理，改进技术操作，充分发挥现有设备的效能，提高各作业的工作效果。例如，若捞坑管理不善时，造成溢流中含有大于0.5mm的粗颗粒，粗颗粒进入浮选作业后，损失在尾煤中，致使精煤产率和尾煤灰分降低，厂外沉淀池煤泥量增大。另外，选煤厂煤泥水设备的生产能力应与挑选设备能力相适应，最好有较大的余量，这样不仅能满足设备故障检修时的需要，还能满足生产不均衡时的需要。煤泥水管理是选煤生产中一项复杂而重要的工作，也是衡量选煤厂管理水平的一个重要标志。

6　选煤厂噪声与粉尘防治

6.1　选煤厂噪声防治

噪声被公认为是一种严重污染环境的公害，它损害听力、干扰通话、引起烦躁、造成疲劳、降低效率，对人身体上、心理上和社会上产生不良影响，所以越来越受到人们的重视。选煤厂内的很多设备、溜槽等，在生产过程中都会产生噪声，并且影响比较严重。因此，分析选煤厂噪声的来源并进行积极地防治，对保障劳动者安全和健康、创造舒适的劳动环境具有十分重要的意义。

我国目前已有各类不同规模的选煤厂近2000座，国有重点选煤厂也有300座左右，许多选煤厂已跨入了“现代化”选煤厂的先进行列，但其噪声污染仍未得到很好的解决。噪声污染已成为选煤厂普遍存在的问题，也是选煤厂环境保护的薄弱环节。噪声污染已严重危害职工的身心健康和影响厂区周围环境的安宁，是亟待解决的问题。

6.1.1　选煤厂噪声来源及分类

6.1.1.1　选煤厂噪声源及其分析

选煤厂的设备噪声可分为三类：

（1）空气动力性噪声。产生这类噪声的设备主要有空压机、跳汰机、鼓风机、风阀、真空泵等。

（2）机械性噪声。产生这类噪声的设备主要有破碎机、振动筛、离心机、水泵、给煤机、浮选机、刮板输送机、带式输送机、斗式提升机、溜槽等。

（3）电磁性噪声。产生这类噪声的设备主要有电动机、变压器、电焊机、电磁铁、配电柜、控制箱等。

表10-6-1列出了选煤厂内部分设备噪声声级及频谱特征情况。通过对主要的高噪声设备的噪声进行了简要的原因分析（表10-6-2）可以看出，选煤厂主要噪声主要来自以下几方面：一是机械振动所产生的噪声；二是大型设备齿轮啮合所产生的噪声；三是供风和用风设备抽、排空气所产生的噪声。

表10-6-1　选煤厂内部分设备噪声声级及频谱特征

设　备　名　称	声级范围/dB（A）	噪声频谱特征
空压机	80～120	宽频带
鼓风机	87～127	宽频带
泵	88～108	宽频带
粉碎筛分	94～113	低频
电动机	84～125	宽频带
跳汰机	110～140	宽频带

表 10-6-2 主要噪声设备噪声原因分析

噪 声 源	产 生 原 因
跳汰机	风阀排气产生噪声
振动筛	钢件振动、碰撞以及齿轮啮合产生噪声
过滤机	吹风系统产生的排气噪声
真空泵、压风泵及鼓风机	机械转动及抽排空气产生噪声
离心机	振动、转动及齿轮啮合产生噪声
电磁振动给煤机	振动产生噪声

6.1.1.2 车间噪声与厂区噪声

选煤厂各车间及主要噪声源一般有原煤准备车间（破碎机、原煤分级筛、矸石溜槽）、水洗车间（跳汰机、振动筛、给煤机、离心脱水机、鼓风机、水泵、斗式提升机、带式输送机）、浮选车间（过滤机、真空泵、鼓风机、水泵）、压滤车间（煤泥泵）、空压机房（压风机）、锅炉房（鼓风机、引风机），在生产过程中，各种设备发出的噪声形成车间噪声，车间噪声水平的高低直接影响工人的身心健康，车间噪声也是厂区和厂界环境噪声的主要来源。

某选煤厂车间（区间）噪声的声级列于表 10-6-3，由表可见，大部分车间（区间）噪声超过国家有关标准。在主厂房内，各层集中布置了许多高噪声设备（如振动筛、跳汰机、给煤机、真空泵等），有相当多的区间的噪声高达 95dB（A）以上。所以，主厂房往往是选煤厂噪声污染最严重的区域。表 10-6-4 给出了某选煤厂操作岗位处的实测噪声值。可见，大部分值班点的噪声都超标。

表 10-6-3 某选煤厂车间噪声声级

车间（区间）名称	噪声级/dB（A）	
	范 围	平 均
地面离心鼓风机房	94～96	94.6
地面循环泵、底流泵区	90～91	90.5
地面联合泵房	92～94	93
二层真空泵区	96.5～97.5	97
二层过滤、压风、真空泵区	95～99.5	96.8
二层离心机区	97.5～98	97.7
二层分级筛区	98.5～101	99.9
二层产品筛区	94.5～96.5	95.2
二层压风泵区	86～98.5	93
三层矸石筛区		98.5
三层主洗机、给煤机区	92～96	94.3
三层末煤筛、斗子机头区	95～98.5	97.4
四层浮选机区	88.5～91	89.5
五层矸石筛、斗子机头区	96.5～98	97.4
六层斗子机头区	92～93.5	92.5
地面空压机房	86.5～89.5	88.2

表10-6-4　某选煤厂的各值班点噪声

名　称	型　号	功率/kW	噪声级/dB（A）	
			A	C
鼓风机	D-100-37	75	94	99.5
联合泵房	DAL-150×2	40	92.5	95.5
主洗机	LTX-14	3	94	104.5
真空过滤机	PG116×12	4	96.5	102
离心机	TZ-14	55	97.5	107
产品筛	TZ1866	10	94.5	105
真空泵	2YK-110	186	89	96
压风泵	2YK-27	45	92.5	94
空压机	4L-20/8	—	88.5	93.5

厂区环境噪声污染主要取决于车间噪声的大小和围护结构的传声情况。由于选煤厂噪声设备多，车间噪声高，往往影响到厂区环境噪声。尤其是主厂房，类似一个大噪声源，通过门、窗向外辐射而形成厂区的环境噪声污染。

1. 选煤厂噪声污染特征

噪声具有声音的一切特性，因此，要研究和控制噪声首先要了解声音，才能有的放矢地采用适当的方法加以解决。

声音是由物体振动产生的。当一个物体振动时，都会扰动邻近的空气，使空气随之产生来回运动，从一个质点传到另一个质点，交替形成密层和疏层，这样在空气中就激起声波。在一定距离内，这种声波达到人们的耳朵，就有了声音的感觉。如用锤击鼓，听到鼓声。手摸鼓面，感到鼓面在迅速地振动着，如果用手掌压住鼓面使其停止振动，鼓声就会立即消失。

选煤厂噪声污染特征主要表现在以下几方面：

（1）噪声源多，噪声级高。一般选煤厂中各种噪声设备达数十种，有的为多台，多数声级超过国家规定90dB（A），有的甚至高达115dB（A），尤其是选煤专用设备如振动筛、跳汰机、破碎机、溜槽等都是高噪声设备。

（2）噪声源频谱复杂，但以低、中频噪声为主。噪声源频谱复杂，其治理难度较大，其噪声控制技术要求也高。尤其低频噪声对工人健康危害大，而且衰减慢、传播距离远，影响范围广。

（3）连续的稳态噪声多，干扰时间长。选煤厂生产是连续进行，且处理的物料和工序是固定的，因此设备和工序所产生的噪声多为连续的稳态噪声，生产不停，噪声不止，所以噪声干扰时间长。

（4）多源噪声。多源噪声是主要以机械性噪声为主，还有空气动力性噪声和撞击性噪声。选煤厂使用大量的机械设备，机械性噪声通常是机械部件在运行过程中受到激励而产生振动引起的。故气动设备产生的空气动力性噪声级往往都超过国家规定的标准。此外，由溜槽、破碎机、料仓等产生的撞击性噪声在选煤厂内也是普遍存在的。

选煤厂的每一台设备都有较多发声零部件，因此若想使选煤厂或设备的总体噪声有明显降低，就必须使每台超标设备或发声零部件的声级降低，这在选煤厂噪声治理中应特别

引起重视。

（5）厂房（车间）内混响声严重。据调查，目前大部分选煤厂主厂房（车间）的内表面材料都是光滑的水泥抹灰，吸声系数小，对声音反射能力强。设备产生的噪声经墙面、楼板、设备表面等反射后，形成混响声场，故在同一区间，各点的噪声级往往相差不大。

（6）振动引起的固体声较强。选煤厂使用大量振动设备，尤其是振动筛、溜槽都具有大面积的振动结构件（如振动筛筛板、侧板和溜槽受料板等），常是噪声的主要辐射源。这些设备在运行时除本身辐射噪声外，还往往产生振动，通过基础传到楼板、墙体、门窗等，从而辐射出较强的固体声。

2. 噪声指标要求

为了保障劳动者的健康与安全，各个国家对工作环境中的噪声大小有明确的规定。虽然各国对噪声的规定稍有不同，但都要求在每个工作日的8h内噪声级平均在85dB（A）或90dB（A）以下。假如工作环境的噪声级超过规定值且无防护措施，工人在此种环境中的劳动时间不得超过8h，噪声级越高，允许的劳动时间越短。ISO（国际标准化组织）标准要求，当超过规定的限制后，噪声级每超过3dB（A），在噪声环境中的劳动时间应减半。例如90dB（A）及其以下的噪声级允许劳动8h，则93dB（A）为4h，96dB（A）为2h。表10-6-5和表10-6-6列出了噪声对人的影响及国家规定的工厂内不同场所的噪声级指标。

表10-6-5 噪声对人的影响

噪声/dB（A）	对人的影响
10~30	感到安静舒适
30~50	没有不良影响
50~80	感到烦恼
85~90	听力保护和健康保护的噪声标准
95~115	听觉疲劳，时间久引起听力损失，最后导致耳聋
115~140	除听力损伤外，还会引起头晕、头痛、耳鸣、心血管等疾病

表10-6-6 国家规定工厂内噪声级指标

场所类别	最高声级指标/dB（A）	场所类别	最高声级指标/dB（A）
会议室	35	更衣室	55
办公室	40	修理车间	60
车间办公室	45	生产区	75
实验室	50	压缩机房	90

6.1.2 选煤厂噪声控制

任何噪声只有当声源、传播途径、接收者三部分同时存在，才会对听者形成干扰。所以，选煤厂噪声的控制，既要对其分别进行研究，又要把这三方面联系起来综合考虑，既要满足噪声控制标准，又要符合技术经济的合理性。

6.1.2.1　选煤厂噪声控制的原则和措施

1. 从声源上根治噪声

从声源上根治噪声，也就是降低声源的噪声，使发声体变为不发声体或者大大降低发声体辐射的声功率。这是控制噪声最有效、最积极、最彻底的措施，是消除选煤厂噪声污染的根本途径，其主要措施有以下几方面。

（1）选择和研制低噪声设备。通过改变设备工作原理和设备结构，采用发声小的结构或传动方式。如用矿浆准备器代替搅拌桶，用橡胶筛板代替钢筛板，用匀速转动代替直线往复运动等。对现有分选设备可在不改变设备工作原理和总体结构的条件下，部分地改变结构设计，减少一切非必要性的振动以达降噪的目的。如双轴振动筛可以从改变质量、阻尼、刚度上减少振动与噪声。在选择购置设备时，即便是同样的设备，不同厂家的产品噪声也有差别，应事先了解设备性能和噪声大小，尽量购置噪声小的设备。

（2）改革工艺和操作方法。尽量减少冲击性工艺，以焊代铆，以液压代冲压，以压代锻均可将噪声降低20～40dB（A）。避免在煤块、矸石运输过程中出现大高差翻落和直接撞击，在设计中尽量减少系统中运输设备和转载环节，减少溜槽或缩短溜槽（特别是大块煤和矸石溜槽），这样可减少噪声源和降低噪声污染。

（3）提高零部件的加工精度。许多机器噪声主要是由于机器运转时，因动平衡不完善、各部件间的撞击和摩擦造成机器振动而辐射噪声，因此提高零部件的加工精度很重要。例如，齿轮加工由滚齿改为磨齿，轴孔加工由车镗改为磨削，这种方法可改善机器的动平衡，从而提高运动的平稳性，其效果一般降低3～5dB（A）。

（4）提高装配质量，搞好维修保养。这是一个值得重视的环节。有些设备是由于安装质量不佳，动平衡不完善而产生噪声，也有的是由于固定部分的松动或有的零件损坏等引起振动噪声。因此提高装配质量，正确地校准中心，定期对设备进行维修，定期加润滑油，从而使设备处于良好的运行状态，均能收到降噪的良好效果。提高装配质量，搞好维修保养，不仅减少机械振动和摩擦产生的噪声，还可提高机器的效率和使用寿命。

（5）降低气流噪声的压差和流速。对高压、高速气流降低压差和流速或改变气流喷嘴形状，是降低气流噪声的有效措施。

2. 在传播途径上控制噪声

从目前的技术经济水平来看，要从选煤设备工艺上降低噪声还是难以实现，这就需要在传播途径上控制噪声。主要采取隔断和屏蔽声波的传播或利用噪声在传播中随距离的自然衰减来减少噪声污染面。其主要措施有：

（1）选煤厂总体规划上合理布局。选煤厂设计过程中，采用“闹静分开”的设计原则，按功能分区。选煤厂厂址选择必须避开噪声敏感区（如居民区、医疗区、文教区、风景旅游区等）；总平面布置时，在满足工艺流程的前提下，应尽可能将高噪声的车间（如主厂房、筛分破碎车间或碎选车间、机修厂特别是锻工车间、压风机房）与一般车间或噪声敏感区（如办公楼、会议室、化验室、集控室、食堂等）分开；在车间内部，要把强噪声设备尽量集中并与一般设备分开，以利于采用隔声、吸声等措施。

（2）利用屏蔽阻止噪声传播。充分利用天然地形、地物（如山丘、土坡、树木、草丛），或对噪声不敏感的高大建筑物或构筑物（如仓库、料场、堰场等）以减弱噪声的传播。噪声敏感区宜布置在自然屏障的声影区中。以上措施无法解决噪声超标问题时，可设

置隔声屏障（隔声墙、隔声林带），或在各厂房(噪声源)、建筑物之间保持必要的防护间距。噪声防护间距见表 10－6－7。

表 10－6－7 噪 声 防 护 间 距

车间内噪声级/dB（A）	环境允许噪声/dB（A）				
	45	50	55	60	65
85	180	90	45	25	15
90	360	180	90	45	25
95	720	360	180	90	45

注：当噪声源与有防噪声要求的建筑物之间有隔声屏障（建筑物、林带等）时，可根据隔声屏障的衰减效能缩小其间距。

（3）利用声源的指向性控制噪声。对指向性较强的声路，在与声源距离相同的位置又在声源指向的不同方向上，接收到的噪声强度有显著不同。因此，合理布置声源位置，使声源指向无人或安静要求不高的方向，也有显著的降噪效果。如高压锅炉的排气口朝向旷野或天空，风机的吸风口、放风口布置在隐蔽的一侧，避开噪声敏感区。但多数声源在低频辐射时指向性较差，随着频率的增加，指向性增强，所以利用声源指向性控制噪声是降低高频噪声的有效措施。

（4）采用声学控制技术措施。以上几点措施主要是对设计过程而言，而对现有选煤厂的噪声控制主要还是靠采取声学处理措施，即采用隔声、消声、吸声、隔振、阻尼等方法。

3. 对接收者的防护

当采用上述措施仍达不到噪声控制时，则应采取个人防护。防声用具主要有防声耳塞、防护耳罩等。另外，对在高噪声环境中工作的工人，采取轮换作业，缩短工作时间，也是一种辅助的办法。

（1）根据声源性质的不同，可采取隔声、消声、吸声、隔振、阻尼等单一或综合措施，常见降噪设施的降噪效果见表 10－6－8。

表 10－6－8 常见降噪设备的降噪效果

降 噪 设 施	降噪效果/dB（A）	应用部位实例	备 注
消声器	10～30	鼓风机及压风机排气管道	1. 安装在鼓风机管口时消声 20dB（A）； 2. 安装在靠近鼓风机处消声 10～15dB（A）
固定密封型隔声罩 活动密封型隔声罩 敞开式隔声罩 带通风消声器的隔声罩	30～40 15～30 10～20 15～25	压风机 真空泵 破碎机 电机	可自行设计，也可用隔声板组装
隔声室 吸声体	20～30 5～7	水泵房、鼓风机房，集控室悬挂在混响较强的部位	用隔声板组装 一般不超过 12dB（A）

（2）对于可将噪声控制在局部空间范围内的场合，采取隔声措施，以改变噪声传播途径，衰减噪声传播能量。对声源可采用隔声罩的结构类型；对接收者可采用隔声间（室）的结构类型，对噪声传播途径可采用隔声屏障的结构类型。必要时也可同时采用上述几种结构类型。

① 对于车间内独立的强噪声源，应按操作、维修及通风冷却的要求，采用相应类型的隔声罩。如固定密封型隔声罩、活动密封型隔声罩、局部敞开式隔声罩、带有通风散热消声器的隔声罩。

② 在不宜对声源作隔声处理又不便降噪的岗位，或声源噪声难以消除的场合，而又允许操作管理人员不经常停留在设备附近时，可采取控制、监督、观察、休息兼用的隔声间（室）。如压风机房、鼓风机房、水泵房、圆盘过滤机、斗式提升机等岗位，可考虑设隔声值班室。隔声室的降噪量一般为 20 ~ 30dB（A）。

③ 对于工人多，强噪声源比较分散的大车间，可设置隔声屏障或带有生产工艺孔洞的隔声墙，将车间在平面上划分好几个不同强度的噪声区域。隔声屏障的隔噪量一般为 10 ~ 20dB（A）。

（3）对于空气动力机械（如鼓风机、气体压缩机以及高压气体排气放空装置等）所辐射的空气动力性噪声，应采取消声措施。

根据设备噪声谱频率来选择消声器，其消声器有阻尼式消声器、抗式消声器及阻抗复合式消声器。它们的消声效果一般为 10 ~ 30dB（A），最高不超过 50dB（A）。

（4）对于混响声较强的车间厂房，可适当采用室内吸声减噪措施，主要是通过固定在厂房四壁、顶棚和空间的吸声体（吸声板）吸收噪声，减少声反射，降低混响噪声。吸声处理的降噪量对一般车间厂房约为 3 ~ 5dB（A），对混响很严重的车间厂房约为 6 ~ 10dB（A），对混响极严重的车间厂房约为 11 ~ 12dB（A）。吸声处理必须满足防火、防潮、防腐、防尘等工艺与安全卫生要求。同时，还应兼顾通风、采光、照明及装修要求。

（5）对于产生较强振动或冲击，从而引起固体声传播及振动辐射噪声的机械设备，应采取隔振降噪措施。在布置时不宜直接安装在楼板上，应根据振动固有频率不同，选择相应的隔声元件（常见的隔声元件有橡胶弹簧、吊架、橡胶隔振垫、橡胶隔振器、剪切减振器等）。当振动对操作者、机械设备运行或周围环境产生影响与干扰时，也应采取隔振措施。

6.1.2.2　选煤厂噪声控制方法

选煤厂的噪声控制大体分为两类，一类是对已建成的选煤厂。由于老厂设备落后，或新建的选煤厂因设计或施工中考虑不周，重视不够，在生产中出现噪声危害，只能采取一些补救措施来控制噪声。另一类是新建、扩建、改建的选煤厂，工程尚未建成，现在有“三同时”把关，在设计阶段就要考虑可能出现的噪声污染，并采取一些必要的噪声控制措施。很显然，两类情况比较，后一类情况工作主动回旋余地大，往往容易确定合理的噪声控制方案，可收到较好的实际效果。选煤厂噪声控制一般应按以下方法进行：

1. 调查、测定噪声现场

首先应到噪声污染的现场（车间）调查主要噪声源及其噪声产生的原因，同时了解噪声传播的途径，以供研究控制措施时，结合具体情况进行考虑或利用。然后对噪声污染的对象，进行实地调查，并进行噪声测量。根据需要将测定结果绘制成噪声分布图，可一

目了然地了解各处噪声的分布情况，噪声分布图表示方法有两种：①在直角坐标中用数字标注；②在厂区地图上用不同的等声级曲线表示。前种方法简便，能直接看出某一位置的噪声级数值，后种方法直观，可看出各处噪声分布状况。也可将两种图绘制在一起。

2. 确定减噪量

将现场的噪声测量数据与噪声标准（包括国家标准，地方标准等）进行比较，确定所需降低噪声的数值（包括噪声级和各路带声压级所需降低的分贝数）。一般，此数值越大，表明噪声污染越严重，采取噪声控制措施越迫切。

3. 确定噪声控制方案

噪声控制是一项综合性工作，应从多方面权衡考虑选定最佳方案。在确定噪声控制方案时，根据现场情况，既要考虑声学效果，又要经济合理并切实可行。这不仅要考虑投资多少，还要考虑对生产工艺和技术操作的影响，以及对设备运行条件的影响，如供水、供电，特别是通风散热、防腐蚀对设备维修的影响等因素。具体措施可以是单项的，也可以是综合性的。措施确定后，应对声学效果进行估算。必要时应进行实验，取得实验后再大面积进行治理，力求稳妥，避免盲目性。

4. 降噪效果的鉴定与评价

应及时进行降噪效果的技术鉴定或工程验收工作。如未达到预期效果，及时查找原因，根据实际情况补加新的控制措施，直至达到预期效果为止。最后对全部噪声控制工作作出综合评价，其内容包括降噪效果、投资多少、对工艺生产、操作维修的影响等。

6.1.3 选煤厂主要设备的噪声分析与治理措施

选煤厂的噪声源比较复杂，几乎每一台设备都有很多发声零部件。因此，在吸声治理中，要想使选煤厂或设备的总体噪声有明显下降，就必须通过对设备噪声与振动的测试和频谱分析，分析产生设备噪声的主要辐射部件，对主要发声部件分别想办法采取措施，使声级下降，才能达到降低设备总体噪声的目的。只有当选煤厂超标的设备噪声同时下降，才能达到降低选煤厂总体噪声的目的。

选煤厂噪声源很多，并且各厂的设备配置不尽相同。总的来说，应用普遍且声级高的主要噪声源有各类振动筛、跳汰机、溜槽、真空泵、破碎机、空压机、输送机以及鼓风机、电动机和泵类设备等。

6.1.3.1 振动筛

1. 噪声源分析

目前国内使用较普遍的有单轴和双轴振动筛。振动筛的噪声特性取决于多种因素（如振动筛的结构、筛面类型、筛选物料的粒度和硬度等），声级一般在91～102dB（A）之间，有时高达130dB（A）或以上。噪声频谱为宽频带特性，说明其噪声治理难度大。

振动筛是由许多零部件构成，其噪声源很复杂，主要有：

（1）钢筛板厚度薄，受激励后不仅产生振动噪声，还与物料作用产生撞击性噪声，且噪声谱具有宽带特性，往往是振动筛的主要发声元件。

（2）筛箱侧板受激励后产生噪声，尤其刚度较弱部位会产生强烈噪声。

（3）齿轮、轴承、弹性支撑、激振器等物件的自激振动引起的噪声。但对每一台筛子来说，各部件产生噪声的主次是不同的。

（4）从跳汰机出来的物料在水的推动下，具有较大的运动速度，经过溜槽后，改变

了运动方向，因而产生较大的冲击噪声。

2. 振动筛噪声的综合治理

国外对振动筛，噪声治理方法有多种，效果各不相同。目前，广泛采用橡胶筛板，筛箱侧板、减振弹簧，入料口内、排料口内、接料底盘内贴橡胶板等措施。采用这些措施后其噪声由治理前98dB（A）降为88dB（A），其降限量为10dB（A）。另外，还有采用弹性橡胶筛板，在筛子侧板内侧用螺栓固定橡胶衬板；入料口筛板上、排料口接料溜槽内及入料溜槽底部构采取橡胶衬板。

从国内来看，目前在选煤厂振动筛方面进行噪声治理并取得成果的是中国矿业大学，1991年对ZMS2065A型双轴直线振动筛噪声进行研究和治理工作。图10－6－1是振动筛治理前、后的1/3倍频程频谱，可见具有明显的宽频特性。对振动筛的综合治理措施如下：

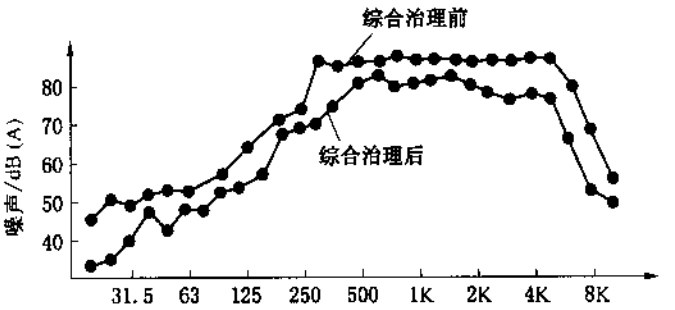


图10－6－1　振动筛治理前、后的1/3倍频程频谱

（1）采用硬度低、弹性模量小、耐磨性好的聚氨酯材料作筛板，不仅可以降低噪声，还可以延长筛板使用寿命8～10倍。聚氨酯筛板与冲孔钢筛板比较，在同样激励条件下，噪声可下降15dB（A）以上。但因它不是唯一的发声元件，对振动筛总体噪声而言，仍达不到上述效果。根据对比实验，可使振动筛总体噪声下降3～4dB（A）。

（2）筛箱侧板是薄板结构，加约束阻尼层后，可使总体噪声下降2～3dB（A）。

（3）使用柔性辐板齿轮替代钢传动齿轮。柔性幅板齿轮是专门设计的一种新型结构（获专利）。这种齿轮可降噪7～10dB（A）或更高，减振效果达50%左右，高频噪声可下降10～18dB（A）。应用到振动筛以后，由于齿轮不是第一位噪声源，从对比试验看，对振动筛的总体噪声影响较小，其降噪效果为2dB（A）左右。

（4）激振器箱体加软式隔声罩。激振器箱体是由薄板焊成的圆柱体，是一个重要发声元件，采用了吸声材料制成的软式隔声罩，其隔声量虽然在15dB（A）以上，但因不是主要噪声源，对振动筛总体操声影响最小，只有1dB（A）左右。

（5）将金属螺旋弹簧改为橡胶减振弹簧。振动筛的8个减振弹簧承受垂直与水平两个方向的交变载荷。金属螺旋弹簧与底座产生干摩擦噪声，而使用橡胶弹簧对振动筛总体噪声的降噪量为1dB（A）左右，但其使用寿命比金属弹簧高4～5倍，经济性较好。

（6）入料溜槽内加橡胶衬板，可使振动筛总体噪声下降2dB（A）左右。

采取以上综合治理措施后，其治理效果从图10－6－1中不难看出综合治理后曲线是

振动筛治理后的1/3倍频程频谱，与综合治理前曲线相比，所有频率的声压级都有不同程度的降低。

在两台振动筛上完成上述治理后，使空载时总体噪声分别下降8.8dB(A)和10.7dB(A)，为90～92dB(A)左右。

由于是空载试验，故未能计入在满负荷运转条件下用聚氨酯筛板代替冲孔钢筛板后，其煤块撞击噪声的降噪量。若计入此降噪量，其总体噪声会有更大程度的下降。

6.1.3.2 跳汰机

跳汰机是选煤厂的主选设备，在国内跳汰选煤占选煤方法60%左右，主要有筛侧和筛下空气室跳汰机两类。

1. 噪声源分析

跳汰机的噪声源主要来自风阀排气口的排气噪声，它是由于风阀周期性排气，高速气流冲击和剪切周围空气引起剧烈的气流扰动而产生的，这属于空气动力性噪声，噪声的频谱呈低、中频特性。

2. 跳汰机风阀的降噪方法

(1) 更换原有风阀。目前，国内可供更换的风阀都采用侧面排放废气，废气集中由管路送到废气包（起缓冲作用），然后排至厂房外，因此噪声低；而且，分选效果均优于老式风阀。

(2) 加隔声罩和消声器。目前，国内部分选煤厂在跳汰机风阀上采取加隔声罩和微穿孔板消声器，取得了较好的降噪效果。

6.1.3.3 溜槽

1. 噪声源分析

溜槽噪声是属于撞击性噪声。溜槽噪声的产生主要是物料在转载过程中冲击溜槽的受料板和侧板，而使受料板和侧板发生弯曲振动，从而辐射出噪声。溜槽的噪声主要是由加速度噪声和自鸣噪声组成。前者持续时间短，但峰值很高。在辐射的声能上，后者往往比前者大的多，是溜槽噪声的主要部分。

溜槽噪声的大小与溜槽结构、物料硬度与粒度、落料高度等因素有关。在同一粒度范围、溜矸石比溜煤时噪声要高，溜块煤时噪声又比溜原煤、末煤时要高。其噪声级通常在89～101dB（A）范围，有时高达115dB（A）或以上。溜槽噪声的频谱呈宽带特性，以低中颇为主。

2. 溜槽噪声的治理

对溜槽噪声的控制，常采用降低落料高度、加设挡板、缓冲垫、防冲板和阻尼材料等措施。

(1) 尽量降低落料高度或加防冲板。溜槽的落料高度是产生撞击噪声的主要原因；因此，尽量降低落料高度或为了减少由于大高度落料的冲击，可在适当位置安设一些橡胶防冲板，这是切实可行的措施。

(2) 加挡板。即在溜槽内焊装一些挡板，用来截留少量的煤或矸石以起到缓冲作用，一般可降低噪声5～10dB（A）。

(3) 衬缓冲垫。在溜矸石、块煤时，在受料板上被矸石或块煤撞击的部位，镶衬缓冲垫。缓冲垫通常由一层或几层橡胶或聚氨酯材料构成，缓冲垫可以起到保护受料板免遭

破坏并起缓冲作用，其降噪效果较好，可使噪声降低20dB（A）左右。

（4）采取隔振连接。也就是将溜槽被撞击部分与溜槽其他部分之间进行隔振连接，使被撞击部分产生的振动不直接传到溜槽的其他部分上去。

（5）贴阻尼衬片。这是指在受料板下面粘贴一些阻尼衬片，一般可降低噪声1～4dB（A）。

6.1.3.4　鼓风机

鼓风机是工业上广泛应用的一种通用机械，选煤厂常用的鼓风机有离心式鼓风机、罗茨鼓风机、叶式鼓风机等，其噪声高达100～130dB（A），噪声频谱多呈宽频谱特性。

1. 噪声源分析

由于风机的种类、型号不同，所产生的噪声强度及其频率特性也有所区别，但从噪声产生的机理和机组向外辐射噪声的部位来看，却有共同之处。风机辐射噪声的部位主要有：

（1）进气口和出气口直接辐射出的空气动力性噪声（简称空动噪声）。

（2）机壳、输气管道、轴承、电动机等辐射的机械性噪声。

（3）基础振动辐射的固体声。

在这几部分噪声中，以进出口辐射的空动噪声为最强。一般风机的空动噪声往往比其他部位辐射的噪声要高出10～20dB（A）。风机噪声的大小是随风机的构造、型号、风量、风压而异。

根据风机使用目的不同，空动噪声的主要辐射部位也不同。对用于送风的鼓风机，噪声的主要辐射部位在风机的进气口。对于抽风用的引风机的噪声主要辐射部位在出气口。

2. 鼓风机噪声的控制方法

鼓风机噪声的控制方法主要采用消声器、隔声及隔振技术。

（1）安装消声器，可以将鼓风机进（出）气口的空动噪声降下来。根据风机的用途和降噪要求，可以只在鼓风机的进气口或引风机的出气口安装消声器，也可以在进气和出气管道上均安装消声器。目前国内外趋向于采用阻性消声器，然而由于体积较大，消声频带较窄的阻性消声器已很少使用。对于一般的风机，消声器可以设计成阻性片式、折板式、蜂窝式及阻抗复合式；对于大型鼓风机的排气噪声，消声器可以设计成节流降压、小孔以及小孔与阻性复合的结构形式。此外，一些鼓风机厂也研制生产配套消声器，使风机在出厂时就能符合国家有关标准的要求。

（2）加隔声罩的方法就是将整个鼓风机机组用密闭的隔声罩包围起来。这种方法尤其对那些没有单独建造鼓风机房或鼓风机房很简陋的选煤厂，更有其实用价值。

鼓风机加装隔声罩主要困难在于如何解决机组的温升和冷却问题。因为，机组加装隔声罩后，鼓风机运转和电动机所散发的热量积蓄在罩内，会使温度升高，这对电动机的运行是极为不利的，过高的温度会降低电动机的绝缘性能和工作效率，严重时甚至烧毁电动机。因此，采用怎样的冷却方式，才能保证鼓风机的正常运转，乃是鼓风机隔声罩的技术关键所在。目前，国内外均以风冷方法最为普遍，其主要形式有四种：①自扇通风冷却法；②负压吸风冷却法；③罩内空气循环通风冷却法；④外加机械通风冷却法。

（3）采取改造风机房的综合噪声治理措施。如果鼓风机组有专门的鼓风机房，则可以结合现场情况，采取将已有的鼓风机房改造成隔声间的降噪方法。一般鼓风机房内不常

有人停留，即使对设备维护保养也是短时间的，因此不致造成危害。鼓风机房可用砖砌，一砖墙24cm厚平均隔声量有50dB（A）。但砖与砖间的灰缝要饱满，不要有孔隙。另外对机房的门、窗要按隔声技术要求，严格进行设计和施工。密封的鼓风机房上应安装进气消声器（此消声器可安在房顶上，也可安在墙壁上），以供鼓风机吸气和电动机、机壳等散热之需要。在鼓风机出气管路上也可再装设一个消声器，减弱鼓风机出气噪声。若要降低隔声间内的噪声，可在房间内表面采取吸声处理，或悬挂吸音体，对鼓风机壳和输气管壁采取阻尼措施，涂贴或包裹吸声的材料。为了隔绝鼓风机的基础振动，减弱固体声的传递，可在鼓风机下安装减振器，或设计专门的隔振基础。

图10-6-2是某厂对大型高压离心风机（风量为150000m^3/h）采取改造鼓风机房的防噪布置方案。整个机组的噪声被隔绝在风机房内，从而在鼓风机房外获得安静的环境。据实测，风机房外2m处，噪声由改造前的98dB（A）降为70dB（A），效果令人满意。

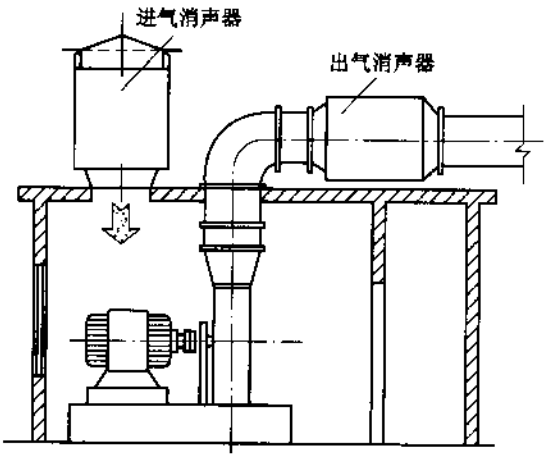


图10-6-2 改造风机房的降噪布置方案

采用消声道的结构形式也是一种降噪措施，且施工方便，效果易于保证。图10-6-3是某选煤厂鼓风机采用隔声间—消声道的噪声控制措施后，其噪声由治理前的116dB(A)降为74.5dB(A)。

6.1.3.5 真空泵

1. 噪声源分析

液环式真空泵是一个多源发声体，其噪声主要由以下几部分组成：泵体受激振动引起的噪声，轴承及转子摩擦产生的噪声，排气口及气水分离器受气流冲击辐射的噪声，以及电动机的噪声等。声级一般在87~96dB（A）之间，噪声的频谱呈低、中频特性。

2. 真空泵的噪声治理

真空泵的噪声治理，在国外一般将这类设备安设在厂房的最底层集中起来进行治理。一般采用隔声室的方法，也就是用砖结构砌成一个封闭的小房间，即使原设计中不是放在一层的，在噪声治理过程中也要将它们移至一层。国内许多选煤厂都将真空泵和真空过滤

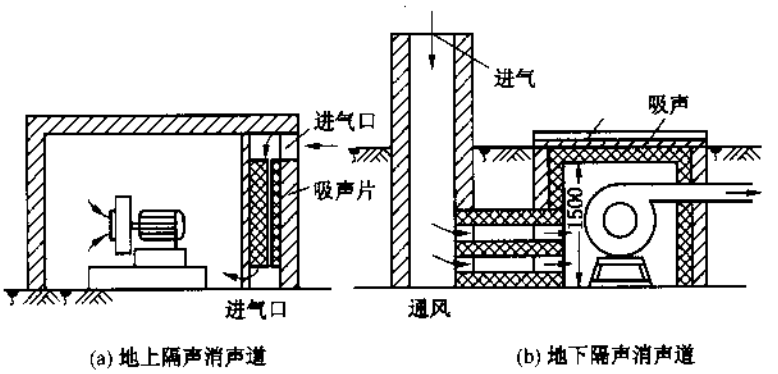


图10-6-3　某选煤厂鼓风机隔声间—消声道的噪声控制布置方案

机安排在同一楼层，因而就有必要进行噪声治理。如对ZYK-110型真空泵进行噪声治理，其治理方法为真空泵两端轴承处加装隔声罩，真空泵的电动机采用全封闭吸声罩，并对气水分离器加装隔声罩，采取上述措施后，其降噪效果由治理前的91.5dB（A）下降到83.5dB（A）。

6.1.3.6　空压机

空压机是选煤厂的主要噪声源之一，运转中产生的噪声为90～110dB（A），噪声频谱以低频为主，噪声传播距离远，在夜晚影响范围能达数百米，对操作工人和附近环境都有严重的危害和干扰。因此，在选煤厂总体设计时，应尽可能将空压机房设在厂区的边远偏僻的地方，以减少干扰。

1. 噪声源分析

空压机的噪声主要由三部分组成：进、排气口辐射的空气动力性噪声，机械运动部件产生的机械性噪声，电动机噪声等。空压机的进气口噪声比其他部位辐射的噪声约高出5～10dB（A），是整个机组的主要辐射噪声部位。

2. 空压机的噪声控制方法

（1）进气口装消声器。空压机组是以进气口辐射的空气动力性噪声为最强，因此，控制这一部位噪声就是在进气口安装消声器，若进气口在空压机房内，可先将进气口引到机房外面，然后再加消声器，这样消声器的效果会更好些。

针对进气口噪声以低频为主，消声器应以抗性消声为主。可采用带插入管的多节扩张室消声器或阻抗复合式消声器。若将插入管改成渐缩式或渐扩式的文氏管消声器，其消声值比直管的可提高4～5dB（A），尤其对低频噪声的消声效果更显著。该消声器体积小、结构紧凑、安装方便，适用于消除空压机进气口处的噪声。

（2）设置消声坑道。消声坑道是一个地下或半地下式的坑道，坑道是用吸声性能较好的砖砌成。消声坑道与进气管相连，空气经过消声坑道后再进入空压机，此法也可大幅度的降低进气噪声，而且使用寿命要比一般消声器长。

（3）机组加装隔声罩。采用进气口装消声器或设置消声坑道之后，气流噪声一般可降到90dB（A）以下，如果空压机的机体辐射噪声较强，或现场要求降噪效果较高，可对空压机组整体加装隔声罩，为检修方便，隔声罩应制成可拆结构，并要考虑通风散热问

题。如果空压机加隔声罩后其噪声由110dB（A）降到84dB（A）。

（4）管道隔振降噪。实践表明，多数管道的振动均为气流脉动引起，也有的是由于机组动平衡不佳或基础设计不良。因此，减少气流脉动可降低管道振动噪声，其措施为采用避开共振管长度（共振管长度可通过计算求得），在管道中加设孔板可以降低管道中的气流脉动，是一种简单易行，效果显著的方法，在进排气管道上设置容积足够大约缓冲式消声器，也是消除管道振动和降低噪声的有效措施。

（5）空压机站噪声的综合治理措施。空压机站往往都有不止一台的空压机，若对每台空压机都采用消声或隔声处理，不仅工作量大，投资也高。根据空压机站的工作特点，运行人员不需要每班8h都站在机房。因而可采用隔声间作为值班人员工作场所，将每台机组的操作按钮和控制仪表引到隔声室，运行人员只要短时间去机组旁巡查，因此，不致造成危害。这是控制噪声的切实措施。

同时，在空压机站内，采用顶棚或墙壁上作吸声处理或悬挂吸声体，可降低噪声4～12dB（A）。

目前，国外对空压机噪声所采取的主要措施就是在进气口安装有效的消声器，一般噪声降到90dB（A）以下。为了减少噪声对环境的影响，通常把机组安设在由混凝土屋顶、双层玻璃密封和双层重型门等构成的砖砌机房内，也可将机组放置在专门设计的基础或减振垫上。

6.1.3.7 输送机

无论是带式输送机还是刮板输送机，发声部位主要是在机头部减速器、电动机及机组振动，其次是托辊转动和刮板摩擦产生的噪声。声级大小随机组功率和安装情况而异，一般为87～96dB（A）之间。噪声频谱呈宽带特性，低、中频成分较突出。

对于传动机头产生的噪声，可以通过选择冷却风扇或用斜齿代替正齿轮等措施来控制。必要时，可通过安装一个局部的或全封闭的隔声罩来实现进一步控制。对于输送带和托辊的接触噪声，它不仅与带速有关，而且还与输送带结构（特别是表面特性）有关。在相同情况下，用两层较厚的输送带代替薄面层输送带，能使噪声大约降低9dB（A）。

6.1.3.8 破碎机

破碎机在运转时主要产生撞击噪声和机械噪声，撞击噪声主要由给料时物料撞击受料装置、分料板及机内衬板所致。此外，因动力负荷变化会使衬板、破碎锥或颚板传动部件产生噪声。破碎物料的撞击和挤压，引起整机振动而产生噪声，破碎机噪声的大小取决于物料的特性和破碎机的类型，其声级一般在86～99dB（A）之间，有时高达100dB（A）以上，噪声的频谱呈宽带特性。

对破碎机的噪声控制：采取破碎机和驱动系统安装内衬吸声材料的隔声罩，可使噪声从100dB（A）降到85dB（A）。

6.1.3.9 泵类

选煤厂广泛使用的泵类，包括各种清水泵、煤泥泵、介质泵等。据调查，泵类噪声一般在86～93dB（A）之间，有时高达110dB（A），噪声的频谱呈宽带特性，多以低、中频噪声为主。泵体包括机壳和管道，大多由铸铁或铸钢等材质制成，本身不易被激振发声，同时它们的隔声能力又较强，有些介质泵内衬橡胶，所以泵体辐射的噪声并不大。泵类的主要噪声源来自驱动它运转的电动机。

6.1.3.10　电动机

1. 噪声源分析

电动机是选煤厂生产中广泛使用的一种动力设备，某些电动机在运行中产生强烈噪声，根据电动机噪声的产生机理，主要可分为电磁噪声、机械性噪声和空气动力性噪声三部分。电磁噪声是由定子与转子之间高次谐波磁场引起的。机械噪声包括轴承噪声及电机转子不平衡等引起的振动而产生的噪声。空气动力性噪声是由电动机冷却风扇引起的气流噪声。就一般电动机而言，在上述三部分噪声中，以空气动力性噪声为强，它往往超过电磁噪声与机械性噪声的二者之和。电动机噪声与功率和主轴转数成正比，声级一般为85～100dB（A），噪声的频谱呈低、中频宽带特性。

2. 电动机噪声的控制

控制电动机噪声的根本途径是对电动机的设计和制造予以改进，生产低噪声电动机。目前我国新研制的Y系列小型电动机，其噪声较小，在85dB（A）以下。

目前现实的问题是如何采取措施降低现有电动机的噪声。在对电动机采取噪声控制措施时，必须同时注意两项指标：一是降噪指标，即应把电动机噪声降至允许的数值；二是温升指标，电动机加装消声装置后，其温升应在允许的范围内，否则将降低电动机的性能，甚至烧毁电动机。

目前，使用最广泛的交流异步电动机多为小型电动机（100kW以下），也有中型电动机（100～1000kW）。

（1）小型电动机的噪声控制。老厂使用的小型电动机，多数以JO_2系列为代表。这种电动机的冷却方式为：在电动机尾部装有外风扇，冷却气流从尾部风罩孔吸入，沿电动机长度方向经机壳表面散热片，把热量带走。这种冷却方式的特点是电动机内外互不通风，电机热量通过机座表面散发。

对于这种类型的电动机，可在基本上不改变流经电动机风向的情况下，设计阻性消声器，从电动机上部或尾部套到电动机的机壳上。整个消声器结构由拱形消声筒与圆形吸声尖锥组成。拱形消声筒与电机外壳及外壳上的散热片形成狭缝消声通道。圆形吸声尖锥设置在正对电动机噪声最强的部位（风扇处），吸声尖锥与消声筒在连接上做成活动可调式，按照需要对进风通道面积进行调节。当电动机风扇转动时，气流从尾部进风口吸入，途经尖锥，沿消声筒与散热片形成的通道，把电动机热量带走，而电动机辐射的噪声，则被消声器所消除。如某选煤厂水泵机组配用的$JO_2$72－2型（30kW）电动机安装消声器后，其消声量达15dB（A），电机温升不到1℃，说明对电动机正常运行没有影响。

（2）中型电动机的噪声控制。选煤厂中使用的中型电动机多为防护式结构，如JS、JR等系列电动机。这类电动机的风冷方式是借助转子两端的内风扇叶片产生的风压，冷空气从电机的两个端盖进风口吸入，经过定子和转子的铁芯、线圈，然后从机座两侧的出气口排出。这种通风方式能直接冷却定子和转子线圈，冷却效率较高。

根据中型电动机的结构特点和风冷方式，可采取设计三个隔声腔的噪声控制方案。排热风的隔声腔设置在机体的中部，把机座两侧排出的热风汇集起来，由顶部消声器排出。进冷风的隔声腔布置在热风腔的两边，共有两个。在每个隔声腔上都设计有一个消声器。如某选煤厂水泵房JSQ1410－4型（500kW）电动机，采用隔声腔的降噪措施后，该电动机噪声由治理前101dB(A)降到79dB(A)，减噪量为22dB(A)，取得了良好的降噪效果。

6.2 选煤厂粉尘治理

6.2.1 选煤厂粉尘来源

在破碎、筛分、干燥物料运输和干法分选时，都有粉尘伴随着发生。微细的尘粒受气流作用散布在空气中并呈悬浮状态，极易在车间内飞扬和向厂房外扩散。干燥机排出的废气和锅炉排出的烟气中，也含有大量粉尘（或烟尘）。若不采取有效的防尘、除尘措施，就会严重污染作业场所和大气，对人们的身体健康和工农业生产带来极大的危害。

当空气中含有过多的烟尘时，将使光照度、能见度、光合作用减弱，农作物产量下降；粉尘进入设备运动部件后，会加速机械的磨损，影响生产设备的使用寿命；粉尘落入电气设备，还可破坏绝缘，因而发生事故；建筑物也会因积尘过多而遭到腐蚀和破坏；更严重的是粉尘特别是煤尘，在空气中达到一定浓度时，在外界高温、明火作用下，还会引起爆炸。

工业粉尘的最大危害是损害人体器官，如对呼吸器官、食道和眼睛等都有不良影响。粉尘被吸入体内，5～10μm 尘粒大部分在呼吸道内被分泌的黏液吸附，而小于 5μm 的微粒则进入肺部，并能长期停留在肺组织中，引起各种尘肺病。

在精煤热力干燥时，废气中含有大量精煤粉，排到大气中不仅污染空气，而且还造成能源的浪费。

选煤厂的粉尘从组成来看主要是由煤粉和其他粉状物组成，物料特性属于黏性材料，从存在状态上看可分为干粉尘和湿粉尘，干粉尘一旦破裂后又会造成二次污染。

煤在筛分、破碎、输送带转运点处产生大量煤尘。由于无法对落下的煤尘进行清扫，煤尘二次飞扬严重，从选煤的具体加工工序说，以搬运、破碎、粉碎、筛分及其清理等工序产生的粉尘最多。造成系统污染严重的原因有：来煤含水量低（当煤的含水量低于 6% 时，煤尘飞扬严重）；产尘点没有通风除尘设备，粉尘不能得到有效控制；转载点、栈桥地面和一些卫生死角落煤堆积，产生二次粉尘飞扬；带式输送机运行不正常（跑偏、密闭不严），造成输送带落煤严重。

6.2.2 选煤厂粉尘特点

1. 生产性粉尘

生产过程中，如果在粉尘作业环境中长时间工作吸入粉尘，就会引起肺部组织纤维化、硬化，丧失呼吸功能，导致肺病甚至尘肺病。粉尘还会引起刺激性疾病、急性中毒或癌症。生产性粉尘在选煤厂主要产生在破碎、粉碎、筛分、配料、混合、搅拌、散粉装卸、输送及除尘等生产过程。

2. 爆炸性粉尘

爆炸性粉尘在空气中达到一定浓度（爆炸下限浓度）时，遇到火源会发生爆炸。爆炸性粉尘的危害性主要表现在以下几方面：

（1）与气体爆炸相比，其燃烧速度和爆炸压力均较低，但因其燃烧时间长、产生能量大，所以破坏力和损害程度大。

（2）爆炸时粒子一边燃烧一边飞散，可使可燃物局部严重炭化，造成人员严重烧伤。

（3）最初的局部爆炸发生之后，会扬起周围的粉尘，继而引起二次爆炸、三次爆炸，扩大伤害。

（4）与气体爆炸相比，易造成不完全燃烧，从而使人发生一氧化碳中毒。

6.2.3　除尘方法与设备

6.2.3.1　粉尘的分类

按粉尘生成特征进行分类，可以分成两种。

（1）粉尘。在筛分和运输等工艺过程中产生，并在形成过程中未发生任何物理或化学的变化者称为粉尘。

（2）烟尘。在生成过程中伴随着物理或化学的变化，例如氧化、升华蒸发和冷凝等过程所产生的粉尘。

6.2.3.2　粉尘的扩散

在选煤厂正常生产条件下，运动着的粉尘颗粒所受的作用力有机械力、重力、布朗运动以及空气流动的作用力，其中对粉尘的扩散影响最大的是空气流动力。

由于空气流动而引起的粉尘飞扬，基本上可以分以下两种情况：

1. 一次扬尘过程

在处理散状物料时，由于诱导空气的流动，将粉尘从处理物料中带出，污染局部地带。如当大颗粒物料沿着溜槽运动时，由于周围空气同物料的摩擦作用以及其他原因，可诱导空气随着运动的物料流动，使粉尘在下一个生产设备或密闭罩内向外逸出（图 10－6－4）。另外，由高处落入仓内的细颗粒物料，在空气的正面阻力下引起剪切作用，使降落的物料悬浮（图 10－6－5）。



图 10－6－4　大颗粒物料的降落

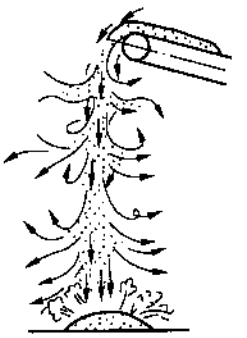


图 10－6－5　细粒物料的降落

2. 二次扬尘过程

由于室内的空气流动及设备的运行和振动所造成的气流流动，把沉落在设备、地面及建筑物上的粉尘再次吹起，称作二次扬尘。造成二次扬尘的气流称二次气流。二次气流可将含尘空气由局部扬尘地点吹散至气流所涉及的所有空间。

二次气流主要指室内的无规则气流和通风射流。此外带式输送机、提升机、往复运动的部件，以及设备的振动、人的行走等，也可能形成二次气流。实际上，这两个过程常是同时连续作用的，致使车间粉尘弥漫。

6.2.3.3 除尘设备

凡是能够将有害物质，从空气中分离出来，使之清洁的设备统称为空气的净化设备。将空气中的粉尘分离出来的设备，称作除尘设备，简称除尘器。

1. 除尘器的分类和除尘过程

1）除尘器的分类

虽然在生产实践中使用的除尘器有多种多样，但按作用于除尘器的外力或作用机理分，除尘器可分为机械除尘器、电力除尘器、过滤式除尘器和洗涤除尘器等四大类。其中，机械除尘器包括重力除尘器（又称重力沉降室）、惯性力除尘器和离心力除尘器三类。

根据除尘过程中有无液体参与，可将其分成无液体参加作用的干式除尘器和有液体参与的湿式除尘器两类。并可根据安装形式不同，又分为立式除尘器和卧式除尘器。

2）除尘器的主要组成部件

各种类型的除尘器，虽然受到的作用力不同，但都需具有以下部件才能正常工作：引入含尘气体的除尘器进口；进行固—气分离的除尘空间，或称除尘室；排除分离后粉尘的排尘口和除尘后相对清洁的气体出口。

3）除尘过程

整个除尘过程可分为捕集分离过程、排尘过程、排气过程三个过程，互相之间既有联系又有区别。

2. 选煤厂常用除尘设备

选煤厂常用的除尘设备有单筒旋风除尘器、水膜除尘器及袋式除尘器等。袋式除尘器主要用于准备车间除尘，其他除尘器主要用于选煤厂热力干燥除尘过程中。

1）单筒旋风除尘器

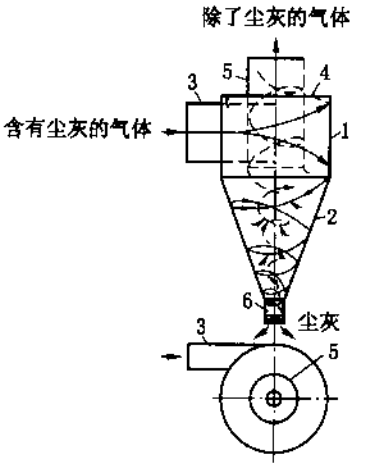
单筒旋风除尘器是工业中应用较广泛的除尘设备之一，利用旋风气流对尘粒的作用力和空气所产生惯性离心力大小的不同，使尘粒和气流进行分离。

最简单的旋风除尘器如图 10－6－6 所示。

旋风除尘器工作原理：

含尘气流由进气管以 12～25m/s 的速度沿切线方向进入圆筒体，在外圆筒和中央排气管之间向下作螺旋运动。在旋转过程中产生惯性离心力。尘粒一方面受气流运动的影响，在其中旋转下降；另一方面则受离心力的作用，逐渐向外扩散接近筒壁，最终与外圆筒的内壁相碰，沿内壁旋转滑下，被收集在中间底部的排灰口，并由此排出。气体则因质量小，受离心力作用甚微，随圆锥形的收缩转向除尘器的中心，并受底部阻力作用，转而上升，形成一股上升旋流，从排气管上端排出，实现除尘作用。气体排出速度通常很小，仅 4～6m/s。

旋风除尘器构造简单、维护方便，可用于处理



1—圆筒体；2—圆锥体；3—进气管；4—顶盖；5—排气口；6—排尘口

图 10－6－6 旋风除尘器示意图

含尘浓度在0.01～500mg/m³范围内的各种气体，当处理高含尘浓度的气体时，常用作多级除尘系统的预除尘器；而在尘粒较粗、浓度较低时，可单独使用。

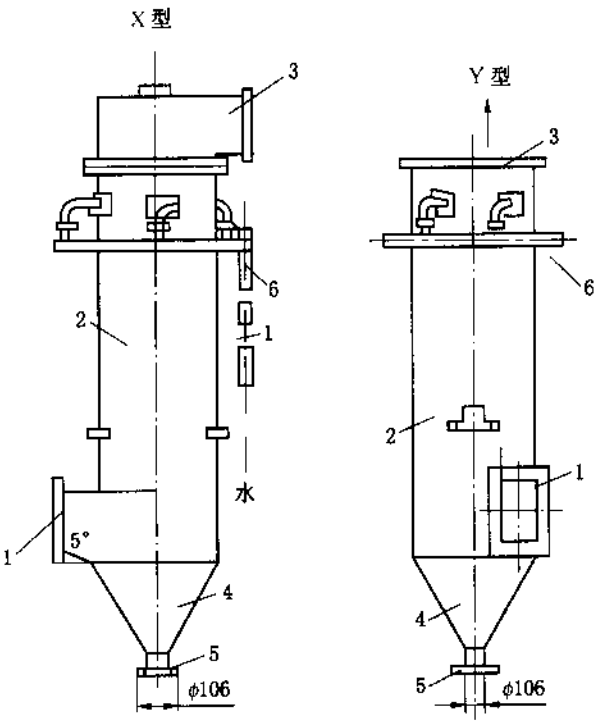
2）水膜除尘器

水膜除尘器是湿式除尘器的一种，是利用喷雾或其他方式，在除尘器的内壁上形成一薄层水膜，有效地防止粉尘在器壁上反弹、冲刷等作用引起的二次扬尘，因而大大提高了除尘器的效率。一般除尘效率可保证在90%以上，管理好时可达到95%。捕集的粉尘粒度可比干法旋风除尘器细。

水膜除尘器有立式和卧式两种。

（1）立式旋风水膜除尘器，其进气方式，可用切线进气，也可从中心进气，通过导流叶片获得旋转运动。喷水可采用四周喷雾、中心喷雾、上部周边喷水等方式。

图10－6－7为CLS型旋风水膜除尘器。该类型水膜除尘器喷嘴设在筒体上部，水雾由切向喷向器壁，使筒体内壁覆盖有一层连续往下流动的、很薄的水膜。喷嘴之间距离为300～400mm，供水压力恒定在（2.9～3.9）×10⁴Pa之间。



1—进气口；2—圆筒段；3—排气口；4—圆锥段；5—排尘口；6—环形喷水管

图10－6－7　CLS型旋风水膜除尘器

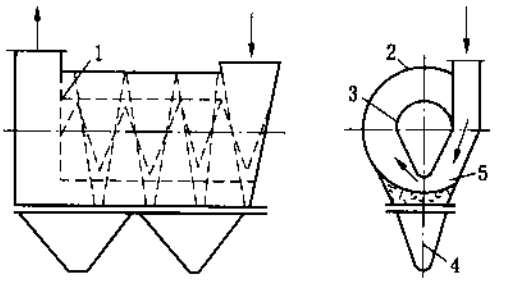
含尘气体由筒体下部切向进入除尘器，旋转上升。在离心力作用下分离出来的粉尘，甩向器壁，被水膜层吸收，随被污染的水排出，净化后的气体由上部排出。

这种除尘器入口最大含尘浓度为2g/m³，当浓度较大时，应在除尘器前面设置预除尘器。对于5μm的粉尘，湿式除尘器的除尘效率可达87%，而干法除尘的除尘效率仅为

70%左右。可见，湿法除尘效果显著高于干法除尘。

湿法除尘器效率虽然较高，但固—气分离又导致了固—液的混合，较理想的解决办法是将干法作为第一级除尘，湿法作为第二级除尘。这样既可减少泥浆量的产生，又可保持较高的除尘效率。

（2）卧式旋风水膜除尘器，该类除尘器又称水鼓除尘器，或称旋筒式水膜除尘器等，结构如图10－6－8所示，是由横置的倒卵形外壳、内筒、螺旋导流片、水槽等部件组成的。螺旋叶片绕在内筒上，并固定在外壳内壁上，使外壳和内筒之间的间隙被分隔成一个螺旋状通道，沟通进风口和排风口。



1—螺旋导流叶片；2—外壳；3—内筒；4—水槽；5—通道

图10－6－8 卧式旋风水膜除尘器

含尘气流由除尘器一端切向给入，冲击水面后，在螺旋通道内流动。气流冲击壳体下部的水，产生水花、水雾随气流运动，在外壳内壁形成3～5mm的水膜。水花、水膜与粉尘相遇时，将尘粒捕集。在离心力作用下，尘粒和水雾均被甩在外壳内壁的水膜上，随之流入下部水槽。由于速度较高，尘粒也可因惯性作用落入水中。因同时具有几种捕集机理，所以有较高的除尘效率。

该类除尘器阻力小、效率高、结构简单、运行维护费用低、耗水量少，对所处理的空气冷却和增湿度小；因此，适用于处理含各种粉尘的气体。

3）袋式除尘器

袋式除尘器是基于过滤原理的过滤式除尘设备，利用有机纤维或无机纤维过滤布将气体中的粉尘过滤出来。因过滤布多做成袋形，故称为袋式除尘器，或布袋式除尘器。该类型设备在各种高效除尘器中最具有竞争力。

袋式除尘器的类型很多，其中脉冲喷吹清灰袋式除尘器构造如图10－6－9所示，由上箱体、中箱体、下箱体和控制阀组成。

上箱体包括花板、排风管、上盖和喷吹装置；中箱体有若干排尘滤袋，滤袋直径120mm，长2～2.6m，每排6条；下箱体包括灰斗、下进风的进风口及排灰装置。

含尘气体由进气口进入中部箱体，从袋外进入布袋内，粉尘被阻挡在滤袋外的表面上，净化的空气进入袋内，再由布袋上部进入上箱体最后由排气管排出。

为防止过滤时，滤袋可能被吸瘪，滤袋内设有支撑框架，由脉冲阀控制向滤袋内脉冲性地喷出高速、高压气流，使滤袋急剧膨胀、收缩，引起冲击振动。袋外附着的粉尘，一部分靠重力落入下部灰袋内，一部分由于瞬时产生的、由内向外的气流将其吹落，进入灰

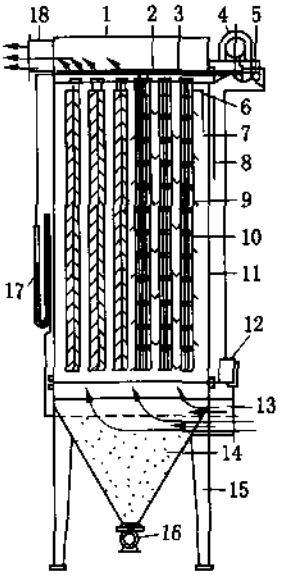
斗。最后经泄尘阀排出。该类型除尘器，可以在不停风的状态下进行清灰。

新的或干净的滤袋除尘效率最低。随滤布上粉尘量增多，除尘效率提高。但同时阻力增加，到一定程度，需进行清灰。清灰后除尘效率稍有降低，但比新滤袋高。

对除尘器性能影响最大的因素是过滤阶段的风速。风速过大，除压实粉尘层、增大滤层阻力外，还易使尘粒透过滤袋，降低分离效率；但风速过小，又易降低处理量。因此，风速的选择很重要，不同的粉尘，有不同的风速。对煤进行除尘时，脉冲袋式除尘器，其风速可采用 2.0～3.5m/s；反吹风式采用 0.6～0.9m/s；振打与逆气流联合式采用 0.7～0.8m/min。

袋式除尘器具有除尘效率高、适应性强、使用灵活、结构简单等优点。

但对黏结性、吸湿性强的粉尘不适宜用袋式除尘器，烟气温度不应低于露点温度（相对湿度为 100% 时的温度）；否则会产生结露，导致滤袋堵塞。



1—喷吹箱；2—喷吹管；3—花板；4—气包；5—排气阀；6—脉冲阀；7—喇叭口；8—检修孔；9—骨架；10—滤袋；11—除尘箱；12—控制仪；13—进气管；14—灰斗；15—支架；16—泄尘阀；17—压力表；18—排气口

图 10-6-9　脉冲喷吹袋式除尘器

6.2.4　选煤厂生产过程中的防尘措施

针对选煤厂粉尘的特性一般采用的抑制粉尘扩散的措施有：

1. 工艺和物料

选用不产生或少产生粉尘的工艺，采用无危害或危害性较小的物料，是消除、减弱粉尘危害的根本途径。例如，用湿法生产工艺代替干法生产工艺，用密闭风选代替机械筛分等。

2. 限制、抑制扬尘和粉尘扩散

（1）采用密闭措施。采用密闭管道输送、密闭自动称量、密闭设备加工等，防止粉尘外逸。不能完全密闭的尘源，在不妨碍操作的条件下，尽可能采用半封闭罩、隔离室等设施来隔绝，减少粉尘与工作场所空气的接触，将粉尘限制在局部范围内，减弱粉尘扩散。利用条缝吹风口吹出的空气扁射流形成的空气屏幕，能将气幕两侧的空气隔离，防止有害物质由一侧向另一侧扩散。

（2）用多种方法抑制正压造成的扬尘。通过降低物料落差、适当降低溜槽倾斜度、隔绝气流、减少诱导空气量和设置空间等方法，抑制由于正压造成的扬尘。

（3）采用增湿、喷热气、高压静电等抑制扬尘。对亲水性、弱黏性的物料和粉尘，应尽量采用增湿喷蒸汽等措施，可有效地抑制物料在装卸、运输、破碎、筛分、混合和清扫等过程中粉尘的产生和扩散，厂房喷雾有助于室内漂尘的凝聚、降落。对振动筛、破碎机、带式输送机转运点等开放性尘源，均可采用高压静电抑制装置，能有效地抑制金属粉尘和煤等非金属粉尘，以及电焊烟尘、爆破烟尘等粉尘的扩散。

（4）在设计中合理布置，为防尘、除尘创造条件。为消除二次尘源、防止二次扬尘，应在设计中合理布置，尽量减少积尘平面。地面、墙壁应平整光滑，墙角呈圆角，便于清扫；使用负压清扫装置，来清除逸散、沉积在地面、墙壁、构件和设备上的粉尘；对炭黑等污染大的粉尘作用及大量散发沉积粉尘的工作场所，则应采用防水地面、墙壁、顶棚、构件，并用水冲洗的方法清理积尘，严禁用吹扫方式清扫积尘。

3. 通风除尘

1）自然通风除尘

建筑设计时要考虑工艺特点和除尘的需要，利用风压、热压差，合理组织气流，充分利用自然通风改善作业环境。当自然通风不能满足要求时，应设置全面或局部机械通风。

2）全面机械通风

对整个厂房进行通风、换气，把清洁的新鲜空气不断地送入车间，将车间空气中的粉尘浓度稀释并将污染的空气排到室外，使室内空气中粉尘的浓度达到标准规定的最高容许限度以下。全面机械通风一般多用于存在开放性、移动性尘源的工作场所。

3）局部机械通风

对厂房内某些局部部位进行通风、换气，使局部作业环境条件得到改善。

（1）一般应使清洁、新鲜空气先经过工作地带，再流向有害物质产生部位，最后通过排风口排出，含有害物质的气流不应通过作业人员的呼吸带。

（2）局部通风、除尘等系统的吸尘罩、风管、除尘器、风机的设计和选用，应科学、经济、合理，使工作环境空气中粉尘浓度达到标准规定的要求。

（3）除尘器收集的粉尘，应根据工艺条件、粉尘性质、利用价值及粉尘量，采用就地回收、集中回收、湿法处理等方式，将粉尘回收利用或综合利用，并防止二次扬尘。

4. 消除高度势能差

搬运设备的料斗、防护罩、溜槽等因粉料落差所产生的高度势能差，是产生粉尘外溢飞扬的主要原因，应尽量减少落差，减少溜槽、滑槽的倾角，有些密闭室最好造成负压，这样才有利于粉尘的收集。

5. 其他措施

由于工艺、技术上的原因，通风和除尘设施无法达到卫生标准要求的有尘作业场所，操作人员必须佩戴防尘口罩等个体防护用品。

在实际工作中，首先应查明粉尘产生和扩散的原因，再采取有效的防尘、除尘措施。除尘措施有密封除尘、湿法除尘和机械除尘，选煤厂多用机械除尘。

7　煤炭储存与装卸

煤炭储装运系统是煤矿地面工程和选煤厂必不可少的主要生产系统，其合理与否直接影响煤矿的生产能力和经济效益。储装运系统是一个统称，包括储存、装卸和运输等生产环节。储装运系统应用广泛，除煤矿与选煤厂有储装运系统外，煤炭集运站和煤炭港口码头的生产系统实际上也是煤炭储装运系统。配煤工艺系统是一种有特定要求的储装运系统，在煤炭的储装运过程中辅助于相应手段，实现精确的配煤，以提高煤质并满足不同的市场需求。

由于使用的场合不同，故工程实践中几乎找不到相同的煤炭储装运系统。但万变不离其宗，其核心仍然是储存、装卸和运输等生产环节。

7.1　煤炭储存

7.1.1　功能分类及适用范围

煤炭储存是为了保障煤矿与选煤厂的正常生产。在煤矿与选煤厂、煤矿与铁路/公路、选煤厂与铁路/公路之间，留有足够的生产作业缓冲时间或煤炭储存能力，可以保证煤矿与选煤厂的生产互不影响，煤矿/选煤厂的生产不受铁路/公路运输条件的制约。

常见的煤炭储存方式见表 10－7－1。

表 10－7－1　常见的煤炭储存方式

储存方式	结构形式	常用堆/取料设备	主要优点	适应场合
储煤仓	筒仓	带式输送机或刮板输送机/给料机	封闭、环保，运营成本低，利于配煤	中等储量，多品种
	方仓			块煤，小储量，多品种
	槽仓			大储量，少品种
储煤场	长方形栈桥储煤场	带式输送机/给料机、推土机	储量大，投资低	占地面积充足、环保要求不严格，大储量
	圆形落煤筒（溢流窗）储煤场			
	长方形堆取料机储煤场	斗轮式堆料机/斗轮式取料机	储量大，机械化程度高，利于均质化。封闭后环保效果好	大储量、少品种，均质化
	圆形堆取料机储煤场	斗轮式堆料机/刮板式取料机		

7.1.2　工艺系统及设备设施

7.1.2.1　栈桥储煤场

栈桥储煤场是一种传统的露天储煤方式，具有结构简单，投资少，借助于推土机储煤量不受限制等优点，在我国曾被广泛采用。因其落煤时扬尘大、环境污染比较严重，推土

机返煤时原煤碾压破碎严重、造成粉煤量增多等缺点，故除中、小型选煤厂外，大型选煤厂很少采用这种储煤场。

为了满足环保要求，露天储煤场一般都加设防风抑尘网。

7.1.2.2 落煤筒（溢流窗）储煤场

溢流窗式储煤场因其具有结构简单，投资少，落煤时扬尘少，借助于推土机储煤量不受限制等优点，在我国被广泛采用。它由落煤柱、堆放场地、地下返煤输送带等组成。

溢流窗式储煤场使用的是常规设备，如给料机、带式输送机、推土机等。落煤柱是一个空心圆柱体，高度一般 15～20m，视储煤场的大小而定。原煤由输送带走廊运至卸煤点，卸下后顺着落煤柱下落。落煤柱在不同高度上开有溢流窗，当落煤筒内的煤堆至一定高度后，便从溢流窗口溢出。下方窗口被溢出的煤堵住后，煤便继续在落煤柱中堆积，达到上面一个溢流窗，煤便再次溢出。推土机将落下的原煤推离落煤柱，堆积在储煤场的不同位置。当需要返煤时，推土机将原煤从不同位置推至地下漏斗的入料口，经转载输送带运至地面生产系统。

与栈桥储煤场相比，溢流窗式储煤场占地面积比较小，堆取方便，堆料高度较高，适于较长时间存储变质程度较高的原煤。但推土机返煤时对原煤碾压破碎严重，造成粉煤量增多，增加了分选难度和煤泥水处理负荷是溢流窗式储煤方式的主要缺点。合理布局返煤地道和漏斗，尽量增加自然煤堆的活煤量，减少死角煤量，是弥补上述缺点的可行措施。

为了更好地适应环保要求，在溢流窗式储煤场上加设轻质壳盖的做法越来越被重视和采用。溢流窗式储煤场的形式如图 10－7－1 所示。

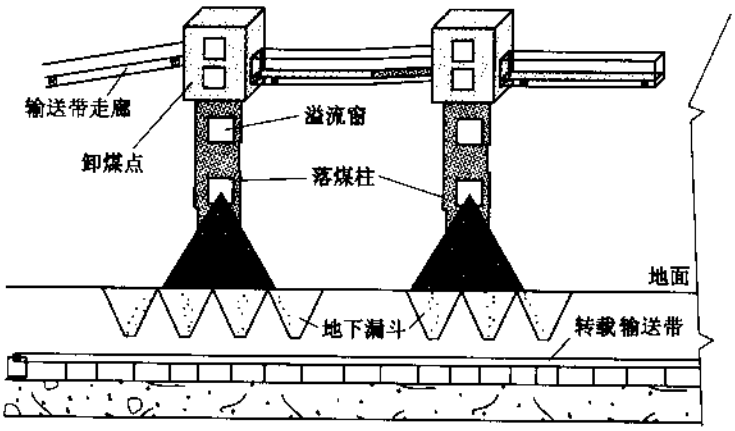


图 10－7－1 溢流窗式储煤场剖面图

7.1.2.3 堆取料机储煤场

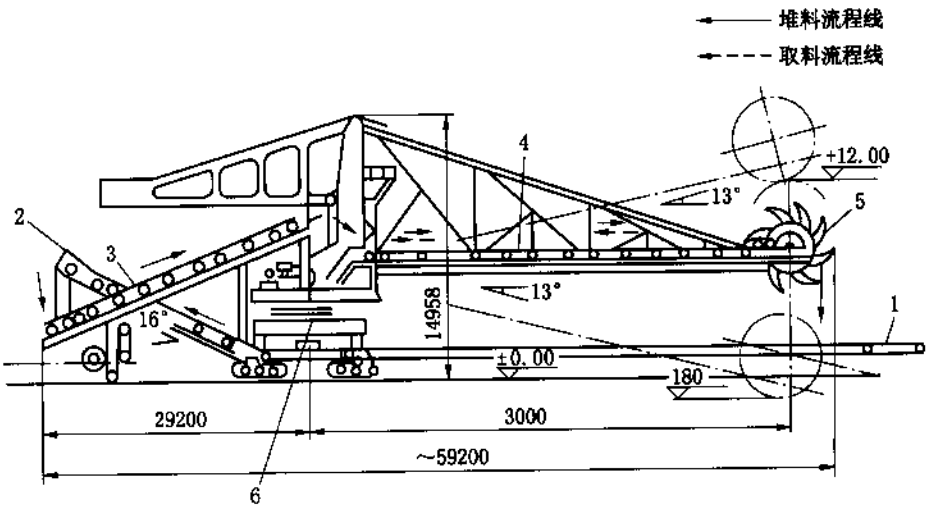
堆取料机储煤场是一种机械化程度很高的散装物料堆取料的储煤方式。近年来在我国大型选煤厂、焦化厂和海港码头等已经广泛采用。堆取料机储煤场与其他储煤场相比，因它设备布置在地面上，具有土建工程量小、地面系统简单、投资少、施工期短、劳动条件好、储煤量大等优点。

我国设计制造的悬臂式斗轮式堆取料机有 KL 型、DQ 型。此外，还有门式斗轮堆取

料机 MDQ 型等。图 10－7－2 为 DQ5030 型斗轮堆取料机工作流程图。

堆料及取料通过三条宽为 1200mm 的带式输送机完成。当物料需要储存时由带式输送机 1 转运至带式输送机 2 及 3 上，再由悬臂式带式输送机 4 运至两侧地面上储存。反之物料需要返回时，将悬臂式带式输送机 4 回旋，转到需要挖取的存料位置，根据料堆的情况悬臂式带式输送机 4 调整到适当角度，然后开动斗轮 5 挖取。斗轮 5 挖取的物料落到悬臂式带式输送机 4 上，悬臂式带式输送机 4 反向运转至尾部主机中心溜槽 6 中，卸至主带式输送机 1 上，由主带式输送机 1 运回选煤车间。

图 10－7－3 为堆取料机储煤场平面图。



1、2、3—带式输送机；4—悬臂式带式输送机；5—斗轮；6—溜槽

图 10－7－2　DQ5030 型斗轮堆取料机工作流程图

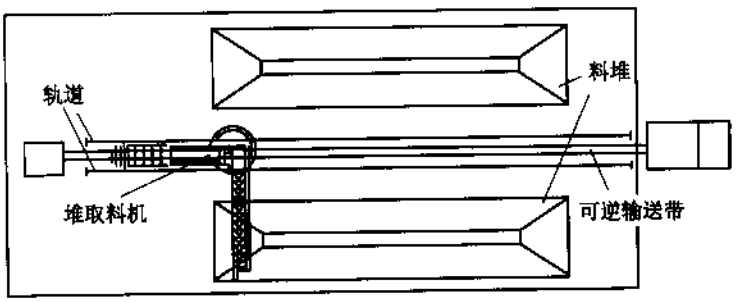


图 10－7－3　堆取料机储煤场平面图

上述堆取料机机组安装在可组装起来的大型支架上。它沿铁路轨道整体移动（最大移动速度为 30m/min），斗轮和悬臂式带式输送机可作水平弧形旋转（最大转动角度为 300°），同时还可作升降运动（在 4～8min 内使悬臂提升到最高点）。因此堆取料机工作过程是移动、旋转和升降三种动作的综合运动。堆取料机的运行轨道宽度一般为 5m 或 6m。轨面坡度小于 3‰，路基需要很坚固，两轨面高差小于 3mm。堆煤高度可达 10～12m

（轨面以上）。煤堆边缘至来煤或返煤输送机中心线应有 20～30m 距离。行走轨的尽头应比煤堆边缘长 10～20m。轨道两侧应设坡度为 15‰的排水沟。堆取料机的工作地点正常温度要求在 +40～−25℃范围内。工作风压不大于 250Pa。

7.1.2.4 大容量圆筒仓储煤

煤仓的类型较多，作为原煤储煤仓和配煤仓之用者多采用大容量圆筒仓。

1. 圆筒仓容积的计算

由图 10－7－4 可以看出单个圆筒仓的容积为

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \qquad (10-7-1)$$

式中 V——单个圆筒仓的有效容积，m^3；

V_1、V_2、V_3——图 10－7－4 中各部分容积，m^3。

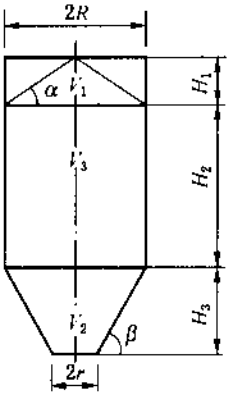


图 10－7－4 圆筒仓容积计算简图

（1）V_1 的计算。V_1 的大小与装料方式、装料设备有关。装料设备通常有溜槽（包括分岔溜槽）、箱式刮板输送机、带式输送机配套移动犁式卸料器或电动卸料车、可逆配仓带式输送机等。装料方式与仓的直径，仓的个数有关。可分一点、两点和多点装料；或者一线和两线装料。

以一点正载溜槽装料为例，对 V_1 进行计算，V_1 因成圆锥体形状，所以

$$V_1 = \frac{\pi R^2}{3} H_1, \quad H_1 = R\tan\alpha \qquad (10-7-2)$$

则

$$V_1 = \frac{\pi R^3}{3}\tan\alpha = 1.0472R^3\tan\alpha \qquad (10-7-3)$$

式中 R——圆筒仓半径，m；

H_1——圆锥体高度，m；

α——堆积角，(°)。

如无堆积角资料时，可近似等于安息角。

其他装料方式和装料设备的 H_1 和 V_1 的计算公式见表 10－7－2。

表 10－7－2 圆仓的 H_1 和 V_1 的计算公式

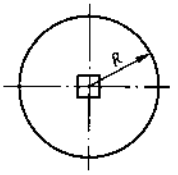
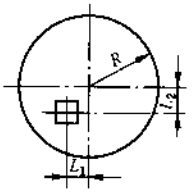
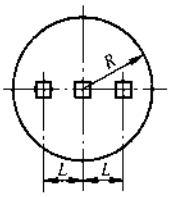
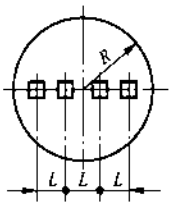
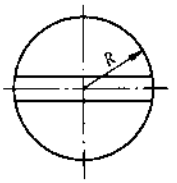
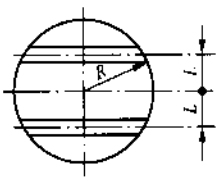
装料方式	装料孔平面图	装料设备	计算公式	
			H_1/m	V_1/m^3
一点正载装料		溜槽	$H_1 = R\tan\alpha$	$V_1 = 1.0472R^3\tan\alpha$
一点偏载装料		溜槽	$H_1 = (R + \sqrt{L_1^2 + L_2^2}) \times \tan\alpha$	$V_1 = \frac{\pi R^2 (R + \sqrt{L_1^2 + L_2^2})}{3}$

表 10－7－2（续）

装料方式	装料孔平面图	装料设备	计算公式	
			H_1/m	V_1/m³
三点正载装料		输送机	$H_1 = R\tan\alpha$	$V_1 = \frac{1}{2}(2R-L)(R+0.393)\times\left[\pi R - \frac{3}{4}\sqrt{R^2-(0.393L)^2}\right]\times\tan\alpha + \frac{\pi L^3}{8}\tan\alpha$
四点正载装料		输送机	$H_1 = \frac{\sqrt{4R^2+L^2}}{2}\tan\alpha$	$V_1 = \frac{1}{2}(\sqrt{4R^2+L^2}-L)\times(R+0.393L)\left[\pi R - \frac{4}{3}\times\sqrt{R^2-(0.393L)^2}\right]\tan\alpha + \frac{\pi L^3}{6}\tan\alpha$
一线正载装料		活动配仓带式输送机	$H_1 = R\tan\alpha$	$V_1 = 1.8083R^3\tan\alpha$
二线正载装料		活动配仓带式输送机，电动卸料车，犁式卸料车	$H_1 = (R-L)\tan\alpha$	$V_1 = \left[\pi R^3 - 6RL^3 - \frac{4}{3}(R^2-L^2)^{\frac{3}{2}}\right]\tan\alpha$

（2）V_2 的计算。因为 V_2 成圆柱体，则

$$V_2 = \pi R^2 H_2 \qquad (10-7-4)$$

（3）V_3 的计算。V_3 的容积大小与仓下排料孔的多少和孔形有关，一般圆仓下部排料多采用矩形单孔和四孔排料，如图 10－7－5 和图 10－7－6 所示。

单孔排料口 V_3 的计算：

$$H_3 = (R-r)\tan\beta \qquad (10-7-5)$$

$$V_3 = \frac{\pi H_3}{3}(R^2+Rr+r^2) \qquad (10-7-6)$$

式中，H_3、V_3、R、r、β 如图 10－7－5 所示，单位为 m。

四孔排料口 V_3 的计算：

$$H_3 = \frac{1}{2}(L-b)\tan\beta \qquad (10-7-7)$$

$$V_3 = 0.2(L-b)(\pi R^2+4ab)\tan\beta \qquad (10-7-8)$$

式中，a、b、L 如图 10－7－6 所示，其单位为 m。

$$L = R$$

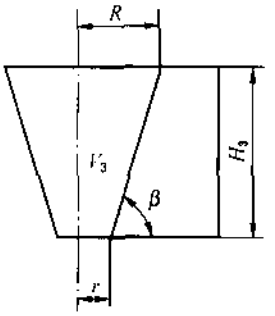


图 10－7－5 单排料口圆仓 V_3 计算简图

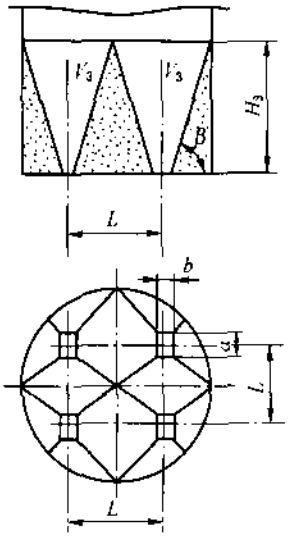


图 10－7－6 四孔排料口圆仓 V_2 和 H_3 计算及排料孔图

煤仓卸料口的线形尺寸 a 和 b，取决物料粒度的大小和粒度组成，以物料不致发生堵塞和成拱现象为原则，结合选用的给料机尺寸确定。设计时可参考表 10－7－3。

表 10－7－3 最小仓口尺寸参考表

入料最大粒度/mm	100	80	40	20
仓口最小尺寸/mm	450	400	350	300

2. 煤仓装煤量的计算

当煤仓的有效容积求出后可用下式计算煤仓的装煤量：

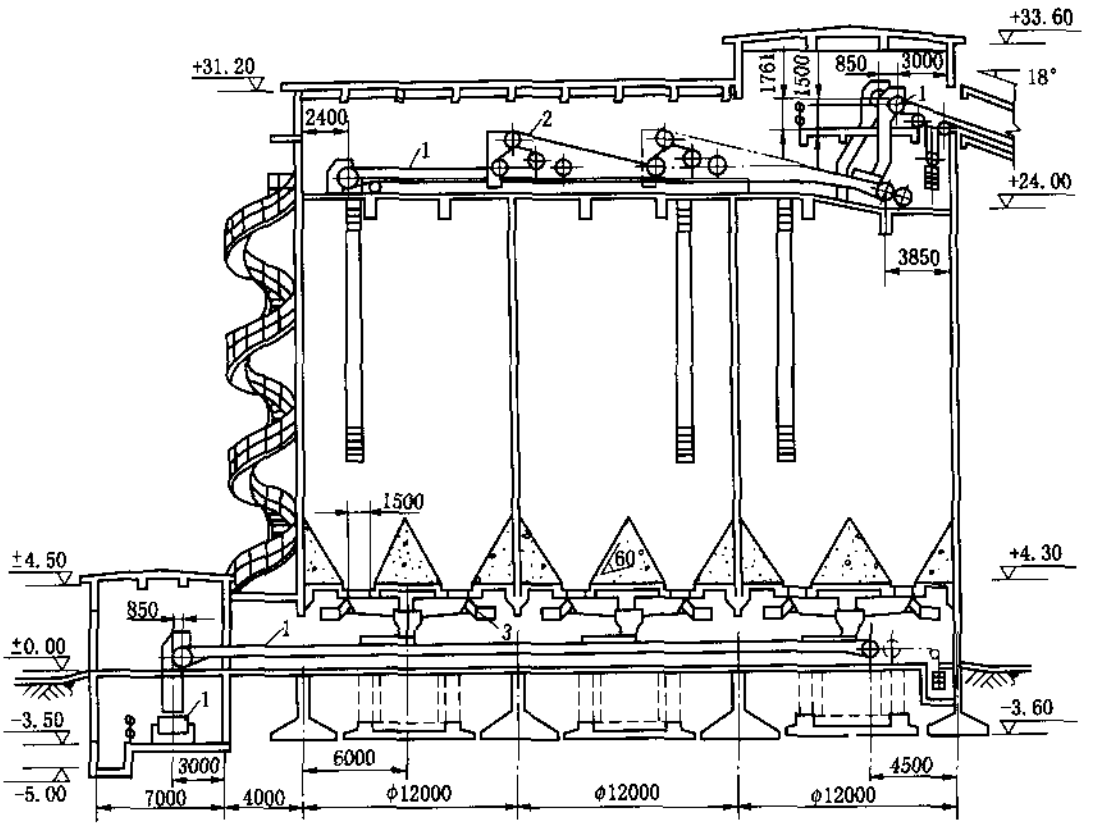
$$Q = \gamma V \tag{10－7－9}$$

式中 γ——煤的堆密度，t/m^3。

3. 圆筒仓的工艺布置

圆筒仓使用方便、土建结构上合理、受力性能好、并可采用滑动模板施工，施工速度快又节约大量木材。我国选煤厂常用的圆筒仓直径一般为 8m、10m、12m、15m、18m、22m、25m、30m，最大直径到 45m。仓直径与圆柱体 H_2 之比取 1∶1.5 以上，这样较经济合理。单个圆筒仓容量，小者在千吨左右，大者在万吨以上。建设圆筒仓是否经济合理，取决于工程地质条件和地震烈度。如果大型圆筒仓建设在基岩上，这是最经济合理的方案。如果工程地质条件恶劣，大量投资用于基础处理，不如改选其他储煤方式。

圆筒仓的布置方式，结合仓的直径大小及工艺要求，可采取单排或双排的布置。图 10－7－7 为双排布置圆筒储煤仓布置实例。



1—带式输送机；2—电动卸料车机；3—给料机

图10-7-7　圆筒储煤仓布置图

7.1.2.5　半地下煤仓（槽仓）储煤

半地下煤仓（槽仓）因其具有储煤量大，封闭结构，落煤时扬尘对环境污染少等优点，在我国一些特大型选煤厂设计中使用，既可用于产品煤储存，也可用作原煤储煤设施。因半地下煤仓（槽仓）地下工程量巨大，投资高，故而使用并不普遍。平朔安太堡选煤厂、安家岭选煤厂、神华哈尔乌苏选煤厂等都采用了（8～15）×10^4t的大型槽仓。槽仓的横剖面布置图如图10-7-8所示。

7.1.2.6　原煤均质化设施（混煤场）

原煤均质化原则在工业发达国家，如德国、英国的选煤厂设计中，早就给予了高度重视，并被广泛付诸实施。世界上最先进，规模最大的原煤均质化设施，就是均质化混煤场。例如德国罗贝克选煤厂的均质化混煤场，采用人字形木制屋架，轻质维护，屋架下部跨度66m，人字形顶部高度为35m，储煤场长度210m，煤堆宽33m，高15.5m，煤堆长122m时储量3×10^4t，最大储量4×10^4t。储煤场的横剖面布置图如图10-7-9所示。东欢坨选煤厂的设计中，也采用了类似的混煤场。济宁三号选煤厂、晋城寺河选煤厂、长平选煤厂、宁夏宁东煤化工项目等都采用了圆形结构混煤场。

1. 入选原煤均质化的必要性

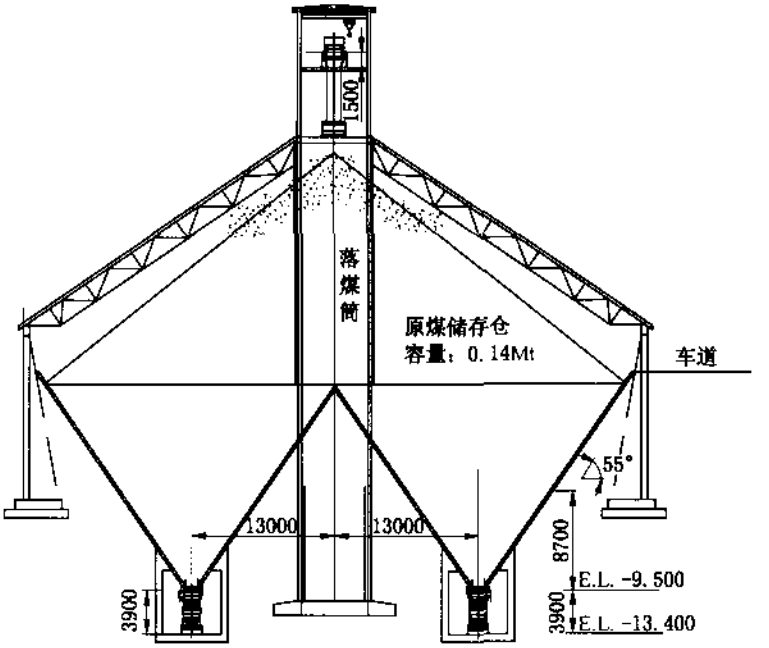
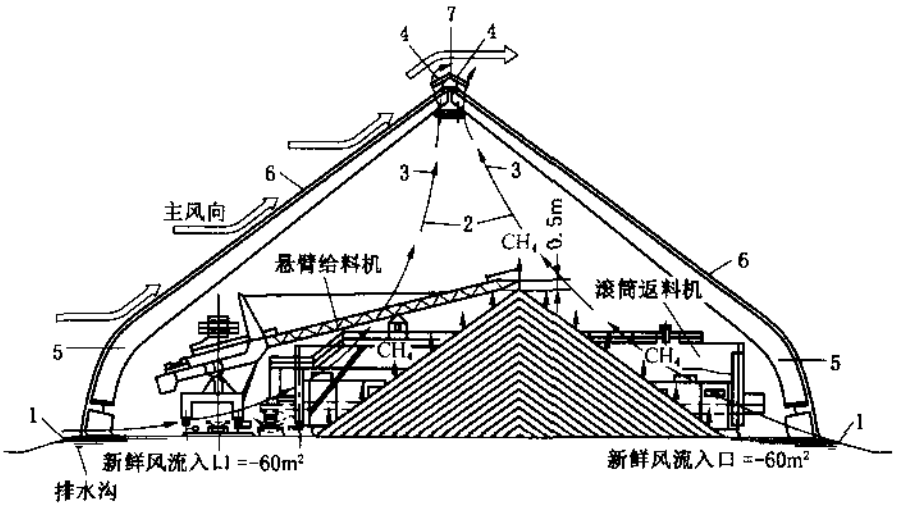


图 10-7-8 槽仓布置图



1—新鲜气流入口；2—升温的气流；3—含≤0.1% 甲烷气的气流；4—顶盖排气孔；
5—抗燃的预制拱架；6—混合煤堆的防风顶盖；7—防止顶部集尘的顶帽

图 10-7-9 封闭式配煤储煤场

由于成煤环境和成煤条件不同，形成了煤炭赋存状况上的差异；因此在同一井田内，不同的采区，不同的煤层，其煤质的变化和区别也非常明显。加之，井下各采区工作循环进度不同步，每个工作面在一个班的不同时间内，出煤量也有很大波动，故而致使井口出煤不论在数量上还是质量上，都很不均匀。这些差异将直接影响到原煤的分选过程和分选

结果。如果在地面设置原煤均质化混煤场，则可有效地解决上述问题。入选原煤均质化具有以下优点：

（1）可以使入选原煤的数量和质量在一段时间内（2～3 天）保持相对稳定，不受井下变化的影响。

（2）能使跳汰、重介分选的工艺操作条件保持相对稳定，从而保证了精煤产品质量的稳定，并且，有利于分选效率的提高。

（3）由于在地面设置了均质化混煤场，井下不必再搞复杂的分采分运工程，可节省大量资金。尤其对于同时开采硫分不同的上、下组煤，或同时开采可选性差异大的几层煤时，而且井下采区上下山直至水平大巷均采用带式输送机运输煤炭的方式，实现分采分运困难很大，耗资也多。这时若地面采用均质化混煤场设施，则优越性更加明显。

2. 均质化混煤场工作原理与构成

均质化混煤场主要由堆料系统、料堆、取料系统三部分组成：

（1）堆料系统。堆料系统主要由来煤带式输送机和堆料机组成。堆料机沿堆长匀速往返堆料，横断面堆成△形（图 10－7－10）。堆料机机头设有探头，自动测距，使机头与煤堆之间始终保持约 1m 高的落差，可以有效地防碎、防扬尘。

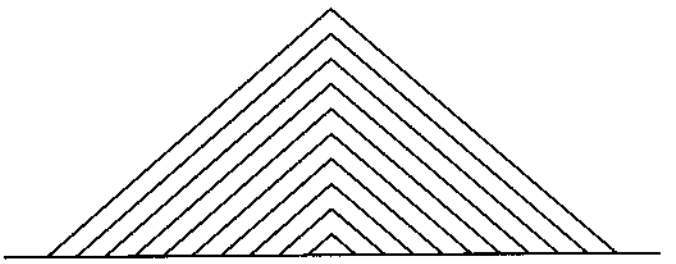


图 10－7－10　料堆横断面分层堆料示意图

（2）料堆。料堆一般由两个料堆组成，一堆一取（图 10－7－11）。每个料堆的容量，一般为矿井 2～3 天的产量，大约 20000～30000t。每个料堆要往复堆 200 多层料。目的是，任意截取料堆一个横断面，其各项煤质指标基本上都应是相同的。从而实现原煤均质化。

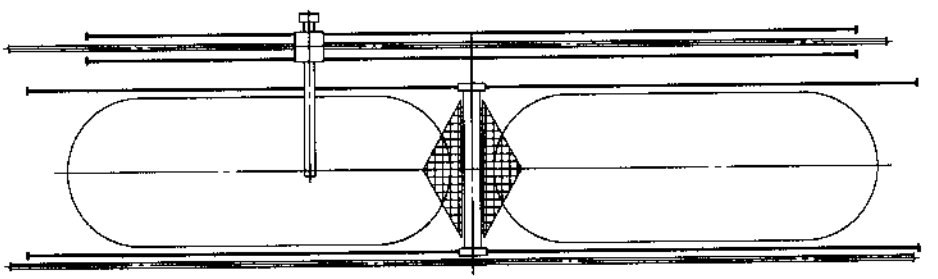


图 10－7－11　均质化混煤场平面布置示意图

（3）取料系统。取料系统主要由可移动△形耙架和滚筒取料机（或刮斗取料机）及返煤带式输送机组成。△形耙架横向往复缓慢移动，使堆积物料整个横断面均匀滑落，再由滚筒（或刮斗）取料机将落下的物料及时取起，运至返煤带式输送机上。整个堆、取料过程可实现高度自动化。

7.1.2.7 产品装车仓

现代化选煤厂的装车仓都广泛采用大型圆筒仓。我国常用圆筒仓直径一般为15～22m，单仓容量可在1000～10000t。圆筒仓比方形仓优点是容量大、“三材”消耗少，施工期短、施工质量高、总投资少、存煤易下落，施工时采用滑动模板、连续浇注，仓表面光滑美观不留施工缝，垂直准确度高，如果模板定型可以多次重复使用，施工效率提高两倍以上。从经济上考虑，圆柱体部分越高越合理，国外选煤厂有的筒高达75m。通常径高比1∶1.5～1∶2比较适宜。如果装车产品为块精煤时，最好不用较高的圆筒仓。块煤产品仓的结构形式，必须有利于防碎，如斜板方仓；或考虑采用有效防碎措施，如设置外螺旋溜槽、伸缩溜槽等。

7.1.3 标准规范的相关规定

7.1.3.1 原煤储煤仓（场）的原则要求

（1）《煤炭洗选工程设计规范》3.2.1条规定“选煤厂应设原煤储煤设施。当入选煤层多，煤质变化大时，宜设混煤场或其他均质化设施”。

选煤厂若因入选原煤种类多或入选各矿（层）煤的煤质变化大，可设置多个煤仓分别装仓储存，实行分组轮洗或按比例配煤入选；也可采用均质化混煤场进行混煤入选；这些都是科学管理入选原煤数、质量的方式。

（2）《煤炭洗选工程设计规范》3.2.2条规定“原料煤储煤设施的类型，可采用堆取料机储煤场、落煤筒（溢流窗）式储煤场、栈桥式储煤场、半地下煤仓或筒仓等。原煤储煤和混煤设施总容量应根据设计生产能力、运输、市场等条件确定，并与产品仓容量统筹考虑。原料煤与产品煤储量之和宜为3～7d选煤厂的设计生产能力”。

大容量的圆筒仓、半地下煤仓（槽仓）、大型堆取料机储煤场等储煤设施，均是现代化选煤厂储煤的先进形式。它不仅能满足生产储量要求，调节矿井与选煤厂之间生产协调稳定，而且能改善劳动条件、环境卫生并起到配煤作用，使入选原料煤均匀且质量稳定。

（3）《煤炭洗选工程设计规范》3.2.4条规定“在人口集中的城镇或自然保护区附近的选煤厂，应采用封闭方式储存原煤”。

现在不少省、市环保部门已明确提出封闭方式储存原煤的要求，这是原煤储存方式的发展趋势。

7.1.3.2 产品装车仓的原则要求

与原煤储煤仓（场）对调节矿井与选煤厂正常生产起着重要作用一样，产品装车仓对选煤厂与铁路运输正常生产也起到重要的调节作用。尤其是市场经济条件下，产品销售受市场制约严重，因此，选煤厂修建一定容量的产品装车仓是非常必要的。旧有的一些选煤厂为了减少基建投资、修建容量较小的装车仓，已不适应生产要求，先后扩建了装车仓。有的厂采用修建小容量的装车仓外，另设立较大的产品储煤场，这种方案也存在一些弊病，如露天储存产品受到一定程度的污染和粉碎且污染环境，同时也不便管理。因此，现代化的选煤厂都修建较大容量的装车仓或封闭式产品储煤场（尤其是精煤储煤场）。

产品装车仓的容量应根据铁路车辆供应、周转情况而定。但必须符合《煤炭洗选工程设计规范》的相关规定，《煤炭洗选工程设计规范》8.0.1条、8.0.4条，对产品装车仓的容量、装车方式作了明确规定：

“选后产品储存应采用煤仓或封闭式储煤场。产品储存形式和装车方式应根据地形、工程地质、运输量、运输方式及产品品种等条件，经过技术经济比较后确定”。

“产品煤仓、封闭式储煤场的容量和装车方式宜符合下列规定：

（1）产品煤仓、封闭式储煤场的有效容量：中型选煤厂宜采用1.0d的选后产品量；大型选煤厂宜采用0.5～1.0d的选后产品量；在交通运输不便的地区宜采用1.0～2.0d的选后产品量；且产品煤仓、封闭式储煤场的有效总容量必须满足1.2～1.5倍设计车组的净载重量；

（2）产品煤仓、封闭式储煤场的设置应根据产品品种确定，且应满足装车要求；

（3）产品煤的装车可采用集中单点装车，亦可采用多点装车，并根据需要在轨道衡附近设置添减煤设施及平车设施；

（4）精煤仓应考虑脱水，寒冷地区要考虑防冻措施”。

“矸石仓的有效容积不宜小于8.0h的矸石量”。

有人认为，装车仓容量应有余地，特别是精煤装车仓容量应大一些，以防止车辆供应不及时和产品变化的需要。但是《煤炭洗选工程设计规范》中的3.2.2条有明确规定，“原煤储煤和混煤设施总容量应根据设计生产能力、运输、市场等条件确定，并与产品仓容量统筹考虑。原料煤与产品煤储量之和宜为3～7d选煤厂的设计生产能力”。如果过分加大产品仓容量，势必相应减少原煤储煤和混煤设施总容量，宜统筹考虑。

另外，《煤炭洗选工程设计规范》8.0.2条对装车作业时间也作了相关规定：

“当采用标准轨距车辆外运煤炭时，装车设备能力应满足在规定时间内装完一列车的要求。从空车对准货位到一列车全部装满、计量完毕所需的时间，不宜超过2.0h”。

《煤炭洗选工程设计规范》8.0.3条对产品装车仓的结构形式也提出要求：

“煤仓内宜采取防堵塞或破拱措施，块煤仓应采取防碎措施”。

7.2　煤炭装卸

7.2.1　卸煤与受煤

7.2.1.1　原煤卸/受煤设施的类型

卸煤与受煤是选煤厂第一个环节，不论何种类型的选煤厂一般都须设置这个重要环节，只不过是容量大小和形式不同而已。矿井采出的原煤是通过不同方式输送的，因此，选煤厂的卸煤与受煤设施，也随着原煤输送方式和生产量的大小采取不同的卸/受煤方案。不同原煤输送方式对应的卸/受煤设施类型以及适用的选煤厂类型见表10－7－4。

表10－7－4　原煤输送方式和对应的卸/受煤设施类型

序号	输送方式	对应卸/受煤设施	适用场合
1	箕斗、带式输送机输送	容受漏斗、缓冲仓	矿井型选煤厂
2	窄轨矿车输送	窄轨翻车机、受煤坑	矿井型选煤厂

表 10-7-4（续）

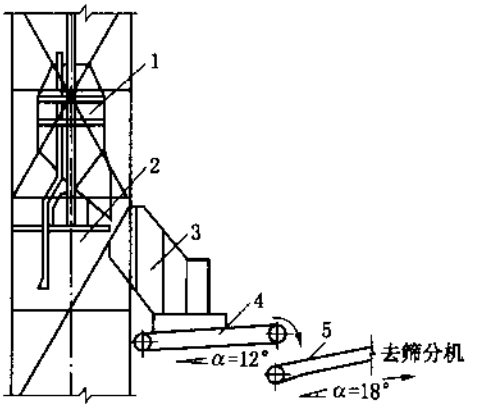
序号	输送方式	对应卸/受煤设施	适用场合
3	准轨铁路输送	受煤坑、准轨翻车机	群矿、矿区选煤厂、港口
4	汽车输送	受煤坑	群矿、矿区、（露天）矿井选煤厂
5	索道输送	索道卸料装置、仓	群矿、矿区选煤厂

7.2.1.2 不同类型原煤受煤设施的特点及布置

1. 矿井型选煤厂原煤受煤设施

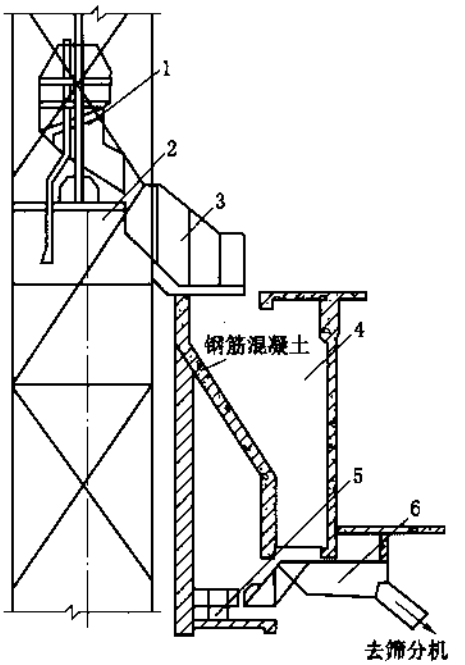
（1）竖井箕斗提升方式受煤。对于竖井箕斗提升的矿井，往往竖井井架（塔）内已建有容量不大（一般为3～7倍箕斗的容量）的箕斗仓，如图10-7-12所示。

以前有不少选煤厂设计在箕斗仓下面加设容积稍大的缓冲仓。因而将选煤厂的受煤或准备车间就与竖井井口房连接在一起，如图10-7-13所示。这样就大大增加了主井井架（塔）的高度，很不经济，现在已很少采用这种布置方式。



1—箕斗；2—井筒；3—容受漏斗；
4—板式给料机；5—带式输送机

图10-7-12 箕斗提升受煤方式之一



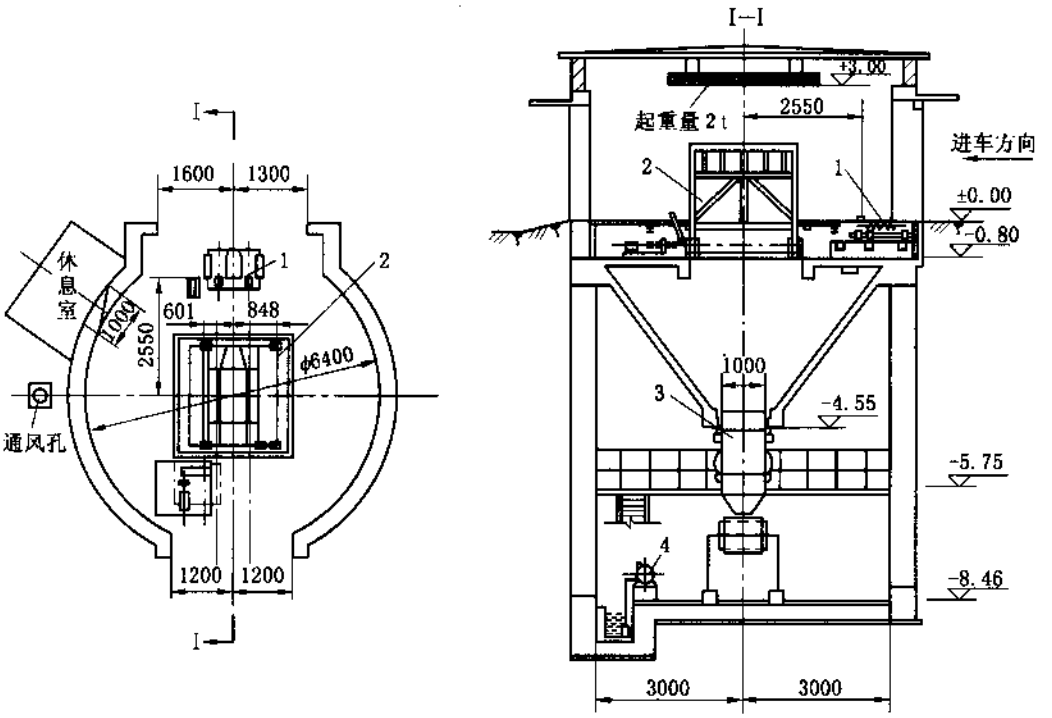
1—箕斗；2—井筒；3—容受漏斗；4—缓冲仓；
5—工作台；6—给料机

图10-7-13 箕斗提升受煤方式之二

（2）斜井带式输送机提升方式受煤。当原煤采用斜井带式输送机提升方式时，一般不专设原煤受煤设施。正确的做法是：采用原煤储煤设施或原煤仓代替原煤受煤设施。

（3）窄轨翻车机受煤。矿井主井为平硐或斜井采用串车提升方式时，多采用窄轨翻车机受煤。受煤设施由1～3t容量的翻车机（或是底开式矿车）、容受漏斗（仓）、给料

机（或闸门溜槽）等组成，经带式输送机送入地面生产系统，如图10-7-14所示。



1—阻车器；2—翻车机；3—给料机；4—排污泵

图10-7-14　1t单车摘钩翻车机布置上视图、剖面图

窄轨受煤仓的有效容积可根据下列两种情况确定，若逐个矿车来煤时，可采用5～10个矿车的容量；若成列车来煤时可采用0.5～1列车的容量。还考虑大于300mm块煤处理和清除杂物的措施。受煤仓的仓壁倾角一般为55°～60°；若是用侧、底卸矿车，可采用受煤坑受煤。受煤坑的长度可为1/3或1/2的列车长度。

该类受煤设施多用于地方中、小型矿井选煤厂的原煤受煤，现在大型矿井选煤厂已极少采用。

2. 群矿型、用户型选煤厂原煤受煤设施

1）准轨受煤坑

原料煤用准轨铁路输送至选煤厂时，其受煤设施可采用受煤坑。受煤坑受煤是群矿型和用户型选煤厂常用的受煤方式。它是由卸煤机、受煤坑、给料机和带式输送机等环节组成。受煤坑上应设置可靠的调车设施。《煤炭洗选工程设计规范》3.1.1条作了相关的规定，下面以《煤炭洗选工程设计规范》规定为依据，分别论述准轨受煤坑工艺布置设计的主要内容。

（1）受煤坑长度及容量计算。准轨受煤坑长度、容量，是根据所要求的卸煤时间和储量而定。受煤坑分单排和双排两种布置方式。生产量小、煤种单一、煤层质量均匀时采用单排布置；生产量大，单排受煤超过6节车厢长度，而又要求在规定时间卸完或因煤种

多需要按比例入选，或分别入选时，应采用双排布置形式。

受煤坑的长度可按下式计算：

$$L \geqslant nL_1 + L_2 + L_3 \tag{10-7-10}$$

式中 L——受煤坑总长度（计算结果应修正为跨度的整数倍），m；

n——每次卸车的车辆数（一般为4～6辆）；

L_1——车辆平均长度（无专用车时可取13.914m/辆），m/辆；

L_2——停车不准确长度（一般经验数据为3～5m），m；

L_3——考虑到受煤坑两端布置暖工、配电、集尘、排水、楼梯间、安装孔的长度（一般一端取4～6m），m。

受煤坑的容量大小与原煤储煤场（仓）设置有关。如果设计受、储兼用的受煤坑时应满足选煤厂8～14h的生产量的要求。

当选煤厂设置原煤储存场（仓）时，受煤坑的有效容量应不小于设计车组的净载重量，其计算公式为

$$Q = k(Nq_1 - Tq_2) \tag{10-7-11}$$

式中 Q——受煤坑的容量（不小于设计车组的净载重量）；

k——不均衡系数（取1.3～1.5）；

N——一次来煤车组的车辆数，辆；

q_1——每辆车的载重量（来煤车辆为非专用车辆时可取44t/辆），t/辆；

q_2——由受煤坑坑下至原煤储煤仓输送设备的输送能力，t/h；

T——卸完一次来煤的总卸车时间，min。

$$T = \frac{N}{n}t_1 + \left(\frac{L_1 n}{v} + t_2\right)\omega + t_3 \tag{10-7-12}$$

式中 t_1——每辆车卸车时间，min/辆；选煤厂除底开车外应采用机械化卸车（如螺旋卸煤机）平均卸车能力为10min/辆；因为人工卸车普通铲车效率为9～10t/（人·h），效率低劳动强度大，不宜采用；

t_2——调车绞车的辅助作业时间（一般为0.5min），min；

t_3——每次卸车的停留时间（每卸一次车为1min），min。

（2）卸煤机、给料机与受煤坑的形式。当来煤车辆非底开车或自卸车时，应采用适用可靠的卸车设施，如螺旋卸煤机、斗式卸煤机等。

受煤坑煤仓形状，可分为无仓格式槽形缝口仓、有仓格式角锥形漏斗仓等。随着仓形的不同而采用的给料机也不一样。采用槽形缝口仓时，仓下应设置叶轮给料机（分单面卸料和双面卸料两种），其布置形式也有所不同，双面卸料的可同时卸两排缝口仓的物料，机械利用率高，比较经济。

当原煤水分很低时，煤尘过大，不宜采用无格槽形缝口仓。可以采用有仓格式角锥形漏斗仓，仓下可以采用振动给料机或自同步惯性振动给料机等。

（3）受煤坑的工艺布置。布置前首先要详细了解选煤厂至铁路编组站（或本矿区铁路）区间线路布置，轨面标高、进车方向、来煤情况、原煤种类及性质等。在布置时应注意下列问题：

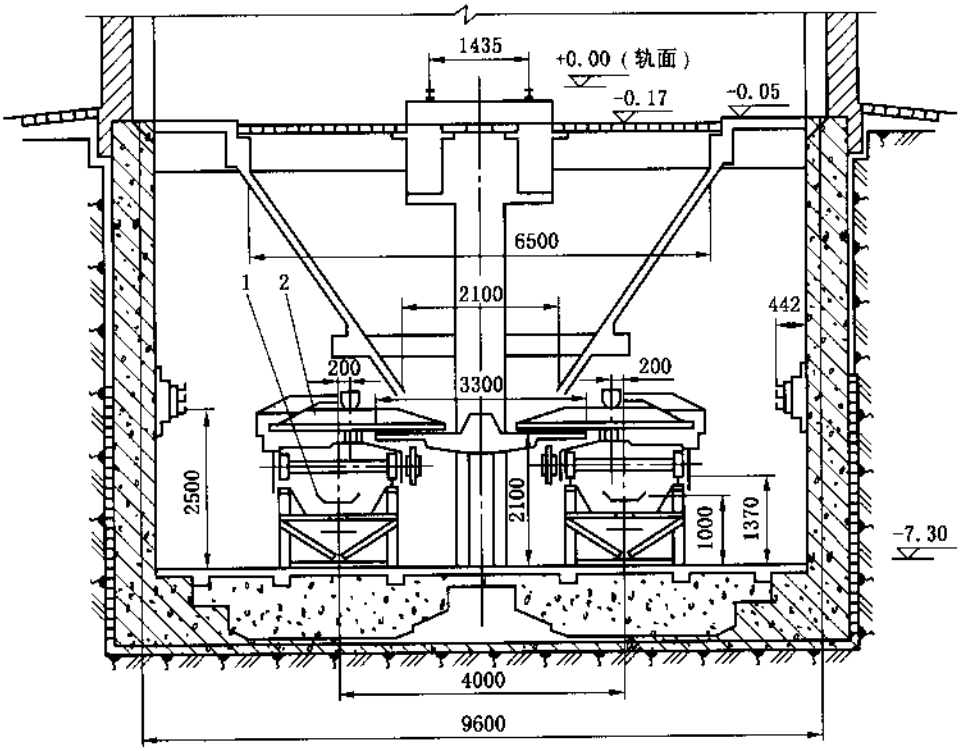
受煤坑上部应安装300mm×300mm铁箅（水平固定筛），当接受含有>300mm特大

块来煤时，应设施大块物料处理设施，防止大块煤及杂物进入仓中堵塞仓口。铁箅边缘与两侧建筑（柱、墙）应留有人行道（500～700mm）。

仓内设煤位自动指示器及信号装置，煤仓倾角不小于55°。煤仓排矿口应根据原煤最大粒度、闸门尺寸及给料机型号考虑。

当采用叶轮给料机无格槽形缝口仓时，仓下带式输送机机尾应比仓口长4～5m，以便将仓口边存煤卸净且撒落在输送带上。为了防止堵仓可采用风力破拱清仓装置。当原煤水分较低，煤尘较多时考虑设置除尘设施，受煤坑两端设有通风设施和通风设备。受煤坑地面四周建防雨及排水设施。受煤坑底部设集水池和排污泵。在寒冷地区应考虑采暖设施。受煤坑一端设楼梯间、配电室，另一端可设简易楼梯。安装检修孔的大小根据设备尺寸考虑，如叶轮给料机需要6000mm×4000mm的检修安装孔。受煤坑的宽度根据卸煤机行走轨距确定，受煤坑地面至屋顶高度根据机车通过的要求而定。双排受煤坑两相邻铁路中心线间距不小于6m。准轨受煤线与邻线中心间距最小为6.5m。

图10－7－15为单排无仓格槽形缝口仓，采用两台单面卸料叶轮式给料机布置图。图10－7－16为双排无仓格槽形缝口仓，采用两台单面卸料叶轮给料机布置图。



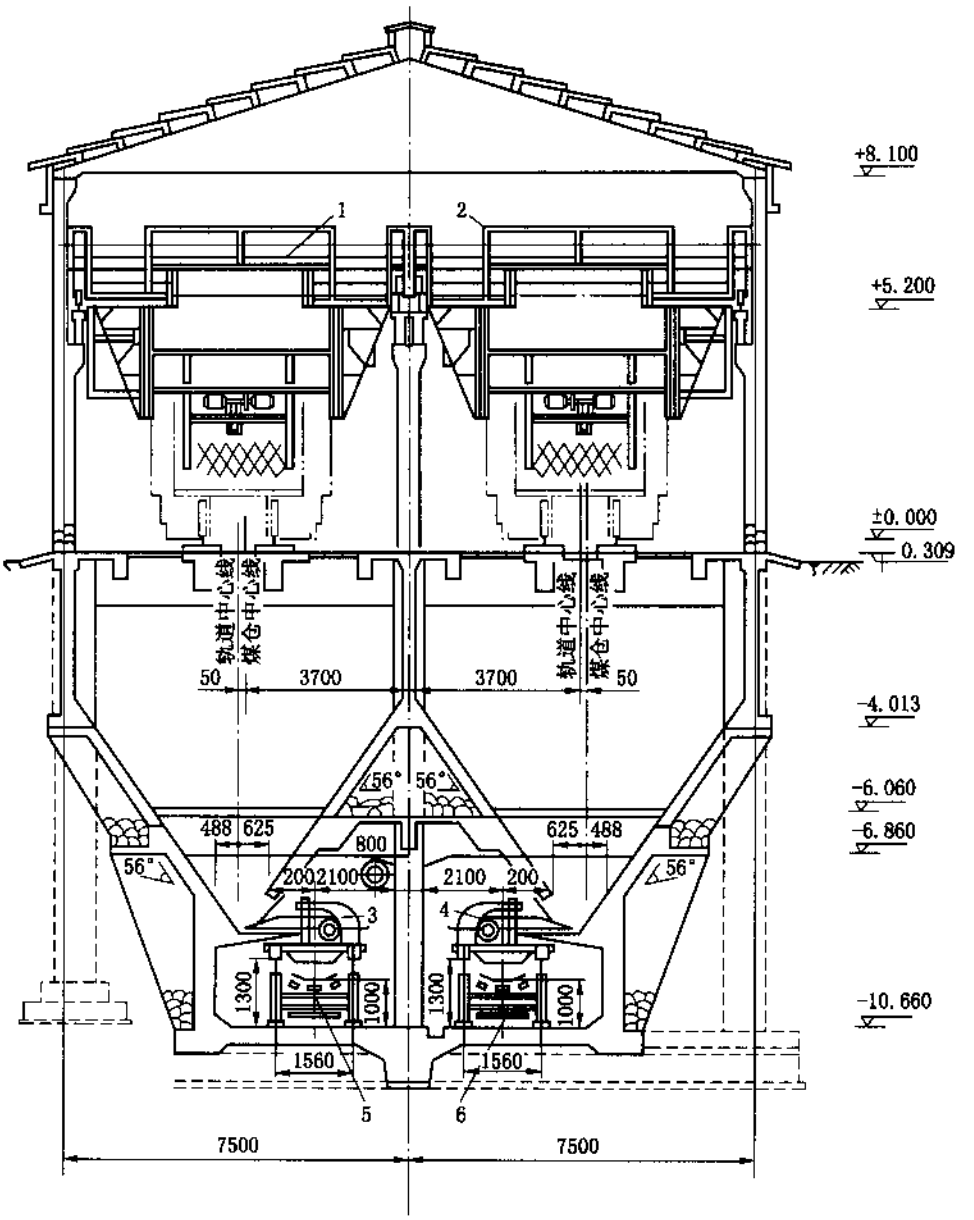
1—带式输送机；2—单面卸料叶轮给料机

图10－7－15　无仓格槽形缝口仓单排受煤坑布置

2）准轨翻车机

准轨翻车机受煤适用于大型选煤厂。

《煤炭洗选工程设计规范》3.1.2条对其作了相关规定，“当采用标准轨距翻车机时，



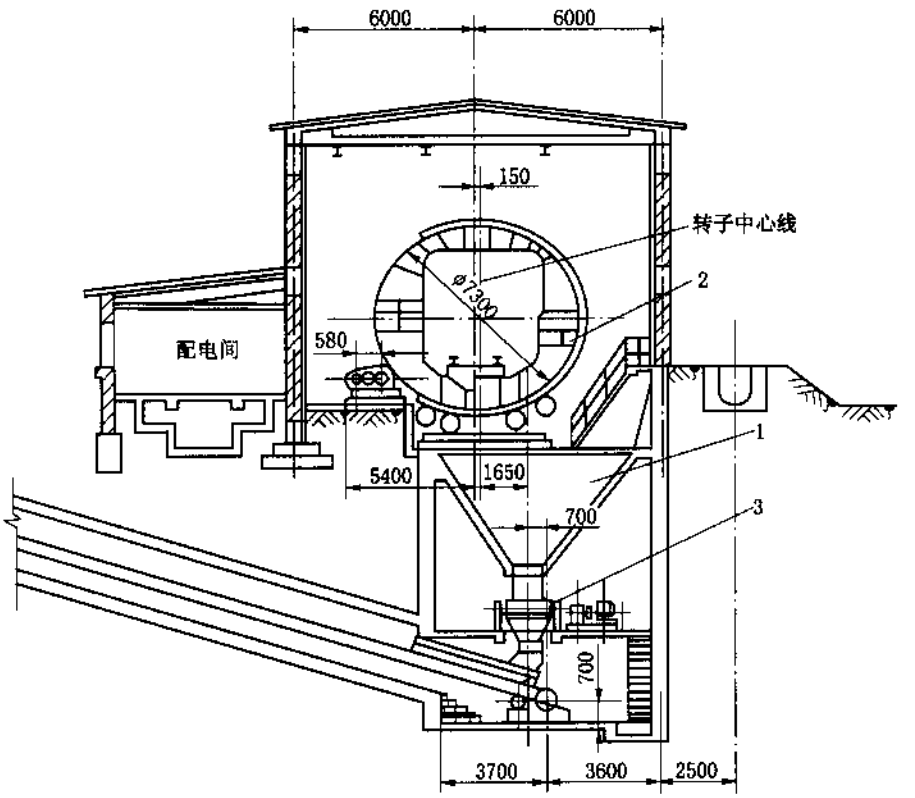
1、2—螺旋卸煤机；3、4—单面卸料叶轮给料机；5、6—带式输送机

图 10-7-16 无仓格槽形缝口仓双排受煤坑布置

翻车机的受煤仓容量应为 150～180t。受煤仓上应设调车绞车或推车机。对设计生产能力大于或等于 3.0Mt/a 的大型选煤厂，采用翻车机时可设一台备用，也可考虑其他备用措施”。

准轨翻车机有转子式和侧倾式两种类型。转子式翻车机优点是：工作可靠，倾翻角度为 170°～175°，功率小、宜翻卸 CF65、C16 型专用车辆；但在建筑上需要很深的基础，对于地下水位高的地区施工很困难，土建投资大。侧倾式翻车机优点需要的基础较浅、适

用于地下水位较高的地区，但倾翻角较小，一般为160°，电动功率大。通常多选用前者。转子式单排翻车机房布置如图10-7-17所示。



1—受煤仓；2—翻车机；3—输送带式给料机

图10-7-17　KFJ-2型转子式单排翻车机房布置图

准轨翻车机房的工艺布置要求：

（1）布置转子式翻车机时，转子的中心线与铁路（车辆）的中心线要偏离150mm。转子中心线与煤仓中心线在卸煤侧偏离1.65～2.5m。布置侧倾式翻车机时，轨道中心线与煤仓中心线的距离为6.0m左右。

翻车机下受煤仓只起缓冲作用，其容量不大，《煤炭洗选工程设计规范》要求一台翻车机下的煤仓容量可按150～180t设计。在仓上设置300mm×300mm铁箅子和大块煤破碎设施。

（2）仓下给料设备可采用往复式给料机或输送带式给料机。当采用角锥形缓冲仓时，用往复式给料机，仓口最小尺寸为1500mm×1000mm，当缓冲仓为槽形缝口仓时可采用输送带式给料机，槽形仓口最小尺寸为5000mm×1000mm。

（3）准轨翻车机房，应单独设置操纵室，其位置布置在水平较高的地方，以便能够观察进车和卸煤作业。操作室与机房各层应用电铃、信号灯等联系，并设有电话与厂调度室等处联系。

（4）翻车机房内应设采暖、除尘、排水及检修安装提升孔等设施。翻车机房最底层

设排水沟、污水池和排污泵。

（5）翻车机推送车辆可采用铁牛绞车作业。铁牛绞车有重车推送铁牛和空车推送铁牛两类。重车推送铁牛和重车牵引铁牛，因它们吨位不同，应根据设计手册和有关产品目录选取。

3）准轨自卸车受煤

国产新型底开门自卸车（K18 型、KM70 型）工艺，列车不用解体，在列车通过受煤地槽时，由设置于轨道边的特殊机构自动打开车辆底门，边走边卸，完成卸煤后，又由设置于轨道边的特殊机构自动关闭车辆底门。这是一种可实现整列连续自动卸车，速度更快，效率更高的先进的卸车工艺，代表了今后的发展方向。还可大大缩短受煤地槽长度，减少土建工程量。

4）汽车受煤坑（槽）

当采用汽车运送原煤时，也可以采用受煤坑或浅受煤槽受煤方式受煤。受煤坑（槽）的长度根据同时卸煤汽车的车辆数具体考虑。受煤坑（槽）的容量，依据《煤炭洗选工程设计规范》规定为三辆汽车的净载重量，或不小于 30t。并应考虑计量和自卸设施。

5）索道运输受煤

原煤索道运输主要用于山区难于使用其他运输方式时。典型的索道运输受煤设施是直接在原煤仓上，设施索道运输斗子开启装置，将斗子底部开关打开后，斗中原煤直接经过仓口灌进原煤仓。仓口设有箅子，防止大块或杂物进仓。

7.2.2 装车系统的工艺布置

选煤产品通常采用准轨列车运输，其装车仓有两种布置形式。一种形式是装车仓直接建筑在铁路站线上，产品煤直接装车，称为跨线式装车仓。另一种形式为落地式装车仓，即装车仓不直接建在铁路站线上，而是建筑在选煤厂工业场地上，仓中产品排放至仓下输送机内，转载到铁路线上装车点装入车辆。采用落地仓的原因，一是因为装车点处工程地质不好等原因，不宜建跨线仓；二是因装车点处的标高比工业场地高；三是总体布置方面的原因不允许建跨线仓；四是拟采用快速定量漏斗装车装置。落地仓在装车精确计量方面有困难，在装完中煤后改装精煤容易产生污染，所以在条件允许时，应尽量采用跨线仓。

装车方式分为单点装车和多点装车两种。多点装车就是一股道上同时有几个落煤点，几个车皮可在仓下同时装车，装车设备简单，投资少，但不利于准确计量。一点装车方式是将仓内产品通过输送机集中到一点，在固定点装车，所以也叫集中单点装车，车皮直接停在装车仓（点）下轨道衡上。优点是计量准确方便，产品分配均匀，质量稳定，装车称量及调车简便，便于集中控制和自动化，节省人力，减轻劳动强度；因此，一般应采用集中单点装车方式。

7.2.3 产品装车仓与装车系统的布置

布置装车仓时，首先确定装车仓形状、仓的容量、装车方式。当采用方仓时，需根据品种、数量及装车点数来确定装车仓的排数。方仓的边长一般为 6m×6m 或 7m×7m，其方柱体高度一般为 5～6m，容量较小，一般为 200～400t/个左右。大、中型选煤厂采用方仓时，需要仓的个数很多，相应排数也多。因此采用圆筒仓为宜，因其容量大、个数少，布置成一排或两排即可满足要求。装车仓锥体部分倾角视产品粒度大小而定，如产品为 50～0mm，倾角应≥60°。若浮选产品单独装车，其粒度小于 0.5mm，且易粘附，倾角应

>80°，且锥体应采用钢结构；否则容易堵塞。单独装块煤的仓，应设置防碎措施（常用于动力煤）。在布置时，根据产品情况选择仓下排料闸门与给料机。多点装车一般采用溜槽装车。一点装车时多用煤斗装车（也可通过带式输送机机头溜槽直接装车），煤斗的容量，一般为15～20t左右。也可以根据仓下产品煤至装车点的带式输送机上的煤量为煤斗最小容量。

装车产品的品种及仓的个数较多时，还需要在仓上设置产品配煤设备（如可逆带式输送机、铸石槽箱刮板输送机等）。采用带式输送机卸料装仓时，一般常用电动卸料车或犁式卸料车。此时仓上应开长形装料孔。其布置尺寸可参考表10－7－5。

表10－7－5　仓上卸料开口布置尺寸参考表

带式输送机宽度/mm	500	650	800	1000	1200	1400
长孔宽度/mm	700	850	1140	1360	1600	1800
孔口防护箅条间距/mm	200					
带式输送机机头中心线与墙间距/mm	2300～2400					
带式输送机机尾中心线与墙间距/mm	2400～2700					

采用铸石刮板输送机装料时，可降低仓的高度。头轮轴中心线与墙间距不小于1300mm，尾轮轴中心线与墙间距不小于1700mm，作为通道维修空间和面积。常用的铸铁链板输送机的型号有：600mm、800mm、1000mm、1200mm等。

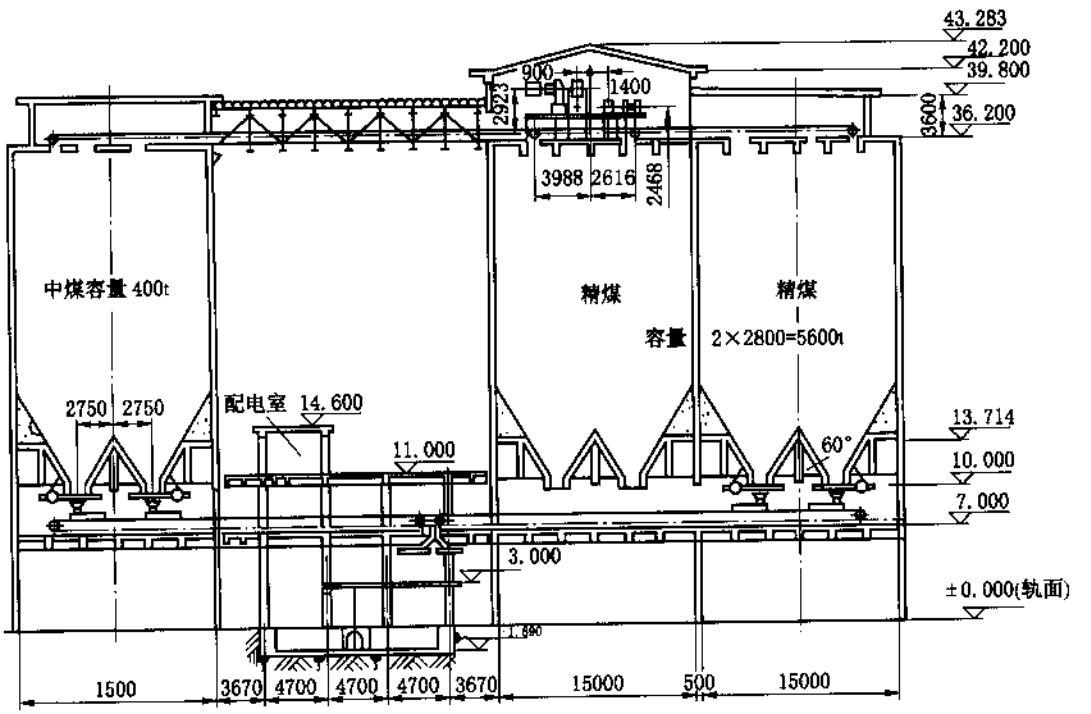


图10－7－18　圆形跨双线单点装车仓布置剖面图

为了保证仓下机车安全通行，必须严格执行国家铁路设计规范的界限尺寸。仓下至轨面高度应留有足够的空间。当采用蒸汽机车和内燃机车牵引时，仓下楼板梁底边至轨面高度，或仓下装车溜槽提起时底边至轨面高度净空为5500mm。当采用电力机车牵引时，其净空为6550mm（在条件困难时，最小高度为6200mm），铁路两侧界为2000mm和2440mm。

为了产品计量准确，装车仓下重车出口处（或装车点下）应设立轨道衡。轨道衡分杠杆式（老式）和电子式两种，多采用后者。常用称量范围为100t，秤台长为12m、13m和14m三种。根据所用车辆长度和是否允许机车通过轨道衡来选定。称量室的位置与装车形式有关，若为一点装车时，一般设在操作平台上，如为多点装车，一般布置在±0.00mm平面上，也可以设在操作台平面上。

轨道衡的四周地面应向外倾斜，并设立排水设施（可以与装车仓滴水排放统一考虑）。当采用溜槽装车时，车辆中心线与轨道衡中心线重合，溜槽应与车辆后壁距离1500mm。装车仓布置时还应根据产品粒度、水分大小，设置防尘、防寒措施。根据操作和检修要求设置楼梯、安装门及起重梁等设置。图10-7-18为大型选煤厂圆形跨双线单点装车仓布置剖面图。布置特点是装车点处于两产品仓中间。仓的直径为15m，高度为26.2m。

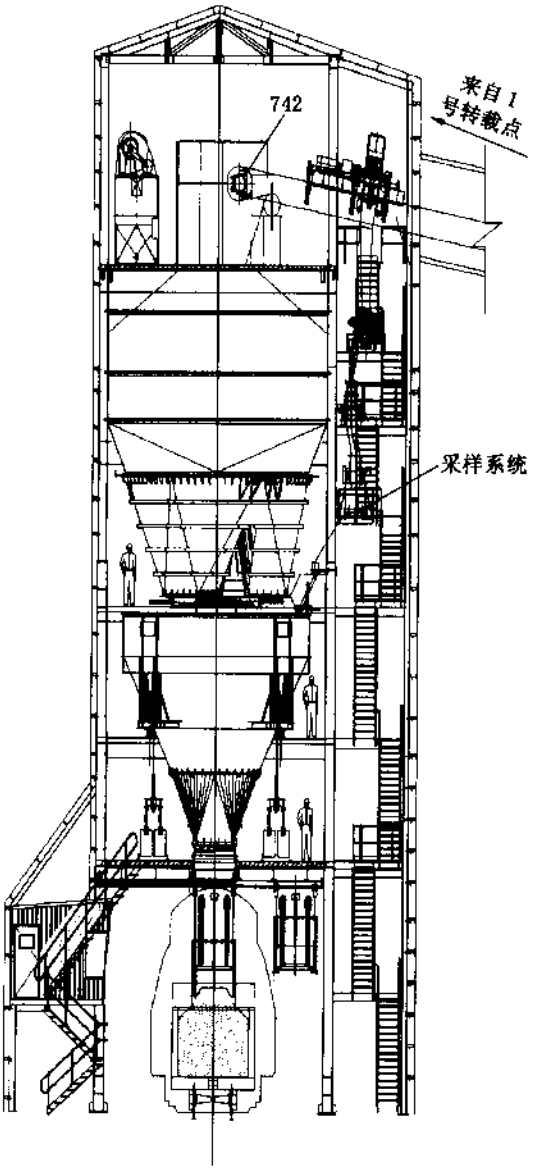


图10-7-19 快速装车站布置实例

《煤炭洗选工程设计规范》8.0.5条规定，“大型选煤厂可采用快速定量漏斗装车装置”。

快速装车站一般用于大型选煤厂，快速装车站布置实例如图10-7-19所示，其特点是装车速度快，计量准确。

第 11 篇

煤矿信息化技术

主　编　钱建生
副主编　李世银　程德强　罗驱波

1 信息化建设概述

煤矿信息化建设是一个多学科、多专业、复杂技术融合的综合应用领域，是一个庞大而复杂的系统工程。煤炭企业信息化建设相对电力和石油企业起步较晚，信息化建设过程缺乏统一的规划，已有系统的应用功能滞后，信息化对业务支持力度尚显薄弱。目前，应用系统的整体规划和建设是煤炭企业信息化建设的重点，且存在较多问题，具有较高难度。它不仅要面对设备、管理、人员，还要考虑复杂、恶劣的自然条件，这就决定了煤矿信息化建设必须包含生产、管理、市场、安全、地理等诸多信息系统。

我国煤矿信息化存在的主要问题表现在：

（1）信息工作流程不规范。企业的工作流程大多是自然形成的，且同类企业之间的工作流程不一致，存在许多计算系统难以处理的地方，给信息系统的开发、维护及推广造成困难。

（2）信息开发过程不规范。由于缺乏相应的信息系统开发标准，使信息化建设处于随意地私搭乱建的状态。

（3）信息系统不规范。没有统一的信息分类及代码等标准来协调信息系统的建设，形成了兼容性不足的信息“孤岛”。

（4）信息化工作相对滞后。企业对于信息化理念认识不足，资金投入不足。

（5）信息管理结构不健全，信息技术人员严重不足。

（6）缺乏研发能力。很多引进技术需通过消化吸收和与企业管理融合，继而在充分理解和吸收信息知识的基础上进行创新。

1.1 信息化建设历程与发展趋势

煤炭工业信息化主要任务就是利用电子信息技术提升和再造煤炭企业，加快煤炭工业的技术创新、管理创新和体制创新，提高生产力水平和经济效益，确保安全生产，提高企业的市场竞争力，整体优化升级传统的煤炭工业。

煤炭工业信息化经历了“七·五”起步、“八·五”巩固、“九·五”调整、“十·五”发展、“十一·五”整合的几个阶段。自 2001 年起，煤炭价格恢复性上涨，全行业基本扭转了亏损的局面，煤炭产销两旺，特别是进入 2003 年，煤炭价格一路攀升，煤炭行情呈供不应求之势。行业的发展也促进了行业信息化的大投入、大发展。煤炭行业信息化已同行业总体发展战略融为一体：其一是信息化已融入群体发展战略；其二应用现代电子信息技术提升煤炭综合生产力，实现高产高效安全生产模式；其三是信息化基础设施建设已具备一定规模。

国有大型重点煤炭企业在信息化方面处于领先地位，代表了我国煤矿信息化取得的成效。

（1）装备现代化：大量自动化、精密化、数字化的大型技术装备的应用，提高了生

产的准确度、安全和效率。

（2）系统自动化：应用电子信息技术在煤矿生产的采、掘、机、运、通、安全监测、地面洗选等各作业方面建立了自动化子系统，且近年来综合自动化集成方面也有普遍应用，实现了生产过程自动化。

（3）管理信息化：除了大力发展自动化技术应用外，在管理信息系统方面，各企业实施了 ERP、生产指挥调度系统、地测信息系统、企业门户网站、办公自动化等应用系统，其中 ERP/MIS 系统包括了物资、财务、人力、销售、工程、技术等主要业务方面，成为煤炭工业企业运转的信息平台。

面向国民经济建设主战场，围绕煤炭行业信息化的发展需求，将信息化技术与设计、生产、管理、安全相结合，整合资源，以信息技术支撑新兴的煤炭工业，深入广泛地开展煤炭行业信息化技术的推广应用，用高新技术改造煤炭的传统产业，提高煤炭企业的核心竞争力，提升煤炭行业的整体竞争力，是煤炭行业信息化长期而又艰巨的任务。

1.2　信息化支持企业核心战略

伴随煤炭企业大集团战略的发展，企业信息化建设也要在集团整体发展战略的指挥棒下，寻找与之相适应的发展策略和建设模式。

煤炭企业核心战略主要表现在以下 3 个方面：

（1）产业发展——以煤为主、相关延伸、多元发展。

（2）集团管控——加强战略规划，实施人、资、财、物垂直管理。

（3）业务运营——安全生产为本，提高营销水平。

核心战略的实现无法靠传统手段，企业必须借助信息技术来支持这种战略，运用信息技术来获得生产技术的进步、效率提高、成本的降低以及对市场的快速反应。

煤炭企业的信息化战略应该关注以下 4 个方面：

（1）以整合集团信息资源为基础，实现企业信息横纵交互。

（2）以建设应用系统为核心，全面支持企业集中管控和专业应用。

（3）以完善基础设施为重点，打造坚强的煤炭安全生产管理平台。

（4）以加强人才队伍建设为保障，提升信息化应用绩效。

1.2.1　企业集团管控模式

企业面对如此众多的业务和组织单元，如何建立起有效的管控模式，确保战略目标和经营计划的实现，是集团管理需要考虑的核心问题。

集团管控模式如图 11－1－1 所示。对于煤矿企业集团来说，资产经营和计划管控是其集团管控的基本方面。作为资源型企业，对资源开采利用的有效规划与计划是其经营管理的核心。煤炭企业集团需要建立以计划管控为核心的集团经营管控体系，体现以计划为驱动，对人、财、物集团核心资源高效管理机制。

1.2.2　企业整体信息化需求模型

企业整体信息化是指企业利用现代信息技术，通过信息资源的深入开发和广泛利用，不断提高生产、经营、管理、决策、服务的效率和水平，进而提高企业经济效益和企业竞争力的过程，也就是要实现企业生产过程的自动化、管理方式的网络化、决策支持的智能化和商务运营的电子化。



图 11-1-1 集团管控模式图

1.2.2.1 包含内容

企业整体信息化包含 3 个方面的内容：

（1）产品设计和制造信息化，包括利用信息技术改造生产制造过程，用信息技术创新、改造传统产品和优化提高产品的设计开发能力；

（2）企业管理信息化，是用信息技术改造、优化企业的生产、管理、服务等流程，提高企业经济效益和竞争力；

（3）提供企业信息化的信息技术装备、产品和服务，要有一批先进、适用的信息技术装备、产品和服务商作为支撑，以帮助企业完成信息化的任务。

1.2.2.2 基本任务

一般来说，企业整体信息化的基本任务包括：

（1）企业基本管理和业务信息的集成化，包括跨公司、跨部门数据的充分共享；

（2）文件的电子化，利用计算机来代替传统的手工操作，提高工作效率与准确性；

（3）强化企业内部控制，实现在线业务审批和监控，规避或降低内部营运风险；

（4）通过对业务数据的提取和分析，支持企业的绩效考核和决策功能；

（5）建立企业的对外信息平台和交互渠道，通过企业间的在线合作，降低自身的经营成本，增强市场竞争力。

1.2.2.3 信息化建模

从信息化的要求出发，结合煤炭行业实际，对煤炭行业企业实行企业建模，确定管理的层次架构。管理层次架构在企业信息化建模领域被称之为企业集成模型。

根据煤炭企业的管理实际和计算机集成制造（CIM）理念，将煤炭企业划分为决策层、计划层、执行层、控制层 4 个管理层级，如图 11－1－2 所示。决策层主要负责企业战略目标的制定、职能战略的决策；计划层主要负责业务域的职能规划与分析；执行层和控制层都属于具体的业务运作体系，其中执行层主要负责具体职能事务管理与操作；控制层则是针对高度自动化系统代替人工进行业务操作和管理而提出。

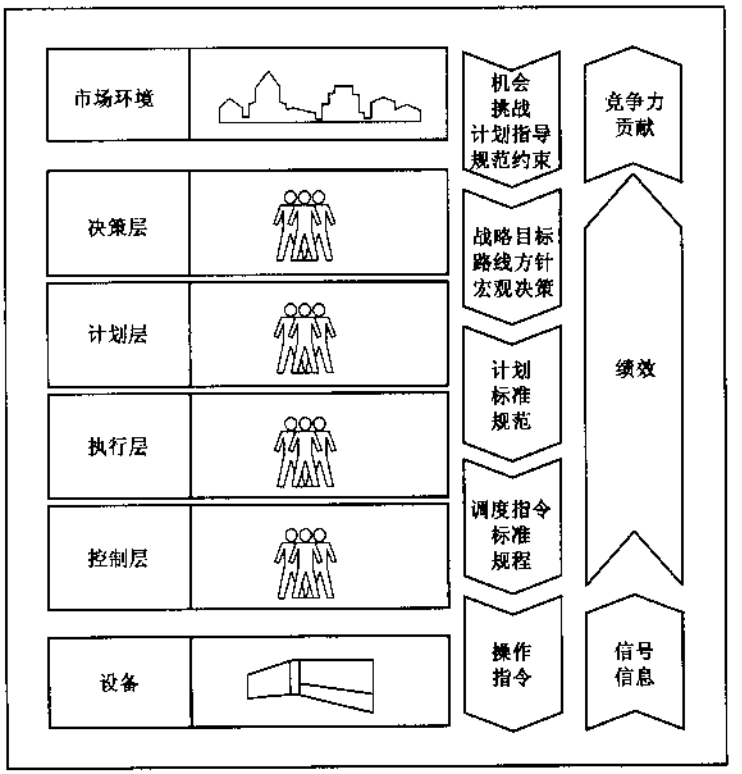


图 11－1－2　煤炭企业管理层级划分

具体到各业务域，管理层级的划分情况可能会有所差异。例如，生产制造包含控制层（又称为设备控制层、设备操作层、操作层），市场营销最低为执行层，无对应的控制层概念。

各管理层级对信息化有如下要求。

决策层：提供使企业决策者把握企业运营全局的手段，能够将决策者制定的企业战略目标分解成各部门的日常工作目标，具有与各级人员直接沟通的信息渠道。

计划层：需要为煤矿企业本部各管理部门，尤其是工程、采购、制造和物流、财务、人力资源等部门的管理提供信息系统，在各业务域和管理职能域间的内部资源规划、计划、协调的基础上，实现管理职能域之间的协调，实现业务域之间的资源规划、计划和流程设定上的协同和衔接，促进煤炭企业整个公司层面的资源合理规划和利用，综合利用各种科学的经营规划方法和管理手段实现内部价值链、供需链的优化。

执行层：根据计划层下达的资源规划、计划、流程规范和管理标准，为煤炭企业工

程、采购等部门运作人员及公司层面生产调度指挥人员、各生产点和物流体系的管理者提供相应的高效运作和精细管理的信息支撑手段。对生产制造和仓储物流等存在控制层的业务域而言，执行层的信息应用功能要特别体现在对控制层业务（生产过程、仓储、物流）的调度指挥和优化指导上，兼有生产和管理的信息元素和业务特征。

控制层：为下属矿井单位提供自动化的生产调度及指挥手段，为物流仓库提供调度与监控手段。提高生产效率和产品质量，降低成本，实现生产过程高度自动化和信息化。

作为资源型和资产密集型企业，无论是成本战略还是资产资本战略，其以物资为龙头、人财物为核心的经营管控始终是其经营管理的核心内容。在业务功能模型中，有关经营计划、物资采购、成本核算、设备管理、财务管理、人力资源等内容将是煤炭企业在集团核心业务信息化建设上关注的核心内容之一。

1.3 企业信息化目标

1.3.1 总体目标

根据行业特点、煤炭企业自身特点和战略发展需求，煤炭企业信息化总体目标可归纳为：采用先进的信息技术，构建功能强大、运行稳定的信息基础设施，开发支撑业务单元和资源有效协同运作的信息应用系统，实现企业的价值链优化、管控一体化、资源集约经营，为提升企业资产经营能力提供科学决策支持，为实现企业的发展战略提供信息技术支持。

在总体目标下，煤炭企业集团信息化建设愿景是“数字企业”，矿井建设愿景为“数字矿井”。

“数字企业”其内涵是对企业信息资源进行总体规划和充分利用；其外延表现为其核心价值链业务执行自动化、管理信息化、决策智能化，全面提高企业运营效率、经营效益和内在核心竞争能力。“数字企业”模型如图 11－1－3 所示。

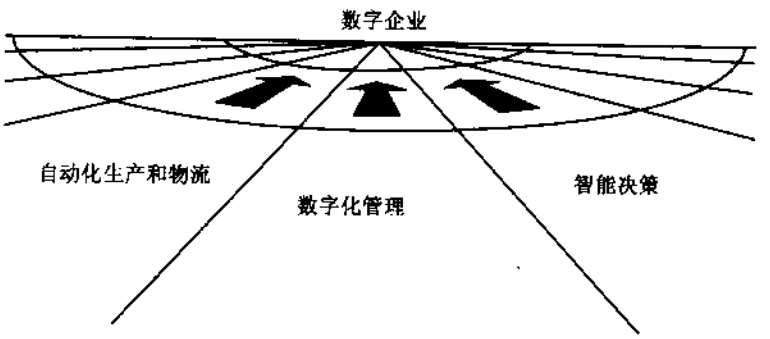


图 11－1－3 “数字企业”模型图

“数字矿井”其内涵表现为对自动化技术和信息技术的充分利用，改变生产作业与生产管理，改善安全生产管理时效性，提高生产效率、安全保障，促进高产高效矿井建设；其外延表现为生产过程自动化、综合自动化和生产执行系统建设，全面提高矿井生产过程安全性、可视化、实时性、可靠性和生产力。“数字矿井”提出了煤矿矿井信息化建设的愿景。“数字矿井”模型如图 11－1－4 所示。

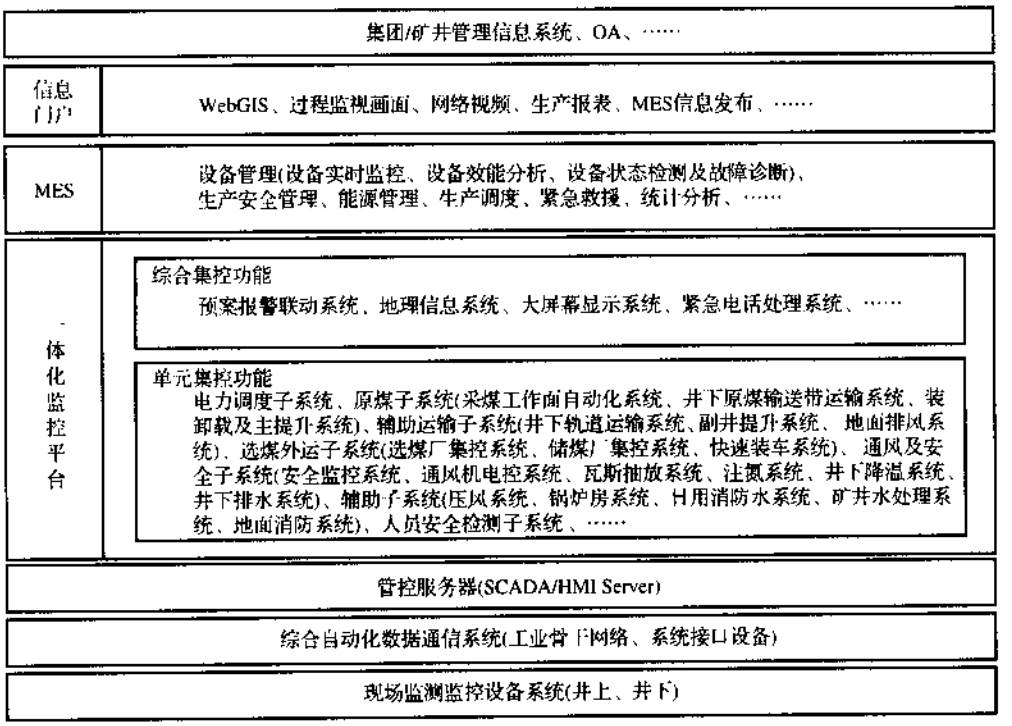


图 11－1－4　“数字矿井”模型图

1.3.2　现实目标

煤矿信息化的现实建设目标为：

（1）应用计算机技术、网络技术、信息技术、控制技术、智能技术和煤矿生产工艺技术，实现企业的经营、生产决策、安全生产管理和设备控制等信息的有机集成；

（2）通过应用软件，实现经营管理科学化，生产计划、生产安全调度、生产过程控制最优化；

（3）保证煤矿生产安全，提高产量和质量，提高企业经济效益和竞争能力；

（4）提高对客户多种要求的响应能力。

现实建设目标最终表现为煤矿的高度信息化、自动化、高效率、高安全和高效益。

1.4　企业信息化总体架构

根据煤炭企业业务特点、管理模式、发展战略需要，信息化总体架构通常如图 11－1－5 所示。

总体架构突出各业务管理层的规划，按照煤炭集团主业务管控架构模式，业务系统信息化主要分成集团决策层、集团业务层、MES 层、控制层。

集团决策层为管理者提供其决策所需的信息内容、信息组合分析，是企业级系统的最高层次应用，主要包括企业内外门户、协同办公系统、管理驾驶舱、商业智能/数据仓库、报表中心、业务流程、业务视图、业务活动监测等。

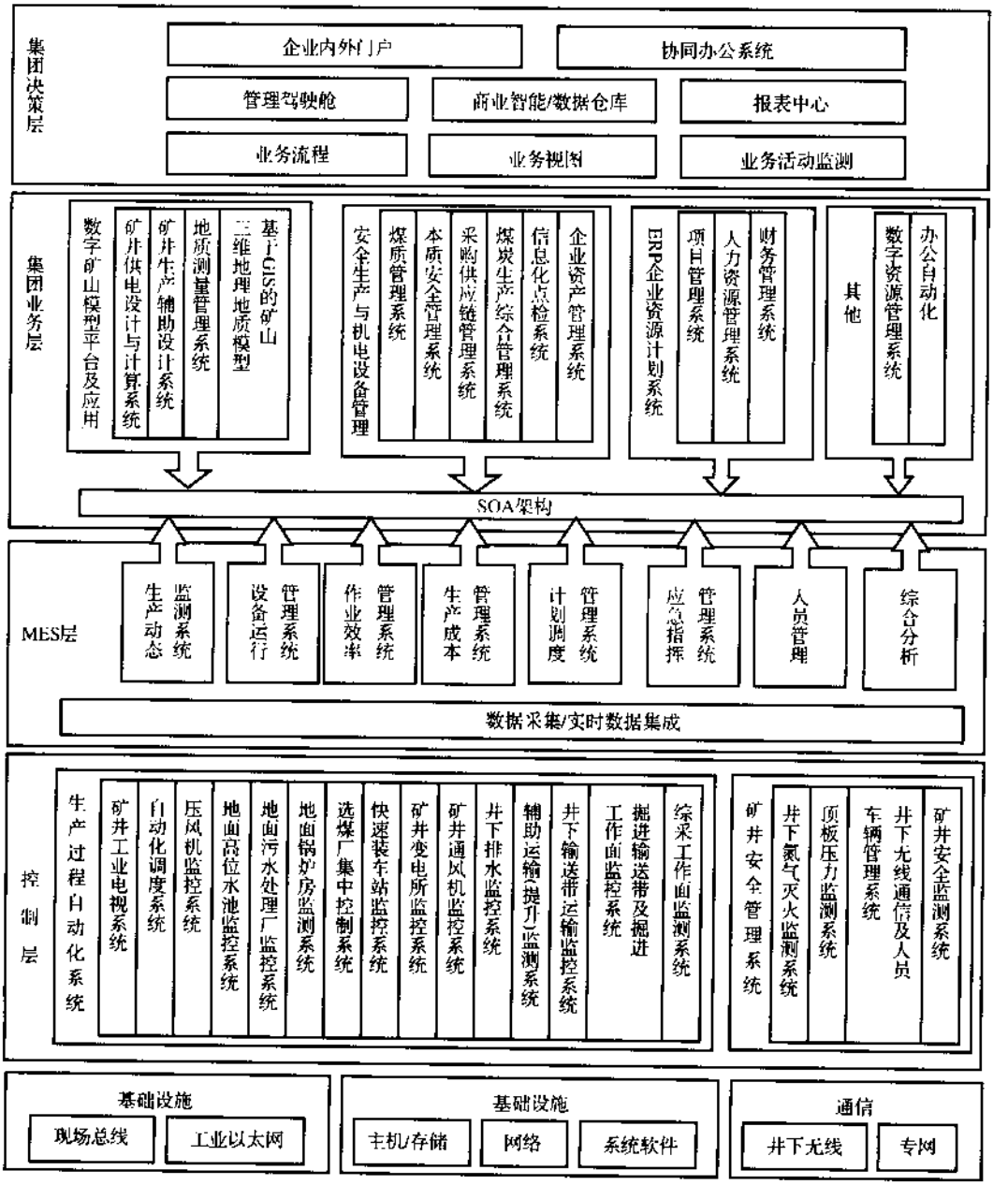


图 11-1-5 煤矿企业信息化总体架构图

集团业务层面向集团的日常业务活动，实现业务目标控制和专项资源调配，主要包括：数字矿山模型平台、安全生产与机电设备管理平台、ERP 企业资源计划系统等平台。

MES 层（生产执行系统层）提供对一线生产现场的实时监控和远程控制管理及生产安全执行协调管理，主要包括生产动态监测系统、设备运行管理系统、作业效率管理系统、生产成本管理系统、计划调度管理系统、应急指挥管理系统、人员管理、综合分析等

模块。

控制层通过生产过程自动化系统和矿井安全管理系统两大平台对安全生产进行监控监测，对有关的各类子系统进行应用。

1.5 信息化的组织保障体系

针对企业信息化工程存在的众多问题，正确认识企业信息化的内涵与实质，提供信息化工程成功的组织保障体系，具有重要的现实指导意义。

国内企业信息化工程组织保障体系的缺乏，主要有以下 3 个方面的原因：

（1）对企业信息化工程组织保障体系的重要性认识不足。以往普遍认为建设企业信息化就是建设应用系统，对系统的规划、日常管理、风险控制缺乏配套细致的考虑。

（2）缺乏先进理论和实践的指导。与企业信息化工程组织保障体系相关的 COBIT 等标准引入国内较晚，信息化工程组织保障体系标准的相关人才缺乏，国内企业对相关理论的研究、吸收不足，对这些标准如何与国内企业特点相结合缺乏经验，企业想搞好管控工作，但不知道从何做起。

（3）国内大多数企业只重视进行核心的业务系统建设，无暇顾及信息化工程组织保障体系能力的提升，缺乏必要的管理制度和检查细则。

上述这 3 个方面的问题在企业中非常普遍。随着企业基础信息系统的建设完成，企业对系统的依赖性增强，强化企业信息化工程组织保障体系就必然成为企业信息化重点考虑的内容。

企业信息化工程是一项系统工程，组织保障体系是确保企业信息化正确、有效、成功实施的原则与方法。建设企业信息化组织保障体系应从以下几个方面来考虑：

（1）企业信息化是一项复杂的系统工程，它的实施自始至终都需要企业最高管理层的支持。其中，有对企业流程再造需求的支持，有组织协调工作和普及培训工作的支持，甚至还会有突破旧习惯势力的抵制等方面的支持。

（2）企业信息化要有长期的、独立的组织机构来支持。该机构除主管网络建设以外，还要有一个有效的工作小组。该小组能把企业变革方案的实施和信息系统的建设结合起来，协调和指导企业管理部门的职能、人事等方面的建设、企业生产经营活动（采购、生产、销售、服务等）、各环节数据标准化、企业工作流程标准化建设和信息系统建设。

（3）在信息化项目中，人才匮乏，特别是项目负责人、技术负责人的匮乏是最大的难题。项目负责人应由懂技术、重规范、思路清晰、项目经历丰富、沟通能力强、事业心和责任心突出的人员担任，在项目中其角色承担着目标把控、协调沟通、团队建设、节点控制、实现经济目标等任务，这一切都建立在对合同的充分理解和认识的基础上。技术负责人则更强调沟通能力和技术背景，在项目中承担着技术把关、问题协调、技术指导、团队协同、落实规范等任务。此外，为人、处事、性格等因素也是项目负责人、技术负责人不可或缺的选人条件。因此，要注重人才的培养和使用。

（4）根据企业的实际情况，制定相应的管理制度，并进行严格的监督检查，贯彻实施。重点是保障已经实施的项目发挥其应有的作用，保障各种系统能够正常、稳定和安全的运行，在系统出现各种故障的情况下，能够尽快恢复系统正常工作。

在实现信息化的基础上，工矿企业可根据自身实际情况，将井上、井下固定生产岗位

转换为巡检岗位，实现无人值守，减岗提效，充分发挥信息化工程的作用。

1.6 信息化风险分析

信息化建设工程是一项高风险的系统工程，风险影响因素相对较多，只有在信息化建设之初充分认识和规避相应的风险，才能保证信息化建设的有效实施。

企业信息化建设的风险，按照风险来源分为两大类型：企业外部风险和企业内部风险。按照风险存在的阶段可以分为三大过程风险：规划风险、实施风险和改进风险。

1.6.1 外部风险分析

企业信息化建设的外部风险包括政治风险、经济风险、社会风险、法律法规风险以及不可抗拒风险等。具体表现在：国家政局的稳定性，经济发展是否稳步增长，煤炭的价格是否大起大落等。

外部风险受国家宏观经济环境和国际市场的影响，基本属于不可控因素。目前，国家政局稳定，经济持续增长，外部风险相对较小，企业应重点关注和规避内部风险。

1.6.2 内部风险分析

在企业信息化建设中，应该重点关注和规避的内部风险包括以下6大风险：

（1）企业信息化建设的目标不明确，期望值过高。当前，企业内部存在对信息化工程理解的误区，即认为信息化工程就是把现在的管理过程全部用计算机来实现，计算机可以解决一切问题，所有的手工操作都应该用软件来实现。这种误解一方面会把所有的问题、资料、数据都在信息化系统里设置，造成系统实施困难；另一方面，会由于期望值的落差造成实施的阻力。

对策建议：

① 首先，应该加强企业内对信息化工程的宣传教育活动，提高对信息化工程重要性的认识。

② 其次，信息化要分清主要矛盾和次要矛盾，总体规划，逐步实施。信息化工程是一个循序渐进的过程，不是简单地对工具的替换；信息化要解决企业的问题，为企业创造价值，但不是要包罗万象，解决企业的所有问题。

③ 要确定合理的目标，逐步实施，逐步见效。

（2）项目管理失控，计划拖期，成本超支。有数据表明，绝大多数项目管理都存在不同程度的计划拖期问题。对企业信息化工程这样庞大而复杂的项目而言，进行科学的项目管理，预防计划拖期和成本超支问题是一个很值得重视的问题。计划严重拖期会导致企业逐渐失去信心，接踵而来的问题会使项目搁浅，进而导致项目失败。

造成计划拖期的原因有：信息资源规划是一个循序渐进的过程，如果一味地追求做大做全，既分不清重点，又浪费了时间，是得不偿失的；项目没有总体规划，缺乏对实施难度的总体把握，项目计划期脱离实际，项目管理失控，抵御风险能力差，部分问题搁浅导致整个项目的严重拖期等。

对策建议：

① 按照总体规划分步实施的指导思想，循序渐进地展开整个实施工作。

② 建立有力的组织保证体系。

③ 采用项目监理机制，引入第三方项目监理公司进行项目监理。

④ 建立相应的规章制度及激励机制。

（3）选择软件供应商及其软件产品所带来的风险。实施信息化项目，软件供应商对项目的成败至关重要。企业与软件商之间需要建立长期的合作伙伴关系。软件供应商如果半途破产倒闭或者缺乏信誉、实力不足、版本不能升级等，都将直接导致项目的半途夭折。

对策建议：重视选择有实力的系统集成商和应用软件开发商。建议企业在考察软件供应商并签订合同时，要确认项目实施的具体负责人及主要参加人员的资质、项目经验和技术水平，避免出现合作公司宣传一套，实施时又是另一套的局面。同时，建议企业只面对信息化系统总负责商一家，要求其一揽子负责到底，避免在工程实施过程中出现问题时，责任界定不清。

（4）基础数据管理不到位，导致系统无法正常运行。基础数据指的是一段时间内固定不变的静态数据，如编码数据、定额数据、员工数据、设备数据等，这些数据对系统的成败至关重要。管理决策建立在及时而准确的数据信息基础之上，才能给企业创造效益；而如果建立在错误的信息之上，将会给企业带来损失或灾难。因此必须重视基础数据的管理工作。

对策建议：重视基础数据工作，明确责任，规范管理。

（5）企业后期投入不足，系统后期运行、维护困难。信息化建设是一项长期建设工程，不是一次投资可以解决的问题。企业信息化建设既需要进行软硬件建设投资，也需要进行人才培训投资。

企业信息化是一项全新的工作，系统的运行对不同层次的员工提出了不同的要求。目前在企业信息化建设的过程中经常存在的问题是：企业认为软件安装好以后就没有什么问题了，没有必要配备专门的管理人员，也没有必要对相应的人员进行专业的培训。这种误解会造成由于缺乏正常的维护，系统可能突然瘫痪，导致企业生产无法正常进行，大量数据丢失，甚至给企业造成无法估量的经济损失。

对策建议：重视人员培训。

（6）片面追求技术先进性的风险。企业信息化是利用信息技术改造传统产业的过程，而信息技术本身在发生着日新月异的变化，因此，企业在实施信息化工程的过程中很容易犯的错误是片面追求技术的先进性，给信息化工程带来无法预见的技术风险。

对策建议：信息化建设要讲求前瞻性、实用性和开放性。

2 信息传输技术

煤炭生产环境的复杂性、特殊性导致煤矿事故多发，尤其是重大、特大事故时有发生。传统的煤矿井下通信系统主要是固定电话，局部采用泄露通信，实现井下简单的移动通信。由于煤矿井下移动工作人员多，信息沟通往往需要较长时间，地面的指令不能及时传达到井下，井下的情况也不能及时反应到地面。通信的不便，给安全和生产管理带来了巨大隐患。由于井下作业人员情况不明、通信网络不畅、手段单一，会造成领导层信息不通、指挥不灵、数据不准，不利于及时抢险救灾，导致事故损失扩大。因此，建立完善的煤矿信息传输系统，对煤矿安全生产、抢险救灾具有重要意义。

我国的矿用通信信息传输技术大体经历了3个发展阶段：第一阶段是有线模拟电话调度系统、低速有线主站呼叫分站的专用安全监测系统以及扩音电话、打点通信等基本通信、信息传输技术与系统；第二阶段是有线数字程控电话调度系统、矿井局部无线通信、现场总线控制等多种现代通信信息传输技术与系统；第三阶段是基于高速宽带综合业务骨干网络传输平台，有线调度通信与无线接入相结合的全矿井、全覆盖的高速通信信息传输技术与系统。

煤矿通信信息传输系统主要包括：生产调度电话、无线移动通信、扩音电话、救灾通信、现场总线系统和高速宽带综合业务传输骨干网络等。

从目前煤矿通信信息传输系统的运行来看，各种技术均有应用，整个系统存在着重复建设、管理混乱、信息互通不畅、维护难度大等问题。从技术的发展趋势来看，各个子系统必将统一于IP化技术，运行在TCP/IP协议基础之上，以高速宽带网络为业务传输骨干，成为一个真正意义上的“煤矿综合通信信息传输系统”。因此，高速宽带网络的品质和地位将更加重要。

2.1 调度通信及网络化调度电话

2.1.1 数字程控调度通信系统

调度通信系统是煤矿安全生产最基本、最有效的通信手段，具有不可替代的作用。调度通信系统要求具有强插、强拆、群呼、组呼、电话会议、录音监听等功能，并且对系统稳定性要求极高，要求具有系统热备份、带电插拔等功能，还需配有不间断电源，以保证在停电状态下不中断通话。

目前，煤矿调度通信系统已从模拟调度系统向数字程控调度系统发展。新一代数字程控调度系统不仅具有数字程控调度机的调度功能，还具有强大的数字程控交换机的管理与办公功能，可实现调度用户与行政用户两网合一，既能适应数字通信环境，又能适应任何模拟通信环境。同时，我们可以利用先进的光纤传输技术及VOIP网络技术进行智能组网。数字程控调度系统还应具备的其他功能包括办公管理、计费管理、话务管理、调度用户操作等功能。

数字程控调度通信系统一般由系统主机、系统调度部分、数字录音部分、计费管理系统、用户终端和维护终端组成，其中调度主机、调度台及维护终端是系统的基本组成部分，如图 11 - 2 - 1 所示。

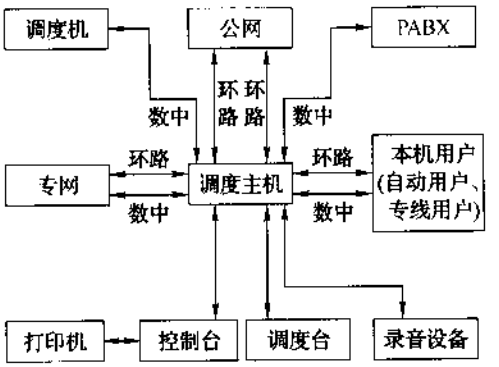


图 11 - 2 - 1　数字程控调度通信系统基本组成

1. 系统主机

调度主机可以实现所有呼叫功能、交换功能、调度功能及组网功能，同时可根据用户需求采用不同的配置。调度主机可实现调度用户和行政用户两网合一，以充分利用资源。调度主机配置如下：

（1）CPU（主控板）。主要由微处理器、控制单元、交换网络、打印口、串行通信接口等组成，是整机的中心控制部件。

（2）DID/DTMF（音频直拨板）。由信号音及双音频接口等组成，能产生各种信号音，有语音信箱和音乐电路。

（3）TRK（环路中继板）。由环路中继接口电路、PCM 编解码电路和控制电路等组成，环路中继板互相通用。

（4）EXT（环路用户板）。由提机挂机检测电路、振铃电路、PCM 编解码电路和控制电路等组成，规格统一并能互相替换。

（5）MOT（母板）。系统所有电路板之间的内部连接及与配线架的外部连接均由母板完成，母板是板与板的总线接口。

（6）POWER（电源机箱）。由一次电源和二次电源组成。一次电源将交流 220V 转换成直流 - 48V，二次电源将直流 - 48V 转换成 ± 5V 直流电源和 AC75V 交流电源，供铃流模块使用。

另外根据配置要求，还可选配 PCM 中继板、EM 中继板、载波中继板、DC/DC 板与网管模块板。

2. 系统调度部分

调度员可以通过调度台观察所有调度用户的实时状态，进行调度操作。调度台通过设置按键与被叫号码相对应，使调度台呼叫做到一键到位。调度台分为触摸屏操作台和键操作台 2 种，键操作台根据用户需求可分 64 键、128 键、256 键、512 键等多种可选。调度

台一般需要具有中文来电显示、用户按键指示等功能。

3. 数字录音系统

数字录音系统可对整个数字调度机系统的任何调度总机或分机进行录音、回放、刻录备份、统计、查询、打印等。

4. 矿用本质安全抗噪声用户分机

其主要功能包括拨分机及外线、呼叫调度台、自查本机号码和时间以及电话会议等。

5. 维护终端

用户可以通过本地 LAN（局域网）进行终端维护、话费查询等各种操作，也可以通过 Internet，进行远程维护与话费查询，还可通过 E1 时隙、有线和无线 Modem 进行远程网管。维护终端具有实时故障自动诊断和故障定位功能，要求公共设备定位到板，用户和中继板定位到具体电路；具有告警信息报告功能，存储于系统中。通过维护终端可显示并在线设置或修改系统所有数据（包括系统数据、用户数据、中继数据以及其他必要的参数），可在线升级 CPU 主程序，具有话务统计、呼叫记录功能。

6. 配套产品

配套产品包括安全耦合器、矿用隔爆兼本安型综合接入网关。矿用隔爆兼本安型综合接入网关是一种适用于矿井专网建设的智能化通信设备。该设备采用插卡式结构，配置灵活，主要为用户提供语音、数据、视频等多业务的全面接入、交叉复用和传送等服务，是煤矿提供多用户业务接入和复用的完整解决方案。

2.1.2 网络调度通信系统

在信息化高速发展的时代，全球几乎所有企业的运作都越来越依赖于信息网络，包括电话网络、Internet 网络等。随着 Internet 网络带宽的增加，电信网络的 IP 化，企业对各种增值应用需求的增加，出现了各种网络调度通信系统，将全套的语音、数据、互联网服务和丰富的增值业务应用整合到单个系统中，以模块化的形式提供厂矿企业所需的各种功能，满足不同用户的需求。

网络调度通信系统融合了 IP 通信、多种数据业务和丰富的增值业务，既支持模拟电话接入，也支持 IP 电话接入，及 IAD 网关设备的接入。它具有体积小、灵活性强、可靠性高、功能完善、维护方便等优点。

2.1.2.1 网络 IP 电话的基本标准

网络 IP 电话有 H.323 协议和 SIP 协议 2 种基本标准。

1. H.323 协议

H.323 标准提供了基于 IP 网络（包括 Internet）的声音、视频和数据传送的基本标准，它是一个框架协议，与之相关的有传输、控制及视频压缩等标准。

H.323 定义了网络传输系统中的 4 种基本的构成单元：终端（Terminal）、网关（Gateway）、网闸（Gatekeeper）和多点控制单元（MCU，Multipoint Control Unit）。

终端：终端指 IP 网络上的客户终端，终端必须支持声音传送，可选择支持视频和数据传送。同时，H.323 定义了能传送的声音标准（G.711，G.723 和 G.729 等）及其互操作的实现。H.323 终端支持通信控制协议 H.245 和呼叫控制协议 Q.931，还包含和 Gatekeeper 进行通信的 RAS（Registration/Admission/Status）协议模块，并支持 RTP/RTCP，以进行声音和视频的打包传送。

网关：网关主要提供H.323会议终端与其余的ITU－T系列终端（如ISDN H.320终端）间的互联接口。主要包括传输格式的转换（如H.225.0到H.221）、通信控制过程的转换（如H.245到H.242），完成音视频格式的转换和呼叫建立。因此，建立异种网络间的通话（如PSTN到Internet）需要网关，其他情况下网关可以省略。

网闸：网闸主要提供地址翻译、访问控制、带宽控制和区域管理等功能。

2. SIP协议

SIP是IETF制订的多媒体通信系统框架协议之一，是用于建立、改变或者结束多媒体会话的应用层协议。SIP协议基于文本编码，独立于UDP/TCP底层传输协议，与RTP/RTCP、SDP、RTSP、DNS等协议配合实现Voice、Video、Conference、Data、Chat等各种业务流程。

SIP协议采用Client/Server模型。SIP组网中的SIP Server由用户代理（User Agent）、代理服务器（Proxy Serve）以及Location Server、Registrar、Redirect Server等组成。

H.323沿用的是传统的电话信令模式，比较成熟。H.323符合通信领域传统的设计思想、便于进行集中、层次控制，采用H.323协议便于与传统的电话网相连。SIP协议借鉴了Internet其他的标准和协议的设计思想，在风格上遵循Internet一贯坚持的简练、开放、兼容和可扩展等原则。

2.1.2.2　功能要求

煤矿综合自动化系统中语音用户量不大，在能实现一般调度电话的各种功能的基础上，还需要满足以下特殊要求：

（1）能将扩音电话纳入网络电话统一管理与交换。

（2）实现移动通信与调度电话互拨。

（3）支持全面的传统语音和IP语音网络连接。

（4）VOIP——支持IP语音压缩，实现传统电路语音和IP语音之间的转换和互通。

（5）支持IP中继，可与外部IP语音网络互联或通过广域IP网将多个分支点组成一个统一系统，实现远程无缝通信。

（6）IP分机——支持基于H.232和SIP的IP电话软硬终端和各类IAD，在一个网络上传递语音和数据，易于电话迁移、增加和变更。

（7）高质量的IP语音——支持语音优先标记（TOS）、动态抖动缓冲区（Jitter Buffer）、语音侦测（VAD）及舒适背景噪声生成（CNG）、Diffserv等语音质量保障技术，确保IP语音通话质量。

（8）采用工业以太环网的网络传输结构，解决传输集成的问题。

目前，IP电话还处于应用的初期，可以实现与调度电话的互通。当煤矿IP电话网络管理软件改进与丰富后，IP电话将完全可以取代现有的调度交换机，实现调度电话IP化。

2.1.2.3　IP电话对传输网络的要求

IP语音相对于普通数据业务存在以下差异：

（1）VOIP应用对网络延迟性要求极高。当不同语音帧的延迟时间存在差异时，会导致实时服务发生问题。例如，VOIP应用中的延迟差异会降低语音质量，在线路上会产生爆裂声/嘶啦声，长的延迟也会降低以太网的服务质量。

（2）VOIP应用对网络传输品质要求也特别高。语音业务属于实时业务，在实时应用

中，大量的帧丢失会迅速降低服务质量。因为在实时应用中没有重发，如果不对帧丢失加以控制，这些服务很快就会变得无法使用。

（3）VOIP 不允许数据帧有过多的抖动。数据包抖动是另一个关键的 VOIP 以太网指标，因为过多的抖动会导致 VOIP 或视频流等实时应用出现重大故障。在 VOIP 应用中，过多抖动会导致中断；在视频应用中，会导致图像起伏不定和像素失真。

（4）VOIP 需要以太网有足够的质量保障机制。以太网的原理是一个“尽力而为”和“贪婪型”网络。所谓“贪婪型”网络，是指网络中传输的所有应用都尽可能地占用最大资源，如果网络中承载着语音、视频、数据等混合业务，那么别的业务数据会与语音数据争抢带宽，从而可能造成对 VOIP 应用的干扰。IEEE 组织针对以太网在这方面的不足发布了 IEEE802.1p（QOS）标准，用于服务质量控制。IEEE802.1p 允许将时间敏感的数据提至队列的头部以减少延时和抖动，从而保证这些应用的正常运行。

综上所述，VOIP 对传输网络的要求非常高，承载 VOIP 的网络必须保证高带宽、高可靠性、低延迟、无抖动、极少丢帧甚至不丢帧，并且还必须具备有效的业务控制和规划手段。

2.1.3 扩音电话系统

扩音电话用于生产局部区域的通信，如输送带沿线，每 100m 左右放置一套扩音电话机，可以实现广播式半双工通话。如果出现事故异常，可以通过扩音电话机给出声光语音报警提示信号；也可以实现开车前声光预警提示。

扩音电话的应用需求和技术发展可分为 3 个阶段：全模拟扩音电话、模拟扩音话机网络传输、全数字扩音电话。

2.1.3.1 全模拟扩音电话

全模拟扩音电话采用带拨号和喊话 2 种功能的扩音电话，每条输送带的扩音电话分为一组，一组电话可设置一个分机号，组内电话之间可以实现广播式半双工通话。每组电话通过专用接口可以就近接入矿调度电话网，同组电话可以设置 3 个调度电话网内的电话号码，组内任何一部电话，均可借助矿调度电话网与设定号码的电话通话，通话时优先选择第一个设定的电话。当第一个电话忙时，自动转接第二、第三个设定的号码。一般把集控室电话设为第一个号码，这样可以大大方便巡检工与地面控制室的联络。

多功能扩音电话主要特点：

（1）自成系统。无须程控交换机，自成局部系统，最大通信距离 5km，最大装机容量 25 台，特别适用于工作面、运输巷等恶劣环境。

（2）可接入程控系统。通过接口可纳入程控调度交换通信系统，与设定的某台电话机通话。

（3）调度功能。可实现全线广播通信、半双工会话、打点联络、报警和外线电话等功能。

（4）经济、架设方便。多功能扩音电话成网便捷，仅用一条 4 芯电缆，连接电话主机与一台充电电源和若干台同型号电话机即可组成局部通信信号系统。

（5）安全、稳定可靠。多功能扩音电话内装浮充电池组，外部供电临时中断，通信不受影响，电池内置可恢复保险器件，用作短路保护并确保本安性能。

2.1.3.2 模拟扩音话机网络传输

扩音电话可通过适当的语音网关，实现将模拟的扩音电话信号转换成以太网信号，通过工业以太环网与井上集控室连通。地面集控室可以通过呼叫方式与井下任何一组电话通话，也可利用控制系统内部电话网的群呼功能，同时对所有电话进行通话，即进行语音广播，其特点和优势大大超过现有的扩音电话。

模拟扩音话机网络传输的主要特点：

（1）减少线缆。扩音电话与井上互通不再需要敷设专用电缆，可利用已有的光纤以太环网下井通道传输扩音信号，大大降低了施工和材料成本。

（2）双向互通。扩音电话不再是以皮带传输为核心的封闭系统，与井上集控室可以进行双向互通。

（3）集中控制。集控室可对井下某条、某几条或者全部扩音电话线路进行单呼、组呼、群呼，可对井下扩音电话运行状态进行监测。

（4）调度功能。可实现全矿井下广播通信、半双工会话、打点联络、报警和外线电话等功能。

（5）经济、架设方便。模拟扩音话机网络传输成网便捷，保持原有模拟扩音电话结构不变，利用现有的工业以太环网进行语音信号传输。

2.1.3.3　全数字扩音电话

第二代扩音电话解决了信号上井和集中控制的问题，但是使用的还是模拟扩音电话机，在数字化矿山趋势中，这种基于陈旧技术的纯模拟电路话机已逐渐不能满足用户的需求。将扩音电话以数字电路和数字网络理念重新设计，实现扩音电话机数字化、信号传输数字化、基于现代工业以太环网集中控制的全数字扩音电话系统是井下扩音系统发展的必然结果。

采用数字化方式工作，信号电缆上传输的是数字信号，具有音质好、传输距离远、扩展功能多、便于与数字和网络系统对接等优点。

全数字扩音电话主要特点：

（1）数字语音音质好，无衰减，容错性高，传输距离远。

（2）扩展功能多，能够非常方便地添加各类实用需求。

（3）沿线传感器数据采集。采用数字化方式工作的扩音电话可以收集皮带沿线的各种传感器的数据和报警信号，集中到一台扩音电话上，便于进行进一步处理和传输。这些数字扩音电话在负责采集传输的同时，还能根据传感器的报警信号发出声光报警。

（4）背景音乐广播。采用数字化方式工作的扩音电话可以很方便地提供一个扩展存储卡插槽，并可不断地反复播放扩展存储卡上的音频文件，而且这类播放不占用广播通信通道。这些音频文件可以是宣传安全教育方面的内容，也可以是轻松的背景音乐，便于创造安全和谐的工作环境。

2.2　矿用无线/移动通信系统

我国的矿用通信大体经历了全矿井有线调度通信、矿井局部无线通信和全矿井无线通信3个发展阶段。全矿井有线调度通信系统到现在仍然是矿井通信的支柱，为煤矿生产发挥了不可替代的作用。我国对于矿井无线通信的研究起步较早，早在20世纪80年代就开始在矿井中应用漏泄无线设备。近年来随着煤矿安全信息化建设的发展，现代移动通信技

术在煤矿的应用也越来越成熟。国内外先后出现了多种无线通信设备，如采用“漏泄”技术作为基础的矿井漏泄通信系统、采用感应通信技术的矿井感应通信系统、采用超低频穿透技术的 PED 系统、以 PHS 系统为原型的矿用小灵通系统等。

漏泄通信系统、超低频穿透通信系统（PED 系统和对讲无线通信系统）、电力线载波通信系统属于早期应用的局部无线通信系统，为我国早期矿井无线通信作出了很大贡献，但由于抗干扰能力低、通信效果差、安装成本过高、可扩展能力差等种种原因已经淡出国内煤矿市场。以 Mesh 网络结构为框架，采用 Zigbee、蓝牙和 Wi－Fi 等无线通信技术为核心的自组网无线通信系统目前在煤矿还处于研制、测试及初步应用阶段。现在煤矿井下应用的移动通信系统主要采用的技术有 PHS 技术、Wi－Fi 技术、CDMA 技术。

随着无线通信技术的发展，无线通信将替代有线通信，无线通信技术在煤矿安全生产中应用将越来越广泛，如井下语音通信、数据传输、人员位置管理等。基于 Wi－Fi 和无线工业以太网等无线通信技术的煤矿井下采掘工作面移动通信研究，近年也取得了较大的进展。因此，可以预计无线通信技术在煤矿安全生产中有着广阔的发展前景，必将发挥越来越大的作用。

2.2.1 漏泄通信系统

漏泄通信系统由地面基地站、传输通道（漏泄电缆、双向中继放大器、终端器）、移动台（手持话机、车载电台）3 部分组成。

漏泄通信的传输体是同轴漏泄电缆，它是专门设计的一种同轴电缆。以穿孔、开槽或疏编等方法，断续或连续且规则地破坏电缆屏蔽层的完整性，以期在电缆径向长度的周围，通过泄漏作用获得均匀连续的电磁场，这种同轴电缆被称为漏泄电缆。漏泄通信是在地下巷道中敷设一条射频同轴电缆（即漏泄电缆），漏泄电缆起到长天线的传输作用，在其周围形成一个连续均匀的电磁场。利用“漏泄场”的场强，可以沿漏泄电缆实现无线电收发信机与漏泄电缆馈体之间 2 个可逆方向相等效的电磁场能量交换，实现地下无线电双向移动通信。这样就可以使移动台与基地台、移动台与移动台之间无线电波的远距离传播，转化为移动台与漏泄电缆之间简单的近距离传播。

国际上比较有代表性的漏泄通信系统有英国的 986L，加拿大的 Flexcom，中国的 KT6A、KDLT－1。其中，使用情况较好的是 Flexcom，工作在 150MHz 频段，提供 32 个语音/数据信道、16 个图像信道，既可以与光纤网络连接，又可以与使用普通电线的电话和数据系统连接，20 世纪末被我国引进，在潞安集团漳村煤矿使用。

以 Flexcom 系统为例，系统结构如图 11－2－2 所示。

漏泄系统的中心是基地站，从基地站出来 2 条漏泄电缆，分别送到井下不同的水平或方向，也可接地面天线，实现地面移动通信。漏泄电缆上每隔 350m 需加装 1 个中继器。在基地站中，32 路下行信号经频分复用（FDM）调制在 148～159MHz 频率范围内，送入漏泄电缆下行传输；32 路上行信号占用带宽为 163～174MHz，经解复用后输出给相应的监测、监控系统或电话交换系统。16 路视频信号占据 10～120MHz 频段，单向上行，送给相应的监视器显示。数据信号则通过无线调制解调器将信号馈入漏泄电缆进行传输。系统还具有矿山井下设备与人员跟踪定位功能，利用固定在设备上或人员矿灯中携带的无线信标器和巷道中接收器的组合来实现对目标的跟踪，通过漏泄电缆将有关信息传输到地面。利用这些数据，可实现生产的优化调度与管理。

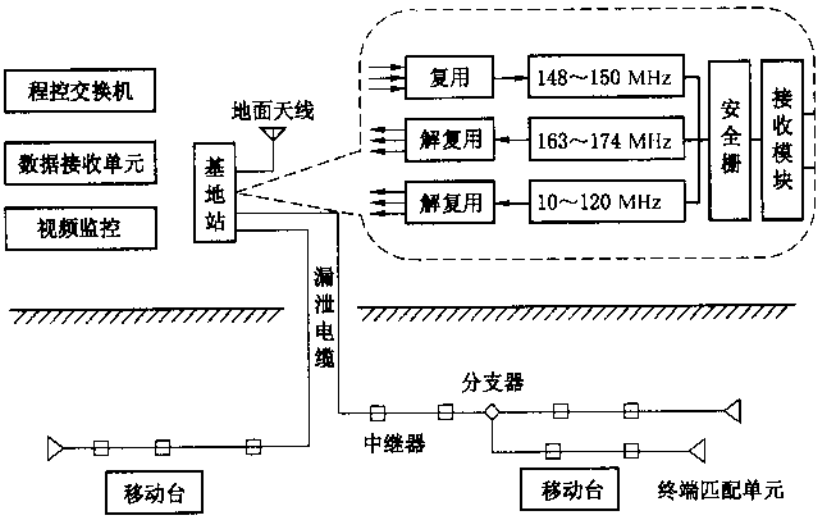


图 11-2-2　Flexcom 漏泄通信系统结构图

在 20 世纪 80 和 90 年代，漏泄通信在国内外煤炭行业风靡一时，但是这种通信系统造价十分昂贵，需要在全矿井敷设昂贵的专用传输线，主要缺点有：

（1）漏泄电缆上每隔 350m 需加 1 个中继器，使系统的可靠性变差。由于整个系统全部“串在一根线上”，任一中继器和电缆故障将会造成该故障点以下的全部系统瘫痪；并且随着中继器的增加，噪声逐渐累加，数据丢失、信号失真严重。

（2）各个通道指定用于固定的设备，信道利用率不高。当井下各种监测监控系统和通信系统都要接入漏泄系统传输时，会出现某些信道长期空闲不用，而总的信道数又不够使用的状况。

（3）移动台接收距离通常限制在距漏泄电缆 30m 的范围内，并且耦合技术和漏泄电缆架设技术复杂，维护管理代价高，同时由于漏泄电缆的接收和发射都采用开放式，抗干扰能力较弱。

由于以上原因，目前这类系统在我国应用极少，只在少数煤矿中作为斜井、提升局部调度通信使用。

2.2.2　PHS 小灵通移动通信系统

PHS 技术是数字移动通信技术，俗称小灵通，工作在 1.9～1.92GHz，属于第二代的通信技术（相对 3G）。PHS 使用 TDMA/TDD 作为它的无线电通信接口，以 32K 的 ADPCM 作为其声音传送编码。现代的 PHS 电话也可以支持其他一些 ISP 的增值服务，如互联网窄带通信、短信、电子邮件，甚至图片传讯。PHS 技术适用于小范围的无线电通信。

“小灵通”的工作原理是发话用户的手持机发出的信号通过无线传输方式送到基站，基站又将信号经电话线路送到基站控制器，再经接入控制交换机的交换连接到受话用户的手持机上。若用户呼叫的是其他语音网络的终端，那就需要接入交换机通过中继接口将数据送入其他语音网络的交换设备进行转接。

21 世纪初，煤矿无线通信系统领域应用最广泛的是基于公共 PHS 网络的矿用小灵通

无线通信系统。该类系统是利用原中国电信公共通信领域的“小灵通”系统设备，经过防爆处理后应用于煤矿井下，它并没有改变公共 PHS 系统的逻辑、接口、系统标准，乃至主要结构。

国内的矿用“小灵通”无线通信系统种类繁多，如 KT18、KT23、KT25、KT26、KT29、KT30、KT31、KTW119、KTW125 等，主要的生产厂家包括斯达康（UTstarcom）、朗讯（Lucent）、中兴（ZTX）等。“小灵通”井下无线通信系统结构如图 11-2-3 所示。

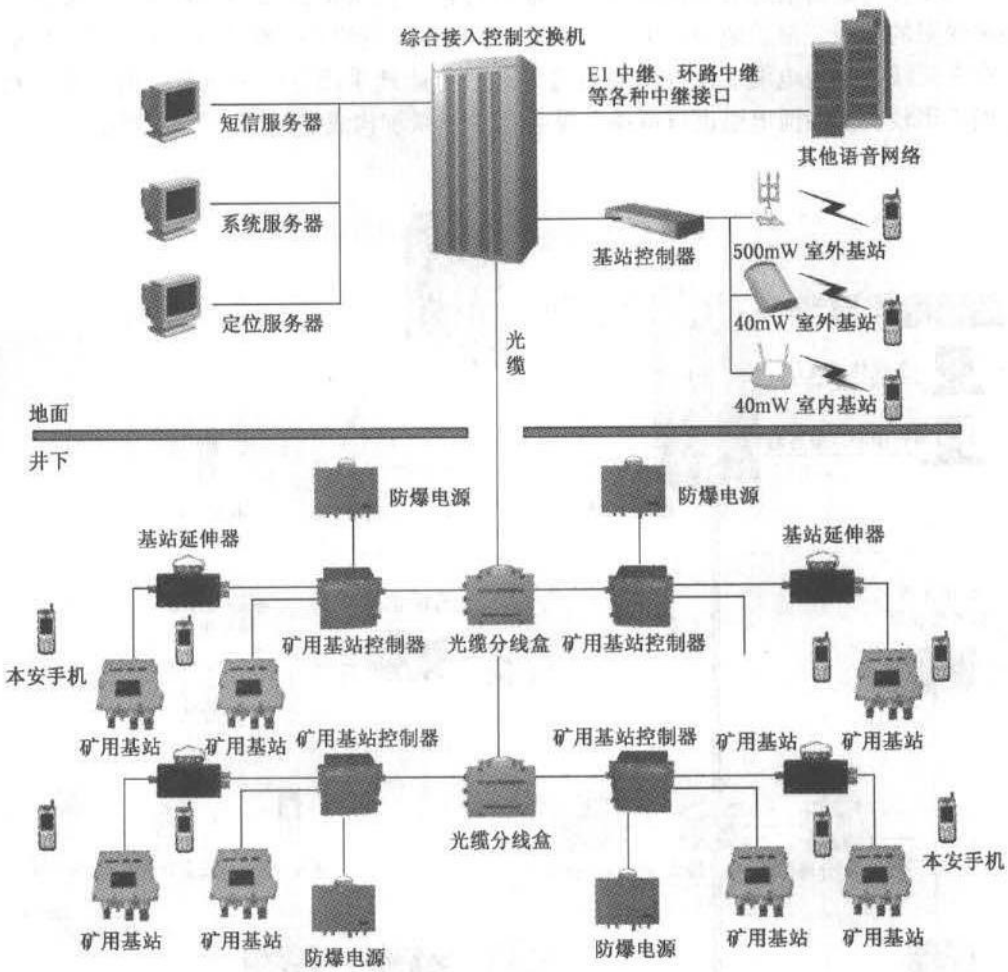


图 11-2-3 “小灵通”井下无线通信系统结构图

“小灵通”井下无线通信系统由控制中心服务器、综合接入控制交换机、基站控制器、防爆电源、无线基站、基站延伸器、终端手机等设备组成，能够通过 E1 中继等方式和其他语音系统连通，实现井下手机与手机之间、井下手机与调度电话之间、井下手机与地面手机之间、井下手机与地面固定电话之间的双向通话。它满足了管理人员、安全检查人员、电机车司机、工程施工人员对通信的需求，做到井上与井下之间信息随时传递。

但是，由于公共通信领域的“小灵通”工作频段与 3G 重叠，目前已被限期取缔。矿

用“小灵通”失去了设备和技术支持，即将无法继续提供传统业务支持和增值服务，无法保证后续的售后维护和设备供应。

2.2.3　CDMA 移动通信系统

矿用 CDMA 多功能无线通信系统（简称 CDMA 系统）无线接入网采用 CDMA2000 1X 技术，核心网采用软交换技术，不仅具备与流动和固定作业人员的语音通信功能，还具备设备管理及监测数据和图像的传输功能，可用于构建现代化综合通信平台。

CDMA 移动通信系统组建模式为，在地面搭建一台 30m 的铁塔，在铁塔上安装了一个功率受限的天线，覆盖地面主矿区及家属楼。CDMA 系统井下覆盖方式有 3 种：定向天线、全向天线和漏泄电缆。从经济观点考虑，尽可能地采用定向天线及全向天线进行覆盖，而不用较贵的漏泄电缆进行覆盖。煤矿 CDMA 系统构成如图 11－2－4 所示。

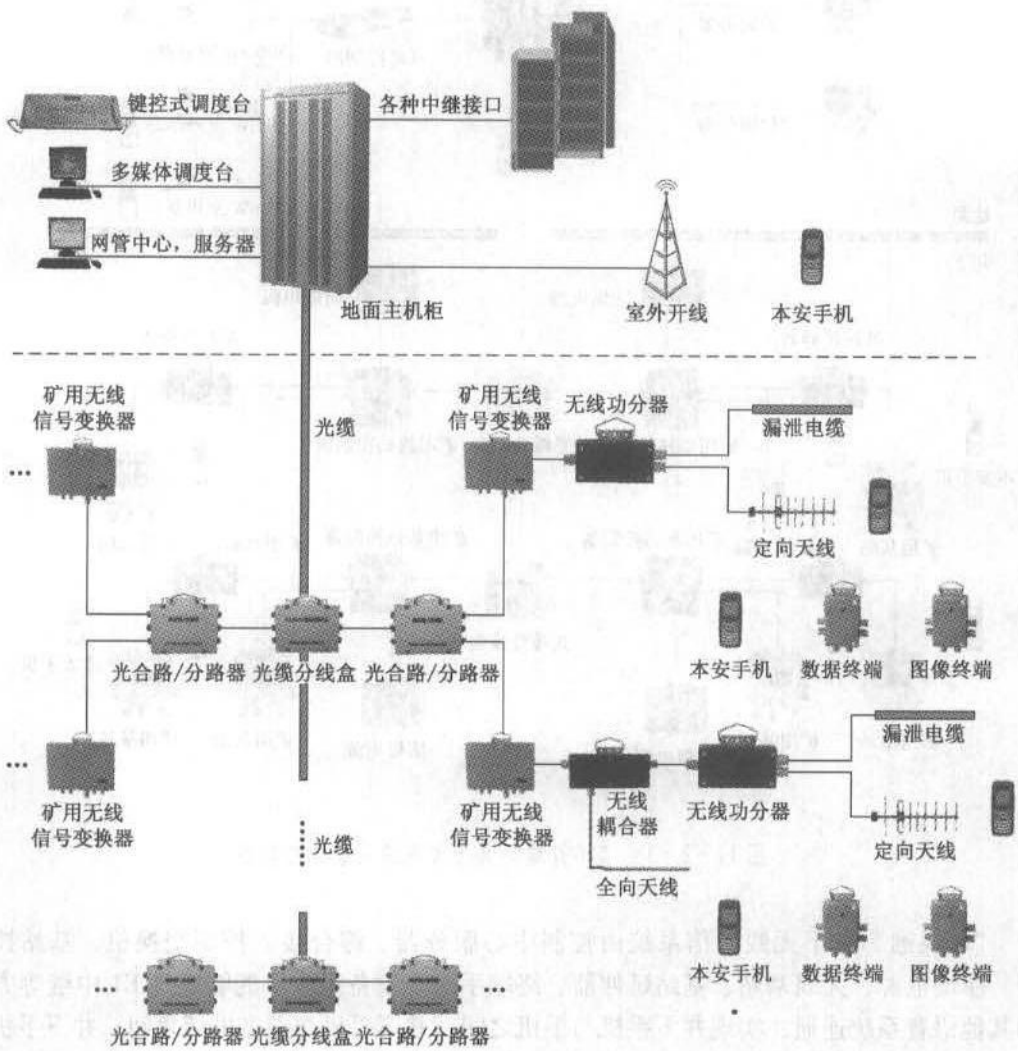


图 11－2－4　煤矿 CDMA 系统构成

系统主要由地面局端机（包括服务器、操作维护子系统、无线交换机、基站控制器、基站、功率分配器、功率合成器、近端光模块）、井下覆盖网（包括光分线盒、光合路/分路器、矿用无线信号变换器、线耦合器、无线功分器、漏泄电缆、定向天线）及相应的终端设备（包括数据终端、视频终端、无线手机等）组成。

CDMA 系统在煤矿无线通信领域的应用还很少，目前仅有 KT28 系统一套设备，以此为例，该系统的突出优点为：

（1）可提供丰富多彩的业务和应用，包括语音、短消息、分组无线上网、传真等基本业务功能，还可提供语音调度功能。

（2）系统基于 IP 架构，可实现与煤矿企业现有有线网的无缝连接，充分利用原有的网络资源，避免煤矿企业的重复投资。

（3）采用已应用于公共通信的成熟 CDMA 技术，设备稳定可靠，技术支持力量和发展潜力强。

（4）可实现井下各移动点或临时固定点监测数据和图像无线传输，但传输图像仍然显得带宽过窄。

（5）系统容量大，单载频单扇区即可支持 35 个以上用户的同时通话，标准配置 3 扇区可同时支持 100 个以上用户的同时通话。

该系统也存在一些问题：

（1）系统占用的 450MHz 频率在我国已明确规定用途，CDMA 450M 目前应用于机关、军队、铁路专用通信，企事业单位的指挥调度系统和“农信通”等领域，该频率在地面使用的合法性有待考证。

（2）CDMA 450M 设备国产率低，大量设备依靠进口，系统价格过高，维护难度大。

（3）系统覆盖采用了全向、定向、漏泄电缆等多种覆盖方式，设计、施工复杂，若矿井覆盖需求发生变化，改动难度较大。

主要技术参数：

（1）射频范围　上行 462.5～467.5MHz，下行 452.5～457.5MHz。

（2）载波带宽　1.25MHz。

（3）双工方式　FDD。

（4）码片速率　1.2288Mchip/s。

（5）最大用户数　35 个/单载频单扇区（标配单载频 3 扇区）。

（6）语音编码　ADPCM 32kbps。

（7）射频功率　手机 250mW。

（8）无线基站　800mW。

2.2.4 Wi－Fi 移动通信系统

Wi－Fi 是 Wireless Fidelity（无线高保真）的缩写，现被视为 802.11 无线局域网络的代名词。Wi－Fi 技术规格为 IEEE 提出，经 Wi－Fi 联盟认证后，可确保不同无线产品的互通。1996 年美国网络通信设备大厂朗讯率先发起成立无线以太网兼容性联盟（WECA），开始着手创立无线网络协议（WLAN）。1999 年，WECA 更名为 Wi－Fi 联盟，再度架构一套认证标准，提出通信行业界的无线网络技术——802.11 系列规格，包括 802.11a、802.11b、802.11g 等。其中 802.11b 支持最大传输速率为 11Mbps，而 802.11g

支持最大传输速率为 54Mbps，使用无线频率 2.4GHz，规定设备最大发射功率不超过 100mW。

Wi－Fi 移动通信系统是利用 WiFi 技术作为无线覆盖，IP 方式组网，使用 SIP 协议进行交换处理的一种新型宽带无线通信系统。

2.2.4.1 架构方式

Wi－Fi 系统根据基站采用架构方式不同，可分为自治式架构和集中式架构 2 种。

自治式架构：俗称“胖 AP”架构。采用该结构的基站集无线收发、路由、交换功能于一身，每台基站都是一个功能完整的网络实体。“胖 AP”架构的基站采用分布式管理方式，系统结构简单，安装方便，成本低，基站可内置部分服务器功能，功能扩展空间大。缺点是基站漫游切换速度较慢，但随着 802.11r（快速漫游标准）的制定，基站间漫游切换的时间被控制在 50ms 以内，使漫游时的语音质量得到了明显的提升。

集中式架构：俗称“瘦 AP”架构（以及“超瘦 AP”架构）。“瘦 AP”架构的基站不能单独使用，必须和无线控制器相配合。在这种架构中，基站仅负责无线信号的收发，功能类似于“天线”。基站将收到的数据报送给无线控制器进行处理，并将由无线控制器发来的信号转化为无线信号发射出去。数据的路由和交换由无线控制器来完成。这种架构的优点是通过无线控制器集中控制基站，具有较强的集中管理能力，维护更方便，而且对漫游切换性能有所提高；缺点是系统成本较高，而且大量基站的数据处理被集中在一起，无线控制器负担较重。另外，这种架构对通信实时性要求非常高，需要基站到无线控制器之间的通信延迟始终保持在很低的水平。

目前国内有 KT105、KT106、KTW113 等系统，以市场占有率最高的 KT106 系统为例，“胖 AP”系统结构如图 11－2－5 所示，“超瘦 AP”系统结构如图 11－2－6 所示。

2.2.4.2 系统设备及接入方式

Wi－Fi 系统主要设备包括地面服务器、网关设备、无线基站、手机、井下防爆兼本安直流稳压电源，搭载在工业以太网平台上运行，可与其他设备复用以太网平台资源。系统通过网关设备可与有线电话实现无缝连接，从而实现与其他语音系统的互联互通。

呼叫时，基站收到手机发出的无线信号，将其调制打包后通过矿用网络交换机送到地面管理主机，经管理软件处理后，通过矿用网络交换机送到覆盖被呼叫手机所在区域的基站，被呼叫的目标手机接收信号后，经过振铃提示并调制成语音，完成一次通话。在这期间，所有经管理软件处理的数据都会存入数据库作为查询依据。

2.2.4.3 优缺点

Wi－Fi 系统的优点主要有：

（1）系统可与其他设备复用井下工业以太环网的信息传输平台，运行稳定，可靠性好，无须铺设独立的通信线路；

（2）提供的通信速率达到 54Mbps，可满足数据、语音、视频数据包的传输需要，具有很大的功能扩展空间，并有进一步发展成为矿井无线平台的技术潜力；

（3）系统接入和管理设备采用了 IP 方式，可利用 Web 形式进行控制，管理维护方便；

（4）通过开放的 Wi－Fi 技术标准，可方便接入任何符合 Wi－Fi 技术标准的设备，方便不同厂家的产品互联互通，实现全矿井安全生产各环节的无线数据传输；

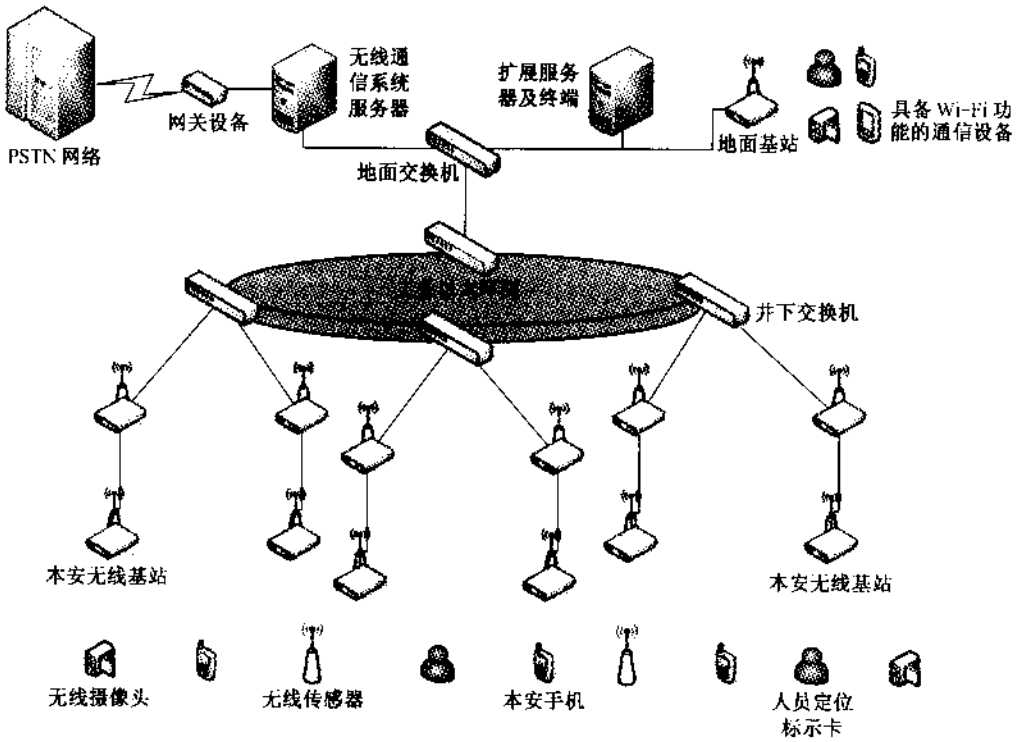


图 11-2-5 Wi-Fi 无线通信系统结构图（“胖 AP”结构）

（5）该系统相比传统无线通信类设备而言，可通过高带宽支持大量用户同时通信，目前单基站最多可支持 20 部手机通信；

（6）系统采用本质安全供电和通信设备本质安全的方式，可使无线通信的覆盖范围延伸进回风区域和工作面；

（7）2.4GHz 频率属于特高频，抗干扰能力强，基站使用频率中心点可调整，可避免系统自身邻近与设备的相互干扰；

（8）采用自适应语音编码方式，可根据网络状况自动选择，当网络状况较好时，自动采用优先保证语音效果的编码方式，当网络状况较差时，可自动采用优先保证通信质量的编码方式；

（9）系统可通过数字中继和模拟中继方式与用户 PSTN 系统连接，实现互联互通；

（10）系统使用的 2.4GHz 频段属于免执照的公共开放频段，符合国家无线管理相关规定，不存在频段使用限制问题；

（11）系统手机和基站支持人员定位功能，可与人员定位系统兼容。

Wi-Fi 系统存在的主要缺陷：

（1）Wi-Fi 设备对能量消耗较大，手机待机时间较短，一般在 40～60h 之间，若过分增大电池体积，会增大不安全因素；

（2）2.4GHz 频率信号绕射能力较差，主要依靠直线传播；由于此类设备的发射功率都较小，在地面应用时基站覆盖范围小，对建筑物的穿透能力较弱；

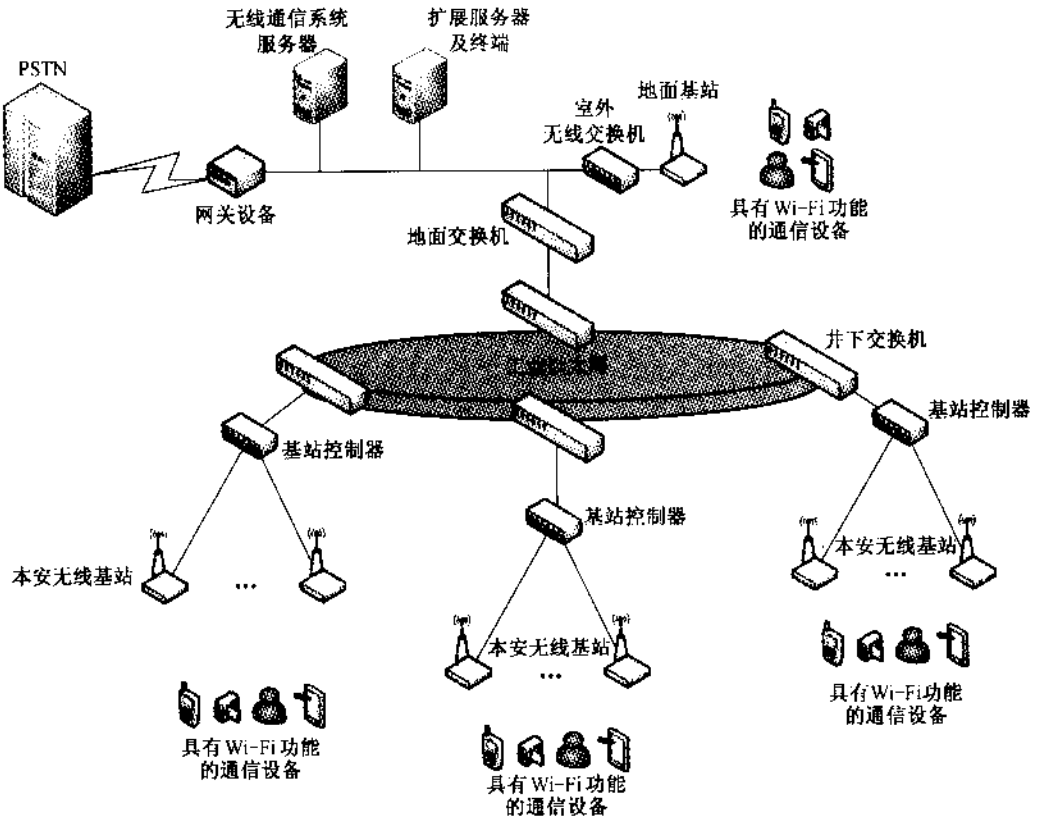


图 11－2　6　Wi－Fi 无线通信系统结构图（“超瘦 AP”结构）

（3）目前还存在通信切换时间相对较长的问题。

2.2.5　现有的无线通信系统主要产品对比

现有的无线通信系统主要产品对比见表 11－2－1。

2.3　井下救灾透地通信与生命探测

当灾变发生后，先进的生命搜寻技术是减少人员死亡最有效的手段之一。目前，国内外对煤矿井下压埋人员的寻找和定位仍多凭经验和人体器官的感觉，用呼喊、敲击等方法来判定，其原因在于：一是煤矿井下环境特殊，地面成熟的搜寻技术不适合使用或者探测失效；二是针对煤矿井下环境的生命探测和定位理论及方法还很不成熟，无法指导煤矿井下生命搜寻和定位技术的开发。

由于矿井通信环境复杂，无法使用地面自由空间电磁波传播的理论分析和试验测试方法。煤矿井下巷道空间组成对救灾通信系统的网络结构提出了全新的要求。目前对矿井灾害环境中无线传输机制的研究还不成熟。

2.3.1　井下救灾透地通信

矿井灾害是发生在一个特殊的工作环境下，因此，矿井救灾通信系统不同于一般地面救灾通信系统，通信系统设备具有如下特点：

表 11-2-1 无线通信系统主要产品对比

技术指标		“小灵通”无线通信系统	Wi-Fi 无线通信系统	CDMA 无线通信系统
技术先进性		已淘汰技术，面临退市	国际成熟技术	技术先进，发展潜力大
系统组成	设备组成	控制中心服务器、综合接入控制交换机、基站控制器、防爆电源、无线基站、基站延伸器、手机	地面服务器、网关、基站、本安手机、电源	服务器、操作维护子系统、无线交换机、基站控制器、功率分配器、功率合成器、近端光模块、井下无线信号基站及手机
	无线类型	PHS	Wi-Fi	CDMA 450M
	使用频段	1.9～1.915GHz	2.4～2.4835GHz	450～470MHz
	频段使用状况	占用 3G 频段，限期取缔	公开频段、不需办理执照	占用“农信通”和军事通信频段，无执照使用
	系统容量	6000	65534	2000
井下基站	传输方式	单独组网传输	单独组网传输，也可利用工业以太环网传输	单独组网传输，也可利用工业以太网传输
	供电方式	非本安供电	本安供电	本安供电
	邻站干扰	自动调节	频率可管理	自动调节
	信道数量	4	非信道方式	35（单扇区）
	发射功率	40mW	100mW	800mW
	并发接入量	3 部	20 部	单载频单扇区支持 35 部用户
	天线类型	定向、全向	定向	定向、全向、漏泄电缆
无线手机	调制方式	TDMA/TDD（时分多址/时分双工）	DSSS(直序扩频)、OFDM	CDMA 码分多址
	发射功率	10mW	100mW	250mW
	待机时间	大于 100h	50h	72h
系统扩展	传输速率	128kbps	11Mbps、54Mbps	1.25Mbps
	视频传输	不满足	满足	满足
	与其他语音系统连接方式	E1	E1、FXO	E1
	接入工业以太网	不可利用工业以太网传输	可利用工业以太网传输	可利用工业以太网传输
	易维性	复杂	简单	复杂
	管理维护	需要维护人员具备较全面通信知识	Web 管理方式、具备基础网络知识即可管理	普通人员极难维护，需要专业技术支持
	适用范围	除回风区域外的矿井无线通信	全矿井无线通信	天线可延伸范围的矿井无线通信
	扩展能力	基本不具备扩展能力	基于开放协议，便于新业务接入，扩展能力强	具有一定扩展能力
系统造价		较高	高	较低

（1）电气防爆。煤矿井下具有甲烷等可燃性气体和煤尘，因此，通信设备必须是防爆型电气设备，并宜采用安全性能好的本质安全型防爆措施。

（2）传输衰耗大。煤矿井下空间狭小且有风门、机车等阻挡体，巷道倾斜，有拐弯和分支，巷道表面粗糙等，传输衰耗大。

（3）电池供电，体积小、质量轻。矿井事故救援时救护队员使用手持式移动台，同时要携带救援和防护设备，因此，移动通信设备应是电池供电，体积和重量在满足性能要求的前提下应尽量小。

（4）发射功率小。本质安全型防爆电气设备的最大输出功率为 25W。为将矿井救灾通信设备制成本质安全型防爆电气设备，设备的发射功率一般较小。

（5）应具有节电模式。为满足移动台体积小、重量轻的要求，电池容量不会很大，而矿井事故救援时一次搜救持续时间一般较长，因此，通信设备应能工作在节电模式下。

（6）防护性能好。应具有防尘、防水、防潮、防腐、耐机械冲击等性能。

（7）抗故障能力强。煤矿井下环境恶劣，设备故障率高，因此，矿井救灾移动通信系统应具有较强的抗故障能力，当系统中某些设备发生故障时，不会造成整个系统瘫痪，其余非故障设备仍能继续工作。

（8）移动速度慢。由于矿井事故救援时，救护队员是步行行进，所以，矿井救灾通信系统的移动台的移动速度较慢。

目前国内外矿井救灾通信系统非常少，主要采用的技术是透地通信，如加拿大和澳大利亚都有相关的产品。此外，也有感应通信、漏泄通信用于煤矿救灾应急通信的研究报道。

2.3.1.1　透地通信原理

透地通信是以大地作为传输媒介建立的一种通信方式，其原理是利用低频及甚低频信号可以穿透地层的特性。在实际应用中通常选择低频、甚低频及以下频段进行通信，因为在此频段的电磁波穿透地表岩层的能力较强。透地通信系统由地面的发射机和井下的便携接收装置组成，如图 11－2－7 所示。系统工作于 VLF 或 ULF 频段，由于频率较低，此频段的电磁波不适于话音信号的传播，但可传输低速率编码信号。

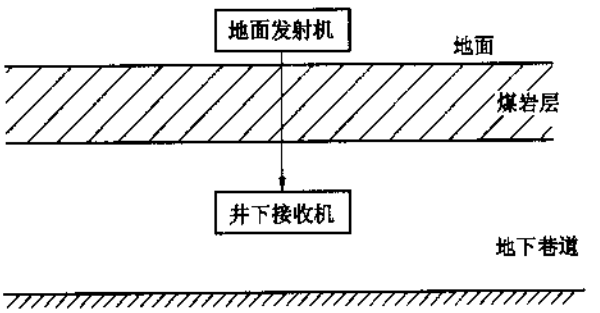


图 11－2－7　透地通信系统

透地通信以大地作传输媒介，其优点是不受井下很多不利条件影响，如瓦斯爆炸、冒顶等。透地通信系统使用的频率低，天线尺寸很大，限制了发射机的架设位置（只适于

地面架设），因此，系统一般是地面发射井下接收，单向通信，仅适用于一些特殊场合，例如用于全矿井范围内的寻呼等。

2.3.1.2 超低频穿透技术的 PED 系统

目前实用的透地通信系统有澳大利亚开发的 PED（Personal Emergency Device）和加拿大矿通公司的 FLEX 井下无线通信与急救系统。PED 系统是通过 PED 系统发射系统，使其超低频信号穿透岩层到达井下任何位置，迅速有效地与井下人员通信。1998 年，大同矿务局煤峪口矿安装了我国第一套 PED 系统。

PED 井下无线通信系统结构如图 11－2－8 所示。

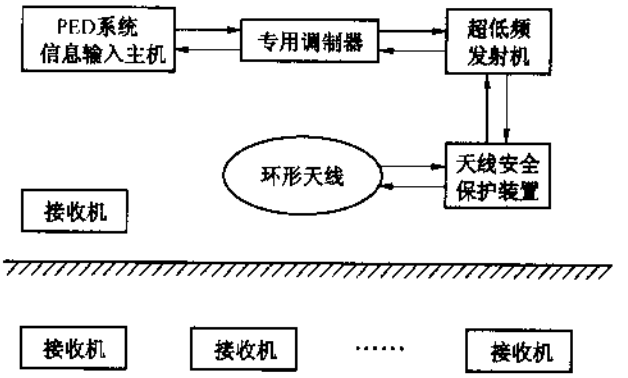


图 11－2－8 PED 井下无线通信系统结构

系统信息输入设备由装有 PED 系统的计算机组成，PED 系统软件即 PED 井下无线急救与通信系统人机用户接口软件，与 PED 系统专用调制器、超低频发射机、环型天线、PED 和接收机配套使用，其工作原理是由大功率发射机放大的系统信号，经长达数千米乃至数十千米的环型天线传输，采用超低频透地通信方式，信号穿透岩层传达到井下的接收机。接收装置有信号时，可产生闪烁、鸣叫、文字显示等提示方式。

由于 PED 系统的信息输入装置、发射机和发射天线均置于地面，当井下发生灾变时，不会影响系统正常工作，系统可靠性高。但在实际使用过程中，PED 系统也存在以下缺点：

（1）信道容量小。为避免较大的传输衰减，透地通信的工作频率一般选择为数百至数千赫兹的特低频，因此，不能用于语音等需要较大信道容量的通信，只能用于传呼、简单遥控等。

（2）电磁干扰大。煤矿井下空间狭小，机电设备相对集中，特别是采掘运输设备的功率较大，负载不稳定，造成井下电磁干扰严重，特别是 50Hz 工频对特低频透地通信干扰严重。

（3）应用范围受限制。透地通信系统需要在地面架设长达数千米的天线，限制了该方法的应用。

2.3.2 井下生命探测技术与研究现状

针对地面障碍物后或掩体下的生命搜寻，国内外学者利用光学、声学、电磁学、人体

生物学、仿生学等理论进行了研究，取得了一定的进展和成效。以光为探测媒介，美国研制成功了 Search Cam 搜寻相机，英国研制成功了蛇眼 SnakeEye 搜寻相机等；以声波为探测媒介，美国 DELSAR 公司研制成功了 DELSAR 声频生命探测器；以红外线为探测媒介，美国 SSI 公司研制成功了 SC - HH5 - TI 红外热成像生命探测仪，美国专业安全公司研制成功了质量轻、体积小的手持式红外探测设备“生命发现者”。我国于 2001 年将以上 3 种探测方法列入“十五”国家科技攻关项目，于 2003 年研制出了样机，取得了重大进展，尤其是在红外探测仪研制上，创新性地选用了非制冷焦平面，并将系统小型化集成在头盔上。利用超声波技术、激光技术和仿生技术进行的研究，也取得了不少成果，但是这些探测方法目前离实际应用还很遥远。

20 世纪 80 年代初期，美国 D. K. Misra 等研究了电磁波照射人体的散射特性，指出了人体体表微动与回波幅度、相位等之间的相关性。以此为理论基础，美、日、德、俄等国科学家相继开展了基于线性连续波雷达的生命探测研究，对埋藏在雪地、地震后建筑倒塌废墟中的生命体进行探测识别。

由于连续雷达波很容易受到工作环境的干扰，对人体生命检测信号影响非常大，而且基于该技术的检测系统体积大、成本高，所以国内外学者又开始超宽带雷达探生技术的研究。2005 年，美国弗吉尼亚州的 DKL（Dielectro Kinetic Laboratories）实验室推出了 DKL Life Guard TM 探生设备，该设备应用了目前世界上最尖端的生化、电介质、超低频传导及 DNA 技术，在无混杂信号的环境中探测距离可达 500m，为目前世界上最先进的设备。以电磁波为媒介的探测方法，相对于激光、红外、声波、超声波等探测媒介，不易受环境温度、热源等影响，能有效穿透非金属介质，可望较好地解决红外探测受温度影响严重、遇物体阻挡失效等问题。根据电磁波传播理论，人体发出的超低频电磁波和超宽带电磁波应是煤矿井下生命探测最理想的探测媒介，但是，仅仅处于初期研究阶段，研究成果还远未成熟和实用。

2.4 工业现场总线

随着控制、计算机、通信、网络等技术的发展，信息交换沟通的领域正在迅速覆盖从工厂的现场设备层到控制、管理的各个层次，覆盖从工段、车间、工厂、企业乃至世界各地的市场。信息技术的飞速发展，引起了自动化系统结构的变革，逐步形成以网络集成自动化系统为基础的企业信息系统。现场总线（fieldbus）就是顺应这一形势发展起来的新技术。

2.4.1 现场总线简介

现场总线是当今自动化领域技术发展的热点之一，被誉为自动化领域的计算机局域网。它的出现，标志着工业控制技术领域又一个新时代的开始，并将对该领域的发展产生重要影响。

现场总线是 20 世纪 80 年代中期在国际上发展起来的。随着微处理器与计算机功能的不断增强和价格的急剧降低，计算机与计算机网络系统得到迅速发展，而处于生产过程底层的测控自动化系统，采用一对一连线，用电压、电流的模拟信号进行测量控制，或采用自封闭式的集散系统，难以实现设备之间以及系统与外界之间的信息交换，使自动化系统成为“信息孤岛”。要实现整个企业的信息集成，要实施综合自动化，就必须设计出一种

能在工业现场环境运行、性能可靠、造价低廉的通信系统，形成工厂底层网络，完成现场自动化设备之间的多点数字通信，实现底层现场设备之间以及生产现场与外界的信息交换。现场总线就是在这种实际需求的驱动下应运而生的。现场总线控制系统既是一个开放通信网络，又是一种全分布控制系统。它作为过程自动化、制造自动化、楼宇、交通等领域现场智能设备之间的互联通信网络，沟通了生产过程现场控制设备之间及其与更高控制管理层网络之间的联系，为彻底打破自动化系统的“信息孤岛”创造了条件。

现场总线是新型自动化系统，又是低带宽的底层控制网络。它可与因特网（Internet）、企业内部网（Intranet）相连，且位于生产控制和网络结构的底层，因而有人称之为底层网 Intranet。它作为网络系统最显著的特征是具有开放统一的通信协议，肩负着生产运行一线测量控制的特殊任务。

2.4.2 现场总线的特点

2.4.2.1 现场总线系统的结构特点

现场总线系统打破了传统控制系统的结构形式。传统模拟控制系统采用一对一的设备连线，按控制回路分别进行连接。现场总线系统由于采用了智能现场设备，能够把原先 DCS 系统中处于控制室的控制模块、各输入输出模块置入现场设备，加上现场设备具有通信能力，使现场的测量变送仪表可以与阀门等执行机构直接传送信号，因而控制的系统功能能够不依赖控制室的计算机或控制仪表，直接在现场完成，实现了彻底的分散控制。图 11－2－9 为现场总线控制系统与传统控制系统的结构对比。

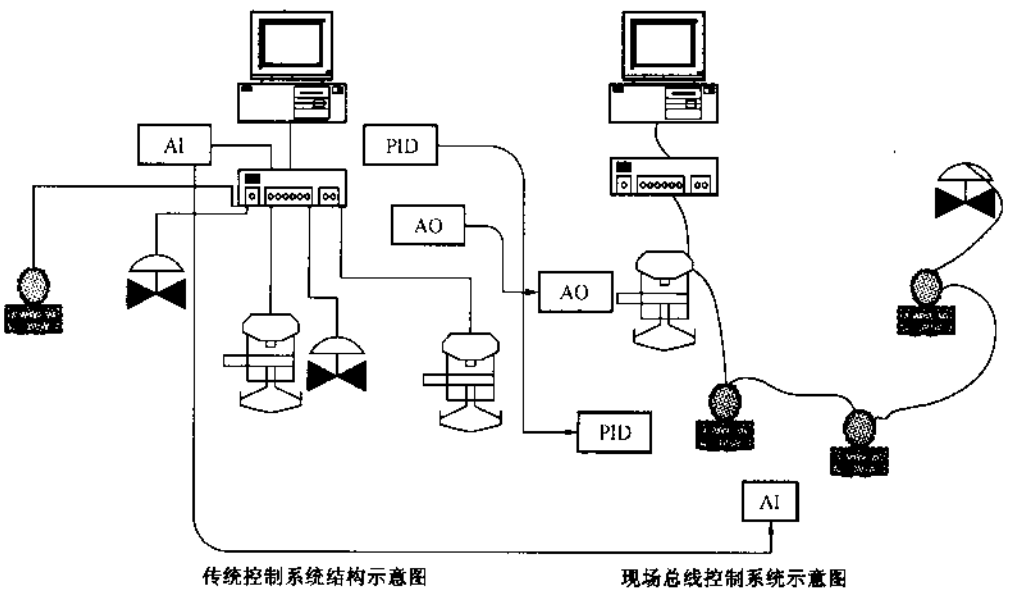


图 11－2－9 现场总线控制系统与传统控制系统的结构对比

由于采用数字信号替代模拟信号，因而可实现一对电线上传输多个信号（包括多个运行参数值、多个设备状态、故障信息），同时又为多个设备提供电源，现场设备以外不再需要模拟/数字、数字/模拟转换部件，这样就为简化系统结构、节约硬件设备、节约连

接电缆与各种安装、维护费用创造了条件。

2.4.2.2　现场总线系统的技术特点

现场总线系统在技术上具有以下特点：

（1）系统的开放性。开放是指对相关标准的一致性、公开性，强调对标准的共识与遵从。一个开放系统，是指它可以与世界上任何地方遵守相同标准的其他设备或系统连接。

（2）互可操作性与互用性。互可操作性指实现互联设备间、系统间的信息传送与沟通；而互用性则意味着不同生产厂家的性能类似的设备可实现相互替换。

（3）现场设备的智能化与功能自治性。它将传感测量、补偿计算、工程量处理与控制等功能分散到现场设备中完成，仅靠现场设备即可完成自动控制的基本功能，并可随时诊断设备的运行状态。

（4）系统结构的高度分散性。现场总线已构成一种新的全分散性控制系统的体系结构，从根本上改变了现有DCS集中与分散相结合的集散控制系统体系，简化了系统结构，提高了可靠性。

（5）对现场环境的适应性。工作在生产现场前端、作为工厂网络底层的现场总线，是专为现场环境而设计的，可支持双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外线、电力线等，具有较强的抗干扰能力，能采用两线制实现供电与通信，并可满足本质安全防爆要求等。

2.4.2.3　现场总线的优点

现场总线具有以下优点：

（1）节省硬件数量与投资；

（2）节省安装费用；

（3）节省维护开销；

（4）用户具有高度的系统集成主动权；

（5）提高了系统的准确性与可靠性。

2.4.3　现场总线在煤矿应用的基本要求与局限

2.4.3.1　矿井对现场总线标准的基本要求

根据矿井的要求将现场总线进行适当的改造扩充后用于煤矿是完全可行的，鉴于矿井的特殊条件，对井下现场总线有一些基本要求：

（1）网络结构。井下网络以两级较为合适，即一级高速主干网下接一级低速（设备级）现场总线网，甲烷超限报警断电等紧急操作应能由设备级现场自主操作，主干网采用光纤或同轴电缆作媒体，应能同时传输多媒体信息，考虑到矿井的特点，网络拓扑以总线型为宜，加上分支器可构成树型。

（2）传输距离。根据矿井巷道要求，主干网传输距离应大于10km，设备级现场总线的传输距离能达1～2km，考虑到对于监控规模较小的矿井应能省去主干网而仅用一级低速现场总线，其传输距离则也应达10km以上。

（3）响应时间。对安全监控，考虑到瓦斯突出矿井的要求，响应时间应在1s以内，对生产监控则应在数十毫秒数量级。响应时间与通信速率有关，但不是反比关系，这是因为协议复杂的总线通信效率低造成的。

（4）本安特性与供电。设备级总线应能满足本质安全要求或经简单的改造后能满足

本质安全要求，低速总线应能给被连接的现场设备直接供电或共缆供电，因此矿井低速现场总线的传输媒体一般不宜采用光纤。

（5）抗干扰能力和对恶劣环境的适应能力。矿井的电磁干扰较强，温度、湿度环境差，因总线距离长，加于收发器上的共模电压较高，现场总线设备应能满足要求或经改造后能满足要求。

（6）硬件软件支持和开发难度。选用的标准应有完善的硬、软件支持，有开发工具。

目前国内较为先进的典型应用有：神东公司大柳塔煤矿综合自动化系统、兖矿集团济二煤矿及晋煤集团寺河煤矿的美国霍尼威尔（Honeywell）公司 HIMASS 系统。

2.4.3.2 现场总线在煤矿井下应用的局限性

现场总线是现今使用最广泛的工业控制技术，但现场总线最大的问题是标准太多，而煤矿需要的是建立统一、开放的网络，不同公司的监测监控设备均能够挂接在这个网络上传输。显然，如果使用现场总线，用作连接传感器的设备级网络还可以胜任，但作为井下数据传输的主干网络，则在传输速率、传输距离和链路冗余等方面都不能满足需要，而且势必使得井下传输网络由一个互不兼容的多系统结构过渡到另一个互不兼容的多系统结构，显然不符合建设现代化矿井、实现综合自动化的要求。

2.5 综合信息网络技术

综合信息网络平台的主要作用是为矿区建立运行安全可靠、容量大、功能强、便于维护、稳定可靠的传输网络，以保证各种业务的稳定传输；建立满足矿区现在及未来一段时间内需求的大容量的语音交换网络；建立满足矿区数据及流媒体业务需求的数据交换网络；建立满足矿区生产、生活需要的图像业务网络，为矿区的安全生产提供可靠有效的通信保证。

由于煤矿综合信息网络通常都是作为煤矿信息化系统、安全监测系统、生产系统的骨干传输通道建设，而煤矿井下的应用子系统众多，设备运行环境恶劣，业务对网络的要求又极高，因此，宽带网络是整个煤矿信息化建设的基石。

在煤矿综合信息宽带网络系统设计过程中着重考虑以下几点要求。

（1）可靠性：宽带骨干网络必须是高可靠的、高品质的网络，才能够最大程度地保障整个信息系统的持续通信能力。

（2）实用性：从实际应用角度出发，力求简单实用。系统应能够满足煤矿综合信息网络系统 5～10 年发展的要求，并具备良好的扩展性。

（3）安全性：包括企业网络系统安全、数据资料的完整性安全等，并且系统要具有抗侵入、容错和容灾的能力。

（4）先进性：超前性和先进性是每一个企业信息网建设期望达到的目标。

（5）开放性：选用开放的硬件和软件平台，支持多种主机互连。

（6）扩充性：要拥有简单易行的扩充升级能力，满足未来应用扩展的需要。

（7）投资保护：在保证系统能够安全、可靠运行的前提下，最大限度地降低系统造价，保护原有的计算机设备投资。考虑用户未来业务发展的需要，结合业务拓宽的需求，预留与其他应用系统的接口，解决网络平台实现语音、调度、数据、视频、监测监控等多业务网网络合一的问题。

煤矿综合信息宽带网络平台建设是近年煤矿信息化、数字化矿山建设的必然选择，目前已经在煤矿成熟应用的网络系统主要包括：基于工业以太网技术煤矿综合业务传输网络平台，基于无源光纤传输和 TDM 的 GEPON 系统，以及采用 RPR 技术和隧道技术的 MCTP 矿用本安型多通道工业以太网 3 种系统。

2.5.1 基于工业以太网技术煤矿综合业务传输网络平台

目前的工业控制领域有 2 种较为流行的技术方案，一个是现场总线技术，另一个就是工业以太网技术。所谓工业以太网，是指技术上与商用以太网（即 IEEE802.3 标准）兼容；在产品设计时，在材质的选用、产品的强度、适用性以及实时性等方面能满足工业现场的需要。简言之，工业以太网是将以太网应用于工业控制和管理的局域网技术。

以太网早期存在不确定性和实时性能欠佳的问题，已通过智能交换机的使用、主动切换功能的实现、优先权的引入等，得到了解决。通过提高数据传输速率，仔细地选择网络的拓扑结构、设置服务质量（QOS）等，保证数据传输的准确性和实时性。

2.5.1.1 工业以太网技术

普通商用以太网不能保证网络的冗余性、可靠性和实时性，为使以太网能够成功应用在工业控制领域，许多研发机构和厂商相继推出了以太网的环冗余和链路聚合等技术。

1. 以太网和 TCP/IP 协议族

在 OSI/ISO 7 层协议中，以太网本身只定义了物理层和数据链路层，作为一套完整的网络传输协议，必须具有高层控制协议，以太网使用了 TCP/IP 协议族：ICMP（Internet Control Message Protocol）用来对以太网中的传输状态进行监测和控制，IP（Internet Protocol）用来确定信息传递路线，TCP（Transmission Control Protocol）用来保证传输的可靠性，UDP（User Datagram Protocol）用来快速传输数据等。虽然 TCP/IP 并不是专为以太网而设计的，但实际上它们现在已经是不可分离的了。

随着 Internet 的迅速发展，以太网已成为事实上的工业标准，TCP/IP 简单实用，为广大用户所接受。不仅在办公自动化领域内成熟应用，而且在各个企业的管理网络也都广泛使用以太网。

在现场总线协议中，为提高传输效率，一般只定义 7 层协议中的物理层、数据链路层和应用层。为与以太网融合，通常在数据包前加入 IP 地址，并通过 TCP 来进行数据传递。

2. 以太网交换技术

交换技术的快速发展已经消除了以太网应用于控制领域的障碍。交换式以太网技术产生于 1992 年，这项技术使得多个网上设备之间同时进行通信时不会有冲突发生。其做法是把网络用交换器分割成互不相连的几个网段，每个设备独占一个网段，从而大大降低冲突的可能性。应用交换技术的工业以太网系统结构如图 11－2－10 所示。

以太网不仅能建立一个高效开放有确定性的现场总线系统，而且在局域网上获得了广泛应用，所以它在控制层的应用可以使“从会议室到传感器”都集成起来。现在还可以利用交换技术将通信变为全双工。这些都为以太网进入工业控制领域铺平了道路。

3. 工业以太网环冗余技术

出于对煤矿安全生产的需要，煤矿对网络可靠性的要求很高，需要信息传输网络能够提供链路冗余。环型以太网结构的出现在很大程度上解决了以太网的容错问题，提高了以太网的可靠性。环型网络构造了一个简单环，从而保证了在某条链路意外损坏时数据仍然

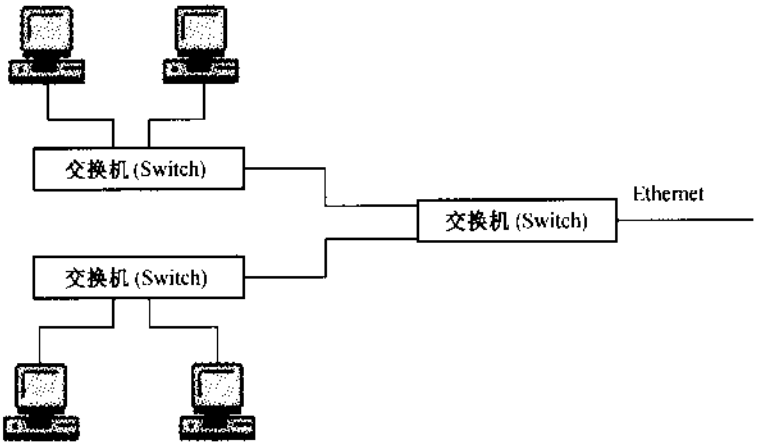


图 11-2-10 应用交换技术的工业以太网结构

可以通过备用链路传输。在交换式以太网中，冗余的管理能够实现很高的网络可用性，交换式高速以太网启用环冗余的时间少于300ms。也就是说，一条链路出错后，网络可以在300ms以内重新可用。

4. 链路聚合技术

链路聚合技术可以在不改变现有网络设备以及原有布线的条件下，使用专用的软件或软硬件结合的产品，把多条交换机到服务器或交换机到交换机的数据通道捆绑起来，形成一条逻辑上的高带宽数据链路，满足高带宽应用的需要。同时，还可以增加网络的负载均衡能力以及容错性，极大地提高整个系统的性能。当聚合链路中一条或几条（不是全部）意外损坏时，数据仍然可通过剩余的物理链路传输。

5. 工业以太网与商用以太网的区别

工业以太网与商用以太网的应用场合不同，应用的目的也不同，这就造成了工业以太网和商用以太网追求的目标不一样，二者主要区别见表11-2-2。

表11-2-2 工业以太网和商用以太网的主要区别

项　　目	商 用 以 太 网	工 业 以 太 网
冗余能力	弱（1s以上环网自愈时间）	强（50～300ms环网自愈时间）
可靠性	一般	高
实时性	一般	高
技术先进性	高（着重管理与控制）	高（着重保障可靠与实时性）
包交换能力	高	高
扩展灵活性	较高	高（拥有丰富种类接口方便扩展）
带宽利用率	较高	高
价格	低	较高

2.5.1.2 基于工业以太网的综合信息网络平台结构模式

根据以上分析和要求，结合最先进的计算机网络技术，煤矿综合信息网络平台采用