

第六篇

动力煤的筛分、洗选技术、工艺 控制及经济效益评估

第一章 概 述

能源是现代经济的支柱。在我国燃料构成中,煤炭占 80% 以上。煤炭不仅是主要的能源,又是重要的工业原料,是关系着国民经济全局的关键性物质。因此,我们既要努力增产煤炭,又要注意合理使用,提高利用效率。

目前,我国能源利用率约 28%,只及工业发达国家的一半。如果将能源效率提高到 50%,按当前的煤炭产量水平计算,每年就相当于增产原煤 5 亿吨,可见,节约能源的潜力是很大的。节约能源的办法很多,其中重要的一条就是合理利用。做好煤炭合理利用,必须从煤矿做起,煤矿首先应给国民经济各部门创造合理利用煤炭的条件。

第一节 煤中的杂质

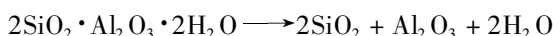
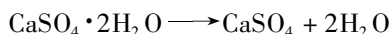
煤是由古代植物遗体堆积转化而来的,所以它是有机化合物。但是,它并不是简单的有机化合物,而是由各种简单的和复杂的化合物以及各种矿物杂质组成的混合体。煤主要是由碳、氢、氧、氮等元素组成,并含有少量的硫、磷和一些稀有元素,另外还含有其它矿物杂质和水分。煤的变质程度不同,各种煤的碳、氢、氧、氮的含量以及结焦性能、发热量也不相同,它们的工业用途、经济价值也由此而异。煤中杂质,就是指水分、硫、磷和其它矿物杂质等一些有害成分。

煤中水分主要有两种:一种是外在水分,是在开采、运输、贮存及洗选过程中,保留在煤炭表面和裂隙中的水分,煤经过自然风干即可将其除去;另一种是内在水分,是吸附和

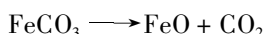
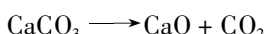
凝聚在煤内部的一些细小的毛细孔里的水分,这种水分经自然风干是除不掉的,需加热到 $102 \sim 105^{\circ}\text{C}$ 才能干燥蒸发掉。内在水分与煤的变质程度有关,变质程度越高,内在水分越少。褐煤的内在水分比烟煤大,烟煤又比无烟煤的内在水分大。煤中除内在水分、外在水分以外,还有一种是煤中矿物质所含的结晶水,如石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、高岭土 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 等。将煤加热到 $102 \sim 105^{\circ}\text{C}$ 仍不能除去这种水分。此外,煤中的氢和氧,在煤干馏或燃烧时也能生成水,这部分水叫化合水。水分对煤的运输和加工利用都是不利的。煤中含水分大,浪费运输车辆,在寒冷地区往往冻结车辆,则影响更大。煤在燃烧时,由于蒸发其中所含的水分,需要消耗大量热量。炼焦时,因煤中水分高要延长结焦时间,降低焦炉生产率。但是,煤中含有一定量的水分,燃烧时可以适当改善炉膛内的辐射效能。

灰分是煤彻底燃烧以后,所剩下的残碴,可分为外在灰分和内在灰分两种。外在灰分是采煤过程因煤层顶、底板岩石脱落和煤层中夹矸层岩石混入而造成的,所以它与采煤方法是否合理有很大关系。内在灰分是成煤原始植物本身所含的无机物、另外也包括沉积时由风和水搬来的矿物杂质,它与煤很致密地结合在一起。要除掉内在灰分是相当困难的。所以,无论变质程度高的或者低的煤,都含有灰分。当然,煤中灰分愈多,它的质量愈坏,因为灰分是煤中不能燃烧的部分。煤中灰分的含量并不等于煤中矿物质的含量,因为煤在燃烧受热时,有些矿物质会发生化学变化,改变了原来煤中矿物质的成分和重量。例如:

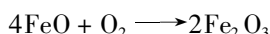
高岭土、石膏等失去水分。



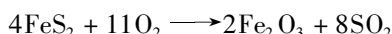
碳酸盐受热分解放出 CO_2 。



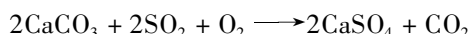
氧化亚铁氧化生成氧化铁。



黄铁矿氧化生成二氧化硫及氧化铁。



煤燃烧时生成的 SO_2 与煤中 CaCO_3 及氧作用生成 CaSO_4 。



可见,燃烧时煤中矿物质发生了很多变化,因此所测得的煤中灰分含量并不等于煤

中原来矿物质的含量。要计算煤中矿物质的含量,可用下列公式求出。

$$A_2 = 1.129A_1 + 0.35S - 0.2$$

式中 A_2 ——煤中矿物质含量,%;

A_1 ——测得的灰分,%;

S ——煤中含硫量,%。

硫是煤中最有害的一种杂质。煤作为动力燃料时,煤中硫生成二氧化硫。它不仅腐蚀金属设备,而且排出含二氧化硫的废气,污染空气,造成公害。煤作为生产冶金焦用的原料时,煤中硫的影响就更大了。硫直接影响钢铁质量,一般,生铁中硫含量大于0.07%时,即为废品。煤中所含的硫有三种:有机硫、硫化铁硫和硫酸盐硫。有机硫和硫化铁硫在煤燃烧时与空气中的氧化合而形成二氧化硫,因此,这种硫称为煤的可燃性硫。硫酸盐硫在空气中不能燃烧,称为不燃性硫。有机硫是成煤植物本身所含的硫,它均匀地分布在煤中,很难从煤中除去。硫酸盐硫主要是硫酸钙($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、硫酸钡,在煤中含量不多,但黄铁矿经风化被氧化成硫酸盐硫。黄铁矿硫主要是在成煤或开采时混入的,还有一些可能是成煤过程中有机物分解产生的硫化氢溶于水并与水中铁盐作用生成的,水中铁盐被还原也能生成黄铁矿硫。黄铁矿硫一般不是均匀地分布在煤的组成中,故比较容易除掉。辽宁各煤田的硫分含量很低,脱硫并没有成为一项重要课题。

煤中的磷也是有害杂质。焦炭中含磷,使钢铁发脆,钢铁质量降低。我国煤的磷含量都较低,多数情况都不超过工业方面的要求。

第二节 动力用煤为什么要洗选

煤中的灰分、硫、磷等都是有害杂质,所以尽量除掉这些杂质,这对提高煤炭的使用价值有着很重要的意义。除掉杂质的有效方法就是选煤。炼焦用煤必须经过洗选加工,这一点人们已经有了比较全面的认识。但是,动力用煤洗选的必要性,则还没有广泛地被大多数人所认识。

一、选煤是煤炭工业的重要环节

从矿井或露天矿采出的煤炭中,总是含有一定数量的矸石。因为在采煤过程中,煤

层内的夹矸和破碎后的顶、底板岩石常常混入煤中 加之不同煤层的厚度(其中所含夹石层厚度)、层数、顶、底板岩石的性质以及操作方法等各不相同,使矸石以较大的幅度波动,并随机地混入煤中,导致矿井或露天矿的原煤灰分也发生很大的波动 特别是随着煤炭工业的现代化,机组采煤很难实行煤、岩分采,也不可能在工作面上拣矸,必然引起原煤质量的下降 为了充分利用能源,低质煤也在逐步扩大开采。所以,井口原煤,只能是一种半成品。譬如,辽宁省几个露天煤矿的纯煤灰分都较低,10.5 ~ 17.47%,当使用单斗电铲开采时,煤炭的平均含矸率就达 24.5 ~ 44%,入厂井口原煤灰分高达 27.10 ~ 41.9%(见表 6-1-1)。在露天矿的实际生产中,还有一部分含煤率特别低的(一般低于 20%)煤矸,这部分煤矸翻到排土线,可用大量的人工拣出其中的一部分煤炭。如果全部或大部将其送到洗煤厂洗选,则露天矿选前原煤灰分和含矸率将远远超过表 6-1-1 的数字。因此我们认为,用电铲勺斗开出的露天矿原煤都是煤和矸石按不同比例的混合物,不能做为成品销售给对质量有一定要求的用煤单位。露天矿如此,那么矿井生产的井口原煤究竟怎样?辽宁从矿井采出的煤炭一般含有 15 ~ 40% 的矸石。其纯煤灰分虽然为 7 ~ 25%,但由于混入大量的外在灰分,故原煤灰分在 13 ~ 50% 左右。

表 6-1-1 入洗前露天矿原煤灰分及含矸率

产 地	原 煤 平均灰分 A _g (%)	其 中			
		煤		矸	
		γ(%)	A _g (%)	γ(%)	A _g (%)
抚顺西露天煤矿	27.10	75.5	10.80	24.5	78.50
阜新海州露天煤矿	41.90	56.0	12.00	44.10	80.00
阜新高邱露天煤矿	35.50	71.1	17.47	28.9	80.00

由于在露天矿、矿井原煤中混入了大量的矸石,所以它只能算作半成品。这种半成品虽然可以利用,但随着煤利用技术的发展和用户对煤质要求的提高,必须相应地改变这种状态,发展选煤就是改变这种状态的重要措施。选煤工艺越完善,产品质量越高,降低灰分的幅度也大,损失于尾矿中的资源也少。表 6-1-2 简要地列出了 1978 年辽宁省一些动力煤洗煤厂,由于采用不同的洗选深度,入厂原煤灰分和商品煤灰分两者之间的关系。洗选深度的选择,虽然取决于原煤的基本特性和对产品质量的要求,但总是洗选深度愈小,灰分降低的愈多。

表 6-1-2 辽宁省一些动力煤洗煤厂的洗选深度和降低灰分的关系

洗煤深度	厂名	入厂原煤灰分， A ^g (%)	商品煤灰分， A ^g (%)	降低灰分， A ^g (%)
1. 洗选深度到 0 毫米	冠山	51.08	22.97	28.11
	南票	46.91	29.03	17.88
	抚顺西露天	29.82	13.41	16.40
2. 优质原煤洗选深度到 6 毫米,劣质原煤洗选深度到 0 毫米	阜新海州	39.41	17.76	21.65
	露天			
	阜新邱 露天	50.74	31.14	19.60
3. 洗选深度到 6 毫米	平安	40.02	24.20	15.82
	晓明	39.85	24.92	15.93
4. 洗选深度到 13 毫米 5. 洗选深度到 50 毫米	清河门	33.70	24.56	9.14
	南票各筛 选厂	45.55	43.36	2.19

二、选煤可以大幅度地减少铁路运输量

煤炭在铁路的货运量中所占的比重最大。煤的灰分高,就等于让火车带着大量矸石去“旅行”。一九七八年辽宁省入选毛煤 3280 万吨,共洗选出矸石 910 万吨,按全省销售煤平均运距 250 公里计算,则每年要减少 23 亿吨公里的无效运输,从一个省来看是这样,就全国来说那就更加显示出选煤的重要意义了。假设每年有四亿吨煤炭要经过铁路运输,只要煤的灰分增加 1%,每年大约就得多装 600 万吨矸石,需要 12 万多节载重量 50 吨的车厢,足见选煤对减少铁路运输量是何等的重要。

三、选煤可以使资源获得合理利用

在现代工业中,煤炭的用途和利用方式多种多样,因而对煤炭质量规格的要求也是多样化的。钢铁工业离不开具有粘结性的炼焦煤,但是锅炉却不喜欢用强粘结性的煤炭,因为烧这种煤时,排碴困难。同样是动力或取暖锅炉,由于其炉型不同,对煤炭的要求也不一样。层状燃烧的锅炉,希望使用块煤,而大型电厂的煤粉锅炉,却要用粉煤。无烟煤起火慢,火焰短,动力锅炉不适用,但却是生产化肥的造气原料,还可以用于高炉喷吹,以节约焦炭。市场用煤,也有不同要求,炊事单位适合烧无烟块煤,家庭则喜欢烧无烟的蜂窝煤等等。煤炭品种不对路是极大的浪费,反之,产销对路则是很大的节约。例如,机车锅炉具有通风强而烟囱短的特点,故燃烧原煤或未煤都会从机车烟囱中喷出和

从炉篦漏下大量未燃烧的煤粉。据铁路机务部门介绍,送入机车锅炉中的粉煤,要有40%损失掉。假如某铁路局一年用煤量200万吨,按照烧块煤比烧原煤能节约10%计算,全用块煤时,就可以比全用原煤节约20万吨煤炭。大型电厂恰好相反,它要求先把煤炭磨得很细,再喷入锅炉。电厂如使用原煤和块煤,就必须增加制备煤粉的成本和电耗。

各类用户虽然对煤的牌号和品种都有不同的要求,但普遍要求灰分要低,因为燃烧灰分较低的煤炭,不仅可以降低生产成本,而且可以提高锅炉的燃烧效率。以锅炉用煤量为每年300万吨的某系统为例,该系统以前使用灰分为39%的煤炭,现在使用经过分选灰分降至20.6%(下降18.4%)的煤炭 如果按煤炭灰分每降低1%,可使锅炉效率提高0.5%计算,由于煤质的提高,该系统可以节约燃料9.2%,即一年节约煤炭28万吨。

综上所述,原煤经过洗选加工可以使资源获得合理利用。

四、选煤可以使煤矿增加社会主义积累

洗选炼焦煤的盈利问题已为众所公认。洗选动力煤是否合算呢?这个问题可以用实际数据来回答。辽宁省10个动力选煤厂1979年的资料(见表6-1-3)表明,入选原煤平均单价为13.13元,选后商品煤平均单价为22.26元,低质煤单价为6.8元,折成每吨原煤计算的产品售价为18.91元,吨煤加工费为0.99元。扣除税金之后,每入选一吨原煤,增加收入4.35元。洗选动力煤的盈利多少与下列因素有关:

表 6-1-3 辽宁洗动力煤盈利情况

项 目	数量 (万吨)	灰分,A _{st} (%)	单价 (元/吨)	总额 (万元)
1. 入厂原煤	2089.10	38.69	13.13	27428.11
2. 商品煤	1751.59	20.67	22.26	98983.25
其中 化工用精煤	27.59	15.77	42.30	1171.28
块煤	704.69	17.08	34.75	24485.62
3. 低质煤	26.16	66.21	6.80	518.17
其中 沸腾煤	63.31	66.83	7.08	449.00
4. 加工费	—	—	0.99	2063.27
5. 原煤税金	—	—	—	2194.24
6. 产品税金	—	—	—	3119.70
7. 净利润	—	—	4.35	9084.58

注 1. 数量系 1979 年 10 个选煤厂入厂原煤的实际产量。

2. 金额系按 1979 年煤炭出厂价格进行计算。

- (1)原煤的煤种、质量不同,利润高低不等；
- (2)块煤收率、品种种类不同,收益不一样；
- (3)选煤厂厂型、设备以及管理水平不同,效果也不同。

实践证明,加强动力煤选煤厂的经营管理,多出块煤,实行品种多样化,吃干选净以及简化工艺、扩大入选煤量等是增加盈利的有效途径。

第三节 辽宁洗选动力煤的概况

辽宁是我国重要工业基地之一,燃料消费量极大。建国以来,煤炭工业有了很大发展,原煤产量比解放初期增长七倍多,但还是远远不能满足省内国民经济各部门日益增长的需要。辽宁的工业部类比较齐全,冶金、电力、铁路、机械、化工、建材和轻纺等部门对煤炭的质量和品种各有不同要求。但是,近十多年来,新开发的矿区原煤灰分普遍较高,老矿区部分矿井进入衰老阶段,加之机械化采煤的发展,露天矿产量比重的增长,致使原煤质量逐年下降。基于这种情况,为了保证质量,满足用户需要,只有走机械化选煤的道路。为此,辽宁省煤炭入选比重不断扩大。

1979 年辽宁省统配煤矿生产原煤 4075.2 万吨,有 67.6% 经选煤加工,其中 生产动力用原煤 3060.6 万吨,有 55.3% 经洗选加工(见表 6-1-4)。没有经过洗选的也大都用人工拣矸并进行分级。动力煤经过洗选加工后,向国家提供的块煤占入选原煤的 40.24%。高质量、多品种为减少无效运输创造了条件,同时也为煤矿增加了经济收益。

表 6-1-4 1978 年辽宁省动力煤选煤厂生产情况

	数 量 (万吨)	产 率 (%)	灰分, A _d (%)	备 注
矿井原煤总产量	3060.6			
入选煤厂毛煤	2115.6		38.97	
1. 入选原煤量	1693.7	100	29.41	
1) 洗出产品合计	1079.5	63.74	19.16	
其中 洗块煤	603.8	35.64	15.95	
煤 泥	60.3	3.56	39.33	
2) 筛选产品计	380.5	22.46	29.90	

	数 量 (万吨)	产 率 (%)	灰分, A _d (%)	备 注
其中块煤	78.2	4.60	32.89	
3) 计量洗耗	233.7	13.80	75.40	包括沸腾煤
其中洗矸	157.2	9.28	79.72	
2. 未计量洗耗	421.9		77.35	包括重介选大块
其中洗矸	388.6		77.02	
选矸	29.3		83.08	

注 计量洗耗指计算原煤产量的洗耗,未计量洗耗指不计算原煤产量的洗耗。

到 1979 年底,辽宁省共有动力煤选煤厂 12 座,总能力 1905 万吨/年(见表 6-1-5)。在六十年代以后新建、改建的 8 座选煤厂中,有 7 座是动力煤选煤厂。

表 6-1-5 辽宁省动力煤选煤厂概况

	数 量	(%)
选煤厂个数	12	
设计入选原煤能力(万吨/年)	1905	
平均每厂入选原煤能力(万吨/年)	158.7	
各种选煤方法能力合计(吨/小时)	3240	100
其中跳汰(吨/粘时)	1980	61.1
重介(吨/小时)	880	27.1
溜槽洗(吨/小时)	380	11.8

注 入选原煤能力是按计量原煤计算的。

辽宁省在不断扩大动力煤选煤能力的同时,还不断地完善工艺和革新技术装备。五十年代,主要选煤方法是跳汰和溜槽洗。六十年代初自海州选煤厂建成第一座重介质选煤车间以来,先后有 7 个动力煤选煤厂用重介质选煤法代替人工拣矸,以提高分选效率。动力煤选煤厂的选煤方法是,跳汰占 61.1%,重介占 27.1%,溜槽只占 11.8%。

抚顺西露天选煤厂成功地采用了槽宽 4 米的斜轮分选机和面积 30 米² 的共振筛等大型设备。一部分动力煤选煤厂采用过滤机回收煤泥。

辽宁省动力煤选煤厂的洗选工艺大体可分为两大类:一类是用斜轮分选机选块煤,用跳汰机选末煤(或不选);另一类是大块煤经人工拣矸石后破碎,50~0 毫米全部入选。前者如抚顺西露天、阜新海州、新邱、东梁、五龙、平庄西露天以及铁法的大隆(未正式使用)等选煤厂的选煤工艺;后者如北票冠山、南票赵家屯、铁法小明和阜新清河门及平安等选煤厂的选煤工艺。第一类的优点是用重介分选代替人工手选,特别适用于分选含有大量大块矸石的露天毛煤或井工开采的低质煤 25 或 13 毫米以下的筛余煤,如果灰分不

高,可以不洗,以免增高产品水分和产生大量煤泥。但是,近年来发现,有些矿井由于原煤水分大,干法分级困难,如果采用湿法筛分,筛下煤就需要用跳汰机分选。因此原来只设有块煤重介选的选煤厂有增设跳汰机的趋势。灰分达到 40% 以上的原煤,全部用跳汰洗选是必要的,但是,当大块矸石含量多时,人工拣矸应采用机械代替。

动力煤选煤厂在保证商品煤质量的同时,应大力生产块煤,这样既能保证工业、铁路和市场的需要,又有利于增加煤矿收益。1978 年辽宁各动力煤选煤厂的块煤平均产率占入选原煤的 40.24%。生产的块煤品种有 大块、中块、混中块、混块、小块以及粒煤。

辽宁省动力煤选煤厂厂型较大,12 个厂平均为 158.7 万吨/年,与一些煤炭工业发达国家的厂型相似。例如,按照计量原煤计算的入选能力抚顺西露天选煤厂 360 万吨/年,阜新海州选煤厂 300 万吨/年,新邱选煤厂 200 万吨/年 若按实际入选毛煤量计算,这些选煤厂的能力分别达到 600,520 和 420 万吨/年。由于厂型较大,设备比较简单,洗煤加工费都不高,原煤全部入洗的在 1.5 元/吨左右,只洗块煤的约 1 元/吨左右。每个生产工人的劳动生产率,与入选原煤能力关系很大,抚顺西露天选煤厂达到 35.9 吨/工,而处理量小的晓明选煤厂仅 12 吨/工。

辽宁省生产的煤炭有三分之二用于工业。主要用户是钢铁、电力、机械和化工工业以及铁路系统(见表 6-1-6)。

表 6-1-6 1978 年辽宁省煤炭分配情况

	商品煤总量		其中(万吨)		
	(万吨)	(%)	精煤	块煤	无烟煤
合 计	3595.77	100	643.0	860.69	95.16
钢铁工业	625.34	17.39	430.97	61.51	3.33
电力工业	767.25	21.34	4.31	121.95	—
铁路系统	258.24	7.18	5.21	172.46	0.99
其它工业	752.95	20.94	187.36	224.67	21.76
市 场	848.23	23.59	1.62	148.47	45.39
煤矿自由	244.23	6.79	9.49	62.92	11.17
外 调	99.53	2.77	4.04	68.71	12.46

第二章 各类用户对煤质的要求

第一节 煤的燃烧

煤的燃烧应以最大限度地、迅速地放出其热能为目的。煤在燃烧过程中产生气体化合物和固体炭的残留物。气体化合物中最简单的是甲烷(CH_4)和乙炔(C_2H_2),在高温下,还生成水煤气(H_2 和 CO 化合物)。固体炭的残留物在空气中燃烧时,最终也要变成水煤气。所以,水煤气的燃烧是煤炭燃烧的真实过程。不同种类的煤炭,也都是水煤气的燃烧过程,只是从煤转变为水煤气的过程有所不同。

一、煤中挥发物和燃烧的关系

在煤的燃烧过程中,固体炭的残留物变为气体状态要比从煤中首先分离出气体化合物慢得多,因此挥发分低的煤,燃烧就很慢。也就是说,含固体炭残留物较多的煤炭,比含固体炭残留物较少的煤炭燃烧得慢。

二、煤的变形

煤在燃烧中都要变形,一些煤转变为可塑状态,粘结在一起;另一些煤,则发生裂隙,碎裂成为很小的颗粒。煤转变为可塑状态时,就粘结成大块,从而妨碍燃烧过程的进行。煤发生裂隙,变成小颗粒,又暴露出新的表面时,将加速燃烧过程的进行。但是,煤粉增加到一定程度,反而填充了大块煤之间的空隙,使空气难以通过,阻碍燃烧,甚至破坏燃

烧过程的进行。

三、煤的粒度与燃烧的关系

煤的燃烧过程是煤表面的化学反应。反应速度与起反应的煤表面大小和供给的空气数量有关。起反应的煤表面积愈大,供给空气的数量愈多,那么反应的速度也愈快。煤块愈大,透气性虽好,但起反应的煤表面积小,所需要的空气量也小。煤的颗粒愈小,它的表面积虽然大,但由于彼此堆积很紧密,起反应的煤表面积实际上很小,进入的空气也很少。所以在成层燃烧时,对煤的粒度要有严格的要求,粒度不宜于过大,也不宜于过小,一般来说,50~60毫米的煤炭,对燃烧最为有利。

四、煤中矿物质对燃烧的影响

在燃烧时,煤中的矽石和矿物质要转变成液体状态,使热量不能充分放出,或者减低热量的放出速度,影响燃烧过程。矿物质的这种影响,以燃烧挥发分较小的无烟煤、贫煤时更为突出。煤中所含矿物质越多,则单位重量或单位体积的煤所储存的热量就越少。锅炉的燃烧效率及燃烧速度也因此而降低。

五、煤中水分对燃烧的影响

煤中存在水分,则同样要减少单位重量或单位体积的煤所储存的热量,同时使煤中的水分蒸发还要消耗一些热量。但是,如果炉膛温度较高,煤中含有一定水分对燃烧过程并无影响。

六、煤中硫分对燃烧的影响

煤中的硫分在燃烧时转变为气体,这种气体与金属接触时能起腐蚀作用。

以上这些因素,决定了各类用户有效地应用煤的发热量的可能程度。各种煤的性质和成分不一样,用户可以根据这些因素进行选择,并对煤的加工提出要求。各类用户对煤质的要求是极不相同的。为了合理地选择煤炭,就必须了解煤的性质。为了确定煤的用途,一般需要知道以下一些煤质基本指标。

全水分	W_Q
可燃体挥发分	V^r
胶质层厚度	Y
应用煤低位发热量	Q_{DW}^Y

干燥煤的灰分	A ^g
全硫分	S _Q ^g
煤灰熔点	T
煤的粒度	毫米

还有其他一些指标,对于某些用户也是重要的,这里不再一一列出。

为了实行科学的煤炭供应办法,合理使用资源,煤炭部制定了煤炭产品质量规格及出厂价格目录。在目录中载明煤的产地、煤种、品名、质量标准、出厂价格、交货地点。煤炭按照产品用途、加工方法和质量规格分为五大类:

一类是炼焦精煤。它又分为两种,灰分小于 12.5% 的供冶炼用,灰分在 12.51% ~ 16.0% 的供其他焦化工业用。

二类是粒级煤。指粒度分级下限在 6 毫米以上的各种煤炭产品。

三类是洗、选煤。指粒度为 50 ~ 0、25 ~ 0、13 ~ 0 及 6 ~ 0 毫米各级混煤、末煤及粉煤。

四类是原煤。它是未经洗选加工,只经人工拣研的煤炭产品。

五是低质煤。指灰分大于 40% 的煤炭产品。

在目录中,又根据煤炭性质(煤种、品种、灰分、水分、硫分、限下率)的不同进行按质计价,订出煤炭的出厂价格。这样既促进煤矿努力提高煤炭质量,又鼓励用煤单位合理地使用现有煤炭资源,减少浪费,节约能源。

第二节 各类用户对煤质的要求

各类用户要合理的选择煤炭品种,各煤矿也要确定煤的合理加工方法,因此必须了解煤的性质和煤的应用等基础理论知识。这样才能物尽其用,有效地利用资源。

一、机车和船舶用煤

机车和船舶相当于一个移动的锅炉,由于其通风强,烟筒短,所以对所使用的煤的粒度要求严格。细小的煤粉给入炉膛中,未来得及燃烧,即随煤烟飞走。特别是当机车锅炉进行强化燃烧时,粒度 6 毫米的末煤都能由烟道随烟飞出。为使煤均匀地散布在炉条上面,并且透气程度大致一样,也必须用块煤,最好是 75 ~ 25 毫米的中块,或者是 25 ~ 6

毫米的小块。

煤的灰分过高不仅影响机车锅炉效率,而且会加重炉膛的清理工作,所以要求机车用煤的灰分要小于 25%。

机车用煤的挥发分不应过低,否则在火车上坡时不能迅速地增加锅炉火力,在火车进站停车时也不能使炉篦的热应力很快降低。人工添煤的机车,在煤的挥发分过高时,由于炉膛容积有限,添煤又是间歇性的,会使煤耗增加,造成损失。因此一般机车燃料是采用各种牌号煤配合使用。有的路局是用长焰煤掺入部分气煤配烧。水分对机车用煤的影响不大,有时在将煤铲入炉膛前还先掺入一些水,借以减少煤粉的飞扬损失。对船舶和机车用煤的质量要求如表 6-2-1 所示。

表 6-2-1 船舶和机车用煤质量要求

煤质指标	远洋船舶	内河船舶	铁路机车
A _g (%)	< 14	< 25	< 25
Q _{dw} ^y (大卡/公斤)	> 6000	> 5500	> 5500
S _g (%)	< 2.5	< 2.0	< 2.0
T ₂ (℃)	> 1250	> 1250	> 1250
粒度(毫米)	6 ~ 25	6 ~ 25	13 ~ 75
V ^r (%)	> 20	> 20	> 20
限下率 (%)	< 15	< 15	< 15

二、炼焦用煤

炼焦是把煤装在炼焦炉中,在 1000℃ 的高温下进行干馏的热加工过程。它是以获得优质冶金焦炭为主要目的,同时还可以得到煤焦油、煤气等一系列化学产品。

炼焦用煤主要是洗精煤。炼焦用洗精煤的牌号有焦、肥、气、瘦四种,按照一定的比例进行配煤炼焦。炼焦用精煤的结焦性是一个很重要的质量指标,必须保证炼出的焦炭能达到要求的转鼓试验强度。强度一般用胶质层厚度及收缩度来表示。所有肥煤、焦煤以及几乎所有的瘦煤,都适于炼焦。胶质层厚度大于 6 毫米而且灰分较低的气煤也大部分用于炼焦。

焦炭灰分是由洗精煤灰分决定的。如果知道炼焦配煤的灰分,在理论上可以推算出焦炭的灰分：

焦炭灰分(A^g) = 煤炭灰分(A^g) × $\frac{100}{\text{出焦率}}$

设炼焦炉的出焦率为 75%，要求炼出的焦炭灰分为 13%，则装入炼焦炉的配煤灰分应为；

$13 = x \frac{100}{75}$ ，
 $x = 9.75\%$ 。

当前,我国各种冶金用炼焦煤灰分最低为 5.5%，最高为 12.5%。要保证焦炭灰分不超过 13%，那么配煤后的平均灰分应小于 10%。在设计炼焦煤选煤厂时,一方面应保证精煤回收率,最大限度地利用资源,另一方面要使精煤灰分能保证炼出合格的焦炭来。

焦炭中的硫分总是比炼焦配煤的硫分低。设要求焦炭含硫为 0.5%，因为炼焦时要有 65%的硫从煤转入焦炭中,故如出焦率为 75%，则炼焦配煤硫分应为：

$\frac{x \cdot 0.65}{0.75} = 0.5\%$ ，
 $x = 0.57\%$ 。

三、气化用煤

煤的气化是把固体的煤(块煤)加入煤气发生炉中,在气化剂(氧、空气、水蒸气等)和高温作用下,使煤中的有机物转化成含有 H₂、CO 等可燃气体的过程。煤气化所得的气体产物——煤气,可作为工业燃料或民用燃料,也可作为化工生产的合成原料。

根据气化剂和煤气成分的不同,大致可分为空气煤气、混合煤气、水煤气和半水煤气。国内各种固定床气化炉的煤气平均组分如表 6-2-2 所示。

表 6-2-2 固定床气化炉煤气成分

煤气名称	气化剂	煤气组成成分(%)						煤气低热值(大卡/米 ³)	主要用途
		H ₂	CO	CO ₂	N ₂	CH ₄	O ₂		
空气煤气	空气	2.6	10.0	14.7	72.0	0.5	0.2	900 ~ 1100	燃料
混合煤气	空气、水蒸气	13.5	27.5	5.5	52.8	0.5	0.2	1200 ~ 1250	燃料
水煤气	水蒸气	48.4	38.5	6.0	6.4	0.5	0.2	2400 ~ 2700	燃料
半水煤气	水蒸气、空气	40.0	30.7	8.0	14.6	0.5	0.2	2100 ~ 2300	合成氨原料

气化炉型不同,对煤质的要求也不同。目前,气化炉种类很多,可归纳为固定床、沸腾床、悬浮床三种。

(一)固定床气化炉对煤质的要求

固定床 Π 型气化炉一般要使用粒度为 25 ~ 50 毫米的块煤,常压操作 ,鲁奇加压气化炉用煤粒度为 5 ~ 50 毫米,气化温度 750 ~ 900℃ ,加压 20 ~ 30 大气压,煤以越年轻的煤越好,一般为褐煤,也可用长焰煤、气煤、不粘煤或弱粘煤,其灰熔点以 $T_2 > 1200^{\circ}\text{C}$ 为宜,煤的活性越大越好,块煤的热稳定性和机械强度也是越高越好。如果采用液体排渣的鲁奇加压煤气炉,则由于其气化温度约 1250℃ ,所以使用煤灰熔点低于 1100℃ 的年轻煤为宜,而且灰熔点越低越好。这种鲁奇加压炉产生的煤气热值可达 4000 大卡/米³,既可作为城市煤气,也可作为人造合成石油、合成氨、合成甲醇的原料。它是我国今后煤气工业发展的主要方向之一。如没有块煤,也可用褐煤砖代替。

目前我国普遍使用的是以无烟煤为原料的制造合成氨原料气(半水煤气)的威尔曼等固定床气化炉,和以弱粘煤为原料的制造燃料气的气化炉。它们都采用块煤,最好的粒度是 25 ~ 50 毫米的中块,也可采用 13 ~ 60 毫米,13 ~ 25 毫米或 25 ~ 75 毫米的各种块煤。如果用烟煤作原料,要求其胶质层最大厚度 Y 值小于 16 毫米,灰分不超过 25%,硫分小于 2%。用无烟煤制造合成氨原料气时,一定要求有较好的热稳定性。如果热稳定性不好,块煤在气化炉内受热很易崩裂成碎片或粉末,降低了煤气产率,严重时造成停炉事故。对煤气发生炉用煤的质量要求见表 6 - 2 - 3。

表 6 - 2 - 3 对煤气发生炉用煤的质量要求

煤质指标	无烟煤	烟煤	褐煤
灰分, A^g (%)	≤ 25	≤ 20	≤ 30
硫分, S_g^g (%)	≤ 4	≤ 1.2	≤ 1.2
灰熔点, T_2 (℃)	> 1200	> 1200	> 1200
胶质层厚度, Y (毫米)	—	< 16	—
机械强度 (> 25 毫米, %)	> 65	> 65	—
热稳定性 (> 15 毫米, %)	> 60	—	—
粒度(毫米)	$> 6 \sim 13$ 毫米 含量 < 13	$> 13 \sim 25$ 毫米 含量 < 15	$> 25 \sim 50$ 毫米 含量 < 15
限下率 (%)	$> 13 \sim 25$ 毫米 含量 < 10 $> 25 \sim 50$ 毫米 含量 < 8	$> 25 \sim 50$ 毫米 含量 < 12 $> 50 \sim 100$ 毫米 含量 < 10	$> 50 \sim 100$ 毫米 含量 < 12

(二) 沸腾床气化炉对煤质的要求

我国也用沸腾床气化炉(如温克勒气化炉)制造合成氨原料气。这种炉在常压下操作,以空气或氧气为气化剂。它对原煤质量的要求是,煤的活性越大越好(一般在 950°C 时, CO_2 分解率大于 60%)。多使用比较年轻的煤,以灰分小于 25% 的褐煤为最好。也可采用煤化程度接近于褐煤的长焰煤或不粘煤,其粒度以小于 8 毫米为宜,但 0 ~ 1 毫米的粉煤越少越好,否则尘灰会带出大量的碳,从而降低产气率,煤灰熔点(T_2)以大于 1200°C 为好,硫分应小于 2%。

(三) 悬浮床气化炉对煤质的要求

K - T 炉是一种粉煤悬浮床气化炉。它采用常压操作的连续运转的高速气化工艺,生产的煤气主要作合成氨用。K - T 炉的气化温度高达 $1400 \sim 1500^{\circ}\text{C}$ 以上。它对煤种和质量要求不严,几乎什么煤都可使用,如高硫、低熔点、易碎、粘结和膨胀的各种烟煤、无烟煤和褐煤等。因为气化反应时间短,不到一秒钟就能完成,所以要求煤粉的粒度越细越好,一般要求小于 200 网目(小于 0.074 毫米)的粉煤占 90% 左右(褐煤可降到 80%),要求煤的水分 1 ~ 5%,灰熔点越低,气化设备愈容易运转。

归纳起来,对一般气化用煤的质量要求如下。

块度要均匀,除悬浮床气化炉外,一般要求粒度为 25 ~ 75 毫米。块度太大,气化不完全,造成原料的损失,块度过小或块煤限下率高,料层阻力增大,气流分布不匀,煤量损耗大,影响煤气质量,甚至影响气化正常生产。

固定碳的含量要高,最好大于 80% ;灰分要低,一般小于 20 ~ 30%。

机械强度和热稳定性低的煤,在气化过程中会产生碎块或细粉,易使操作恶化。

灰熔点要高,如果灰熔点低于气化炉的操作温度,将在炉内结渣,影响正常生产。液态排渣的气化炉则要求灰熔点越低越好。

气化煤的挥发分大小,视煤的用途而定。作为化工合成原料气时,要求挥发分越低越好,规定不超过 3%。

气化用煤的硫分应在 2% 以下。

具有粘结性的煤,常常影响气化炉的操作,所以气化原料一般均采用不粘结煤和弱粘结煤,胶质层厚度 Y 值应在 15 毫米以下。

四、发电用煤

锅炉设备是通过燃烧把燃料释放出的热能,传递给水或蒸汽,在转换过程中存在五个方面的热损失,即排烟损失 ;可燃气体未完全燃烧损失 ;灰渣未完全燃烧损失 ;锅炉的

散热损失以及灰渣的物理热损失。这些损失愈大,锅炉效率就愈低,煤耗也随之增加。

大型火力发电厂使用煤粉锅炉。用来磨碎煤炭的磨矿机,多用滚筒球磨机。使用各种烟煤和无烟煤的筛余煤、末煤、粉煤、煤泥和中煤。但是煤中含矸石较多且遇水易泥化的煤,如果水分大,会影响球磨过程。因此,从矿井生产出来的、水分大而且含矸石的原煤,最好先经过洗选,使用洗粉煤发电。由于煤炭需要经过磨碎,因此用原煤和块煤虽然都可以,但很不经济。煤的热值一般不应小于 $3000 \sim 4000$ 大卡/公斤。采用立式旋风炉液态排渣的发电厂,要求煤的灰熔点小于 1300°C 。

链条炉篦的锅炉对煤的粒度要求较严格。在链条炉篦上大块煤比小块煤燃烧得慢,因此使用大块煤时链条的转动速度要低些。链条炉篦的运动速度如果选择得不对,或者所用煤炭的粒度大小不一,会发生两种情况:一是大块煤未经完全燃烧剩在炉篦之上,二是炉篦尾部的煤炭已经完全燃烧而呈无工作状态。因此,链条炉应该燃烧经过筛选的烟煤和无烟煤,以使其燃烧速度一致。所用煤炭的粒度比不应超过 2,即 $50 \sim 25$, $25 \sim 13$ 和 $13 \sim 6$ 毫米的各粒级煤均可。但是,烧无烟煤时,其粒度应小于烟煤的粒度。采用链条炉篦时,添煤及除灰工作均应机械化,因此对煤炭灰分的要求要比固定炉篦的锅炉高些。由于煤系在链条上燃烧,司炉工不能搅撞,所以燃烧结焦性好的煤有困难。

五、工业固定锅炉的火床燃烧室用煤

人工添煤和机械添煤的火床燃烧室的炉篦装置设有固定炉篦、带撞煤板的炉篦和活动炉篦三种。固定炉篦锅炉可以燃烧各种牌号的烟煤、无烟煤及褐煤,但粘结性很强的主焦煤及肥煤则需要同其他牌号煤掺烧。无鼓风装置的炉膛,应使用 $100 \sim 6$ 毫米的各粒级煤;有鼓风装置的炉膛,也可以燃烧原煤。带有撞煤板炉篦的锅炉,除可使用无烟煤及贫煤以外,褐煤及其他牌号的煤都可以使用。倾斜移动炉篦的锅炉,适合燃烧褐煤及挥发分高的气煤及长焰煤,如果燃烧其他牌号烟煤,炉条损坏严重。

六、石灰窑用煤

竖筒式石灰窑是最为广泛使用的一种石灰窑。窑中煤炭是与石灰岩一层一层彼此相间地装入的。如果煤的挥发分很高,而且分解温度低,则会自上部各层物料中冒出很多烟,带出不少未经利用的热,而且煤的挥发分越高,热损失越大。这种窑应采用挥发分较低的烟煤及无烟煤,其灰分要在 $20 \sim 25\%$ 。为了使煤气穿过很高的石灰窑而且热量均匀,所装的煤必须经过洗选筛分,除去 $13 \sim 0$ 毫米的末煤。

七、烧水泥用煤

水泥厂多采用长型回转窑,要烧煤粉。这种窑的燃烧室因受窑的直径和有效燃烧带的部位所限,容积不大,适于使用燃烧速度快的煤炭。烧制水泥一般是在温度 1450°C 下进行,煤炭经过燃烧后的灰分成为水泥的原料,所以对其灰分没有严格的要求,一般为 $20 \sim 23\%$ 。有的水泥厂使用长焰煤,气煤及无烟煤各占三分之一的混合煤,其挥发分大于 25% ,粒度 $13 \sim 0$ 毫米。贫煤的挥发分中含有大量的氢,因此燃烧得快。但是,气煤中固定炭又比贫煤燃烧得快,因此回转式水泥煅烧窑使用气煤和贫煤的混合煤,可以得到很好的燃烧效果。

用机械化的竖筒式水泥煅烧窑制造水泥,是将煤与原料混合压制成砖,进行煅烧。一般砖中掺入 $10 \sim 15\%$ 的煤粉。

八、低温干馏用煤

将煤进行低温干馏的目的是炼取焦油,以供进一步加工生产各种化工产品,所得到的半焦炭可以作为动力煤燃烧。在各种煤炭之中,以褐煤、长焰煤和气煤供低温干馏为最好,因为它们的焦油产率最多。低温干馏用煤炭粒度应为 $100 \sim 13$ 毫米或 $100 \sim 25$ 毫米的洗选块煤。煤中含粉率过高,会降低炼焦炉的生产能力。

九、化工用煤

从煤焦油中能提炼出种类繁多的化工产品。煤也可以直接做制造化工产品的原料。例如,煤加硫酸制成的磺化煤,是一种很好的水质软化剂。这种煤的灰分要小于 9% ,挥发分要大于 45% ,粒度 $25 \sim 13$ 毫米。

十、玻璃、陶瓷用煤

玻璃熔炉内要求达到 1450°C 以上的温度。有的玻璃熔炉先用煤发生煤气而后燃烧,有的直接燃烧煤的火焰进行熔化。因此,要求使用灰分小于 15% ,应用煤低位发热量大于 6400 大卡/公斤,粒度 $100 \sim 13$ 毫米及 $50 \sim 13$ 毫米的长焰煤和气煤。

烧制陶瓷用的煤炭,要能使窑内温度达到 1350°C 以上,并且升温快、恒温好。应采用煤灰熔点在 1300°C 以上,粒度为 $100 \sim 50$ 及 $50 \sim 25$ 毫米,而且热值高的气煤或长焰煤。

十一、烧砖用煤

在砖瓦工业中,使用最多的是轮窑,煤由上面撒入窑内。因为烧砖的温度是 $950 \sim$

1150℃,所以煤的灰分高低,对砖瓦烧制的影响不大,所用煤炭无需加以洗选。但隧道式砖窑应使用弱粘结性煤及贫煤,也可使用粒度为 100 ~ 50、50 ~ 25、25 ~ 13 和 13 ~ 6 毫米的无烟煤及褐煤。烧原煤虽然也可以,但效果较差。

十二、市场民用煤

市场用煤,用途较多,品种也多,数量也很大。一般都要求煤中矸石含量少,以减少炉渣清理和排弃工作量。厂房建筑物和住宅的靠自然通风的取暖锅炉,必须使用经过筛选的煤,但应将 6 ~ 0 毫米除掉。居民生活用煤,若将粉煤成型燃烧,可节约能源。无烟煤的燃烧过程最慢,居民用此取暖,可以保持室内温度平稳正常,而且能减少环境污染。近年来,许多煤矿将灰分在 60 ~ 65%,发热量在 1700 大卡/公斤以上的低质煤破碎到 8 毫米以下,供有鼓风设备的沸腾锅炉使用,可以节约煤炭,物尽其用。

十三、高炉喷吹用煤

为了降低炼铁的焦炭消耗量,近代冶炼技术常常往高炉中喷吹优质无烟煤、重油和天然气等,以此部分地代替焦炭,从而大幅度降低焦比和生产成本。据统计,每喷吹一公斤无烟煤粉,可节约焦炭 0.8 ~ 0.9 公斤。

对喷吹用无烟煤的质量要求是灰分和硫分越低越好,可磨性系数越大越好(即容易磨细)。无烟煤的可磨性不仅决定了其粉碎时的耗电量和磨碎设备,而更重要的是可磨性越差对喷吹管道的磨损越严重。喷吹无烟煤的主要指标是:灰分(A^g)小于 15%,硫分 S^g_Q 小于 1.7%,挥发分(V^r)大于 8 ~ 10%,固定碳(C_{cd}^f)大于 75%,煤粉细度要小于 160 目,大于 160 目的数量不宜超过 9%。

第三章 动力煤的筛分技术与工艺控制

第一节 筛分的基本原理

一、筛分过程的基本概念

筛分过程是指粒度小于筛孔的细粒物料经筛孔透过筛面,与粒度大于筛孔而留在筛面上的粗粒物料实现分离的过程。

为了使粗、细物料经筛面实现分离,物料和筛面之间必须有相对运动,才能使物料呈现出具有‘活性’的松散状态。

分离过程可以认为是由物料分层和细粒透筛两个阶段所构成。但是分层和透筛不是先后的关系,而是相互交错同时进行的。

由于物料和筛面间相对运动的方式不同,从而形成了不同的筛分方法。

(一)滑动筛分法

物料在斜置固定不动的筛面上靠本身自重下滑(图 6-3-1(a))。这是早期使用的筛分方法,其筛分效率低、处理量小。

(二)推动式筛分法

由于组成筛面的筛条转动,物料通过筛面运动构件的接力推送,沿筛面向前运动(图 6-3-1(b)),如滚轴筛。

(三)滚动式筛分法

筛面是个倾斜安置的圆筒,工作时匀速转动,物料在倾斜的转筒内滚动(图 6-3-1

(c)),如选煤厂早期使用的圆筒筛。

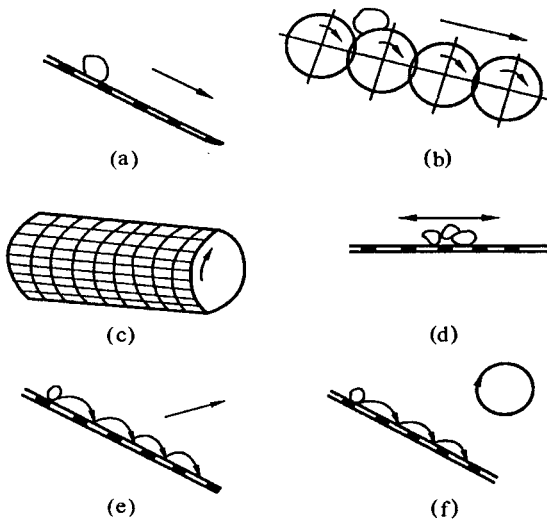


图 6-3-1 各种筛分方法

(四) 摇动式筛分法

筛面可以水平安置,也可倾斜安置,工作时筛面在平面内做往复运动。为了使物料和筛面之间有相对运动,如筛面呈水平安置时,筛面要做差动运动;筛面倾斜安置时,筛面在平面内做谐振动。物料沿筛面呈步步前进的状态运动(图 6-3-1(d))。

(五) 抛射式筛分法

筛面在垂直的纵平面内做谐振动或准谐振动。筛面运动轨迹呈直线,也可呈圆形或椭圆形。物料在垂直的纵平面上被抛射前进(图 6-3-1(e)),如振动筛。

从上述各种筛分方法可知,虽然物料与筛面相对运动的方式不同,其目的是为了使物料处于一定的松散状态,从而使每个颗粒都能获得相互位移所必需的能量和空间,同时保证细粒顺利透筛。

实际的筛分过程是大量粒度大小不同、粗细混杂的碎散物料进入筛面,只有一部分颗粒与筛面直接接触。而接触筛面的这部分物料中,又不全是小于筛孔的细粒。大部分小于筛孔的颗粒,分布在整個料层的各处。但是由于物料与筛面做相对运动,筛面上的料层被松散,使大颗粒本来就存在的较大间隙被进一步扩大,小颗粒乘机穿过间隙转移到下层。由于小颗粒间隙小,大颗粒不能穿过,因此大颗粒在运动中位置不断升高,于是,原来杂乱无章排列的颗粒群发生析离,即按颗粒大小进行了分层,形成小粒在下、粗粒居上的规则排列。到达筛面的小颗粒,经过与筛孔进行大小比较,然后小于筛孔者透

筛,最终实现了粗细粒分离,完成了筛分过程。

细颗粒透筛时,虽然颗粒都小于筛孔,但它们透筛的难易程度不同。经验得知,颗粒越小于筛孔,透筛越容易。和筛孔尺寸相近的颗粒,很难通过筛面下层大颗粒的间隙,因而也就难以透过筛孔。

筛分实践表明,粒度小于筛孔尺寸 $3/4$ 的颗粒,在可筛性上称为“易筛粒”。粒度小于筛孔但又大于筛孔尺寸 $3/4$ 的颗粒,称为“难筛粒”,而且“难筛粒”的直径越接近筛孔尺寸,其透筛的困难就越大。

在分层过程中,直径超过筛孔尺寸 1.5 倍的粗粒,对“易筛粒”和“难筛粒”自上而下向筛面转移时所设置的障碍并不大。直径小于筛孔尺寸 $1 \sim 1.5$ 倍的粗粒,在筛面所组成的下层物料,却能使粒度接近“难筛粒”的颗粒难以接近筛孔。所以,粒度大于筛孔,但又小于筛孔 1.5 倍的颗粒称为“阻碍粒”。

现代筛分主要是采用抛射式筛分法,尤其是在原料中“难筛粒”“阻碍粒”较多时,和其他筛分法比较,具有明显的优越性。

二、颗粒透筛原理

筛分过程分为分层和透筛两个阶段。分层是完成筛分过程的条件,透筛是筛分的目的。研究颗粒透筛原理,主要是研究物料在什么情况下穿过筛孔,以及穿越筛孔时的速度。实际的筛分过程是粒群在筛面上运动,透筛行为非常复杂。为了探讨物料透筛的基本原理,仅就单个颗粒透筛的情况进行分析。颗粒在筛面上运动时,其相对于筛面的运动方向有平行于筛面运动、垂直于筛面运动和倾斜于筛面运动三种形式。

(一)颗粒平行于筛面运动时的透筛情况

为了便于分析,假定颗粒呈球形。粒度为 d 方形筛孔,边长为 L 。

若单个颗粒以速度 v 沿着倾角为 α 的筛面运动。当运动着的颗粒到达筛孔边缘的最外点 A 以后,由于惯性力和重力的作用,颗粒重心就在筛孔上方沿抛物线的轨迹运动,如图 6-3-2 所示。

假定颗粒的运动速度较小,颗粒重心的运动轨迹与筛面上表面的交点不超过颗粒最边缘的位置 O_1 点,颗粒就能透筛。因为在点 O_1 上,颗粒紧压筛孔上沿,颗粒翻转的力臂长度为零,因而颗粒翻转的力矩也是零,所以颗粒就不能向前运动。

如果颗粒沿筛面的运动速度较大,运动轨迹高于线段 OO_1 ,这时就产生翻转力矩,颗粒可能不透过筛孔。

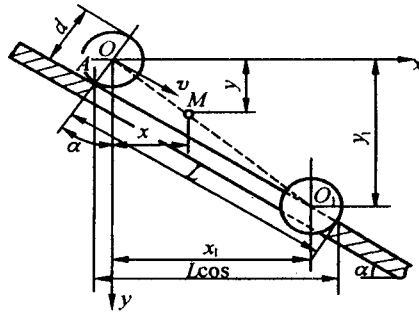


图 6-3-2 单个颗粒在倾斜筛面上运动速度对透筛的影响

颗粒运动轨迹方程式为

$$y = x \cdot \tan \alpha + \frac{gx^2}{2v^2 \cos^2 \alpha} \quad (6-3-1)$$

式中 v ——运动速度, mm/s ;

g ——重力加速度, mm/s²。

颗粒重心在位置 O_1 上的坐标 x_1 和 y_1 为

$$x_1 = L \cos \alpha - \frac{d}{2} (\cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$y_1 = L \sin \alpha + \frac{d}{2} (\cos \alpha - \sin \alpha)$$

因为点 O_1 在颗粒运动轨迹上, 所以坐标 x_1 和 y_1 应当满足方程式(6-3-1)。

将 x_1 和 y_1 代入式(6-3-1), 则

$$v = \left[L - \frac{d}{2} (1 + \tan \alpha) \right] \sqrt{\frac{g}{d (\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \tan \alpha)}} \quad (6-3-2)$$

式(6-3-2)就是当筛面倾角为 α , 筛孔尺寸为 L , 颗粒直径为 d 时, 颗粒能毫无阻挡地穿过筛孔的最大允许速度。换言之, 当颗粒平行于筛面的运动速度大于这个计算值时, 颗粒就不能透过筛孔, 而是从筛孔上越过。

当 $\alpha = 0$, 筛面水平放置时, 式(6-3-2)可以变为

$$v = \left(L - \frac{d}{2} \right) \sqrt{\frac{g}{d}} \quad (6-3-3)$$

(二) 颗粒垂直于筛面运动时的透筛概率

颗粒透过筛孔的可能性或机会的大小, 称为透筛概率, 影响颗粒的透筛概率的因素有筛孔大小、颗粒与筛孔的相对尺寸、筛面的开孔率、颗粒的形状、物料的性质(粘性、温度等)、颗粒运动方向与筛面之间的夹角。可见, 筛分过程是许多复杂现象和因素的综

合,很难用数学形式全面地加以描述。

现从颗粒大小与筛孔尺寸的关系,分析单个颗粒垂直于筛面运动时的透筛概率。

假设筛面具有正方形筛孔,其边长为 L ,筛丝直径为 a ,颗粒呈球状,直径为 d ,筛分时颗粒垂直地落向筛面。可以认定,颗粒与筛丝不相碰时,它能毫无阻碍地透过筛孔,如图 6-3-3 所示。也就是说,要使颗粒顺利地透过筛孔,在颗粒下落时,其中心应投在划有虚线的面积 $(L-d)^2$ 内。

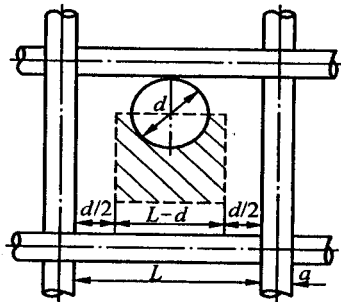


图 6-3-3 颗粒透筛示意图

如果向筛面垂直地一次投 100 个直径小于筛孔尺寸的颗粒,其结果有 60 个穿过筛孔,这时就有 60% 的颗粒透筛。若再拿 100 个同样的颗粒垂直投向筛面,可能有 57% 透筛。以 100 个颗粒为一组多次重复投掷,结果可能出现 56%, 58%, 60%, 62%, 64% 等颗粒透筛。每组试验透筛数,在数学上称为透筛频率。试验组数越多,所得频率平均起来就越接近 60%,或者说频率不是 60% 的将是少数情况。试验组数越多,频率的稳定性越高。这种稳定的频率,数学上称为概率。在上面所举的例子中,透筛的概率就是 60%。由此可得以下两点认识:

(1) 就一组试验而论,事件成功部分(透筛过的)占全部事件的百分数称为事件在这组试验中的频率。

(2) 频率未必稳定,经多次试验,频率稳定在某一定值上,这个定值称为事件的概率。

若用 A 表示事件(透筛),其概率表示为 $P(A)$,则有

$$0 \leq P(A) \leq 1 \tag{6-3-4}$$

上式含义是事件成功部分(穿透筛孔的),最多扩大到全部可能事件,此时 $P(A) = 1$; 成功事件最少为零,这时 $P(A) = 0$; 一般情况 $P(A)$ 在 0 与 1 之间。

从图 6-3-3 可知,对筛网上的一个筛孔(包括筛丝在内)来说,全部事件发生在面积等于 $(L+a)^2$ 上,成功事件是发生在面积 $(L-d)^2$ 上。不难设想,颗粒投落到筛孔上的次数与面积 $(L+a)^2$ 成正比,颗粒能透筛的次数与面积 $(L-d)^2$ 成正比。所以说,颗

粒透过筛孔的概率就决定于这两个面积的比值

$$P(A) = \frac{(L - d)^2}{(L + a)^2} = \frac{L^2}{(L + a)^2} \left(1 - \frac{d}{L}\right)^2 \tag{6-3-5}$$

在式(6-3-5)中, $L^2/(L + a)^2$ 称为筛面的开孔率, d/L 称为颗粒的相对粒度。因此,透筛概率与筛面开孔率成正比,与颗粒的相对粒度成反比。

当颗粒透筛概率为 $P(A)$ 时,使颗粒透筛成功以概率 $P(A)$ 出现,如果需要重复 N 次,则 N 值与概率 $P(A)$ 成反比,即

$$P(A) = \frac{1}{N} \tag{6-3-6}$$

也就是说,重夏的次数(N 值)越多,颗粒透筛的概率(可能性)越小。如重复无限多次(即 N 值为无限大),显然透筛机会为零,就是说概率为零。在此可以理解为, N 值是颗粒透过筛孔的概率为 $P(A)$ 时,必须与颗粒相遇的筛孔数目。

取不同的 d/L 比值,计算出 $P(A)$ 和 N 值,列于表 6-3-1。利用这些数据可绘出图 6-3-4 曲线。从曲线形状可以看出,在颗粒直径 d 小于 $0.75L$ 的范围内,随着孔数目有所增加。当颗粒直径超过 $0.75L$ 以后,曲线很快变陡。颗粒直径稍有增加,颗粒透筛所需筛孔数目急剧增加。可见概率理论也能论证为什么筛分实践中,把 $d < 0.75L$ 的颗粒叫易筛粒,把 $d > 0.75L$ 的颗粒叫难筛粒。

前面讨论的通常是当颗粒不与筛丝相碰而透过筛孔的情况。但实际上还可能有一小部分物料与筛丝内侧相碰后又折射落入筛孔中。

表 6-3-1 颗粒透过筛孔的概率与颗粒相对粒度的关系

d/L	$P(A)$	$N = \frac{1}{P(A)}$
0.1	0.810	2
0.2	0.640	2
0.3	0.490	2
0.4	0.360	3
0.5	0.250	4
0.6	0.160	7
0.7	0.090	11
0.8	0.040	25
0.9	0.010	100
0.95	0.0025	400
0.99	0.0001	10000
0.999	0.000001	100000

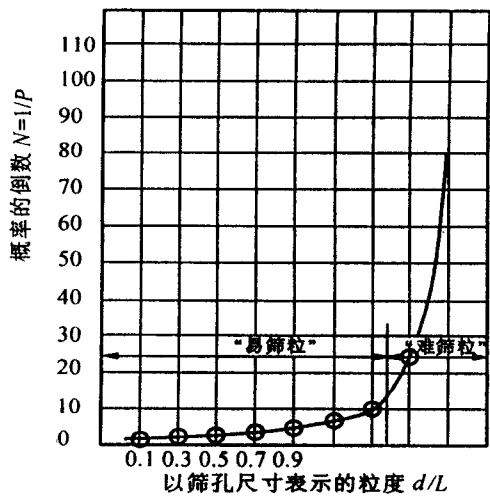


图 6-3-4 N 值与 d/L 的关系

如果考虑当颗粒投落到筛丝上,重新跳起后又落入筛孔时,则式(6-3-6)可写成

$$P(A) = \frac{(L - d + \psi a)^2}{(L + a)^2} = \frac{\left(1 - \frac{d}{L} + \psi \frac{a}{L}\right)^2}{\left(1 + \frac{a}{L}\right)^2} \tag{6-3-7}$$

式中 ψ 为考虑颗粒碰上筛丝后弹跳起来仍能落入筛孔时的系数,亦称碰撞系数, $\psi = e^{-284(d/L + 0.255)}$,此值小于 1。当相对粒度 $d/L = 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ 时, ψ 值分别为 0.2, 0.15, 0.10, 0.05。

(三)颗粒从倾斜方向投落到倾斜筛面时的透筛概率

设筛面倾角为 α 筛孔为正方形,边长为 L 筛丝直径为 a 颗粒直径为 d 颗粒与筛面方向倾斜 β 角投落筛面,如图 6-3-5 所示。

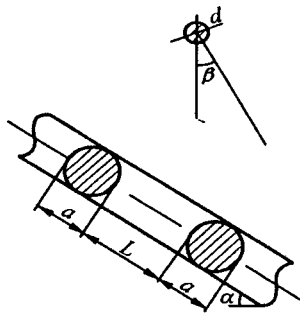


图 6-3-5 颗粒从倾斜方向投向倾斜筛面上的透筛概率示意图

当不考虑重力对颗粒运动的影响,则可认为颗粒是做直线运动。参照式(6-3-7),同理可以写出颗粒的透筛概率

$$\begin{aligned}
 P(A) &= \frac{(L-d+\phi a)[(L-a)\cos(\alpha+\beta)-a-d+\phi a]}{(L+a) \cdot (L+a)\cos(\alpha+\beta)} \\
 &= \frac{\left(1-\frac{d}{L}+\phi\frac{a}{L}\right)\left[\left(1+\frac{a}{L}\right)\cos(\alpha+\beta)-(1-\phi)\frac{a}{L}-\frac{d}{L}\right]}{\left(1+\frac{a}{L}\right)^2\cos(\alpha+\beta)}
 \end{aligned}
 \tag{6-3-8}$$

若筛面水平放置,即 $\alpha=0$,且不考虑颗粒投落到筛丝上后弹跳起来落入筛孔的可能性,则式(6-3-8)可写成

$$\begin{aligned}
 P(A) &= \frac{(L-d)[(L+a)\cos\beta-(a+b)]}{(L+a)^2\cos\beta} \\
 &= \left[\frac{(L+a)\cos\beta-(a+d)}{(L+a)\cos\beta}\right]\left(\frac{L-d}{L+d}\right)
 \end{aligned}
 \tag{6-3-9}$$

从式(6-3-9)和式(6-3-5)不难看出,颗粒倾斜于筛面运动时比垂直于筛面运动时的透筛概率要小,因为 $\left(L+a-\frac{a+d}{\cos\beta}\right) < (L-d)$ 。在式(6-3-7)和式(6-3-8)中引进碰撞系数 ϕ ,就使得比筛孔小的颗粒其透筛概率变大了,这仅是向实际透筛概率更接近一步。所以,即使在公式中引入了系数 ϕ ,所得结果也是理论透筛概率。

由式(6-3-8)还可看出,如果令分子中带中括号的那项为零,则理论透筛概率 $P(A)$ 也为零。这样可算出各粒级物料不能透筛的筛面临界倾角 α_{oe} 。

$$(L+a)\cos(\alpha+\beta)-d-(1-\phi)a=0$$

所以

$$\alpha_{oe} = \arccos\left[\frac{d+(1-\phi)a}{L+a}\right] - \beta \tag{6-3-10}$$

当 $\beta=0$ 时,即物料从垂直方向落到倾斜筛面上,则

$$\alpha_{oe} = \arccos\left[\frac{d+(1-\phi)a}{L+a}\right] \tag{6-3-11}$$

由式(6-3-10)或式(6-3-11)可以绘出如图 6-3-6 所示的关系曲线。它反映了筛面临界倾角与相对粒度的关系。从中可以看出,在具有大倾斜筛面的筛分机中,可以用筛孔尺寸较大的筛面来处理相对粒度较小的颗粒群。这就是概率筛之所以可采用大筛孔筛面的一个理论依据。

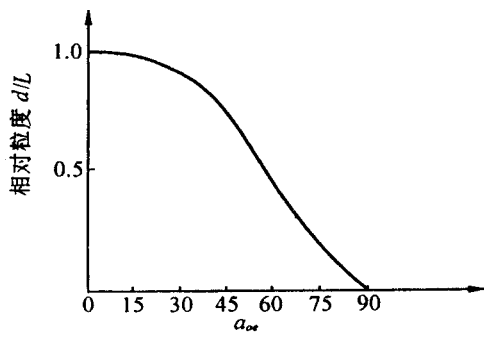


图 6-3-6 筛面临界倾角与相对粒度的关系

参看式(6-3-10),当物料颗粒落到筛面上的相对运动方向发生变化,即出现正 β 角时,临界角将随之变小。而从式(6-3-8)中可以看出,若 β 角为正值时,透筛概率将减小。因此,物料相对筛面的运动方向对透筛概率有重要影响。

第二节 常用筛分设备

一、圆振动筛

圆振动筛是选煤厂使用较多的一种筛分机。这种筛子结构简单,维修量小,多用于筛分粗粒级物料。在选煤厂中,主要用于手选前块煤的准备筛分,也可用于煤炭的一般分级筛分。圆振动筛按使用激振器的个数分为单轴圆振动筛和双轴圆振动筛。在单轴圆振动筛中,又分为简单惯性式圆振动筛和自定中心式圆振动筛。

(一)简单惯性式圆振动筛

我国选煤厂使用的 WK 型、SXG-1 型以及 SZ 型振动筛,都属于简单惯性式圆振动筛。

图 6-3-7 是 WK 型圆振动筛的构造示意图。筛箱 1 利用弹簧吊挂装置 2 悬吊起来,电动机 3 通过皮带传动装置 4 带动激振器轴 5 和不平衡重轮 6 回转,产生径向的方向变化的离心惯性力(激振力),驱动筛箱做圆形(或近似圆形)的振动,被筛物料受筛面向上运动的作用力被抛起,前进了一段距离后,再落回到筛面上。如此反复进行,并在从给料端向排料端运动的过程中完成筛分。振动筛的转数一般选择在远离共振区,即工作转

数比共振转数大几倍。由于在远离共振区工作,所以振幅比较平稳,弹簧刚度小,弹簧软,而且激振力方向与筛箱振动方向相反。当不平衡重块转到上方(图 6-3-8(b))时,激振力向上,而筛箱向下;不平衡重块转到下方(图 6-3-8(c))时,激振力向下,而筛箱位置向上。在筛箱的前、后方各设有水平弹簧,防止在启动或停机时,由于共振而产生强烈摇摆。由上述可知,简单惯性圆振动筛激振器的轴和皮带轮与筛箱一起都参与振动,筛箱做振幅为 A 的圆振动,其轴和皮带轮在空间也做半径为 A 的圆振动。因此,皮带轮的中心线在空间的位置是变化的。

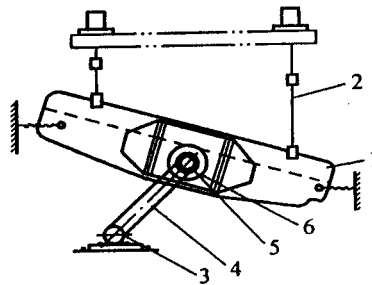


图 6-3-7 WK 型圆振动筛

1—筛箱 2—吊挂装置 3—电动机 4—传动装置;
5—激振器轴 6—不平衡重轮

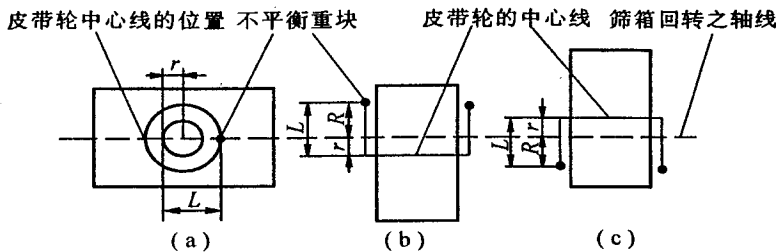


图 6-3-8 筛箱和不平衡重块在空间相对位移和情况

(a)筛箱侧视图;(b)、(c)筛箱正视图

WK 型振动筛激振器的构造如图 6-3-9 所示。在这种激振器中,产生振动的不平衡重量分别布置在轴 1 的中段和两端的飞轮 5 上。这样的结构,一方面可以减小轴的弯矩,同时也改变了激振器的激振力,达到调整筛子振幅的目的。轴 1 用一对双列向心球面滚子轴承装在轴承座 3 上,并通过紧定套 4 与筛箱连接。激振器的轴承,外侧采用迷宫式密封,内侧用毛毡密封,并用套筒将偏心轴封闭起来。

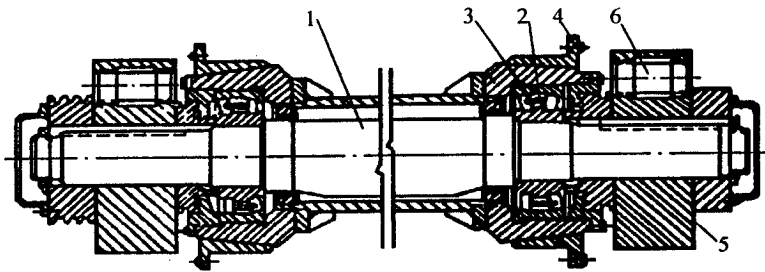


图 6-3-9 WK 型振动筛的激振器

1—主轴 2—轴承 3—轴承座 4—紧定套 5—飞轮 6—耳衡锤

WK 型圆振动筛具有结构简单、便于加工制造、重量较轻的优点。但是,在筛子工作时,由于皮带中心线的空间位置不固定,故皮带传动装置中心距反复变化,致使传动皮带时松时紧,大大影响其使用寿命,因而这种筛子目前很少使用。

WK 型振动筛的技术特征见表 6-3-2。

表 6-3-2 WK 型振动筛技术特征

筛箱规格	生产率	入料 粒度	筛孔 尺寸	筛面工 作面积	振动 频率	振幅	筛箱 倾角	电动机 功率	重量
mm	t/h	mm	mm	m ²	1/min	mm	(°)	kW	kg
1650 × 3700	300	500 ~ 0	100 ~ 50	5.5	1000 ~ 200	1.4 ~ 2.3	15	7.5	3027

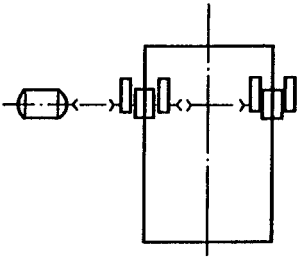


图 6-3-10 USK 型圆振动筛

我国引进的联邦德国 USK 型振动筛是一种电动机直接传动的简单惯性圆运动振动筛,见图 6-3-10。其结构特点是,筛子的两侧各有一个激振器,两激振器轴之间以及激振器与电动机之间都用万向联轴器连接。若需要的筛分面积较大时,可采取两台筛子并联工作。此时,两台筛子之间用万向联轴器连接,同时将两台筛子的不平衡重块相差

180°安装,如图 6-3-11 所示。这样,可节省电动机的台数和功率,增加筛子停机时的稳定性,减少占地面积。USK 型圆振动筛采用箱式激振器(图 6-3-12),该激振器有一根支承在两个滚柱轴承上的短轴,轴的两端固定着不平衡重块。不平衡重块由主要不平衡重块和可调不平衡重块两部分组成。主要不平衡重块固定在轴上,可调不平衡重块用螺栓固定在主要不平衡重块上,如图 6-3-13 所示。

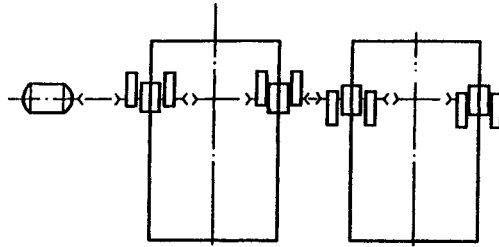


图 6-3-11 两台 USK 型振动筛并联工作的布置方式

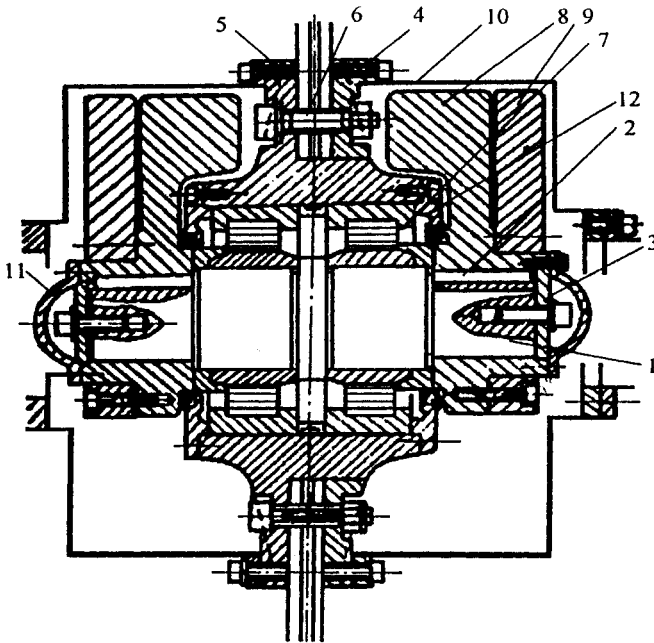


图 6-3-12 USK 型振动筛的激振器

- 1—轴 2—键 3—端盖 4—(轴承座位)锁紧环 5—轴承座 6—螺栓;
7—滚柱轴承 8—主要不平衡块 9—可调不平衡重块 10—保护罩;
11—万向联轴器法兰 12—迷宫

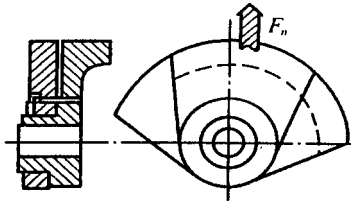


图 6-3-13 激振器不平衡重块

改变可调不平衡重块的位置,可调整激振器离心惯性力的大小,激振器直接安装在筛箱两个侧壁上,简化筛箱结构,并改善其受力状况。我国近年研制的 YK3.0×5.25 圆振动筛是以 USK 型振动筛为基础而设计的一种单层座式圆振动筛,该筛子结构如图 6-3-14 所示。其主要结构特点是传动部分由电动机经三角皮带、皮带轮、轴座和瓣形皮带联轴器带动激振器,使筛箱振动。这样,既克服了电动机直接传动时因振次不能调整的局限性,又避免了皮带轮与筛箱一起振动时皮带轮中心距的变化所带来的皮带时松时紧的缺点。

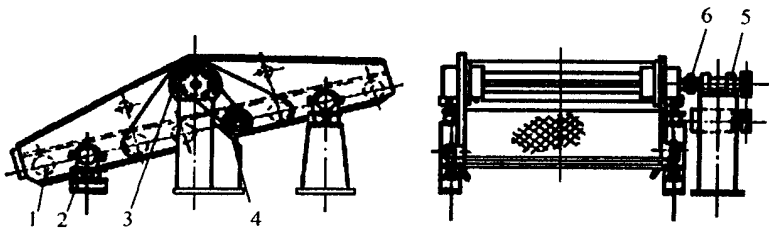


图 6-3-14 YK3.0×5.25 圆振动筛

1—筛箱 2—支撑弹簧 3—激振器 4—电动机;
5—皮带轮轴座 6—瓣形皮带联轴器

瓣形皮带联轴器的轴向和径向刚度均很小,使联轴器具有较大的弹性,在放置方向上有较大的刚度,因而能很好地适应筛子在停机时,因共振所引起的大振幅和大扭矩的需要,筛箱两侧两个激振器之间采用中间轴和两个挠性盘联轴器相连。该联轴器具有与瓣形皮带联轴器一样的优点。

该筛分机的激振器结构形式和 USK 型振动筛大致相同,它将可调不平衡重块(副偏心块)由转动调整改为几种厚度不同的配重块。由于激振器置于筛子重心的上方,激振力不通过筛箱重心,所以筛箱除受激振力外,还受激振力绕重心的力矩的作用,因而筛箱的运动是平动和绕重心摆的复合运动,使筛箱形成了中部为圆振动,两端为椭圆振动。入料端椭圆长轴与筛面的夹角成锐角,而出料端则成钝角。物料在入料端的运动速度大

于出料端的运动速度,使筛子具有较好的工艺效果和较大的处理能力。

(二) 自定中心式圆振动筛

所谓自定中心,是指筛子工作时,筛箱上传动皮带轮的中心线在空间的位置不变,即筛箱上皮带轮中心线不与筛箱一起振动。根据激振器结构的不同,这种筛子可分为轴承偏心式和皮带轮偏心式两种类型。

1. 轴承偏心式自定中心振动筛

轴承偏心式自定中心振动筛的工作原理如图 6-3-15(a) 所示。筛箱 1 用四根弹簧吊杆 2 吊挂在机架或楼板上,该筛子的激振器主轴 4 是一根偏心轴,两端偏心部分(偏心距为 r)通过轴承 3 与筛箱连接。偏心轴两端安有不平衡重轮 5,重轮上固定有不平衡配重 6。工作时,偏心轴和皮带轮均绕 OO 轴线转动,筛箱和不平衡重轮各自产生离心惯性力,两个离心惯性力的方向相反。如果根据筛箱的重量适当地确定不平衡重量,使两个离心力大小相等,偏心轴的偏心距 γ 等于筛子的振幅 A ,就能使筛子在工作时的回转轴线 OO (即皮带轮的中心线)固定不动,使筛箱在垂直平面上做圆形运动。

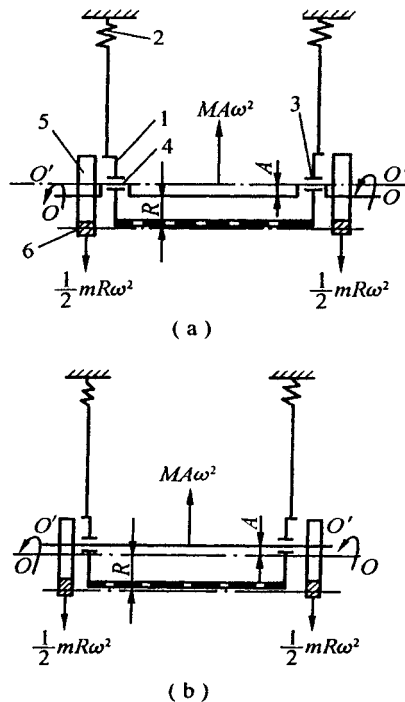


图 6-3-15 偏心式振动筛工作原理

1—筛箱 2—弹簧吊杆 3—轴承 4—主轴 5—不平衡重轮 6—配重

2. 皮带轮偏心式自定中心振动筛

皮带轮偏心式自定中心振动筛的工作原理如图 6-3-15(b) 所示。这种筛子的主轴没有偏心轴颈,不平衡重轮(皮带轮)的轴孔与不平衡重轮不同心,具有一定的偏心距,并且轴孔中心处于不平衡重轮的上方。因此,主轴的中心线与不平衡重轮的中心线不在一根轴线上。从图中可见, OO 为不平衡重轮(皮带轮)的中心线, $O'O'$ 为主轴的中心线。当筛子工作时,皮带轮绕本身中心线 OO 回转,穿过筛箱重心的主轴 $O'O'$,也绕过 OO 回转。因此,与轴承偏心式的原理一样,必须使筛箱和不平衡重块产生大小相等、方向相反的离心惯性力,并且使皮带轮轴孔的偏心距 r 等于筛箱振幅 A 。当满足这些条件时,就能达到皮带轮中心线 OO 在空间的位置不变。

比较上述两种形式,结果表明皮带轮偏心式振动筛的主轴简单,所以我国煤用自定中心圆振动筛定型为这种结构形式。目前有 DD 和 ZD 两个系列,前者为吊挂式,后者为座式,多用于煤炭的准备筛分和最终筛分。

图 6-3-16 为 DD1740 自定中心振动筛。该筛子由筛箱 1、激振器 2 和弹簧吊挂装置(包括钢丝绳 3、隔振螺旋弹簧 4 和防摆配重 5)三种主要部件构成。弹簧吊挂装置是将筛箱悬吊在筛架上,只要改变对应两组钢丝绳的长度,即可调节筛箱的倾角。激振器装设在筛箱中部,它包括轴 6(中部有不平衡重量)、偏心配重轮 7 和偏心皮带轮 8,利用滚动轴承将轴装设在筛箱上。偏心皮带轮由电动机通过三角皮带带动。筛子工作时,激振器使筛箱做接近圆形的反时针振动。在筛箱振动时,皮带轮回转中心线的空间位置一般是不变的。

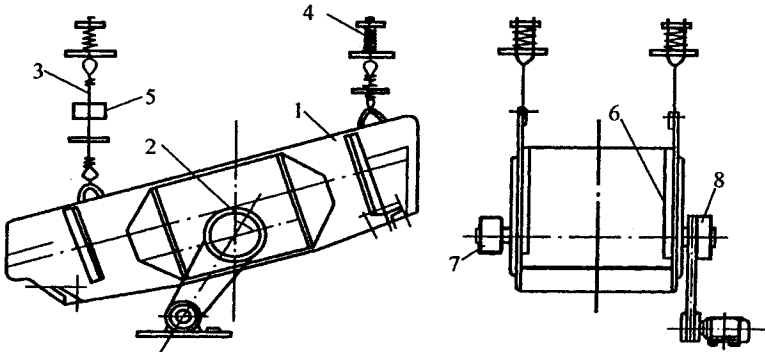


图 6-3-16 DD1740 自定中心振动筛

- 1—筛箱 2—激振器 3—钢丝绳 4—螺旋弹簧 5—防摆配重；
6—激振器轴 7—偏心配重轮 8—偏心皮带轮

图 6-3-17 为 ZD1740 座式自定中心振动筛。筛箱用隔振弹簧支承在机座上,这样可以减小筛子所占的空间。从图中可见,该筛子除支承装置与 DD 系列不同外,其他结构基本相同。自定中心圆振动筛除了具有简单惯性圆振动筛的结构简单、便于加工的特点外,还能使皮带轮自定中心,因此在选煤厂被广泛使用。

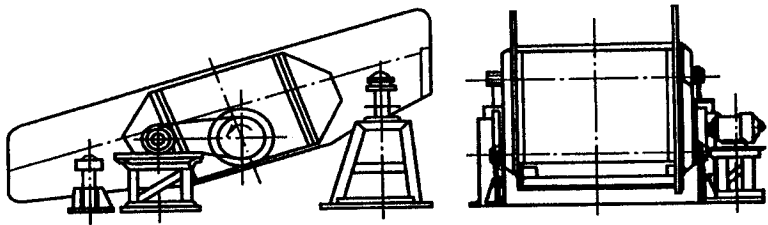


图 6-3-17 ZD1740 座式自定中心振动筛

国产自定中心式圆振动筛的技术特征见表 6-3-3。

表 6-3-3 圆振动筛技术特征

型号	筛面尺寸 (宽×长)(m)	工作面 积(m ²)	筛面 层数	最大入料 粒度(mm)	筛孔尺寸 (mm)	处理能力 (t/h)	电动机功 率(kW)	重量 (kg)
DD1235	1.25×3.5	3.5	1	400	50,100	150~210	5.5	2113
DD1740	1.75×4.0	6.0	1	400	50,100	240~360	7.5	3092
DD1556	1.50×5.6	7.5	1	400	25,50	225~450	10.0	3376
DD1756	1.75×5.6	9.0	1	400	25,50	270~540	13.0	3995
DD2056	2.00×5.6	10.0	1	400	25,50,75,100,125	300~1000	17.0	~4600
D1235	1.25×3.5	3.5	1	400	50,100	150~210	5.5	2235
ZD1740	1.75×4.0	6.0	1	400	50,100	240~360	7.5	3324
ZD1556	1.50×5.6	7.5	1	400	25,50	225~450	10.0	
ZD1756	1.75×5.6	9.0	1	400	25,50	270~540	13.0	4207
ZD2056	2.00×5.6	10.0	1	400	25,50,75,100,125	300~1000	17.0	
2DD1556	1.50×5.6	7.5	2	300	上层 25~100 下层 6~25	上层 90~450 下层 30~90	17.0	5096
2DD2056	2.00×5.6	10.0	2	300	上层 25~100 下层 6~25	上层 120~600 下层 40~120	17.0	5650
2ZD1556	1.50×5.6	7.5	2	300	上层 25~100 下层 6~25	上层 90~450 下层 30~90	17.0	5347.
2ZD2056	2.00×5.6	10.0	2	300	上层 25~100 下层 6~25	上层 120~600 下层 40~120	17.0	5891

二、直线振动筛

直线振动筛是利用同步异向旋转的双不平衡重激振器,使筛箱振动的筛子。其筛面可采取水平或缓倾斜安装,筛箱运动轨迹为直线,它与水平线的夹角为 30° 、 45° 和 60° 。

直线振动筛箱有较大的加速度,所以适合于煤炭中、细粒级的脱水、脱泥和脱介,也可用于中、细粒级物料的分级。该机结构简单、使用可靠、筛分效果好,是目前国内外选煤厂使用最广泛的一种筛分设备。

(一)直线振动筛的工作原理

图 6-3-18(a)为直线振动筛的结构示意图。图中筛箱 1 用四根弹簧吊杆 2 悬挂在机架或横梁上(也有采用弹簧支承在基础上),双轴激振器 3 安装在筛箱上,依靠激振器,实际上是由两个单不平衡重激振器组合而成。因此,当两个单不平衡重激振器的两根轴同步异向回转时,在各瞬时位置上,两根轴上不平衡重所产生的离心惯性力,沿 $x-x$ 方向的分力总是互相抵消,而沿 $y-y$ 方向的分力总是互相叠加,从而形成了单一的沿 $y-y$ 方向的激振力,依靠此力驱动筛箱做直线往复振动。如图 6-3-18(b)所示,当双不平衡重量运转到(1)和(3)位置时,其离心力完全叠加,激振力最大;在转到(2)和(4)位置时,其离心力完全抵消,激振力为零。直线振动筛一般是远离共振区工作的,这时筛箱振动的方向和激振力的方向相反,筛箱斜向振动时,物料被斜向抛起后又落下,并进行筛分。

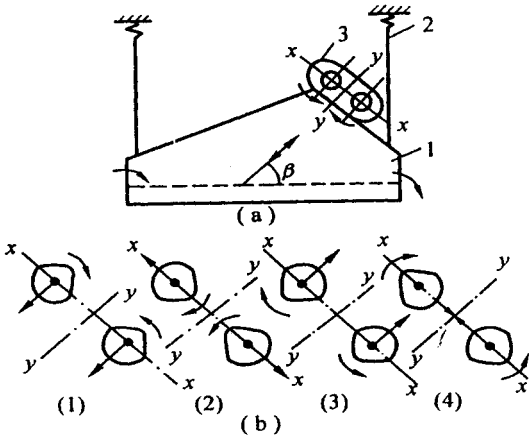


图 6-3-18 直线振动筛及激振器的工作原理

1—筛箱 2—弹簧吊杆 3—双轴激振器

(二)直线振动筛的构造

我国使用的直线振动筛主要有 DS、ZS 系列以及 ZZS 型振动筛。

1. DS 系列直线振动筛

DS 系列直线振动筛为吊挂式振动筛。该筛分机有单层筛面和双层筛面两种。图 6-3-19 是 2DS1256 型直线振动筛的结构图,它由双层筛面的筛箱 1、激振器 2 和吊挂装置组成。吊挂装置包括钢丝绳 3、隔振螺旋弹簧 4 和防摆配重 5。倾斜装设的激振器由电动机 6 通过皮带传动系统带动,产生与筛面成 45° 的激振力。筛箱在激振力的作用下,做抛射角为 45° 的往复直线运动。被筛物料从给料端加入,在筛面上跳跃前进,筛下产物自下部排出,收集在筛下漏斗中,筛上产物从排料端排出。

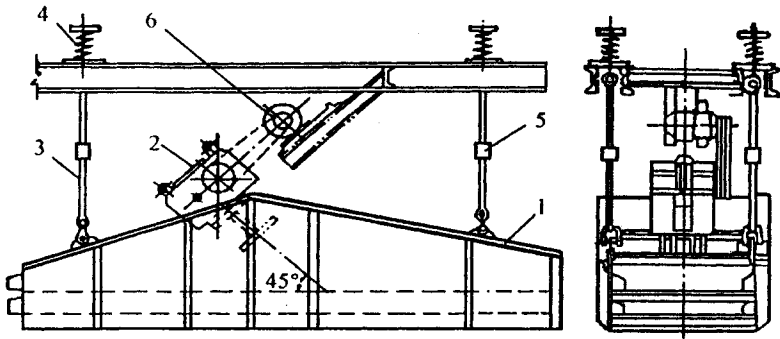


图 6-3-19 2DS1256 型直线振动筛

1—筛面 2—激振器 3—钢丝绳 4—隔振螺旋弹簧 5—防摆配重 6—电动机

DS 系列直线振动筛采用整体的箱式激振器,如图 6-3-20 所示。激振器的箱体用 35 号铸钢制成。箱体内装有主动轴 1 和从动轴 2,轴上各有一对重量相同的不平衡重块(偏心块)3,皮带轮 4 带动主轴回转,通过齿轮对 5 使从动轴做反向而同步的回转,利用不平衡重块回转时产生的离心力,使激振器产生定向的激振力。该激振器具有以下结构特点:

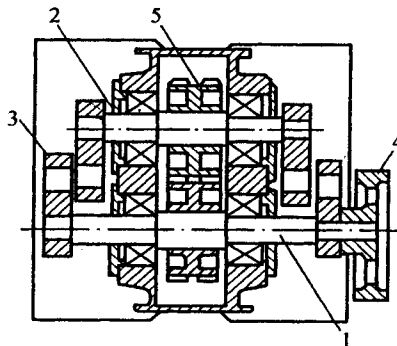


图 6-3-20 整体的箱式激振器

1—主动轴 2—从动轴 3—不平衡重块 4—皮带轮 5—齿轮

(1)平衡重块成对地布置在激振器箱体外面。这样可使箱内结构紧凑,便于调整不平衡重块上面的配重柱塞,以改变筛箱的振幅,同时,也避免不平衡重块回转时,撞击箱体内部的润滑油而引起箱体发热。齿轮对安装在箱体内,使其润滑可靠,传动平稳。

(2)制成整体式,没有剖分面,在承受激振力时较合理,制造简单,但拆装困难。

由于激振器所产生的激振力很大,必须牢固地用双头螺栓固定在筛框的主横梁上。为了避免激振器偏置而引起筛箱振幅的不稳定,激振器应正确地安装在横梁上。当位置调整好后,使用两个定位销将位置固定,再用双头螺栓加固。DS 系列直线振动筛吊挂装置的钢丝绳,如果长度小于 1 250mm,可以不设防摆配重。钢丝绳长度若大于 1 250mm,防摆配重一般安装在钢丝绳正常状态时的不动点以上。

2.ZZS 型直线振动筛

ZZS 型直线振动筛也是一种吊挂式振动筛,它和 WP 型直线振动筛的构造基本相同。ZZS 型直线振动筛有 ZZDS2-1.5 型和 ZZS1-1.8 型两种。前者为双层筛面,后者为单层筛面。这种筛分机结构简单,工作可靠。

ZZDS2-1.5 型直线振动筛的结构见图 6-3-21。它与 DS 系列直线振动筛比较,其主要区别在于激振器的结构不同。

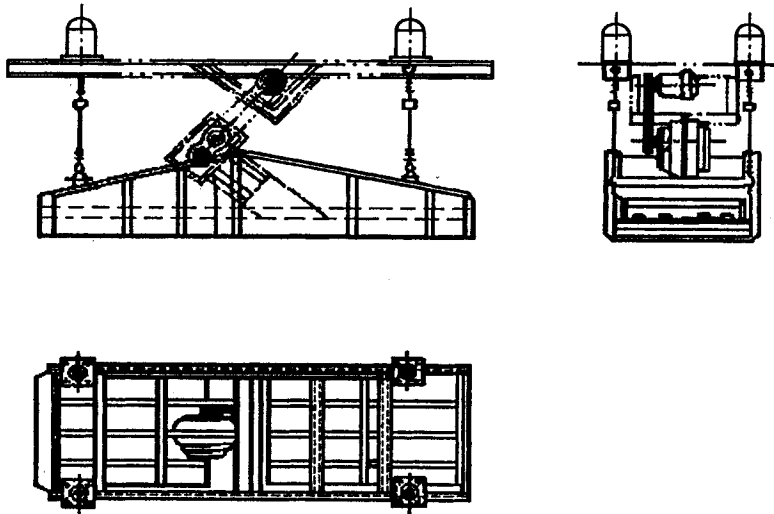


图 6-3-21 ZZDS2-1.5 型直线振动筛

ZZS 型直线振动筛采用垂直剖分式激振器,如图 6-3-22 所示。激振器的箱体用 45 号铸钢制成,它分左右两部分。剖分面与传动轴垂直,并用螺栓互相连接。主动轴 3 和从动轴 2 各有一对不平衡重块 6。齿轮对 4 布置在轴中间,借齿轮传动使两轴做反向

同步回转,从而产生定向的激振力。齿轮采用 20CrMn 钢,传动轴采用 40Cr 钢制造。这种激振器的优点是结构紧凑,因剖分面不受激振力,故箱体受力情况比较合理,同时对左右两部分的连接结构要求较低。但是,由于箱体垂直剖分,因而传动部分维修安装很不方便,又由于不平衡重块位于箱体内,工作时频繁地撞击箱内润滑油,容易产生发热现象 还有不平衡重量不能调节,难以改变筛箱振幅。

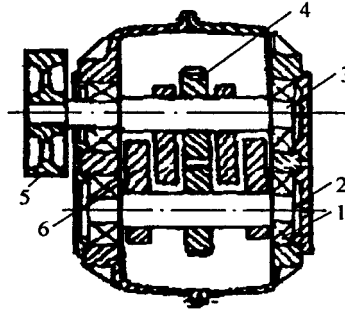


图 6-3-22 垂直剖分的箱式激振器

1—轴承 2—从动轴 3—主动轴 4—直齿齿轮 5—皮带轮 6—不平衡重块

3. ZS 系列直线振动筛

ZS 系列直线振动筛是座式振动筛。这种筛分机分双层筛面和单层筛面两种。图 6-3-23 为 2ZS1756 型直线振动筛的结构图。具有双层筛面 2 的筛箱 1 安放在四组支承装置上,支承装置包括座耳 3、压板 4、弹簧 5 和弹簧座 6。座耳为铰链式,套在筛框中部伸出侧板之外的两根横轴(用无缝钢管制造)上,便于调整筛箱的倾角。更换弹簧座可以将筛箱倾角调整到 0° 、 2.5° 和 5° 的位置。

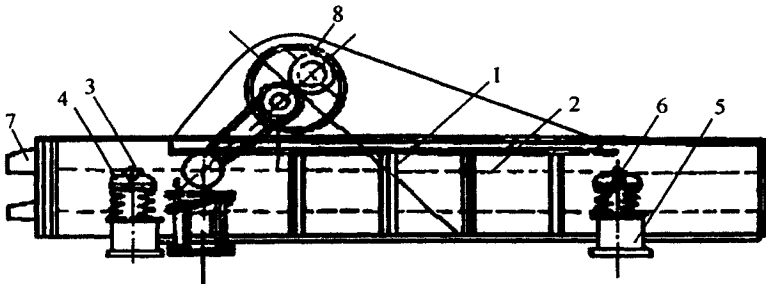


图 6-3-23 2ZS1756 型直线振动筛

1—筛箱 2—筛面 3—座耳 4—压板 5—弹簧 6—弹簧座 7—排料口 8—激振器

座式直线振动筛采用筒式激振器,其构造如图 6-3-24 所示。在带三角形侧板的

扁圆筒形外壳 1 上装有轴承座 9, 两根偏心轴 3、4 通过一对双列向心球面滚子轴承 5 安装在轴承座上。皮带轮 8 带动主动偏心轴 3, 并经齿轮对 6 使从动偏心轴 4 做反向同步回转, 从而产生定向的激振力。在齿轮对 6 一侧有金属罩 7, 内装润滑油, 用以润滑齿轮和同侧的滚动轴承。皮带轮侧的轴承各成封闭油腔, 采用润滑脂润滑。齿轮侧的滚动轴承和皮带轮侧的滚动轴承采用迷宫式密封。激振器通过螺栓固定在筛箱上, 并用铰孔螺栓定位。

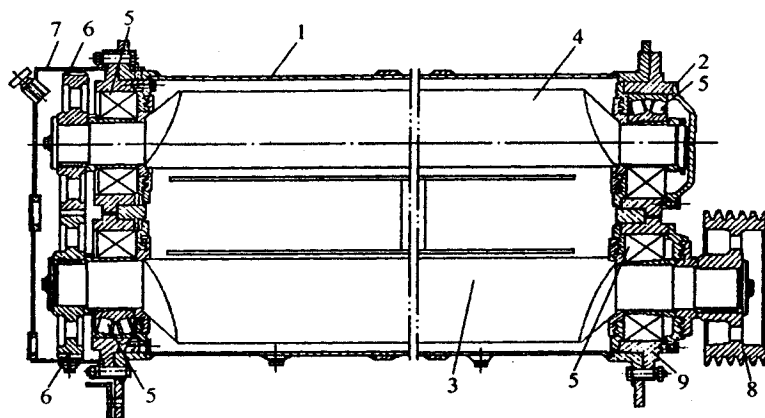


图 6-3-24 筒式激振器

1—外壳 2—轴承盖 3—主动偏心轴 4—从动偏心轴；

5—双列向心球面滚子轴承 6—齿轮 7—金属罩 8—皮带轮 9—轴承座

筒式激振器齿轮采用 20Cr 钢, 经渗碳淬火热处理, 偏心轴用 45 号优质钢, 并经过调质处理。

(三) 双电动机拖动的直线振动筛

我国选煤厂广泛使用的直线振动筛, 过去激振器均采用齿轮传动, 这种强迫联系的激振器结构紧凑, 成本较低。但是, 由于振动筛的振次高, 齿轮线速度大, 所以齿轮需要较好的材质和较高的制造精度, 如果使用稀油润滑, 其回转轴密封装置的结构要求也高。因此, 在生产中激振器经常出现发热、漏油和强烈的噪音, 这给生产和维修带来不少困难。为了克服这些缺点, 近年来出现了双电动机拖动的直线振动筛, 即自同步直线振动筛。

双电机拖动的传动方式有以下几种：

(1) 两台电动机经三角皮带轮从筛箱两侧分别带动两根激振器轴, 见图 6-3-25。美国的 SS 型振动筛就属于该类, 它采用较短的三角皮带传动, 以减少皮带的振动、跑偏、

磨损和起动力矩,并能充分利用电动机的功率。

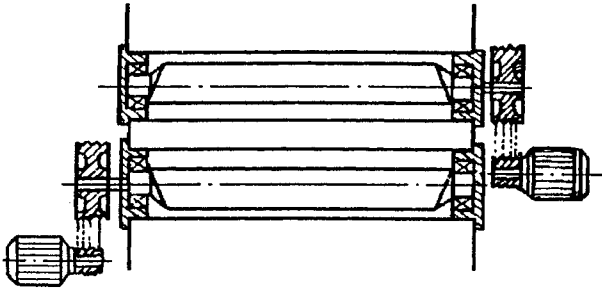


图 6-3-25 皮带传动的激振器

(2)两台电动机经柔性联轴器从筛箱两侧直接带动两根激振器轴,见图 6-3-26。联邦德国生产的 Flamrich(福莱梅里希)型振动筛的传动,就是采用了橡胶联轴器。

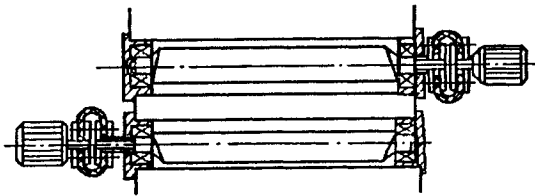


图 6-3-26 柔性联轴节传动的激振器

(3)两台电动机通过万向联轴器带动两根激振器轴。联邦德国的 USL 型振动筛即属此类,见图 6-3-27。它采用了与 USK 型圆振动筛可以通用的块偏心式激振器,此激振器在筛箱两侧各有两个。当电动机启动后,两根异向回传的传动轴仅需几秒钟即可自动达到正常同步旋转。

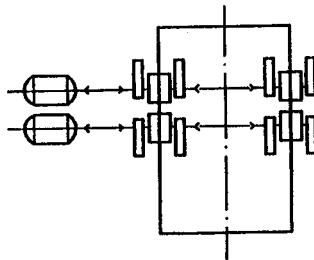


图 6-3-27 万向联轴器传动的激振器

(4)采用两台激振电动机直接带动筛箱振动,见图 6-3-28。由于激振电动机直接

驱动,所以构造简单,成本低,而且便于安装。

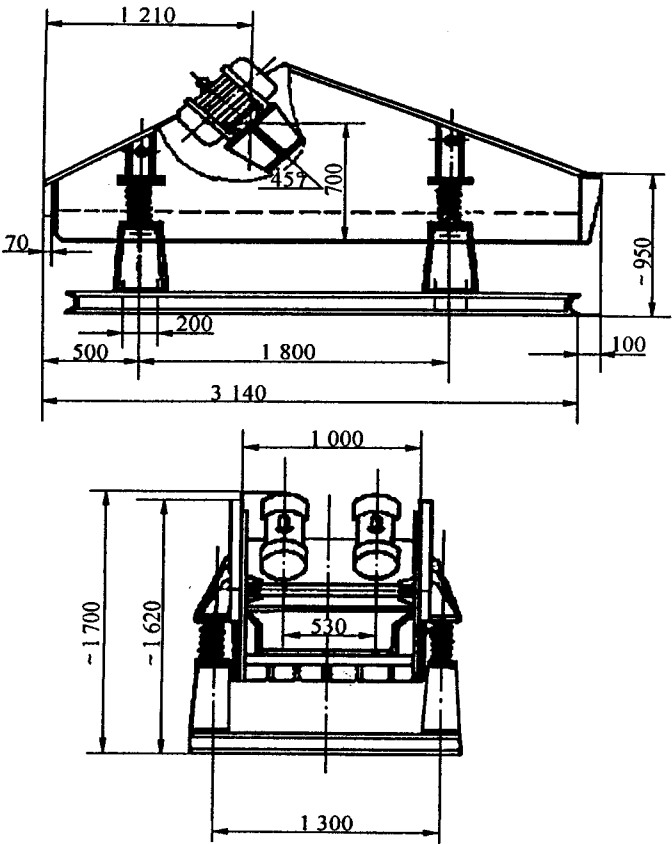


图 6-3-28 激振电动机直接传动的激振器

我国生产的系列直线振动筛,有单电动机拖动和双电动机拖动之分。对现有的 ZS 型直线振动筛,只需改动少量零件,就成为双电机拖动的直线振动筛,这方面我国选煤厂已有成功的经验。国产直线振动筛的特征如表 6-3-4 所示。

表 6-3-4 直线振动筛的技术特征

型号	筛面尺寸 (长×宽)(m)	工作面积 (m ²)	筛面层数	最大入料 粒度(mm)	筛孔尺寸(mm)		电动机功率 (kW)	处理 能力(t/h)	重量(kg)
					上层	下层			
DS1256 ZS1256	1.25×5.60	6	1	300	0.5,6,8,10,13		13	40~54	4336
2DS1256 2ZS1256			2		13,25	0.5,6,8, 10,13			

型号	筛面尺寸 (长×宽)(m)	工作面积 (m ²)	筛面层数	最大入料 粒度(mm)	筛孔尺寸(mm)		电动机功率 (kW)	处理 能力(t/h)	重量(kg)
					上层	下层			
DS1556 ZS1556	1.50×5.60	7.5	1	300	0.5,6,8,10,13		13	~60	5504
2DS1556 2ZS1556			2		13,25	0.5,6,8, 10,13	13	40~54	4336
DS1756 ZS1756	1.75×5.60	9	1	300	0.5,6,8,10,13		13(双电机 每个7.5)	50~80	4953(双电 机5030)
2DS1756 2ZS1756			2		13,25	0.5,6,8, 10,13	13(双电机 每个7.5)	50~80	5960(双电 机6052)
DS2065 ZS2065	2.00×6.50	12	1	300	0.5,6,8,10,13		17(双电机每 个10)	70~100	6399(双电 机6471)
2DS2065 2ZS2065			2		13,25	0.5,6,8, 10,13	17(双电机每 个10)		7768(双电 机7840)
DS2570	2.50×7.00	16	1	300			双电机每个 13	90~150	9700
ZS2570			2		条缝筛板		双电机每个 13	90~150	11864

三、椭圆振动筛

在正常工作时,筛箱运动轨迹为椭圆的振动筛称椭圆振动筛。近年来,这种筛分机在世界各国的筛分领域中得到充分地重视。它兼有圆运动筛和直线运动筛的优点,其椭圆轨迹的‘长轴’是强化物料输送的分量,而‘短轴’是促进被筛物料松散的分量。因此,它物料运送速度大,料层薄,颗粒不易堵塞筛孔,有较大的有效筛分面积,被筛物料松散,而且分层好,有颇高的筛分效率。生产实践表明,它的处理能力比圆振动筛和直线振动筛高25%左右,如果在处理能力相同的条件下,可有较小的筛分面积。椭圆振动筛和一般的直线振动筛十分相似,其区别仅仅是激振器不同。要想实现椭圆运动轨迹,必须使激振器的两个不平衡重质量 m_1 和 m_2 不相等,或使两个不平衡重的回转半径 r_1 和 r_2 不相等。因此,下面介绍日本古河E型椭圆振动筛。

该筛分机用于中、小粒级煤的干式或湿式筛分,也可用于脱水、脱泥和脱介。如分级时可水平安装,脱水时筛面倾角 $0^{\circ} \sim 6^{\circ}$,处理大块煤时筛面倾角则为 $5^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 。图 6-3-29 为古河E型椭圆振动筛外形图,古河E型椭圆振动筛的激振器如图 6-3-30 所示。

两根偏心轴通过一对斜齿轮产生异向同步回转,但由于两根轴的偏心质量不相等($m_1 > m_2$),而且两轴的相对位置与一般直线振动筛也不同,故使筛箱做椭圆运动。激振器的工作原理如图 6-3-31 所示。这里,不平衡重回转半径 $r_1 = r_2 = r$,激振器轴的回转频率 $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ 。筛箱重心在两激振器轴心连线中间的垂直线上,即激振器两轴心连线 $X-X$ 与该连线中点和筛箱重心连线 $Y-Y$ 是互相垂直的。图 6-3-31 因 $m_1 > m_2$,故离心力 $F_1 > F_2$ 。在 1、3 位置上,两离心力抵消一部分,作用在筛箱上的合力为 $F_1 - F_2$,在椭圆轨迹上对应为短轴 b 的位置。在 2、4 位置上,两离心力叠加,作用在筛箱上的合力为 $F_1 + F_2$,在椭圆轨迹上对应为长轴 a 位置,长轴 a 相当于筛子的双振幅。古河 E 型筛椭圆轨迹长短轴之比为 6:1。古河 E 型振动筛的工作参数见表 6-3-5。

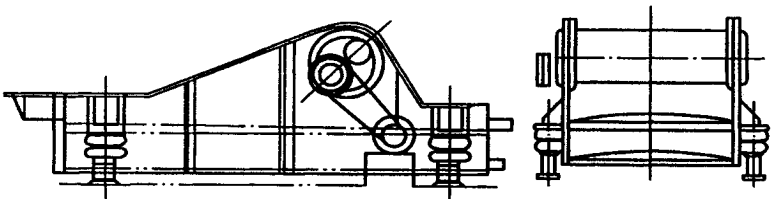


图 6-3-29 古河 E 型椭圆振动筛

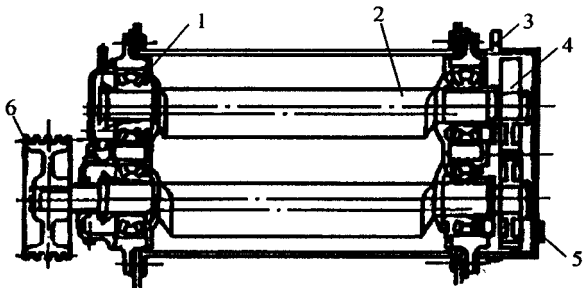


图 6-3-30 古河 E 型筛激振器

1—轴承 2—偏心轴 3—斜齿轮 4—激振器壳 5—皮带轮

表 6-3-5 古河 E 型筛工作参数

用途	筛面	振幅(mm)	频率(1/min)	筛面倾角(°)	备注
原煤分级	冲孔筛板、纺织筛网	8~12	850~900	0	干式或湿式
脱泥	纺织筛网、条缝筛板	10~14	850~900	0	湿式
脱水、脱介	条缝筛板	10~14	850~900	0~6	湿式

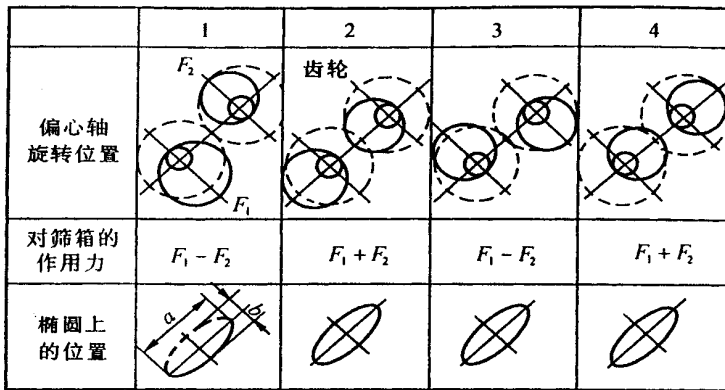


图 6-3-31 古河 E 型筛激振器工作原理

a—长轴(筛子的双振幅) b—短轴

四、振动概率筛

(一)概述

物料在振动筛筛面上的筛分过程是以概率论的原理为基础的。但是,在普通筛分机中,如何利用概率理论提高筛分效率与处理能力,以往研究并没有得到明显的结果。1951 年瑞典人弗雷德里克·摩根生在研究物料透筛概率的基础上,提出了概率筛分的新方法,并创造了一种实现物料快速筛分的新型概率筛(或称摩根生筛)。概率筛是一种能动地利用概率筛分原理的筛分机。通常所说的概率筛是振动概率筛,其筛面是靠激振装置进行直线振动的。这种概率筛目前已广泛地应用于冶金、建材及煤炭等工业部门,用于对中、细粒物料的粒度分级。振动概率筛与普通振动筛在结构上的主要区别是,振动概率筛采用多层(一般为 3~6 层)、大倾角(一般为 $30^\circ \sim 60^\circ$)、大筛孔(筛孔尺寸是分离粒度的 2~10 倍)的筛面。在工作原理上,它与普通振动筛也有明显的差别,概率筛能动地利用了概率原理,从而以很快的速度完成整个筛分过程,使物料筛分所需的时间仅为普通振动筛的 $1/3 \sim 1/20$,而其单位筛面面积的处理能力比普通振动筛大 5~10 倍。因此,可以认为在概率筛中所进行的筛分属于“快速筛分”。此外,振动概率筛体积小、重量轻、筛孔不易堵塞;一台筛分机同时可以得到几个粒级的产物,筛分粒度范围宽。但是由于概率筛结构的限制,如一台设备出多种产品时,其配置上较为复杂。更主要的弱点是筛分精确度低,不同粒度的物料,相互间有一定程度的渗混。基于这点则将在概率筛上进行的筛分过程称作近似筛分。适用于煤炭筛分的振动概率筛称煤用概率筛,系由中国矿业大学 1980 年研制,现已有多种型号的煤用概率筛投入使用。

(二)概率筛的结构

概率筛和普通振动筛基本结构是一样的,也由筛箱、激振器和支承(吊挂)装置三部

分组成(图 6-3-32)。但结构又具有层数多、倾角大、筛孔大和筛面短四大特点。概率筛的筛箱由筛框和 3~6 个筛面组成,筛框是用钢板和型钢焊接或铆接的多边形箱体,筛面装设在筛框上。每个筛框上可安置数个倾斜筛面,目前,多数概率筛装有三层或五层筛面。各层筛面的坡度,自上而下递增。由于考虑到物料在筛面上有较大的运行速度,所以采用大的筛面倾角。最上层筛面倾角为 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$,并以最上层倾角为准,以下各层筛面按 $4^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 递增。最上层筛面的筛孔为最大,其它筛孔尺寸自上而下逐层递减。一般最上层筛面的筛孔要比分离粒度大 10~15 倍;最下一层筛面的筛孔至少也应是分离粒度的 1.5~2 倍;中间各层筛的筛孔,可在最上和最下两种筛孔之间酌情选取。因为只有采取大倾角筛面的条件下,才有可能采用远大于分离粒度的大筛孔筛面,故筛面倾角和筛孔大小应统一考虑。

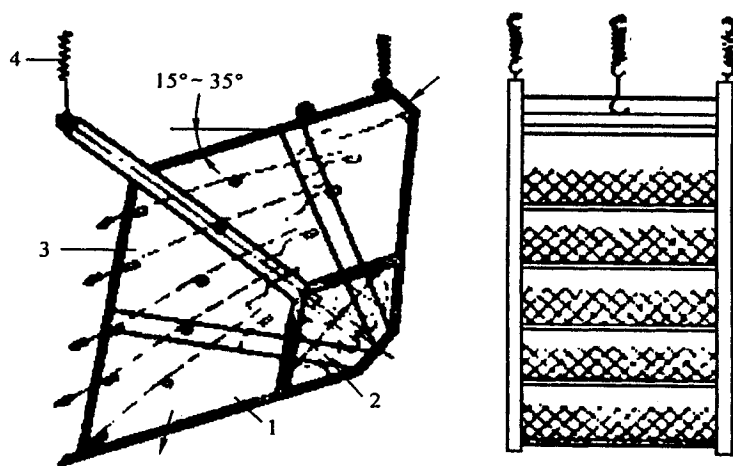


图 6-3-32 概率筛的结构

1—筛箱 2—激振器 3—筛面 4—吊挂装置(弹簧)

概率筛的筛面均做直线振动,故与普通振动筛一样,可采用双轴惯性激振器,用两台电动机分别带动。对于体积小、重量轻的概率筛,可使用一对振动电机直接装在筛箱上激振,两激振电动机自同步运转,产生直线振动。由于筛箱和激振器之间的联接方式不同,故有两种不同激振系统的激振器:一种是激振器直接固接在筛箱上,像普通直线振动筛,这种概率筛是线性振动系统。另一种是激振器安装在平衡架上,平衡架与筛箱之间是弹性联接,筛箱用弹簧吊挂,这种概率筛是双质量振动系统。概率筛基本上都采用带有弹簧的悬吊装置,重量轻的小筛分机用圆柱螺旋弹簧直接吊挂在钢梁上。筛面倾角通过吊挂装置进行调节。根据厂房条件和配置的需要,概率筛也可安装成座式,和直线振动筛一样,筛箱通过一组弹簧支承在机座上。

中国矿业大学研制的 GS 型煤用概率分级筛有多种规格。如 GS1000 × 2000 - II 型 (图 6-3-33) 煤用概率分级筛的激振器安装在平衡架上, 不平衡重块与筛箱之间是橡胶弹簧联接, 激振器由筛外普通电动机带动。GS1000 × 2000 - III 型煤用概率分级筛 (图 6-3-34) 是通过两台振动电机做自同步运转来带动。

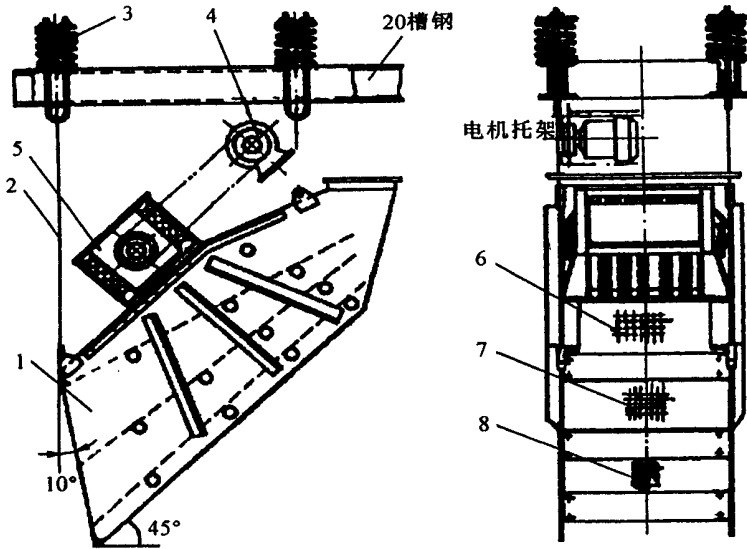


图 6-3-33 GS1000 × 2000 - II 型煤用概率筛

1—筛箱 2—吊挂钢绳 3—弹簧 4—电动机 5—激振器；
6—上层筛面 7—中层筛面 8—下层筛面

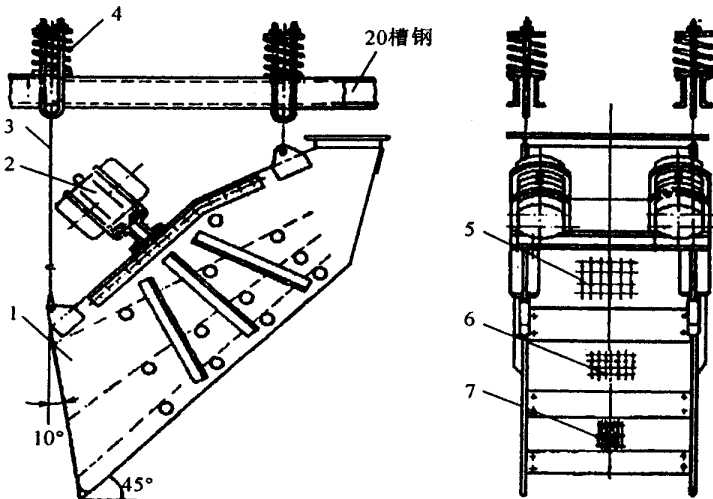


图 6-3-34 GS1000 × 2000 - III 型煤用概率筛

1—筛箱 2—振动电动机 3—吊挂钢绳 4—弹簧 5—上层筛面 6—中层筛面 7—下层筛面

GS 型煤用概率分级筛的技术特征见表 6-3-6。

表 6-3-6 GS 煤用概率分级筛技术特征

		GS500×200	GS1000×2000-Ⅱ	GS1000×2000-Ⅲ	GS1500×2000	GS2000×2000
最大入料粒度 (mm)		50	50	50	50	50
筛网层数		2~3	2~3	2~3	2~3	2~3
每层工作面积 (m ²)		0.75~1	1.5~2	1.5~2	2.25~3	3~4
筛面倾角 (°)		30~60	30~60	30~60	30~60	30~60
振动频率 (1/s)		15.66	13.50	15.66	15.66	15.66
双振幅 (mm)		7~10	8~11	7~10	7~10	7~10
处理能力 (t/h)		40~60	80~120	80~120	120~160	160~200
筛分效率 (%)		60~90	60~90	60~90	60~90	60~90
电动机	型号	ZDS32-6	JO241-6	ZDS41-6	ZDS51-6	ZDS52-6
	转速 (r/min)	940	940	940	940	940
	功率 (kW)	1.1×2	3	1.5×2	3×2	4×2
长×宽×高 (mm)		2040×716×2510	2040×1216×290	2420×1216×2510	2040×1716×2510	2040×2216×2510
重量 (kg)		625	2000	1250	1875	2500

五、等厚筛

(一)概述

等厚筛是利用等厚筛分原理工作的筛分机。等厚筛分法又称“HCC”(法文缩写)筛分法,是 20 世纪 60 年代首先由法国 E·布尔斯特莱因提出的,20 世纪 70 年代初在国外广泛应用。我国于 20 世纪 70 年代末在一些选煤厂开始推广应用,并取得了较好的效果。无论哪种筛分方法,物料在筛面上的筛分过程一般都可分为两个阶段:物料按粒度大小分层,小颗粒在下层,大颗粒在上层;在下层与筛面接触的小于筛孔的颗粒透过筛孔而落到筛下。因此,各种筛分方法都是通过物料的分层和透筛最后完成物料的筛分。对于普通筛分法(如振动筛的筛分法),其特点是,筛面上物料层的厚度,从入料端到排料端是递减的,如图 6-3-35 所示。对于这种筛分法物料在整个筛面上运动的速度和加速度基本都是一样的,而筛面给予物料的加速度也不大,物料松散不好,小颗粒经过大颗粒的间隙到达筛面需较长时间,因此物料分层差。如果增大加速度,则将已分好层的物料又弄乱,不利于小颗粒的透筛,故普通筛分法的单位筛分面积的透筛能力很低,只有应该

透筛能力(理想透筛量)的 $1/4$ 。等厚筛分法的特点是,在整个筛分过程中,无论大于或小于筛孔尺寸的颗粒在入料中所占的百分比是多少,筛上物料层厚度从入料端到排料端基本保持不变,如图 6-3-36 所示。这种筛分法是在入料端给予物料的加速度(或倾角)比普通筛分法大,使物料具有大的抛掷强度和大的运动速度,致使物料快速分层。对于已分好层的物料,再给予和普通筛分机相同的加速度(或倾角),使小于筛孔的细粒物料有充分的机会透筛。由于小颗粒与筛面接触的机会大大增加,故单位筛面透筛能力显著提高,约为应该透筛能力的 80%。因此等厚筛可成倍的提高筛分机的处理能力。等厚筛分还具有降低筛分粒度的分级下限的优点,适用于煤炭和类似密度物料的准备筛分或最终筛分。

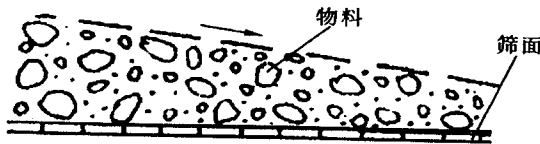


图 6-3-35 普通筛分法物料的分布

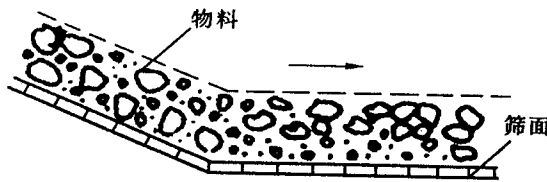


图 6-3-36 等厚筛分法物料的分布

(二)等厚筛分机的类型

我国研制和生产的等厚筛分机有以下几种类型。

1. ZSD1894 型等厚筛分机

该筛分机为座式直线振动的等厚筛,适用于煤炭或类似密度矿物的 6,8,10,13mm 干式或湿式筛分,其结构如图 6-3-37 所示。它是由筛箱、激振器、传动装置、支承装置组成。

(1)筛箱

筛箱是由筛框、矩形孔编织的筛面及其张紧装置等构成。筛框为铆焊连接的空间金属结构件,它和一般筛框的区别在于下部横梁组按折线形布置并分成三段。入料端设有后挡板,排料端设有排料嘴。筛面由不锈钢丝编织成矩形孔。筛孔分为长矩形孔和短矩形孔两种,一般入料段采用长矩形孔筛面,中间段和排料段采用短矩形孔筛面,以防粗粒

透筛。筛面的张紧装置包括两侧的拉紧板、中央的压条和 4 支承板。为了保护筛面,在支承板上部设有橡皮垫条。张紧后的筛面呈左右对称的两段凸弧形,张紧程度靠螺栓调节。筛面之间拱接。

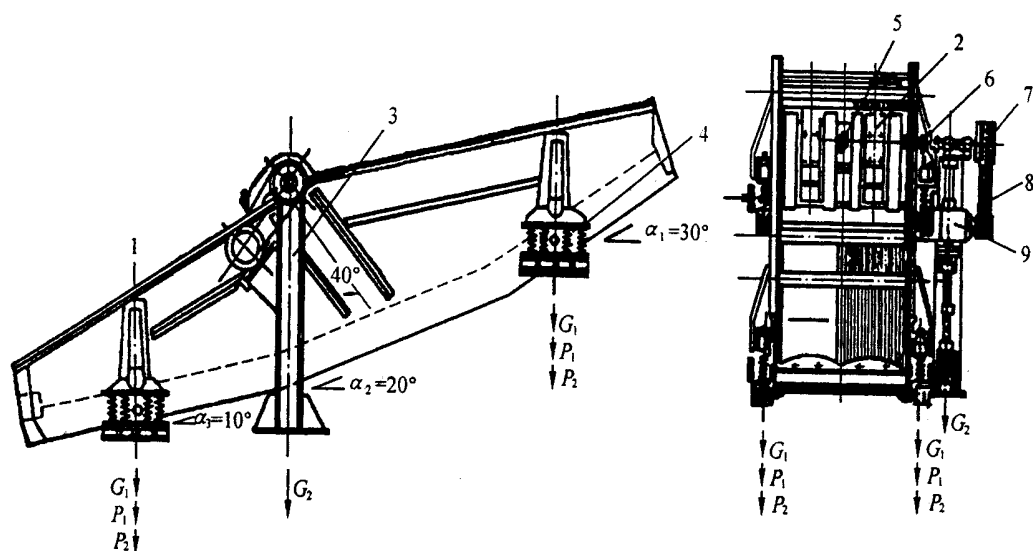


图 6-3-37 ZSD1894 型等厚筛分机

1—筛面 2—激振器 3—电动机 4—支承装置 5—挠性联轴器；
6—万向传动轴 7—传动装置 8—三角皮带 9—电动机

(2) 激振器

等厚筛采用两个箱式激振器。其中一个激振器的主动轴端与传动装置之间装设有万向联轴器,以抵消因筛分机振动造成的连接长度及轴线角度的变化。激振器主动轴另一轴端与另一个激振器的相对轴端用挠性联轴器相连,以消除因安装误差造成的影响。

电动机经传动装置通过万向联轴器带动激振器运转。

(3) 传动装置

传动装置是由带有大皮带轮的传动轴及滚动轴承、轴承座组成。轴承座固定在电机架上,大皮带轮通过三角皮带与电动机上的小皮带轮相联,电动机通过上述传动件,再经万向联轴器和挠性联轴器,使两个激振器运转工作。

(4) 支承装置

等厚筛采用四组螺旋弹簧支承装置与底架或建筑物连接。螺旋弹簧支承装置由底座、弹簧和上座等到组成。在底座中装有阻尼器,阻尼弹簧通过橡胶摩擦块在水平方向压紧筛箱。摩擦块与底座孔的上下间隙各为 10mm,阻尼力的大小可通过螺栓进行调节。

支承装置与筛箱侧面的支承架铰链式联接,便于调整筛箱的安装角度。螺旋弹簧支承装置及阻尼器结构如图 6-3-38 所示。

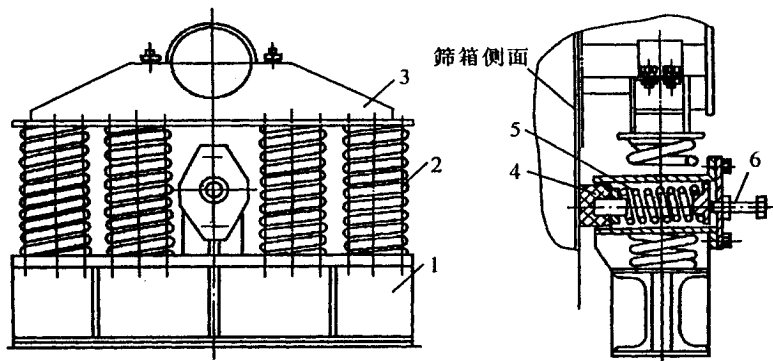


图 6-3-38 螺旋弹簧支承装置及阻尼器结构

1—底座 2—主弹簧 3—上座 4—阻尼器的橡胶块；
5—阻尼器弹簧 6—调整螺栓

ZSD1894 型等厚筛的工作原理与普通直线振动筛相同。但由于筛面结构上的差异,在激振力作用下,等厚筛的筛上物料在折线型筛面上做连续的倾斜上抛运动。入料段筛面用于松散物料和使易筛颗粒透筛,排料段(末段)筛面用于检查性筛分。由于折线型筛面使入料段物料流速提高,料层厚度减薄,加速了细小颗粒的沉降,从而使整个筛面的透筛能力得到充分利用。各段筛由于物料量与物料流速的比值较稳定,所以筛面上物料层呈现均衡状态,这就体现了‘等厚’筛分。

ZDS1894 型等厚筛的技术特征见表 6-3-7。

表 6-3-7 等厚筛主要技术特征

名 称		单位	数 据	
			ZSD1894	ZD1046
入料粒度	50mm 分级	mm		0 ~ 300
	25,3,6mm 分级			0 ~ 100
	13mm 分级		0 ~ 150	
	6mm 分级		0 ~ 50	
筛箱规格		mm	1800 × 9375	1000 ~ 4700
工作面积		m ²	15	4
筛孔层数			1	1

名 称		单位	数 据	
			ZSD1894	ZD1046
筛孔尺寸(筛网)		mm	6,8,10,13	6,13,25,50
双振幅		mm	11	9
工作频率		s ⁻¹	13.83	16.33
抛射角		(°)	38 ~ 43	38 ~ 43
筛面倾角	入料段	(°)	27 ~ 32	27 ~ 32
	中间段		17 ~ 22	17 ~ 22
	排料段		7 ~ 12	7 ~ 12
处理能力 (干式筛分)	50mm 分级	t/h	370 ~ 450	240 ~ 320
	25mm 分级			160 ~ 200
	13mm 分级			100 ~ 140
	10mm 分级			
	6mm 分级			32 ~ 48
振动电动机	型号	kW	JQO ₂ - 72 - 4	JZO ₂ - 50 - 6
	功率		30	3.7 × 2
	转速		1470	980
外形尺(长 × 宽 × 高)		mm	8910 × 3200 × 4037	4486 × 1624 × 2400
重量		kg	12054	2168

2.ZD1046 型等厚筛

它是目前国产的小型等厚筛,采用振动电机激振,主要构件间利用高强度螺栓联接,筛箱靠弹性支撑装置支承,激振力作用线与水平线成 40°角。此外,还配有电控消振装置,以消除停车过程中的共振。该机结构如图 6-3-39 所示。

该型式等厚筛与同类筛分机相比,具有结构简单、便于制造和维修、处理能力大、能耗少和噪声低等优点,是一种小型高效的深度筛分设备。适用于(50~90)千吨级小型矿井(选煤厂)做 6mm 粒级最终(准备)筛分。其主要技术特征见表 6-3-7。

3.ZD2-16 型等厚筛

该等厚筛由互不相连的两段(台)座式圆振动筛组成,各自有独立的驱动系统。它除了可以串联组成等厚系统外,还可以单段(台)使用,应用范围较广,其结构如图 6-3-40 所示。

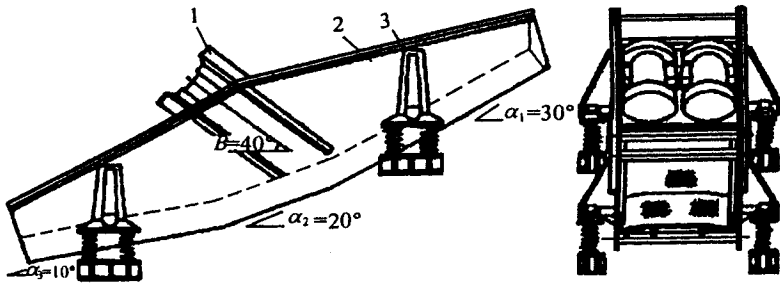


图 6-3-39 ZD1046 型等厚筛

1—振动电机 2—筛箱 3—弹性支承装置

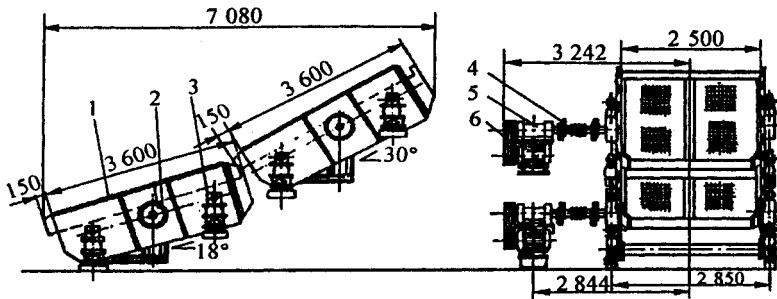


图 6-3-40 ZD2-16 型等厚筛

1—筛箱 2—激振器 3—减振弹簧组 4—联轴器 5—皮带轮轴座 6—电动机

每段筛分机单独由电动机经三角皮带及挠性联轴器驱动,皮带轮轴通过固定轴承座支承。该传动结构,既克服了皮带轮直接参振造成三角皮带易于打滑,影响筛上物料运动和三角皮带使用寿命的缺点,又克服了电动机直接驱动筛分机,振次不能调整的局限性,因而进一步扩大了筛分机的适用范围。

激振器采用轴偏心和块偏心组合式结构。由于考虑到现场筛分机使用条件和起动停机有较大的共振振幅,采用挠性联轴器,其结构见图 6-3-41。

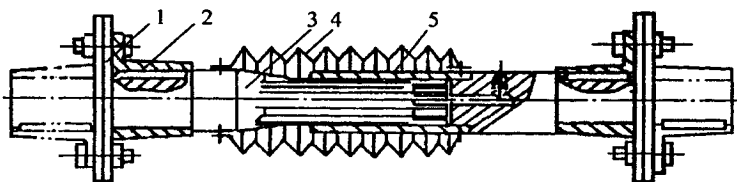


图 6-3-41 挠性联轴器

1—挠性盘 2—半联轴器 3—花键轴 4—防尘罩 5—花键套

筛箱采用整体结构,激振器置于筛箱重心上。筛面为聚胺脂压注型橡胶筛面,筛孔为(54~104)mm的长方形孔。支承减振装置采用圆柱型橡胶弹簧,减振效果良好,停机时共振振幅较小。

ZD2-16 型等厚筛的技术特征见表 6-3-8。

表 6-3-8 ZD2-16 型等厚筛技术特征

名 称		单 位	数 据
筛面面积		m ²	16
处理能力		t/h	1000~1200
筛面层数			1
筛孔尺寸		mm	54~104
筛面倾角	入料端	(°)	25~31
	排料端		10~20
频率		s ⁻¹	13.33,14.16
振幅		mm	4,4.5,5
入料最大粒度		mm	<300
电动机	型号	kW	JQO ₂ -71-4
	功率		22
	转数		1470
	台数		2
外形尺寸(长×宽×高)		mm	7080×4792×4006
总重		kg	12732

六、概率等厚筛

概率等厚筛综合了概率筛和等厚筛的优点,因此具有外形尺寸小、重量轻、结构简单、能耗低、筛分效率高、处理能力大等特点,是一种新型高效能的筛分机。

(一)工作原理

概率等厚筛的筛分过程包括两个阶段,即概率分层筛分阶段和等厚筛分阶段,其工作原理如图 6-3-42 所示。

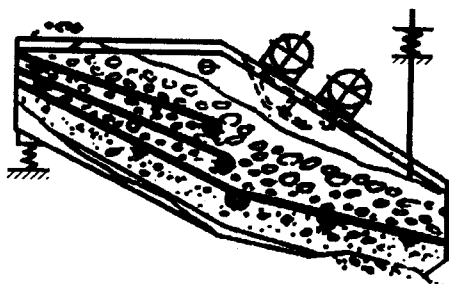


图 6-3-42 概率等厚筛筛分原理示意图

概率等厚筛分过程的第一阶段,其工作原理与概率筛分法虽有很多相似之处,但也有许多不同点,它的筛面结构具有以下特点:

(1)多层筛面。概率筛一般采用 3~5 层,而概率等厚筛则宜采用 2~3 层。

(2)大倾角安装。概率筛的安装倾角一般为 $25^{\circ} \sim 60^{\circ}$,而概率等厚筛第一段宜采用 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。

(3)大筛孔。概率筛的筛孔尺寸与分离粒度之比一般为 2~10。而在概率等厚筛的最下层筛面的筛孔尺寸应适当减小,可取分离粒度的 1.3~2 倍。它与等厚筛分法不同,概率等厚筛的第一阶段是利用概率原理对物料进行快速分层,同时还有筛分作用,这种分层可属于强制分层,所需筛面长度一般为 1.5~2m。而等厚筛的第一段是靠筛面的振动使物料实现自然分层,所需时间较长,分层较慢,因此所需筛面长度为 2.5~4m。概率等厚筛第一阶段筛分效率高、分得快,细粒级物料能很快的透筛,相当于部分地实现了筛分。而等厚筛分则是依靠物料自然分层,细粒级物料透筛的速度较概率等厚筛慢,细物料透筛量也比概率等厚筛小。概率等厚筛第一阶段中、细物料的透筛不是主要目的,其主要目的是实现强制分层。但是,若要获得较好的细物的透筛效果,即获得比其他筛分机高得多的筛分效率,应由第二阶段(等厚筛分阶段)来完成。

在第二阶段中,物料的筛分过程是以等厚筛分法为基础的。这段筛面的倾角一般为 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$,物料运动速度降低,料层变厚,一般大于筛孔尺寸的 6~10 倍,筛面长度为 2~3m(自然分层的等厚筛,其第二段的筛面长度一般为 4~6m)。由于概率等厚筛料层厚度大,物料按粒度大小分层,大块在上,小粒在下,因此细物料承受厚料层的压力较大,并始终与筛面直接接触,这就使细物料通过筛孔的概率显著增大,可获得较高的筛分效率和精度。

由于筛分机的结构特点,物料通过筛分机时又经过概率分层筛分和等厚筛分这两个阶段,因此概率等厚筛的处理能力很大,筛分效率高,筛分机长度小(一般为 3~5m,等厚

筛一般为 6 ~ 9m),高度低(一般为 2 ~ 3m,而等厚筛一般为 3 ~ 5m)。

(二)结构特点

由我国自行研制的 GDS 型煤用概率等厚筛,由振动电机、筛箱、橡胶减振弹簧等部分组成(图 6-3-42),其结构特点如下:

(1)折线型筛面。筛分机的筛面布置呈折线型,第一段筛面有两层筛板,上层筛板倾角 18°,下层筛板倾角 25°;第二段筛面有一层筛板,筛板倾角为 15°。由于是折线型筛面的结构,故可使筛分机实现概率等厚筛分。

(2)筛面的形式和张紧方式。上筛面为 $\phi 16\text{mm}$ 圆钢焊接而成,采用纵向拉紧和两侧螺栓固定方式;下筛面为不锈钢焊接筛网,采用横向拉紧方式。为了防止二次振动,在下筛面与筛框接触处均装设有橡胶垫,起缓冲减振及降低噪音的作用。

(3)振动电机的紧固装置。振动电机地脚螺栓的防松问题是筛分机能否正常运转的关键。该机采用特殊的防松措施,即在振动电机与侧板间装设键,这样使紧固振动电机的螺栓不承受剪切应力。同时还采用特别的防松螺栓和螺母,确保螺母长久不松动。

另外,该筛分机采用橡胶弹簧支承,因此,启动和停机时较平稳,过共振区的时间短,横向摆动小,噪音低。GDS 型概率等厚筛的主要技术特征见表 6-3-9。

表 6-3-9 GDS 型概率等厚筛的主要技术特征

名 称		单 位	型 号	
			GDS1000 × 3000	GDS1000 × 3000
最大入料粒度		mm	200	200
筛面面积		m ²	3.4	5.0
筛面倾角		(°)	25,18,15	25,18,15
振动频率		s ⁻¹	15.66	15.66
双振幅		mm	8 ~ 10	8 ~ 10
处理能力		t/h	120 ~ 180	200 ~ 250
筛分效率		%	80 左右	80 左右
电动机	型号		ZDS50 - 6	ZDS52 - 6
	转速	r/min	940	940
	功率	kW	2.2 × 2	4 × 2
外形尺寸		mm	3000 × 1860 × 1450	3500 × 6601 × 7820
重量		kg	1800	3500

七、旋流筛

(一)旋流筛的构造

图 6-3-43 所示为波兰奥索型(OSO)旋流筛的构造。入料喷口 1 与圆形导向槽 2 呈切线与圆周接合。为了增大设备的有效工作面积,可在导向槽内加装条缝筛面作衬的导向筛面 4,此导向筛是个倒置的圆锥台。筛面与设备的垂直中心线呈 20° 夹角,筛条竖向排列锥形条缝筛面 3 也是倒置的圆锥台,筛面与设备的垂直中心线呈 45° 夹角(即锥角为 90°)。筛条的排列分两种方式,锥形筛面上部的筛条是竖向排列,而下部的筛面则是呈圆环状水平排列。筛条的这种排列结构既考虑到外层煤水流的螺旋运动特点,又考虑到筛面在运转期间的磨损问题。

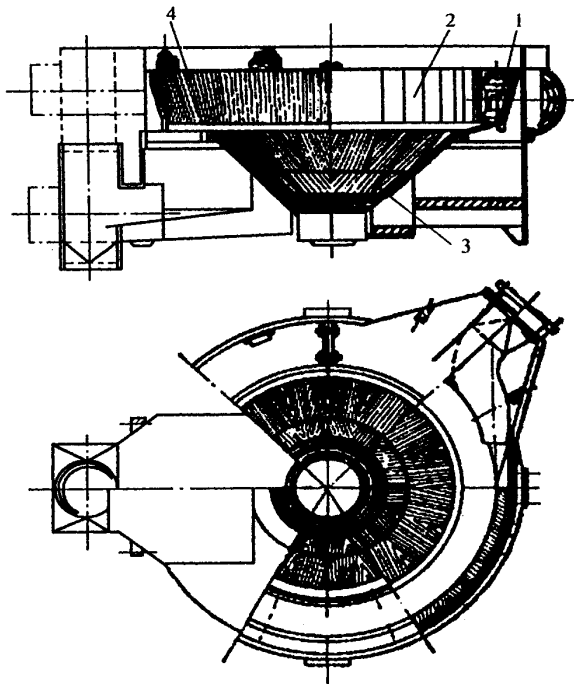


图 6-3-43 奥索型旋流筛的结构

1—入料喷口 2—圆形导向槽 3—锥形条缝筛面 4—导向筛

锥形筛面下部筛条呈环状水平排列的筛孔宽度,比上部筛条呈竖向排列的筛孔宽度大 50%,这是为了在整个锥形筛面上尽可能获得相同的分级粒度,同时又考虑到物料流速和锥面形状(曲率半径)的要求。奥索型旋流筛通用的筛缝规格见表 6-3-10。

表 6－3－10 奥索型旋流筛筛孔规格

筛孔宽度 (mm)	锥形筛面上部	2.0	1.5	1.0	0.75	0.5
	锥形筛面下部	3.0	2.2	1.5	1.2	0.75

旋流筛可根据厂房条件及工艺配置上的需要安装成座式或吊式。

我国除设计制造了 $\phi 1600$ 旋流筛(仿波兰奥索 B 型筛)外,还研制了 $\phi 1600$ 型和 M $\phi 2400$ 型电磁振动旋流筛(图 6－3－44)。该筛的外壳由钢板焊成,上、下壳体用螺栓连接。锥形筛网 3 的上部筛条近似放射状分布,下部筛缝与上部筛缝垂直。圆形导向槽 2 内部有向外倾斜 15° 的导向筛,由三块或四块筛板组成,可根据使用磨损情况进行调整更换,筛缝与机体轴线平行。锥形筛支撑在外壳下部四个支柱的橡胶弹簧上。圆形防水电磁振动器与锥形筛下部底盘用螺栓固定,振动时,锥形筛沿垂直方向上下振动,使筛缝不易堵塞,以提高脱水、脱泥的效果。根据入料性质,振动器可选用自动、手动、间断摆或连续振动等振动方式。

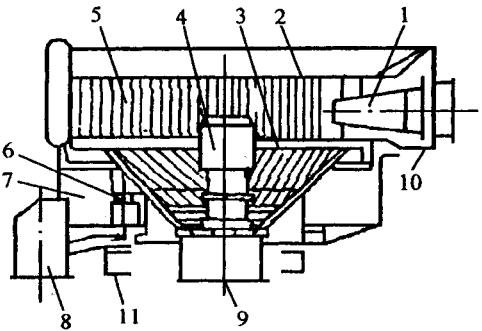


图 6－3－44 电磁振动旋流筛

- 1—喷嘴 2—导向槽(导向筛网和耐磨环) 3—锥形筛 4—电磁振动器；
5—导向筛 6—橡胶弹簧 7—壳体 8—滤液出口 9—固体物料出口；
10—固液混合入口 11—支承架

国产电磁振动旋流筛的技术特征见表 6－3－11。

表 6－3－11 电磁振动旋流筛技术特征

项 目	单 位	$\phi 1600$ 型	M $\phi 2400$ 型
锥形筛直径	mm	1600	2400
筛网总面积	m^2	4	8.5
锥形筛面积	m^2	2.5	5

项 目	单 位	φ1600 型	Mφ2400 型	
导向筛面积	m ²	1.2	3.5	
筛缝	mm	0.75	0.5、0.75	
入料粒度	mm	煤泥水	13 ~ 0	
分级粒度	mm	0.5	0.35、0.5	
处理能力	m ³ /h	150 ~ 350	250 ~ 550、400 ~ 800	
入料压力	kg/cm ²	0.05 ~ 0.3	0.25 ~ 0.5、0.15 ~ 0.4	
入料浓度	g/L	100 ~ 400	100 ~ 400	
筛上物水分	%	30 ~ 40	20 ~ 35、25 ~ 32	
电磁振动器	型号		DZ300、SCZ - 600	XZ10
	功率	W	300、270	400
	频率	1/s	50	50
双振幅		mm	1.5	1.5
激振力		kg	172、600	1400
外形尺寸(长 × 宽 × 高)		mm	2738 × 2052 × 1675	
总重		kg	1544	

(二)工作原理

旋流筛综合了水力旋流器、离心机和弧形筛的特点。工作时,将固液混合物料用定压箱或泵导入流筛的喷嘴后,物料经喷嘴沿切线方向进入导向筛。在离心力、摩擦力及物料重力的联合作用下,混合物料由直线运动转变为沿筛壁呈螺旋式下降的旋流运动。大颗粒物料因为重量大,离心力作用大,贴着导向筛及锥形筛旋转形成外物料层,含有细颗粒的液流形成内层,而外层都分别做螺旋式的向下流动,见图 6-3-45。在沿筛网的纵向旋流运动中,外层含有的固体颗粒多,密度大,筛网对外层的摩擦阻力也大,因而旋流速度低,即切向运动速度小。因此,由于切向运动速度和纵向运动速度各自大小的不同造成合成运动的明显差异,从而使内层液体与外层物料错开,见图 6-3-46。含有小颗粒固体或高灰细煤泥的内层液体透过粗粒固体间隙和筛缝排出;外层的大颗粒筛上物经锥形筛底部排出。

物料在导向筛处流速较大,故通过筛缝的液流层较薄,筛缝不易堵塞,见图 6-3-47。因此工作中导向筛网不需要振动。

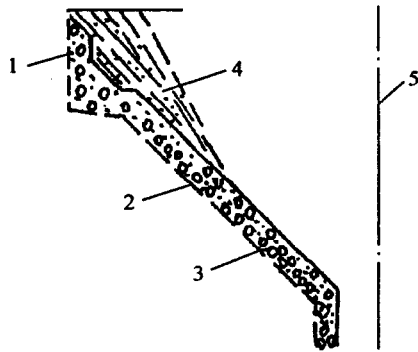


图 6-3-45 筛网纵断面上物料旋流后分层图

1—导向筛网 2—锥形筛网 3—大颗粒物料形成的外层；
4—液体和细颗粒物料形成的内层 5—旋流筛中心线

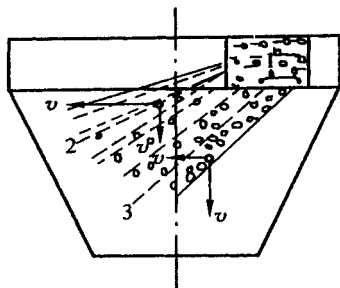


图 6-3-46 筛面上物料分布图

1—混合物料区 2—内层液体区 3—外层物料区

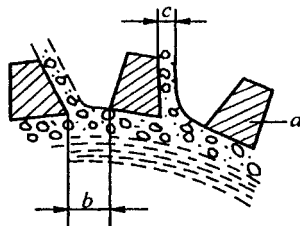


图 6-3-47 导向筛网横断面上物料运动图

a—筛条 b—筛缝宽度 c—液流层厚度

物流到锥形筛网时,旋流速度逐渐降低,在锥形筛网上段,物料层尚不太厚,所以脱水阻力也较小,故在导向筛和锥形筛网上段,可把料浆中大部分水脱出。剩下的液流再旋流而下,在锥形筛下段继续脱水,此时贴在锥形筛网内壁的颗粒层已逐渐变厚,脱水

过程实际上是以过滤脱水方式进行。然后,物料层以更大的螺旋坡度回转下行到固体物料排出口,这时脱水后的粗粒物料由排料口排出。通过筛缝的水和细粒物料则经过筛下物收集箱由滤液出口排出。由于锥形筛上液流速度降低,从筛缝排出的液流层厚度近似等于筛缝宽度,液体会夹带一些大颗粒,通过筛缝时易产生堵塞,使锥形筛的脱水、脱泥效果急剧下降(图 6-3-48),因此要用振动装置清理筛网。

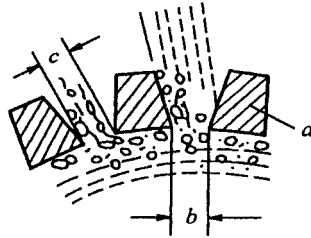


图 6-3-48 锥形筛网横断面上物料运动图

a —筛条; b —筛缝宽度; c —液流层厚度

八、无振动离心筛

无振动离心筛是一种简化了的离心筛分机械,适用于动力煤干法筛分,现已有筛篮直径 $\phi 1000\text{mm}$ 的产品。

(一)工作原理

从力学考虑,离心力比重力场具有更大的灵活性,被筛物料的离心力不仅容易得到,而且便于调节,使之具有符合要求的离心强度。

无振动离心筛的结构简图如图 6-3-49 所示。立轴 5 由驱动装置带动旋转,原煤由溜槽 1 进入给料盘,并由给料盘均匀洒向筛筒 7,一部分小于筛孔的颗粒透筛,其余受筛筒阻挡仍滞留在内侧,这就实现了部分筛分。被阻挡的物料靠自身重力经锥形漏斗进入第二层给料盘,并再次向筛筒布料筛分,如此重复,筛上物和筛下物也靠自身重力,分别经集料漏斗排出,从而实现分级。

为保持筛面和锥形漏斗清洁,在分配盘下固定有清扫器。

由于物料是在离心力场中实现筛分的,筛筒不做任何运动,故称无振动离心筛。

(二)结构和技术特点

(1) LS 型无振动离心筛由给料溜槽、减速器、电动机、固定有给料盘的立轴组件、清扫器、筛筒(带有短锥形漏斗)、装有活门和末煤漏斗的外壳、块煤漏斗、组合式机架等组成。

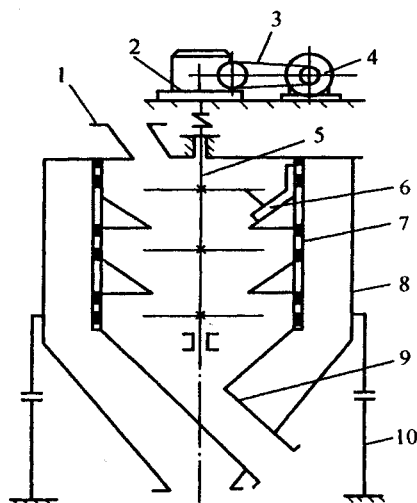


图 6-3-49 无振动离心筛结构简图

- 1—给料溜槽 2—减速器 3—传动三角带 4—电动机；
5—固定有给料盘的立轴 6—清扫器 7—筛筒（带锥形漏斗）；
8—装有活门和末煤漏斗的外壳 9—一块煤漏斗 10—组合式机架

(2)筛子工作时,运载件只有固定在立轴上的给料盘,而且只做旋转运载,结构简单,对地基无动负荷。

(3)使用楔形不锈钢焊接筛网,筛孔分别为 (13×25) mm 与 (6×35) mm,因筛筒无振动、只承受物料冲击和磨损,工作寿命较长。

(4)设有随给料盘转动的清扫器,清理及时,筛孔不易堵塞。

(5)外壳内侧衬胶帘,噪声低,密封好,不扬尘。

LS-1000 型无振动离心筛(图 6-3-50)的技术特征见表 6-3-12。

表 6-3-12 LS-1000 型无振动离心筛技术特征

项 目		数 值
用 途		煤炭干法筛分
入料条件	粒度范围(mm)	0 ~ 50
	外在水分(%)	不限
工艺条件	筛分粒级(mm)	6 ~ 13
	处理能力(t/h)	40 ~ 70
筛筒直径(mm)		1000

项 目	数 值
筛缝尺寸(mm)	7×16,13.5×60
筛面面积(m2)	1.5
给料盘直径(mm)	800
给料盘转速(r/min)	140
电动机	Y132S-4,5.5kW,1440r/min
减速器	WHC-12型、速比8
外形尺寸(长×宽×高)(mm)	1620×1620×2722
重量(kg)	2690

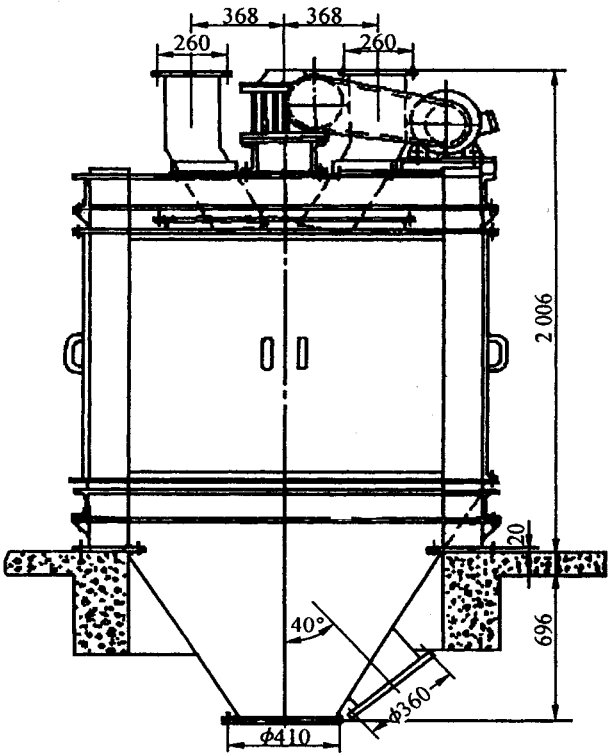


图 6-3-50 LS-1000 型无振动离心筛

九、高频振动筛

高频振动筛是一种以高频率、高振动强度为特征的振动筛。适用于 0.5mm 以下细粒物料的湿式分级与固液分离。产品有圆振动与直线振动两种类型,高频圆振动筛在 50

~ 60Hz 频率下工作。使用高开孔率的‘三明治’筛网,可在 0.2mm 的粒级对细粒矿物进行精确筛分,近年来我国开发了 GPS 型高频振动筛。高频直线振动筛的频率相对较低,在 20 ~ 25Hz 左右,使用不锈钢或聚胺酯楔形条缝筛面,靠筛上形成滤层截取细粒,从而实现分级或固液分离,适用于粗煤泥回收或浮选尾矿的预脱水,我国开发的产品有 GZ 型和 GZT 型。

(一) 高频圆振动筛

1. 工作原理

(1) 该筛机是在薄料层中进行,并且以精确筛分为基础的煤泥筛分分级设备,按圆振动筛的原理进行工作。

(2) 筛子具有 33.3Hz 的高频率和大于 5g 的振动强度。高频小振幅的振动参数有利于细颗粒的分级脱水,高振动强度强化了物料的抛掷运动和与筛面相遇时的碰撞,使水和小颗粒能够顺利透筛。

(3) 筛面采用被称为 ‘三明治’ 筛网的复层筛面。由三层不同网孔、不同丝径的不锈钢丝布组成,其开孔率达 36%。防堵孔效果好,为细颗粒分级脱水创造了条件。

2. 技术特征

GPS1025 型圆振动筛见图 6-3-51。

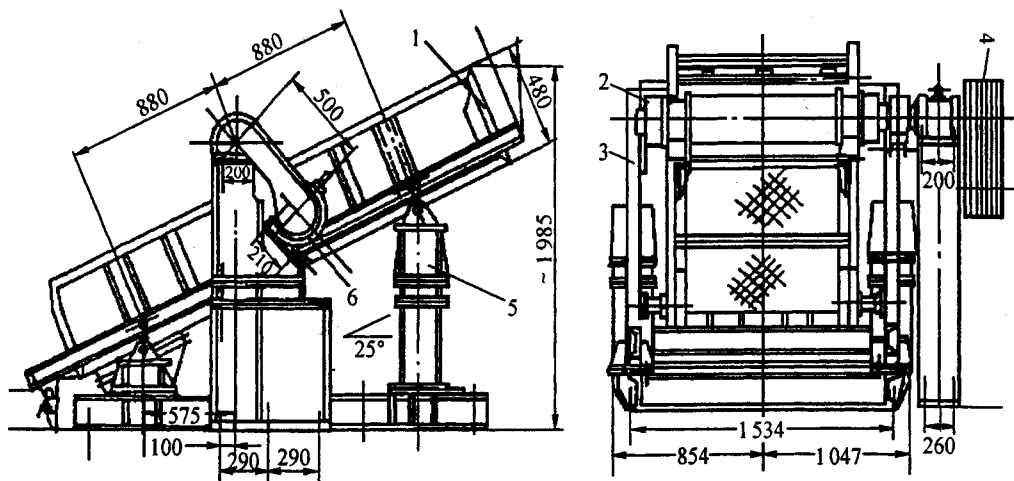


图 6-3-51 GPS1025 型高频圆振动筛

1—筛箱 2—振动器 3—支承装置 4—传动装置；
5—倾角调节装置 6—电动机和机架

GPS1025 型高频技术特征见表 6-3-13。

表 6－3－13 GPS1025 型高频筛技术特征

项 目	数 值
用途	煤泥、尾矿分级脱水
入料浓度 (g/L)	300 ~ 400
筛面规格 (宽 × 长) (mm)	1000 × 2500
工作面积 (m ²)	2.5
筛孔尺寸 (mm)	0.1
筛面层效	1
工作频率 (Hz)	30 ~ 42
振幅 (mm)	0.5 ~ 2
筛面倾角 (°)	20 ~ 25
处理能力 (干煤泥 t/h)	6 ~ 8
型号	Y132S - 2
电动机 功率 (kW)	5.5
转数 (1/min)	2920
外形尺寸 (长 × 宽 × 高) (mm)	3149 × 2163 × 1985
重量 (kg)	1286
单支点工作动负荷 (N)	1000 ± 50

3. 结构和技术特点

(1)GPS 型高频圆振动筛,由筛箱、振动器、支承装置、传动装置、倾角调节装置、电动机和机架等组成。

(2)采用振动器在筛面以上的布局,振动轨迹具有图 6－3－52 所示的特点,入料端椭圆,长轴向前,有利于物料迅速散开,排料端椭圆长轴方向相反,有助于减缓物料速度,延长物料在筛面上的停留时间,增强分级、脱水效果。

(3)振动器结构与 ZK 型直线筛相似,基于 30 ~ 40Hz 频率和 $K = (5 \sim 6)g$ 的工况,采用高精度大游隙轴承(4E52615),以控制轴承噪声与温升。

(4)筛框为整体焊接结构,采取严格的焊接工艺,简化了制造,减轻了重量。

(5)采用张紧式叠层筛面,体轻。装卸方便,开孔率高,防堵效果好,工作寿命可达 500 小时。

(6)采用卧置圆柱形剪切橡胶弹簧,筛箱呈悬挂式工作,工作平稳,共振振幅小。

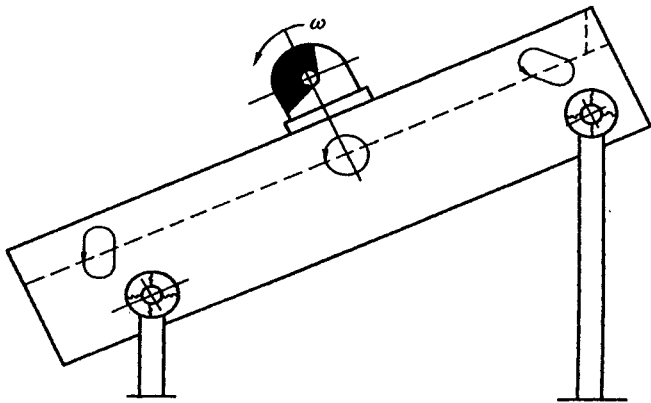


图 6-3-52 GPS 型筛振动轨迹

(二)高频直线振动筛

1. 工作原理

(1)工作原理见图 6-3-53。矿浆通过给料箱靠重力沿切向均匀、定压给入筛子的弧形段,在弧形筛条的剪切和振动作用下,部分细粒和液体得以透筛脱除,弧形段被称作筛子的预脱水段。

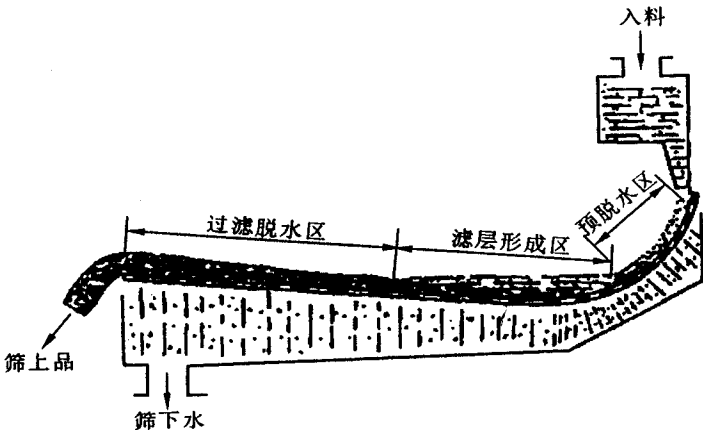


图 6-3-53 高频直线振动筛工作原理

(2)筛上固液混合物沿筛面进入与直线段的结合部后,运动速度突然下降,使矿浆出现聚集,形成“水池”;在筛面的高频振动作用下,矿浆中的固体颗粒加速沉降。由于先接触筛面的细粒不断透筛,筛面上逐渐形成一个粗粒阻隔细粒而成的滤层,滤层较薄,且滤层以上的液体和微细颗粒仍不断透过滤层透筛,与固体实现分离。

(3) 由于筛面对物料的抛掷运动,滤层不断沿筛面向前输送。进入过滤脱水区“水池”中的液体、细粒继续沉降并透筛脱除。由于排料端设置的堰板的阻挡作用,筛上料层加厚,高频率、高振动强度的抛掷运动使料层组织逐渐垒实,料层中的游离水分进一步被脱除。

(4) 参数实验研究表明,振动强度 K 变化对高频筛工艺效果的影响比频率变化更为显著。振动强度 K 与物料速度和料层厚度的关系如图 6-3-54 所示。

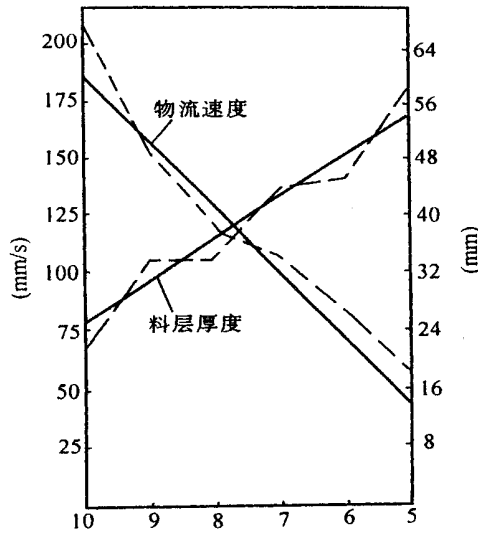


图 6-3-54 筛上物流速和物料层厚度与振动强度间的关系

2. 技术特征

GZ 型高频振动筛(图 6-3-55)系列产品技术特征见表 6-3-14。

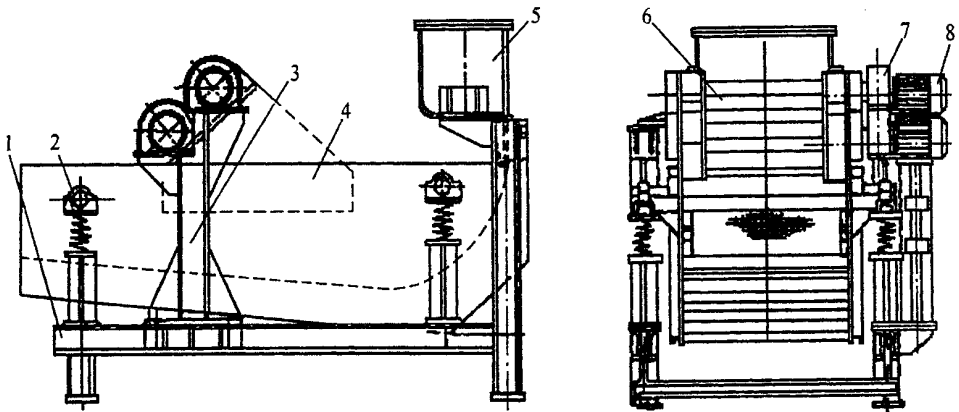


图 6-3-55 GZ 型高频振动筛

1—底架 2—支承装置 3—电机架 4—筛箱 5—给料箱 6—振动器 7—联轴器 8—电动机

表 6－3－14 GZ 系列高频振动筛技术特征

名 称		单 位	GZ731	GZ1031	GZ1231	GZ1531
用 途			煤泥、尾矿脱水			
入料浓度		%	> 40			
筛面规格(宽×长)		mm	750×3100	1000×3100	1250×3100	1500×3100
工作面积		m ²	2	2.8	3.5	4.2
筛缝尺寸(条缝筛面)		mm	0.25 0.3 0.5			
筛面层数			1			
工作频率		Hz	24			
双振幅		mm	4～6			
抛射角		(°)	50			
筛面倾角		(°)	－5			
生产率(干煤量)		t/h	7～10	10～14	14～17	17～21
电动机	型号		Y112M－4	Y112－4	Y132S－4	Y132－M4
	功率	kW	2×4	2×4	2×5.5	2×7.5
	转速	r/min	1440	1440	1440	1440
外形尺寸(长×宽×高)		mm	3048×1679 ×1915	3048×1943 ×1970	3063×2248 ×1970	3067×2540 ×1970
设备总重		kg	2000	2700	3300	4000
单支点工作动负荷		N	±222	±279	±372	±444

GZT 型低噪高频振动筛(图 6－3－56)系列产品技术特征列入表 6－3－15。

表 6－3－15 GET 型低噪高频振动筛技术特征

名 称	单 位	型 号			
		GZT1231	GZT1431	GZT1636	GZT1836
用 途		煤泥、尾矿脱水			
入料浓度	%	> 45			
筛上品水分	%	24～27			
回收率	%	70～85			
筛下水浓度	%	> 35			
筛面规格(宽×长)	mm	1200×3100	1400×3100	1600×3100	1800×3600

名 称		单 位	型 号			
			GZT1231	GZT1431	GZT1636	GZT1836
工作面积		m ²	3.41	4	5.4	6.12
筛缝尺寸(条缝筛面)		mm	0.3			
筛面层数			1			
工作频率		Hz	25			
工作振幅		mm	< 3 可调			
生产率(干煤量)		t/h	7 ~ 10	10 ~ 14	14 ~ 17	17 ~ 21
电动机	型号		Y132S - 4	Y132M - 4	Y160M - 4	
	功率	kW	2 × 5.5	2 × 7.5	2 × 11	
	转速	r/min	1500			
外形尺寸(长 × 宽 × 高)		mm	3000 × 2000 × 2010	3000 × 2190 × 2010	3525 × 2540 × 2020	3525 × 2640 × 2020
设备总数		kg	3590	3900	6020	6380
单支点工作动负荷		N	± 320		± 770	

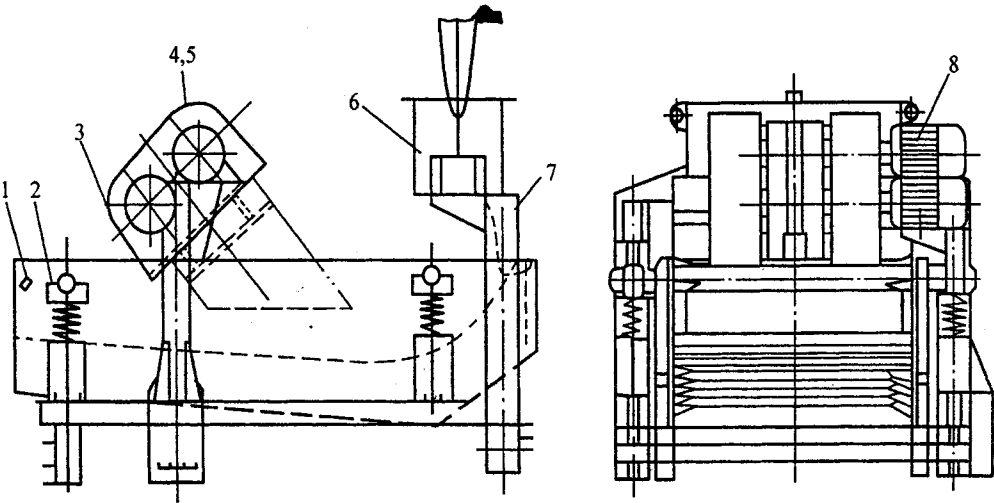


图 6-3-56 GZT 型低噪高频振动筛

1—筛箱 2—支承装置 3—电机架 4—振动器 5—防护罩 6—给料箱 7—底架 8—电动机

3. 结构和技术特点

(1) GZ 型与 GZT 型高频振动筛均由筛箱、振动器、支承装置、电机架、防护罩、给料

箱、底架、电动机等组成。电动机与振动器传动轴间用挠性联轴器相联。

(2) GZ 与 GZT 型高频振动筛设有专门的给料箱,它是一个独立的箱型结构,与浓缩旋流器底流口相接,对高频筛起着沿弧形筛全宽定位、定压、均匀给料的作用。

(3) 两种高频直线振动筛均按自同步原理工作,振动器由双电机分别驱动,两传动轴间无强迫联系。

(4) 振动器均为块偏心式,GZ 型振动器为单元组合式,相邻振动器间用传动轴相联,振动器轴承用润滑脂润滑;GZT 型振动器为箱式,由双管体构成,偏心块外置,箱内装有稀油,用于润滑轴承。

(5) 筛面由弧形段和负倾角直线段组成,弧形段按细粒煤泥所需的向心加速度确定合理的曲率半径,直线段负倾角为 5° 。整机安装角还可根据器要在一定范围内调整。

(6) 筛面为楔形条缝筛板,条缝与物料运动方向垂直,缝隙一般为 $(0.3 \sim 0.5) \text{ mm}$,可根据需要配用。排料端设有溢流堰板,其高度可按需要调整。

(7) GZ 型筛框为整体焊接结构,通过去应力退火消除焊接应力,制造成本低。

GZT 型筛框为了降低噪声采用了夹层式侧避和横梁,由于内衬为高分子材料等易燃品,各构件间采用传统的紧固件连接。

第四章 动力煤的洗选技术与工艺控制

选煤是根据煤中各种组分的密度、表面物理化学性质以及其他性质的差异而分选成不同质量煤炭产品的加工过程。选煤是以物理方法为主,清除煤中的无机矿物质,降低煤的灰分和硫分,改善煤质,生产出多种品种,使煤炭资源得到合理有效的利用,发展洁净煤技术,能够获得巨大的社会效益。

选煤的方法有多种,可分为两大类:湿法选煤和干法选煤。选煤过程在水、重液或悬浮液中进行的,叫做湿法选煤。选煤过程在空气中进行的,叫做干法选煤。

重力选煤和浮游选煤的是现行选煤厂中最常见、最普遍的湿法选煤方法。其中,重力选煤主要是依据煤和矸石的密度差异,实现煤与矸石的分选。重力选煤又可分为跳汰选、重介质选、流槽选、斜槽选和摇床选等。浮游选煤又叫浮选,主要是依据煤和矸石表面润湿性的差别,分选细粒(-0.5 mm)的煤泥。

第一节 各种选煤方法在我国的利用情况

选煤厂按精煤使用的目的不同,又分为炼焦煤选厂和动力选煤厂。炼焦煤选煤厂主要是生产低灰精煤供给焦化厂生产焦炭,它的工艺比较复杂,通常采用跳汰——浮选工艺或重介——浮选工艺流程。动力煤选煤厂主要是生产符合燃料用煤要求的动力煤,其生产工艺一般较为简单,常用重介或跳汰工艺,大部分入洗 $100\text{mm} \sim 25\text{mm}$ 或 $100\text{mm} \sim 13\text{mm}$ 的块煤。

第二节 动力煤洗选的发展现状

发展动力煤洗选加工,对提高煤炭质量,增加煤炭品种,合理利用煤炭资源,降低能源消耗,减少无效运输,降低燃煤对大气污染。以及煤矿企业提质增收等都有明显的社会、环境、经济效益。

我国是产煤大国,也是耗煤大国,每年需煤炭 10 亿多 t,除近 3 亿 t 经洗选供应冶金部门炼焦外,其余基本上都用作动力或化工用煤。2000 年我国原国有重点煤矿入洗煤量近 2.4 亿 t,其中炼焦煤入洗 1.33 亿 t,占 55.46% 动力煤入洗 10684 万 t,占 44.54%。平均入洗比例 24.0%,产出炼焦精煤 8122 万 t。精煤回收率 61.05%,产出洗动力煤 9230 万 t,洗煤产率 86.39%。

第三节 动力煤洗选的特点和要求

动力煤的分选目的,不仅要排除煤中矸石,还要为用户选出品种对路、质量稳定的产品,达到节能和合理运输的目的,获得最佳经济效益。

动力煤常见用户有 火力发电、出口、化工、一般工业锅炉、窑炉、生活用煤及高炉喷吹。各类用户对煤质的要求各不相同,这就决定了动力煤的洗选有以下特点:

- (1)洗选动力煤的效益与洗炼焦煤相比,经济效益低;
- (2)动力煤的大多用户,对煤质要求较低,通常只要求排除矸石;
- (3)各类用户对动力煤的品种要求不同,如电厂要求末煤,而有些工业则要求块煤;
- (4)动力煤选煤厂要有适应不同品种变化的能力。

以上特点的存在,对动力煤的洗选工艺有以下相应要求:

- (1)动力煤选煤厂总投资不能过大,尽可能降低运营费用;
- (2)采用的选煤工艺要尽可能简化,力求高效、实用;
- (3)要选用单台处理能力较大的设备,而且节能、节水、运行可靠、操作方便。
- (4)针对用户的要求,要选择适当的入洗下限,减少煤泥处理量。

(5) 工艺流程灵活,具适应市场需求的能力。

第四节 动力煤的选煤工艺

我国动力煤的洗选,主要是洗选高灰分长焰煤、气煤、不粘煤、弱粘结煤、无烟煤、贫煤及褐煤。动力煤选煤厂的选煤方法与炼焦煤选煤厂所采用的分选方法是相同的,只是由于动力煤洗选的经济效益相对较低,加上又有与炼焦煤选煤厂不同的特点和要求,所以,在决定动力煤洗选所采用的工艺时,要根据煤质、本矿区的条件、用户的需求以及所要建的厂型、规模大小、资金等因素综合确定。

除浮选外,几乎所有的重力选煤,如重介选、定(动)筛跳汰、斜槽、螺旋滚筒、摇床、风力跳汰、空气重介流化床等,都适用于动力煤的分选。

一、跳汰选煤

跳汰选煤是应用最广的一种重力选煤方法。对不分级、宽分级和块、末煤除可选性难选者外,对各种筛分组成的原煤都有较好的分选效果。由于跳汰选煤工艺流程简单,比重介质选煤可省许多工序和设备,而且建设投资少,选煤成本较低,因而一直是选煤的首选方法。

跳汰选煤的入洗上限可达 $50\text{mm} \sim 250\text{mm}$,下限可达 $0.2\text{mm} \sim 0.3\text{mm}$,因而,对于入洗原煤水分高、筛分困难、而末煤灰分又高的动力煤,可采用混合跳汰选工艺。

动筛跳汰选较适合于块煤排矸。动筛跳汰选适于处理 $300\text{mm} \sim 25\text{mm}$ 的块煤,它的结构和工艺简单,排矸能力强,单位面积处理能力大,分选效果好,投资省,运营成本低。最主要的是它可以代替人工拣矸,简化煤泥处理系统。故对于以排矸为主的大多数动力煤选煤厂来说,动筛跳汰选应为首选工艺。

二、重介质选煤

重介选是现行分选效率最高的选煤方法。它适应性强,分选的粒度范围宽(块煤分选入料粒度为 $1\,000\text{mm} \sim 6\text{mm}$,末煤分选为 $50\text{mm} \sim 0.15\text{mm}$),分选效率和分选精确度高于其他选煤方法,可能偏差 E_p 值达 $0.03 \sim 0.07$,较适合处理难选煤和极难选煤。

重介质选煤设备主要有块煤重介质分选机和末煤重介质分选机。块煤重介质分选

机又包括斜轮分选机和立轮分选机等。末煤重介质分选机主要是重介质旋流器。

对入洗原煤中块煤含量大且含矸率高,可选性较差,而末煤灰分不高,水分较低易于分级的动力煤,可选用块煤重介选。

重介质选煤工艺的特点是需要加重介质配制重悬浮液,因而需要介质准备、脱介和回收介质,工艺较复杂,建设投资大且生产运营成本高,因而,很少选用末煤重介质旋流器来处理动力用末煤。

三、斜槽分选与螺旋滚筒分选

两种分选方法较适合于处理脏杂煤和中等粒度的块煤排矸。斜槽分选机结构简单,容易制造,操作方便且排矸性良好,一般可供中小型矿井洗动力煤使用。但用水量较大,煤泥水处理困难。

螺旋滚筒分选机机体较大,可入洗 100mm ~ 6mm 混煤,其中末矸石具有再生介质的作用,年处理能力可达 30 万 t。

四、空气重介流化床干法选煤

空气重介流化床干法选煤是一项高效的干法分选方法。可以有效的分选 50mm ~ 6mm 粒级煤炭。此法的最大特点是大大简化了选煤系统,省去了复杂而耗资很大的煤泥水处理系统,因而工程投资和生产费用都低于湿法选。

目前,空气重介流化床干法选煤生产技术尚未成熟,需在生产过程中的关键技术解决后才有发展前景。

第五节 几种常见的动力煤选煤流程

一、块煤跳汰洗选工艺流程

块煤跳汰洗选工艺流程见图 6-4-1。

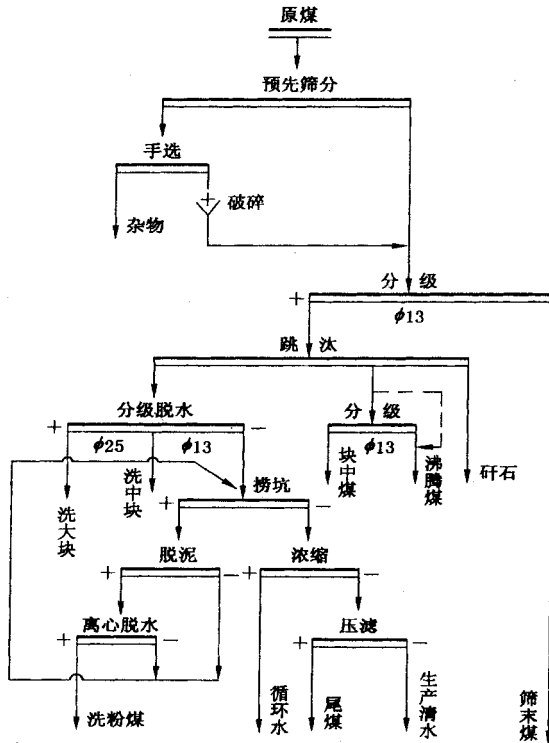


图 6-4-1 块煤跳汰洗选工艺流程

适用条件 原煤中块煤含量较少,入选块煤含矸率较高,中等可选性时宜采用本流程 原煤水分较高,分级较困难时也宜采用此流程。预选分级粒度一般为 13mm。

二、块煤重介选矸工艺流程

块煤重介选矸工艺流程见图 6-4-2。

适用条件 原煤中块煤含矸量大且含矸率高,可选性较差,末煤灰分较低,原煤水不高易于分级,可采用此流程。分级粒度一般为 25 mm 或 13mm,当原煤水分较高时,分级粒度可适当调高分级后的块煤在入洗前须预先脱泥。

三、块煤重介 - 末煤跳汰工艺流程

块煤重介 - 末煤跳汰工艺流程见图 6-4-3。

适用条件 大型矿井或露天矿井生产的动力用原煤,各粒级灰分均较高,特大块矸石含量较多,必须经洗选才能满足用户要求时,可采用此流程。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 20mm ~ 35 mm。

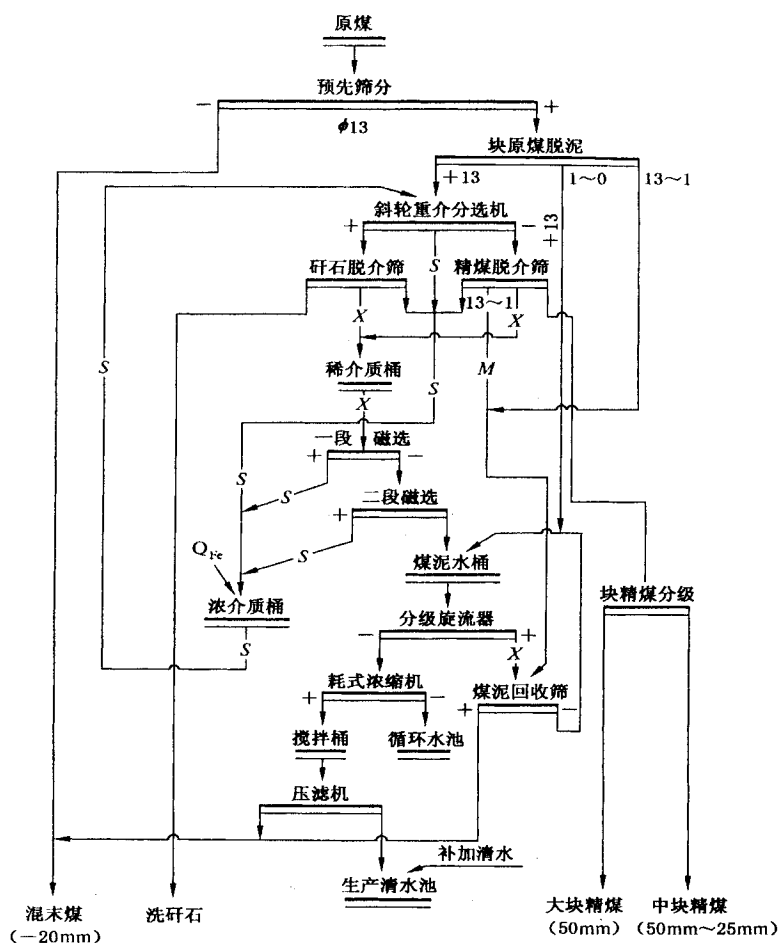


图 6-4-2 块煤重介选矸工艺流程

四、混合跳汰选工艺流程

混合跳汰选工艺流程见图 6-4-4。

适宜条件 原煤灰分较高,块煤量少,末煤量较多且灰分较高,可选性属易选或中等可选,动力煤种多为无烟煤、气煤和长焰煤。

五、淘汰选工艺流程

跳汰选工艺流程见图 6-4-5。

适用条件 原煤灰分较高,可选性中等或偏难选的气煤、要求出一种中间产品或要求出一部分低灰分精煤供炼焦配煤,其余选后煤进行分级作动力煤时可采用此流程。

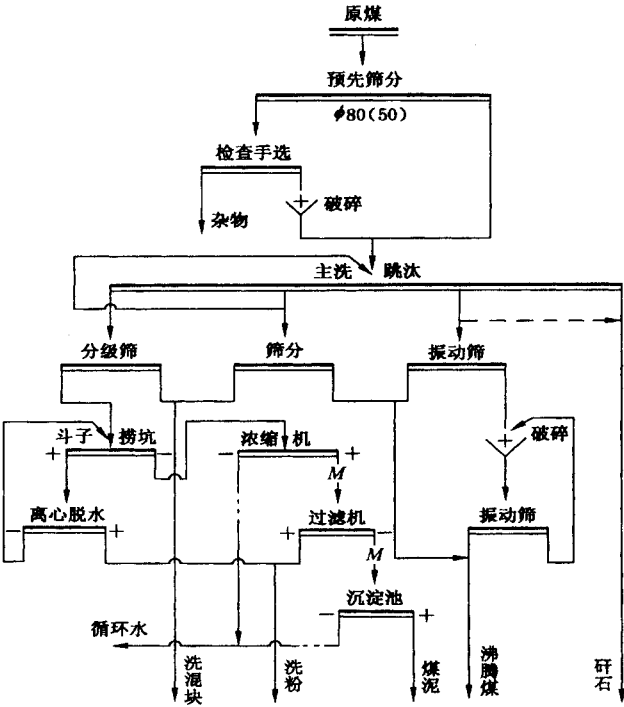


图 6-4-4 混合跳汰选工艺流程

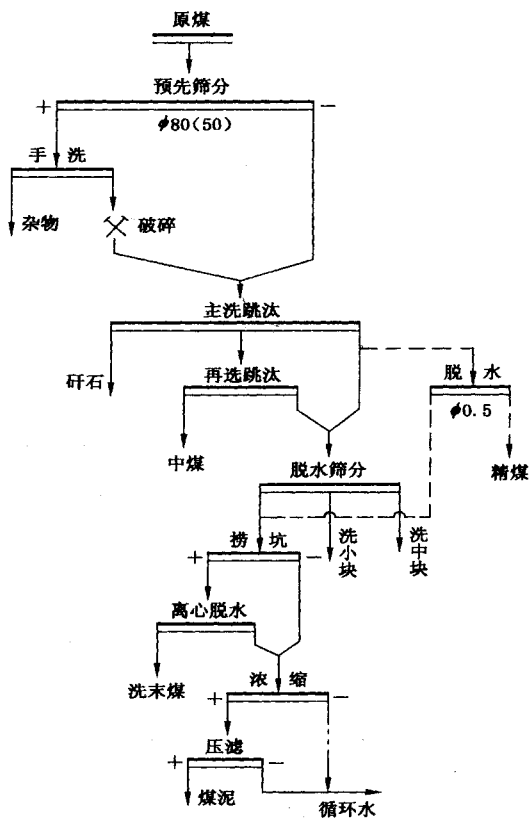


图 6-4-5 跳汰选工艺流程

第五章 褐煤的洗选

第一节 褐煤的特性

褐煤是炭化程度较低的煤,其特点是发热量低,水分大,挥发分高($>40\%$),含游离腐植酸,在空气中易风化破碎成小块,燃点低(约为 270°C),贮存时间超过两个月就极易发火,且堆放高度不宜超过 2.0 米。褐煤的主要用途是炼油、气化、动力用煤及民用。按着生成的地质年代不同,褐煤又可分为年青褐煤及老年褐煤两种。我国目前只有老年褐煤的洗煤厂(平庄西露天洗煤厂)。

褐煤中的矸石多数易溶或碎散泥化。唐山煤炭研究所曾对平庄西露天煤矸石进行实验室试验,试验资料表明,粒度为 13 ~ 25 毫米的矸石浸水三分钟后,泥化达 10 ~ 50%,其中以砂岩及炭质泥岩最严重。和褐煤本身一样,由于矸石生成年代较短,石化程度浅,岩石的胶结程度不牢固,所以矸石遇水易泥化。不同种类的矸石,因其胶结物成分不同,泥化的程度也不同。

褐煤中的矸石在空气中暴露一定时间后,一般泥化现象将加重,其严重性也随矸石种类的不同而异。试验证明,炭质泥岩在空气中暴露四个月后,泥化程度由原来的 24.2% 增加到 49%,几乎增加一倍。其次,矸石的水分大时,其泥化程度增大。这可能是由于这些水分较高的矸石在空气中失水后形成裂隙,从而促使矸石的风化碎裂。矸石遇水后也容易泥化。

矸石泥化不但会污染洗后产品,而且由于存在大量的细粒泥化物,又给选煤厂的煤

泥水处理造成困难。

由于褐煤易风化、泥化,因此,褐煤试样的筛分、浮沉试验操作方法应不同于其他牌号的煤炭。这是因为褐煤的水分高,即使在常温下其水分也会很快逸散,失去水分后煤块碎裂,造成试样的重量误差。在矸石与水或重液接触过程中,矸石发生泥化,产生细泥,如不及时收集起来,也会造成试样的重量误差。由于褐煤表面有裂隙,遇水后产生吸附作用而吸收水分,导致煤在重液中的比重增加。试验表明,当褐煤浮沉试验是由高比重开始逐渐到底比重时,所得到的低比重试样重量要比浮沉试验由低比重开始逐渐到高比重时所得到的低比重含量小。这是因为在前一个操作方法中,低比重物料在重液中停留时间较长,吸水较多,比重增加。

根据以上特点,褐煤在筛分、浮沉试验时应注意以下三个问题:

(1)为了尽可能地防止试样水分蒸发,最好在室内筛分,并应在较短的时间内完成筛分、浮沉试验工作。

(2)为了减少矸石在浮沉试验中的泥化现象,浮沉试样应先从高比重级(如 1.8 比重级)起浮,先分出矸石,然后再从低比重级逐渐向高比重级进行浮沉。

(3)浮沉试验中的煤泥,应做如下处理:

褐煤易碎,原生煤泥量较大,可在浮沉前先筛分出 - 0.5 毫米级干煤泥;

浮沉前用水冲洗附着在试样表面上的煤泥,并汇集在容器中沉淀收集之;

在浮沉过程中,比重液中的泥化物一般在 1.8 比重液中沉淀收集。

第二节 褐煤洗选加工原则

由于褐煤具有易风化,浸水后风化更快以及矸石易溶、然后碎散泥化等特点,所以,在能够筛分出干粉时,可以用重介斜轮分选机选除大于 25 毫米粒级中的矸石。如果煤湿,难于预先筛分分级,而且含矸率又高时,也可以将洗选下限提高到 50 毫米,但处理量必须能达到斜轮分选机的要求。当筛下粉煤灰分较高时,可根据具体情况用跳汰机洗选筛余粉煤。含矸率和灰分都低的褐煤,如果没有特殊要求应尽量不洗。

第三节 褐煤洗选加工的实例

平庄矿务局西露天矿洗煤厂设计能力为选后商品煤 150 万吨/年,入选毛煤 270 万吨/年。该厂入选原煤为平庄西露天矿生产的毛煤,煤质牌号为老年褐煤。西露天矿共三个煤层,目前剥采的为—、三层。一层煤厚,层内夹石较少,而且纯煤灰分较低,平均为 16.71%。三层煤薄,层内夹石较多,纯煤灰分也高于一层,平均为 23.44%。

采用 4 立方米单斗电铲采煤,由于混入夹石层和顶底板岩石,使毛煤灰分增高,而且波动很大。一层煤毛煤的灰分波动范围 15~80%,平均为 30~40%,三层煤毛煤灰分波动范围 32~80%,平均为 50~60%。煤炭产品主要供电厂做发电燃料。电厂规定其最低发热量为 3170 大卡/公斤,折合毛煤灰分为 32%。因此,毛煤灰分小于 32%的为优质煤,灰分大于 32%的为劣质煤。+50 毫米的优质煤采用重介拣矸,分选出大块销售;—50 毫米的优质煤不洗选,直接销售给电厂使用。劣质煤体积含煤率在 25%以上的送选煤厂处理,含煤率 25%以下的劣质煤则送往排土场拣煤线,人工拣选。

一、平庄西露天矿毛煤的特性

(一)毛煤筛分特征(见表 6-5-1)。

表 6-5-1 平庄西露天矿毛煤的筛分粒度组成

粒度(毫米)	优质煤		劣质煤	
	$\gamma(\%)$	$A^{\#}(\%)$	$\gamma(\%)$	$A^{\#}(\%)$
+100			20.89	66.74
100~50			16.18	58.21
+50 计	36.83	18.50	37.07	
50~25	16.59	17.17	17.29	50.46
25~13	14.32	18.44	13.56	49.82
13~6	14.26	23.56	9.90	52.19
6~3	2.42	30.10	7.06	58.38
3~1	10.68	31.78	9.13	65.56

粒度(毫米)	优质煤		劣质煤	
	$\gamma(\%)$	$A^{\#}(\%)$	$\gamma(\%)$	$A^{\#}(\%)$
1 ~ 0	4.9	41.23	5.99	69.47
合 计	100.00	21.81	100.00	58.23

可见,毛煤中大块较多,大块和粉煤灰分都较高, – 50 毫米粒级随着粒度的减小灰分越高,1 ~ 0 毫米粒级的灰分高达 41.23%。

(二)浮沉特征(见表 6 – 5 – 2)

表 6 – 5 – 2 平庄西露天矿毛煤的浮沉组成

比 重	一层优质煤		一层劣质煤		三层劣质煤	
	300 ~ 1 毫米粒级		300 ~ 1 毫米粒级		300 ~ 1 毫米粒级	
	$\gamma(\%)$	$A^{\#}(\%)$	$\gamma(\%)$	$A^{\#}(\%)$	$\gamma(\%)$	$A^{\#}(\%)$
– 1.4	81.77	10.98	61.78	11.78	30.44	15.33
1.4 ~ 1.5	4.15	27.76	5.35	28.89	9.87	28.27
1.5 ~ 1.6	2.27	36.38	3.28	36.77	4.32	41.45
1.6 ~ 1.7	1.27	47.58	2.54	46.87	3.65	53.97
1.7 ~ 1.8	3.24	59.21	3.05	58.50	6.83	66.94
1.8 ~ 1.9	2.95	62.50	4.07	66.59	4.84	73.42
+ 1.9	3.99	70.98	19.93	81.13	40.05	86.54
小计	100.00	18.25	100.00	31.88	100.00	54.00
代煤泥小计	97.82	18.25	92.92	31.88	97.30	54.00
煤泥	2.18	47.48	7.08	71.50	2.70	77.85
合计	100.00	18.41	100.00	34.79	100.00	54.65
– 1.8	93.06	14.59	76.00	17.11	55.11	28.65
+ 1.8	6.94	67.28	24.00	78.66	48.89	85.13
1.5 ~ 1.8	6.78	49.39	8.87	47.13	14.80	56.29

从表 6 – 5 – 2 可见,平庄西露天矿生产的原煤是属于易洗煤。但是,由于露天矿毛煤粒度大,质量波动大,1 ~ 0 毫米粒级的灰分高,矸石易碎且遇水泥化严重,煤、矸比重差别小,有的夹石质地疏松,能在 1.7 ~ 1.8 的比重中浮起,所以容易污染精煤。这些,都给

洗选增加很多困难。

二、平庄西露天矿选煤厂工艺流程

(一) 工艺流程图(见图 6-5-1)

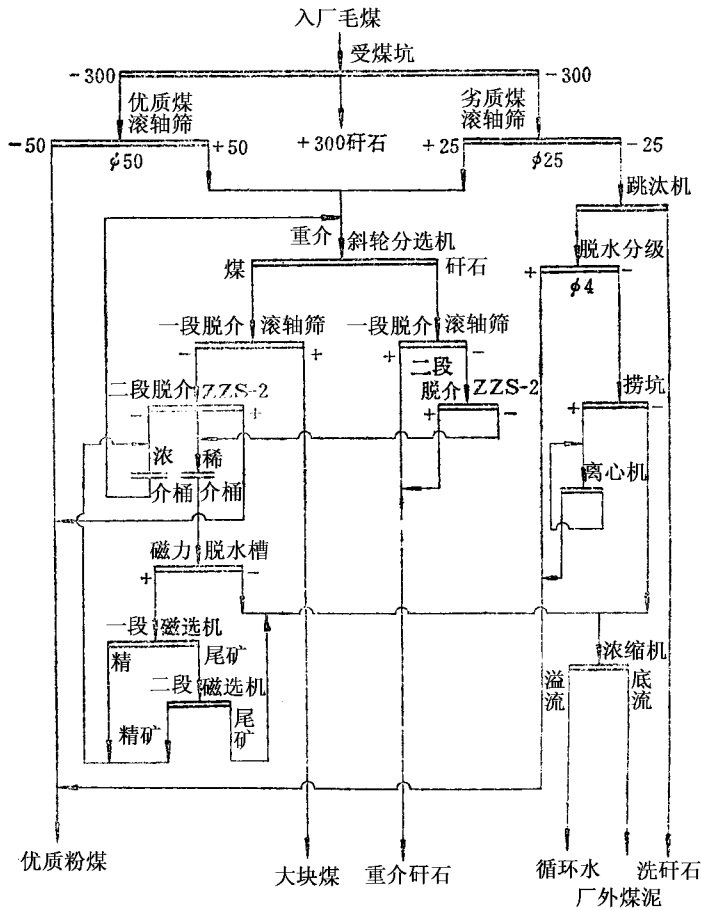


图 6-5-1 平庄西露天选煤厂工艺流程

(二) 原煤分级

原煤用滚轴筛分级。优质煤分级粒度为 50 毫米,劣质煤分级粒度为 25 毫米。实践证明,滚轴筛结构坚固,作为露天矿原煤分级设备是比较可靠的。当原煤水分较高时,以 25 毫米为分级粒度的筛分效果极差,最好采用两段分级,第一段用 50 毫米筛孔的滚轴筛,第二段用振动筛。

(三) 块煤重介分选

给入重介斜轮分选机的粒度为 25 ~ 300 毫米,分选比重为 1.8,只有主洗没有再洗。

主洗采用两台 2 米斜轮分选机、布置成双系统，一套工作，一套检修、备用。

重介分选入选原煤与产物的筛分组成和入选原煤的浮沉组成如表 6－5－3、6－5－4 所示。

表 6－5－3 重介分选入选原煤和产物的筛分组成

粒度(毫米)	入 料		精 煤		矸 石	
	$\gamma(\%)$	$A^*(\%)$	$\gamma(\%)$	$A^*(\%)$	$\gamma(\%)$	$A^*(\%)$
+ 100	62.26	45.13	59.62	19.02	48.70	84.41
100 ~ 50	25.15	39.20	27.42	16.59	25.47	86.83
50 ~ 25	4.68	36.37	6.34	22.02	7.87	87.56
25 ~ 13	2.14	45.05	2.63	21.89	3.81	86.85
13 ~ 6	1.33	49.68	1.22	21.22	2.73	87.81
6 ~ 3	1.09	55.09	0.81	27.94	2.33	87.23
3 ~ 1	1.86	64.41	1.12	35.58	4.43	87.68
1 ~ 0	1.49	76.44	0.84	65.17	0.66	89.26
合 计	100.00	44.22	100.00	19.29	100.00	85.80

表 6－5－4 重介分选入选原煤的浮沉组成

比 重	浮 煤			浮煤累计		
	$\gamma(\%)$	$A^*(\%)$	$\gamma \times A(\%)$	$\Sigma\gamma(\%)$	$\Sigma\gamma \cdot A(\%)$	$A^*(\%)$
- 1.4	50.00	10.94	547	50.00	547	10.94
1.4 ~ 1.5	5.87	26.54	155,7898	55.87	720,7898	12.58
1.5 ~ 1.7	3.12	46.13	143,9256	58.99	846,7154	14.35
1.7 ~ 1.8	0.92	65.13	59,9196	59.91	906,6350	15.13
+ 1.8	40.09	86.67	3474,6003	100	4381,2353	43.81
合 计	100.00	43.81	4381,2353			

从重介斜轮分选机各产物的筛分组成可以看出，+ 6 毫米的各粒级精煤灰分均较低，洗矸灰分均较高，说明对 + 6 毫米粒级的分选效果较好，但是 - 6 毫米粒级的分选效果较差。这说明在其他条件合适时，重介斜轮分选机的洗选下降可以达到 6 毫米。

平庄西露天矿历年大块、中块产品的灰分和限下率见表 6－5－5 和 6－5－6，重介矸

石含煤情况如表 6-5-7 所示。

表 6-5-5 历年块煤灰分

<div>年度 品种</div>	1973 年	1974 年	1975 年	1976 年	1977 年	1978 年
大块	16.01	15.73	15.46	16.48	18.07	16.65
中块	—	—	—	—	—	19.07

表 6-5-6 历年块煤跟下率

<div>年度 品种</div>	1973 年	1974 年	1975 年	1976 年	1977 年	1978 年
大块	16.63	18.52	18.15	17.35	—	11.72
中块	—	—	—	—	—	22.52

表 6-5-7 重介矽石含煤情况

<div>年度 品种</div>	1973 年	1974 年	1975 年	1976 年	1977 年	1978 年
矽石含煤(%)	1.23	0.43	1.20	2.21	1.69	0.45

注 有部分矽石质地疏松,比重小于 1.8,在用 1.8 比重液检查时浮起,使矽石含煤出现假象。

用重介斜轮分选机分选平庄西露天矿 300~25 毫米粒级原煤,其洗选结果表明,褐煤中的块煤用重介分选比较适宜,因为它的分选速度快,矽石可以及时排出,从而减少了矽石的泥化程度,另外,由于褐煤的煤与夹矽比重差别较小,用重介分选可提高产品质量。但应该指出,当分级粒度为 25 毫米时,湿煤筛分效率急剧恶化,使重介入选原料的含粉率加大,增加了工作介质粘度,从而影响分选效果,使精煤和矽石都受到严重污染,脱介筛跑介质,介耗也明显增加。

用重介斜轮分选机分选褐煤时,由于矽石遇水后便开始泥化,尽管其排弃矽石比较及时,但有些矽石表面已经泥化,这种泥化的矽石粘附在分选机槽底,而且越粘越多,越坚实,如不及时清理,将使分选槽有效容积越来越小,从而影响分选机的处理量。尤其是粘附在斜提升轮圆筛网与外壳之间的细粒矽石,越粘越多,最后将两者间的缝隙挤死,平重时可将筛网挤坏。因此,在圆筛网外缘应安装刮刀,以及时清除细粒矽石。

(四)介质回收

平庄西露天选煤厂块煤重介选的加重剂是采用弓长岭铁矿的磁选精矿,其粒度组成如表 6-5-8 所示。

表 6－5－8 弓长岭铁矿磁选精矿的粒度组成

粒度(网目)	+ 20	20 ~ 40	40 ~ 80	80 ~ 120	120 ~ 160	160 ~ 200	－ 200	合计
出率(%)	0.05	0.34	2.01	12.12	13.92	8.41	63.15	100

可见,加重剂的粒度是比较粗的。

弓长岭矿磁铁精矿粉的磁性物含量为 95.54%,真比重为 4.35。

由于重介斜轮分选机的入料粒度上限大,大块含量多,所以精煤和矸石均采用两段脱介。第一段用筛孔为 50 毫米的滚轴筛,第二段用筛孔为 1 毫米的振动筛。精煤脱介筛下分别为合格悬浮液和稀悬浮液,矸石脱介筛筛下全部为稀悬浮液。

稀悬浮液净化回收系统分为三段,第一段用直径为 2 米的磁力脱小槽,第二段和第三段用 CKT750×1800 的永磁逆流磁选机,磁选机尾矿入耙式浓缩机。

(五)末煤跳汰

跳汰机入洗－25 毫米的劣质煤。由于露天矿的生产特点,加之选前没有配煤措施,致使这部分入选原煤的灰分波动很大,最高达 80%,最低 20%,平均为 40～55%。特别是 1～0 毫米级的灰分比全级灰分高很多,而这部分小颗粒在跳汰机中分选效果很差,易污染精煤。为保证精煤质量,必须加大透筛排料,这样又往往造成矸石含煤增加,因此洗煤操作十分困难。

跳汰工艺系统只有主洗没有再洗,分选比重为 1.8,出精煤和矸石两种产品。由于原煤含矸高,洗煤机一、二段斗子物料全部作为矸石。跳汰机溢流精煤用筛子脱水,筛下水入斗子捞坑,捞坑斗子提升物再经筛子脱水,其筛上物与跳汰精煤混合。

平庄西露天矿选煤厂使用的跳汰机为自制 16 平方米筛下气室跳汰机,与其他跳汰机不同的是第一段为三个风室,第二段为两个风室。跳汰精煤灰分为 20% 左右。跳汰机入选原煤及产品的浮沉组成如表 6－5－9 所示。

表 6－5－9 跳汰入料及产物的浮沉组成

比重	入料		精煤		一段矸石		二段矸石		综合矸石		分配率(%)	
	γ(%)	A [#] (%)	γ(%)	A [#] (%)	γ(%)	A [#] (%)	γ(%)	A [#] (%)	γ(%)	A [#] (%)	精煤	矸石
－ 1.4	62.55	11.16	85.98	10.39	1.01	19.39	8.78	14.24	2.44	15.99	98.83	1.17
1.4 ~ 1.5	4.83	22.42	8.02	23.92	0.96	20.21	9.73	21.16	2.56	20.87	88.30	11.70
1.5 ~ 1.6	2.43	37.01	1.65	36.48	0.77	28.23	4.86	32.09	1.52	30.49	71.05	28.95
1.6 ~ 1.7	1.77	41.52	0.72	27.29	0.96	44.26	3.45	48.94	1.41	46.42	54.85	45.15

比重	入料		精煤		一段矸石		二段矸石		综合矸石		分配率(%)	
	γ(%)	A [±] (%)	γ(%)	A [±] (%)	γ(%)	A [±] (%)	γ(%)	A [±] (%)	γ(%)	A [±] (%)	精煤	矸石
1.7~1.8	1.77	61.39	0.66	57.28	2.29	70.87	5.50	62.27	2.88	67.85	35.60	64.40
+1.8	26.65	82.36	2.97	68.97	94.01	82.53	67.68	77.62	89.19	81.85	7.38	92.62
合 计	100.00	32.73	100.00	14.22	100.00	80.24	100.00	62.52	100.00	77.02	—	—

从表 6-5-9 可见,跳汰精煤灰分比较低,尚能令人满意。但是,矸石中煤的损失很大,一段斗子矸石中-1.8 比重级含量为 5.99%,二段斗子矸石中-1.8 比重级含量高达 32.23%。可以认为,二段斗子物料有回洗或再洗的必要。若再进一步分析二段斗子物料,可知其中-13 毫米占 81.77%,灰分为 55.43%,含煤量更多。这表明,跳汰机分选小粒度物料的效率较差。

应该指出,平庄西露天矿选煤厂把跳汰机第一段加长,用三个风室的目的是想使矸石在第一段尽量分选完全,并从第一段斗子排出。但是,实际上由于矸石多,且遇水后发生泥化,变粘,走动得慢,影响了第一段的处理量;跳汰机二段斗子不回洗虽然可增加二段处理量,但却使其洗选效果变差。可以得出结论,用这种跳汰机分选含矸高,矸石遇水后易于泥化的褐煤,是不适宜的。

(六)洗矸石的排弃

洗矸石的排弃是褐煤洗选的一大难题。褐煤的矸石多为灰白色泥质页岩、煤质页岩、砂岩和砂砾岩,其特点是易碎和遇水泥化严重。重介斜轮排出的大块矸石已无棱角,跳汰机排除的末矸石呈粘稠状,堆积角小,有时还具有轻微的流动性。跳汰洗选前、后矸石粒度的变化情况见表 6-5-10。

表 6-5-10 跳汰洗选前、后矸石的粒度组成

粒度(毫米)	50~25	25~13	13~6	6~3	3~1	计
跳汰前粒度组成(%)	28.66	21.20	24.12	20.37	5.65	100
跳汰后粒度组成(%)	17.48	17.48	13.74	31.02	20.28	100

从表 6-5-10 可知,洗后矸石的细粒级含量有明显增加,这些矸石易粘仓、粘溜槽、粘皮带和粘车帮、车底。洗矸石装仓后还会进一步粉化,并粘结在一起,造成从仓口放不出来,最后只好往煤仓中加入大量的水冲出来。大块矸石如果装入仓内的时间短,还是可以排放出来的。

设计排矸系统应注意保证矸石运输的畅通,矸石溜槽的倾角要比一般溜槽大。此

外,不要设计大容量的贮存仓,应力求避免矸石在仓中停留时间过长。

由于洗矸石遇水泥化,故可用移动皮带机直接将其装入自翻车内,然后运至舍场排弃。为了防止冬季冻车,自翻车装矸线需建暖棚,而且矸石排弃地点不宜太远。

平庄西露天矿选煤厂的洗矸石可以做为制砖的原料。遇有这种情况时,应同时考虑洗矸的排弃与砖厂的建设。

洗矸石的运输皮带应比一般的宽。矸石溜槽不仅倾角要大,还应尽可能地减少拐弯的次数。装洗矸石的自翻车要经常清扫,否则越粘越多,减少有效容积。

在新设计褐煤洗煤厂时,如果其洗矸石易于泥化,则可考虑将小粒度矸石与出厂高灰煤泥一起排入尾矿坝。

(七)煤泥水处理

平庄褐煤 1~0 毫米粒级灰分高,再加之矸石遇水后泥化严重,造成煤泥量增加,而且煤泥的灰分也高。细粒煤泥的灰分随入厂毛煤的灰分呈正比例波动。 - 0.074 毫米粒级灰分一般都在 75% 以上。

煤泥水处理流程见图 6-5-2。

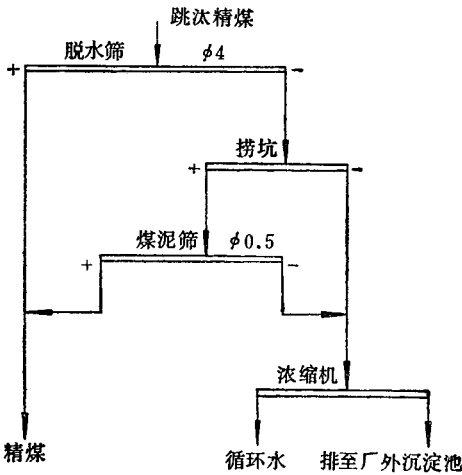


图 6-5-2 平庄西露天选煤厂煤泥处理流程

浓缩机直径为 15 米,面积 170 平方米,每小时给入的煤泥水量为 500 立方米。浓缩机的工作情况见表 6-5-11。

浓缩机底流灰分比入料灰分下降 5%,这主要是因为一部分细泥随溢流跑掉了。底流中 + 0.5 毫米级的含量 12%,应予回收。这部分大颗粒主要来自磁选机尾矿和捞坑溢流,应严格控制。

表 6－5－11 浓缩机的工作情况

粒度	入料		底流		溢流	
	$\gamma(\%)$	$A\%(\%)$	$\gamma(\%)$	$A\%(\%)$	$\gamma(\%)$	$A\%(\%)$
+ 1(毫米)	3.56	23.12	7.5	17.99		
1 ~ 0.5(毫米)	1.16	22.76	4.87	36.30		
0.5(毫米) ~ 80(目)	4.81	27.64	22.08	56.68	0.81	37.48
80 ~ 120(目)	4.63	41.33	12.76	63.82	0.81	35.50
120 ~ 200(目)	6.41	51.77	5.78	62.14	1.62	34.54
– 200(目)	7943	77.49	47.01	78.88	96.76	79.17
合计	100	69.20	100	64.45	100	77.76
固体含量(克/升)	46.6		157.1		19.7	

平庄西露天选煤厂历年煤泥产率和灰分见表 6－5－12。

表 6－5－12 历年煤泥产率和灰分

年度	1973	1974	1975	1976	1977	1978
产率(%)	3.58	2.58	3.17	4.27	5.37	4.79
灰分(%)	70.48	67.59	66.16	69.60	71.26	68.08

第六章 高硫煤的洗选脱硫

我国的高硫煤蕴藏量很多,据统计东北地区大部分是低硫煤;西南地区大部分为高硫煤,南方煤田基本上属高硫煤,个别煤田含硫高达 10% 以上。目前,我国所采煤炭中约 1/6 为高硫煤。

高硫动力煤的燃烧,对大气造成严重的污染;炼焦煤中过高的硫分,不仅降低焦炭的质量,又对生铁产量及质量造成严重的影响。另外,硫是化学工业的重要原料,国内需求很大。因此,煤炭的脱硫和回收有着重要的现实意义。

第一节 煤中硫的形态分布

煤中的硫分为有机硫和无机硫。有机硫与煤的芳香烃或侧链基相化合,构成不同类型的含硫官能团,主要成分有 硫醇、硫醚及各种有机二硫化物。

无机硫主要以二硫化铁形式夹杂在煤中,还有少量的硫酸盐。二硫化物以小的晶体分散在煤质中,主要有两种结晶形式:黄铁矿和白铁矿。煤中黄铁矿的形态和分布变化很大,有三种形式:(1)单体黄铁矿(2)与有机质结合在一起的黄铁矿(3)浸染在有机质中的黄铁矿。

煤中硫的形态与分布,对脱硫效果有很大的影响。一般讲,脱有机硫很难,而无机硫相对较容易;无机硫中又以黄铁矿以单体分布形态最易脱除。

据统计分析,我国的高硫煤中,约有 2/3 是黄铁矿硫,这些黄铁矿硫经过洗选后可以

除去 50% ~ 70%。

第二节 煤的脱硫方法

煤的脱硫技术包括煤的燃烧前(洗选)脱硫、燃烧中(喷钙剂等吸附剂)脱硫、燃烧后(烟气)脱硫。

煤的燃前脱硫最为经济、有效。脱硫方法有三种:①物理脱硫法,如重力脱硫法、浮选脱硫法、选择性絮凝、造粒分选、高梯度磁选、电选法等。②化学脱硫法主要有氧化、还原法、酸碱浸提法等。③生物(细菌)脱硫法。生物脱硫法,不仅能脱无机硫,也能脱有机硫。但在实际生产中常采用跳汰、重介、摇床、水介质旋流器、螺旋溜槽和浮选等脱硫。另外,还有近几年针对细粒级煤和煤中黄铁矿呈细粒嵌布的高硫难选煤,开发研究的高梯度磁选脱硫技术。

第三节 煤炭洗选脱硫技术

一、跳汰法选煤脱硫

跳汰机法是通用的和经济的选煤方法。主要用于粗粒的精选,入洗高硫煤时要根据煤中黄铁矿单体结核的解离程度来确定处理粒度的范围,一般以 20mm ~ 0.2mm 为宜。

跳汰选煤是利用煤与矸在垂直上、下交替的水流中,按密度分选的。单体的黄铁矿结核相对密度较大,在跳汰机中分选效率相当好。从煤、岩中选硫常用的跳汰有 梯形跳汰机,该机具有结构简单、维修方便、运行可靠、生产能力大的特点。

二、重介质选煤脱硫

对高硫难选煤,重介质选煤是最先进、分选精度最高的脱硫方法。用重介选煤可以得到低灰低硫的精煤产品。专用于脱硫的设备主要有 重介质旋流器和水介质旋流器。

旋流器具有结构简单、易于制造、占地面积小、生产能力大、分级分选效果好等优点。

但常规的圆锥旋流器存在易磨损、生产指标不稳定、动耗较大等缺点。

近年来,国内外新研制了一种圆筒型重介旋流器,用于处理高硫难选煤效果十分理想。如图 6-6-1 为新型圆筒型旋流器示意图。

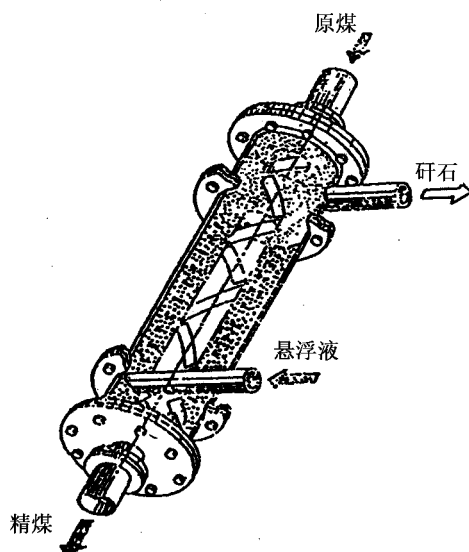


图 6-6-1 新型圆筒型旋流器

这种圆筒型旋流器与传统圆锥旋流器所不同的是:分选物料与悬浮液分开给入旋流器,物料属无压给料,物料粉碎少,设备磨损轻,入料上限可达 50mm,有效分选下限可到 0.3mm,旋流器本身无运动部件,体积小,重量轻,处理量大,分选精度高,使用寿命长,价格便宜。

我国于 1985 年由中国矿业大学研制的圆筒型重介旋流器 $\phi 300\text{mm}$,在分选 13mm ~ 0.5 mm 高硫煤时,脱硫效果十分显著 ($E_p = 0.0175 \sim 0.030$),试验用原煤全硫分 3% 以上,精煤硫分降到 1.2% ~ 1.3%。目前, $\phi 500\text{mm}$ 更大型的旋流器正在研制当中。

三、摇床脱硫

摇床是脱硫工艺的重要设备之一。它的特点是富矿比高,可达 1000 倍以上,常用它获得最终精矿,同时又可分出最终尾矿。适宜于 3mm 以下粒度的分选。矿粒在床面上成扇形分布,根据需要能接取多种产品,有利于对矿物进行分别处理和提高回收率。缺点是单位面积处理能力低,最好将摇床用于处理跳汰机、螺旋选矿机或溜槽分选后的粗精矿。

四、浮选脱硫

重力选矿只能脱除粗粒煤($>0.3\text{mm}$)中的无机硫分,使用摇床和旋流器等脱硫虽能取得一定的效果,但对大量存在的嵌布粒度极细的黄铁矿硫却不能用重力法脱除,只能用浮选排除。

浮选是根据物料表面物理化学性质的差异,使煤和矸石分离。在利用浮选脱硫时,也是利用煤与黄铁矿表面性质的差异来加以区分的,所不同的是,黄铁矿的可浮性和煤相似,通常采用粗选—精矿两段浮选法,脱硫效果不太好,一般脱硫率不到 50%。美国经研究后提出了煤—黄铁矿反浮选法来脱除煤中的黄铁矿,即第一段为常规浮选,浮出精煤,其含硫量较高。第二段为反浮选、抑制精煤,浮出黄铁矿。此法脱硫率可达 44%~65%。

五、螺旋分选机

螺旋分选机主要用于 $5\text{mm} \sim 0.074\text{mm}$ 粉煤的分选,是摇床和水。介质旋流器的理想替代产品,不仅完全可以代替浮选选无烟煤,而且还可以部分代替浮选选焦、气、肥煤,在分选过程中进行脱灰、脱硫,代替药剂,使煤泥予以回收,对增加精煤产率,降低选煤成本,增加经济效益有很大使用价值。

该机无动力,无运转部件,无噪音,结构简单,整体设计合理,使用和维护容易,有效处理粒度为 $1\text{mm} \sim 0.1\text{mm}$ 。

六、细粒煤高梯度磁选脱硫

细粒煤高梯度磁选(High Gradient Magnetic Separation 简称 HGMS)技术是近年来发展起来的煤炭脱硫新技术,它利用煤与煤中黄铁矿的磁性质的差异,将煤与黄铁矿分离,从而消除了浮选过程中因煤中黄铁矿表面具有一定的疏水性导致其与煤分离的困难影响,脱硫效果比浮选更好。

采用 HGMS 技术,可以达到很高的脱硫效率,目前 HGMS 工业样机正在研制当中,该技术应用于工业生产尚为时过早。一方面是设备本身问题,如投资较大;另一方面是脱水问题,为充分解离煤中的黄铁矿、需将煤磨细到小于 0.074mm 进行分选,细泥的脱水困难。干法分选 HGMS 技术,没有脱水问题,是 HGMS 的发展方向。

第四节 脱硫的选煤工艺流程

以下介绍几种脱硫的工艺流程,供选择参考。

一、跳汰、旋流器、摇床、浮选联合脱硫流程

跳汰、旋流器、摇床、浮选联合脱硫流程,见图 6-6-2。

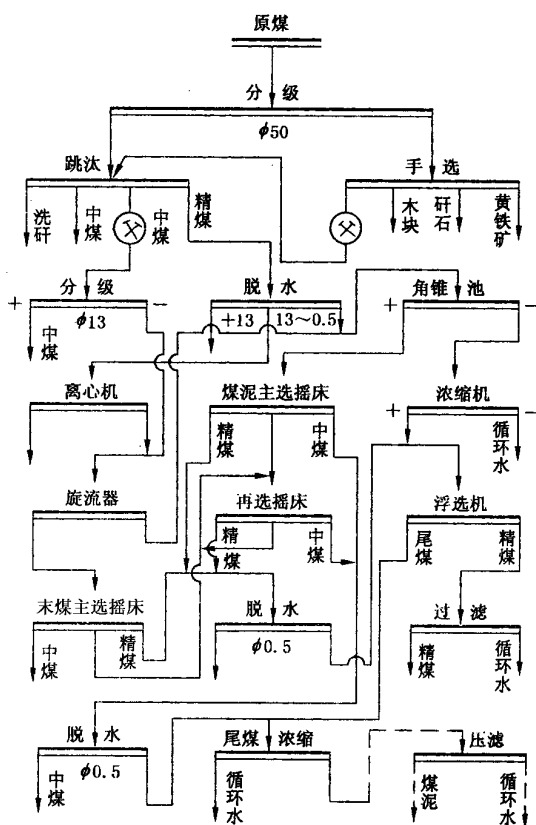


图 6-6-2 跳汰、旋流器、摇床、浮选联合脱硫流程

二、跳汰主选、跳汰与摇床联合流程

跳汰主选、跳汰与摇床联合流程,见图 6-6-3。

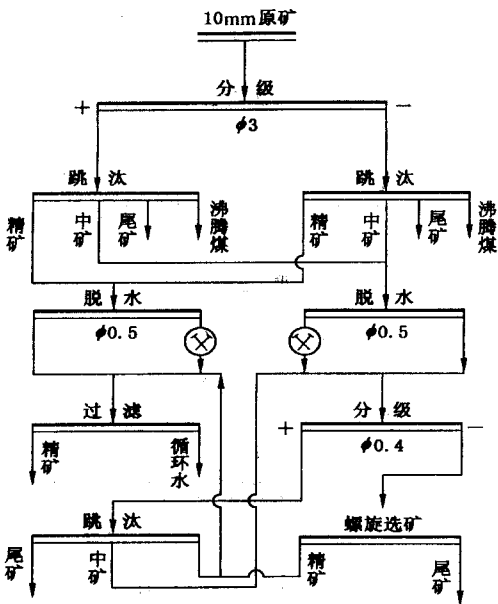


图 6-6-3 跳汰主选、跳汰与摇床联合流程

三、跳汰粗选、螺旋机细选流程

跳汰粗选、螺旋机细选流程,见图 6-6-4。

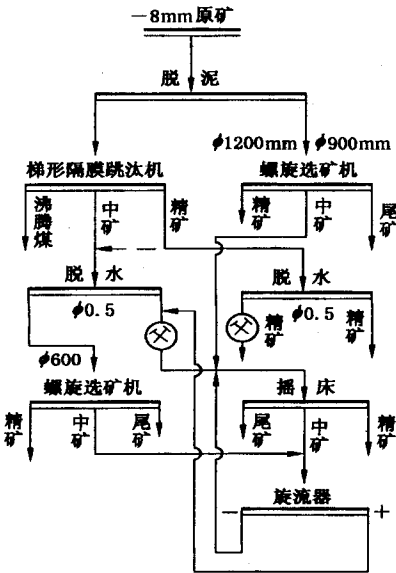


图 6-6-4 跳汰粗选、螺旋机细选流程

四、重介旋流器与螺旋选矿联合使用流程

重介旋流器与螺旋选矿联合使用流程,见图 6-6-5。

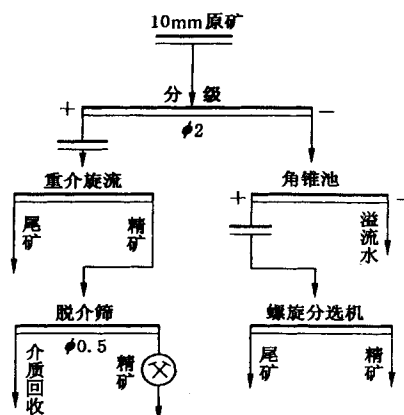


图 6-6-5 重介旋流器与螺旋选矿联合使用流程

五、洗煤机、跳汰机、摇床联合脱硫流程

洗煤机、跳汰机、摇床联合脱硫流程,见图 6-6-6。

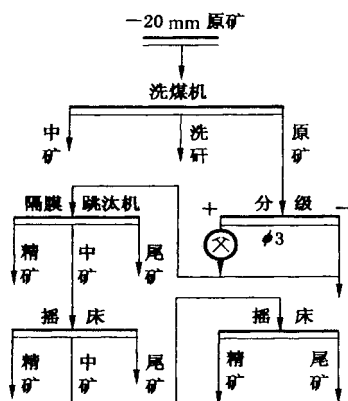


图 6-6-6 洗煤机、跳汰机、摇床联合脱硫流程

六、跳汰机、圆筒重介旋流器联合脱硫新工艺流程

跳汰机、圆筒重介旋流器联合脱硫新工艺流程,见图 6-6-7。

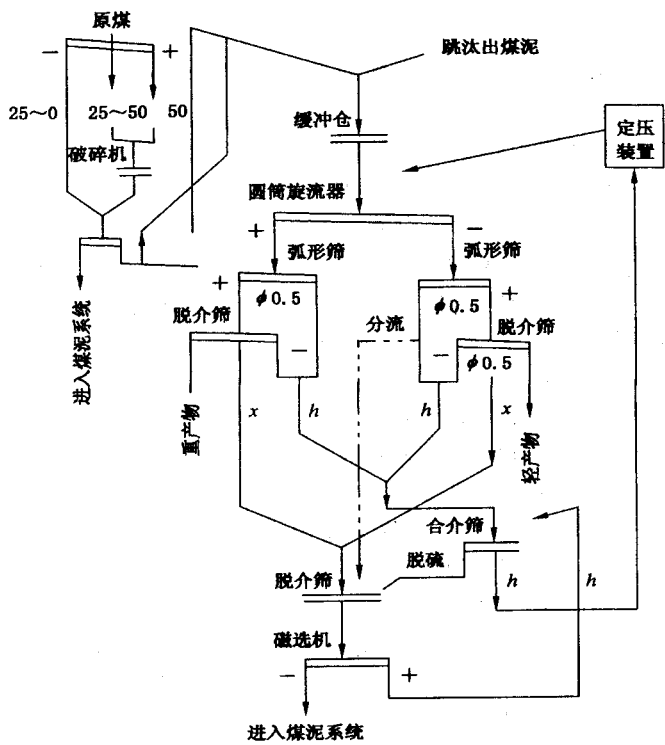


图 6-6-7 跳汰机、圆筒重介旋流器联合脱硫新工艺流程

第七章 无烟煤的分选

第一节 无烟煤的特点

无烟煤是变质程度最高的煤,它具有较高的含炭量和较低的挥发分,无粘性,煤的比重较大。我国的大多数无烟煤属于易选、低灰、中硫(或低硫),具有高熔点,高(或中)机械强度,热稳定性较好和发热量较高等特点。

无烟煤不仅是很好的民用燃料,而且可以做为动力用煤。无烟块煤可供军工、化肥和制各种炭素材料使用,也可作为合成氨煤气发生炉的原料。在冶金工业中,无烟煤粉是烧结矿石的不可缺少的燃料,尤其是无烟煤粉还可供高炉喷吹代替焦炭。每生产一吨生铁喷吹 100 公斤无烟煤,可以代替 80 公斤焦炭,使每吨生铁成本下降 2~3 元。供高炉喷吹用的无烟煤粉的灰分应小于 15%。

我国主要无烟煤产品的质量如表 6-7-1 所示。

表 6-7-1 几个主要无烟煤产区和无烟煤的性质

产区 煤质	汝箕沟	晋城	阳泉	焦作	北京
灰分, A ^g (%)	8.5 ~ 18.5	13 ~ 22	17 ~ 23	15 ~ 25	15 ~ 23
挥发分, V ^r (%)	7 ~ 8	6 ~ 10	8 ~ 9.5	6.5 ~ 8	6.5 ~ 9
硫分, S _B (%)	0.3 ~ 0.4	0.4 ~ 1.2	0.5 ~ 1.5	0.4 ~ 0.6	0.2 ~ 0.4
发热量, Q _{DW} ^y (大卡/公斤)	6600 ~ 7300	6300 ~ 7200	5200 ~ 6700	5300 ~ 6600	5000 ~ 6300

第二节 无烟煤的洗选原则

- (1) 优质无烟煤,其灰分较低(如宁夏汝箕沟的无烟煤),不需要洗选加工即可满足用户要求。在这种情况下,一般只需根据用户要求,按粒度筛分分级。
- (2) 如果原煤中的粉煤灰分低,可以满足用户要求,但块煤灰分高时,应预先分级,将粉煤筛出直接供给用户,块煤进行洗选加工。此时应根据原煤粒度与灰分的关系及小筛分情况来确定分级粒度(洗选下限),一般为 13 毫米或 25 毫米。块煤最好用重介斜轮分选机分选。如果块煤量过少,也可以将其中的大块破碎后用跳汰分选。
- (3) 如果粉煤灰分高,不能满足用户要求,或因原煤水分大而无法预先分级时,可以全部入选,采用重介和跳汰联合流程。如果块煤量过少,宜采用大块破碎后全部跳汰分选。

第三节 无烟煤洗选实例

多年来鞍山钢铁公司一直用阳泉无烟煤粉做高炉喷吹用。由于其原煤灰分逐渐增高,使喷吹效果逐渐下降。为此,将阳泉无烟煤送灵山选煤厂洗选,洗选后阳泉无烟煤灰分由 25% 降为 15% 左右,使喷吹效果明显好转。

阳泉无烟煤的质量如表 6-7-2、6-7-3 和 6-7-4 所示。

表 6-7-2 原煤粒度组成

级别(毫米)	产率(%)	灰分(%)
+ 25	6.07	32.78
25 ~ 13	8.35	32.36
13 ~ 6	10.43	32.20
6 ~ 3	24.79	24.76
3 ~ 1	17.33	16.60

级别(毫米)	产率(%)	灰分(%)
1 ~ 0.5	12.91	15.81
– 0.5	20.12	17.77
合计	100	24.30

表 6 – 7 – 3 – 0.5 毫米级筛分组成

级别(目)	$\gamma(\%)$	$A^*(\%)$
+ 60	24	16.58
60 ~ 80	36	17.24
80 ~ 100	10	17.04
100 ~ 120	12	17.31
– 120	18	19.55
合计	100	17.49

由上述资料可见,阳泉无烟煤属于易选煤。在实际分选中,只需将其 + 1.8 比重级研石排弃,精煤灰分即可达到 14 ~ 15%。1978 年开始试洗时,曾选出精煤、中煤和洗矸三种产品,但中煤和洗矸的灰分均较高(分别为 73.18%和 74.85%)。因此,在 1979 年正式入洗阳泉无烟煤时,原煤除在入洗前仍通过检查性手选外,只经一次跳汰分选,选出精煤和洗矸两种产品,不再进行再洗、三洗和中煤破碎再选等作业。

阳泉无烟煤的煤泥含量较多,为了提高精煤的回收率,必须进行煤泥浮选,但部分粗粒煤泥可以不经浮选,直接脱水回收后掺入精煤。洗煤流程如图 6 – 7 – 1 所示。

跳汰机的单位面积处理能力为 10.2 ~ 11.8 吨/米·时 精煤产率在 80%左右 洗选效率达到 93.48%。浮选精煤灰分为 10.9 ~ 11.6%,产率在 90%左右。

供冶金工业使用的无烟洗精煤水分应达到 8% 以下。因为在用于炼铁厂高炉喷吹之前或在烧结厂团烧之前,需用球磨机将无烟煤磨成粉。如果精煤水分升高到 10 ~ 11%,则球磨机的单台处理能力将从 11 吨/时下降到 8 吨/时,而且,球磨机入料口易被堵塞,进而使球磨机温度升高,发生火花,甚至造成爆炸事故。

灵山选煤厂没有干燥设备,所以在气候不太冷的非冻结时期,只好将精煤落地自然风干,以降低其水分。在严寒季节,就无法继续生产了。

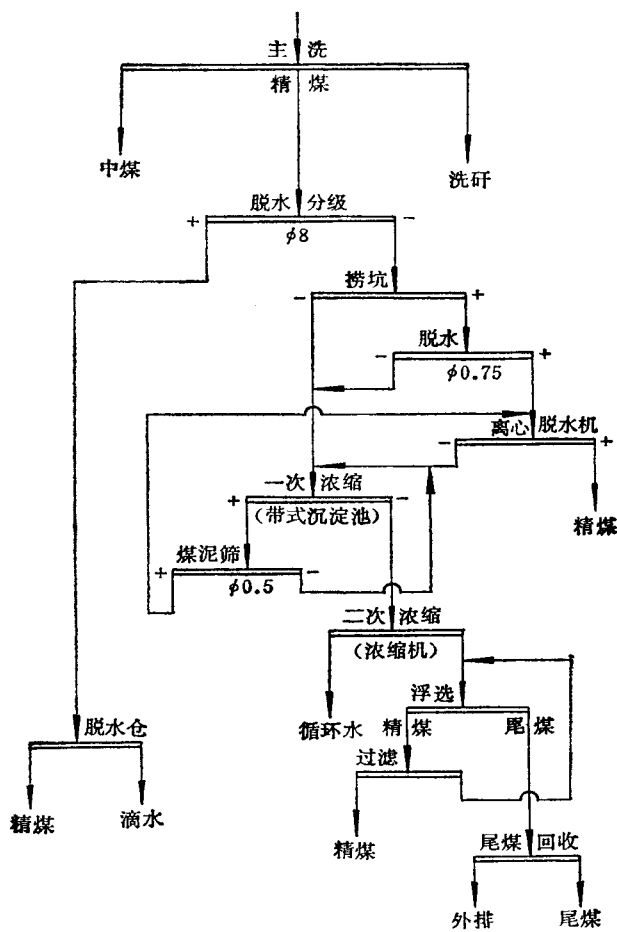


图 6-7-1 分选阳泉无烟煤的基本工艺流程

表 6-7-4 原煤及洗后产品的浮沉组成

浮沉比重	原煤		精煤		中煤		洗矸	
	占本级 (%)	灰分 (%)	占本级 (%)	灰分 (%)	占本级 (%)	灰分 (%)	占本级 (%)	灰分 (%)
- 1.25	1.09	1.99	0.26	3.87	—	—	—	—
1.25 ~ 1.3	2.67	3.41	0.59	2.31	—	—	—	—
1.3 ~ 1.4	49.50	5.91	53.63	6.40	—	—	—	—
1.4 ~ 1.5	15.79	14.59	26.27	13.92	0.16	10.08	—	—
1.5 ~ 1.6	5.19	26.80	7.08	26.75	0.47	27.75	—	—
1.6 ~ 1.8	4.60	41.59	5.69	38.37	0.76	36.80	0.68	34.68
1.8 ~ 2.6	2.52	54.28	2.24	53.56	0.97	54.49	1.15	58.82
+ 2.0	18.64	80.66	4.24	75.15	97.64	77.42	98.17	84.39
合计	100	25.06	100	15.59	100	76.54	100	83.78

第八章 动力煤选煤厂的低质燃料和矸石的利用

低质燃料和矸石的利用,也叫煤矸石的利用。准确地说,低质燃料是指在成煤过程中与煤层伴生的一种含碳量较低、比煤坚硬的黑灰色岩石(也叫煤质页岩)和少量煤炭的混合物。煤矸石系指煤质页岩。煤质页岩的重量比纯矸石轻,含有一定的碳,断口呈褐色,发热量一般可达到 1000 ~ 3000 大卡/公斤。燃烧后的低质燃料与煤质页岩的灰碴中,常含有氧化铝、二氧化硅和少量的氧化钛、氧化镁以及某些稀有金属。因此,低质燃料和煤质页岩除作为燃料外,还可以综合利用,从中提取多种产品。必须指出,纯矸石,例如砂砾岩、泥质页岩等并无燃烧价值。还有一种低质燃料,是由大部分不燃性矿物质和一部分煤炭组成。如选煤厂生产的灰分在 60 ~ 70% 的煤泥。过去,煤矿矿井和选煤厂排弃的矸石,由于其中含有可燃矿物质,经长期堆放往往自燃,并放出二氧化硫等有毒气体,污染空气。同时,可燃性矿物质在氧化过程中遇水,即成为酸性溶液,污染河水,危害农田生产。如果对这些低质燃料和煤中可燃性矿物质加以综合利用,则它的用处很多。

- (1) 作为低质燃料供沸腾锅炉使用,可节约煤炭;
- (2) 低质燃料焙烧后,生产化工产品,如生产结晶氯化铝、固体聚合铝等;
- (3) 生产矸石砖、矸石瓦和火山灰水泥等建筑材料;
- (4) 生产造型粉、造型砂,以此代替精密制造用的石英粉和石英砂;
- (5) 利用它制造煤气等。

南票矿务局选煤厂每年生产洗矸石约 50 万吨,其中发热量为 1500 ~ 2000 大卡/公斤的约占一半,可供全局沸腾炉使用,并从中提取多种化工原料和工业产品。通过计算,一吨沸腾炉燃料可创造价值近 200 元。

第一节 沸腾煤的生产

低质燃料和煤矸石得到利用的关键,是要解决燃烧问题。沸腾炉则是燃烧低质燃料煤矸石的一种新型锅炉。

在沸腾锅炉中,始终保持一个厚约 500 毫米,温度在 $900 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 的灼热料层,借助高压风力,使粒度小于 $6 \sim 8$ 毫米(最好是 6 毫米)的低质燃料在沸腾床的一定高度(800 ~ 1000 毫米)的范围内上下跳动翻腾。这时,燃料和空气充分混合,并保证燃料在沸腾床内停留较长的时间。因此,沸腾锅炉具有强化燃烧和强化传热的特点,使一般锅炉不利用的低质燃料能在沸腾炉中有效而稳定地燃烧。

一、沸腾炉对燃料的要求

(1)燃料的应用煤低位发热量在 $1700 \sim 2000$ 大卡/公斤,除褐煤外的灰分在 65% 左右的其他煤种的产品均可适用。

(2)原来燃料的粒度定为 $0 \sim 8$ 毫米。近年来的生产实践表明,适当降低燃料粒度(即降低到 $0 \sim 6$ 毫米),不但可以降低灰渣含碳量,而且也降低了风机的电耗。根据南票矿务局介绍的经验,燃料粒度 $0 \sim 10$ 毫米时,每小时蒸发量 10 吨的沸腾炉,需选用 8 ~ 10 型 75 千瓦的鼓风机,全风压 860 毫米水柱。燃料粒度降低到 $0 \sim 6$ 毫米以后,鼓风机全风压只用 500 ~ 600 毫米水柱即可,电耗也由原来的 75 千瓦降为 55 千瓦。

(3)必须尽量脱除沸腾燃料的外在水分。

二、沸腾煤原料的来源与加工

(1)将再洗跳汰机(或溜洗槽)生产的高灰分产品(或洗三号)。用筛孔为 8 毫米的分级筛分级,筛上物料用锤式破碎机或反击式破碎机破碎到 8 毫米以下,并同筛下 $0 \sim 8$ 毫米的物料混合。

(2)在一次跳汰流程中,以跳汰机第一段透筛物和二段重产物为原料,经筛分、破碎制成沸腾煤。如果其中泥质页岩含量多,为防止堵塞破碎机排料口,可在破碎时加水,然后脱泥得沸腾煤。

(3)用重介选矸石作沸腾煤原料时,应先将大于 200 毫米的矸石拣出,然后用颚式和

反击式破碎机破碎。但是,选后矸石必须是煤质页岩,或者是灰分较低的矸石。为使沸腾煤中无过大粒度,应采用闭路破碎系统。使用反击式破碎机时若不加水,则煤尘很大,需要采取除尘、防尘措施。在加工沸腾煤的过程中,有时因原料中含有大量潮湿而且质软的泥岩,即使是加水破碎也有困难,在破碎产品脱泥后还要粘结成团。因此,在设计这种原料的加工工艺时,要事先进行工业性试验,若试验表明它不能直接进行破碎,就应该采取措施,适当改变原料的性质。

第二节 煤矸石的综合利用

各个煤矿,由于煤田地质条件不同,煤矸石的物理性质和化学性质也各不相同。这里列举了辽宁勘探煤田一些井田的煤灰成分分析结果(见表 6-8-1)。从表 6-8-1 可以看出,有的井田含氧化铝较多,如南票、红阳煤田 有的含氧化硅较多,如铁法、平庄、康平和北票煤田。

表 6-8-1 辽宁勘探煤田一些井田的煤灰成分分析

井田名称	氧化硅 SiO ₂ 含量(%)	氧化铝 Al ₂ O ₃ 含量(%)	氧化铁 Fe ₂ O ₃ 含量(%)	氧化钙 CaO 含量(%)	氧化镁 MgO 含量(%)	二氧化硫 SO ₂ 含量(%)
沈北煤田大桥一井田	46.31 ~ 54.34	28.66 ~ 34.70	6.27 ~ 11.74	2.09 ~ 6.16	0.91 ~ 1.43	0.86 ~ 5.91
铁法煤田大明五井田	35.33 ~ 59.71	18.25 ~ 25.89	6.29 ~ 10.51	15.70 ~ 26.26	2.10 ~ 2.17	2.32 ~ 6.34
平庄煤田古山三、四井田	36.85 ~ 53.29	13.19 ~ 20.53	8.27 ~ 23.52	4.22 ~ 8.98	1.27 ~ 2.25	—
康平三台子二井田	49.69 ~ 68.08	19.24 ~ 22.61	2.57 ~ 20.75	1.61 ~ 6.03	0.43 ~ 1.52	0.23 ~ 1.99
北票煤田台吉深部	30.17 ~ 52.39	20.49 ~ 21.86	7.12 ~ 8.01	4.51 ~ 79.84	2.38 ~ 2.39	2.34 ~ 9.37
红阳煤田一井田	41.49 ~ 44.23	36.64 ~ 37.18	4.00 ~ 14.39	4.45 ~ 5.70	0.53 ~ 2.32	11.78 ~ 5.21
南票苇子沟立井	45.29 ~ 48.14	34.83 ~ 42.62	2.23 ~ 5.87	1.71 ~ 2.12	0.62 ~ 1.16	1.34 ~ 1.66

南票煤矸石绝大部分是高岭粘土,外观多呈黑色或灰色,也有呈褐色和棕色的,因为它含铝量较高,含铁量较低,所以是生产铝盐的好原料。又因为它含有一定量的固定碳,故可以在做沸腾炉燃料的同时,对熔烧后的炉碴进行综合利用(见表 6-8-2 和 6-8-3)。

表 6－8－2 南票洗矸石的化学成分

试 样	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Ga (%)
主洗矸石 + 13 毫米	47.45	48.08	1.5	0.72	1.68	—
主洗矸石 6 ~ 13 毫米	48.39	47.00	1.51	1.08	2.65	—
主洗矸石 0 ~ 6 毫米	46.49	42.88	5.26	2.16	1.06	—
再洗矸石	49.14	40.87	1.92	0.50	0.05	0.0033

表 6－8－3 南票洗矸工业分析

试样	烧失量 700℃ (%)	灰分 A _g (%)	挥发分 V ^r (%)	发热量 Q _{dw} (大卡/千克)	700℃焙烧 1 小时熟料		
					浸出率 (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
主洗矸石	22.98	78.03	14.2	1016	80.00	39.9	2.0
再洗矸石	35.58	66.60	15.86	1994	78.03	38.80	0.99

一、结晶氯化铝的生产

结晶氯化铝是以煤矸石和盐酸为主要原料,经过破碎、焙烧、磨碎、酸浸、沉淀、浓缩和脱水等生产工艺制成的。生产工艺流程见图 6－8－1。

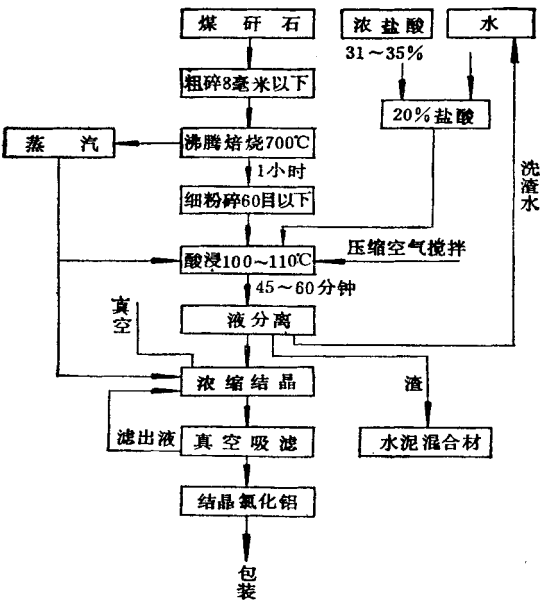


图 6－8－1 结晶氯化铝生产工艺流程

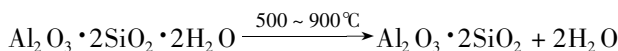
(一)原料准备

沸腾煤经过沸腾炉焙烧,一方面直接生产蒸汽,另一方面脱掉附着在沸腾煤上的水和结晶水,改变其炉碴结构使之活化,利于酸浸。

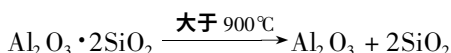
采用沸腾炉进行焙烧有下列优点:

- (1)可以燃烧低质燃料,充分利用热能;
- (2)沸腾炉的炉温比立窑容易控制。

煤矸石在焙烧过程中结构形态发生变化,失去结晶水。



焙烧温度大于 900°C 时, Al_2O_3 的稳定性提高,不易吸水,活性降低,难于浸出。



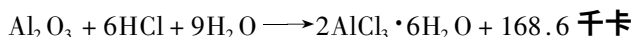
南票煤矸石的焙烧温度控制在 $700 \pm 50^\circ\text{C}$,焙烧时间 $0.5 \sim 1$ 小时为最好。焙烧后的炉碴冷却后,用球磨机粉碎到 60 网目以下,而后送入料仓,以备酸浸。

(二)浸出反应

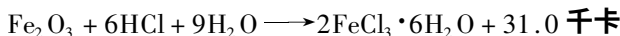
将制备好的粉料与盐酸反应,生成三氯化铝,经过沉淀和过滤,获得三氯化铝的浸出液。浸出过程有连续浸出和周期性浸出两种。前者操作稳定,设备利用系数高,生产能力大,适宜大规模工业生产;后者劳动强度大,生产能力低,但设备简单,适宜于小批量生产。南票矿务局制备结晶氯化铝是选用浓度 20% 的盐酸作溶剂,反应温度控制在 $100 \sim 110^\circ\text{C}$,原料粒度小于 60 网目,其机械搅拌效果比较好,反应时间为 $0.5 \sim 1$ 小时。

在焙烧后的粉料中,三氧化二铝含量愈高愈好,但其中还含有一半左右的其他物质。浸出过程主要包括以下的化学反应。

在焙烧后,要求其中的三氯化铝具有较大活性,它与盐酸的反应为:

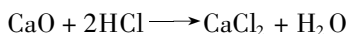
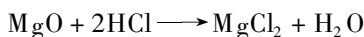


粉料中铁化合物的反应为:

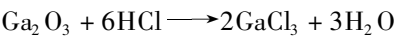


铁的金属性比铝强,故它优先转入溶液中,往往给浓缩、结晶和分离工序带来很大困难。

粉料中的钙、镁氧化物在加入盐酸后的反应为:



粉料中三氧化镓与盐酸的反应为:



在成品分离时,三氯化镓富集于滤液中,可用低碳脂肪萃取回收。

(三)液、渣分离

粉料经过酸浸以后,有大量的矸石粉渣因颗粒很细而悬浮在浸出液中,形成浆状,因此必须进行分离。通常是采用自然沉降法使液、渣分离,即将溶液静止放置一定时间后,悬浮的固体颗粒自然沉降下来。为加速沉降,可用聚丙烯酰胺做絮凝剂。

(四)浓缩结晶

经液、渣分离后的氯化铝浸出液流入低位母液贮槽,用玻璃钢泵将母液经过玻璃钢管输送到高位贮槽,而后进入浓缩罐进行浓缩结晶。高、低位母液贮槽都是钢筋混凝土结构,内衬玻璃钢瓷板防腐。

浓缩结晶是在容积为 3000 ~ 5000 升的搪瓷罐内进行的。氯化铝母液加送到罐内,在罐体夹套中通入蒸汽加热,蒸汽温度为 120 ~ 130℃。夹套内蒸汽压力保持在 3.5 ~ 4 公斤/厘米²。为加快浓缩结晶速度,采用负压浓缩,其真空度为 500 毫米汞柱。浓缩液达到饱和状态即有结晶生成。为防止因氯化铝颗粒沉降而堵塞放料口,并加速热交换,浓缩罐内应进行搅拌。

(五)真空过滤

将浓缩液冷却后用真空过滤的方式分离出结晶氯化铝。真空过滤是在内壁和底部都衬有三层玻璃钢及两层防腐瓷板的吸滤池中进行的。滤板上铺耐酸尼龙筛网。浓缩液放入吸滤池内,用真空度为 400 毫米汞柱的吸滤装置过滤。滤液送入贮存池,尼龙筛网上部留下的黄色结晶体即为结晶氯化铝。南票矿务局生产的结晶氯化铝的质量见表 6-8-4。

表 6-8-4 结晶氯化铝质量规格

等 级	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	不溶物 (%)	游离酸 (%)	颜 色
一级品	≥20	< 0.5	< 0.1	无	淡黄
二级品	≥18	< 2	< 0.3	无	深黄

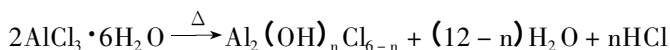
结晶氯化铝是较好的净水剂,造纸工业用它作施胶沉淀剂,熔模精密铸造用它作型壳硬化剂,医药上用它沉淀蛋白。

二、固体聚合铝

聚合铝就是生成氢氧化铝沉淀物之前,具有一定聚合度和电荷值的可溶性铝化合

物,也是一种阳离子型高分子电解质。其分子式的表示方法有两种,即 $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$ 或 $[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$ 。

可供制造聚合铝的矿物原料有铝矾土、硅藻土、高岭土、粘土、页岩、明矾石、粉煤灰和煤矸石。煤矸石资源丰富,是制造聚合铝较有前途的矿物原料。首先用煤矸石与盐酸为原料生产出结晶氯化铝($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$),再用结晶氯化铝生产固体聚合铝。结晶氯化铝在一定温度下加热,便分解析出一定量的氯化氢和水,而变成粉末状的产品,即碱式氯化铝,或叫聚合铝单体。这些单体是由不同碱化度的碱式氯化铝组成的混合物,能溶于水,但溶解时间较长,又不易完全溶解,混凝效果较差。如将这些单体聚合,即得溶解于水、混凝效果好的固体聚合铝。反应原理,可以设想为:



聚合铝的生产工艺,广泛采用酸溶铝灰一步法和碱溶铝灰两步法。此外,对于铝硅比较低的铝矾土或煤矸石还采用酸溶两步法。南票采用酸溶两步法工艺。其工艺过程可分为热风炉加热、热解结晶氯化铝制取单体聚合铝、单体聚合铝的聚合以及氯化氢气体的洗涤回收等四部分。先在沸腾炉内垫一层干燥的结晶氧化铝底料,经热风炉加热的热风送入沸腾炉,等沸腾床温度达到 $170 \sim 180^\circ\text{C}$ 后,陆续向沸腾炉加入结晶氯化铝,由溢流口排出的单体产物经聚合、固化和干燥,即得固体聚合铝。热解析出的氯化氢和水蒸汽,经炉顶引到吸收塔。

聚合铝是一种无机、高分子混凝剂。它可作净水剂,对除臭、除味和除菌消毒也有较好效果。另外,它还可做水泥速凝剂和耐火材料的凝结剂。

三、火山灰质硅酸盐水泥

南票水泥厂使用石灰石、粘土和铁粉三种原料,按不同的比例配合,磨成细粉,作为生料。然后以一定量的生料、无烟煤和水制成球,用普通立窑煅烧到部分熔融,即得到以硅酸钙为主要成分的熟料。再加入适量石膏、自燃后的煤矸石(或沸腾炉渣)和氯化铝渣,磨成细粉,即制成火山灰质硅酸盐水泥。

这种水泥适用于地下、水中及经常承受较高水压的工程、大型体积浇灌工程以及蒸汽养护预制构件。

四、石灰沸腾炉渣无熟料水泥

石灰沸腾炉渣无熟料水泥与普通水泥一样,也属于水硬性胶凝材料。它不需要生料粉磨和熟料煅烧,而是直接将具有一定活性和适当化学成分的材料与激发剂按比例混

合,混匀、磨细即成。南票矿务局主要是用沸腾炉渣和氯化铝废渣,其生产工艺简单,将沸腾炉渣烘干、氯化铝渣晒干并与生石灰和石膏混合后,磨碎成粉末即可制得。使用这种水泥时要注意防止风化。石灰沸腾炉渣无熟料水泥可在大体积工程中使用,由于其早期强度较低,凝结较慢,故不适用于紧急工程和强度要求较高的工程。

五、压蒸煤矸石砖

压蒸煤矸石砖是以煤矿排出的煤矸石或沸腾炉渣为主要原料的,再掺入一定量的生石灰、石膏,经过压力成型及蒸汽养护即可制得成品砖。这种制砖工艺比较简单。压蒸煤矸石砖可在大气或有水的介质中使用,其后期强度较高。

六、煤矸石造型粉和造型砂

煤矸石造型粉和造型砂是铝硅系材料,是近年来熔模精密铸造的新型型壳材料。目前,熔模精密制造所用的制壳材料是以石英粉和石英砂为主要原料的。使用上述材料,在清砂过程中有游离二氧化硅粉尘飞扬,影响工人身体健康。因此,一些厂矿逐步采用铝矾土、焦宝石和煤矸石等铝硅系耐火熟料粉砂代替石英粉和石英砂。煤矸石锻烧到 $1200 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ 时,形成以硅酸盐为主要成分的炉渣。用它制成的制品具有耐高温、热稳定性好、线收缩小和体积膨胀小等优点。在加工这种造型砂时,必须拣选出三氧化铝含量高、氧化铁含量少的矸石,经过锻烧、分级和脱水制成。其质量规格为:三氧化二铝含量在 42% 以上,二氧化硅含量在 52% 以上,氧化铁含量要小于 1% ,耐火度要大于 1700°C 。

此外,煤矸石还可以制造混合煤气,也叫半水煤气等。

第九章 洗选动力煤的经济效果

第一节 概 述

矿井或露天矿原煤是否需要洗选,主要应视其选后煤所得到的经济效果来决定。因为未经洗选的原煤中,都不同程度地含有页岩、砂岩和硫等矿物杂质。经过洗选加工,就能有效地除掉这些矿物杂质,减少煤中矸石和硫的含量,即降低煤的灰分和硫分,提高煤的质量。

为了确定选煤的经济效果,必须把选煤所需用的费用、损失同用户使用选后煤所得的利益加以比较。同时,除掉煤中矸石还可以减少铁路的运输量,节省车辆。不同用户使用选后煤所得到的经济效果,有不同的计算方法。炼焦用煤洗选的经济效果体现在炼铁方面,使用经过精选的炼焦煤,能减少炼铁的焦炭和石灰石的消耗量,并提高炼铁炉的生产能力。蒸汽机车使用选后煤的经济效果则体现在提高机车的锅炉效率和增长每清理一次炉膛所能行驶的里程。锅炉使用选后煤的经济效果体现在减少锅炉维护费用,提高锅炉的效率。煤气发生炉使用选后煤则体现在提高煤气发生炉的能力和降低每一立方米煤气的成本等。

研究选煤的经济效果,一方面要考虑煤矿企业的盈利性,另一方面应从用户使用选后煤的效果上进行计算。从使用单位的角度出发计算选煤的经济效果,可以更加广泛地反映出对整个国民经济是否合理。

比较全面地考虑,计算选煤的经济效果,是一个涉及面较广而且比较复杂的问题,事

实上很难作到十分精确。所以,只能根据某些主要因素进行近似计算,其余的因素只作定性的分析。

一、计算动力煤洗选经济效果的主要因素

(一)煤的可选性

煤的可选性越好,越容易有效地选出矸石,并降低选后煤产品的灰分,因而这种煤炭经过洗选之后带来的经济效果也大。

(二)运输距离

煤炭经过洗选,将矸石排弃于矿井所在地,可以减少自矿井运给用户的煤炭运费。自矿井到用户的运输距离越长,由于减少矸石运输而体现的选煤经济效果也越大。

(三)锅炉的热效率

在一般情况下,降低煤炭灰分,是可以提高锅炉热效率的。但在不同的燃烧条件下,灰分的降低对热效率的影响程度却有明显的差异。同时,煤的牌号也是一个重要因素。

各种锅炉的效率是随所燃烧的煤炭灰分的变化而变化的。煤炭灰分变化 1%,对锅炉效率的影响程度列于表 6-9-1。

表 6-9-1 各种牌号煤灰分变化 1%对各种锅炉热效率的影响

煤的牌号	机车锅炉	火床锅炉	煤粉锅炉
	热效率变化程度(%)		
长焰煤	0.4	0.33	0.08
气煤	0.5	0.30	0.09
无烟煤	0.6	0.60	0.37
肥煤与无烟煤混合	0.65	—	—

从表 6-9-1 可以看出,使用长焰煤和在粉烟锅炉中,灰分降低引起的锅炉效率的增长程度很小,而无烟煤灰分的降低所引起的锅炉效率的增长程度则比较大。也就是说洗选无烟煤可以较多地提高锅炉的热效率,节省能源,洗选长焰煤或粉煤则对锅炉热效率的提高效果不大。煤炭经过洗选后产生的能源变化,可以作为论断动力煤洗选的经济效果的一个重要指标,但它不是计算洗选经济效果的唯一的依据。

(四)燃烧费用

煤炭的短途运输、受煤、贮存、制备以及灰渣处理等费用,一般要占煤炭售价的 30 ~ 50%,如果使用洗后煤,这笔费用比使用未经洗选的原煤要少得多。使用选后煤,能减少

烧煤数量,与之有关的鼓风、除灰等用电也能减少。

(五)选煤费用与损失

选煤作业所付出的选煤费用和舍弃的洗研所带走的煤的损失是选煤的不利因素,这些在计算经济效果时必须加以计算。

二、动力煤洗选过程中影响其经济效果的其它因素

(1)煤炭经过洗选,煤中的硫和矸石数量减少,从而减轻了锅炉部件及零件的磨损,延长其寿命。

(2)选煤使煤中的硫和矸石数量减少,从而减轻锅炉工的劳动强度,减少污染,改善居民的卫生条件。

第二节 选后煤的功能效应

使用选后煤能提高锅炉的效率,这是衡量动力煤洗选经济效果的重要条件之一。虽然煤炭经过洗选之后总是较其未经洗选时的发热量少一些(因为有一部分发热量损失于尾矿中了),但是在大多数的情况下,动力煤通过洗选能获得一定的功能效应。因为锅炉燃烧灰分较低的煤时,其效率要比燃烧高灰分煤时高,这完全可以弥补在洗选时所损失的那一部分煤炭发热量。如果由于燃烧经过洗选的煤炭使锅炉的效率有所增高,而且超过了煤炭洗选过程中所损失的发热量,即称之为有功能效应产生。功能效应是指选后煤的实际热价值比原煤的实际热价值所增高之值,其减少之值称为功能损失。

这里以南票煤为例,说明功能效应。南票矿务局入选的是气煤,原煤灰分为 45%,选后煤灰分为 28%。在不生产沸腾煤的情况下,洗煤回收率可达到 67%,选出的矸石灰分在 75%以上。

当原煤灰分为 45%时,设蒸汽机车的锅炉效率为 0.675(实际上,机车使用灰分 45%的原煤有困难,很不合理)。如果灰分每降低 1%,锅炉效率增加 0.3%,则燃烧灰分为 28%的选后煤时,锅炉效率为:

$$0.675 + \frac{(45 - 28) \times 0.3}{100} = 0.726 \text{ (见表 6-9-2 第 4 栏 4 项)}$$

设煤炭灰分每降低 1%,锅炉效率增加 0.6%,则燃烧灰分为 28%的选后煤时,锅炉效率为:

$$0.675 + \frac{(45 - 28)0.6}{100} = 0.777 \text{ (见表 6-9-2 第 7 栏 4 项)}$$

由表 6-9-2 可以看出,为使动力煤洗选后产生功能效应,必须达到煤的灰分每降低 1% 锅炉效率增高 0.5% 以上,并且要使选出的矸石灰分不低于 75%。只有产生功能效应,才能节约煤炭,节约能源。

表 6-9-2 功能效率的计算

项 别	指标项别	原煤及 选后煤灰分, A _g (%)	灰分每降低 1% 锅炉效率所发生的变化			
			0.3	0.4	0.5	0.6
1	2	3	4	5	6	7
1	原煤应用煤低位发热量, Q _{dw} ^y (千卡/千克)	45	3667	3667	3667	3667
2	选后煤应用煤低位发热量, Q _{dw} ^y (千卡/千克)	28	4953	4953	4953	4953
3	烧原煤的锅炉效率, η	45	0.675	0.675	0.675	0.675
4	烧选后煤的锅炉效率, η	28	0.726	0.743	0.755	0.777
5	原煤实际热价值, Q _{dw} ^y (千卡/千克)	45	2475	2475	2475	2475
6	选后煤实际热价值, Q _{dw} ^y (千卡/千克)	28	3596	3680	3740	3848
7	原煤回收率 (%)	45	100	100	100	100
8	选后煤回收率 (%)	28	67	67	67	67
9	原煤有效发热量, Q _{dw} ^y · η (大卡/千克)	45	2475	2475	2475	2475
10	选后煤有效发热量, Q _{dw} ^y · η (大卡/千克)	28	2409	2466	2506	2578
11	因选煤产生的功能效应 (卡)	28	—	—	31	103
12	因选煤产生的功能效应 (%)	28	—	—	1.3	4.2
13	因选煤产生的功能损失 (卡)	28	66	9	—	—
14	因选煤产生的功能损失 (%)	28	2.6	0.4	—	—

注 第 5 项的数值是第 1、3 两项的相乘积 第 6 项数值是 2、4 两项的相乘积 第 10 项是第 6、8 两项的乘积 第 11 项的数值是第 10 项减第 9 项的差值 第 13 项的数值是第 9 项减第 10 项之差值。

洗矸的灰分越高,选后煤的回收率和所得到的功能效应越大。

动力煤经过洗选是产生功能效应还是产生功能损失,尚不能作为判断洗选动力煤经济效果的唯一指标。但却可以判断出是否节约能源。在洗选动力煤时,如果对无烟煤、气煤及长焰煤等非粘结性煤的洗选产品再进行筛分分级,如筛出块煤供蒸汽机车燃烧,筛出的粉煤供粉煤锅炉燃烧,这样取得的效果更大。因为机械给煤的蒸汽机车,煤落入

炉膛时是分散的,细小的煤粒遇到速度很大的烟气,不等到完全燃烧即被烟气带进烟道,进而随着烟气飞散到大气中。蒸汽机车如果采取强化烧煤方式,其煤炭的损失可达 30 ~ 40%。所以如果将煤中含末率减少 1%,则能提高机车锅炉效率 0.3 ~ 0.4%。

设煤的灰分为 20%,末煤产率 30%,块煤产率 70%,块煤的限下率规定为 10%。每筛除 1%的末煤,锅炉效率提高 0.3 ~ 0.4%。如果机车使用不分级煤,锅炉效率是 0.635,其得到的功能效应如表 6-9-3 所示。

表 6-9-3 使用不分级煤的机车锅炉的功能效应

项 别	产品名称及指标项别	应用煤发热量, Q_{BW}^y (千卡/千克)	筛选产品 回收率 (%)	锅炉效率	有效发热量, $Q_{\text{BW}}^y \cdot \eta$ (千卡/千克)
1	未分级的煤炭	5408	100	0.635	3434
2	其中 块煤	5484	70	0.725 ~ 0.755	2745 ~ 2859
3	末煤	5322	30	0.545 ~ 0.525	870 ~ 838
4	2 项加 3 项	—	—	—	3615 ~ 3697
5	4 项减 1 项	—	—	—	+ 181 ~ 263
6	5 项占 1 项的百分数(%)	—	—	—	+ 5.27 ~ 7.65

在末煤筛出量为 30%时,锅炉效率提高 $(0.3 \sim 0.4)30\% = 9 \sim 12\%$ 。因此,锅炉燃烧筛选煤时的效率为 $0.635 + 0.09 = 0.725$ 和 $0.635 + 0.12 = 0.755$ 。锅炉燃烧末煤,效率则降低为 $0.635 - 0.09 = 0.545$ 和 $0.635 - 0.12 = 0.525$ 。可见,燃烧筛选煤所得到的功能效应为 5 ~ 8%,也就是说能节约煤炭 5 ~ 8%。若末煤在锅炉中作悬空燃烧,则其锅炉效率比作层状燃烧时高,那么所得到的功效应也比较高。

第三节 动力煤洗选经济效益的计算

为确定动力煤洗选的经济效果,则需要衡量经济上的所有优点和缺点。动力煤洗选的优点是：

(1)将煤中的矸石在煤矿当地选除,能减少运费。按照辽宁省情况,每吨公里的铁路运费为 1 分钱,随着运输距离的不同,1 吨煤的运费分别如下。

运输距离(公里)	每一吨煤的运费(元)
200	2
300	3
400	4
600	6
1000	10

将上述的数值乘以选出的矸石数量,并同时考虑由于使用选后煤引起用煤量发生增、减的程度,就能算出由于选煤所节省的运费。

(2)燃烧选后煤能减少燃烧用煤的数量,节省用户烧锅炉的费用,同时也减少鼓风、除灰和除渣等用电,从而使整个生产费用减少。燃烧 1 吨煤炭所需要的费用是一定的。选出矸石越多,节省的生产费用越多。

(3)用户可以储存较少的煤炭,从而节约了煤炭储存费用。

动力煤洗选的缺点是：

(1)用湿法洗选动力煤的选煤厂,洗选 1 吨原煤的生产费用为 1 ~ 1.5 元。

(2)煤炭经过洗选要有次生煤泥产生,从而不同程度地降低了其销售价格。

通过以上优、缺点的分析,并考虑可以衡量的主要因素,洗选动力煤的经济合理性,可以按下列公式计算：

$$E = (S_1 + S_2 + S_3) \frac{10^6}{D_{DW}^Y \cdot \eta} - \left(\frac{S_1 + S_4}{r} \cdot \frac{100 - W^P}{100 - W^{P'}} + S_2 + S_3 \right) \frac{10^6}{Q_{DW}^{Y'} \cdot \eta'}$$

(元/百万大卡),

式中 E——选煤的经济效益,元/百万大卡；

S_1 ——1 公斤原煤的价格,元/公斤；

S_2 ——由煤矿运输 1 公斤煤到用户所需要的费用,元/公斤；

S_3 ——用户燃烧 1 公斤煤所需要的费用,包括煤的磨碎、给煤和燃烧及清除炉灰的费用,元/公斤；

S_4 ——加工 1 公斤原煤的选煤费用,元/公斤；

r ——选后煤回收率,%，

Q_{DW}^Y ——原煤的发热量,大卡/公斤；

$Q_{DW}^{Y'}$ ——选后煤的发热量,大卡/公斤；

η ——燃烧原煤时的锅炉设备效率；

η' ——燃烧选后煤时的锅炉设备效率；

W——原煤水分，%；

W'——选后煤水分，%。

按照上述方法，根据南票煤的有关数值(见表 6－9－4)计算如下：

$$E = (0.01682 + 0.004 + 0.006) \frac{10^6}{3667 \times 0.675} - \left(\frac{0.01682 + 0.00131}{0.67} \cdot \frac{10 - 8}{100 - 13} + 0.004 + 0.006 \right) \frac{10^6}{4953 \times 0.755} = 0.51 \text{ 元/百万大卡}$$

表 6－9－4 南票矿务局动力煤洗选经济效果的计算

项 目	价值(元)
燃烧选后煤的经济效益，E(元/百万大卡)	0.51
入选原煤的价格，S ₁ (元/公斤)	0.01682
煤矿到用户的运费，S ₂ (元/公斤)	0.004
用户燃烧煤炭所需要的费用，S ₃ (元/公斤)	0.006
选煤加工费用，S ₄ (元/公斤)	0.00131
选后煤的回收率，r(%)	67
原煤的发热量，Q _{dw} ^y (大卡/公斤)	3667
选后煤的发热量，Q _{dw} ^{y'} (大卡/公斤)	4953
燃烧原煤的锅炉设备效率，η%	0.675
燃烧选后煤锅炉设备效率，η' %	0.755
原煤水分，W ^y (%)	8
选后煤水分，W ^{y'} (%)	13

注 南票是气煤，按灰分每降低 1%，锅炉效率增加 0.5% 计算。

在选后产品灰分相同的情况下，原煤灰分越高，洗后煤的盈利越大。设某矿入洗原煤是粉煤，属无烟煤，灰分变化很大，根据表 6－9－5 的参数进行计算，则选煤所获得的经济效果很不一样。当原料灰分为 29% 时，每生产百万大卡蒸汽时，用户使用选后煤是盈利的；当原料灰分为 19% 时，用户使用选后煤则产生成本上的差额。

表 6－9－5 不同灰分原煤洗选后的经济收益计算

项 目	原煤灰分(%)	
	29	19
选后煤经济效益，E(元/百万大卡)	0.15	- 0.49

项 目	原煤灰分(%)	
	29	19
入选原料价格, S_1 (元/公斤)	0.01854	0.02426
煤矿到用户运费, S_2 (元/公斤)	0.004	0.004
用户燃烧煤炭所需费用, S_3 (元/公斤)	0.006	0.006
选煤加工费用, S_4 (元/公斤)	0.00131	0.00131
选后煤的回收率, r (%)	69.27	84.65
原料发热量, Q_{dw}^* (大卡/公斤)	5594	6382
选后煤发热量, Q_{dw}' (大卡/公斤)	7091	7091
燃烧原料锅炉的热效率, η (%)	0.641	0.686
燃烧选后煤锅炉的热效率, η' (%)	0.726	0.726
原料水分, W^y (%)	1	1
选后煤水分, W^y (%)	10	10
选后煤灰分, A^E (%)	10	10

第四节 煤矿洗选动力煤的经济效益

煤矿洗选炼焦煤的盈利性已为众所公认。煤矿洗选动力煤是否合算？这个疑问可以用实际数据回答。这里根据辽宁省一些动力煤选煤厂 1979 年的生产资料,在按质计价的基础上,按照现行国家规定的价格,进行统计计算(见表 6-9-6)。计算结果表明,入厂原煤灰分为 38.69%,原煤平均售价 13.13 元/吨,经过洗选,选后商品煤灰分达到 20.67%。平均售价为 22.26 元/吨,再生产一部分低质煤,平均售价为 6.8 元/吨,选煤厂每入洗一吨原煤的平均加工费为 0.99 元/吨。这样,在扣除税金之后,每入选一吨原煤,平均净收入 4.35 元/吨。

参加统计计算的各洗煤厂的条件有所不同,有的是气煤,有的是长焰煤,也有的是褐煤,原煤灰分也不相同,有的高的达 46.45% ;从厂型来看,有矿井选煤厂,也有群矿选煤厂,有年入选 70 万吨的较小型选煤厂,也有年处理 500 万吨以上的大型选煤厂(见表 6-

9-7)。所有这些选煤厂,洗选动力煤以后,尽管所得到的利润高低不等,但均为盈利而无一亏损(见表6-9-8)。平庄是褐煤,而且没有大量生产粒煤,煤价也最低,加之负荷不足,加工费较多,即使具有这么多的不利条件,每吨煤仍有1.96元的盈利。在洗选烟煤的选煤厂中,利润最少的是五龙,吨煤1.95元,这是因为该厂只用重介质选块煤,块煤产量又很低的缘故。通过以上分析计算可以认为,在正常条件下,洗选动力煤的盈利平均可达到4.35元/吨以上。

表 6-9-6 辽宁省洗选动力煤经济收益

项 目	洗动力煤			
	数 量 (万吨)	灰 分 (%)	单 价 (元/吨)	总 额 (万元)
1. 入厂原煤	2089.10	38.69	13.13	27428.11
2. 商品煤	1751.59	20.67	22.26	98983.25
其中 冶炼精煤	—	—	—	—
其它精煤	27.69	15.77	42.30	1171.28
块 煤	704.69	17.08	34.75	24485.62
3. 低质煤	76.16	66.21	6.80	518.17
其中 沸腾煤	63.31	66.83	7.08	449.00
4. 加工费	—	—	0.99	2063.27
5. 原煤税金	—	—	—	2194.24
6. 产品税金	—	—	—	3119.70
7. 净利润	—	—	4.35	9084.58

表 6-9-7 辽宁动力煤选煤厂概况

	块煤重介、混煤和末煤跳汰选				大块破碎全部或部分入跳汰机洗选				五龙重介 选 块	平安二次 槽 洗
	抚顺西露天	海 州	新 邱	平 庄	冠 山	南 票	晓 明	清河门		
1. 煤质牌号	长焰煤	长焰煤	长焰煤	长焰煤	气煤	气煤	长焰煤	长焰煤	长焰煤	长焰煤
2. 设计能力(万吨/年)	240	300	200	150	90	90	75	100	150	100
3. 实际入选量(万吨/年)	450~480	450~500	300~350	90~100	70~80	150~170	70~80	140~150	120~150	80~100
4. 洗选粒度(毫米)	300~0	300~0	300~0	300~0	50~0	50~0	50~6	50~13	50~25	50~6
5. 入选原煤灰分,A _g (%)	27~32	38~40	37~53	40~42	44~46	42~47	40~42	30~35	29~31	30~32
6. 洗选方法及设备	块煤重介,混煤跳汰及槽洗	块煤重介,混煤跳汰	块煤重介,混煤跳汰	块煤重介,混煤跳汰	跳 汰	跳 汰	跳 汰	跳 汰	重 介	槽 洗

第六篇 动力煤的筛分、洗选技术、工艺控制及经济效益评估

	块煤重介、混煤和末煤跳汰选				大块破碎全部或部分入跳汰机洗选				五龙重介	平安二次
	抚顺西露天	海 州	新 邱	平 庄	冠 山	南 票	晓 明	清河门	选 块	槽 洗
7. 主、再洗情况	重介二次选,跳汰一次选,槽洗二次选	重介一次选,跳汰一次选	重介一次选,跳汰一次选	重介一次选,跳汰一次选	主、再主,再洗	主 洗	主 洗		重介一次选	二次槽洗
8. 主面产品	大块、中块,小块等	混中块,粒煤	混中块,粒煤	大块,混煤	洗块、混中块,乙粉	混中块	混中块	混中块、粒煤	大块、混中块	混中块、粒煤

表 6－9－8 辽宁动力煤选煤厂盈利情况

选煤厂名	抚顺西露天	海州	新邱	平安	五龙	清河门	冠山	晓明	南票	平庄
1. 入厂原煤 数量(万吨)	476.90	504.65	340.63	84.10	127.67	143.62	74.27	72.52	164.98	99.70
灰分(%)	30.59	38.07	53.19	30.75	29.60	31.07	45.21	42.45	46.45	40.01
单价(元/吨)	17.40	12.80	5.32	16.80	17.80	16.80	10.40	11.40	10.50	10.30
总额(万元)	8298.01	6459.58	1812.17	1813.00	2273.00	2414.00	772.42	826.73	1732.30	1026.90
2. 商品煤 数量(万吨)	345.22	315.31	156.78	68.36	125.31	128.57	39.61	47.57	93.54	69.84
灰分(%)	13.33	16.02	23.80	21.93	29.09	25.89	22.60	22.33	27.98	22.84
单价(元/吨)	33.22	32.35	24.13	26.05	20.12	24.03	33.66	28.27	23.22	19.57
总额(万元)	11467.18	10201.00	3782.60	1781.00	2522.00	30.25	1333.44	1306.43	2172.33	1366.87
3. 低质煤 数量(万吨)	—	1.96	2.63	9.69	—	—	8.82	10.22	42.89	—
总额(万元)	—	—	25.01	—	—	—	52.94	38.37	291.70	—
4. 加工费 总额(万元)	495.59	397.00	348.00	106.90	83.45	86.66	113.70	94.25	214.50	122.23
吨煤(元/吨)	1.04	0.79	1.56	1.27	0.65	0.60	1.53	1.30	1.30	1.23
5. 原煤税金(万元)	663.84	516.77	144.97	113.03	181.8	192.90	61.79	66.14	138.58	82.15
6. 产品税金(万元)	917.37	816.00	305.00	142.45	201.7	242.00	106.68	104.51	173.79	109.35
7. 净利润 总额(万元)	2420.05	3045.19	1487.80	231.00	145.8	478.20	455.37	385.45	482.02	190.54
吨原煤(元/吨)	5.07	6.03	4.37	2.75	1.14	3.33	6.13	5.32	2.92	1.96

动力煤选煤厂改善经营,增加利润的途径有以下四方面。

(1)要多出块煤。块煤是受用户欢迎的煤炭品种,价格也比原煤约高出 30%。选煤厂块煤产率越高,利润就越多。晓明的块煤产率占商品煤的 65%,海州占 60%,因此这两个厂的吨煤收益分别为 5.36 和 4.96 元。五龙块煤只占商品煤的 6.1%,所以吨煤收益最少。通过计算,块煤产率每提高 1%,吨煤收益可提高 5 分以上。

为了提高块煤产率,煤矿要从井下开采和储运做起,每个环节都要防止煤炭破碎。

选煤厂要改善分级作业,力求分级工艺完善,生产多种粒级的产品,尽量筛出大、中、小块直到粒煤。

(2)要品种多样化。有条件的洗选气煤的动力选煤厂可以生产一些乙级精煤。冠山洗选气煤,原煤质量很差,灰分高达 46%,但其结焦性较好。79 年以后,该厂在洗选动力煤的同时,增加乙级精煤品种,使经济效益明显增加,吨煤收益达到 6.13 元。

(3)要选净洗矸中的煤炭。洗选动力煤的一条重要原则就是要尽量降低洗选损失,节约能源。有的选煤厂采用分级排矸工艺,将纯矸石(白矸)与煤页岩(黑矸)分离开,并将后者作为低质燃料利用。有的选煤厂利用洗煤机的剩余能力进行矸石再洗,由矸石中回收低质煤。南票选煤厂将回收的低质煤作为沸腾炉燃料,每年生产 40 万吨,占产品总量的 30%。仅此一项每年销售收入约 280 万元,从而使该厂在原煤质量低劣的情况下,获得 2.93 元的吨煤收益。尤其是在洗选含矸率多的原煤时,以低质煤作为中间产品,对保证选后产品质量的稳定和降低损失是十分必要的。这样做能使抛弃的洗矸中,比重小于 1.8 的煤含量达到 3.5% 以下,纯矸石的灰分达到 80% 以上。

(4)简化工艺,灵活操作,扩大入选量,提高效率,降低成本。动力煤选煤厂只有工艺简单,才能减少设备,降低电力和材料消耗,提高劳动生产率,从而达到降低成本的目的。其次,要尽量多入选原煤,露天矿要多入选杂质煤,使选煤厂“吃饱”。抚顺西露天和海州露天两个选煤厂,都处于满负荷运转状态,因而加工费用少,抚顺西露天仅 1.04 元/吨,海州仅 0.79 元/吨。

为了适应原煤的质量波动,应采取灵活的工艺流程和灵活的操作。例如,对质量较好的原煤,可以只洗块煤,粉煤不洗,这样做有利于降低产品水分和减少煤泥量;而当原煤灰分高,水分大时,应该全部入洗,以保证商品煤质量。

对于含矸率多的褐煤,用重介或跳汰法排除块煤中的矸石,在经济上是合理的,在技术上也是可行的。褐煤的块煤产品,宜于就近在工业中使用,不宜民用。

发展动力煤洗选的合理性和必要性是没有疑问的了。但从我国实际出发,在短期内还不可能将所有的矿井都补建选煤厂,因此,目前应采取洗选和筛选并重的方针,一方面要尽快地建设动力煤选煤厂,另一方面要补齐和完善矿井筛选厂,使之在拣矸的同时生产块煤产品。同时,还可以因地制宜地安装一些介于选煤厂和筛选厂之间的简易机选设备,如溜洗槽、风选、装配式选煤装置等等。