

Cumeini Ganrao Chenjiang Fenxuan Jishu Yanjiu

河南理工大学矿物加工工程学科建设基金资助

粗煤泥

干扰沉降分选技术研究

焦红光 赵继芬 高雪明 惠 兵 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TD94
J664

河南理工大学矿物加工工程学科建设基金资助

粗煤泥

干扰沉降分选技术研究

Cumeini Ganrao Chenjiang Fenxuan Jishu Yanjiu

焦红光 赵继芬 高雪明 惠 兵 著



1214973



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

内 容 提 要

当前粗煤泥分选技术方兴未艾,本书重点对粗煤泥干扰沉降分选技术进行了研究。本书共分7章:第1章简要论述了干扰沉降分选技术的基本原理;第2章探讨了干扰沉降分选的基础理论;第3章对常规干扰床分选技术进行了试验研究并给出了一个工业性应用的实例;第4章基于常规干扰床分选技术存在的弊病提出了阻尼脉动干扰床分选技术,设计加工了样机并进行了试验验证;第5章采用数值模拟方法对干扰床内流场的分布状况进行了研究;第6章给出了一个新型高效干扰床分选机的应用实例;第7章论述了干扰沉降分选技术在获取煤炭浮沉组成方面的应用情况。

本书可供从事矿物加工工程技术研究的科研人员及相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

粗煤泥干扰沉降分选技术研究 / 焦红光等著. — 徐州:

中国矿业大学出版社, 2011. 1

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0900 - 9

I. ①粗… II. ①焦… III. ①选煤 IV. ①TD94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 233901 号

- | | |
|------|---|
| 书 名 | 粗煤泥干扰沉降分选技术研究 |
| 著 者 | 焦红光 赵继芬 高雪明 惠 兵 |
| 责任编辑 | 周 红 褚建萍 |
| 出版发行 | 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008) |
| 营销热线 | (0516)83885307 83884995 |
| 出版服务 | (0516)83885767 83884920 |
| 网 址 | http://www.cumtp.com E-mail: cumtpvip@cumtp.com |
| 印 刷 | 徐州中矿大印发科技有限公司 |
| 开 本 | 850×1168 1/32 印张 7.125 字数 198 千字 |
| 版次印次 | 2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷 |
| 定 价 | 35.00 元 |

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

作者简介

焦红光(1970—),男,安徽亳州人,河南理工大学副教授。1992年淮南矿业学院选矿工程专业本科毕业后曾就职于焦作矿务局和兖州矿业集团公司,2005年在中国矿业大学获矿物加工工程专业博士学位,2009年度河南省高校杰出科研创新人才基金和2011年度河南省杰出科研创新青年基金获得者。



出版专著及参编高校“十一五”规划教材各1部;在《Advanced Material Research》、《中国矿业大学学报》和《Journal of Coal Science and Engineering》等刊物上发表论文70余篇,其中EI收录15篇,ISTP收录3篇,主持和参与省部级课题10余项,完成省部级及横向科研课题6项,获中国煤炭工业科技进步奖三等奖3项及河南省教育厅、河南省煤炭科技进步科技进步二等奖各1项,授权发明专利3项,实用新型专利18项。

工作,基于当前粗煤泥分选技术装备,重点研究了干扰沉降分离机理,提出了新型高效的阻尼脉动干扰床分选技术,自行设计研制了试验样机并通过大量的分选试验进行了验证,最终成功地实现了工业性应用,并以此为主体内容撰写了这本《粗煤泥干扰沉降分离技术》的著作,此书对粗煤泥分选技术的发展将起到推动作用。

本书内容丰富,取材新颖,理论与实际结合,对颗粒学与矿物加工学的研究和应用具有参考价值。我很高兴将这本书推荐给从事矿物加工技术研究的科研人员及有关专业的师生,相信大家会有所受益。

中国工程院院士
中国矿业大学教授



2010年7月15日

目 录

第 1 章 粗煤泥分选技术现状	1
1.1 粗煤泥分选的重要性	1
1.2 常见粗煤泥分选工艺	2
1.3 典型粗煤泥分选设备	5
1.4 干扰床分选机	14
第 2 章 干扰沉降分选基础理论	21
2.1 自由沉降	21
2.2 干扰沉降	31
2.3 脉动干扰沉降分选理论	41
2.4 小结	43
第 3 章 常规干扰床分选技术的研究	44
3.1 常规试验干扰床分选机的研制	44
3.2 试验系统的构建	50
3.3 圆柱形干扰床分选试验研究	52
3.4 常规干扰床的工业性应用	88
3.5 小结	100
第 4 章 新型高效干扰床分选技术的研究	101
4.1 新型高效干扰床分选技术的提出	101
4.2 阻尼脉动干扰床分选试验装置研制	103

4.3	对比试验研究	106
4.4	朝川选煤厂粗煤泥分选工艺改造试验研究	118
4.5	新型高效干扰床分选机改进设计	124
4.6	小结	131
第5章	干扰床分选机内流场的数值研究	132
5.1	Fluent 软件介绍	132
5.2	数学模型的建立	134
5.3	柱形干扰床内流场模拟	137
5.4	矩形干扰床模拟	142
5.5	小结	152
第6章	新型高效干扰床分选技术的工业应用	153
6.1	屯留选煤厂概况	153
6.2	粗煤泥分选系统改造工艺设计	167
6.3	半工业试验研究	179
6.4	现场工业应用情况	185
6.5	小结	194
第7章	采用干扰沉降技术获取煤炭密度组成	195
7.1	煤炭的可选性和密度组成	195
7.2	获取煤炭密度组成的浮沉试验方法	196
7.3	获取煤炭密度组成的干扰沉降技术	198
7.4	小结	210
参考文献		212

第1章 粗煤泥分选技术现状

1.1 粗煤泥分选的重要性

随着采煤机械化程度的提高和矿井地质条件的变化,原煤中细粒煤含量越来越高,而且煤炭分选过程中的细粉碎等工艺环节进一步增加了细粒煤的含量,从而使需要分选的细粒煤越来越多。就煤炭而言,据不完全统计,粒度 $3\sim 0.5\text{ mm}$ 部分物料的含量一般都在 $20\%\sim 45\%$,如汾西矿粒度小于 3 mm 的粉煤产率高达 47.9% ,有的更高。如果这一部分细粒煤在分选过程中不能很好地进行分选加工,极易造成资源的浪费,影响生产和经济效益。由于细粒煤中煤和矸石解离得比较充分,若采用合适的选煤方法,可有效对其脱硫降灰,提高精煤产率。因此,细粒煤的分选、回收和利用越来越受到重视。

细粒煤中有一部分介于重选和浮选之间的煤粒,用常规的宽粒级重选和浮选处理效果都不理想,这部分细粒煤即为通常讲的粗煤泥。根据国家标准《选煤术语》(GB/T 7186—2008)的规定,粗煤泥是指粒度近于煤泥,通常在 $0.3\sim 0.5\text{ mm}$ 以上,不宜采用浮选处理的颗粒。

目前,我国的重介质选煤工艺大多采取不分级入选和不脱泥入选,设备趋向大型化。这种做法虽然简化了工艺,但是不利于提高全粒级煤炭的分选效率,而且现有设备的分选精度也达不到工艺要求。重介质旋流器的分选粒度范围是 $50\sim 0.5\text{ mm}$,但是生产实践表明,当重介质旋流器直径超过 750 mm 时,对粒度小于 3

mm($3\sim 0.5$ mm)物料的分选精度较差;浮选机的分选粒度范围是小于 0.5 mm,但在生产中仅仅对小于 0.3 mm 物料实现有效分选,而大于 0.3 mm 的粗煤泥在浮选过程中极易因气泡的携载能力不足而损失在尾矿中。因此,在重选和浮选之间存在一个有效分选粒度的缺口,即重选随着粒度的减小,分选效率下降,而浮选则随着粒度的增大,分选效率逐步降低。因而,粒度处于重选和浮选有效分选范围交界附近的煤粒分选效率最低(见图 1-1)。所以,实现粗煤泥的有效分选是目前选煤行业亟待解决的问题之一。

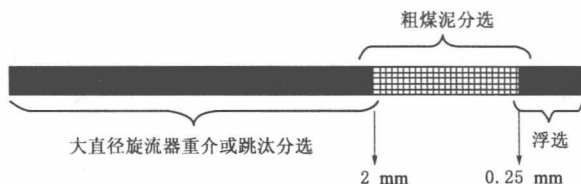


图 1-1 粗煤泥分选在整个选煤工艺中的位置

1.2 常见粗煤泥分选工艺

1.2.1 国外粗煤泥分选工艺

目前世界各主要产煤国的选煤工艺大都是块煤分选以跳汰和重介为主,粉煤分选采用浮选的方法。对于粗煤泥,采用传统的重选和浮选方法均不能对其进行有效分选,这在一定程度上造成资源的浪费和企业经济效益的降低。为此,各国采用不同的方法来分选回收粗煤泥。

国外对粗煤泥分选的研究较早,现使用较多的粗煤泥分选工艺模式是:采用高效水力旋流器对粗煤泥进行分级,分级粒度基本控制在 $0.25\sim 0.1$ mm 之间;再利用螺旋分选机或液固流化床分选机对 $2.0\sim 0.1$ mm 的粗煤泥按密度进行分选;对小于 0.1 mm

的煤泥进行脱水或通过泡沫浮选柱进行分选。该工艺可增加重选环节的上限,减少泡沫浮选环节的压力,能够充分发挥重选和浮选的优势。国外常见的粗煤泥分选工艺如图 1-2 所示。

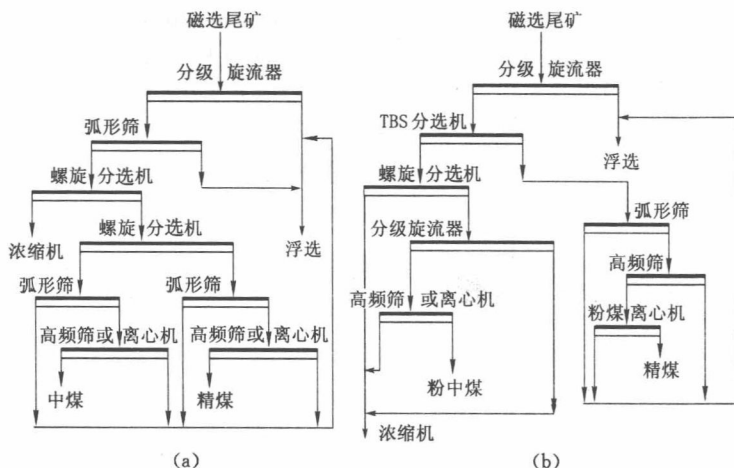


图 1-2 国外粗煤泥分选工艺

螺旋分选机是国外分选粗煤泥应用最普遍的设备之一,如美国、澳大利亚、加拿大、乌克兰和南非等,均应用其分选粗煤泥。螺旋分选机分选粗煤泥的工艺流程一般是煤泥经小直径旋流器分级,细粒去浮选,粗粒(粗煤泥)进螺旋分选机,螺旋分选机的精煤再经旋流器浓缩后去离心机或筛子脱水。世界上最大的四座选煤厂中有三座(美国宾州的 Consol 能源公司 Bailey 中央选煤厂,加拿大不列颠哥伦比亚 Fording River 选煤厂和南非的 Grootegeluk 选煤厂)都采用此工艺对粗煤泥进行分选,增设粗煤泥回收工艺环节,在很大程度上提高了煤炭回收率和企业经济效益。

1.2.2 国内粗煤泥分选工艺

我国选煤厂的分选工艺大都采用两段(即粗粒跳汰或重介分

选、细粒浮选)或两段半(即粗粒跳汰或重介分选、细粒浮选、粗煤泥仅回收)的选煤工艺模式。这种常规工艺虽然投资较少、简单易行,但由于跳汰(或重介)分选和浮选之间存在着有效分选粒度的缺口,导致粗煤泥分选效果不佳、整体分选效率偏低。

我国常见的选煤厂粗煤泥分选回收工艺如图 1-3 所示。

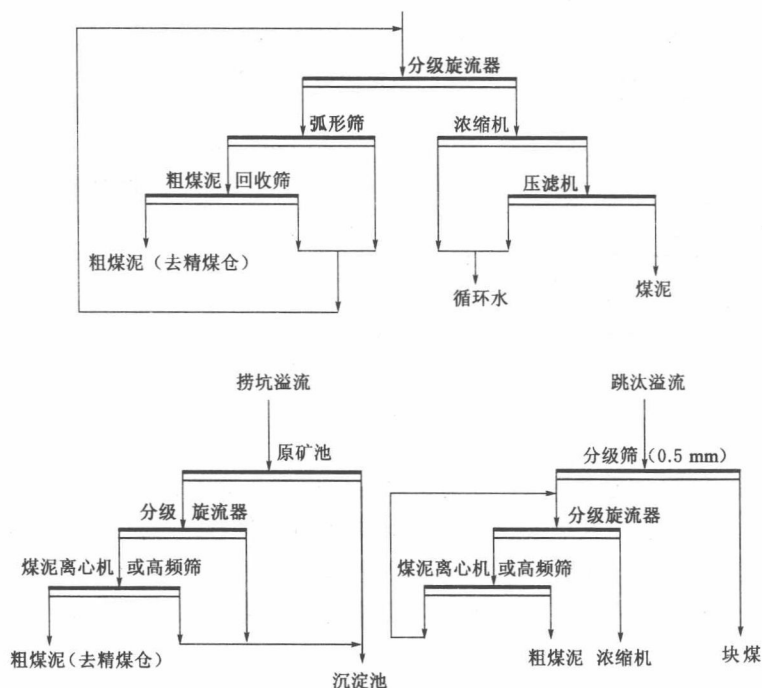


图 1-3 国内粗煤泥分选、回收主要工艺

图1-3 这几种工艺的共同特点是只对粗煤泥回收(减少进入煤泥水系统的负荷和减少跑粗)而没有进行分选,与国外粗煤泥经过多次分选、充分回收形成了鲜明对比。利用高频筛或分级旋流

器回收的这部分粗煤泥灰分一般仅比重选精煤灰分高2~4个百分点,掺入精煤将使其灰分超标,若大多掺入中煤,则使精煤损失严重,尤其是当捞坑和筛子分级效果差和细粒煤含量大时更加显著,严重影响企业的经济效益。由于我国粗煤泥的灰分比较低,要生产出合格的精煤必须将分选密度降得很低,大多数煤成为难选或极难选煤,而螺旋分选机的最低分选密度为1.6 kg/L,只能用于分选易选煤,难以适应我国粗煤泥的特点,因此一些安装了螺旋分选机的选煤厂,螺旋分选机大多数处于停用状态。另外,这部分粗煤泥中煤和矸石解离得比较充分,产率也比较高,若将其稍加分选,必能获得较高的精煤产率和经济效益。因此,结合我国煤质的特点,研究在低分选密度时具有较高分选效率的粗煤泥分选技术和设备具有重要的现实意义。

为实现从选煤大国向选煤强国的转变,必须提高煤炭全粒级分选效率,改两段或两段半的选煤模式为三段选煤模式,即增设粗煤泥分选工艺。三段选煤模式的优点是:工艺灵活,对煤质的适应性强;改善了重选和浮选的分选效果,能够保证全粒级精煤产率最大化;减少了入浮煤泥量,减轻了煤泥水系统的负荷,总体上降低了动力负荷和加工成本。三段选煤工艺是我国选煤工艺重要的发展方向之一。

1.3 典型粗煤泥分选设备

近年来国内外的选煤工作者在粗煤泥分选领域进行了大量的研究,研制出很多粗煤泥分选设备如螺旋分选机、小直径重介质旋流器、水介质旋流器、摇床、Falcon离心分选机等。

1.3.1 螺旋分选机

螺旋分选机是分选粗煤泥的有效设备,降灰、脱硫效果比较明显,最早用于动力煤选煤厂,入料粒度为3~0.1 mm。该分选机

属密度分选范畴,依靠重力与离心力双重作用分选,与煤的牌号无关。螺旋分选机的运用使选煤工艺由传统的两系统(重介质旋流器+浮选流程)改为三系统(重介质旋流器+螺旋分选机+浮选流程)。

螺旋分选机主要由矿浆分配器、中心柱、螺旋溜槽和产品截取器等组成(见图1-4)。螺旋溜槽的断面为抛物线或椭圆形的一部分,槽底在纵向(沿矿浆流动方向)和横向(径向)均有相当的坡度。矿粒在螺旋溜槽中的分

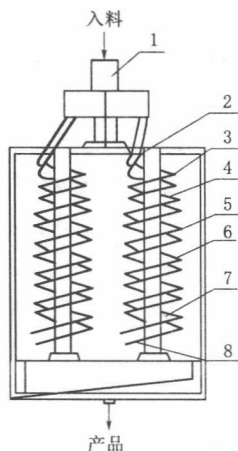


图1-4 螺旋分选机结构简图

- 1——矿浆分配器;2——给料管;
3——稳定槽;4——变径槽;5——中心柱;
6——分选槽;7——排料槽;8——产品排料管

选大致经过三个阶段:第一阶段是颗粒群的分层,矿浆由分配器进入螺旋溜槽后,颗粒群在槽面上的运动过程中,重矿物因沉降末速快沉入液流下层,轻矿物则浮于液流上层,液流沿竖直方向的扰动作用强化了矿粒按密度分层;第二阶段是轻、重矿物沿横向展开,沉于下层的重矿物沿收敛的螺旋线逐渐移向内缘,浮于上层的轻矿物沿扩展螺旋线逐渐移向中间偏外区域;第三阶段是不同密度的矿粒沿各自的回转半径运动,轻、重矿物沿横向从外缘至内缘均匀排列,设在排料端部的截取器将矿物带沿横向分割成精、中、尾煤三种产品,并使其通过各自的排料管排出,从而完成分选过程。

螺旋分选机具有以下特点:①有效分选密度在 1.6 kg/L 以上,低于该值时会影响分选效果;②无运动部件,维修工作量小;③占地面积小,可用双头甚至三头螺旋提高单台设备的处理

能力。

螺旋分选机近年来在澳大利亚和其他一些国家的选煤厂中得到广泛应用。我国选煤用螺旋分选机在20世纪80年代经过鉴定后,只得到有限的推广。随着国外选煤技术及设备的引进,螺旋分选机在我国一些动力煤选煤厂的粗煤泥分选中得以推广应用,已有20台先后投入运行,分选及运行效果良好。对于一些氧化程度高、硫分较高、不宜采用浮选的易选煤泥,采用螺旋分选机分选可望得到良好的分选效果。例如,晋华宫选煤厂用螺旋分选机分选 $1.5\sim 0.1\text{ mm}$ 的粗煤泥,经过两年的运行,入选原煤350万t,处理粗煤泥45.5万t,从粒度特性来看,粗粒级的灰分低,细粒级的灰分高,入选煤泥灰分为 $11\%\sim 13\%$,选后精煤灰分为 $6.9\%\sim 7.3\%$;入料硫分为 $1.1\%\sim 1.2\%$,选后精煤硫分为 $0.54\%\sim 0.61\%$ 。对其进行单机检查,经计算,确定分选密度为 1.87 kg/L ,数量效率达 $86\%\sim 95\%$,可能偏差 E 值为0.18,分选粒度下限为 0.1 mm ,每台处理能力为 $100\sim 125\text{ t/h}$ 。国内的马脊梁选煤厂、新一选煤厂、王坡选煤厂也都应用螺旋分选机来处理粗煤泥。

实际应用中发现螺旋分选机存在以下缺点:①机身高度大,给料和循环的中矿需要砂泵输送;②本身参数不易调节,难以适应给料的性质变化;③在较低密度分选时分选效果差,对片状矿粒富集效果差。因此,对于难选煤的分选和精煤灰分要求比较低时,螺旋分选机往往不能满足要求。

1.3.2 煤泥重介质旋流器

煤泥重介质旋流器是利用离心沉降原理进行分选的设备,本身没有运动部件,结构简单。重介质旋流器的选煤过程为:固、液悬浮液以一定的压力从进料口切线(摆线或渐开线)给入旋流器,在柱段器壁的导流作用下,悬浮液强烈旋转,并同时沿着器壁向下做螺旋运动,形成向下的外旋流;外旋流在向下的运动过程中,由于锥段渐渐收缩,流动阻力增大,到达底流口附近后,迫使外旋流

中除部分流体从底流口流出外,大部分流体转而向上运动,在内部形成向上的回流,即内旋流,并从溢流管流出。因此,旋流器内的流体流动呈双螺旋结构模型(见图 1-5)。在旋流器内的旋转流场中,悬浮液中密度大的颗粒在离心力的作用下容易移向器壁附近,并随外旋流在底流口排出;密度小的颗粒,来不及到达器壁即随内旋流从溢流口排出。这样,悬浮液中不同密度的组分得到了分选。

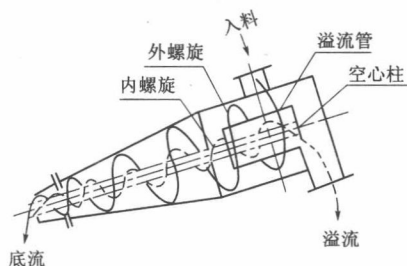


图 1-5 重介质旋流器分选原理图

据国外生产经验,煤泥重介质旋流器的有效分选粒度范围为 $1\sim 0.1\text{ mm}$ 。在分选过程中,小直径旋流器可产生较高的离心系数,使粉煤颗粒受到远大于其在重力场及大直径重介质旋流器中受到的分选力,从而实现粉煤颗粒的有效分选。煤泥重介质旋流器中重悬浮液的密度接近分选密度,因而分选精度高,费用比常规浮选低。其缺点是分选效果易受煤泥加重质的粒度和分选密度控制等因素的影响。为保证较好的分选效果,尽可能做到:① 预先脱除 $<0.1\text{ mm}$ 级煤泥;② 加重质粒度组成 $<40\text{ }\mu\text{m}$ 级要在90%以上, $<10\text{ }\mu\text{m}$ 级要在50%以上;③ 循环介质要退磁。

美国、澳大利亚和俄罗斯等国家针对煤泥重介质旋流器进行了大量的研究工作,并成功应用于生产中。近年来,我国对煤泥重介质旋流器分选粗煤泥工艺也进行了大量开发和应用研究。但是,由于煤泥加重质的粒度和分选密度的控制等都会影响到分选

效果,因此,应用状况不甚理想。当加重质粒度较细,被分选煤泥粒度较粗(一般为加重质粒度的10倍以上)时,在一定的固体浓度范围之内,重悬浮液被看做是真重液,为使悬浮液保持均匀和稳定所施加的机械扰动或定向流对在其中被分选的煤粒影响不大。当煤的粒度逐渐接近加重质的粒度时,干扰沉降的规律开始起作用。因此,随着入选煤粒度的减小,分选精度明显下降,为了使有效分选粒度更细,一是要使用更细的加重质,二是要减小旋流器直径并加大入料的压力,以提高离心力。

1.3.3 水介质旋流器

水介质旋流器的工作原理与重介质旋流器一样,差别仅在于分选介质,它是以水为介质在离心力场中进行分选的设备。在一定压力下,物料以切线或渐开线给料方式(渐开线入料方式可以将湍流程度降至最低,而最大程度地将动能转化为离心力)进入旋流器筒体,形成螺旋运动。在离心力场中,高密度颗粒离心沉降末速大,集中在旋流器外层,随外螺旋流向底流口运动;低密度颗粒离心沉降末速小,集中在旋流器内层,随内螺旋流向溢流管运动,形成按密度分层的规律(见图1-6)。

盘北选煤厂采用四台 $\phi 350$ mm 水介质旋流器回收粗煤泥,处理后的粗煤泥灰分在 13.0%~18.0% 之间波动,溢流灰分稳定在 10.0%~11.5%,脱水后掺入精煤;底流灰分为 17%~20%,脱水后掺入中煤;水介质旋流器使用后,每年销售收入增加 184.416 万元,扣除增加的电费、维修费 30 920 元,纯利润增加 181.324 万元。

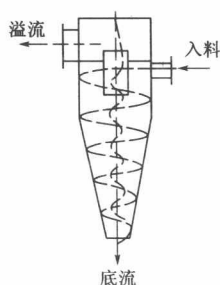


图 1-6 水介质旋流器结构简图

水介质旋流器结构简单、布置方便,分选细粒煤生产成本低。但其分选精度远不如小直径重介质旋流器,而且一般入料的粒度范围比较窄,分选下限高,产品质量不能保两头,溢流若经过脱泥就达不到精煤灰分要求。从分选精度和简化工艺流程来说,水介质旋流器都不太适合粗煤泥的分选,因此在粗煤泥分选领域应用较少。

1.3.4 摇床

摇床选矿是在一个倾斜宽阔的床面上,借助床面的不对称往复运动和薄层斜面水流的作用进行选矿的一种方法,是分选细粒物料应用较广泛的重力选矿方法之一。由于在床面上分选介质流的流层很薄,故摇床属于流膜选矿类设备。

所有摇床基本上是由床面、机架和传动机构三大部分组成的(见图 1-7)。

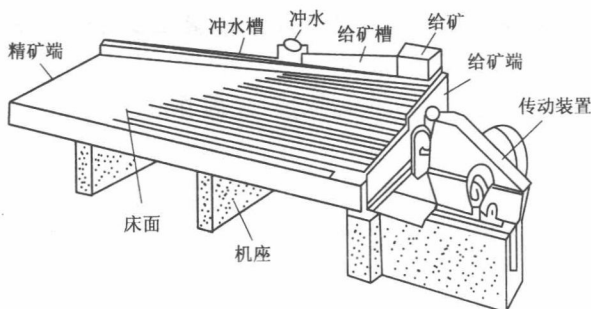


图 1-7 摇床结构简图

矿粒在流膜作用下连续从上游运动到下游,在床条、床面的不对称运动和床面上的横冲水的综合作用下,矿粒按密度、形状和粒度沿床面纵向做分层移动,床面铺设的格条使薄流膜底部产生紊流以支持矿粒在垂直方向移动,同时帮助沉积到底部的重矿粒向重产物端移动,分选的结果是各密度级的产品在床面上呈扇形状