

# 第四章 重力分选设备

- ◆重选设备概述
- ◆垂直及水平流分选设备
- ◆斜面流分选设备
- ◆离心分选设备
- ◆重介质分选设备
- ◆流化床重力分选设备

## 4.1 重选设备概述

### (1) 重选设备分类

常用重选设备按力场分类及应用特性

作用力场	设备类型	处理粒级范围/mm			应用特性
		最大	最小	最佳	
垂直重力场	旁动隔膜跳汰机	18	0.074	12~0.1	处理量大, 富集比高。可用于粗选和精选
	侧动隔膜跳汰机	18	0.074	12~0.1	
	下动圆锥跳汰机	20	0.074	6~0.1	
	锯齿波跳汰机	25	0.074	8~0.074	
	梯形跳汰机	10	0.037	5~0.074	
斜面重力场	摇床	3	0.02	2~0.037	处理量小, 富集比高, 可得多种产品, 多用于精选
	螺旋溜槽	1.5	0.037	0.6~0.05	结构简单, 富集比低, 用于粗选
	螺旋选矿机	3	0.074	2~0.1	处理量较摇床大, 省水省电, 富集比低、用于粗选
离心力场	离心选矿机			0.074~0.01	处理量大、富集比低、用于脱泥、微细粒矿物粗选
	重介质旋流器	30	0.1	20~2	处理能力大。分选效率高, 可分选密度差较小矿物, 用于分级、浓缩
	水力旋流器			0~0.074	处理量大, 多用于脱泥

# 常用重选设备按分选粒度分类及应用特点

设备类型		分选粒度/mm			应用特点		
		一般	最大	最小			
洗矿设备	圆筛洗矿机			300		处理含泥质易洗和中等可洗矿石,处理量大,水耗高。	
	擦洗机			350		处理高塑性难洗矿石,洗矿效率高。	
	倾斜式槽洗机			80 ~ 90		用于易洗及难洗矿石,生产能力大,工作可靠,洗矿不彻底。	
	水平式槽洗机			70		用于易洗及难洗矿石,生产能力小,洗矿较彻底。	
	联合洗矿机			125		仅用于易洗矿石。	
粗粒重选设备	重介质选矿设备	振动溜槽		75 ~ 6	100	3	分选粒度粗,生产能力大,生产精度高,适于预选贫化率高的矿石,但介质制备及其回收系统复杂。
		鼓形分选机		100 ~ 6	300	5	
		圆锥形分选机		50 ~ 6	75	1.5	
		涡流分选		35 ~ 2	75	0.5	
	重介质旋流器		20 ~ 2	35	0.5		
矩形粗粒跳汰机		50 ~ 10	70	0.074		分选精度较重介质选矿差,生产能力较大,工艺过程简单。	
中粒重选设备	跳汰机	旁动隔膜跳汰机		12 ~ 0.1	18	0.074	生产能力较大,富集比高,可用于粗选及精选作业。
		侧动隔膜矩形跳汰机		12 ~ 0.1	18	0.074	
		复振跳汰机		12 ~ 0.1	18	0.074	
		圆形跳汰机		12 ~ 0.1	18	0.074	
		下动圆锥跳汰机		6 ~ 0.1	20	0.052	
		广东 I 型跳汰机		6 ~ 0.1	10	0.074	
	梯形跳汰机		-0.074	10	0.037		
抬 浮		5 ~ 0.2	6	0.074		能分离出粗粒硫化矿物,产品多,分选效率高,生产能力小。	
矿砂重选设备	摇床		2 ~ 0.037	3	0.02		生产能力小,富集比高,可得多种产品,多用于精选
	螺旋选矿机		2 ~ 0.1	3	0.074		生产能力较摇床大,省水省电,结构简单,富集比低,多用于粗选作业。
	螺旋溜槽		0.6 ~ 0.05	1.5	0.037		
	扇形溜槽		1.5 ~ 0.074	2	0.037		
圆锥溜槽		1.5 ~ 0.074	2	0.037		生产能力大,省水省电,占地面积小,富集比低,多用于粗选。	
矿泥重选设备	离心选矿机		0.074 ~ 0.01				生产能力大,富集比低,多用于矿泥粗选。
	各种皮带溜槽		0.074 ~ 0.01				生产能力小,富集比高,多用于矿泥精选作业。

## (2) 重选设备选型原则

重选是根据有用矿物与脉石矿物密度差异进行分选的工艺。除矿物的密度差外，矿物的颗粒粒度、颗粒形状和介质的性质等对重选过程和分选指标也有不可忽略的影响。为此，重选设备的选择应注意以下基本原则：

- ①充分考虑入选矿石中不同矿物的密度、单体颗粒粒度（或富连生体颗粒粒度）、矿石粒度组成等性质；
- ②充分考虑设备中介质流场特性对分选过程及指标的影响；
- ③充分考虑设备结构、流场特性和最佳分选粒度范围；
- ④为充分发挥重选设备的性能，配合入选前的粒度分级及设备选型。

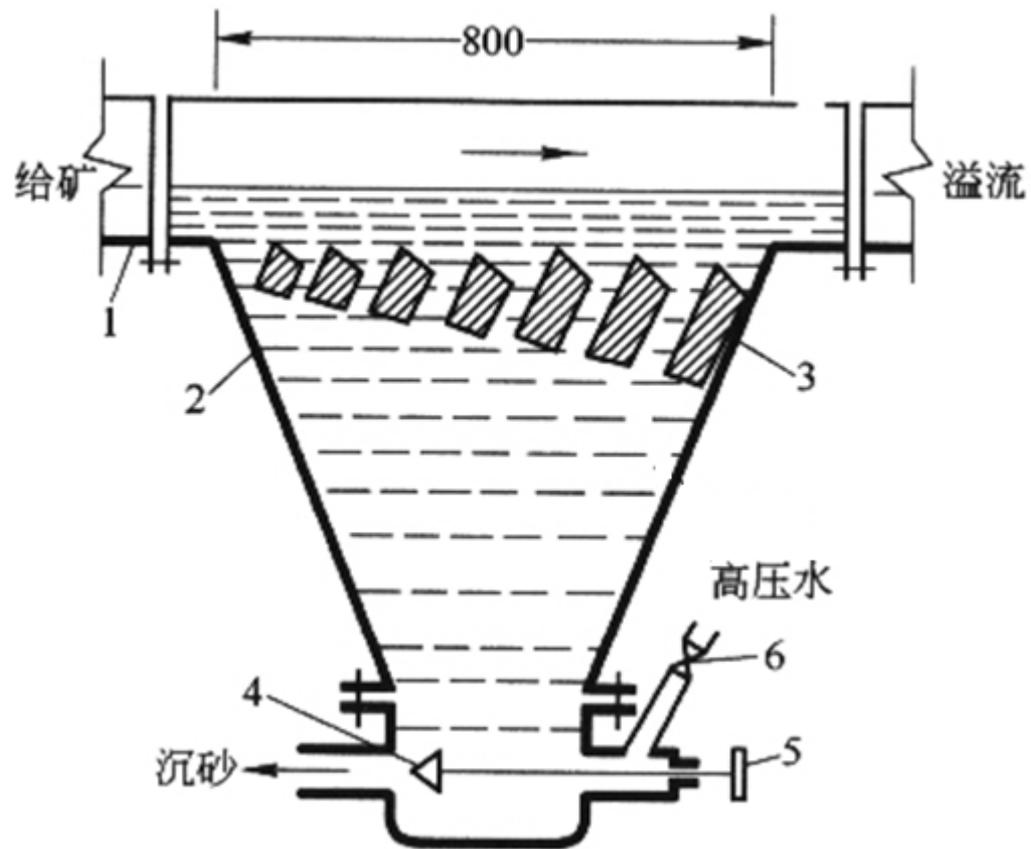
## 4.2 垂直及水平流分选设备

### 4.2.1 水力分级机

重选厂常用的水力分级设备主要包括：云锡式分级箱、机械搅拌式分级机、筛板式分级机和水冲箱等。原料被分成多个窄级别后，分别送不同重选设备中进行分选，有利于选择适宜的操作条件和工艺参数，水力分级在重选厂属于选别前的准备作业。

#### (1) 云锡式分级箱

**结构：**云锡式分级箱外观呈倒立的角锥形，底部的一侧接有压力水管，另一侧设沉砂排出管。分级箱一般是4~8个串联工作，中间用溜槽连接，箱体上端尺寸（B×L）有200×800、300×800、400×800、600×800、800×800mm共5种规格。主体箱高约为1000mm，安装时由小到大依次排列。



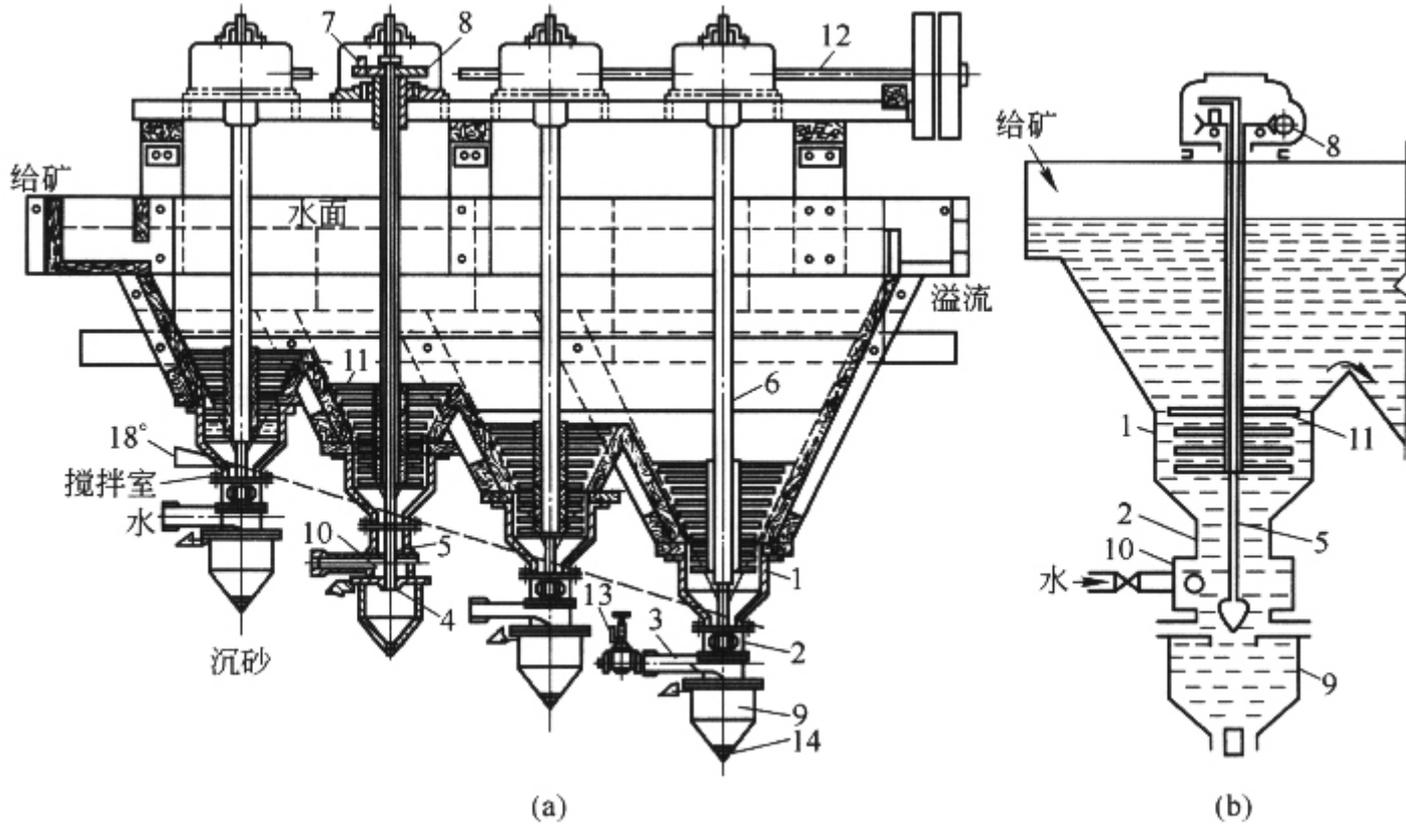
1-矿泥溜槽； 2-分级箱； 3-阻砂条； 4-砂芯塞； 5-手轮； 6-阀门

**工作原理：**为减小矿浆进入分级箱内引起的扰动，使箱内上升流均匀分布，在箱体上部垂直于流动方向装有阻砂条，阻砂条缝隙宽约10mm。矿浆中沉降的矿粒经过阻砂条的缝隙时，受到上升水流的冲洗，细颗粒被带到下一个分级箱中，粗颗粒在分级箱内按干涉沉降分层，最后由沉砂口排出。沉砂的排出量用手轮调节。给水压力应稳定在300 kPa左右，并用阀门控制给水量，自首箱至末箱给水量依次减小。

**作用：**分级箱通常一对一地配置在摇床上方，同时担负着分配矿量的任务。通过调节沉砂量，达到在数量上和浓度上均适应摇床分选的要求。

**特点：**结构简单、不耗动力、可与摇床配置在同一台阶上和便于操作。但是耗水量较大（5~6m<sup>3</sup>/t矿），矿浆在箱内易受扰动，分级效率较低，粒度不宜大于1mm。

## (2) 机械搅拌式分级机



**机械搅拌式水力分级机**

- 1-圆筒 2-分級管 3-压力水管 4-锥形塞 5-连杆 6-空心轴 7-凸轮 8-蜗轮 9-缓冲箱  
10-涡流箱 11-搅拌叶片 12-传动轴 13-活瓣 14-沉砂排出孔

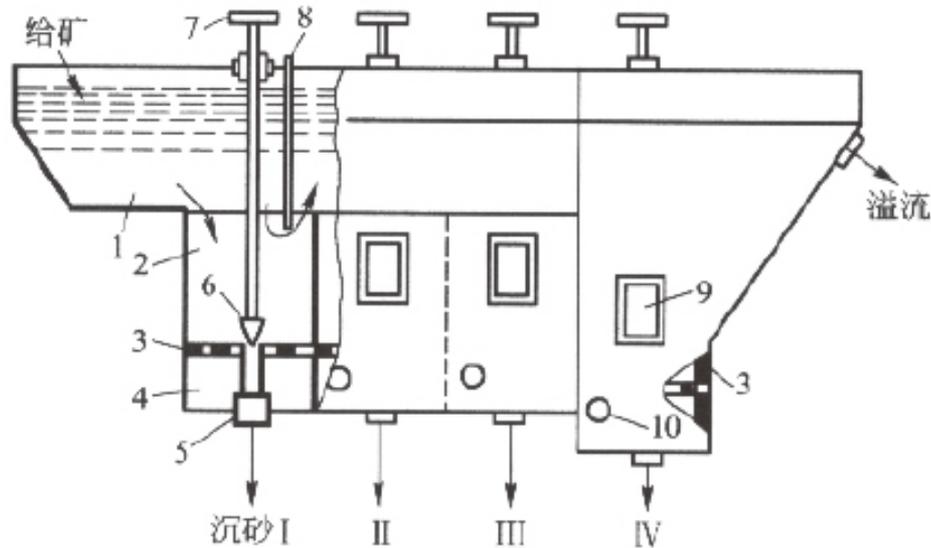
**结构：**机械搅拌式水力分级机由四个角锥形分级室组成，各室友给矿段向排矿端依次增大，并在高度上呈阶梯状排列。在分级室下面有圆筒部分1、带玻璃观察孔的分级管2和压力水管3。压力水沿分级管的径向或切线方向给入。在其下方有缓冲箱9，用以暂时存储沉砂产物。由分级室排入缓冲箱的沉砂量是由连杆5下端的锥形塞4控制。连杆5在空心轴6的内部穿过，轴的上端有一个圆盘，由蜗轮8带动旋转。圆盘上有1~4个凸缘。圆盘转动时凸缘顶起连杆5上端的横梁，从而将锥形塞4打开，使沉砂进入缓冲箱9中。空心轴6的下端装有若干个搅拌叶片11，用以使颗粒群悬浮分散，避免结团。空心轴与蜗轮8连接在一起，由传动轴12带动旋转。

**工作原理：**矿浆由分级机的窄端给入，微细颗粒随表层水流向溢流端流走。较粗颗粒则依据沉降速度的不同分别落入各分级室中。分级室的断面自上而下地减小，水流速度则相应地增大，因而可形成按粒度分层。下部粗颗粒在沉降过程中受到分级管中上升水流的冲洗，再度实现分级。最后当锥形阀提起时将粗颗粒排出。悬浮层中的细颗粒随上升水流进入下一个分级室中，各分级室上升水流速度逐渐减小，沉砂粒度也逐渐变细。

**特点：**在下部设有分级管，并采用间断式排矿，增强了上升水流的冲洗作用，对减少沉砂含泥量，降低后续摇床分选时的金属损失有利。间断排矿提高了沉砂浓度（固体含量可达40%~50%），节约用水（ $<3\text{m}^3/\text{t}$  矿石），但沉砂口易堵塞，一般要求给水压力不低于0.15~0.25Mpa。

**应用：**主要用于大型钨矿重选厂的准备作业。给矿适宜粒度上限为3mm，小于0.075mm部分的分级效果很差，处理能力范围是15~25t/h。设备高差较大，且需和摇床配制在不同的台阶上，使操作联系不太方便。

### (3) 筛板式槽型水力分级机



#### 筛板式槽型水力分级机

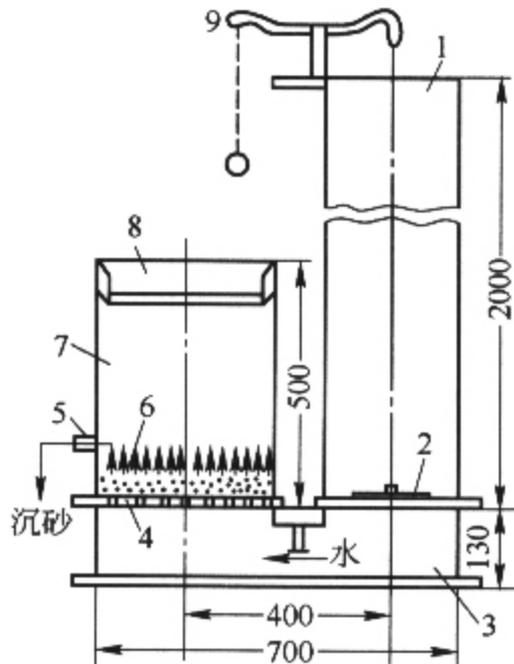
1-给矿槽 2-分级室 3-筛板 4-压力水室 5-排矿口 6-排矿调节阀 7-手轮 8-挡板（防止粗颗粒越室） 9-玻璃窗 10-压力水管

**结构：**又称典瓦(Denver)型水力分级机，是利用筛板造成干涉沉降条件的设备。机体外形为一角锥形箱，箱内用垂直隔板分成4~8个分级室。每个室的断面积为200mm×200mm。在距室底一定高度处设置筛板。筛板上钻有36-72个直径为3-5mm的筛孔。压力水由筛板下方给入，经筛孔向上流动。在筛板上方悬浮着矿粒群，进行干涉沉降分层。粗颗粒通过筛板中心孔排出，排出量用锥形塞控制。

**工作原理：**矿浆由一侧给入，依次进到各室中，各室的上升水速逐渐减小，由此得到由粗到细的各级产物。分级室内上升水速分布是否均匀对分级效果有重要影响。减小筛孔径并相应增加筛孔数目可在一定程度上改善分级效果。但水速分布不均是不免的。由此引起二次回流搅动是造成分级效率不高的重要原因。

**特点：**优点是构造简单，不需用动力。与机械搅拌式水力分级机比较，高度较小，便于配置。可以根据选厂处理能力的不同，制成四室、六室、八室等不同的规格。在我国中小型钨矿选矿厂应用较多，主要缺点是沉砂浓度和分级效率均较低。

#### (4) 水冲箱

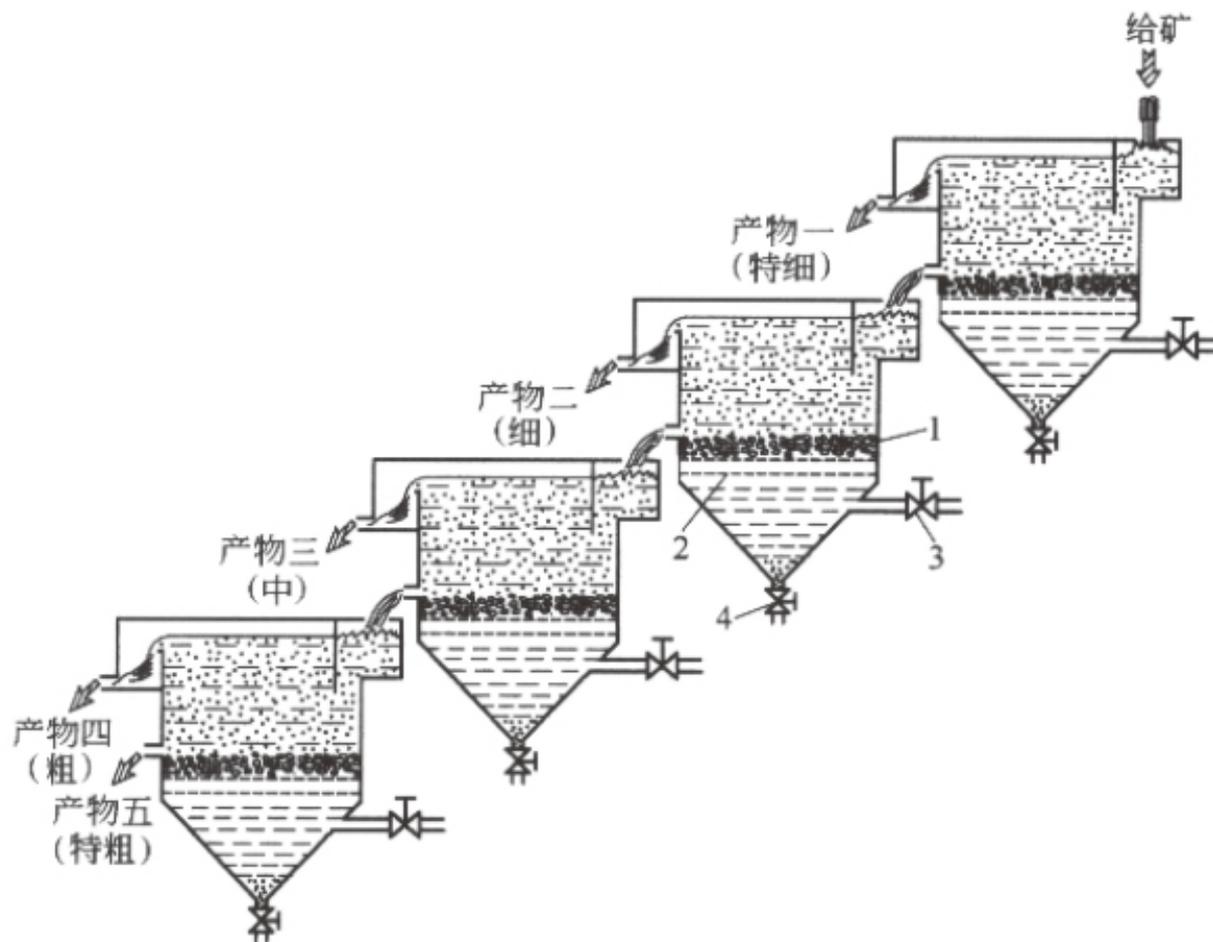


**水冲箱结构示意图**

1-稳压箱；2-调节阀；3-底箱；4-筛板；  
5-沉砂口；6-床层；7-分级室；8-溢流槽；  
9-杠杆（图中尺寸数字单位均为毫米）

**结构：**分级室7主体部分高500mm，断面积为 $350 \times 450\text{mm}$ (尺寸可根据生产需要改变)。分级室下部安装有黄铜板或塑料板制成的筛板4与底箱3隔开。筛板的筛孔直径为1.5-2mm，间距 $5 \times 5\text{mm}$ ，上面铺有厚30-50mm，粒度为5-8mm的磁铁矿、锡石或铁砂等比重大，化学性能稳定的床石，供均匀分配上升水流之用。

**工作原理：**分级用水首先给到稳压箱1中，经调节阀2（与杠杆9连接）进入底箱3、再透过筛板和床石在分级室中形成上升水流。矿浆由旁侧给入，在分级室中进行干涉沉降分层。悬浮在上层的细颗粒由另一侧排出，作为溢流送给摇床选别。底部粗粒级可由任意一侧的沉砂管排出，给到下一个水冲箱中继续进行分级。

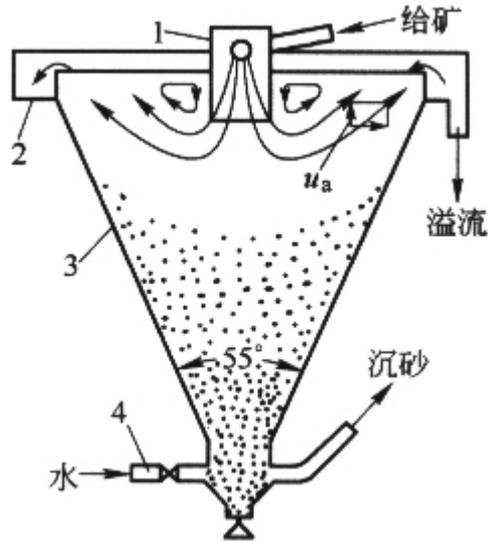


四级连用的水冲箱工作示意图

**特点：**由细到粗地进行分级，上升水流通过床石给入，流速分布较均匀，分级精确性较高，沉砂中含细颗粒数量很少。沉砂浓度可在**60%-80%**之间调节。适合于对比重差小的原料进行窄分级，也可供制备高浓度给矿原料使用。

可以单独应用，也可由**2-4**个箱串联工作。给矿的适宜粒度范围为**2-0.075mm**。设备结构简单，需用的水压不高（稳压箱液面至分级溢流面高差约**0.5-2m**），安装方便，工作灵活。但处理量小，操作要求严格，目前还只限于在重砂精选作业中为摇床制备原料使用。

## (5) 脱泥斗



脱泥斗示意图

1-给矿圆筒； 2-环形溢流槽；  
3-锥体； 4-备用高压水管

又称圆锥分级机，外形为一倒立的圆锥，在液面中心设给矿圆筒1，圆筒底缘没入液面以下。矿浆沿切线方向给入中心圆筒，经缓冲后由圆筒底缘流出，然后向周边溢流堰方向流动。沉降速度大于流体上升速度的粗颗粒沉降到槽内，经底部沉砂口排出。携带细颗粒的矿浆流至溢流槽内。锥角一般为 $55\sim 60^\circ$ ，有 $D=1000\sim 3000\text{mm}$ 的5种规格。

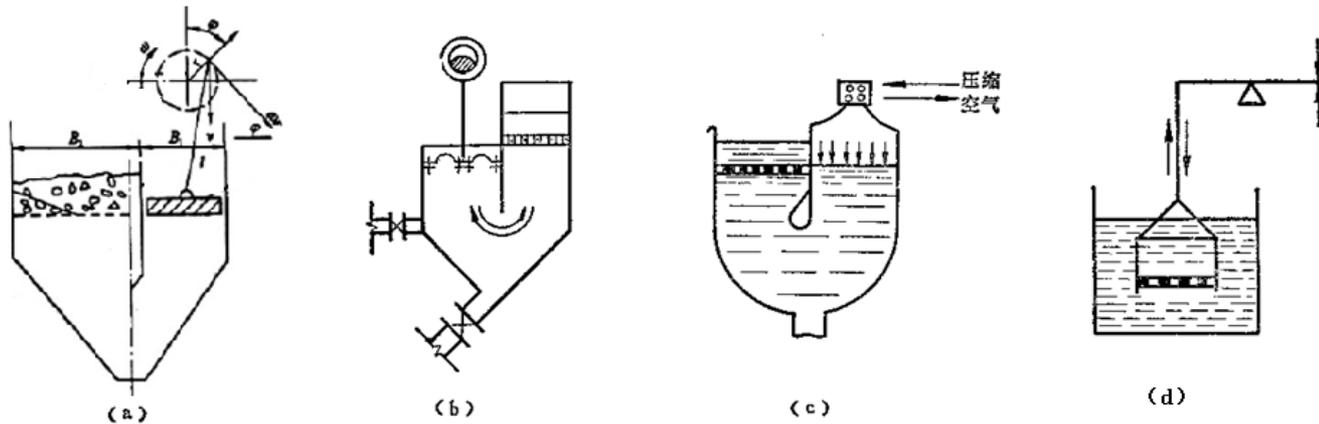
**特点：**分泥斗具有结构简单、易于制造且不消耗动力。但分级效率低、安装高差大、设备配置不方便。

**应用：**在流程中有缓冲矿量的作用，故在选厂应用广泛。主要用在水力分级前对原矿进行脱泥，亦可用在水力分级后，从溢流中再回收部分粗砂送摇床送别。还常常安装在磨矿设备前对矿浆进行浓缩、脱水，以提高给矿浓度。此外还常用在各种矿泥分选设备前控制给矿浓度和矿量。

## 4.2.3 跳汰机

### (1) 跳汰机分类

跳汰机是在垂直交变水流中使轻重物料分层和分选的设备。根据设备结构和水流运动方式不同，大致可分为活塞跳汰机、隔膜跳汰机、空气鼓动跳汰机和动筛跳汰机等。



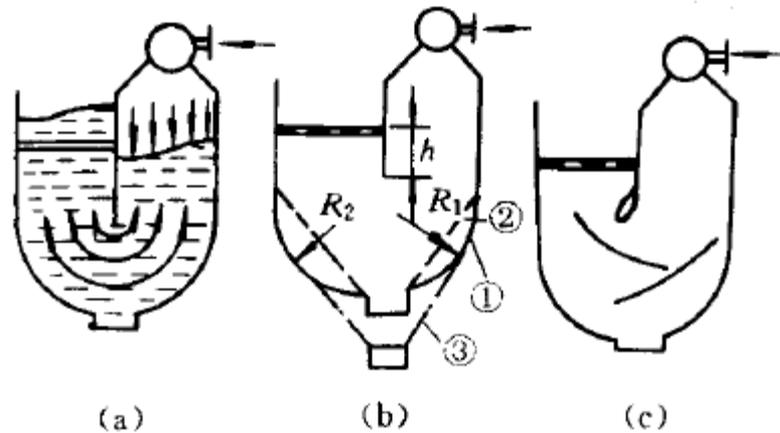
(a) 活塞跳汰机； (b) 隔膜鼓动； (c) 空气鼓动； (d) 动筛跳汰

金属矿重选厂应用最多的是隔膜跳汰机，按隔膜位置不同有：上动型（又称旁动型）隔膜跳汰机、下动型隔膜跳汰机和垂直侧动隔膜跳汰机3种。

## (2) 跳汰机主要部件

### ① 机体

跳汰机机体承受跳汰机全部重量和脉动水流产生的动负荷。常见形状有：半圆形、角锥形和过渡形3种，通常采用分成隔室制造。



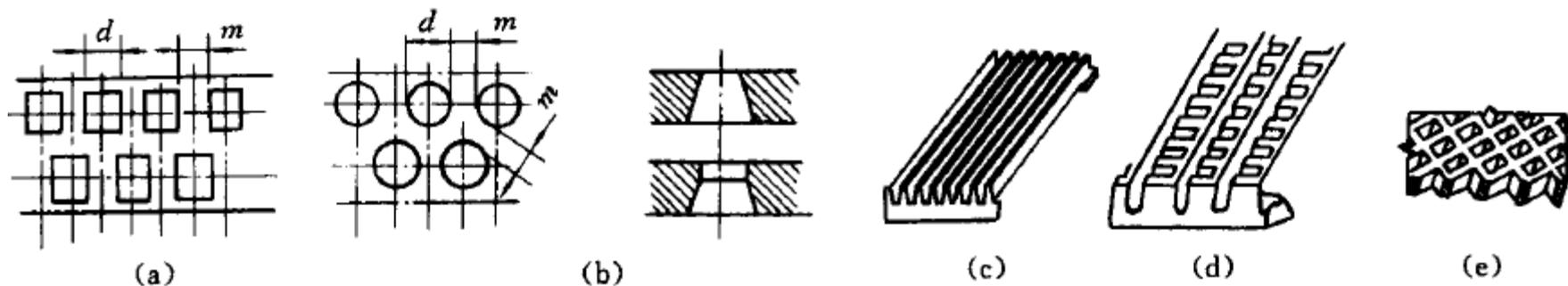
机体形状及其对水流波动的影响  
(a) 半圆形； (b) 角锥形； (c) 过渡形

## ②筛板

筛板的作用是承托床层，与机体一起形成床层分层的空间，控制透筛排料速度和重产物床层的水平移动速度。

冲孔筛板的孔型有圆形、正方形和长方形，开孔率一般为25%-35%。

圆形筛孔用得最广泛；锥形筛孔有利于物料透筛和减少堵塞现象，便于清理；长方形筛孔不易堵塞，但安装时应使筛孔长边与物料的运动方向一致。棒条筛筛面坚固、刚性好、开孔率大，可达50%，为冲孔筛板的1.5倍。此外，还可以选择其他适当的形状。

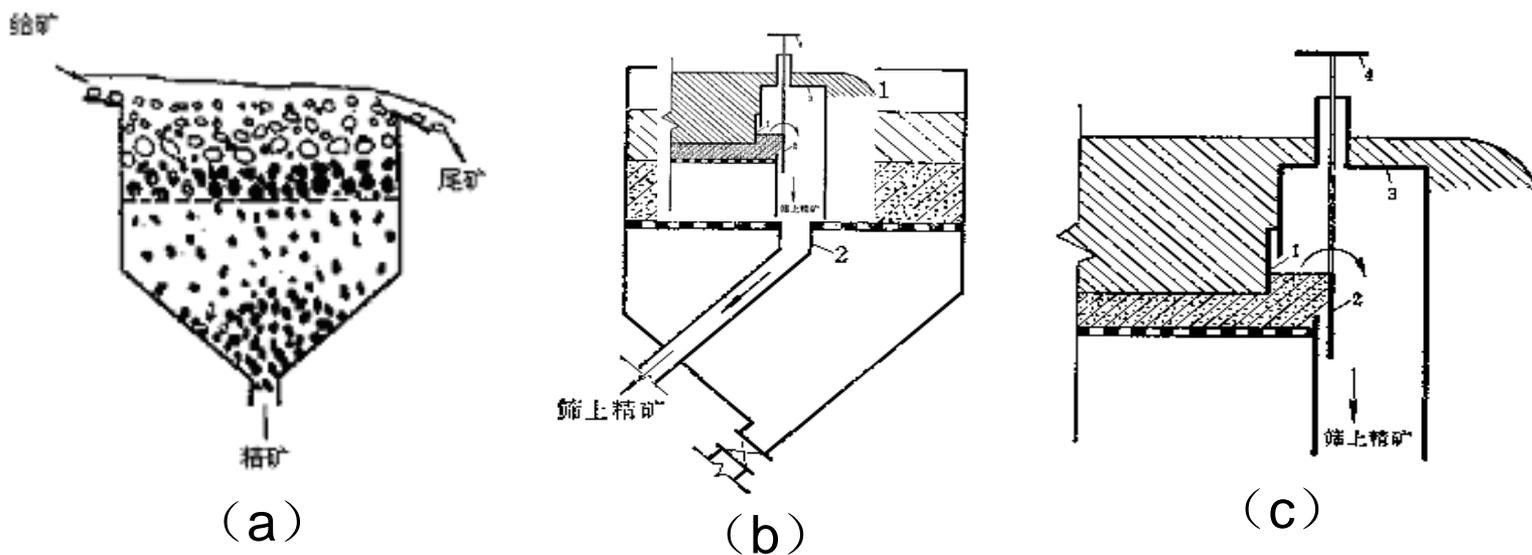


跳汰机筛板结构型式

(a) 方形冲孔； (b) 圆形及锥形冲孔； (c) 和 (d) 棒条筛； (e) 斜向水流方孔筛

### ③排料装置

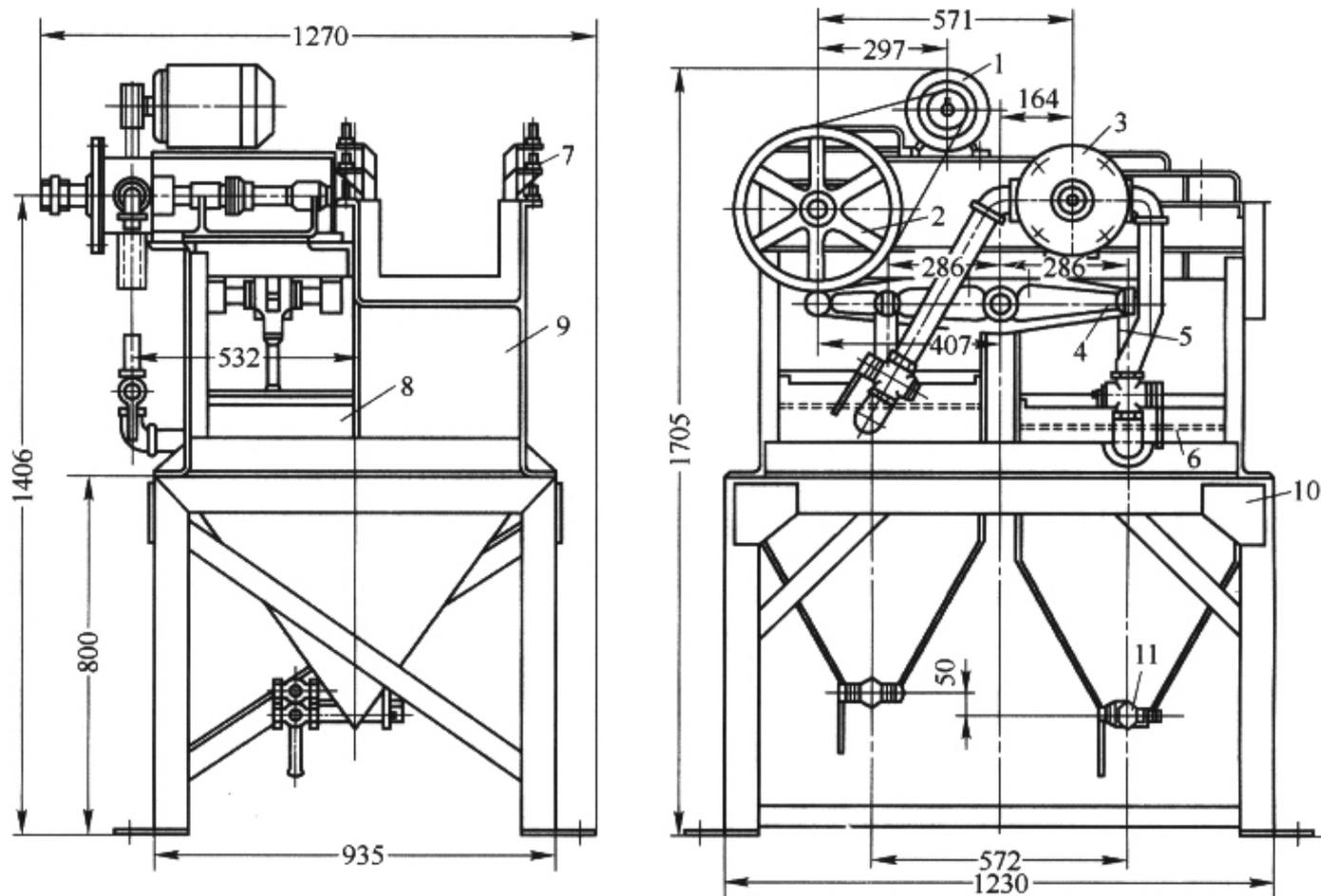
是将床层中按密度分好层次后的物料，准确地、及时地和连续地排出，以保证床层稳定和产品分离的重要部件。使跳汰机能得到较高的生产率和较好的分选效率。



跳汰机常见排料方式

(a) 透筛排料； (b) 中心管排料； (c) 一端排料

### (3) 上(旁)动型隔膜跳汰机



300×450mm双室旁动型隔膜跳汰机

1-电动机;2-传动装置;3-分水器;4-摇臂;5-连杆;6-橡胶隔膜;7-筛网压板;8-隔膜室;9-跳汰室;10-机架;11-排矿活栓(图中尺寸单位为mm)

**结构**：又称丹佛(Denver)型跳汰机。其结构小巧而简单，由机架、传动机构、跳汰室及底箱4部分组成。筛板面积 $B \times L = 300\text{mm} \times 450\text{mm}$ ，共有两室串联工作。

为方便配置，有左、右式之分。从给矿端看，传动机构在跳汰室左侧的为左式，反之为右式。

上部电动机带动偏心轴转动，通过摇臂杠杆和连杆推动两个隔膜交替上下运动。隔膜呈椭圆形，四周与机箱作密封连结。在隔膜室下方设补加水管。偏心轴采用双偏心套结构，在内偏心轴外面套一个偏心环，两者的偏心距均为9mm。转动偏心环，可使摇臂杠杆端点的冲程在0~36mm之间变化。经过摇臂杠杆长度折算，设备的机械冲程可调范围是0~25mm。冲次改变则需更换皮带轮，设计值为320和420次/mm（冲程、冲次调节方法也适宜于其他型式跳汰机）。

**工作原理：**当隔膜上升时，阀门打开，水流进入筛下，减弱了吸入作用。当隔膜下降时停止给水。这样即形成了上升水速大于下降水速而作用时间相等的不对称跳汰周期。分层后的轻产物随上部水流越过尾矿堰板排出，重产物的排出方式则有多种。

●处理粗、中粒原料时（ $d > 2-3\text{mm}$ ），重产物停留在筛网上面，此时采用中心管排料法排出。

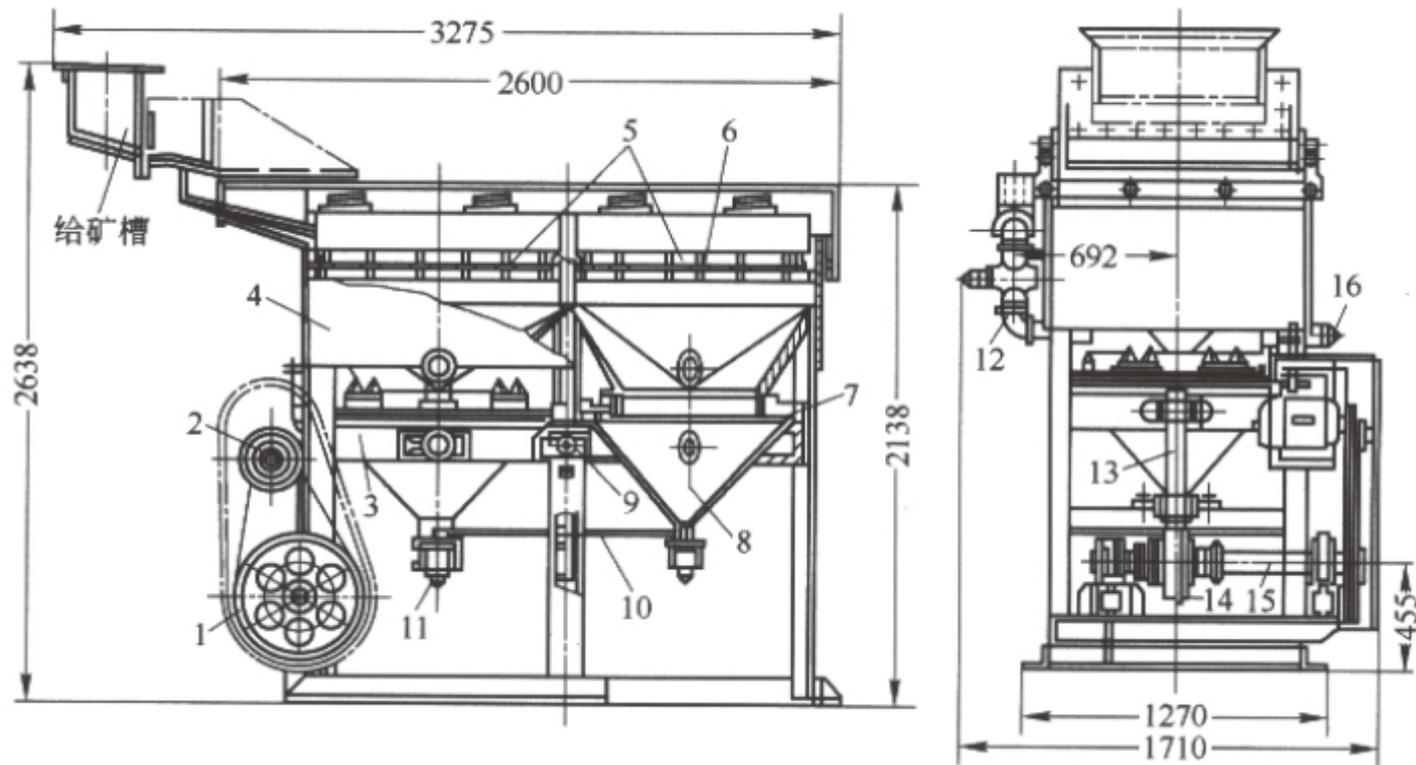
●当重产物的产率大时，因中心管的排料能力低而不敷用，此时可采用一端排料法排出。

●在处理细料原料时，如果将筛孔尺寸也相应地减小，筛板的有效面积降低，水流通过筛板的阻力随之增加。因此常在粗筛孔条件下采用人工床层透筛排料法排矿。

**应用**：在我国中、小型钨、锡选矿厂应用较多。最大给矿粒度为12~18mm，最小回收粒度可达0.2mm，水流运动接近正弦曲线。给矿在入选前应适当地按粒度分级。主要缺点是耗水量较大，在3~4m<sup>3</sup>/t 矿以上。给水压力应达0.15~0.2MPa。处理能力波动在2~5t/台·h。

#### **(4) 下动型隔膜跳汰机**

**结构**：由机架3、传动机构（包括隔膜）、跳汰室及锥形底箱等部件组成。传动装置安装在跳汰室下方。隔膜为圆锥状，用环形橡皮膜与跳汰室连接。电动机及皮带轮设在机械一端，通过杠杆推动隔膜上下运动。



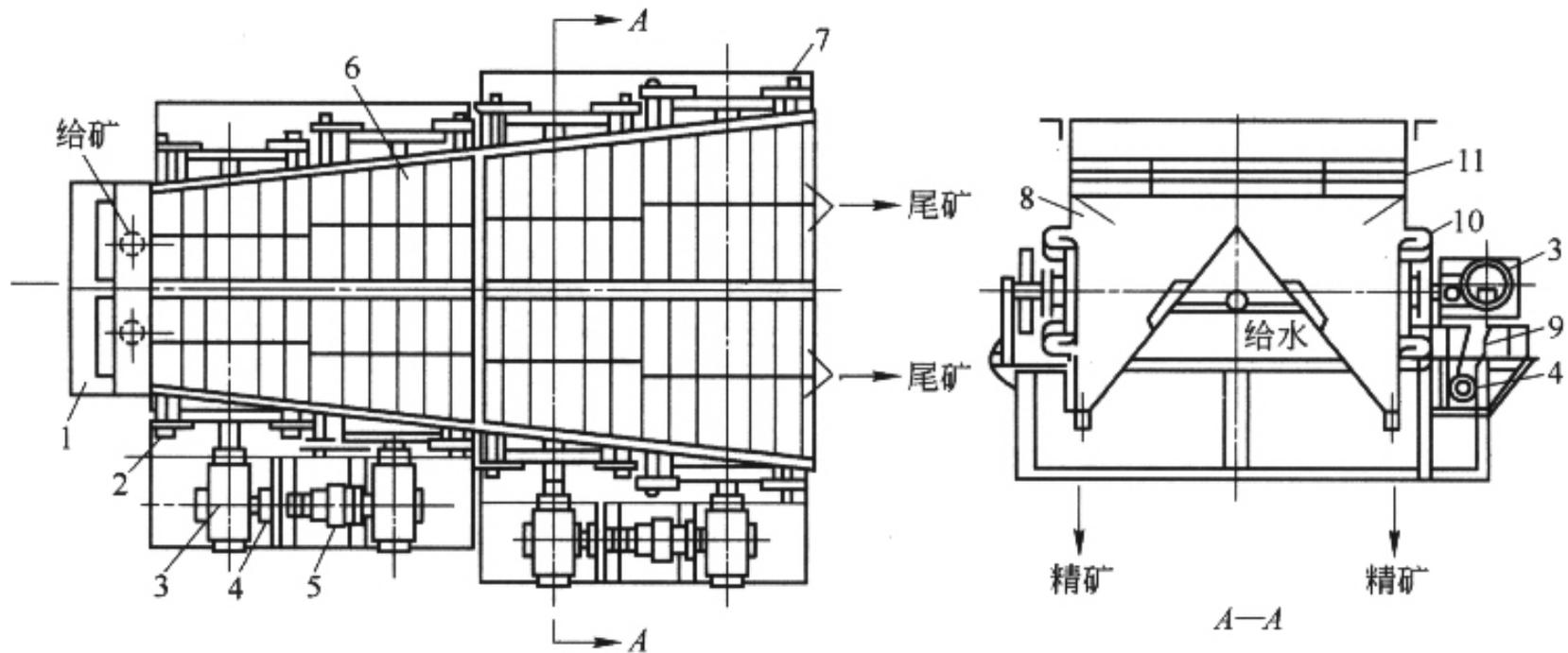
100×1000mm双室下动型隔膜跳汰机

1-大皮带轮;2-电动机;3-活动机架;4-机体;5-筛格;6-筛板;7-隔膜;8-可动锥底;9-支撑轴;10-弹簧板;11-排矿阀门;12-进水阀门;13-弹簧板;14-偏心头部分;15-偏心轴;16-木塞

**特点：**没有单独的隔膜室，占地面积小；下部圆锥隔膜的运动直接指向跳汰室，水压分布较均匀，但隔膜承受着整个设备内的水和筛下精矿的重量，负荷较大。因受隔膜形状限制，机械冲程只能调到20-22mm。隔膜断面积也小，冲程系数只有0.47左右。跳汰室内脉动水压较弱，对粗粒床层松散较困难。故这种跳汰机不适于处理粗粒原料，一般只用于分选-6mm的中、细粒级矿石。

### **(5) 侧动型隔膜跳汰机**

隔膜垂直地安装在跳汰室筛板下面的侧壁上，按隔膜的运动方向区分，与矿流运动方向一致的称为纵向侧动隔膜跳汰机，与矿流运动方向垂直的称为横向侧动隔膜跳汰机。后者在实践中较为常用，典型代表是梯形侧动式隔膜跳汰机。



1200-2000mm × 3600mm 梯形跳汰机

1-给矿槽;2-前鼓动箱;3-传动箱;4-三角皮带轮;5-电动机;6-后鼓动箱;7-后鼓动盘;  
8-跳汰室;9-三角带;10-鼓动隔膜;11-筛板

**结构：**全机共有8个跳汰室，分作两列，用螺栓在侧壁上连接起来形式一个整体。每两个对应大小的跳汰室为一组，由一个传动箱中伸出通长的轴带动一组跳汰室两侧垂直的外隔膜运动。全机共两台电机，每台驱动两个传动箱。传动箱内装有偏心连杆机构，借改变轴上偏心套的相对位置调节冲程。补加水由两列跳汰室中间的水管给入到各室中，在水流的进口处设有弹性的盖板。

**工作过程：**当隔膜前进时，借水的压力使盖板遮住进水口，水不再给入；当隔膜后退时，盖板打开，补充给入筛下水，从而造成下降水速弱，上升水速又不太强的不对称跳汰周期。

重产物采用透筛排料法排出。为使脉动水流均匀地分布在整个筛面上，隔膜与筛板间保持着一定的高度差，并在筛板下面设置倾斜挡板，以使水流的流动长度大致相等，避免靠近隔膜的部分床层鼓动过大。

## (6) 跳汰机的操作与维护

### ●跳汰机操作要点

#### ①筛下补加水

处理粗粒且粒级范围窄时，应多加补加水，提高床层的松散程度。

处理粗粒或细粒的未筛分物料时，不加或少加补加水，可利用强、弱吸入形成分层。

处理已分级的产品，如果重矿物颗粒直径小于床层间隙，则需要吸入作用，不加或少加补加水。

处理粗中粒的产品，应该保证供给足够的补加水量和水压，以抵消向下的水流作用。补加水量也应适当，补加水量不足会使精矿的产率增大，品位就会下降。反之，补加水量过大会造成金属流失，降低回收率。正常操作时，补加水量不应超过隔膜上升时从跳汰区吸出的水量。

**②给矿水。**给矿水与给矿浓度有关。一般要求尽量少用水，只要能均匀地将矿石送入跳汰机就可以。

**③精矿层厚度。**与矿物颗粒大小和密度有关。若有用矿物与脉石矿物的密度差较大，精矿层厚度可以薄一些，相反则精矿层应厚一些，否则会影响精矿品位。一般处理粗粒时的精矿层要比细粒时的精矿层厚度大些。

**④床层。**床层的厚度及比重与矿石性质相关，床层的比重最好与精矿相同。若床层太重，必须加强上升水推力，结果会使上层矿砂产生“沸腾”现象。若床层太轻，易被水流冲乱或冲走，失去床层的作用。床层颗粒的大小决定了床层间隙的大小，影响水流作用和吸入强弱。一般其粒径大小为筛孔的1.5~2倍或给矿中最大颗粒的3~6倍。

⑤**冲程和冲次**。冲程长度必须具备冲起整个矿层的能力，同时冲次也要充足，二者应该具备适当的组合。一般处理量大、床层厚、粒度粗和密度大的矿石时，冲程要长，冲次要少。处理细粒、薄床层时，冲程要短，冲次要多。

⑥**筛板落差**。是指两槽室间尾板的高度。为使矿石向机尾流动，各槽的筛子高度是顺次降低的，落差越大，矿粒移动的速度就越快，停留在筛面上受分选的时间就越短。易选矿石的落差要大些，难选矿石的落差宜小些，一般为25~75mm。

⑦**给矿**。给矿量尽量保持均匀（指矿量、品位及进入跳汰机的时间分布）。

## ●跳汰机的维护

①加强运动部件的维护“运动部件除了要按规定要求安装好之外，在运转过程中要注意加油，并要定期检修，使运转部件的接触点保持规定的间隙，不要过紧或过松。要注意保持运转部件的清洁，以免磨损或锈坏部件。

②加强对筛网的维护“筛网的好坏直接影响跳汰机的分选效果，筛网的安装要平稳、紧固，要经常清理筛网，以防堵塞。当筛网磨损较大时，应及时修理或更换。

③加强对隔膜的维护。跳汰机的隔膜是橡皮胶制品，安装时要平整、紧密，鼓动时不能露水，要保护隔膜不受损坏。如果发现隔膜破损，应及时修理或更换。

## 跳汰机不正常现象和表现特征及原因

现象	表现特征	原因
(1)床层过紧	床层不能松散,用手很难插入,水流下降时,床层甚至露出水面,矿石运动速度慢,尾矿跑连生体,甚至出现单体矿物现象	(1)给矿量大,粒度粗,冲程与筛下水量小 (2)筛面普遍被阻塞或人工床层太厚,密度太大,粒度太粗 (3)冲次太大
(2)床层过松	水平运动不平稳,甚至水面左右摆动,用手插入感觉不到阻力,床层运动快,尾矿中跑单体或连生体,筛上精矿品位高,筛下精矿品位低	(1)冲程过大 (2)筛下水过大 (3)床层和底砂太薄,或粒度太细
(3)床层紊乱	床层翻花,床层各部松散不均匀,水流紊乱不平稳。用手插入床层,可感觉各部松散不一,尾矿中有连生体与单体	(1)筛面磨损或堵塞,或是筛面安装不平稳或部分松动 (2)给矿浓度过稀 (3)给矿分布不均匀

## 4.3 斜面流分选设备

### 4.3.1 摇床

#### (1) 摇床分类

**从用途上来分有：**矿砂摇床（处理2-0.075mm粒级）矿砂、矿泥摇床（处理-0.075mm粒级矿泥）等。

**从构造上，因床头结构、床面形式和支撑方式不同而分为：**6-S摇床、云锡式摇床和弹簧摇床等。

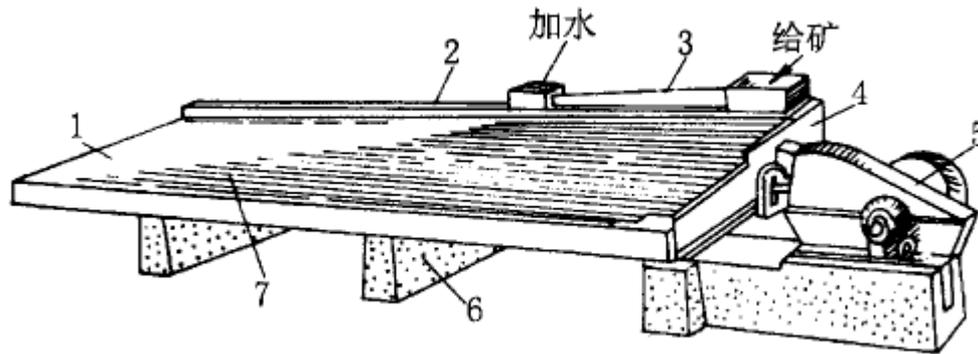
此外，有悬挂式多层摇床和离心摇床等。

#### (2) 摇床主要部件

摇床主要有床面、机架和传统机构三大部分组成。

①**床面。**床面有矩形、梯形和菱形3种。矩形床面存在无矿带，床

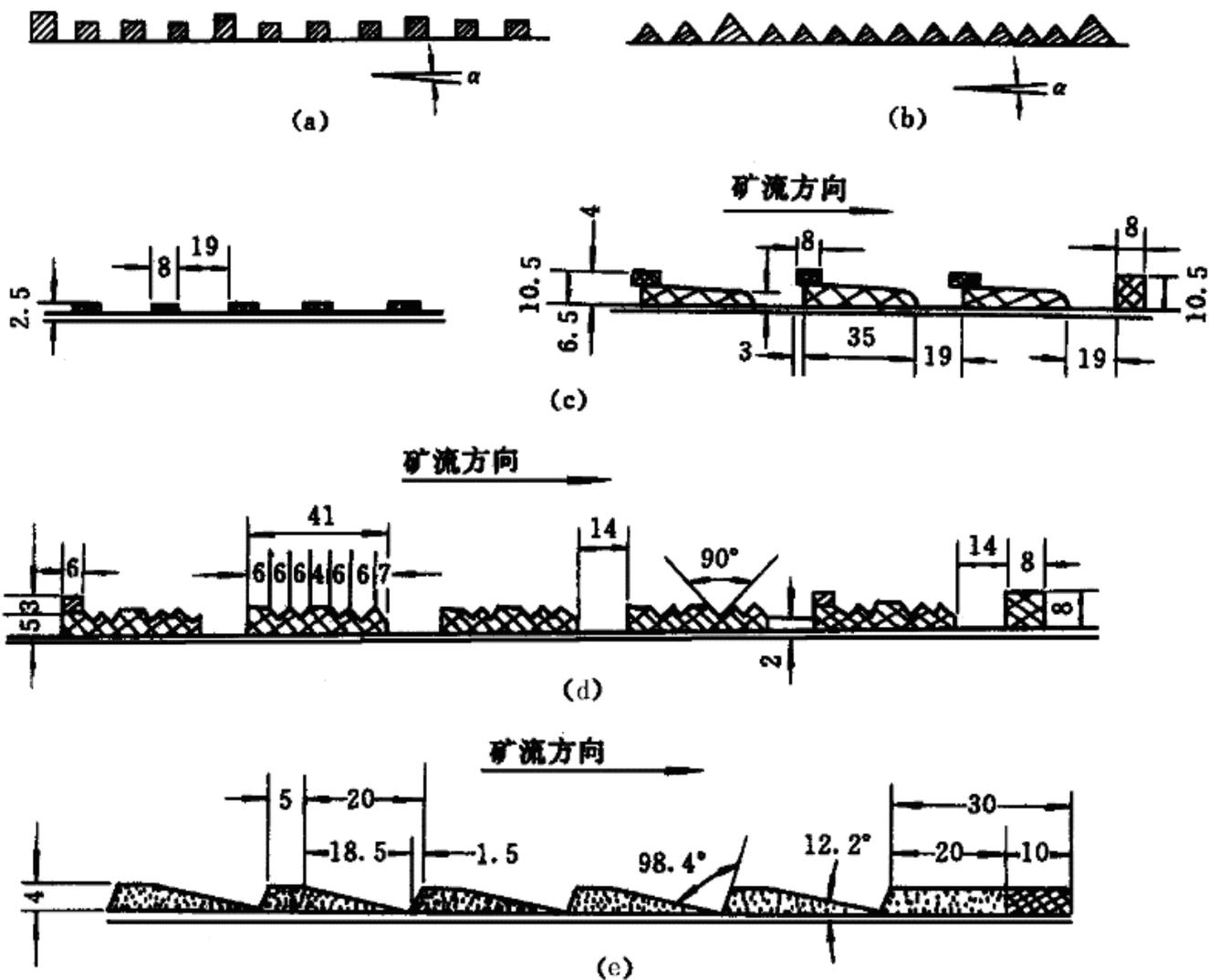
面利用率较低。切去无矿带则形成菱形床面，菱形床面的利用率和分选效率提高，菱形床面在国外应用较广。我国普遍采用的是介于矩形和菱形之间的梯形床面。



摇床的一般结构

1- 精矿端 2- 冲水槽 3- 给矿槽 4- 给矿端 5- 传动越置 6- 机座 7- 床面

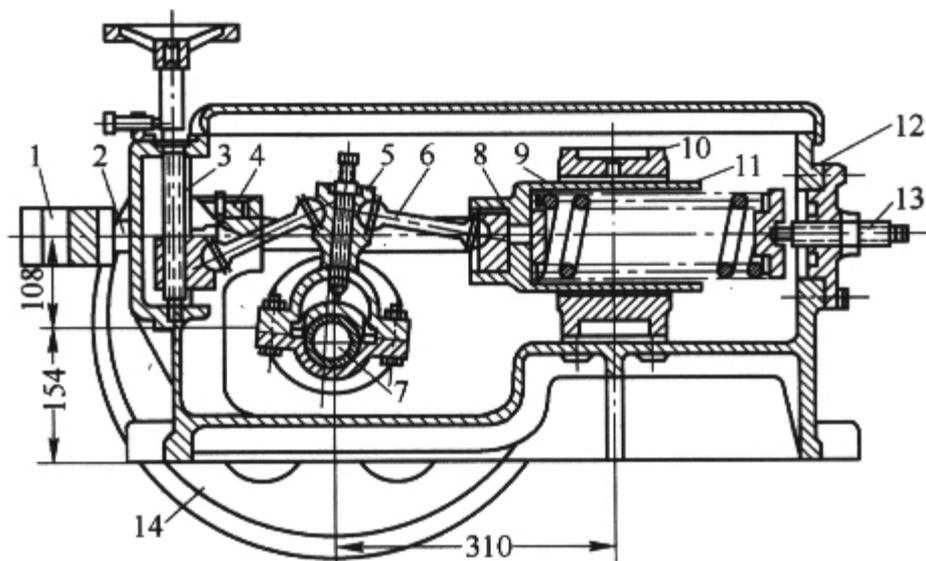
床条形状按分选物料性质确定。矩形凸条床条适用于处理粗砂，三角形床条适用于处理细砂和矿泥。刻槽床条适于处理矿泥。楔形刻槽和梯形凸条结合起来的床条（云锡式床条），适于处理粗、中粒。床面上床条数量一般为44~50根，刻槽床面有45~65条槽。



床条类型

(a) 6S-凸起式粗砂床条 (b) 6S-凸起式矿泥床条 (c) -云锡式粗砂床条 (左侧为精选区床条, 右侧为粗选区床条) (d) -云锡式细砂床条 (e) -云锡式矿泥刻槽床条 (图中尺寸单位mm)

**②摇动机构。** 摇动机构又称床头，是带动床面作往复运动的机构。常见的有偏心连杆式（如6—S摇床）、凸轮杠杆式（云锡式摇床）、惯性弹簧式（弹簧摇床）等。



### 偏心连杆式床头

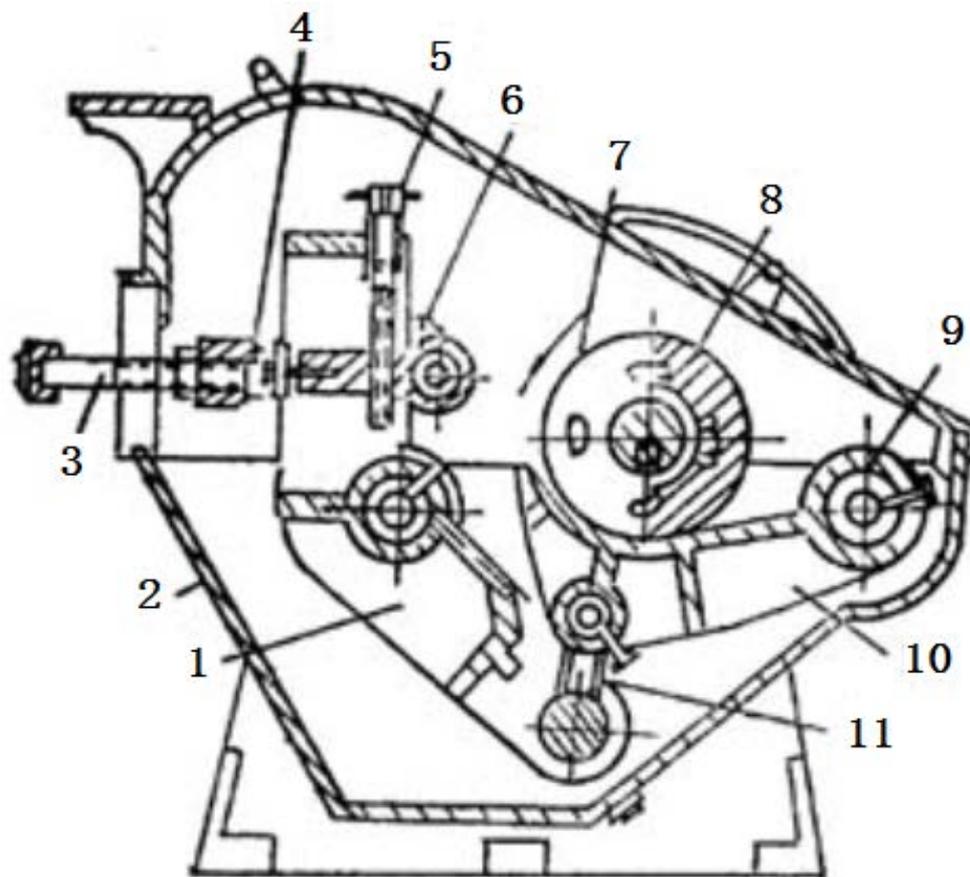
1-连动座；2-往复杆；3-调节丝杆；4-调节滑块；5-摇动杆；  
6-肘板；7-偏心轴；8-肘板座；9-弹簧；10-轴承座；11-后轴  
；12-箱体；13-调节螺栓；14-大皮带轮

## 偏心连杆式床头工作过程：

电动机经大皮带轮14带动偏心轴7 旋转，摇动杆5 随之上下运动。由于肘板座4（即调节滑块）是固定的。当摇动杆向下运动时，肘板6的端点向后推动，后轴11和往复杆2 随之向后移动，弹簧9被压缩，通过连动座1和往复杆2带动整个床面向后移动。当摇动杆向上移动时，肘板间的夹角减小，受弹簧的伸张力推动，床面随之向前运动。床面向前运动期间，肘板间的夹角由大向小变化。肘板端点的水平移动速度则由小向大变化，故床面的前进运动由慢而快。反之在床面后退时，床面则由快而慢，这样便造成了床面的差动运动。丝杆3与手轮相连，转动手轮，上下移动滑块4即可调节冲程。转动螺旋13可以改变弹簧的压紧程度。床面的冲次则需借改变皮带轮的直径调节。

**优点是：**冲程调节范围大，调节方便，选别粗砂时较其它床头好。

**缺点是：**床头构造较复杂，易断肘板，易磨损零件较多。



### 凸轮杠杆式床头

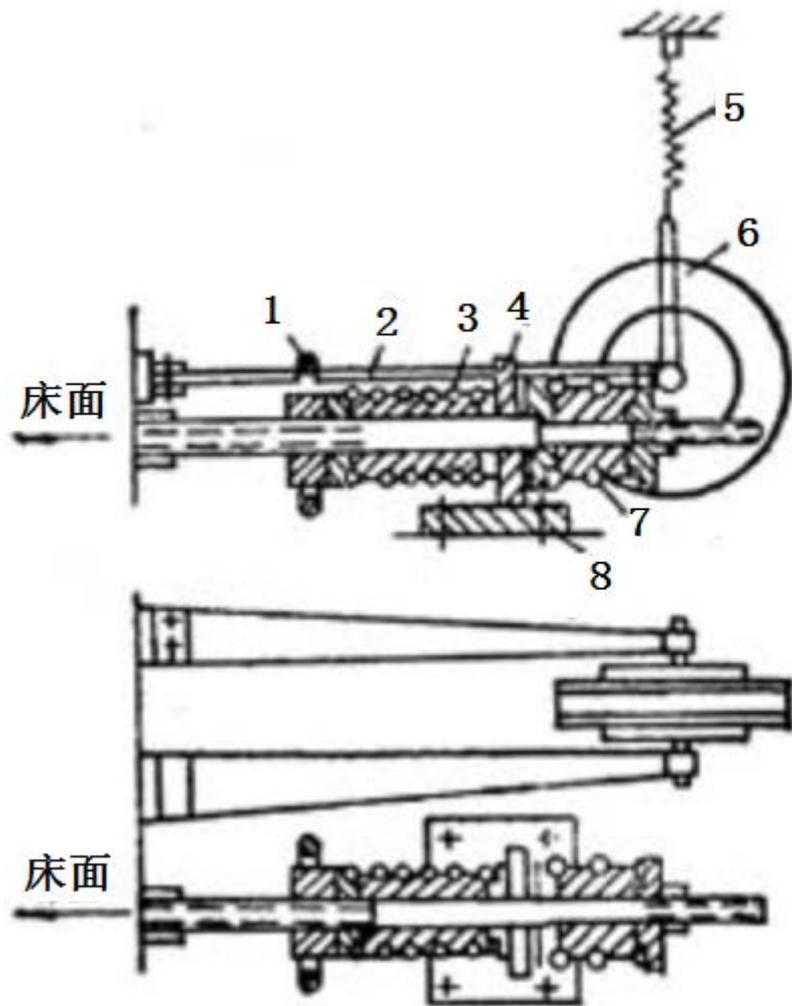
1-摇臂；2-床头箱；3-拉杆；4-连接叉；5-冲程调节螺杆；6-丁字头；7-滚轮；8-传动偏心轴；9-台板偏心轴；10-台板；11-卡子；

**结构：**主要由传动偏心轮、台板、卡子和摇臂四个零件组成。

**工作过程：**当传动偏心轴8转动时，滚轮7同样也作自由旋转并紧压台板10，台板绕台板偏心轴9作上下运动，由卡子11将台板的运动传给绕定轴作左右摆动的摇臂1，摇臂的上臂通过丁字头6，连接叉4和拉杆3与床面连接。当传动偏心轴向下运动时，床面后退，床面下边的弹簧被压紧；当传动偏心轴向上运动时，床面下边被压紧的弹簧松开，床面前进。通过调节台板偏心轴位置可以改变运动特性。台板偏心轴向前不对称性增大。冲程调节螺丝杆5，可以使丁字头上下移动，改变床面冲程的大小。

**优点是：**运动不对称性大，且可以调整。适于不同粒级的给矿要求，运转可靠。

**缺点是：**弹簧装在床面下部，调节冲程不便。



### 惯性弹簧式床头

1-冲程调节螺丝；2-弹簧片；3-软弹簧；4-打击板；5-悬挂弹簧；6-偏心轮；7-硬弹簧；8-弹簧座

**结构：**由惯性振动器以及带弹性碰击的差动机构两部分组成。惯性振动器主要由偏心轮**6**、弹簧片**2**和悬挂弹簧**5**等组成。它的作用是使床面产生往复运动。差动机构主要由软弹簧**3**、硬弹簧**7**、弹簧座**8**和打击板**4**等组成。它的作用是使床面产生差动运动。

**工作过程：**当偏心轮**6**转动时，悬挂弹簧**5**轻微地上下运动，使皮带轮与皮带保持紧张状态。弹簧片**2**则作前后运动，并带动床面作往复运动。当床面后退时，打击板**4**与弹簧座**8**之间产生了一个距离（即冲程长度），同时，软弹簧被压缩。在床面前进行程的末期，打击板与弹簧座强烈碰击，使床面上的矿粒受到一个很大的惯性力，于是矿粒向前移动。打击板与弹簧座碰击后，床面便立即反弹回来，使床面后退行程的初期得到了一个很大的加速度，因而矿粒继续向前运动。

**调节：**冲程可在5~25毫米之间调节。调节冲程的方法有：

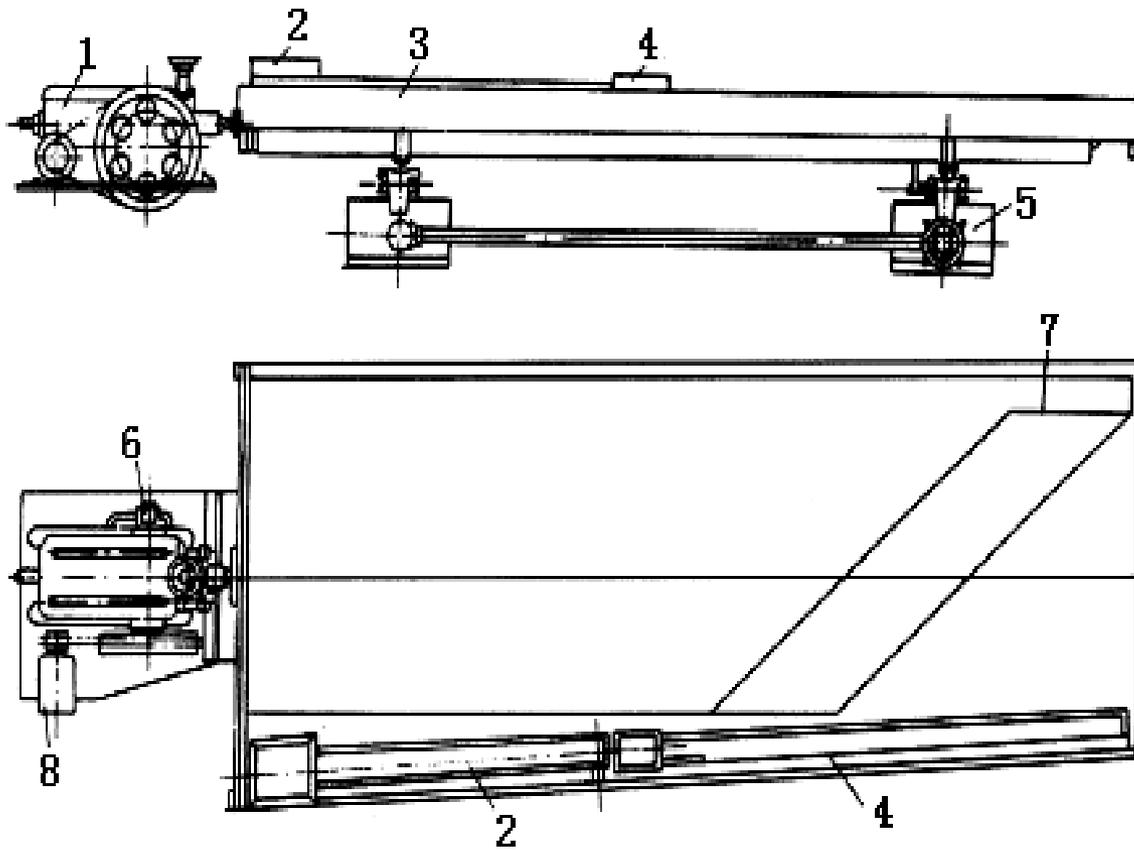
调节较大的冲程，通过调节偏心轮的扁心距来实现。偏心距大，则冲程大；偏心距小，则冲程小。

调节较小的冲程，通过调节软弹簧3的松紧程度来实现，即在一定范围内，软弹簧上紧，则冲程大，软弹簧回松，则冲程小。

**优点是：**不对称性大，处理矿泥效率高，结构简单，容易制造，维修方便，冲程调节方便，动力消耗少。

**缺点是：**运转过程中噪音大，影响冲程的因素较多。

### (3) 6—S摇床



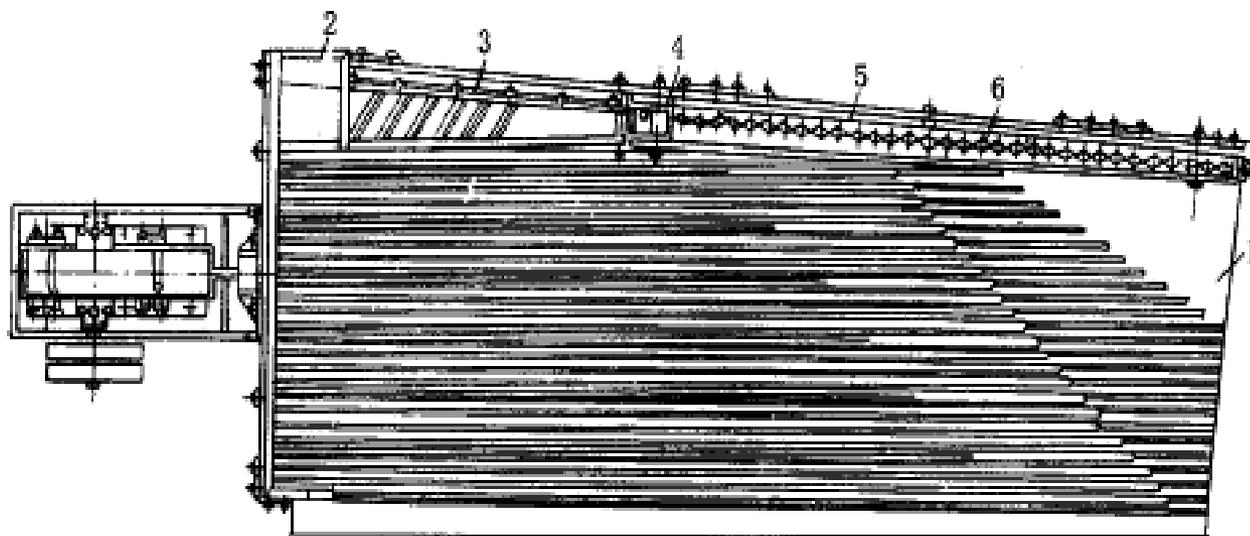
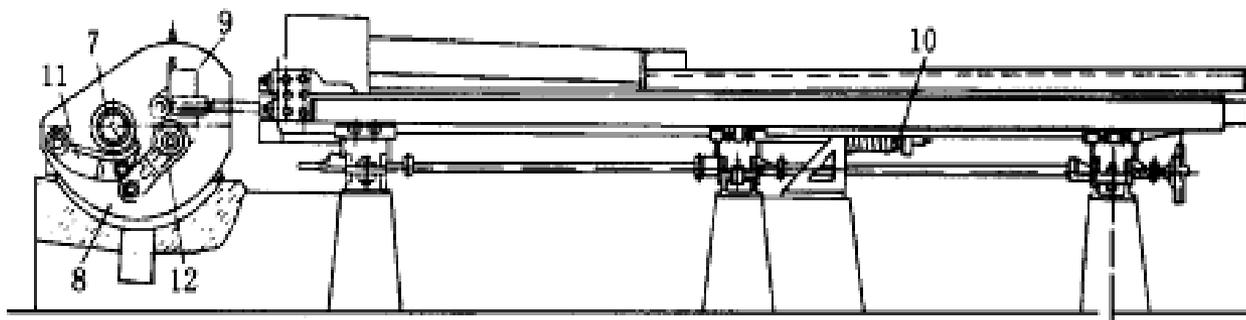
6-S摇床结构图

1-床头 2-给矿槽 3-床面 4-给水槽 5-调坡机构 6-润滑系统 7-床条 8-电机

采用偏心连杆式床头，床面铺有橡胶板或玻璃钢板，以及木刻槽生漆面。根据床面型式可分为矿砂和矿泥摇床两种。矿砂床面嵌有矩形、梯形、三角形或锯齿形来复条。矿泥床面则为三角形或刻槽来复条。目前这种矿泥摇床的使用逐渐被云锡刻槽摇床和弹簧摇床所取代。矿砂摇床又分为粗砂和细砂摇床。

6-S摇床的优点是横向坡度调节范围较大（ $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ），冲程容易调节，在改变横向坡度和冲程时，也可以保持床面的平稳运行，弹簧放置在床头机箱内，结构紧凑。但其缺点是要求的安装精度高，床头结构复杂，易磨损件多，在操作不当时易发生拉杆折断的事故。

## (4) 云锡摇床



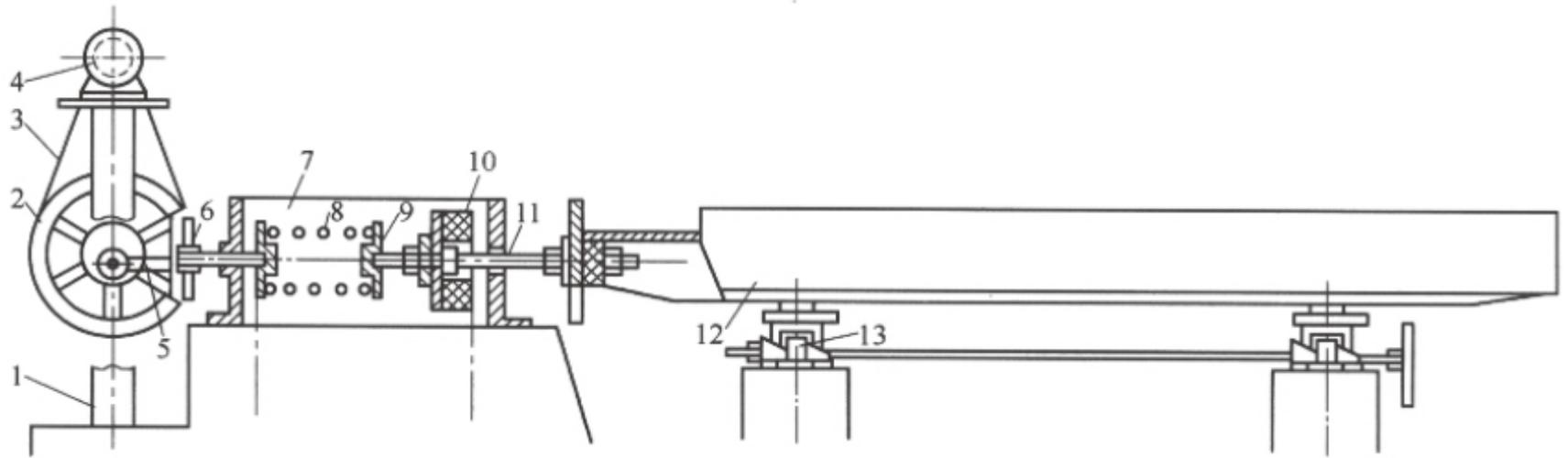
云锡摇床结构

1-床面 2-给矿斗 3-给矿槽 4-给水斗 5-给水槽 6-菱形活瓣 7-滚轮 8-机座 9-机罩  
10-弹簧 11-摇动支臂 12-曲拐杠杆

采用凸轮杠杆式床头，也有采用简化的凸轮摇臂式床头。床面采用滑动支撑方式，尺寸大小与6-S基本相同，不同的是床面在纵向连续有几个坡度。床面采用生漆、漆灰（生漆与煨石膏的混合物）、玻璃钢或聚氨酯作耐磨层。床面有粗砂、细砂和矿泥3种，一般粗砂床面采用梯形来复条，细砂床面采用锯齿形来复条，矿泥床面则采用三角形沟槽。

优点是：床面平整，抗磨蚀性好，坚固耐用，不易变形，便于局部修补。床头运动的不对称性较大，且有较宽的差动性调节范围，可适应不同的给料粒度和选别要求。床头机构运行可靠，易磨损件少，不易漏油。缺点是：弹簧安装在床面底下，检修和调节冲程均不方便（调冲程时需先放松弹簧），床面横向坡度调节范围较小（ $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ），当横向坡度及冲程调节过大时，因床头拉杆的轴线与床面重心的轴线过分分离而会引起床面的振动。

## (5) 弹簧摇床



弹簧摇床结构图

- 1-电机支架 2-偏心轮 3-三角带 4-电动机 5-摇杆 6-手轮 7-弹簧箱 8-软弹簧 9-软弹簧冒 10-橡胶硬弹簧 11-拉杆 12-床面 13-支撑调坡装置

采用惯性弹簧式床头，当床面作后退运动时，软弹簧被压缩，速度逐渐减慢。此时在硬弹簧与弹簧箱壁间出现一个空隙。当床面转而向前运动达到末端时，硬弹簧即与弹簧箱壁相撞击。撞击后又被迅速反弹回来，因而形成很大的一个负向加速度。由此引起的差动运动可以有很大的正、负加速度差值，因此适合于处理矿泥。床面采用刻槽法制成床条，并有生漆涂层。床面采用滑动支撑，用楔形块调节坡度，可调节范围为 $4^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。

弹簧摇床的优点是，床头结构简单，容易制造，质量轻，造价低，电耗小，选别矿泥的指标略优于**6-S**摇床。缺点是设备安装精度要求高，较难调整，噪音大。

## (6) 摇床的操作与维护

### ◆ 摇床的操作要点

①适宜的冲程和冲次。与入选的矿石粒度、摇床负荷和矿石密度有关。当处理粒度大，床层后的物料时，应采用大冲程和小冲次。处理细砂和矿泥时，则应采用小冲程和大冲次。当床面的负荷量增大，或者对较大密度的物料进行精选时，可采用较大的冲程和冲次。适当的冲程和冲次值，应针对不同入选物料在生产实践中逐步总结分析得出。

②适宜的床面横向坡度。增大横向坡度，矿粒下滑的作用增强，尾矿排出速度增大，导致精选区的分带变窄。一般处理粗粒物料时，横向坡度应增大些。处理细粒物料时，横向坡度应小些。粗砂、细砂和矿泥摇床的横向坡度的调节范围分别为 $2.5^{\circ}\sim 4.5^{\circ}$ 、 $1.5^{\circ}\sim 3.5^{\circ}$ 和 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ ，此外，摇床横向坡度还要与横向水流大小相适应，才能得到好的选别指标。

③冲洗水大小要适当。冲洗水包括给矿水和洗涤水两部分。冲洗水在床面上要均匀分布，大小适当。冲洗水大时，得到的精矿品位就越高，但回收率降低。一般处理粗粒物料或精选作业，擦爱用的冲洗水要大些。

④给矿量要适当且均匀。给矿量的大小与入选物料粒度有关。粒度越粗，给矿量就应适当增大。对某一特定入选物料，给矿量应控制在床面利用率大、分带明显、尾矿品位在允许范围内。给矿量过大，回收率会显著降低。此外，给矿量一旦确定，就必须保持给矿的持续和均匀，否则会导致分带不稳定，引起选别指标的波动。

⑤给矿浓度适宜。一般给矿浓度范围在15%~30%之间，选别粗粒物料时，浓度可低一些，细粒物料则要求浓度高一些。给矿中的水大部分沿尾矿带横向流走，细泥容易被冲走，造成细粒级别的金属流失。

⑥物料入选前的准备。摇床入选粒度上限为2~3mm，下限为0.038mm。因粒度对选别指标的影响很大，入选前应噶爱对物料进行必要的分级。若物料中含有大量的微细级别，不仅难于回收，而且会导致矿浆粘度增大，降低中矿物的沉降速度，造成重矿物的损失，此时，应预先脱泥。

⑦分带和产品的截取。在摇床操作稳定和正常的时候，床面上的分带是非常明显的。分带是按照粒度的粗细和矿物组成来形成的，一般细粒较纯的重矿物富集在最前的分带，其后是粗粒的重矿物带，再后是密度较小的矿物富集带、中矿带、尾矿带和溢流带等。

分选矿物组成较简单的物料（如锡石、钨矿与石英的分选）时，可截取精矿、中矿和尾矿3个产品。处理高硫化矿的钨锡矿石，至少应截取富精矿、高硫精矿、中矿和尾矿4种产品，中矿产品一般还需要进行再选。

## ◆摇床的安装与维护

**安装：**摇床的安装要求平整，运转时不应有不正常的跳动，纵向一般为水平的，但处理粗粒矿石时，精矿端应提高 $0.5^\circ$ ，以提高精选效果。处理细泥的摇床，精矿端应降低 $0.5^\circ$ ，以便于细粒精矿的纵向前移。

### **操作维护：**

- ①根据来矿变化及时调节洗涤水量和横向坡度，保持精矿带稳定并成一条直线；
- ②经常清理砂槽和排矿孔，保证畅通无阻，下砂均匀，床面不产生拉沟急流；
- ③每次检修后主动检查、调节冲程和冲次，使之保证符合技术要求；
- ④开车前的检查。开车前认真检查安全挂罩是否齐全，摇床头有无漏油，润滑油路是否正常。分泥斗、分级箱各沟道、槽子是否畅通，有无杂物阻塞，设备电气是否正常。

### ⑤摇床正常运转时要巡回检查：

电机、床头油仓的温度、响声是否正常，地脚螺栓是否稳固!床面是否跳动，床头油仓内的油链是否转动。

流程有无错乱，流向是否正确，管道、槽子有无通漏。

分泥斗、分级箱溢流槽，分级箱阻砂条间隙是否畅通，及时清除床面泥垢。

按要求补加足润滑系统的油量。

### ⑥操作摇床注意事项：

不得随便更换保险丝规格。

不得在电器设备上放置工具和其他物品。

工作场所保持足够照明，人行道畅通。

遇突然停电，及时拉下电源开关。

## 4.3.2 溜槽

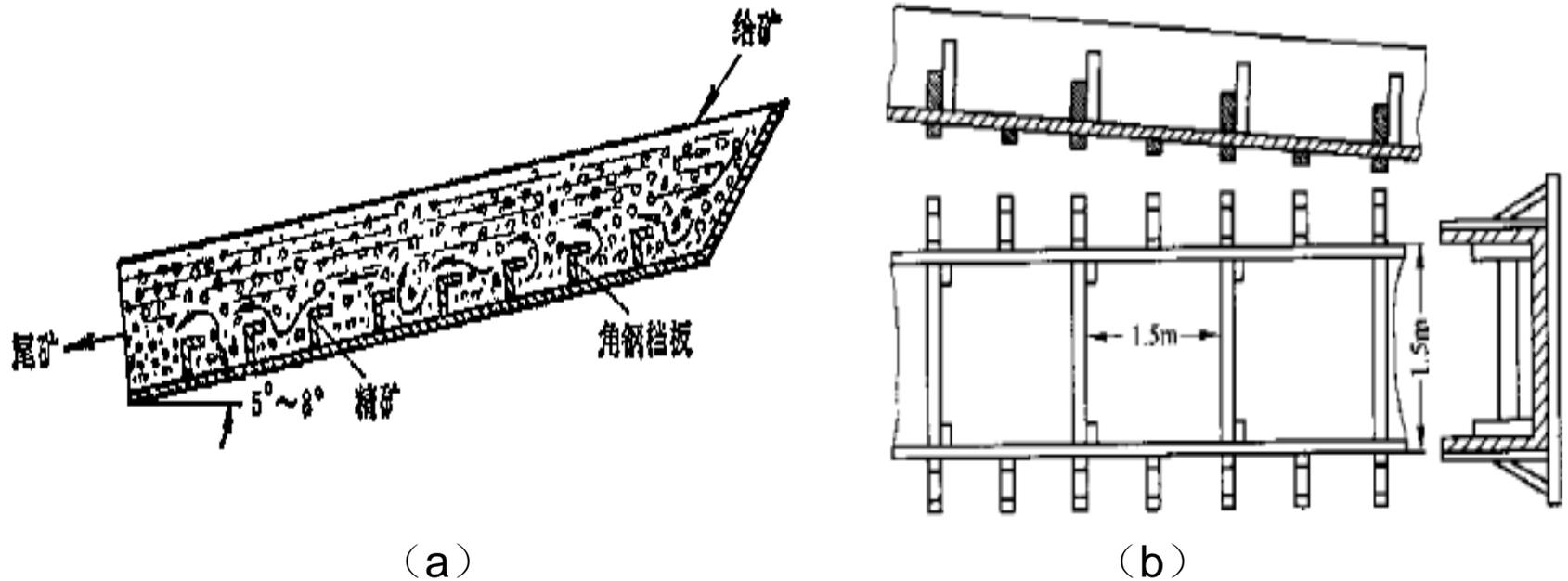
### (1) 溜槽分类

溜槽选矿可以处理各种不同粒度的矿石，给矿最大粒度可达百余毫米，最小为0.1mm以下。选别2~3mm以上粒级的溜槽称为粗粒溜槽；处理2~0.075mm的溜槽为矿砂溜槽；给矿粒度小于0.075mm的称为矿泥溜槽。根据处理矿石粒度、结构形式和矿流运动方式的不同，溜槽可分如下几种：

**粗粒固定溜槽**（选粗粒钨、锡用的溜槽和选金用的溜槽）；**尖缩溜槽**（有扇形溜槽、圆锥选矿机等）；**带式溜槽**（在连续运转的皮带上分选，如皮带溜槽）；**螺旋形溜槽**（包括螺旋选矿机、螺旋溜槽）；**旋转溜槽**（包括旋转螺旋选矿机）；**固定的平面矿泥溜槽**（有铺布溜槽、匀分槽和圆槽等）。

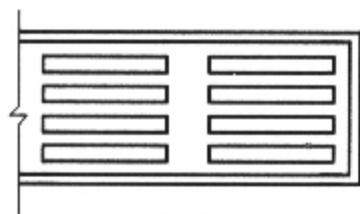
## (2) 粗粒溜槽

一般为用木板或钢板制成的直线形长槽。槽底设置挡板或铺面物，用以造成涡流并阻留重矿物。

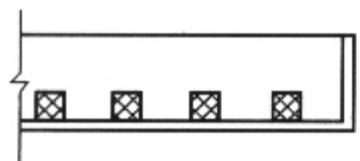


粗粒溜槽示意图( a-选金用； b-选钨、锡用)

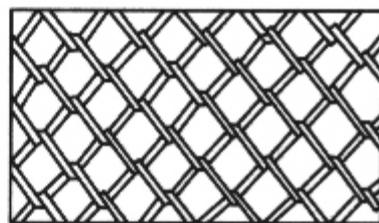
选金溜槽内的设置的挡板型式有很多种，按排列方式可分作直条挡板、横条挡板和网络状挡板等。直条挡板是沿水流方向平行排列，横条挡板垂直于水流方向放置，可用木条或角钢制做。为了避免重矿物细颗粒被水流带走损失掉，还常在挡板下面铺设一层粗糙铺面物，常用者有苇席、毛毡、长毛绒等，提高细粒金的回收率。



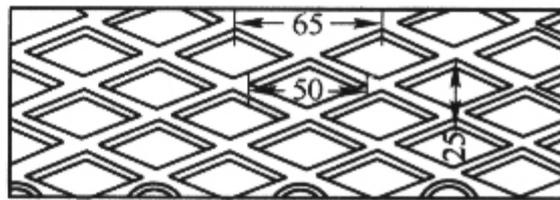
(a)



(b)



(c-1)

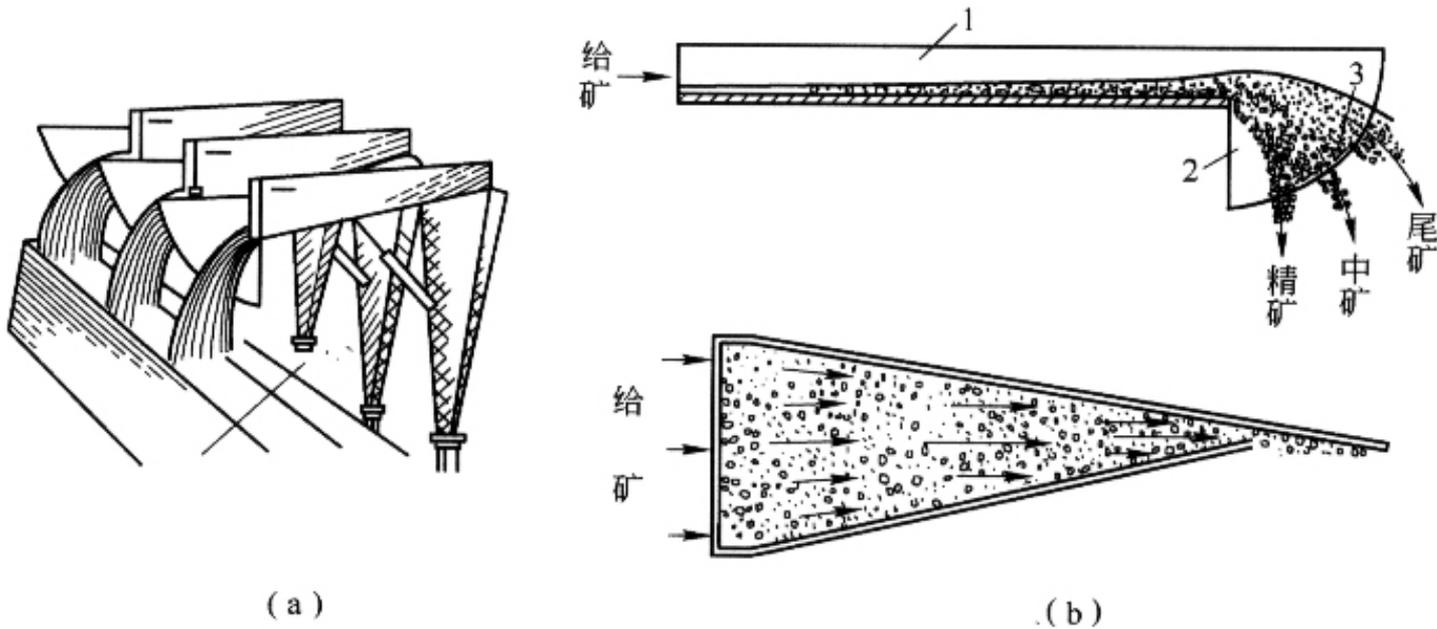


(c-2)

选金用粗粒溜槽的挡板型式  
(a) 直条挡板; (b) 横条挡板)  
; (c) 网格状挡板(图中数字单  
位为毫米)

## (2) 尖缩溜槽

槽底为一光滑的平面，槽子宽度从给矿端向排矿端呈直线收缩。  
槽体倾斜放置，倾角为 $10\sim 20^\circ$ 。



(a) 溜槽组合形式；(b) 一个单槽工作情形  
1-槽体;2-扇形板;3-分矿楔形块

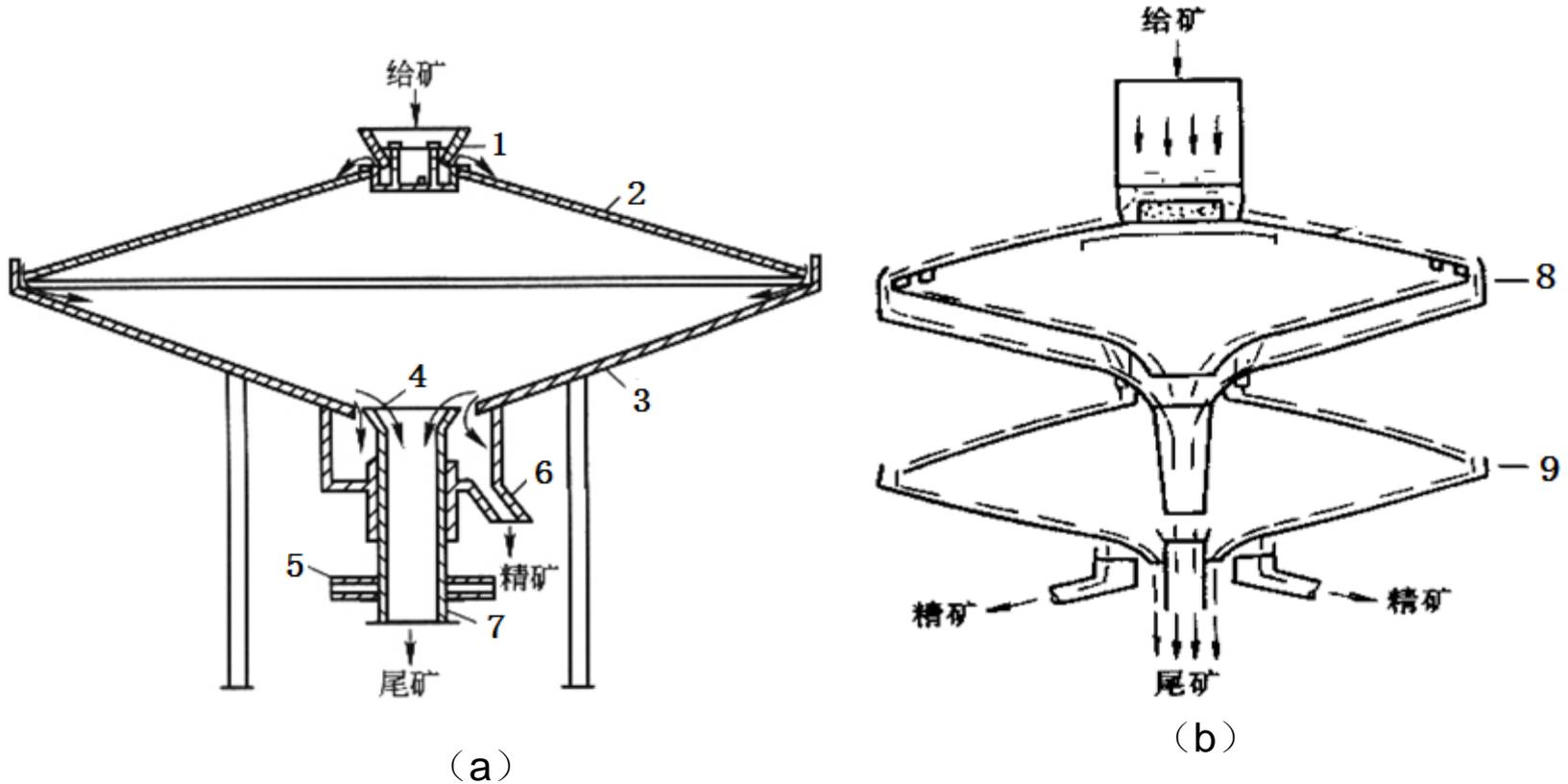
**工作原理：**给入的高浓度矿浆（达到55~65%）在沿槽流动过程中发生分层，重矿物逐渐聚集在下层，以较低速度沿槽度流动，轻矿物以较高速度在上层流动。同时，随着槽面的收缩，矿流厚度不断增大，矿流流速增大。当流到端部窄口排出时，上层矿浆冲出较远，而下层近于垂直落下，矿浆呈扇形面展开。借助截取器即可在不同位置得到重矿物、轻矿物及中间产物。

**特点：**尖缩溜槽单位处理能力为4~6t/m<sup>2</sup>。具有较大的坡度，一般为16°~20°，有效处理粒度2.5~0.038mm

**应用：**主要用于选别含泥少的海滨或湖滨砂矿。该设备具有结构简单，不需动力和处理量较大的优点，适于作为粗选设备。

### (3) 圆锥选矿机

从尖缩溜槽演变而成，将圆形配置的尖缩溜槽侧壁去掉，形成一个倒置的锥面，便构成了圆锥选矿机的工作面。



(a) 单层圆锥选矿机； (b) 组合圆锥选矿机  
1-给矿斗； 2-分配锥； 3-分选锥； 4-截料喇叭口； 5-转动手柄  
； 6-精矿管； 7-尾矿管； 8-双层分选锥； 9-单层分选锥

**结构**：分选锥的直径约为2m，分选带长750~850mm，锥角 $146^\circ$ ，锥面坡度 $17^\circ$ 。在分选锥面的上方设置一正锥体，用于向下面的分选锥分配矿浆，称为分配锥。

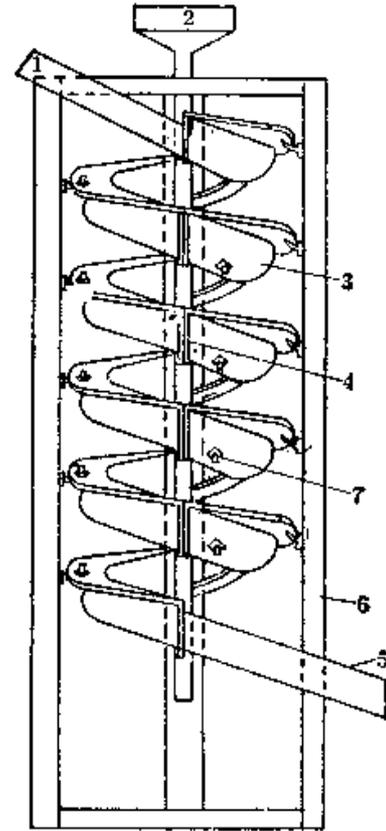
**工作原理**：高浓度的矿浆从分配锥均匀流下，通过分配锥与分选锥之间的周边间隙进入分选锥。矿浆在分选锥面的分层过程与尖缩溜槽相同。进入底层的重矿物由环形孔缓缓流入精矿管中，上层含轻矿物的较高速矿浆流则越过精矿孔口进入中心尾矿管。借助转动手轮调节中心管截料喇叭口的高度，即可改变轻、重产品的数量与质量。

**应用**：适合于处理数量大的低品位矿石，以及尾矿再选。

## (4) 螺旋选矿机与螺旋溜槽

### ①螺旋选矿机

**结构：**主体工作部件是一螺旋形槽体。螺旋圈数对于易选的矿砂有3~4圈即可，对难选矿石则需有5~6圈。螺旋槽的断面轮廓线为二次抛物线或椭圆的1/4部分。槽底除沿纵向（矿流方向）有坡度外，沿横向（径向）亦有相当的向内倾斜。



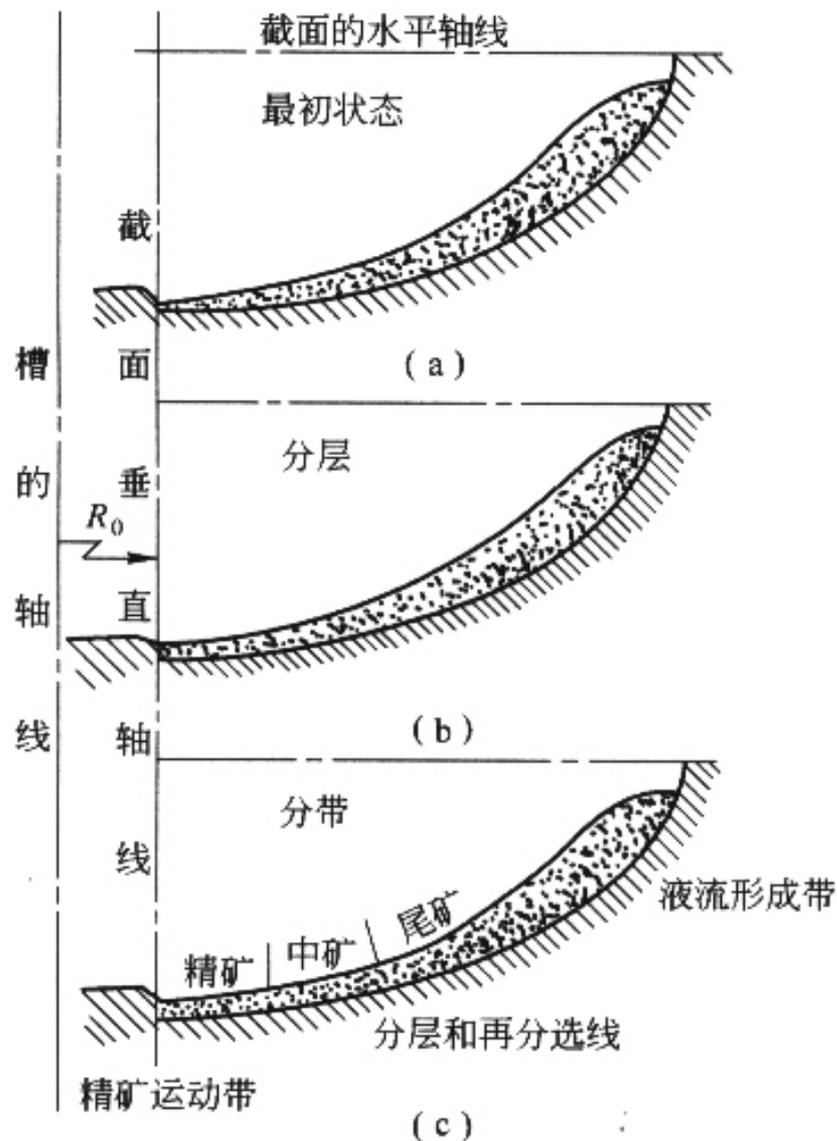
1-给矿槽 2-冲洗水导槽 3-螺选槽 4-法兰盘  
5-轻矿物槽 6-机架 7-重矿物排出管

## 分选过程:

第一阶段主要是分层 (b)。矿粒群在沿槽底运动过程中,重矿物逐渐转入底层,轻矿物进入上层。

第二阶段是轻、重矿物沿横向展开 (c)。具有较小离心加速度的底层重矿物移向内缘,上层轻矿物移向中间偏外区域,在水中悬浮着的矿泥则被甩到最外圈。

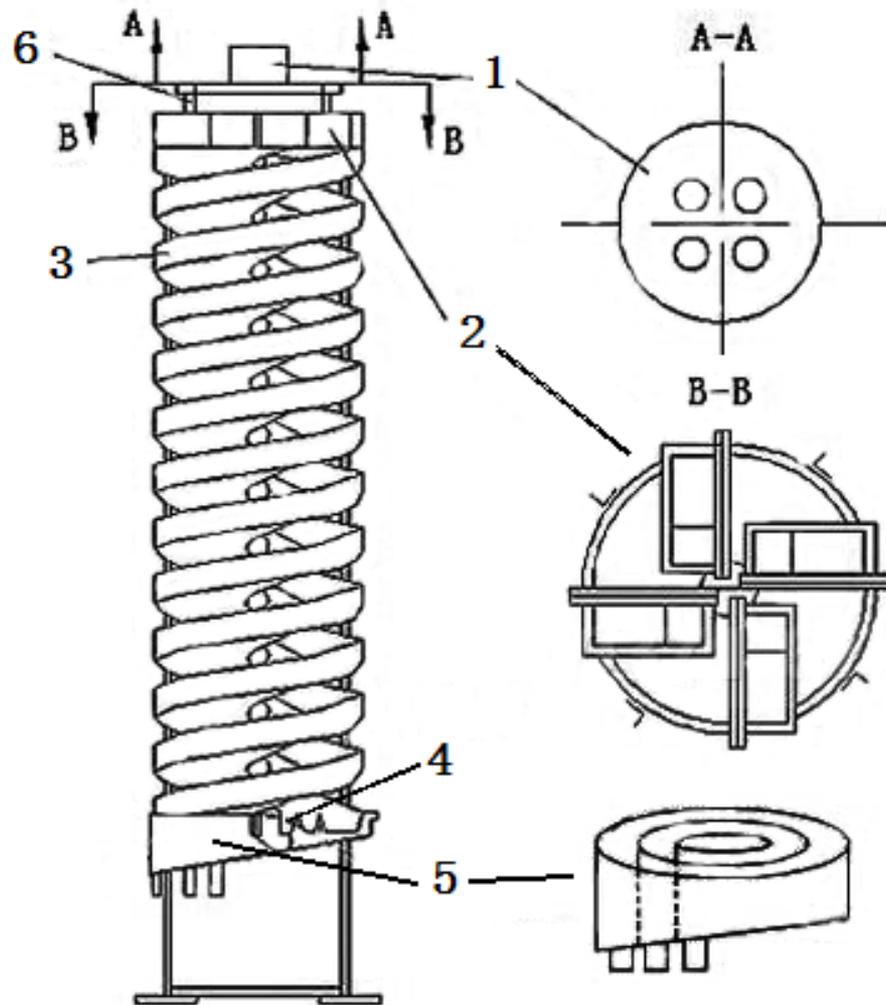
第三阶段是不同性质的矿粒沿各自的回转半径运动达到平衡,完成选别过程。



**工作原理：**矿浆自上部给入后，在沿槽流动过程中粒群发生分层。进入底层的重矿物颗粒沿槽底的横向坡度向内缘移动，位于上层的轻矿物则随回转流动的矿浆沿着槽的外侧向下运动，最后由槽的末端排出即为尾矿。沿槽内侧移动的重矿物颗粒速度较低，通过槽面上的一系列排料孔排出。在排料孔上安有刮板式截料器。由上而下从第1和第2个排料孔得到的重产品可作为最终精矿，以下各孔产品的质量降低，可作为中矿返回处理。从槽的内缘给入冲洗水，可提高重产品的质量。

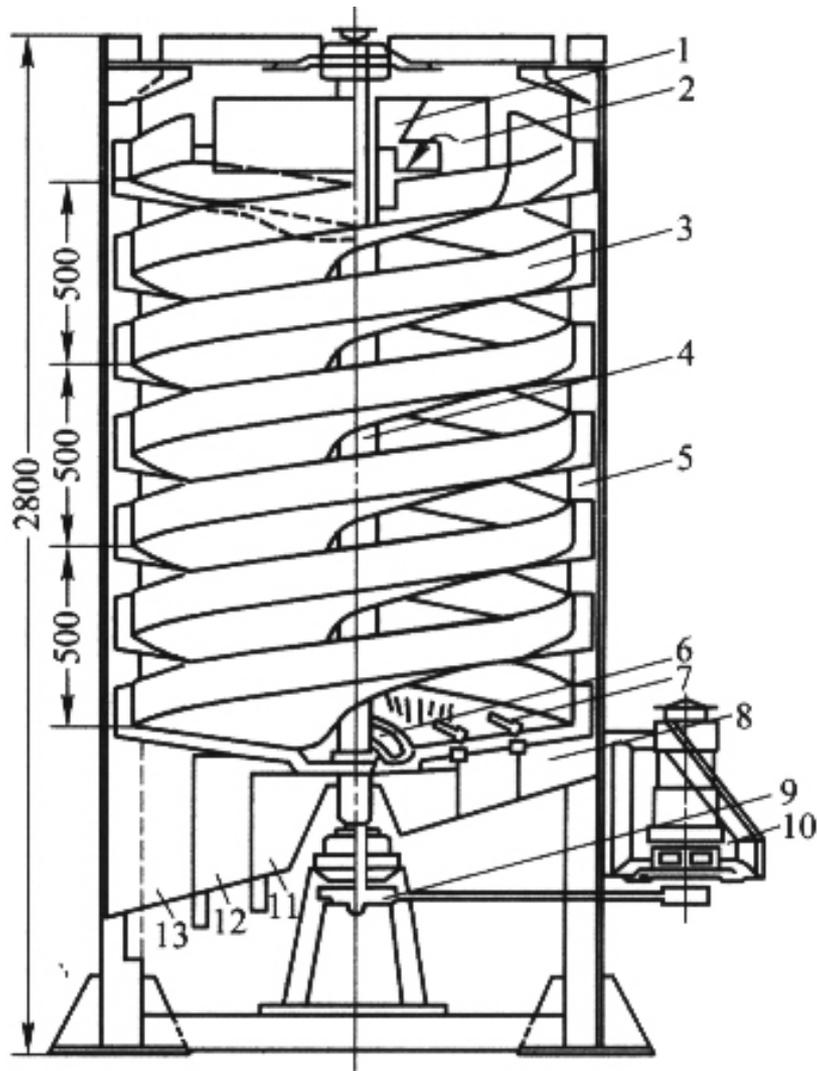
**特点：**螺旋直径、断面形状和螺距等。螺旋直径D与处理能力相关。处理-2mm粗粒级时，常用椭圆形断面。处理-0.2mm细粒级时常用二次抛物线形断面。螺距 $h/D$ 以0.4~0.8为宜，相应的螺旋槽外缘的倾角为 $7^\circ \sim 15^\circ$ 。对大螺距者，可将双层螺旋嵌镶叠装，制成双层螺旋选矿机。

## ②螺旋溜槽与旋转螺旋溜槽



### 螺旋溜槽

- 1-分矿斗 2-给矿槽
- 3-螺旋槽 4-产品截取槽
- 5-接矿槽 6-槽钢支架



### 旋转螺旋溜槽

1-给水斗；2-给矿斗；3-螺旋溜槽；4-竖轴；5-机架；6-冲洗水槽；7-截料器；8-接料槽；9-皮带轮；10-调速电机；11-精矿槽；12-中矿槽；13尾矿槽

**螺旋溜槽结构**：螺旋槽是设备的主体部件，由玻璃钢制成的螺旋片用螺栓连接而成。螺旋圈数为4~6圈，常用为5圈。生产中常将3~4个螺旋槽组装在一起，成为多头螺旋溜槽。在螺旋槽的上方有分矿器和给矿槽，下部有产物截取器和接矿槽，整个设备用槽钢垂直地架起。

**特点**：距径比可在0.4~0.8之间变化，给料粒度细时取小值。随着螺旋直径的增大，回收粒度下限略有升高，但处理能力则急剧增大。螺旋槽的底面更为平缓，且在选别中不加冲洗水。分选时在槽的末端分段截取精、中和尾矿。

**旋转螺旋溜槽结构**：螺旋槽体为双层（头），用铝合金制造。槽体由下部传动机构带动沿矿浆流动方向缓慢回转，转动方向与矿浆流动方向相同。槽断面呈立方抛物线形、椭圆形或斜直线形，槽面铺以橡胶衬里，上面与螺旋直径成斜向布置有格条或三角刻槽。

**特点**：槽面在回转中的轻微振动和加强了离心力，促使给矿能更快地分带，轻、重矿物运动轨迹差异明显。分选效果优于一般固定螺旋溜槽或螺旋选矿机。生产中并由槽的内缘补加冲洗水，富集比高。

### ③螺旋溜槽和螺旋选矿机的异同：

◆外形和工作原理基本相同；

◆两者在结构、性能和使用方面的区别如下：

◇螺旋选矿机的槽底断面线为抛物线或椭圆的一部分，而螺旋溜槽的槽底断面线为立方抛物线，因此，螺旋溜槽的槽底宽而平缓，更适合于处理细粒物料。

◇螺旋溜槽是在槽末端分别接取精、中、尾矿，而螺旋选矿机是在上部截取精矿，在槽末接尾矿。

◇螺旋溜槽没有洗涤水，而螺旋选矿机加有洗涤水。

◇螺旋溜槽的入选粒度比螺旋选矿机小，螺旋选矿机的适宜入选粒度为 $2\sim 0.074\text{mm}$ ，而螺旋溜槽适宜的处理粒度为 $0.3\sim 0.04\text{mm}$ 。

◇螺旋溜槽要求矿浆浓度一般不低于30%，螺旋选矿机要求不严格，下限可到10%。

#### ④螺旋选矿机操作要点

- 多用于处理粗细粒级砂矿的粗选或扫选作业。
- 给矿粒度**。最大粒度不能超过6mm，否则会对矿流产生扰动作用或堵塞精矿管，给矿前应采用格筛隔除过大块矿和杂物。给矿中细粒级矿泥含量多时，也会影响分选效果，对矿泥含量高的给矿应采取预先脱泥。
- 给矿浓度**。在一定范围内（12%~30%）波动时，对选别指标影响不大。
- 给矿量**。对处理含泥多且精矿粒度细的矿石，给矿量应适当减小。对精矿粒度粗且含泥量少时，给矿量可适当增大。
- 洗涤水**。洗涤水应该从内圈分散供给，以免冲乱矿流。洗涤水量大时，精矿产品品位提高，但精矿产率下降，回收率降低。洗涤水小时，对提高回收率有利。洗涤水由上至下应逐步增大。

## 4.4 离心分选设备

借离心力进行流膜选矿的设备，离心力强度（离心加速度与重力加速度之比）约为40~60。矿浆松散分层原理与重力溜槽基本一样，但受离心力作用而强化。

### (1) 卧式离心机

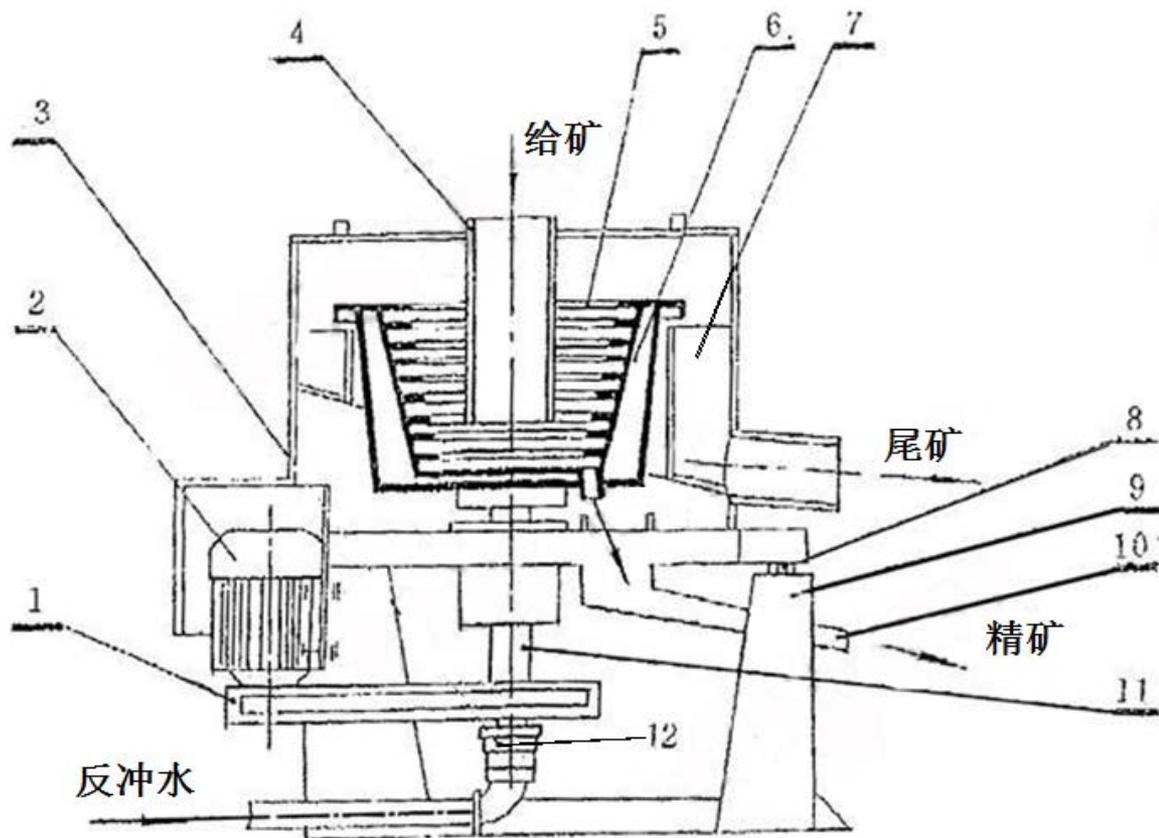
**结构**：主要由转鼓、机架、驱动装置、冲洗装置等部分组成。主要工作部件为一截锥形转鼓4，给矿端直径为800mm，向排矿端直线增大，坡度（半锥角）为 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ，转鼓垂长600mm。借锥形底盘5将其固定在中心轴上，由电动机12带动旋转。



**工作原理：**上给矿嘴3和下给矿咀嘴伸入到转鼓的不同深度处。矿浆顺着转鼓转动的方向喷出，随即附着在鼓壁上，在随着转鼓作回转运动的同时，并沿鼓壁的轴向坡度流动，在空间构成螺旋形运动轨迹。分层是在矿浆相对于鼓面流动中发生。作用原理与重力场中的流膜选矿相同。重矿物沉积到底层，轻矿物在上层随矿浆流通过转鼓与底盘间的裂隙（约14mm）排出。当重矿物沉积到一定厚度时停止给矿，由冲矿咀2喷射出高压水，将沉积物冲洗下来，即得到精矿。

**工业应用：**与重力矿泥溜槽相比，处理能力和工艺指标均有大幅度的提高，已成为我国钨、锡矿泥粗选的主体设备。也用于处理微细粒级的弱磁性铁矿石。在处理锡矿泥时，标准型的离心选矿机给矿粒度一般小于0.075mm，粗选生产能力1.2~1.5t/h，精选0.6~0.8t/h。回收粒度下限可到0.010mm（按石英计）。

## (2) 立式离心机



尼尔森离心选矿机

1-皮带轮；2-电机；3-机壳；4-给矿管；5内套隔槽（内分选锥）；6-压力水套（水腔）；7-尾矿管；8-减振装置；9-机架；10-精矿管；11-中空轴；12-反冲水管

**结构**：主要有由内分选锥、给矿管、排矿管、驱动装置、供水装置、自动控制系统等部件组成。常规的尼尔森离心选矿机分选器按60g制度(即产生60倍重力加速度的速度)运转。

**工作原理**：给矿浆由给矿管从上向下流到下部的分配盘上，离心力把它抛向分选锥的壁上，并由下而上填满环沟，逐步形成富集床。同时，冲洗水通过空心的旋转轴由下部进入水腔，在压力作用下沿着切线以反时钟方向进入分选锥内的环沟。当重矿物颗粒受到离心力大于向内的冲洗水压力时，该颗粒就沉积在环沟里。反之，轻矿物在冲洗水的冲力和新进入矿浆的挤压下，由分选锥上部进入尾矿管后排出。在持续松散的床层里，重矿物颗粒源源不断沉积在环沟里，而轻矿物则不断从床层中清洗除去。重矿物精矿精矿管排出。

**特点：**尼尔森选矿机具有处理量大、富集比高、体积小、重量轻、耗电少、耐磨性好、生产成本低等许多优点。

半连续排矿型(BKC)一般用于目的矿物含量很低的贵金属(Au、Ag、Pt等)矿石,例如可见的岩金、砂金及有色金属矿石中伴生金的回收,浮选铜精矿中可见金的回收,铜镍硫化矿中铂族元素的回收等。

连续可变排矿型(CVD)用于处理目的矿物含量相对较高的金属矿石(黑钨矿、锡石、钽铁矿、铬铁矿、钛铁矿、金红石等),以及从尾矿中回收含金的硫化物,工业矿物的除铁,从炉渣中回收铁合金,重矿砂的预选和脱泥等。

### **(3) 离心选矿机操作要点**

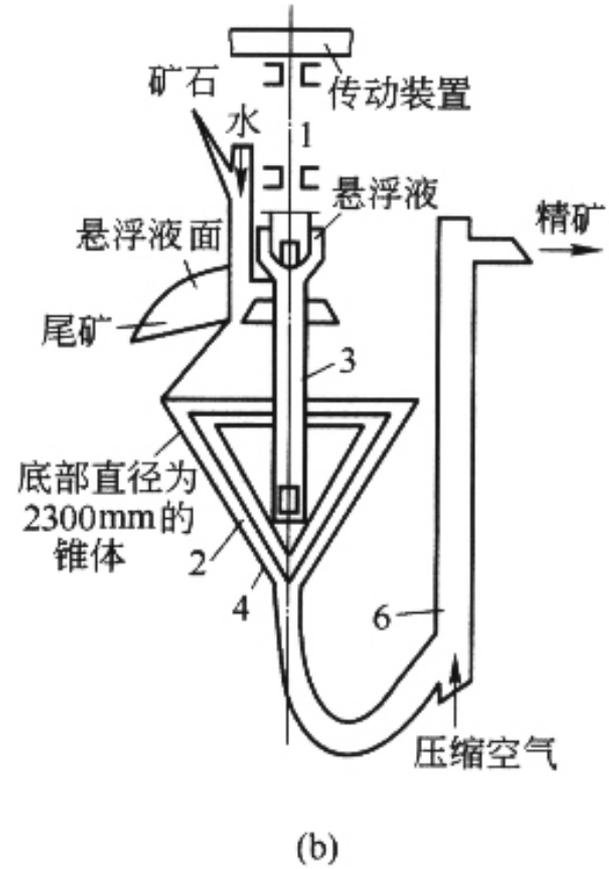
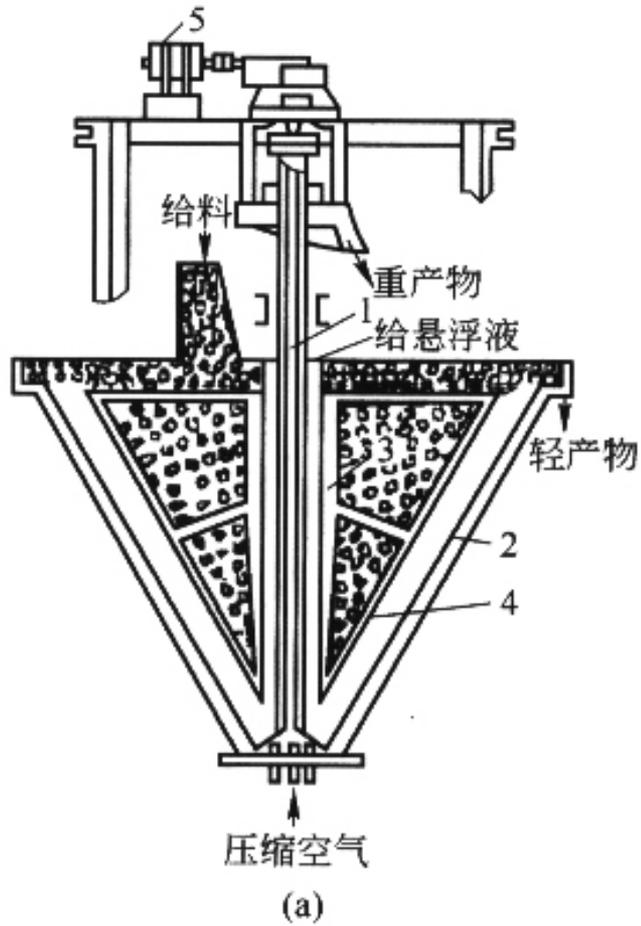
- ①给矿粒度。合适给矿粒度范围是0.074~0.010mm，大于0.074mm的粗粒和小于0.010mm的细粒矿泥太多时，均会影响选别指标，因此，入选的物料应该采取预先分级，去除粗粒及细粒矿泥。
- ②给矿。给矿矿浆体积要保持适当，一般给矿矿浆体积大，设备处理能力大，精矿品位上升，但精矿产率和回收率会降低，当给矿矿浆体积过大时，还会出现无精矿的现象。
- ③矿浆浓度。矿浆浓度越高，矿浆粘度越大，流动性变差，此时，尾矿量减少，精矿量增加，精矿品位下降。矿浆浓度过大，会导致离心机内无法产生分层，失去分选作用。
- ④经常检查离心选矿机的控制机构是否灵活，分矿、断矿、冲水、排矿等是否准确，特别是要防止给矿管和冲矿管的堵塞，发现问题应及时停车处理。

## 4.5 重介质分选设备

主要有：圆锥型重介质分选机、圆筒型（鼓型）重介质分选机、重介质振动溜槽、重介质旋流器、斜轮重介质分选机等。

### （1）圆锥型重介质分选机

**结构：**有内部提升式和外部提升式两种。机体为一倒置的圆锥形槽2，在它的中心装有空心的回转轴1，由电动机5带动旋转。空心轴同时又作为排出重产物的空气提升管。中空轴外面有一个穿孔的套管3，上面固定有两扇三角形刮板4，以每分钟4~5转的速度转动，借以保持上下层悬浮液密度均匀，并防止矿石沉积。



### 圆锥型重悬浮液选矿机

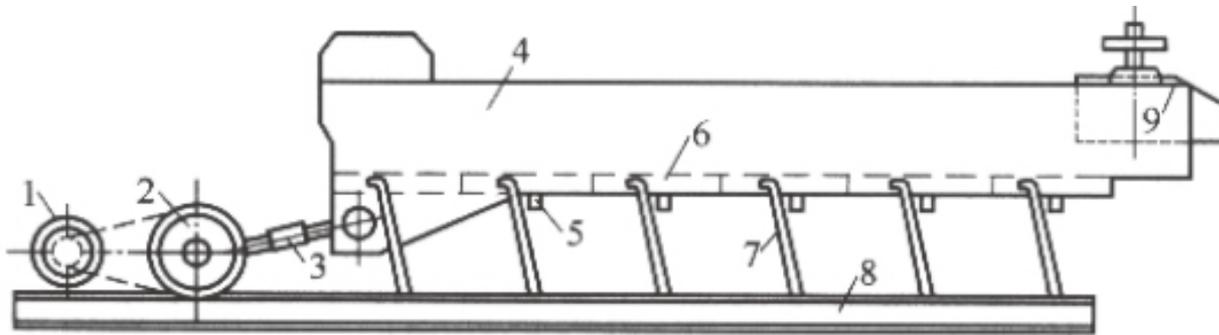
(a) 内部提升式单圆锥分选机; (b) 外部提升式双圆锥分选机  
 1-回转中空轴;2-圆锥槽;3-套管;4-刮板;5-电动机;6-外部空气提升管

**工作原理：**入选原料由上方给入，轻矿物浮在悬浮液表层经四周溢流堰排出，重矿物沉向底部。与此同时压缩空气由中空轴1的底部给入。在中空轴内重矿物、重悬浮液和空气组成气—固—液三相混合物。当其综合密度低于外部重悬浮液的密度时，在静压强作用下即沿管向上流动，从而将矿物提升到高处排出，重悬浮液是经过套管3给入，穿过孔眼流入分选圆锥内。

**特点：**槽体较深，分选面积大，工作稳定。适于处理轻产物排出量大的原料。分选精确度较高。主要缺点是要求使用细粒加重质。介质的循环量大，增加了介质制备和回收的工作量。而且需要配备专门的压气装置。设备规格按圆锥直径计为2~6m，锥角50°，给矿粒度范围一般为50~5mm。

## (2) 重介质振动溜槽

**结构：** 机体为一长方形浅的槽体4，支承在倾斜的弹簧板7上，借给矿端曲柄连杆机构2及3带动整个槽体作往复运动。槽体向排矿方向倾斜 $2^{\circ}$ - $3^{\circ}$ 。在槽的末端设有分离隔板9，用以分开轻、重产物。在槽的底部安置两层冲孔筛板。筛板以下被分成5-6个独立的水室，分别与压力水管相通。给矿粒度一般为 $75\sim 6\text{mm}$ 。

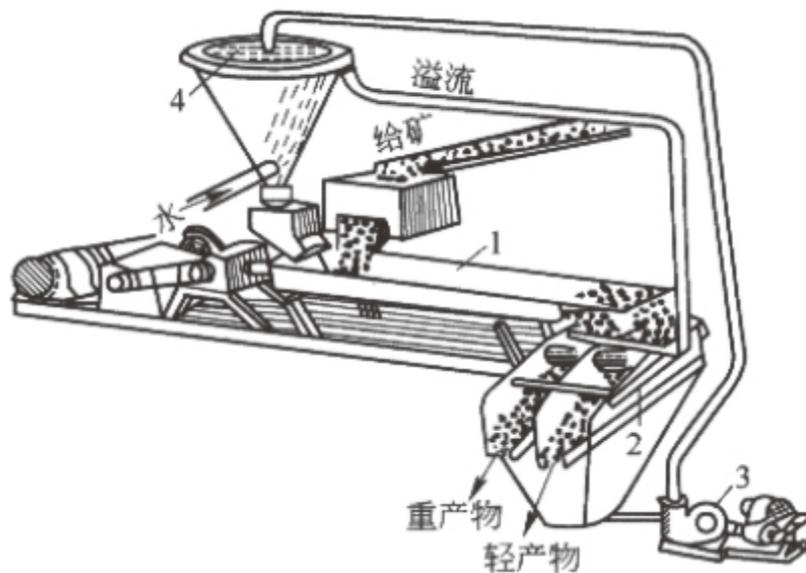


重介质振动溜槽结构示意图

1-电动机； 2-传动装置； 3-连杆； 4-槽体； 5-给水管； 6-槽底水室； 7-支承  
弹簧板； 8-机架； 9-分离隔板

## 工作原理:

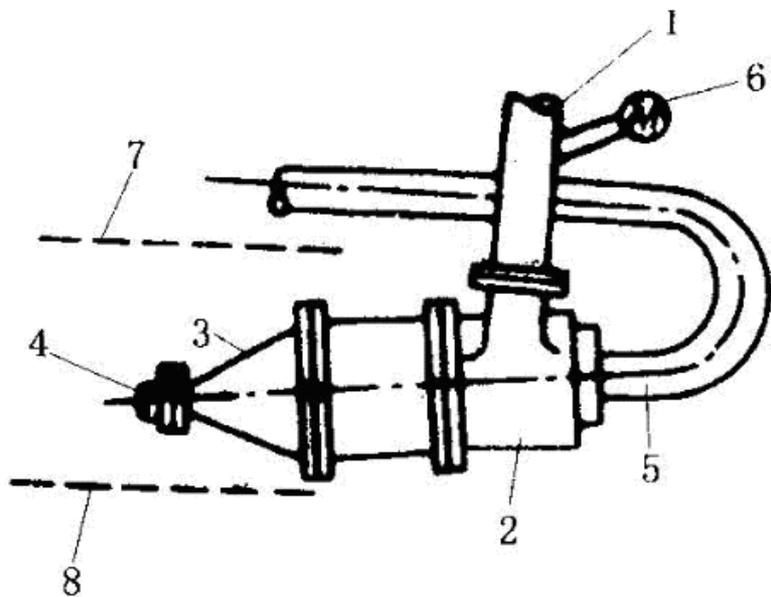
矿石由溜槽首端的上方给入，重悬浮液由介质锥斗给入，在槽内形成厚约250~350mm的床层。在槽体振动和槽底压力水的作用下，床层具有较大的流动性。矿物按本身密度不同在床层内分层，密度大的重矿物分布在床层下部，由分离隔板的下方排出，轻矿物分布在床层上部。由分离隔板的上方流出。两种产物分别落在振动筛上脱出介质，然后通过皮带输送机运走。筛下介质则由砂泵运回到介质锥斗中循环使用。



**特点：**床层能够较好地松散，可以使用较粗粒的加重质，粒度达到 $-1.5+0.15\text{mm}$ 。加重质在床层内也发生分层，底层容积浓度达到 $55\% \sim 60\%$ ，而粘度仍较小。这样就可采用较低密度的加重质，借高的容积浓度获得高的分离密度。重介质振动溜槽处理粗粒矿石，处理能力很大。通常用它来选别铁矿石和锰矿石，从地下开采的原矿中除去混入的围岩。

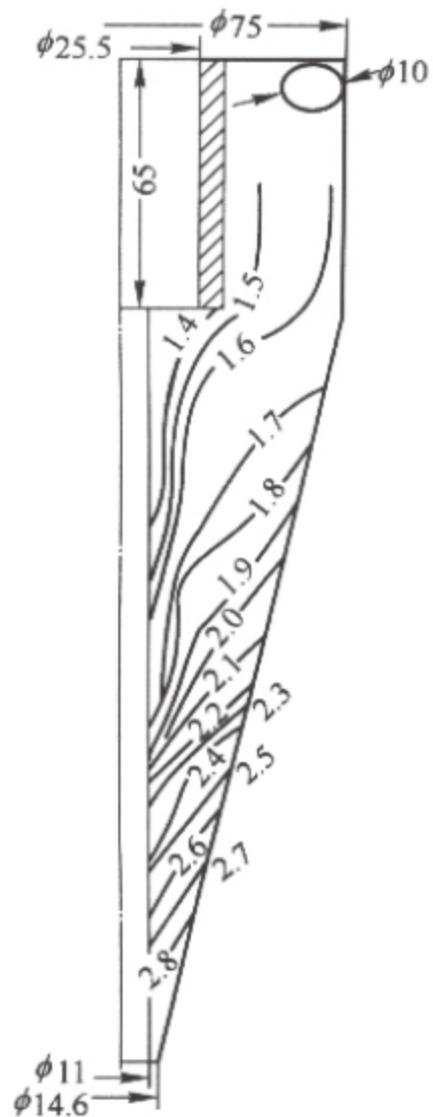
### **(3) 重介质旋流器**

结构与普通水力旋流器基本相同，只是给入的介质不是水而是重悬浮液。在旋流器内加重质颗粒在离心力作用下向器壁及底部沉降，因而发生浓缩现象。悬浮液的密度自内而外并自上而下地增大，形成密度不同的层次。



重介质旋流器及配套设施示意图

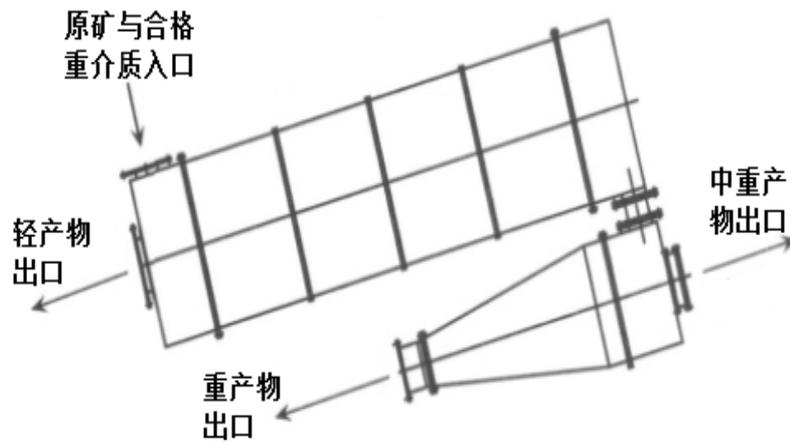
1-给矿管 2-圆柱体 3-圆锥体 4-沉砂口 5-溢流口  
6-压力表 7-轻产物脱介筛面 8-重产物脱介筛面



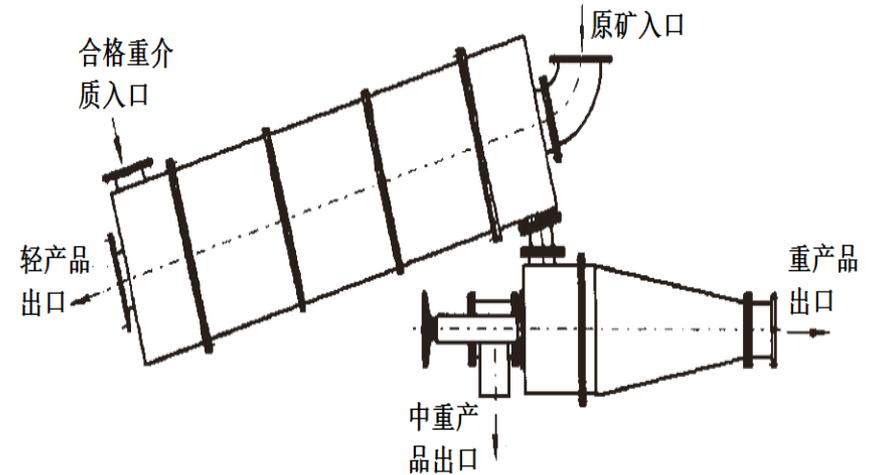
重介质旋流器内等密度面分布  
悬浮液给入密度 $1.5\text{g/cm}^3$ ;  
溢流排出密度 $1.41\text{g/tcm}^3$ ;  
沉砂排出 $2.76\text{g/cm}^3$

**工作原理：**矿石与悬浮液一起以一定的压力给入到旋流器内。在回转运动中矿物颗粒依自身密度不同分布在重悬浮液相应的密度层内。同水力旋流器中的流速分布一样，在重介质旋流器内也存在一个轴向零速包络面。包络面内的悬浮液密度小，在向上流动中随之将轻矿物带出，故由溢流中可获得轻产物。重矿物分布在包络面外部，在向下回转运动中由沉砂口排出。但是在整个包络面上，悬浮液的密度分布并不一致，而是由上往下增大，位于上部包络面外的矿粒在向下运动中受悬浮液密度逐渐增长的影响，又不断地得到分选。其中密度较低的颗粒又被推入包络面内层，从上部排出。

将两产品重介质旋流器串联起来使用，可形成三产品重介质旋流器。根据给矿方式不同，分为有压给料和无压给料。三产品重介质旋流器的第一段均采用圆筒形旋流器，第二段则采用锥形旋流器。



有压三产品重介质旋流器



无压三产品重介质旋流器

## **特点：**

- ◆在生产中多采用倾斜或竖直安装方式，亦可作横卧或倒立地安装。
- ◆与其他重介质选矿设备相比，重介质旋流器借离心力作用加快了分层过程，因此单位面积处理能力大，给矿粒度下限降低，最低达到0.5mm。
- ◆悬浮液在旋流器内急速回转，很少可能形成结构化。因此加重质可达到很高的容积浓度。采用密度较低的加重质，如磁铁矿、黄铁矿等，仍可获得足够高的分离密度。

## **(4) 重介质工艺操作要点**

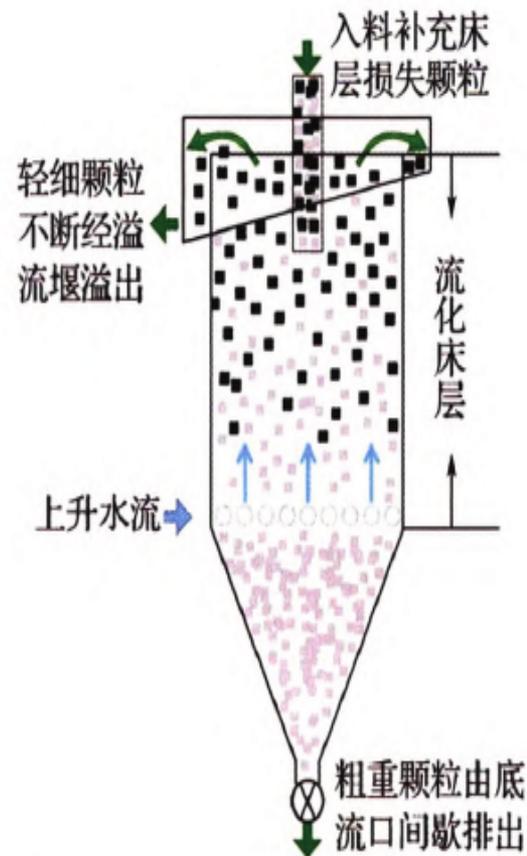
- ①入选前需将矿石破碎到重介质选别所要求的粒度范围。由于重介质对细粒级的选别效果很差，同时矿泥对重介质分选干扰大，因而，入选前应该筛除细粒级并脱除矿泥。

- ②加重质应磨到所要求细度，并按要求的悬浮液密度加水配制成重悬浮液。
- ③用重介质选矿机进行分选时，应该保持给矿量的稳定和悬浮液密度的稳定，尤其是悬浮液的密度波动范围不应超过 $\pm 0.02$ 。因此，需要经常取样检测悬浮液密度，并采取自动控制装置调节悬浮液密度。
- ④加重质的回收和再生是重介质工艺的关键作业。由分选设备排出的轻重产物均带有大量的重悬浮液，最简单的方法是采用振动筛分离重介质，一般采用两段筛分，第一段筛分得到的重介质与原重介质性质相近，可直接返回使用，第二段筛需采用冲洗水才能清洗干净矿粒粘附的加重质，此时重介质的密度会改变，且会受到污染，根据加重质的性质，可采用磁选、浮选、重选等方法进行提纯，然后采用水力旋流器、倾斜板浓缩箱等设备进行脱水，再重新配置重悬浮液返回流程中使用。

## 4.6 流化床重力分选设备

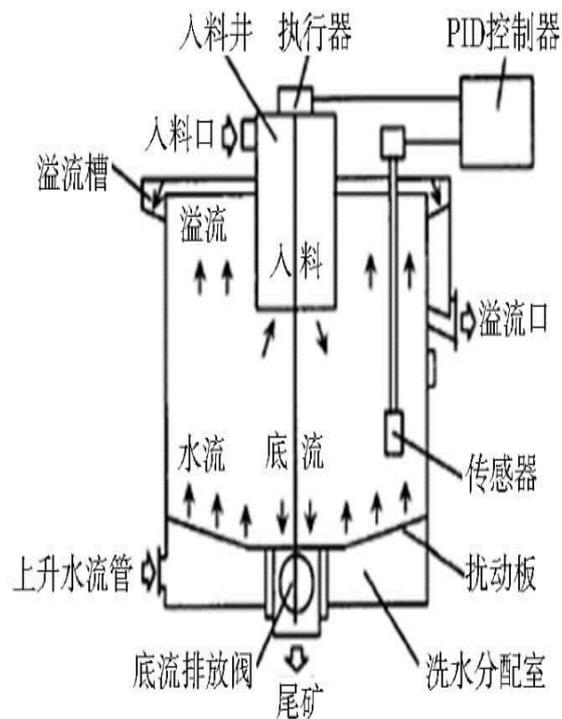
### (1) 分选原理

在干涉沉降分离过程中，由于固体颗粒体积分数较大，周围颗粒的存在使颗粒运动受到阻碍，并使得流化床层的有效密度和表观黏度与水介质相比显著增加，导致干扰沉降末速大大降低。粗重颗粒干扰沉降速度较大，可透过流化床层在底部锥体段聚集，轻细颗粒干扰沉降末速较小，随上升水流向上运动穿过流化床层成为溢流。床层内减少的颗粒不断由入料补充。



## (2) 干扰床分选机TBS

TBS分选机（TeeterBed Separator）应用最广泛的粗煤泥分选设备。



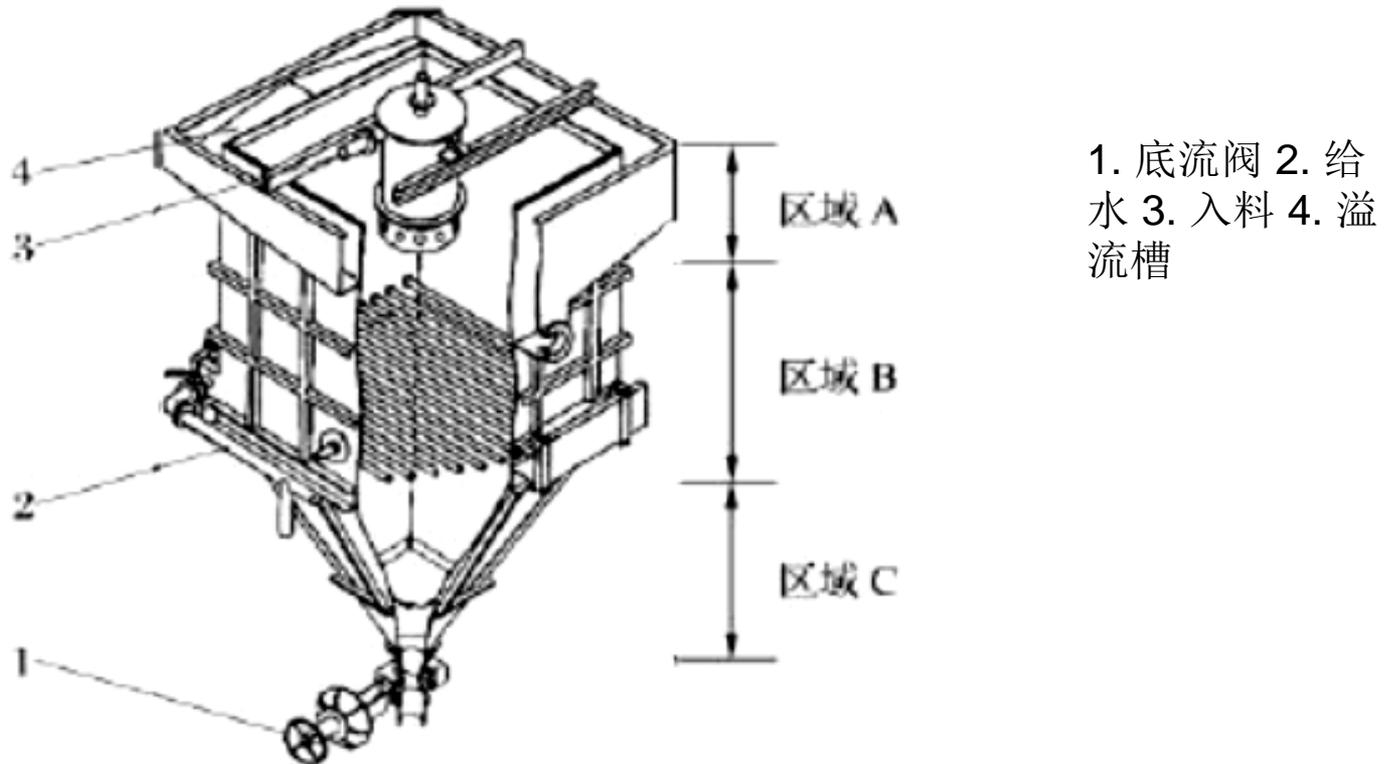
分选的加工过程是：煤粒通过水流变成液态固态混合物，受到不同煤粒密度上的差异会产生不同的干扰层。当床层运动稳定时，煤粒密度未能达到干扰层密度的细粒会上浮到溢流面，密度较高的颗粒会沉入底液，最终实现分选目的。

液固流化床分选机(TBS)这种分选技术的特点是：

可以调节分选颗粒的密度、可按密度范围调整、灵活性高、分选效率高、工艺结构简单、分选成本低、操作成本低、后期维护费用低等，其最突出的特点是入料的粒度范围较窄。

### ( 3 ) FDS分选机 ( Floatex density separator )

FDS 又称弗洛特克斯比重分级机，是一种先进的干扰沉降分选机，其利用流化干扰床层，使得比重和形状不同的矿物颗粒得到分离。FDS分选机主要由 3 个区域 (区域 A、B 和 C) 组成。上升水分布器与TBS分选机有所不同，是由成排的管子构成。

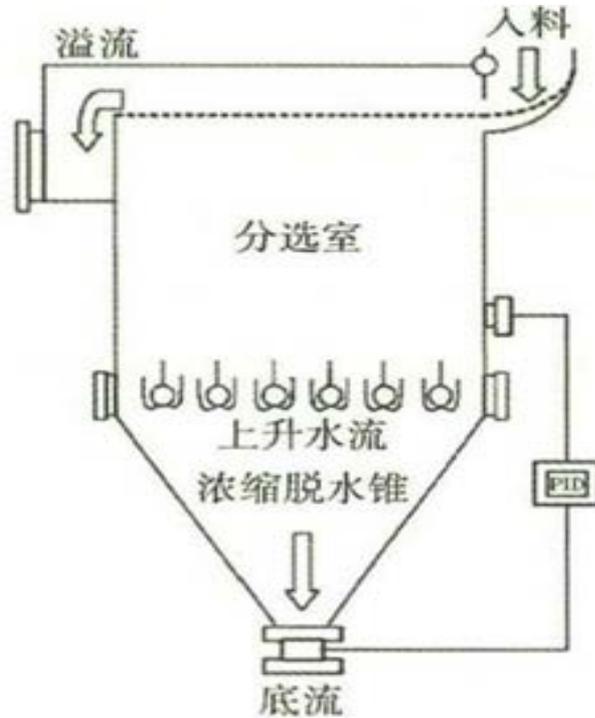


工作原理：入料矿浆切线给入料井 (入料井深入到分选腔的上端 1/3 处)，在分选腔底部均匀布置水管，水管均匀开孔，保证分选腔界面给水均匀。入料给入区域 A，由于上升水流的作用迅速扩散成流化床，颗粒在该区域进行沉降运动，轻的细颗粒上升至分选机上部区域被排出，重的粗颗粒沉降到底部锥形区域被排出。传感器布置在区域 B，控制着底流排放速率，密度切割点由上升水流控制。上升水流和床层压力是影响FDS 分级效果的主要因素。

工业应用：FDS与螺旋分级机联合，分选细粒级铁矿。FDS与水力旋流器结合，脱除-1mm赤铁矿中的 $Al_2O_3$ ， $Al_2O_3$ 脱除率达72%。用FDS从尾矿中回收铬矿砂，在高床层压力、低上升水流速率条件下，利用一段FDS 便可有效脱除尾矿中的含铁杂物。

#### (4) 横流(Crossflow separator)CFS分选机

CFS分选机是美国 Eriez 公司对TBS分选机进行改进后的固液流化床分选设备

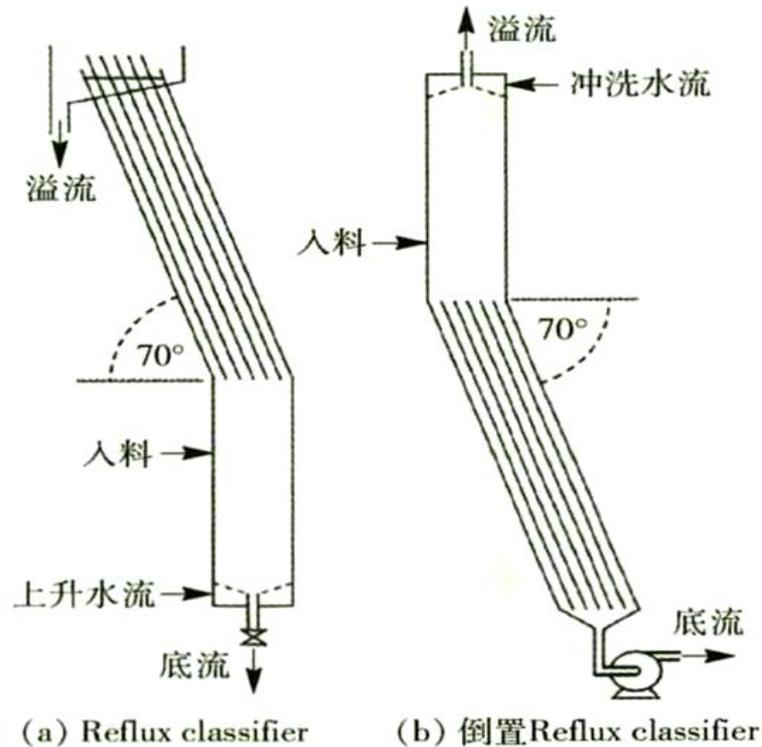


**工作原理：**矿浆给料从设备顶部沿切线方面给入（可大大降低给料时矿浆流对设备内部床层的扰动作用）。同时在给料导入器的排出端还设置有导管板，用以防止矿粒直进入到溢流槽。此外，在CFS的上升水分配板的底部增加了大直径出水孔（消除了底流堵塞的问题）。改进的进料系统和简化的配水系统的结合使用，使分离效率和处理能力得以提高。与FDS和TBS分选机相比，CFS分选机在处理能力、耗水量和设备维修等方面都有较大幅度提升。

**工业应用：**Kohmuench等人将CFS分选机与其他传统流化床设备的分选能力进行了对比，试验结果表明该设备在用于重晶石分选时可以抛除近90%的硅，同时重晶石的回收率高达90%，与传统流化床相比，分选效率提高了近33%。

## (4) 逆流分级机 (Reflux Classifier)

逆流分选柱是一种新型高处理能力的固液流化床分选设备，由澳大利亚Galvin教授于2002年发明并用于煤炭分选。与传统的流化床设备相比，逆流分选柱在床层上部增加了平行放置的斜板。



**工作原理：**矿浆由柱体中上部进入设备，在颗粒在上升水流作用下形成稳定的流态化床层，部分细的重矿物进入斜板区后在**boycott效应下加速沉降**至斜板形成沉积层，而后滑落回柱体区域。另一部分在悬浮液中随上升水流进入溢流。滑落回柱体区域的颗粒在流化作用下再次进入斜板区形成循环，该效应被称为回流效应。重矿物的排矿方面，逆流分选柱与传统流化床设备相似，通过床层压差传感器控制底流排矿。

**特点：**新型流化床分选设备Reflux Classifier(RC)具有分级和分选两种作用。这种技术的降灰效果很好，并且对于精品煤的回收利用有着重要的作用。其特点是对于高质量的精品煤进行回收再利用的过程中，能够产生高质量的低灰煤，为细粒煤的收集和挑选开辟了一条全新的途径。

工业应用：

**煤炭分选方面**：逆流分选柱与TBS分选机对比，在处理2mm以下的煤粒时，逆流分选柱的处理能力是TBS的三倍，且分选精度也高于TBS分选机。在处理2mm至8mm的粗粒煤时，足够的上升水流对该粒级的分选至关重要。逆流分选柱在较高处理量下对粗粒级煤进行有效分选。

**金属矿物分选方面**：利用逆流分选柱分选-0.106mm粒级赤铁矿，通过一次分选可以得到66.1%Fe<sub>T</sub>的精矿品位，铁的综合回收率可达80%。其中，-0.038+0.020粒级的回收率高达68.8%，即使是-0.02mm的超细颗粒，回收率依旧能够达到近60%。

**倒置逆流分选柱**：在其中加入磁铁矿重介质，在6.8t/m<sup>2</sup>h给矿条件下处理-1.0mm细粒精煤，试验床层密度可以达到1537.4kg/m<sup>3</sup>，可以得到灰分为12.2%，回收率为81.9%的精煤产品。但在粒度小于0.3mm时分选效率大幅下降。