

搖

床

〔苏联〕И.Н.伊薩耶夫 著

楊鍾秀等 譯

鄭 飛 校

中国工业出版社

252.1
855 机資

搖 床

[苏联]И.И.伊薩耶夫 著

杨钟秀等 譯

郑 飞 校

261191

中国工业出版社

本书系根据苏联国立矿业科技书籍出版社1962年出版的伊薩耶夫著“搖床”一书譯出。

书中敘述了矿粒在搖床上按比重分选的过程和搖床结构的发展簡史。

书中闡明了影响搖床富集过程的主要参数，介绍了选择这些参数的經驗公式和图表，并簡要地敘述了选矿厂搖床工段的设计。

本书可供广大选矿工作者应用，也可供矿业高等学校和中等技术学校学生参考。

本书序言、第一章、第二章、第三章和第四章由楊钟秀翻譯，第五章由范象波翻譯，第六章和第七章由謝百之翻譯，全书由郑飞校对。

И.Н.Исаев

КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ СТОЛЫ

ГОСГОРТЕХИЗДАТ

МОСКВА-1962

* * *

搖 床

楊钟秀等 譯

郑 飞 校

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯

(北京市灯市口71号)

中国工业出版社出版(北京金明馆西10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张3·字数75,000

1964年9月北京第一版·1964年9月北京第一次印刷

印数0001—1,330·定价(科六)0.48元

*

統一书号: 15165·3208 (冶金-530)

序 言

苏联国民經济对各种金属和非金属有用矿物的需要量正逐年增加。

由于被处理矿石的嵌布粒度越来越細，有用矿物的含量越来越低，以及物质組成越来越复杂，因而选矿工作量也不断地增加。目前，又提出綜合利用被处理矿石中所含有用矿物的任务，致使难选矿石的处理更加复杂。

欲完成上述任务，不能单依靠增建大型选矿厂，因为这需要巨額投資。首先必須挖掘現有設備的生产潛力，然后改进选矿工艺流程和选矿設備，以便获得較高的生产能力和良好的工艺指标。这只有在对选矿过程和每种选矿机械的作用做了全面研究以后才能办到。

目前，在选別粒度小于1毫米物料的重选方法中，搖床选別是最广泛而經常采用的方法之一。

近年来，苏联选矿研究設計院（Механобр）做了矿粒在搖床上按比重分选过程的理論研究，并作了确定影响这一分选过程效率的主要参数和因素的研究工作。

与此同时，还探索和設計了生产能力更高的新型搖床，并改进了CC-2型搖床。

根据所作的研究結果，結合对各个作者以前发表的著作和搖床在工业条件下操作的数据所进行的分析，可以确定在搖床分选过程及影响搖床工作效率的主要参数方面的某些关系和規律，并創造出許多比以前采用的CC-2型搖床生产能力高得多的、結構新穎的搖床。

目 录

序 言	
第一章 用摇床选别有用矿物的理论基础	1
第二章 摇床结构的发展史	10
1. 外国的摇床	11
2. 苏联的摇床	20
第三章 矿粒在摇床床面上分选过程的主要阶段	31
1. 矿粒群的松散	31
2. 矿粒按比重和粒度分层	32
3. 已分层的矿粒沿摇床床面的选择运送	34
第四章 矿粒按比重和粒度在摇床床面上分布的规律	38
1. 物料沿料层高度和按扇形面分布的一般情况	38
2. 物料在床面上按粒度的分布	45
3. 物料在床面上按比重的分布	46
第五章 影响矿粒按比重分选过程的主要参数和因素	49
1. 被分选矿石的粒度、矿物组成及准备方法	49
2. 摇床的构件参数	52
3. 摇床的工艺操作因素	60
第六章 摇床的生产能力	67
1. 概 论	67
2. 摇床的生产能力和被分选矿石的粒度关系	68
3. 摇床的生产能力与床面尺寸的关系	70
4. 有用矿物与脉石的比重对摇床生产能力的影响	71
5. 确定摇床生产能力的综合经验公式的推导	75
6. 确定摇床生产能力的图解法和计算表格	76
第七章 选矿厂摇床工段的设计	79
1. 概 论	79
2. 工艺流程的选择和说明	80
3. 摇床类型的选择	82
4. 摇床选矿的成本	87
5. 选矿厂生产统计和报表	88
参考文献	90

第一章 用搖床選別有用 礦物的理論基礎

在現代重選實踐中，粒度0.02到3（6）毫米的細粒級金屬和非金屬礦物常採用搖床選別，在搖床上礦物是在沿傾斜床面流動的水流、重力和床面的不對稱往復運動的作用下，按比重進行分選的。

從前，採用固定床和可動床（圓形的和帶式的）進行富集，由於它們生產能力低，現在已完全不用，而被搖床代替。

搖床由下列主要機件組成：

1) 床面（平面），上面安有床條（來復條）、給礦和分配裝置，物料在床面上按比重進行分選；

2) 支承裝置和調節床面橫向傾角的機構；

3) 接礦裝置，接取從床面排下的選礦產品；

4) 傳動機構，使床面作連續的不對稱的往復運動。

搖床安裝在機架和基礎上。

搖床床面有矩形和菱形的兩種。

有的搖床從右側給礦（從傳動機構這一端看床面），稱為右式搖床，有的從左側給礦，稱為左式搖床。

搖床有單床面的和雙床面的^①，但在大多數情況下是製成單床面的。

搖床可分為三種主要類型：粗砂搖床、細砂搖床和礦泥搖床。粗砂搖床用於選別粒度0.5到3（6）毫米的粗粒物料。細砂搖床用於選別粒度小於0.5（1）毫米的細粒物料。礦泥搖床則用於選別粒度小於0.2（0.3）毫米的微粒物料和礦泥。在實際生產中，常用粗砂搖床選別細粒物料，甚至用來選別礦泥，結果導致選礦工藝指標顯著降低。

^① 指兩張床面重選平行配置，國內通常稱其為雙層搖床，為避免與後面講到的折迭式的雙層搖床相混淆，特譯成雙床面的——譯者。

用搖床選別粒度 40 微米到 2 毫米的物料，可以获得比所有其它重選設備都好的工艺指标。

在搖床上可以容易而且迅速地改变富集比和得到高品位的精矿。搖床的富集过程容易调节，能用肉眼鑑別給矿和精矿的特性和质量。

搖床選別不仅可做为主要的选矿过程，而且也可以做为浮选、跳汰选和磁选，以及溜槽和螺旋选矿机等選別的輔助过程。

常常将跳汰机、螺旋选矿机和溜槽所获得的选矿工艺指标与搖床所获得的选矿工艺指标相比，而搖床有着获得高选矿工艺指标的較可靠的保証。

搖床可以用作台浮选，从粒度为 0.2 到 3 毫米的粗精矿中分出用单独浮选法所不能分离的粗粒硫化物和其它可浮矿物。搖床是精选由其它选矿設備所产粗精矿的最有效的設備之一，用它分选出有害杂质，并提高粗精矿的有用矿物含量。

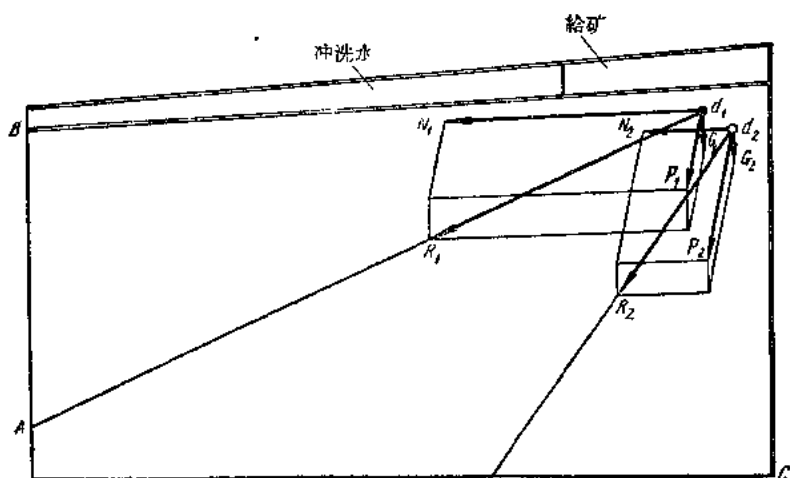


图 1 重矿粒 (d_1) 和轻矿粒 (d_2) 沿搖床倾斜床面运动简图

搖床选矿过程的顺序如下：矿浆給到安在床面上的給矿槽中，由于床面倾斜并作不对称往复运动，矿浆便沿床面流动。矿

粒按其比重和粒度而分层，并以不同的速度沿床面向各个方向运动（图1）。

在流动的矿浆流中的每个颗粒，都受到三个相互垂直的主要作用力：

- 1) 垂直向下的重力 G ，
- 2) 横过倾斜床面的横向水流和矿浆流所形成的流体动力 P ；
- 3) 床面不对称往复运动所产生的、顺着床面的纵向力 N 。

由于这些力的作用，各个矿粒都按其比重和粒度沿它的合力 R 的方向移动。

重矿粒进入下层，由于受床面的不对称往复运动的作用，顺着床面作纵向运动，但由于横向矿浆流和冲洗水流的影响，方向略偏下些。

重颗粒的总运动方向是床面的 AB 边（见颗粒 d_1 ）。

轻矿粒（通常比重矿粒粗）受横向矿浆流和冲洗水流的作用，主要是沿着床面作横向运动，但由于还受床面不对称往复运动的影响，也同时向前运动。轻颗粒的总运动方向是床面的 AC 边（见颗粒 d_2 ）。

许多研究结果确定，水流对物料颗粒的作用力是不同的，它随水层高度而变。

床底的水流速度很小（趋于零），但离开床底水流速度便迅速增大，在上层达到最大值。

实际上，由于空气的摩擦和液体表面张力的影响，略低于水面的液体质点速度最大，然而，这种情况可以忽略。

图2系根据 A.M. 高登 (Gaudin) 的数据^[12]绘制的在床面倾角为 5° 、温度为 20°C 下，不同深度的两个水层的流速的变化曲线。

曲线1表示水流总厚度为1毫米时横截面内的流速变化情况，曲线2是水层总厚度为0.5毫米时的流速变化情况。这些曲线表明，位于矿流底层的颗粒比位于矿流上层的颗粒（横着床

面) 移动的速度要慢得多。因此, 上层物料沿斜面向下移动的速度要比下层快得多。

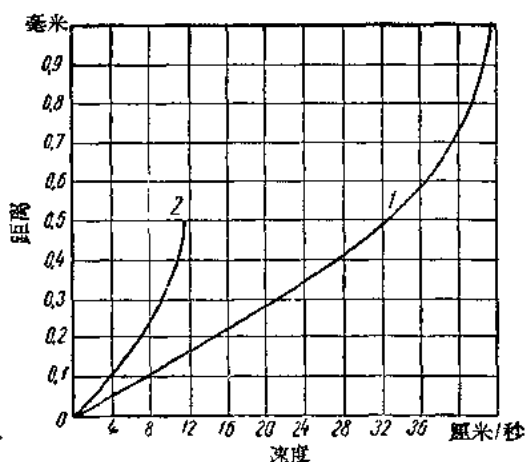


图 2 水流运动速度和水流深度的关系

虽然十九世纪初就已出现了并使用了摇床, 但是, 直到十九世纪末在李嘉兹 (Richards, Robert.H.)^① 的著作中[79—81]才第一次谈到有关摇床选矿过程的实质。

雷廷格尔 (Rittinger)、斯派尔 (Spar)^[39, 57] 和塞蒙士 (Simons)^[85] 等人研究了矿粒在沿倾斜平面流动的水层中的运动。然而这一过程的理论基础却是 E. 芬凯 (Finker)^[65] 首先提出的。他认为, 颗粒直径和平面倾角越大, 以及颗粒比重越小, 颗粒在硬平面上的倾斜水流中运动的速度也就越大。B.Г. 傑尔卡奇 (Деркач) 也研究了这一问题^[20], 他指出了芬凯著作中的某些错误假设。例如, 芬凯认为, 液体的内摩擦力与正压力成正比, 即他把固体间的摩擦定律用到液体的内摩擦上。

F.C. 达耶尔 (Dayar)^[19] 第一个用试验的方法研究了大小不同的木球和金属球按比重和粒度分层的过程 (图 3, a)。把木球和金属球放在玻璃容器内加以摇动。摇动的结果表明, 下层

① 原文系 “Роберта и Ричардса”, 即误将李嘉兹当成罗伯特和李嘉兹二人——译者。

是由小金属球组成(图3, 6)。其上面是一层大金属球, 在大金属球之间夹杂有小木球, 在大金属球上面仅为一层小木球, 再上层就是大木球。在这篇著作中达耶尔还指出了不同粒度物料的分层效率与水平的鼓动或松散有关。摇床上也应发生同样的现象, 颗粒按比重、粒度和形状在摇床面上呈扇形分布就证实了这点。轻而粗的椭圆形颗粒分布在上层, 重而细的矿粒居于下层。

上述的分层不仅决定于颗粒的比重差, 而且还决定于颗粒的直径差。重矿粒体积较小, 这种矿粒好像在较粗粒的轻物料之间过筛。这种分层是由床面的往复运动, 横向水流的冲洗作用, 以及水流在床条间的凹槽中形成涡流运动而引起的。

涡流运动的特点是使液体搅动和使比重比水大的固体颗粒悬浮起来, 这一现象是由向上的垂直分速度所引起的上升脉动水流

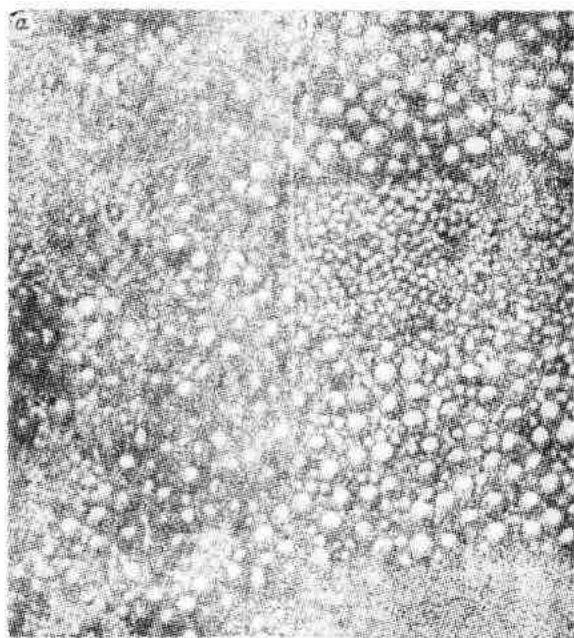


图3 F.C. 达耶尔的轻、重圆球在摇动时
按比重和粒度的分层

a—摇动前; 6—摇动后

而产生的。悬浮的基本条件是向上的垂直分速度必须大于水力粒度^①。垂直分速度的大小取决于水流速度、床面倾角和床面表面的粗糙度。П. В. 里亚森科 (Лысенко) [39] 和 М. А. 維利卡諾夫 (Великанов) [8] 认为这个分速度是水流平均速度的线性函数, 并取垂直分速度等于水流的纵向速度的 $\frac{1}{2}$ 到 $\frac{3}{4}$ 。

物料在床条间的凹槽中按比重最终分层。重矿物聚集在凹槽中。特点是最初物料就填满凹槽。当摇床继续运转时, 在凹槽中的物料变成促进矿粒按比重分层的松散床层。

矿粒在水流中的运动可分为:

- 1) 沿床底或沿沉积颗粒表面的运动;
- 2) 断续悬浮和跳跃式运动;
- 3) 连续悬浮运动。

上述三种形式的运动是由顺着水流方向的水动力(推力)、从下向上的水动力(浮力)和从上而下的颗粒重力所引起的。

除上述三种力外, 具有极重要意义的是颗粒, 不是单个而是以粒群的方式运动, 在这方面, 运动条件在某种程度上是干涉沉降。

矿浆沿床面运动时所产生的涡流现象与液体在速度急剧降低处以不规则形式抛起所产生的上升流有关。特别是床面上的床条更促进产生这种现象。

影响矿粒沿床面运动的速度和方向的各种因素很多, 以致很难确定运动的速度和方向。文献中载有非常多的近似估计沟槽、洗矿槽、流槽、渠道、河床和溜槽等中的平均流速的各种公式, 如巴金、維利卡諾夫、柯特略尔、龙格利兹、普兰得利亚、谢基及其它许多学者的公式。然而, 由于他们没有考虑许多因素的影响, 故不能用来计算摇床的平均流速。

与物料在床面上横向运动之同时出现的现象错综复杂, 难以

① 分选过程中的各矿粒, 无论是按几何尺寸或是按比重, 都决定了任何矿物的任何粒度必须有着同样的特性。该特性即颗粒在水中的自由沉降速度。在水工学中与几何尺寸相对应, 称其为水力粒度。

用理論来解释，因而不得不以較簡化的形式研究这一过程。在这样的研究中包括对于顆粒在傾斜平面上的水流中的运动过程的研究，而不考虑在床条間凹槽中所发生的現象，也不計及床面往复运动的影响。在这种情况下作用在粗而輕的顆粒上并使其沿傾斜床面作橫向移动的力如下（图 4）：

- 1) 顆粒在水中的自重 G ；
- 2) 沿傾斜平面作用在顆粒上的水动力 P_w ；
- 3) 由垂直分速度产生的水动力 P_c ；
- 4) 与相对位移方向相反且与顆粒对床面的正压力成正比的摩擦力 T 。

考虑到上述各力，П.Б.里亚森科微分方程^[39]可以写成下式：

$$\frac{dV}{dt} = mg_0 \sin \alpha + \psi (U_c - V)^2 d^2 - (mg_0 \cos \alpha - \psi C^2 d^2) \operatorname{tg} \varphi.$$

式中 V ——顆粒沿傾斜床面运动的速度；

U_c ——顆粒面上水流的平均速度；

ψ ——介质阻力系数；

$U_c - V$ ——水和顆粒运动的相对速度；

α ——床面傾角；

$f = \operatorname{tg} \varphi$ ——顆粒对床面的摩擦系数；

C ——顆粒的垂直分速度；

d ——顆粒直径；

V_0 ——顆粒自由沉降的最終速度；

m ——顆粒的质量。

取 $V = \text{常数}$ 和 $\frac{mg_0}{\psi d^2} = V_0^2$ ，換算后得

$$V = U_c - \sqrt{V_0^2 (\cos \alpha \operatorname{tg} \varphi - \sin \alpha) - C^2 \operatorname{tg} \varphi}.$$

由上式可見，如果

$$V_0 \sqrt{\cos \alpha \operatorname{tg} \varphi - \sin \alpha} - C^2 \operatorname{tg} \varphi > U_c,$$

則顆粒在运动中停留在傾斜的平面上。而 V_0 越小，顆粒的纵向

移动速度也就越大。因而，比重小的矿粒要比比重大的矿粒容易而且迅速被沿倾斜床面流动的水流所带走。

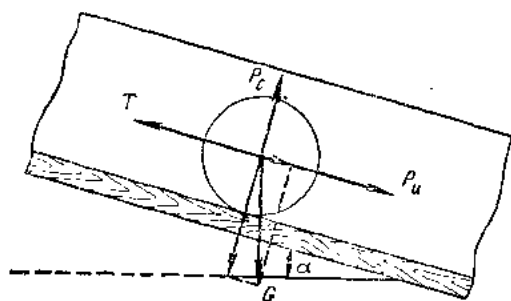


图 4 在沿斜面流动的水流中作用在颗粒上的力

当颗粒的惯性力大于颗粒与床面之间的摩擦力时，重矿粒就产生纵向移动。

若以 m 表示物体的质量（矿粒质量）； a 表示矿粒对床面的加速度；

G 表示颗粒重量；

f 表示颗粒对床面的摩擦系数，则得出下面的条件：

$$ma > fG.$$

在临界加速度的条件下，矿粒将摆脱相对静止状态，并开始沿床面运动，临界加速度为

$$a_0 = -\frac{G}{m} - f.$$

W 表示颗粒体积， δ 表示颗粒比重， g 表示重力加速度，则

$$G = W(\delta - 1)g \text{ 和 } m = W\delta.$$

将 G 和 m 代入临界加速度公式，得

$$a_0 = -\frac{W(\delta - 1)g}{W\delta} - f = -\frac{\delta - 1}{\delta}g - f.$$

这一公式表明，临界加速度取决于摩擦系数和颗粒比重，颗粒比重越大和颗粒对床面的摩擦系数越大，临界加速度也就越大。

为了简化起见，假定床面是固定的平滑斜面。实际上，床面上都复有床条，它们破坏了层流运动，此外，床面还作不对称的往复运动。因此，按照所列的公式不能正确地计算比重、粒度和形状各异的矿粒的实际运动速度。这些公式仅仅得出矿粒沿床面

运动的某些概念和指出影响这些矿粒运动的各个因素。

П.В.里亚森科^[39]、А.М.高登^[12]、А.Е.塔加尔特 (Taggart) ^[57]对摇床选别过程的理论基础都作了总结，然而，他们没有对摇床进行过专门研究。他们对摇床富集过程的解释是基于研究矿粒在斜面上和在流槽、溜槽、跳汰机及其它设备中的运动的结果上，以及基于理论的假定上。

Н.П.基特科夫 (Титков) ^[59—63]、И.М.阿布拉莫维奇 (Абрамович) ^[1—2]、Т.Г.符明科 (Фоменко) ^[66—67]、Н.Г.科培洛夫 (Копылов) ^[30—34]等人均从事摇床选别的研究。在他们的著作中主要研究了摇床机构运动学、传动机构的构造、摇床各个部件和零件的结构，以及某些参数的影响。

第二章 搖床結構的發展史

搖床分為固定式（矩形和圓形）和可動式兩種。可動式搖床又分帶式、圓形和搖動式三種。

矩形固定式搖床廣泛用於選別合金礦、鎢礦、錫礦和其它砂礦，在這些礦石中，被分選的礦物之間比重差很大。這種床（選礦盤）是周期性工作的，因此生產能力不大。

圓形固定式搖床多用於選別有色、稀有和貴重金屬的微粒礦物和礦泥。雖然這種搖床的選別工藝指標良好，但由於生產能力很低，並未得到廣泛而長期的應用。

帶式搖床（淘選帶）出現在十九世紀中葉，用於選別有色、稀有和貴重金屬的微粒砂礦和礦泥。在烏拉爾和西伯利亞許多選礦廠和砂礦山也採用這種帶式床，並稱其為帶式溜槽。

圓形迴轉搖床與圓形固定式搖床的區別在於這種搖床是迴轉的，但給礦裝置是固定不動的。迴轉搖床的床面可做成單層或多層的，多層床的床面是一層配置在另一層的上面，以便連續處理上層床面產出的中礦。

固定的帶式搖床^①和圓形搖床由於它的生產能力小和選別工藝指標低，目前實際上已不採用。

選礦工作者和機械設計師力圖實現從運轉著的設備上連續地截取精礦和其它選礦產品，便想出了使固定床作橫向搖動。

由於有了這種運動，從前固定式搖床所用的很長的床面就顯得沒有必要了，所以縮短了長度，增加了床面寬度。

這種帶有搖動床面的搖床結構能提高搖床生產能力和選別效率，同時搖床易于看管。

① 恐為“固定的矩形搖床”之誤——譯者。

1. 外国的摇床

第一台連續運轉的搖床是德國人蒙傑在1797年發明的。該搖床的搖動方向與水流和物料流的方向平行。

曾在德國應用過的雷廷格爾搖床是現代搖床的原型。它有一個矩形的傾斜床面，沿搖動方向的長度為1220毫米，寬度為1830到2440毫米。床面用拉桿吊起，坡度為3—6°。當彈簧反作用時凸輪使床面向前運動，彈簧使床面返回運動。這種搖床利用了床面加速度的不對稱性質的作用。由於慣性力和水流的聯合作用，礦物能較完善地分選。

床面每分鐘沖次（搖動數）為70到200次，沖程為25毫米。搖床的生產能力很低（0.03到0.09噸/時），而水的消耗量卻很大（每噸礦石達30米³）。搖床需要經常的修理，因此早已不用這種搖床了。

1895—1896年美國出現了威爾弗利（Wilfuley）搖床（圖5），它是雷廷格爾搖

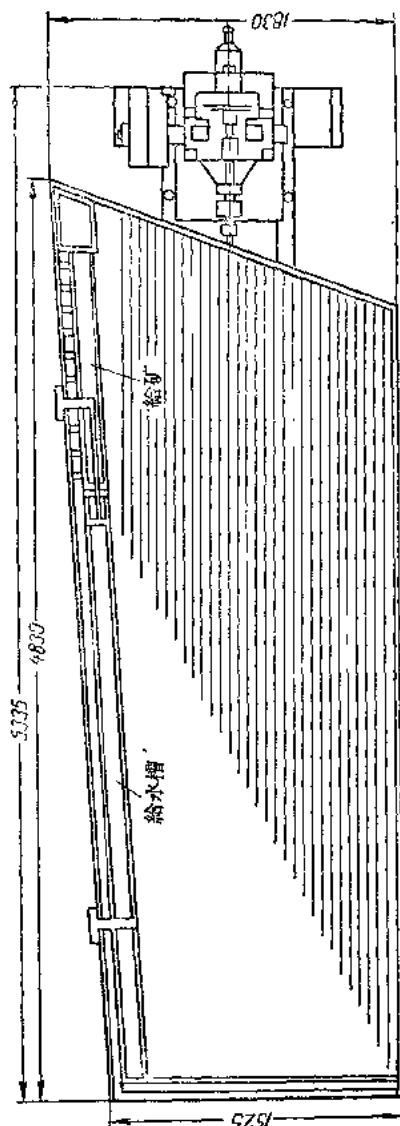


圖5 威爾弗利搖床

床改进的。在这种摇床上首次采用了床条，致使生产能力大大提高，并可选别较粗粒物料和提高选别工艺指标。威尔弗利摇床的梯形床面具有以下工业尺寸：长4.83米，传动机构端宽1.83米，精矿排出端宽1.53米。

床面上通常铺以漆布，漆布上装有木条（床条），床条为矩形截面，宽6毫米，高12毫米，沿全长逐渐减低至零。床条的排列与床面摇动方向平行，间距约28毫米。最下边的床条长为4250毫米，最上边的（靠近给矿槽）为1200毫米。中间的床条的长度和高度从上往下逐渐增加。上床条高为6毫米，下床条则为12毫米。从排矿这一端看床条的末端是以对角线排列的，即从排精矿的床角到给矿槽的末端成一对角线。

威尔弗利摇床的传动机构是由连杆、曲柄—连杆式摇动机构和弹簧组成（图6）。

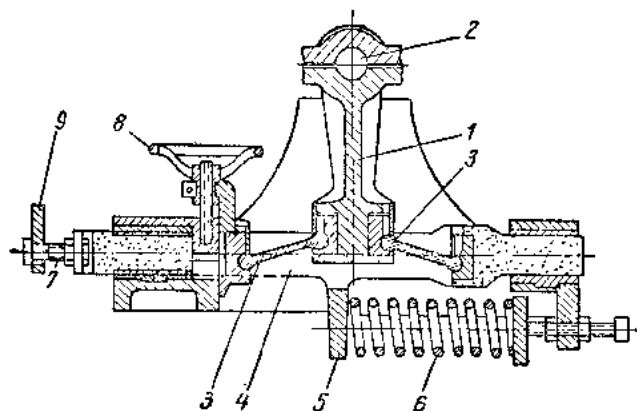


图6 威尔弗利摇床传动机构

偏心轴2带动连杆1上下运动，使肘板3运动，通过肘板再传给带凸板5的可动导板4。

可动导板4用螺栓7与床面9紧密联接。当连杆往下时，肘板处于水平位置，并施压于可动导板，使床面返回，与此同时，凸板5压紧弹簧6。当连杆向上作反向运动时，弹簧6开始伸