

溜槽选矿采金

吴志城 编著

中国金属学会

一九九〇年八月廿四日

前 言

从砂矿中回收金是人类掌握的最早开采技术之一。使用溜槽回收金已经有比较悠久的历史，古代的采金者就是用比较原始的溜槽来回收粗粒金。直到今天溜槽仍得应用。

砂金矿床有几种不同的开采方法。开采方法的选择，应该是因地制宜，由矿砂储量及矿层的水文地质条件来确定。

对于水流量较大的河床砂矿、积水的矿床或位于地表水域之下的砂矿，用采金船开采是最适用且是唯一可行的开采方法，采矿成本也较低。

目前，国内外的许多地区广泛应用选择性采掘砂矿的露天采选场。按这种方法，用溜槽或洗选机组作为选矿设备，用推土机或挖掘机将含金矿砂送到洗选设备进行选别。由于用这种方法开采矿砂的单位投资费用比较低，因而其应用范围在逐步扩大。

水枪开采是使用高压水流的水力法，在工作面用高压水冲采矿砂层，并将冲洗下来的矿砂随水流送至选矿溜槽进行选别。

本文着重介绍溜槽选矿的工艺特点及生产实践，供有关技术人员和工人参考。

目 录

第一章 溜槽选矿	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 水流沿斜面流动的运动特性	(2)
一 沿斜面流动的水流流态	(3)
二 流速沿水流深度的分布	(3)
三 紊流中脉动水速的分布	(6)
第三节 矿粒在溜槽中的运动	(7)
一 矿粒由水流上层向底部的沉降	(8)
二 矿粒沿槽底的移动	(8)
三 矿粒的断续悬浮或跳跃式运动	(9)
四 矿粒的连续悬浮运动	(9)
第四节 溜槽选矿原理及影响溜槽选别的因素	(9)
一 溜槽选矿原理	(9)
二 影响溜槽选别的因素	(10)
第五节 溜槽设备的分类及应用	(13)
一 固定溜槽	(13)
二 胶带溜槽	(21)
第二章 溜槽露天采选场的技术管理	(23)
第一节 地质测量工作	(23)
第二节 矿山生产地质工作	(23)
第三节 矿山测量	(25)
第四节 矿量管理	(26)
第五节 矿山地质监督	(28)
第六节 采掘技术计划管理	(28)
第七节 生产准备	(29)

第八节 推土机剥离	(30)
第九节 小型露天采选场采选作业	(31)
第十节 复田与环境保护	(32)
第十一节 黄金产品管理制度	(33)
第三章 龙江-1 型溜槽露天采选场技术规范	(35)
一 地质条件	(35)
二 水源条件	(35)
三 采矿、选矿工艺要求	(35)
四 溜槽选矿技术条件	(37)
五 主要设备及价格表	(37)

第一章 溜槽选矿

第一节 概述

溜槽选矿属于重力选矿方法之一，在砂金选矿上应用广泛。溜槽选矿是利用矿浆在倾斜安装的斜面上流动，使不同比重的矿物颗粒形成松散、悬浮或沉降，按不同比重的矿物分成粒子层，达到分选的目的。矿浆经溜槽给矿端进入溜槽后，不同比重的矿物粒子的松散分层与分离过程是在水流的作用力、矿粒的重力、矿粒与溜槽底面的摩擦力等的联合作用下进行的。矿粒在合力的作用下，比重大的粒子相对集中在下层，以比较低的速度沿槽底移动或停留于槽底；比重小的粒子相对集中在上层并以较大速度向下方移动。分别将其收集起来便可得到精矿和尾矿。由于矿粒的粒度和形状的不同，水流对它的作用力和其沿槽底的摩擦力也不同，因此，粒度和形状也影响按比重分选的结果。

溜槽设备种类较多。根据其构造和选别对象的不同可分为粗粒溜槽和细粒溜槽；按其作业方式是间断排矿还是连续排矿可分为固定溜槽和可动溜槽。

苏联、加拿大等国选别含金矿砂的实践中，各种结构的溜槽获得了最普遍的应用。在我国采金船上也广泛应用各种结构的溜槽。目前，以溜槽作为主要选矿设备的露天采选场也得到迅速发展。这类设备不但结构简单、使用方便、经济上较合算，而且能使金的富集比高。

在采金船上应用的溜槽设备多数属粗粒溜槽。固定溜槽为铁板制件构成，在槽底铺有橡胶（或塑料）毛毡，在橡胶

毛毡上铺有档条（俗称溜格）；可动溜槽为无极橡胶带，在橡胶带表面上有小凹穴。固定溜槽为间断排出精矿，可动溜槽为连续排出精矿。

目前，我国小型采金船仍比较普遍的使用固定溜槽。中型、大型采金船，特别是那些含金粒度较细的砂矿已采用跳汰机。近几年，胶带可动溜槽在采金船上也开始使用。

随着含金品位比较高、粒度比较粗的矿层逐渐减少，而低品位、细粒金矿层的开发，以及处理我国北方冻土比较发育的砂金矿床，给溜槽选矿提出了许多课题。近年来国内外都在对溜槽选矿进行着新的研究，制出了各种新型溜槽，使溜槽选矿不断向前发展。

第二节 水流沿斜面流动的运动特性

溜槽选矿是在沿斜面流动的水流中进行的，因此，溜槽选矿效果的优劣除与矿粒本身的性质有关外，沿斜面流动的水流的运动特性也起着重要的作用。矿粒群中矿粒本身存在着比重差是溜槽选矿得以进行的内因，沿斜面流动的水流的动力作用是溜槽选矿得以进行的外因，溜槽选矿的过程就是这些内因和外因相结合的过程。因此，我们研究沿斜面流动的水流的运动特性，会使我们更清楚地认识溜槽选矿的本质。

溜槽选矿中，沿斜面水流的运动是无压流动，它是靠重力在流动方向上的分力作用流动的。阻碍水流运动的力是水流内部本身质点间的内摩擦力，和水流与斜面槽底及边壁的摩擦力（一般忽略水流与大气间的摩擦力）。而沿斜面流动的水流又分为均匀流（等速流）和非均匀流两种，在溜槽选矿中沿斜面流动的水流多属于均匀流。所谓均匀流就是指水

流的有效断面积、形状和沿水流流动方向的流速不变。

沿斜面流动水流的运动特性中与选矿过程有关的因素主要有：沿斜面流动的水流的流态，不同流态下水流流速沿水流深度的分布规律，紊流中脉动速度的分布规律。下面分别讨论。

一、沿斜面流动的水流流态

沿斜面流动的水流的流动状态称为水流的流态，水流流态有层流和紊流两种。

选矿过程中的矿浆流态可以根据水流的流动现象进行判断。一般地讲，当溜槽斜面的倾角较小，矿浆流层较薄，流速较慢的情况下，矿浆流层多属层流，这时可以看到矿浆在流动过程中比较平稳，没有旋涡产生，矿浆流层的上层与下层之间没有混杂交换。而当溜槽斜面倾角较大，矿浆流层较厚，流速较大时，矿浆流多属紊流。这时可以观察到矿浆流动很不平稳，矿浆流内部有旋涡产生。甚至出现水跃，这表明矿浆流上层与下层间有明显的交换。在溜槽的选矿操作中多将矿浆流控制在紊流或弱紊流的条件下。

二、流速沿水流深度的分布

沿斜面流动的水流，其流动速度沿水流深度是不同的，随着水流深度的变化而变化。由于斜面底面不动，因此，可以证明水流紧贴斜面底面的流动速度为零，从斜面底向上，水流速度逐渐增大，靠近水流表面水流速度最大。由于沿斜面流动的水流流态有层流和紊流之分，因此，沿斜面流动的水流在不同流态下沿水流深度的分布也是不同的，如图 1-1、图 1-2 所示。图中 h 轴表示由斜面底向上的水流深度， u 轴表示沿水流流动方向的水流流速的大小。

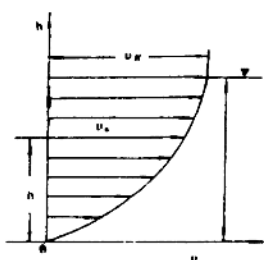


图 1-1 层流速度分布

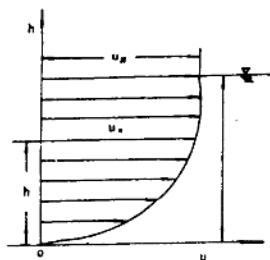


图 1-2 紊流速度分布

从图中曲线可以看出：以层流流动时，由于水流上层与下层间没有质点交换，因此，从斜面底向上水流速度增加较快，即相邻两流层间水流速度差较大；水流以紊流流动时，由于水流上层与下层间存在着内部质点的混杂交换，因此，除最底部处，相邻两流层间水流速度差较小。但是，紊流流动时水流底部速度差要较层流流动时水流底部速度差要大。无论是层流流动还是紊流流动其表层流速均为最大，最底部紧贴斜面处流速为零。表层流速大，具有较大的运送能力；底部流速小，具有较小的运送能力。在溜槽选矿过程中，小比重的矿粒在矿浆流上层，大比重的矿粒在矿浆流底部，这就是溜槽选矿分离过程的基本原理。

沿斜面流动的水流的平均流速和最大流速是分析溜槽选矿过程中分选状态好坏的重要参数。因此，在实际操作溜槽选矿的过程中，应随时进行观察和测量，以了解分选的情况。下面介绍这个速度的实际测法和这两个速度间的相互关系。

水流最大流速即表层流速的测定，最简单的方法是在给矿端放下一块木片或用纸叠成一个小船型，然后记下这木片或小纸船流至排矿端的时间，由于溜槽长度已知，用这个长度被记录的时间除，得到的就是水流的最大流速（即表流

速)。用公式表示如下:

$$U_{\text{最大}} = \frac{H}{t} \quad (1-1)$$

$U_{\text{最大}}$ —水流最大速度

H —溜槽长度

t —木片或小纸船由给矿端流至排矿端所需时间

水流的平均流速的测定，可以采取在排矿端接取排矿量的办法。用一个较大的容器在溜槽排矿端接取溜槽尾矿浆至满为止，记下接满所需的时间，然后再测出水流深度，由于溜槽宽度已知，因此，也可以求出水流的平均流速。

$$U_{\text{平均}} = \frac{V}{hbt} \quad (1-2)$$

$U_{\text{平均}}$ —水流平均流速

V —所接取的尾矿浆体积

h —水流深度

b —溜槽宽

t —接取矿浆所需时间

可以证明，当水流从层流流态运动时水流最大流速与平均流速间有下列关系成立。

$$U_{\text{最大}} = \frac{ri}{2\mu} H^2 \quad (1-3)$$

$$U_{\text{平均}} = \frac{ri}{3\mu} H^2 \quad (1-4)$$

$$U_{\text{平均}} / U_{\text{最大}} = \frac{2}{3} \quad (1-5)$$

式中： μ —水的粘滞系数(或绝对粘度)

r —水的重力、 $r=dg$ d —比重， g —重力加速度

i —水力坡度、 $i = \sin \alpha$, α —斜面倾角

从上式中可以看出平均流速为最大流速的 $2/3$ 倍。

在紊流情况下, 由于脉动水速的存在, 分布规律很复杂, 给出下面的公式:

$$U_{\text{平均}} = \frac{n}{n+1} U_{\text{最大}} \quad (1-6)$$

n —是一个指数

选矿用的斜面水流, n 值多数介于 $2-4$ 之间, 从公式中可以看出, n 值越大, 平均流速越接近于最大流速。这与前边讲的在紊流时, 水流流速沿水流深度的分布规律是相符合的, 详见表 1-1。

不同 n 值下的 $U_{\text{平均}} / U_{\text{最大}}$ 表 1-1

n	2	3	4	5	6	7
$U_{\text{平均}} / U_{\text{最大}}$	0.67	0.75	0.80	0.83	0.86	0.88

三、紊流中脉动水速的分布

溜槽选矿过程中, 沿斜面流动的矿浆流流态多控制在紊流和弱紊流状态。紊流中存在着脉动水速。所谓脉动水速是指在水流流动过程中出现的方向和大小都随时间而变化的水流速度。脉动水速在各个方向上都存在着, 但对选矿效果有直接影响的却仅是沿水流深度 (垂直于水流流动方向) 方向上的垂直脉动速度。紊流中, 上下层流层间的相互混杂交换就是这种垂直脉动速度引起的。

所谓垂直脉动速度无一定规律可循是指其变化而言, 但作为其沿水流深度的分布还是可以找到一些规律的。下面几点就是水流的垂直脉动速度沿水流的分布规律。

(1) 垂直脉动速度与水流最大流速和水流平均流速成正比。

$$U_y = KU_{\text{最大}} = K \frac{n}{n-1} U_{\text{平均}}$$

U_y —垂直脉动速度

(2)垂直脉动速度沿水流深度的分布规律是越往下越大。这是由于水流底部上下流层间流速差大，且底部距离粗糙的槽底最近的缘故，如图 1-3 所示。

(3) 水流厚度越薄，槽底倾角越大，水流流速越大，则旋涡强度越高，紊流程度越强，垂直脉动速度也越大。

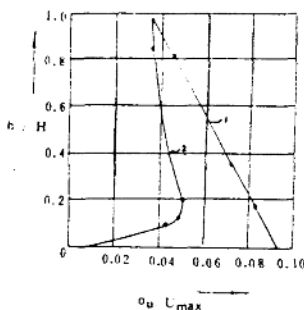


图 1-3 脉动与槽深关系

1—水平脉动水速

2—垂直脉动水速

第三节 矿粒在溜槽中的运动

矿浆给入溜槽后，矿粒在溜槽中的运动形式取决于矿粒自身的重力和水流对矿粒的作用力。不同比重的矿粒，由于自身重量的不同和水流对其作用力的不同，矿粒在溜槽中的运动形式也不同。矿粒在溜槽中的主要运动形式有四种，如图 1-4 所示。

- (1) 矿粒由水流上层向底部沉降；
- (2) 矿粒沿溜槽底向前移动；
- (3) 矿粒以断续悬浮或跳跃式运动；
- (4) 矿粒的连续悬浮。

一、矿粒由水流上层向底部的沉降

在矿浆流中，比重不同的矿粒向下沉降的速度不同，比重越大的矿粒，向下沉降的速度也越大；比重越小的矿粒向下沉降的速度越小；比重小于水的矿粒则不能向下沉降而漂浮在矿浆流面上。因此，在相同的沉降时间内，比重越大的矿粒，沉降的垂直距离也越大，比重越小的矿粒沉降的垂直距离越小。因此，大比重的矿粒首先沉降。沉降距离大的大比重矿粒集中在槽底下层，沉降距离小的小比重矿粒集中在槽底上层。由于矿浆流上下层间的运送能力不同，因此，可根据不同性质的矿粒其具有不同的沉降距离，可以设法把它们彼此之间分开，达到分别选出来的目的。

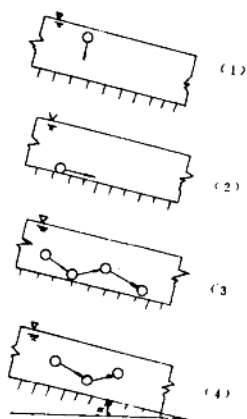


图 1-4 矿粒在斜面水流中的运动形式

二、矿粒沿槽底的移动

矿粒从矿浆流上层沉降到槽底后，沿槽底的运动形式可能是滑动，也可能是滚动。其运动有如下规律：

1. 粒度相同，比重不同的矿粒，比重大的沿槽底移动速度小，比重小的沿槽底移动速度大。而且两者间的移动速度差随粒度的增大而增大。这说明了溜槽选分粗粒级的比选分细粒级的容易。

2. 比重相同，粒度不同的矿粒，其移动速度也不同。

3. 比重不同的矿粒间的移动速度，在一定的限度内随水流厚度的减薄和溜槽倾角 α 的减小而速度差增大，有利于选分。所以，溜槽选矿，特别是用来回收细粒级矿物的溜槽常在较小的倾角和水流厚度较薄条件下进行。

4. 矿粒与溜槽底面的摩擦力越大，轻重矿粒及大小矿粒间的移动速度差越大。

三、矿粒的断续悬浮或跳跃式运动

由于矿粒在粗糙底或铺有矿粒沉积物的底上运动，当水流在流动中，遇到障碍则会在其上方近旁层面产生突然升高，产生水跃和涡流现象，使矿粒的移动作间断悬浮运动或作跳跃前进运动。尤其在水层厚度较薄的转折处容易产生。这种跳跃一方面可使床层得到更大程度的松散，但另一方面，过强的跳跃不利于矿粒群的稳定分层，会造成细粒重矿物的流失，所以也必需加以适当的控制。

四、矿粒的连续悬浮运动

在紊流时，水流对矿粒不仅有沿流动方向的冲力，而且还有由下向上的举力，故在紊流的条件下，只有当举力小于矿粒的重力时，处于水中的矿粒才会向底部沉降；如果举力大于矿粒的重力，则矿粒悬浮。故对紊流流速亦应加以控制，以利于重矿粒的沉降，避免因悬浮不能沉降下来，造成细粒矿物流失。

第四节 溜槽选矿原理及影响溜槽选别的因素

一、溜槽选矿原理

溜槽的类型很多，各有特点。但是，均是在间歇工作溜槽的基础上发展起来的，其选矿的基本原理是相同的，因此，仅就固定式间歇溜槽的选分原理叙述如下。

溜槽上所处理的矿浆为非均质两相介质流，矿浆中的矿粒由于其重力的作用，会向下沉降，使得矿浆层上下浓度不同，粒度也不同。

矿浆流速按矿浆流速度的分布也不同于水流，如图 1-5。

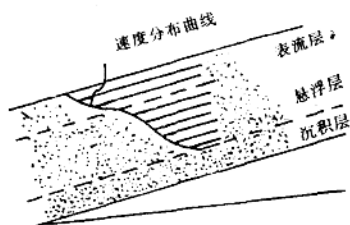


图 1-5 溜槽中矿浆流速分布示意图

矿浆层大体上可分为三层，即稀释层（也称表流层）、悬浮层、沉积层。选别作用主要发生在悬浮层。悬浮层流速比稀释层小，比沉积层大。底部的沉积层如同一个粗糙的铺面，当矿浆在此铺面上流过时，在悬浮层与沉积层交界处产生较大的速度差。因而引起较强的涡流，这就是垂直脉动速度对床层的动力松散作用。当矿粒随矿浆一起沿斜面运动时，由于矿浆的上下层速度的不同，矿粒将受到不平衡力的作用，引起矿粒翻转，同时由于颗粒间相互接触、碰撞，这种翻转将以一种机械力的方式传递，使得矿粒间产生间隙，这种作用称为机械松散作用。虽然这种松散作用与垂直上升的松散作用相比是很微弱的，但是，正是这样作用对比重大的细颗粒、有用矿物的回收起着重要的作用，在这种作用下矿粒群被松散，使得细而重的细颗粒有机会通过床层间隙钻到下部。粗而轻的颗粒相对移至上部，形成按比重的分层。由于矿浆流上层较下层流速快，所以轻的粗颗粒被上层水流的冲洗力带走，细而重的颗粒则受到较小的水冲洗力及槽底的摩擦力的作用而沉积于槽底，收集起来即为精矿。

二、影响溜槽选别的因素

影响溜槽选别的因素是多方面的，其中有结构因素（溜

槽长度、宽度、坡度、纵向的剖面形状、槽底铺面粗糙度等), 操作因素 (给矿体积、给矿浓度、清溜次数) 及原矿性质 (入选品位、粒度组成), 现就其几个主要方面分别论述如下:

1. 溜槽长度

当选矿的其它条件不变时, 溜槽长度越大, 对金的回收率越高, 若将溜槽从给矿端到尾矿端分成若干段,

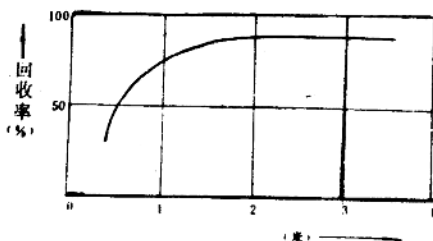


图 1-6 回收率与溜槽长度的关系

则溜槽各段的回收率是不同的。从给矿端到尾矿端溜槽回收率是逐渐降低。溜槽长度与回收率的关系如 1-6 图所示。可以看出溜槽长度有最佳值, 过分地增加溜槽长度不仅对回收率没有显著的提高, 还会降低富集比使精矿产率增加, 降低精矿质量。

2. 溜槽宽度

溜槽宽度的增加, 可以提高溜槽总的处理量, 但过宽时, 矿浆在溜槽面上不能均匀分布, 反而影响选矿指标。

3. 槽面坡度

实际工作中的溜槽坡度一般是不变的。当改变溜槽坡度时, 矿浆流层间的速度差将随之改变。坡度增大, 各种比重矿粒沿溜槽向下滑的趋势都增大, 同时水流速也增大, 所以溜槽坡度的大小是溜槽选矿的重要因素。适宜的坡度一般是通过实验来确定。通常溜槽的安装坡度在 $5^{\circ} \sim 9^{\circ}$ 之间。

4. 给矿体积

给矿体积对选别过程的影响是通过改变矿浆流速和矿浆

流的厚度来实现的。若矿浆量增大，相应的引起矿浆流速的增加和矿浆流厚度的增加，从而增强矿浆流的涡流，使床层过分松散，细粒级金呈悬浮状态，不易沉降于槽底。同时由于矿浆流速的增加，使呈悬浮状态的细粒级金随矿浆流一起带至尾矿中。若矿浆量过小，在溜槽面上矿浆流不易均匀分布，床层松散度小，分层不充分，也将引起回收率的降低。回收率同给矿体积的关系如图 1-7 所示。

在采金船的实际生产中，溜槽给矿量是通过挖掘量来控制的，当船在挖掘含金砂层时，挖斗的满斗系数要求控制在 0.4~0.6 之间，以便使含金砂层中的金得到充分回收。

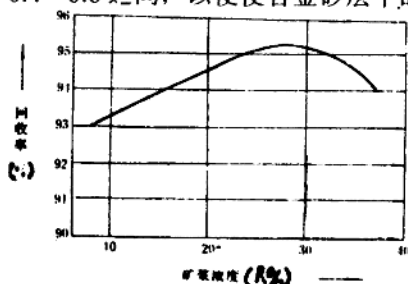


图 1-7 给矿体积和回收率的关系

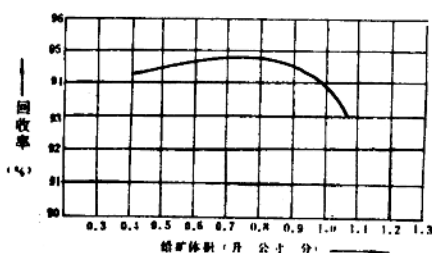


图 1-8 给矿浓度与回收率的关系

5. 给矿浓度

给矿浓度的大小，直接影响矿浆的流速，浓度增大，矿浆流速降低，脉动速度越小，床层松散越差。矿浆浓度的大小对矿粒的运动也有影响，浓度越大，阻力越大。浓度过大时，会造成矿砂在溜槽面上的堆积，这种堆积称为“堆溜”。

不同的选矿作业，对矿浆的浓度要求也不同，粗选作业的浓度要高于精选作业。溜槽选矿回

收率与矿浆浓度的关系如图 1-8 所示。

在采金船生产中溜槽的给矿浓度与洗矿有关，较大的洗矿水能够保证洗矿效果，同时也能降低给矿浓度。

6. 清溜次数

清溜次数在溜槽选矿的操作中是一个重要因素，增加清溜次数，可以提高溜槽的选矿回收率并能降低回收粒度的下限。但是，增加清溜次数会增加劳动量，同时减少溜槽的作业时间。因此，清溜次数应合理安排，通常每班清溜一次（八小时清溜一次）。

7. 铺面类型

溜槽底板上铺面的作用是造成适当的涡流，以松散床层，提高捕收重矿物的能力，此外，由于铺面多数是由毡和毡类组成，能够增加底面的摩擦力并有吸入和吸附作用，提高捕收细粒金的效果。铺面通常是由粗糙表面的塑料制成，称之为人工革皮。用橡胶制成的其表面是由小方格和许许多多的胶柱构成。称之为橡胶毛毡，也有用毛毡的。利用铺面可以有效的提高溜槽的选矿回收率。

8. 给矿粒度组成

通常说来给矿粒度均匀比给矿粒度不均匀选矿效果要好。采金船生产中溜槽的给矿粒度是由圆筒筛筛孔控制的，圆筒筛的筛孔选择是根据矿砂粒度的情况来确定。中小型露天采选场，应该适当的控制给矿的粒度上限。对于大砾石，应单独进行处理。

第五节 溜槽设备的分类及应用

一、固定溜槽

固定溜槽是最早应用的一种重选设备，这类设备不需要