

细粒砂金选收研究

陕西安康金矿 艾满乾

提 要 细粒金矿砂在介质中沉降时,因阻力充当动压力会使细长、密实、不规则的细粒金损失。以跳汰分选为基础的采金船工艺和“先分级、后分选”的精选厂工艺,能保持细粒金矿砂与介质相对速度的最小值,并能最大限度地选收细粒金。

关键词 细粒 砂金 选矿 回收 损耗

Study on recovery of fine-grained placer gold

Ai Manqian

ABSTRACT When the fine gold sand sedimentating in the medium, the irregular-shaped dense finer fraction could be lost under the action of the resistance as dynamic pressure. The jigging type dreger process and the concentrator process of “classification befor separation” may maintain the minimum relative speed of fine-grained gold sand to the medium with the maximum recovery of fine-grained gold fraction.

KEYWORDS Fine-grained Gold sand Separation Recovery Loss

随着资源不断开采,金矿已呈“贫、细、杂”的发展趋势,细粒金在已探明的新砂矿资源中所占的比重越来越大。据资料[1]介绍,在目前可采的砂金储量中,将近一半的砂矿所含细粒金(小于0.25mm)的数量都比较高或相当高(大于25%),自然金的粒度已降到0.3mm,在许多采金船采掘的矿砂中,细粒金的含量已占含金总量的45%以上。研究细粒砂金的选收,对充分有效地开发砂金资源大有裨益。

1 细粒砂金难以选收的原因

1.1 细粒金与粗粒金存在着形状上的差异

粗粒金比较滚圆平整,而细粒金较为细长、且较为密实。两者在形状上构成的天然差异,使砂金在重选过程中的行为确定极为困难。对于不同粒度的砂金,在其形状与球体或立方体的差别程度不是等同的。不规则的细

粒金形状,在目前的矿砂洗选中,用简单的重选方法是不能有效回收的,采用其它方法如浮选、湿法冶金和其它处理工艺进行回收时,往往经济效益较差。

1.2 细粒金矿砂相对于介质运动时的阻力大于其有效重力

设想直径为 d 、密度为 δ 的球形矿粒,在密度为 ρ 的介质中发生沉降。据此可知矿粒的有效重力为 $G_0 = \pi/6 \cdot d^3(\delta - \rho)$ 。因矿粒在介质中沉降时要引起介质的绕流运动,形成介质对矿粒的压差阻力的粘性阻力,统称介质阻力 $R = \pm \psi d^2 v^2 \rho$ ($\pm$ 表示矿粒相对于介质上下运动的方向, ψ 为阻力系数, v 是矿粒与介质的平均相对速度)。非球形矿粒,直径 d 要取当量直径即 $d_v = d/1.15$,在雷诺数 Re (惯性力/粘性力) < 0.5 时,使用形状修正系数 $\alpha = 1.03 \sqrt{x}$ (x 为非球形矿粒的形状尺寸)。矿粒在介质中的运动方向是有效重力

G_0 和介质阻力 R 作用的结果。

细粒金矿砂在介质中沉降时,因矿粒质量、表面积等性质的变化,矿粒的密度对其沉降速度不再是决定因素,而矿粒的粒度和形状则会产生一定的影响。因此对细粒金矿砂不能用单一的选矿准则 $E = (\delta_2 - \rho) / (\delta_1 - \rho)$ (δ_2 、 δ_1 分别表示有用矿物与脉石矿物的密度)来判断其分选的难易程度。从介质阻力关系式中可以看到,矿粒相对于介质运动时的阻力 R 与矿粒表面积 d^2 成比例,同一种矿物在其粒度不同时,矿粒的表面性质也不相同,粒度愈小、形状愈不规则的矿粒其表面积比愈大。这样密度相同而粒度不同的矿粒,在相对速度的上升流中,细粒所受介质阻力作用较强。同时,矿粒形状愈不规则,介质对它的绕流作用不会象球形那样顺畅,阻力随之也会增大。对于粒度小、形状又不规则的矿粒来说,矿粒与介质间较小的相对速度就可使它在介质中所受到的阻力 R 大于自身的有效重力 G_0 。这时介质阻力便成为推动矿粒向上运动的动压力。这就是细粒金矿砂难以选收的主要原因。

1.3 设计工艺、设备及参数与细粒金矿砂的性质不合

细粒金矿砂难以选收的原因不仅与其自身的粒度和形状有关,而且与所制定的工艺、选用的设备和确定的技术参数有关。

1.3.1 采金船工艺、设备的制定

采金船工艺的制定主要是依据原矿砂性质、矿砂的可选性试验和生产实践经验;工艺中设备的选用取决于作业的处理能力、有效处理粒度范围和分选的精确性;参数确定依选金设备的结构性能和操作因素不同而各不相同。

设计采金船工艺时,若所提供地质资料中的金粒形状、细粒金含量、原矿砂中细级别含量、含泥状况和原矿品位等不准确或有一定偏差,就会使设计工艺的主选设备不能适应入选矿石性质,引起大量细粒金的损失,给

矿山生产带来很大的困难。如陕西恒口金矿 HD 型 50L 采金船筹建伊始,他们根据地方提供的不确切地质资料,与有关设计单位制定了以固定溜槽为主选设备的溜槽—跳汰机—摇床流程,试车投产后船选回收率只有 60%,造成了大量细粒金的流失。

所选用选金设备与设置的主要目的脱节是细粒金难以选收的重要原因。本来应将那些处理量大而分选精确性低的设备安排在粗、扫选作业中,将处理量小、富集比高的设备提供精选使用。如果应用不当,对金的回收、尤其是细粒金的回收将会微乎其微。或者用选别粗粒金的设备处理细粒金,选收效果将会更糟。如陕南某地方小矿盲目地将经过采金船 JT1070×1070 两段矩形跳汰后的尾矿,用 XZYS1100×500 摇床进行扫选,结果事倍功半,以失败告终。

设备参数确定不当是细粒金难以选收的一个不容忽视的方面。结构参数不合技术要求,或者人为调整的操作参数使细粒金矿砂在介质中难以实现松散、分层和分离,而受介质阻力的推动,夹杂在细粒尾矿砂中流失。如陕西安康金矿 150L 采金船两开两闭的三段跳汰机流程,对经过圆形跳汰和矩形跳汰开路流程得到的尾矿,从 1988 年以来安排专人跟船跟班从中取样,经过几年的分析表明,尾金粒级多在 0.25mm 以下,主要原因是设备参数确定不当所致。

1.3.2 精选厂工艺的制定

为简化采金船工艺流程,砂金矿山常在岸上设立了用于处理下船重砂的精选厂。精选厂工艺的制定主要是依据下船重砂的性质及含金量的特性。目前,我国大部分砂金精选厂仍采用单一的摇床设备,其操作参数以“保证足够的产率、保持床面金线斜跨在尖灭线上端”为基准,在生产实践中进行调节。

精选厂是细粒金流失的要害部门。选前确定的冲程冲次,不能适应变化中的重砂性质,生产中随时对冲洗水和横向坡度的调节,

使许多细粒金、微细粒金夹杂在尾矿中流失。

陕西安康金矿借助人造草皮,对精选厂粗扫选尾矿地沟中流失的金进行了粒级含量分析,发现小于 0.28mm 的细粒金损失占金损失总量的 46.07%(表 1)。

表 1 安康金矿精选厂尾金粒级含量分析表

筛孔径 /mm	粒级重量 /kg	粒级区间 所占百分比/%
1	1.50	10.72
0.71~1	1.70	42.07
0.46~0.71	2.11	
0.28~0.46	2.08	
0.154~0.28	6.00	46.07
0.098~0.154	0.45	
0.098~0.076	0.11	1.14
0.076	0.05	
合 计	14.00	100.00

2 选收细粒砂金的途径

2.1 细粒砂金选收的基本条件

细粒金矿砂借助介质的动力作用实现松散时,即矿粒与介质间的相对速度要保持最小值,方可使细粒金获得选收。而矿粒与介质的相对速度是矿粒运行速度与介质床层间隙流速之差,就细粒金矿砂而言,矿粒沉降速度本身很小,要使相对速度控制在最小值,就要设法把介质床层的间隙流速控制到最小。否则,细粒金会受介质速度阻力的推动而上浮,损失于尾矿中。

把介质床层的间隙流速控制到最小,保持矿粒与介质相对速度的最小值,保证矿粒在介质中的有效重力大于介质阻力,是细粒砂金选收的基本条件。

2.2 细粒砂金选收工艺的选择

2.2.1 选择采金船工艺要以跳汰分选为基础

采用的工艺为溜槽—跳汰机—摇床流程。在金的粒度大于 1mm 时,溜槽和跳汰机的回收率基本接近,但当金的粒度在 0.42~0.2mm 时,二者的回收率出现了明显的差异(表 2)。

表 2 溜槽和跳汰机对不同粒度的回收率 %

砂金粒度 /mm	溜槽回收率	跳汰机回收率
>1	91	92.5
0.42~1	82	85.5
0.2~0.42	60.5	81
<0.2	19	78

1983 年 9 月黑河金矿局在下属的兴隆金矿和罕达汽金矿 150L 采金船上,为实现这一工艺流程采用了如下设备:B800 皮带溜槽、梯形跳汰机、6-S 摇床。扩大了入选矿物的粒度范围,降低了细粒金的回收粒度下限(可达 0.074mm),使采金船的粗选作业回收率达 89%~96%,总回收率达 80%~85%。但这种工艺的入选条件要求相当严格,配置复杂,管理不便。

2.2.2 三段跳汰机工艺是选收细粒金的先进工艺

常用的三段跳汰工艺(如图 1),适宜选别小于 0.2mm 的级别超过总量的 20%以上片状金粒,或原矿砂中细级别(小于 1.5mm)含量大于 50%,含泥少于 20%,原矿品位在 0.2g/m³ 以上的矿砂。因为这个工艺中的粗选设备圆形跳汰机,单机处理量大,供矿要求条件不严,不需要入选物料严格地分级,主要还在于它可借助液压驱动机构形成的差动跳

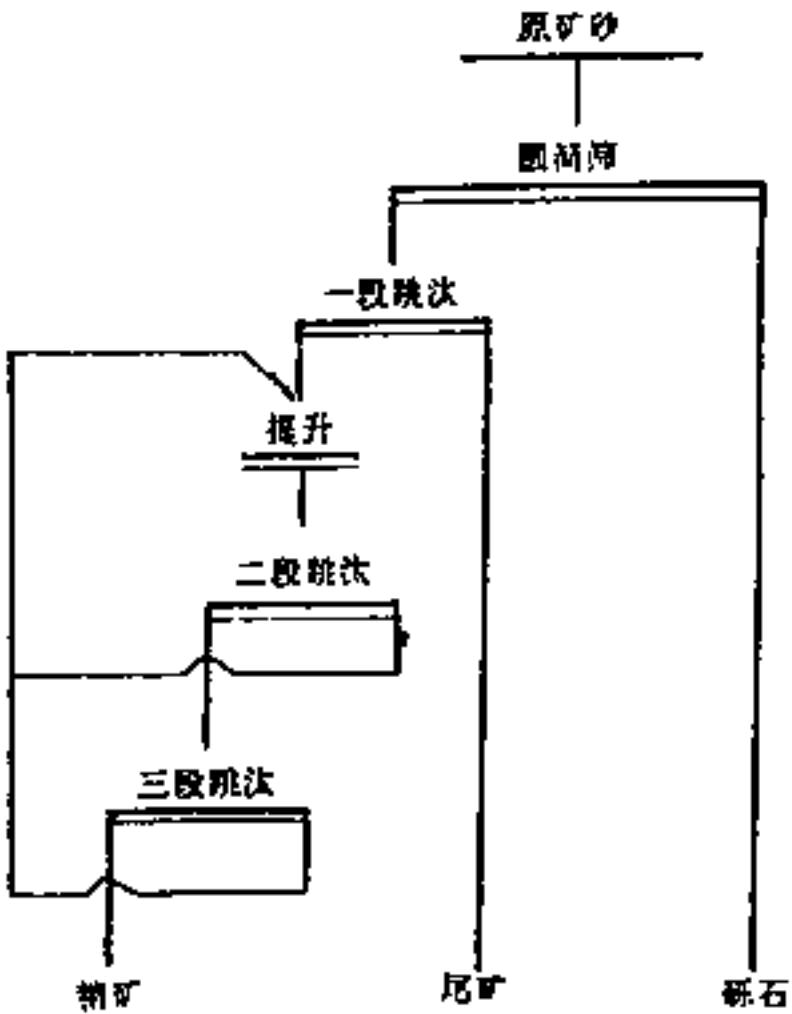


图 1 三段跳汰机工艺

汰曲线,使细粒金矿砂随同整个床层起伏运动,并在床层缓慢下降过程中钻隙到底部。工艺中精选作业的闭路循环,保证了金粒的充分回收。

广泛推广使用跳汰工艺分选含金矿砂,比单一使用溜槽工艺时金的损失可降 $1/3 \sim 1/2$ 。以跳汰分选为基础或与其他设备联合选别的工艺流程,其特点是矿泥和矿砂分别在各自最适宜的分选设备和最佳的工艺制度下进行处理,并获取不同粒级的金。采用这种工艺后,金的回收率提高,主要是由于能充分地捕集粒级为 $0.1 \sim 0.25\text{mm}$ 范围的金。

陕西恒口金矿在取得详细可靠的矿砂地质资料的基础上,对所属 HD 型 50L 采金船工艺的主选设备进行了更换:用三室圆型跳汰机取代固定溜槽。工艺总回收率由原来的 62.12% 提高到现在的 88.35% ,使矿砂中大量细粒金得以选收,年增效益 30 多万元。为今后小型采金船工艺设计提供了可靠的依据。

陕西安康金矿从 1989 年便着手完善采金船工艺,除采用外形尺寸为 $25 \sim 30\text{mm}$ 、密度为 5.5t/m^3 的重晶石和直径分别为 30mm 、 25mm 、 20mm 、 15mm 的钢球作跳汰人工床层外,还将一段精选作业改为开路(主要是为避免重矿物在闭路选别中的恶性循环),同时在圆形跳汰机及矩形跳汰机的排尾槽中铺设了人造草皮,从而提高了细粒金的选收量,使所属 3 条采金船的年均回收率比 1988 年提高 4.12% ,并逐年呈上升趋势(表 3)。

表 3 1988~1993 年安康金矿 150L

跳汰流程各船回收率 %

年 份	1 号船	2 号船	3 号船
1988	86.16	88.36	80.73
1989	89.78	91.68	86.15
1990	90.60	90.17	88.89
1991	91.75	89.16	88.18
1992	90.07	90.78	90.50
1993	91.66	90.23	90.53

2.2.3 精选厂宜采用“先分级、后分选”的工艺

砂金重选工艺一般是由多种型号设备组合、按粒级分选,粗细不均的矿砂采用多段选别。精选厂所处理的下船重砂,粒度一般在 $0 \sim 4\text{mm}$,而精选厂的摇床有效分级粒度范围只在 $0.15 \sim 1\text{mm}$ 之间。因此,用同一规格的摇床分选粒级不同的下船重砂,对细粒金的选收是十分不利。因为粗中夹细的金矿砂,选收时往往只考虑粗粒金,致使细粒金夹杂在尾矿中流失掉,而细中夹粗的金矿砂,选收时也因床面分带不清,使精矿质量大为降低。所以,精选厂精选应采用“先分级、后分选”的工艺。

某砂金精选厂曾先后对几种精选工艺流程进行过对比试验,其中“先分级、后分选”的精选工艺选别指标最好。该工艺是:将下船重砂经孔径 $d=1\text{mm}$ 的振动筛分级后,筛上产品用 $950 \times 450 \times 750$ 的梯形跳汰机精选,筛下产品用 $4520 \times 1825 \times 1560$ 的 6-S 摇床粗扫选、用 2100×1050 的 XZYS 摇床精选,并在 6 台粗扫选摇床的尾矿槽和地沟中铺设人造草皮,自 1993 年 5 月开始,还加大了尾矿槽和地沟中人造草皮的数量和长度,并坚持两天清溜一次,大大减少了细粒金的流失,1993 年全年从尾矿中共捕收砂金量 4.2239kg ,创效益 11.8 万元(表 4)。

表 4 1993 年不同月份的捕收状况

月 份	精选回收率 /%	人造草皮回收金 /g
1	96.9	12.6
2	96.3	15.4
3	95.8	6.1
4	95.2	4.6
5	97.4	230.5
6	97.5	260.3
7	98.3	501.9
8	98.4	506.2
9	98.02	379.5
10	98.03	352.2
11	98.72	407.4
12	98.54	365.3

2.3 细粒砂金选收设备参数的确定

2.3.1 皮带溜槽

皮带溜槽应在保证矿粒输送和床层松散的前提下,尽量降低矿流速度。皮带溜槽对入选物料的粒度及矿浆流速的要求范围:入选粒度宜控制在16mm以下;矿浆表面流速宜控制在1.0~1.2m/s。

某150L采金船在生产实践中,将皮带溜槽的安装角度控制在9°,将皮带行走速度控制在0.6m/s,测出了如下指标(表5)。

表5 不同作业条件下皮带溜槽的选别情况

给矿量 /m ³ ·h ⁻¹	液固比	矿浆表面流速 /m·s ⁻¹	给矿粒度 /mm	回收率 /%
6.1	12:1	1.5	<20	89.0
3.4	11:1	1.9	<16	95.4
3.0	16:1	2.0	<16	91.3
0.93	25:1	1.84	<16	91.6
1.01	16:1	1.46	<16	99.1

2.3.2 跳汰机

某250L采金船生产经验表明:在所处理的矿砂中,当总含金量不少于0.25~0.3g/m³,且小于0.25mm级别中金的占有率高于10%~15%时,选用跳汰机进行选别,无论从工艺上,还是从经济上分析都是较为合理的。陕西安康金矿根据多年来的生产状况,总结出适宜于细粒金选收的跳汰工艺参数(表6)。

2.3.3 摇床

表6 安康金矿采金船跳汰机参数

参 数 项 目	YΦ7750 九室 圆型跳汰机	JT1070×1070 仿荷矩型跳汰机
人工床石粒度/mm	25~30	20~25
人工床层厚度/mm	100~110	100~110
铜球与重晶石配比	3:1	3:1
实际给矿粒度/mm	<14	<8
跳汰室筛网孔径/mm	8	6
筛下补加水压/MPa	0.029	0.029
矿浆液固比	3~8:1	3~8:1
台时生产能力/t	112.5~225.0	8~15
冲 程 /mm	25	12
冲 次 /次·min	70~75	120

采金船上的摇床受到船挖掘深度、斗满系数和矿物本身特性的影响,因此选收细粒金的工艺参数要综合考虑,加以调整。精选厂摇床的工艺参数以作业性质确定。一般用摇床选收细粒金时,宜采用“小冲程高冲次和小冲洗水大横坡”,给矿浓度为25%~30%,给矿要做到均匀、稳定。安康金矿精选厂在生产实践中总结出下船重砂逐级选别的三段摇床工艺参数(表7),按此进行操作后使精选回收率逐年递增。

表7 精选厂摇床工艺技术参数

选别作业	冲 程	冲 次	横 坡	纵 坡
	/mm	/次·min ⁻¹		
粗 选	11~11.5	280	6°52'	19'
精 选	12	280	4°24'	7~8'
扫 选	10.5~11	280	5°35'	15~16'

2.3.4 选收细粒金重选设备的粒度范围^[2]

隔膜跳汰机为25~0.5mm,梯形跳汰机回收粒度下限可到0.074mm;6-S摇床为2~0.074mm,XZYS摇床为1~0.15mm;扇形溜槽和圆锥选矿机为2.5~0.038mm,离心选矿机和摇动翻床为0.1~0.01mm;皮带溜槽和横流皮带溜槽为0.074~0.01mm;振摆皮带溜槽为0.074~0.02mm;螺旋溜槽为0.5~0.02mm。

2.4 借助旋流和涡流选收采金船的细粒金

2.4.1 “分级旋流器—跳汰机和短锥旋流器”新工艺

目前,采金船上普遍采用跳汰机或溜槽粗选、摇床精选的工艺流程。这种工艺流程复杂,占地面积大,细粒金的回收率低,生产操作难以控制。1988年前苏联学者B. M. Маньков曾报导^[3],用溜槽和跳汰机作为选别设备不能确保细粒金的回收,在生产中,小于0.25mm细粒金损失达50%~60%。为提高细粒金的回收率,Маньков提出了新的砂金矿选矿工艺流程。这种新工艺的优点是粗砂细粒砂分别在各自最有效的设备上和最佳参数条件下进行选别,而溢流给入短锥旋流器。

这样,跳汰机的选矿效率显著提高,当精矿产率达到25%~30%时,金回收率达到99.5%~99.7%。短锥旋流器可有效地回收细粒金,当其沉砂产率为8.3%~12.8%时,细粒金回收率达到86.3%~92.6%。在采金船上采用这种新工艺流程,金回收率提高了25%~30%。

2.4.2 曲面旋流选金器和曲面涡流淘金机

1989年中南工业大学曾令移研制的直径曲面旋流选金器,在湖南靖县砂金矿采金船上取代矩形跳汰机,使选矿富集比提高一倍多,金回收率提高3%,且节省电耗。1991年研制者又将曲面旋流选金器进一步完善成曲面涡流淘金机,并在黑龙江萝北县杜家河矿区的黄金一支队,用于回收尾矿槽中的黄金。该队的主选设备为固定溜槽的100L采金船。当给矿品位为2.8g/t时,作业回收率达94%左右,九天内从中回收黄金62.2g,占主流程产金量的20.48%,其金的粒度与主流程的金产品比较,大部分属于细粒金。实践表明该设备对细粒金的回收效果好,同时富集比高达100倍左右。

2.5 精选厂细粒砂金选收实践

1993年黑龙江韩家园金矿张继文提出了在精选厂尾矿中采用回收细粒金的设备:YMP溜槽,即移动式毛毯铺面溜槽。他们在原精选厂增设了一个混合矿砂单独再选系列,同时设置了一套扫选捕收溜槽,改进后选矿回收率提高到98.5%。

沈阳黄金学院研制了用于选收砂金精选厂细粒金的旋流分选机。这台设备是将短锥旋流器的短锥改造成球形盘,再在其溢流管上接通与给水管相连的虹吸管。因它能克服短锥旋流器“上升溢流与下降沉砂旋转流作相对运动而使部分细粒金损失”的弊病。该设备对细粒金捕收能力明显高于短锥旋流器。其适宜的给矿粒度为5mm以下。

3 结 语

目前,尽管国内外已经出现一些处理细粒级金矿砂的选金设备,但其回收粒度的下限仍较高,为有效地利用砂金资源,须要加强对细粒金及微细粒金的选收工作的研究,当前面临的重要课题仍是针对有效处理微细粒级的选金设备及参数。

参考文献

- [1]O. B. Замарина 等. 含金矿跳汰工艺的分选效果. 国外黄金参考,1992;(5):12
- [2]孙玉波. 重力选矿. 北京:冶金工业出版社,1982:7
- [3]田忠诚. 国内外金矿选冶技术的新进展. 黄金技术信息,1992;(1):9
- [4]王孟尝、陈志强. 采金船及采选工艺. 沈阳:沈阳专科学校,1986:3
- [5]曾令移等. 曲面涡流淘金机在回收黄金中的应用. 金属矿山,1991,(3)
- [6]张继文. 回收精选厂尾矿中细粒金的选矿工艺初探. 采金技术,1993,(4)

收稿日期 1994-10-17

