

新型床石在中粒跳汰抛废中的生产应用^{*}

许大洪^{1,2}, 王熙², 陈建华¹

(1. 广西大学资源与冶金学院, 广西 南宁, 530004; 2. 广西华锡集团, 广西 南丹, 547205)

摘要:采用新型床石在锯齿波跳汰机中对 $-4+1.5\text{ mm}$ 贫杂细锡多金属硫化矿进行了抛废工业试验。与旧床石相比,通过中粒跳汰新,试验取得了较优的指标,在回收率保持基本不变的情况下,中粒跳汰采用新型床石的抛废率平均达到70.36%、金属损失率为锡11.00%、铅11.32%、锌22.36%,总精矿富集比锡3.53、铅3.44、锌2.87。采用新型床石后,其床石消耗成本降低了68.75%,取得了显著的经济效益。

关键词:跳汰;新型床石;富集比

中图分类号:TD952.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0076(2013)03-0035-06

Application of a Novel Bed Stone in Middle - particle Jig for Tailings Discarding

XU Da - hong¹, WANG Xi², CHEN Jian - hua¹

(1. Resources and Metallurgy College, Guangxi University, Nanning, 530004, China; 2. Guangxi China Tin Group CO., LTD., Nandan, Guangxi, 547205, China)

Abstract: This paper focus on industrial separation tests of multi - metallic tin - sulphuric ore (middle particles from -4mm to $+1.5\text{ mm}$) using sawtooth wave jigs. Better results was achieved using novel type bed stones compared with that using the old types. 70.36% of the waste rocks was discarded. For tin, lead and zinc, the metal loss rate was 11.00%, 11.32% and 22.36% respectively, and the enrichment ratio was 3.53, 3.44, 2.87, respectively. With equal recoveries, the bed stone cost was decreased by 68.75%.

Key words: jig; novel bed stone; enrichment ratio

中粒跳汰机^[1~2]生产使用的人工床石,一般都是采用原矿中伴生的中等密度非目的矿物就近制作而成,或者对外采购较大密度的合适矿物(黄铁矿、铁矿等)专门加工制作而成,因而床石的密度常因所用矿物的纯度不同而变化,颗粒的形状也很不规则,这在生产中不仅容易被磨细而堵塞筛孔,而且容易随水流向后漂移,产生局部床层变薄,出现翻花现象,对轻、重矿物的有效分层影响较大,既不利于选别指标的提高,也不利于节约生产用水。

新型人工床石是采用复合材料、按设计密度配料、经胶结高压铸型而成,按生产需要可制成 $\Phi 12$ 、

15、18 mm等多种规格,试验材质密度约为 5 g/m^3 。新型床石具有密度稳定、颗粒形状规则、大小配比可控、损耗小、需铺设的床层较薄、厚度稳定等优点。因此,生产应用新型人工床石,对于稳定跳汰机的操作条件、减轻工人的劳动强度、有效提高原矿金属资源的利用率、减少生产水耗等都具有十分重要的现实意义,这不仅符合国家倡导的提高资源利用率、节水减排增效的新型环保产业政策要求,又符合现代企业努力降低成本、提高综合经济效益的发展趋势。目前,国内还没有正规生产床石的厂家,所以研究、推广应用新型人工床石将具有广阔的发展前景。

* 收稿日期:2013-01-20;修回日期:2013-03-09

作者简介:许大洪(1983-),男,贵州遵义人,工程师,大学本科,研究方向为选矿工艺及设备。

凤凰矿业分公司于 2003 年生产应用锯齿波跳汰机以来,生产使用的跳汰机床石,一直是采用外购的黄铁矿矿石经破碎、筛分制成,床石的成品率较低,一般仅为 50% 左右,目前床石的制作成本高达 3 780 元/t。由于购买的黄铁矿纯度不够、密度较低,在生产中不仅随矿浆流失的床石较多、补充量较大,而且导致跳汰机常因人工床层厚度的频繁变化而影响正常的选别效果,作业指标波动较大;既不利于跳汰选别指标的稳定提高,也不利于稳定磨矿的浓细度;人工床石的消耗量亦较大,达到 87 g/t 原矿。另外,生产中摩擦变细的人工床石,也常堵塞筛孔或精矿排矿嘴,造成操作紊乱、筛下补加水耗量大,尾矿品位较高、金属损失率大。

1 矿石性质

试验矿石主要为铜坑细脉带矿床贫矿,矿石中主要金属矿物有:黄铁矿、毒砂、铁闪锌矿、锡石、脆硫锑铅,还有白铅矿、铅矾、菱锌矿、异极矿等。脉石矿物有石英、方解石、矽质页岩、灰岩、风化灰岩、菱铁矿等。原矿多元素分析和矿物组成分析结果分别见表 1、2。

表 1 原矿多元素分析					/%
元素	Sn	Pb	Zn	Sb	S
含量	0.40	0.22	1.50	0.18	5.29
元素	As	Fe	SiO ₂	CaO	MgO
含量	0.24	6.29	40.09	7.14	1.02

表 2 原矿矿物组成分析								/%
矿物	锡石	铁闪 锌矿	黄铁矿	脆硫 锑铅矿	毒砂	磁黄 铁矿	脉石	合计
含量	0.51	2.72	5.84	0.45	1.02	1.70	87.76	100

铜坑细脉带贫矿具有金属矿物品位低、结晶粒度细、镶嵌关系复杂,约 50% 在脉石中呈浸染状嵌布的性质特点。因此利用跳汰机预富集抛废的难度较大。

2 试验研究方法

2.1 试验设备及床石

试验采用 JT5-2 型锯齿波双室跳汰机^[3~4],给矿粒度为 -4 + 1.5 mm,称为中粒跳汰。试验采用的锯齿波跳汰机试验参数见表 3,试验床石主要物理参数见表 4,新、旧床石形状分别见图 1、2。

表 3 锯齿波跳汰机试验参数

名称	冲程/mm	冲次/(次/min)	备注
1 [#] 1 室	27 ~ 28	75 ~ 90	人工新型床石,粒径为
2 室	24 ~ 26	60 ~ 75	Φ18、Φ15、Φ12 mm 共 3 种
2 [#] 1 室	25 ~ 27	70 ~ 85	现有硫化矿床石,粒
2 室	23 ~ 25	50 ~ 70	径为 -20 + 14 mm

表 4 床石主要物理参数

床石	材质	密度	颗粒大小配比	使用寿命
旧床石	黄铁矿	4.1	中粒跳汰 -20 + 14 mm; 细跳 -14 + 8 mm。	约 3 个月
新型床石	铁锰合金	4.9	中粒跳汰 18 : 15 : 12 = 2 : 3 : 2 细跳 Φ12mm。	约 15 个月

JT5-2 型锯跳的设备参数为:中粒跳汰—冲程凸轮最大可调 30 mm,冲次最大 110 次/min;

旧床石跳汰实际生产的冲程、冲次、床层厚度等技术参数,已由先前的相关试验及生产实践验证确定。新型床石跳汰的冲程、冲次,床石粒径、铺设厚度等参数,均参照旧床石较佳参数条件进行适当调整。冲次范围较宽,是由于中粒跳汰给矿量波动较大,而冲程和人工床层厚度相对固定,所以主要通过冲次的调整来实现精矿富集比及抛废率的快速控制。

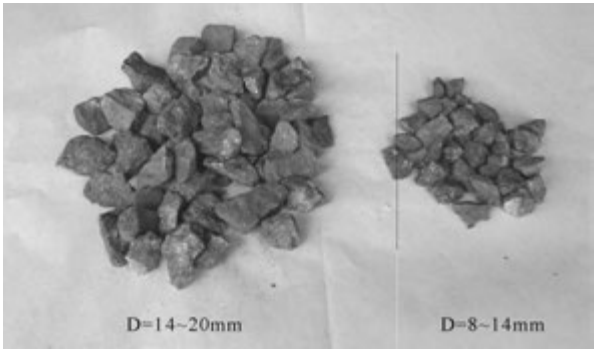


图 1 跳汰机新型人工床石

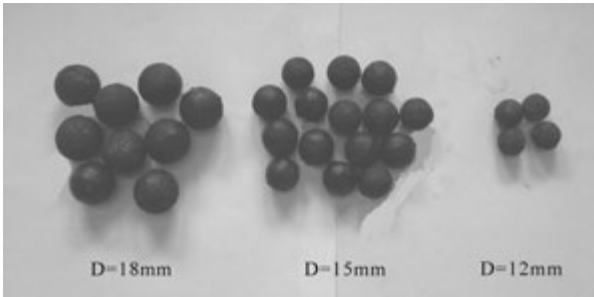


图 2 跳汰机现有旧人工床石

2.2 试验流程

根据凤凰公司选厂现有重选别工艺流程,工业试验研究的中粒跳汰工艺流程如图3所示。生产配置中粒跳汰机5台,试验选择中粒跳汰2台进行新、旧床石的平行对比试验。

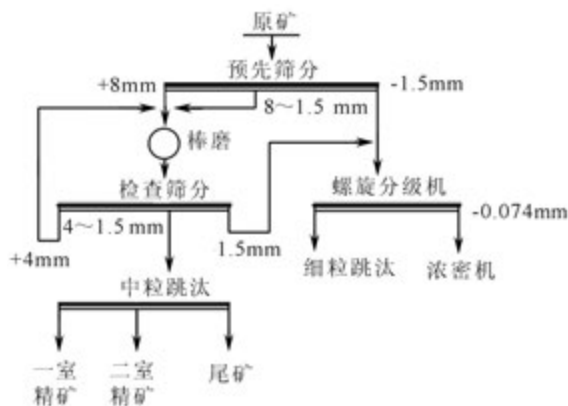


图3 中粒跳汰工艺流程

3 工业应用试验

3.1 单一新型床石与旧床石的对比试验

试验主要考察单一新型床石与旧床石的对比试验效果。

3.1.1 试验条件

选取1[#]中粒跳汰机加入新型人工床石,加入的床石粒度及装配重量比例为 $\Phi 18 : \Phi 15 : \Phi 12$ (mm) = 1 : 2 : 1,共重400 kg/台。人工床层厚度为40 mm。

2[#]中粒跳汰机仍使用旧床石,加入的床石粒度为-20 + 14 mm,重量为450 kg/台。人工床层厚度为50 mm。

3.1.2 试验结果

根据新型床石密度较大的特点,试验对1[#]跳汰机的操作参数进行了适当的调整:相对调大了冲程,使人工床层获得较佳的松散度、确保轻重矿物的离析分层选别效果;相对调大了冲次,在确保精矿富集比的条件下,尽可能减少尾矿中的金属损失。由于试验条件等因素的制约,只进行早班生产的取样查定,对比试验结果见表5。

试验结果表明:在试验条件下,由于新型床石仅铺设 $\Phi 18$ 、 $\Phi 15$ 、 $\Phi 12$ mm三种,人工床层内部缝隙较

小,选别过程中矿粒不易“穿透”床层,轻、重矿物易于按密度形成稳定的分层,因而分选效果较好。新型床石试验的尾矿产率为70.36%、损失率为锡11.00%、铅11.32%、锌22.36%,总精矿富集比为锡3.53、铅3.44、锌2.87;旧床石试验的尾矿产率为62.28%、损失率为锡10.89%、铅11.18%、锌16.02%,总精矿富集比为锡2.46、铅2.42、锌2.28;新床石的试验指标明显优于旧床石的试验指标。

试验发现,由于新型床石的密度为4.9、明显高于旧床石的4.1,因而1[#]跳汰机的人工床层厚度比较稳定,床石不易被水流冲刷而后退。但是,由于新床石密度大、而每个分选格面积较小、床石松散的自由度小,在筛网堵塞或冲程不够时,人工床层易受精矿粒充填缝隙而板结。所以,每班都需适当对床层进行人工翻松。

3.2 新、旧床石组合应用试验

根据新型床石密度大、人工床层不易松散的特点,本试验着重考察新、旧组合床石与单一旧床石的跳汰对比试验效果。

3.2.1 试验条件

在中粒跳汰单一床石对比试验的基础上,1[#]跳汰机留取380 kg粗细混合新床石、另添加280 kg旧床石,人工床层铺设厚度为50 mm,其中新床石铺厚35 mm。2[#]跳汰机所铺旧床石的条件仍保持不变。

3.2.2 试验结果

由于试验条件等因素的制约,只进行早班生产的取样查定,对比试验结果见表6。

新+旧组合床石试验的尾矿产率为70.77%,损失率为锡18.84%、铅18.95%、锌22.73%,总精矿富集比为锡2.90、铅2.94、锌2.94;旧床石试验的尾矿产率为66.24%、损失率为锡16.83%、铅17.18%、锌20.86%,总精矿富集比为锡2.62、铅2.58、锌2.69;组合床石试验的尾矿产率、精矿富集比指标略优于单一旧床石的试验指标。

对于新型床石,采用单一床石比组合床石可获得较高的跳汰精矿富集比,而尾矿产率却基本相同。

根据试验观察,新床石的密度略显偏大,跳汰床层的松散度略显不足,而跳汰机的冲程已基本调至上限。因此,建议将新型床石的密度由4.9配制为4.5,略大于旧床石的4.1,这样更有利于跳汰机的床层松散和选别^[5]。

表 5 对比试验查定结果

/ %

编号	产品名称	1#中粒跳汰(新型床石)							2#中粒跳汰(旧床石)						
		产率	品位			回收率			产率	品位			回收率		
			Sn	Pb	Zn	Sn	Pb	Zn		Sn	Pb	Zn	Sn	Pb	Zn
1	一室精矿	30.62	1.02	0.59	2.65	79.40	74.66	66.59	31.22	1.07	0.63	3.27	77.16	72.40	75.81
	二室精矿	19.74	0.31	0.21	1.71	15.56	17.13	27.70	16.95	0.4	0.32	1.28	15.66	19.97	16.11
	尾矿	49.64	0.04	0.04	0.14	5.05	8.21	5.70	51.83	0.06	0.04	0.21	7.18	7.63	8.08
	给矿	100.00	0.39	0.24	1.22	100.00	100.00	100.00	100.00	0.43	0.27	1.35	100.00	100.00	100.00
2	一室精矿	13.74	2.26	1.42	4.81	62.95	55.17	53.90	28.69	0.96	0.62	3.03	74.25	70.93	64.20
	二室精矿	11.61	1.06	0.98	2.04	24.95	32.17	19.32	12.33	0.44	0.40	1.97	14.62	19.67	17.94
	尾矿	74.65	0.08	0.06	0.44	12.11	12.66	26.79	58.98	0.07	0.04	0.41	11.13	9.41	17.86
	给矿	100.00	0.49	0.35	1.23	100.00	100.00	100.00	100.00	0.37	0.25	1.35	100.00	100.00	100.00
3	一室精矿	9.64	3.17	1.83	4.98	64.65	62.74	40.98	18.72	1.81	0.95	4.06	76.05	73.67	61.09
	二室精矿	17.16	0.59	0.44	2.28	21.42	26.85	33.40	12.42	0.36	0.29	1.79	10.04	14.92	17.87
	尾矿	73.20	0.09	0.04	0.41	13.94	10.41	25.62	68.86	0.09	0.04	0.38	13.91	11.41	21.03
	给矿	100.00	0.47	0.28	1.17	100.00	100.00	100.00	100.00	0.45	0.24	1.24	100.00	100.00	100.00
4	一室精矿	10.12	3.14	1.32	5.06	71.82	61.52	47.23	23.13	1.66	0.83	3.53	79.59	78.73	65.47
	二室精矿	14.15	0.56	0.43	2.01	17.91	28.02	26.23	11.2	0.41	0.17	1.91	9.52	7.81	17.15
	尾矿	75.73	0.06	0.03	0.38	10.27	10.46	26.54	65.67	0.08	0.05	0.33	10.89	13.47	17.38
	给矿	100.00	0.44	0.22	1.08	100.00	100.00	100.00	100.00	0.48	0.24	1.25	100.00	100.00	100.00
5	一室精矿	8.87	2.85	1.31	5.35	62.69	54.89	45.52	20.81	1.74	1.01	4.21	77.67	63.69	65.20
	二室精矿	12.56	0.76	0.51	2.27	23.67	30.26	27.35	13.14	0.39	0.56	1.95	10.99	22.30	19.07
	尾矿	78.57	0.07	0.04	0.36	13.64	14.85	27.13	66.05	0.08	0.07	0.32	11.33	14.01	15.73
	给矿	100.00	0.40	0.21	1.04	100.00	100.00	100.00	100.00	0.47	0.33	1.34	100.00	100.00	100.00
算术平均	一室精矿	14.60	2.49	1.29	4.57	68.30	61.79	50.84	24.51	1.45	0.81	3.62	76.94	71.88	66.35
	二室精矿	15.04	0.66	0.51	2.06	20.70	26.89	26.80	13.21	0.40	0.35	1.78	12.17	16.93	17.63
	尾矿	70.36	0.07	0.04	0.35	11.00	11.32	22.36	62.28	0.08	0.05	0.33	10.89	11.18	16.02
	给矿	100.00	0.44	0.26	1.15	100.00	100.00	100.00	100.00	0.44	0.27	1.31	100.00	100.00	100.00
富集比	一室精矿		5.64	4.96	3.98					3.29	3.02	2.77			
	二室精矿		1.49	1.97	1.80					0.91	1.30	1.36			
	总精矿		3.53	3.44	2.87					2.46	2.42	2.28			

4 试验综合指标

中粒跳汰对比试验取得了较优的指标^[6],在回收率保持基本不变的情况下,中粒跳汰采用新型床石的丢废率平均达到 70.36%、金属损失率为锡 11.00%、铅 11.32%、锌 22.36%;总精矿富集比锡 3.53、铅 3.44、锌 2.87。总体试验指标同比优于采用旧床石,除了尾矿损失率指标略高外,其余的均达到了要求的试验考核指标:跳汰丢废率≥50%,综合精矿富集比≥2,新床石消耗成本降低 65%。中跳试验结果详见表 7。

5 结 语

(1)新型人工床石用于中粒跳汰,同比旧床石可获得较高的跳汰丢废率和精矿富集比,较佳试验指标为:尾矿产率 70.36%,金属损失率锡 11.00%、铅 11.32%、锌 22.36%,总精矿富集比锡 3.53、铅 3.44、锌 2.87。达到了预期的试验指标。

(2)新型床石经过 4 个月的试验,粒径大小基本无变化,床石损耗量为 2g/t、消耗成本为 0.10 元/t,大大低于旧床石的 85 g/t、0.32 元/t,床石消耗成本相对降低 68.75%,达到了预期的目标。

(3)与旧床石相比,新型床石具有床层稳定、磨跳汰中推广应用。
耗流失少、抛废率大、精矿富集比高等优点,可以在

表6 对比试验查定结果															/%
编号	产品名称	1 [#] 中跳(新+旧床石)							2 [#] 中跳(旧床石)						
		产率	品位			回收率			产率	品位			回收率		
			Sn	Pb	Zn	Sn	Pb	Zn		Sn	Pb	Zn	Sn	Pb	Zn
1	一室精矿	15.43	2.08	1.25	3.46	64.07	66.07	49.17	28.50	1.17	1.03	2.58	75.21	79.29	66.27
	二室精矿	36.23	0.35	0.22	1.19	25.31	27.30	39.70	25.59	0.25	0.21	1.05	14.43	14.51	24.22
	尾矿	48.34	0.11	0.04	0.25	10.62	6.62	11.13	45.91	0.10	0.05	0.23	10.36	6.20	9.52
	给矿	100.00	0.50	0.29	1.09	100.00	100.00	100.00	100.00	0.44	0.37	1.11	100.00	100.00	100.00
2	一室精矿	8.93	2.53	1.24	4.77	55.09	53.70	33.03	25.65	1.16	0.57	2.74	68.94	66.56	60.09
	二室精矿	22.70	0.45	0.27	2.66	24.91	29.72	46.82	18.02	0.4	0.22	1.59	16.70	18.05	24.50
	尾矿	68.37	0.12	0.05	0.38	20.00	16.58	20.15	56.33	0.11	0.06	0.32	14.36	15.39	15.41
	给矿	100.00	0.41	0.21	1.29	100.00	100.00	100.00	100.00	0.43	0.22	1.17	100.00	100.00	100.00
3	一室精矿	9.98	2.19	1.04	4.09	54.70	50.65	32.79	31.12	0.93	0.58	2.38	85.12	80.78	72.37
	二室精矿	16.51	0.74	0.39	3.33	30.58	31.42	44.17	7.69	0.26	0.24	1.29	5.88	8.26	9.69
	尾矿	73.51	0.08	0.05	0.39	14.72	17.93	23.03	61.19	0.05	0.04	0.30	9.00	10.95	17.94
	给矿	100.00	0.40	0.20	1.24	100.00	100.00	100.00	100.00	0.34	0.22	1.02	100.00	100.00	100.00
4	一室精矿	6.74	2.11	1.07	4.47	53.11	42.87	31.37	23.31	1.01	0.73	2.13	78.91	78.37	60.24
	二室精矿	21.52	0.35	0.28	1.73	28.13	35.81	38.76	6.51	0.32	0.29	1.26	6.98	8.70	9.95
	尾矿	71.74	0.07	0.05	0.40	18.76	21.32	29.88	70.18	0.06	0.04	0.35	14.11	12.93	29.80
	给矿	100.00	0.27	0.17	0.96	100.00	100.00	100.00	100.00	0.30	0.22	0.82	100.00	100.00	100.00
5	一室精矿	7.97	1.76	0.86	3.84	46.10	36.43	26.12	17.15	1.56	0.94	4.46	76.19	76.16	61.17
	二室精矿	14.43	0.76	0.56	3.58	36.04	42.95	44.08	13.33	0.21	0.17	1.40	7.97	10.71	14.92
	尾矿	77.60	0.07	0.05	0.45	17.85	20.62	29.80	69.52	0.08	0.04	0.43	15.84	13.14	23.91
	给矿	100.00	0.30	0.19	1.17	100.00	100.00	100.00	100.00	0.35	0.21	1.25	100.00	100.00	100.00
6	一室精矿	8.47	2.07	0.68	4.62	55.96	38.01	35.24	13.75	1.51	0.64	4.36	65.67	53.21	50.48
	二室精矿	18.53	0.39	0.31	2.58	23.07	37.91	43.06	7.54	0.50	0.40	3.52	11.92	18.24	22.35
	尾矿	73.00	0.09	0.05	0.33	20.97	24.09	21.70	78.71	0.09	0.06	0.41	22.41	28.56	27.17
	给矿	100.00	0.31	0.15	1.11	100.00	100.00	100.00	100.00	0.32	0.17	1.19	100.00	100.00	100.00
7	一室精矿	6.06	1.73	1.23	7.91	36.61	38.18	35.63	10.98	1.43	0.79	6.15	60.96	49.16	52.48
	二室精矿	11.09	0.89	0.64	4.97	34.46	36.36	40.97	7.21	0.26	0.45	4.51	7.28	18.39	25.27
	尾矿	82.85	0.10	0.06	0.38	28.93	25.46	23.40	81.81	0.10	0.07	0.35	31.76	32.45	22.25
	给矿	100.00	0.29	0.20	1.35	100.00	100.00	100.00	100.00	0.26	0.18	1.29	100.00	100.00	100.00
算术平均	一室精矿	9.08	2.07	1.05	4.74	52.24	46.56	34.76	21.49	1.25	0.75	3.54	73.00	69.08	60.44
	二室精矿	20.14	0.56	0.38	2.86	28.93	34.50	42.51	12.27	0.31	0.28	2.09	10.17	13.84	18.70
	尾矿	70.77	0.09	0.05	0.37	18.84	18.95	22.73	66.24	0.08	0.05	0.34	16.83	17.09	20.86
	给矿	100.00	0.35	0.20	1.17	100.00	100.00	100.00	100.00	0.35	0.23	1.12	100.00	100.00	100.00
富集比	一室精矿		5.83	5.24	4.04					3.60	3.33	3.16			
	二室精矿		1.58	1.90	2.44					0.90	1.25	1.86			
	总精矿		2.90	2.94	2.94					2.62	2.58	2.69			

表 7 中粒跳汰新、旧床石对比试验综合指标

/%

床石	综合 指标	产品名称	产率	品位			回收率		
				Sn	Pb	Zn	Sn	Pb	Zn
新型床石	算术平均	一室精矿	14.60	2.49	1.29	4.57	68.30	61.79	50.84
		二室精矿	15.04	0.66	0.51	2.06	20.70	26.89	26.80
		尾 矿	70.36	0.07	0.04	0.35	11.00	11.32	22.36
		给 矿	100.00	0.44	0.26	1.15	100.00	100.00	10000
	富集比	一室精矿		5.64	4.96	3.98			
		二室精矿		1.49	1.97	1.80			
		总精矿		3.53	3.44	2.87			
旧床石	算术平均	一室精矿	24.51	1.45	0.81	3.62	76.94	71.88	66.35
		二室精矿	13.21	0.40	0.35	1.78	12.17	16.93	17.63
		尾 矿	62.28	0.08	0.05	0.33	10.89	11.18	16.02
		给 矿	100.00	0.44	0.27	1.31	100.00	100.00	100.00
	富集比	一室精矿		3.29	3.02	2.77			
		二室精矿		0.91	1.30	1.36			
		总精矿		2.46	2.42	2.28			

参考文献:

[1] 孙立波. 重力选矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1982.

[2] 汤力. 分级跳汰与直接浮选[J]. 中国矿业学报,1987(3):49-60.

[3] 黄光洪,彭雪清,陈正军. 铜坑 92#矿体粗粒抛废跳汰试验研究及综述[J]. 湖南有色金属,2004,20(1):5-7.

[4] 黄光洪,马士强. 铜坑 92#矿体粗粒跳汰抛废生产实践[J]. 有色金属设计,2005,32(3):31-36.

[5] 谭月珍,陈锦全,周德炎,等. 锯齿波跳汰机的改进与实践[J]. 矿产保护与利用,2009(6):29-31.

[6] 柳州华锡有色设计研究院有限责任公司. 跳汰机新型床石的生产应用研究报告[R]. 广西华锡股份有限公司凤凰矿业分公司,2011.