doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2022.03.013

莫桑比克某重砂矿重选与筛分粗选对比试验研究

张建文[1,2],梁　汉[1],马崇振[1],廖　乾[1],李　然[1],颜　娜[1]

(1. 长沙矿冶研究院有限责任公司,长沙 410012;
2. 中南大学 资源加工与生物工程学院,长沙 410083)

摘　要:针对莫桑比克某重砂原矿有价金属品位低、主要金属分布集中和单体解离度高等特点,开展了螺旋溜槽和高频振动细筛粗选工业对比试验研究。分别考察了螺旋溜槽设备类型、给矿浓度和处理能力等因素对粗选螺旋溜槽分选效果的影响,高频振动细筛筛孔尺寸、给矿浓度和处理能力等因素对粗选筛分效果的影响,并进行了二者最优条件的粗选工业对比试验。对比试验结果表明,粗选螺旋溜槽分选指标优于高频振动细筛,螺旋溜槽获得的粗精矿 TiO_2品位比高频振动细筛粗精矿 TiO_2品位高 20.96 个百分点,尾砂抛除率比高频振动细筛高 35.07 个百分点,且粗选螺旋溜槽设备投资仅占高频振动细筛的 43.48%。该研究成果为莫桑比克某重砂矿资源开发利用粗选工艺的选择提供技术依据和支持。

关键词:重砂矿;粗选;螺旋溜槽;高频振动细筛

中图分类号:TD952;TD455　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1671-9492(2022)03-0087-05

Comparative Experimental Study on Gravity Separation and Screening Roughing Separation of a Heavy Placer in Mozambique

ZHANG Jianwen[1,2], *LIANG Han*[1], *MA Chongzhen*[1], *LIAO Qian*[1], *LI RAN*[1], *YAN Na*[1]

(*1. Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Limited Liability Company, Changsha 410012, China;*
2. School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: In view of the characteristics of low grade of valuable metals, concentrated distribution of main metals and high degree of monomer dissociation of a heavy placer in Mozambique, the industrial comparative test of spiral chute and high frequency vibration fine screening was carried out. The effects of equipment type, feed concentration and treatment capacity on the sorting effect of roughing spiral chute, and the effects of high frequency vibration fine screen size, feed concentration and treatment capacity on the screening effect were investigated respectively, and the roughing industrial comparison tests of the two optimal conditions were carried out. Results showed that the sorting index of spiral chute was better than that of high-frequency vibration fine screen. TiO_2 grade of roughing concentrate obtained by spiral chute was 20.96 percentage points higher than that of high-frequency vibration fine screen, and the tailings removal rate was 35.07 percentage points higher than that of high-frequency vibration fine screen. Moreover, the roughing spiral chute equipment investment only accounted for 43.48% of the investment of high-frequency vibration fine screen equipment. Research results provided the technical basis and support for the subsequent development and utilization of the heavy placer resource abroad.

Key words: heavy placer; roughing; spiral chute; high frequency vibration fine screen

莫桑比克某重砂矿床是目前世界上已知的最大重砂矿床,该矿床已探明的 6 个矿区中仅矿区 1 品位较高的西部采区矿石量就达到 16.36 亿 t,含钛重砂矿物资源量 6 069.15 万 t,其中钛铁矿 5 608.99 万 t、

收稿日期:2021-03-03
基金项目:国家自然科学基金资助项目(UI660206)
作者简介:张建文(1982-),男,内蒙古呼和浩特人,博士,高级工程师,主要从事矿物加工选矿技术与装备等研究工作。

金红石 132.29 万 t、锆石 213.08 万 t。该重砂矿矿床资源可靠,规模巨大,地质条件简单,成矿条件优越。因此,采用技术先进成熟可靠的选冶联合工艺流程,经济合理的开发利用该重砂矿资源就变得尤为重要。考虑到莫桑比克某重砂矿床中有价金属品位较低,粗选方案好坏是控制该项目建设投资与生产成本的关键[1]。

在生产实践中大多利用有用矿物与脉石间的密度差异,采用重选的方法进行粗选[2]。螺旋溜槽具有结构简单、操作简便、占地面积小、富集比高和便于维护等特点,在海滨砂矿分选中得到广泛应用。莫桑比克某重砂矿床有价金属矿物主要分布在—0.30+0.074 mm 粒级,TiO_2 金属分布率高达 90.57%,该粒度分布特征使重砂矿具有良好的筛分性能,且在工业上易于实现。结合该重砂矿矿石性质,采用螺旋溜槽和高频振动细筛分别进行粗选条件工业试验,探索两种设备最优的工艺操作参数条件及对应技术指标,并对二者进行工业对比试验。

1 矿石性质

经镜下鉴定、X 射线衍射分析、扫描电镜分析和 MLA 测定查明,原矿中钛矿物主要为钛铁矿,其次为金红石和极微量榍石;铁矿物主要为钛磁铁矿、假象赤铁矿、赤铁矿和少量褐铁矿;铬矿物主要为铬铁矿,其次为铬铁尖晶石;锆矿物主要为锆石,偶见斜锆石;脉石矿物主要为石英,次为辉石、斜长石、蒙脱石、高岭石和滑石等。原矿中主要目的矿物呈单体产出的比例均接近或超过 95%,预计不需要磨矿就可以获得合格品位的钛精矿和锆石精矿。原矿主要化学成分分析结果见表 1,钛的化学物相分析结果见表 2,矿物组成及含量见表 3,原矿粒度组成见表 4。

表 1 原矿主要化学成分分析结果

Table 1 Results of main chemical composition analysis of raw ore /%

化学成分	TiO_2	TFe	FeO	Fe_2O_3	V_2O_5	Cr_2O_3	ZrO_2	TREO	SiO_2	Al_2O_3
含量	3.33	6.04	2.71	5.62	0.030	0.36	0.21	0.04	79.38	4.47
化学成分	CaO	MgO	MnO	Na_2O	K_2O	P	S	C	Ig	—
含量	0.0046	0.045	0.77	0.063	0.25	0.020	0.036	0.11	2.17	—

表 2 原矿中钛的化学物相分析结果

Table 2 Results of titanium chemical phase analysis of raw ore /%

钛相别	钛铁矿中 TiO_2	钛磁铁矿中 TiO_2	金红石中 TiO_2	硅酸盐中 TiO_2	合计
含量	2.57	0.28	0.26	0.22	3.33
分布率	77.18	8.41	7.81	6.60	100.0

表 3 原矿矿物组成及含量

Table 3 Results of mineral composition and content of raw ore /%

矿物名称	钛铁矿	金红石	钛磁铁矿	假象赤铁矿1)	褐铁矿	铬矿物	锆石	独居石	独居石磷钇矿
含量	4.83	0.21	1.93	2.85	0.08	0.83	0.32	0.02	0.02
矿物名称	石英	长石	辉石	蒙脱石	黑云母绢云母	绿泥石	滑石	尖晶石	其他
含量	70.29	2.37	2.50	12.67	0.24	0.18	0.60	0.01	0.05

注:1)包括赤铁矿

表 4 原矿粒度组成

Table 4 Results of grain-size composition and metal distribution of raw ore /%

粒级/mm	产率		TiO_2品位		TiO_2分布率	
	个别	累计	个别	累计	个别	累计
+0.30	47.73	47.73	0.12	0.12	1.72	1.72
—0.3+0.25	14.63	62.36	0.46	0.20	2.02	3.74
—0.25+0.15	18.01	80.37	5.20	1.32	28.11	31.85
—0.15+0.10	7.02	87.40	23.91	3.14	50.42	82.27
—0.10+0.074	1.65	89.05	20.19	3.45	10.02	92.29
—0.074+0.037	1.17	90.22	5.83	3.48	2.05	94.33
—0.037	9.78	100.0	1.93	3.33	5.67	100.0
合计	100.0		3.33		100.0	

由表 1～4 可知，原矿中主要回收组分为 TiO_2，同时 Fe、Cr_2O_3 和 ZrO_2 均可考虑综合利用。原矿中钛主要以钛铁矿的形式存在，其占有率为 77.18%，其次是以金红石的形式存在，其占有率为 7.81%，二者是选矿能富集回收的主要含钛矿物。脉石组分主要为 SiO_2、Al_2O_3，含量合计达到 83.85%，同时矿石中主要金属分布在—0.30+0.074 mm 粒级，TiO_2 金属分布率高达 90.57%，这为采用螺旋溜槽和高频振动细筛进行粗选提供了数据支撑。

2　试验结果与讨论

2.1　螺旋溜槽粗选条件工业试验

2.1.1　设备类型对螺旋溜槽分选效果的影响

影响螺旋溜槽分选效果的因素包括螺旋溜槽直径、横截面积、螺距、螺旋溜槽长度和圈数等[3-4]。不同类型的螺旋溜槽，设备参数不同，因此进行了螺旋溜槽设备选型对分选效果的影响试验。分别选择螺旋溜槽 1#（Φ680 mm、13 圈）、2#（Φ900 mm、3.5 圈）和 3#（Φ1 200 mm、5 圈）进行试验，设定三种螺旋溜槽的给矿浓度为 30%，处理能力均为 5.6 t/h，待状态稳定后取样，螺旋溜槽设备选型对分选效果的影响见图 1。由图 1 可以看出，与 2#、3# 螺旋溜槽相比，1# 螺旋溜槽分选效果更理想，粗精矿 TiO_2 品位为 28.64%，回收率为 87.61%，尾砂抛除产率达到 88%以上，因此确定采用 1# 螺旋溜槽作为粗选设备。

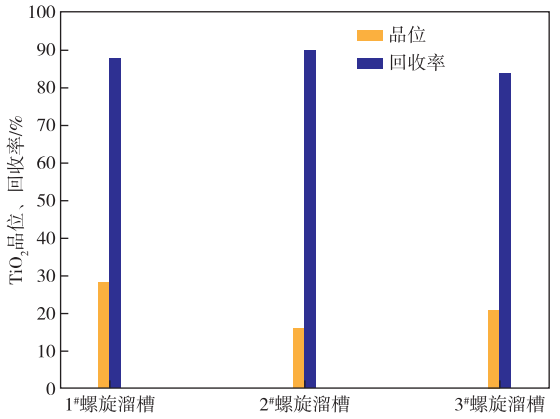

图 1　螺旋溜槽设备类型对分选效果的影响

Fig. 1　Effect of spiral chute type on separation indexes

2.1.2　给矿浓度对螺旋溜槽分选效果的影响

除设备类型外，给矿浓度、处理能力和分隔板位置等因素对螺旋溜槽分选效果也有较大影响。确定粗选设备选用 1# 螺旋溜槽，选择 25%、30%、35%和 40%四个条件进行了给矿浓度试验，试验结果见图 2。由图 2 可知，随着给矿浓度的提高，粗精矿 TiO_2 品位和回收率都呈先增加后降低的趋势。当给矿浓度为 30%时，分选指标较好，此时粗精矿 TiO_2 品位为 28.32%，回收率为 87.35%。此外，从水耗和处理能力方面考虑，给矿浓度 30%比 25%更具有优势。综合考虑，粗选螺旋溜槽给矿浓度采用 30%较为合适。

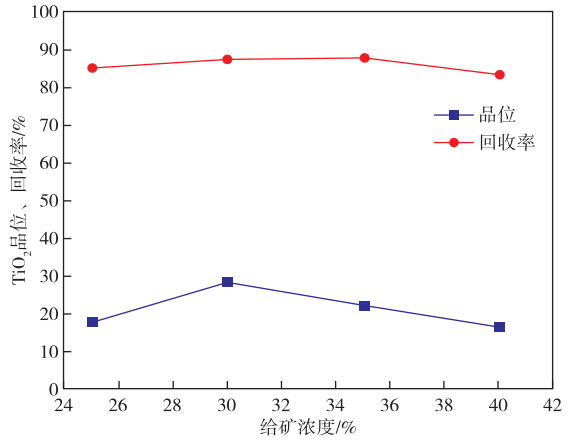

图 2　给矿浓度对分选效果的影响

Fig. 2　Effect of feeding concentration on separation indexes

2.1.3　处理能力对螺旋溜槽分选效果的影响

处理能力是评价螺旋溜槽性能的重要指标，也是选厂设计必须考虑的重要参数。固定给矿浓度 30%，选择 4.4、5.0、5.6 和 6.3 t/h（单台 3 头螺旋溜槽的处理能力）四个处理量进行了处理能力试验，试验结果见图 3。由图 3 可知，随着处理能力的增加，粗精矿 TiO_2 品位和回收率都呈先增加后降低的趋势，综合考虑，当处理能力为 5.6 t/h 时，分选指标较好，此时粗精矿 TiO_2 品位为 27.65%，回收率为 87.63%。在保证粗精矿分选指标的前提下，提高螺旋溜槽单台设备处理能力，可以减小设备台数，降低占地面积和设备投资。

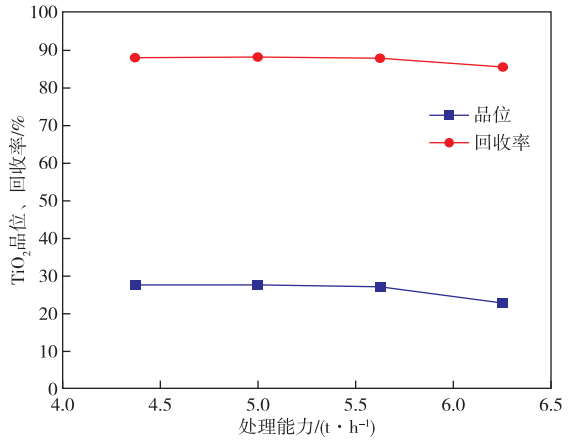

图 3　处理能力对分选效果的影响

Fig. 3　Effect of processing power on separation indexes

2.2 高频振动细筛粗选条件工业试验

高频振动细筛是国内外常用的筛分设备[5-6],具有筛分效率高、处理能力大和结构紧凑等优点,广泛应用于磨矿分级、粗精矿或精矿粒度控制及与旋流器组合进行精细分级、脱水脱泥等生产实践中。试验主要考虑筛孔尺寸、给矿浓度、处理能力对筛分效果的影响。

2.2.1 筛孔尺寸对粗选筛分效果的影响

筛孔尺寸是高频振动细筛最重要的设备参数之一,直接影响筛分设备的处理能力和筛分效率。筛孔尺寸 0.3/0.3 mm 表示每层筛网上半部分和下半部分筛孔尺寸都为 0.3 mm;0.4/0.3 mm 表示每层筛网上半部分筛孔尺寸为 0.4 mm,下半部分为 0.3 mm;0.4/0.4 mm 表示每层筛网上半部分和下半部分筛孔尺寸都为 0.4 mm。固定给矿浓度 30%,设备处理能力 40 t/h,在大型工业五叠层高频振动细筛设备上进行筛孔尺寸对粗选筛分效果的影响试验,试验结果见图 4。由图 4 可知,随着筛孔尺寸的增加,筛下粗精矿 TiO_2 回收率呈不断增加的趋势,而 TiO_2 品位则从 6.57%下降至 4.52%,筛上产品产率最高仅达到 54.20%。综合考虑,筛孔尺寸选择 0.3/0.3 mm 较为合适。

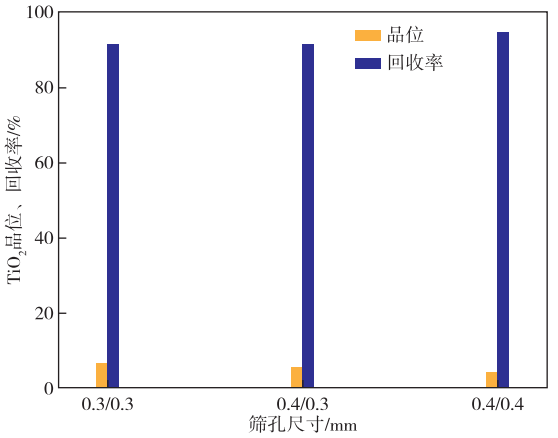

图 4 筛孔尺寸对粗选筛分效果的影响

Fig. 4 Effect of screen size on roughing screening indexes

2.2.2 给矿浓度对粗选筛分效果的影响

给矿浓度是影响筛分设备处理能力和筛分效率的重要参数。在保证筛分设备运行效果的前提下,提高筛分设备给矿浓度可以提高设备处理能力,降低水耗,节约运行成本。固定筛孔尺寸 0.3/0.3 mm 不变,选取 25%、30%、35%和 40%四个条件进行给矿浓度对粗选筛分效果的影响试验,试验结果见图 5。由图 5 可知,随着给矿浓度的提高,筛下粗精矿 TiO_2 品位逐渐增加,而 TiO_2 回收率呈不断下降趋势,当给矿浓度由 30%升高至 35%,筛下粗精矿 TiO_2 品位由 5.68%提高至 6.58%,TiO_2 回收率则从 93.26%降低至 91.02%,筛上抛尾产率为 54.59%。从抛尾产率、产品指标及设备水耗的角度综合考虑,给矿浓度确定选择 35%较为合适。

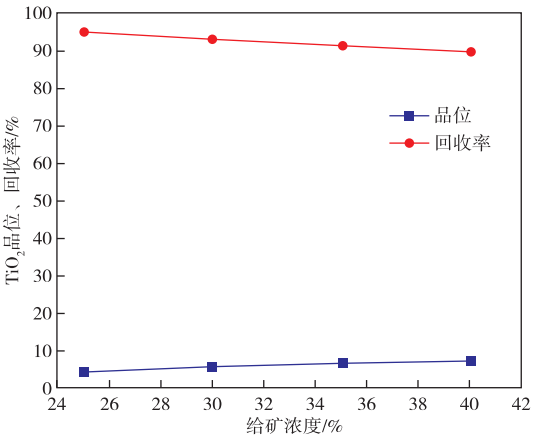

图 5 给矿浓度对粗选筛分效果的影响

Fig. 5 Effect of feed concentration on roughing screening indexes

2.2.3 处理能力对粗选筛分效果的影响

在保证高频振动细筛筛分效率和产品指标前提下,筛分设备的处理能力越大越好。固定筛孔尺寸 0.3/0.3 mm、给矿浓度 35%,选取处理能力分别为 35、40、45 和 50 t/h 进行处理能力对粗选筛分效果的影响试验,试验结果见图 6。由图 6 可知,随着高频振动细筛处理能力的提高,筛下粗精矿 TiO_2 回收率逐渐降低,而筛下粗精矿 TiO_2 品位呈先增加后降低趋势变化,当处理能力从 45 t/h 提升至 50 t/h,筛下粗精矿 TiO_2 品位和回收率都降低,特别是回收率降低明显。综合考虑设备处理能力和筛下产品指标,选择高频振动细筛处理能力 45 t/h 较为合适。

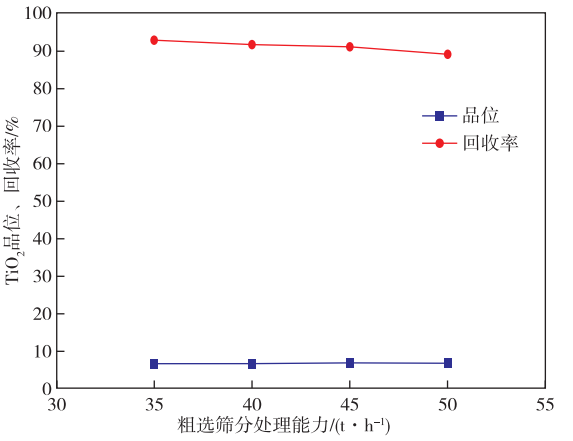

图 6 处理能力对粗选筛分效果的影响

Fig. 6 Effect of processing capacity on roughing screening indexes

2.3　螺旋溜槽和高频振动细筛粗选工业对比试验

通过对螺旋溜槽和高频振动细筛进行粗选条件试验，确定了最佳工艺参数。对 1# 螺旋溜槽、给矿浓度 30%、处理能力 5.6 t/h 和高频振动细筛筛孔尺寸 0.3/0.3 mm、给矿浓度 35%、处理能力 45 t/h 条件下进行了螺旋溜槽和高频振动细筛粗选工业验证对比试验，试验结果见表 5。由表 5 可知，螺旋溜槽分选指标优于高频振动细筛，螺旋溜槽粗选可得到粗精矿 TiO_2 品位为 27.64%，回收率 87.62%，尾矿产率达到 89.38%，而高频振动细筛得到的粗精矿 TiO_2 品位仅为 6.68%，尾矿产率为 54.31%，且粗选螺旋溜槽设备投资仅占粗选高频振动细筛设备投资的 43.48%，缺点为螺旋溜槽单台设备处理能力低，单位水耗略高于高频振动细筛，可通过提高螺旋溜槽尾矿回水利用率有效降低单位水耗。综合比较，采用螺旋溜槽重选设备作为莫桑比克某重砂矿粗选设备更为合适。

表 5　螺旋溜槽和高频振动细筛粗选工业对比试验结果

Table 5　Results of industrial comparison tests between spiral chute and high frequency vibration fine screen

序号	项目	螺旋溜槽	高频振动细筛
1	粗精矿产率/%	10.62	45.69
2	TiO_2 品位/%	27.64	6.68
3	TiO_2 回收率/%	87.62	91.10
4	尾矿产率/%	89.38	54.31
5	设备处理能力/($t \cdot h^{-1}$)	5.6	45
6	粗选设备投资/万元	22	50
7	单位水耗/($m^3 \cdot t^{-1} \cdot h^{-1}$)	2.88	2.33

3　结论

1)原矿回收的主要组分为 TiO_2，需要抛弃的脉石组分主要为 SiO_2、Al_2O_3，二者含量合计达 83.85%。原矿有价金属矿物品位低、主要金属分布集中和单体解离度高，为采用螺旋溜槽和筛分设备进行粗选提供了技术依据。

2)由螺旋溜槽、高频振动细筛粗选条件优化和验证试验结果可知，螺旋溜槽粗选可得到 TiO_2 品位为 27.64%，回收率为 87.62% 的粗精矿，可抛弃产率为 89.38% 的尾矿；高频振动细筛可获得 TiO_2 品位为 6.68%，回收率为 91.10% 的粗精矿，可抛弃产率为 54.31% 的尾矿。

3)粗选工业对比试验结果表明，螺旋溜槽分选指标优于高频振动细筛，螺旋溜槽获得的粗精矿 TiO_2 品位比高频振动细筛粗精矿 TiO_2 品位高 20.96 个百分点，抛弃尾矿产率比高频振动细筛高 35.07 个百分点，且粗选螺旋溜槽设备投资仅占高频振动细筛的 43.48%。研究成果为莫桑比克某重砂矿资源开发利用确定合理的粗选工艺提供技术依据和支持。

参考文献

[1]　张建文，王海东，龚文勇，等. 莫桑比克某锆英石磁电选矿工艺研究[J]. 矿冶工程，2020，40(1)：51-53.
ZHANG Jianwen，WANG Haidong，GONG Wenyong，et al. Magnetic-electrostatic separation for a zircon in Mozambique[J]. Mining and Metallurgical Engineering，2020，40(1)：51-53.

[2]　莫峰，刘庆祥，张军，等. 螺旋溜槽在云南某锌锡矿的应用研究[J]. 有色金属(选矿部分)，2013(1)：77-80.
MO Feng，LIU Qingxiang，ZHANG Jun，et al. Research on the application of spiral chute at the zinc-tin concentrator of Yunnan[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section)，2013(1)：77-80.

[3]　金仁国，陆庆秋，于克旭，等. Φ1 200 mm×720 mm 楔形刻槽螺旋溜槽研制及试验研究[J]. 金属矿山，2000，29(1)：46-48.
JIN Renguo，LU Qingqiu，YU Kexu，et al. Development of Φ1 200 mm×720 mm wedged groove spiral sluice and its test research[J]. Metal Mine，2000，29(1)：46-48.

[4]　高淑玲，孟令国，魏德州，等. 下斜角对螺旋溜槽流场特性的影响[J]. 有色金属(选矿部分)，2020(1)：82-90.
GAO Shuling，MENG Lingguo，WEI Dezhou，et al. Influence of downward bevel angle on the flow field characteristics of spirals [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)，2020(1)：82-90.

[5]　张超达，吴城材，钟森林，等. GYX 高频振动细筛在河南某铁矿选厂的应用[J]. 金属矿山，2014，43(12)：70-74.
ZHANG Chaoda，WU Chengcai，ZHONG Senlin，et al. Application of GYX high frequency vibrating fine screen in an iron dressing plant from Henan province[J]. Metal Mine，2014，43(12)：70-74.

[6]　赵海云. 五叠层高频振动细筛的研发与应用[J]. 矿冶工程，2014，34(2)：38-41.
ZHAO Haiyun. Development and application of 5-dech high frequency vibrating fine screen[J]. Mining and Metallurgical Engineering，2014，34(2)：38-41.

(本文编辑　刘水红)