

文章编号:1673-9981(2019)02-0146-06

# ZQS 磁选机在光伏玻璃用石英砂厂中的应用

钟森林<sup>1,2</sup>, 陈俊明<sup>1,2</sup>, 张超达<sup>1,2</sup>, 王丰雨<sup>1,2</sup>, 王丽娟<sup>1,2</sup>, 谢宝华<sup>1,2</sup>, 吴城材<sup>1,2</sup>

1. 广东省资源综合利用研究所, 广东省矿产资源综合开发利用重点实验室, 广东 广州 510650; 2. 广州粤有研矿物资源科技有限公司, 广东 广州 510650



**摘要:**随着光伏产业的高速发展, 光伏玻璃用量大幅增加, 而用于生产光伏玻璃的优质石英砂资源日渐减少, 迫使石英砂提纯除杂技术的提高以及新设备的研发。ZQS 磁选机是一种先进的石英砂除铁精选设备, 能有效选出石英矿中的弱磁性矿物, 降低产品的含铁量。广东某石英砂选厂原矿  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  品位 0.17%, 经破碎、磨矿和分级后, 再进行弱磁选、平环强磁选和 ZQS 磁选, 可生产出  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  品位 0.0074% 的石英精砂, 产品含铁量达到光伏玻璃用砂的要求。

**关键词:** ZQS 磁选机; 光伏玻璃用石英砂; 石英砂除铁

**中图分类号:** TD985, TD457

**文献标识码:** A

石英砂又称硅砂, 指符合工业要求的天然生成的石英砂及将石英石(硅石)加工粉碎的各种粒级的矿砂, 是一种工业非金属矿物原料, 广泛应用于玻璃工业、陶瓷工业、化学工业和石油工业等行业。在玻璃工业中的应用尤其广泛, 如制造平板玻璃、夹丝玻璃、空心玻璃、泡沫玻璃、光学玻璃、玻璃纤维等, 以及各种包装瓶罐和玻璃器皿, 如酒瓶、化妆品瓶、玻璃杯及装饰工艺品, 还有一些特种玻璃如导电玻璃和防放射线玻璃等, 在我们现代生活和工作中到处使用着玻璃制品<sup>[1]</sup>。

光伏玻璃是光伏组件中最外层的部分, 近年来随着光伏产业的快速发展, 对光伏玻璃的需求迅速增加, 而光伏玻璃的生产必须使用含硅纯度高、杂质含量低的石英原料, 以达到高透光率。为增加玻璃的透光性, 含铁量是一项重要的指标, 通常要求石英砂  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  质量分数低于 0.0080%<sup>[2]</sup>。石英砂的除铁方法主要有重选、磁选、浮选、化学选矿等, 其中磁选法是一种高效且无污染的方法, 广泛应用于生产实际<sup>[3-5]</sup>。ZQS 磁选机是一种先进的石英砂除铁设备, 能有效地分离出石英砂中的弱磁性矿物, 降低产品的含铁量。该设备现已经系列化生产, 并研制出新型多段式磁选机<sup>[6]</sup>。粤北某地区有丰富的石英岩资源,

原矿  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  品位为 0.17%, 经该设备磁选后, 可使石英精砂  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  品位达 0.0074%, 达到了光伏玻璃用石英砂的含铁要求。

## 1 原矿性质及原生产流程

粤北某石英砂厂原设计年生产 15 万 t 光伏玻璃用砂, 建厂后生产的石英砂产品铁品位一直偏高, 达不到光伏玻璃用砂的要求。该矿的原矿多元素分析结果列于表 1, Fe 在原矿中的分配列于表 2。岩矿鉴定结果显示该原矿的主要矿物为石英, 其他矿物主要为少量的高岭土和绢云母, 以及微量的白云石、钾长石、绿泥石、方解石、钠长石等。铁矿物主要为少量的褐铁矿及微量的磁黄铁矿; 锰矿物为微量的锂硬锰矿; 钛矿物为微量的白钛石、金红石、假金红石和钛铁矿。由表 2 可知, 该石英矿中以褐铁矿方式存在的铁占总铁的 64.74%, 其次赋存于绿泥石、绢云母、高岭土等粘土类矿物中, 占总铁 28.37%, 石英本身含铁较低, 仅占 4.91%。由此可见, 该石英矿中大多数铁是以杂质矿物的形式与石英共生, 可通过选矿方法去除杂质矿物。

表 1 原矿化学多元素分析结果

Table 1 Multi-element analysis result of run-of-mine

元素	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	Mn	Cu
含量 w/%	0.17	94.10	5.19	0.14	0.08	0.13	0.04	0.02	0.02	0.09

表 2 Fe 在原矿中的分配

Table 2 Distribution of Fe in run-of-mine

矿物种类	矿物质量分数/%	品位 w(Fe)/%	分配率/%
磁黄铁矿	0.002	59.42	1.37
褐铁矿	0.103	54.45	64.43
锂硬锰矿	0.007	2.43	0.20
金红石	0.002	0.12	<0.01
白钛石	0.009	0.83	0.09
假金红石	0.001	28.79	0.33
钛铁矿	<0.001	38.86	<0.45
石英(含表面铁)	98.865	0.0043	4.88
高岭土	0.417	0.60	2.87
绢云母	0.196	2.04	4.59
绿泥石	0.057	31.74	20.78
其它	0.341	—	—
合计	100.000	0.087	100.00

原生产流程如图 1 所示.破碎后的原矿先预筛,其中筛上矿物进入棒磨机,磨后返回预先筛,筛下物经脱泥斗脱泥后进入筒式永磁磁选机.获得的非磁性矿物经分级后粗粒砂返回棒磨机,细粒级砂进一步脱泥后进入平环强磁选机.通过强磁选获得的非磁性产品经脱细砂和脱水后,最终获得石英砂产品.

采用该生产流程生产的石英砂产品 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 品位达 0.0188% 以上,即使再经过一次平环磁选,石英砂产品 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 品位也达 0.012% 以上,未能达到光伏玻璃用砂的要求.

## 2 小型试验

对原流程生产的产品进行筛分试验,结果列于表 3.由表 3 可知,原生产产品中含 +0.71mm 粗砂质量分数为 0.14%,而石英砂使用厂家的要求是不含 +0.71mm 粗砂; -0.106mm 细粒级的含量偏

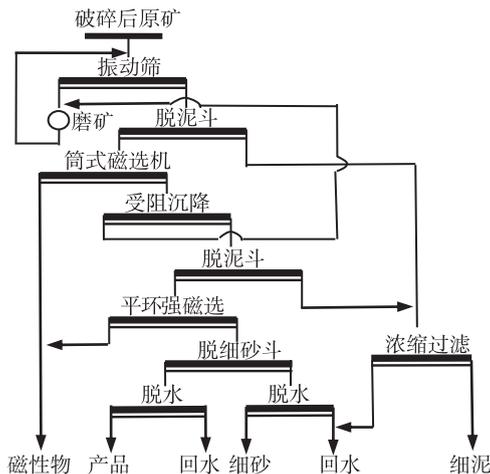


图 1 原生产流程图

Fig. 1 Original production flow sheet

高.对产品 -0.71mm 粒级进行检测,发现含铁高的主要原因是含有弱磁性矿如褐铁矿等,以及石英与含铁矿物的连生体和石英表面的一些粘土类矿.为进一步降低产品铁品位,对原生产产品分别用立环高梯度磁选机和新型 ZQS 磁选机进行磁选除铁试验.

表 3 原生产产品的粒度组成

Table 3 Grain size distribution of original product

粒级/mm	产率 w/%
+0.71	0.14
-0.71+0.60	0.46
-0.60+0.425	8.34
-0.425+0.30	31.49
-0.30+0.21	22.76
-0.21+0.106	27.95
-0.106	8.86
合计	100.00

### 2.1 立环高梯度磁选机试验

立环高梯度磁选机是我国首创的弱磁性矿物选

别设备,在国内外非金属矿山被广泛应用,获得了市场的认可.对原生产的  $Fe_2O_3$  品位 0.0188% 石英砂产品进行立环高梯度磁选小型试验,试验结果如图 2 所示.由图 2 可知,随磁场强度的增加,立环精砂产品  $Fe_2O_3$  品位降低;当磁场强度达 1.2 T 后继续增加,产品  $Fe_2O_3$  品位降低不明显.因此,用立环高梯度磁选机除铁时确定磁场强度为 1.2 T.对原生产的  $Fe_2O_3$  品位不同的产品进行立环磁选试验,试验结果列于表 4.由表 4 可知,立环磁选产品  $Fe_2O_3$  品位最低只能降至 0.0096%,达不到光伏玻璃用砂的要求.

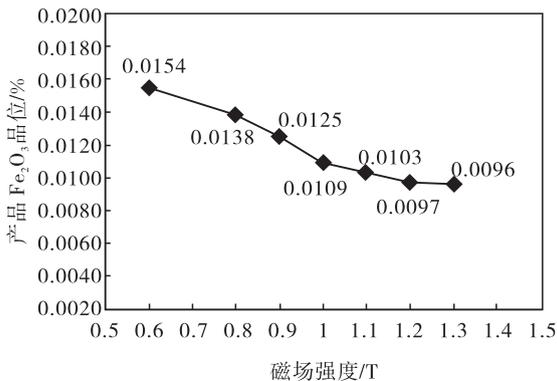


图 2 立环磁选磁场强度对石英砂铁品位影响的试验结果

Fig. 2 Vertical ring magnetic separation result for the effect of magnetic intensity on iron content of product

表 4 不同给矿样的立环磁选试验结果

Table 4 Vertical ring magnetic separation test of different samples

立环给矿 $Fe_2O_3$ 品位/%	立环精砂 $Fe_2O_3$ 品位/%
0.0188	0.0096
0.0231	0.0108
0.0278	0.0112
0.0323	0.0117
0.0377	0.0119

## 2.2 ZQS 磁选机试验

对原生产的  $Fe_2O_3$  品位 0.0188% 石英砂进行 ZQS 磁选小型试验,试验结果见图 3.由图 3 可知,随着磁场强度的增加,ZQS 磁选产品  $Fe_2O_3$  品位降低;当磁场强度达 1.2 T 后继续增加,产品  $Fe_2O_3$  品位降低不明显.因此,确定用 ZQS 磁选机除铁的磁

场强度为 1.2 T.用 ZQS 磁选机对原生产中  $Fe_2O_3$  品位不同的石英砂产品进行试验室小型试验,试验结果列于表 5.由表 5 可知,原生产中  $Fe_2O_3$  品位不同的石英砂产品经一次 ZQS 磁选后,石英精砂产品的  $Fe_2O_3$  品位均降至 0.0080% 以下,比立环高梯度磁选机的除铁效果好,且产品  $Fe_2O_3$  品位达到了光伏玻璃用砂的要求.

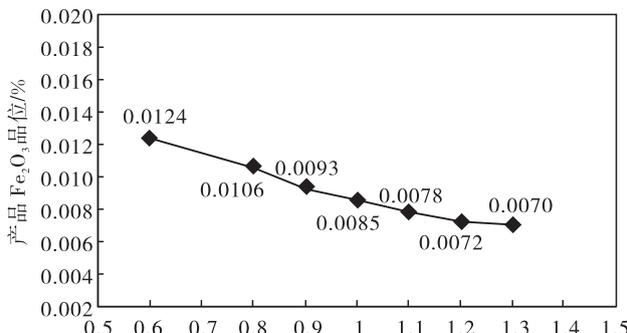


图 3 ZQS 磁选磁场强度对产品铁品位影响的试验结果

Fig. 3 ZQS magnetic separation result for the effect of magnetic intensity on iron content of product

表 5 不同给矿样的 ZQS 磁选试验结果

Table 5 ZQS magnetic separation test of different samples

ZQS 给矿 $Fe_2O_3$ 品位/%	ZQS 精砂 $Fe_2O_3$ 品位/%
0.0188	0.0072
0.0231	0.0076
0.0278	0.0076
0.0323	0.0078
0.0377	0.0079

## 3 新型 ZQS 磁选机简介及新流程的应用

### 3.1 新型 ZQS 磁选机简介

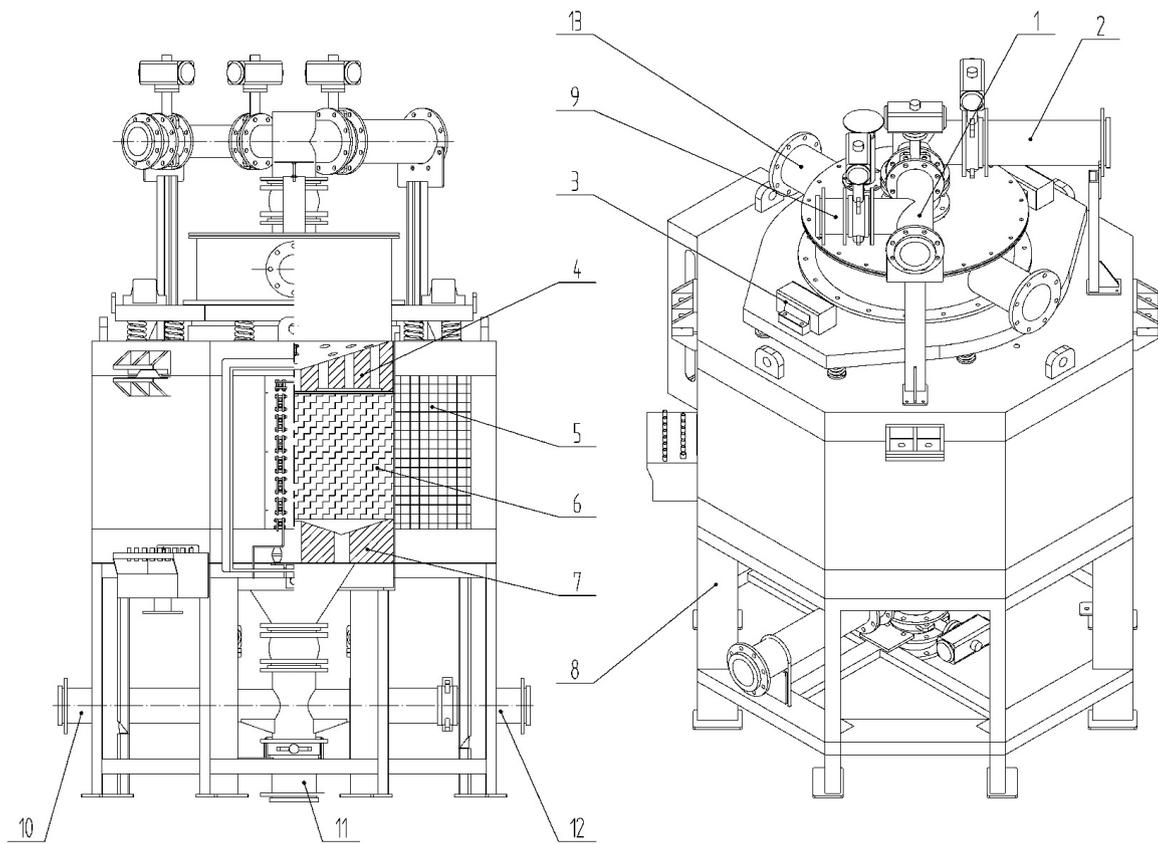
新型 ZQS 磁选机是为顺应市场对非金属产品含铁量的高要求,针对现有磁选设备中的缺陷,由广州粤有研矿物资源科技有限公司研制而成,是一种高效的磁选设备.

ZQS 磁选机结构简图见图 4,主要由给矿管路、冲洗水管路、激磁部件、磁系部件、聚磁介质、产品管路、尾矿管路、自动部件及机架等部件组成.该设备为周期式运转,一个周期主要分为两个阶段:第一阶

段为进矿阶段,通磁后进矿出产品;第二阶段为排尾矿阶段,断磁后排尾矿.当激磁线圈给入直流电时,在分选空间内形成磁场,聚磁介质在磁场中被磁化而形成磁场力.矿浆由上部进浆管道进入分选空间,由于磁场力的作用,磁性矿物颗粒被吸附在聚磁介质表面,磁分选后的精矿从下部精矿管道排出.排铁阶段的目的是清洗吸附在聚磁介质上的铁质物,此时先断开激磁线圈的直流电输入,开启振动装置使介质振动,同时冲洗水开始从上部给水管道给入分选空间冲洗聚磁介质,清洗聚磁介质后的水从下部排铁管道排出.

设备主体中激磁线圈的通磁和断磁、各管道中阀门动作均通过控制柜的 PLC 给入信号控制,实现自动控制,工作可靠,操作维护方便.与其他磁选设备相比,ZQS 磁选机主要有如下特点:(1)控制柜采

用高频开关电源技术,功率利用因数达到 90% 以上,节能环保,受电网干扰低,还具备了缺相、过流、过热、水压、阀门等故障报警及自动停机保护功能,可根据客户要求提供工业以太网接口和标准信号接口与工业自动化系统配合使用.(2)磁场强度高且分布均匀.立环磁选机由于结构受限,随着分选区域角度的变化,磁场分布也是变化的,而 ZQS 磁选机选别区域的磁场是均匀的.(3)卸矿效率高.ZQS 磁选机卸矿时切断激磁电流,同时有振动电机的辅助,且卸矿时间可调,故每个周期能充分把尾矿卸干净,保证选别效率及尾矿不进入下一个周期的精砂中.(4)由于聚磁介质部件是不动的,可以根据矿样的不同选择不同类型或组合的介质,实现介质的多样性,保证良好的选矿指标.



1—进浆管道 2—给水管道 3—振动装置 4—上磁极 5—激磁部件 6—聚磁介质 7—下磁极 8—机架  
9—回流管道 10—回浆管道 11—排铁管道 12—精矿管道 13—溢流管道

图 4 ZQS 型磁选机简图

Fig. 4 Schematic diagram of ZQS magnetic separator

### 3.2 新生产流程及产品指标

采用原流程生产,产品中有微量的粗粒砂,因此,在新流程中增加检查筛,以去除+0.71 mm 粒级砂.同时,产品的细粒级含量偏高,故新流程增加了脱细砂工序,以使石英砂的粒度组成达到客户要求.原流程磁选设备除铁效果不理想,新流程中增加ZQS-1000 磁选机进一步除铁,新流程如图 5 所示.按图 5 所示的流程对 ZQS-1000 磁选机的磁场强度、给矿量、给矿浓度及磁选机每周期给矿时间等参数进行了条件试验.

在给矿处理量 25 t/h、给矿浓度 30%左右、磁场强度 1.2 T、磁选机每周期给矿时间 180 s 的条件下,进行了 3 天 9 个班(72 h)的连续稳定生产试验,试验结果列于表 6.工业连续稳定试验的给矿和石英精砂产品的主要化学成分分析列于表 7,石英精砂的粒度组成列于表 8.

由表 6 可知,每班精砂产品的  $Fe_2O_3$  品位低于 0.0080%,指标稳定,ZQS 机除铁效果显著.精砂产品  $Fe_2O_3$  品位为 0.0074%,达到光伏玻璃用砂对铁含量的要求.由表 7 和表 8 可知,石英精砂的主要成分及粒度组成符合光伏玻璃用砂的要求.

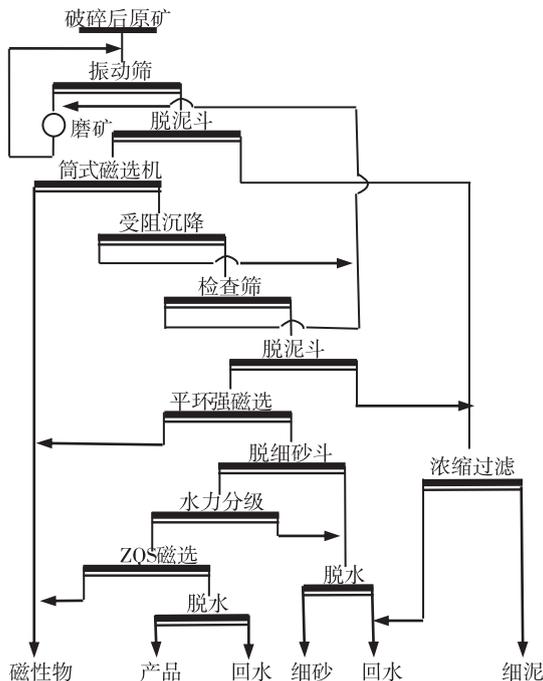


图 5 新生产流程图

Fig. 5 Current production flow sheet

表 6 工业连续稳定试验结果

Table 6 Result of steady commercial test

时间及班次	产量/(t·h <sup>-1</sup> )			精砂产率/%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 品位/%		
	石英精砂	磁性物	给矿		给矿	石英精砂	
第一天	1	25.31	0.98	26.29	96.28	0.0186	0.0076
	2	25.44	1.22	26.66	95.43	0.0193	0.0078
	3	23.25	0.83	24.08	96.56	0.0173	0.0075
第二天	1	24.93	0.93	25.86	96.39	0.0182	0.0070
	2	24.24	0.91	25.15	96.37	0.0185	0.0076
	3	25.41	1.03	26.44	96.12	0.0176	0.0071
第三天	1	23.69	0.87	24.56	96.45	0.0184	0.0072
	2	24.12	1.06	25.18	95.78	0.0193	0.0074
	3	25.07	1.00	26.07	96.18	0.0188	0.0076
平均	24.61	0.98	25.59	96.17	0.0184	0.0074	

表7 工业试验石英精砂的主要化学成分分析

Table 7 Main chemical analysis of silica sand product by commercial test

产品名称	品位/%			
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
石英精砂	99.60	0.0074	0.0066	0.24
给矿	99.53	0.0184	0.0073	0.26

表8 石英精砂产品的粒度组成

Table 8 Grain size distribution of silica sand product

粒级/mm	产率 $\tau$ /%
+0.71	0
-0.71+0.60	0.19
-0.60+0.425	9.52
-0.425+0.30	33.08
-0.30+0.21	24.34
-0.21+0.106	29.46
-0.106	3.41
合计	100.00

## 4 结 论

与原流程相比,现流程增加了检查筛和脱细砂工艺,使石英砂产品的粒度合格;在原平环磁选后增加一段 ZQS 磁选,保证了石英砂产品 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 品位低于 0.0080%。采用新的磁选设备,可使石英砂产品的含铁质量分数控制在 0.0080% 以下,此工艺流程可推广应用于相关石英砂生产厂。

### 参考文献:

- [1] 王玉芬,刘连城. 石英玻璃[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [2] 付宝祥. 太阳能光伏玻璃的发展前景[J]. 节能减排, 2013(8):25-27.
- [3] 郑水冰,袁继祖. 非金属矿加工技术与应用手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.
- [4] 王常任. 磁电选矿[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.
- [5] 谢兵,李亚男. 超白玻璃用石英原料深加工技术进展[J]. 玻璃与搪瓷,2015(2):27-32.
- [6] 王丽娟,张超达. 多段式高效陶瓷玻璃原料除铁机的研制[J]. 现代矿业,2016(6):259-262.

## Application of ZQS magnetic separator in silica sand plant for photovoltaic glass

ZHONG Senlin<sup>1,2</sup>, CHEN Junming<sup>1,2</sup>, ZHANG Chaoda<sup>1,2</sup>, WANG Fengyu<sup>1,2</sup>, WANG Lijuan<sup>1,2</sup>,  
XIE Baohua<sup>1,2</sup>, WU Chengcai<sup>1,2</sup>

1. Guangdong Institute of Resources Comprehensive Utilization, Guangdong Provincial Key Laboratory of Development and Comprehensive Utilization of Mineral Resource, Guangzhou 510650, China; 2. Guangzhou Yueyouyan Mineral Resource Technology Co., Ltd., Guangzhou 510650, China

**Abstract:** In recent years, with the rapid development of the photovoltaic industry, the usage of photovoltaic glass has increased substantially while the high-quality silica sand resources used to produce photovoltaic glass have been decreasing, forcing the development of silica sand purification technology and new equipment. ZQS magnetic separator is an advanced silica sand iron removal equipment, which can effectively separate the weak magnetic minerals from silica sand and reduce the iron content of the products. The content of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in a run-of-mine in Guangdong is 0.17%. After crushing, grinding and classifying, followed by weak magnetic separation, flat ring magnetic separation and ZQS magnetic separation, 0.0074% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content was achieved in the final product which meets the requirement for photovoltaic glass sand.

**Key words:** ZQS magnetic separator; silica sand for photovoltaic glass; silica sand iron removal