 DOI: https://doi.org/10.12345/hgyjxjz.v3i4.25607

The Design and Application of an Automated Grading and Processing Device for Crushed Screen Undersize Material

Rui Han Wen Qian Peidong Shi

Jiayuguan Dayou Enterprise Group Co., Ltd. Silicon Branch, Jiayuguan, Gansu, 735100, China

Abstract

This paper introduces an automated grading and processing device for crushed screen undersize material of industrial silicon. The device achieves efficient grading recovery and purification treatment of the undersize material through a multi-layer vibrating screening system, strong magnetic drum for iron removal, and a dust collection system. The research results show that the device significantly improves the screening efficiency and economic value of the undersize material, reduces the iron impurity content, and improves the working environment. It brings considerable economic and social benefits to the enterprise and has important promotion value in the field of industrial silicon production.

Keywords

Industrial silicon; Screen undersize material; Automated grading and processing; Economic benefits

一种自动化破碎筛下物分级处理装置的设计与应用

韩瑞 钱文 石培栋

嘉峪关大友企业集团有限责任公司硅业分公司，中国 · 甘肃 嘉峪关 735100

摘 要

本文介绍了一种针对工业硅破碎筛下物的自动化分级处理装置。该装置通过多层振动筛分系统、强磁滚筒除铁及吸尘系统等设计，实现了对筛下物的高效分级回收与净化处理。研究结果表明，该装置显著提高了筛下物的筛分效率与经济价值，降低了铁杂质含量，改善了工作环境，为企业带来了可观的经济效益与社会效益。具体而言，装置处理能力达到15~20吨/班，筛分效率高，粒度均匀性好，铁杂质含量控制在0.5%左右。此外，装置的应用减少了粉尘污染，符合环保要求，同时降低了人工成本，提高了生产安全性。该装置的成功应用为工业硅生产领域提供了一种有效的筛下物处理方案，具有重要的推广价值。

关键词

工业硅；筛下物；自动化分级处理；经济效益

1 引言

在工业硅生产过程中，破碎环节是关键步骤之一。然而，由于硅锭硬度大且脆性差，破碎时会产生大量粒度小于标准粒度（10~100mm）的非标产品，即筛下物。这些筛下物不仅价值远低于标准粒度产品，还含有铁料、灰土等杂质，若直接用于锭模铺设或回包，会对产品质量造成较大影响，直接销售则会造成经济损失。因此，如何有效处理筛下物，提高其经济价值，成为工业硅生产企业亟待解决的问题 [1]。本研究旨在设计并应用一种自动化破碎筛下物分级处理装置，以实现筛下物的分级回收与净化处理，提升产品质量与企业经济效益 [2]。

【作者简介】韩瑞（1997–），男，中国甘肃平凉人，本科，助理工程师，从事企业设备运行管理研究。

2 装置设计

2.1 装置构成

该自动化破碎筛下物分级处理装置主要由料仓、振动给料机、输送皮带、强磁滚筒（除铁）、振动筛、除尘系统和控制系统组成，如图 1 所示。装置整体采用高强度钢结构框架，确保筛体的稳定性和耐用性。筛网则选用优质不锈钢材料制成，具备高强度、良好的韧性和耐磨性能，以适应筛分作业的复杂环境。

2.2 设计原理与方法

2.2.1 进料系统

筛下物从破碎现场收集后，通过油铲装入料仓。料仓侧板垂直设计，底板倾角为 50°，物料可自然下落。料仓内铺设一层 40mm × 40mm 钢格栅板，限制 40mm 以上硅块进入振动筛，防止设备堵塞。振动给料机将筛下物均匀地输送到输送皮带上，输送皮带再将物料输送到筛分设备（振动筛）。振动给料机的给料速度可根据振动筛的处理能力进行调节，以确保筛分过程的连续性、稳定性和均匀性。

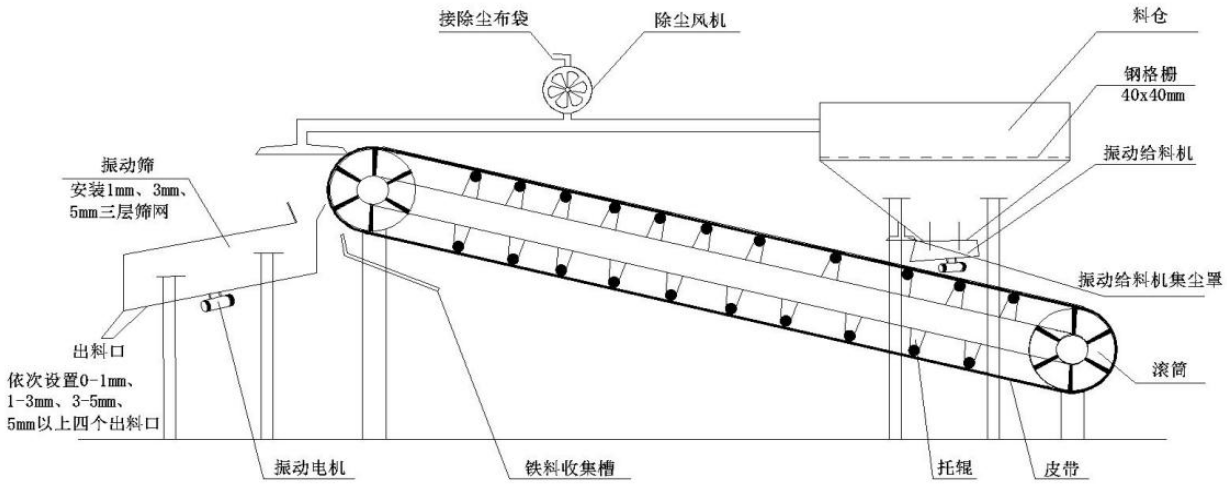

图 1 装置示意图

2.2.2 筛分系统

筛分系统采用多层振动筛，每层筛网的孔径不同，以实现对不同粒度筛下物的分级筛选及包装。振动筛通过振动电机产生的激振力使筛网产生振动，筛下物在筛网上受到振动和重力的作用，按照粒度大小进行分层和筛分。不同粒度的筛下物通过筛网进入下层筛网或直接落入出料口，并通过出料口落入包装袋，实现精确分级包装。

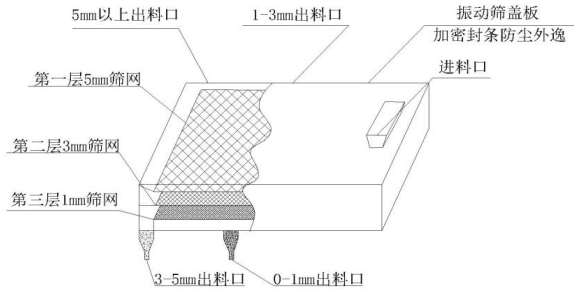

图 2 筛分系统示意图

2.2.3 吸尘系统

在筛分过程中，会产生一定的粉尘。为防止粉尘外溢，改善工作环境，在振动给料机和输送皮带顶部下料点安装集尘罩，并通过吸尘管道和风机将粉尘吸入吸尘布袋中。每个出料口均吊装有防尘布袋，停机后及时清理布袋中的灰尘，确保吸尘系统效果，达到环保要求。

2.2.4 强磁滚筒

输送皮带上的筛下物通过强磁滚筒时，混杂在其中的铁料先是被吸附在皮带上而不落入振动筛，然后当铁料通过强磁滚筒后因失磁自动落入皮带下方的包装袋内，从而实现了对筛下物的净化目标。收集的铁料满袋后，及时转运按氧化铁进行回收利用，有效降低了筛下物中的铁杂质含量，提高了产品质量 [3]。

2.2.5 控制系统

控制系统具备完善的安全保护功能，如过载保护、短路保护、漏电保护等，确保装置的安全运行，为整个筛分净化处理过程提供可靠保障。

3 装置应用

3.1 应用流程

该装置的应用流程为：对工业硅成品破碎后的筛下物进行收集，通过筛下物分级回收装置处理，在进行初步除铁后实现 0~1mm、1~3mm、3~5mm 及 5mm 以上四个不同粒级产品的分级包装。具体流程如下：筛下物从破碎现场收集后，通过油铲装入料仓，经振动给料机均匀给料，通过输送皮带输送至振动筛，在输送过程中经过强磁滚筒除铁，然后在振动筛上进行筛分，不同粒度的筛下物通过筛网进入下层筛网或直接落入出料口，最终实现分级包装，应用流程如图 3 所示。

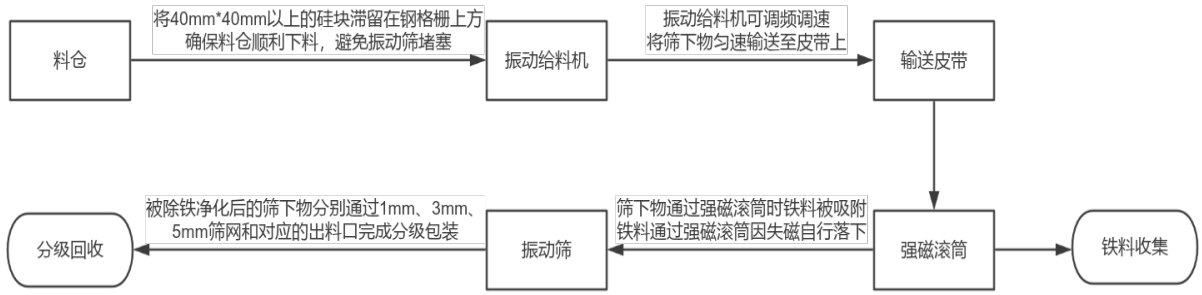

图 3 装置应用流程图

3.2 分级回收利用方式

①经筛分净化处理的 0~1mm、1~3mm 硅粉及硅粒，通过强磁滚筒除铁后，将其用于工业硅浇注锭模铺底工艺，对产品质量的影响得以有效管控。

②经筛分净化处理的 3~5mm 硅粒，可以用于炉外精炼回包工艺，回包后的硅粒铁杂质已经选除，不再对产品质量造成影响，同时将其在高温硅水中进行熔化回收，转换成合格的工业硅产品，利于增加产量，降低产品消耗成本。根据市场需求，还可以将 3~5mm 硅粒直接进行销售，确保获取更大的产品收益。

③经筛分净化处理的 5mm 以上硅粒，直接销售获取最大的产品收益。

4 实施效果

4.1 筛分处理效果

①筛分装置处理能力达到 15~20 吨 / 班，相比传统人工筛分，效率大幅提升。②采用多层振动筛设计，实现对不同粒级产品的精确分级包装，筛分效率高，粒度均匀性好，产品质量得到显著提高。③设计的吸尘系统可在筛下物筛分时有效地起到除尘作用，极大地改善现场工作环境，粉尘浓度降低到国家环保标准以下，实现达标排放。④该筛分净化处理装置，采用油铲上料、振动给料机喂料、皮带机运输、强磁滚筒除铁、振动筛自动筛分及包装、车辆转运，作业过程机械化水平高，劳动强度低，本质安全水平高，有效降低了人工成本，提高了生产安全性。

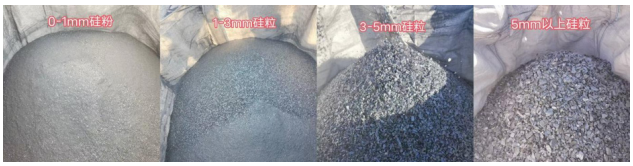

图 4 筛下物分级处理效果图

表 1 成果实施前后对比

项目	实施前	实施后
筛分人数（人）	2	1
筛分数量（吨）	5	15-20
工作环境	粉尘较大	工作环境良好
劳动强度	人工筛分，劳动强度大	机械化水平高，劳动强度低
本质安全水平	存在职业伤害风险，本质安全水平低	本质安全水平高

4.2 除铁净化效果

通过对分级回收的不同粒径的筛下物进行成分分析，结果显示：分级回收后的不同粒径的筛下物因经过强磁滚筒除铁，铁元素含量大幅下降，均控制在 0.5% 左右。垫模及回包使用时相较分类净化回收前，对产品质量影响弱。3~5mm 产品因铁元素含量下降，掺配销售提高了产品的经济价值。具体成分分析数据如下表所示：

表 2 筛下物分级回收成分分析表

等级	元素含量				质量比
	Fe（%）		Al（%）	Ca（%）	
	除 Fe 前	除 Fe 后			
0~1mm		0.512	0.265	0.187	10%
1~3mm	0.685	0.485	0.203	0.124	24.87%
3~5mm		0.482	0.175	0.093	39.88%
5mm 以上	0.567	0.481	0.167	0.088	25.25%
筛下物	0.653	/	0.189	0.126	100%

5 经济效益与社会效益

5.1 经济效益

以某公司 2 台 33000KVA 工业硅矿热炉为例，平均产量 3000 吨 / 月，人工破碎筛下物产生量按 7% 计算，则筛下物产生量为 210 吨 / 月。若 5mm 以上硅粒占筛下物总量的 25%；3~5mm 硅粒占筛下物总量的 40%；3mm 以下硅粒及硅粉占筛下物总量的 35%。则：

①用于掺配销售的 5mm 以上硅粒，产品售价较筛下物直接销售高 1000 元 / 吨，可增加产品收益：

210 吨 / 月 ×25%×12 月 ×1000 元 / 吨 =63.00 万元 / 年

②产生的 3~5mm 硅粒全部用于精炼回包，重新转换成工业硅产品，售价按 11500 元 / 吨计，高于筛下物直接销售 1000 元 / 吨，可增加产品收益：

210 吨 / 月 ×40%×12 个月 ×1000 元 /t=100.80 万元 / 年

③成果实施后，可产生经济效益：

63.00 万元 +100.80 万元 =163.80 万元 / 年

5.2 社会效益

工业硅破碎筛下物分级回收利用，对于提高产品质量、资源利用率、生产流程优化、降本增效和增强市场竞争力都具有重要的意义 [1]。该装置的应用不仅提高了筛下物的经济价值，减少了资源浪费，还改善了工作环境，降低了粉尘污染，符合国家环保要求。

6 结论

本研究设计并应用了一种自动化破碎筛下物分级处理装置，通过多层振动筛分系统、强磁滚筒除铁及吸尘系统等设计，实现了对筛下物的高效分级回收与净化处理。研究结果表明，该装置显著提高了筛下物的筛分效率与经济价值，降低了铁杂质含量，改善了工作环境，为企业带来了可观的经济效益与社会效益。该装置的成功应用为工业硅生产领域提供了一种有效的筛下物处理方案，具有重要的推广价值，可为相关企业解决类似问题提供参考与借鉴，推动工业硅行业的可持续发展。

参考文献

[1] 郑小宁, 陈蓉, 吕钧, 王忠顺, 孔繁增, 徐朝省, 饶国强. 我国工业硅行业的难题及发展方向研判[J]. 云南冶金, 2024, 53(2): 75-81.

[2] 万兴玉,刘均立,张瑞坤.石灰石破碎线的破碎筛分改造[J].水泥, 2023(8): 75-76.

[3] 李忠阳,陈宁杰,白立舟,范国建,吴建光.工业硅制样过程中除铁流程优化的实验研究[J].铁合金,2022(4): 42-44.