

柔性空气室跳汰机的性能及应用研究

王焯敏¹, 匡亚莉²

(1. 山西工程技术学院, 山西 阳泉 045000; 2. 中国矿业大学化工学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 实验室柔性空气室跳汰机的床层运动规律符合传统跳汰机床层的运动规律, 说明柔性空气室跳汰机能够代替传统空气室跳汰机, 且产生的脉动水流更平稳, 进气的冲力更大。工业型柔性空气室跳汰机在赵固二矿选煤厂应用的实验结果表明: 应用柔性空气室的大型跳汰机很好地解决了脉动水流不均匀的问题, 各项工艺指标均优于原有跳汰机, 可为选煤厂带来显著的经济效益。由此可知, 柔性空气室在大型跳汰机应用效果良好、稳定可靠, 为跳汰机大型化的研究提供一定的数据支持。

关键词: 柔性空气室; 跳汰; 不完善度; 分配曲线; 错配物含量; 矸石带煤率

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.02.018

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 02-0097-06

与世界上主要产煤国一样, 我国对 +0.50 mm 粒级煤炭的分选主要采用重介质分选和跳汰两种选煤方法^[1]。跳汰选煤具有工艺流程简单、技术成熟、入料粒级宽、单机处理能力大和整体投资少等优点^[2]。近年来, 随着动力煤分选比例的提升, 跳汰机处理能力不断提升, 跳汰选煤作为一种成熟有效的选煤方法在我国煤炭分选中仍将占有很大比重^[3], 尤其是在动力煤分选和排矸作业中, 跳汰选有其独特的优势^[4-5]。

选煤设备大型化和高效化是今后选煤发展的主要方向之一^[6-7]。大型动力煤跳汰机并不是只对现有的小型跳汰机进行简单放大。跳汰技术上的研究成果表明, 脉动水流均匀分布是实现物料有效分选的保证^[8]。近年来, 大型跳汰机在选煤厂应用实践发现, 空气与水直接接触和局部空气分布不均匀导致床层不平稳现象, 严重影响分选精度。研究大型跳汰机首要问题是随着跳汰分选面积增大而出现的空气分布不均匀现象, 如果不能

有效解决将难以进一步发展^[9]。

本实验首先在实验室型柔性空气室模型跳汰机进行工作性能测定, 然后在选煤厂进行工业应用, 最后进行跳汰机工业实验的现场测试, 比较柔性空气室大型跳汰机与原大型跳汰机分选性能差异。

1 柔性空气室跳汰机实验系统

为了解决以上问题, 设计多个气囊固定在跳汰机筛下, 以替代跳汰室/脉动室之间U型结构, 在气囊充气时, 气囊膨胀, 将筛下水挤到筛上, 筛上水位上升, 气囊排气时被挤瘪, 筛上水位回落, 形成脉动水流。在整个跳汰过程中空气不直接与水接触, 因此脉动水流均匀分布到整个筛平面上。实验室型跳汰机为中国矿业大学化工学院模型跳汰机实验装置, 主体结构由有机玻璃制成, 其中上机体尺寸为(1100×625×800) mm, 下机体尺寸(1100×625×1400) mm, 溢流

收稿日期: 2019-12-10; 改回日期: 2020-02-29

作者简介: 王焯敏(1989-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事煤炭洁净化分选研究, E-mail: wyemin@163.com

堰高度 372 mm，中间位置筛板由带有 (10×30) mm 冲孔的钢板制成，下机体中安装 2 个气囊。气囊材料选取胶带粘合材料、高分子复合材料、橡胶复合材料 1、橡胶复合材料 2 作为气囊疲劳实验材料。

实验系统主要有跳汰机模型、进风系统、检测和控制系統、进出水系統几部分构成^[10]。

2 柔性空气室跳汰机性能实验

新型柔性空气室 - 气囊的材料选择进行了实验室疲劳实验、工艺性能实验和现场工业化实验。材料选择主要是从力学性能、刚度（安装后能保持形状）、变形比、抗疲劳性能、使用寿命等方面考虑。

最后筛选出胶带粘合材料、高分子复合材料、橡胶复合材料 1、橡胶复合材料 2 等（从橡胶制品厂购买），进行工艺实验，观察产生水流的强度和稳定性。最后在工业现场安装实验。具体实验对比情况见图 1。

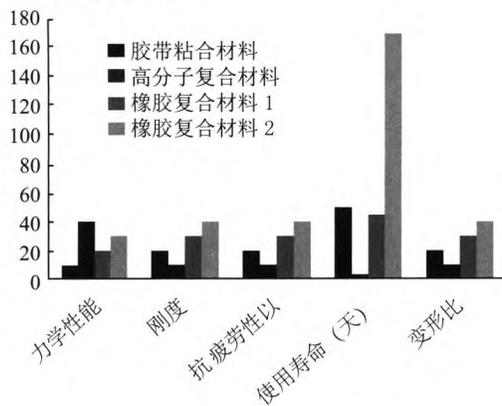


图 1 实验数据对比

Fig.1 Comparison of test results

图中不能用数字表示的参数，给出的是模糊评判等级，数字越大，表示等级越高，效果越好。

实验用模型跳汰机系统中，数控电磁风阀可实时设定和调节跳汰周期、进气期、膨胀期、排气期等实验参数。床层跳动高度即脉动水流水位的高点、低点采用位于机体上方的超声波液位探测器进行检测。床层松散度为跳汰床层中水的体积占床层总体积的百分数，在已知分选颗粒的质量和性质的情况下，通过公式： $\theta = (HS - V) / HS$ 进

行计算，其中 θ 为松散度， H 为液面高度， S 为筛板面积， V 为颗粒总体积。

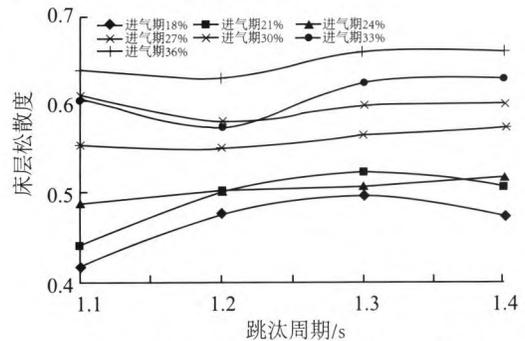


图 2 跳汰周期对床层松散度的影响

Fig.2 Influence of jig cycle on bed looseness

由图 2 跳汰周期对床层松散度的影响可以看出，跳汰周期为 1.3s 处，床层松散度较好。说明周期对松散度的影响明显存在。

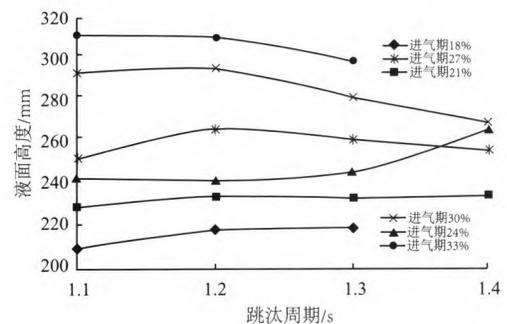


图 3 跳汰周期对液面跳动的影响

Fig.3 Influence of jig cycle on liquid level beating

由图 3 跳汰周期对液面跳动的影响可以看出，周期增长，液面跳动变化并不明显，说明在风压不变、进气期不变的情况下，液面受周期的影响不大，应该脉动比较稳定。

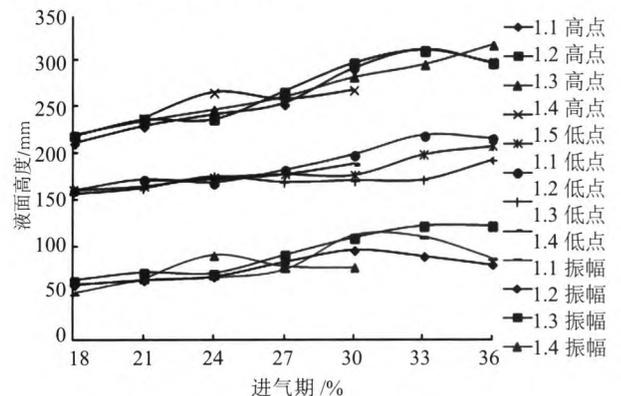


图 4 进气期对水流脉动的影响

Fig.4 Influence of intake period on flow fluctuation

由图 4 进气期对水流脉动的影响可以看出，在一个周期内，进气期延长，液面跳动高度增大，说明进气期对床层松散度影响比较大，也说明气囊托起床层的力度比较充足，进气冲力大。

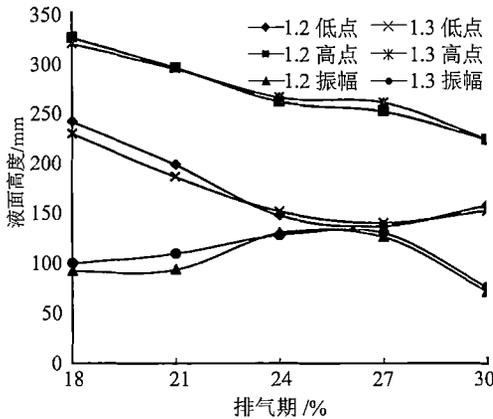


图 5 排气期对水流脉动的影响
Fig.5 Influence of exhaust period on flow fluctuation

由图 5 排气期对水流脉动的影响可以看出，排气期延长，液面会降低比较多，这说明了排气期长，气囊中的空气可以排除比较干净，也说明排气期不要过长，可以保持床层有一定松散。

实验室型跳汰机研究结果表明，柔性空气室跳汰机的运动规律符合传统跳汰机床层的运动规律，柔性空气室完全能够代替传统的跳汰室 / 脉动室之间 U 型结构，产生的脉动更平稳，进气的冲力更大。

3 工业应用实验及结果

赵固二矿选煤厂位于河南省新乡市，是一座设计生产能力为 350 万 t/a 的现代化大型跳汰分选工艺洗煤厂，入洗赵固二矿优质无烟煤。选煤工艺为：跳汰混合入洗 + 粗煤泥 TBS 分选 + 煤泥浮选工艺 + 尾煤泥干燥。实际生产中，大型跳汰机出现的问题主要是矸石带煤含量较高，入洗量没有达到预期要求，主要原因是跳汰面积大，水流与空气直接接触，导致局部空气分布不均匀，甚至产生的脉动水流紊乱和床层不平稳。现场跳汰机床层两侧的煤质存在很大差距，一侧的块煤 ($\geq 13 \text{ mm}$) 含量高达 80% 以上，而另一侧块煤含量则低于 30%，入洗煤质不稳定时含量差距更

大，其原因是空气分布不均匀，造成了床层分布不均匀，这将会破坏物料按密度分层。

根据国家相关实验标准结合实际情况，对赵固二矿选煤厂改造前后大型跳汰机的分选效果进行评定，使用不完善度、数量效率和总错配物含量等评价指标对原跳汰机和柔性空气室跳汰机进行对比。

3.1 原煤可选性曲线

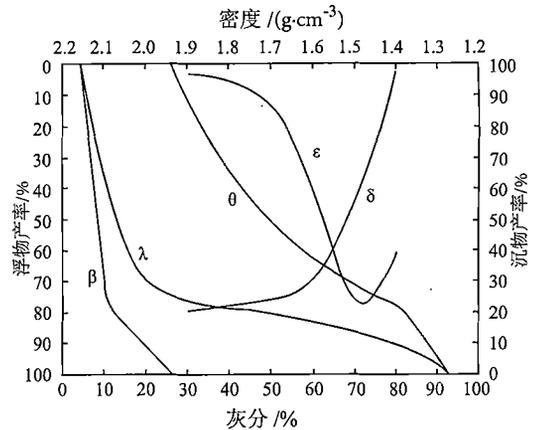


图 6 入选原煤的可选性曲线
Fig.6 Washability Curve of raw coal

由图 6 可以看出，原煤 -1.50 g/cm 粒级产率为 48.27%，灰分为 8.34%，而 -1.60 g/cm 粒级产率高达 73.17%，灰分为 10.27%。根据图 6 原煤可选性曲线可知当精煤灰分为 11.00% 时，理论分选密度为 1.72 g/cm ， $\delta \pm 0.1$ 含量为 8.00%，此时精煤理论产率为 77.00%，由此判断该煤种为易选，接近中等可选。

3.2 跳汰机对比实验结果

工业型柔性空气室跳汰机是由原 YT-27 跳汰机基础上进行改造，YT-27 跳汰机单台处理量为 350 ~ 400 t/h，改造中拆除原有三角形空气室，改造后的柔性气室跳汰机气囊安装在 5 根 (200 × 400) mm 的方钢管上面，每根方钢管上有 16 个气囊座，均匀分布于方钢管两侧。气囊材质为橡胶，长度为 1.10 m，底部采用夹板和密封胶进行密封，上部采用铁箍和密封胶进行密封；在气囊和方钢管连接处加装橡胶垫同时涂抹密封胶，保证密封完全。跳汰

机分为五个气室，每个气室加装一根方钢管用于供气 and 支撑气囊，每室安装 16 个气囊，跳汰机整体安装 80 个气囊。方钢水平安置于跳汰机内部，一端与机体进气口连接，另一端与机体连接，连接位置处密封。柔性空气室运行过程中，出现气囊破损现象，为延长使用寿命，寻找了新材质气囊。新式气囊仍为橡胶材质，但其刚性得到较大的提高，新气囊采用三层帆布橡胶（上层胶 3 mm，下层胶 1.5 mm），投用以后，使用正常。

工业型柔性空气室跳汰机和选矿厂原跳汰机在选煤厂进行对比实验。改造前后见表 1。

表 1 改造前后跳汰机分选指标

Table 1 Separating indexes of jig before and after transformation

	精煤		中煤		矸石	
	产率 /%	灰分 /%	产率 /%	灰分 /%	产率 /%	灰分 /%
改造前	73.12	10.96	9.70	53.48	17.18	80.82
改造后	74.02	11.01	8.35	50.21	17.63	82.42

注：原煤灰分 26.74%。改造前后精煤和中煤合计产率分别为 82.82 和 82.37%，其合计灰分分别为 15.94 和 14.97%。

表 3 改造前后跳汰机错配物含量

Table 3 Mismatch content of jig before and after transformation

名称	矸石段					中煤段				
	等误密度 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	总错配物含量 %	分选密度 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	轻产物中错配物含量 %	重产物中错配物含量 %	等误密度 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	总错配物含量 %	分选密度 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	轻产物中错配物含量 %	重产物中错配物含量 %
改造前	2.04	12.58	2.10	2.50	10.08	1.61	5.00	1.69	0.50	4.50
改造后	2.03	10.20	2.09	1.70	8.50	1.65	3.00	1.73	0.50	2.50

由表 3 可知，跳汰机改造后，矸石段错配物含量由 12.58% 降至 10.21%，而中煤段错配物含量由 10.08% 降至 8.50%，柔性空气室跳汰机分选精度较之前有所提升。

柔性空气室跳汰机一个月的应用块矸石带煤率和末矸石带煤率统计结果分别见图 7、8。

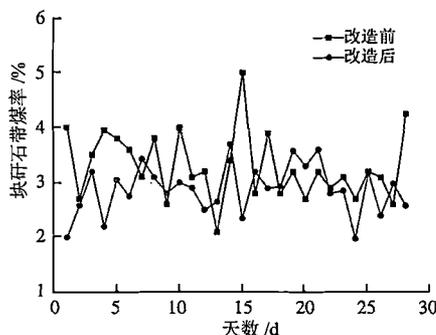


图 7 改造前后块矸石带煤率

Fig.7 Loss rate of coal in block gangue before and after transformation

改造后尽管矸石的产率相近，但是精煤和中煤合计灰分分别 15.94% 和 14.97%，约下降 1%。

由跳汰机分选得到选矿产品的分配曲线计算出的第一段和第二段的不完善度见表 2。

表 2 改造前后跳汰机工艺参数

Table 2 Process parameters of jig before and after transformation

	不完善度		综合矸石带煤率 /%		数量效率 /%
	第一段	第二段	块矸带煤	末矸带煤	
改造前	0.156	0.205	3.30	15.10	94.96
改造后	0.145	0.125	2.87	12.58	97.17

由表 2 可知，跳汰机改造后，块矸带煤率由 3.30% 降至 2.87%，末矸带煤率由 15.10% 降至 12.58%。这表明柔性空气室跳汰机对煤的回收率得到提高。

由改造前后的错配物曲线可得出第一段和第二段错配物含量见表 3。

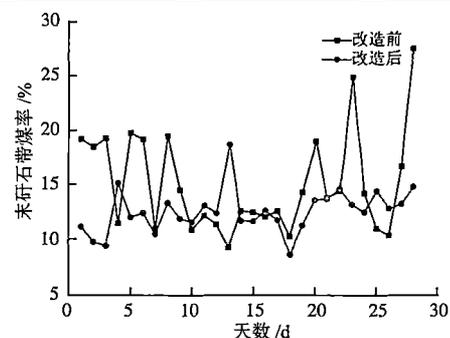


图 8 改造前后末矸石带煤率

Fig.8 Loss rate of coal in powder gangue before and after transformation

由图 7 可知，改造后块矸石带煤率平均为 2.87%，改造前块矸石带煤率平均为 3.30%，比改造前降低了 0.43%。由图 8 可知，改造后末矸石带煤率平均为 12.58%，改造前末矸石带煤率平均为 15.10%，比改造前降低了 2.52%。由于改造后跳汰机运行过程中出现过气囊破损现象，可能导致矸

石带煤率的升高，导致出现曲线中带煤率突然升高的情况。后续过程中已将重新制作的新式气囊安装于柔性气室跳汰机。

4 经济效益分析

赵固二矿选煤厂改造前，跳汰机单台处理量为350-400 t/h；跳汰机气室改造为柔性气室后，其单位处理量为400-450 t/h。在保证煤质的前提下，单台小时处理量约提升了50 t/h。2台跳汰机处理量共提高100 t/h，可以节省成本共计954.05万元/a。

目前，赵固二矿选煤厂块精煤的平均售价为1100元/t，精煤平均价为800元/t，矸石的平均售价为5元/t。该厂年处理原煤量约为350万t/a，改造后块矸带煤率下降0.43个百分点，末矸带煤率下降2.52个百分点，考虑到这是改造一台的结果，两台改造后多产的精煤所创造的经济效益共计914.86万元/a。

改造及维护投资约为77.13万元/a。

综合经济效益 = 节约成本 + 带煤率下降的效益 - 改造及维护费用 = 1791.78万元/a。

5 结论

(1) 实验型柔性空气室跳汰机床层运动规律复合传统跳汰机床层的运动趋势，说明柔性空气室跳汰机能够代替传统空气室跳汰机；

(2) 与改造前比较，柔性空气室跳汰机的脉动水流更均匀，去除了脉动死角，整个床层得到了充分分散，保证了分选产品质量，各项参数指标均优于原YT-27跳汰机，同时跳汰机的处理量约提升50 t/h，提高了设备的使用效率；

(3) 降低跳汰机维护工作难度。改造前的跳汰机为复合式跳汰机，机体内部结构较为复杂，维护难度较大；改造后，简化了机体结构，若出现脉动死角，只需根据死角位置，对其位置处的气囊进行维护或者更换便可解决问题；

(4) 通过采用柔性空气室新技术，可为该厂创造1791.78万元/a的可观经济效益，为大型跳汰机改造提供新思路。

参考文献：

- [1] 李朝东. 我国跳汰选煤自动控制技术的新进展 [J]. 中国煤炭, 2009(11): 102-103+110.
- LI C D. New progress of automatic control technology of coal preparation by jigging in China [J]. China Coal, 2009(11): 102-103+110.
- [2] 朱得华. 跳汰工艺在转龙湾选煤厂的应用 [J]. 选煤技术, 2018, 271(6): 152-155.
- ZHU D H. Application of jigging technology in Zhuanlongwan coal preparation plant [J]. Coal Preparation Technology, 2018, 271(6): 152-155.
- [3] 杨康. 跳汰选煤评述 [J]. 选煤技术, 2006(5):4 +24-30.
- YANG K. Review on jigging coal separation [J]. Coal Preparation Technology, 2006(5):4 +24-30.
- [4] 杨林青, 胡方坤. 我国选煤技术的现状及发展 [J]. 煤炭技术, 2010, 29(5): 109-111.
- YANG L Q, HU F K. Current situation and development of coal preparation technology in China [J]. Coal Technology, 2010, 29 (5) : 109-111.
- [5] 匡亚莉. 跳汰分选理论及专家知识库研究 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006: 3-15.
- KUANG Y L. Research on jigging sorting theory and expert knowledge base [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2006:3-15.
- [6] 郭牛喜, 陶能进, 王宏, 等. 我国煤矿选煤设计综述 [J]. 煤炭工程, 2018, 50(6): 15-19.
- GUO N X, TAO N J, WANG H, et al. Overview of coal preparation design in coal mines in China [J]. Coal Engineering, 2018, 50(6): 15-19.
- [7] 柴进, 熊俊文. 选煤厂设计中的几个关键问题 [J]. 选煤技术, 2013(5): 85-88.
- CHAI J, XIONG J W. Several key issues in the design of coal preparation plant [J]. Coal Preparation Technology, 2013(5): 85-88.
- [8] 谢广元. 选矿学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001: 192-233.
- XIE G Y. Mineral processing [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2001:192-233.
- [9] Feil NF, Sampaio CH, Wotruba H. Influence of jig frequency on the separation of coal from the Bonito seam-Santa Catarina, Brazil [J]. Fuel Processing Technology, 2012(96): 22-26.
- [10] 陈英华, 匡亚莉, 孙璐璐, 等. 柔性空气室跳汰机系统振动分析与控制 [J]. 矿山机械, 2013(7): 92-95.
- CHEN Y H, KUANG Y L, SUN L L, et al. Vibration analysis and control of flexible air chamber jigger system [J]. Mining Machinery, 2013(7): 92-95.

(下转 57 页)

[23] 雷霆, 张玉林, 王少龙. 锗的提取方法 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.

LEI T, ZHANG Y L, WANG S L. Extraction Method of Germanium [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2007.

[24] 冯林永, 雷霆, 杨显万, 等. 含锗褐煤的利用现状 [J].

中国有色冶金, 2006(4):50-53.

FENG L Y, LEI T, YANG X W, et al. Current situation of utilization of lignite containing germanium [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2006(4):50-53.

Research Process in Resource Utilization of Associated Low-grade Germanium in Lignite

Li Guojuan¹, Cao Hongyang²

(1.Science and Technology Library of Guangdong(Guangdong Institute of Science and Technology Information an Development Strategy, Guangzhou,Guangdong, China; 2.Guangdong Research Institute of Rare Metals, Guangdong Province Key Laboratory of Rare Earth Development and Application, State Key Laboratory of Separation and Comprehensive Utilization of Rare Metals, Guangdong Engineering Technology Research Center of Non-ferrous Metal Waste Resource Utilization and Harmless Disposal, Guangzhou, Guangdong, China)

Abstract: With the rapid development of strategic emerging industries, the demand of the dispersed metal germanium is increasing. As an important source of germanium, the efficient utilization of germanium-bearing lignite has been paid more and more attention. The reserves, distribution and utilization status of germanium resources in lignite were mainly introduced, and the development of the resource utilization technology of the associated low grade germanium in lignite were introduced. The problems existing in the process of germanium resource extraction were analyzed, and the suggestions for efficient utilization of the associated low-grade germanium resources in lignite were put forward.

Keywords: Lignite; Germanium; Low grade; Resource utilization

////////////////////////////////////
(上接 101 页)

Research on Performance and Application of Flexible Air Chamber jig

Wang Yemin¹, Kuang Yali²

(1. Shanxi Institute of Technology, Yangquan, Shanxi, China; 2.School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu, China)

Abstract: The regular of bed movement of the flexible air chamber jig in the laboratory corresponds with that of the traditional jig. The pulsating water flow produced by the flexible air chamber is more stable. The impulse force of air intake is greater. The flexible air chamber jig could replace the traditional air chamber jig. The application results of the industrial flexible air chamber jig in Zhaogu No.2 coal preparation plant illustrated that the large-scale jig with the flexible air chamber could solve the problem of uneven pulsating water flows. The indexes were superior to the original jig. That brings remarkable economic benefits for the coal preparation plant. Therefore, the application of flexible air chambers in large jigs is good and stable, which provides data support for the research of large-scale jigs.

Keywords: Flexible air chamber; Jigging; Imperfection; Distribution curve; Mismatch content; Loss rate of coal in gangue