

文章编号: 1001-3571 (2009) 06-0001-05

模块式气固流化床干法选煤技术的研究

赵跃民¹, 李功民², 骆振福¹, 梁春成¹, 唐利刚¹, 陈增强¹, 邢洪波¹

(1. 中国矿业大学 化工学院, 江苏 徐州 221116 2. 唐山市神州机械有限公司, 河北 唐山 063001)

摘要: 基于选煤技术集约化、高效化、经济化的思想, 建立了处理能力为 40~60 t/h 的模块式气固流化床干法选煤系统, 与 KZA2050 型空气重介质干法分选系统相比, 可大幅度降低基建及运行成本, 减小了占地面积及三维空间。该模块式气固流化床干法选煤系统采用 B-A 型磁铁矿粉和 B-A 型煤粉的混合物作为宽粒级加重质, 提出了将循环加重质及引风除尘系统的出料直接返回分选机的新型床层调控方法, 优化了工艺流程, 增强了床层密度和高度的均匀与稳定, 提高了流化质量。在此基础上, 还详细考查了该干法选煤系统的分选性能, 试验结果表明, 该系统能有效分选 50~6 mm 的煤炭, 当分选密度为 1.33、1.61 g/cm³ 时, 所得可能偏差分别为 0.05、0.06 g/cm³。

关键词: 模块式气固流化床干法选煤系统; 分选机理; 工艺流程; 分选性能; 优点

中图分类号: TD942

文献标识码: A

目前, 选煤领域普遍采用基于水的湿法分选^[1-3], 但是, 湿法分选技术对于干旱缺水地区、高寒地区的煤炭及易泥化煤炭进行有效分选较为困难。在干法选煤方法中, 风力摇床^[3]、风力跳汰^[4]以单相空气作为分选介质, 主要用于易选煤的高密度排矸, 不能进行低密度分选, 且分选效率较低; 气固流化床干法分选技术将气固流态化技术引入选煤领域, 前苏联、美国、加拿大、日本等国都曾开展相关研究^[5-8]; 中国矿业大学提出了以空气重介质流化床为分选介质的干法选煤技术, 并开发了 KZA2050 型空气重介质干法分选系统 (以下简称 KZA2050 干法分选系统), 在世界上首次进行了 50~6 mm 煤炭的空气重介质流化床干法选煤工业性试验^[9-18], 但是, 该技术存在一定的问题: 在工艺方面, 分选机的流化床层高度和密度不易准确调控, 较难维持床高和密度的均匀与稳定, 影响了系统的正常运行和分选效果; 在设备系统布置方面, 采用传统的高楼层建筑方式, 煤流被提升至最高点向下运动, 依次通过各工艺环节, 成为最终产品, 该种设备布置方式导致系统基建投资大, 占地面积及空间大, 运行成本高。为解决以上问题,

中国矿业大学与唐山市神州机械有限公司合作开发了 40~60 t/h KZX40 型气固流化床分选机, 提出了一种模块式气固流化床干法选煤技术。

1 气固流化床分选机理

模块式气固流化床干法选煤技术是一种重介质分选方法, 利用气固流化床作为分选介质, 图 1 所示为气固流化床的似流体特性:

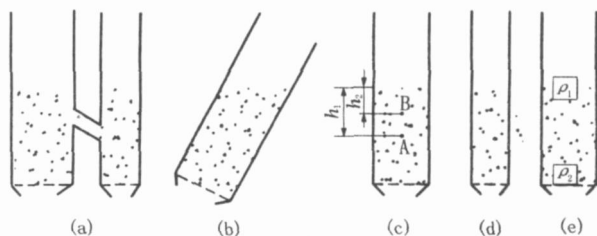


图 1 气固流化床的似流体特性

(1) 上行气流使加重质流化至同一高度 (图 1 (a))^[5]。

(2) 当容器倾斜时, 床层表面仍然保持水平 (图 1 (b))。

(3) 床层中任意两点的压力差近似等于两点间的静压头 (图 1 (c)), 所以,

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \rho(g(h_1 - h_2)) \quad (1)$$

式中: ΔP 为压降, P_1 为 A 点的压力, P_2 为 B 点的压力, ρ 为床层密度, kg/m³; g 为重力加速度, m/s²; h_1 为 A 点距床层表面的高度, m; h_2 为 B 点距床层表面的高度, m。当加重质完全流化时, 依据力学平衡, 式 (1) 可表示为:

收稿日期: 2009-09-08

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2007AA05Z318); 国家自然科学基金项目 (50921002 90510002 50774084); 教育部科学技术研究重大项目 (306008)

作者简介: 赵跃民 (1961-), 男, 河南省漯河市人, 教授, 博士生导师, 工学博士, 一直从事矿物加工工程方面的研究, E-mail: ymzhao@cumt.edu.cn 联系电话: (0516) 83590092

$\Delta P = (h_1 - h_2)(1 - \epsilon)(\rho_p - \rho_g)g$, (2)

式中: ϵ 为床层空隙率; ρ_p 为加重质密度, kg/m^3 ; ρ_g 为气体密度, kg/m^3 。联立式 (1) 和式 (2), 流化床密度 ρ 可表示为:

$$\rho = (1 - \epsilon)(\rho_p - \rho_g)$$
 (3)

由于 ρ_g 很小, 且远小于 ρ_p , 因此, 式 (3) 可表达为:

$$\rho = (1 - \epsilon)\rho_p$$
 (4)

(4) 如果容器边壁上有孔, 则加重质像液体一样流出 (图 1 (d))。

(5) 比流化床密度大的煤粒下沉至容器底部, 而比流化床密度小的煤粒上浮至床层表面, 这个过程遵循阿基米德定律, 即 $\rho_1 < \rho < \rho_2$, 这里 ρ_1 为浮物

密度, ρ_2 为沉物密度 (图 1 (c))。

2 结果与讨论

2.1 模块式干法选煤系统的设计参数

以模块化方式建立了处理能力为 40~60 t/h 的 KZX40 型气固流化床干法选煤系统。从表 1 所示的设计参数可以看出: 与 KZA2050 干法分选系统相比, 该系统大幅度降低了基建和运行费用, 减小了系统占地面积及空间, 其中基建投资和所需工作人员数量分别降低了 60%、80%, 系统所占面积及空间分别减小了 75%、89.81%。这非常符合中国选煤技术集约化、高效化、经济化的思想。

表 1 两种干法选煤系统的设计参数对比

干法选煤系统	E 值 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	入料粒度 / mm	宽 \times 长 \times 高 / m \times m \times m	基建投资 / 千万	工人数量
KZA2050 型	0.05~0.07	50~6	20 \times 40 \times 27	1	35
KZX40 型	0.05~0.07	50~6	10 \times 20 \times 11	0.4	7

2.2 模块式干法选煤系统的工艺流程

模块式干法选煤系统由原煤准备 (干燥和筛分)、煤炭分选、加重质回收及循环利用、供风及除尘系统组成。

图 2 所示为该干法选煤系统实物图, 图 3 为其设备联系图, 其工艺流程图见图 4。

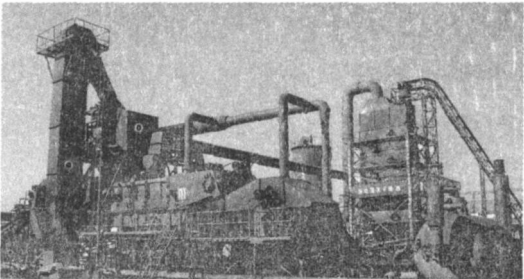
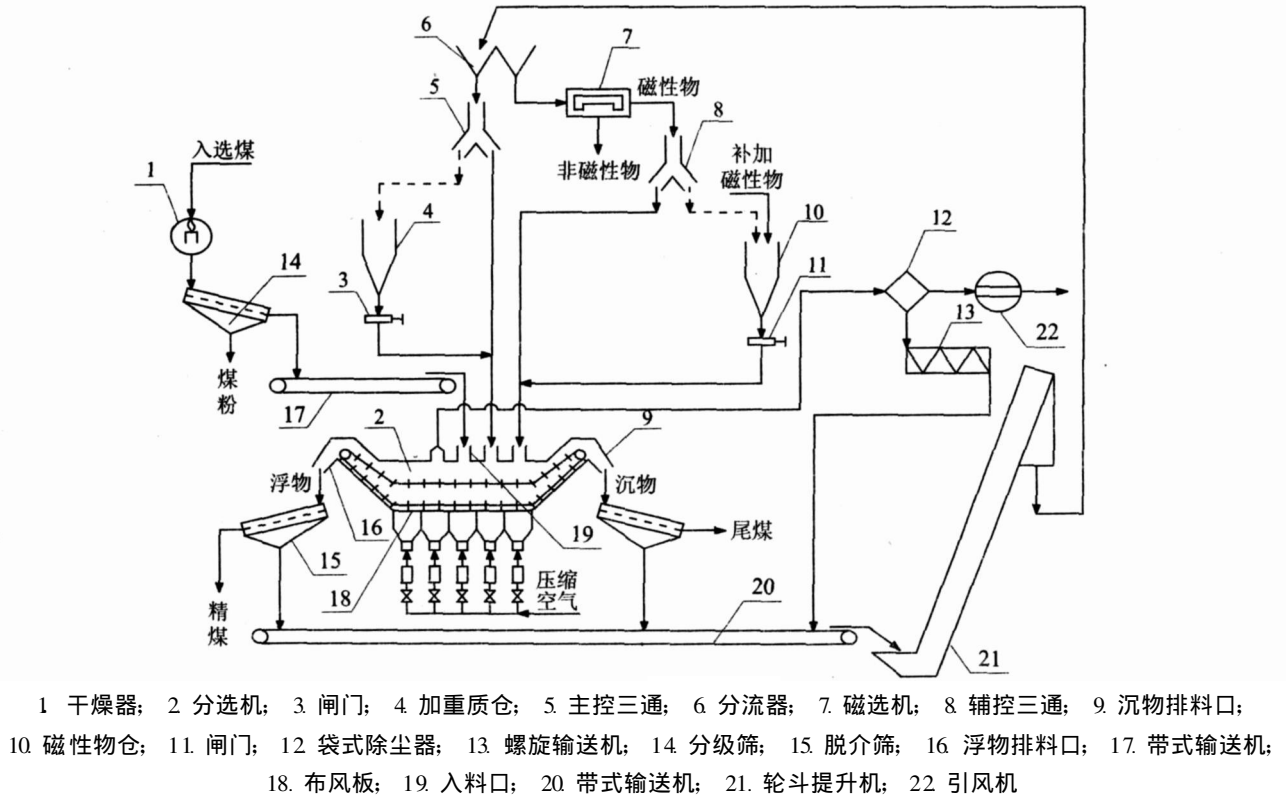


图 2 模块式气固流化床干法选煤系统



性能良好。

表 3 分选密度为 1.33 g/cm³ 时的产品浮沉试验结果 %

密度级 / g·cm ⁻³	精煤		尾煤		计算 原煤	分配 率
	占产物	占入料	占产物	占入料		
< 1.3	70.43	16.72	3.29	2.51	19.23	13.07
1.3~1.4	23.80	5.65	11.53	8.79	14.44	60.88
1.4~1.5	2.40	0.57	6.26	4.77	5.34	89.34
1.5~1.6	0.78	0.19	6.92	5.28	5.46	96.60
1.6~1.7	0.67	0.16	6.59	5.03	5.18	96.93
1.7~1.8	0.45	0.11	5.11	3.89	4.00	97.35
> 1.8	1.48	0.35	60.30	45.98	46.33	99.24
总计	100.00	23.74	100.00	76.26	100.00	

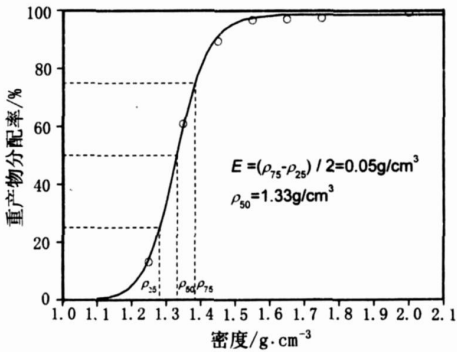


图 5 分选密度为 1.33 g/cm³ 时的分配曲线

表 4 分选密度为 1.61 g/cm³ 时的产品浮沉试验结果 %

密度级 /g·cm ⁻³	精煤			尾煤			计算原煤		分配率
	占产物	占入料	灰分	占产物	占入料	灰分	产率	灰分	
< 1.4	0.13	0.04	4.11	0	0	0	0.04	4.11	0
1.4~1.5	84.65	26.78	10.89	0.66	0.45	10.69	27.23	10.88	1.66
1.5~1.6	7.61	2.41	20.01	0.74	0.51	27.46	2.91	21.31	17.41
1.6~1.7	2.85	0.90	35.99	2.53	1.73	29.95	2.63	32.02	65.70
1.7~1.8	0.57	0.18	45.07	1.73	1.19	31.39	1.37	33.20	86.81
> 1.8	4.19	1.32	63.20	94.33	64.50	73.87	65.82	73.66	97.99
合计	100.00	31.63	14.67	100.00	68.37	71.26	100.00	53.36	

表 4 和图 6 为高密度分选条件下的产品浮沉试验结果和分配曲线。当原煤灰分为 55.35%、分选密度为 1.61 g/cm³ 时，所得精煤灰分为 14.67%、尾煤灰分为 71.26%，E 值为 0.06 g/cm³，可见系统分选性能良好。

3 结论

- (1) 与 KZA2050 干法分选系统相比，处理能力为 40~60 t/h 的模块式气固流化床干法选煤系统可将基建投资和所需工人数量分别降低 60%、80%，将系统面积和占用空间分别减小 75%、89.81%。
- (2) 提出了一种新型的密度调控方法，可有效维持床层高度和密度的均匀与稳定。
- (3) 模块式气固流化床干法选煤技术能在低密度或高密度条件下对 50~6 mm 煤炭进行有效分选，可能偏差 E 为 0.05~0.07 g/cm³。
- (4) 模块式气固流化床干法选煤技术不用水，无环境污染，分选效率高，基建投资及运行费用较低。

参考文献:

[1] Dwari R K, Rao K H. Dry beneficiation of coal— a review [J]. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 2007, 28 (3): 177~234.

[2] Luo Z F, Fan M M, Zhao Y M, et al. Density-dependent separation of dry fine coal in a vibrated fluidized bed [J]. Powder Technology, 2008, 187 (2): 119~123.

[3] Kalb G W. Dry beneficiation technologies in North America [C]. Chen Q R, Tanaka Z. Dry Separation Science and Technology [A]. Xu Zhuyi. China University of Mining and Technology Press, 2002: 24~28.

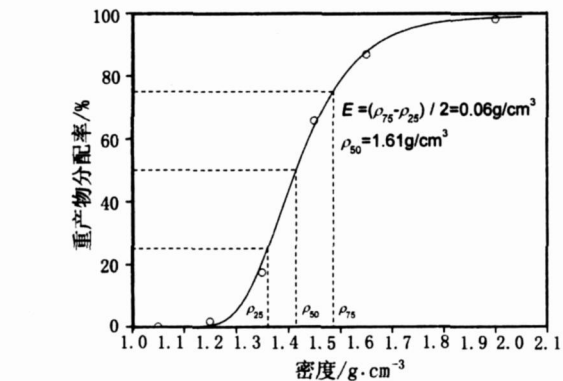


图 6 分选密度为 1.61 g/cm³ 时的分配曲线

2.3.2 模块式干法选煤技术的优点

在分选过程中，系统产生的粉尘可被袋式除尘器完全回收并循环利用，确保粉尘排放量符合环保要求，且吨煤介耗小于 0.5 kg。该技术不用水，省去了庞杂的煤泥水处理系统，既可降低环境污染，又能适用于干旱缺水地区、高寒地区及易泥化煤炭的分选。因而，模块式气固流化床干法分选技术在分选效果、节约水资源、投资及运行成本方面均具有一定的优势。

- [4] Davydov M V. On development and practical application of pneumatic coal preparation in Russia [J]. Chen Q R, Tanaka Z. Dry Separation Science and Technology [A]. Xu Zhou. China University of Mining and Technology Press. 2002. 13 ~ 23.
- [5] Dong X, Beekmans J M. Separation of particulate solids in a pneumatically driven counter-current fluidized cascade [J]. Powder Technology. 1990. 62 (3): 261 ~ 267.
- [6] Beekmans J M. Separation of mixed granular solids using the fluidized counter-current cascade principle [J]. The Canada Journal of Chemical Engineering. 1997. 75 (10): 55.
- [7] Tanaka Z, Oshiwani J, Kubo Y, et al. Dry coal cleaning in drawbox bath type by dry heavy medium [J]. Chen Q R, Tanaka Z. Dry Separation Science and Technology [A]. Xu Zhou. China University of Mining and Technology Press. 2002. 73 ~ 78.
- [8] Kubo Y, Zushi T. Designing points of the fluidized bed type dry coal cleaning system [J]. Chen Q R, Tanaka Z. Dry Separation Science and Technology [A]. Xu Zhou. China University of Mining and Technology Press. 2002. 79 ~ 89.
- [9] 骆振福, 朱建凤, 李振, 等. 磁铁矿粉加重质的表面疏水改性 [J]. 中国矿业大学学报. 2009. 38 (1): 75 ~ 79.
- [10] Luo Z F, Zhu J F, FAN M M, et al. Low density dry coal beneficiation using an air dense medium fluidized bed [J]. Journal of China University of Mining & Technology. 2007. 17 (3): 0306 ~ 0309.
- [11] 陈清如. 干法分选与洁净煤 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [12] Zhao Y M, Luo Z F, Chen Q R. Fundamental and practical developments of dry coal cleaning in China: a Review [J]. Coal Preparation Society of America Journal. 2004. 3 (3): 14 ~ 18.
- [13] Luo Z F, Zhao Y M, Chen Q R, et al. Effect of gas distributor on performance of dense phase high density fluidized bed for separation [J]. International Journal of Mineral Processing. 2004. 74 (1 ~ 4): 337 ~ 341.
- [14] Luo Z F, Zhao Y M, Tao X X, et al. Progress in dry coal cleaning using air-dense medium fluidized beds [J]. Coal Preparation. 2003. 23 (1 ~ 2): 13 ~ 20.
- [15] Luo Z F, Chen Q R, Zhao Y M. Dry beneficiation of coarse coal using an air dense medium fluidized bed (ADMB) [J]. Coal Preparation. 2002. 22 (1): 57 ~ 64.
- [16] Luo Z F, Chen Q R. Effect of fine coal accumulation on dense phase fluidized bed performance [J]. International Journal of Mineral Processing. 2001. 63 (4): 217 ~ 224.
- [17] Luo Z F, Chen Q R. Dry beneficiation technology of coal with an air dense-medium fluidized bed [J]. International Journal of Mineral Processing. 2001. 63 (3): 167 ~ 175.
- [18] Wang J H, Chen Q R, Kuang Y L, et al. Grinding process within vertical roller mill: experiment and simulation [J]. Mining Science and Technology. 2009. 19 (1): 97 ~ 101.
- [19] Kuang Y L, Zhuo J W, Wang L, et al. Laws of motion of particles in a jigging process [J]. Journal of China University of Mining & Technology. 2008. 18 (4): 0575 ~ 0579.

中国矿业大学刘炯天教授当选为中国工程院院士

近日, 本刊自《中国工程院 2009 年院士增选结果通报》中获悉, 我选煤领域知名专家、中国矿业大学副校长刘炯天教授当选为中国工程院院士。

刘炯天教授生于 1963 年, 河南南阳人, 中共党员, 矿物加工工程博士, 1983 年毕业于东北工学院选矿工程专业, 现为中国矿业大学副校长, 矿物加工工程国家重点学科带头人 (首席学科岗位), 长江学者特聘教授, 并兼任煤加工与高效洁净利用教育部重点实验室主任、国家环境保护清洁煤炭与矿区生态恢复工程中心主任、中国煤炭学会选煤专业委员会副主任委员、中国煤炭工业协会选煤分会副会长、中国有色金属学会选矿学术委员会副主任委员、《选煤技术》编委会委员等。刘炯天教授长期从事微细粒分选与洁净煤技术研究与工程实践, 先后承担了国家杰出青年科学基金项目、国家重点科技支撑 (攻关) 计划、“863 计划”等项目, 发明了旋流—静态微泡“柱式选煤”方法与设备, 开发了粗扫选一体化的粗选设备与“两段式选矿”回路, 形成了“多流态梯级强化浮选”的中国柱分选技术; 发明了矿物—硬度法难沉降煤泥水的绿色澄清方法, 构建了两种水质硬度的循环煤泥水溶液化学体系, 形成“水质硬度调控的煤泥水处理”技术。“多流态梯级强化浮选”与“水质硬度调控的煤泥水处理”已形成了微细粒选煤的较完整体系, 推动了微细粒选煤的新发展。此外, 刘教授还致力于煤炭高效脱硫降灰工艺研究, 建立了煤脱硫与超纯制备示范工程, 推动了我国高效选煤工艺进步及煤基材料产业发展。

刘炯天教授的当选, 是我选煤界继 1995 年陈清如教授当选中国工程院院士之后的又一喜事, 极大地振奋了选煤人的精神, 激励着选煤人向选煤技术的更高水平迈进。

(本刊讯)

COAL PREPARATION TECHNOLOGY

2009 No. 6

(Total 217)

Binonthly

Sponsor

Tangshan Branch China Coal
Research Institute

Coal Preparation Specialized
Committee China Coal Society

Coal Industry Technology Committee

National CWM Engineering
Technology Research Center

Coal Preparation Association
of China Coal Industry

Chief Editor: Cheng Hongzhi

Deputy Chief Editor: Zhao Hongxin
Yang Junli

Head of Editorial Department: Li Guosen

International Standard

Periodical Publication Code

ISSN 1001-3571

Internally Unified

Periodical Publication Code

CN 13-1115/TD

Code: XJUY

Edited & Published by

Editorial Department of "Coal
Preparation Technology"

Publishing Date: Oct 25, 2009

Address: No. 21, Xinhua West
Road, Tangshan City, Hebei
Province, P. R. China

Postcode: 063000

Tel: 0086-0315-7759357

Fax: 0086-0315-2816962

E-mail: xmjsbjk@heinfo.net

Distribution Area: Nationwide
Distributor for Overseas:

China Publishing and Foreign
Trading Corporation

P. O. Box 782, Beijing, China

Selected Contents & English Abstracts

No. 6 (Dec. Issue) 2009 Serial No. 217

● Test and Research

Research on Technology of Modular Air-solid Fluid Bed Dry Separation of Coal Zhao Yumin et al (1)
Abstract: To realize intensive, high efficiency and economy of coal separation technology, the modular air-solid fluid bed system for dry separation of coal with capacity of 40-60 t/h was built, that compared with KZA dry separation system, it can remarkably reduce capital operation cost, occupied area and space. The modular air-solid fluid bed dry separation system uses mixture of B-B magnetite and B-B coal dust wide particle size as dense medium. Presents the new bed control and adjustment method that directly return the circulating dense medium and dust discharged from dust exhauster to the separator, so that optimized process flow sheet enhanced the uniform and stability of density and highness of the bed, increased the quality of fluidization. The study also made on separation performance of the system, the test result shows that the system can efficient separation coal with particle size 50-6 mm, when the cut points were 1.33 g/cm³ and 1.61 g/cm³, the obtained ecart probable were 0.05 g/cm³ and 0.06 g/cm³ respectively.

Key words: modular air-solid fluid bed, process flow sheet, separation principle

An Experimental Study on Flotation Reagent Jet Emulsification Parameters Lv Yibo et al (6)
Abstract: To optimizing structure parameter of jet emulsifier and make single factor analysis on optimization result, the CILAS 1064 high precision laser grain size analyzer was used to measure the size and specific surface area of emulsified result. Result shows that the important factors which affecting the emulsifying result were distance between jet nozzle and throat and pressure of feeding water, the affecting law of each factor on emulsifying result were feeding pressure, distance between jet nozzle and throat, length of throat, diameter of jet nozzle, flow rate of reagent. With the distance between jet nozzle and throat is 4 mm, length of throat is 55 mm, and diameter of nozzle is 6 mm and the flow rate of reagent is 45 kg/h, the best result of specific surface area of drop of oil 3541.57 m² was reached.

Key words: reagent, jet emulsification, JB-0 emulsifier, emulsifying result

Research on Improving Aggregate Formation of Moulded Coal to Increase Bumping Strength Wang Zibing et al (9)
Abstract: The paper uses Arrhenius Law and Heterogeneous bumping reaction principle, analyzed the key factor that restricting bumping strength of moulded coal. Presents the bad aggregate formation is the true cause of decreasing the bumping strength of moulded coal. Based on analyzing the bad aggregate formation, described mechanism of how bad aggregate formation causing bad bumping process, and according to the test result, presents the optimizing plan to improve aggregate formation of moulded coal.

Key words: moulded coal, aggregate formation, bumping strength, affecting mechanism, improving plan, result

Industry Test with High Efficiency Secondary Sizing Screen in Chengjiao Coal Preparation Plant ... Zhang Yunsheng et al (13)