煤炭加工与环保

新型空气重介质流化床分选机半工业性试验研究

韦鲁滨,李凌月,万光显,刘道春,朱学帅,曾 鸣,孙 逊
(中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院,北京 100083)

摘 要: 为改善空气重介质流化床分选机分选效果,采用反倾角振动方式替代原刮板输送方式排出重产物,研制了新型空气重介质流化床分选机并建立了半工业性试验系统,考察了风量、入料粒度、单元处理量、入料可选性对分选效果的影响。结果表明,新型空气重介质干法分选机可对粒度 80 ~ 6 mm 的入选煤进行有效分选,随着入料粒度的增大,分选效果变好,分选室最大单位处理量为 7 t/(h·m^2);在合适的风量以及振动参数下,对可选性为易选的不黏煤可能偏差 E_p 为 0.05 g/cm^3,对可选性属难选的褐煤可能偏差 E_p 为 0.07 g/cm^3,实现了对不同可选性煤炭的高精度分选。

关键词: 干法分选; 空气重介质; 流化床; 原煤分选
中图分类号: TD94 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253 - 2336(2014)05 - 0107 - 03

Semi - Industrial Experimental Study on New - Style Air - Dense Medium Fluidized Bed Separator

WEI Lu-bin, LI Ling-yue, WAN Guang-xian, LIU Dao-chun, ZHU Xue-shuai, ZENG Ming, SUN Xun
(*School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing* 100083, *China*)

Abstract: In order to improve the separation effect of air - dense medium fluidized bed separator, a new - style air - dense medium fluidized bed separator was developed which used anti - dip vibration instead of scraper to discharge gangue, semi - industrial test system was set up and the influence of air volume, feed size, unit handling capacity and feed washability on the separation effect was studied. The results showed that coal with the particle size of 80 ~ 6 mm could be effectively separated by separator, and the separation efficiency became better with the increase of particle size. The largest unit handling capacity of separator was 7 t/(h·m^2). Under suitable air volume and vibration parameters, easy - to - wash coal could be separated with probable error E_p of 0.05 g/cm^3, and difficult - to - wash coal could be separated with probable error E_p of 0.07 g/cm^3, which indicated that a high - precision separation for coal with different washability was achieved.

Key words: dry beneficiation of coal; air - dense medium; fluidized bed; coal separation

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

0 引 言

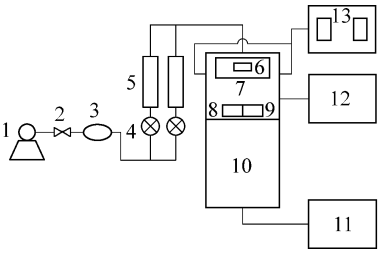
目前中国已成为当今世界上最大的煤炭生产和消费国,为减少煤炭对环境的污染,同时提高煤炭利用效率,并实现其可持续发展,实施洁净煤技术十分必要。其中选煤是洁净煤技术中合理利用煤炭、保护环境最经济有效的方法,属于煤炭污染环境的源头治理措施。因此,加快发展选煤技术对于实现煤炭资源的高效综合利用、节约能源、减少环境污染意义重大。选煤技术分为湿法选煤和干法选煤,湿法选煤技术已有 200 多年的历史,在选煤技术体系中一直居于主导地位,湿法分选技术需使用大量水源,而我国水资源短缺形势严峻,已探明保有煤炭储量的 2/3 以上集中于干旱或半干旱的严重缺水的西北地区,无法使用或不太适合通过湿法分选实现洁净利用,而且湿法亦不适宜低阶遇水易泥化煤及高寒

收稿日期: 2013 - 12 - 12; **责任编辑:** 赵 瑞 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2014.05.029
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51174214);国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2012CB214904);"十二五"国家科技支撑计划资助项目(2012BAA04B02);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20120023110017)
作者简介: 韦鲁滨(1962—),男,江苏扬州人,教授,博士生导师,博士。Tel:010 - 62331244,E - mail:wlb@cumtb.edu.cn
引用格式: 韦鲁滨,李凌月,万光显,等. 新型空气重介质流化床分选机半工业性试验研究[J]. 煤炭科学技术,2014,42(5):107 - 109,124.
WEI Lu-bin, LI Ling-yue, WAN Guang-xian, *et al*. Semi - Industrial Experimental Study on New - Style Air - Dense Medium Fluidized Bed Separator[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(5): 107 - 109, 124.

地区分选作业，因此亟待研发适合于我国国情，特别是适应西部等干旱缺水严寒地区的煤炭高效干法选煤技术。空气重介质流化床采用气固悬浮体作为分选介质，属于干法重介质分选，在理论上是干法重选的最佳方法，因而一直是干法选煤领域的重点研究方向[1]，该技术目前存在布风板抗堵性差、单机处理量小的问题，此外对细粒煤难以进行有效分选。国内外学者一直致力于解决空气重介质流化床干法选煤目前存在的问题，例如通过研究加重质级配和引入外加力场来提高分选精度、降低分选下限[2-5]。笔者根据空气重介质流化床干法选煤原理，结合振动流化床优点与振动工作面上物料输送的特点，设计了新型空气重介质流化床分选机。该设备引入振动能量后，通过激振力做直线振动，使重产物在复合力作用下反倾角振动排出，解决了使用刮板输送带来的一系列问题。同时，振动能量的引入改善了流化状态，对分选效果也有显著影响[6-9]。经实验室试验证明，该机在最佳分选条件下，可能偏差 E_p 为 0.045 g/cm^3，取得了较理想的分选效果[10-11]。在实验室研究基础上，开展了新型空气重介质液化床分选机的半工业性试验，考察了风量、入料粒度、处理量、入料可选性对分选效果的影响，以期为进一步的工业性试验提供基础工艺参数。

1　空气重介质流化床干法分选机结构

新型空气重介质流化床中试系统如图 1 所示，由供风、给料、分选、介质回收、产品输送和床高监测装置等构成。试验过程中，给料装置连续给入煤和介质，入选煤进入流化床后按密度分离，轻、重产物排出后分别经精煤脱介筛和矸石脱介筛脱介，最终获得精煤产品和矸石。选用可能偏差 E_p 作为试验分选效果评价指标，其中 E_p 是分配率为 25% 和 75% 对应的密度与分选密度差值的平均值；采用分选密度 $\delta \pm 0.1$ 含量法作为煤炭可选性评价指标。采用不黏煤和褐煤作为入选物料，粒度均为 80 ~ 6 mm。加重质采用磁铁矿粉，堆密度 2.32 g/cm^3。



1—罗茨鼓风机；2—控制阀门；3—风包；4—调速阀门；5—转子流量计；6—给料装置；7—空气重介分选段；8—密度检测装置；9—床高监测装置；10—振动排料段；11—矸石脱介筛；12—精煤脱介筛；13—机电控制箱

图 1　空气重介质流化床中试系统结构示意

2　半工业性试验结果与讨论

2.1　风量对分选效果的影响

图 2 为不黏煤入选时风量对可能偏差 E_p 的影响，分选室风量 Q 为 350 ~ 600 m^3/h 时，随 Q 的增大，E_p 呈减小趋势，分选效果变好。当 Q 达到 600 m^3/h，分选精度最高，E_p 为 0.05 g/cm^3。风量增大，分选效果则会变差。试验表明，将分选室风量控制在 450 ~ 900 m^3/h，入选物料可得到有效分选。

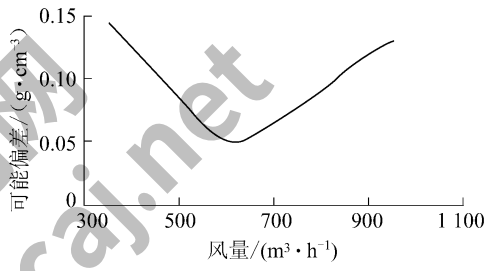


图 2　不同风量下可能偏差的变化趋势

风量较小时，床层膨胀不够充分，范德华力作用明显，加重质粒子黏附性较强、活性较弱，流化床的流动性及流化效果较差。物料进入流化床后，由于受到严重的黏性错配效应影响，会被阻隔在某一区间难以大范围运动，并导致床层的均匀性变差，造成床层局部的运动错配效应增大，使得物料在这种极其复杂的受力环境下无法得到有效分选[12-13]。随着风量增大，加重质粒子活性变大，在床层中分散较为充分、混合较为均匀，黏性错配效应减小，床层流动性增强，流化及分选效果变好。当风量为 600 m^3/h 时，黏性和运动错配效应均可得到有效控制。这时，床层均匀鼓泡并充分膨胀，形成密度均匀、稳定的流化床，分选精度达到最高。风量进一步增大，床层内气泡增多、变大，易于合并。此时，床层的黏性错配效应较低，但由于加重质随气泡尾迹上升及在乳化相中的向下运动所造成的宏观返混加重，使得运动错配效应增强，床层不稳定，表面不断喷射，严重干扰物料按密度分层。

2.2　入料粒度对分选效果的影响

风量为 600 m^3/h，振动参数调至设定值，将不黏煤分为 3 个粒级，并分别入选。图 3 为入选不同粒度不黏煤的分配曲线，由图 3 可知：粒度为 80 ~

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

25、25 ~13、13 ~6 mm 时，E_p 分别为 0.045、0.055、0.07 g/cm³。试验结果表明，分选机可对粒度范围为 80 ~6 mm 的不黏煤进行有效分选，随着入选物料粒度增加，分选效果变好。

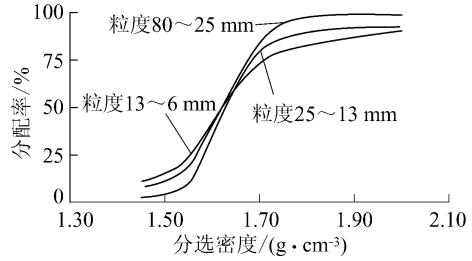


图 3　不同粒度不黏煤的分配曲线

随着粒度的增大，物料比表面积减小，自身所受重力与曳力之比变大，床层加重质返混引起的介质阻力削弱，入选物料在流化床中所受的床层净浮力起到主导作用。因此，入选物料可以较好地实现按密度分选，粒度越大所需分选时间越短、分选效果越好，但物料过大，床层厚度必须相应增大，以确保它的沉降空间。床层厚度过大又会导致流化质量恶化，空气重介质分选上限以 80 mm 为宜。

2.3　单位处理量对分选效果的影响

图 4 为不同单位处理量下原煤的分配曲线。由图 4 可知，当单位处理量为 6、7、8 t/(h·m²) 时，E_p 分别为 0.050、0.075、0.145 g/cm³。随着单位处理量的增大，分选效果差。试验结果表明，设备对不黏煤的单位最大处理量为 7 t/(h·m²)，当单位处理量为 8 t/(h·m²) 时，物料很难得到有效分选。

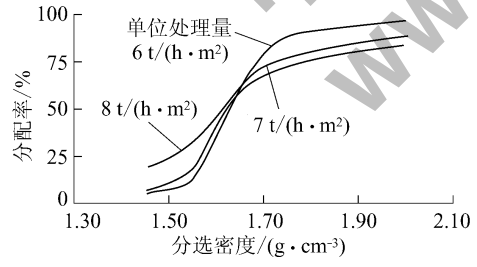


图 4　不同单位处理量下原煤分配曲线

单位处理量小时，物料在床层中分散较充分，分选空间大，可获得较好的分选效果。随着处理量增大，持续给入的物料会在床内形成矸石堆积层、邻近密度物堆积层、轻产物堆积层，整个床层呈现 3 层堆积状态。矸石堆积层是因物料中绝大部分重产物落入分选区底部而形成，它会影响布风板布风的均匀性，使气体和加重质颗粒在床中分布不均匀，加剧加重质复杂的涡流运动。邻近密度物堆积层则由床层中部邻近密度物堆积形成，它造成床内气体运行轨迹杂乱、气固不良接触，并加剧运动错配效应。轻产物漂浮在流化床表面，形成上层堆积，干扰新给入物料的正常沉降，容易导致轻重产物错配。处理量越大，这种分层堆积状态越严重，越不利于分选的进行。处理量过大时，物料会在床层内呈整体堆积状态，根本无法进行分选。

2.4　入料可选性对分选效果的影响

相同操作条件下不黏煤和褐煤的重产物分配曲线如图 5 所示。由图 5 可知，流化床分选密度约为 1.62 g/cm³，分选褐煤时 E_p 为 0.07 g/cm³，分选不黏煤时 E_p 为 0.05 g/cm³。试验表明新型干法分选设备对不黏煤的分选效果要好于褐煤。

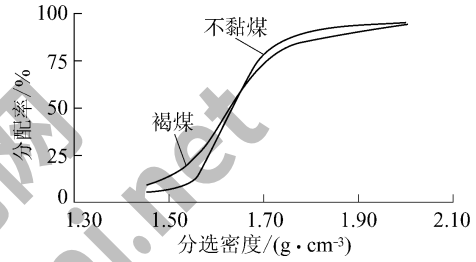


图 5　不黏煤和褐煤的重产物分配曲线

试验用不黏煤分选密度 δ ±0.1 含量为 5.3%，属于易选煤；褐煤 δ ±0.1 含量为 31.1%，属于难选煤。因可选性不同，物料在床层中会呈现不同的 3 层分布状态。所用褐煤的邻近密度物含量和矸石含量均较高，入选后会形成相对较厚的矸石堆积层及邻近密度物堆积层；不黏煤的邻近密度物和矸石堆积层厚度都小于褐煤，但轻产物堆积层较厚。分选过程中，邻近密度物料的存在会阻碍新入选物料在床层中的分离，邻近密度物堆积层的增厚，会使床层中气泡的运行轨迹杂乱，加剧床层的不稳定性；矸石层的厚度则会影响布风的均匀性及整个床层的流化状态；轻产物堆积层因浮于床层表面且易于排出，它的厚薄对床层流化及分选效果的影响远小于另外 2 个堆积层。可见，邻近密度堆积层和矸石堆积层越厚，给床层带来的负面影响越大，分选效果越差。

3　结　　论

新型空气重介质流化床分选机可对 80 ~6 mm 煤进行有效分选，易选煤的 E_p 为 0.05 g/cm³，难选煤的 E_p 为 0.07 g/cm³。随着风量的增加，分选精度先升高后降低，当风量为 600 m³/h 时，分选精度达到最高。易选煤的单位最大处理量为 7 t/h·m²，随

(下转第 124 页)

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

长压短抽方式进行局部通风，同时安装了干式除尘系统。干式除尘通风机的型号为 FBCDNo8.0/2×55，随着工作面推进而移动，功率为 2×55 kW，额定风量为 550～850 m^3/min。压入式局部通风机功率为 2×55 kW，额定风量 680～980 m^3/min。通风系统改进后，掘进工作面粉尘浓度大幅减少。改进后司机作业地点的全尘粉尘质量浓度由 134.8 mg/m^3 减小为 76.5 mg/m^3，呼尘粉尘质量浓度由 26.2 mg/m^3 减小为 9.1 mg/m^3。在回风位置，改进后的全尘粉尘质量浓度由 21.7 mg/m^3 减小为 3.1 mg/m^3，呼尘粉尘质量浓度由 3.4 mg/m^3 减小为 0.5 mg/m^3。

3 结　论

1) 单巷快速掘进系统是煤矿巷道掘进工艺的一次革命性创新，该系统减少了掘进工作面移动设备，消除了移动设备带来的安全隐患，实现了掘进和支护平行作业，提高了掘进效率和生产效率，减少了作业人员，实现了掘进工作面的连续运输。

2) 针对单巷快速掘进系统初期出现的问题，通过采取将八臂跨骑式锚杆钻车改进为十臂跨骑式锚杆钻车，增设移动式防护顶棚和破碎转载机，优化通风除尘系统等措施，提升了掘进效率，提高了作业期间的安全性，提高了运输效率，改善了作业环境。

参考文献：

[1] 杨仁树. 我国煤矿岩巷安全高效掘进技术现状与展望 [J]. 煤炭科学技术，2013，41(9)：18－23.

[2] 杨仁树，马鑫民，李　清，等. 煤矿巷道掘进爆破智能设计系统及应用 [J]. 煤炭学报，2013，38(9)：1130－1135.

[3] 贺安民. 连采机掘进半煤岩巷效率及工艺优化研究 [J]. 煤炭工程，2013(S1)：29－30.

[4] 刘　健，刘泽功，石必明. 低透气性突出煤层巷道快速掘进的试验研究 [J]. 煤炭学报，2007，32(8)：827－831.

[5] 王玉宝，单仁亮，蔡炜凌，等. 西山矿区煤巷掘进速度影响因素因子分析 [J]. 煤炭学报，2011，36(6)：925－929.

[6] 赵宏伟. 我国煤矿岩巷快速掘进技术现状及展望 [J]. 煤炭科学技术，2012，40(1)：5－7.

[7] 王　虹. 我国综合机械化掘进技术发展 40a [J]. 煤炭学报，2010，35(11)：1815－1820.

[8] 邹　飞，李海波，周青春，等. 岩石节理倾角和间距对隧道掘进机破岩特性影响的试验研究 [J]. 岩土力学，2012，34(6)：1640－1646.

[9] 郭迎福，张永忠，刘德顺，等. 纵轴式掘进机截割头横摆时的运动学分析及其仿真 [J]. 煤炭学报，2002，27(1)：68－72.

[10] 刘泉声，黄　兴，时　凯，等. 超千米深部全断面岩石掘进机卡机机理 [J]. 煤炭学报，2013，38(1)：78－84.

[11] 马　利，许　鹏. 岩巷掘进快速湿式喷射混凝土支护技术 [J]. 煤炭科学技术，2013，41(4)：5－7，12.

[12] 李恩龙，温保岗. 我国悬臂式掘进机的发展趋势 [J]. 煤矿机械，2013，34(5)：4－7.

[13] 马长乐，袁龙飞，张　羽，等. 大断面煤巷快速掘进施工工艺 [J]. 煤矿安全，2013，44(5)：98－100.

[14] 聂晓飞，闫高峰，宋育刚，等. 大断面煤巷快速掘进技术 [J]. 煤炭科学技术，2013，41(S1)：141－142.

[15] 程卫民，刘向升，阮国强，等. 煤巷锚掘快速施工的封闭控尘理论与技术工艺 [J]. 煤炭学报，2009，34(2)：203－207.

[16] 康红普，王金华，高富强. 掘进工作面围岩应力分布特征及其与支护的关系 [J]. 煤炭学报，2009，34(12)：1585－1593.

(上接第 109 页)

着入选物料粒度的增加，分选效果变好；煤粒级为 80～25、25～13、13～6 mm 时，E_p 分别为 0.045、0.055、0.07 g/cm^3。

参考文献：

[1] 陈清如，杨玉芬. 21 世纪高效干法选煤技术的发展 [J]. 中国矿业大学学报，2001，30(6)：527－529.

[2] LUO Z，ZUO W，TANG L，*et al*. Preparation of Solid Medium for Use in Separation with Gas－Solid Fluidized Beds [J]. Mining Science and Technology，2010，20(5)：743－746.

[3] LUO Z，FAN M，ZHAO Y，*et al*. Density－dependent Separation of Dry Fine Coal in a Vibrated Fluidized Bed [J]. Powder Technology，2008，187(2)：119－123.

[4] 骆振福，FAN Mao－ming，陈清如，等. 振动参数对流化床分选性能的影响 [J]. 中国矿业大学学报，2006，35(2)：209－213.

[5] 杨国华，陈清如，梁春城. 宽分布大颗粒振动流化床流体力学研究 [J]. 中国矿业大学学报，1996，25(4)：109－113.

[6] 王亭杰，汪展文，金　涌，等. 振动波在流化床中的传播行为 [J]. 化工学报，1996，47(6)：718－725.

[7] 骆振福，陈清如. 振动流化床的分选特性 [J]. 中国矿业大学学报，2000，29(6)：566－570.

[8] 骆振福，陈清如，陶秀祥. 振动流化床的形成机理 [J]. 中国矿业大学学报，2000，29(3)：230－233.

[9] 国井大藏，列文斯比尔 O. 流态化工程 [M]. 华东石油学院，译. 北京：石油化学工业出版社，1977：101－131.

[10] 韦鲁滨，梁世红，魏汝晖，等. 新型空气重介质流化床分选特性研究 [J]. 中国矿业大学学报，2011，40(5)：733－736.

[11] 曾　鸣，魏汝晖，梁世红，等. 新型干法分选机分选过程影响因素分析 [J]. 煤炭学报，2011，36(5)：845－847.

[12] 韦鲁滨，陈清如，梁春城. 空气重介流化床粗粒物料分选机理的研究 [J]. 中国矿业大学学报，1996，25(1)：12－17.

[13] 韦鲁滨，陈清如，赵跃民. 空气重介质流化床三产品的分选特性 [J]. 化工冶金，1999，20(2)：140－143.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net