

# 煤系高岭土干法分选技术的研究

夏云凯<sup>1,2</sup>, 刘呈兵<sup>1,2</sup>, 朱利伟<sup>1,2</sup>

(1. 唐山市神州机械有限公司;

2. 河北省煤炭干法加工装备工程技术研究中心, 河北 唐山 063001)

**摘要:** 针对神华准格尔能源公司黑岱沟和哈尔乌素煤矿的煤矸石中高岭土含量高的特点, 采用高密度干法重介质分选机、ZM 干法分选机和机械、智能分选机对不同粒级的煤矸石进行分选, 可有效排除大多数低密度杂质, 获得产率较高的高岭土。

**关键词:** 煤矸石; 高岭土; 空气重介质分选机; 干法分选; 智能分选

**中图分类号:** TD849.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1005-8397(2015)11-0069-04

我国有着丰富的煤系高岭土资源<sup>[1-2]</sup>。黑岱沟和哈尔乌素煤矿属于神华集团下属的大型露天矿, 地处鄂尔多斯薛家湾南部, 两矿总设计生产能力 7 000 万 t/a, 并配套建设有相应的选煤厂。两座煤矿的选煤工艺均为: 毛煤先经过预处理, 将粒度全部控制到 200 mm 以下, 然后经 25 mm 分级筛分级, 筛上物进入浅槽重介质分选机分选; 选后精煤与分级筛筛下物混合作为动力煤销售, 矸石由胶带输送机运至采空区回填。目前黑岱沟煤矿年排矸石 600 万 t, 哈尔乌素煤矿年排矸石 400 万 t, 两矿合计 1 000 万 t/a。

黑岱沟与哈尔乌素露天矿所排矸石中伴生有大量高岭土资源, 这些高岭土与矸石一起回填至采空区。矸石回填不仅消耗大量无效转运费用和土方, 增加企业成本, 而且大量高岭土与其他矸石一起作为废弃物排弃, 严重浪费了资源。

高岭土是一种用途广泛的资源, 不仅可用来提炼铝金属, 作烧制瓷器的原材料, 而且还广泛用于油漆、日化等行业。因此, 回收矸石中的高岭土具有重要的经济价值和社会效益。为使宝贵的伴生资源得到充分利用, 唐山市神州机械有限公司和河北省煤炭干法加工装备工程技术研究中心联合研究了从矸石中提取优质高岭土技术。

## 1 原料特征

黑岱沟与哈尔乌素煤矿的矸石中主要包括轻产物(杂质)、高岭土和白砂岩, 而高岭土又分为黑色高岭土和灰色高岭土。分别选取代表性样品, 在专用密度测试容器中进行测试, 结果见表 1。

表 1 矸石密度测试结果

项目	密度(黑岱沟) / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	密度(哈尔乌素) / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
低密度杂质	<2.0	<2.0
黑色高岭土	2.93	2.9
灰色高岭土	2.85	2.84
白砂岩	2.81	2.75

从表 1 可知, 黑岱沟与哈尔乌素煤矿的矸石密度基本相同, 其中所含黑色高岭土、灰色高岭土与白砂岩的密度相近, 只是颜色不同。为考察黑色及灰色高岭土产品特性, 对 25 ~ 120 mm 粒级高岭土的常用指标进行了化验, 结果见表 2。

由于重产物(黑色高岭土、灰色高岭土和白砂岩)与轻产物(低热值煤)的密度差别较大, 接近  $1 \text{ g/cm}^3$ , 从分选原理上分析, 采用按密度分选技术可实现轻重物料的分选; 而高岭土和白砂岩表面颜色不同, 也可以借助色差进行分选。

收稿日期: 2015-11-05      DOI: 10.16200/j.cnki.11-2627/td.2015.11.022

作者简介: 夏云凯(1966—), 男, 江苏海安人, 2004年毕业于美国西弗吉尼亚大学采矿工程专业, 工学博士, 唐山神州机械有限公司总工程师, 高级工程师。

引用格式: 夏云凯, 刘呈兵, 朱利伟. 煤系高岭土干法分选技术的研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2015(11): 69-71, 75.

表 2 高岭土化验指标

产品名称	灼减	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	合计
黑色高岭土/%	29.48	35.88	32.02	0.15	1.72		0.54	0.14	0.05	99.98
灰色高岭土/%	16.34	44.10	37.92	0.15	0.53	0.20	0.15	0.05	0.06	99.50

## 2 分选工艺

研究人员从黑岱沟和哈尔乌素煤矿采集了近 10 t 矽石大样运至河北省煤炭干法加工装备工程技术研究中心进行矿石分析和测试,并于 2015 年 7 月 20 日成功进行了半工业性分选试验。分选设备为唐山神州机械集团有限公司独创的高密度干法重介质分选机、ZM 干法分选机及矿石智能分选设备。

### 2.1 高密度干法重介质分选机

高密度干法重介质分选机是一种专门用于分选高密度矿物的新型设备。该设备采用重选原理,实际分选密度达到  $2.0 \sim 2.5 \text{ g/cm}^3$ ,可实现不同高密度物料的分层和分离<sup>[6]</sup>。

本研究使用了一台处理能力为 50 t/h 的模块化干法重介质流化床分选机,以该分选机为核心的分选系统见图 1。磁性介质在压缩空气的作用下,形成密度均匀稳定、具有一定高度的流化床层。原矿由密封入料口给入分选机,矿石在流化床作用下分散并按密度分层,轻矿物漂浮于流化床层表面,重产物则下沉至流化床底。轻重产物分别由刮板机排出机外,并分别进入轻重产物脱介筛。筛上产品转运至产品胶带输送机,筛下物主要为磁性介质,收集汇合后由斗式提升机返回流化床系统。部分回收的介质分流至干法磁选机,以去除细粒矿石,保持流化床密度稳定。系统中同时设置一套除尘系统,通过引风机在床层上部形成负压,防止粉尘溢出,净化空气。该系统具有如下特点:① 分选不用水,不存在水处理系统及水污染;② 设备高度模块化,建设周期短,投产快;③ 采用高密度分选,属国内外首创,对入选物料的适应性强;④ 自动化水平高,无粉尘污染。

### 2.2 ZM 干法分选机

ZM 干法分选机利用空气流化和床面机械振动复合功能实现对物料的分选,工作机理如下:

(1) 密度分层作用: 利用煤和空气形成自生

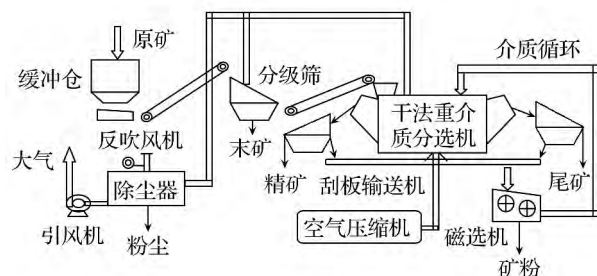


图 1 空气重介质分选系统示意

介质流化床,矿物按密度差进行分选;

(2) 松散作用: 借助激振器装置产生床面振动,使料层松散,为物料按密度分级创造条件;

(3) 摩擦作用: 分层后重矿物贴近床面,在摩擦力作用下向床面上部运动,而轻产物在风力作用下漂浮于床层上部,受床层激振作用较小,在重力作用下向排料端滚动;

(4) 重产物浮力效应: 因颗粒碰撞,重产物产生浮力效应,使轻颗粒难以穿透重颗粒床层;

(5) 重复分选作用: 分选床面设置隔板,物料在隔板之间做螺旋翻滚运动,错配物得到多次分选。

在 ZM 干法分选机的分选过程中,物料粒度、密度、形状等性质及风量、风压、振幅和振次、床面倾角等操作参数均会对设备分选效果产生影响。

### 2.3 机械、智能分选机

机械、智能分选机是根据物料表面颜色(灰度)的差异,采用先进的控制理念,通过信息反馈并在相应执行机构的作用下,实现物料的智能分离。该设备完全自动化,识别精度高,运转平稳可靠。

依据上述分选设备的特点,确定高岭土干法分选工艺如下(见图 2):

(1) 矽石物料首先进入双层分级筛分级,上层筛孔为 80 mm,下层筛孔为 13 mm,将矽石样品分级为三个粒度级,即小于 13 mm 粒度级、13 ~ 80 mm 粒度级和大于 80 mm 粒度级。

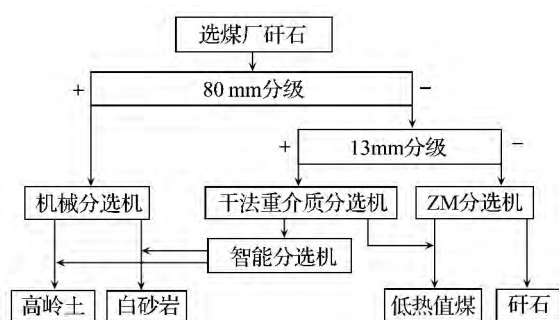


图2 分选原则流程

(2) 筛上物大于 80 mm 粒级采用机械分选工艺, 实现大块高岭土和白砂岩的分离;

(3) 13 ~ 80 mm 粒级物料进入高密度干法重介质分选机分选, 分选密度设定为  $2.4 \text{ g/cm}^3$ , 选出重产物和轻产物两种产品, 重产物为白砂岩和高岭土的混合物, 轻产物为部分高灰煤及其他低密度杂质;

(4) 分级筛筛下小于 13 mm 的物料和干法重介质分选机轻产物进入 ZM 矿物高效分离机分选出煤炭和废弃矸石;

(5) 高密度干法重介分选机分离出的重产物为高岭土和白砂岩的混合物, 通过智能分选机排除白砂岩, 得到纯净高岭土矿石。

### 3 分选结果

河北省煤炭加工装备工程技术研究中心于 2015 年 7 月 20 日对黑岱沟煤矿矸石样品进行了半工业试验, 矸石粒度为 0 ~ 200 mm。通过筛分、高密度分选、ZM 矿物高效分离、智能分选

后, 各级产率如表 3 所示, 各产品质量情况见表 4 ~ 8。

表3 对黑岱沟煤矸石分选后各产品产率

粒级/mm	产率/%	产物	产率/%
< 13	25.49	ZM 轻产物	12.68
		ZM 中间产物	3.38
		ZM 重产物	9.43
13 ~ 80	59.00	轻产物	9.78
		重产物	40.87
		高岭土 白砂岩	8.35
> 80	15.51	高岭土	9.53
		白砂岩及其他	5.98

表4 小于 13 mm 筛下物化验结果

灰分 $A_d / \%$	高位发热量 $Q_{gr.d} / \text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	低位发热量 $Q_{net.r} / \text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	全水分 $M_t / \%$
70.59	5.86	5.21	4.27

表5 小于 13 mm 筛下物采用 ZM 干法分选机的分选结果

项目	产率/ %	灰分 $A_d / \%$	高位发热量 $Q_{gr.d} / \text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	低位发热量 $Q_{net.r} / \text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	全水分 $M_t / \%$
轻产物	49.75	65.49	7.57	6.83	4.47
中间产物	13.24	70.68	5.84	5.23	3.79
重产物	37.01	76.23	3.38	2.90	3.02
加权平均	100.00	70.15	5.79	5.17	3.84

表6 对 13 ~ 80 mm 高密度分选后轻产物的分析结果

灰分 $A_d / \%$	高位发热量 $Q_{gr.d} / \text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	低位发热量 $Q_{net.r} / \text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	全水分 $M_t / \%$
61.63	9.03	8.21	4.58

表7 大于 13 mm 粒级高岭土化验结果

灼减	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	CaO	MgO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	合计
19.85	41.32	36.31	0.30	0.86	0.54	0	0.15	0.60	99.93

表8 采用干法重介质分选后小于 13 mm 粒级重产物化验结果

灼减	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	CaO	MgO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	合计
27.01	37.75	32.50	0.36	0.86	0.55	0	0.2	0.66	99.89

工业试验结果表明, 分选后高岭土产率达到 59.83%。其中大于 13 mm 粒级的产率为 50.4%, 该产品中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  占 36.31%、 $\text{SiO}_2$  占 41.32%、灼减占 19.85%, 可用作陶瓷行业的优质原材料。小于 13 mm 粒级中, 高岭土产率为 9.43%, 该产品

中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  占 32.50%、 $\text{SiO}_2$  占 37.75%、灼减占 27.01%, 可用作建筑陶瓷的原材料。小于 80 mm 粒度级中分选出的高灰煤产率为 22.46%, 该产品低位发热量约为  $7.52 \text{ MJ/kg}$ , 可作为矸石电厂的

(下转第 75 页)

足要求的。

发展型煤代替燃用原煤, 可以提高燃烧效率, 节约煤炭, 减少燃煤污染物的排放, 国家鼓励中、小型锅炉采用型煤代替燃用原煤和散煤, 以减少污染。

### 3.4.2 抓好燃煤电厂和工业锅炉的改造升级

工信部提供的资料表明: 我国在用锅炉 62 万多台, 其中电站锅炉 0.97 万台, 工业锅炉 61.06 万台。

电站锅炉装机容量 7.8 亿 kW, 占火电装机容量 91.17%, 发电用煤约 20 亿 t。

以燃煤为主的工业锅炉占全国工业锅炉总台数和总蒸发量的 85% 左右(约 51.9 万台左右)。燃煤锅炉每年消耗煤炭约 6.5 亿 t。

抓好电厂和锅炉的技术改造和升级换代, 提高煤炭的洁净高效利用, 可以大大节约用煤和减少燃煤的大气污染。

中国经历了 20 多年的发展, 超超临界发电技术已经取得很大进步。2007 年, 2 台 100 万 kW 超超临界发电机组(26.25 MPa, 400 °C / 600 °C) 经实际运转, 其效率高达 45.4%, 供电标煤耗 283.2 g/(kW · h), 比 2010 年全国平均供电煤耗 330 g/(kW · h) 低 45.8 g/(kW · h), 大大节约了煤炭资源; 每年可减排二氧化碳 30 多万 t, 二氧化硫 1 500 多吨, 氮氧化物约 1 100 t, 接近于天然气排放标准, 达到国际先进水平,

取得了巨大的企业经济效益和社会环境效益。

最近神华国华舟山发电公司 4 号 35 万 kW 超临界燃煤发电机组投入商业运行, 其燃煤机组可以达到“零排放”, 3 项主要污染物: 二氧化硫、氮氧化物、悬浮微粒平均排放浓度还不到燃煤机组排放限值的一半。实践说明煤炭是可以洁净、高效利用的。

### 3.4.3 环保部门要加强执法力度

国家已颁布了新的《环境保护法》, 新的《大气污染防治法》正在审拟中。新的环保法规对环保质量提出了更高、更严格的要求。环保部门要加强执法力度, 促使煤炭生产部门加强煤炭洗选加工, 提高煤炭质量, 降低煤的灰分、硫分, 生产出符合用户质量要求的煤炭; 要促使使用煤单位采用经过洗选加工后的煤炭, 采用先进的燃煤、脱硫、脱硝技术, 降低煤耗, 减少燃煤污染物的排放; 要加强对企业、地区环境质量的监测和监督, 对超标排放的企业、地区加强处罚力度并追究责任。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国统计局. 2014 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [3] 中国煤炭加工利用协会. 现代燃煤发电技术发展现状及趋势 [C]. 中国煤炭深加工产业发展报告, 2014.
- [4] 王显政. 中国煤炭工业发展现状与前景 [C]. //2013 国际煤炭峰会论文集. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2013.

(上接第 71 页)

动力煤。最终排弃物仅为 17.71%。

## 4 结 论

神华准格尔能源公司黑岱沟和哈尔乌素煤矿选煤厂的矸石中存在大量优质高岭土。采用空气重介质高密度矿物分选机, ZM 干法分选机和机械、智能分选机组组成的高效干法高岭土分选系统, 可以实现对高密度砂岩和优质高岭土的有效分离, 获得较高产率的高岭土产品。此干法分选系统简单、实用、高效, 在煤矸石分选领域的应用扩大了干法分选高密度矿物的应用范围, 有较好的应用前景。

## 参考文献

- [1] 李炳云. 内蒙古准格尔煤田东部煤系高岭土矿区带开发战略的初步研究 [J]. 中国地质, 1999(9): 37-39.
- [2] 吴贤文. 祁东煤系高岭土大型工业应用试验研究 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2009(3): 31-32.
- [3] 赵廉奇, 张超伦. 高岭土选矿工艺研究 [J]. 材料研究与应用, 1996(2): 94-100.
- [4] 袁 纳, 陈 强, 李 航. 小口径水力旋流器在高岭土选矿中的应用 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2006(6): 37-39.
- [5] 方金宇, 林金辉. 造纸涂布级高岭土选矿加工研究进展 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2011(5): 31-35.
- [6] ZHAO Y, LI G, LUO Z, LIANG C, TANG L, CHEN Z, XING H. Modularized dry coal beneficiation technique based on gas-solid fluidized bed [J]. Journal of Central South University Technology, 2011(18): 374-380.

**Parameter optimization air-driven pumper at the sieve band for concentrate slime at Linxi Coal Preparation Plant**

*MA Rui-ping et al.*

(*Tangshan Guohua Sc. &Tech. Intern. Co. , Ltd. , Tangshan , Hebei 063020 , China*)

**Abstract:** Discussed is the working principle and special feature of the air-driven pumper at the sieve band; based on the particle consist of Linxi slime , ash content of concentrate and top size of flotation feed required , taking 0.125mm as the critical size , and screening efficiency as the evaluation index , the working parameter of air-driven pumper—time gap between pumping , force of pumping being optimized , determined that , the best time gap between pumping be 10s , the best pumping pressure be 0.1MPa.

**Keywords:** coal preparation plant; air-driven pumper for sieve band; time between bumping; pressure of pumping; optimization

**Study & making of the dry-operated jigging machine for fine coal**

*REN Shang-jin et al.*

(*Tangshan Kaiyuan coal preparation Sc. & Tech. Co. , Ltd. , Tangshan , Hebei 063000 , China*)

**Abstract:** Structure , working principle and system composite of the dry-operated jigging machine for slack coal introduced , its application denoted that such equipment being suitable to clean slack smaller than 13 mm with moisture content lower than 8% , its probable error  $E_p$  about 0.203 kg/L , quantitative efficiency  $\eta$  about 89.53% , a single machine being capable to treat 130 t/h , good separation given , equipment performance being tough.

**Keywords:** dry-operated jigging machine for fine coal; structure working principle; separation performance

**Study & application of the making of a new collector for coal flotation**

*GU Yu*

(*Dept. Envir. Eng. , Taiyuan Institute , Taiyuan , Shanxi 030023 , China*)

**Abstract:** For reduction of cost of collector and upgrading flotation performance , taking waste oil from distillation below 400 °C from coal liquefaction as feed stock , a new collector made and used at Taiyuan coal preparation to float lean coal that , at pulp concentration of 80 g/L , collector consumption at 1 500 g/t , it behaves good selectivity , at dosage of frother 100 g/t , ash content of concentrate 7.44% , concentrate yield 80.88% , this new collector , when dosage over 1 500 g/t , behaves better selectivity than kerosene , and , also , its processing being simple and low cost.

**Keywords:** coal preparation; flotation; collector; 400°C distillation; coal tar; reagent dosage

**Simulation & its analysis based on Simulink for the double-shaft vibration screen with elliptical motion**

*CHEN Zhan et al.*

(*College of Material Sc. & Eng. , Anhui Univ. Sc. & Eng. , Huainan Anhui 232001 , China*)

**Abstract:** Simulink software used to imitate reality of moving locus of the double-shaft vibration screen with elliptical motion , by change of frequency , mass and differential ratio of initial phase difference of two eccentric weights , the moving locus of double-shaft vibration screen with elliptical motion determined , influence of different parameter on vibration screen with elliptical motion analyzed , its variation rule approached , reference base for design , application and improvement of efficiency provided.

**Keywords:** double-shaft vibration screen with elliptical motion; Simulink; imitation of reality; moving locus

**Study of dry separation technology of kaolinite from coal measure**

*XIA Yun-kai et al.*

(*Tangshan Shenzhou Machinery Co. , Ltd. , Tangshan , Hebei 063001 , China*)

**Abstract:** Aiming at the special feature of high content of kaolinite in refuse of Heidaigou and Haerwusu Coal Mine , high-density dry HM separator , ZM dry separator and intelligent separator used to separate refuse of different size range , industrial experiment denoted that such method can remove most low density impurity relative high yield of kaolinite obtained.

**Keywords:** coal refuse shop; kaolinite; air HM; dry separation; intelligent separation

**Adjustment of energy consumption to prevent atmospheric pollution**

*WU Tian-xiang*

(*China Coal Import & Export Co. , Beijing 100011 , China*)

**Abstract:** Based on analysis of energy resource , its development and structure of utilization , both domestic and abroad , denoted that in foreseen future coal being in the strategic core position in Chinese energy development owing to its reliability , economy and stability; large scale of coal exploitation and utilization in rough stage being the main reason of atmospheric pollution; for effectively preventing it , the industrial structure be adjusted , energy structure be optimized , coal utilization be clean and highly effective , environment agent be further enforcing the law.

**Keywords:** energy resource; structure; coal; atmospheric pollution; counter measure for prevention