

# 基于浮选原理制备低灰煤的研究进展

杨 刚<sup>1 2</sup>

(1. 中国矿业大学(北京) 化学与环境工程学院,北京 100083;

2. 山东能源新汶矿业集团有限责任公司 内蒙古鲁新能源开发有限责任公司,内蒙古 锡林郭勒 026321)

**摘要:**结合中国煤炭资源现状及国家产业政策,介绍了低灰煤在中国煤炭深加工利用方面的重要性。阐述了制备低灰煤的原料煤性质,即必须具有内在灰分低、质脆易磨、矿物易于单体解离、可选性好等特点,且原煤中含有灰分小于2%的低灰组分,要尽量选择丝质体含量少且可浮性好的中、高变质程度煤。详细介绍了目前制备低灰精煤的2种方法,即预处理+浮选工艺和浮选柱分选工艺,并对2种分选方法的基本分选原理和分选效果进行了分析。最后论述了制备低灰煤的发展趋势,强调了应注重低灰煤专用、低成本、高效率化学药剂的研发和现有设备脱硫降灰效率的提高,采用严格的质量控制和过程控制来保证精煤的稳定性。

**关键词:**低灰煤;浮选;浮选柱;原料煤;灰分;可浮性

中图分类号:TD943

文献标识码:A

文章编号:1006-6772(2012)01-0019-04

## Research progress of low-ash coal preparation based on flotation principle

YANG Gang<sup>1 2</sup>

(1. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing) Beijing 100083, China;

2. Inner Mongolia Luxin Energy Development Co., Ltd. Shandong Energy Xinwen Group Xinlingol League 026321, China)

**Abstract:** Combining coal resources status at home with relative industrial policy, introduce the importance of low-ash coal to coal further processing and utilization. Raw coal needs to have some qualities such as low inherent ash, easy grinding and dissociation, better washability and the like to meet the needs of low-ash coal preparation. Low-ash component is also needed whose ash content must be below 2% in raw coal. The medium and high ranking coal with better floatability and lower fusinite content should be chosen as far as possible. Two methods of low-ash coal preparation based on floatation principle are described in details as pretreatment-flotation process and flotation column process, the basic principles and separation effects are also analyzed. In conclusion, analyze the development tendency of low-ash coal preparation, emphasize that the plant should pay more attention to the research of lower price and higher efficiency reagents as well as the improvement of desulfuration and ash reducing equipments efficiency. Guarantee the stability of clean coal quality according to stringent quality control and processing control.

**Key words:** low-ash coal; flotation; flotation column; raw coal; ash content; washability

中国富煤、贫油、少气,煤炭资源丰富,煤种齐全,煤炭在一次能源消费结构中占70%左右<sup>[1]</sup>。为了大幅度提高煤炭的实际利用价值,各经济发达国家先后开发洁净煤技术,在此基础上开展了对煤

炭深度脱灰加工的研究。“十二五”规划明确指出,应最大限度地利用煤炭资源,实现煤炭资源使用最大化。低灰煤作为一种新型高附加值的煤炭产品,主要用于代油燃烧(油水煤浆)、制备高档活性炭、

收稿日期:2011-10-27 责任编辑:白娅娜

作者简介:杨刚(1970—),男,山东新泰人,高级工程师,在读博士研究生,现任内蒙古鲁新能源开发有限责任公司副总经理,主要从事机电、矿物加工设计及安装工作。

煤炭黑、精密铸造、IGCC 技术等,具有良好的市场前景<sup>[2]</sup>。

随着低灰煤应用领域的不断扩张和需求量的日益增大,对超纯煤制备方法的研究越来越迫切。目前制备和分选超纯煤的方法主要有化学法、电选法以及物理化学法等<sup>[3-5]</sup>。其中化学法是通过化学药剂与煤中组分进行化学反应的方法,有氢氟酸法、常规酸碱法、烧熔碱沥滤法和化学煤 4 种;电选法是基于煤岩组成介电性质的不同来实现分选的方法,如摩擦静电选法;物理化学法有油团聚法(包括油团-筛分法、油团-浮选法等)以及其他与浮选有关的方法;对于特殊性质的煤炭还有重选法,如螺旋分选工艺和重介质分选工艺。上述分选工艺均基于煤炭和矸石自生密度的不同达到分选目的,分选下限高,分选精度低,达不到分选超低灰煤的效果,而与浮选有关的分选工艺则是通过煤矸表面化学性质的不同实现纯煤回收,在低灰煤分选中有着广泛的应用。主要介绍与浮选有关的低灰煤的制备和分选方法。

## 1 原料煤选择

中国煤炭资源种类丰富,但可用于制备低灰煤的原料煤却有限<sup>[5]</sup>。制备低灰煤的原料煤必须具有内在灰分低、质脆易磨、矿物易于单体解离、可选性好等特点,且原煤中含有灰分小于 2% 的低灰组分是分选出超纯煤产品的理论条件<sup>[6]</sup>。因此,在选择原料煤时,首先应进行显微镜观察,了解煤岩学特性,判断其制备低灰煤的可行性<sup>[7]</sup>。

煤的显微组分包括镜质组、壳质组、惰质组等有机显微组分和各种矿物质等无机显微组分,国内外研究表明,煤中不同显微组分的可浮性随煤阶变化而有所差异<sup>[8]</sup>。低阶煤显微组分的可浮性次序为:惰性组 > 镜质组 > 壳质组,中、高阶煤显微组分的可浮性次序为:镜质组 > 惰性组 > 壳质组。镜质组与壳质组所含矿物质较少,而惰性组所含矿物质相对较多,且矿物质常充填于细胞腔内,很难从煤中单体解离。因此,在选择制备低灰煤的原料煤时,要尽量选择丝质体含量少且可浮性好的中、高变质程度煤<sup>[7]</sup>。

中、高变质程度煤中,镜质组是最主要的显微组分,一般占有机显微组分的 90% 以上,且可浮性最好<sup>[2]</sup>。因此,低灰煤的制备从某种意义上讲即镜质组的富集过程,镜质组与矿物质的解离情况对低灰

煤的制备有重要意义。通过破碎试验判断煤与矿物质是否单体解离对能否制得低灰煤有指导作用。

## 2 基于浮选原理制备低灰煤的方法

浮选法是基于物料界面性质差异来实现物料不同组分分离进而实现分选的方法,在细粒及微细粒物料分选中应用最广,效果最好<sup>[9]</sup>。目前利用浮选法制备低灰煤主要有预处理+浮选工艺和浮选柱分选工艺 2 种。

### 2.1 预处理+浮选工艺

#### 2.1.1 选择性聚团-浮选法

选择性聚团-浮选法主要流程:将煤制成一定浓度的微细粒煤浆,分别加入桥联液和调整剂,经高速搅拌后,形成疏水聚团,然后通过浮选法分离煤粒聚团和杂质矿物<sup>[4]</sup>。该法的优点是机械夹带低,产品灰分低,且可在不需要大规模改动现有流程、设备的条件下,解决入料粒度过细、分选效果不佳等浮选问题;缺点是油耗太高,为其工业化应用带来一定障碍<sup>[4]</sup>。宋少先<sup>[10]</sup>以八一浮选精煤为研究对象,在各参数最佳的条件下,采用聚团-浮选法得到灰分小于 1% 的低灰精煤。杨巧文<sup>[11]</sup>选择了 12 种代表性的煤样作为试验用煤,采用选择性聚团-浮选法成功将 3 种煤的灰分降至 1% 以下,同时认为选择性聚团脱灰过程中,乳化油可显著降低药耗。

#### 2.1.2 选择性絮凝-浮选法

选择性絮凝-浮选法主要流程:在含有 2 种以上组分的稳定悬浮液中加入可选择性吸附的絮凝剂,通过絮凝剂的“桥联作用”使其中某一组分产生絮团,而其他组分仍分散在悬浮液中<sup>[12-13]</sup>;此时采用浮选方法实现不同组分的分离,进而制得低灰煤。马佳<sup>[3]</sup>采用选择性絮凝-浮选方法对大同煤进行脱灰试验研究,结果表明,在一定条件下,浮选精选一次工艺脱灰效果最佳,灰分从原煤的 13.83% 降至 1.91%,去除率达到 86.19%;谢登峰<sup>[2]</sup>利用絮凝-浮选法制备超纯煤,通过正交试验对矿浆浓度、分散剂用量、絮凝剂用量间的交互作用进行了探索性试验研究,得到了灰分 1.29%,产率 41.26% 的超纯煤。

### 2.2 浮选柱分选工艺

浮选柱法是利用微气泡和大的高径比来实现物料分选的方法。当采用小的气泡直径时,气泡数量增加,气泡与颗粒接触的机会随之增多;而采用大的高径比可导致停留时间增加,进而增加可燃物回收

率,减少喷淋水<sup>[14-15]</sup>。浮选柱分选工艺主要处理-0.2464 mm 细煤泥,因其占地面积小,处理量大,易于大型化,在煤泥水系统中愈加重要,目前,市场上直径5 m的浮选柱已投入使用。随着采煤机械化程度的不断提升,细煤泥含量不断增加,利用浮选柱处理煤泥,制取低灰煤的分选工艺将越来越受到重视。

### 2.2.1 旋流-静态浮选柱分选法

旋流-静态微泡浮选柱整体为柱式构造,包括柱浮选、旋流分选、管流矿化三部分<sup>[13]</sup>。柱浮选位于柱体上部,用于原料预选,并借助其选择性优势得到高质量精煤;旋流分选位于柱浮选下部,用于柱浮选的进一步分选,并借助其高回收能力得到合格尾煤;管流矿化在引入气体并形成微泡的基础上,用于旋流中煤的进一步分选并沿切向与旋流分选相连形成循环<sup>[4,16-18]</sup>。刘炯天<sup>[19-20]</sup>采用浮选柱对灰分为4.5%的太西末原煤进行处理,得到灰分小于1% (取样平均灰分为0.98%),产率36.37%的特低灰低硫洁净煤,试验说明用旋流-静态微泡浮选柱制备低灰煤在技术上是可行的。

### 2.2.2 溶气式浮选柱分选法

理论和试验证明,溶气式浮选柱分选法中,溶气释放析出将会优先发生在疏水性矿粒表面,大大提高了超净煤浮选的选择性。溶气式浮选柱分选工艺将为极细粒煤精选制备超净煤和深度脱灰处理带来广阔的应用前景。何为军<sup>[21]</sup>利用浮选柱的优点,结合溶气释放浮选工艺,首次提出了用溶气式浮选柱制备超净煤的方法,并利用实验室分选系统经一次浮选成功将府谷煤和白箕沟煤灰分降至1.0%以下。

### 2.2.3 射流浮选柱分选法

射流浮选柱突破了传统浮选机和浮选柱设计上的基本观念,优化了浮选过程中捕集和分离2个基本过程<sup>[22]</sup>。射流浮选柱在需要较大捕集概率的微细煤泥浮选方面显示了突出的优越性;对于射流浮选柱,气泡的上浮分离过程是在一个相对静止的环境中进行的,气泡在上升过程中受到了矿浆的清洗作用,排除了夹杂在气泡群中的维系非目标颗粒,具有良好的分离选择性和分选精度<sup>[22-23]</sup>。李茂林等<sup>[22]</sup>研究表明,在精煤灰分相近的情况下,射流浮选柱浮选微细煤泥的精煤产率明显高于机械搅拌式浮选机;在精煤产率相近的情况下,前者的精煤灰分比后者低2%~3%。因此,将煤泥细磨后,用射流浮

选柱分选法可获得抽出率高的低灰洁净精煤。

## 3 制备低灰煤的发展趋势

目前,超纯煤制备技术已在物理、化学等方面进行了大量研究与实践,只有个别方法实现了工业化,其余还在实验室阶段。要实现超纯煤制备技术的工业化,需要开发温和的化学方法,物理方法也需要在降低成本、提高分选精度等方面做深入研究<sup>[24]</sup>。

浮选工艺均设有精选扫选环节,针对浮选难以处理的粗煤泥可进行扫选排矸,而后对其精煤进行破碎、浮选,采用成本较低的物理分选方法代替浮选降灰,不仅可以降低生产成本,也可最大程度地回收精煤产品。如何降低扫选过程中的排矸成本,已成为选煤领域研究的重点,且收到了良好效果,如TBS、RC、螺旋分选机等煤泥分选设备的成功应用就是很好的证明。

表面活性剂等化学药剂在脱硫降灰方面的作用已引起国内外学者的重视,但是开发出低灰煤专用,低成本、高效率的化学药剂,仍然要进行深入研究,并应朝着多学科、多角度的交叉领域发展。最后还应提高现有设备的脱硫降灰效率,采用严格的质量控制和过程控制来保证精煤的稳定性。

## 4 结 语

近几年,随着国民经济的不断发展和国家产业政策的不断调整,最大程度地提高煤炭资源利用率已是大势所趋,制备和生产低灰煤便是其中最重要的方式之一。目前,中国制备低灰煤主要集中在煤泥浮选方面,影响因素较多,如原煤煤种、可浮性、可选性、煤泥粒度、添加的药剂及分选设备的处理能力等都会影响低灰煤的质量和产量。同时浮选柱的成功应用和浮选药剂的不断更新,均对中国低灰煤的制备起到了积极的推动作用,但低灰煤的制备成本依然很高,因此,降低入料煤的制备成本、提高浮选药剂选择性、扩大浮选设备处理能力以及研究更为合适的低灰煤制备方法是下一步研究的重点,对中国煤炭资源合理利用和国家可持续发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 李艳芳,梁大明,刘春兰.国内外活性炭应用发展趋势分析[J].洁净煤技术,2009,15(1):5-8,13.

- [2] 谢登峰. 选择性絮凝-浮选法制备超纯煤的试验研究[J]. 选煤技术, 2008(5): 25-27.
- [3] 马佳. 大同煤选择性絮凝深度脱灰试验研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2009.
- [4] 谢翠平, 杨建国, 王羽玲. 超纯煤制备意义及制备方法简介[J]. 洁净煤技术, 2004, 10(3): 45-47.
- [5] 章新喜, 段超红, 梁春成. 低灰洁净煤的电选制备[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30(6): 570-572.
- [6] 王羽玲, 杨建国, 李光明, 等. 超低灰太西精煤的制备[J]. 选煤技术, 2004(6): 35-36.
- [7] 李具备, 欧泽深, 刘炯天, 等. 低灰煤制备的原料选择及分选工艺[J]. 煤炭科学技术, 1999, 27(5): 19-22.
- [8] 叶庆春, 李新军. 生产超低灰纯煤的原料煤煤质特性分析[J]. 神华科技, 2010, 8(3): 33-35.
- [9] 梅国民, 王全强, 刘焕胜. 细粒煤分选方法评述[J]. 煤炭技术, 2005, 24(12): 60-62.
- [10] 宋少先. 疏水絮凝理论与分选工艺[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.
- [11] 杨巧文. 选择性选择聚团深度脱灰工艺及应用研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 1998.
- [12] 蒋善勇, 张军华, 章新喜, 等. 细粒太西煤选择性絮凝分选技术[J]. 煤, 2007, 16(3): 7-9.
- [13] 何琦, 陆永军, 张淑强, 等. 旋流-静态微泡浮选柱洗选金矿石的试验室研究[J]. 云南冶金, 2011, 40(3): 24-27.
- [14] 俞少功, 姜利群. 超细煤的微泡浮选柱超纯分选[J]. 矿冶工程, 1992, 12(2): 30-34.
- [15] 张秀峰, 谢广元, 谢领辉, 等. 预浮选式浮选柱分选细粒粉煤的实验研究[J]. 洁净煤技术, 2010, 16(1): 25-28.
- [16] 桂夏辉, 刘炯天, 曹亦俊, 等. 铜镍尾矿浮选柱再选试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(1): 66-72.
- [17] 周晓华, 刘炯天, 王永田, 等. 利用旋流-静态微泡浮选柱选萤石矿的实验室研究[J]. 非金属矿, 2003, 26(1): 48-49, 58.
- [18] 周晓华, 宋晓娟, 刘炯天, 等. 旋流-静态微泡浮选柱浮选萤石试验研究[J]. 矿冶, 2005, 14(2): 21-24.
- [19] 刘炯天. 利用浮选柱制备特低灰低硫洁净煤的实验研究[J]. 洁净煤技术, 2001, 7(S): 42-47.
- [20] 刘炯天. 旋流-静态微泡浮选柱与洁净煤制备研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 1995.
- [21] 何为军. 用溶气式浮选柱制备超精煤的研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2001.
- [22] 李茂林, 鲁晏, 黄波. 应用射流浮选柱分选微细煤泥的试验研究[J]. 煤炭加工与综合利用, 2001(2): 21-23.
- [23] 姜志伟, 黄波, 李幼竹. 射流浮选柱充气机理的研究[J]. 煤炭学报, 1995, 20(4): 432-436.
- [24] 付晓恒, 何为军, 王新文, 等. 一种新的浮选尾煤高附加值综合利用技术[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(6): 34(6): 740-743.

(上接第15页)

由表3、表4可知,磁选机尾矿的磁性物质量分数达到选煤厂小于0.5%的技术要求,产品中磁性物质量分数小于0.3%的要求。

通过对介质回收净化系统的改进及强化管理,梁北选煤厂介耗明显降低,由原先的2.46 kg/t(2011年1月—2011年5月)降至现在的0.65 kg/t。按照原煤处理量120万t,介质960元/t计算,则每年可节约208.5万元。

## 5 结 语

介质的消耗是重介选煤厂重要的经济技术指标,介耗的高低直接影响重介选煤的分选效果及企业的生产成本,同时也体现一个选煤厂的技术管理水平。梁北选煤厂通过对介质系统的技术改造和

介耗管理,达到了降低介耗的目的,实现了企业经济效益的最大化。

参考文献:

- [1] 邵燕祥, 黄文峰, 豆伟, 等. 梁北选煤厂技术改造的实践[J]. 洁净煤技术, 2009, 15(3): 30-32, 66.
- [2] 谢广元. 选矿学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [3] 訾涛, 鲁和德, 韩恒旺. 选煤厂介质管理的途径[J]. 山西焦煤科技, 2011(3): 51-52, 56.
- [4] 韩恒旺. 粗煤泥分选设备及分选工艺研究[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(2): 12-14.
- [5] 郭天纲, 潘德强, 郑广智. 浅析磁选机磁路结构设计及磁场特性[J]. 矿山机械, 2010, 38(16): 76-77.
- [6] 王朝哲. 降低重介选煤系统介耗的措施[J]. 选煤技术, 2007(1): 31-33.