

# 低阶煤干燥脱水技术的研究

朱 川<sup>1,2</sup>, 杨晓毓<sup>1</sup>, 邵 徇<sup>1,2</sup>

(1. 煤炭科学研究总院 北京煤化工研究分院 北京 100013;

2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室(煤炭科学研究总院) 北京 100013)

**摘要:**介绍了转筒式干燥工艺、流化床干燥工艺、气流床干燥工艺等蒸发干燥工艺和热力脱水工艺(HTD)、机械热挤压脱水工艺(MTE)、UBC低阶煤干燥提质技术等非蒸发脱水工艺的工艺流程、技术特点及发展现状等。分析了低阶煤脱水工艺系统建设过程中干燥工艺、厂址、干燥介质与能源消耗的选择原则和依据。发现低阶煤干燥脱水工艺的选择应考虑目标用户对产品质量的要求,产品加工工艺对提质煤水分的要求且应尽量选择安全可靠、能耗较小、成本较低的干燥技术。厂址的选择需多方面综合考虑。干燥介质的选择应因地制宜,同时必须综合考虑干燥介质的成本及安全性。较低的干燥能耗才能够保证干燥工艺的长期运行,并产生经济价值。低阶煤干燥脱水技术的研究为低阶煤干燥工艺的选择及良好运行提供参考。

**关键词:**低阶煤;干燥脱水;蒸发脱水;非蒸发脱水;能源效率

中图分类号:TD849+.2;TQ536

文献标识码:A

文章编号:1006-6772(2013)01-0042-06

## Techniques for low rank coal dewatering and drying

ZHU Chuan<sup>1,2</sup>, YANG Xiao-yu<sup>1</sup>, SHAO Xun<sup>1,2</sup>

(1. Beijing Research Institute of Coal Chemistry, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. State Key Laboratory of High Efficient Mining and Clean Utilization of Coal Resources

(China Coal Research Institute), Beijing 100013, China)

**Abstract:** Introduce the techniques for low rank coal evaporation drying, such as rotary drying, fluid bed drying, entrained-flow drying. Meanwhile, study some non-evaporation dewatering technologies, including thermal dehydration, mechanical dewatering and UBC low rank coal upgrading technology. Emphasize the technological processes, technical features and status of these two kinds of dewatering technologies. Analyse the selection principle and basis for drying process, drying medium, factory location and energy consumption during the construction of low rank coal drying system. The results show that, the selection of drying system should consider the users requirement, the moisture of upgraded coal, security, energy consumption and the cost. The location of factory is crucial, the selection of drying medium should think ahead the cost and safety. The lower energy consumption guarantee the longer running of drying process and its economic benefits.

**Key words:** low rank coal; dehydration; evaporation dewatering; non-evaporation dewatering; energy efficiency

收稿日期:2012-10-16 责任编辑:白娅娜

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2012BAA04B01)

作者简介:朱 川(1986—)男,四川广安人,从事煤炭洁净利用的研究。

引用格式:朱 川,杨晓毓,邵 徇.低阶煤干燥脱水技术的研究[J].洁净煤技术,2013,19(1):42-47.

低阶煤主要包括长焰煤、不黏煤、弱黏煤和褐煤等,具有水分高、密度小、挥发分高、不黏结、化学反应性强、热稳定性差及发热量低等特点。全世界低阶煤探明储量超过 4650 亿 t,占世界煤炭总资源量的 47%,主要分布于澳大利亚、美国、俄罗斯、中国、印尼、德国与东欧诸国等<sup>[1]</sup>。中国低阶煤资源探明储量也在 2000 亿 t 以上,占全国煤炭探明储量的 30% 以上。其中褐煤资源保有储量达 1300 亿 t,占全国煤炭总储量的 13% 左右<sup>[2]</sup>。中国褐煤主要分布在华北和西南地区,其中西南地区的褐煤几乎全部是新生代第三纪较年轻的褐煤,而华北区的褐煤则绝大多数为中世纪侏罗纪的年老褐煤。

目前低阶煤利用的主要障碍是过高的水分不能满足煤炭加工利用一般工艺的要求。本文主要分析了低阶煤干燥的必要性,前景较好的低阶煤干燥工艺及选择原则等,为褐煤干燥工艺的选择及良好运行提供参考。

## 1 低阶煤干燥脱水工艺

低阶煤干燥脱水工艺可分为机械脱水工艺、蒸发干燥工艺与非蒸发脱水工艺<sup>[3]</sup>。其中机械脱水是指通过筛分、离心、过滤(压滤)等简单方式脱除部分水分的相关工艺,其处理能力和脱水效率尚难

以适应低阶煤脱水的要求。这里主要介绍低阶煤蒸发脱水和非蒸发脱水 2 种工艺。

### 1.1 蒸发干燥工艺

在蒸发干燥工艺中,水分脱除是通过直接或间接将相当于水蒸发潜热的热量加到煤样上,使水以汽态的形式去除。优点是不需要复杂的废水净化设备;缺点是能耗高,有的工艺甚至需要消耗相当于 25% 煤的能量来蒸发水分<sup>[4]</sup>。蒸发干燥技术有很多种,包括转筒式干燥工艺、流化床干燥工艺、气流床干燥工艺等。

#### 1.1.1 转筒式干燥工艺

低阶煤转筒式干燥工艺如图 1 所示,主要由鼓风机、热风炉、给料装置、滚筒干燥机、排料装置、一次旋风除尘设备、引风机、二次湿式除尘设备、进出料运输设备等组成<sup>[5]</sup>。工艺因干燥介质不同,主要有燃烧烟气与水蒸气 2 种,而按干燥介质与煤的传热方式则可分为直接加热式与间接加热式 2 种。不同类型的转筒干燥器参数不同,以德国莱茵地区的型煤原料为例,其采用的转筒式干燥器以  $7^{\circ} \sim 10^{\circ}$  倾斜放置,转速为  $0.5 \sim 2.0 \text{ r/min}$ ,停留时间为  $25 \sim 30 \text{ min}$ ,干燥介质温度  $185^{\circ}\text{C}$ ,压力  $0.5 \text{ MPa}$ ,最终水分含量降至  $12\% \sim 18\%$ 。该工艺投资较低,操作简单,生产能力大。但当烟气与低阶煤直接接触干燥时,存在着火、爆炸的隐患<sup>[6]</sup>。

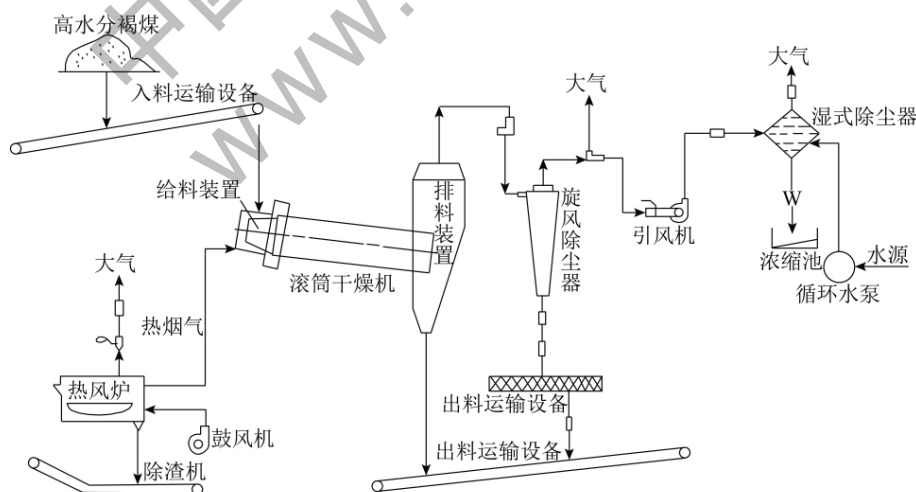


图 1 转筒式低阶煤干燥工艺

#### 1.1.2 流化床干燥工艺

流化床干燥工艺具有 2 个显著优点:一是由于颗粒分散做不规则运动,造成了气固两相的良好接触,加速了传热、传质速率,因此床内温度均匀,便于准确控制,能够避免局部过热;二是颗粒在流化

床内的平均时间便于调节,有利于结合水的去除。低阶煤流化床干燥工艺因干燥介质不同主要有蒸汽流化床干燥工艺和烟气(热空气)流化床干燥工艺 2 种。

蒸汽流化床干燥工艺是由莫奈什大学的 Potter

教授于 20 世纪 70 年代发明的,该工艺示意如图 2 所示。

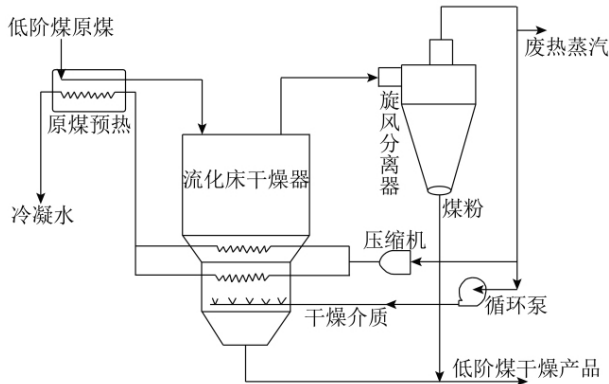


图 2 蒸汽流化床干燥工艺

蒸汽流化床干燥工艺主要由两部分组成:一部分废热蒸汽经循环泵回流作为流化介质;另一部蒸汽通过压缩机为流化床干燥器及低阶煤原煤预热提供热量。莱茵褐煤公司和鲁奇公司进行了 2 个年生产能力相当于 15 万 t 干煤的示范厂。一典型蒸汽流化床干燥器的参数<sup>[4]</sup>:温度 106 ~ 120 °C,流化蒸汽与加热蒸汽压力分别为 15 ~ 25 kPa 和 400 ~ 500 kPa,原煤粒度 0 ~ 6 mm,产品粒度 0 ~ 4 mm,产品水分 10% ~ 20%。蒸汽流化床干燥工艺的干燥效率主要受干燥介质温度与煤内含水量的影响,其主要优点在于干燥是在水蒸气惰性气氛中进行的,从而消除了燃烧和爆炸等潜在危险,同时减少了粉尘排放。另外蒸汽再压缩回收了部分热量和水蒸气,具有较高的热效率。

烟气流化床干燥工艺原理与蒸汽流化床干燥工艺基本相同,但需要考虑着火、爆炸、粉化复杂的燃烧炉结构等问题。

### 1.1.3 气流床干燥工艺

气流床干燥技术改善了流化床蒸汽干燥工艺水耗大的问题,但电耗较高的问题仍然存在。同时经该工艺干燥后的低水分煤粒度较小,必须加工成型后才能长距离运输。低阶煤气流床干燥技术的代表工艺主要有澳大利亚怀特公司开发的 BCB 及神华集团与中国矿业大学(北京)共同开发的 HPU 技术,均附带有提质煤成型单元<sup>[7-8]</sup>。

BCB 气流床干燥工艺流程如图 3 所示。将高水分煤破碎到一定粒度,利用燃气产生的高温烟气使其在输送床中干燥,干燥后的低水分煤采用无黏结剂成型 BCB 技术挤压成型,以便运输。怀特公司

于 2009 年完成了 Cessnock 示范工厂的建设和试运行,此外怀特公司已与大唐国际电力签署了一个原则性协议,双方将联合开发大唐公司内蒙古褐煤矿的原煤提质技术。

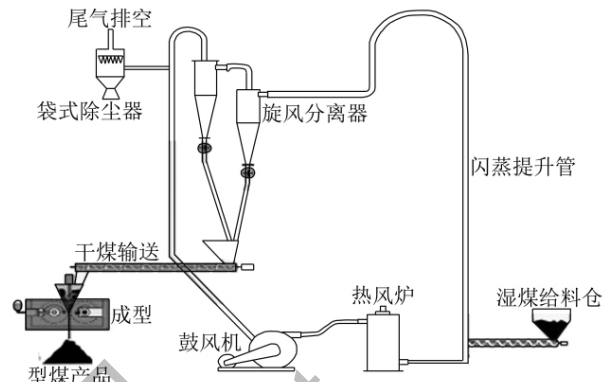


图 3 澳大利亚 BCB 低阶煤提质工艺流程  
HPU 干燥技术工艺流程如图 4 所示。

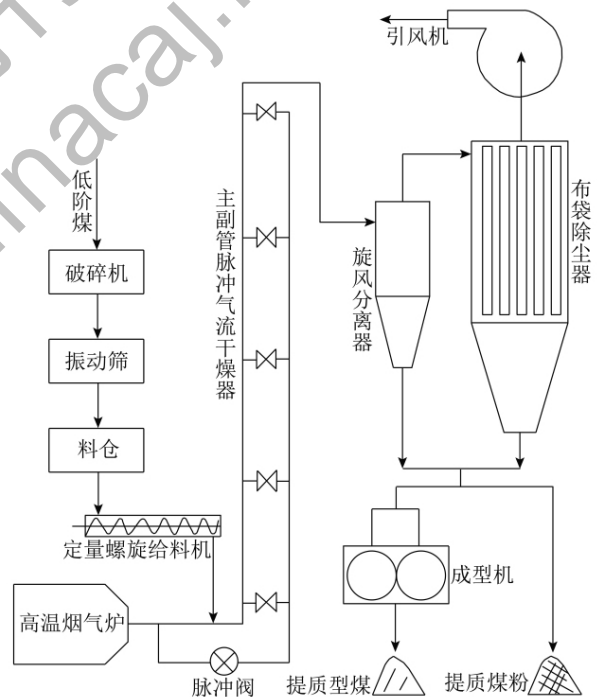


图 4 中国 HPU 低阶煤提质工艺流程

HPU 干燥技术主要包括备煤系统、热烟气系统、干燥系统、成型系统、冷却系统、成品输送储存 6 大系统和循环流化床高温烟气炉、粉煤直管式气流干燥装置和无黏结剂高压对辊成型机等关键设备。HPU 干燥技术主要特点是将含水量大的原煤经过快速加热脱水干燥后,在无黏结剂条件下迅速压制成型煤产品。2009 年 10 月,该工艺在内蒙古宝日希勒一次性带负荷试车成功,水分由原煤的

33% 降至 8% 以下, 热值从 15.9 MJ/kg 提高至 22.2 MJ/kg<sup>[9]</sup>。

## 1.2 非蒸发脱水工艺

非蒸发脱水工艺, 如热力脱水工艺 (HTD) 及机械热挤压脱水工艺 (MTE)。主要是将低阶煤与高温、高压蒸汽直接或间接接触, 使低阶煤水分呈液态脱出而得到提质煤或提质水煤浆, 脱水过程无需消耗蒸发潜热, 热效率高且不会发生自燃, 安全性高, 部分矿物质溶解于水中排出, 降低了灰分。

### 1.2.1 热力脱水工艺 (HTD)

热力脱水工艺是由墨尔本大学开发的 Evan-Siemon 浆体模式发展而来<sup>[10]</sup>, 其工艺流程如图 5 所示。主要包括原煤水煤浆的制备, 水煤浆在足够防止水蒸发的压力下加热到 300 °C 左右, 最后经过减压、离心等脱除多余水分而得到干基质量分数 50% 左右、可泵送的提质低阶煤水煤浆, 热量比收到基的固体煤热值更高。1996 年 SECV 在维多利亚开展了 1 m<sup>3</sup>/h 的 HTD 水煤浆中试厂热力脱水相关研究。研究表明: 通过该工艺可制成稳定的洁净水煤浆浆料, 能够实现安全储存、运输。而该工艺的不足主要有: ① 热交换器等较高的固定资产投入; ② 废水的处理及再利用, 废水中含有相当于煤干基 1% 的多种有机物, 必须经过复杂的工序处理才能回收利用, 否则会污染环境; ③ 与常规水煤浆相比, HTD 水煤浆产品浓度较低。

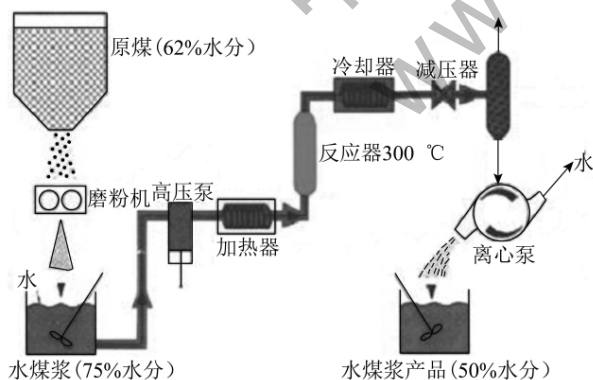


图5 低阶煤的热力脱水工艺

### 1.2.2 机械热挤压脱水工艺 (MTE)

机械热挤压脱水工艺 (MTE) 由德国多特蒙德大学 Strauss 及同事研究开发<sup>[11]</sup>, 该工艺过程综合了热法脱水和机械力脱水的优点, 将低阶煤在温度 150 ~ 220 °C, 压力 2 ~ 12 MPa, 停留 5 ~ 10 min 的条件下, 通过机械挤压将水挤出, 其工艺流程如图 6

所示。该工艺过程可分为 4 个阶段: 用工艺热水预热—过热蒸气加热—机械加压脱水—闪蒸进一步脱水。机械热挤压脱水工艺的主要优点是较低的温度足以“软化”低阶煤的结构, 同时可避免煤在脱水过程中发生化学反应。它在一个比较现实的时间宽度和较小能量消耗下, 显著降低了低阶煤水分含量。其主要缺点是废水的净化与回收再利用问题。CRC 将该工艺在 1 t/h 规模上进行了中试, 认为该技术可用于现有电厂或 IGCC 工厂原料的预干燥。

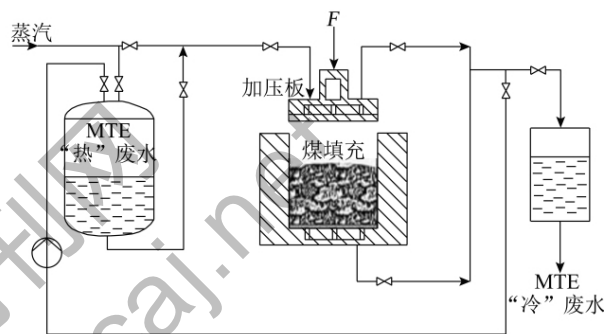


图6 低阶煤的机械热挤压脱水工艺

### 1.2.3 UBC 低阶煤干燥提质技术

UBC (Upgrading Brown Coal) 低阶煤干燥提质技术是由日本神户制钢所 (Kobe Steel Group) 于 1993 年研发, 属非蒸发脱水工艺<sup>[12]</sup>。主要不同在于其借助轻油去除低阶煤中的水分。UBC 低阶煤干燥提质技术工艺流程如图 7 所示。首先将低阶煤研磨成粉状, 再与再生油 (石油裂解产生的轻油和重油) 混合形成油煤浆, 然后加热煤浆使水分蒸发, 再从脱水的煤浆中回收轻油得到提质粉煤, 最后压制成型煤。日本煤炭能源中心于 2005 年在印尼对 UBC 技术进行了规模为 5 t/d (原煤基准) 的中试, 试验结果表明干燥提质后的型煤在燃烧性能和价格方面均具有优势。

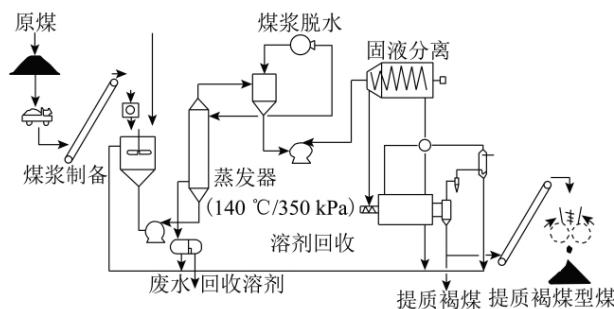


图7 低阶煤 UBC 干燥提质技术

## 2 低阶煤干燥脱水技术的选择

### 2.1 干燥工艺的选择

由于工艺设备、干燥温度、产品性质等不同,不

同干燥工艺对原料煤的要求及干燥后煤的性质影响程度均不同,并不存在一种完美的干燥技术可以满足所有低阶煤的干燥提质要求<sup>[13]</sup>。典型干燥器的优缺点见表1。

表1 典型干燥器的优缺点

干燥器类型	优点	缺点
转筒干燥器	生产能力大,操作方便	直接加热存在着火或爆炸等危险,间接加热投资大
流化床干燥器	传热传质好	压降高,磨损大
气流床干燥器	结构简单	磨损大
蒸汽介质干燥器	热效率较高,无着火或爆炸危险	维护成本高,电耗较高
非蒸发脱水	能耗低,无着火或爆炸危险	生产规模有限

低阶煤干燥脱水工艺的选择应首先考虑目标用户对产品质量的要求,如粒径要求是以块煤为主,还是粉煤为主;是就地使用,还是需要长距离运输等。流化床、气流床干燥工艺对原料煤有粒度限制,入料前需经过破碎、筛分等处理,同时干燥过程磨损严重,产品以粉煤为主,如不经后续处理,易自燃、复吸等<sup>[14]</sup>。该类型工艺适合于高效粉煤锅炉燃烧前的干燥,当产品加工成型煤后可替代块煤使用,同时可防止自燃、复吸等,从而实现长距离运输和储存,如BCB工艺、HPU工艺均附带有加工成型单元。其次应考虑产品加工工艺对提质煤水分的要求,根据提质煤加工工艺水分范围选择经济的低阶煤干燥工艺。最后在满足上述要求的基础上,应尽量选择安全可靠、能耗较小、成本较低的干燥技术。

### 2.2 干燥工艺厂址的选择

低阶煤的干燥如果选择在低阶煤矿附近,含水量高的低阶煤经过干燥后再运输,可明显降低运输成本,但需要综合考虑提质后的低阶煤在运输、储存过程中的自燃、复吸等问题。特别是经蒸发脱水干燥后的低阶煤,应考虑对提质煤进行高温处理、焦油覆盖或成型等处理。低阶煤的干燥工艺选址如果在低阶煤的加工利用工艺附近,会增加高水分原煤的运输成本,但由于提质产品即产即用,通过合理管理即可避免其在储存、运输过程中的自燃、复吸等问题<sup>[15]</sup>。因此,干燥工艺厂址的选择需多方面综合考虑。

### 2.3 干燥介质及能耗的选择

对于低阶煤的蒸发干燥提质工艺,水分主要以气态形式去除,需要通过干燥介质将蒸发出的水分

带出。常选用的干燥介质有空气、带有废热的烟气和水蒸气。干燥介质的选择应因地制宜,同时必须综合考虑其成本及安全性。

干燥能耗是低阶煤干燥过程中运行成本的主要组成部分,可通过干燥能源效率及单位能耗(kJ/kg)定量描述,具体见式(1)、式(2)。

$$\text{能源效率} = \frac{\text{用于水分蒸发的能耗(kJ)}}{\text{进入干燥器的总能耗(kJ)}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{单位能耗} = \frac{\text{进入干燥系统的总能耗(kJ)}}{\text{干燥蒸发水分的质量(kg)}} \times 100\% \quad (2)$$

干燥能耗大小直接影响了干燥工艺的经济性,只有较低的干燥能耗才能够保证干燥工艺的长期运行,并实现其经济价值。不同低阶煤干燥器能耗比较见表2<sup>[15]</sup>。

表2 不同低阶煤干燥器能耗比较

干燥器类型	干燥脱水能耗/(kJ·kg <sup>-1</sup> )
转筒干燥器	3700
列管回转干燥机	2950~3100
箱式干燥器	3150
气流干燥器	3100
流化床干燥器	400~3100
热力脱水干燥器	130~1750
蒸汽流化床干燥器(配套热回收装置)	450

由表2可知,不同干燥工艺的能耗不同,蒸汽流化床干燥器的能耗最低为450 kJ/kg,转筒干燥器的能耗最高为3700 kJ/kg。能耗较高的干燥工艺选择合理的干燥能源时,如高温烟气、水蒸气、余热废热的再利用等,能明显降低能耗成本,实现较好的经济收益。

在选定干燥工艺时,Baker等<sup>[16]</sup>提出可通过以

下几种方法提高干燥系统的能源效率: ①做好干燥系统及气流管道的保温工作以减少热量损失; ②通过回收气流等余热、废热对原料煤或干燥介质进行预热, 实现余热、废热的再利用; ③采用需要较少空气流的间接传热方式等。

### 3 结 语

当前国内外褐煤干燥技术大多处于试验研究和工程化初始应用阶段, 各种不同的低阶煤干燥技术具有自身优势的同时, 也存在明显缺陷。因此, 根据不同的干燥工艺特点, 选择并优化低阶煤提质技术, 使其系统简单可靠、高效低污染、成本低廉, 并尽快实现大规模工程示范应用及技术经济性评价, 满足相关领域对商品燃料煤的需要, 是低阶煤脱水提质技术的整体发展趋势。

参考文献:

- [1] 戴和武, 谢可玉. 褐煤利用技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [2] 陈海旭. 我国褐煤燃前脱灰脱水提质现状 [J]. 中国煤炭, 2009, 35(4): 98-101.
- [3] 屈进州, 陶秀祥, 刘金艳, 等. 褐煤提质技术研究进展 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(11): 121-125.
- [4] WARRACK G, WILLSON, DAN, WALSH, W( BILL) IR-WINC. Overview of low-rank coal(LRC) drying [J]. Coal Preparation, 1997, 18(1-2): 1-15.
- [5] 郭芬, 李德伟, 任伟涛. 新型滚筒式褐煤干燥系统的应用 [J]. 洁净煤技术, 2010, 16(1): 29-31.
- [6] Hyman Herman. The newport experimental drying and pulverizing plant for treatment of brown coal [M]. USA: State Electricity Commission of Victoria Bulletin, 1926.

- [7] Muthusamy Karthikeyan, Wu Zhong-hua, Arun S Mujumdar. Low-rank coal drying technologies-current status and new developments [J]. Drying Technology, 2009, 27(3): 403-415.
- [8] 田忠坤. 管式气流干燥器提质低阶煤理论与技术的研究 [D]. 北京: 中国矿业大学, 2009.
- [9] 朱书全. 褐煤提质技术开发现状及分析 [J]. 洁净煤技术, 2011, 17(1): 1-4.
- [10] George Favas, W Roy Jacksona. Hydrothermal dewatering of lower rank coals. 1. Effects of process conditions on the properties of dried product [J]. Fuel, 2003, 82(1): 53-57.
- [11] Janine Hulston, George Favas, Alan L Chaffee. Physico-chemical properties of Loy Yang lignite dewatered by mechanical thermal expression [J]. Fuel, 2005, 84(14-15): 1940-1948.
- [12] Datin Fatia Umar, Bukin Daulay, Hiromoto Usui, et al. Characterization of upgraded brown coal(UBC) [J]. Coal Preparation, 2005, 25(1): 31-45.
- [13] Muthusamy Karthikeyan, Joshua V M Kuma, Chew Soon Hoe, et al. Factors affecting quality of dried low-rank coals [J]. Drying Technology, 2007, 25(10): 1601-1611.
- [14] Muthusamy Karthikeyan. Minimization of moisture read-sorption in dried coal samples [J]. Drying Technology, 2008, 26(7): 948-955.
- [15] Mahidin, Hiromoto Usui, Singo Ishikawa, et al. The evaluation of spontaneous combustion characteristics and properties of raw and upgraded indonesian low rank coals [J]. Coal Preparation, 2002, 22(2): 81-91.
- [16] Baker, C G J. Energy efficient dryer operation-an update on developments [J]. Drying Technology, 2005, 23(9): 2071-2087.

(上接第38页)

煤泥的水分大, 量多时会影响最终中煤产品的发热量, 从而影响经济效益, 应综合考虑煤泥干燥; 同时留有干燥掺入中煤、矸石产品及落地的通道。当中煤产品水分不满足动力用煤要求时需对煤泥进行部分或全部干燥。主厂房出来的煤泥由带式输送机送入干燥车间的滚筒干燥机干燥, 得到的产品回掺入中煤上仓输送带。

#### 5.8 介质添加

设介质添加装置, 合格磁铁矿粉加水稀释搅拌

后, 用泵打入主厂房合介桶进入介质系统。

### 6 结 论

- 1) 系统可实现原煤全部入选, 全部或部分不入选的功能, 系统灵活, 适应性强;
- 2) 锅炉上煤系统由犁式卸料器改为上煤带式输送机, 系统更加可靠;
- 3) 煤泥可以在主厂房内掺入中煤或矸石, 可以直接落地, 也可以干燥后回掺中煤, 煤泥系统更加灵活。