

维多利亚褐煤干燥气化技术进展

徐春霞^{1,2,3}, 王 鹏^{1,2,3}, 董卫果^{1,2,3}, 杨宗仁^{1,2,3}

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 煤化工分院, 北京 100013; 2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室, 北京 100013;
3. 煤基节能环保炭材料北京市重点实验室, 北京 100013)

摘要: 为实现褐煤清洁高效利用, 在分析维多利亚褐煤煤质特性的基础上, 综述了国外先进的褐煤干燥及气化技术。褐煤干燥工艺主要有蒸发干燥和非蒸发脱水 2 种, 重点分析了磨煤机干燥工艺、褐煤浆生产高致密褐煤球干燥工艺、回转蒸汽管干燥工艺和机械热挤压脱水工艺的工艺流程和应用现状, 其中磨煤机干燥工艺和回转蒸汽管干燥工艺技术比较成熟, 工业应用较多。论述了维多利亚褐煤气化工艺中的褐煤集成干燥气化工艺和增压流化床气化工艺, 提出若将褐煤集成干燥气化工艺中的空气气化改为富氧或纯氧气化, 并通入一定比例水蒸气, 该工艺有望应用于中国煤化工领域, 生产化工合成原料气, 为中国褐煤高效洁净利用提供途径。

关键词: 褐煤; 蒸发干燥; 非蒸发脱水; 褐煤气化; 集成干燥气化

中图分类号: TQ53; TD849 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-6772(2014)05-0040-04

Vitoria lignite drying and gasification technologies

XU Chunxia^{1,2,3}, WANG Peng^{1,2,3}, DONG Weiguo^{1,2,3}, YANG Zongren^{1,2,3}

(1. Beijing Research Institute of Coal Chemistry, Coal Science and Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 100013, China;
2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization (China Coal Research Institute) Beijing 100013, China;
3. Beijing Key Laboratory of Coal Based Carbon Materials Beijing 100013, China)

Abstract: To utilize lignite clean and effectively, introduced advanced drying and gasification technologies of lignite at home and abroad based on the analysis of Vitoria lignite characteristics. Evaporation drying and non-evaporating dehydration technology were the main lignite drying technologies. The technological processes and current states of pulverizer drying technology, lignite ball drying technology, rotary steam tube drying technology and dehydration process with mechanical thermal extrusion were analyzed. The first and third technology were more mature, which were widely used in the industry. The integrated lignite drying and gasification process and the pressurized fluidized bed gasification process were discussed. For the integrated process, it was utilized in coal chemical industry by setting the operation condition in oxygen enriched or pure oxygen and inputting vapour.

Key words: lignite; evaporation drying; non-evaporating dehydration; lignite gasification; integrated drying gasification

0 引 言

澳大利亚褐煤资源极为丰富, 占全球褐煤储量的 20%, 居世界储量第二位。其中, 已探明褐煤储量的 95% 以上及经济可采储量的全部分布在维多利亚三大第三纪盆地^[1]: 墨累 (Murray) 盆地、奥特韦 (Otway) 盆地和吉普斯兰 (Gippsland) 盆地, 而维多利亚褐煤中经济可采储量的 89% 分布于吉普斯

兰盆地的拉特罗布 (Lalrope) 山谷^[2]。维多利亚褐煤的高水分 (45% ~ 75%) 特性严重影响褐煤利用。针对褐煤的干燥气化问题, 国内外研究者进行了大量研究。澳大利亚怀特公司开发的 BCB (Binderless Coal Briquetting) 气流床干燥工艺 2009 年完成了 Cessnock 示范工厂的建设和试运行^[3]; Hulston 等^[4]研究了机械热挤压脱水工艺 (MTE) 中温度和压力对 Loy Yang 褐煤理化性质的影响, 由于 MTE 工艺

收稿日期: 2014-07-25; 责任编辑: 白娅娜 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.05.010

基金项目: 国家国际科技合作计划资助项目 (2010DFB62870); 煤炭科学研究总院基础研究基金资助项目 (2012JC02)

作者简介: 徐春霞 (1982—), 女, 山东日照人, 助理研究员, 硕士, 主要从事煤炭深加工及洁净转化技术的研究。E-mail: xcx7@sohu.com

引用格式: 徐春霞, 王 鹏, 董卫果, 等. 维多利亚褐煤干燥气化技术进展 [J]. 洁净煤技术, 2014, 20(5): 40-43, 48.

XU Chunxia, WANG Peng, DONG Weiguo et al. Vitoria lignite drying and gasification technologies [J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(5): 40-43, 48.

温度较高,使得MTE脱水压力和停留时间降至可控程度,能显著降低褐煤水分;郝正虎^[5]研究了折流下落床高温烟气褐煤干燥技术,说明煤经过高温烟气干燥后水分和热值能达到预计值,干燥效果理想;罗炉林^[6]进行了太阳能干燥褐煤试验,与自然干燥相比,太阳能干燥技术有效利用了太阳能,提高褐煤干燥温度,加快褐煤干燥速率,缩短干燥周期,干燥效果更好;周立荣^[7]分析了蒸汽管回转干燥机在褐煤干燥中的应用;唐宏青^[8]采用气流床气化褐煤,发现褐煤需分选、干燥、破碎、筛分后才能应用该技术。中国褐煤资源储量丰富,但对褐煤干燥和气化研究起步较晚,而维多利亚褐煤干燥气化研究时间长,已有不少技术实现工业化应用。因此,笔者论述

了维多利亚褐煤现有部分干燥和气化工艺,并分析了其优缺点和应用现状,以期为中国褐煤利用提供借鉴,实现中国褐煤清洁高效利用。

1 维多利亚褐煤煤质特性

拉特罗布山谷褐煤属于第三纪年轻低阶煤,其中大部分为软褐煤,其余为硬褐煤。拉特罗布山谷褐煤的煤化程度相对较低,碳含量低($<70\%$)、氧含量高($>25\%$),灰分极低,一般小于 2% (干基)硫含量较低^[9]。拉特罗布山谷褐煤的最重要特性是水分高,新采煤样水分为 $50\% \sim 66\%$ 。这一特点已成为褐煤高效利用的主要障碍。拉特罗布露天矿褐煤煤质特性见表1^[10]。

表1 拉特罗布露天矿褐煤煤质特性

煤样	工业分析/%			元素分析/%			$Q_{gr,d}/$ ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$Q_{net,d}/$ ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)
	M_t	A_d	V_d	$w(C_d)$	$w(H_d)$	$w(S_d)$		
Yallourn 煤层 Y	65.5	1.7	51.1	66.7	4.7	0.3	25.9	7.1
Morwell 煤层 M1	60.1	3.3	48.2	67.8	4.8	0.4	26.5	8.8
Yallourn N 延伸煤层 M2	51.7	4.4	48.8	66.7	4.7	0.5	26.2	11.0
Loy Yang 煤层	M1B	62.5	1.5	51.3	68.3	4.8	27.0	8.1
	M2	61.0	1.7	50.5	69.2	4.9	27.6	8.8

2 维多利亚褐煤干燥技术

褐煤的高水分特性使干燥成为褐煤深加工利用的重要环节。褐煤脱水过程通常分为蒸发干燥和非蒸发脱水。

2.1 蒸发干燥

蒸发干燥中,水的脱除是将相当于水蒸发潜热的热量加到煤样上,使水以气态形式从煤中脱除(包括少量 CO_2 和 CO)。蒸发干燥工艺的缺点是需要大量能量蒸发水分,在没有其他能量的情况下,煤 25% 的能量需用来蒸发水分^[9],这意味着获得单位能量会释放更多 CO_2 。在一些产生相对纯净废热蒸汽的干燥工艺中,蒸汽再压缩和冷凝可回收大部分蒸发热。蒸发干燥又分为直接蒸发干燥和间接加热干燥。直接蒸发干燥工艺主要有磨煤机干燥工艺、褐煤浆生产高致密褐煤球干燥工艺等,间接加热干燥工艺主要是回转蒸汽管干燥工艺。

2.1.1 磨煤机干燥工艺

磨煤机干燥也称快速磨煤机干燥,是目前用于传统褐煤电厂的干燥工艺。工艺流程为褐煤被携带在一股从锅炉出口回流的热气中,磨成细粉并干燥

(图1)。拉特罗布山谷电厂的整体磨煤机干燥工艺中,原料煤粒度很小时,可促进热循环气传热,从而在磨煤机中与随后的喷嘴进料管中完成大部分褐煤干燥^[11-14]。利用部分煤燃烧产生的热气提供热源,通过旋风分离器和粉尘过滤装置将干煤样从热载气中分离出来,磨煤机干燥工艺也可独立运行^[15]。

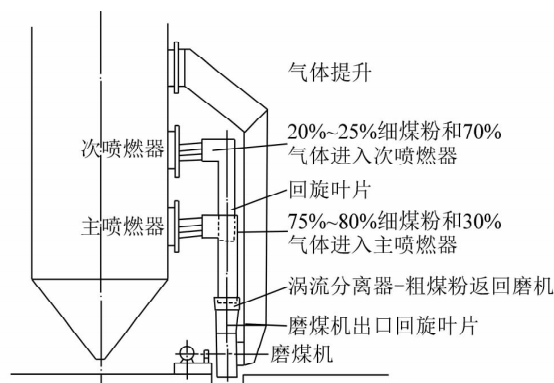


图1 维多利亚褐煤电厂磨煤机干燥和分离点火系统

2.1.2 褐煤浆生产高致密褐煤球干燥工艺

褐煤浆生产高致密褐煤球干燥工艺可将维多利亚褐煤水煤浆转化成高致密褐煤球(块)^[16-18]。该工艺无需额外添加水,煤浆制作只用了褐煤内水。

采用捏合机对褐煤进行研磨,可将褐煤磨至 $5 \sim 10 \mu\text{m}$,物理结构的破坏和孔结构的崩塌可将水从褐煤的有机结构中释放出来,褐煤形成胶体状,容易压制成各种尺寸的球(块)状煤样。这种“绿色”产品在常温条件下自然干燥,煤球(块)体积收缩,收缩的体积相当于其蒸发的水分体积。水分蒸发时,颗粒内部和颗粒之间较强的引力使褐煤成为一种致密的硬产品^[19],其热值相当于烟煤。

有研究者将该工艺进一步开发成“冷干”工艺^[20],利用剪切原理打破煤的碳结构,挤压成棒状型煤,可将水分约60%的褐煤制成水分8%~14%的型煤,所得型煤发热量达到烟煤水平^[21]。

2.1.3 回转蒸汽管干燥工艺

回转蒸汽管干燥工艺是一种间接加热干燥工艺,该工艺在维多利亚和德国型煤工厂中已有应用,如图2所示。回转蒸汽管干燥工艺能将水分高达66%的湿褐煤(Yallourn褐煤)干燥至水分为15%。低压蒸汽(0.45 MPa, 170 °C)^[7]流经转筒壳体,将管束内的煤粉加热,蒸发的水分为管束中的煤粉创造了一个相对惰性的环境。每个回转蒸汽管干燥器中管束的传热面积高达4000 m²。管中的挡板减缓了大颗粒通过干燥器的速度,产品干燥更加均匀。回转蒸汽管干燥工艺具有产品质量易于控制、热利用率高、污染小等优点^[22]。

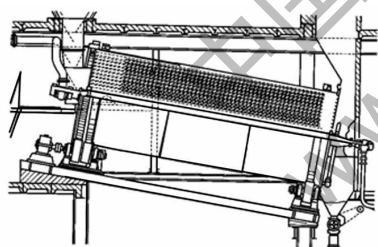


图2 回转蒸汽管干燥器

型煤工厂干燥器利用电厂蒸汽轮机的背压蒸汽干燥褐煤。型煤工厂实际上是一个联产工厂,提供蒸汽用于发电和褐煤干燥,电厂提供能量干燥褐煤的同时,褐煤干燥器能有效充当电厂蒸汽循环中的冷凝器,因此具有比独立电厂更高的整体效率^[9]。

2.2 非蒸发脱水

非蒸发脱水工艺是将水以液态的形式从煤中脱离,节省了水的蒸发潜热,减少了温室气体的排放。一部分可溶性无机盐(尤其是钠)随着液态水排出,降低了煤的灰分,然而这也为废水处理带来困难。非蒸发脱水工艺主要有热能脱水工艺、机械热挤压

脱水工艺(MTE)、有机溶剂脱水工艺。其中最常用的是MTE工艺。

MTE工艺是在 $150 \sim 220 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $2 \sim 12 \text{ MPa}$ 下对褐煤进行热挤压脱水,工艺流程如图3所示。 $150 \sim 220 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度足以“软化”褐煤结构,因此脱水可以在相对低的机械压力和更短的停留时间下进行,同时由于温度较低,可避免褐煤在脱水过程中发生化学变化,但也存在废水的净化与回收再利用问题^[23]。

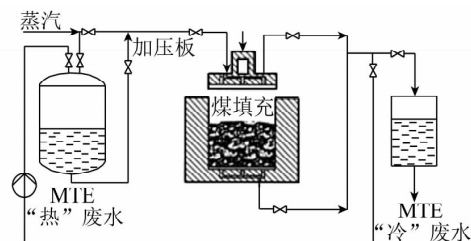


图3 褐煤的机械热挤压脱水工艺

Hulston等^[4]研究表明,温度为 $120 \sim 240 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,水的脱除率随温度的升高大致呈线性增加,当赋予的机械压力从2.5 MPa升到5.1 MPa时,水的脱除率明显升高。进一步将压力从5.1 MPa提高到12.7 MPa,水的脱除率没有明显变化。MTE工艺在较短时间(5~10 min)^[24]和较小能量下,能显著降低褐煤水分。该工艺已进行了1 t/h中试验验证。

3 维多利亚褐煤气化技术

3.1 褐煤集成干燥气化工艺

与高变质程度煤相比,褐煤在中等温度时的反应性和气化速率较高^[25],但褐煤的高水分和低热值特性,使直接以褐煤气化为基础的发电方法,如整体煤气化联合循环发电(IGCC)没有竞争力。因此,干燥是褐煤用于气化发电技术,提高价值的重要环节。澳大利亚HRL提出了适于高水分维多利亚褐煤的集成干燥气化联合循环(IDGCC)工艺流程(图4)^[26]。IDGCC工艺主要包括气流床干燥炉和空气鼓入的流化床气化炉,该工艺的特点在于进料煤在加压下通过与流化床气化炉的热气体直接接触干燥,不需要投资价格昂贵的热交换器。IDGCC工艺主要通过对粉碎褐煤进行干燥、气化、清洁和燃烧来推动燃气轮机发电,然后在热回收流程中通过余热锅炉将回收的能量用于蒸汽轮机发电^[27]。IDGCC工艺具有低成本、高效率、低水耗、低CO₂排放的优势,目前只在发电领域有应用。

2010年9月8日,世界上最大的利用褐煤气化

技术的清洁能源电力项目——澳大利亚 600 MW IDGCC 电站项目总承包合同在北京签署, 总承包商为中国电工设备总公司。该项目位于维多利亚拉特

罗布山谷的 Morwel, 是一个双燃料电站, 可同时使用合成气和天然气, 采用 IDGCC 技术生产合成气^[27]。

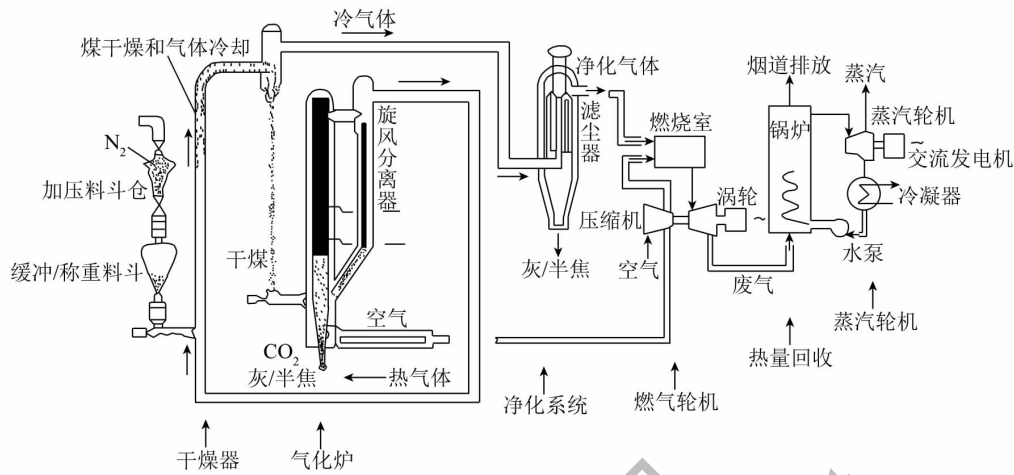


图 4 IDGCC 工艺流程

3.2 增压流化床气化工艺

煤粒和气化剂可在流化床反应器床层中混合均匀, 因此流化床反应器床内温度分布均匀。根据这一特点, Takarada 等^[28]设计了增压流化床气化装置, 测定高压下维多利亚褐煤和水蒸气直接生成 CH_4 的几种催化剂的性能。煤粒一般以 100 g/h 的速率被连续加入电加热增压流化床气化炉内, 水洗后的产品气体, 如 H_2 、 CO 、 CO_2 和 CH_4 , 通过在线红外分析仪进行检测。气化试验显示不黏结褐煤在压力作用下生成大量焦油状物质, 有明显结块现象。但负载催化剂的褐煤中焦油状物质没有大量形成, 因而进料并未受到影响。

4 结 语

褐煤环境友好利用技术的研发, 对实现煤炭资源的可持续发展具有重要作用。中国已探明的褐煤保有储量达到 1300 亿 t, 占到全国煤炭总储量的 13% 左右。由于褐煤水分高, 直接气化会造成一系列后续问题, 如粉化造成移动床气化炉偏烧、沟流及煤气出口粉尘夹带严重等问题, 严重时可导致停炉。采用合适的技术将褐煤干燥后再气化是褐煤气化的发展方向。

褐煤干燥工艺较多, 但干燥费用较高。褐煤集成干燥气化工艺中, 若将空气气化改为富氧或纯氧气化, 并通入一定比例水蒸气, 该工艺有望应用于中国煤化工领域, 生产化工合成原料气, 为中国褐煤的高效与洁净利用提供新的途径。

参考文献:

- [1] Durie R A. The science of Victorian brown coal [M]. Oxford: Butterworth - Heinemann, 1991.
- [2] 澳大利亚的煤炭资源概况 [EB/OL]. (2009-09-25) [2014-07-25]. http://www.canachieve.com.cn/htmlDocument/2009-09-25/detail_90862.html.
- [3] 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.
- [4] Hulston J, Favas G, Chaffee A L. Effect of temperature and pressure on the physico-chemical properties of MTE treated Loy Yang lignites [J]. Fuel 2005 84(14/15): 1940-1948.
- [5] 郝正虎. 折流下落床高温烟气褐煤干燥技术开发与关键技术研究 [D]. 北京: 清华大学, 2011: 90-91.
- [6] 罗炉林. 太阳能干燥褐煤的实验研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2011: 70-71.
- [7] 周立荣. 蒸汽管回转干燥机在褐煤干燥上的应用 [J]. 煤炭加工与综合利用 2010(6): 34-37.
- [8] 唐宏青. 褐煤气流床气化相关问题探讨 [J]. 煤化工 2010(6): 1-6.
- [9] 李春柱. 维多利亚褐煤科学进展 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [10] Barton C M, Gloe C S, Holdgate G R. Latrobe Valley, Victoria, Australia: a world class brown coal deposit [J]. International Journal of Coal Geology 1993 23(1/4): 193-213.
- [11] McIntosh M J. Mathematical model of drying in a brown coal mill system 1: formulation of model [J]. Fuel 1976 55(1): 47-52.
- [12] McIntosh M J. Mathematical model of drying in a brown coal mill system 2: testing the model [J]. Fuel 1976 55(1): 53-58.
- [13] McIntosh M J. Prediction of brown coal drying in a mill - drying system [C] // 1st Australasian conference on heat and mass transfer. Melbourne [s. n.], 1973: 1-8.

(下转第 48 页)

程。在先浮选后磁选流程下,控制精煤产率在62.08%时,能获得灰分5.94%、铁含量0.28%的合格精煤。因此,最终试验流程确定为先浮选后磁选,

精煤产率控制在62.08%内,尾煤综合产率为40.21%、灰分为16.98%,尾煤依然有较好的回收利用价值。

表10 先磁选后浮选流程试验结果

%

试验 编号	磁选尾煤		浮选尾煤		精煤			脱灰率	脱铁率
	产率	灰分	产率	灰分	产率	灰分	铁含量		
1	9.89	44.46	26.60	8.71	66.14	5.75	0.28	63.85	75.63
2	10.10	43.54	28.60	9.60	64.19	5.26	0.27	67.91	77.20
3	10.26	40.48	25.63	9.71	66.74	5.80	0.30	63.20	73.66

3 结 论

通过煤泥单独磁选、浮选试验,确定最佳磁场强度为1.701 T,煤泥粒度-0.25 mm。通过对比先浮选后磁选及先磁选后浮选联合试验流程,发现先浮选后磁选流程优于先磁选后浮选流程。先浮选后磁选流程中,浮选精煤只需简单调浆即可直接用于磁选,省去了一次过滤,经济效益显著。在先浮选后磁选流程下,控制精煤产率在62.08%时,能获得灰分5.94%、铁含量0.28%的合格精煤,满足灰分<6.00%、铁含量<0.3%的工业硅冶炼用烟煤要求。因此,最终试验流程确定为先浮选后磁选,精煤产率控制在62.08%内,尾煤综合产率为40.21%、灰分为16.98%,尾煤依然有较好的回收利用价值。

参考文献:

[1] 甘代顺. 以煤替代木炭生产工业硅[J]. 铁合金, 2002(2):

25-27.

- [2] 刘洪贵. 浅谈降低工业硅中铁含量的途径[J]. 轻金属, 2001(3): 48-51.
- [3] 田逢春. 硅产业发展的云南探索[N]. 云南日报, 2013-05-10(11).
- [4] 单忠建, 叶立贞. 中国煤炭工业百科全书加工利用: 环保卷[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997: 111.
- [5] 张义顺, 史长亮, 马 娇, 等. 煤粉磁选净化技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013: 1-7.
- [6] 徐 博, 徐 岩, 于 刚. 煤泥浮选技术与实践[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 1-70.
- [7] 赵跃民. 煤炭资源综合利用手册[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 342-346.
- [8] 朱复海, 朱申红. 燃煤高梯度磁选脱硫脱灰的试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(7): 61-68.
- [9] 牛 勇, 王怀法. 难浮煤泥浮选工艺研究[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(3): 6-8.
- [10] 王立刚, 陈金中. 澳大利亚 Caim Hill 磁铁矿选矿试验研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2008(3): 20-24.

(上接第43页)

- [14] McIntosh M J. Investigations into the milling of Victorian brown coal for use in power stations [C]//Proceeding of Austilian industry of energy national conference. Melbourne [s. n.], 1985: 67-78.
- [15] Walton G N. Drikol - a new fuel for Victoria [C]//2nd National energy conference. Melbourne [s. n.], 1982: 1-19.
- [16] Johns R B, Chaffee A L, Cain D A, et al. Upgrading solidfuels: US #627575 [P]. 1986-12-09.
- [17] Johns R B, Chaffee A L, Harvey K F, et al. The conversion of brown coal to a dense, dry, hard material [J]. Fuel Processing Technology, 1989, 21(3): 209-221.
- [18] Pandolfo A G, Johns R B. Physical and chemical characteristics of densified low-rank coals [J]. Fuel, 1993, 72(6): 755-761.
- [19] Christie G, Mainwaring D E. Brown coal derived carbonaceous gels part 2: drying mechanisms and shrinkage [J]. Fuel Processing Technology, 1995, 41(2): 125-134.
- [20] Wilson D, Duane D. The coldry process [C]//7th Australian coal

science conference. Gippsland [s. n.], 1996: 559-565.

- [21] 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.
- [22] 余学海, 廖海燕, 翟剑萍, 等. 蒸汽管回转褐煤干燥及传热特性[J]. 洁净煤技术, 2013, 19(1): 52-54.
- [23] 朱 川, 杨晓毓, 邵 甸. 低阶煤干燥脱水技术的研究[J]. 洁净煤技术, 2013, 19(1): 42-47.
- [24] Janine Hulston, George Favas, Alan L Chaffee. Physicochemical-properties of Loy Yang lignite dewatered by mechanical thermal expression [J]. Fuel, 2005, 84(14/15): 1940-1948.
- [25] 范冬梅, 朱治平, 那永洁, 等. 一种褐煤煤焦水蒸气和 CO₂ 气化活性的对比研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(4): 681-687.
- [26] Rousaki K, Couch G R. Advanced clean coal technologies and low value coals [M]. London: IEA Coal Research, 2000.
- [27] 秦 庚. 中澳联手启动世界最大褐煤气化发电项目 [N]. 国际商报, 2010-09-09(10).
- [28] Takarada T, Ohtsuka Y, Tomita A J. Pressurized fluidized-bed gasification of catalyst-loaded Yallourn brown coal [J]. Fuel Society of Japan, 1988, 67(8): 683-692.