

# 低阶煤提质技术现状及发展建议

赵鹏<sup>1,2,3</sup>, 李文博<sup>1,2,3</sup>, 梁江朋<sup>1,2,3</sup>, 谷小会<sup>1,2,3</sup>

(1.煤炭科学技术研究院有限公司 煤化工分院,北京 100013;2.煤炭资源开采与环境保护国家重点实验室,北京 100013;  
3.国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室,北京 100013)

**摘要:**为实现低阶煤的高效利用,分析了我国低阶煤的煤质特征,阐述了国内外低阶煤压缩成型、干燥脱水和低温热解3类提质加工技术的主要特点,综述了国内外具有代表性的低阶煤提质技术的发展现状,重点介绍了国内低阶煤干燥脱水和热解提质的主要示范项目,并对我国低阶煤的利用提出建议。低阶煤热解提质后产物具有水分低,发热量高,不易自燃,便于运输和储存等特点,提高了可靠性和利用率,是未来低阶煤提质利用的重要方向。低阶煤的提质加工应充分考察我国不同地区低阶煤的煤质特征,逐步发展工艺条件温和,过程简单,适合我国低阶煤不同组成及结构特点的机械热压脱水工艺,适合与电厂集成的褐煤固体热载体法干馏技术等,同时开发多联产技术。

**关键词:**低阶煤;成型提质;干燥脱水;热解提质;煤质特征

中图分类号:TD849 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)01-0037-04

## Status and development suggestion of low rank coal upgrading technologies

ZHAO Peng<sup>1,2,3</sup>, LI Wenbo<sup>1,2,3</sup>, LIANG Jiangpeng<sup>1,2,3</sup>, GU Xiaohui<sup>1,2,3</sup>

(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. National Energy Technology and Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China)

**Abstract:** In order to utilize low rank coal efficiently in China, the coal properties at home were analyzed. The drying and dewatering, briquetting and pyrolysis upgrading technologies for low rank coal treatment at home and abroad were compared. The characteristics and development situation of representative upgrading technologies were reviewed. The main demonstration projects of dewatering and pyrolysis at home were highlighted, meanwhile, some suggestions were put forward. The results showed that, after upgrading, the products had lower moisture and higher calorific value, which was easy to transport and store. The research also pointed out that, the development of upgrading technologies should consider fully the coal properties of different districts. With mild reaction conditions and simple process, the mechanical thermal dehydration process (MTE), solid heat carrier distillation process (DG) and poly-generation technologies should be developed.

**Key words:** low rank coal; briquetting and upgrading; drying and dewatering; pyrolysis; coal properties

## 0 引 言

我国煤炭资源储量丰富,低阶煤占我国已探明储量的55%。其中褐煤占总量的13%<sup>[1]</sup>,长焰煤、弱黏煤、不黏煤等低变质烟煤占总量的42%。

2009年以来,我国低阶煤在煤炭总产量中的比例突破40%<sup>[2]</sup>。低阶煤具有碳含量低,水分高,挥发分高,易粉化自燃,浸水、落下强度差等特点,不适宜远距离输送,限制了低阶煤的直接利用,制约了其液化、气化和干馏等转化利用。低阶煤

收稿日期:2014-07-03;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.01.009

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2011CB201303);国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2011AA05A2034);“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAA04B04)

作者简介:赵鹏(1978—),男,辽宁本溪人,副研究员,硕士,从事煤炭直接液化及煤焦油加氢相关领域的研究。E-mail:411296849@qq.com

引用格式:赵鹏,李文博,梁江朋,等.低阶煤提质技术现状及发展建议[J].洁净煤技术,2015,21(1):37-40.

ZHAO Peng, LI Wenbo, LIANG Jiangpeng, et al. Status and development suggestion of low rank coal upgrading technologies [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(1): 37-40.

直接液化具有液化反应活性高、液化条件缓和等特点,但低阶煤高水分和较高的氧含量造成其氢耗较高,废水产生量较大。如何降低直接液化氢耗,减少废水处理量,降低成本是低阶煤液化研究的重点<sup>[3]</sup>。低阶煤气化具有煤气便于输送、净化,工艺设备简单等特点。现有的固定床气化法、流化床气化法和气流床气化法都可用于低阶煤气化,但由于受产地、地质年代等条件制约,低阶煤性质存在一定差异,在选择气化方法时应全面考虑和慎重权衡<sup>[4]</sup>。低阶煤干馏可得到半焦、煤焦油和煤气等多种煤基产品,具有工艺简单,建设投资少,生产成本低,产品可综合利用等特点,不足之处是煤焦油产率低,对褐煤干馏技术的完善及规模化是今后的研究重点<sup>[5]</sup>。近年来,澳大利亚、德国、美国、日本等都在研究开发低阶煤提质工艺和设备。而我国在煤化工火热的大背景下,却出现了大量低阶煤的规划待建项目,行业内缺乏对各类技术的客观分析评价。针对这一问题,笔者系统分析了国内外低阶煤压缩成型、干燥脱水和低温热解3类提质加工技术,对开发适合我国低阶煤煤质特征的提质与转化技术,大力推进工程示范及产业化,实现我国低阶煤的高效利用具有重要意义。

## 1 我国低阶煤主要特点

我国褐煤主要分布在内蒙古东部和云南等地区。近年来我国褐煤探明保有量不断增加,分布区域也扩大到新疆等地,以年老褐煤为主。全水分约为30%,有的高达70%,导致褐煤干燥过程中易粉化,影响成型效果,造成运力浪费。我国大多数褐煤的干基灰分为15%~30%<sup>[6]</sup>,而澳洲、印度尼西亚等国褐煤干基灰分低于5%;我国年老褐煤发热量一般为15.07 kJ/g左右;煤灰熔融性低,软化温度 $ST$ 在1250℃左右。

低变质烟煤主要分布在陕西、内蒙古西部和新疆,其最大特点是低灰、低硫、活性高、可选性好。其中,不黏煤平均灰分11%,硫分0.7%;弱黏煤平均灰分10%,硫分0.8%。总体上看,不黏煤和弱黏煤的煤质均好于我国其他低阶煤。如大同弱黏煤,神府矿区和内蒙古西部东胜煤田的长焰煤、不黏煤,一般灰分为5%~10%,硫分小于0.7%,被誉为天然精煤,均为优良的低阶煤资源。

## 2 低阶煤提质利用技术现状

### 2.1 成型提质技术

成型提质是以一定比例的黏结剂为辅料,经过一系列高压或剪切等物理作用,从本质上改变煤阶,得到具有一定形状、尺寸及理化性质的块煤制品。目前,成型提质技术分为无黏结剂和有黏结剂2种。

1) 无黏结剂成型技术。德国褐煤无黏结剂成型工艺在19世纪50年代就已经实现了工业化,后来推广到澳大利亚和印度等国家。在我国,具有代表性的是神华宝日希勒 $2 \times 0.5$  Mt/a褐煤提质工业试验项目<sup>[7]</sup>。无黏结剂成型采用脱水热压提质(HPU)技术。2008年开工,2009年10月试车成功,型煤成球率较高,水分低于8%,发热量提高了40%。

2) 黏结剂成型技术。黏结剂成型技术是针对高变质褐煤开发的。最具代表性的是日本神户制钢所的UBC(Upgraded Brown Coal)工艺<sup>[8]</sup>。国内李登新等<sup>[9]</sup>研究的黏结剂FX适用于褐煤成型,干粉煤与黏结剂FX混合压力成型,自然风干即可制得工业型煤。

### 2.2 干燥脱水技术

低阶煤脱水提质是解决长途运输和提高经济价值的有效途径,目前低阶煤脱水技术分为机械脱水、蒸发脱水和非蒸发脱水(图1)。由于机械脱水能力和效率很难达到要求,因此,蒸发脱水和非蒸发脱水备受关注。

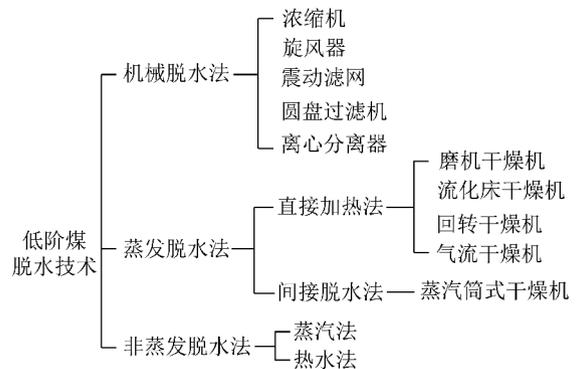


图1 低阶煤脱水技术分类

#### 2.2.1 蒸发脱水法

1) 直接加热法。以流化床干燥技术为代表,分为蒸汽流化床工艺和烟气流化床工艺。德国莱茵褐煤公司和鲁奇公司建立了2个15万t/a示范厂。蒸汽流化床<sup>[10]</sup>干燥器的温度为106~120℃,流化蒸汽压力为15~25 kPa,加热蒸汽压力为400~500

kPa,产品水分10%~20%。水蒸汽干燥消除了燃烧和爆炸危险,热效率高,减少了粉尘排放。烟气流化床干燥工艺与蒸汽流化床干燥工艺相似,但需考虑着火与爆炸问题。

2)间接脱水法。以蒸汽筒式干燥技术为代表,分为燃烧烟气与水蒸汽的干燥工艺。蒸汽筒式干燥技术采用低压饱和蒸汽间接加热,具有连续稳定和安全可靠等特点。德国莱茵型煤原料采用转筒式干燥器<sup>[11]</sup>,具有工艺操作简单,投资较低等特点。其工艺参数为:停留时间25~30 min,转速0.5~2.0 r/min,压力0.5 MPa,干燥介质温度185℃,水分降至12%~18%。

### 2.2.2 非蒸发脱水法

非蒸发脱水法以高温高压蒸汽干燥技术为代表。蒸汽与低阶煤接触,部分矿物质溶于水排出,降低了灰分,水分以液态形式脱出,无需消耗蒸发潜热,提高了热效率。

K燃料工艺首先由美国KFx公司在20世纪80年代开发<sup>[12]</sup>,已进入工业应用阶段,类似技术还有乌克兰的热压处理工艺。日本也开发出D-K非蒸发脱水工艺,实现了褐煤在非蒸发条件下加热干燥。

### 2.2.3 我国典型的低阶煤干燥技术及示范

针对我国低阶煤的煤质特性,国内许多高校、科研机构和发电企业开展了低阶煤干燥技术研究。白音华低阶煤提质干燥技术可将褐煤发热量提高

30%,核心设备为振动混流干燥器和复合式干选机,规划规模1500万t/a,一期300万t/a,建设2条150万t/a生产线。大唐华银电力股份有限公司低阶煤干燥提质示范项目利用气载体分步干燥、低温热解、固体产品钝化,获得性质稳定、发热量高的固体产品,一期工程建设规模1000t/d。大唐国际锡林浩特矿业公司褐煤干燥项目采用滚筒干燥技术,实现了褐煤不同程度的干燥,水分可降至15%以下,热值由12.56~13.82 kJ/g提升至18.84 kJ/g,规划规模2000万t/a。该技术虽能降低水分,但无法有效提质,水分复吸严重,存在系统安全问题。呼伦贝尔金新化工有限公司型煤工艺采用德国蒸汽管式干燥技术,于2011年7月投料试车,产出型煤产品,型煤生产能力100万t/a,原煤消耗量125万t/a。

此外,清华大学、浙江大学和中国煤炭科工集团唐山研究院有限公司等也在开发褐煤提质技术,如微波提质,太阳能提质<sup>[13]</sup>等。

## 2.3 热解提质技术

低阶煤热解提质后,水分明显降低,发热量大幅提高,不易自燃,便于运输和储存,提高了可靠性和利用率,是未来低阶煤提质利用的重要方向。

### 2.3.1 国外热解提质技术

国外对低阶煤热解提质技术进行了大量研究,典型工艺见表2。

表2 国外典型热解提质工艺

工艺	加热方式	原料	目标产品	规模	存在问题
ACCP(Advanced Coal Conversion Process)	气体热载体	褐煤	半焦	1632 t/d 工业示范	热解温度低,半焦存在自燃问题,不适合长途运输
LFC(Liquid From Coal)	气体热载体	褐煤、次烟煤	半焦	1000 t/d 商业示范	焦油品质控制及后续系统堵塞问题
L-R(Lurgi-Ruhrgas)	固体热载体	褐煤、不黏煤、弱黏煤、油页岩	焦油、半焦、煤气	800 t/d 工业装置	不适于黏结性煤,磨损和设备放大等方面存在问题
回转炉褐煤热解提质工艺(Tos-coal)	固体热载体	油页岩、褐煤	焦油、半焦、煤气	200 t/d 工业化	粉尘易沉积和堵塞,能耗高,生产能力有限

西部能源公司开发的ACCP热解工艺于1992年7月开始运行,采用热处理耦合浮选技术,低阶煤热值显著提高。美国的LFC技术将煤的干燥、热解和钝化相结合,将低阶煤提质成性质稳定的低硫高热值燃料,同时可得到部分经济价值更高的低硫工业燃料油副产物。内热式固体热载体的

典型工艺为德美联合开发的L-R低温热解工艺。预热的原煤与热半焦在干馏器内混合热解,生成的半焦返回干馏器,同时得到高热值煤气。Tos-coal回转炉热解工艺是美国油页岩公司和Rocky Flats研究中心针对褐煤开发的提质工艺。热瓷球与煤在热解炉中充分混合,热解后与提质煤分离,

处理后循环使用<sup>[14]</sup>。

近年来,太阳能热解低阶煤引起了许多学者的关注。美国怀特沙漠试验地区堪莫尔实验室利用太阳能进行了气化试验。利用定日镜将阳光反射到聚光器上,形成直径 12.7 cm 的光斑,将煤炭加热到 1920 ℃,产生了含有 CO<sub>2</sub>、CO、H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和碳氢化合物的可燃煤气<sup>[15]</sup>。

### 2.3.2 国内热解提质技术

国内研发了多项低阶煤热解提质成套工艺<sup>[16]</sup>,并进行了工业示范。煤炭科学研究总院针对我国低阶煤开发了多段回转炉温和气化工艺(MRF),建设了 167 t/d 工业示范装置。采用多段串联回转炉,经过干燥、热解、增碳等热加工,低阶煤转变为中热值煤气、焦油以及优质半焦。其中煤焦油加工采用煤炭科学研究总院自主研发的非均相催化剂悬浮床加氢专利技术,轻质油收率 87%~93%,远高于市场上同类技术。自主研发的煤焦油专用催化剂添加量低,活性高,可获得高附加值的酚类化合物,降低了加氢催化剂活性和床层操作稳定性的影响。

大连理工大学开发的褐煤固体热载体新法干馏(DG)技术,在万吨级装置上进行了不同煤种和不同批次的工艺试验。该工艺具有煤气热值高、焦油产率高、单套装置处理量高、废水量小等优点,但气固分离设备较多。

北京柯林斯科技发展有限公司在改性提质带式干燥炉基础上研发了带式炉低温干馏技术,并进行了 150 t/d 工业试验。加热方式为气体热载体,反应器采用变温带式炉,具有安全性高、热烟气含氧量低、烟气达标排放、提质效率高等特点,但入料只能采用 15~30 mm 块煤,存在一定安全隐患,有热量损失。

## 3 发展建议

近 10 年来,随着我国优质煤炭资源量的减少,储备丰富的“劣质”低阶煤资源优势逐渐显现。低阶煤的提质加工技术成为我国煤化工发展的热点,但尚处于起步阶段,在引进国外先进技术的同时,还要加强自主创新,充分考察我国不同地区低阶煤的煤质特性,逐步发展工艺条件温和,过程简单,适合我国低阶煤结构特点的机械热压脱水工艺(MTE),适合与电厂集成的褐煤固热载体法干馏技术(DG)等,同时开发多联产技术,高效利用我国丰富的低阶煤资源。

## 4 结 语

我国褐煤以年老褐煤为主,灰分较高,成型和分选性能较差;而我国低变质烟煤具有低灰、低硫、高活性和可选性好等特点。因此褐煤加工路线应集中在干燥脱水,加强褐煤对锅炉和气化炉的适应性。此外自燃、粉尘污染、适宜的产品目标和工艺路线等问题都需要在生产实践中逐步解决。另外还需进一步完善与优化低阶煤提质加工中多种单项技术的集成,联产多种高附加值清洁燃料、化工原料以及热能、电力等产品,实现低阶煤分级分质利用,促进我国煤炭转化产业结构调整和优化升级。

### 参考文献:

- [1] 谢克昌.高碳能源要低碳化利用[J].山西能源与节能,2010(4):1-4.
- [2] 曲思建,王琳,张颀,等.我国低阶煤转化主要技术进展及工程实践[C]//中国煤炭学会成立五十周年高层学术论坛论文集.北京:[s.n.],2012:1-10.
- [3] 赵鹏,刘立麟,高占先,等.胜利褐煤在液化预反应中氧脱除的初步研究[J].煤炭转化,2009,32(3):44-47.
- [4] 戴和武,谢可玉.褐煤利用技术[M].北京:煤炭工业出版社,1999:183-195.
- [5] 陈清如,刘炯天.中国洁净煤[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009:205-210.
- [6] 白向飞.中国褐煤及低阶烟煤利用与提质技术开发[J].煤质技术,2010(6):9-10.
- [7] 王纪华,马艳梅,赵宏宇,等.宝日希勒褐煤的热压提质试验研究[J].洁净煤技术,2012,18(3):33-36.
- [8] Datin Fatia Umar, Bukin Daulay, Hiromoto Usui, et al. Characterization of upgraded brown coal (UBC) [J]. Coal Preparation, 2005, 25(1): 31-45.
- [9] 李登新,孟繁玲,林永富.褐煤有粘结剂冷压成型研究[J].煤,1998,7(6):24-25,49.
- [10] Willson W G, Walsh D, Irwin W. Overview of low-rank coal (LRC) drying [J]. Coal Preparation, 1997, 18(1/2): 1-15.
- [11] 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.
- [12] 方雪平,赵坚宇,孙利美,等.K燃料褐煤提质工艺技术[J].煤炭加工与综合利用,2011(2):52-54.
- [13] 虞晋杰,刘建忠,王传成,等.低阶煤脱水提质技术发展现状[J].热力发电,2011,40(9):1-4.
- [14] 游伟,赵涛,章卫星,等.美国低阶煤提质技术发展概述[J].化肥设计,2009,47(4):5-9.
- [15] 金会心,郭森魁,王华.利用太阳能对褐煤进行热解的可行性及其发展前景[J].能源工程,2000(2):7-9.
- [16] 邵俊杰.褐煤提质技术现状及我国褐煤提质技术发展趋势探讨[J].神华科技,2009,7(2):17-22.