

# 小粒径低阶煤低温热解研究进展

朱海月

(大同煤矿集团有限责任公司,山西大同 037000)

**摘要:** 介绍了国内外主要小粒径低阶煤低温热解技术以及粉尘分离技术的研究进展,对比分析了各种主要技术的优缺点。指出中国煤拔头技术、固体热载体技术以及流化床热解技术经过多年的研究和发展的,具有可获得清洁气体燃料、高价值油品及优质固体燃料等优点,是适合中国目前低阶煤资源开采特点的加工技术。同时也指出为克服现有粉尘分离等技术的不足,开发新一代具有操作简单、低投资、高煤气热值、高焦油产率、高热效率以及高效气固分离特点的低温热解工艺及装置,已成为该技术进一步发展亟待解决的问题。

**关键词:** 小粒径煤; 热解; 半焦; 焦油产率

中图分类号: TQ534; TD849

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2013)03-0079-04

## Research progress of small sized low rank coal pyrolysis at low temperature

ZHU Haiyue

(Datong Coal Mine Group Co., Ltd., Datong 037000, China)

**Abstract:** Introduce the research progress of small sized low rank coal pyrolysis technologies at low temperature and gas-solid separation technologies in domestic and abroad, compare the advantages and disadvantages of these technologies. After many years of research, coal topping, solid heat carrier, fluidized bed pyrolysis technology have proved to be suitable for low rank coal in China for these technologies produce clean coal gas, high quality oil and coke. To better separate gas from solid, it needs to develop new type pyrolysis technology which is easy to operate, low investment, has high tar yield, thermal and gas-solid separation efficiency.

**Key words:** small sized coal; pyrolysis; semicoke; tar yield

中国低阶煤炭资源丰富,储量约占煤炭总储量的55%,其产量由2006年的9000多万t增长到2012年的3.5亿t。但随着综采率的提高,小粒径煤所占比例越来越大,如何高效利用小粒径煤已成为煤炭企业关注的焦点问题。低阶煤经热解可获得清洁的气体燃料、高价值的油品及优质的固体燃料,是煤炭综合利用的主要技术路径。中国从20世纪五六十年代开始发展煤炭热解技术,开发出多种低温热解技术,许多技术已经领先国外同类技术。然而截止目前,尚没有成熟的工业化应用业绩,有些项目正处于示范阶段,距离成熟还有很多工程问题需要解决。

## 1 国内外主要低温干馏技术

### 1.1 国外主要低温热解技术

#### 1) 西方热解(Garrett)工艺

西方热解工艺由美国Garrett公司开发<sup>[1]</sup>,后与西方石油公司合作,对原工艺进行了发展和改进。主要工艺流程:原料煤被粉碎至0.074 mm以下,再与热载体半焦混合进入热解装置,约在1 s内快速升温至280℃左右,最高反应压力为344 kPa。由于在热解装置内的停留时间不超过2 s,因此可有效控制产生焦油的二次裂解。原料煤通过煤气送入,煤气循环使用。半焦通过旋风器捕集,由煤气提供热

收稿日期:2013-03-11 责任编辑:宫在芹

作者简介:朱海月(1967—),男,山西大同人,研究生,工程师,现任大同煤矿集团机电管理处处长。

引用格式:朱海月.小粒径低阶煤低温热解研究进展[J].洁净煤技术,2013,19(3):79-82.

量 循环半焦温度 650 ~ 870 °C。

该工艺特点: ①用半焦做热载体,采用气流床在很短时间内快速热解,可有效防止焦油二次裂解以提高收率;②加热快速,焦油二次裂解程度低,焦油收率较高。但焦油与半焦粉尘容易在管路和旋风器内壁附着,影响系统正常运行;同时原料煤和循环半焦间的充分混合加剧了煤的微粉碎,使半焦的循环量增大,难以提高系统的处理能力。

### 2) COED 工艺

COED 工艺是由美国 FMC 公司开发,后与美国钢铁公司合作,研究通过多段流化干馏,以制取煤气、焦油和半焦产品<sup>[1]</sup>。其工艺流程:破碎至 -3.2 mm 的原料煤进入温度逐渐升高的多段流化热解炉。为保证原料煤不发生熔融凝聚,各热解炉温度的设定都低于煤的软化温度。各段产生的热解气体与原料煤对流接触,起流化作用。在最终段底部向热解炉里通蒸汽和氧气,使部分半焦气化和燃烧,产生的高温煤气供入前段和再前段的热解炉,炉内压力偏低,为 42.7 ~ 72.9 kPa。干馏炉一般为 4 段,其段数随煤种改变,褐煤和次烟煤为 2 段。焦油收率为 20% ~ 25%,煤气收率为 15% ~ 30%。

该工艺特点:对煤种的适应性强,热效率高达 90%,但其流程较为复杂。由于焦油中含有较多细粒半焦,在操作性和规模放大上尚存在一定问题。

### 3) Toscoal 热解工艺

Toscoal 低温热解工艺是由美国油页岩公司开发,使用陶瓷球作为热载体<sup>[2-3]</sup>。其工艺流程: -6 mm 粉煤供入提升管后,由热烟气将其预热至 260 ~ 320 °C,预热后的粉煤与高温瓷球混合进入旋转滚筒热解反应器,热解温度为 427 ~ 510 °C。产生的煤气与焦油由旋转滚筒顶部引出,通过气液分离器对其进行分离;陶瓷球由滚筒内置筛网与半焦进行分离,由斗式提升机送入加热器循环使用。

该工艺特点:采用陶瓷球做热载体,将粉煤快速热解获得煤气和焦油。但由于陶瓷球被反复加热循环使用,存在热容量和磨损问题。同时黏结性煤在干馏过程中会在陶瓷球上黏附,该工艺仅适用于弱黏结性和非黏结性煤。

### 4) LR 工艺

LR 工艺由鲁奇和鲁尔公司开发,以高挥发分(35% ~ 46%)低阶煤制取焦油<sup>[4-5]</sup>。其工艺流程:煤经螺旋给料器送入导管,由煤气送入热解炉,采用机械搅拌混合,热解温度为 480 ~ 590 °C。热解

产生的半焦部分作为燃料,部分进行循环使用;煤气与焦油由气液分离器分离。

该工艺适用于非黏结性煤和弱黏结性煤。其特点是:利用循环半焦和热解气做为热载体用于煤的热解和干燥,热效率较高。缺点是存在焦油中固体颗粒物含量较高、焦油和粒子在系统凝集、机械搅拌磨损和装置放大等问题。

### 5) ETCH 工艺

ETCH 工艺是由前苏联研究和开发<sup>[6]</sup>。以褐煤和泥炭为原料,半焦为热载体,进行了 ETCH - 6 t/h 和 ETCH - 175 t/h 试验。其工艺流程与 LR 工艺相似,原料煤与温度为 550 °C 热烟气混合加热到 100 ~ 120 °C,在提升管内与热粉焦混合进入热解装置内进行热解反应,煤气和焦油由气液分离器进行分离,半焦由底部排出,部分去提升管燃烧升温,作为热载体循环使用,其余作为产品。此类固体热载体煤热解工艺尽管起步很早,但一直未能实现商业化。

### 6) 其它干馏工艺

澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)开发了流化热解工艺,并进行 0.55 t/d 的中间试验。日本先后建立了原料煤处理量分别为 7 t/d 和 100 t/d 的快速热解中试验装置<sup>[7]</sup>。该工艺主要存在细粉分离与排出等问题。

## 1.2 国内主要低温干馏技术

### 1) 直立炉工艺

按加热方式不同,直立炉工艺可分为外热式和内热式。外热式直立炉国外主要有英国伍德炉和德国考伯斯炉等,国内主要有鞍山焦耐设计院的 JLW、JLK 和 JLH - D 型直立炉等<sup>[8-10]</sup>。外热式直立炉炭化室和燃烧室相互独立,热解速度慢,生产能力低,目前应用较少。内热式直立炉采用气体热载体进行加热,气流逆向通入,热解过程分为干燥和预热段、热解段、半焦冷却段。该工艺具有换热系数高、产量大、整体技术成熟度高等优点。主要存在的问题:煤气热值低,焦炭含水量高,水耗量大,不适合小粒径煤。

### 2) DG 固体热载体干馏工艺

DG 固体热载体干馏工艺由大连理工大学开发<sup>[11]</sup>,由干燥、半焦流化燃烧、煤焦混合、煤干馏、煤气及焦油回收分离等系统组成。工艺流程: -6 mm 的粉煤与热载体半焦经混合后,被送入热解装置进行干馏。半焦热载体在提升过程中被加热,通过储槽进入热解装置循环使用。该工艺存在气固分离

设备复杂,半焦与焦油在管道及分离器内壁凝集造成堵塞等问题。

### 3) MRF 多段回转炉热解工艺

MRF 多段回转炉热解工艺是由煤炭科学研究总院针对低阶煤综合利用而开发的一项技术<sup>[12-13]</sup>。该热解工艺的主体是 3 台串联的卧式回转炉,通过多段串联回转炉对低阶煤进行热解,从而获得煤气、焦油和半焦。主要工艺流程:6~30 mm 原料煤经干燥后在热解炉中被间接加热,温度为 550~750 °C 的挥发分从专设的管道引出,经冷却后分离煤气和焦油。热半焦用水冷却排出。该工艺的主要问题:能耗较高,粉尘不能分离,装置稳定性差。

### 4) ZDL 流化床热解及移动床热解工艺

ZDL 流化床热解工艺是以浙江大学为代表<sup>[14-15]</sup>,以循环流化床锅炉循环热灰或半焦为热源的热电气多联产工艺。特点:煤在流化床气化炉中完成热解、部分气化等过程,产生的气体经净化除尘后供出,半焦及换热后的循环灰一起送入循环流化床锅炉进行燃烧,放出热量产生过热蒸汽用于发电、供热。该工艺存在的主要问题:煤气净化系统及下料部分堵塞;半焦在返料管中结块;气化和燃烧温度偏高,控制较难。

移动床热解工艺与以流化床热解为基础的多联产工艺相似,主要差别是移动床热解工艺的气化

室采用移动的气化床。该工艺存在煤和高温热灰混合不均匀、冷却回收系统不完善、热量循环利用率低等问题。

### 5) 煤拔头工艺

煤拔头工艺是国家“863”计划重点支持科研项目,由中国科学院过程工程所完成<sup>[16]</sup>。其核心工艺是煤炭的分级转化,即在煤炭发电燃烧之前先经热解、分离和冷却等过程,回收煤炭中的焦油和煤气,半焦再用于发电,实现煤炭高效综合利用。工艺流程:煤粉由下行床顶部给入,与来自提升管的循环热量混合升温,在常压、500~700 °C 的条件下完成煤炭的快速热解过程。热解产生的气体在下行管底部分离后,进入冷却系统进行冷却,最终得到煤焦油产品。该工艺目前主要为配合电厂运行而设计,面临的问题是热解煤气被直接燃烧发电,没有进行深加工产生高附加值油品;热循环灰连续输送尚不稳定。

## 1.3 热解技术原理比较

技术原理是影响产品和工业化程度的主要原因。其中,国内研究主要技术发展较为迅速,DC 固体热载体干馏工艺、ZDL 流化床热解、移动床热解工艺及“煤拔头”工艺具有热效率高、规模放大性好等优点,现仍在研究完善,是目前主要的发展方向。表 1 为煤炭热解技术原理比较。

表 1 煤炭热解技术原理比较

热解工艺	原理与特点	优点	不足
Garrett	混合热解	快速加热,焦油二次裂解程度低,焦油收率较高	焦油和粉尘在系统附着;微粉破碎加剧,系统处理能力难以提高
COED	多段流化干馏	对煤种的适应性强,热效率很高	流程复杂,焦油含半焦高,操作性和规模放大存在问题
Toscoal	陶瓷热载体	快速加热干馏得到焦油	陶瓷球存在热容量和磨损等问题
LR	半焦及热解气体热载体	快速加热,热效率高	焦油颗粒物含量高、系统凝集、机械搅拌磨损和装置放大等问题
ETCH	半焦热载体	与 LR 法相似	起步较早,未实现商业化应用
三段炉	直立气体热载体	单系列产量增加	煤气热值低,焦炭含水高,水耗量较大,不适合于小粒径煤
DC	直立循环流化床	快速加热,热效率高	半焦细粒子与焦油在系统凝集
MRF	多段回转炉	直接干燥	能耗较高,未能很好解决粉尘分离
流化床热解、移动床热解	热灰热载体	热效率高,规模放大性好,双回路循环系统,连续运行,适应煤种广	系统堵塞,煤与热灰均匀混合问题
BT	循环流化床热解	实现煤炭分级转化,焦油和煤气优先利用,半焦再用于发电	热解煤气被直接燃烧发电,未能产生高附加值产品

## 2 粉尘分离

在煤热解工艺中,气体会将细颗粒带出热解炉。细颗粒一旦进入冷凝系统会直接影响焦油的品质和系统稳定运行,因此气固分离技术是制约大规模工业化的难题之一。目前针对热解工艺粉尘分离采用的设备主要有旋风分离器、表面过滤器、深层过滤器和静电除尘器等<sup>[17]</sup>。深层过滤器移动床过滤工艺是目前主要的研究和发展方向。其特

点是:①滤料颗粒依靠自重缓慢向下移动,含尘气体流经颗粒料层(按照气固两相接触方式的不同,分为错流式、逆流式和并流式),携带粉尘的滤料连续移出过滤器,清灰后滤料可重复使用;②移动床过滤器除尘效率高,压降稳定,可连续过滤;③选择具有脱硫(或脱除其它污染物如 HCl, NH<sub>3</sub>, 碱金属蒸气等)活性的介质作为滤料,可实现气体除尘与净化一步完成<sup>[18]</sup>。

表 2 为各种除尘工艺应用对比。

表 2 各种除尘工艺应用对比

工艺名称	阻力	除尘效率	运行费用	应用效果
旋风分离	700 ~ 1000 Pa	低	低	需进一步验证和示范实验
静电除尘	<200 Pa	高	高	难以大规模应用
陶瓷表面过滤	压降较大	高	高	高温气体净化为主要研究方向
金属表面过滤	压降较大	高	高	需频繁反吹再生
移动床过滤	压降较小、稳定	高	较低	主要发展方向

## 3 结 论

目前国内外对小粒径低阶煤加工进行了大量的研究与开发,中国因煤炭加工发展的需求,开发了多种热解技术,同时也对粉尘分离、降低能耗、规模放大等关键课题进行了深入研究。其中,移动床过滤工艺具有系统阻力损失小、过滤效果好、运行费用低等优点,是未来解决粉尘分离问题的重点研究和研究方向。

### 参考文献:

[1] 郭树才. 煤化工工艺学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1992.

[2] M T Atwood, B L Schulman. Toscoal process dash pyrolysis of western coals and lignites for char and oil production [J]. Preprints of Papers American Chemical Society Division of Fuel Chemical, 1977, 22(2): 233 - 252.

[3] F B Carlson, L H Yardumian, M T Atwood. Toscoal process for low temperature pyrolysis of coal [J]. Transactions of the Society of Mining Engineers of AIME, 1974, 256(2): 128 - 131.

[4] R W Rammler, K Lurgi. Synthetic fuels from Lurgi coal pyrolysis [J]. Energy Progress, 1982, 2(2): 121 - 129.

[5] 郭树才. 煤和油页岩新法干馏技术 - LR 固体热载体快速热解法 [J]. 煤炭化工设计, 1986(4): 59 - 71.

[6] 洛仲决, 王勤辉, 方梦祥, 等. 煤的热电气多联产技术及工程实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.

[7] 徐振刚. 日本的煤炭快速热解技术 [J]. 洁净煤技术, 2001, 7(1): 48 - 56.

[8] 周建明, 巩志坚, 李万众. 带焦油回收装置的混热式直立炉 [J]. 燃料与化工, 2003, 34(3): 118 - 120.

[9] 赵杰, 陈晓菲, 高武军, 等. 内热式直立炭化炉干馏工艺及其改进方向 [J]. 冶金能源, 2011, 30(3): 31 - 33.

[10] 徐瑞芳. 陕北煤低温干馏生产工艺及改进建议 [J]. 洁净煤技术, 2010, 16(2): 41 - 44.

[11] 周颖, 郭树才. 褐煤固体热载体干馏新技术——固体热载体循环系统设计 [J]. 煤化工, 1998, 5(2): 13 - 16.

[12] 杜铭华, 戴和武, 俞珠峰. MRF 年轻煤温和气化(热解)工艺 [J]. 洁净煤技术, 1995, 1(2): 30 - 33.

[13] 马国君, 戴和武, 杜铭华. 神木煤回转炉热解实验研究 [J]. 煤炭科学技术, 1994, 22(11): 37 - 39.

[14] 岑可法, 方梦祥, 骆仲决, 等. 循环流化床热电气三联产装置研究 [J]. 工程热物理学报, 1995, 16(4): 499 - 502.

[15] 方梦祥, 骆仲决. 循环流化床热、电、气三联产装置的开发和应用前景分析 [J]. 动力工程, 1997, 17(4): 21 - 27.

[16] 王杰广, 吕雪松, 姚建中, 等. 下行床煤拔头工艺的产品产率分布和液体组成 [J]. 过程工程学报, 2005, 5(3): 241 - 245.

[17] 吴晋沪. 移动床高温煤气除尘基础研究 [D]. 太原: 中国科学院研究生院(山西煤炭化学研究所), 1998.

[18] 赵建涛, 黄戒介, 吴晋沪, 等. 高温气体脱硫除尘一体化过程研究 [J]. 煤炭转化, 2001, 24(2): 6 - 12.