

# 低阶粉煤热解-气化一体化装置构想

龙 东 生

(中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司,辽宁 沈阳 110015)

**摘 要:**为了实现《煤炭深加工产业示范“十三五”规划》中指出的研发清洁高效的低阶煤热解技术、攻克粉煤热解等关键技术及开发热解-气化一体化技术目标,通过阐述煤的热解和气化反应原理及目前普遍存在的热解、气化分产现实,提出了以分质产品、物料互给、热能循环、积木组合、塔状结构等理念的一体化技术路线,并构想了一种双塔结构的低阶粉煤低温热解-气化一体化装置,介绍了该构想的理论基础、工艺流程、部件结构和主副塔组合方案。该构想装置可以将低阶粉煤分质生产出热解水蒸气、低温热解煤气、气化煤气、半焦等产品,为煤炭梯级延伸加工提供条件。

**关键词:**低阶煤;粉煤;热解;气化;一体化

中图分类号:TQ530.2;TQ54 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2017)05-0046-04

## Integration of pyrolysis and gasification of low rank pulverized coal

LONG Dongsheng

(CCTEG Shenyang Engineering Co., Ltd., Shenyang 110015, China)

**Abstract:** In order to achieve the objectives of research and development of clean and efficient lowrank coal pyrolysis technology, overcoming the key technologies such as pulverized coal pyrolysis and development of pyrolysis-gasification integration technology pointed out in 13th Five-Year Plan for Coal Deep Processing Industry Demonstration. By expounding the principle for coal pyrolysis and gasification reaction, and the current reality of widespread pyrolysis and gasification separate generation, the integrated technical route was put forward to take quality-divided products, materials reciprocation, heat cycle, modular combination and tower structure as the concept, conceives a low-rank pulverized coal pyrolysis-gasification integration device with double tower structure. Theoretical basis, technological process, component structure and main and auxiliary tower combination scheme of the conception were introduced. The conception device can produce pyrolysis water vapor, low temperature pyrolysis gas, gasification gas, semi-coke and other products on the divided-quality basis from low-rank pulverized coal, and provide conditions for coal cascade extension processing.

**Key words:** low rank coal; fine coal; pyrolysis; gasification; integration

## 0 引 言

2017年,我国首次对外发布《能源生产和消费革命战略(2016—2030)》,提出“2021—2030年能源消费总量控制在60亿t标准煤以内,非化石能源占能源消费总量比重达到20%左右”,同时指出“到2020年全面启动能源革命体系布局,推动化石能源清洁化,根本扭转能源消费粗放增长方式,实施政策导向与约束并重”<sup>[1]</sup>。到2030年我国能源消费依

旧以化石能源为主,但化石能源要走清洁化之路。我国低阶煤资源储量丰富,占我国煤炭储量及煤炭产量的50%以上,是重要的能源资源。

同年,国家能源局颁布的《煤炭深加工产业示范“十三五”规划》(下面简称《规划》)中指出,低阶煤分质利用的功能定位是“对成煤时期晚、挥发分含量高、反应活性高的煤进行分质利用,通过油品、天然气、化学品和电力的联产,实现煤炭使用价值和经济价值的最大化”,《规划》同时指出低阶煤分质

收稿日期:2017-07-21;责任编辑:李柏熹 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2017.05.009

作者简介:龙东生(1965—),男,辽宁沈阳人,高级工程师,注册动力工程师,从事电厂热机、锅炉房、热力管网、暖通等工程设计。E-mail:13002468003@163.com

引用格式:龙东生.低阶粉煤热解-气化一体化装置构想[J].洁净煤技术,2017,23(5):46-49,55.

LONG Dongsheng. Integration of pyrolysis and gasification of low rank pulverized coal[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(5): 46-49, 55.

利用重点是“加强热解与气化、燃烧的有机集成,开发热解-气化一体化技术”<sup>[2]</sup>。

煤炭热解分质梯级利用是煤炭清洁高效利用的发展方向,与煤直接燃烧或气化相比,具有高效利用、潜在经济效益等优势,符合现代煤炭转化的发展要求<sup>[3]</sup>。近年来,国内外有关企业和科研院所竞相研究煤的热解技术,国内研究单位众多<sup>[4-7]</sup>,有代表性的是煤炭科学研究总院煤化工分院开发的 MRF 热解工艺<sup>[8]</sup>、大连理工开发的 DG 热解工艺<sup>[9]</sup>等,这些技术的探索不同程度地攻克了许多重大技术难题,为低阶煤热解路线指明了方向。

煤气化是煤炭分质利用的关键技术之一,经过几十年的发展,各类煤气化技术层出不穷,主要有固定(移动)床、流化床和气流床气化三大类,这些气化炉技术相对完善,是一体化路线的基础。

本文依据国家政策导向,利用现有成熟技术,研究将热解与气化分产装置组合构建一种热解-气化一体化装置。

## 1 粉煤低温热解-气化一体化技术

煤炭热解(干馏)是指在隔绝空气条件下,将煤炭加热到较高温度,煤的有机质会随温度升高发生一系列物理化学变化,最终生成固体半焦、热解焦油、热解气等产物<sup>[10]</sup>。煤低温热解一般采用较低的加热终温(500~600℃),产品是热解煤气。低阶煤的分质利用多采用中低温热解。

煤热解过程主要包括2个步骤,即干燥和热裂解。热解是吸热过程,热解效果与热源有较大关系<sup>[11]</sup>,热源一般可采用热灰、热半焦和热烟气等。

煤气化是指煤在一定温度及压力下与气化剂(如蒸汽/空气或O<sub>2</sub>等)发生一系列化学反应,将固体煤转化成粗合成气,同时副产蒸汽、焦油、灰渣等副产品的过程<sup>[12]</sup>;粗合成气以高温气化煤气的形式产出。气化过程包括4个步骤,即煤热裂解、氧化燃烧、碳气化、炉渣生成<sup>[13]</sup>。

如上所述,可将煤气化步骤中第1步煤热裂解与其他步骤物理分开,实现将煤先热解后气化的目的,并据此构想出将低温热解装置和气化炉进行结构叠加,组合低阶煤热解-气化一体化技术路线。

基于煤的流动性、传热及反应效率等因素,装置原料拟定为粉煤,粒度3~8mm。该构想装置采用双塔结构,主塔为热解装置与气化炉的组合,

副塔为热解装置与冷焦器的组合。主塔工艺原理是将热解装置产生的热半焦作为气化炉原料,气化炉产生的高温气化煤气作为热解装置的热源。副塔热源由主塔气化炉导入只进行热解产出半焦。通过双塔组合实现装置间原料的互换与热量的循环利用。粉煤低温热解-气化一体化技术工艺原理如图1所示。

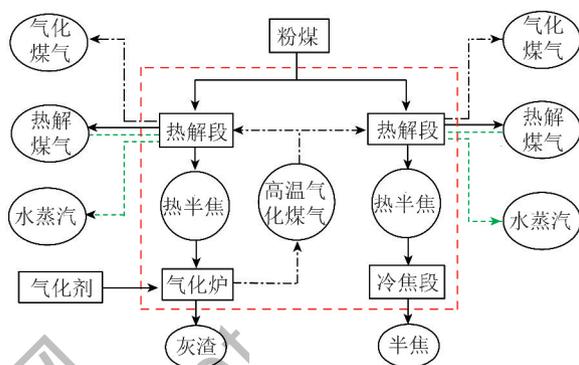


图1 粉煤低温热解-气化一体化技术工艺原理

Fig. 1 Principle of integrated technology of pulverized coal low temperature pyrolysis-gasification

## 2 粉煤低温热解-气化一体化装置

基于上述一体化技术,借鉴成熟经验构想一体化装置。构想装置应满足常压或有压的不同工况,以适应更广泛的热解和气化的要求。同时为确保装置能够安全运行,在进料、防堵塞、导气、气密性、结构、传热、材料等方面进行了相应研究。

该装置为双塔结构,由主塔和副塔组成<sup>[14]</sup>。主塔自上而下由3部分组成(给料段、热解段和气化炉);副塔自上而下由3部分组成(给料段、热解段和冷焦段)。主、副塔给料段位于装置上部,由气化煤气仓、气固分离仓、料仓、给料器等组成,主、副塔的给料段部件气化煤气仓、气固分离仓相互连接。主、副塔热解段位于主、副塔中部,由热解器、热解水蒸气室、热解煤气室组成。热解器采用外热式结构垂直布置,从上至下垂直穿过热解水蒸气室和热解煤气室。主塔下部设气化炉,上口与热解器下口连接;副塔下部设冷焦器,上口与热解器下口连接。

热解器的工作原理为:热解耗热由气化炉反应产生的高温气化气从热解器底部进入导气管,通过导气管器壁传给粉煤;粉煤与气化煤气不接触,逆向运动,吸收气化煤气显热,完成干燥、热解、产生半

焦;热解过程产生的水蒸气、热解煤气通过热解器外壁气孔,分阶段导出至热解水蒸气室、热解煤气室;高温气化煤气经热解器降温后由主、副塔给料段上端气化煤气仓导出;主塔热半焦落入气化炉作为气化炉原料,副塔热半焦经冷焦器冷却为半焦产品;热半焦从气化炉顶部进入气化炉,由于热半焦温度较高,减少了反应时间和反应能耗。粉煤低温热解-气化一体装置结构如图2所示。

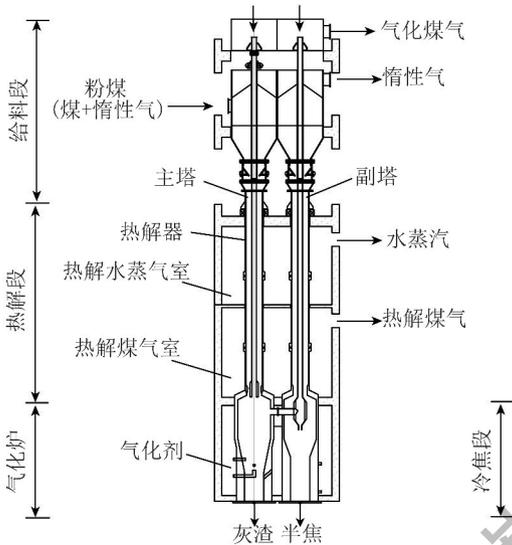


图2 粉煤低温热解-气化一体装置结构

Fig. 2 Integrated device structure of low temperature pyrolysis-gasification for pulverized coal

### 3 构想装置的主要部件

#### 3.1 给料段

给料段从上至下由气化煤气仓、瓶塞、导气管升降器、气固分离仓、粉料斗、推煤器等组成。

气化煤气仓位于装置顶部,储存产品气化煤气,气化煤气由导气管导入;瓶塞设于气化煤气仓内导气管的管口上方,作用是开关和控制导气管煤气流量,分配气化炉生产的气化煤气进入主、副塔热解器的气量和调节气化炉的炉压与气化煤气仓、热解器、热解水蒸气室、热解煤气室间压力平衡;导气管上端接气化煤气仓,下端接气化炉,设置于气固分离仓与气化煤气仓间导气管外部,作用是调节导气管下口与气化炉上口的间隙,控制物料进炉量使气化煤气与热解过程实现平衡;气固分离仓内设布袋除尘器,分离气力输送的物料,仓内压力由控制气力输送的余压实现,保证气固分离仓内压高于热解器内压,引导装置内各种气体的流向,保障生产安全;推煤器位于粉料斗下部与热

解器中间,控制粉煤下降速度和压实粉煤,压实粉煤可防止下部热解气体倒流,并为高温热解可能导致煤停止下降的状况提供解决方法。

#### 3.2 热解器

热解器位于主、副塔中部,垂直布置,双管同心管结构。内管为导气管,连接下部气化炉与顶部给料段气化煤气仓,热气化煤气在管中由下向上流动。外管为圆形结构,管壁在热解水蒸气室、热解煤气室相应位置开导气孔。内外管空间为粉煤热解反应腔,煤粉由上至下运动,在腔内进行干燥、热解、半焦过程,产生的水蒸气和热解气由外壁导气孔导出。热解器内管下部煤气进口处工作温度较高,所选材料应依据成熟经验或通过其他方法保持其强度和寿命满足生产要求。

#### 3.3 气化炉选型与改造

气化炉是煤炭分质利用的关键,也是一体化装置的重要组成部分。已有上百种不同规模(实验、中试、商业化规模)气化炉,但大多数商业气化炉可归为3类,即固定床、流动床、气流床气化炉<sup>[15]</sup>。根据装置原料粒度为3~8 mm的拟定条件及装置结构,研究认为主塔气化炉可以借鉴成熟的流化床气化炉技术。

流化床气化技术以德国 Winkler 气化技术、山西煤化所的 ICC 灰融聚气化技术和恩德粉煤气化技术为代表。流化床气化技术以0.5~6.0 mm小颗粒煤为原料,在气化炉内使其悬浮分散在垂直上升气流中,煤粒在沸腾状态进行气化反应,气化时间10~100 s;气化剂(空气或氧/蒸汽)同时作为流化介质,炉内气化温度(900~1 050 ℃)均匀,气化易于控制,气化率高<sup>[16-17]</sup>。

构想装置气化炉借鉴较为成熟的流化床气化炉炉型,但是气化原料进口和煤气出口结构与传统气化炉略有不同。采用顶部设进料出气混合接口,即在同一接口实现原料进炉与气化煤气出炉的功能。在气化炉侧壁开另一个气化煤气出口与副塔的冷焦器连接将高温气化煤气导入副塔<sup>[14]</sup>。研究对气化炉接口的调整,实现气化炉同时向主、副塔热解器供高温气化煤气的目的。

### 4 装置流程

1) 装置原料供给。采用气力输送供料,粉煤用惰性气体密相气流输送进入主、副塔气固分离仓,粉煤分别落于主、副塔料仓,物料下落进入推进器,推

进器将粉煤向下推进到热解器,在热解器内进行物料的干燥和热解。半焦进入气化炉与气化剂反应生产气化煤气,高温气化气通过热解器内管进入装置顶部气化煤气仓。

2) 煤气产出。粉煤干燥、热解过程中产生的水蒸气、低温干馏煤气通过外管壳导气孔导出,分别进入热解水蒸气室、低温热解煤气室。气化煤气仓、热解水蒸气室、低温热解煤气室与外部系统连接。

3) 气化剂<sup>[18]</sup>供给及气化灰、渣排出根据已有成熟经验进行<sup>[19]</sup>。

## 5 模块化与积木组合

主副塔可有多种组合方案,本文叙述的主、副塔组合配置仅是其中一种。主塔可单独使用或主塔间联合使用,副塔需与主塔配置使用,不限于一对一使用,如主塔与副塔产半焦组合、主塔与主塔产气化煤气组合等。主副塔也可根据生产的需要灵活组合。

## 6 一体化装置优势

与分产装置比较,一体化装置优势突出,具体表现为:

① 物料走向由上至下,符合流程需要,相互连接上游为下游提供原料,减少搬运能耗;

② 下游给上游提供反应热量,回收气化煤气显热,降低气化气出口温度,实现热能梯级使用,损失小,达到节能目的;

③ 装置间可实现积木组合,调整灵活,根据产品需要调配主、副塔装置投入数量;

④ 结构紧凑,空间布置,占地少;

⑤ 分质产品,实现在同一个装置连续生产出2种不同品质的煤气(热解煤气、发生炉煤气)、半焦、水蒸气和排渣,为后期的分质利用或多联产做准备。

## 7 结 语

低阶粉煤热解-气化一体化装置具有分质产品、结构简单、能效比高、物流简化、回热循环、结构紧凑等优点,为低阶煤炭分质利用提供了一种有益的方法。装置定型后有利于从装备制造、工厂建设、生产、管理等方面实现装置的产业化、规范化、工厂化、积木化、立体化、自动化、标准化、规模化。

### 参考文献 (References):

[1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会,中华人民共和国国

家能源局. 能源生产和消费革命战略(2016—2030)[EB/OL]. (2016-12-29) [2017-09-01]. [http://www.sohu.com/a/136550405\\_609294](http://www.sohu.com/a/136550405_609294).

- [2] 国家能源局. 煤炭深加工产业示范“十三五”规划[EB/OL]. (2017-02-18) [2017-09-01]. <https://wenku.baidu.com/view/fl d947196f1aff00bfd51e88.html?from=search>.
- [3] 甘建平, 马宝歧, 尚建选, 等. 煤炭分质转化理念与路线的形成和发展[J]. 煤化工, 2013, 41(1): 3-6.  
GAN Jianping, MA Baoqi, SHANG Jianxuan, et al. Formation and development of the coal grading conversion ideas[J]. Coal Chemical Industry, 2013, 41(1): 3-6.
- [4] 王向辉, 门卓武, 许明, 等. 低阶煤粉煤热解提质技术研究现状及发展建议[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(6): 36-41.  
WANG Xianghui, MEN Zhuowu, XU Ming, et al. Research status and development proposals on pyrolysis techniques of low rank pulverized coal[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(6): 36-41.
- [5] 李文英, 邓靖, 喻长连. 褐煤固体热载体热解提质工艺进展[J]. 煤化工, 2012, 40(1): 1-5.  
LI Wenyong, DENG Jing, YU Changlian. Development of lignite pyrolysis with solid heat carrier[J]. Coal Chemical Industry, 2012, 40(1): 1-5.
- [6] 邵俊杰. 褐煤提质技术现状及我国褐煤提质技术发展趋势初探[J]. 神华科技, 2009, 7(2): 17-22.  
SHAO Junjie. The development status of lignite quality improvement technology and development trend of China's lignite quality improvement technology [J]. Shenhua Science and Technology, 2009, 7(2): 17-22.
- [7] 刘军, 邹涛, 初莱, 等. 褐煤及其热解产品利用现状[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(5): 97-100.  
LIU Jun, ZOU Tao, CHU Mo, et al. Utilization status of lignite and pyrolysis products[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(5): 97-100.
- [8] 戴秋菊, 唐道武, 常万林. 采用多段回转炉热解工艺综合利用年青煤[J]. 煤炭加工与综合利用, 1999(3): 22-23.  
DAI Qiujun, TANG Daowu, CHANG Wanlin. Comprehensive utilization of low rank coal in multistage rotary furnace pyrolysis technology[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 1999(3): 22-23.
- [9] 郭树才, 罗长齐, 张代佳, 等. 褐煤固体热载体干馏新技术工业性试验[J]. 大连理工大学学报, 1995, 35(1): 46-50.  
GUO Shucai, LUO Changqi, ZHANG Daijia, et al. Experiment in pilot plant of new technology for lignite retorting using solid heat carrier[J]. Journal of Dalian University of Technology, 1995, 35(1): 46-50.
- [10] 张顺利, 丁力, 郭启海, 等. 煤热解工艺现状分析[J]. 煤炭加工与综合利用, 2014(8): 46-51.  
ZHANG Shunli, DING Li, GUO Qihai, et al. Present situation analysis of coal pyrolysis technology [J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 2014(8): 46-51.

- [6] 王杰玲. 煤田地质勘探中的煤质工作探究[J]. 煤质技术, 2008(5):1-4.  
WANG Jieliang. Discussion on coal quality in coalfield geological exploration[J]. Coal Quality Technology, 2008(5):1-4.
- [7] 张冀, 韦波, 田继军, 等. 新疆哈密三塘湖特大整装煤田中-下侏罗统煤层煤质及煤相特征[J]. 地质学报, 2015, 89(5):917-930.  
ZHANG Ji, WEI Bo, TIAN Jijun, et al. Characteristics of coal quality and coal facies of middle-lower Jurassic coal seam in large ready coalfield of the Santanghu basin, Hami, Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(5):917-930.
- [8] 牛军强, 杜芳鹏. 新疆卡姆斯特煤田西山窑组煤层发育特征与煤质分析[J]. 地质科技情报, 2016, 35(1):152-155.  
NIU Junqiang, DU Fangpeng. Coalbeds spread feature and coal quality analysis in Xishanyao formation of Kamst coalfield, Xinjiang[J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(1):152-155.
- [9] 程伟, 杨瑞东, 崔玉朝, 等. 贵州毕节地区晚二叠世煤质特征及其成煤环境意义[J]. 地质学报, 2013, 87(11):1763-1777.  
CHENG Wei, YANG Ruidong, CUI Yuchao, et al. Characteristic of Late Permian coal quality from Bijie, Guizhou Province SW China, and its Significance for paleoenvironment[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(11):1763-1777.
- [10] 李增学, 魏久传, 刘莹. 煤地质学[M]. 北京:地质出版社, 2005:57, 84.
- [11] 赵玉琳, 尹世才, 张义函, 等. 通柘煤田二<sub>2</sub>煤层的煤质变化规律[J]. 中国煤层气, 2015, 12(6):38-41.  
ZHAO Yulin, YIN Shicai, ZHANG Yihan, et al. Coal nature variation of coal seam II<sub>2</sub> in Tongzhe coalfield[J]. China Coalbed Methane, 2015, 12(6):38-41.
- [12] 李守义, 叶松青. 矿产勘查学[M]. 北京:地质出版社, 2003:169.
- [13] 陈杰, 郑德顺. GJL地区中侏罗统延安组煤质特征分析[J]. 内蒙古煤炭经济, 2015(11):210-212.  
CHEN Jie, ZHENG Deshun. Analysis of coal quality characteristics of the middle Jurassic Yan'an formation in GJL area[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2015(11):210-212.
- [14] 周国庆, 姜尧发, 高峰, 等. 陕西省子长矿区晚三叠世5号煤层的煤岩煤质特征[J]. 中国煤炭, 2015, 41(1):30-34.  
ZHOU Guoqing, JIANG Yaofa, GAO Feng, et al. The features of petrology and quality of coal in Late Triassic No. 5 coal in Zichang mining area in Shaanxi Province[J]. China Coal, 2015, 41(1):30-34.
- [15] 刘峰. 贵州盘县马依东一井田主要可采煤层煤质特征分析[J]. 煤质技术, 2009(4):7-11.  
LIU Feng. The coal characteristics analysis of main coal seam of Mayidongyi mine field in Pan county Guizhou Province[J]. Coal Quality Technology, 2009(4):7-11.
- [16] 滕英跃, 赵畅, 刘全生, 等. 褐煤中矿物质对水泥熟料烧成过程的影响[J]. 硅酸盐通报, 2014, 33(2):236-242.  
TENG Yingyue, ZHAO Chang, LIU Quansheng, et al. Influence of minerals in lignite on the sintering process of cement clinker[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2014, 33(2):236-242.

## (上接第49页)

- [11] 苏婷, 卢艳强. 低变质煤的热解技术[J]. 榆林学院学报, 2014, 51(2):1-7.  
SU Ting, LU Yanqiang. Pyrolysis technology of the low metamorphic coal[J]. Journal of Yulin University, 2014, 51(2):1-7.
- [12] 汪宝林. 煤气化化学与技术进展[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(3):69-74.  
WANG Baolin. Chemistry and technology progress of coal gasification[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(3):69-74.
- [13] HARRIS D J. Coal gasification reactivity: Measurement and application; Pittsburgh Coal Conference, Johannesburg[C]. South Africa: [s. n.], 2007.
- [14] 龙东生. 粉料低温干馏气装置: ZL201510160716. 2[P]. 2017-03-29.
- [15] 高晋生. 煤的热解、炼焦和煤焦油加工[M]. 北京:化学工业出版社, 2010:219-224.
- [16] TENNANT J. Gasification; gasification in detail type of gasification[R]. Morgantown; National Energy Technology Laboratory, 2012.
- [17] KINAEV N. A review of mineral matter issues in coal gasification[R]. Australia: [s. n.], 2006.
- [18] 董广才. 浅谈恩德炉粉煤气化技术[J]. 煤炭加工与综合利用, 2004(2):40-42.  
DONG Guangcai. Discussion on the gasification technology of entebbe powder[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 2004(2):40-42.
- [19] 张庆更, 李凡, 李好管. 煤化工设计基础[M]. 北京:化学工业出版社, 2014:172-190.