

# 神木煤制中低温热解用型煤工艺参数优化研究

杨 芊,刘德钱,梁世航,康 旋,周 杨,党钾涛,解 强  
(中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院,北京 100083)

**摘 要:**为制备中低温热解用型煤,以我国典型低阶烟煤神木煤为原煤,以煤焦油重质组分及沥青为黏结剂,研究成型压力、水分、黏结剂种类及添加量对型煤冷热强度的影响,考察复合黏结剂配比对型煤冷热强度的影响规律。结果表明:型煤的强度随着压力和水分增加呈先增大后减小的趋势;黏结剂种类对型煤强度的影响作用不同,煤焦油和煤沥青添加量的增加分别增强了冷强度和热强度;在成型水分13%、成型压力141 MPa、煤焦油重质组分质量分数9%和煤沥青质量分数为16%的优化工艺条件下,型煤的冷、热强度均较优,可以满足中低温热解直立炭化炉对原料的要求。

**关键词:**神木煤;冷热强度;型煤;黏结剂;中低温热解

中图分类号:TQ536;TD849

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2015)03-0060-05

## Process parameters optimization of briquette preparation from Shenmu coal for mid-low temperature pyrolysis

YANG Qian, LIU Deqian, LIANG Shihang, KANG Xuan, ZHOU Yang, DANG Jiatao, XIE Qiang

(School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to prepare briquette for pyrolysis at mid-low temperature, Shenmu coal which was typical low rank coal was adopted as the sample, the heavy component of coal tar and asphalt were used as binder. The effects of briquetting pressure, moisture, binder types and additive amount on cold strength and thermal strength of briquette were studied. The influence rule of binders ratio on the cold and hot strength of briquette was investigated. The results showed that, with the increase of pressure and moisture, the briquette strength increased first, then decreased. Different binders had different influences on briquette properties. The increase of coal tar and asphalt enhanced the cold and hot strength of briquette. When the briquette moisture was 13%, the briquetting pressure was 141 MPa, the mass fraction of coal tar and asphalt was 9% and 16% respectively, the briquette had better performance, which met the demands of mid-low temperature pyrolysis in vertical carbonization furnace.

**Key words:** Shenmu coal; cold and hot strength; briquette; binder; mid-low temperature pyrolysis

## 0 引 言

我国煤炭资源丰富,品种齐全,“富煤、贫油、少气”的能源分布,使煤炭在一次能源的生产和消费中长期占据70%左右的比重<sup>[1-3]</sup>。其中,占总储量45.68%的低变质程度烟煤,由于水分高、易风化氧化、发热量低、产区远离消费市场,造成直接燃烧能效低,污染严重,也满足不了储存和长距离运输的要

求<sup>[4-5]</sup>。低阶烟煤中低温热解多联产技术和工艺以其投资少、能效高、工艺技术成熟等优势,成为煤炭企业利用低变质程度烟煤,加工转化和生产高附加值煤产品的主要技术路线之一。然而,为防止炭化室的透气性变差,废气上升阻力增大,荒煤气外泄,堵塞煤气净化系统等,煤中低温热解所用的直立式炭化炉,对原料煤的粒度要求十分严格。如SH-2007型内热式直立炭化炉的粒度要求为25~

收稿日期:2014-10-18;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.03.017

基金项目:中国矿业大学(北京)国家级大学生创新训练计划资助项目(201211413059)

作者简介:杨 芊(1989—),男,山西朔州人,硕士研究生,从事型煤制备、低阶烟煤综合利用研究工作。E-mail:yangqiansx@163.com。通讯作者:解 强,教授,博士,博士生导师,从事煤化工、炭质吸附剂制备研究。E-mail:dr-xieq@cumt.edu.cn

引用格式:杨 芊,刘德钱,梁世航,等.神木煤制中低温热解用型煤工艺参数优化研究[J].洁净煤技术,2015,21(3):60-64.

YANG Qian, LIU Deqian, LIANG Shihang, et al. Process parameters optimization of briquette preparation from Shenmu coal for mid-low temperature pyrolysis[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(3):60-64.

150 mm<sup>[6]</sup>。先进的大型综合采煤机械在提高采煤生产能力的同时,导致粉煤产率大幅度提高,一些矿区商品块煤产量甚至下降到 70% 左右<sup>[7]</sup>。大量积压的粉煤不仅无法满足工业需求,还增加运输成本,污染环境<sup>[8]</sup>。因此,基于低阶烟煤煤质特征,利用粉煤成型工艺,采用中低温热解工艺生产高附加值的优质燃料和化工原料,是合理利用低阶烟煤,提高煤炭利用率和经济效益的主要手段之一<sup>[9]</sup>。目前,学者们对型煤的研究主要集中在气化型煤、燃料型煤和冶金型煤等方面<sup>[10-11]</sup>,对低阶烟煤的成型,尤其是对直立式炭化炉中低温热解用的高热强度型煤的制备研究关注较少。笔者所在课题组曾利用东荣长焰煤,以质量分数 10% 的煤焦油、水分 13%、在 63 MPa 成型压力的条件下制取型煤,其冷压强度、热强度、落下强度和热稳定性分别能达到 536N/个、691 N/个、99.49% 和 97.98%<sup>[12]</sup>,这些指标已远远

超过原国家科学与技术委员会对工业型煤热解原料的性能要求。然而,能否利用我国储量丰富、产量大的典型低阶烟煤神木煤为原料、利用热解自生的产物为黏结剂,制备出冷热强度符合直立炭化炉原料性能要求的型煤,迄今尚未有深入的研究报道。笔者以神木煤为原料,煤焦油重质组分和高温煤沥青为黏结剂,制备中低温热解用型煤,考察成型压力、水分和黏结剂用量及配比对型煤冷热强度的影响,探索成型工艺参数优化的条件,以改善直立炭化炉中低温热解块煤供不应求的局面。

## 1 试验方法

### 1.1 原料准备

试验选取神木煤为研究对象,其工业分析和元素分析见表 1。黏结剂选用神木煤田府谷高温重质煤焦油及山西金晖煤焦有限公司的高温煤沥青。

表 1 神木煤的工业分析和元素分析

$M_{ad}/\%$	$A_d/\%$	$V_{daf}/\%$	$FC_{daf}/\%$	$w(N_{daf})/\%$	$w(C_{daf})/\%$	$w(S_{t,d})/\%$	$w(H_{daf})/\%$	$w(O_{daf})/\%$
7.33	7.07	38.95	61.05	1.38	81.99	0.49	6.73	9.41

重质煤焦油经脱水蒸馏,选取高于 300 °C 未被蒸出部分作为黏结剂。利用 FW100 型高速破碎机将高温煤沥青破碎至 1 mm 以下。原煤经筛选分级后自然晾干,并选取 3 ~ 13 mm 煤置于 XMB-67 型棒磨机上破碎,所得粉煤的粒度组成如图 1 所示。由图 1 可知,大于 1 mm 煤样质量分数为 16.19%, 1 ~ 0.355 mm 煤质量分数为 43.80%, 0.355 mm 以下质量分数为 40.01%。

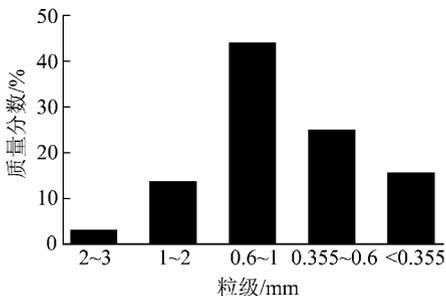


图 1 原料粒度组成

### 1.2 中低温热解用型煤的制备

按设计比例准确称(量)取煤、黏结剂和水,混合均匀,配制成型用原料;每次称取(13.2±0.05) g 原料于型煤模具中(材质为 45 号钢,底座直径 75 mm;套管内径 25 mm,外径 41 mm,高 60 mm;圆柱状压杆,直径 25 mm,高 85 mm),将模具置于

YM20T 型液压机下施加一定的压力压制成型。将成型后的型煤置放于通风处,在室温下自然干燥 48 h,后密封保存、备用。

基于课题组前期研究工作,试验首先在添加煤焦油(9%)、煤沥青(16%)、水分(13%)的条件下,采用不同的成型压力(63 ~ 188 MPa)制备型煤,考察成型压力对型煤抗压强度、落下强度、热强度和热稳定性的影响。同样,在添加煤焦油(9%)、煤沥青(16%)、压力 141 MPa 的条件下,研究水分(11%、13% 和 15%)对型煤强度影响;在水分(13%)、成型压力 141 MPa 的条件下,分别研究煤焦油(7% ~ 15%)和煤沥青(10% ~ 30%)对型煤强度性质的影响。确定较优的重质焦油和煤沥青比例后,进行复合黏结剂试验,研究成型压力、水分及复合黏结剂(重质煤焦油和煤沥青)对型煤冷热强度的影响,优化型煤制备的工艺参数。

分别参照 MT/T 748—1997《工业型煤冷压强度测定方法》、MT/T 925—2004《工业型煤落下强度测定方法》、MT/T 1073—2008《工业型煤热强度测定方法》、MT/T924—2004《工业型煤热稳定性测定方法》采用 FR-多功能成型测试压力机测试型煤抗压强度、落下强度、热强度和热稳定性 4 个性能指标。

## 2 结果与讨论

研究发现,神木煤在无黏结剂的情况下不能单独成型;添加沥青黏结剂时成型效果较差,与无黏结剂类似,但可改善其热强度和热稳定性;单独添加重质煤焦油,只能改善其落下强度和抗压强度,对热强度和热稳定性无影响。因此,试验在研究水分和压力对型煤影响时,添加了适量重质焦油和煤沥青;研究黏结剂对型煤强度的影响时,分别考虑单种和复合黏结剂对其强度的影响规律。

### 2.1 成型压力对型煤强度的影响

不同成型压力对型煤强度的影响规律如图2所示,型煤是在水分13%、质量分数9%煤焦油和16%煤沥青为黏结剂的条件下制备的。

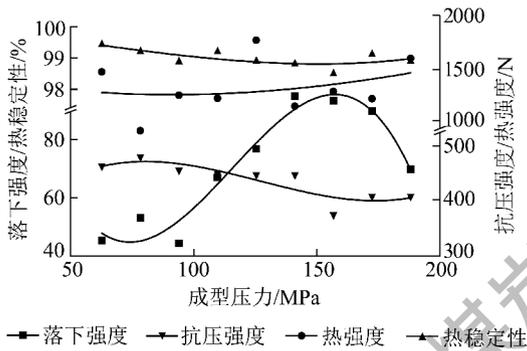


图2 成型压力对型煤落下强度、抗压强度、热强度及热稳定性的影响

由图2可知,随成型压力的增加,型煤的落下强度先增大后减小,当成型压力为141 MPa时其强度最高,而压力过低时无法满足要求。抗压强度总体呈下降趋势,最低点依然满足要求;热强度呈整体上升趋势,热稳定性则一直保持在99%以上且变化幅度不大。

这是因为随成型压力增加,型煤塑性逐步增强,煤粒与黏结剂之间的空气和水被挤出,煤不断被压实,表观密度提高,结构趋于致密。当压力继续提高,黏结剂与煤粒不断填充压实,焦油发生流动、滑移和渗透,分子之间会形成一定的范德华吸引力和摩擦力,粘连效果加强,提高型煤的强度并达到最高点。继续增大压力,型煤强度不但不增加,反而随着型煤的松弛反弹破坏其稳定性,出现强度降低甚至脱模后开裂压溃的情况。一方面是因为型煤内部粒子之间作用受外力作用由吸引力变为排斥力,煤粒开始变形破裂,弹性大于塑性,破坏了型煤的内部结构,出现明显的开裂现象;另一方面是因为焦油和水

分在较高的压力下形成流动态薄膜,产生润滑作用,不利于型煤的成型。这说明,合适的成型压力会使型煤结构更加紧密,黏结剂的分布更趋合理,煤粒与黏结剂相互填充易形成稳定结构;而过高的压力则会破坏型煤的结构不利于成型。因此,选用141 MPa的成型压力较合理。

### 2.2 水分对型煤强度的影响

不同水分对型煤强度的影响规律如图3所示,型煤是在质量分数为9%的重质煤焦油、16%的煤沥青为黏结剂和成型压力141 MPa的条件下制备的。

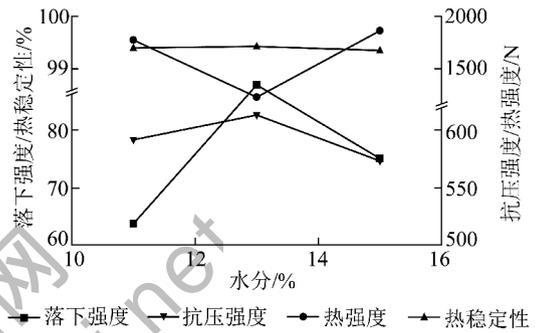


图3 水分对型煤落下强度、抗压强度、热强度及热稳定性的影响

由图3可以看出,水分对型煤强度影响较明显。当水分为13%时,型煤的落下强度、抗压强度和热稳定性均达到最大;热强度虽然在水分为13%时出现降低,但仍保持在1200 N/个以上。

这是因为水的流动性好,对煤粒有一定的润湿功能,在成型时可以降低体系内颗粒间的摩擦力,促使颗粒移动使其排列更为紧密;添加黏结剂搅拌时,会扩大煤粒与焦油和沥青之间的摩擦、碰撞,增大煤粒与黏结剂的接触面积,帮助黏结剂均匀分散。在脱模时由于沥青和焦油的疏水性,水分被挤出,在型煤与模具之间形成的水层利于脱模。当水分较少时,煤粒表面难以完全浸湿,水分较少的煤与黏结剂的粘连效果也会减小,摩擦导致有效压力降低,减小型煤强度。当水分过大时,由于煤粒表面饱含水分,受挤压成型的过程中使煤粒表面形成一定的水膜,阻碍黏结剂与煤粒的联系,不仅会有部分黏结剂被挤出,还会使型煤脱模困难。在型煤干燥过程中也会随着水分蒸发形成部分孔隙,破坏型煤结构,降低机械强度。当考察热强度时,由于型煤内部低沸点的水和煤焦油在短时间内升高到850℃,挥发性成分迅速释放,型煤内部膨胀形成一定的空隙结构而降低其强度。因此,只有当水分为13%时,才能使黏结剂完全浸润煤粒表面。

### 2.3 重质焦油含量对型煤强度的影响

不同重质煤焦油含量对型煤强度的影响规律如图4所示,型煤是在水分13%和141 MPa成型压力的条件下制备的。由图4a可知,型煤冷态下的落下强度随重质焦油添加量的增大而增大,当重质焦油的质量分数为9%时,型煤在冷态下的落下强度已达到96.49%,之后随焦油量的增加其变化逐渐趋于平缓。由图4b可知,型煤的抗压强度随焦油添加量的增加先增大后减小,当焦油质量分数为9%时,冷态下的抗压强度达到最大,为351.50 N/个。将型煤置于850℃的马弗炉中保持30 min后考察其热强度和热稳定性时发现,型煤变为无粘连颗粒状,或用手指轻压即碎。

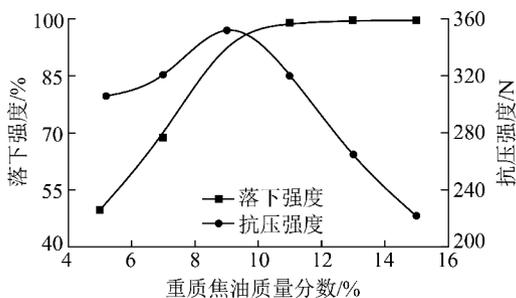


图4 重质焦油含量对型煤落下强度和抗压强度的影响

煤焦油是传统的型煤型焦黏结剂,在煤炭热解过程中,根据热解终温的不同得到低温、中温和高温焦油。由于其特殊的理化性质,在煤粉成型的过程中,焦油可以与煤粒亲油部分结合,在外力作用下,焦油可以在煤粒孔隙间自由分散,使原本没有黏结性的煤粒具有可塑性,保持较好的落下强度<sup>[11]</sup>。但是随煤焦油添加量的增加,流动性逐渐增大,使型煤易变形而降低抗压强度。试验选用的煤焦油重质组分为热解生产的煤焦油的高沸点组分,有较好黏结性,富含炭颗粒和沥青质,可以参与一定的骨架形成,但仍有相当比例的轻质组分,而降低成焦能力。在进行热强度和热稳定性试验时,煤焦油重质组分随温度升高迅速软化或挥发,导致型煤结构塌陷解体为无粘颗粒状而不能单独成型。

### 2.4 沥青含量对型煤强度的影响

不同沥青含量对型煤强度的影响规律如图5所示,型煤是在水分13%和成型压力141 MPa的条件下制备的。由图5可知,型煤的热强度随沥青添加量的增加而增大,且增长较明显。型煤的热稳定性则随沥青添加量的增加而增大,当沥青添加量大于16%时,型煤的热稳定性增长幅度逐渐趋于平缓。

但是考察其落下强度和抗压强度时,在重力和少许压力下型煤即完全破损,无任何冷强度。

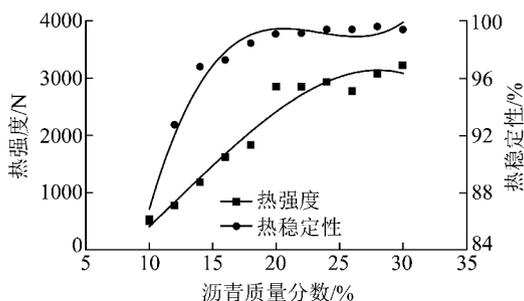


图5 沥青含量对型煤热强度及热稳定性的影响

分析其原因,是因为煤沥青是煤焦油加工分离出来的产品,主要成分是沥青及游离炭<sup>[13]</sup>。在研究型煤热强度及热稳定性的高温条件下,煤沥青与煤粒相互浸润,在型煤炭化过程中直接参与炭骨架的构成<sup>[14]</sup>,神木煤自身并无黏结性,因此沥青添加量是影响型煤的热强度及热稳定性的决定性因素<sup>[15]</sup>。当沥青的添加量较少时,不能均匀分散、包裹煤粒,存在一定的空隙,炭化后,易产生裂缝而影响型煤强度。而随着沥青添加量的增加,型煤中沥青的联系会逐渐增多,在炭化处理中能够转变为完整的炭骨架,提高型煤的热强度。但是过多的沥青,不但会使型煤脱模困难,而且在炭化过程中容易软化、粘连,不利于出炉,也会增加型煤的生产成本。因此,试验选用16%的沥青添加量较经济实用。

### 2.5 复合黏结剂对型煤强度的影响

对单独添加煤焦油、沥青作黏结剂的型煤不能同时满足4项机械强度的要求,因此在较佳水分和成型压力的基础上,采用同时添加煤焦油和沥青2种添加剂制备的型煤,分别控制煤焦油含量研究沥青对型煤的影响以及控制沥青含量研究焦油对型煤影响,配比分别为重质煤焦油(8%~10%)和煤沥青(14%~18%),测试型煤机械强度,考察复合添加剂对型煤机械性能的影响,具体如图6所示。

由图6可知,同时添加煤焦油和沥青2种黏结剂时,型煤冷热强度均较好。由图6a可知,沥青添加量相同时,型煤随煤焦油添加量的增加,落下强度逐渐增大,抗压强度先增大后减小,与图4表现出来的规律一致,不受沥青添加量的影响。而图6b显示,随沥青添加量增加,型煤落下强度和抗压强度逐渐增大。

由图6a可以看出,在添加相同沥青情况下,型煤热强度随着重质焦油添加量的增大逐渐减小,但

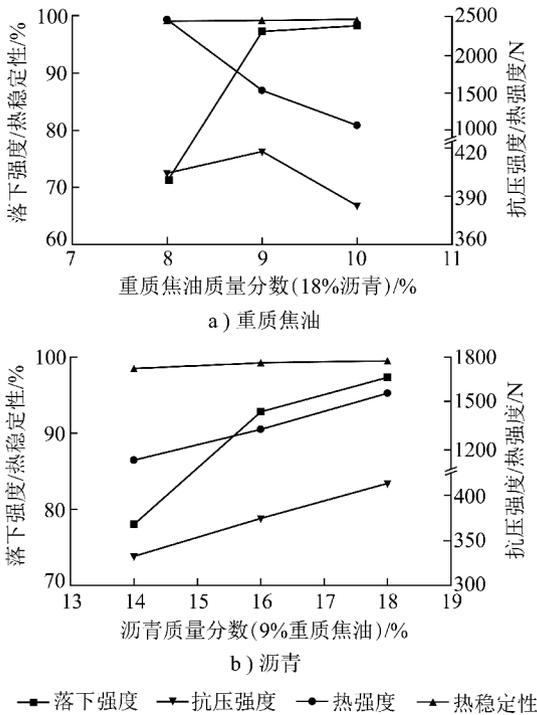


图6 重质焦油和沥青含量对型煤落下强度、抗压强度、热强度及热稳定性的影响

最低值仍在 1100 N/个以上。热稳定性则始终保持在 99% 以上,且呈缓慢上升趋势,受煤焦油添加量变化不明显。由图 6b 可知,当重质焦油含量相同时,型煤的热强度与热稳定性随沥青添加量的增加而增大,与图 5 表现出的趋势一致。

对比图 4~图 6 可以看出,煤焦油和沥青均属煤热解分离出的产物,煤焦油具有黏结性,可以保证型煤在冷态成型,提高型煤的落下强度和抗压强度;煤沥青则受高温作用易形成炭骨架结构,提高型煤热强度和热稳定性。但 2 种黏结剂之间没有明显的交互作用,煤焦油受热易挥发分解,破坏沥青炭骨架的形成,这就会出现随焦油添加量增大热强度下降的现象,过多的煤焦油反而不利于型煤热强度的提高。综上所述,同时添加质量分数为 9% 的重质煤焦油和 16% 的沥青,型煤的落下强度、抗压强度、热强度和热稳定性相对较好。

### 3 结 论

1) 以重质煤焦油和煤沥青为黏结剂的神木低阶烟煤型煤,其强度受成型压力影响较明显。随成型压力的增大,型煤强度呈现先增大后减小的趋势,存在最佳压力 141 MPa。13% 水分添加时,型煤的强度达到最佳,水分过多和过少均不利于粉煤

的成型。

2) 对神木低阶烟煤而言,加入黏结剂可改善型煤的质量。型煤抗压强度和落下强度均随重质煤焦油添加量的增加有不同幅度增加,当添加量为 9% 时,型煤各项冷态强度较好,但对热强度和热稳定性无影响。而随着煤沥青添加量的增加,型煤热强度和热稳定性都呈上升趋势,但不会改善型煤的冷强度。当同时添加 9% 的重质焦油和 16% 的煤沥青时,其落下强度、抗压强度、热强度和热稳定性都较理想。

3) 以神木低阶烟煤为原料,通过添加重质煤焦油和煤沥青 2 种添加剂,可以改善型煤的性质,能够满足中低温热解对强度的要求,取代块煤在直立炭化炉中的使用。

### 参考文献:

- [1] 水恒福,张德祥,张超群. 煤焦油分离与精制[M]. 北京:化学工业出版社,2006:1-2.
- [2] 唐宏青. 现代煤化工新技术[M]. 北京:化学工业出版社,2009:1-36.
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴 2008[M]. 北京:中国统计出版社,2008.
- [4] BP 集团. BP 世界能源统计年鉴[R]. 伦敦:BP 集团,2012.
- [5] 贺永德. 现代煤化工技术手册[M]. 北京:化学工业出版社,2010:191-215,715-733.
- [6] 高武军,薛逸平,史剑鹏. SH2007 型内热式直立炭化炉的研发设计[J]. 煤气与热力,2010,30(8):14-17.
- [7] 张云,付东升,郑化安,等. 型煤黏结剂的研究进展[J]. 洁净煤技术,2014,20(1):24-28.
- [8] 韩锦德,高俊,徐桂芹. 工业型煤的现状与开发应用[J]. 洁净煤技术,2000,6(1):22-24.
- [9] 阎杏瞳,田晓艳. 中国型煤技术特点及发展动向[J]. 煤炭科学技术,1995,23(9):41-44.
- [10] 吉登高,张丽娟,王祖谏,等. 粉煤成型特征研究[J]. 煤炭科学技术,2004,32(10):51-52.
- [11] 湛伦建,牛思旗,张传祥,等. 济源无烟煤生产造气型煤的试验研究[J]. 煤炭科学技术,2000,28(8):15-17.
- [12] 党钾涛,温振华,杨芊,等. 用于中低温热解的低阶烟煤型煤的制备[J]. 黑龙江科技学院学报,2012,22(6):553-557.
- [13] Amit Chatterjee, Prasad H N. Possibilities of tar addition to coal as a method of improving coke strength[J]. Fuel, 1983, 62(5): 591-600.
- [14] Ashok K Sharma, Bani P Das, Prem S M. Influence of properties of bituminous binders on the strength of formed coke[J]. Fuel Processing Technology, 2002, 75(3): 201-214.
- [15] Steven A Paul, Ashley S Hull, Henry Plancher. Use of asphalts for formcoke briquettes[J]. Fuel Processing Technology, 2001, 76(3): 211-230.