

研究论文

长焰煤热碎半焦的成型-干燥特性研究

曲 洋

(煤炭工业规划设计研究院有限公司,北京 100120)

摘 要:低阶煤热解后易碎裂及粉化,导致大量热碎半焦的生成,其运输半径短、易形成扬尘并伴有自燃,热碎焦难利用已成为制约热解技术发展的瓶颈之一。对热碎半焦进行成型充分利用热碎焦的天然梯级粒度分布,解决了产品输配难的问题,同时作为洁净煤产品可广泛应用于目前农村地区的散煤替代,是最经济有效的解决途径。以长焰煤热碎半焦为对象,定量研究了长焰煤热碎半焦的成型-干燥特性。选择水溶性黏结剂腐植酸钠和具有较好热态强度及稳定性的无机黏结剂膨润土作为复合黏结剂,通过成型压力机测试了不同黏结剂配方下的型煤冷压强度,采用鼓风干燥法明确了最优干燥制度,最后进行了50 kg成型中试验证。结果表明:腐植酸钠与膨润土复配的黏结剂成型效果优于单种配方,最佳成型配比为腐植酸钠6%、膨润土5%,相应的成型水分为28%、成型压力为20 MPa、粒度上限3 mm的煤粉中低于1 mm比例为65%;型煤采用3个温度区间的干燥制度,避免了干燥温度跃升过快造成的型煤内外变形速率大和裂纹多、机械强度降低等问题,最优干燥制度条件为:起始温度60℃下0.5 h、过渡温度100℃下1 h、最终温度130℃下1.5 h。采用最佳的成型和干燥条件进行中试验证,获得的热碎半焦型煤挥发分为10.55%(≤12%),发热量为28.97 MJ/kg(≥24 MJ/kg),硫分为0.33%(≤0.5%),冷压强度为459 N(≥400 N),灰分为11.69%(≤25%),各项指标均优于GB 34170—2017《商品煤质量 民用型煤》和DB 11/097—2014《低硫煤及制品》,论证了该工艺方法的可行性。

关键词:长焰煤;热碎;半焦;成型;干燥;中试

中图分类号:TQ531.9

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2019)04-0020-06

Research on molding-drying characteristics of heat fragmentation semi-coke of flame coal

QU Yang

(CCTEG Coal Industry Planning Institute, Beijing 100120, China)

Abstract: Low-rank coal is prone to fragmentation and pulverization during pyrolysis, resulting in the formation of a large amount of pyrolysis semi-coke. Its short transport radius, easy formation of dust and self-ignition, and difficulty in utilization have become the bottleneck restriction the development of pyrolysis technology. The formation of heat fragmentation semi-coke can fully utilize the natural size distribution of semi-coke, which solves the problem of product transport. At the same time, as a clean coal product, it can be widely used as a substitute for bulk coal in the current rural area, which is an effective and economic solution. In this paper, the molding-drying characteristics of heat fragmentation semi-coke of long flame coal were quantitatively investigated. The water-soluble binder sodium humate and the inorganic binder bentonite with good thermal strength and stability were selected as composite binders. The cold compressive strength of the briquette under different binder formulations was tested by forming press. The optimum drying system was determined by blast drying method, and finally a 50 kg molding test was carried out. The experimental results show that the formation effect of composite binders of sodium

收稿日期:2019-01-03; **责任编辑:**白娅娜 **DOI:**10.13226/j.issn.1006-6772.19010302

基金项目:国务院总理基金课题大气重污染成因与治理攻关项目(DQGG0206-05);中国煤炭科工集团有限公司科技创新创业资金专项资助项目(2018-2-MS027)

作者简介:曲 洋(1988—),男,黑龙江齐齐哈尔人,副研究员,博士后,从事煤炭清洁高效利用技术与煤炭战略研究。

E-mail:quyang@ccri.cn

引用格式:曲洋.长焰煤热碎半焦的成型-干燥特性研究[J].洁净煤技术,2019,25(4):20-25.

QU Yang. Research on molding-drying characteristics of heat fragmentation semi-coke of flame coal[J]. Clean Coal Technology, 2019, 25(4): 20-25.



移动阅读

humate and bentonite is better than that of single formulation, and the optimum molding conditions for flame coal are 6% sodium humate, 5% bentonite, 28% moisture content, 20 MPa molding pressure and 65% (<1 mm) particle size ratio. The briquette is dried in three temperature ranges, avoiding the problems of large deformation rate, more cracks and lower mechanical strength of briquette caused by too fast jump of drying temperature. The optimal drying system for coal is 0.5 h at the initial temperature of 60 °C, 1 h at the transition temperature of 100 °C, and 1.5 h at the final temperature of 130 °C. The pilot test was carried out by the above-mentioned molding-drying method, and the results show that the volatilization of the heat fragmentation semi-coke coal is 10.55% (≤12%) and a calorific value is 28.97 MJ/kg(≥24 MJ/kg), the sulfur content is 0.33% (≤0.5%), the cold compressive strength is 459 N(≥400 N), the ash is 11.69% (≤25%), which are superior to the national standards(GB 34170—2017) and Beijing local standard(DB 11/097—2014). The feasibility of the process is demonstrated.

Key words: flame coal; heat fragmentation; semi-coke; molding; drying; pilot scale test

0 引 言

热解技术是实现低阶煤作为煤基化工原料的重要方式^[1-5],是分质分级的重要载体。但低阶煤热解后易发生碎裂及粉化(热碎)^[6-8],导致大量热碎半焦的生成(粒度一般低于 25 mm),其运输半径短、易形成扬尘并伴有自燃现象^[9-12]。低阶煤热碎焦难利用的问题已成为制约热解技术发展的严峻问题。而采用热解与成型联合的方式,将热碎半焦制备成型煤,既可充分利用热碎焦的天然梯级粒度分布,也解决了产品输配困难的问题,同时作为洁净煤产品,可广泛应用在农村地区散煤替代,是“宜煤则煤”的重要举措,也是解决目前民用散烧煤所致大气污染最有效方法之一^[13-17]。目前针对型煤研究较多,刘宇^[18]通过混配高挥发分不黏煤以改善半焦型煤的燃烧性能,半焦型煤中混配 4.7% 不黏煤时,可提高型煤的燃烧反应性,使其上火速度由 1.34 °C/min 增大为 1.57 °C/min;郭振坤等^[19]发现采用腐植酸、淀粉和钠基膨润土可使得烟煤具备良好冷强度、热强度、热稳定性;李鹏宇^[20]通过研究新疆褐煤成型性,发现添加黏结剂为氧化镁含量 6% + 硫酸镁含量 3% 时,新疆褐煤所制型煤的冷压强度达到最佳。赵世永等^[21]以焦粉为主要原料,采用冷压成型工艺制备型煤,发现以有机黏结剂制备的型煤抗压强度最大,发热量高,但热稳定性较差。崔帅

等^[22]以淀粉、氧化钙、聚乙烯醇为黏结剂原料,采用冷压成型制备出型煤,研究表明,淀粉含量 15%, CaO/淀粉为 0.1, PVA/(CaO+淀粉)为 0.1 时,型煤的落下强度为 99.544%,冷压强度为 2.332 kN/个。叶英等^[23]通过有黏结剂冷压成型方法研究了蒙东褐煤成型特性,发现提质褐煤煤粉与添加剂中的一OH 和—COOH 缔合的羟键和化学键,使煤粒与黏结剂的作用力增加。目前报道以型煤黏结剂研发为主,鲜见与干燥制度配合研究,由于单一黏结剂与恒温干燥的工艺成型效果并不理想^[24],型煤产品强度普遍偏低,导致型煤在流通过程中易碎,严重影响产品品质。目前多数研究集中在烟煤成型,对以长焰煤热碎半焦为成型原料的研究偏少。本文以典型长焰煤热解后的热碎半焦为研究对象,考察其成型-干燥特性,遴选最佳工艺条件,以期为热碎半焦成型工艺的选择与优化提供参考。

1 试 验

1.1 试验原料

长焰煤热碎半焦的工业及元素分析见表 1。

1.2 试验设备

GD-800 型热解炉、JCH-20T 成型测试压力机、电动搅拌机、成型模具、DC-300 型颚式破碎机、XSB-88 振筛机、电子天平、WL-500 型对辊工业成型机。

表 1 半焦工业分析和元素分析

Table 1 Proximate and ultimate analysis of semi-coke sample

工业分析/%				元素分析/%					发热量 $Q_{gr,d}/$ (MJ · kg ⁻¹)
M_{ad}	A_d	V_{daf}	FC_{daf}	C_d	H_d	N_d	$S_{t,d}$	O_d	
1.72	6.56	8.85	91.15	86.49	1.75	0.9	0.27	4.03	31.37

1.3 试验方法

实验室试验方法:将长焰煤加入热解炉进行热解(温度 600 °C;时间 1 h),待出料冷却后进行预先

准备(筛分/破碎/级配)。而后将半焦加入混料容器中,定量添加所要考察的型煤黏结剂;在电动搅拌机中预混合 60 s 后,加入适量水捏合搅拌 5 min,使

其混合均匀。称取一定质量(100 g左右,视试验过程与模具而定)混合物于成型模具中,在成型压力机上压制成型。取出成型煤料在室温下放置2~3 h后,在加热电热鼓风干燥箱干燥型块,得到型煤样品后进行相关测试分析。长焰煤热碎半焦成型试验流程如图1所示。

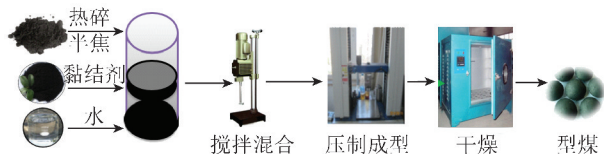


图1 长焰煤热碎半焦成型试验流程

Fig. 1 Molding experiment process of heat fragmentation semi-coke of flame coal

中试试验方法:按照实验室的最优条件,采用50 kg半焦原料进行验证性试验。半焦、黏结剂等物料进入混合器混合,而后经皮带进入对辊工业成型机(辊宽300 mm,功率22 kW,主轴转速13 r/min)压制型煤,并收集,流程如图2所示。采用对应的干燥制度干燥后测试,分析产品与国标的对标情况。

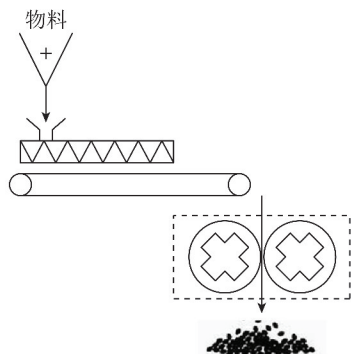


图2 长焰煤热碎半焦成型中试流程

Fig. 2 Molding pilot experiment process of heat fragmentation semi-coke of flame coal

2 结果与讨论

2.1 型煤复合黏结剂的确定

腐植酸钠是利用稀碱抽提泥炭、褐煤或风化煤的产物,属于水溶性黏结剂,其来源广、成本低,是理想的有机黏结剂^[25]。膨润土作为无机黏结剂,所制成的型煤具有较好的热态强度和热稳定性,同时成本较低^[26]。因此,利用二者开发复合型黏结剂是改善型煤性能的有效途径。

成型压力20 MPa、水分25%、粒度上限3 mm煤粉中低于1 mm比例为65%时,膨润土、腐植酸钠分别单独使用和二者复配使用对半焦末成型的影响如图3所示。可知,腐植酸钠添加量为13%时,型煤冷压强度达到393 N,仍低于400 N。膨润

土添加量为8%时,型煤冷压强度达到419 N。使用复合黏结剂时,添加量大于6%后,型煤冷压强度均高于400 N。添加量为6%(腐植酸钠3%+膨润土3%)时,型煤冷压强度达到411 N;复合添加剂量为7%(腐植酸钠4%+膨润土3%)时,型煤冷压强度达到491 N;复合添加剂量为7%(腐植酸钠3%+膨润土4%)时,型煤冷压强度达到498 N。因此,腐植酸钠与膨润土复配比单独使用能明显提高型煤冷压强度。

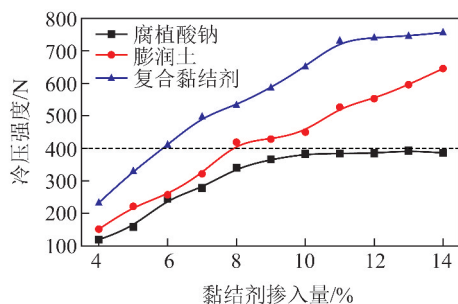


图3 不同黏结剂下型煤冷压强度的变化

Fig. 3 Changes of cold compressive strength of briquette under different binders

2.2 成型条件的优化

为了优化复合黏结剂的成型方案,在上述试验的基础上,利用正交试验进一步研究黏结剂和成型条件对型煤冷压强度的影响。考察水分、成型压力、级配(<1 mm煤粉占全部煤粉的比例)、腐植酸钠、膨润土对半焦成型的影响。试验因素为4水平,试验过程按正交表($L_{16}(4^5)$)安排。各因素水平见表2。

表2 正交试验因素水平

Table 2 Orthogonal test factor levels

水平	A 水分/%	B 膨润土/%	C 腐植酸钠/%	D 压力/MPa	E 级配/%
1	22	2	3	11	60
2	25	3	4	14	65
3	28	4	5	17	70
4	31	5	6	20	75

表3为正交试验的试验结果。可知:极差 $R_B > R_A > R_C > R_D > R_E$,故本次正交试验各因素对型煤冷压强度影响的主次顺序为:膨润土B>水分A>腐植酸钠C>成型压力D>粒度级配比E。 k_i 可以反映因素对指标的影响,因此,得出黏结剂各成分的最佳水平组合为 B_4C_4 ,相应的成型条件最优组合为 $A_3D_4E_2$,即最优方案为:膨润土5%、腐植酸钠6%、成型水分28%、成型压力20 MPa、粒度级配比65%(<1 mm)。

表 3 正交试验结果
Table 3 Orthogonal test results

序号	影响因素					冷压强度/N
	A	B	C	D	E	
1	1	1	1	1	1	218
2	1	2	2	2	2	382
3	1	3	3	3	3	503
4	1	4	4	4	4	571
5	2	1	2	3	4	353
6	2	2	1	4	3	401
7	2	3	4	1	2	581
8	2	4	3	2	1	630
9	3	1	3	4	2	492
10	3	2	4	3	1	598
11	3	3	1	2	4	516
12	3	4	2	1	3	630
13	4	1	4	2	3	495
14	4	2	3	1	4	516
15	4	3	2	4	1	612
16	4	4	1	3	2	607
K_1	1 674	1 558	1 742	1 945	2 058	
K_2	1 965	1 897	1 977	2 023	2 062	
K_3	2 236	2 212	2 141	2 061	2 029	
K_4	2 230	2 438	2 245	2 076	1 956	
$k_1=K_1/4$	418.50	389.50	435.50	486.25	514.50	
$k_2=K_2/4$	491.25	474.25	494.25	505.75	515.50	
$k_3=K_3/4$	559.00	553.00	535.25	515.25	507.25	
$k_4=K_4/4$	557.50	609.50	561.25	519.00	489.00	
极差 R	140.50	220.00	125.75	32.75	26.50	

注: K_i 为因素 A、B、C、D、E 的第 i 水平所在的试验中对应的冷压强度之和($i=1,2,3,4$)。

2.3 热碎半焦煤的干燥特性

采用上述最佳条件制备型煤样品后干燥。干燥时间 120 min 时,干燥温度对型煤冷压强度的影响如图 4 所示。型煤强度随着干燥温度升高逐渐增加,干燥温度 60 ~ 130 ℃,型煤强度增加明显;干燥温度高于 130 ℃,型煤强度增加趋缓。考虑干燥温度过高导致能耗和成本增加且型煤强度增加不明显,选定 130 ℃ 为干燥终温,此时型煤的冷压强度为 518 N。

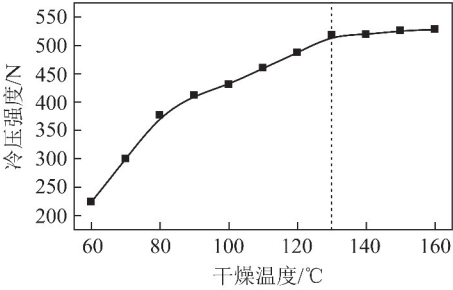


图 4 干燥温度对型煤冷压强度的影响
Fig. 4 Effect of drying temperature on cold compressive strength of briquette

干燥温度 130 ℃ 时,干燥时间对型煤冷压强度的影响如图 5 所示。可知干燥时间 60 ~ 150 min,冷压强度随干燥时间延长而增加;干燥时间为 150 min 时,型煤的冷压强度达到最大值(523 N);干燥时间大于 150 min,型煤的冷压强度会随着干燥时间的升高而降低。此外,试验显示型煤在直接高温干燥过程中,表面均出现或多或少裂纹,影响型煤的抗压强度和落下强度;而在空气中自然干燥的型煤则不产生裂纹。干燥箱直接升至较高温度对型煤干燥时,型煤内部水分快速汽化逸出,在型煤内部产生许多微孔,使型煤结构疏松,型煤强度下降。同时由于气流温度较高,型煤表面迅速脱水收缩,而内部尚未脱水,使型煤表面与内部形成应力不均,造成型煤开裂。因此,生球在空气中自然干燥 4 ~ 6 h 后再热力干燥比直接放入干燥箱中烘干的强度优越。

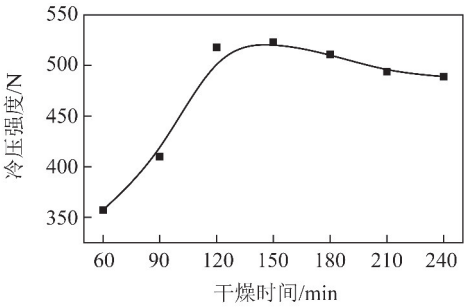


图 5 干燥时间对型煤冷压强度的影响
Fig. 5 Effect of drying time on cold compressive strength of briquette

2.4 分温区干燥对型煤强度的影响

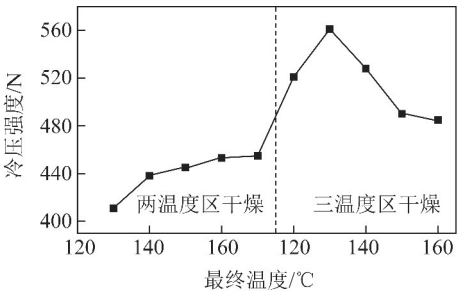
在自然干燥条件下,内、外的水分脱除速率较慢,可降低由于水分析出造成的型煤内、外部裂纹发育程度。但自然干燥效率较低,对于工业化生产来说几乎难以实现。因此,采取以下措施:① 降低干燥温度,使型煤内部和外部水分脱除速度基本一致,但降低干燥温度会使型煤干燥不彻底,内部有湿芯,型煤强度无法保证。② 先采用较低温度干燥,待型煤外部固结具有足够强度后再使用较高温度进一步完全干燥,即采用分温区干燥方案。分温区干燥可防止型煤开裂并兼顾干燥效率的要求。

对型煤进行分区干燥试验如图 6 所示。可知,经过 3 个温度区间的干燥效果明显好于仅有 2 个温度区间的效果。主要是因为 2 个温度区间干燥时,干燥温度跃升太大,型煤内外变形速率差别大,裂纹多。3 个温度区间干燥制度(0.5 h 60 ℃ → 1.0 h 100 ℃ → 1.5 h 130 ℃);经过 0.5 h 60 ℃ 干燥后,型煤表面的水分开始缓慢脱除、收缩产生的应力效应不显著,形成有一定厚度、强度的外壳;此时温度跃

升到 100 ℃,水分逸出不会太强烈,对型煤强度的影响处在较低水平。为缩短干燥时间,提高干燥效率,最后在 130 ℃下完成干燥。干燥终温不能过高,因为过度干燥会使型煤内部产生较大的热应力,导致型煤内部结构发生改变,降低机械强度。此外低阶煤的最终干燥温度超过 140 ℃极易引起干燥窑内起火。所以,最终干燥温度不应超过 140 ℃。试验确定的优化干燥制度为:起始温度 60 ℃下 0.5 h、过渡温度 100 ℃下 1.0 h、最终温度 130 ℃下 1.5 h。

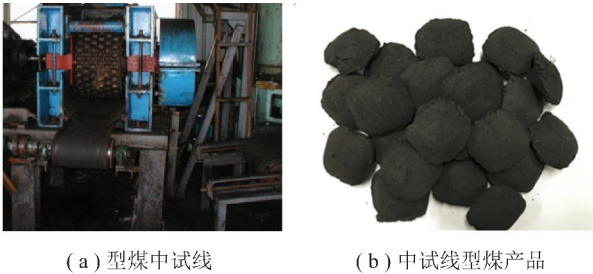
2.5 热碎半焦型煤的中试试验

按照上述最优条件在中试现场配制原料及黏结剂,利用型煤中试线(图 7(a))进行成型,制备后的型煤经过分区干燥后进行性能测试。中试生产的型煤产品宏观形态如图 7(b)所示。可见其产品无裂痕,外观光滑,形状规则。中试型煤测试结果见表 4。可知热碎半焦型煤挥发分低于 12%,发热量高于 24 MJ/kg,硫分低于 0.5%,而冷压强度高于 400 N 标准(459 N),同时灰分较低(<25%),各项指标均符合 GB 34170—2017《商品煤质量 民用型煤》和 DB 11/097—2014《低硫煤及制品》的要求,进一步论证了该工艺方法的可行性。



起始温度/时间: 60 ℃, 0.5 h 起始温度/时间: 60 ℃, 0.5 h
过渡温区: 无 过渡温区: 100 ℃, 1 h
最终温区时间: 1.5 h 最终温区时间: 1.5 h

图 6 分温区干燥对型煤冷压强度的影响
Fig. 6 Effect of drying in different temperature zone on cold compressive strength of briquette



(a) 型煤中试线 (b) 中试线型煤产品
图 7 中试试验基地及型煤样品
Fig. 7 Pilot plant and briquette products

表 4 中试半焦型煤性质分析
Table 4 Analysis of properties of semi-coke briquette

项目	$A_d/\%$	$V_d/\%$	$Q_{gr,d}/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$S_{t,d}/\%$	冷压强度/N	落下强度/%
国标	$\leq 25^*$	≤ 12	≥ 24	≤ 0.50	≥ 400	≥ 80
中试半焦型煤	11.69	10.55	28.97	0.33	459	84

注: * 表示国标没有灰分标准,参考 DB 11/097—2014《低硫煤及制品》。

3 结 论

- 1) 长焰煤热碎半焦的最佳成型条件为:腐植酸钠 6%、膨润土 5%、成型水分 28%、粒度上限 3 mm 的煤粉中低于 1 mm 比例为 65%、成型压力 20 MPa。
- 2) 热碎半焦型煤干燥采用三温区制度,避免了干燥温度跃升过快造成的型煤内外变形速率大和裂纹多等问题,其最优参数为初始 60 ℃、过渡 100 ℃、终温 130 ℃,对应的干燥时间为 0.5、1.0 和 1.5 h。
- 3) 最佳成型-干燥条件下获得的热碎半焦型煤挥发分低于 12%,发热量高于 24 MJ/kg,硫分低于 0.5%,冷压强度高于 400 N,灰分小于 25%,各项指标均优于 GB 34170—2017 和 DB 11/097—2014。

参考文献 (References):

[1] 谢和平. 煤炭革命的战略与方向[M]. 北京:科学出版社,2018.

[2] 刘振宇. 煤快速热解制油技术问题的化学反应工程根源: 逆向传热与传质[J]. 化工学报, 2016, 67(1): 1-5.
LIU Zhenyu. Origin of common problems in fast coal pyrolysis technologies for tar: The countercurrent flow of heat and volatiles[J]. CIESC Journal, 2016, 67(1): 1-5.

[3] 张盛诚, 何榕. 单颗粒煤粉热解时焦油的二次反应和扩散[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2016, 56(6): 605-610.
ZHANG Shengcheng, HE Rong. Secondary reactions and diffusion of tar during single coal particle pyrolysis[J]. Journal of Tsinghua University: Science & Technology, 2016, 56(6): 605-610.

[4] CHEN Z H, LI Y J, LAI D G, et al. Coupling coal pyrolysis with char gasification in a multi-stage fluidized bed to co-produce high-quality tar and syngas[J]. Applied Energy, 2018, 215: 348-355.

[5] NI M J, LI C, FANG M X, et al. Research on coal staged conversion poly-generation system based on fluidized bed[J]. International Journal of Coal Science & Technology, 2014, 1(1): 39-45.

[6] 曲洋, 初荣, 郝成亮, 等. 固定床提质过程褐煤的热碎裂/粉化特性及其负效应分析[J]. 煤炭学报, 2018, 43(7): 2036-2043.
QU Yang, CHU Mo, HAO Chengliang, et al. Characteristics of lig-

- nite fragmentation/pulverization and its negative effects during upgrading in fixed-bed[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(7): 2036-2043.
- [7] SENNECA O, URCIUOLO M, CHIRONE R. A semidetalled model of primary fragmentation of coal[J]. Fuel, 2013, 104: 253-261.
- [8] 曲洋, 初茉, 申国栋, 等. 回转窑提质过程宝日褐煤热碎性工艺因素分析[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(2): 386-392.
- QU Yang, CHU Mo, SHEN Guodong, et al. Analysis of factors affecting Baori lignite heat fragmentation during upgrading in rotary kiln[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2016, 45(2): 386-392.
- [9] 刘丽华, 初茉, 党彤彤, 等. 热提质褐煤预氧化后自燃特性变化及其自由基原位分析[J]. 化工学报, 2017, 68(10): 3967-3977.
- LIU Lihua, CHU Mo, DANG Tongtong, et al. Free radicalin situ analysis and change of spontaneous combustion characteristics after pre-oxidation for thermal upgraded lignite[J]. CIESC Journal, 2017, 68(10): 3967-3977.
- [10] 孙任晖, 何立新, 郜丽娟, 等. 宝日褐煤及其干燥煤和半焦的润湿热变化规律[J]. 煤炭转化, 2015, 38(2): 14-18.
- SUN Renhui, HE Lixin, GAO Lijuan, et al. Study on behavior of heat of immersion of baorixile lignite and dry coal and semi-coke[J]. Coal Conversion, 2015, 38(2): 14-18.
- [11] 曲洋, 初茉, 郝成亮, 等. 褐煤热碎性对提质工艺的影响分析[J]. 煤炭工程, 2015, 47(12): 118-120.
- QU Yang, CHU Mo, HAO Chengliang, et al. Analysis for the impact of lignite heat fragmentation characteristic on upgrading process[J]. Coal Engineering, 2015, 47(12): 118-120.
- [12] 周琦, 邹涛, 初茉, 等. 多层流化床褐煤热解半焦特性与自燃倾向性抑制[J]. 煤炭学报, 2014, 39(S2): 531-537.
- ZHOU Qi, ZOU Tao, CHU Mo, et al. Characterization and suppression of spontaneous combustion propensity of lignite char by multi-stage fluidized bed pyrolysis[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(S2): 531-537.
- [13] 戚涛, 高健, 李静, 等. 民用散煤燃烧排放颗粒物微观特征[J]. 环境工程学报, 2017, 11(7): 4133-4139.
- QI Tao, GAO Jian, LI Jing, et al. Microscopic characteristics of individual particles from residential raw coal combustion[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2017, 11(7): 4133-4139.
- [14] 何绪文. 民用燃煤大气污染物控排技术对策[J]. 洁净煤技术, 2017, 23(4): 12-17.
- HE Xuwen. Countermedsure of air pollutant controlled pollution for civilian coal[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(4): 12-17.
- [15] 麦方代, 王东升, 刘明锐, 等. 京津冀地区洁净型煤使用现状及建议[J]. 环境保护, 2016, 44(6): 25-27.
- MAI Fangdai, WANG Dongsheng, LIU Mingrui, et al. Clean coal using situation and recommendations in Beijing, Tianjin, Hebei area[J]. Environmental Protection, 2016, 44(6): 25-27.
- [16] 曲洋, 初茉, 朱书全. 褐煤热碎性对成型及气化的影响[J]. 煤炭技术, 2017, 36(10): 289-290.
- QU Yang, CHU Mo, ZHU Shuquan, et al. Influence of lignite heat fragmentation characteristics on molding and gasification technologies[J]. Coal Science and Technology, 2017, 36(10): 289-290.
- [17] 柴发合, 薛志钢, 支国瑞, 等. 农村居民散煤燃烧污染综合治理对策[J]. 环境保护, 2016, 44(6): 49-50.
- CHAI Fahe, XUE Zhigang, ZHI Guorui, et al. Complex control measures of rural coal combustion pollution[J]. Environmental Protection, 2016, 44(6): 49-50.
- [18] 刘宇. 半焦混配不黏煤制备民用洁净型煤研究[J]. 煤质技术, 2018(1): 23-27.
- LIU Yu. Preparation of domestic clean coal briquette by semi-coke mixed with long-flame coal[J]. Coal Quality Technology, 2018(1): 23-27.
- [19] 郭振坤, 荣令坤, 张金山. 粘结剂对型煤成型的试验研究[J]. 矿产综合利用, 2017(3): 62-66.
- GUO Zhenkun, RON Lingkun, ZHANG Jinshan. Experimental study on the influence of binder on briquette molding[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2017(3): 62-66.
- [20] 李鹏宇. 不同粘结剂对新疆褐煤成型性影响的研究[J]. 选煤技术, 2017(3): 21-23.
- LI Pengyu. Study of effect of different binders on briquetting of Xinjiang Lignite[J]. Coal Preparation Technology, 2017(3): 21-23.
- [21] 赵世永, 周安宁. 用半焦粉末制备型煤特性实验研究[J]. 煤炭转化, 2012, 35(1): 61-64.
- ZHAO Shiyong, ZHOU Anning. Experiments and study on the characteristics of briquette made with semi-coke breeze[J]. Coal Conversion, 2012, 35(1): 61-64.
- [22] 崔帅, 唐晓宁, 张彬, 等. 粘结剂组分对云南褐煤成型性能影响研究[J]. 化学研究与应用, 2015, 27(7): 1082-1091.
- CUI Shuai, TANG Xiaoning, ZHANG Bin, et al. Experimental study for the binder component forming properties of lignite in Yunnan[J]. Chemical Research and Application, 2015, 27(7): 1082-1091.
- [23] 叶英, 武建军, 周国莉, 等. 提质褐煤煤粉粘结剂成型特性研究[J]. 选煤技术, 2014(5): 14-18.
- YE Ying, WU Jianjun, ZHOU Guoli, et al. Study on molding characteristic of binder of upgraded fine lignite[J]. Coal Preparation Technology, 2014(5): 14-18.
- [24] 曲洋. 长焰煤热碎半焦的成型特性研究[J]. 煤炭技术, 2018, 37(9): 364-365.
- QU Yang. Research on molding characteristics of heat fragmentation char of flame coal[J]. Coal Science and Technology, 2018, 37(9): 364-365.
- [25] 赵巍, 李远才, 万鹏, 等. 基于腐植酸钠的型煤复合粘结剂的研究[J]. 中国煤炭, 2011, 37(12): 77-81.
- ZHAO Wei, LI Yuancan, WAN Peng, et al. Study on briquette composite binder based on sodium humate[J]. China Coal, 2011, 37(12): 77-81.
- [26] 谷红伟. “神华优混”煤粉的成型特性研究[J]. 煤炭工程, 2015, 47(11): 117-119.
- GU Hongwei. Study on Briquetting Characteristics of "Shenhua Premium Mixed Coal" [J]. Coal Engineering, 2015, 47(11): 117-119.