

活性炭酸碱法脱灰的研究现状与展望

吴倩^{1,2,3}, 梁大明^{1,2,3}, 王鹏^{1,2,3}, 解炜^{1,2,3}

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 煤化工分院, 北京 100013; 2. 煤基节能环保炭材料北京市重点实验室, 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: 为了给不同原料来源及不同矿物质组成的活性炭脱灰方法的选取和脱灰工艺的制定提供参考, 探讨了酸碱法脱灰工艺的选取、影响脱灰效果的主要因素及脱灰对活性炭性能的影响, 简要介绍了酸碱法脱灰作用机理, 并对未来活性炭酸碱法脱灰的研究方向进行了展望, 提出为实现活性炭中无机矿物质的精准脱除, 需深入研究酸碱化学脱灰剂的脱灰机理、煤基活性炭深度脱灰工艺研发是未来碱洗-酸洗脱灰的发展方向。

关键词: 活性炭; 酸洗; 碱洗; 脱灰; 机理

中图分类号: TQ424.1 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2017)06-0011-06

Research progress and prospect of acid-alkali demineralization with activated carbon

WU Qian^{1,2,3}, LIANG Daming^{1,2,3}, WANG Peng^{1,2,3}, XIE Wei^{1,2,3}

(1. Coal Chemistry Branch of China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2. Beijing Key Laboratory of Coal Based Carbon Materials, Beijing 100013, China; 3. National Energy Technology and Equipment Lab of Coal Utilization and Emission Control, Beijing 100013, China)

Abstract: Based on different raw materials and minerals of different formulation, the paper provided reference for selection of demineralization method and formulation for demineralization process. The acid-alkali demineralization method selection, main factors affecting the demineralization effect and activated carbon performance were principally introduced. In addition, the process and mechanism of acid-alkali demineralization were briefly concerned. Finally, the future research direction of the acid-alkali demineralization with activated carbon was prospected. It is mainly pointed out that the mechanism of de-ashing of the acid-alkali chemical ash removal agent should be studied deeply to realize the accurate removal of inorganic minerals in the activated carbon. The research of deep ash-removal process on coal-based activated carbon is the development trend of alkali-acid washing.

Key words: activated carbon; acid washing; alkali washing; demineralization; mechanism

0 引言

活性炭是一种重要的多孔功能材料, 因其丰富的孔结构、发达的比表面积和优良的吸附性能而被广泛应用于气相和液相的吸附、精制、分离、脱色、催化等领域, 在食品、化工、医药、环保等方面发挥着重要的作用^[1-3]。

我国是活性炭生产大国, 活性炭种类繁多, 按生产原料不同主要分为两大类: 一类是以特定煤

种或配煤为原料的煤基活性炭, 另一类是以椰壳、稻壳、木屑、竹质等为原料的木质活性炭^[4]。这2类活性炭的制备原料在生产过程中均会把一些金属氧化物及其无机盐带入活性炭产品中, 致使活性炭的灰分增加、纯度降低。灰分是评价活性炭质量的重要指标之一, 不同用途活性炭对灰分要求不同, 如用于医药、食品等领域的活性炭灰分在1%~4%, 而用作人体血液净化的活性炭要求灰分低于0.1%。酸碱法脱灰是一种重要的活性炭

收稿日期: 2017-04-15; 责任编辑: 李柏熹 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2017.06.003

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2016ZX05045-005)

作者简介: 吴倩(1986—), 女, 安徽宿州人, 硕士研究生, 从事煤基炭材料的制备及应用研究。E-mail: wuqian.512@163.com

引用格式: 吴倩, 梁大明, 王鹏, 等. 活性炭酸碱法脱灰的研究现状与展望[J]. 洁净煤技术, 2017, 23(6): 11-16.

WU Qian, LIANG Daming, WANG Peng, et al. Research progress and prospect of acid-alkali demineralization with activated carbon [J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(6): 11-16.

深度脱灰技术,适用性强,广泛地应用于工业化生产。

本文首先针对不同原料、矿物质种类和含量的活性炭,提出了适合选取的酸碱法脱灰工艺,然后从影响脱灰效果的主要因素、脱灰对活性炭性能的影响、酸碱法脱灰作用机理等方面综述了活性炭酸碱法脱灰的研究现状,并对其发展方向进行展望。

1 活性炭酸碱法脱灰工艺

酸碱法脱灰包括酸洗脱灰法、碱洗脱灰法及酸碱联合脱灰法。根据活性炭脱灰时机不同,又分为前期、中期及后期3种处理方法^[5],对应的处理对象是原料煤、炭化料和活性炭成品。前期处理工艺的原煤量大,脱灰剂耗量高;中期处理工艺实际应用较少,工艺尚不成熟;后期处理工艺比较成熟,是活性炭工业生产普遍采用的方法。目前针对不同原料中矿物质含量及种类确定的活性炭后期脱灰工艺主要有酸洗脱灰法和酸碱洗联合脱灰法。

1.1 酸洗脱灰法

酸洗活性炭脱灰工艺使用的酸主要有盐酸、硫酸、硝酸、醋酸和氢氟酸等无机酸^[6-8],其中氢氟酸

由于毒性大限制使用,盐酸因价格便宜且脱灰效果较好而得到广泛使用。酸洗脱灰法的工艺流程如图1所示。



图1 活性炭酸洗脱灰工艺

Fig. 1 Activated carbon pickling deashing technique

采用酸洗脱灰工艺,为了达到较好的酸洗脱灰效果,对活性炭制备原料有一定要求。一般果壳和木质活性炭的无机矿物质含碱土元素、碱金属元素较多,过渡元素中铁含量较高,其氧化物能溶于酸溶液中,所以选用酸洗脱灰法能够达到较理想的脱灰效果。而煤基活性炭分2种情况:①若煤基活性炭中的矿物成分以碳酸盐矿物为主,同时主要目的是除去铁质,那么选用盐酸洗脱灰工艺就能够满足要求;②若煤基活性炭中的矿物成分以石英为主,硅铝含量较高,则酸洗脱灰效果不理想。

由于原料来源不同,活性炭灰分及灰成分组分含量差异较大,导致酸洗脱灰效果相差很大。典型椰壳活性炭和2种不同矿物质含量的煤基活性炭灰分及灰成分主要组分见表1^[9-10]。

表1 典型椰壳和煤基活性炭的灰分及灰成分主要组分含量^[9-10]

Table 1 Main components of ash and ash content of the typical coconut shell and coal-based activated carbon^[9-10]

活性炭种类	灰分	灰成分主要组分					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O
椰壳活性炭	3.65	7.43	19.45	6.88	25.14	9.16	31.57
无烟煤基活性炭	6.81	25.51	17.33	20.02	25.62	10.16	0.82
烟煤基活性炭	11.57	65.05	22.13	8.20	3.48	1.05	0.09

姚伯元等^[11]对海南椰壳基活性炭原料分别采用了混酸(HNO₃和HCl)和单种酸(H₃PO₄)进行酸洗脱灰,研究发现2种方式均能很好地脱除其灰分,但单种酸对椰壳渣脱灰效果更好,用10% H₃PO₄常温处理3h,可将椰壳渣灰分脱至0.4%。张林等^[12]对独山子石化公司生产的煤质破碎活性炭采用盐酸洗除灰,将灰分从约14%一次性降至约3%。盐酸洗除灰效果较好的原因主要是破碎炭中铁元素含量约占灰分的一半,铁、钙、镁、铝等金属在稀盐酸中能够转化为盐溶液而被除去。王宜望等^[13]证实了不同原料及灰成分组分有差异的活性炭,酸洗脱灰效果相差较大,其研究表明:椰壳活性炭通过酸洗几乎可以去掉全部灰分,灰分降低至0.1%,酸洗效果最

佳;木质活性炭次之;煤基活性炭即使通过4次酸洗,灰分降低程度还不到50%,酸洗效果最差。

1.2 酸碱洗联合脱灰法

对于矿物质成分以石英为主、硅铝含量较高的活性炭,酸洗脱灰效果不理想,适合选择碱洗-酸洗联合脱灰工艺,经酸碱两步处理可脱除活性炭中大部分的矿物质成分,脱灰较彻底。酸碱洗联合脱灰法的工艺流程如图2所示。



图2 活性炭碱洗-酸洗联合脱灰工艺

Fig. 2 Activated carbon caustic washing-pickling combined deashing technique

碱洗脱灰剂常用 NaOH、KOH 或两者混合物。一定条件下,活性炭无机矿物中的硅和铝等酸不溶物、难溶物与碱反应生成可溶性盐,水洗过程即可除去(用稀盐酸洗脱灰效果更好)。山西新华化工厂活性炭脱灰工房^[14]采用钠碱为主的中等浓度碱液进行碱洗,再用稀盐酸进行酸洗,灰分脱除率 94.8%,实现了以煤基活性炭代替部分昂贵木基活性炭用于食品行业的目标。

目前大同地区有些企业对成品入库的活性炭进行深加工,酸碱洗脱灰除铁工艺流程如图 3 所示。

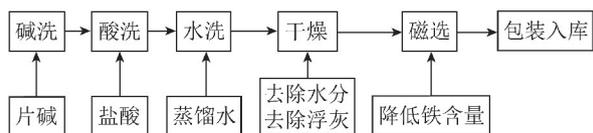


图 3 大同某活性炭有限公司深加工酸碱洗脱灰工艺

Fig. 3 Deep processing of acid-alkali deashing technique in an activated carbon co., ltd of Datong

酸碱洗脱灰工艺得到的低酸溶灰活性炭和酸洗低铁活性炭产品,酸溶灰含量 0.5% ~ 1%,灰分 3% ~ 12%,铁含量 0.03% ~ 0.05%。

为了使酸碱法脱灰过程更经济,碱再生和副产品回收是重点。美国宾州 Burn&Roe 公司、能源部匹茨堡能源中心及印度 A·N 都采用在碱滤液中加入 CaO 回收 NaOH,处理后的滤液循环使用^[6]。还可通过回收铝盐、钠盐及白炭黑^[15-16]等有应用价值的副产品提高经济效益。

综上所述,活性炭脱灰工艺的选择须根据活性炭制备原料(木基或是煤基)、脱除目标元素(Si、Al、Fe 等)、用户需求、设备投资及现有工艺的改进难度综合分析考虑。

2 酸碱法脱灰的主要影响因素

影响酸碱洗脱灰过程的主要因素有:酸碱洗液浓度、处理温度、处理时间、活性炭粒度及浸取压力等(其中酸碱洗液浓度、处理温度、处理时间较为重要)。

2.1 酸洗液浓度

对于矿物质成分易溶于酸溶液的活性炭,随着酸洗液浓度增大,酸液与矿物质相互作用机会增加,提高了反应强度,活性炭灰分下降明显;但酸洗液浓度不宜过高,浓度过高不仅增加脱灰成本,更容易造成环境污染,酸洗液浓度存在最佳值。

周颖^[17]以石油焦为原料制备超级活性炭,研究

了酸浓度对活化料脱灰除铁的效果,发现随着盐酸浓度的升高,脱灰率升高、铁含量下降。由化学反应动力学速率方程可知,反应速率与盐酸浓度正相关,随着盐酸浓度的增大,反应速率增大,加大了灰分脱除率,并对铁的消除有效果。杨巧文等^[18]配制了 4 种质量分数的硝酸溶液,考察硝酸浓度对内蒙古半焦脱灰效果的影响,研究发现,4 种干馏温度的半焦分别经不同浓度的硝酸处理后,灰分均有所下降,其中 17% 硝酸液脱灰率最高,灰分脱除率约 20%。舒成等^[19]用 5% 的稀盐酸处理煤液化残渣活化物,得到碘吸附值 1 762.49 mg/g、灰分 1.39% 的活性炭。由此可见,酸洗在脱除灰分的同时,提高了活性炭的碘吸附能力。

2.2 酸处理温度

酸洗温度升高,有利于灰分的浸取,因为灰分矿物与酸反应后产物随温度升高溶解度增大,容易洗涤除灰;但温度也不宜过高,因为酸在较高温度下易挥发。

刘泽^[20]对大同烟煤制活性炭进行脱除酸溶铁的工业中试,考察了酸浸温度对除铁效果的影响,试验结果表明,温度升高对除铁有利,但温度接近 100 °C 时,HCl 浓度减少反而不利于脱铁,最佳的处理温度为 70 ~ 80 °C。舒成等^[19]用热的 20% KOH 溶液对内蒙古半焦脱灰处理,比常温 KOH 溶液的脱灰效果好,灰分下降 10% 左右。

2.3 酸处理时间

由于酸液与活性炭中矿物质的反应是固液反应,酸液向活性炭内部的扩散是控制步骤,而扩散至酸液完全浸取活性炭中灰分矿物质需要一定的时间,因此酸浸时间也是影响酸洗脱灰效果的重要因素。赵文艳^[21]对大同烟煤制活性炭进行酸洗中试,考察了酸浸时间对脱除酸溶铁的影响,试验结果表明,浸泡时间延长对脱铁有利,最佳酸浸时间为 12 h;继续延长浸取时间,脱铁效果不明显。

2.4 酸洗脱灰工艺多因素的交互作用

姚伯元等^[11]对海南椰壳渣用 H₃PO₄ 处理,考察了酸处理温度、时间、浓度、处理次数等因素对脱灰的影响,得到了各因素对脱灰效果的重要顺序依次为酸化时间、酸化温度、酸浓度、酸化次数,最佳条件为采用 10% H₃PO₄,在 30 °C 处理 3 h,酸化 2 次,可将椰壳渣灰分脱至 0.9%,灰分脱除率达 83.4%。张振等^[22]考察了浸泡时间、浸泡温度、浸泡次数、混酸比例等因素对竹基活性炭原料

5 结论与展望

活性炭深度脱灰处理的酸碱脱灰法的应用取得了一定进展,脱灰效果也优于其他物理方法;但酸碱法脱灰一般存在工艺流程复杂、消耗大、成本高且废水污染严重等问题,使其发展受到了一定的限制。未来活性炭酸碱法脱灰的研究方向为:

1)控制不同反应条件(如温度、压力、时间、浓度),针对所含矿物质不同种类的活性炭制定合适的脱灰工艺,最大化降低其灰分同时降低能源消耗。

2)目前酸碱法脱灰作用机理的研究还不完善,为了进一步提高酸碱洗剂对活性炭无机矿物质的脱除率,相关化学脱灰剂脱灰作用机理和酸碱液脱除矿物质后对活性炭结构和吸附性能表征手段仍需深入研究。

3)加大酸碱滤液的回收与循环使用。实际生产中为了强化脱灰反应过程,得到满意的脱灰效果,酸碱洗液的加入量是理论耗量的数倍,过剩的酸碱滤液如不再生循环使用,不仅使活性炭脱灰成本增高,也会增加水处理费用,造成不可避免的环境污染。所以探寻酸碱滤液的回收与循环使用途径将会是以后研究的重点。

4)开发食品工业应用的煤基脱色活性炭产品替代部分昂贵的木基活性炭,其中煤基活性炭深度脱灰工艺研发是未来碱洗-酸洗脱灰的发展方向。

参考文献 (References):

[1] HSU L Y, TENG H. Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bituminous coal [J]. Fuel Processing Technology, 2000, 64(1): 155-166.

[2] 黄振兴. 活性炭技术基础[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2006: 1-6.

[3] 梁大明. 中国煤质活性炭[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 34-38.

[4] 熊银伍. 中国煤基活性炭生产设备现状及发展趋势[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(3): 39-42.

XIONG Yinwu. Current status and development trend of coal-based activated carbon production equipment in China [J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(3): 39-42.

[5] 张军, 解强, 李兰亭. 煤质活性炭脱灰工艺的研究进展[J]. 煤化工, 2007, 35(2): 20-23.

ZHANG Jun, XIE Qiang, LI Lanting. Progress in demineralization of coal-based activated carbon [J]. Coal Chemical Industry, 2007, 35(2): 20-23.

[6] 耿东森, 张荣光, 张健. 酸碱脱灰法制备超低灰煤[J]. 河北煤

炭, 2000(2): 31-32.

GENG Dongsun, ZHANG Rongguang, ZHANG Jian. Preparation of ultra low-ash coal by deashing with acid & alkali [J]. Hebei Coal, 2000(2): 31-32.

[7] 葛晓东. 化学法在活性炭后处理中的应用[J]. 煤化工, 2005, 33(4): 64-65.

GE Xiaodong. Application of chemical method in the tail treatment of activated carbon [J]. Coal Chemical Industry, 2005, 33(4): 64-65.

[8] GONG G Z, QIANG X, ZHENG Y F, et al. Regulation of pore size distribution in coal-based activated carbon [J]. New Carbon Materials, 2009, 24(2): 141-146.

[9] 陈仁辉, 李春阁. 活性炭无机成份的去除[J]. 化学工程与装备, 1995(3): 23-27.

CHEN Renhui, LI Chungu. Removal of inorganic components of activated carbon [J]. Chemical Engineering and Equipment, 1995(3): 23-27.

[10] 张军, 解强, 高小华, 等. 煤基活性炭微波加热酸碱脱灰的研究[J]. 中国科技论文, 2008, 3(6): 459-464.

ZHANG Jun, XIE Qiang, GAO Xiaohua, et al. Removal of inorganic matters from coal-based activated carbon by acid and alkali treatments under microwave heating [J]. Sciencepaper Online, 2008, 3(6): 459-464.

[11] 姚伯元, 黄广民, 窦智峰, 等. 海南椰壳与椰壳渣制备高比表面积活性炭原料脱灰工艺[J]. 化工学报, 2006, 57(6): 1458-1463.

YAO Boyuan, HUANG Guangmin, DOU Zhifeng, et al. Demineralization of Hainan coconut shell and its residue for preparing high surface area activated carbon [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering (China), 2006, 57(6): 1458-1463.

[12] 张林, 王朝雨, 刘军. 煤质活性炭除灰方法比较[J]. 现代化工, 2005, 25(S1): 254-256.

ZHANG Lin, WANG Zhaoyu, LIU Jun. Comparison of methods for removing ashes from coal activate carbon [J]. Modern Chemical Industry, 2005, 25(S1): 254-256.

[13] 王宜望, 左宋林, 张文彬. 酸洗除灰分对活性炭性质的影响[J]. 林业工程学报, 2016, 1(2): 66-71.

WANG Yiwang, ZUO Songlin, ZHANG Wenbin. Effects of ash removal by pickling on the properties of activated carbon [J]. Journal of Forestry Engineering, 2016, 1(2): 66-71.

[14] 陈仁辉, 薛晓芸. 煤基活性炭的化学去灰[J]. 炭素技术, 1999(4): 29-32.

CHEN Renhui, XUE Xiaoyun. Chemical Demineralization for coal-based activated carbon [J]. Carbon Technioues, 1999(4): 29-32.

[15] 甘露. 稻壳制备白炭黑及纳米级白炭黑的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2007(11): 7-12.

GAN Lu. Preparation of white carbon black and nano silica from rice husk [J]. Cereal and Feed Industry, 2007(11): 7-12.

[16] 李栋. 生物质活性炭的制备、成型及活化机理研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2013: 32-36.

- [17] 周颖. 超级活性炭制备工艺中灰分控制的注意事项[J]. 石子科技, 2015(2):36-37.
ZHOU Ying. Matters needing attention in the control of ash in the preparation of super activated carbon [J]. Shihezi Science and Technology, 2015(2):36-37.
- [18] 杨巧文, 任艳娇, 赵璐炜, 等. 内蒙半焦的脱灰工艺研究[J]. 煤炭加工与综合利用, 2014(4):67-69.
YANG Qianwen, REN Yanjiao, ZHAO Luwei, et al. Study on deashing technology of semi-coke[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 2014(4):67-69.
- [19] 舒成, 李克健, 杨葛灵, 等. 原料灰分及脱灰工艺对 KOH 活化法制备活性炭的影响[J]. 炭素技术, 2016, 35(2):28-31.
SHU Cheng, LI Kejian, YANG Geling, et al. Effects of ashes and deashing process on the adsorption of activated carbons prepared with KOH activation[J]. Carbon Techniques, 2016, 35(2):28-31.
- [20] 刘泽. 大同煤制备低酸溶铁活性炭的工业中试[J]. 煤炭加工与综合利用, 2004(3):36-37.
LIU Ze. Industrial Test of low acid soluble iron activated carbon from Datong coal[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 2004(3):36-37.
- [21] 赵文艳. 低酸溶铁活性炭的工业中试[J]. 煤化工, 2006, 34(1):52-53.
ZHAO Wenyan. Industrial test of activated carbon with low acid-soluble iron[J]. Chemical Industry, 2006, 34(1):52-53.
- [22] 张振, 杨胜杰, 张晓丽, 等. 超级电容器用竹基活性炭原料脱灰工艺的研究[J]. 电池工业, 2013, 18(S1):55-57.
ZHANG Zhen, YANG Shengjie, ZHANG Xiaoli, et al. Research on the deashing technology for super capacitor using bamboo-based carbon material [J]. Chinese Battery Industry, 2013, 18(S1):55-57.
- [23] El-Hendawy A. Surface and adsorptive properties of carbons prepared from biomass[J]. Applied Surface Science, 2005, 252(2):287-295.
- [24] 白宗庆, 陈浩侃, 李文, 等. 酸处理对活性炭性质及其催化裂解甲烷制氢性能的影响[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(2):246-250.
BAI Zongqing, CHEN Haokan, LI Wen, et al. Effects of acid treatment to activated carbons on their properties and catalytic performance in hydrogen production by methane decomposition[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2006, 35(2):246-250.
- [25] 李海红, 李红艳. 预处理方法对活性炭结构及吸附性能的影响[J]. 粉末冶金材料科学与工程, 2014(4):647-653.
LI Haihong, LI Hongyan. Effects of different pretreatment methods on structure and adsorption properties of activated carbon [J]. Materials Science and Engineering of Powder Metallurgy, 2014(4):647-653.
- [26] 李海红, 王宁. 活性炭酸碱预处理最佳方案确定及性能表征[J]. 陕西科技大学学报:自然科学版, 2016, 34(4):120-124.
LI Haihong, WANG Ning. Characterization of activated carbon from acid-alkali pretreatment and determine the preferred plan [J]. Journal of Shanxi University of Science and Technology, 2016, 34(4):120-124.
- [27] 高晓甫, 刘亚纳, 蒋家超, 等. 酸碱连续改性木质活性炭及其吸附水中苯酚的动力学研究[J]. 河南师范大学学报:自然科学版, 2015(3):94-98.
SHANG Xiaofu, LIU Ya'na, JIANG Jiachao, et al. Study on kinetics of wooden activated carbon modified by acid and alkali continuously and its adsorption of phenol in water[J]. Journal of Henan University(Natural Science Edition), 2015(3):94-98.
- [28] 刘寒冰, 杨兵, 薛南冬. 酸碱改性活性炭及其对甲苯吸附的影响[J]. 环境科学, 2016, 37(9):3670-3678.
LIU Hanbing, YANG Bing, XUE Nandong. Effects of acidic and basic modification on activated carbon for adsorption of toluene [J]. Environmental Science, 2016, 37(9):3670-3678.
- [29] 高晋生, 王曾辉. 煤的碱处理脱灰的初步研究[J]. 煤化工, 1990(3):16-20.
GAO Jinsheng, WANG Zenghui. Preliminary study on deashing of coal with alkali [J]. Coal Chemical Industry, 1990(3):16-20.
- [30] 李德伏, 崔之栋, 王同华. 常压下煤的碱处理脱灰[J]. 煤炭转化, 1992(4):83-88.
LI Defu, CUI Zhidong, WANG Tonghua. Deashing of coal with aqueous alkali under atmosphere [J]. Coal Conversion, 1992(4):83-88.
- [31] WANG Z Y. Removal of mineral matter from coal by alkali treatment[J]. Fuel Processing Technology, 1986, 19(2):279-289.
- [32] 侯彩霞, 张帅, 杜敬文, 等. 酸/碱对褐煤中矿物质脱除效果分析[J]. 煤炭技术, 2015, 34(12):258-260.
HOU Caixia, ZHANG Shuai, DU Jingwen, et al. Analysis of acid/alkali treatment on lignite demineralization [J]. Coal Technology, 2015, 34(12):258-260.
- [33] 杨巧文, 郭玲, 郭宋江, 等. 半焦酸碱法脱灰工艺研究[J]. 中国煤炭, 2016, 42(8):78-81.
YANG Qiaowen, GUO Ling, GUO Songjiang, et al. Study on the acid-base deashing technology of semi-coke [J]. China Coal, 2016, 42(8):78-81.