

煤气化细渣疏水-亲水双液炭/灰分离实验

薛中华¹, 董连平¹, 樊民强¹, 杨崇义¹, 王建成², 鲍卫仁²

(1. 太原理工大学矿业工程学院, 山西 太原 030024; 2. 太原理工大学煤科学与技术教育部与山西省重点实验室, 山西 太原 030024)

摘要: 这是一篇矿业工程领域的论文。煤气化细渣是煤气化过程中产生的一种固体废物, 其中残炭严重制约了其资源化利用, 从煤气化细渣中提取残炭是一个紧迫的问题。本研究应用疏水-亲水双液分离技术来提取煤气化细渣中残炭, 其主要的影响因素有搅拌速度、搅拌时间、疏水液体用量、矿浆浓度、矿浆温度和疏水液体种类。疏水-亲水双液分离技术对煤气化细渣有优异的提碳降灰效果, 其碳产品的灰分可达 30% 以下, 灰质产品的灰分可达 95% 以上。通过表征分析揭示了分离机理, 结果表明残炭对煤油的吸附强度远超灰质, 使得煤油处理过的残炭疏水性大幅度增加, 容易被油相捕获。本研究可为煤气化细渣的高效提碳降灰提供重要指导, 有助于实现煤气化固废的综合利用。

关键词: 矿业工程; 煤气化细渣; 疏水液体; 团聚; 疏水-亲水双液分选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.03.010

中图分类号: TD982;TD984 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2024) 03-0063-07

引用格式: 薛中华, 董连平, 樊民强, 等. 煤气化细渣疏水-亲水双液炭/灰分离实验[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(3): 63-69.

XUE Zhonghua, DONG Lianping, FAN Minqiang, et al. Extraction of carbon from fine coal gasification slag by hydrophobic-hydrophilic separation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(3): 63-69.

中国煤化工产业发展迅速^[1], 2018 年现代煤化工转化煤炭 9560 万 t, 2020 年煤化工用煤达 1.5 亿 t^[2]。煤气化不仅是煤炭清洁利用的一种方式, 更是发展现代煤化工的必由之路。煤气化渣有粗渣和细渣两种。粗渣因其富含铝和硅元素, 可用于建材、陶瓷、有价元素的提取等行业。与粗渣相比, 细渣的碳含量更高 (通常为 20%~60%)^[3]。煤气化细渣含有较高的重金属, 如若直接填埋, 占用土地资源的同时会对土壤和水质造成一定程度危害, 影响生态环境。当煤气化细渣用作水泥混凝土或水泥活性混合物时, 最大灰分分别高于 90% 和 92%。此外, 在从煤气化细渣中提取铝和硅元素时, 虽然高碳含量不会严重

影响产品性能, 但灰分越低, 其消耗更多的酸或碱越多, 导致经济性越差。因此, 从煤气化细渣中去除残炭是其资源化利用中亟待解决的问题^[4]。

疏水-亲水分选 (HHS)^[5] 是一种基于驱替脱水 (DBD)^[4] 的高效分离疏水/亲水颗粒的先进技术。在范德华力和疏水力的驱动下, 疏水液体驱替颗粒表面的水分子, 实现 DBD。加以剪切力, 在实现驱替脱水的同时, 疏水絮团聚集于油相。亲水颗粒聚集于水相, 油水两相的分离便是疏水/亲水颗粒的分离。油相中的疏水液体被回收后得到水分较低的产品, 降低了脱水成本, 说明 HHS 具有高效分离和脱水的双重优点。HHS 技术在微细粒煤分选、铜矿分选和稀土元素分选中均表现

收稿日期: 2022-07-11

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFC190430&22022YFB4101604); 省部共建煤炭高效利用与绿色化工国家重点实验室开放课题资助项目 (2021-K81); 国家能源集团煤制油研究院技术 [2020]010 课题资助项目

作者简介: 薛中华 (1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为固废利用。

通信作者: 董连平 (1976-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为固废利用。

出优越的性能，且分选得到的产品水分多在 10% 以下。本研究采用 HHS 技术对煤气化细渣进行了提碳降灰研究，得到了优异的炭/灰产品。

1 实验

1.1 实验样品

实验用煤气化细渣采自神华宁煤集团责任公

司的神宁干粉气化炉，经真空带式过滤机脱水后的气化细渣含水率为 60%，样品经晾晒及低温烘干后混匀备用。筛分结果见表 1。

工业分析见表 2，煤气化细渣灰分 79.80%，空气干燥基挥发分 2.40%，说明经高温气化后，还含有部分挥发性物质。原样碳含量 18.74%，此组分的碳含量不利于煤气化细渣的进一步利用，有进行炭/灰分离的必要性。

表 1 神宁炉煤气化细渣筛分实验结果
Table 1 Particle size composition of the samples

粒度/mm	+0.5	-0.5+0.25	-0.25+0.125	-0.125+0.074	-0.074+0.045	-0.045	总计
产率/%	3.56	7.43	10.98	12.82	11.47	53.74	100.00
灰分/%	90.00	86.40	64.77	61.65	72.16	84.61	78.39

表 2 神宁炉煤气化细渣的工业分析和元素分析
Table 2 Proximate and ultimate analysis of coal samples

工业分析/%			元素分析/%					
水分 M_{ad}	灰分 A_{ad}	挥发分 V_{ad}	固定碳 FC_{ad}	C	H	N	O	S
0.46	79.80	2.40	12.16	19.18	0.18	0.12	0.41	0.31

实验选用的疏水液体有煤油、正戊烷、正庚烷和石油醚，均为分析纯。

2 实验方法

采用 1LXFD 浮选机，调节搅拌速度和充气进行 HHS 实验，实验条件见表 3。干燥的细渣试样 50 g 放置在浮选槽中，添加 1 L 水，搅拌 5 min，试样完全湿润后再添加适量的疏水性液体，油水双相混合一段时间，再将浮选槽中的油水双相输送到 2 L 分液漏斗中，放置 5 min，再用分流阀将下层水溶液从烧杯中排出，并将上层的油相排出到另外一个烧杯中。将 HHS 精矿和尾矿置于真空烘箱中进行烘干，称量并计算产率，根据国标 GB/T212-2008 对产品的灰分测量，并求出其可燃体回收率（公式 1）。

表 3 实验方案
Table 3 Test schemes

编号	搅拌速度/ (r/min)	搅拌时间/ min	$m_{\text{疏水液体}}:m_{\text{样品}}$	矿浆浓度/ (g/L)	温度/ ℃	试剂
1	变量	5	1:2	50	10	煤油
2	1800	变量	1:2	50	10	煤油
3	1800	5	变量	50	10	煤油
4	1800	5	1:2	变量	10	煤油
5	1800	5	1:2	50	变量	煤油
6	1800	5	1:2	50	10	变量

$$\varepsilon = \frac{\gamma_j(100 - A_j)}{10000 - \gamma_j A_j - (100 - \gamma_j) A_w} \times 100 \quad (1)$$

式中： ε -可燃体回收率，%； γ_j -精矿产率，%； A_j -精矿灰分，%； A_w -尾矿灰分，%。

3 实验结果分析

3.1 搅拌速度的影响

搅拌速度对 HHS 分离效果的影响见图 1。

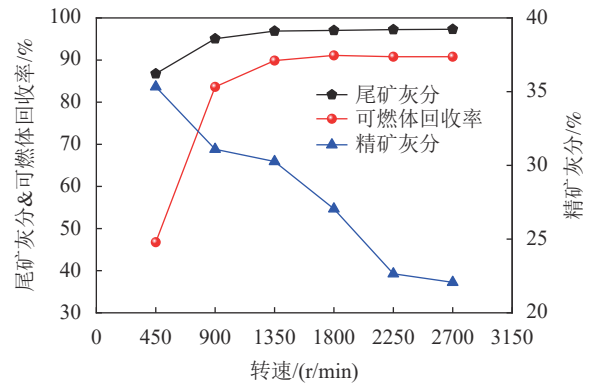


图 1 搅拌速度对 HHS 分离效果的影响
Fig.1 Effect of mixing speed on the HHS separation

从图 1 可以看出，精矿灰分从 35.33% 下降到 30.26%，尾矿灰分从 86.75% 上升到 96.88%，可燃体回收率从 46.76% 上升到 89.97%，残炭和灰质的分离效果显著改善。继续提升转速，可燃体回收率不再有明显的提高，但精矿灰分进一步降低，在转速达到 2700 r/min，精矿灰分最低，达到 22.07%。这是由于随搅拌速度的增加，油滴减小的程度明显增加，其与残炭颗粒的碰撞概率和碰撞强度显著提高，在两者充分接触并结合的基础上，绝大部分残炭颗粒在疏水相作用下形成聚团

进入疏水相，因此尾矿灰分提高，可燃体回收率大幅提升。综合考虑，搅拌速度的区间固定在1800~2250 r/min。

3.2 搅拌时间的影响

搅拌时间对 HHS 分离效果的影响见图 2。

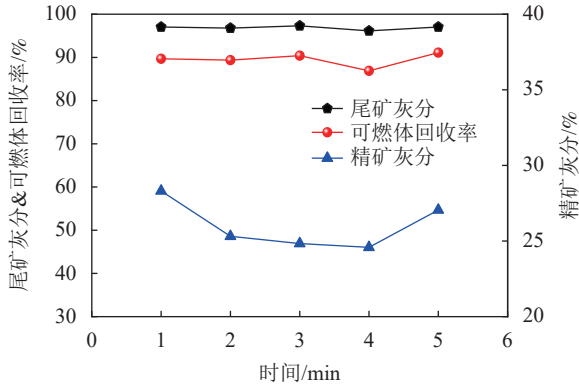


图 2 搅拌时间对 HHS 分离效果的影响

Fig.2 Effect of mixing time on the HHS separation

从图 3 可以看出，在充分的搅拌速度（1800 r/min）下，可以在很短的搅拌时间内完成对残炭粒子的捕捉，在 1 min 内，可以获得灰分 97.04% 和可燃体回收率 89.68% 的尾矿，但是精矿灰分偏高。随着搅拌时间延长，团聚周期的破裂次数增多，团聚物中携带的亲水性颗粒（灰质）能够被排出，从而减少了精矿灰分。3 min 时，精矿灰分达到了 24.83%、尾矿灰分 97.30%、可燃体回收率达到了 90.40%。随着搅拌时间的延长，团聚体的尺寸逐渐变大，灰质颗粒进入团聚的几率增加，精矿灰分随之提高。

3.3 疏水液体用量的影响

考查了疏水液体用量对 HHS 分离效果的影响，结果见图 3。

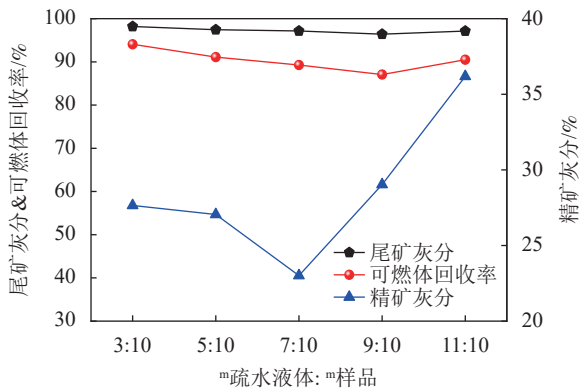


图 3 疏水液体对 HHS 分离效果的影响

Fig.3 Effect of hydrophobic liquid dosage on the HHS separation

实验中发现， $m_{\text{疏水液体}}:m_{\text{样品}}=3:10$ 时，只有少许表观粒径为毫米大小的聚团，薄油层紧贴水面，油量太低，难以形成大团聚体； $m_{\text{疏水液体}}:m_{\text{样品}}=5:10$ ，出现较多表观粒径为厘米大小的聚团，薄油层紧贴水面；疏水液体持续增加，聚团持续减少，油层越厚。图 4 表明， $m_{\text{疏水液体}}:m_{\text{样品}}=7:10$ 时，精矿灰分 23.01%，可燃体回收率 89.27%，尾矿灰分 97.16%，分选效果较好。

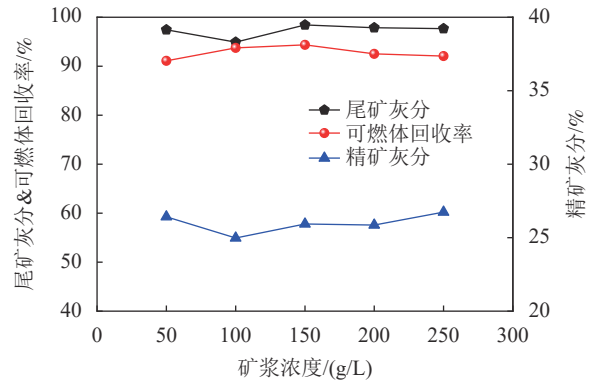


图 4 矿浆浓度对 HHS 分离效果的影响

Fig.4 Effect of slurry concentration on the HHS separation

$m_{\text{疏水液体}}:m_{\text{样品}} \geq 7:10$ 时，油量越多，精矿灰分愈高，尾矿灰分愈低，分选效果较差，究其原因。虽然油水互不相溶，但是在剪切力、油水双相浮选槽内循环和油水双相内各种颗粒的作用下会形成油相中小水滴与水相中的小油滴。分液释放水相后，再加水 1 L 静置 5 min 与原来漏斗内的油相再次明显分层，然后第二次分液释放水层于底下新的大烧杯，此时烧杯内的水层仍为淡灰色，这是因为在油相中小水滴破裂，释放精矿的部分灰分，使其灰分升高。与之类似，仍有部分水相中的小油滴留于分液后的水层中，分液时，水相中的小油滴在分液漏斗的底部进入空气的时候破裂，在底部的烧杯内的水相上会形成一层难以分辨油水界面的油层。这部分油层里含有少量高碳颗粒进入尾矿，使其使灰分下降。

3.4 矿浆浓度的影响

矿浆浓度对 HHS 分离效果的影响规律见图 4。当矿浆浓度为 100 g/L 到 200 g/L 时，可燃体回收率与精矿灰分变化幅度不大，小于或大于这个区间精矿灰分升高 1.6% 以上，其中矿浆浓度为 150 g/L 时，可燃体回收率最高，为 94.36%，并且尾矿灰分也在 97% 以上。这是因为与较佳矿浆浓度相比，过低或过高的矿浆浓度会降低颗粒

和非极性油滴之间的碰撞频率，并导致较低的精矿回收率。当矿浆浓度高时，油滴对残炭/灰质颗粒的非选择性增加，细泥夹带严重，精矿灰分升高。

3.5 矿浆温度的影响

矿浆温度对 HHS 分离效果的影响规律见图 5。矿浆温度从 10 °C 升高到 40 °C，精矿灰分从 27.05% 下降到 24.58%，可燃体回收率从 91.10% 降低到 88.07%，尾矿灰分变化幅度不超过 1%。聚团的表观粒径从厘米大小到毫米大小，这是因为煤油黏度随矿浆温度升高而降低，煤油黏度越小，在浮选槽内循环中，聚团越容易破碎，低温度下的团聚体较大，内夹带较多水分，含有大量灰；并且升温可以改善煤油分散状态，使煤油小液滴在浮选槽内与矿物颗粒充分接触，降低其精矿灰分。50 °C 及以后，随矿浆温度的升高，粘壁逐渐严重，较高温度使煤油在高灰亲水性颗粒表面吸附愈多。浮选槽内底部这些吸附煤油的泥沙，循环时其与聚团相接，粘附这一部分高灰到团聚体精矿上，造成精矿灰分升高。

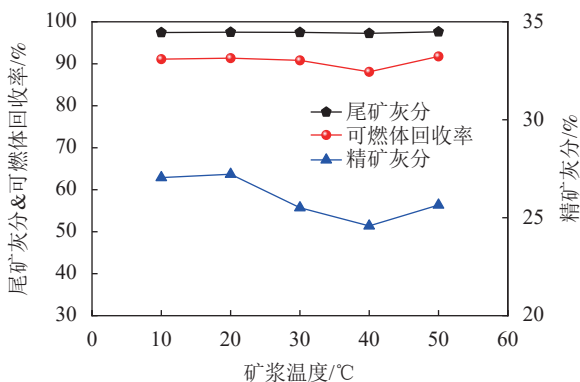


图 5 矿浆温度对 HHS 分离效果的影响

Fig.5 Effect of slurry temperature on the HHS separation

3.6 疏水液体种类的影响

考查了戊烷、庚烷、石油醚和煤油等疏水液体对 HHS 分离效果的影响，结果见表 4。

疏水液体的性质，如密度、黏度和官能团等，决定着聚团的形状、大小、强度和结构，影响炭/灰分离过程的产率和速率，从而影响灰的去除程度。短链烷烃的疏水液体如正戊烷、石油醚和正庚烷，分选得到的精矿灰分比煤油得到精矿灰分低 2%~4%，尾矿灰分变化不大。说明短链烷烃的疏水液体有利于降低精矿灰分，因其密度和黏度较低，分选时形成的聚团的表观粒径为毫米级别，在搅拌循环中形成的聚团容易破碎，更容

易释放其中含灰的水滴。

表 4 疏水液体种类对炭/灰分离效果的影响

Table 4 Effects of various hydrophobic liquids on the HHS separation

试剂	黏度 (20 °C /cp)	精矿灰分 /%	尾矿灰分 /%	可燃体回收率 /%
正戊烷	0.23	25.74	97.79	92.00
石油醚	0.30	24.59	97.96	92.42
正庚烷	0.40	23.12	97.49	89.46
煤油	2.50	27.05	97.44	91.10

4 煤气化细渣炭/灰分离产品分析

对煤气化细渣、灰分分别为 22.07% 和 97.3% 的精矿/尾矿化验分析，其中精矿与尾矿在搅拌速度 2700 r/min，搅拌时间 5 min， $m_{\text{疏水液体}}:m_{\text{样品}}=2:1$ 获得的。由表 5 精矿尾矿的 XRF 分析可知，样品的矿物组成以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 CaO 为主。图 6 中的鼓包峰表明，在气化细渣中，无定形物质以残炭为主，并且精矿非晶态的峰强度比原矿和尾矿高。原样、精矿和尾矿的石英特征峰明显，精矿方解石与黄铁矿特征峰高于原样尾矿，由此得知，原样、精矿和尾矿石英含量皆高，方解石与黄铁矿进入精矿的比例较大，这与 XRF 分析是一致的。

概而论之，产品分为富集炭的精矿和尾矿两部分。其中富集炭的精矿热值 $>6000 \text{ kcal/kg}$ ，可以热电掺烧、返回气化炉再气化^[5-6]，或者做为一些碳材料的前驱体，比如活性炭、焦活性炭等吸附材料^[7]。尾矿的高灰可以用来大宗建材、煤矿填充料、作为建筑的活化粉体的来源^[8]、水体和土壤修复硅基^[9]、陶瓷材料^[10] 和催化剂等高附加值材料。

本实验在通风橱中以煤油这种不易挥发的疏水液体进行煤气化细渣炭/灰分离，后续实验将采用正庚烷等短链烷烃进行实验研究，可以在低温下回收疏水液体进行再利用，进一步完善此工艺，降低成本。

5 机理分析

煤气化细渣中的残炭与矿物质有一定的密度差异，利用三溴甲烷和苯配置的不同密度的重液进行浮沉实验，数据结果见表 6。将 2.1 g/cm^3 的残炭与 $+2.4 \text{ g/cm}^3$ 灰质进行润湿热分析、FTIR 分析与润湿性分析来探究 HHS 中煤气化细渣炭/灰分

表 5 神宁炉气化细渣原样及炭/灰分离产品的 XRF 分析结果/%
Table 5 XRF results of the samples and separation products

名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	合计
原样	53.78	15.02	10.08	9.01	3.11	2.79	1.94	1.87	1.14	0.42	99.16
精矿	50.19	15.39	12.15	9.36	3.11	2.61	1.29	2.21	1.65	1.11	99.07
尾矿	51.71	15.57	10.25	8.84	3.23	2.70	1.99	2.70	1.99	0.35	99.33
折合灰分的原样	42.15	11.77	7.90	7.06	2.44	2.19	1.52	1.47	0.89	0.33	77.72
折合灰分的精矿	11.08	3.40	2.68	2.07	0.69	0.58	0.28	0.49	0.36	0.24	21.86
折合灰分的尾矿	50.31	15.15	9.97	8.60	3.14	2.63	1.94	2.63	1.94	0.34	96.65

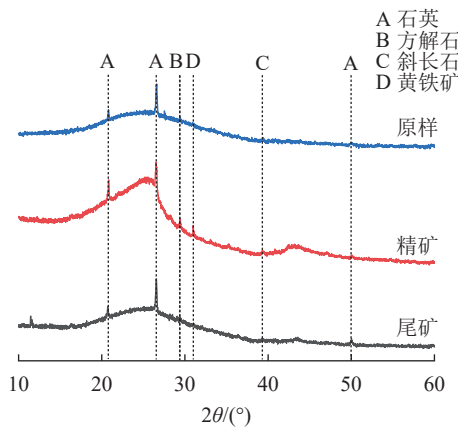


图 6 煤气化细渣原样、精矿和尾矿 XRD
Fig.6 XRD patterns of the sample and separation products

离的机理。

表 6 神宁炉煤气化炉气化细渣密度组成
Table 6 Density composition of the sample

密度/(g/cm)	产率/%	灰分/%	累计产率/%	累计灰分/%
-2.1	14.34	30.72	14.34	30.72
2.1-2.2	5.13	54.85	19.47	37.07
2.2-2.3	10.53	60.30	30.00	45.23
2.3-2.4	20.87	83.17	50.87	60.79
+2.4	49.13	96.39	100.00	78.28

5.1 润湿热分析

气化渣的炭/灰疏水-亲水双液分离过程本质是利用了炭与灰不同的表面性质（润湿性），炭质为非极性表面，具有亲油性，而灰（矿物）质则为极性表面，具有亲水性。不同性质的表面，其润湿性的直观表现就是润湿热不同。本文使用 C80 微量热仪对神宁炉煤气化渣残炭与灰质分别进行润湿热测试，称取 100 mg 样品，量取 2 mL 润湿液体，炉温恒温 30 °C，测量结果见图 7。

煤气化细渣残炭与水、煤油在润湿过程中表现为放热现象，说明残炭可以自发分散于油水两相，但是残炭与水的润湿放热值小于残炭与煤油

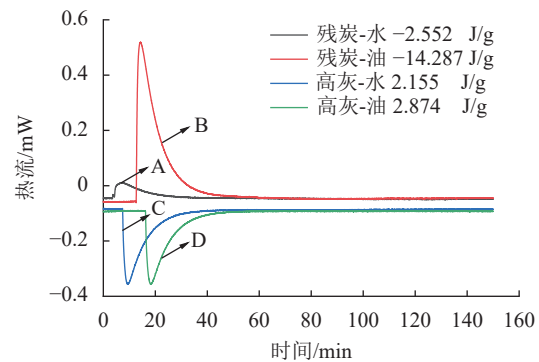


图 7 吸/脱附处理后煤气化渣残炭与灰质热流曲线
Fig.7 Residual carbon and high ash heat flow lines of the sample by adsorption / desorption processing

的润湿放热值，表明残炭易分散于油相。煤气化细渣灰质与水、煤油在润湿过程中表现为吸热现象，形成较小的聚团，施以一定的能量输入（搅拌作用）可以分散，灰质与煤油的润湿过程比较长，且灰质与水的润湿吸热值略小于灰质与煤油的润湿吸热值，表明灰质更亲于水相。

结合前文疏水液体用量对 HHS 分离的影响可知，疏水液体用量有一个较佳值。随着疏水液体的不断加入，煤油在优先吸附完矿浆中的残炭后，会开始吸附矿浆中的灰质；这是因为灰质与水、煤油的润湿吸热值相差不大，当疏水液体超过较佳值时，有一部分灰质进入油相，导致最终精矿的灰分升高。

5.2 煤油与煤气化细渣作用的 FTIR 分析

红外光谱结果见图 8、9。结合表 7，煤油的官能团由 C-H 脂肪族振动区、饱和烷烃氢的 C-H 伸缩振动、-CH(CH₃)₂ 的 C-H 伸缩振动和碳原子个数大于 4 的 -C(CH₂)_n- 组成。由图 9 与表 7 看出，残炭与灰质中具有较高含量的强亲水性的含氧官能团 -OH、N-H 与 Si-O，在水中电离时易与 H₂O 分子形成分子间氢键，使其较难进行泡沫浮选；与煤油处理高灰前后的 3550~3200 cm⁻¹ 的分

子氢键缔合峰相比,煤油处理残炭前后的此峰明显向左偏移,这说明残炭比灰质更容易吸收煤油分子,更易形成氢键;1100~1000 cm⁻¹的区间为Si-O的特征峰,灰质中的二氧化硅含量明显多于炭,对应两者中二氧化硅的差异。1460 cm⁻¹为-CH₂和-CH₃弯曲振动,明显残炭被煤油处理过后此吸收峰强度高于处理前,而煤油处理前后的灰质,变化不明显,说明残炭吸收的煤油分子较多,即煤油处理增大了残炭与灰质疏水性的差异。

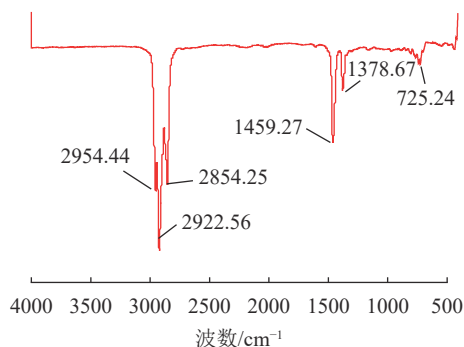


图8 煤油的 FTIR
Fig.8 FTIR spectra of the kerosene

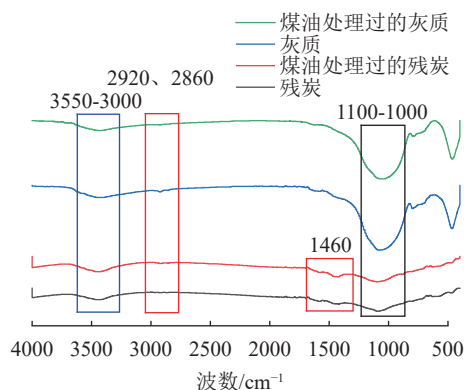


图9 经煤油处理前后的残炭和灰质的 FTIR
Fig.9 FTIR spectra of residual carbon and ash before and after kerosene treatment

5.3 润湿性分析

采用 DSA100 接触角测量仪测定各样品的接触角。接触角是煤表面亲疏水性的直观体现,接触角越大越疏水。表8为煤油作用前后残炭与灰质的接触角测试结果,从该表可以看出,煤油处理前残炭的接触角 $\theta=36.11^\circ$,煤油处理后残炭的接触角 $\theta=107.82^\circ$ 。煤油处理前灰质的接触角 $\theta=28.08^\circ$,煤油处理后灰质的接触角 $\theta=80.19^\circ$ 。煤油处理后残炭后其表面疏水性显著增强,说明残炭优先吸附煤油,继而增强其疏水性使其在油相富集。

表7 官能团种类及其对应吸收峰范围
Table 7 Type of functional groups and their corresponding absorption peak range

吸收峰范围/cm ⁻¹	官能团种类
3750~3000	-OH与N-H特征峰
3100~2750	C-H脂肪族振动区
3550~3450	分子间氢键-二分子缔合
3500~3200	分子间氢键-多分子缔合
2954.44、2922.56、2854.25	饱和烷烃氢的C-H伸缩振动
1470~1450	-CH(CH ₃) ₂ 的C-H伸缩振动
725.24	碳原子个数大于4的-C(CH ₂) _n -
1100~1000	Si-O-Si伸缩振动

表8 接触角测试结果
Table 8 Test results of the contact angle

残炭	煤油处理后的残炭	灰质	煤油处理后的灰质
36.11	107.82	28.08	80.19

6 结 论

(1) 疏水-亲水双液分选法可以实现煤气化细渣中炭与灰的高效分离,可以得到灰分30%以下的炭产品和灰分97%以上的灰质产品;短链烷烃对煤气化细渣的HHS分离效果普遍比煤油好,其中正庚烷效果较好,精矿灰分23.12%,尾矿灰分97.49%。

(2) HHS分选得到的精矿弹筒发热量高于6000 kcal/kg,尾矿产品烧失量低于3%,大部分金属元素富集,满足下一步利用标准。

(3) 机理分析表明,细渣中的残炭与煤油优先吸附,形成聚团,进而富集在油相中,而灰质大多留在水相中,随着油水两相的分离实现了煤气化细渣的高效提碳降灰。

参考文献:

[1] 杨丹,王海锋,黄志刚,等. 纳米煤制备及其改善煤泥浮选的机理研究[J]. 矿产综合利用, 2021(2):70-76.
YANG D, WANG H F, HUANG Z G, et al. Preparation of nano coal and its mechanism of improvement on coal flotation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(2):70-76.
[2] 史达,张建波,杨晨年,等. 煤气化灰渣脱碳技术研究进展[J]. 洁净煤技术, 2020, 26(6):1-10.
SHI D, ZHANG J B, YANG C N, et al. Progress of coal gasification ash decarbonization technology[J]. Clean Coal Technology, 2020, 26(6):1-10.
[3] 史兆臣,戴高峰,王学斌,等. 煤气化细渣的资源化综合利用

用技术研究进展[J]. 华电技术, 2020, 42(7):63-73.

SHI Z C, DAI G F, WANG X B, et al. Research progress on resource utilization technology of coal gasification fine slag[J]. Huadian Technology, 2020, 42(7):63-73.

[4] 刘淑琴, 牛茂斐, 齐凯丽, 等. 煤炭地下气化特征污染物迁移行为探测[J]. 煤炭学报, 2018, 43(9):2618-2624.

LIU S Q, NIU M F, QI K L, et al. Detection of characteristic pollutant migration behavior in underground coal gasification[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(9):2618-2624.

[5] 晁岳建, 王洪记. 循环流化床锅炉掺烧气化渣和煤泥的可行性研究[J]. 化肥工业, 2015(3):48-50.

CHAO Y J, WANG H J. The feasibility study of mixing gasification slag and coal slime in a circulating fluidized bed boiler[J]. Chemical Fertilizer Industry, 2015(3):48-50.

[6] 董永波. 水煤浆气化细渣碳资源回收及循环利用[J]. 氮肥技术, 2018, 39(3):25-26.

DONG Y B. Recovery and recycling of carbon resources from coal-water slurry gasification fine slag[J]. Nitrogenous Fertilizer Technology, 2018, 39(3):25-26.

[7] 宁永安, 段一航, 高宁博, 等. 煤气化渣组分回收与利用技

术研究进展[J]. 洁净煤技术, 2020(S1): 14-19.

NING Y A, DUAN Y H, GAO N B, et al. Research progress in the recovery and utilization of coal gasification slag components[J]. Clean Coal Technology, 2020(S1): 14-19.

[8] 曲江山, 张建波, 孙志刚, 等. 煤气化渣综合利用研究进展[J]. 洁净煤技术, 2020, 26(1): 184-193.

QU J S, ZHANG J B, SUN Z G, et al. Research progress in comprehensive utilization of coal gasification slag[J]. Clean Coal Technology, 2020, 26(1): 184-193.

[9] 胡文豪. 煤气化渣铝硅组分活化分离与资源化利用基础研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2019.

HU W H. Basic research on activation separation and resource utilization of aluminum and silicon components of coal gasification slag[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2019.

[10] 汤云. 利用气化炉渣和煤矸石制备 Sialon 基复相陶瓷[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.

TANG Y. Preparation of Sialon-based multiphase ceramics using gasification slag and coal gangue[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2011.

Extraction of Carbon from Fine Coal Gasification Slag by Hydrophobic-hydrophilic Separation

XUE Zhonghua¹, DONG Lianping¹, FAN Minqiang¹, YANG Chongyi¹,
WANG Jiancheng², BAO Weiren²

(1.College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, Shanxi, China;

2.Key Laboratory of Coal Science and Technology & Ministry of Education and Shanxi Province, Taiyuan 030024, Shanxi, China)

Abstract: This is an article in the field of mining engineering. Coal gasification slag is a type of solid waste generated during the coal gasification process. The presence of residual carbon significantly limits its potential for reuse and recycling. Therefore, the extraction of residual carbon from coal gasification slag is a pressing concern. In this research, the separation of residual carbon and inorganic minerals from gasification fine slag was studied by hydrophobic-hydrophilic separation technology. The effects of stirring speed, stirring time, hydrophobic liquid dosage, pulp concentration, pulp temperature, and hydrophobic liquid type on the separation effect of carbon/ ash were investigated. The hydrophobic-hydrophilic separation technology has excellent carbon extraction and ash reduction effect on coal gasification slag, and the ash content of its carbon product can be up to 30% or less, while that of the ash product can be up to 95% or more. The separation mechanism was revealed by the characterisation analysis, which showed that the adsorption strength of residual carbon on paraffin was much higher than that of ash, which made the kerosene-treated residual carbon hydrophobicity greatly increased and easy to be captured by the oil phase. This study can provide important guidance for the efficient carbon extraction and ash reduction of coal gasification fine residue, which can help to achieve the comprehensive utilisation of coal gasification solid waste.

Keywords: Mining engineering; Coal gasification fine slag; Hydrophobic liquid; Agglomeration; Hydrophobic-hydrophilic separation