

鹤壁石林勘探区二₁煤煤质特征

郭海英

(河南省煤炭地质勘察研究总院,河南 郑州 450052)

摘要:为了解鹤壁石林勘探区二₁煤煤质特征和工艺性能,评价其工业用途。采取钻孔煤芯样35孔81个样,分析了二₁煤的煤岩成分与宏观煤岩类型、显微煤岩组分特征、化学性质、工艺性能,研究了煤类分布及变质特征。结果表明,二₁煤显微组分中镜质组含量59.50%~69.20%,镜质组最大反射率1.67%~2.01%,灰分16.18%~20.28%,挥发分14.73%~15.92%,发热量28.40~29.95 MJ/kg,黏结指数2~35,哈氏可磨性指数109~149。根据现行中国煤炭分类,二₁煤属贫煤、贫瘦煤、瘦煤。各煤类在平面上分布为:贫煤位于南部的F₁~F₂₂断层,贫瘦煤位于中部的F₃₁~F₁₁₄断层,瘦煤位于北部的F₅₀~F₆₆断层。煤层在深成变质作用的基础上叠加了区域岩浆热变质作用,使煤化程度达到以高煤级为主的烟煤阶段,形成贫煤—贫瘦煤—瘦煤的带状分布。贫瘦煤、瘦煤可作工业炼焦配煤,贫煤符合发电煤粉锅炉用煤和高炉喷吹用煤技术条件。

关键词:二₁煤;煤质特征;显微煤岩组分;工业用途

中图分类号:TQ531

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2015)03-0006-05

Coal quality characteristics of No. II₁ coal seam in Shilin exploration area of Hebi City

GUO Haiying

(Henan Provincial Research Institute of Coal Geological Survey, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: In order to get knowledge of characteristics of coal quality and processing properties of No. II₁ coal seam in Shilin Exploration Area, Hebi City, and evaluate its industrial utilization application, 81 coal core samples in 35 boreholes were collected, the chemical properties, processing property and microlithotype of coal property of No. II₁ coal seam were investigated. The distribution of coal class and its metamorphic characteristics were analyzed. The results showed that, the vitrinite content of maceral in No. II₁ coal seam ranged from 59.50% to 69.20%, with the max reflectivity of vitrain 1.67%~2.01%, ash content 16.18%~20.28%, calorific value 28.40~29.95 MJ/kg, volatile matter 14.73%~15.92%, caking index 2~35, and grindability index 109~149. According to the current coal classification in China, the coal classes of No. II₁ coal seam were meager coal, meager lean coal and lean coal. The distribution of various coal in different levels was that meager coal lay between faults F₁ to F₂₂ in the south, meager lean coal lay between faults F₃₁ to F₁₁₄ in central part, while the lean coal lay between faults F₅₀ to F₆₆ in the north. On the basis of hypozonal metamorphism, the coal seam was overlapped regional magmatic thermal metamorphism, which changed the degree of coalification to the high rank coal, mainly bituminous coal phase, and formed the belt shape distribution of meager coal—meager lean coal and lean coal. In which, meager lean coal and lean coal could be used as blended coal in industrial coking, while the meager coal was accord with the specifications of pulverized coal-fired boiler in power plant and blast furnace injection.

Key words: No. II₁ coal seam; coal quality characteristics; macerals; industrial application

收稿日期:2014-10-09;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.03.002

基金项目:2010年度河南省地质勘查基金续作项目(豫国土资发[2010]100号文);2010年度河南省地质勘查基金资助项目(豫财建[2010]466号文);2007年度河南省省级地质勘查基金(周转金)资助项目(豫国土资发[2008]87号)

作者简介:郭海英(1966—),女,广东大埔人,工程师,大专,现从事煤炭地质勘查工作。E-mail:1070477088@qq.com

引用格式:郭海英.鹤壁石林勘探区二₁煤煤质特征分析[J].洁净煤技术,2015,21(3):6-10.

GUO Haiying. Coal quality characteristics of No. II₁ coal seam in Shilin exploration area of Hebi City[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(3): 6-10.

0 引言

鹤壁石林勘探区为河南省国土部门确立的第一个整装勘查项目,煤炭储量近10亿t,位于河南省鹤壁市东北部石林乡,跨安阳市的汤阴县及安阳市区一部分,属省整装勘查项目,在鹤壁煤电股份有限公司三、五、六、八、十矿深部区。石林勘探区为一掩盖区,基岩全为新生界地层覆盖;据钻孔揭露地层自下而上依次发育奥陶系中统峰峰组、石炭系上统本溪组、太原组、二叠系下统山西组、下石盒子组、二叠系上统上石盒子组、石千峰组、三叠系下统刘家沟组和尚沟组以及新近系鹤壁组和第四系^[1]。本区含煤地层为二叠系下统的山西组,地层总厚约为100.16 m,含煤4层,即二₃、二₂、二₁、二₀煤,煤层总厚8.64 m。其中二₁煤层为全区可采,一般厚5~11 m,平均厚8.50 m,局部含夹矸1~2层,含煤系数8.6%,其中采取钻孔煤芯样35孔81个样。二₂、二₃煤层极不稳定、不可采;二₀煤层厚0~1.84 m,平均0.10 m,偶尔可采。笔者以二₁为研究对象,分析了其煤岩特性、化学性质、工业性能、煤类分布及变质特征,以评价煤的工业用途。

1 煤岩特征

1.1 煤岩成分与宏观煤岩类型

二₁煤的贫煤为黑色,粒状,偶见鳞片状及块状,黑色条痕,镜煤呈金刚光泽;贫瘦煤为黑色,粒状,少量块状,镜煤呈似金属光泽;瘦煤为黑色,粒状,块状,强玻璃光泽。各类煤的宏观煤岩组分以亮煤为主,镜煤及暗煤次之,夹丝炭薄层透镜体。宏观煤岩类型为光亮~半光亮型为主,次为半暗型、暗淡型。

1.2 煤的显微组分特征

显微组分是指显微镜下可辨认的煤的有机组分,以其透光性、透射色、反射率、突起、荧光性、各向异性和硬度等差别区分^[2]。二₁煤显微煤岩组分见表1。由表1可知,二₁煤有机显微组分以镜质组为主(56.80%~70.20%)、惰质组次之(15.00%~26.20%),剩余为少量壳质组。镜质组以均质镜质体为主,基质镜质体次之,少量碎屑镜质体。壳质组仅在少数孔见有小孢子体和薄壁角质体。惰质组以碎屑惰质体为主,氧化丝质体次之,多为碎屑状,含少量粗粒体及微粒体。

表1 二₁煤显微煤岩组分

煤类	有机组分体积分数/%			无机组分质量分数/%				$R_{0,max}/\%$
	镜质组	壳质组	惰质组	黏土类	硫化物类	碳酸盐类	氧化物类	
贫煤	59.50(1)	0(1)	18.20(1)	16.50(1)	0.60(1)	2.40(1)	2.90(1)	2.01(1)
贫瘦煤	$\frac{56.80 \sim 70.00}{63.50(7)}$	0	$\frac{15.00 \sim 26.20}{18.80(7)}$	$\frac{7.50 \sim 16.50}{13.10(7)}$	$\frac{0.20 \sim 1.20}{0.60(7)}$	$\frac{0.80 \sim 4.20}{2.30(7)}$	$\frac{0.60 \sim 2.90}{1.60(7)}$	$\frac{1.72 \sim 1.87}{1.81(7)}$
瘦煤	$\frac{68.40 \sim 70.20}{69.20(3)}$	$\frac{0 \sim 0.50}{0.20(3)}$	$\frac{15.00 \sim 20.90}{18.10(3)}$	$\frac{7.30 \sim 12.10}{9.30(3)}$	$\frac{0.20 \sim 0.50}{0.40(3)}$	$\frac{1.00 \sim 3.30}{2.20(3)}$	$\frac{0.40 \sim 0.90}{0.70(3)}$	$\frac{1.42 \sim 1.81}{1.67(3)}$

注:数据分子为最小值~最大值,分母为平均值(点数),以下各表类同。

无机组分中黏土类主要以分散状黏土矿物为主,次为充填胞腔的块状黏土矿物,硫化铁类黄铁矿呈微粒状零星分布,少量脉状充填状;碳酸盐类方解石以裂隙充填状为主,胞腔充填次之,氧化硅类石英呈颗粒状分布,大小不一,分布不均。瘦煤的镜质组含量略高于贫瘦煤的,而镜质组最大反射率则小于贫瘦煤。

2 煤炭性质

2.1 化学性质

2.1.1 工业分析

二₁煤工业分析见表2。由表2可知,贫煤、

贫瘦煤、瘦煤水分为0.40%~1.27%。贫煤灰分为13.67%~23.65%,平均为17.29%;贫瘦煤灰分为12.66%~30.15%,平均为20.28%;瘦煤灰分为13.67%~20.64%,平均为16.18%。根据GB 15224.1—2010《煤炭质量分级第1部分:灰分》可知,贫煤、瘦煤属低灰煤;贫瘦煤属中灰煤。浮物中,贫煤挥发分13.06%~16.36%,平均为14.73%,贫瘦煤挥发分13.10%~17.10%,平均为15.23%,瘦煤挥发分15.12%~17.32%,平均为15.92%。

2.1.2 元素分析

二₁煤元素分析见表3。由表3可知,贫煤、贫

瘦煤、瘦煤全硫含量为 0.20% ~ 0.50%，平均为 0.31%。各硫以有机硫为主，贫瘦煤有机硫含量高于贫煤、瘦煤。根据 GB 15224.2—2010《煤炭质量

分级第2部分：硫分》可知，各煤类均属特低硫煤。贫煤氧含量高于贫瘦煤、瘦煤，而氮和氢含量低于贫瘦煤、瘦煤^[3-4]。

表2 二₁煤工业分析

煤类	原煤/%			浮物/%		
	M_{ad}	A_d	V_{daf}	M_{ad}	A_d	V_{daf}
贫煤	$\frac{0.61 \sim 0.88}{0.74(6)}$	$\frac{13.67 \sim 23.65}{17.29(6)}$	$\frac{14.25 \sim 18.08}{15.99(6)}$	$\frac{0.53 \sim 0.77}{0.69(6)}$	$\frac{7.43 \sim 17.50}{10.20(6)}$	$\frac{13.06 \sim 16.36}{14.73(6)}$
贫瘦煤	$\frac{0.41 \sim 1.27}{0.73(19)}$	$\frac{12.66 \sim 30.15}{20.28(19)}$	$\frac{15.02 \sim 19.90}{17.40(19)}$	$\frac{0.26 \sim 1.43}{0.78(19)}$	$\frac{5.57 \sim 13.68}{8.37(19)}$	$\frac{13.10 \sim 17.10}{15.23(19)}$
瘦煤	$\frac{0.40 \sim 0.90}{0.62(10)}$	$\frac{13.67 \sim 20.64}{16.18(10)}$	$\frac{16.80 \sim 18.82}{17.62(10)}$	$\frac{0.50 \sim 0.99}{0.74(10)}$	$\frac{6.26 \sim 10.37}{8.19(10)}$	$\frac{15.12 \sim 17.32}{15.92(10)}$

表3 二₁煤元素分析

煤类	%								
	$w(C_{daf})$	$w(H_{daf})$	$w(N_{daf})$	$w(O_{daf})$	$w(S'_{t,d})$	$w(S_{s,d})$	$w(S_{p,d})$	$w(S_{o,d})$	$w(S_{t,d})$
贫煤	$\frac{89.18 \sim 91.84}{90.26(3)}$	$\frac{3.97 \sim 4.46}{4.26(3)}$	$\frac{1.36 \sim 1.63}{1.51(3)}$	$\frac{1.86 \sim 4.81}{3.56(3)}$	$\frac{0.20 \sim 0.42}{0.34(3)}$	$\frac{0 \sim 0.02}{0.006(3)}$	$\frac{0.03 \sim 0.29}{0.15(3)}$	$\frac{0.15 \sim 0.23}{0.18(3)}$	$\frac{0.20 \sim 0.42}{0.36(6)}$
贫瘦煤	$\frac{87.90 \sim 90.81}{89.50(12)}$	$\frac{4.15 \sim 5.00}{4.44(12)}$	$\frac{0.66 \sim 3.46}{1.78(12)}$	$\frac{1.11 \sim 3.48}{1.86(12)}$	$\frac{0.22 \sim 0.39}{0.35(9)}$	$\frac{0 \sim 0.01}{0.001(9)}$	$\frac{0.04 \sim 0.27}{0.09(9)}$	$\frac{0.18 \sim 0.34}{0.25(9)}$	$\frac{0.22 \sim 0.50}{0.33(19)}$
瘦煤	$\frac{87.90 \sim 90.36}{89.81(7)}$	$\frac{4.26 \sim 4.90}{4.53(7)}$	$\frac{1.34 \sim 1.74}{1.54(7)}$	$\frac{0.98 \sim 2.38}{1.88(7)}$	$\frac{0.23 \sim 0.30}{0.27(8)}$	$\frac{0}{0(8)}$	$\frac{0.03 \sim 0.17}{0.06(8)}$	$\frac{0.06 \sim 0.26}{0.21(8)}$	$\frac{0.23 \sim 0.30}{0.26(10)}$

注： $S'_{t,d}$ 为各硫之和； $S_{s,d}$ 、 $S_{p,d}$ 、 $S_{o,d}$ 、 $S_{t,d}$ 分别为硫铁矿硫、硫酸盐硫、有机硫、全硫。

2.2 工艺性能

2.2.1 发热量、黏结指数、哈氏可磨性指数

二₁煤的发热量、黏结指数、哈氏可磨性指数见表4。

表4 二₁煤发热量、黏结指数、哈氏可磨性指数

煤类	$Q_{gr,d}/$ (MJ · kg ⁻¹)	黏结指 数 G_{RI}	哈氏可磨 性指数 HGI
贫煤	$\frac{26.65 \sim 30.87}{29.28(6)}$	$\frac{0 \sim 4}{2(6)}$	149(1)
贫瘦煤	$\frac{24.14 \sim 31.61}{28.40(19)}$	$\frac{5 \sim 17}{11(19)}$	$\frac{111 \sim 143}{128(4)}$
瘦煤	$\frac{28.22 \sim 30.97}{29.95(10)}$	$\frac{22 \sim 50}{35(10)}$	$\frac{103 \sim 114}{109(2)}$

由表4可知，贫煤发热量为 26.65 ~ 30.87 MJ/kg，平均为 29.28 MJ/kg；贫瘦煤发热量为 24.14 ~ 31.61 MJ/kg，平均为 28.40 MJ/kg；瘦煤发热量为 28.22 ~ 30.97 MJ/kg，平均为 29.95 MJ/kg。根据 GB 15224.3—2010《煤炭质量

均属高发热量煤。

贫煤黏结指数为 0 ~ 4，平均为 2；贫瘦煤黏结指数为 5 ~ 17，平均为 11；瘦煤黏结指数为 22 ~ 50，平均为 35。根据 MT 596—2008《烟煤黏结指数分级》，贫煤属无黏结，贫瘦煤属微黏结，瘦煤属弱黏结。

贫煤、贫瘦煤、瘦煤的可磨性指数为 109 ~ 149，根据 MT 852—2000《煤的哈氏可磨性指数分级》可知，贫煤、贫瘦煤、瘦煤属极易磨煤。

2.2.2 煤的燃烧特性

1) 煤灰成分分析。二₁煤灰成分分析见表5。由表5可知，二₁煤灰成分中以 SiO₂ 和 Al₂O₃ 为主，其次为 Fe₂O₃、CaO、SO₃。贫煤 SiO₂ 平均含量为 44.02%、贫瘦煤为 48.76%、瘦煤为 43.84%，贫煤 Al₂O₃ 平均含量为 29.64%、贫瘦煤为 29.20%、瘦煤为 28.63%。贫煤中 Fe₂O₃ 和 CaO 含量高于贫瘦煤、瘦煤，说明贫煤软化温度和流动温度低于贫瘦煤、瘦煤^[5]。煤灰中的 TiO₂、K₂O、Na₂O 等均能降低灰熔融温度，其含量一般在 1% ~ 2%^[6]。

表5 二₁煤灰成分分析

煤类	煤灰成分质量分数/%									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
贫煤	37.90~53.46	25.49~34.61	0.80~1.32	4.49~5.76	2.15~15.61	0.83~3.29	1.71~5.13	0.06~1.00	0.29~0.93	0.30~1.05
	44.02(4)	29.64(4)	1.08(4)	5.72(4)	10.78(4)	1.99(4)	3.16(4)	0.53(2)	0.61(2)	0.68(2)
贫瘦煤	37.95~55.15	24.36~33.89	1.02~1.42	3.26~7.85	1.98~14.15	0.61~1.71	0.94~6.20	0.56~1.47	0.57~1.60	0.15~1.14
	48.76(12)	29.20(12)	1.13(12)	5.13(12)	6.70(12)	1.17(12)	3.38(12)	1.04(12)	1.16(12)	0.42(12)
瘦煤	38.25~48.41	24.27~33.28	0.96~1.28	4.25~6.01	6.22~17.83	0.73~2.31	2.68~7.98	0.58~1.16	0.97~1.63	0.28~0.88
	43.84(7)	28.63(7)	1.11(7)	5.09(7)	10.29(7)	1.41(7)	4.70(7)	0.75(7)	1.44(7)	0.50(7)

2) 煤灰熔融性。煤灰熔融性主要用于固态排渣锅炉和气化炉的设计,只能定性说明灰的熔化温度范围,而不能反映灰渣在熔化时的特性^[7]。煤灰熔融性分析见表6。

表6 二₁煤灰熔融性分析

煤类	灰熔融性/℃			
	变形温度 DT	软化温度 ST	半球温度 HT	流动温度 FT
贫煤	1241~1317	1280~1347	1305~1342	1326~>1387
	1279(2)	1314(2)	1324(2)	1356(2)
贫瘦煤	1274~>1400	1320~>1400	1330~>1400	1390~>1400
	>1356(12)	>1400(12)	>1400(12)	>1400(12)
瘦煤	1232~>1400	1265~>1400	1313~>1400	1360~>1400
	>1380(7)	>1400(7)	>1400(7)	>1400(7)

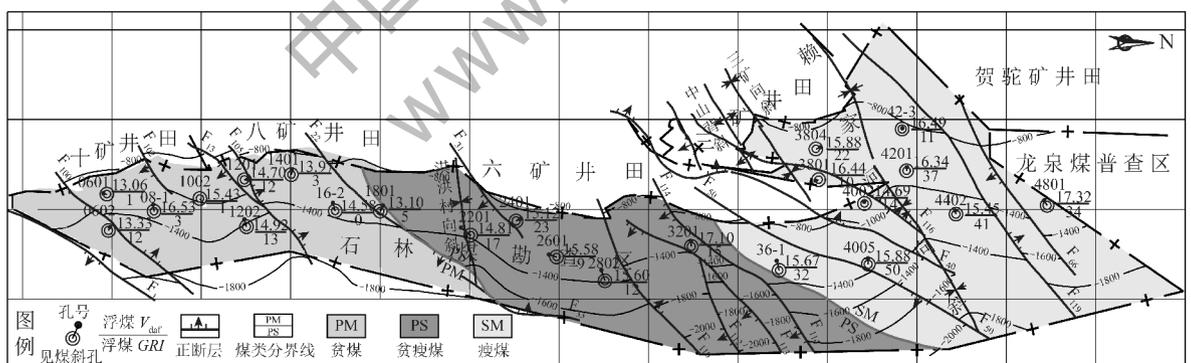
由表6可知,二₁煤贫煤软化温度为1280~

1347℃,平均为1314℃,流动温度为1326~>1387℃,平均1356℃;贫瘦煤软化温度为1320~>1400℃,平均>1400℃,流动温度为1390~>1400℃,平均>1400℃;瘦煤软化温度为1265~>1400℃,平均>1400℃,流动温度为1360℃~>1400℃,平均>1400℃。根据MT/T 853.1—2000《煤灰软化温度分级》和MT/T 853.2—2000《煤灰流动温度分级》可知,贫煤属中等软化温度和中等流动温度灰;贫瘦煤、瘦煤属较高软化温度和较高流动温度灰。

3 煤类分布及变质特征

3.1 煤类分布

二₁煤煤类分布如图1所示。石林勘探区煤变质程度具有中北部高、南部低的规律,依次为瘦煤、贫瘦煤、贫煤。

图1 二₁煤煤类分布

3.2 煤的变质特征

煤的变质演化分为2个阶段^[8],即深成变质作用阶段(C-T)和区域岩浆热变质作用阶段(J-K)。

深成变质作用中,根据区域地质演化,安阳-鹤壁煤田在山西组形成后连续接受了上覆二叠系和三叠系沉积,处于沉降埋藏阶段,具有普遍意义的深成变质作用在三叠纪末期使煤达到低变质气煤阶段。三叠纪末,印支运动使安阳-鹤壁煤田整体抬升,遭

受剥蚀,深成变质作用减弱乃至终止。

区域岩浆热变质作用中,由于燕山期岩浆活动的影响,使得煤层在深成变质作用的基础上叠加了区域岩浆热变质作用,煤变质程度增高。北起安阳煤田积善井田,南至鹤壁煤田冷泉井田,有多期的燕山期岩浆岩分布,岩浆体的巨大热能使区内煤层附近围岩受到了高温烘烤和汽水热液变质作用,如细中粒石英砂岩变质成石英岩^[9],煤化程度达到高煤级为主

的烟煤阶段,形成以贫煤—贫瘦煤—瘦煤组成的带状变质带^[10],进入新生代煤变质程度已结束。

4 结 语

石林勘探区二₁煤层为全区可采煤层。二₁煤在深成变质作用的基础上叠加了区域岩浆热变质作用,根据煤的化学性质、工艺性质、显微煤岩组分特征,依据国家和行业标准对二₁煤煤质进行全面分析。二₁煤贫煤、瘦煤属低灰煤,贫瘦煤属中灰煤。各煤类均属特低硫、高发热量、极易磨煤。贫煤属无黏结、中等软化温度和中等流动温度灰;贫瘦煤属微黏结,瘦煤属弱黏结,两者均属较高软化温度和较高流动温度灰。贫瘦煤、瘦煤可作工业炼焦配煤^[11],贫煤符合发电煤粉锅炉用煤和高炉喷吹用煤技术条件^[12-13]。

参考文献:

- [1] 郭熙年,唐仲林,李万程,等.河南省晚古生代聚煤规律[M].北京:中国地质大学出版社,1991:249-250.
- [2] 杨永宽.中国煤岩学图鉴[M].北京:中国矿业大学出版社,1996:5-6.
- [3] 李英华.煤质分析应用技术指南[M].北京:中国标准出版社,2006:119-120.
- [4] 刘天新,张敬运,张自劬.煤炭检测新方法 with 动力配煤[M].北京:中国物资出版社,1992:74-75.
- [5] 杨金和,陈文敏,段云龙.煤炭化验手册[M].北京:煤炭工业出版社,2004:708-709.
- [6] 陈亚飞,姜英,陈文敏.煤炭化验结果的审核与计算[M].北京:煤炭工业出版社,2003:116-117.
- [7] 陈鹏.中国煤炭性质、分类和利用[M].北京:化学工业出版社,2004:166-168.
- [8] 杨起.华北石炭二叠纪煤变质特征与地质因素探讨[M].北京:地质出版社,1988:53-77.
- [9] 韩德馨,杨起.中国煤田地质学[M].北京:煤炭工业出版社,1980:398-399.
- [10] 李元建,范云霞,刘素青,等.河南石炭二叠系煤层煤质特征与综合利用研究分析[J].洁净煤技术,2010,16(6):55-56.
- [11] 袁三畏.中国煤质论评[M].北京:煤炭工业出版社,1999:212-213.
- [12] 陈亚飞.煤质评价与煤质标准化[J].煤质技术,2006(1):12-15.
- [13] 周尽晖,丁玲.炼焦煤质量评价与问题分析[J].洁净煤技术,2014,20(4):61-64.

(上接第5页)

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 裴卫兵,邢宝林,黄光许,等.预炭化时间对煤基活性炭孔结构

及电化学性能的影响[J].洁净煤技术,2013,19(3):42-45.

- [3] 李昌贤,秦廷武.煤质活性炭[M].北京:煤炭工业出版社,1993:118-136.
- [4] 沈曾民,张文辉,张学军.活性炭材料的制备与应用[M].北京:化学工业出版社,2006:100-120.
- [5] 崔兆玉,刘守新,张世润.磁性活性炭的一种制备方法[J].林产化工通讯,2002,36(4):9-10.
- [6] 朱文红.椰壳磁性活性炭合成研究[J].辽宁高职学报,2000,2(5):45-48.
- [7] 单国彬,张冠东,田青,等.磁性活性炭的制备与表征[J].过程工程学报,2004,4(2):141-145.
- [8] 邢雯雯,周铁桥,张军,等.煤基磁性活性炭的制备[J].北京科技大学学报,2008,31(1):83-87.
- [9] 王崇琳.一种磁性活性炭的制备工艺:中国,CN1026215C[P].1994-10-19.
- [10] 刘守新,孙承林.磁性椰壳活性炭的合成研究[J].新型炭材料,2002,17(1):45-48.
- [11] 张巧丽,陈旭,袁彪.活性炭磁性氧化铁复合材料制备及吸附性能[J].化学工业与工程,2004,21(6):673-676.
- [12] 张巧丽,陈旭,袁彪.磁性氧化铁/活性炭复合吸附剂的制备及性能[J].天津大学学报,2005,38(4):361-364.
- [13] Gorria P, Sevilla M, Blanco J A, et al. Synthesis of magnetically separable adsorbents through the incorporation of protected nickel nanoparticles in an activated carbon[J]. Carbon,2006,44(10):1954-1957.
- [14] Ao Yanhui, Xu Jingjing, Fu Degang, et al. A novel magnetically separable composite photocatalyst: titania-coated magnetic activated carbon[J]. Separation and Purification Technology,2008,61(3):436-441.
- [15] Ao Yanhui, Xu Jingjing, Fu Degang, et al. Photocatalytic degradation of X-3B by titania-coated magnetic activated carbon under UV and visible irradiation[J]. Journal of Alloys and Compounds,2009,471(1/2):33-38.
- [16] 马根智,曹宏明,黄广建,等.铁炭复合磁靶向缓释药物载体材料的制备:制备条件对铁炭复合材料磁性能的影响[J].功能材料,2004,35(4):324-326.
- [17] Rudge S R, Kurtz T L, Vessely C R, et al. Preparation, characterization, and performance of magnetic iron-carbon composite microparticles for chemotherapy[J]. Biomaterials,2000,21(14):1411-1420.
- [18] 张军,刘娟,杨明顺,等.添加Fe₃O₄对煤基活性炭孔结构的影响[J].煤炭科学技术,2010,38(6):118-121.
- [19] 解强,边炳鑫.煤的炭化过程控制理论及其在煤基活性炭制备中的应用[M].徐州:中国矿业大学出版社,2002:6-22.
- [20] 姜勇.纳米TiO₂/磁性活性炭光催化剂制备与性能研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2011:49-69.
- [21] 牛耀岚,马承恩,李登新,等.KOH活化废弃麻制备活性炭及其结构表征[J].高等学校化学学报,2010,31(10):1929-1933.
- [22] 刘树贻.磁电选矿学[M].长沙:中南工业大学出版社,1994:31-59.