

研究论文

老公营子井田煤层煤质特征

何保¹,李振南¹,张莹²,董洋³

(1. 辽宁工程技术大学矿业学院,辽宁阜新 123000;2. 锦州金衡不动产咨询测绘有限公司,辽宁锦州 121012;
3. 辽宁省地质矿产勘查院,辽宁沈阳 110000)

摘要:为合理利用老公营子井田煤,基于老公营子井田的地质概况、含煤地层的沉积旋回及煤的物化性质,对井田煤的煤质特征进行工业分析,分析煤的化学组分含量与煤层埋深的关系,确定煤的工业性能和用途。结果表明,井田煤的宏观煤岩组分以亮煤和暗煤为主,显微煤岩组分以镜质组为主。原煤化学组分含量在煤层埋深200~350 m内变化较明显,而后随着埋深的增加,变化波动较稳定,其中水分平均6.09%~10.28%,灰分平均16.93%~25.80%,硫分平均0.78%~1.47%,挥发分平均大于37%,其他稀散元素及放射性元素含量少,属于中灰、中硫型煤。根据全区平均空气干燥基高位发热量、恒湿无灰基高位发热量以及透光率,确定本井田煤属于中低发热量的2号褐煤。由于井田煤为中低发热量、热稳定性较差且与CO₂化学反应性好,焦油产率中等煤样,可作为动力用煤、气化用煤和炼油用煤原料,经济价值较大。

关键词:老公营子井田;煤质特征;工业分析;工艺性能;工业用途

中图分类号:P618.11 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2017)05-0050-06

Coal quality characteristics of coal seam in Laogongyingzi mine field

HE Bao¹, LI Zhennan¹, ZHANG Ying², DONG Yang³

(1. College of Mining Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. Jinzhou Jinheng Real Estate Consulting and Surveying and Mapping Limited Company, Jinzhou 121012, China; 3. Liaoning Survey Academy of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110000, China)

Abstract: In order to make economical utilization of the coal in Laogongyingzi mine field, this paper studied the coal quality characteristics based on the geologic profile, the sedimentary cycle of coal-bearing strata and the physical and chemical properties of coal. And the relationship between the chemical composition of coal and the depth of coal seam was analyzed to determine the industrial properties and the use of coal. The results show that the lithotypes of the coal is dominated by clarain and durain; and the coal maceral is mainly composed of vitrinite. The content of chemical components in coal seam is more obvious than that in coal seam with depth of 200-350 m, and it is more stable with the increase of burial depth. The average internal moisture content of raw coal is approximately 6.09%-10.28%, the average ash content is ca. 16.93%-25.80%; and the average sulphur content is ca. 0.78%-1.47%, as well the average volatile content is more than 37%; while, the contents of other elements are low. Obviously, the coal is with medium ash and sulphur contents. According to quality evaluation method, i. e., the region's average gross calorific value, constant humidity gross calorific value, transmittancy etc., the coal belongs to a medium-low calorific value of No. 2 lignite. Because of its medium-low calorific value, poor thermal stability, high chemical reactivity with CO₂ and medium tar yield, the coal can be used as a raw material for steam coal, gasification coal and coking coal; and thus

收稿日期:2017-03-09;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2017.05.010

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51374121)

作者简介:何保(1963—),男,辽宁阜新新人,副教授,博士,研究方向为煤田地质。E-mail:641935476@qq.com。通讯作者:李振南,研究方向为煤田地质。E-mail:1142001723@qq.com

引用格式:何保,李振南,张莹,等.老公营子井田煤层煤质特征[J].洁净煤技术,2017,23(5):50-55.

HE Bao, LI Zhennan, ZHANG Ying, et al. Coal quality characteristics of coal seam in Laogongyingzi mine field[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(5):50-55.

it can have a greater economic value.

Key words: Laogongyingzi mine field; coal quality characteristics; proximate analysis; process performance; industrial utilization

0 引言

随着国民经济的增长、东北老工业基地的振兴,我国对煤炭的需求量不断增加,供不应求现象逐渐显现,因此加强煤炭资源的合理开发和利用,提高煤炭质量成为经济增长的关键。而煤质作为评价煤炭质量的重要特征,在煤炭开采、开发及合理利用等方面发挥着重要作用。近年来,许多学者对煤质特征分析及其重要性进行研究,黄华等^[1]通过研究不同煤质煤生产熟料的岩相,证明低质煤作为生产工业水泥的熟料具有切实可行性。张辉等^[2]在煤质检测过程中引入近红外光谱新技术,证明其在实验检测过程中具有操作简单、成本低、精度高等优点,发展前景可观。傅丛等^[3]对高砷煤中砷与煤质特征之间的关系进行研究,结果表明高砷煤中砷与硫分有密切的关系,在浮沉试验中不同密度级的产物中两者含量的变化趋势相同。石瑛^[4]和胡明岩^[5]强调煤质分析在煤田地质勘探工作中、煤炭开采及煤炭合理利用等方面的重要性。王杰玲^[6]对煤质分析检测项目合理性等进行探讨,确保煤田地质勘探工作的顺利进行。还有学者通过分析煤质变化特征,推断煤的成煤环境,并将二者相结合,合理指导煤炭开发和利用等工作^[7-9]。笔者基于老公营子井田的地质概况、含煤地层的沉积旋回及煤的物化性质,对井田煤的煤质特征进行工业分析,分析煤的化学组分含量与煤层埋深的关系,确定煤的工业性能和用途,为井田的合理开发、利用提供参考。

1 井田地质简况

老公营子井田位于赤峰市元宝山区风水沟镇西南3 km处元宝山煤田北部,地理坐标为:东经119.283°~119.400°,北纬42.367°~42.700°,平均南北走向长2.66 km,平均东西倾斜宽2.236 km,面积5.949 km²。井田内主要含煤地层为中生界白垩系下统阜新组,地质构造简单,为一单斜构造,总体地层走向近南北,倾向正东,倾角8°~15°,平均13°,地层沿走向、倾向产状变化不大,断层较发育,且均为正断层。井田内未见喷出和侵入的岩浆岩破坏煤层。

2 含煤地层

井田内含煤地层为白垩系下统阜新组,沉积环境较稳定,与太古界前震旦系花岗岩、片麻岩及大理岩构成的基底呈不整合接触,平均厚550 m,共含11个煤组(3、4、5、6、7、8为可采煤组),包括23个分煤层,其中18个可采煤层,煤层较稳定,共化验其14个可采煤层,各煤层总厚度平均47.72 m,含煤系数8.68%。由东南向西北观察,含煤地层岩石粒度变细,煤层厚度逐渐增加,煤系分岔变薄,并且自下而上可分为3个沉积旋回。

第1旋回:由底部粗砂岩开始至6煤组顶板泥岩沉积结束,期间沉积了11、10、9、8、7、6煤组,煤层集中于旋回的上部,为最好的成煤期,厚度200~250 m。

第2旋回:由6煤组上部粗砂岩开始至5煤组顶板泥岩沉积结束,期间只沉积了5煤组,厚度100~200 m。

第3旋回:由5煤组上部粗砂岩开始至1煤层顶界沉积结束,期间沉积了4、3、2、1煤组,厚度约150 m。

3个旋回在井田东南角较明显,其底部的粗砂岩,岩性大体相同,为灰白色至浅灰绿色,泥质胶结,松散易碎,无明显的层理。粗砂岩上部岩石粒度逐渐变细,颜色变深,并随之沉积煤层。在煤层上下常有泥灰岩和菱铁矿薄层,标志着还原环境的存在。

3 煤质特征

3.1 煤的物理性质

老公营子井田煤呈黑褐色、黑色至灰黑色,以油脂光泽和沥青光泽为主,褐色或棕褐色条痕,贝壳状、眼球状、阶梯状、不平坦状及参差状断口,真密度1.52~1.65 g/cm³,视密度1.24~1.32 g/cm³,透光率(PM)30%~50%,结构为各种宏观煤岩组分在煤层中相互交替出现,多构成1~3 mm的细条带状,少数为3~5 mm的中条带状结构,或为断续的细条带状结构及透镜状结构,局部见有纤维状结构,吸水性强,极易风化和自燃发火,原生裂隙和次生裂隙均不发育,层理具有较强连续性,有时也会出现少许不连续的水平层理或缓波状层理。

3.2 煤岩特征

宏观煤岩组分是指肉眼可以区分的煤的基本组成单位,包括镜煤、亮煤、暗煤和丝炭^[10]。井田内各煤层为多种煤岩组分交替出现,以亮煤和暗煤为主,镜煤和丝炭以透镜状或线理状夹于亮煤或暗煤之中,对于厚煤带的5煤层和6煤层,部分钻孔富含丝炭夹层,厚度可达0.20~0.60 m,并有多层出现。

井田煤层的有机显微组分中镜质组含量高,为77.56%~96.35% (去矿物基),惰性组0.85%~

20.47%,壳质组1.34%~3.54%;无机显微组分中黏土矿物、硫化物矿物及碳酸盐类矿物含量少。化验过程中共测试2组煤层最大镜质体反射率($R_{o,max}$),其中6-1煤层为0.422%,8煤层为0.515%。

3.3 煤的化学性质

井田在普查、精查、补勘地质勘查过程中采取各类煤样,对其中14个可采煤层煤质进行工业分析,老公营子井田原煤煤质工业分析见表1。

表1 老公营子井田原煤煤质工业分析

Table 1 Properties of coal in Laogongyingzi mine field

煤层号	$M_{ad}/\%$	$A_d/\%$	$V_{daf}/\%$	$w(S_{t,d})/\%$	$w(Pd)/\%$	透光率/ $\%$	煤层埋深/m
3	$\frac{4.58 \sim 16.30}{10.28}$	$\frac{13.24 \sim 33.43}{20.51}$	$\frac{38.33 \sim 41.07}{39.96}$	$\frac{0.59 \sim 1.83}{1.23}$	0.007(8)	$\frac{32 \sim 44}{36}$	395
4	$\frac{4.40 \sim 13.09}{8.08}$	$\frac{11.13 \sim 28.67}{18.32}$	$\frac{38.14 \sim 41.70}{40.18}$	$\frac{0.45 \sim 1.85}{0.84}$	0.015(4)	$\frac{32 \sim 52}{39}$	387
5-1	$\frac{5.51 \sim 11.99}{8.79}$	$\frac{14.19 \sim 35.51}{21.36}$	$\frac{35.85 \sim 42.31}{39.32}$	$\frac{0.42 \sim 2.30}{1.09}$	0.010(5)	$\frac{30 \sim 52}{38}$	451
5-2	$\frac{4.90 \sim 17.50}{10.16}$	$\frac{9.70 \sim 26.32}{16.93}$	$\frac{37.65 \sim 42.95}{37.97}$	$\frac{0.49 \sim 1.41}{0.78}$	0.012(2)	$\frac{34 \sim 55}{39}$	445
5-3	$\frac{6.16 \sim 16.34}{10.01}$	$\frac{11.14 \sim 23.01}{17.74}$	$\frac{37.93 \sim 40.07}{39.76}$	$\frac{0.51 \sim 1.30}{0.90}$	0.014(7)	$\frac{32 \sim 43}{37}$	457
5	$\frac{4.38 \sim 14.23}{9.38}$	$\frac{12.68 \sim 29.92}{19.27}$	$\frac{37.29 \sim 41.24}{39.07}$	$\frac{0.48 \sim 1.54}{0.97}$	0.012(5)	$\frac{33 \sim 45}{39}$	375
6-1	$\frac{3.30 \sim 11.26}{8.58}$	$\frac{14.06 \sim 31.38}{20.48}$	$\frac{37.69 \sim 42.02}{39.68}$	$\frac{0.60 \sim 1.39}{1.00}$	0.041(4)	$\frac{32 \sim 49}{42}$	425
6-2	$\frac{2.49 \sim 14.66}{9.44}$	$\frac{9.67 \sim 32.32}{19.79}$	$\frac{38.89 \sim 41.41}{39.90}$	$\frac{0.43 \sim 3.52}{1.28}$	0.023(6)	$\frac{32 \sim 48}{41}$	470
6-3	$\frac{1.81 \sim 10.66}{7.63}$	$\frac{12.26 \sim 19.87}{16.89}$	$\frac{37.46 \sim 41.20}{39.54}$	$\frac{0.46 \sim 2.47}{1.47}$	0.016(2)	$\frac{36 \sim 44}{40}$	460
6-4	$\frac{4.40 \sim 12.48}{8.35}$	$\frac{13.04 \sim 31.28}{20.48}$	$\frac{38.19 \sim 42.17}{40.07}$	$\frac{0.73 \sim 2.00}{1.12}$	0.021(5)	$\frac{32 \sim 58}{45}$	467
6	$\frac{3.32 \sim 11.86}{6.24}$	$\frac{12.79 \sim 29.97}{19.37}$	$\frac{37.42 \sim 41.26}{39.62}$	$\frac{0.42 \sim 1.13}{0.73}$	0.019(3)	$\frac{36 \sim 55}{47}$	430
7	$\frac{4.32 \sim 11.88}{7.30}$	$\frac{14.19 \sim 35.51}{21.36}$	$\frac{35.59 \sim 41.84}{38.02}$	$\frac{0.52 \sim 1.36}{1.16}$	0.015(4)	$\frac{38 \sim 57}{48}$	330
8-1	$\frac{1.88 \sim 12.59}{8.13}$	$\frac{9.68 \sim 28.45}{17.83}$	$\frac{40.16 \sim 43.08}{41.69}$	$\frac{0.67 \sim 1.65}{1.23}$	0.028(1)	$\frac{39 \sim 54}{46}$	330
8	$\frac{1.74 \sim 12.12}{6.09}$	$\frac{8.70 \sim 36.25}{25.80}$	$\frac{38.42 \sim 42.77}{40.67}$	$\frac{0.71 \sim 1.42}{1.09}$	0.049(5)	$\frac{38 \sim 58}{49}$	210

注: M_{ad} 、 A_d 、 V_{daf} 、 $S_{t,d}$ 、透光率为(最小值~最大值)/平均值;Pd为平均值(测量个数)。

1) M_{ad}

本井田原煤的内在水分为 1.74% ~ 17.50%, 平均 6.09% ~ 10.28%, 含水量较少, 且总体在煤层埋藏深度 200 ~ 350 m 内呈增加趋势, 随后在 9% 左右波动, 变化较稳定, 如图 1 所示。

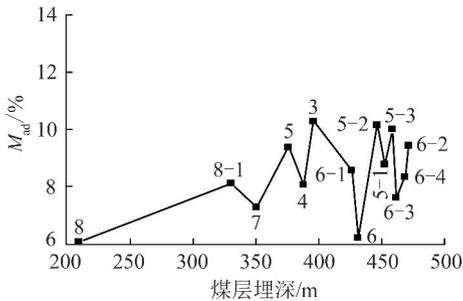


图 1 水分随煤层埋深变化

Fig. 1 Change of moisture as a function of seam depth

2) A_d

煤中矿物质指赋存于煤中的无机物质, 灰分指煤中矿物在一定温度下, 经过一系列分解、化合等复杂反应后剩余的残留物, 主要指煤的内在水分, 即成煤的原始植物本身所含的无机物^[11]。井田原煤灰分平均 16.93% ~ 25.80%, 在煤层埋深 200 ~ 350 m 内呈减小趋势, 而后逐渐在 19% 上下波动, 如图 2 所示。依据 GB/T 15224.1—2010《煤炭质量分级 第 1 部分: 灰分》, 确定本井田煤为中灰煤。

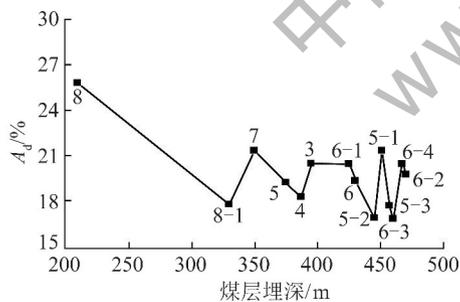


图 2 灰分随煤层埋深变化

Fig. 2 Change of ash content as a function of seam depth

3) V_{daf}

挥发分是煤中有机质热解的产物, 其含量与煤化程度密切相关, 且随着变质程度的加深, 煤的挥发分逐渐降低。本区原煤挥发分在 37% ~ 50%, 平均 37.97% ~ 41.69%, 在煤层埋深 200 ~ 350 m 内呈先增后减, 然后逐渐在 39% 上下波动, 如图 3 所示。依据 MT/T 849—2000《煤的挥发分产率分级》, 确定井田煤属于高挥发分煤。

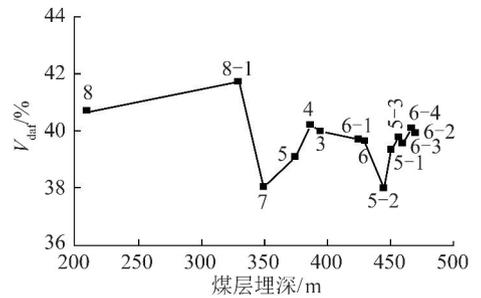


图 3 挥发分随煤层埋深变化

Fig. 3 Change of Volatile matter as a function of seam depth

4) $S_{t,d}$

根据 GB/T 15224.2—2010《煤炭质量分级 第 2 部分: 硫分》对井田各煤层煤样进行硫分分级, 老公营子井田仅 5-2 煤层和 6 煤层硫分平均含量小于 0.85%, 其余煤层均在 0.85% ~ 1.50%, 含量较低, 如图 4 所示。硫含量在 200 ~ 350 m 波动变化小, 350 m 以下波动较大, 总体含量在 1% 波动。故确定井田内煤属于中硫煤。

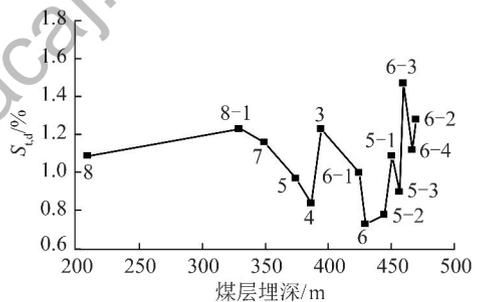


图 4 硫分随煤层埋深变化

Fig. 4 Change of Sulfur content as a function of seam depth

5) 其他微量元素及放射性元素

对井田的钻孔样品中锆、镓及放射性元素测试显示, 锆含量均低于 20×10^{-6} , 最高含量为 12×10^{-6} , 镓最高含量为 23×10^{-6} , 均未达到工业品位^[12], 放射性元素测量中也未发现异常, 无富集情况。

3.4 煤的工艺性能及用途

煤工艺性能的研究在认识煤层的性质和成因、评价煤质及煤的合理开发和利用等方面具有重要意义^[13-15]。本文从煤的发热量、可磨性、热稳定性、与 CO_2 反应性及低温干馏等方面对本井田煤的工艺性能进行评价。

1) 发热量

煤的发热量是指单位质量的煤全部燃烧所产生的热量^[10]。发热量是评价煤质特征的主要指标之一, 也是体现使用价值, 计算燃料消耗、热效率和计

价的主要技术指标,其主要表现在煤的空气干燥基高位发热量 $Q_{gr,ad}$ 、恒湿无灰基高位发热量 $Q_{gr,maf}$ 两方面。

井田原煤中,3-1煤层 $Q_{gr,ad}$ 最低,为 18.76 MJ/kg,8-1煤层最高,为 23.60 MJ/kg,平均 21.01 MJ/kg。根据 GB/T 15224.3—2010《煤炭质量分级 第3部分:发热量》,确定井田煤属于中低发热量褐煤。

根据 GB 5751—2009《中国煤炭分类》,4煤层 $Q_{gr,maf}$ 最低,为 21.83 MJ/kg,6煤层最高,为 23.71 MJ/kg,全区平均 $Q_{gr,maf}$ 小于 24 MJ/kg,透光率介于 30%~50%,确定井田煤属于2号褐煤。

2) 可磨性

煤的可磨性是指煤被研磨成粉的难易程度,是计算磨煤机能耗的重要指标,也是指导磨煤系统设计的主要依据。本井田煤的可磨性测定结果显示,4煤层可磨性最小,为 30,8-1煤层最大,为 60,总体煤的可磨性介于 30~60。根据 MT/T 852—2000《煤的哈氏可磨性指数分级》,确定井田煤的可磨性级别为较难磨煤~难磨煤,对磨煤机的耗能较大,但煤的发热量大,适用于火力发电、冬季取暖锅炉和居民生活使用,众多水泥厂也开始使用褐煤作为燃料生产水泥熟料,是良好的动力用煤^[1,16]。

3) 热稳定性

井田内大部分煤层都作过热稳定性试验,共测试 44 个层点,热稳定性 TS_{+6} 最低为 34.7%,最高为 60.3%,平均 50.2%。根据 MT/T 560—2008《煤的热稳定性分级》,确定井田煤属于低热稳定性煤。

4) 煤对 CO₂ 反应性

煤对 CO₂ 反应性(也称活性)是指煤在规定的条件下,将 CO₂ 还原成 CO 的能力,是评价煤的气化性能的重要指标。根据井田内煤层煤样对 CO₂ 反应性测试结果得出,在常压下温度达 900℃时,煤层煤样 CO₂ 反应性均在 72.8%以上,升温到 950℃,则除 8 煤层的 CO₂ 还原率为 84.6%,其余全部达 85%以上。可见,煤样 CO₂ 反应性较强,且反应性随温度的增加而增强,可产生充足的 CO,可作良好的气化用煤原料。

5) 低温干馏

对井田煤样进行管式低温干馏试验,测得 5-1 煤层的焦油产率最低,为 5.6%,4-1煤层最高,为 12.7%,井田平均为 8.4%,根据《煤炭质量分级》对煤的焦油产率进行分级,确定井田内 3-2、5-1、6-2

煤层焦油产率小于 8%,属于低含油煤,4-1煤层高达 12.7%,属于高含油煤,其他各煤层均在 7.2%~10.2%,属于中油煤。可见,井田煤为低含油煤~中含油煤,焦油产率中等,可作为炼油用煤原料。

4 结 论

1) 老公营子井田含煤地层为白垩系下统阜新组,宏观煤岩组分以亮煤和暗煤为主,显微煤岩组分以镜质组为主,煤层原煤中水分、灰分、挥发分等化学成分含量在煤层埋深 200~350 m 内变化较明显,而后随着埋深的增加,变化稳定。其中灰分平均 16.93%~25.80%,硫分平均 0.78%~1.47%, $Q_{gr,d}$ 介于 16.71~21.30 MJ/kg, $Q_{gr,maf}$ 小于 24 MJ/kg,透光率介于 30%~50%,确定本区煤的分级属于中灰、中硫、中低发热量的 2 号褐煤。

2) 根据本井田煤层煤质工业分析结果,确定井田煤为中低发热量、热稳定性差、与 CO₂ 化学反应性好、焦油产率中等,可作为动力用煤、气化用煤和炼油用煤原料。

参考文献 (References):

- [1] 黄华,考宏涛,郭涛,等.不同煤质煤生产熟料的岩相研究[J].硅酸盐通报,2013,32(9):1846-1850.
HUANG Hua, KAO Hongtao, GUO Tao, et al. Study on microstructure analysis of clinker by different coal[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2013, 32(9): 1846-1850.
- [2] 张辉,钟志光,张海峰.近红外光谱技术在煤质分析中的应用及展望[J].洁净煤技术,2015,21(6):40-42,51.
ZHANG Hui, ZHONG Zhiguang, ZHANG Haifeng. Application of near infrared spectroscopy in coal quality analysis[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(6): 40-42, 51.
- [3] 傅丛,白向飞,姜英.中国典型高砷煤中砷与煤质特征之间的关系及砷的赋存状态[J].煤炭学报,2012,37(1):96-102.
FU Cong, BAI Xiangfei, JING Ying. Discussion on the relationship between the content of Arsenic and the coal quality characteristic and the arsenic modes of occurrence in Chinese high arsenic coal[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(1): 96-102.
- [4] 石瑛.浅谈煤田地质勘探中煤质研究和评价的意义[J].中国煤田地质,2007,19(4):87,90.
SHI Ying. An Elementary introduction to coal quality study and evaluation in coal geological exploration[J]. Coal Geology of China, 2007, 19(4): 87, 90.
- [5] 胡明岩.煤田地质勘探中煤质工作的重要性[J].中国煤炭,2009,35(11):78-80.
HU Mingyan. On the significance of coal quality determination in coal field geological exploration[J]. China Coal, 2009, 35(11): 78-80.

- [6] 王杰玲. 煤田地质勘探中的煤质工作探究[J]. 煤质技术, 2008(5):1-4.
WANG Jieliang. Discussion on coal quality in coalfield geological exploration[J]. Coal Quality Technology, 2008(5):1-4.
- [7] 张冀, 韦波, 田继军, 等. 新疆哈密三塘湖特大整装煤田中-下侏罗统煤层煤质及煤相特征[J]. 地质学报, 2015, 89(5):917-930.
ZHANG Ji, WEI Bo, TIAN Jijun, et al. Characteristics of coal quality and coal facies of middle-lower Jurassic coal seam in large ready coalfield of the Santanghu basin, Hami, Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(5):917-930.
- [8] 牛军强, 杜芳鹏. 新疆卡姆斯特煤田西山窑组煤层发育特征与煤质分析[J]. 地质科技情报, 2016, 35(1):152-155.
NIU Junqiang, DU Fangpeng. Coalbeds spread feature and coal quality analysis in Xishanyao formation of Kamst coalfield, Xinjiang[J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(1):152-155.
- [9] 程伟, 杨瑞东, 崔玉朝, 等. 贵州毕节地区晚二叠世煤质特征及其成煤环境意义[J]. 地质学报, 2013, 87(11):1763-1777.
CHENG Wei, YANG Ruidong, CUI Yuchao, et al. Characteristic of Late Permian coal quality from Bijie, Guizhou Province SW China, and its Significance for paleoenvironment[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(11):1763-1777.
- [10] 李增学, 魏久传, 刘莹. 煤地质学[M]. 北京:地质出版社, 2005:57, 84.
- [11] 赵玉琳, 尹世才, 张义函, 等. 通柘煤田二₂煤层的煤质变化规律[J]. 中国煤层气, 2015, 12(6):38-41.
ZHAO Yulin, YIN Shicai, ZHANG Yihan, et al. Coal nature variation of coal seam II₂ in Tongzhe coalfield[J]. China Coalbed Methane, 2015, 12(6):38-41.
- [12] 李守义, 叶松青. 矿产勘查学[M]. 北京:地质出版社, 2003:169.
- [13] 陈杰, 郑德顺. GJL地区中侏罗统延安组煤质特征分析[J]. 内蒙古煤炭经济, 2015(11):210-212.
CHEN Jie, ZHENG Deshun. Analysis of coal quality characteristics of the middle Jurassic Yan'an formation in GJL area[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2015(11):210-212.
- [14] 周国庆, 姜尧发, 高峰, 等. 陕西省子长矿区晚三叠世5号煤层的煤岩煤质特征[J]. 中国煤炭, 2015, 41(1):30-34.
ZHOU Guoqing, JIANG Yaofa, GAO Feng, et al. The features of petrology and quality of coal in Late Triassic No. 5 coal in Zichang mining area in Shaanxi Province[J]. China Coal, 2015, 41(1):30-34.
- [15] 刘峰. 贵州盘县马依东一井田主要可采煤层煤质特征分析[J]. 煤质技术, 2009(4):7-11.
LIU Feng. The coal characteristics analysis of main coal seam of Mayidongyi mine field in Pan county Guizhou Province[J]. Coal Quality Technology, 2009(4):7-11.
- [16] 滕英跃, 赵畅, 刘全生, 等. 褐煤中矿物质对水泥熟料烧成过程的影响[J]. 硅酸盐通报, 2014, 33(2):236-242.
TENG Yingyue, ZHAO Chang, LIU Quansheng, et al. Influence of minerals in lignite on the sintering process of cement clinker[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2014, 33(2):236-242.

(上接第49页)

- [11] 苏婷, 卢艳强. 低变质煤的热解技术[J]. 榆林学院学报, 2014, 51(2):1-7.
SU Ting, LU Yanqiang. Pyrolysis technology of the low metamorphic coal[J]. Journal of Yulin University, 2014, 51(2):1-7.
- [12] 汪宝林. 煤气化化学与技术进展[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(3):69-74.
WANG Baolin. Chemistry and technology progress of coal gasification[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(3):69-74.
- [13] HARRIS D J. Coal gasification reactivity: Measurement and application; Pittsburgh Coal Conference, Johannesburg[C]. South Africa: [s. n.], 2007.
- [14] 龙东生. 粉料低温干馏气装置: ZL201510160716. 2[P]. 2017-03-29.
- [15] 高晋生. 煤的热解、炼焦和煤焦油加工[M]. 北京:化学工业出版社, 2010:219-224.
- [16] TENNANT J. Gasification; gasification in detail type of gasification[R]. Morgantown; National Energy Technology Laboratory, 2012.
- [17] KINAEV N. A review of mineral matter issues in coal gasification[R]. Australia: [s. n.], 2006.
- [18] 董广才. 浅谈恩德炉粉煤气化技术[J]. 煤炭加工与综合利用, 2004(2):40-42.
DONG Guangcai. Discussion on the gasification technology of entebbe powder[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 2004(2):40-42.
- [19] 张庆更, 李凡, 李好管. 煤化工设计基础[M]. 北京:化学工业出版社, 2014:172-190.