

甘肃张掖某可采煤层煤质特性及可选性评价

田步令¹,李志光²,陈洋^{3,4}

(1.甘肃煤炭地质勘查院,甘肃 兰州 730000;2.中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院,北京 100083;

3.中国地质调查局国际矿业研究中心,北京 100037;4.中国矿业报社,北京 100037)

摘要:对甘肃张掖某可采煤层煤样进行工业分析、元素分析,测定其可磨性指数、黏结指数、发热量、灰熔融温度等,通过筛分浮沉试验绘制可选性曲线,以实现对该煤层煤样的煤质特性及可选性分析评价。结果表明:该煤层煤样属低变质煤、中等灰分煤、高挥发分煤、低固定碳煤,且无黏结性;精煤灰分为10%时,该煤样理论分选密度为 1.48 g/cm^3 ,属难选煤。本地区煤炭是较好的动力用煤和民用燃料,可作为气化用煤,但不能单独作为液化用煤原料。

关键词:煤质特性;可选性;筛分试验;浮沉试验

中图分类号:TD94 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2024)S1-0636-05

Evaluation of coal quality characteristics and washability of minable coal seam in Zhangye, Gansu Province

TIAN Buling¹, LI Zhiguang², CHEN Yang^{3,4}

(1. Gansu Coal Geological Exploration Institute, Lanzhou 730000, China; 2. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China; 3. International Mining Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China; 4. China Mining News, Beijing 100037, China)

Abstract: Proximate analysis and ultimate analysis were carried out on a coal sample from a minable coal seam in Zhangye, Gansu Province. The grindability index, bonding index, caloric value, ash melting point, and so on were measured. The washability curve was drawn through sieve analysis and float and sink tests to realize the analysis and evaluation of the coal quality characteristics and washability. The results show that the coal samples of this coal seam belong to low-metamorphic, medium ash, high volatile and low fixed carbon coal without bonding property. When the ash content of cleaned coal is set to 10%, the theoretical separation density of the coal sample is 1.48 g/cm^3 , which indicates the coal is difficult to separate. The coal in this region is a good feedstock for thermal power plant, and it can be used as the raw material for coal gasification. However, it can not be used as the raw material for coal liquefaction alone.

Key words: coal quality characteristics; washability; screen test; float and sink test

0 引言

煤炭作为全球范围内储量最大、分布最广泛的化石燃料之一,对当前经济、社会发展起重要作用。我国作为煤炭资源大国,煤炭产量稳居世界第一。而在全国各省份中,甘肃省作为我国西部煤炭产出大省,具备丰富的煤炭储量,其煤炭低灰、低硫、高热值特性,成为优质的动力与化工用煤^[1-2]。张掖某可采煤层所在地区是甘肃省重要的工农业生产基

地,其区域内煤炭供需矛盾突出,长期依赖外调煤炭以实现能源、原料供应;因此随着经济、社会快速发展,实行区域内部煤炭资源勘探、高效开发利用,对于当地经济社会的稳步发展具有重要意义。

当前,碳达峰和碳中和的“双碳”目标,使煤炭清洁低碳高效利用受到广泛关注,同时也对煤炭勘探、开采及后续资源化利用提出更苛刻的要求^[3-4]。煤炭分选作为煤炭综合利用的源头,掌握原煤性质,针对性地进行分选处理,对实现煤炭的高效低碳利

收稿日期:2023-11-20;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.23112001

基金项目:甘肃省地质勘查基金资助项目(201802-M01)

作者简介:田步令(1987—),男,陕西吴起人,高级工程师。E-mail:165003256@qq.com

通讯作者:陈洋(1991—),男,江苏如皋人,工程师,博士。E-mail:chengyang001@mail.cgs.gov.cn.

引用格式:田步令,李志光,陈洋.甘肃张掖某可采煤层煤质特性及可选性评价[J].洁净煤技术,2024,30(S1):636-640.

TIAN Buling, LI Zhiguang, CHEN Yang. Evaluation of coal quality characteristics and washability of minable coal seam in Zhangye, Gansu Province [J]. Clean Coal Technology, 2024, 30(S1): 636-640.

用、提升煤炭品质、提升企业效益具有重要作用^[5-6]。受某企业委托,对甘肃张掖某可采煤层的煤质及可选性进行评价。由于该煤层尚处煤层勘探阶段,因此掌握其煤质特性等关键参数,为确定该区域内的煤矿开采提供理论依据;同时为分选工艺和设备的确定提供重要的参考,这有助于实现原煤高效分选,保证精煤产率的同时,最终实现经济效益最大化。

1 可采煤层地质特征及煤质特性

1.1 地质特征

该地区位于潮水盆地中东部,东部、北部紧邻平山湖含煤区,南部至黑山头上井,西部紧邻窑泉锰铁铅锌矿。呈戈壁及沙丘地貌,地形较平坦,地势东南高、西北低,区域地层区划属华北地层大区,阿拉善地层区。区域内大面积为第四系覆盖,只有零星的地层出露。仅见有新元古界震旦系、上古生界石炭系、中生界侏罗系和白垩系、新生界新近系和第四系地层。潮水盆地是中生代内陆山间断陷性盆地,盆地内侏罗系地层是一套生油、含煤的陆相碎屑沉积,中侏罗统青土井群为盆地内的主要含煤岩段,下侏罗茆茆沟群为次要含煤岩段。本研究涉及煤样均来自中侏罗统青土井群地层内的大部可采煤层,可采煤层含煤系数平均为 3.52%。煤层结构以较简单结构煤层为主,煤层顶板以泥岩、粉砂岩为主,部分地段为细粒砂岩;煤层底板以泥岩、粉砂岩为主,次为细粒砂岩、砂岩。

1.2 物理特性

本地区煤层均为黑色,条痕褐色或褐黑色,具沥青光泽或弱沥青光泽,不透明;煤岩成分以暗煤为主,夹有丝炭、镜煤成分,呈条带状结构,断口较平整,煤块易碎成块状或碎粒及少数粉状。块煤断口为阶梯状、参差状或贝壳状;煤层为条带状结构,层状或块状构造,裂隙较发育或不发育,分布不均。

煤样视密度按照 MT/T 1027—2006《煤芯煤样视相对密度测定》测定。测试数量符合规范要求,并超过 10%。测试结果显示:该地区煤层煤样的视密度为 1.45 t/m³。宏观煤岩特性显示该地区煤样的煤岩成分以暗煤为主,丝炭和亮煤次之,条带状结构,断口较平整,小裂隙较多,方向不定。煤岩类型属半暗型煤。

根据 GB/T 15588—2001《烟煤显微煤岩组分分类》,显微煤岩组分分为镜质组、惰质组和壳质组,常见矿物种类有黏土类、碳酸盐类、硫化物类、氧化硅类和其他矿物类。该地区煤样的显微煤岩组分中,镜质组最多、惰质组次之、壳质组最少;无机显微组分以黏土类为主,硫铁矿类、氧化硅类和碳酸盐类含量较少。可采煤层镜质体发射率平均值 $R_{\max}$ 小于 0.50%,说明该煤层的煤样属低变质煤^[7-8]。

1.3 化学特性

煤的化学组成极其复杂,主要分无机质和有机质。其有机质元素组成随煤化程度的变化呈规律性变化。掌握该地区煤样的化学特性,对于判定煤化程度、制定煤炭开采和分选的工艺流程及设备选型具有重要指导意义^[9-11]。依照 GB/T 15224.1—2018《煤炭质量分级 第 1 部分:灰分》、MT/T 849—2000《煤的挥发分产率分级》和 MT/T 561—2008《煤的固定碳分级》,对该区域煤层煤样进行工业分析,依照 GB/T 31391—2015《煤的元素分析》对煤样进行元素分析,结果见表 1、2。

表 1 本地区煤层煤样工业分析和元素分析

工业分析/%				元素分析/%				
M_{ad}	A_{ad}	V_{daf}	FC_{ad}	C_d	H_d	N_d	S_d	O_d
13.88	20.42	39.61	48.06	72.28	4.29	0.94	1.51	20.98

表 2 本地区煤层煤样煤质特性结果

各形态硫含量/%			可磨性 指数/%	黏结 指数	$Q_{gr,vd}/$ (MJ · kg ⁻¹)	焦渣特性	灰熔融温度/℃		
硫酸 盐硫 $S_{s,d}$	硫化 铁硫 $S_{p,d}$	有机硫 $S_{o,d}$					变形温度	软化温度	流动温度
0.05	0.22	0.30	75	0	25.86	2	1 160	1 168	1 209

由表 1 可知,该地区煤层煤样的空气干燥基灰分为 20.42%,属于中等灰分煤;空气干燥基的挥发分含量为 39.61%,属高挥发分煤;固定碳含量仅 48.06%,属于低固定碳煤。元素分析结果显示,该煤层煤样全硫含量仅 1.51%,属中硫煤。

由表 2 可知,该煤样可磨性指数 75%,为中等可磨煤。煤的可磨性作为动力煤和高炉用煤的重要指标,充分反映了燃煤制粉的能力,对于选定制粉系统具有重要参考作用。该地区煤种黏结指数为 0,属无黏结性煤,其焦渣呈粉状,发热量相对较低,可供

制造煤气、民用和动力燃料使用。焦渣特征是指煤炭热分解以后剩余物质的形状,根据不同形状分为 8 个序号,其序号即为焦渣特征代号,该煤样焦渣特性值为 2,进一步证明该地区煤样没有黏结性。对煤样形态硫的测定有助于掌握煤热解、焦化过程中的硫变迁规律,对扩大炼焦配煤资源及优化炼焦工艺具有重要指导作用。该煤层煤样以硫化铁硫和有机硫为主,伴有微量硫酸盐硫。有机硫在煤中常与有机质共生,分布较分散,难以集中清除,从而使分选加工后的精煤中硫含量随矿物质的减少而呈增加态势。硫铁矿硫的脱除则与其粒度和嵌布规律相关,大粒度硫铁矿硫可在分选过程中去除。同时考察了该煤样的灰熔融温度,该煤样变形温度为 1 160 ℃,软化温度 1 168 ℃,流动温度 1 209 ℃,按照相关标准,属较低软化温度灰和较低流动温度灰。其煤灰成分以二氧化硅、氧化铝和氧化钙为主要成分,分别占总灰量的 37.43%、16.01%和 12.02%,总计超灰成分的 65%;其他成分中以三氧化硅、三氧化二铁和氧化镁居多。低灰熔融温度煤在实际应用中,较低温度易熔融黏结并结渣在炉壁,加剧炉膛内耐火材料侵蚀,因而在其气化或锅炉选型中需予以重视,实际应用中则可考虑通过配煤解决结渣等问题。

测定了煤中微量元素主要成分及含量,以确定该地区是否伴生有一定储量且可规模化生成的微量元素。经测定,该地区煤样中主要包含稀有分散元素锆、镓和铀。其中锆含量 $0 \sim 55 \times 10^{-6}$, 平均 $1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$; 镓含量 $1 \times 10^{-6} \sim 85 \times 10^{-6}$, 平均 $8 \times$

$10^{-6} \sim 14 \times 10^{-6}$;未检测到铀含量;据《矿产资源工业要求手册》的相关标准,其含量均达不到工业品位,不具工业价值。

整合该地区煤样的化学性质和工艺性能数据,参照动力用煤煤质评价指标、气化用煤的煤质评价指标和液化用煤的煤质评价标准,可确定该地区煤层煤样,符合动力用煤技术要求,是较好的动力用煤和民用燃料;同时也满足气化用煤各项指标,可以作为气化用煤。但氢碳比低于 0.75,液化时需要提高加氢供气量;灰分大于 12%,会影响液化效果。因此初步判断,本区煤炭不能单独作为液化用煤原料^[12]。

2 可选性分析

2.1 筛分试验

煤样筛分试验主要用于确定该地区煤样粒度组成和各粒级产率,以此确定各生产煤层的产块率和质量特征,从而确定开采工作面的含矸率指标。同时,可为矿井设计、选煤厂设计、选煤工艺过程的制定提供基础数据支撑^[11]。本地区煤层煤样的自然级筛分试验结果见表 3,可知各粒级煤中以 13 ~ 6 mm 和<6~3 mm 粒级块煤产率较高,且产率接近,二者为主导粒级;粒度<0.5 mm 粉煤产率最低。不同粒级灰分的变化无明显趋势,较平均,说明煤质易碎程度较适中。各粒级收到基发热量相差不大,在 24.91~25.18 MJ/kg。该地区煤粉筛分试验结果见表 4,各粒度级中以 0.500~0.250 mm 粒级为主,占

表 3 本地区煤层煤样自然级筛分试验结果

粒级/mm	产率						
	质量/kg	占全样/%	筛上累计/ %	$M_{ad}/\%$	$A_{ad}/\%$	$S_{t,d}/\%$	$Q_{gr,vd}/(MJ \cdot kg^{-1})$
13~6	2.01	34.13	34.13	9.09	13.97	1.86	24.91
<6~3	1.96	33.28	67.40	9.04	13.47	1.44	25.09
<3.0~0.5	1.45	24.62	92.02	9.32	13.21	1.24	25.18
<0.5	0.47	7.98	100	10.05	13.64	1.03	24.98
合计	5.89	100		9.21	13.59	1.50	

表 4 本地区煤层煤样的煤粉筛分试验结果

粒级/mm	产率/%		A_{ad}	$S_{t,d}$	累计/%		
	质量	占全样			产率	A_{ad}	$S_{t,d}$
0.500~0.250	98.07	49.24	12.63	1.30	49.24	12.63	1.30
<0.250~0.125	44.23	22.21	12.86	1.08	71.45	12.70	1.22
<0.125~0.075	17.77	8.92	14.19	1.01	80.37	13.11	1.20
<0.075~0.045	14.90	7.48	15.22	0.96	87.85	13.28	1.15
<0.045	24.19	12.15	14.94	0.98	100	13.60	1.10
合计	199.16	100	13.60	1.10			

总样的 49.24%,其次为<0.250~0.125 mm 粒级,二者共计 71.45%;其他粒级占比均较小,<0.075~0.045 mm 粒级产率最低。煤粉各粒级灰分和硫分均无明显变化趋势。

2.2 浮沉试验

通过浮沉试验可考察该地区煤样各密度级产物的质量指标;根据不同密度级的浮煤与沉煤产率,掌

握煤可选性,为选煤厂设计确定分选方法等。本地区煤层煤样 13~6 mm 粒级的大浮沉试验结果见表 5。在各密度级中,1.30~<1.40 g/cm³ 占据主导,其产率为 65.06%,<1.30 g/cm³ 密度级次之,大于 1.50 g/cm³ 密度级的产率较低,中间密度物较少。此外,13~6 mm 粒级的原生煤泥灰分高于原煤的平均灰分,表明矸石易在外力作用下破碎解离。

表 5 本地区煤层煤样浮沉试验结果

密度级/ (g·cm ⁻³)	产率/%	灰分/%	浮物累计/%			沉物累计/%			分选密度±0.1	
			产率	灰分	全硫	产率	灰分	全硫	密度/ (g·cm ⁻³)	产率/%
<1.30	7.71	7.89	7.71	7.89	1.09	100.00	12.18	1.57	1.30	71.30
1.30~<1.40	63.59	9.74	71.30	9.54	1.05	92.29	12.54	1.69	1.40	82.80
1.40~<1.50	19.21	14.00	90.51	10.49	1.04	28.70	18.75	4.40	1.50	23.91
1.50~<1.60	4.70	17.33	95.21	10.83	1.04	9.49	28.35	12.17	1.60	6.36
1.60~<1.70	1.66	21.23	96.87	11.00	1.05	4.79	39.16	17.97	1.70	2.54
1.70~<1.80	0.88	27.69	97.75	11.15	1.06	3.13	48.67	24.06	1.80	1.06
1.80~<2.00	0.35	44.05	98.10	11.27	1.10	2.25	56.89	29.01	1.90	0.35
≥2.00	1.90	59.25	100	12.18	1.57	1.90	59.25	34.15		
小计	100	12.18								
煤泥	7.64	29.91								
总计	100	13.54								

对该地区煤粉的小浮沉试验结果见表 6,煤粉中主导密度级为 1.30~<1.40 g/cm³,与大浮沉试验结果相似。<1.30 g/cm³、1.40~<1.50 g/cm³ 和

1.50~<1.60 g/cm³ 三个密度级所占比例接近,均在 10%~15%,而大于 1.60 g/cm³ 密度级的高密度产物产率较低。

表 6 本地区煤层煤粉浮沉试验结果

密度级/ (g·cm ⁻³)	质量/g	产率/%	灰分/%	浮物累计/%			沉物累计/%		
				产率	灰分	全硫	产率	灰分	全硫
<1.30	27.19	13.65	8.80	13.65	8.80	0.80	100.00	13.10	1.53
1.30~<1.40	104.29	52.35	10.01	66.00	9.76	0.76	86.35	13.78	1.64
1.40 ~< 1.50	30.32	15.22	12.33	81.22	10.24	0.74	34.00	19.59	3.01
1.50 ~< 1.60	22.91	11.50	14.56	92.72	10.78	0.72	18.78	25.48	4.94
1.60~<1.70	4.28	2.15	20.70	94.87	11.00	0.72	7.28	42.72	11.82
1.70~<1.80	1.83	0.92	31.88	95.79	11.20	0.72	5.13	51.94	16.45
1.80 ~< 2.00	3.11	1.56	49.70	97.39	11.82	0.74	4.21	56.32	19.76
≥2.00	5.28	2.65	60.22	100	13.10	1.53	2.65	60.22	30.34
总计	199.21	100	13.10						

2.3 可选性评价

依据 GB/T 16417—2011《煤炭可选性评定方法》,煤样可选性评定采用“分选密度±0.1 含量法”(简称“δ±0.1 含量法”),对该地区煤层煤样进行可选性评价。通常 δ±0.1 ≤ 10.0% 为易选煤、10.1~20.0% 为中等可选、20.1~30.0% 为较难选、30.1~40.0% 为难选、>40% 为极难选^[13~16]。

以表 4 浮沉数据为基础,绘制该地区煤层煤样的可选性曲线,如图 1 所示,其中,λ 为灰分特性曲线,β 为浮物曲线,θ 为沉物曲线,ε 为密度±0.1 含量曲线,δ 为密度曲线。根据可选性曲线,可确定理论分选密度、浮煤收率等,理论分选密度小于 1.70 g/cm³ 时,以扣除沉矸(>2.00 g/cm³) 为 100% 计算 δ±0.1 含量;理论分选密度 ≥ 1.70 g/cm³ 时,以

扣除低密度物($<1.50\text{ g/cm}^3$)为 100%计算 $\delta\pm 0.1$ 含量; $\delta\pm 0.1$ 含量以百分数表示。由图 1 可知,煤样灰分选择 10%时,样品理论分选密度为 1.48 g/cm^3 ,小于 1.70 g/cm^3 ,扣除沉矸数值 1.90%,故 $\delta\pm 0.1$ 含量的最终值为 $35.9\div(100-1.90)\times 100\%=36.6\%$,按 GB/T 16417—2011 为难选煤。

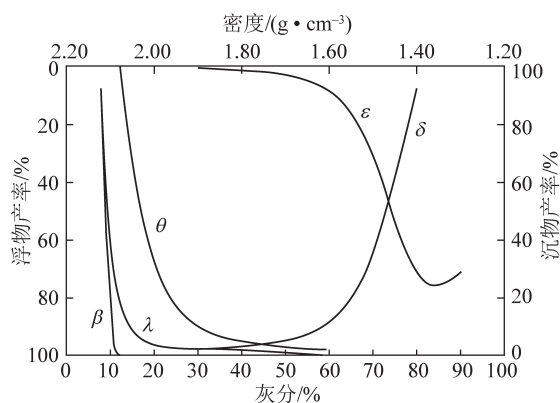


图 1 本地区煤层煤样可选性曲线

3 泥化特性分析

煤和矸石的泥化试验目的是研究选煤时块煤和矸石在搅动水中形成煤泥和泥浆的程度,研究含有大量煤粉和岩粉的浑浊液对浮煤产率和质量的影响,从而为选煤厂设计处理煤泥水工艺提供重要依据。

依据 GB/T 26918—2011《选煤厂煤的转筒泥化试验方法》测试方法,对该地区煤层煤样进行泥化特性分析。主要试验条件包括矸石泥化试验翻转装置及改制沉降装置。试验结果显示,经过 3 次重复试验,其 $>500\text{ }\mu\text{m}$ 产率为 54.54%, $<500\text{ }\mu\text{m}\sim >10\text{ }\mu\text{m}$ 产率为 33.00%, $<10\text{ }\mu\text{m}$ 产率为 12.46%。由此可确定泥化比为 27.41,因其 >20 ,可确定该煤层煤样属于高度泥化。

4 结 论

1) 该煤层的煤样属低变质煤、中等灰分煤、高挥发分煤、低固定碳煤,无黏结性,且属于高泥化。

2) 精煤灰分选择为 10%时,该煤层煤样理论分选密度为 1.48 g/cm^3 , $\delta\pm 0.1$ 含量为 36.6%,大于 30%,

属难选煤。

3) 根据相关技术指标要求,确定本地区煤炭是较好的动力用煤和民用燃料,可作为气化用煤,但是不能单独作为液化用煤原料。

参考文献:

- [1] LI Y M, KHURSHID A, KHAN K. Optimization of coal-to-liquid processes; A way forward towards carbon neutrality, high economic returns and effective resource utilization. Evidences from China [J]. Fuel, 2023, 344: 128082.
- [2] YAN Y L, LI J J, DUAN X L, et al. Life cycle assessment of emerging coal conversion technologies in China: An industrial-scale comparison [J]. Energy Conversion and Management, 2022, 271: 116293.
- [3] 潘月军. 新形势下我国煤炭资源高效清洁利用途径分析 [J]. 洁净煤技术, 2023, 29(S2): 807-809.
- [4] 王双明, 刘浪, 赵玉娇, 等. “双碳”目标下赋煤区新能源开发: 未来煤矿转型升级新路径 [J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(1): 59-79.
- [5] 吴朝荡, 苑金朝, 叶树强, 等. 双碳目标下的选煤技术与推广应用 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2022(8): 1-5, 11.
- [6] 赵树彦, 任利勤, 张玉磊. 先进选煤技术促进煤炭清洁高效利用研究与探讨 [J]. 中国煤炭, 2022, 48(7): 17-21.
- [7] WANG Y, BAI X F, WU L L, et al. The petrographic compositions of Chinese commercial coals: A national survey and statistical analysis [J]. Fuel, 2022, 310: 122323.
- [8] 杨晓毓. 动力用煤系列国家标准的修订及其与地方标准的比较 [J]. 煤炭工程, 2021, 53(6): 191-196.
- [9] 翟芳. 我国气化用煤工艺指标检测方法解析 [J]. 当代化工研究, 2022(10): 35-37.
- [10] 尚明. 煤加工利用中的分析与表征 [J]. 洁净煤技术, 2023, 29(S2): 98-102.
- [11] 周建国, 宋万军, 蒋涵元, 等. 上榆泉选煤厂重介分选性能评价 [J]. 煤炭技术, 2023, 42(2): 246-249.
- [12] 郭旭颖, 里莹, 董艳荣, 等. 宝日希勒露天煤矿煤层煤质特征及洁净等级划分 [J]. 洁净煤技术, 2018, 24(3): 8-13.
- [13] 于跃先, 刘家辉, 贾小英, 等. 山西某选煤厂细煤泥浮选提质增效试验研究 [J]. 煤炭技术, 2023, 42(5): 264-268.
- [14] 许红娜. 煤炭干法分选技术应用场景及展望 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2022(1): 63-65.
- [15] 王碧清, 李军, 张喜军. 陕北张家峁矿井长焰煤的可选性研究 [J]. 煤炭技术, 2019, 38(10): 144-146.
- [16] 张凤桐. GB/T 16417—2011《煤炭可选性评定方法》编制说明 [J]. 洁净煤技术, 2013, 19(5): 123-124.