

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2023.03.03

基于煤质特征的山西霍西煤田南部成煤环境分析

陈燕

(山西省煤炭地质资源环境调查院有限公司,太原 030006)

摘要:霍西煤田是我国重要的焦煤产地,为了全面查明其煤质特征及成煤环境,本文以煤田南部的主采煤层(2、9(9+10)号)为研究对象,通过分析煤样的煤岩、硫分、灰分和灰成分等数据,评价其煤质特征,推断其成煤环境。研究表明:煤层镜惰比越高,沉积环境覆水越深;硫分含量越高,受海水影响越大;灰分含量越高,水动力越强;灰成分指数K值越大,还原型越强;CaO/MgO值越高,则成煤气候条件越潮湿;m值反映沉积环境是淡水还是咸水。根据2、9(9+10)号煤灰分低-中、灰成分指数低、 $1 < m < 10$ 的特点,推断二者形成过程受河流搬运作用影响,为水动力较强、还原型、半咸水的沉积环境。对2层煤其他煤质特征分析,发现二者成煤环境存在差异,表现为:2号煤具有镜惰比(VI)较低、硫分低、CaO/MgO值较高的特征,说明成煤环境为覆水不深、古气候环境潮湿的三角洲平原相泥炭沼泽环境;9(9+10)号煤具有镜惰比(VI)中等偏高、硫分高、CaO/MgO值高的特征,说明成煤环境为强覆水、受海水影响、古气候环境极潮湿的泻湖相泥炭沼泽环境。

关键词:霍西煤田南部;2号煤;9(9+10)号煤;煤质特征;成煤环境

中图分类号:P618.11

文献标识码:A

文章编号:2097-0188(2023)00-0021-07

原始沉积环境是煤岩、煤质特征的主要决定因素,也决定了煤炭品质高低和开发利用性能^[1-2],而煤炭地球化学特征也是成煤阶段、成煤介质特征的主要反映^[3]。因此可通过研究煤层煤质和地球化学特征来反演区域成煤环境,进而根据区域成煤环境推断井田煤岩、煤质特征,用以指导煤炭勘探和煤矿生产^[4]。煤炭显微煤岩组分、灰分、硫分、灰成分是成煤环境研究的常用指标^[5],而“灰成分端元分析法”又是研究聚煤环境的常见分析方法^[6]。此外,还可以通过煤质参数、煤层厚度分析原始泥炭沼泽沉积环境特征。

霍西煤田是我国重要的焦煤产地,具有煤层厚、煤质好、硫含量高的特征,其形成环境一直是研究热点。黄操明等^[7]对霍西煤田霍州矿区石炭二叠系含煤岩系进行了沉积分析;宋新民等^[8]对霍西煤田北部含煤地层的成煤环境和成煤模式进行了探讨;马宏英等^[9]对霍西煤田白壁关-宜兴-曹村勘探区石炭二叠纪含煤建造沉积环境及煤层赋存规律进行了研究。前人对霍西煤田沉积环境的研究较多地集中在煤田开发程度较好的北部和中部区域,但对南部的

勘查、勘探及研究工作相对薄弱。近年来,随着勘查工作的进一步拓展和延伸,霍西煤田南部也开展了不少勘查工作,并取得了一系列重大地质找矿成果。本文以霍西煤田南部较具代表性的曹家庄煤炭普查区、大邓煤炭普查区和上毛详查区煤质化验数据^[10-12]为依托,系统分析霍西煤田南部钻孔样品煤岩鉴定、硫分、灰分及灰成分数据,进一步揭示霍西煤田南部地区煤层沉积环境,从地球化学方面为整个霍西煤田沉积环境研究提供了丰富的科学素材。

1 研究区概况

霍西煤田位于山西省中南部(图1),石炭二叠系含煤面积5 775 km²。区域出露地层以奥陶系、石炭系、二叠系、新近系、第四系为主。其中的太原组和山西组为主要含煤地层,共含有编号煤层12层:山西组含煤3层(编号为1、2、3号),基本全属大部可采或局部可采煤层;太原组含煤9层(编号为4、5、6、7、8、9、10、11、12号),其中的9、10、11号属全区可采或大部可采煤层,4、5、6、7、8号属局部或零星可采煤层,12号属不稳定不可采煤层。煤质以中灰、低硫-高

收稿日期:2022-09-16

资助项目:山西省自然资源厅项目“山西省霍西煤田襄汾县曹家庄勘查区煤炭普查”、“山西省霍西煤田襄汾县大邓勘查区煤炭普查”、“山西省霍西煤田襄汾县上毛详查区煤炭普查”联合资助。

作者简介:陈燕(1985-),女,硕士,工程师,从事煤炭地质勘查与研究工作,E-mail:1c2y@163.com。

<http://hbdz.org.cn>

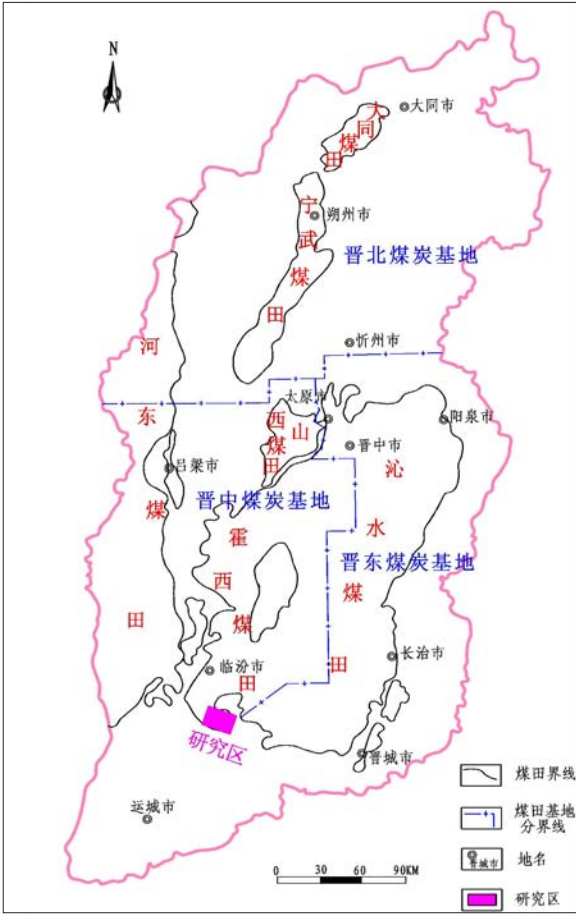


图1 山西省各煤田与研究区示意图(据宋文龙^[14]修改)
Fig.1 Schematic diagram of coal fields and study area in Shanxi Province

硫、高热值炼焦肥煤、1/3焦煤及瘦煤为主^[13]。

构造位置上,研究区位于临汾-运城新裂陷的中北部,洪洞-临汾凹陷的南部,龙子祠断层(管头河底断裂)东侧(图2)。研究区内煤炭资源丰富、煤质优良、埋藏浅,主要含煤地层为二叠系下统山西组和石炭系上统太原组,可采煤层为2、9(9+10)号煤层。煤层总体具有西部低、东部高,走向北北西,倾向南西西的分布特征。需要说明的是,由于霍西煤田沉积环境影响,导致9号煤在部分区域出现分叉,出现9号和10号煤,但是它们的沉积环境大体一致,故在本

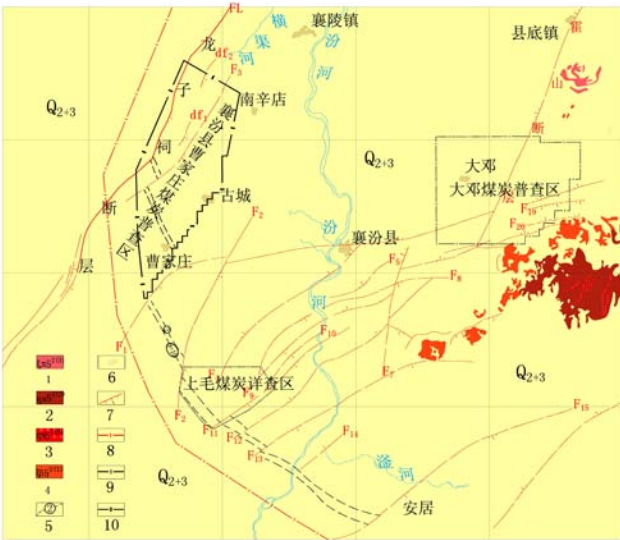


图2 研究区构造纲要图
Fig.2 Structural outline map of study area

1.燕山期侵入岩正长(斑)岩;2.燕山期侵入岩二长(斑)岩(中期);3.燕山期侵入岩二长(斑)岩(晚期);4.燕山期侵入岩(晚期)正长闪长岩(早期);5.煤层露头;6.村庄;7.正断层;8.研究区边界;9.普查区边界;10.详查区边界

区9、9+10号煤统为一层煤。

2煤质特征

本次共对煤层中的73个样品进行了化验数据分析,其中2号煤共采取了31个样品(曹家庄区,22个;上毛区,2个;大邓区7个);9(9+10)号煤共采取了35个样品(曹家庄区,20个;上毛区,4个;大邓区,11个)。

2.1 煤岩特征

主采煤层显微组分含量见表1。数据表明,煤岩类型为半光亮型煤;各煤层有机显微组分含量高,以镜质组为主,惰质组次之,镜/惰比变化较大,且由研究区东部向西部递减,变化平行于煤层倾向、垂直于煤层走向;无机显微组分含量低,以黏土类矿物为主,硫铁矿、碳酸盐次之。

2.2 硫分特征

研究区主采煤层硫分及形态硫平均值见表2,硫

表1 主采煤层显微组分统计表
Table 1 Maceral statistics table of main coal seam

勘查区名称	煤层号	煤岩类型		有机显微组分/%			矿物质含量/%				总量/%		镜质最大射率/%	变质阶段
		宏观	微观	镜质组	惰质组	镜/惰	黏土类	硫铁矿类	碳酸盐类	氧化硅类	无机	有机		
曹家庄勘查区	2 [#]	半光亮型	微镜惰煤	53.23	41.37	1.29	5.27	0.13	0	0	5.40	94.60	1.09	Ⅲ
	9(9+10) [#]			57.13	36.63	1.56	4.80	1.47	0	0	6.23	93.77	1.19	Ⅲ
大邓勘查区	2 [#]			62.20	26.60	2.34	9.00	0	2.20	0	11.20	88.80	5.59	Ⅶ
	(9+10) [#]			77.50	16.30	4.75	7.60	0.40	0	0	8.00	93.80	5.39	Ⅶ

表2 主采煤层平均灰分、硫分统计表
Table 2 Average ash and sulfur content of main coal seam

勘查区	煤层号	A _d /%	灰分质量分级	S _{t,d} /%	硫分质量分级	黄铁矿硫 S _{p,d} /%	硫酸盐硫 S _{s,d} /%	有机硫 S _{o,d} /%
曹家庄 勘查区	2 [#]	10.60 ~ 28.29 19.36 (21)	特低灰煤	0.32 ~ 1.49 0.55 (22)	低硫煤	0.06 ~ 1.07 0.28 (9)	0.00 ~ 0.06 0.02 (9)	0.12 ~ 0.76 0.35 (9)
	9(9+10) [#]	11.57 ~ 27.16 18.94 (20)		2.88 ~ 5.74 3.95 (20)		0.30 ~ 2.93 1.13 (9)	0.00 ~ 0.04 0.02 (9)	0.56 ~ 3.26 2.29 (9)
上毛 勘查区	2 [#]	21.61 ~ 23.04 22.33 (2)	特低灰煤	0.48 ~ 0.54 0.51 (2)	低硫煤	0.15 (1)	0.01 (1)	0.32 (1)
	9 [#]	27.89 ~ 37.74 33.05 (4)		1.05 ~ 6.47 4.11 (4)		0.39 ~ 5.76 3.40 (3)	0.01 ~ 0.06 0.04 (3)	0.65 ~ 2.33 1.22 (3)
大邓 勘查区	2 [#]	15.91 ~ 33.69 25.83 (7)	特低灰煤	0.57 ~ 0.91 0.66 (7)	低硫煤	0.08 ~ 0.73 0.22 (5)	0.00 ~ 0.02 0.004 (5)	0.17 ~ 0.56 0.45 (5)
	(9+10) [#]	12.73 ~ 30.11 22.16 (11)		0.91 ~ 3.87 2.47 (11)		0.41 ~ 2.77 1.42 (10)	0.00 ~ 0.02 0.008 (10)	0.08 ~ 2.36 1.16 (10)

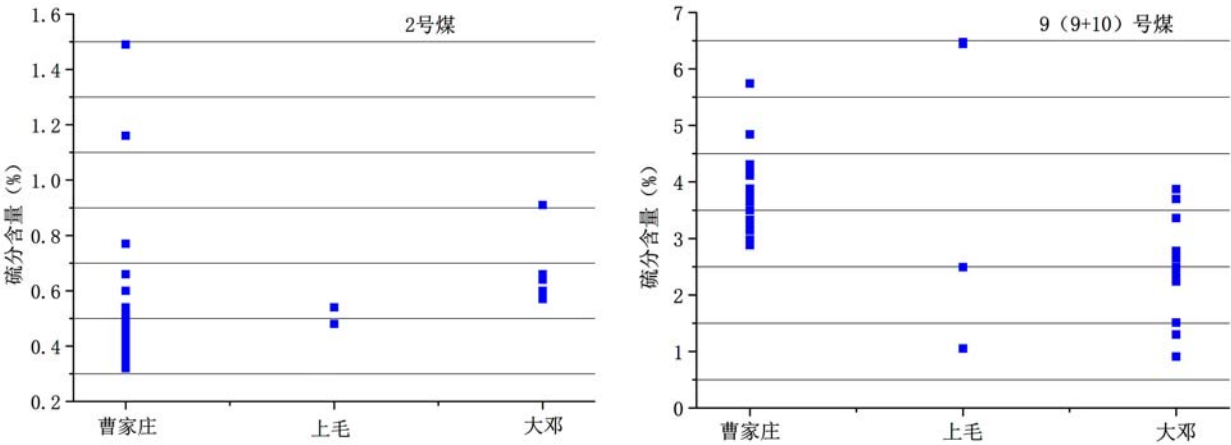


图3 主采煤层硫分分布图
Fig.3 Sulfur distribution of main coal seam

分值分布情况见图3。依据煤炭质量分级:硫分(GB/T15224.2-2010)的规定,2号煤大部分为低硫煤;9(9+10)号煤大部分为高硫煤。2号煤硫分含量为0.32%~1.49%,变化较小,大部分小于1%,仅曹家庄区有两个采样点大于1%;有机硫较多,黄铁矿硫次之,硫酸盐硫极少。9(9+10)号煤硫分含量为0.91%~6.47%,硫含量变化较大,由东部向西部递增,变化平行于煤层倾向、垂直于煤层走向;曹家庄区有机硫较多,黄铁矿硫次之,硫酸盐硫极少;上毛、大邓区黄铁矿硫最多,有机硫次之,硫酸盐硫极少(图4)。

2.3 灰分特征

区内主采煤层灰分平均值统计见表2,灰分值分布情况见图5。依据煤炭质量分级:灰分(GB/T15224.1-2018)的规定,曹家庄区以低灰煤为主,上毛区为中高灰煤,大邓区为中灰煤。灰分值在煤层走向和倾向上的变化不明朗。

2.4 灰成分特征

区内主采煤层煤灰成分在煤层走向和倾向上的

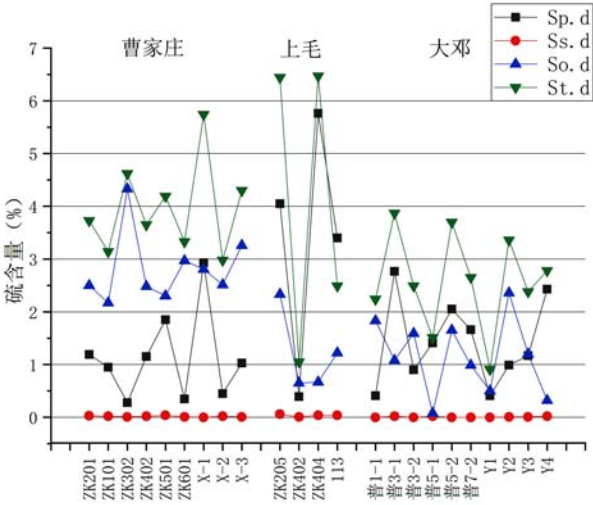


图4 9(9+10)号煤全硫与各种硫含量关系图
Fig.4 Diagram of relation between total sulfur and various sulfur contents of No.9(9+10) coal

变化不明朗。煤灰成分以SiO₂、Al₂O₃为主,Fe₂O₃、CaO次之。各煤层SiO₂含量均值为29.64%~56.17%;Al₂O₃为21.79%~38.56%;Fe₂O₃为1.46%~25.16%;

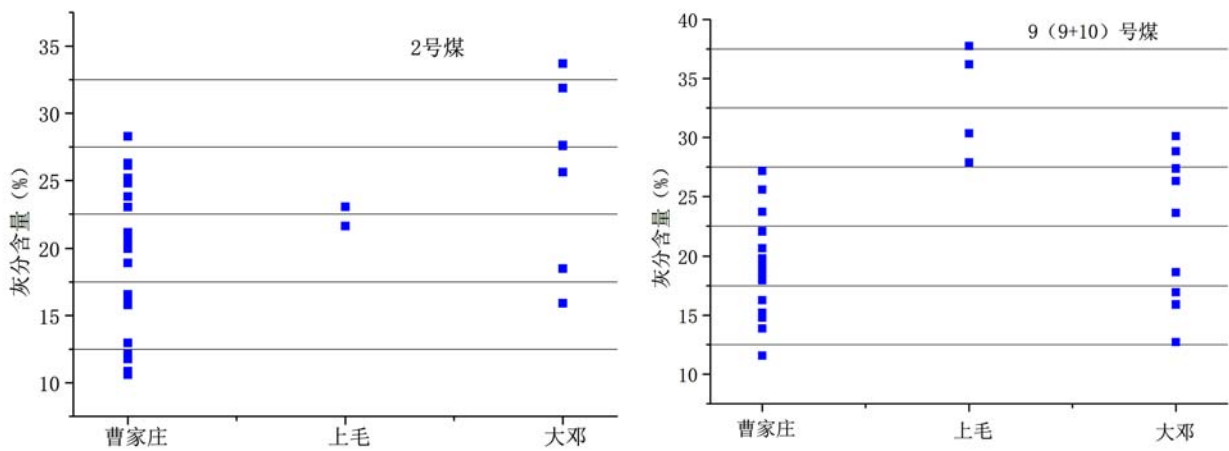


图5 主采煤层灰分分布图
Fig.5 Ash distribution map of main coal seam

CaO 为 0.42% ~ 18.71%; 灰成分指数 $K(Fe_2O_3 + CaO + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3)$ 为 0.12 ~ 0.62。其余各成分含量较低(表3)。

3 成煤环境分析

3.1 基于煤岩特征的成煤环境分析

煤岩显微组分中镜质组的形成与潮湿的还原环境有关,惰质组的形成与干燥的氧化环境有关。因此可通过镜质组与惰质组之比(V/I)推断原始泥炭沼泽覆水程度和气候干湿情况。张有河等^[5]认为V/I值大于4表明沉积区为强覆水,V/I值介于1~4之间表明沉积区为潮湿覆水;另一方面,魏迎春等^[15]认为镜惰比可反映成煤泥炭沼泽覆水程度和氧化还原程度,若镜惰比较大表明成煤环境为覆水深度大的还原环境沼泽;反之为覆水正常的氧化环境沼泽。

由表1可知,曹家庄区2、9(9+10)号及大邓区2号煤镜惰比分别为1.29、1.56、2.34,表明这些煤层形成于潮湿、覆水较浅的弱还原环境;大邓区9+10号煤为

4.75,表明该煤层形成于强覆水的还原环境。结合地面调查的煤层露头线,发现研究区西部位于霍西煤田南部泥炭沼泽的边缘,故覆水较浅;而研究区东部远离沼泽的边缘,故覆水较深。因此,由研究区东部向西部,即沿着煤层倾向,覆水深度逐渐降低(图6)。

3.2 基于硫分特征的成煤环境分析

煤中硫含量高低与沉积环境、沼泽的覆水程度及成煤物质有关。不同煤层硫含量在纵向上的变化是由于煤层在不同地质历史时期受海水活动的影响^[16],而煤中高硫分是由于海水侵入煤场造成的^[17]。由图3分析,区内9(9+10)号煤层硫分较高,表明煤层形成时海水活动强烈;另外该煤层上部含有多段灰岩,也表明受海水的影响强烈^[18];2号煤硫分偏低,表明受海水影响较弱。一般来说三角洲体系下煤中硫分含量较低;潮坪-泻湖体系下煤中硫含量较高^[17]。

前人研究表明,陆相煤层中的硫主要是植物生长过程中从土壤中吸收的,有机硫占较大比重^[19]。当成煤期泥炭沼泽覆水深度较浅,水介质又偏酸性,受

表3 主采煤层煤灰成分计算的主要参数平均值统计表
Table 3 Statistical table of average value of main parameters of coal ash composition calculation in main coal seam

勘查区	煤层号	煤灰成分/%							K 值	CaO/ MgO	100× MgO/ Al ₂ O ₃	古气候
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂				
曹家庄	2#	43.70 ~ 56.17	26.88 ~ 38.56	2.40 ~ 5.63	0.42 ~ 9.16	0.62 ~ 2.65	0.06 ~ 2.64	0.70 ~ 3.02	0.12	4.73	3.33	潮湿
		55.22(6)	33.31(6)	4.57(6)	5.25(6)	1.11(6)	1.96(6)	1.34(6)				
大邓	9 (9+10)#	39.62 ~ 49.46	25.52 ~ 36.18	4.05 ~ 11.76	1.63 ~ 18.71	0.22 ~ 1.04	1.26 ~ 7.19	0.86 ~ 1.56	0.26	14.14	2.20	极潮湿
		42.61(5)	31.30(5)	9.13(5)	9.76(5)	0.69(5)	5.25(5)	1.06(5)				
大邓	2#	47.40 ~ 48.90	34.15 ~ 34.95	1.46 ~ 3.86	0.64 ~ 1.98	0.32 ~ 0.56	0.07 ~ 0.21	0.90 ~ 1.18	0.05	3.06	1.21	潮湿
		48.30(3)	36.49(3)	2.52(3)	1.36(3)	0.44(3)	0.16(3)	1.03(3)				
大邓	9(9+10)#	29.64 ~ 51.22	21.79 ~ 32.86	3.68 ~ 25.16	1.60 ~ 14.76	0.40 ~ 0.76	1.18 ~ 10.88	0.51 ~ 1.36	0.62	13.11	1.94	极潮湿
		10.89(5)	28.85(5)	9.75(5)	7.37(5)	0.56(5)	4.61(5)	0.85(5)				

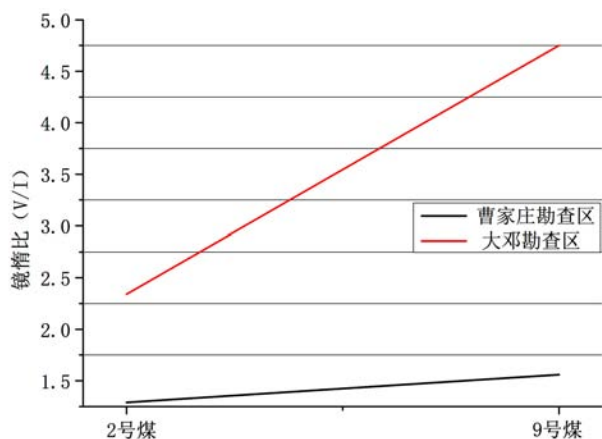


图6 镜情比值变化图

Fig.6 The variation diagram of vitrinite and inertinite

Fe^{2+} 含量不足的影响,生成的硫化物含量会较少,多余的 H_2S 会与有机质反应形成次生有机硫^[20]。另外,一般木本植物含 1%~7% 的蛋白质,而大部分蛋白质中的硫含量为 0.5%~1%,故生成的有机硫也较低^[21]。结合 2 号煤硫含量低,有机硫占比大的特点,推断其形成于覆水不深、水介质偏酸性的三角洲体系下的三角洲平原相泥炭沼泽。

通过分析硫及各种硫含量值关系图(图 4),发现各区 9(9+10)号煤全硫与黄铁矿硫含量变化大体一致。这是由于煤中的硫主要来自海水侵入时带来的硫酸盐^[22],而黄铁矿硫的生成直接源于海水的影响^[23],所以全硫与黄铁矿硫含量变化大体一致。大邓区全硫含量平均值最小,上毛区最大值,曹家庄区比上毛区略小。在泥炭沼泽区边缘的上毛区和曹家庄区,由于靠近剥蚀区,河流搬运作用会带来更多的碎屑物质,生成更多活性的可利用的 Fe^{2+} 和 H_2S ^[20],因此硫含量更高;而远离泥炭沼泽区边缘的大邓区硫含量平均值最小。曹家庄区有机硫含量平均值最大、黄铁矿硫含量平均值最小。虽然沉积物中铁离子比有机质更易获得还原型硫,但在碳酸盐台地区,因为陆源碎屑相对贫乏,使得泥炭沼泽中活性铁离子的数量有限,因此虽然有充足的还原型硫,但只能生成有限的黄铁矿,其余是与有机质结合形成有机硫^[22]。所以处于碳酸盐台地区的曹家庄有机硫含量均值最大,黄铁矿硫均值最小。上毛区中有全硫和黄铁矿硫含量最大值。可能是由于上毛区个别钻孔靠近断层,地下水携带溶解的 Fe^{2+} 沿煤层节理或裂隙渗滤时产生黄铁矿^[23],致使部分钻孔全硫和黄铁矿含量变高。结合上述分析,推断 9(9+10)号煤形成于海水浸

入的、碳酸盐台地区的泻湖沉积体系下的沼泽泥炭沉积,且成煤过程中受到河流搬运、地下水渗滤的影响;且由研究区东部向西部,即沿着煤层倾向,沉积环境受海水影响逐渐增大。

3.3 基于灰分特征的成煤环境分析

煤中灰分主要源于成煤期混入和后期变质作用带来的外来物质,少量来自成煤植物,其含量变化受到沉积期的古地理环境影响^[3]。另外,灰分的含量也与水动力强度有关,水动力较强则带入泥炭沼泽中的物源杂质较多,煤中灰分较高;反之亦然^[24-26]。由于全区可采煤层主要为低灰、中灰煤,中高灰煤主要出现在大邓区 2 号煤、上毛区 9 号煤中。推断区内聚煤期泥炭沼泽水动力较强,沉积环境较动荡。由于后期岩浆岩侵入,高温烘烤导致大邓区煤灰分值增高;由于岩浆岩侵入区靠近 2 号煤,2 号煤灰分值大于 9 号煤。曹家庄区和上毛区都靠近剥蚀区,但受河流搬运作用带入大量黏土矿物的影响,对上毛区 9 号煤影响较大,致使其灰分值较高。

3.4 基于灰成分特征的成煤环境分析

煤灰成分与煤中矿物质在种类、数量上有一定的相关性,常以 Ca 、 Mg 、 Al 、 Si 、 Fe 、 K 、 Na 、 Ti 和 P 等元素的氧化物表示,这些元素的沉淀或迁移受到水体氧化还原条件、酸碱度及盐度等因素的影响,故煤灰成分可在一定程度上反映聚煤环境的特征^[3]。赵师庆等研究认为灰成分指数 $K(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 在 0.03~0.22 之间,沉积环境属较弱还原型,在 0.23~1.23 之间,则属较强还原型^[4];叶道敏等研究表明当煤灰中灰成分指数 K 大于等于 0.23 时,煤层沉积环境为受海水影响的泥炭沼泽,小于 0.23 时为陆相泥炭沼泽^[27]。由曹家庄区、大邓区 2 号煤层 K 值为 0.12、0.05,推断其成煤环境属于较弱还原型、陆相泥炭沼泽、覆水较浅;9(9+10)号煤层为 0.26、0.62,推断其成煤环境属较强还原型、受海水影响的泥炭沼泽、覆水较深。推断结果与硫分指数反演的成煤环境一致,而与镜情比有冲突。根据镜情比推断出曹家庄区 9(9+10)号煤形成于潮湿、覆水较浅的弱还原环境。基于 K 值推断出其成煤环境为较强还原性的、覆水较深的泥炭沼泽;硫分指数推断其成煤环境为泻湖沉积体系下的沼泽泥炭沉积、覆水较深;镜情比样品数据较少;最终以 K 值推断结果为准。

王胜建^[16]等研究得出 CaO/MgO 值越高,则成煤气候条件越潮湿。由曹家庄区、大邓区 2 号煤 $\text{CaO}/$

MgO 值为 4.73、3.06,推断其成煤气候潮湿;9(9+10)号煤为 14.14、13.11,推断其成煤气候极潮湿。王善博^[28]等通过实验发现沉积环境的古盐度与元素含量相关,镁为亲水性元素,铝为亲陆性元素,当 $m(100 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 小于 1 时为淡水环境, $1 < m < 10$ 时为半咸水环境, $m > 10$ 时为咸水环境。依据曹家庄区、大邓区 2 号煤 m 值为 3.33、1.21,推断其成煤环境为半咸水;9(9+10)号煤为 2.20、1.94,推断其成煤环境为半咸水。

4 结论

(1)由 2 号煤硫分含量低、有机硫占比大的特点,推断 2 号煤形成于覆水不深、水介质偏酸性的三角洲体系下三角洲平原相泥炭沼泽;由 9(9+10)号煤硫分含量高、有机硫和黄铁矿硫含量变化复杂,推断 9(9+10)号煤形成于海水侵入、碳酸盐台地区的泻湖沉积体系下的沼泽泥炭沉积且成煤过程中受到河流搬运、地下水渗滤影响。

(2)由煤层灰分含量中等、较小,推断区内聚煤期泥炭沼泽水动力较强,沉积环境较动荡,且受到高温烘烤、河流搬运作用的影响。

(3)由煤镜惰比(V/I)值和煤灰中灰成分指数 K 值、CaO/MgO 值、 $m(100 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值,推断 2 号煤形成于气候潮湿、半咸水、较弱还原型的陆相泥炭沼泽;9(9+10)号煤形成于气候极潮湿、半咸水、较强还原性和受海水影响的泥炭沼泽。

(4)由研究区东部向西部,即沿着煤层倾向,煤沉积环境覆水深度逐渐降低;其中 9(9+10)号煤沉积环境受海水影响逐渐增大。

参考文献:

- [1] 赵仁乐. 基于煤岩煤质特征的成煤环境分析—以鲁西汶宁煤田新驿煤矿为例[J]. 中国煤炭地质, 2017, 29(6):14-19.
- [2] 张有河, 王晓明, 刘东娜. 准格尔煤田西南部 6 上煤层煤岩煤质及沉积环境特征[J]. 中国煤炭, 2015, (2):35-39.
- [3] 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.
- [4] 赵师庆, 王飞宇, 董名山. 论“论沉积环境—成煤类型—煤质特征”概略成因模型[J]. 沉积学报, 1994, 12(1):32-39.
- [5] 郝吉生, 葛宝勋, 谢洪波. “灰成分端元分析法”及其在聚煤环境分析中的应用[J]. 沉积学报, 2000, 18(3):460-464.
- [6] 郑媛媛, 张博文, 王猛, 等. 潘吉塔格煤矿中—下侏罗统煤

- 岩煤质特征及成煤环境分析[J]. 新疆地质, 2020, 38(3):388-394.
- [7] 黄操明, 周绮峰. 霍县矿区石炭二叠纪含煤岩系沉积环境探讨[J]. 沉积学报, 1988, (4):72-80.
- [8] 宋新民. 山西霍西煤田北部含煤地层的成煤环境和成煤模式探讨[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 1988.
- [9] 马宏英. 山西霍西煤田白壁关—宜兴—曹村勘探区石炭二叠纪含煤建造沉积环境及煤层赋存规律[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 1988.
- [10] 山西省煤炭地质资源环境调查院. 山西省霍西煤田襄汾县曹家庄勘查区煤炭普查地质报告[R]. 太原:山西省煤炭地质资源环境调查院. 2020.
- [11] 山西省煤炭地质资源环境调查院. 山西省霍西煤田襄汾县大邓勘查区煤炭普查地质报告[R]. 太原:山西省煤炭地质资源环境调查院. 2017.
- [12] 山西省煤炭地质资源环境调查院. 山西省霍西煤田襄汾县上毛勘查区煤炭普查地质报告[R]. 太原:山西省煤炭地质资源环境调查院. 2012.
- [13] 山西省煤炭地质局. 山西省煤炭资源潜力评价[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2017.
- [14] 宋文龙. 山西省绿色煤炭资源评价与分布特征研究[J]. 中国矿业, 2021, 30(8):62-68.
- [15] 魏迎春, 贾煦, 刘志飞, 等. 鸳鸯湖矿区延安组煤岩煤质特征及成煤环境研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(7):197-204.
- [16] 王胜建, 高为, 郭天旭, 等. 黔北林华井田煤质特征及其沉积环境意义[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(10):162-168.
- [17] 赵霞, 慕熙玮. 贵州省晚二叠世高硫煤资源及洁净利用[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2019.
- [18] 荣伟. 贵州红砖煤矿煤质特征及成煤沉积环境[J]. 现代矿业, 2021, 37(2):15-21.
- [19] 韩锡周. 贵州煤层中硫分的分布特征[J]. 贵州煤炭, 1987, 2:1-15.
- [20] 谢涛, 张光超, 乔军伟. 陕北及黄陇侏罗纪煤田煤中硫分、灰分成因探讨[J]. 中国煤炭地质, 2012, 24(6):11-14.
- [21] 崔昆利, 王五一, 姚改焕, 等. 韩城矿区石炭—二叠系煤的含硫量和硫的成因[J]. 西安科技学院学报, 2000, 20(4):289-292.
- [22] 濮英英, 雷加锦, 王运泉. 聚煤环境对煤岩中形态硫赋存的影响[J]. 岩石学报, 1995, 11(4):462-470.
- [23] 汤达祯, 杨起, 周春光, 等. 华北晚古生代成煤沼泽微环境与硫的成因关系研究[J]. 中国科学(D辑), 2000, 30(6):584-591.
- [24] 刘善德. 永陇矿区南缘煤岩煤质特征及成煤环境分析[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(S1):11-15.
- [25] 张双全. 煤化学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2004:175-221.
- [26] 汪洋, 刘志成, 李隆富. 黔北煤田晚二叠世煤层含硫特征与沉积环境研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(2):185-

190.
[27] 叶道敏, 罗俊文, 肖文昭, 等. 中国西南地区煤岩显微组分性质成分及其应用[M]. 北京:地质出版社, 1997:20.
- [28] 王善博, 杨君, 李建国, 等. 鄂尔多斯盆地西缘宁东地区侏罗系含铀地层元素地球化学特征[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(6):19-25+32.

Analysis of coal formation environment in the south of Huoxi Coalfield based on coal quality characteristics

CHEN Yan

(Shanxi Coal Geological Resources and Environment Investigation Institute Co. LTD, Taiyuan 030006, China)

Abstract: The Huoxi coalfield is an important coking coal producing area in China. In order to fully identify its coal quality characteristics and coal-forming environment, this paper chooses No.2 and 9 (9+10) coal seams which are representative in southern coalfield to research. By analyzing the data of coal rock, sulfur content, ash content and ash composition of coal samples, the coal quality characteristics were evaluated and the coal forming environment was inferred. The results show that the higher the mirror laziness ratio of coal seam is, the deeper the sedimentary environment is covered by water. The higher the sulfur content is, the more affected by sea water; The higher the ash content is, the stronger the hydrodynamic force is. The larger the grey component index K is, the stronger the reduction is. The higher the CaO/MgO value is, the wetter the coal-forming climate is. The m value reflects whether the sedimentary environment is fresh or salt water. According to the characteristics of No. 2 and No. 9 (9+10) coal ash with low to medium and low ash composition index and $1 < m < 10$, it is inferred that their formation process was influenced by river transport, and they were depositional environments with strong hydrodynamics, reduced form and brackish water. By analyzing other coal quality characteristics of the two coal layers, it is found that there are differences in the coal-forming environment between the two coal layers, as follows: No. 2 coal has the characteristics of low vitreous inert ratio (V/I), low sulfur content and high CaO/MgO value, indicating that the coal-forming environment is a deltaic plain peat swamp environment with low overlying water and humid paleoclimate environment. No. 9 (9+10) coal has the characteristics of moderately high mirror inert ratio (V/I), high sulfur content and high CaO/MgO value, indicating that the coal formation environment is a lagoon peat swamp environment with strong water cover, seawater influence and extremely humid paleoclimate environment.

Key words: the south of Huoxi Coalfield; No. 2 coal; No. 9 (9+10) coal; coal quality characteristics; coal formation environment