

文章编号: 1001-1986(2008)02-0010-05

陈家山矿煤中微量元素和稀土元素地球化学特征

杨磊¹, 刘池洋¹, 李洪英²

(1. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 地质学系, 陕西 西安 710069;
2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要:通过对陈家山煤矿中下侏罗统延安组 4[#]主采煤层中微量元素和稀土元素的测试分析, 发现煤中富集亲花岗岩的钨钼族元素 W、Mo、Bi、Sn、Ba、Sr 和 Li, 说明该区煤系形成期间的陆源碎屑主要来自花岗岩和花岗片麻岩等中、酸性岩石。4[#]煤中 Σ REE 平均值为 98.2×10^{-6} , 稀土元素分布模式十分相似, 呈左高右低的宽缓“V”型曲线, Eu 负异常明显, 反映出稀土元素与陆源碎屑岩关系密切, 成煤期间稀土元素来源一致, 陆源物质的供应相对稳定。

关键词: 煤; 微量元素; 稀土元素; 陈家山煤矿

中图分类号: P618.11; P595 **文献标识码:** A

Geochemistry of trace elements and rare earth elements of coal in Chenjiashan coal mine

YANG Lei¹, LIU Chi-yang¹, LI Hong-ying²

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The trace elements and rare earth elements of No. 4[#] coal seam of mid-lower Jurassic Yanan Formation in Chenjiashan coal mine are analyzed in this paper. It is found out that the concentrations of W, Mo, Bi, Sn, Ba, Sr and Li are higher. It is indicated that the source rocks of Jurassic coal measures in Chenjiashan coalfield are acid rocks such as granite and gneissic granite. The mean value of rare earth element (REE) in No. 4[#] coal seam is as much as 98.2×10^{-6} . The chondrite-normalized distribution patterns of REE in No. 4[#] coal are very similar and they are smooth curves like “V”, and the negative abnormal of Eu is apparent which indicates that the REE is closely related to terrigenous clastic rocks and during the deposition of No. 4[#] coal seam the terrigenous material derived from relatively acid rocks deposited in a stable condition.

Key words: coal; trace element; rare earth element; Chenjiashan coal mine

研究煤中微量元素和稀土元素的富集和成因, 不仅可以为煤层的形成提供地球化学依据, 而且对合理利用煤炭资源、实现可持续发展具有重要的理论和现实意义。煤中微量元素的富集是多种地质因素、多期次综合作用的结果, 但在不同的含煤区或成煤时代, 总有一种或几种因素对元素的富集起主导作用。研究表明, 成煤环境、成煤植物、沼泽水

介质、古土壤、岩浆热液、地下水、煤层围岩等均可造成煤中微量元素的富集^[1-3]。陕西铜川地区煤炭资源丰富, 开采时间较长, 而煤中微量元素含量及分布规律的研究, 迄今尚无全面、详细的报道。笔者拟通过研究铜川陈家山煤矿4[#]主采煤层中36种微量元素和14种稀土元素含量的分布规律, 全面探讨该区煤中微量元素和稀土元素的成因、来源、富

收稿日期: 2007-05-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2003CB214607); 教育部长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0559)

作者简介: 杨磊(1979—), 男, 新疆克拉玛依人, 博士研究生, 从事油气田地质与开发研究。

- [9] PARIS F, VERNIERS J, AL-HAJRI S, et al. Biostratigraphy and palaeogeographic affinities of Early Silurian chitinozoans from central Saudi Arabia[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 1995, 89: 75-90.
- [10] LÜNING S, CRAIG J, LOYDELL D K, et al. Lower Silurian 'hot shales' in North Africa and Arabia: regional distribution and depositional model[J]. Earth-Science Reviews, 2000, 49: 121-200.
- [11] 曹庆英, 涂建琪, 刘庆, 等. SY/T 5125-1996 透射光—荧光干酪

- 根显微组分鉴定及类型划分方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [12] BATES D E B. The ultrastructure of a Silurian dendroid from Gotland (Sweden)[J]. Geobios, 1997, 20: 27-37.
- [13] 张毅. 岩石矿物分析[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [14] 边立曾, 张水昌, 张宝民, 等. 河北张家口下花园地区新元古代下马岭组油页岩中的红藻化石[J]. 微体古生物学报, 2005, 22(3): 209-216.

集因素和分布模式等地球化学特征。

34.8 m ; 4[#]-2 下煤层最大厚度 3.5 m。

1 地质背景

陈家山煤矿位于陕北侏罗纪煤田焦坪矿区西部边缘。构造上,井田浅部呈北西倾斜的波状单斜构造,深部以 NWW 向的杠树崂背斜为界,西部为宽缓的衣食村向斜,东部为宽缓的新民村向斜。在上述主构造基础上,背向斜核部还发育一系列落差大于 1.5 m 的张性正断层。

陈家山矿含煤地层主要为中下侏罗统延安组(J_{1-2Y})。延安组含 1[#]、2[#]、3[#]、4[#]等 4 个煤层,煤层总厚一般 10~30 m,平均 13.8 m。其中,4[#]-2 煤层为主要可采煤层,4[#]-1、4[#]-2 下和 3[#]-2 煤层局部可采。4[#]煤层赋存于延安组下部,由 4[#]-1、4[#]-2 和 4[#]-2 下 3 个分煤层组成。4[#]-1 煤层最大厚度 2.7 m ; 4[#]-2 煤层结构复杂,一般含夹矸 2~4 层,最大厚度

2 样品采集与测试

陈家山煤矿中侏罗统延安组是一套河湖相砂、泥岩夹煤层组成的含煤建造,4[#]煤属中灰、中硫、低磷、高热量的不粘结-弱粘结煤。对主采煤层 4[#]煤采样,共采集原煤样 8 个,其中,4[#]-1 和 4[#]-2 煤层各 4 个。将采集的煤样碾磨成 0.075 mm(200 目),采用电感耦合等离子质谱(ICP-MS)和等离子光谱(IRIS),进行微量元素和稀土元素的检测。

3 分析结果与讨论

3.1 煤中微量元素特征

3.1.1 煤中微量元素分布

由表 1 看出,与中国沉积岩微量元素相比,陈家山矿 4[#]-1 煤中 Ag、Cd、Pb、Mo、U、Sb、Zn、

表 1 陈家山矿煤中微量元素统计表 w_B/10⁻⁶
Table 1 Content of trace elements of coals in Chenjiashan coal mine

微量元素	样品号								中国沉积岩 ^[4]
	4-1a	4-1b	4-1c	4-1d	4-2a	4-2b	4-2d	4-2z	
Li	6.11	4.36	74.7	1.96	5.01	31.4	68	4.48	26
Be	2.07	0.41	3.83	0.5	0.32	31.4	8.43	0.16	1.8
Na%	0.26	0.17	0.33	0.05	0.09	0.06	0.31	0.11	22 500
P	27.6	12	283	13.7	30.1	110	204	36	690
K%	0.09	0.25	2.4	<0.01	<0.01	0.05	1.04	<0.01	16 600
Ca%	0.08	0.02	0.06	0.03	1.5	0.76	0.09	3.46	74 500
Sc	9.16	2.67	12.7	0.7	1.6	0.31	21.3	1	10
Ti%	0.06	0.05	0.51	<0.01	0.08	0.6	0.38	0.03	2 650
V	223	12.8	138	140	8.66	13.6	146	4.9	54
Cr	68.5	12.2	108	25.7	10	2.89	67.7	6.62	52
Mn	23.7	114	165	209	51.1	177	31.3	117	260
Fe%	3.88	39.4	3.24	23.2	0.13	0.58	0.78	0.06	33 100
Co	5.02	10.2	32.9	14.5	1.48	17.7	3.45	6.7	33
Ni	21.1	31.5	71	56.5	2.16	0.68	13.6	7.81	25
Cu	20.9	73.3	92.3	22.7	9.67	32.7	164	5.6	28
Zn	449	1511	495	110	8.75	12.6	35.4	8.88	45
Ga	29.7	7.68	30.8	2.28	1.89	1.29	21.9	1.24	13
Rb	6.17	18.8	64.2	0.89	0.82	2.15	88.5	0.91	95
Sr	232	287	112	67.2	360	131	125	221	330
Y	18.7	10.4	15	4.03	3.25	9.08	51.1	2	20
Zr	64.2	13.6	139	28.2	17.8	78.8	68.9	5.82	130
Nb	7.38	1.29	16.5	6.99	1.93	16.8	12.9	0.88	9.9
Mo	8.39	10.4	5.08	10.4	0.22	0.27	2.1	0.07	0.56
Ag	0.73	1.26	0.88	1.58	0.57	0.83	0.74	0.51	0.051
Cd	2.57	7.11	2.99	0.64	<0.05	<0.05	0.14	<0.05	0.053
Sn	1.2	0.28	3.87	0.3	0.91	1.92	3.31	0.44	1.6
Sb	5.15	6.51	1.97	9.5	1.62	1.57	2.1	2.05	0.39
Cs	1.92	4.85	18.2	0.4	0.11	0.14	32	0.11	6.9
Ba	2 286	4 077	947	3 061	225	320	413	72	260
Hf	1.09	0.39	4.13	0.55	0.5	2.38	2.27	0.19	3.9
Ta	0.06	0.11	1.32	<0.05	0.08	1.25	0.99	<0.05	0.9
W	6.49	0.52	3.28	0.27	0.3	2.6	3.09	0.18	1.2
Pb	51.7	279	66.2	468	5.6	14.3	87.7	1.21	11
Bi	0.07	0.24	1.04	<0.05	0.13	0.54	2.64	0.06	0.19
Th	1.93	4.36	15	0.41	2.22	7.94	54.8	1.14	8.7
U	67.4	18.2	31.8	3.38	0.58	2.43	15.3	0.33	2

注: %表示 w_B/‰。

Ba、V、W 的富集系数均大于 2，为强富集元素；Cu、Bi、Ni、Ga、Cr 的富集系数为 1~2，是中等富集元素；其他元素的富集系数 <1 ，则为贫化元素。这种贫化现象可能与煤层周围有大量流体流过而造成这些元素的淋失有关，而围岩与煤层通过水循环进行物质交换，也使这些元素的含量相对减小。

在陈家山矿 4[#]-2 煤中，Ag、Cd、Mo、Co、Zn、Pb、Cs、Sb、Cu、Ba、Bi、U、Rb、Sc、Be、Li 的富集系数均大于 2，为强富集元素；Ni、Sn、Y、Ga、Cr、Nb、W 的富集系数为 1~2，是中等富集元素；其他元素的富集系数 <1 ，则为贫化元素。与 4[#]-1 煤相比，4[#]-2 煤中的富集元素要更多一些，这是由于 4[#]-2 煤比 4[#]-1 煤埋藏更深，遭受地下水的淋失较少。同时，因 4[#]-2 煤层具有隔水性良好的直接顶板(砂质泥岩或粉砂岩夹泥岩)和底板(根土岩、砂质泥岩、泥岩及花斑泥岩)，不易遭受地下水的淋失，而使煤中的富集元素更多。

3.1.2 影响因素分析

微量元素在煤中的分布和富集，受多种因素和多期地质作用的控制，往往是多因素叠加的、综合作用的结果^[5-6]。泥炭沼泽形成时的环境条件、成煤植物、煤的变质作用过程以及煤形成后的各种地质作用，对煤中微量元素的分布规律都有着重要影响。

物源区是煤中微量元素重要而又持续的供给者。由于物源区岩石类型不同，则其中元素的组成和丰度差异很大。一般情况下，由超基性岩、基性岩、中性岩向酸性岩过渡中，Fe、Mg、Ni、Co、Cr、Pt 等含量逐步降低；Ca、Al、Ti、V、Mn、P、Se 等元素在基性岩中含量达到最大值，而在超基性岩、中性岩和酸性岩中含量降低；K、Na、Si、Li、Be、Rb、Cs、Tl、Ba、Y、Hf、U、Th、Ta、W、Sn、Pb 等元素的含量，在由超基性岩、中性岩向酸性岩过渡中呈现有规律的增加，而 As、Ge、Sb 规律不明显^[7]。在陈家山煤矿 4[#]煤中，因富集 Li、Be、Rb、Cs、Ba、Y、U、Th、W、Sn、Pb 等元素，同时还富集亲花岗岩的钨钼族元素 W、Mo、Bi、Sn、Ba、Sr、Li，亏损 Fe、Ni、Co、Cr 等铁族元素，说明研究区煤系形成时的陆源碎屑主要来自花岗岩和花岗片麻岩等中、酸性岩石，少量来自变质岩及沉积岩类。根据区域地理背景及母岩性质分析，该区母岩可能主要来自秦岭古陆。

成煤植物的种类、植物中含有微量元素的多少、植物的生长环境等都影响着煤中微量元素的富集和迁移。不同植物类型或同种植物不同的器官对微量元素吸收程度的差异，可造成煤中微量元素浓度的

不同。海洋植物和陆地植物所处的生态环境及本身富集微量元素的能力不同，大部分微量元素在低等生物藻类和草本植物中的含量要高于高等植物，因此，藻类形成或参与形成的煤(腐植腐泥煤、腐泥煤)中大部分微量元素的含量比高等植物形成的煤(腐植煤)中含量高。在 4[#]-1 煤中，元素 Cd、Fe、Zn、Mo、Ba、Ni、U、Ga 和 K 的浓度分别是 4[#]-2 煤中的 45.9 倍、45 倍、39 倍、12.9 倍、10 倍、7.4 倍、6.5 倍、2.7 倍和 2.5 倍，这是由于 4[#]-1 煤是腐植腐泥型煤，煤中的藻类体易富集这些微量元素所致。

泥炭沼泽形成时水介质的盐度也是控制煤中微量元素含量的一个重要因素。如果沉积盆地处于淡水环境，泥炭沼泽中微量元素的含量就低；若在半咸水条件下，或沼泽受海水的影响下，则水向沼泽中释放的微量元素就多。一般而言，不同水体中微量元素的含量排序为：淡水(河水) $<$ 半咸水(湖水) $<$ 咸水(海水)。即在酸性条件下有利于 Ca、Sr、Ra、Cu、Zn、Cd、Cr、Mn、Fe、Co、Ni 等元素的迁移，在碱性条件下则有利于 V、As、Se、Mo 等元素的迁移，而 B、Cr、Cu、Ga、Ni、Mo、S、U、V 等元素在碱环境中易富集。4[#]-1 煤层形成于湖相沉积，煤中 Cr、Cu、Ga、Ni、Mo、U、V、Mn、Ba、Sb 等元素的浓度都高于或略高于 4[#]-2 煤。

3.2 煤中稀土元素特征

3.2.1 煤中稀土元素分布

稀土元素可以提供物源、环境和岩石成因等多种地质信息^[8]。煤中稀土元素在一定程度上反映了煤层的形成条件，可以作为成因的指示剂。如 4-2d 样品的稀土元素含量明显高于其他样品，其中的 La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb 元素的含量约是 4-1b 样品的 8~10 倍(表 2)。这种异常高值的出现，是由于 4-2d 样品采自于 4[#]-2 煤层底板，而稀土元素在煤层的顶底板中易富集。一般而言，顶底板中富集的元素大多以矿物形式赋存，而碎屑矿物是煤中稀土元素的主要载体，说明该区煤中稀土元素主要以无机相赋存，来源于陆源碎屑矿物。

稀土元素的地球化学参数可以较好地反映稀土元素特征，不同的参数可以表征不同稀土元素的富集和来源。根据测试结果，计算出煤中稀土元素有关地球化学参数(表 2)。陈家山矿 4[#]煤中 REE 为 $8.8 \times 10^{-6} \sim 465.9 \times 10^{-6}$ ，平均为 98.2×10^{-6} ，远高于 Valcovic^[9]计算的世界煤中 REE 的平均值 46.3×10^{-6} 和 Finkelman^[10]提供的美国煤中 REE 的平均值 62.1×10^{-6} ，可见稀土元素在陈家山矿煤中明显富集。4[#]煤中 LREE 为 $6.3 \times 10^{-6} \sim 423.9 \times 10^{-6}$ ，平均 $87.3 \times$

表 2 陈家山矿煤中稀土元素(REE)统计表 $w_B/10^{-6}$
Table 2 REE composition of coals in Chenjiashan coal mine

稀土元素	样品号							
	4-1a	4-1b	4-1c	4-1d	4-2a	4-2b	4-2d	4-2z
La	4.79	10.9	17.4	1.25	4.03	22.1	104	2.98
Ce	10.6	20.9	34.4	2.73	7.7	44.2	196	5.7
Pr	1.26	2.2	4.94	0.34	0.81	4.82	22.6	0.62
Nd	5.01	7.8	19.4	1.44	2.72	17	81.4	2.35
Sm	1.27	1.57	4.23	0.37	0.55	3.03	16.7	0.45
Eu	0.27	0.37	0.81	0.16	0.1	0.47	3.18	0.08
Gd	1.88	1.5	3.6	0.59	0.51	2.09	14.3	0.37
Tb	0.4	0.24	0.61	0.11	0.09	0.3	2.09	0.05
Dy	3.08	1.66	3.77	0.75	0.56	1.78	11.3	0.33
Ho	0.76	0.38	0.83	0.17	0.12	0.35	2.11	0.07
Er	2.34	1.15	2.44	0.44	0.38	1.13	5.72	0.2
Tm	0.33	0.16	0.38	0.05	0.05	0.17	0.79	0.05
Yb	2.14	1.11	2.5	0.35	0.36	1.17	4.99	0.18
Lu	0.35	0.17	0.4	0.05	0.05	0.19	0.75	0.05
ΣREE	34.48	50.11	95.71	8.8	18.03	98.8	465.93	13.48
LREE	23.2	43.74	81.18	6.29	15.91	91.62	423.88	12.18
HREE	11.28	6.37	14.53	2.51	2.12	7.18	42.05	1.3
LREE/HREE	2.06	6.87	5.59	2.51	7.50	12.76	10.08	9.37
δCe	0.99	0.95	0.86	0.97	0.95	0.97	0.91	0.94
δEu	0.53	0.73	0.62	1.06	0.57	0.54	0.61	0.58
(La/Yb) _N	1.51	6.64	4.7	2.41	7.56	12.76	14.08	11.19

10^{-6} ; HREE 为 $1.3 \times 10^{-6} \sim 42.1 \times 10^{-6}$, 平均 10.9×10^{-6} ; LREE / HREE 为 $2.1 \sim 12.8$, 平均 7.1 ; (La/Yb)_N 为 $1.5 \sim 14.1$, 平均 7.6 , 表明 LREE 明显富集 , HREE 相对亏损。 Eu 为 $0.53 \sim 1.06$, 平均 0.66 , Eu 负异常明显 ; Ce 为 $0.86 \sim 0.99$, 平均 0.94 , Ce 呈微弱的负异常。说明陈家山煤矿侏罗纪延安期时的成煤环境基本上不受湖水的影响 , 没有造成 Ce 的严重亏损 ; Eu 值的异常基本由源岩继承下来 , 通常陆源碎屑岩具有 Eu 负异常现象 , 说明陈家山煤矿侏罗系煤中的稀土元素与陆源碎屑岩关系密切。

3.2.2 影响因素分析

煤中稀土元素含量与离物源区远近和沉积环境有关^[11-12]。4[#]-1煤中 REE为 $8.8 \times 10^{-6} \sim 95.7 \times 10^{-6}$, 平均 47.3×10^{-6} ; LREE为 $6.3 \times 10^{-6} \sim 81.1 \times 10^{-6}$, 平均 38.6×10^{-6} ; HREE为 $2.5 \times 10^{-6} \sim 14.5 \times 10^{-6}$, 平均 8.7×10^{-6} ; LREE / HREE为 $2.1 \sim 6.9$, 平均 4.3 ; (La/Yb)_N为 $1.5 \sim 6.6$, 平均 3.8 ; Ce为 $0.86 \sim 0.99$, 平均 0.94 , Ce呈微弱的负异常 ; Eu为 $0.53 \sim 1.06$, 平均 0.74 , Eu负异常。4[#]-2煤中 REE为 $18 \times 10^{-6} \sim 465.9 \times 10^{-6}$, 平均为 149.1×10^{-6} ; LREE为 $12.2 \times 10^{-6} \sim 423.9 \times 10^{-6}$, 平均 135.9×10^{-6} ; HREE为 $1.3 \times 10^{-6} \sim 42.1 \times 10^{-6}$, 平均 13.2×10^{-6} ; LREE / HREE 为 $7.5 \sim 12.8$, 平均 9.9 ; (La/Yb)_N为 $7.6 \sim 14.1$, 平均

11.4 ; Ce为 $0.91 \sim 0.97$, 平均 0.94 , Ce呈微弱的负异常 ; Eu为 $0.54 \sim 0.61$, 平均 0.58 , Eu负异常明显。Eu的负异常与成煤环境的氧化—还原性有关 , 氧化性越强的环境 , Eu的负异常越大 , 4[#]-2煤比4[#]-1煤的Eu负异常明显 , 说明4[#]-1煤的形成环境更趋于还原环境 , 形成于湖相沉积。

稀土元素的分布模式图可以直观地反映稀土元素地球化学特征。从图1中可以看出 , 除煤层底板中的样品4-2d标准化值明显偏高外 , 其他样品的稀土元素分布模式十分相似 , 它们均明显地向右倾 , 且随元素从La到Lu , 稀土元素的标准值逐渐降低 ,

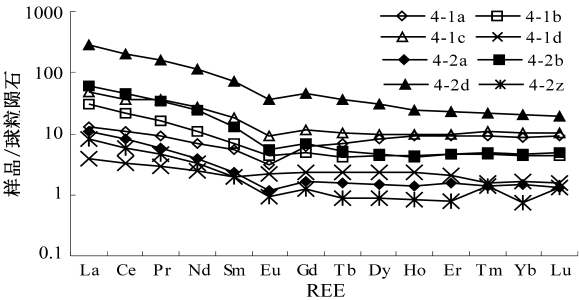


图 1 陈家山煤矿煤的稀土元素分布模式图
Fig. 1 REE distribution patterns of coals in Chenjiashan coal mine

并在 Eu 处有明显负异常, 稀土元素分布模式呈左高右低的宽缓“V”型曲线。但 La-Sm 段曲线较陡, 斜率较大, Gd-Lu 段曲线较缓, 斜率较小, 在 Eu 处呈小谷状, 存在 Eu 负异常, 且轻稀土元素之间的分馏程度较高, 重稀土元素之间的分馏程度较低。4[#]-1 煤和 4[#]-2 煤中稀土元素分布模式相似, 表明成煤期间稀土元素来源一致, 陆源物质的供应相对稳定。

4 结论

a. 陈家山煤矿 4[#] 煤中富集亲花岗岩的钨钼族元素 W、Mo、Bi、Sn、Ba、Sr、Li, 亏损 Fe、Ni、Co、Cr 等铁族元素。这说明该区煤系形成期间的陆源碎屑主要以花岗岩、花岗片麻岩等中、酸性岩石为主, 只有少量的变质岩类及沉积岩类, 该区母岩可能主要来自秦岭古陆。

b. 4[#]-1 煤层形成于湖相沉积, 煤中 Cr、Cu、Ga、Ni、Mo、U、V、Mn、Ba、Sb 等元素的浓度都高于或略高于 4[#]-2 煤。4[#]-2 煤层顶底板为砂质泥岩、泥岩或根土岩, 相对隔水, 遭受地下水的淋失较少, 因此, 其比 4[#]-1 煤中的富集元素多, 贫化元素少。

c. 陈家山煤矿 4[#] 煤中 REE 为 $8.8 \times 10^{-6} \sim 465.9 \times 10^{-6}$, 平均为 98.2×10^{-6} , 稀土元素在陈家山煤矿煤中明显富集。Eu 为 0.53 ~ 1.06, 平均 0.66, Eu 负异常明显。因陆源碎屑岩通常具有 Eu 负异常现象, 所以说陈家山煤矿侏罗纪煤中稀土元素与陆源碎屑岩关系密切。

d. 陈家山煤矿 4[#]-1 煤和 4[#]-2 煤中稀土元素分布模式十分相似, 它们均明显右倾, 呈左高右低的宽缓“V”型曲线, 在 Eu 处呈小谷状, 存在 Eu 负

异常, 且轻稀土元素之间的分馏程度较高, 重稀土元素之间的分馏程度较低。这说明陈家山成煤期间稀土元素来源一致, 陆源物质的供应相对稳定。

参考文献

- [1] 刘桂建, 彭子成, 杨萍玥, 等. 煤中微量元素富集的主要因素分析[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29(4): 1-4.
- [2] 代世峰, 任德贻, 李生盛, 等. 华北地台晚古生代煤中微量元素及 As 的分布[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(2): 111-114.
- [3] 武子玉, 李云辉, 周永昶. 吉林白山地区原煤微量元素地球化学特征[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(6): 8-10.
- [4] 黎彤. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学, 1976, 5(3): 167-174.
- [5] 杨萍玥, 张浩原, 郑旺, 等. 淮北煤中几种具有环境意义的微量元素分布[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(2): 1-3.
- [6] 刘桂建, 杨萍玥, 彭子成, 等. 兖州矿区山西组 3 煤层中微量元素特征分析[J]. 地球化学, 2003, 32(3): 255-262.
- [7] 陈俊, 王鹤年. 地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2004, 35-63.
- [8] 赵志根, 唐修义, 李宝芳. 淮南矿区煤的稀土元素地球化学[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 453-459.
- [9] VALKOVIC V. Trace elements in coal[M]. Boca Raton: CRC Press, 1983: 558.
- [10] FINKELMAN R B. Trace and minor elements in coal[C]// ENGEL M H, MACKO S A. Organic Geochemistry. New York: Plenum. NY. 1993: 593-607.
- [11] 黄文辉, 杨起, 汤达祯, 等. 华北晚古生代煤的稀土元素地球化学特征[J]. 地质学报, 1999, 73(4): 360-369.
- [12] 王水利, 姚改焕. 华北晚古生代煤系 1/S 间层粘土岩稀土元素地球化学特征[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29(2): 4-7.

“煤矿井下千 m 瓦斯抽放钻孔施工装备及工艺技术开发” 项目工业性试验取得阶段性成果

由煤炭科学研究总院西安研究院承担的国家重大产业技术开发项目“煤矿井下千 m 瓦斯抽放钻孔施工装备及工艺技术开发”工业性试验取得了阶段性成果, 在关键技术上获得突破, 随钻测量定向钻进创造了 811.8 m 的好成绩。

该项目旨在研究开发具备千 m 钻孔施工能力的综合配套装备, 并通过长钻孔瓦斯抽放钻孔的生产试验, 摸索总结适合我国煤矿地质条件和生产模式的长钻孔在瓦斯抽放、地质构造探测和资源勘探等方面的

应用, 使长钻孔定向钻进技术在我国煤矿安全 and 生产保障中发挥重要作用。此次工业性试验, 采用孔底马达钻进、孔口回转钻进和复合钻进三种工艺相结合的方式, 共施工钻孔 4 个, 总进尺 1 824 m, 各项指标基本达到项目要求。通过试验, 为分析总结孔底马达造斜规律、水平孔随钻测量定向钻进工艺和分支孔钻进工艺提供了有效数据和可靠经验, 同时检验了 ZDY6000LD 履带钻机、高强度中心通缆钻杆和 YHD1-1000 随钻测量系统的可靠性和实用性。(梅新)