贵州凯里梁山组高硫煤中稀土元素的富集及其地质成因

吴艳艳,秦勇,易同生

中国矿业大学资源与地球科学学院,江苏徐州,221116

内容提要:基于电感耦合等离子质谱、X射线衍射等测试结果,分析了贵州省东部凯里地区下二叠统梁山组高硫煤中稀土元素的分布特征,探讨了稀土元素在煤中赋存方式和地质成因。结果表明:凯里煤中稀土元素含量远高于中国煤、美国煤和世界煤中稀土元素含量的平均值,轻稀土元素相对富集,煤层中稀土元素的物质来源具有一致性。研究认为:煤中稀土元素的赋存与黄铁矿有关,也存在一部分稀土元素通过原生富集而赋存在惰质组和壳质组中的可能性;相对较弱的泥炭沼泽水动力条件以及偏碱性还原的环境更有利于稀土元素在煤中的富集,海水对泥炭沼泽的影响是造成煤中富硫以及利于稀土元素富集环境条件发育的一个重要原因。

关键词:高硫煤;稀土元素;赋存状态;富集条件

煤中稀土元素蕴涵了丰富的地质-地球化学信息,也是煤成因信息的重要载体。Finkelman(1993)和Seredin(1996)研究过美国煤中稀土元素的含量分布,Birk等(1991)和Steven等(2003)分别探讨了澳大利亚悉尼盆地、美国俄亥俄州东部及宾夕法尼亚州西部煤中稀土元素的来源。近年来,国内研究者曾研究过不同地区、不同地质时代煤中稀土元素的分布和赋存特征(王运泉等,1997;赵志根等,1998, 2000a,2000b;黄文辉等,1999;Huang et al.,2000;王文峰等,2002;代世峰等,2002;Wang et al.,2004;李大华等,2005;曹志德,2007;Zheng et al.,2007;Qi et al.,2007;刘长江等,2008),但关于煤中稀土元素与成煤环境之间关系很少研究。贵州省东部凯里地区下二叠统梁山组煤中全硫含量高达4.32%~6.66%(徐彬彬等, 2003),煤中稀土元素高度富集,显示出其成因可能具有一定的特殊性。为此,本文选择该区高硫煤为对象,分析了煤中稀土元素含量分布和赋存特征,讨论了其地质影响因素和成因。

1 样品与测试方法

煤样采自凯里鱼洞煤矿井下新揭露的煤层剖面。采样煤层位于梁山组中下部,厚约74 cm,其直接顶板和底板均为碳质泥岩。根据宏观煤岩类型分布特征,结合对分层厚度的适当控制,将整个煤层自顶部而底部划分为7个分层(B01~B07),对每个分层连续刻槽采样(表1)。

根据国家标准GB474-1996粉碎缩分煤样,按照国家标准GB/T214-1996和GB/215-2003分别测定煤样中全硫和形态硫含量,基于国家标准GB/T212-2001进行煤的工业分析(表1)。在此基础上,在敞开式酸消解后,采用电感耦合等离子质谱(ICP-MS)方法测定煤样中15种稀土元素的含量,并计算出相关的地球化学参数(表1,表2)。同时,对原煤中矿物进行X射线衍射(XRD)全谱拟合定量分析(表3)。

2 结果及其分析

2.1 煤中稀土元素含量总体分布

分析发现,7个分层中稀土元素总量(ΣREE)变化在388~1380 μg/g之间,加权平均值为874 μg/g(表2),远远高于中国煤中ΣREE平均值105.57 μg/g、世界煤ΣREE平均值46.3 μg/g(Valkovic,1983)和美国煤中ΣREE平均值62.1 μg/g(Finkelman,1993),也显著高于北美页岩ΣREE平均值173.2 μg/g(王中刚等,1989),表明凯里高硫煤中稀土元素相当富集。

凯里梁山组煤层总体上形成于明显受海水影响

注:本文为国家自然科学基金项目(编号40572095)资助成果。

收稿日期:2009-05-18;改回日期:2009-08-23;责任编辑:周健。

作者简介:吴艳艳,女,1982年生。博士研究生,煤地球化学专业。电话:0516-83590091;Email: wuyanyan24@gmail.com。

表 1　凯里梁山组煤层柱状剖面样品基本性质

Table 1　Fundamental date of samples in pillar coal seam section of Liangshan Formation from Kaili

样品编号	煤层剖面	厚度(cm)	工业分析(%)			硫分分析(%)			显微微分(%)			锶钡(μg/g)	
			M_{ad}	A_d	V_{daf}	S_{td}	S_{od}	S_{pd}	V	I	E	Sr	Ba
B01	半亮煤	4	1.04	37.43	24.71	16.57	0.50	16.1	68.15	26.98	4.88	78	69
B02	半亮煤	11	1.53	26.09	39.46	10.1	1.27	8.81	72.80	23.07	4.17	65	68
B03	半亮煤	6	1.79	20.91	39.15	5.91	1.27	4.62	74.19	20.36	5.44	36	36
B04	光亮煤	11	1.66	17.05	38.25	3.41	1.36	2.03	74.79	20.78	4.41	25	32
B05	光亮煤	13	2.24	17.26	35.99	4.99	1.23	3.76	77.26	18.03	4.71	26	30
B06	半暗煤	17	1.76	30.34	37.10	4.03	0.89	3.14	79.34	16.91	3.77	31	39
B07	暗淡煤	12	1.25	43.83	32.42	3.79	0.49	3.30	80.26	16.63	3.12	41	42

注:M_{ad}—空气干燥基水分;A_d—干燥基灰分产率;V_{daf}—无水无灰基挥发分产率;V—镜质组;I—惰质组;E—壳质组;S_{td}—干燥基全硫含量;S_{od}—干燥基有机硫含量;S_{pd}—干燥基硫化物硫含量。

表 2　凯里梁山组煤样中稀土元素含量(μg/g)

Table 2　Contents (μg/g) of REE in coal sample of Liangshan Formation from Kaili

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE
B01	123	490	64.5	304	81.2	13.5	60.4	8.36	37.5	6.06	15.6	2.05	12.5	1.87	138	1357
B02	68.1	275	39.7	189	49.8	9.06	42.9	7.54	40.7	7.12	18.5	2.50	14.7	2.14	162	929
B03	71.0	337	40.6	211	53.8	10.0	48.7	8.42	45.3	7.90	20.2	2.62	15.1	2.15	199	1073
B04	94.1	487.	59.6	276	75.0	13.6	64.4	9.49	45.9	7.63	18.7	2.33	13.2	1.87	210	1380
B05	76.3	397	48.9	231	62.4	10.7	49.6	7.08	33.7	5.61	14.1	1.80	10.5	1.50	168	1119
B06	34.7	141	18.4	88.2	24.5	4.32	20.7	3.71	20.5	3.71	9.84	1.38	8.44	1.23	101	483
B07	40.5	113	12.4	54.7	15.5	2.77	13.9	2.80	17.1	3.39	9.85	1.53	10.2	1.54	89.1	388
加权均值	64.5	287	36.4	172	46.4	8.23	38.9	6.22	32.0	5.55	14.4	1.92	11.5	1.67	146	874

表 3　凯里梁山组煤中矿物 X 射线衍射全谱拟合定量结果(%)

Table 3　Contents (%) of minerals in coal samples of Liangshan Formation from Kaili by X-ray diffraction

样号	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07
高岭石	51.0	69.0	74.7	85.9	85.6	97.0	95.5
黄铁矿	44.1	31.0	22.4	14.1	14.4	3.05	1.88
其他矿物	4.93	极微	2.95	极微	极微	极微	2.60

的成煤环境(易同生等,2007;Yi et al.,2007)。黄文辉等(1999)认为,中国受海水影响的高硫煤中ΣREE 平均值低于美国煤,也低于陆相环境的低硫煤。赵志根等(2000a)认为,煤中稀土元素含量随泥炭沼泽受海水影响程度的减弱及陆源影响的增加而增加。然而,本研究区梁山组煤中稀土元素相当富集,其富集的沉积环境条件与前人的一般性认识似乎有所不同。

2.2　稀土元素含量的柱状剖面分布

不同分层样品 ΣREE 含量波动较大,最大值是最小值的 3.5 倍以上,说明稀土元素在煤层剖面中的分布是不均匀的。从底部的 B07 分层到中部的 B04 分层,ΣREE 含量增大,向上至 B02 分层其含量减小,但顶部 B01 分层含量再次增高,和 B04 分层 ΣREE 含量接近(图 1)。进一步来看,除 Eu 之外的轻稀土元素(LREE)含量在距顶板最近的 B01 分层中相对较高,重稀土元素(HREE)含量在中部 B04 分层最高。

就稀土元素特征参数来看,各样品 δEu 变化在 0.58～0.60 之间,存在一定程度的 Eu 亏损。从 B07 分层到 B05 分层,δEu 增大;从 B04 分层向上到 B01 分层,δEu 逐渐减小(表 4)。这一趋势与全硫含量的剖面分布趋势一致(表 1),表明两者都受同样的沉积环境条件控制。各样品的 LREE/HREE 为 1.87～5.13,$(La/Yb)_n$为 2.29～6.64,$(La/Sm)_n$为 0.77～1.64,$(Gd/Yb)_n$为 1.11～3.95,皆大于或接近于 1,反映轻稀土富集程度大于重稀土,轻稀土元素出现明显分馏。此外,各分层的 δCe 均大于 1(1.18～1.154),显示出正异常的特征。

2.3　煤中稀土元素的配分模式

依据 Taylor 等提供的 CI 球粒陨石 REE 平均值(陈骏等, 2005),求得凯里煤层稀土元素球粒陨石标准化配分模式(图 2)。可以看到,稀土元素分布曲线呈左高右低的宽缓 V 字型,具有 Ce 峰折线,各分层样品稀土元素的配分模式基本一致;随稀土元素原子序数的增加,球粒陨石标准化值逐渐降低;轻稀

土元素标准化值的下降速率远大于重稀土元素标准化值的下降速率。这一模式,再次指示了凯里煤中轻稀土元素的明显分异现象以及不同分层稀土元素物质来源具有的一致性。

表 4 凯里梁山组煤样中稀土元素的特征参数

Table 4 Characteristic parameters of REE in coal samples form Liangshan Formation of Kaili

样品编号	δCe	δEu	$(La/Sm)_n$	$(La/Yb)_n$	$(Gd/Yb)_n$	LREE/HREE	样品编号	δCe	δEu	$(La/Sm)_n$	$(La/Yb)_n$	$(Gd/Yb)_n$	LREE/HREE
B01	1.29	0.59	0.95	6.64	3.91	5.13	B05	1.52	0.59	0.77	4.90	3.82	3.61
B02	1.24	0.60	0.86	3.13	2.37	2.64	B06	1.32	0.59	0.89	2.78	1.99	2.22
B03	1.47	0.60	0.83	3.17	2.61	2.57	B07	1.18	0.58	1.64	2.70	1.11	1.87
B04	1.52	0.60	0.79	4.81	3.95	3.45							

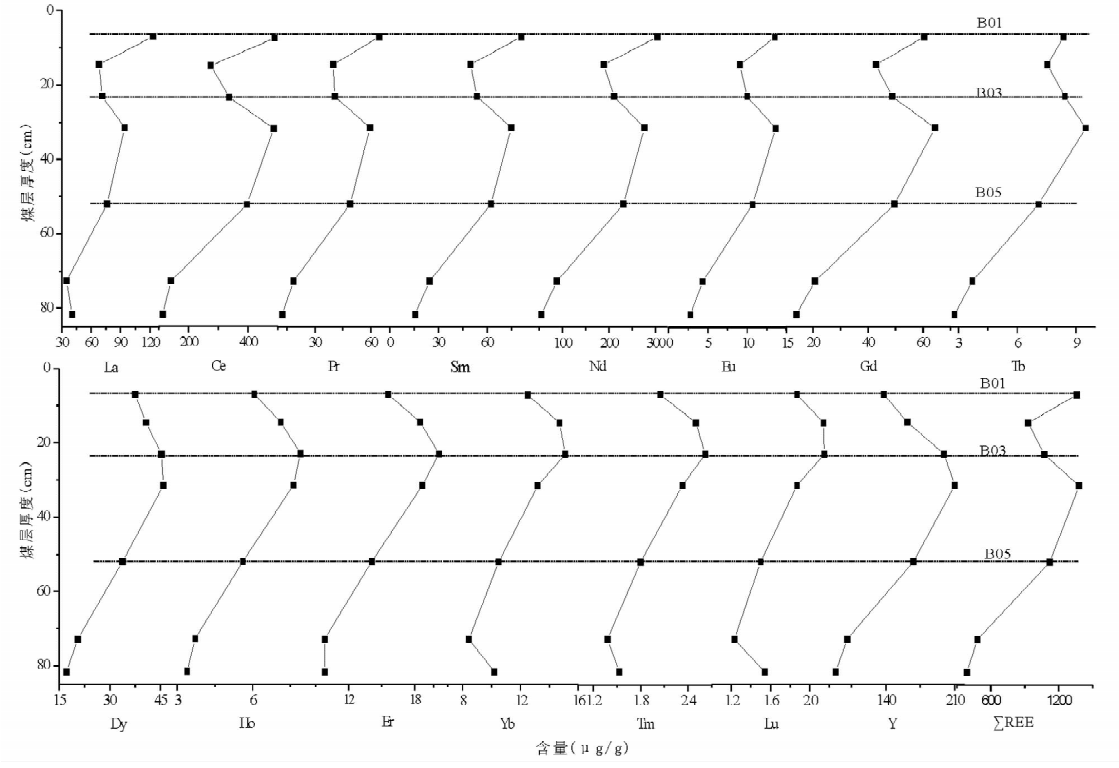


图 1 凯里梁山组煤中稀土元素柱状剖面分布

Fig. 1 Distribution of REE in pillar section of Liangshan Formation coal seam from Kail

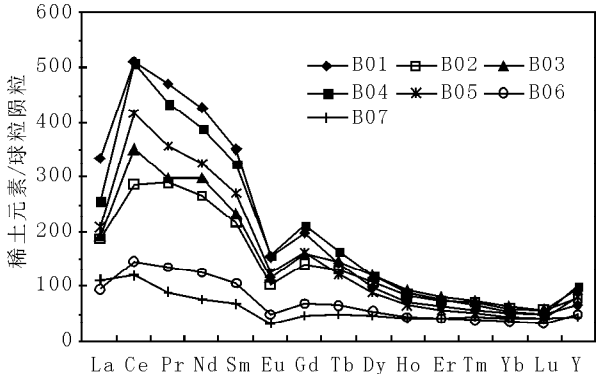


图 2 凯里煤层稀土元素的配分模式

Fig. 2 Distribution patterns of REE in the coal seam from Kail

3 讨论

稀土元素主要以 3 种无机态形式存在:稀土矿物,如独居石、氟碳铈矿等,稀土元素作为构成矿物必不可少的基本元素以离子化合物形式赋存于矿物晶格中;含稀土元素矿物,如磷灰石、萤石等,稀土元素作为杂质以类质同象形式赋存;呈离子态被吸附于某些矿物的表面或颗粒间,这类矿物主要是各种粘土矿物和云母类矿物(王中刚等,1989)。凯里煤中 ΣREE 与灰分产率临界负相关,与高岭石及其主要化学组分 SiO_2 和 Al_2O_3 负相关,与黄铁矿含量正相关,与典型陆源碎屑的 Ti、Co、Ta、Rb 显著正相关(表 5);煤中矿物质主要由高岭石和黄铁矿组成,其

他矿物甚微,更是没有稀土矿物显示(表 3)。由此表明:凯里煤中稀土元素主要来源于陆源区,即不可能存在于稀土矿物和含稀土矿物中,其赋存状态与粘土矿物离子态也没有关系。

表 5　凯里梁山组煤中稀土元素总量与其他参数之间的相关性

Table 5　Correlations of ΣREE to other parameters in coal samples of Liangshan Formation from Kaili

其他参数	Ba	Be	Co	Cs	Cu	Mn	Mo	Nb	Ni	P	Pb	Rb
相关系数	0.331	0.596	0.675	0.340	0.476	0.001	0.458	0.459	−0.558	0.252	0.316	0.344
其他参数	Sc	Sn	Sr	Ta	Th	Ti	Tl	U	W	Ad	SiO_2	Al_2O_3
相关系数	−0.798	−0.589	0.526	0.698	−0.524	0.681	0.112	−0.045	0.476	−0.555	−0.605	−0.586
其他参数	Fe_2O_3	CaO	MgO	S_{td}	S_{od}	S_{pd}	V	I	E	Sr/Ba	高岭石	黄铁矿
相关系数	0.570	0.930	−0.433	0.442	0.400	0.398	−0.771	0.701	0.780	0.105	−0.661	0.688

煤中稀土元素的含量和赋存状态具有很大差异,有些赋存于矿物质之中,而有些却与有机质共生(唐修义等, 2004)。凯里煤中,ΣREE 与黄铁矿含量正相关(表 5)。毛光周等(2006)发现,江西金山高稀土元素含量的含金黄铁矿中稀土元素主要赋存在硫化物所包含的富 Zr 微矿物中,如锆石、金红石、尖晶石、钛铁矿等。由此,尽管凯里煤中黄铁矿是沉积成因而非热液成因,也不排除其稀土元素赋存与黄铁矿之间的共生关系。煤中 Co 几乎全部赋存于硫化物中(吴艳艳等,2008)。凯里煤中 ΣREE 与 Co 呈显著正相关(表 5),也在一定程度上说明其赋存状态与硫化物有关。凯里煤 ΣREE 与镜质组含量显著负相关,与惰质组和壳质组含量显著正相关(表 5)。这一关系显示,镜质组不存在与稀土元素形成物理吸附或化学络合关系。进一步分析,惰质组和壳质组的吸附性远弱于镜质组,在泥炭化过程中其凝胶化作用很弱甚至缺乏,稀土元素不可能在泥炭化阶段呈物理吸附或化学络合形式赋存其中。

早二叠世梁山期,紧靠雪峰古陆西缘的黔东凯里一带处于海陆交互相区(徐彬彬等,2003)。贵州中北部石炭系发育众多风化壳-沉积型铝土矿(章柏盛,1984;刘平,1987),富含稀土元素(陈代演等,1997;庹必阳等,2007)。风化壳淋积型稀土矿富含中—重稀土元素(池汝安等,2007),沉积岩和煤中富轻稀土元素(周泰禧等,1996;王文峰等,2002),农作物中轻稀土元素相对富集(陈莹等,1999)。前人上述成果,一方面解释了凯里煤中富轻稀土元素的原因,另一方面为煤中稀土元素赋存状态分析提供了信息。由此推知,凯里煤中稀土元素来源于研究区东侧雪峰古陆石炭系的表生作用产物,稀土元素从风化壳中淋滤分馏出来并被水流带入泥炭沼泽,提供了稀土元素来源。沼泽水介质中一部分稀土元素可能被结合入黄铁矿,另一部分可能被成煤植物在生长期所吸收。凯里煤中惰质组主要由丝质体、半丝质体和粗粒体组成(易同生等, 2007)。在泥炭化过程中,死亡成煤植物的木质纤维素组织一部分经历凝胶化作用(形成镜质组前身)而使其所含稀土元素被释放出来,另一部分由于丝炭化作用导致其中的稀土元素较多地残留在丝质体和半丝质体中,由类脂成分所构成的壳质物质由于抗降解能力强而使其中的稀土元素被保留,这也许就是造成上述凯里煤中 ΣREE 与显微煤岩组分含量之间关系的地质-地球化学原因。换言之,不排除凯里煤中相当一部分稀土元素赋存在惰质组和壳质组中的可能性。

除物质来源外,稀土元素在煤中的富集还受泥炭沼泽水动力条件和化学性质所控制。高岭石形成于酸性介质环境,以黄铁矿为代表的硫化物以及有机组分镜质组是相对还原环境的指示,煤中非硫化物类矿物含量的高低往往反映了沉积水动力条件的强弱。凯里煤中 ΣREE 与灰分产率临界负相关及与高岭石含量负相关,表明稀土元素富集于相对较弱的水动力环境;与黄铁矿含量正相关以及与全硫、有机硫和黄铁矿硫含量临界正相关的特征,指示了还原环境较有利于稀土元素富集,这也是凯里高硫煤中稀土元素富集的一个重要原因。碳酸盐在碱性介质中沉淀,在酸性条件下溶解,煤中 Ca 含量在一定程度上可指示沼泽水介质酸碱度(秦勇等,2008)。凯里煤中 ΣREE 与 CaO 之间显著正相关,说明其稀土元素的相对富集与偏碱性沼泽水介质条件有关。我国现代海洋底质样品 Sr/Ba 为 0.8～1.0,吐鲁番等盆地中生代陆相地层 Sr/Ba 低于 0.54(刘宝珺,1980)。凯里煤 Sr/Ba 在 0.78～1.13 之间(表 1),表明其泥炭沼泽明显受到发育于贵州、四川、广西一带的早二叠世上扬子盆地海水的影响(易同生等,2007;Yi et al., 2007)。

4　结论

通过研究,得到如下主要认识:

(1)凯里高硫煤中稀土元素平均总量为 874 μg/g,远高于中国煤、美国煤、世界煤和北美页岩的 ΣREE 平均值,表明该高硫煤中稀土元素相当富集。各煤样的稀土元素配比模式十分相似,轻稀土元素相对富集,存在一定程度的 Eu 亏损,整个煤层中稀土元素物质来源具有一致性。

(2)凯里煤中稀土元素赋存状态与粘土矿物离子态似乎没有关系,不排除其稀土元素赋存与黄铁矿之间的共生关系,也存在相当一部分稀土元素通过原生富集而赋存在惰质组和壳质组中的可能性。煤中稀土元素来源于研究区东侧雪峰古陆石炭统的表生作用产物,通过从风化壳中的淋滤分馏而被水流带入泥炭沼泽。

(3)煤中稀土元素的富集与泥炭沼泽水动力条件和化学性质密切相关,相对较弱水动力条件、偏碱性还原的沼泽环境更有利于稀土元素在煤中的相对富集,海水对泥炭沼泽的影响是造成煤中富硫以及利于稀土元素富集环境条件得以发育的一个重要原因。

参 考 文 献

陈骏,王鹤年. 2005. 地球化学. 北京:科学出版社,55,351.

陈代演,王华. 1997. 贵州若干铝土矿床的稀土元素地球化学研究. 贵州地质,14(2):132~144.

陈莹,王晓蓉,彭安. 1999. 稀土元素分馏作用研究进展. 环境科学进展,7(1):10~17.

池汝安,田君. 2007. 风化壳淋积型稀土矿评述. 中国稀土学报,25(6):641~650.

曹志德. 2007. 黔北煤田花秋勘探区 9、16 号煤稀土元素地球化学特征. 矿物学报,27(3/4):499~504.

代世峰,任德贻,李生盛. 2002. 煤及顶板中稀土元素赋存状态及逐级化学提取. 中国矿业大学学报,31(5):349~353.

黄文辉,杨起,汤达祯,赵志根,唐修义. 1999. 华北晚古生代煤中稀土元素地球化学特征. 地质学报,73(4):360~369.

李大华,唐跃刚,陈坤,邓涛,程方平. 2005. 重庆煤中稀土元素的地球化学特征研究. 中国矿业大学学报,34(3):312~317.

刘宝珺. 1980. 沉积岩石学. 北京:地质出版社,288~289.

刘长江,桑树勋,欧阳金宝. 2008. 淄博煤田煤的稀土元素地球化学特征. 沉积学报,26(6):1027~1034.

刘平. 1987. 初论贵州之铝土矿. 贵州地质,(1):1~12.

毛光周,华仁民,高剑峰,龙光明,陆慧娟,李伟强,赵葵东. 2006. 江西金山含金黄铁矿的稀土元素赋存状态研究. 矿物学报,26(4):409~418.

秦勇,王文峰,李壮福,夏筱红,吴艳艳. 2008. 海侵作用影响下的高分辨煤相序列及其古泥炭沼泽发育模式? ——以山西北部安太堡上石炭统太原组 11 号煤层为例. 地质学报,82(2):234~246.

唐修义,黄文辉. 2004. 中国煤中微量元素. 北京:商务印书馆,296.

庹必阳,王建丽,张覃. 2007. 稀土元素在铝土矿中的赋存状态及利用现状. 稀土,28(1):117~119.

王文峰,秦勇,宋党育,傅雪海. 2002. 晋北中高硫煤中稀土元素的地球化学特征. 地球化学,31(6):564~570.

王运泉,任德贻,雷加锦,唐跃刚,杨亦男. 1997. 煤中微量元素分布特征初步研究. 地质科学,32(1):65~73.

王中刚,于学元,赵振华. 1989. 稀土元素地球化学. 北京:科学出版社,310~313.

吴艳艳,秦勇,易同生,夏筱红. 2008. 凯里高硫煤中某些微量元素的富集及成因分析. 地球化学,37(6):615~622.

徐彬彬,何明德. 2003. 贵州煤田地质. 徐州:中国矿业大学出版社,23~28,195~196,244.

易同生,秦勇,吴艳艳,李壮福. 2007. 黔东凯里梁山组煤层及其底板中镓的富集与地质成因. 中国矿业大学学报,36(3):330~334.

章柏盛. 1984. 黔中石炭纪铝土矿矿床成因等若干问题的初步探讨. 地质论评,30(6):553~560.

赵志根,冯仕安,唐修义. 1998. 微山湖地区石炭—二叠纪煤稀土元素沉积地球化学. 地质地球化学,26(4):64~67.

赵志根,唐修义,李宝芳. 2000a. 淮南矿区煤的稀土元素地球化学. 沉积学报,18(3):453~459.

赵志根,唐修义,李宝芳. 2000b. 淮北煤田的稀土元素地球化学. 地球化学,29(6):578~583.

周泰禧,李彬贤,张傈,陈道公,李学明. 1996. 扬子地块北缘贵池地层区沉积地层的稀土元素组成及其地质意义. 中国稀土学报,14(3):254~260.

Brik D, White J C. 1991. Rare earth elements in bituminous coals and underclays of the Sydney Basin, Nove Scotia: Element site, distribution, mineralogy. International Journal of Coal Geology, (19): 219~251.

Finkelman R B. 1993. Trace and minor elements in coal. In: Engel M H, Macko S A, ed. Organic Geochemistry. New York: Plenum Press, 593~607.

Huang Wenhui, Yang Qi, Tang Dazhen. 2000. Rare earth element geochemistry of Late Palaeozoic coals in north China. Acta Geologica Sinica, 74(1): 74~83.

Qi Huawen, Hu Ruizhong, Zhang Qi. 2007. REE geochemistry of the Cretaceous lignite from Wulantuga Germanium Deposit, Inner Mongolia, northeastern China. International Journal of Coal Geology, (71): 329~344.

Seredin V V. 1996. Rare earth element-bearing coals from the Russian Far East deposits. International Journal of Coal Geology, 30: 101~129.

Steven J S, Brian W S. 2003. Rare earth element sources and modification in the Lower Kittanning coal bed, Pennsylvania: implications for the origin of coal mineral matter and rare earth element exposure in underground mines. International Journal of Coal Geology, 54: 223~251.

Valkovic V. 1983. Trace Elements in Coal. Boca Raton: CRC Press, 55.

Wang Wenfeng, Qin Yong, Jiang Bo, Fu Xuehai. 2004. Modes of occurrence and cleaning potential of trace elements in coals from the northern Ordos Basin and Shanxi Province, China. Acta Geologica Sinica, 78(4): 960~969.

Yi Tongsheng, Qin Yong, Zhang Jing, Wu Yanyan, Li Zhuangfu. 2007. Matter composition and two stage evolution of a Liangshan super high-sulfur coal seam in Kaili, eastern Guizhou. Journal of China Univ. Mining & Technology, 17 (2): 158～163.

Zheng Liugen, Liu Guijian, Chou ChenLin, Qi Cuicui, Zhang Ying. 2007. Geochemistry of rare earth elements in Permian coals from the Huaibei Coalfield, China, Journal of Asian Earth Sciences, 31: 167～176.

Enrichment of Rare Earth Elements in High Sulfur Coal of Liangshan Formation from Kaili, Guizhou, China and Geological Origin

WU Yanyan, QIN Yong, YI Tongsheng

School of Mineral Resources and Earth Science, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu, 221008

Abstract

Based on the experimental results by the inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), X-rays diffraction (XRD) and so on, the distribution, occurrence and geological controls of the rare earth elements (REEs) in the high-sulfur coal seam of the Lower Permian Liangshan Formation from Kaili, eastern Guizhou was investigated. The results showed that the REEs content in the Kaili coal seam is evidently higher than the average contents of REEs in Chinese, America as well as the world's coals, and the light REEs (LREEs) are comparatively rich, indicating that the source of those in the coal seam was consistent. It was suggested that some of REEs in the coal seam might occur in pyrite, and the other with primary enrichment might be hosted in inertinite and exinite. The peat bog with the weaker water dynamics, subalkaline and reduction was in much favor of the REEs enrichment in the coal seam. The effect of the sea water on the peat bog is one of the important causes in the occurrence of the sulfur- and REEs-accumulated environment in the coal.

Key words: high sulfur coal; REEs; occurrence; geological control