

文章编号:1000-0550(2008)01-0021-07

贵州毕节地区煤层中稀土元素在含煤地层 划分与对比中应用探讨^①

王 强^{1,2} 杨瑞东³ 鲍 森³

(1. 中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学与地球化学重点实验室 广州 510640;

2. 中国科学院研究生院 北京 100049; 3. 贵州大学资源与环境工程学院 贵阳 550003)

摘 要 稀土元素是良好的地质指示剂,以晚二叠世黔西毕节地区可采煤层中的 REE(稀土元素)为研究对象,探讨 REE 在煤系地层对比、划分中的应用问题。结果显示:LREE(轻稀土元素)的含量在龙潭组与长兴组的界线附近存在着异常富集的现象, Σ REE 的含量在界线附近也存在着异常富集的现象。REE 在界限附近的异常富集是其物源(间歇性和多旋回性喷发的峨眉山玄武岩)和成煤期频繁的海进海退共同作用的结果。因此,在具有相同物源的地区,可以利用稀土含量的变化,进行煤层和地层的对比、划分,并有可能研究海平面的变化。

关键词 稀土元素 地层 物源 海进海退 毕节

第一作者简介 王强 男 1977 年出生 在读博士 地球化学 E-mail:wqwqqiang@126.com

中图分类号 P595 **文献标识码** A

0 前言

稀土元素所具有的镧系收缩性质,对其地球化学行为产生重大影响。尽管稀土元素的原子量相差较大,但是由于镧系收缩的结果,使它们的离子半径相似,晶体化学性质相近。这种晶体化学特征决定了它们在自然界中化学性能稳定,均一化程度高,不易受变质作用影响的干扰,一经“记录”容易保存下来。赵志根等^[1]认为,哈密煤矿区变质程度相同的煤具有不同的稀土元素特征,淮北煤田不同变质程度的煤的稀土元素特征基本一致;这表明低温变质作用对煤中稀土元素的特征不产生影响。Li 等^[2]认为,在重庆市各成煤时代中的烟煤和无烟煤中稀土元素的含量接近,表明煤的变质作用对煤中稀土元素富集和迁移规律基本上没有影响。郑刘根等^[3]的研究也表明:岩浆侵入作用仅仅是影响稀土元素的含量,但对稀土元素的配分模式几乎没有影响。因此,稀土元素不仅是研究煤地质成因的良好地球化学指示剂,而且也是研究成煤期环境演化的良好地质指示剂。国内外不少学者,如 Bouska 等^[4]、Yudovich^[5]、Brik 等^[6]、Ren 等^[7]、Dai 等^[8-10]等对煤中稀土元素进行了大量的研究。既然稀土元素主要是同生沉积的产物,受到后生作用的影响较小,从而在某种程度上可以象化

石、岩石和同位素等作为地层划分与对比的指示剂。作者以贵州西部毕节地区的煤系地层中的稀土元素为研究对象,对此进行了研究。

1 样品的采集及数据分析

毕节位于贵州省的西部,含煤岩系为二叠系,主要是晚二叠世龙潭组和长兴组。龙潭组原称龙潭煤系,是刘季辰等^[11]于 1924 年所创,标准地点在南京龙潭。1935 年,李四光、朱森将其三分,并将龙潭煤系命名为“介于孤峰层和青龙灰岩之间的一套海路交替相的含煤地层”^[12]。这一划分一直为我国广大地质工作者所沿用。在 1962 年首届全国地质会议上,盛金章^[13]在总结中国的二叠系时,按地层规范要求,将龙潭煤系改为龙潭组。贵州境内的龙潭组通常是指在贵州省内的一套位于峨眉山玄武岩之上、三叠系之下的海陆交替相的含煤岩系^[14],主要由砂岩、粉砂岩、粘土岩、煤层、泥灰岩、燧石灰岩等组成。长兴组是由 Grabau^[15]建立的长兴灰岩演变而来。1962 年,盛金章^[13]改称为长兴组,其命名的剖面在浙江长兴大煤山,以 *Palaeofusulina* 为长兴组的标准化石。在贵州西部地区,长兴组的下伏地层均为龙潭组,以 *Palaeofusulina* 的出现为长兴组的开始。它的上覆地层是下三叠统或飞仙关组,以含 *Palaeofusulina* 的顶

①贵州省科技厅基金(200503),博士点建设基金资助。

收稿日期:2007-05-10;收修改稿日期:2007-06-18

界为长兴组的结束^[16]。对毕节煤系地层的地球化学,前人已经对其主量元素、微量元素、稀土元素、重金属元素、有害(毒)元素以及伴生元素的物源示踪,富集、迁移、配分模式等做了大量的研究工作^[8-10]。

按照 GB482—1985 标准^[17],在毕节地区 11 个开采煤层中,共采集了 13 个煤样(对厚煤层 M6 和 M14 各取两件煤样)。研究样品的采集范围涵盖了毕节地区(地级市)所属的威宁、赫章、织金、纳雍、大方等县,厚度在 0.8 m 以上的煤层。为了便于研究,在全面收集现有资料的基础上,结合实地多个剖面的测量,绘制出了毕节地区煤层的综合示意剖面图(图 1)。

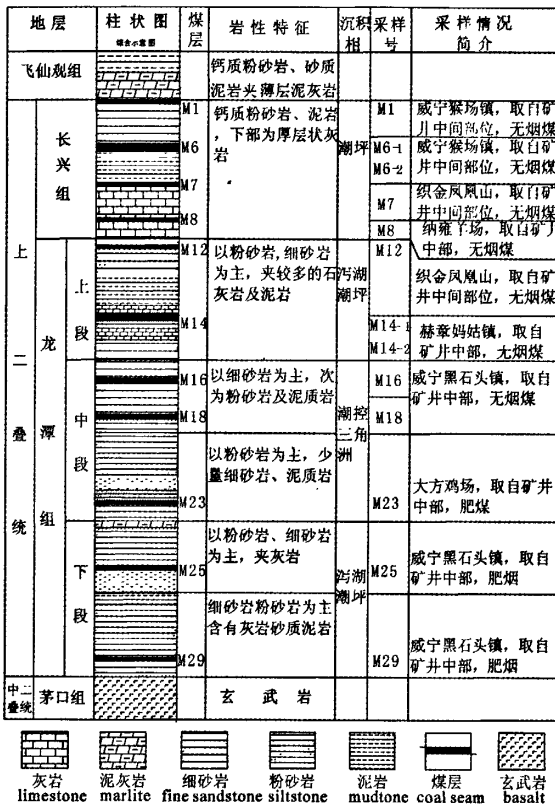


Fig. 1 The information of collected samples from Bijie coal measures (modified from Xiang *et al.*,1987)

样品在碎到≤200 目后,在南京大学内生矿床国家重点实验室进行稀土元素的地球化学分析。准确称取 30 mg 煤样置于 Teflon 密封溶样器中,加入 1 mL 浓 HF 和 0.3 mL 1: 1 HNO₃,加盖密封加热(100℃)7 ~ 10 天。溶液蒸干后加入 2 mL 1: 1 HNO₃,恒温 24 h,再蒸干,加入 2 mL 1: 1 HNO₃溶解

盐类,用 1% HNO₃将样品溶液转移到 50 mL 聚乙烯塑料瓶中,加入 Rh 内标溶液,以 1% HNO₃稀释至 30 g,备 ICP-MS 测定。采用 HF + HNO₃密封溶液方法不仅可以保证样品的完全溶解,而且与碱熔法比较,还具有明显的优点。不会代入任何金属离子,同时 HF 和 HNO₃易于纯化,污染小。样品制备所用试剂均为超纯试剂,即市售优级纯试剂亚沸蒸馏再纯化;高纯水为电阻率达 18 MΩ/cm 的 Milli-Q 纯化水。测试所用的质谱仪是 Finnigan Element II 质谱仪,稀土元素测试的相对标准偏差(RSD) < 5%。该质谱仪具有自动聚集及同时接受脉冲信号和模拟信号的技术,用 10 × 10⁻⁹ 多元素标定溶液(含有低、中、高质量元素)调整透镜,使其对每一质量数均达到最佳动态状态。用 500 × 10⁻⁹ 标定溶液通过自动拟合使脉冲检测和模拟检测处于最佳状态。测试数据见表 1。

2 REE 在界限附近富集的现象

2.1 界限附近的 LREE 含量异常富集的现象

通过对轻稀土元素与重稀土元素含量的比较计算可知,煤样的 ΣLREE/ΣHREE 为 3.04 ~ 17.30,平均值为 10.18,这表明 LREE 相对富集,而 HREE 则相对亏损。因此,在黔西毕节的煤系地层中,与 HREE 相比,相对富集的 LREE 的含量更能反映煤系地层稀土元素的特征。所以,本文选择对 11 个煤层的 LREE 进行比较。由表 1 数据,对比 11 个煤层(M6 和 M14 煤层各取两件煤样,取平均值进行比较)的 LREE 值,可以发现 M12 煤层的 LREE 含量异常富集。M12 煤层的 La 为 24.829 × 10⁻⁶,11 个煤层的平均值为 10.380 × 10⁻⁶;M12 煤层的 Ce 为 52.674 × 10⁻⁶,11 个煤层的平均值 22.072 × 10⁻⁶;M12 煤层的 Pr 为 5.850 × 10⁻⁶,11 个煤层的平均值 2.382 × 10⁻⁶;M12 煤层的 Nd 为 22.834 × 10⁻⁶,11 个煤层的平均值 8.814 × 10⁻⁶;M12 煤层的 Sm 为 3.522 × 10⁻⁶,11 个煤层的平均值 1.702 × 10⁻⁶;M12 煤层的 Eu 为 0.319 × 10⁻⁶,11 个煤层的平均值 0.208 × 10⁻⁶。比较的结果汇总于表 2。

在六个轻稀土元素中,除 Eu 的含量在 M29 煤层的最高外,La、Ce、Pr、Nd、Sm 的含量,在 M12 煤层最高。选取变化最明显的三个元素 La、Ce、Nd 绘图(图 2)。从图 2 可以发现,在龙潭组与长兴组的界限附近,La、Ce、Nd 的含量异常富集。

① 向英福,马忠魏,梁福京,等. 贵州晚二叠世煤田地质报告. 1987

表 1 毕节地区煤层煤的稀土元素含量参数(1×10^{-6})

Table 1 Analytical results for REE of coal samples in the Bijie coal measures (1×10^{-6})

煤层	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	LREE	HREE	ΣREE
M1	5.676	12.383	1.291	5.126	1.184	0.109	0.771	0.138	0.987	0.238	0.712	0.103	0.704	0.101	25.769	3.754	29.523
M6	7.828	13.221	1.227	4.239	0.625	0.113	0.509	0.078	0.479	0.100	0.274	0.042	0.273	0.043	27.253	1.798	29.051
M6-2	4.623	8.937	0.852	3.313	0.532	0.109	0.557	0.090	0.528	0.091	0.250	0.035	0.220	0.032	18.366	1.803	20.169
M7	10.992	24.541	2.586	9.096	1.882	0.382	1.793	0.259	1.745	0.356	0.929	0.137	0.907	0.134	49.484	6.260	55.744
M8	16.221	37.277	4.046	13.571	2.754	0.230	2.002	0.378	2.490	0.553	1.397	0.198	1.185	0.163	79.099	8.366	82.465
M12	24.829	52.674	5.850	22.834	3.522	0.319	1.984	0.286	1.663	0.361	0.897	0.141	0.889	0.139	110.030	6.360	116.390
M14	16.631	35.693	3.850	13.915	2.513	0.232	1.944	0.374	2.528	0.526	1.399	0.203	1.218	0.167	72.834	8.349	81.183
M14-2	5.935	11.674	1.170	4.582	0.880	0.153	0.686	0.129	0.721	0.147	0.401	0.056	0.337	0.053	24.241	2.530	26.771
M16	12.716	25.362	2.557	9.747	1.616	0.166	1.590	0.248	1.270	0.250	0.590	0.086	0.562	0.090	75.200	4.686	79.886
M18	16.998	38.801	4.233	15.453	3.170	0.300	2.068	0.273	1.627	0.356	1.006	0.159	1.107	0.177	78.955	6.713	85.688
M23	6.441	13.173	1.518	4.597	0.868	0.118	0.467	0.079	0.538	0.129	0.390	0.068	0.483	0.083	26.715	2.237	28.952
M25	3.437	7.223	0.873	3.085	0.621	0.108	0.665	0.089	0.569	0.111	0.294	0.047	0.279	0.043	16.012	2.097	18.109
M29	2.615	5.976	0.917	5.022	1.964	0.369	1.852	0.315	1.607	0.338	0.750	0.086	0.514	0.088	16.863	5.550	22.413

注:测试工作在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室 ICP-MS 完成(RSD < 5%)

表 2 11 个煤层 LREE 平均含量与 M12 煤层中 LREE 含量比较表(1×10^{-6})

Table 2 Comparison between LREE average content of 11 seams and LREE content of M12(1×10^{-6})

煤层	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
M12	24.829	52.674	5.850	22.834	3.522	0.319
11 个煤层的平均值	10.380	22.072	2.382	8.814	1.702	0.208

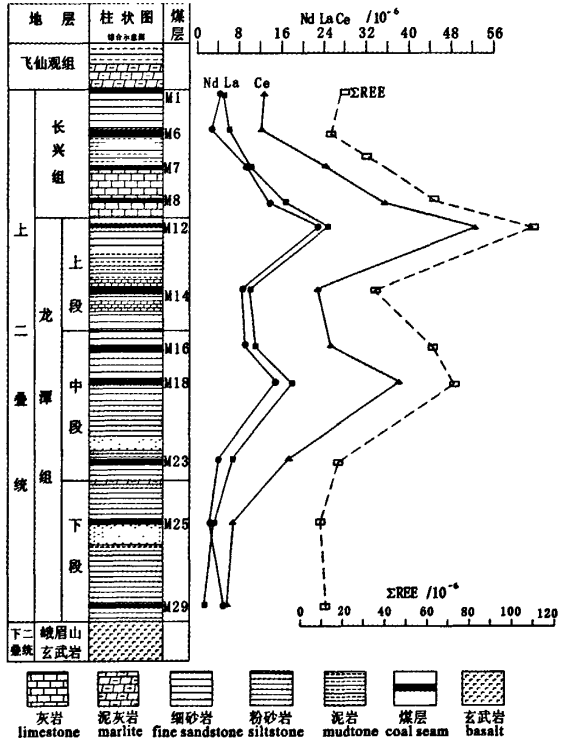


图 2 LREE、ΣREE 数值的变化与地层对应关系图(1×10^{-6})

Fig.2 The correlation between variable value of LREE, ΣREE and stratum(1×10^{-6})

2.2 界限附近 ΣREE 含量异常富集的现象

由表 1 可知,毕节地区 11 个可采煤层总稀土含量的平均值为 50.872×10^{-6} ,但每个样品的差异比较大,M12 煤层的最高,为 116.39×10^{-6} ;M6-2 煤层的最低,为 20.169×10^{-6} 。由表 1 的数值绘制 ΣREE 变化与煤层对应图(图 2)。从图 2 中可以发现,在龙潭组与长兴组的界限附近,ΣREE 的含量最高。如前所述,La、Ce、Nd 的含量在界限附近异常富集(图 2)。这一现象表明稀土元素变化具有地层学意义。尽管前人已经做过很多采用地球化学元素和地球化学方法来确定地层界线的工作^[18-20],但发现稀土元素在界限附近异常富集,可以用来确定地层界线的研究报告比较少。

3 分析与讨论

3.1 物源对稀土元素演化的影响

毕节地区晚二叠世煤层中的 δEu 为 0.338 ~ 0.709,平均值为 0.528。一般认为 Eu 的负异常是由源岩继承下来的,陆源岩具有 Eu 负异常的特点^[4,6]。毕节地区煤中稀土元素标准化值与峨眉山玄武岩稀土元素标准化值具有相似的配分模式(图 3):一、LREE 相对富集,HREE 相对亏损;二、配分曲线相似,从 La 到 Lu,表现为宽幅缓慢的下降趋势。这些证据表明峨眉山玄武岩控制着毕节地区煤中稀土元素的配分模式。而且,Dai 等^[8,10],Zhuang 等^[22],杜美霞等^[23]从不同角度分析表明:晚二叠世,包括黔西毕节在内的西南地区的煤中的稀土元素的物源主要是峨眉山玄武岩形成的风化壳。

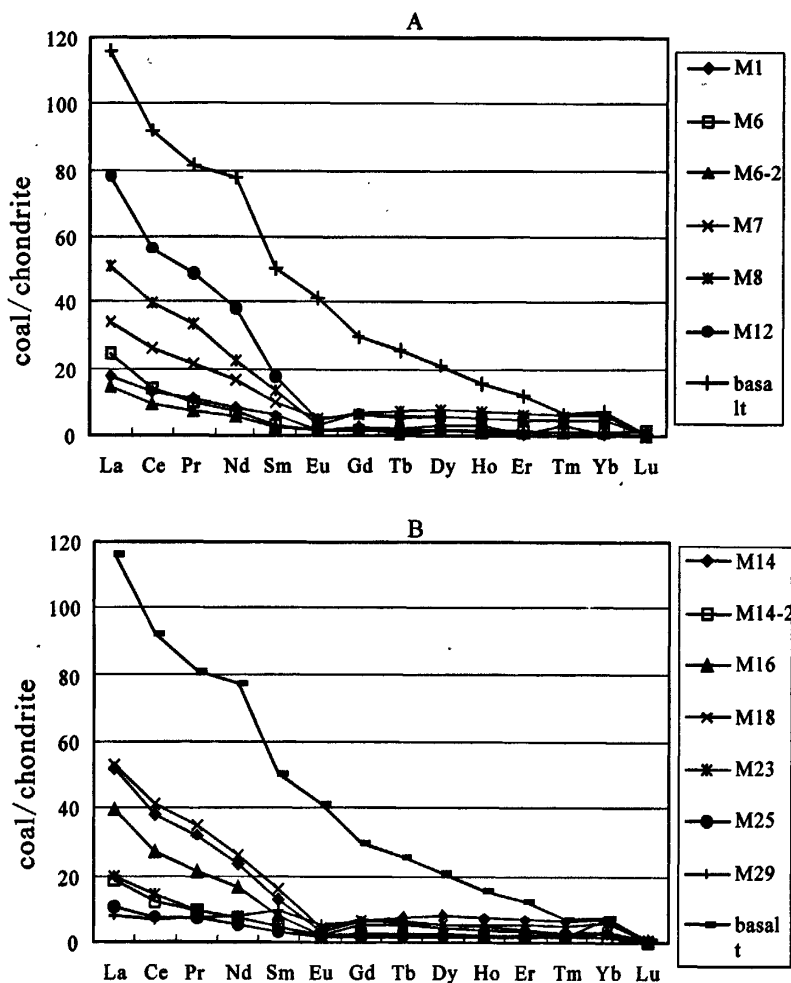


图3 煤样与玄武岩稀土元素的配分模式图(据王强等^[21],2006)

Fig. 3 REE distribution patterns of coal in Bijie and basalt (From Wang, *et al.*, 2006)

贵州峨眉山玄武岩的喷发,从动态的角度可以分为茅口期晚期和龙潭期,龙潭期又可分为三个喷发旋回,对应于四个不同的岩相古地理环境^[24],体现了东吴运动在造成贵州地区地壳抬升、下沉和接受最大海侵之后,又上升、拉张,具间歇性和多旋回性的特点。借助于海陆变迁,峨眉山玄武岩喷发与沉积作用具有了内在联系。通过对贵州峨眉山玄武岩不同喷发期岩相古地理的研究可以看出,龙潭期海域的沉积韵律和相带展布格局与玄武岩喷发的间歇性和多旋回性特征一致^[25,26]。

因此,峨眉山玄武岩的喷发为煤系地层稀土元素富集提供了物质基础,玄武岩喷发的间歇期又为煤系地层稀土元素沉积的演化提供了机遇。

3.2 海侵海退与稀土元素演化的关系

毕节地区晚二叠世正处于海陆过渡部位,晚二叠世频繁的海进海退事件是成煤所必备的条件之一^[10,27]②。而频繁地海侵海退使稀土元素的沉积模式发生了改变。海侵时,玄武岩风化形成的粘土矿物在稀土元素富集中的作用受到冲减,其作用降低,因此,煤层中富集的稀土元素的含量较低;而海退时,玄武岩风化壳在稀土元素富集中的作用,基本上没有受到负面作用的影响,富集了相对较高的稀土元素。但无论稀土元素含量高与低,煤层中稀土元素标准化后的配分模式与峨眉山玄武岩所含稀土元素标准化后的配分模式具有相似性(图3)。这表明煤层中的稀

② 杨瑞东. 贵州晚二叠世岩相古地理与聚煤环境研究[硕士学位论文]. 贵阳:贵州工学院,1989.

土元素受玄武岩风化壳(主要是粘土矿物)的控制,因此具有相似的稀土元素配分模式;但由于受到海侵海退的影响,粘土矿物搬运方式发生改变,搬运到成煤盆地的粘土矿物的规模也受到影响,最终使煤中的稀土元素含量高低不同。

通过分析毕节地区煤层稀土元素分布变化,可以“反演”晚二叠世时海退海进旋回。据此,本文划分出两个大的海进海退旋回(图4)。即从下往上,开始是高海平面,属于海进期成煤环境,海洋影响较大,陆源的玄武岩风化壳对稀土元素富集的贡献受到海侵的冲减而降低,煤层富集的稀土含量相对较低。到M23煤层形成后,海平面开始下降,发生海退,研究区受到陆源风化壳的影响变大,粘土矿物在稀土元素富集中的作用增大,粘土矿物以机械搬运方式进入沉积盆地,在煤的形成过程中,大部分稀土元素得以保存,使稀土元素含量增高。从图4中,可以看到在海退环境下形成M16、M18煤层中的稀土元素含量开始升高。之后,发生了快速的海进,形成M14煤层,煤层中稀土含量显著减少。在该层位发现有钙质泥岩、灰岩的夹层,是海侵事件直接的岩石学证据。而接下来发生了强烈的海退事件,而且这次海退规模可能比较大。海退形成的环境使玄武岩得到了充分的风化,发育了成熟的粘土矿物^[28],这些粘土矿物被搬运到成煤环境,加入到泥炭中,参与了成煤,结果使这一时期形成的煤层具有很高的稀土含量(图4中的M12煤层)。之后,海水逐渐侵进,研究区受到海水影响增强,玄武岩风化壳的作用受到削减,煤层中稀土含量逐渐减少,到M6煤层已经达到很低的水平。上述分析所得出的海侵海退与前人的研究结论是基本一致的^{[29]①,②}。这表明煤层中的稀土元素含量与海进海退有很好的相关性,即海进时煤层中稀土含量低,海退时形成的煤层稀土含量高(图4)。

需要指出的是,稀土元素在含煤地层中的这种随海进海退而变化的特点是有其特殊背景的,即物源区存在有高稀土背景的峨眉山玄武岩,峨眉山玄武岩含较高的稀土元素已经被证实^[28],如果物源区没有高稀土含量的玄武岩风化壳的存在,就不会有煤层中的稀土元素含量与海进海退的很好的相关性。如果物源区风化物质的稀土含量较低,其与海水沉积物中的稀土含量没有显著的区别,就很难表现出煤层中稀土元素含量与海进海退有很好的相关性。因此,利用这种方法时,物源区必须存在有特殊的地球化学特征才有效。

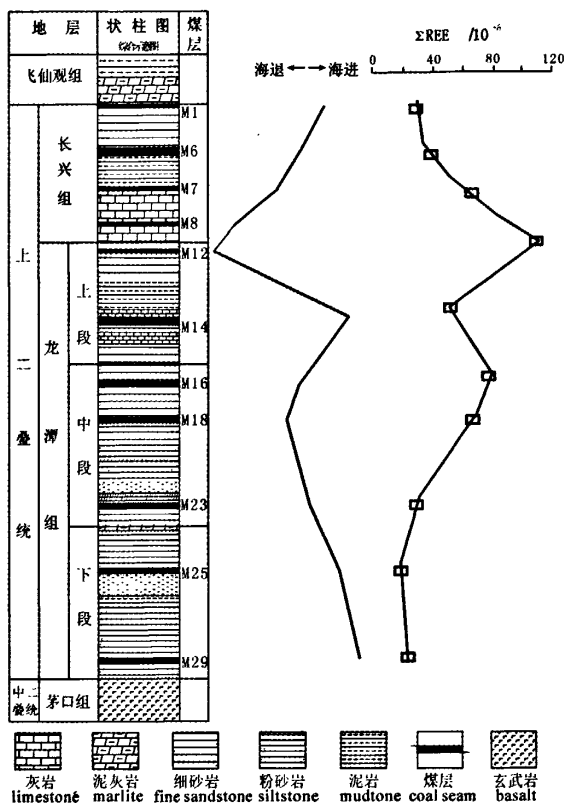


图4 毕节地区晚二叠世煤层稀土元素含量变化与海进海退关系(海进海退曲线根据向英福等^①,1987;杨瑞东^②,1989;王立亭^[29],1993)

Fig. 4 The map showing correlation between REE content and transgression-regression cycles (Transgression-regression from Xiang, *et al*, 1987; Yang Ruidong, 1989; Wang, *et al*, 1993)

4 结论

相关研究和晶体化学都已经证明,稀土元素是理想的地质指示剂,利用煤层中稀土含量的变化,有可能进行地层和煤层划分与对比,这对解决长期以来贵州西部晚二叠世煤层划分、对比混乱的问题,提供了一个新的方法;同时为在古生物和岩石资料匮乏的地区对比、划分地层提供了一种新的手段。稀土元素的这种地层学意义,是具有旋回性和间歇性的沉积物源和海侵海退沉积环境共同作用的结果。无论是作为沉积物源的峨眉山玄武岩,还是海侵海退,都具有区域性,因此,这一发现对研究贵州西部甚至是西南地区晚二叠世海平面变化具有重要的科学意义。稀土元素的地层学意义值得今后进一步深入研究。

参考文献(References)

- 1 赵志根,唐修义,杨起,等.哈密、淮北煤变质程度与稀土元素的关系研究[J].中国矿业大学学报,2001,30(2):165-169 [Zhao Zhi-gen, Tang Xiuyi, Yang Qi, *et al.* Research on relationship between ranks of coal and geochemical features of REE in Hami and HuaiBei coal[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2001, 30(2): 165-169]
- 2 Li Dahua, Tang Yuegang, Chen kun, *et al.* Concentration, distribution, and occurrence of REEs in coal from Chongqing, Southwest China [J]. China Univ. of Mining & Tech, 2005, 15(3):227-233
- 3 郑刘根,刘桂建,张浩原,等.淮北煤田二叠纪煤中稀土元素地球化学研究[J].高校地质学报,2006,12(1):41-52 [Zheng Liugen, Liu Guijian, Zhang Haoyuan, *et al.* Study on geochemistry of rare earth elements(REEs) in Permian coal from HuaiBei coalfield[J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(1):41-52]
- 4 Bouska V. Geochemistry of Coal[M]. Amsterdam: Elsevier, 1981: 284-294
- 5 Yudovich Ya E, Ketris M P, Mertz A V. Elements-admixtures in Coals (in Russian) [M]. Leningrad: Nauka Press, 1985:239-243
- 6 Brik D, White J C. Rare elements in bituminous coals and underclays of the Sydney Basin, Nova Scotia: Element sites, distribution, mineralogy[J]. International Journal of Coal Geology, 1991, 19: 219-251
- 7 Ren Deyi, Zhao Fenghua, Wang Yunquan. Distribution of minor and trace elements in Chinese coals[J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 4: 109-118
- 8 Dai Shifeng, Ren Deyi, Hou Xiaoqiang, *et al.* Geochemical and mineralogical anomalies of the Late Permian coal in the Zhijin coalfield of southwest China and their volcanic origin[J]. International Journal of Coal Geology, 2003, 55: 117-138
- 9 Dai Shifeng, Ren Deyi, Tang Yuegang, *et al.* Concentration and distribution of elements in Late Permian coals from western Guizhou Province, China[J]. International Journal of Coal Geology, 2004, 61: 119-137
- 10 Dai Shifeng, Chou C L, Yue Mei, *et al.* Mineralogy and geochemistry of a Late Permian coal in the Dafang Coalfield, Guizhou, China: influence from siliceous and iron-rich calcic hydrothermal fluids[J]. International Journal of Coal Geology, 2005, 61: 241-258
- 11 刘季辰,赵汝均.江苏地质志[C].南京:(前)中央地质调查所,地质专报,甲种4号,1924:1-33 [Liu Jichen, Zhao Rujun. Jiangsu Geological History. (before) Central Geological Survey, the Geological Report, 1924:5-24]
- 12 李四光,朱森.南京龙潭地质指南[M].南京:(前)国立中央研究院地质研究所,1932:1-13 [Li Siguang, Zhu Sen. Geological Guide of Longtan in Nanjing[M]. Nanjing: (Former) Institute of Geology, National Academy of Sciences, 1932: 1-13]
- 13 盛金章.中国的二叠系全国地层会议学术报告汇编[C].北京:科学出版社,1962:1-95 [Sheng Jinzhang. National academic conference collection of Chinese Permian strata[C]. Beijing: Science Press, 1962:1-95]
- 14 姚兆奇,李成栋.龙潭组的定义和时代[J].地层学杂志,1984,8(3):199-214 [Yao Zhaoqi, Li Chengdong. The definition and age of Longtan Formation[J]. Journal of Stratigraphy, 1984, 8(3): 199-214]
- 15 Grabau A W. Devonian brachiopoda of China[J]. Palaeontologia Sinica, Series B,1931,3: 526-538
- 16 金玉环,王向东,尚庆华,等.中国二叠纪年代地层划分和对比[J].地质学报,1999,73(2):97-108 [Jin Yugan, Wang Xiangdong, Shang Qinghua, *et al.* Chronostratigraphic subdivision and correlation of the Permian in China[J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(2): 97-108]
- 17 李振祥主编.煤炭常用标准汇编[M].北京:煤炭工业出版社,2000:204-207 [Li Zhenxiang ed. Coal common standard collection [M]. Beijing: Coal Industry Press, 2000. 204-207]
- 18 黄思静,石和,张萌,等.上扬子石炭—二叠纪海相碳酸盐的锶同位素演化与全球海平面变化[J].沉积学报,2001,19(4):481-487 [Huang Sijing, Shi He, Zhang Meng, *et al.* Strontium isotope evolution and global sea-level changes of carboniferous and Permian marine carbonate, Upper Yangtze platform[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 481-487]
- 19 谢渊,王剑,刘家铎,等.羌塘盆地那底岗日地区中侏罗世层序地层与碳、氧、锶同位素响应[J].沉积学报,2002,20(2):188-196 [Xie Yuan, Wang Jian, Liu Jiaduo, *et al.* Carbon, oxygen and strontium isotopic responses of carbonate rocks and the Middle Jurassic sequence stratigraphy in the Nadigangri Area, Qiangtang Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 188-196]
- 20 黄思静,石和,张萌,等.锶同位素地层学在奥陶系海相地层定年中的应用——以塔里木盆地塔中12井为例[J].沉积学报,2004,22(1):1-5 [Huang Sijing, Shi He, Zhang Meng, *et al.* Application of strontium isotope stratigraphy to dating Ordovician marine sediments: a case study from the Well Tazhong 12 in Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1):1-5]
- 21 王强,杨瑞东,鲍森,等.毕节煤矿区晚二叠世煤层稀土元素的物质来源[J].贵州地质,2006,26(4):130-134 [Wang Qiang, Yang Ruidong, Bao Miao, *et al.* Substance sources of rare-earth elements in Late Permian coal seams on coal mines in Bijie[J]. Guizhou Geology, 2006, 26(4): 130-134]
- 22 Zhuang Xinguo, Querol X, Plana F, *et al.* Determination of elemental affinities by density fractionation of bulk coal samples from the Chongqing coal district, Southwestern China[J]. International Journal of Coal Geology, 2003, 55: 103-115
- 23 杜美霞,庄新国.华南地区晚二叠和晚三叠世煤中稀土元素特征研究[J].中国煤田地质,2006,18(2):22-27 [Du Meixia, Zhuang Xinguo. A characteristic study of rare-earth elements in Southern China Late Permian and Late Triassic coals[J]. Coal Geology of China, 2006, 18(2), 22-27]
- 24 陈文一,刘家仁,王中刚,等.贵州峨眉山玄武岩喷发期的岩相古地理研究[J].古地理学报,2003,5(1):17-28 [Chen Wenyi, Liu Jiaren, Wang Zhonggang, *et al.* Study on lithofacies palaeogeography during the Permian Emeishan basalt explosion in Guizhou Province [J]. Journal of Palaeogeography, 2003, 5(1): 17-28]
- 25 冯增昭,金振奎,杨玉卿,等.滇黔桂地区二叠纪岩相古地理[M].

- 北京:地质出版社,1994:73-86 [Feng Zengzhao, Jin Zhenkui, Yang Yuqing, *et al.* Lithofacies Paleogeography of Permian of Yunnan-Guizhou-Guanxi Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994:73-86]
- 26 杨玉卿,冯增昭. 中国南方二叠纪沉积体系[J]. 古地学报, 2000,2(1):11-18 [Yang Yuqing, Feng Zengzhao. Permian depositional system in south China[J]. Journal of Palaeogeography, 2000, 2(1): 11-18]
- 27 向英福,陈宗富. 贵州晚二叠世沉积相及其演变规律探讨[J]. 贵州地质, 1989,6(3):191-202 [Xiang Yingfu, Chen Zongfu. A discussion on sedimentary facies of Late Permian and its evolutionary law in Guizhou[J]. Geology of Guizhou, 1989, 6(3): 191-202]
- 28 毛德明,张启厚,安树仁. 贵州西部峨眉山玄武岩及其矿[M]. 贵阳:贵州科技出版社,1992:24-32 [Mao Deming, Zhang Qihou, An Shurei. Emeishan basalt and minerals of western Guizhou[M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1992:24-32]
- 29 王立亭,罗晋辉,王常微,等. 贵州西部晚二叠世近海煤田地质特征及聚煤规律[J]. 贵州地质, 1993, 37(4): 291-300 [Wang Liting, Luo Jinhui, Wang Changwei, *et al.* Geology and coal-accumulating regularity of the paralic coal fields of Late Permian in western Guizhou[J]. Geology of Guizhou, 1993, 37(4): 291-300]

Discussion on the Role of REE in Stratigraphic Subdivision and Correlation in Coal Measures from Bijie City, Guizhou Province

WANG Qiang^{1,2} YANG Rui-dong³ BAO Miao³

(1. Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

3. Resource and Environment School of Guizhou University, Guiyang 550003)

Abstract REE is a good geological indicator. In order to understand REE role in stratigraphic subdivision and correlation, REE in Late Permian coal measure from Bijie City, western Guizhou Province, China have been studied. The results show that the contents of both individual LREE and Σ REE in the boundary between Longtan Formation and Changxing Formation are sharply increased. This phenomenon is related to the REEs sources (gyration and discontinuity eruption Emeishan basalt) and the transgression-regression frequently. So we can subdivide and correlate the strata, even understand the sea-level change by studying REE of coal measure with same sources.

Key words REE, strata, source, transgression-regression, Bijie