

# 扬子地块西南部晚元古代 ——三叠纪沉积地球化学演化<sup>①</sup>

于炳松<sup>1</sup> 裘愉卓<sup>2</sup> 李娟<sup>1</sup>

1(中国地质大学,北京 100083) 2(中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放室,贵阳 550002)

**提 要** 本文通过对扬子地块西南部自上元古界板溪群到三叠系发育在盆地和下斜坡背景中的泥质岩的系统的无素地球化学研究,首次发现了下寒武统、上泥盆统和上二叠统这三个在元素地球化学性质上明显不同于其它层位的地球化学异常层,从而构成了本区地质历史中三个明显的地球化学旋回。通过地球化学旋回与本区地壳演化和一系列沉积事件之间关系的研究,发现它们之间存在着内在的必然联系,说明沉积地层的地球化学演化是地球发展演化的必然结果和物质表现形式。因此,可通过这些地层的元素地球化学体系来恢复地壳发育和演化历史,这为我们正确认识本区的地壳演化和成矿作用的时控性提供了强有力的地球化学证据。

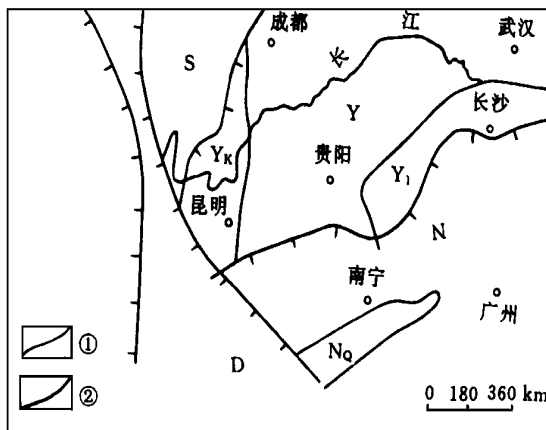
**关键词** 沉积地球化学 沉积事件 地壳演化 扬子地块西南部

**分类号** P 595

**第一作者简介** 于炳松 男 34岁 副教授(博士后) 沉积学 地球化学

地球科学的发展已从学科分化为主体转向学科间的大跨度交叉、渗透的地球系统科学时代,立足于全球性、统一性的整体观,研究地球系统的整体行为和各圈层的演化规律及其相互作用过程,是目前地球科学发展的主要趋势之一。地球是一个庞大的系统,地球现今的各种物质现象,是地球这个大系统发展演化到今天的结果。可以说沉积地层是记录了地球发展演化历史的一部史诗,而沉积地层的地球化学演化是这部史诗的重要组成部分之一。为了正确认识扬子地块西南部的沉积地球化学演化并进而更高层次上去认识本区的地质发展历史,我们对自上元古界板溪群到三叠系发育在盆地和下斜坡环境中的深水相泥质岩进行了系统的元素地球化学研究,结果发现了下寒武统、上泥盆统和上二叠统这三个元素地球化学异常层及其由此而构成的三个沉积地球化学旋回。这对正确认识本区的地壳演化和成矿作用,具有重要的指导意义。

上部地壳的发育和演化主要受控于扬子板块和华夏板块的相互作用



Y. 扬子地块 Y<sub>i</sub>. 江南隆起 Y<sub>k</sub>. 康滇隆起 N. 东南褶皱带  
N<sub>q</sub>. 钦州残洋褶皱带 S. 松潘甘孜褶皱系 D. 滇缅印支褶皱系 ①. 地质界线 ②. 深大断裂

图 1 研究区地质背景略图(据涂光炽等资料<sup>[1]</sup>简化)

Fig. 1 Geological setting of the studied area

## 1 研究区地质背景

研究区主要包括贵州大部、桂北、滇东、川南和湘西等地。从大地构造角度讲,该区主要位于扬子地块的西南部和东南褶皱带的北缘(图 1),因此,该区

① 中国博士后科学基金(中博基(1991)1号第 17批)和中国科学院矿床地球化学开放研究室基金(950408)联合资助项目  
收稿日期: 1996- 02- 29

表 1a 不同层位微量元素分析结果表 ( $\times 10^{-6}$ )Table. 1a Trace element data ( $\text{in} \times 10^{-6}$ ) in different horizons

层位	Sc	Cr	Co	Ni	Zn	As	Se	Rb	Sr	Zr	Mo
T <sub>2b</sub>	15.10	84.00	15.00	35.00	77.10	1.63	2.83	168.00	188.00	293.00	2.27
T <sub>2xm</sub>	17.6	85.6	13.4	94.9	78.4	7.71	2.36	161	160.00	97.7	0.645
T <sub>1l</sub>	17.4	87.9	11.9	86.4	11.1	3.97	1.32	136.00	316.00	132	0.948
P <sub>2lh</sub>	22.3	87.4	24.2	80.1	137	8.9	9.53	107	101	720	0.731
P <sub>1sd</sub>	11.8	143	6.54	74.8	48.6	6.06	1.23	80.8	325	186	0.748
C <sub>1-2xy</sub>	3.93	104	0.442	23.6	5.3	1.96	0.865	59.9	35.1	166	1.37
C <sub>1z</sub>	12.6	134	9.14	130	12.7	32.9	1.66	125	381	222	1.06
C <sub>1zb</sub>	4.49	74	3.6	83.9	177	17.9	0.942	68.2	239	79	8.87
D <sub>3d</sub>	9.37	51.8	33.9	45.7	21.3	19.6	1.18	179	56.1	255	5.92
D <sub>3x</sub>	9.26	105	4.45	115	9.27	14.5	1.27	132	55.3	235	1.6
D <sub>2h</sub>	18.31	129	20.4	66.2	14.6	11.8	1.6	260	150	469	1.08
S <sub>2x</sub>	15.2	90	15.8	149	12.5	9.41	1.46	165	69.1	406	0.917
S <sub>1r</sub>	17.4	99.4	16.1	82.6	92.4	2.77	3.15	194	62.4	268	0.21
S <sub>1m</sub>	12.5	80.1	13.7	61.6	67.9	3.38	5.7	148	88.4	360	0.733
S <sub>1lj</sub>	14.7	89.8	12.7	71.2	96.4	5.78	3.1	181	105	292	0.28
1m	8.08	48.4	7.2	40.8	32.5	4.75	4.22	136	352	303	0.846
O <sub>3w</sub>	11.4	71.3	11	54.4	46	6.46	6.44	165	105	469	1.27
O <sub>1d</sub>	13.9	85.5	14.9	59.2	69.7	15.4	4.47	190	193	434	0.647
O <sub>1z</sub>	19.8	130	14.4	93.8	80.9	31.8	1.85	253	172	213	0.437
O <sub>1gt</sub>	4.94	29.3	5.77	31.4	6.99	9.63	0.891	48.4	260	78.3	0.583
∈ <sub>3s</sub>	11.2	61.3	12.1	90.2	9.73	4.88	1.15	97.4	565	117	0.722
∈ <sub>3y</sub>	21.7	135	16.8	63.9	13.1	5.64	1.42	222	74.9	389	0.811
∈ <sub>2d</sub>	18.2	134	13.3	143	12.3	15.7	1.44	209	110	296	3.47
∈ <sub>1w</sub>	17.4	87.9	11.5	101	11.8	2.13	1.35	143	240	265	0.776
∈ <sub>1b</sub>	12.6	75.7	31.2	298	14.5	18.1	1.47	108	68.6	372	15.9
∈ <sub>1j</sub>	9.88	79	9.75	110	142	11.5	12.7	83.5	124	375	41.1
lc <sub>1</sub>	10.6	315	11.7	296	108	126	91.7	88.6	83.1	492	170
Z <sub>2ds</sub>	12.9	83.2	10.5	101	12.3	29.2	6.31	109	44.7	310	2.76
Z <sub>1n</sub>	15.2	50.8	7.68	59.4	42.8	5.48	4.93	150	44.7	377	0.411
Z <sub>1d</sub>	18.7	56.8	39.1	91.5	56.6	22.5	7.84	128	50.7	211	36.9
Z <sub>1t</sub>	14.7	48	0.651	30.2	12.2	5.12	4.93	160	40.6	431	1.07
Pt <sub>3p</sub>	12.3	28.3	8.33	31.9	55.8	9.12	3.76	91.8	67.9	251	0.462
Pt <sub>3q</sub>	12.5	51.5	5.61	31.5	71.4	12.3	4.14	126	68	245	0.99
Pt <sub>3h</sub>	17.5	82.7	13.8	38.4	69.7	5.44	3.68	172	44.6	329	0.455
M	13.69	91.14	13.13	87.22	50.88	14.40	5.97	142.52	148.24	298.18	9.02
C	10	100	20	95	80	6.6	0.6	200	450	200	2
K	1.37	0.91	0.66	0.92	0.64	2.18	9.95	0.71	0.33	1.49	4.51

M: 实测样品平均含量; C 泥质岩中元素的平均丰度 (据维诺格拉多夫, 1962<sup>[3]</sup>); K: 富集系数 ( $K = M/C$ )

表 1b 不同层位微量元素分析结果表 ( $\times 10^{-6}$ )Table. 1b Trace element data (in  $\times 10^{-6}$ ) in different horizons

层位	Ag	Sb	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Ir	Au	Th	U
T <sub>2b</sub>	1.12	0.813	11	386	3.69	1.09	0.181	4.71	15.3	14.4	4.46
T <sub>2xm</sub>	0.564	0.875	7.53	385	4.3	1.05	4.85	5.28	4.48	13.4	2.56
T <sub>1l</sub>	0.735	0.884	8.28	349	3.87	0.82	7.13	9.33	3	11	2.51
P <sub>2h</sub>	0.631	0.167	2.44	653	16.7	5.05	4.68	8.21	3.34	15.2	2.85
P <sub>1sd</sub>	0.624	0.538	6.5	135	3.01	0.936	1.54	6.15	2.7	12.9	0.985
C <sub>1-2xy</sub>	1.37	1.47	7.36	783	1.31	0.5	2.26	3.63	1.76	6.3	5.77
C <sub>1z</sub>	0.829	0.948	9.49	220	4.11	1.14	2.37	8.01	3.6	16.9	4.17
C <sub>1zb</sub>	0.411	3.92	5.88	1050	1.7	0.52	1.49	4.57	2.14	6.43	6.27
D <sub>3d</sub>	0.611	2.05	7.66	1150	2.87	0.933	1.84	5.7	15.6	12.5	5.76
D <sub>3x</sub>	0.613	3.12	16.6	1080	3.67	0.917	1.44	5.58	6.25	11.4	9.4
D <sub>2h</sub>	0.893	0.205	12.7	649	4.8	1.6	6.56	7.75	3.22	19.7	3.48
S <sub>2x</sub>	0.807	0.963	6.54	465	6.31	1.32	1.82	6.91	2.68	14.6	3.26
S <sub>1r</sub>	0.557	1.1	8.83	462	4.61	1.13	1.73	5.17	1.88	15.9	3.3
S <sub>1m</sub>	0.622	0.55	8.22	444	9.71	1.16	1.5	5.63	2.23	17.9	3.38
S <sub>1lj</sub>	0.54	0.701	6.71	538	5.1	1.17	1.63	5.03	1.85	17.8	3.08
1m	0.387	0.542	4.62	524	7.05	0.888	2.81	4.09	1	14.3	2.9
O <sub>3w</sub>	0.442	1.07	6.49	654	10.2	1.24	3.99	4.19	4.74	18.8	3.83
O <sub>1d</sub>	0.509	0.648	4.95	667	7.29	1.09	1.43	4.87	3.41	20.2	3.44
O <sub>1tz</sub>	0.592	0.69	15.6	281	2.97	1.1	3.57	5.59	3.65	18.1	2.44
O <sub>1gt</sub>	1.02	0.579	1.68	208	1.75	0.351	2.87	4.19	1.58	4.42	1.14
∈ <sub>3s</sub>	0.638	0.51	4	215	1.46	0.764	1.38	6	22.1	10.5	2.08
∈ <sub>3y</sub>	0.888	1.05	9.63	620	2.38	1.07	1.47	7.42	2.54	12.1	1.74
∈ <sub>2d</sub>	1.7	3.5	5.36	1350	3.78	1.4	4.95	6.83	2.51	19.2	5.75
∈ <sub>1w</sub>	1.58	0.654	5.39	505	2.76	0.927	1.26	6.69	3.43	12.8	2.26
∈ <sub>1b</sub>	0.812	1.01	5.79	3370	3.04	0.928	4.21	7.14	2.53	9.44	13.1
∈ <sub>1j</sub>	0.434	4.59	3.95	13700	3.23	0.648	1.16	4.39	9.97	8.95	17.6
lc <sub>1</sub>	15.7	0.13	5.37	9880	3.64	0.721	3.61	4.79	39.3	7.63	33.5
Z <sub>2ds</sub>	0.498	1.68	4.64	3580	5.71	0.765	2.71	4.59	2.39	7.64	2.02
Z <sub>1n</sub>	0.499	2.21	4.3	709	7.75	1.14	2.49	4.53	1.07	15.8	2.38
Z <sub>1d</sub>	1.54	4.05	8.9	718	7.01	1.06	3.37	5.18	8.19	13.7	3
Z <sub>1t</sub>	0.448	0.536	3.93	1130	8.13	0.968	3.11	4.09	1.02	12.9	2.3
Pt <sub>3p</sub>	0.449	0.629	3.92	636	6.3	0.742	2.23	4.19	2.22	9.43	1.66
Pt <sub>3q</sub>	0.451	0.539	4.49	972	6.11	0.822	0.845	3.8	1.97	9.11	1.43
Pt <sub>3h</sub>	0.544	2.4	11.7	935	5.79	0.938	3.62	4.54	1.9	11.1	2.29
M	1.18	1.33	7.07	1453.03	5.06	1.09	2.71	5.6	5.5	13.01	4.89
C	0.1	2	12	800	6	3.5	2		1	11	3.2
K	11.78	0.67	0.59	1.82	0.84	0.31	1.35		5.5	1.18	1.53

Ir和 Au的含量单位为 $\times 10^{-9}$ ; M、C和 K的含义同表 1a

## 2 样品的采集与测试

在样品采集过程中,我们选择区内有代表性的剖面,以深水相(盆地相和下斜坡相)的泥质岩为主要对象,以组为单位,各组分上、中、下分别采取3~5个样品。然后,将同一剖面上各组样品分别等量混合后,由机械粉碎到200目,以保证样品的均匀混合。我们之所以以深水相泥质岩作为主要研究对象,其原因主要有三:一是从沉积作用角度讲,泥质岩是沉积作用过程中的端员组分。这类岩石,通常粒度细小、沉积速率低,搬运距离和时间长,因而,在这类岩石中,其岩石地球化学性质相对较为均一;二是为了尽可能消除由于岩性岩相不同所造成的地球化学差异,确保不同时代地层中元素地球化学对比的统一性和可靠性;三是,通常泥质岩中各类金属元素的含量相对其它岩石要高得多,据前人的研究,许多矿床的矿源层,也多与这类泥质岩层有关。

所有样品由中国科学院高能物理研究所毛雪瑛同志用中子活化方法一次性测试完成,以减小由于测试条件不同而造成的误差。为了检验测试结果的准确性,我们在测试时加入了煤灰标样(SRM 1 633 a)。根据中子活化方法测试效果比较好的元素(如Fe, Co, Hf, Sc, Ta等)的测试结果与Korotev(1987)的结果<sup>[2]</sup>对比表明,其偏差百分比均在-2~ -4之间,说明本次测试结果,精度尚可,但系统略偏低。

## 3 沉积地球化学演化

### 3.1 微量元素地球化学演化

为正确分析不同层位元素地球化学的演化特

征,我们对本区34个不同层位泥质岩样品中的22个微量元素进行了系统测定(表1)。根据分析结果

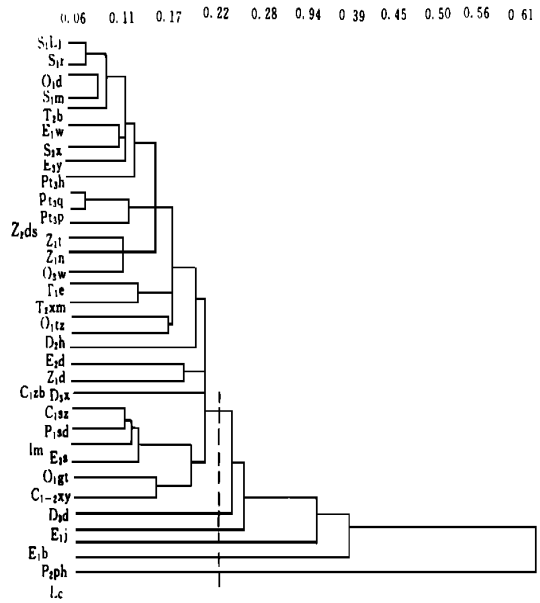


图2 不同层位样品 Q型聚类分析谱系图

Fig. 2 Cluster dendritic map of samples in different horizons

所进行的Q型聚类分析(图2)表明,若以距离系数0.22作为分类标准,则本区极大部分层位可归并成一个群,即他们在元素地球化学性质上具有共性,唯独下面几个层位,差异比较明显。第一是下寒武统的留茶坡组(1c);第二是上泥盆统代化组(D<sub>3</sub>d);第三是上二叠统领好组(P<sub>2</sub>h)。此外还有下寒武统九门冲组(Є<sub>1</sub>1)和变马冲组(Є<sub>1</sub>b),由于它们与留茶坡组相邻,故可放在一起讨论。

表2 稀土元素主要特征参数表

Table. 2 Characteristic parameters of REE

时 代	La <sub>N</sub> / Yb <sub>N</sub>	La <sub>N</sub> / Sm <sub>N</sub>	Tb <sub>N</sub> / Yb <sub>N</sub>	Eu / Eu*
T <sub>1-2</sub>	<u>9.76~ 13.00</u> 11.38	<u>3.82~ 4.44</u> 4.13	<u>1.16~ 2.41</u> 1.63	<u>0.72~ 0.74</u> 0.73
P <sub>2</sub>	10.69	3.62	1.48	0.89
C- P <sub>1</sub>	<u>10.28~ 21.93</u> 16.93	<u>5.62~ 8.66</u> 7.85	<u>1.17~ 1.77</u> 1.48	<u>0.42~ 0.69</u> 0.58
D <sub>2-2</sub>	<u>7.50~ 15.62</u> 12.63	<u>3.14~ 5.37</u> 4.55	<u>1.79~ 2.20</u> 1.92	<u>0.63~ 0.90</u> 0.79
O- S	<u>8.15~ 12.94</u> 9.59	<u>3.26~ 4.17</u> 3.79	<u>1.14~ 1.60</u> 1.42	<u>0.59~ 0.71</u> 0.65
Є	<u>6.36~ 17.28</u> 10.93	<u>2.22~ 5.48</u> 3.69	<u>1.31~ 2.77</u> 2.00	<u>0.78~ 0.96</u> 0.87
P <sub>1a</sub> - Z	<u>5.07~ 8.69</u> 7.57	<u>2.23~ 4.17</u> 3.59	<u>0.81~ 1.38</u> 1.06	<u>0.64~ 0.71</u> 0.68

注:表中分子代表变化范围,分母代表平均值

根据上述测试结果所进行的 R 型因子分析可知,当主因子取 6 时,其因子贡献累积百分比达到 81.77%。其六个主因子代表的元素组合分别为  $\Lambda_1$  (Cr, Ni, As, Se, Mo, Ag, Ba, Au, U);  $\Lambda_2$  (Rb, Th, Sc);  $\Lambda_3$  (Zr, Hf, Ta);  $\Lambda_4$  (Sr);  $\Lambda_5$  (Co, Ni, W, Ir) 和  $\Lambda_6$  (Zn, Sb)。上述各因子在不同层位中的因子得分大小明显不同,其因子得分主要集中在下寒武统 ( $\Lambda_1$  和  $\Lambda_6$ ) 中上泥盆统 ( $\Lambda_2$  和  $\Lambda_6$ ) 和上二叠统 ( $\Lambda_3$  和  $\Lambda_5$ ) 这几个层位,反映了这些元素在地质历史中的分布具有很大的差异性。根据 34 个不同层位泥质岩测试结果所计算的平均含量也进一步说明,这三个层位也是本区主要微量元素明显富集的层段,在其它层位上,元素的富集和亏损程度则十分有限。此外,在这三个层位上, Th/U, Th/Sc, La/Sc 和 La/Th 比值均明显低于其它层位<sup>①</sup> 和上地壳平均值<sup>[4]</sup>,反映一种更铁镁质物源的存在<sup>[4]</sup>。

由上述分析可知,本区从上元古界到三叠系,在微量元素地球化学性质上,具有三个与极大部分层位明显不同的层位,它们为下寒武统、上泥盆统和上二叠统。

### 3.2 稀土元素地球化学演化

许多研究证明,后太古代页岩的稀土配分型式具有相当的一致性,其共同特征是,经球粒陨石标准化后的稀土配分曲线,轻稀土明显富集,重稀土段十分平坦,具有明显的  $Eu$  负异常<sup>[5,6]</sup>。通常  $Eu/Eu^*$  在 0.6~0.7 左右,平均为 0.65<sup>[4]</sup>。

本次所研究的从上元古界到三叠系的泥质岩样品,其稀土元素经球粒陨石标准化后(球粒陨石标准值据 Haskin 等<sup>[7]</sup>)的配分模式见图 3,其主要特征参数见表 2。

从表中我们可以看出,本区从上元古界到中三叠统,其中  $Pb-Z-O-S-C-P$  和  $T_1-T_2$  之泥质岩的稀土

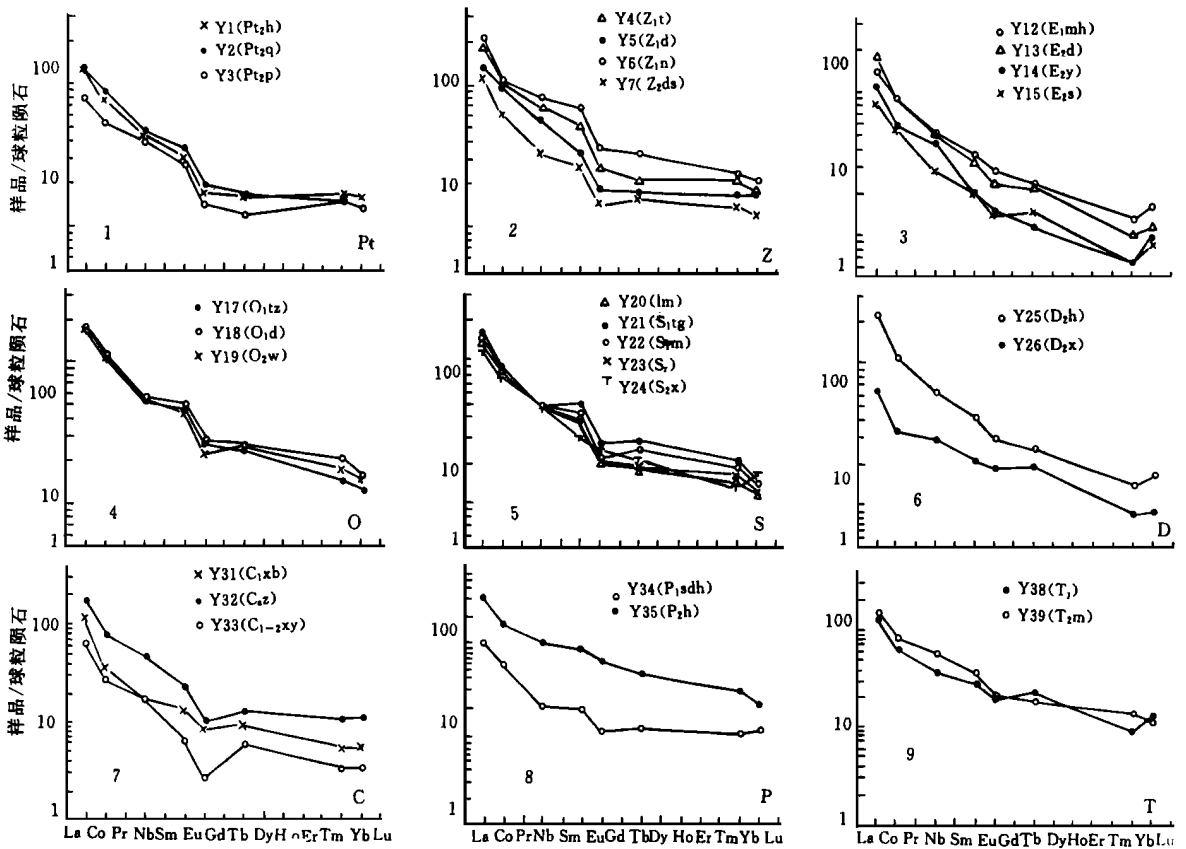


图 3 不同层位球粒陨石标准化稀土配分模式图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of different horizons

① 于炳松, 扬子地块西南部成矿地球化学背景研究, 中国科学院地球化学研究所博士后科研报告, 1996

组成与典型的后太古代页岩的稀土组成特征基本一致,即经球粒陨石标准化后,轻稀土明显富集( $La_N/Yb_N$ 和 $La_N/Sm_N$ 比值大),重稀土段十分平坦( $Tb_N/Yb_N$ 比值小于1.63,接近于1),且有明显的Eu负异常( $Eu/Eu^*$ 比值小,在0.58~0.73)。而寒武系、泥盆系和上二叠统的稀土元素特征明显不同于典型后太古代页岩的稀土组成特征。虽然轻稀土也相对较富集,但重稀土段明显变陡( $Tb_N/Yb_N$ 比值明显增大,在1.48~2),且只有微小甚至没有明显的Eu负异常( $Eu/Eu^*$ 比值大,在0.79~0.89)。从 $Eu/Eu^*$ 和 $Tb_N/Yb_N$ 演化图上(图4),也充分显示了这几个层位稀土元素地球化学特征的特殊性,且这几个层位与前述的三个微量元素地球化学异常层正好吻合。

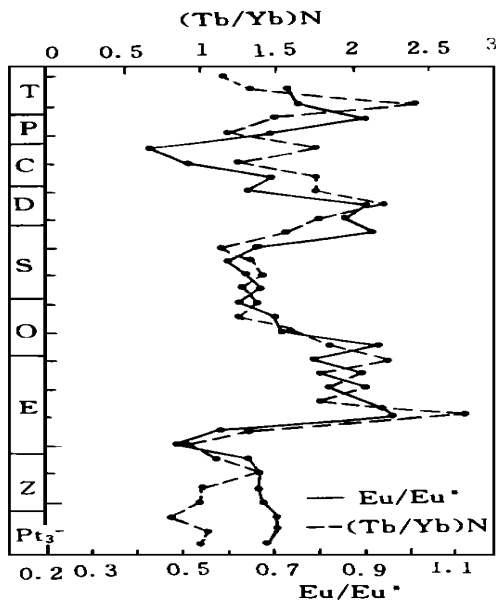


图4 地质历史中 $Eu/Eu^*$ 和 $Tb_N/Yb_N$ 演化图

Fig. 4 Evolution of  $Eu/Eu^*$  and  $Tb_N/Yb_N$  in geological history

综合上述微量元素和稀土元素分析可知,本区下寒武统、上泥盆统和上二叠统的元素地球化学特征明显不同于其它层位,而且由于这三个地球化学异常层的存在,使本区的沉积地球化学演化,经历了从晚元古代至志留纪、泥盆纪至石炭纪和二叠纪至三叠纪这三个明显的地球化学旋回。这三个地球化学旋回与本区的大地构造旋回完全吻合。本区从晚元古代到三叠纪,经历了两个大地构造旋回<sup>[8]</sup>。早震旦世以后,扬子板块和华夏板块开始拉张,至志留纪

末,扬子地台东南部的盆地板造演化经历了拉张裂谷( $Z \in$ )、缓慢沉降的被动大陆边缘( $O_{1-2}$ )和挤压造山( $O_3-S$ )的一个完整的大地构造旋回。泥盆纪以后,本区又进入了第二个大地构造旋回。经历了早期裂谷阶段( $D-P$ )、晚期裂谷和被动大陆边缘阶段( $P-T_1$ )以及周缘前陆盆地阶段( $T_2-3$ )。第一个沉积地球化学旋回与第一个大地构造旋回完全吻合;第二个和第三个沉积地球化学旋回与第二个大地构造旋回相对应,前者基本对应于第二个大地构造旋回的早期裂谷阶段,而后者对应于晚期裂谷和被动大陆边缘及周缘前陆盆地阶段。三个元素地球化学异常层段,分别与上述盆地发育的明显的拉张裂陷时期相对应。

## 4 沉积地球化学演化与地质事件

### 4.1 沉积地球化学演化与热水沉积事件

根据我们对上述元素地球化学异常层中泥质岩及伴生的硅质岩的地球化学研究,它们反映了明显的受益下深部富铁镁质物源影响的热热水沉积特征<sup>①</sup>,且近年来报道的我国南方存在的几个重要的热水沉积事件<sup>[10,11]</sup>也主要在这三个层位。这说明盆地拉张裂陷时期来自盆下深部物源的加入,是造成这些层位元素地球化学异常的重要原因之一。

### 4.2 沉积地球化学演化与缺氧事件

由缺氧事件形成的富有机质的黑色岩砂在地质历史发展不同演化阶段,如:震旦纪、寒武纪、志留纪、泥盆纪至二叠纪、白垩纪及第三纪等均有沉积。本区沉积地球化学演化中的三个元素地球化学异常层,正好位于三个缺氧事件的层位上。

我国南方下寒武统发育一套黑色岩系组合,层位相当稳定,在世界广大范围内均有分布,具有全球性或近于全球性的规模。它的形成与缺氧事件有关<sup>[10,11]</sup>。晚泥盆世,中国南方海盆达到最大的扩张和最大分异,台间盆地加宽,海平面上升,上泥盆统的这些黑色泥硅质岩,也是缺氧条件的沉积<sup>[12]</sup>。晚二叠世,我国南方长兴期的硅质岩和黑色泥岩,它们色深、层薄,普遍含黄铁矿、锰结核,有机碳含量高,生物为海绵骨针—硅质放射虫—菊石生物组合,说明为漂浮生物组合,这些特征,均说明其为缺氧沉积<sup>[13]</sup>。目前认为,造成这些缺氧事件的原因,可能与

① 于炳松,扬子地块西南部成矿地球化学背景研究,中国科学院地球化学研究所博士后科研报告,1996

外星撞击、海平面快速上升和上升洋流等的影响有关<sup>[10]</sup>。

### 4.3 沉积地球化学演化与海平面变化

本区的沉积地球化学旋回与海平面变化旋回具有很好的对应关系。三个地球化学异常层段,正好与本区海平面快速上升时期或海平面的最高时期<sup>[8, 10, 12, 13]</sup>相对应,这三个层位,即是三个密集段的所在。

与最大海泛面相对应的密集段(又叫凝缩段),是在一个沉积层序中水深最大,沉积速率最低的层段。该层段常常处于非补偿的饥饿状态和缺氧环境下,沉积物以泥质岩为主,且有机碳含量高,单位厚度所代表的时间长,加上高有机质的含量和粘土矿物的高吸附作用,使得密集段常常是各种金属元素的富集层。

### 4.4 沉积地球化学演化与生物绝灭事件

在地质历史演化过程中,地球上的生命总是随着环境的变化而变化。本区沉积地球化学演化中的三个地球化学异常层,正好与地史上大规模的生物绝灭事件相吻合<sup>[10, 12, 13]</sup>,这从某种意义上也说明了这三个层位是地质历史上环境条件发生突然变革的时代。

综上所述,我们可以清楚地看到,本区地质历史中的三个沉积地球化学旋回,与地球发展演化中的一系列事件有着密切的联系,这些不同性质的事件之间,在时间上存在着明显的一致性。笔者认为,这不是一种偶然的巧合,它们之间存在着必然的联系。本区沉积地球化学演化中的三个地球化学异常层,均形成在盆地演化过程中的拉张裂隙时期,此时常在盆地中心发生海底火山喷发作用,来自盆地下部地球深部的这种异常物源的加入,使沉积物的成分发生了很大的变化。与此同时的地外物体的撞击作用,可以加剧大陆的分裂,并带来一系列异常的成分。由此而造成的环境特变,是造成生物绝灭事件的主要原因之一。此外,与海底的快速扩张作用相对应,将导致全球性海平面的快速上升,海平面的快速上升与盆地拉张裂隙时期基底的快速沉降相结合,致使盆地内水深急剧增加,从而形成大规模的缺氧沉积。由此可见,本区地质历史中的这三个地球化学旋回,是地球发展演化过程中一系列地质事件作用的结果,也是这一系列地质事件的物质表现形式。通过它,也为我们进一步认识本区的地质发展历史,提供了一个强有力的地球化学证据。同时,对本区一系

列层控金属矿床成矿作用的研究证明,矿床主要赋存在寒武系、泥盆系和二叠—三叠系这三个层位中,且许多同位素示踪研究的结果证实了,成矿物质主要来源于赋矿地层及其附近的沉积地层<sup>[8, 10, 12, 13]</sup>。这说明上述的三个元素地球化学异常层对本区的成矿作用具有重要的控制作用,是成矿作用的重要物质基础。由于这些能为成矿作用提供大量成矿物质的矿源层的发育,明显地受地球这个大系统发育演化的控制,从而导致了与此有关的一系列成矿作用也具有明显的时控性。这是造成地质历史中成矿作用具时控性的重要原因之一。

### 参 考 文 献

- [1] 涂光炽等著. 华南元古宙基底演化和成矿作用. 北京: 科学出版社, 1993, 1-60.
- [2] Korotev R L. National Bureau of Standards coal flysch (SRM 1 633 a) as a multielement standard for instrumental neutron activation analysis. Proc, Internat. Symp, Nucl Anal, Chem, J Radiomnal, Nucl Chem, 1987, 110 159-177.
- [3] 中国科学院地球化学研究所. 简明地球化学手册. 北京: 科学出版社, 1977, 60-91.
- [4] McLennan, S M, Taylor, S R, Mo Gulloch, M T, and Maynard J B, Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites. Crustal evolution and plate tectonic associations, Geochim. Cosmochim. Acta, 1990, 2015-2050.
- [5] Nance, W B and Taylor, S R, Rare earth element patterns and crustal evolution I: Australian post-Archean sedimentary rocks, Geochim. Cosmochim. Acta, 1976 1539-1551.
- [6] 陈先沛, 陈多福. 广西上泥盆统乳房状燧石的热液沉积地球化学特征. 地球化学, 1989, (1): 1-8.
- [7] Haskin, L A, Haskin, M A, Pry, F A and Wildeman, T R, Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In: Abrens, L H (editor), Origin and Distribution of the elements. Pergamon, Oxford, 1968, 889-912.
- [8] 吴应林, 朱洪发, 朱忠发等. 中国南方三叠纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1994, 43-130.
- [9] 陈先沛, 陈多福. 华南几个热水沉积事件. 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室编, 矿床地质与矿床地球化学研究新进展. 兰州: 兰州大学出版社, 1990, 10-11.
- [10] 蒲心纯, 周浩达, 王熙林等. 中国南方寒武纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1993, 61-160.
- [11] 范德廉, 叶杰, 杨瑞英, 黄忠祥. 扬子地台前寒武—寒武界界线附近的依异常、缺氧事件及成矿作用. 中国科学院地球化学所年报. 贵阳: 贵州人民出版社, 1986, 45-46.
- [12] 曾允孚, 张锦泉, 刘文均等. 中国南方泥盆纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1993, 1-140.
- [13] 王立亭, 陆彦邦, 赵时久等. 中国南方二叠地相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1994, 1-134.

(Continued on page 147)

## Chemical Diagenesis of the Devonian Carbonate Rock in the Fankou Lead-Zinc Mine Area

*Lai Jianqing Yi Shijun Yang Chuxiong and Ding Chuanpu*

(Department of Geology, Central South University of Technology, Changsha 410083)

### Abstract

The multiple-stage diagenesis was revealed by the cathodoluminescence of carbonate rock samples. The minerals precipitated in shallow burial condition where the primary diagenesis occurred are high in a Mn content with weak luminescence, which resulted from the drop of Eh and pH values due to the decomposition of organic substances. With further falling of the Eh and pH values, the increase of  $Fe^{2+}$  contained in the minerals quenched the luminescence. Being in a deep burial condition, the pH value was controlled by the equilibrium between carbonate minerals and water, so the environment is alkaline. The condition is favourable to the formation of  $Mn(II)$  cation and contrary to  $Fe(II)$  cation. As a result, this precipitated minerals have a bright luminousness.

The carbon and oxygen isotope compositions of the whole rocks deviated from the range of marine environment but were close to that of fresh-water diagenetic environment. Diagenetic solution based on the Sr/Ca ratio in the minerals was analogous to that of fresh-water mixed with less than 10% marine-water. This solution made the minerals in lime-mud sediments dissolved and brought about dissolved-precipitation on a dynamic equilibrium with the increase of saturation.

Based on the studies above, the authors suggested "dissolved-solidification" is a new diagenetic pattern of lime-mud sediments solidified in fresh-water by way of dissolved-precipitation, which made the new minerals arranged inseparably.

**Key Words** diagenesis dissolved-solidification carbonate rock Fankou

(Continued from page 133)

## Sedimentary Geochemical Evolution from the Upper Proterozoic to the Triassic in the Southwest Yangtze Massif

*Yu Bingsong<sup>1</sup> Qiu Yuzhuo<sup>2</sup> and Li Juan<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>(China University of Geosciences, Beijing 100083)

<sup>2</sup>(Institute of geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

### Abstract

Through the systematic study of trace elements and REE geochemistry of mudstones deposited in the basin and lower slope environments from the Upper Proterozoic to the Triassic in the Southwest Yangtze Massif, three geochemical abnormal horizons, Lower Cambrian, Upper Devonian and Upper Permian, were discovered. Because of the alternate occurrence of three geochemical abnormal horizons, three geochemical cycles in geological history were distinguished. The geochemical cycles are corresponding to the geotectonic ones in this area. The geochemical abnormal horizons are corresponding to the pull-apart stages of geotectonic cycles and to a series of geological events, such as hydrothermal sedimentary events, anoxic events, extinct events of living things and so on. That so many events occurred in the geochemical abnormal horizons at the same time indicated these geochemical anomalies are the result of earth evolution. They are the products originating in the particular stages of earth evolution. So these geochemical anomalies, conversely, are the effective geochemical tracers to understand the earth, especially the crustal evolution.

**Key Words** sedimentary geochemical evolution sedimentary event crustal evolution