

文章编号: 0379-1726(2001)04-0383-07

# 贵州中、下寒武统界线层型候选剖面 地球化学特征研究

郭庆军<sup>1</sup>, 杨卫东<sup>1</sup>, 赵元龙<sup>2</sup>, 朱立军<sup>2</sup>, 杨瑞东<sup>2</sup>, 袁金良<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002; 2 贵州工业大学 资源环境工程学院, 贵州 贵阳 550003; 3. 中国科学院南京地质古生物研究所, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 在贵州台江八郎凯里组中、下寒武统界线层型候选剖面上, 对中、下寒武统界线剖面沉积岩地球化学特征进行了研究, 发现沉积岩中的微量元素含量和稀土元素分布模式沿剖面的变化均具规律性, 元素反映的沉积环境也具有类似特点。剖面微量元素及稀土元素地球化学特征在界线剖面 12~13 层之间变化明显, 突变点主要分布在这两层样品中。因此, 将八郎界线剖面上中、下寒武统界线置于剖面 12~13 层之间。

**关键词:** 中、下寒武统; 界线层型候选剖面; 地球化学特征; 贵州省

**中图分类号:** P595      **文献标识码:** A

## 0 引言

我国中、下寒武统界线研究始于 20 世纪 60 年代。几十年来, 人们对中、下寒武统的界线划分意见不一。由于早寒武世及中寒武世早期没有像中、晚寒武世那样广泛分布球结子类三叶虫及大量牙形刺, 所以对中、下寒武统界线进行全球划分和对比比较困难。我国华南地区中、下寒武统界线的划分主要有两种意见: 一种意见划分在 *Kunmingaspis-Chittidilla* 带之下<sup>[1-3]</sup>; 另一种意见划分在 *Kunmingaspis-Chittidilla* 带及相应的三叶虫带之上<sup>[4-6]</sup>。赵元龙等<sup>[7]</sup>认为中、下寒武统界线应划在 *Kunmingaspis-Chittidilla* 带相应的三叶虫 *Bathynotus-Nangaops* 带与 *Xingrenaspis-Oryctocephalus* 带之间。1996 年, 赵元龙等<sup>[8]</sup>提出中、下寒武统界线应划在 *Bathynotus* 与 *Oryctocephalus* 之间。1997 年, 袁金良等<sup>[9]</sup>首次提出了在过渡区划分中、下寒武统界线新定义: 即以 *Oryctocephalus indicus* 的出现作为中寒武世的开始。Sundberg *et al.*<sup>[10, 11]</sup> 等也发表文章, 提出以 *Oryctocephalus indicus* 的出现作为中寒武世的开始。朱立军等<sup>[12]</sup>对台江八郎凯里组剖面做了地球化学特征研究后赞同以上的划分方案。当然, 要建立国际  $\epsilon_1/\epsilon_2$  层型界线剖面, 仍有大量的工作要做。由于贵州一带寒

武纪属过渡区, 地层连续, 岩性以泥岩为主, 化石较为丰富, 是划分与对比中、下寒武统界线地层的较好地区。

研究表明, 化学元素, 特别是微量元素含量与组合沿沉积剖面的变化具有一定规律性、方向性和阶段性, 这些特性与地层的时代界线常常相互对应<sup>[12-18]</sup>。同时, 对海相地层生物化石的微量元素地球化学进行研究<sup>[17]</sup>, 探索古生代以来古海洋环境变化, 成为划分地层界线的依据之一。

本研究拟对中、下寒武统界线层型候选剖面——台江八郎凯里组剖面进行系统采样, 并对沉积岩中的微量元素含量和稀土元素分布模式沿剖面变化的规律性进行研究, 以确定中寒武统的起始位置。

## 1 界线剖面地质特征

位于贵州省凯里市东 60 多 km 的台江八郎地区, 其寒武纪大地构造位置为华南早古生代褶皱带三穗向斜的东南翼, 处于上扬子地台和华南地槽之间的过渡带(或称华南古大陆的被动边缘地区), 地层出露广泛而连续<sup>[1, 3]</sup>。贵州台江八郎中、下寒武统界线剖面(图 1)基本上由凯里组构成, 岩性主要是泥岩、页岩和粉砂质泥岩, 该剖面出露较好<sup>[9, 18]</sup>。界线

收稿日期: 2000-07-17; 接受日期: 2000-12-27

基金项目: 国家自然科学基金(40072047, 49772085); 中国科学院“西部之光”人才培养计划资助项目

作者简介: 郭庆军(1975-), 男, 博士研究生, 地球化学专业。



剖面下部主要是灰绿色粉砂质泥岩、页岩及灰色薄层泥灰岩; 剖面上部主要是以青绿色粉砂质泥岩为主。本剖面的重要特征是含有丰富的多门类化石, 如三叶虫、腕足、蠕虫和疑源类等。对这些化石均已进行了研究, 并建立了系统、完整的化石分带<sup>[9,18,19]</sup>。该剖面中、下寒武统界线附近生物组合有明显变化, 因此是划分与对比中、下寒武统界线地层的较好地区。

台江八郎中、下寒武统界线剖面是由郭庆军<sup>[15]</sup>测制的, 本研究做了修改(图 1), 现介绍如下。

#### 凯里组(Єk)

##### 中统

15 青灰色薄层泥页岩、粉砂质钙质泥岩, 层理清楚。产 *Pagetia* sp., *Xingrenaspis xingrenensis* 等, 厚 20 cm。

14 青灰色薄层粉砂质泥岩、页岩, 水平层理发育。产 *Xingrenaspis xingrenensis*, *Pagetia* sp. 等, 厚 15 cm。

13 青灰色、青黄色粉砂质泥岩, 层理较乱。产 *Pagetia* sp., *Oryctocephalus indicus*, *Kaotia globosa*, *Xingrenaspis xingrenensis* 等, 厚 34 cm。

##### 下统

12 青灰色粉砂质泥岩, 层理不清。产 *Pagetia* sp., *Nangaops danzhaiensis* 等, 厚 17 cm。

11 青灰色、灰色、灰黄色粉砂质泥岩, 粉砂质钙质泥岩, 层理混杂, 铁质风化为浅红色。产 *Danzhaina angustipalpebrata* 等, 厚 37 cm。

10 青灰色、灰黄色薄层粉砂质泥岩, 球状风化明显, 层理清晰。产 *Danzhaina angustipalpebrata*, *Nangaops danzhaiensis* 等, 厚 26 cm。

9 青灰色薄层粉砂质泥页岩, 有较强的球状风化, 层理清晰。产 *Nangaops danzhaiensis*, *Wiwaxia guizhouensis*, *Mufushania* sp., *Chitidilla (diandongaspis) guizhouensis*, 厚 25 cm。

8 青灰色、青黄色薄层粉砂质泥页岩, 由厚为 0.1~0.6 cm 的层理较好的小层组成, 球状风化明显。产 *Redlichia*, *Bathynotus gaotanensis*, *Nangaops danzhaiensis*, *Wiwaxia guizhouensis*, *Mufushania* sp. 等, 厚 32 cm。

7 青黄色薄层粉砂质泥页岩。产 *Chitidilla (diandongaspis) guizhouensis*, *Nangaops danzhaiensis* 等, 厚 17 cm。

6 青灰色粉砂质薄层泥页岩, 夹黄色泥岩。产 *Mufushania* sp., *Danzhaina angustipalpebrata*, *Nangaops danzhaiensis*, *Chitidilla (diandongaspis) guizhouensis* 等, 厚 21 cm。

5 青灰色薄层粉砂质泥页岩, 由厚度为 0.1~0.5 cm, 层理较好的小层组成, 层理清晰。岩石表面有云母碎片。产 *Wiwaxia guizhouensis*, *Nangaops danzhaiensis*, *Mufushania* sp., *Danzhaina angustipalpebrata* 等, 厚 25 cm。

4 青灰色薄层泥岩, 风化更强, 粉砂质含量不均, 小层厚度为 0.2~0.8 cm。产 *Kootenia Yuana Zhao*, *Yuan et. Ahlberg* sp. nov., *Nangaops danzhaiensis* 等, 厚 28 cm。

3 青灰色、泥黄色泥岩, 层理发育, 表面呈球状风化特征, 铁质风化强烈。产 *Kootenia Yuana Zhao*, *Yuan et. Ahlberg* sp. nov., *Nangaops danzhaiensis*, *Redlichia* 等, 厚 21 cm。

2 青黄色薄层泥岩, 小层厚度 0.5~1 cm 左右, 球状风化明显。产 *Bathynotus gaotanensis*, *Nangaops danzhaiensis* 等, 厚 40 cm。

1 青灰色薄层钙质粉砂质泥岩, 有较强的球状风化现象。富化石。产 *Nangaops danzhaiensis*, *Bathynotus gaotanensis*, *Chitidilla (diandongaspis) guizhouensis* 等, 厚 65 cm。

## 2 黔东八郎中、下寒武统界线剖面地球化学特征

在贵州台江中、下寒武统界线剖面上采集的样品(图 1), 经中国科学院矿床地球化学开放实验室分选处理后, 采用德国 Finnigan Mat 252 型等离子体质谱仪(ICP-MS)系统分析了样品中的 B、Sc、V、Cr、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Sr、Ba 和 Pb 等微量元素含量和 15 种稀土元素含量(表 1 和表 2), 仪器精密度优于 5%, 标样结果与推荐值相对误差小于 10%, 微量元素及稀土元素含量、分布模式及比值在地层中的演化规律结果见表 1、表 2 和图 1。

### 2.1 微量元素地球化学特征及界线划分依据

图 1 和表 1 是剖面中微量元素含量沿剖面变化的一些特征, 总体上微量元素含量和比值沿剖面从下到上表现出高→低→高或低→高→低的变化趋势, 在 12 层与 13 层之间, B、Sc、V、Co、Cr、Ni、Cu、U、Ba、Ga 和 Th 等元素含量突然降低; 而 Pb、Zn 和 Sr 等元素含量突然上升, 并且从 1 层到 12 层, 曲线变化平缓, 而在其以上层位, 则变化幅度较大, 表明在 12 层与 13 层之间是一个重要的转折点。

### 2.2 稀土元素地球化学特征及界线划分依据

台江八郎界线剖面稀土元素总量变化范围为 218.9~251.5 μg/g(表 2)。本剖面沉积岩稀土元素含量、比值及地球化学参数与地壳中同类沉积岩稀土元素特征相似, 页岩的稀土元素总量最高, 粉砂质泥页岩次之。台江剖面沉积岩中, 稀土元素以轻稀土相对富集( $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE} = 3.79 \sim 4.89$ ), Eu 轻度亏损和无明显 Ce 亏损(表 2)为特点。在北美页岩为标准化的稀土元素分布模式上, 台江剖面沉积岩稀土元素分布模式呈近平滑的水平曲线(图 2), 曲线均向右倾斜, 表现出典型的沉积岩稀土元素地球

表 1 台江八郎剖面微量元素含量( $\mu\text{g/g}$ )和地球化学参数Table 1 Trace element contents ( $\mu\text{g/g}$ ) and the relative geochemical parameters for the Balang section in Taijiang

样品号	B8-1	B8-2	B9-1	B9-2	B9-3	B10-1	B10-2	B10-3	B11	B12
B	320.2	415.7	391.5	363.0	283.3	362.6	314.6	299.7	359.8	301.0
Sc	18.04	17.50	17.78	17.07	17.02	18.71	18.14	15.49	15.66	14.64
V	119.5	120.7	118.9	116.8	119.0	124.9	121.9	99.97	105.7	95.44
Cr	135.9	137.9	134.3	132.7	133.8	141.3	139.0	124.0	123.1	118.6
Co	21.48	23.40	18.16	18.25	20.84	22.52	22.94	21.66	20.85	18.40
Ni	52.40	52.90	48.81	48.70	49.97	54.08	50.60	50.04	52.47	48.74
Cu	40.95	44.00	34.61	39.09	35.94	28.04	24.71	22.16	21.23	28.65
Zn	72.00	75.20	72.88	67.97	70.83	73.24	70.41	70.95	84.96	67.35
Ga	25.08	25.10	25.25	24.24	24.22	26.68	26.12	22.04	23.16	20.86
Sr	112.1	117.0	112.7	115.8	106.5	114.4	113.4	145.9	122.5	138.6
Ba	541.6	531.2	529.8	523.3	611.4	674.8	716.3	683.2	716.6	740.9
Pb	20.70	19.30	19.88	18.17	18.20	17.13	16.37	18.42	14.05	12.20
Th	20.55	21.20	20.52	20.18	21.23	22.55	22.78	17.99	19.08	18.05
U	2.857	2.800	2.781	2.725	2.826	2.953	3.097	2.872	2.835	2.575
Sr/Ba	0.21	0.2	0.21	0.22	0.17	0.17	0.16	0.21	0.17	0.19
V/Ni	2.28	2.3	2.44	2.40	2.38	2.31	2.41	2.00	2.02	1.96
Th/U	7.19	7.5	7.38	7.40	7.51	7.64	7.35	6.26	6.73	7.01

表 2 台江八郎剖面稀土元素含量( $\mu\text{g/g}$ )及地球化学参数Table 2 REE contents ( $\mu\text{g/g}$ ) and the relative geochemical parameters for the Balang section in Taijiang

样品号	B8-1	B8-2	B9-1	B9-2	B9-3	B10-1	B10-2	B10-3	B11	B12
La	47.45	49.37	47.89	46.60	48.31	51.63	53.79	42.66	44.95	41.70
Ce	87.99	92.46	87.39	84.91	89.50	95.16	97.51	80.14	82.18	82.03
Pr	10.27	10.65	10.26	9.904	10.23	11.19	11.39	9.354	9.551	9.415
Nd	35.76	36.84	35.67	34.12	35.65	37.48	38.41	33.34	33.15	33.21
Sm	6.852	6.869	6.473	6.408	6.295	6.419	6.520	6.56	6.198	6.445
Eu	1.233	1.178	1.167	1.071	1.040	1.113	1.151	1.251	1.221	1.317
Gd	5.527	5.098	4.848	4.545	4.491	4.724	4.570	5.296	4.835	5.35
Tb	0.751	0.795	0.726	0.692	0.686	0.733	0.725	0.796	0.731	0.763
Dy	4.671	4.565	4.298	4.431	4.682	4.907	4.837	5.06	4.901	4.866
Ho	0.723	0.716	0.706	0.643	0.694	0.688	0.729	0.765	0.678	0.693
Er	2.664	2.669	2.494	2.456	2.507	2.670	2.724	2.576	2.315	2.64
Tm	0.355	0.359	0.322	0.331	0.331	0.344	0.370	0.35	0.337	0.354
Yb	3.953	2.645	2.497	2.559	2.592	2.818	2.576	2.711	2.326	2.636
Lu	0.376	0.399	0.368	0.437	0.371	0.406	0.408	0.386	0.629	0.396
Y	27.01	26.24	24.67	24.29	24.97	25.52	25.79	27.74	25.21	27.09
$\Sigma\text{REE}$	235.6	240.9	229.8	223.4	232.4	245.8	251.5	219.0	219.2	218.9
$\Sigma\text{LREE}$	189.6	197.4	188.8	183.0	191.0	203.0	208.8	173.3	177.2	174.1
$\Sigma\text{HREE}$	46.03	43.48	40.93	40.38	41.32	42.81	42.73	45.68	41.96	44.78
$\frac{\Sigma\text{LREE}}{\Sigma\text{HREE}}$	4.12	4.54	4.61	4.53	4.62	4.74	4.89	3.79	4.22	3.89
$\delta\text{Ce}$	0.94	0.95	0.93	0.93	0.95	0.94	0.93	0.95	0.94	0.98
$\delta\text{Eu}$	0.94	0.93	0.98	0.93	0.91	0.94	0.98	1.00	1.04	1.05

注:  $\delta\text{Ce}$  和  $\delta\text{Eu}$  值根据北美页岩标准化数据计算。

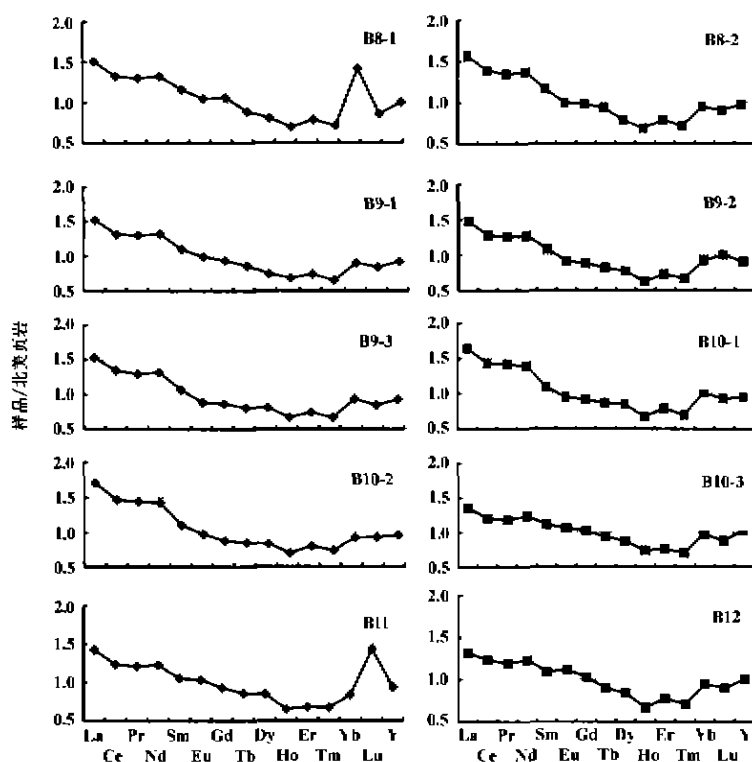


图 2 台江剖面沉积岩北美页岩标准化稀土元素分布模式

Fig. 2 NASC-normalized REE distribution patterns for sediments in Taijiang section

化学特征,特别是剖面沉积岩中泥岩存在 LREE 相对富集和轻度 Eu 负异常,具有与北美页岩相似的富 LREE 的分布模式。 $\Sigma\text{REE}$ 、 $\Sigma\text{LREE}$ 、 $\Sigma\text{HREE}$ 、 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$  等值在界线剖面 12 层以下,曲线变化平缓,而在 13 层以上层位变化趋势明显(图 1),也反映出 12 层与 13 层之间存在一个重要转折点。

### 2.3 黔东八郎中、下寒武统界线划分

在沉积作用过程中,沉积物与介质之间存在着复杂的地球化学平衡关系,不同元素在不同环境中的含量和比值就会存在差异。正是由于沉积岩中微量元素及稀土元素的分布及分配同其形成环境密切相关,特别是相关微量元素比值和稀土元素地球化学参数受成岩、后生作用影响较小,是地层界线划分的重要依据和判别沉积环境变化的良好标志<sup>[12, 15, 16, 18, 20-22]</sup>。

#### 2.3.1 Ce 异常( $\delta\text{Ce}$ )

$\delta\text{Ce}$  值是反映 Ce 异常程度的地球化学参数<sup>[15, 21]</sup>。Ce 是变价元素, Ce 元素还可以呈  $\text{Ce}^{4+}$  离子形式存在于海水及沉积物中,与其他三价稀土元素发生分离,出现异常行为<sup>[15, 21]</sup>。成岩介质氧化还原

条件的变化,引起了 Ce 与其他稀土元素的分离。通常在氧化条件下,  $\text{Ce}^{3+}$  氧化成  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Ce}^{4+}$  易发生水解和被 Fe、Mn 的氧化物吸附而发生沉淀,造成海水中 Ce 的亏损。在缺氧还原条件下, Fe 的氧化物溶解,  $\text{Ce}^{4+}$  还原为  $\text{Ce}^{3+}$ , 使海水中 Ce 的亏损消失,甚至出现相对富集。台江与丹寨地区的  $\delta\text{Ce}$  在 0.95~0.97 之间变化,基本上不出现亏损,总体上呈现出一种以粘土及细碎屑沉积为主、海水深度较大的还原条件下的沉积环境<sup>[12, 19, 21]</sup>,属于陆棚边缘盆地相。在剖面 13 层及以上层位,沉积岩样品  $\delta\text{Ce}$  值升高,最后达到最大值(表 1, 图 1),说明界线上部沉积环境氧化补给减少,  $\text{Ce}^{4+}$  还原为  $\text{Ce}^{3+}$ , 环境较下部还原。

#### 2.3.2 Eu 异常( $\delta\text{Eu}$ )

常用  $\delta\text{Eu}$  表示地质体中 Eu 的异常性质特征。Eu 有  $\text{Eu}^{2+}$  和  $\text{Eu}^{3+}$  两种价态。在碱性、氧化条件下,  $\text{Eu}^{2+}$  可以氧化成  $\text{Eu}^{3+}$ ; 而在强酸性、还原条件下可以期望得到  $\text{Eu}^{2+}$ <sup>[21]</sup>。样品的  $\delta\text{Eu}$  值基本上小于 1(表 2),这符合太古宙以后的多数沉积岩中发现有 Eu 负异常的情况<sup>[21]</sup>。在剖面 13 层以上,沉积岩样品  $\delta\text{Eu}$  值升高较快,趋势明显(表 1, 图 1),说明  $\text{Eu}^{3+}$  更易还原成  $\text{Eu}^{2+}$ , 显示 13 层沉积环境较下部更趋向于还原环境。

#### 2.3.3 Th/U 比值

Th/U 比值是反映沉积环境的氧化-还原条件的重要参数。U 和 Th 是地球化学性质很相似的元素对, U 是变价元素,有  $\text{U}^{4+}$  和  $\text{U}^{6+}$  两种价态。  $\text{U}^{4+}$  较稳定,而  $\text{U}^{6+}$  活泼,易形成络离子迁移<sup>[22]</sup>。在还原条件下,  $\text{U}^{6+}$  易形成可溶化合物,使 Th/U 比值减少,而在氧化环境中 Th/U 比值升高<sup>[15, 22]</sup>。台江地区 Th/U 比值在 6.26~7.63 间变化,在当时沉积环境还原条件更明显, Th/U 比值大。所以台江地区当时沉积环境以还原环境为主<sup>[12, 15, 18, 19, 22]</sup>。在界线剖面上, 12 层以下的样品 Th/U 比值较高(表 1),同时比值相差不大,曲线较为平缓(图 1); 而 13 层中样品的 Th/U 比值突然减小, 13 层及以上层位样品的 Th/U 比值与下部的值相差较大(表 1, 图 1),说明在 13 层沉积环境中,  $\text{U}^{6+}$  易还原为  $\text{U}^{4+}$ , 显示沉积环境短时间呈现还原环境,可能说明 13 层沉积环境处于

缺氧状态。

#### 2.3.4 Sr/Ba 比值

Sr/Ba 比值常用于研究古海洋环境的变化,是显示沉积环境水体深浅和元素的迁移富集的重要参数。Sr 和 Ba 是地球化学性质很相似的元素对,同属亲石元素。但在沉积盆地水体中, Sr 和 Ba 的地球化学行为有显著的区别, Sr 主要从海水中直接沉淀, Ba 则极易被粘土及细碎屑沉积物以吸附形式富集<sup>[22]</sup>, Ba 含量越高,则反映水体越深。在水动力条件变化较大、阳光充足的滨海和浅海地带,大量的  $\text{Sr}^{2+}$  离子通过以生物堆积作用为主的方式沉淀下来,形成较高的 Sr/Ba 比值( $\text{Sr}/\text{Ba} > 1$ )<sup>[22]</sup>。随着沉积盆地水体深度的增加,沉积物中 Sr/Ba 比值较低,在半深海、深海或滞流海域的沉积物中 Sr/Ba 比值小于 1<sup>[12, 16, 18, 22]</sup>。台江剖面沉积岩中的 Sr/Ba 比值均小于 1,表明本区沉积环境主要为半深海、深海或浅海滞流区。结合沉积相分析,属于陆棚边缘盆地相及浅海陆棚相,水体较深,水动力较弱,阳光不充足,粘土或细碎屑沉积物发育,形成较低的 Sr/Ba 比值。在 12 层及其下部,各层的 Sr/Ba 比值较小;但是 13 层的沉积岩样品 Sr/Ba 比值突然升高(表 1,图 1)。可能由于海平面下降,造成 13 层沉积环境发生变化,导致 Sr/Ba 比值发生明显的变化。这可能说明该地区处于一个区域性的缺氧环境<sup>[10]</sup>(图 1)。

#### 2.3.5 V/Ni 比值

V/Ni 比值是反映海水中的元素迁移富集能力和氧化还原条件的重要参数。V 和 Ni 同属铁族元素,其离子价态易随氧化度变化,两者在海水中的迁移富集能力不同。在海水中, V 和 Ni 主要被胶体颗粒或粘土等吸附沉淀,但 V 易于在氧化环境及酸度较大的条件下被吸附富集; Ni 则在还原环境、碱度较大的条件下更易于迁移富集<sup>[12, 16, 18, 22]</sup>。因此,由浅海区到深海或由海水能量强的海域到海水能量较低的滞流海域,海水的氧化度和酸度降低,还原度和碱度增加,沉积物中 Ni 的富集程度明显增加, V/Ni 比值降低,形成与 Sr/Ba 比值变化相同的变化特征。台江剖面的沉积岩样品 V/Ni 比值变化范围为 1.96~2.44,落入半深海、深海或滞流海域 V/Ni 比值范围内,反映为陆棚边缘盆地相及浅海陆棚相<sup>[12, 16, 18, 22]</sup>。在 12 层及其下部,各层的 V/Ni 比值较大、相互之间相差不大;但是 13 层的沉积岩样品 V/Ni 比值有一个突然明显减小的变化,13 层及上部的样品 V/Ni 比值与下部相差较大(图 1,表 1)。说明 13 层及以上层位沉积环境中, Ni 更易于迁

富集,沉积环境较下部更趋于还原。

## 3 结 论

台江八郎界线剖面沉积岩中微量元素及稀土元素特征沿剖面呈现出一定的规律性。由  $\Sigma\text{REE}$ 、 $\delta\text{Ce}$ 、 $\delta\text{Eu}$ 、Sr/Ba、V/Ni 和 Th/U 等的变化规律,可以推断在早寒武世晚期,沉积环境主要是偏氧化、气候干燥的沉积环境,生物以 *Radlichia*、*Bathynotus* 和 *Nanguops* 等为主;而在早-中寒武世交变期,由于该地区可能处于一个区域性的缺氧环境(图 1)、沉积环境的变化导致了許多属种生物灭绝。随后,由于沉积环境变化,导致了新的生物组合的出现,即是以 *Oryctocephalus indicus*、*Pagetia* 等生物为主,形成了与早寒武世晚期完全不同的生物组合;由于剖面微量元素及稀土元素地球化学特征在界线剖面 12~13 层之间变化明显,突变点主要分布在这两层样品中。因此,该界线位于整个台江八郎剖面(台江八郎凯里组剖面)的 10 层内部(即台江八郎界线层型剖面 12~13 层之间),这一界线划分位置略高于以前的划分<sup>[10]</sup>,与生物组合特征等方面取得的结论<sup>[9, 12, 16, 18]</sup>是一致的。

#### 参考文献:

- [1] 项礼文. 中国的寒武系(中国地层 4) [M]. 北京:地质出版社, 1981 1~210.
- [2] 罗惠麟. 滇东南寒武系的划分与对比[J]. 地质学报, 1984, 58(2): 87~96
- [3] 尹恭正. 贵州区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1987 1~698.
- [4] 卢衍豪, 朱兆玲. 中国寒武纪地层对比表及说明书[A]. 中国科学院南京地质古生物研究所. 中国各纪地层对比表及说明书[C]. 北京:科学出版社, 1982. 1~229.
- [5] 孙振华. 湖北大洪山南部早寒武世晚期三叶虫[J]. 古生物学报, 1982, 21(3): 302~308.
- [6] 赵元龙, 黄友庄, 毛家仁, 等. 华南地区中、下寒武统界线划分的几点建议[J]. 贵州地质, 1992, 9(3): 241~245.
- [7] 赵元龙, 袁金良, 张正华, 等. 华南过渡区凯里组及其同期地层的初步研究[J]. 地层学杂志, 1993, 17(3): 171~178.
- [8] Zhao Y L, Yuan J L, Zhu L J, et al. The division of the Lower-Middle Cambrian boundary in China [J]. J Guizhou Univ Technol, 1996, 25(4): 1~10.
- [9] 袁金良, 赵元龙, 周震, 等. 贵州台江八郎下、中寒武统界线及三叶虫动物群[J]. 古生物学报, 1997, 36(4): 494~524.
- [10] Sundberg F A, McCullum L B. Oryctocephalids (Corynexochia: Trilobita) of the Lower-Middle Cambrian boundary interval from California and Nevada [1]. J Paleont, 1997, 71: 1 065~1 090.
- [11] Sundberg F A, 袁金良, McCullum L B, et al. Correlation of the

- Lower-Middle Cambrian boundary of South China and Western United States of America [J]. 古生物学报, 2000, 39(增刊): 102 ~ 107.
- [12] 朱立军, 赵元龙. 贵州中、下寒武统界线剖面微量元素地球化学特征[J]. 古生物学报, 1996, 35(5): 623 ~ 630.
- [13] 叶连俊, 范德廉, 杨哈莉, 等. 华北地原震旦系、寒武系、奥陶系化学地史[J]. 地质科学, 1964, 3: 203 ~ 229.
- [14] Zhao Z H, Zhao H L. NIGPS Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in China. Cambrian-Ordovician Boundary (2) [M]. Hefei. Anhui Science and Technology Publishing House, 1984. 325 ~ 340.
- [15] 赵振华, 赵惠兰, 柴之芳, 等. 太阳庙寒武系-奥陶系界线层型剖面的无纹纲及沉积岩微量元素地球化学[J]. 中国科学(B辑), 1989, 8: 877 ~ 887.
- [16] 郭庆军, 杨卫东, 赵元龙, 等. 贵州丹寨中、下寒武统界线剖面地球化学特征研究[J]. 矿物学报, 2001, (待刊)
- [17] Wright J, Seymour R S, Shaw H F. REE and Nd isotopes in Conodont apatite: Variations with geological age and depositional environment [A]. Clark D L. Conodont Biofacies and Provincialism [C]. Geol Soc Am Sp Pap 196. Boulder: Geol Soc Am, 1984. 325 ~ 340.
- [18] 郭庆军. 黔东过渡地区中、下寒武统界线研究[D]. 贵阳: 贵州工业大学, 1999.
- [19] 张正华, 沈建伟, 龚显英, 等. 贵州台江中寒武世凯里组动物群保存环境初探[J]. 古生物学报, 1996, 35(5): 607 ~ 622.
- [20] 中国科学院地球化学研究所. 高等地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 1 ~ 491.
- [21] 于中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 1 ~ 535.
- [22] 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学导论[M]. 北京: 地质出版社, 1987. 1 ~ 281.

### Geochemical characteristics of the stratotype candidate boundary section of the Middle-Lower Cambrian, Guizhou

GUO Qing-jun<sup>1</sup>, YANG Wei-dong<sup>1</sup>, ZHAO Yuan-long<sup>2</sup>, ZHU Li-jun<sup>2</sup>,  
YANG Rui-dong<sup>2</sup>, YUAN Jin-liang<sup>3</sup>

1. Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Resource Environmental Institute of Engineering, Guizhou University of Technology, Guiyang 550003, China; 3. Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 250008, China

**Abstract:** Geochemical characteristics of sedimentary rocks on the stratotype candidate boundary section of the Middle-Lower Cambrian in Taijiang, Guizhou have been studied. The results show that variations of trace element contents and REE distribution patterns along the section have similar regular characteristics, and the sedimentary environment reconstructed by these elements has similar features. Bed 12 and Bed 13 have obviously different geochemical variations of trace and rare earth elements. It is concluded that the boundary of the Lower-Middle Cambrian is located between Bed 12 and Bed 13 on the section.

**Key words:** Lower-Middle Cambrian boundary; stratotype boundary section; geochemical characteristics; Guizhou Province