

贵州丹寨下、中寒武统界线划分

郭庆军¹, 杨卫东¹, 赵元龙², 朱立军³, 袁金良², 杨瑞东²

(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】 本研究是首次对贵州丹寨凯里组界线剖面界线层的沉积岩地球化学特征进行研究; 分析沉积岩中的微量元素, 探讨稀土元素分布模式及微量元素含量沿剖面变化的规律性, 对沉积环境进行分析, 结合古生物学者对界线剖面宏观生物组合和疑源类的研究所确定的划分定义, 确定界线划分的地球化学划分方案, 从而为丹寨下、中寒武统界线划分提供地球化学依据, 并且根据对丹寨界线剖面下、中寒武统界线层化学事件研究结果, 将界线置于3层~1层之间。

【关键词】 贵州丹寨; 下、中寒武统; 界线剖面; 界线划分

中图分类号: P618.130.2; P593 文献标识码: A

文章编号: 1001-6872(2001)04-0011-05

0 引言

在寒武纪地层研究课题中, 下、中寒武统界线研究仍然是一个至今尚未圆满解决的全球性难题。原来我国华南地区下、中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^[1]; 另一意见划在 *Kunmingaspis-Chittidilla* 带及相应的三叶虫带之上。此后, 赵元龙等^[2]提出下、中寒武统界线应划在 *Bathynotus* 与 *Oryctocephalus* 之间。袁金良、赵元龙^[3]又首次提出了在过

渡区划分下、中寒武统界线新定义; 也即以 *Oryctocephalus indrus* 的出现作为中寒武世的开始, 本文拟从地球化学特征方面来探讨这一划分的正确与否。由于贵州丹寨一带寒武纪属过渡区, 岩性以泥岩为主, 并有页岩和灰岩出露, 化石较为丰富, 地层连续, 寒武纪地层出露广泛, 发育完整, 地跨扬子与江南地区, 是深入研究我国寒武纪地层较为重要地区之一, 因此也是划分和对比下、中寒武统界线地层的较好地区。由于古生物学者根据以上划分原则, 将丹寨下、中寒武统界线划分在不同生物组合间, 界线上、下截然不同的生物组合, 显示了地史时期的早、中寒

收稿日期: 2001-03-27 改回日期: 2001-05-10

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

作者简介: 郭庆军, 男, 26岁, 博士研究生, 地球化学专业, 研究方向: 沉积地球化学

式世之间必然有事件的发生。由于化学元素,特别是微量元素含量与组合及稀土元素地球化学参数沿沉积剖面的变化具有一定规律性和阶段性,这种特性与地层的时代界线常常相互对应^[1-16],这些地球化学参数,可以作为判断当时的物质来源和沉积环境演化等的地球化学指示剂;而且生物组合不同、生物含量多少以及不同物质混入程度的高低,与物质来源、沉积环境和地质事件有关。本研究是对丹寨平寨剖面界线层化学事件形成的不同生物组合沉积记录的沉积岩地球化学特征进行研究;对该沉积岩中的微量元素进行分析,探讨稀土元素配分模式及微量元素含量沿剖面变化的规律性,将该剖面与台江剖面比较,确定界线划分的最优方案及最佳层位,从而作出比较合乎客观规律的下、中寒武统界线和界线层型剖面,这对于华南地区,乃至中国、世界的下、中寒武统界线的划分和对比具有重要意义。

1 丹寨平寨下、中寒武统界线剖面地质特征

丹寨平寨剖面由赵元龙、周丕康等于1981年测制。剖面位于贵州丹寨县兴仁镇以东8 km的平寨村边,剖面露头较好,地层连续,主要是由泥岩、粉砂质泥岩、钙质泥岩夹少量灰岩组成,下伏地层为黄绿色页岩夹灰岩的乌训组,上覆地层甲劳组岩性是灰至灰黑色泥质灰岩、粉砂质页岩、粉砂岩,剖面的总厚度为277.2 m。该剖面下、中寒武统界线附近生物组合有明显变化:界线下部岩石主要是由泥岩、钙质泥岩夹少量灰岩组成,主要产出化石:*Nanguops nanguoensis*, *N. danzhaensis*, *N. elongatus*, *Redlichia* sp., *Olenoides abnormis*等;界线上部地层由粉砂质泥岩、钙质泥岩、泥岩组成,韵律性沉积,水平层理发育,化石丰富,主要产出化石:*Pagetia sayensis*, *Oryctocephalus indicus*, *O. elongatus*, *Kaolau global*等。

2 微体化石疑源类研究

通过对丹寨平寨剖面样品微体化石疑源类的研究^[17],发现疑源类化石沿剖面的数量变化也有一定的规律性和突变性,这种特性与地球化学特征变化、生物组合的变化出现惊人的一致性,是界线划分的依据之一^[11,16,17]。剖面疑源类微体化石分布特点是3层~4层之间出现突然大幅度减少(图1),而从4层以上,化石数量则不断增加。由此可以发现3层~4层之间为突变点,将界线划分在两层之间是合理的^[16,17]。

3 丹寨平寨下、中寒武统界线剖面地球化学特征

在贵州丹寨下、中寒武统界线剖面上采集的18块样品,分选处理后,对样品进行微量元素和稀土元素的分析。在中国科学院矿床地球化学开发实验室,采用法国 Finnigan Mat252 型等离子质谱仪(ICP-MS),系统分析了B, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Sr, Ba, Pb等微量元素和15种稀土元素(表1)^[18],仪器精密度<5%,标样结果与推荐值相对误差<10%。

3.1 元素地球化学特征分析

3.1.1 微量元素地球化学特征研究 分析图1和表1,可以发现剖面中微量元素含量和组合沿剖面变化与沉积岩页岩微量元素比较:微量元素丰度和比值沿剖面从下到上总体表现出高→低→高或低→高→低的变化趋势,并且在剖面上(图2),曲线中间变化幅度较小,而在其上部和下部,则存在剧烈的变化周期;同时,生物组合在3层与4层之间也不同^[17],所以3层与4层之间是剖面上一个变化的转折点。

3.1.2 稀土元素地球化学特征分析 剖面沉积岩稀土元素丰度、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,砂页岩的稀土元素总量最高,粉砂质泥页岩次之,丹寨平寨界线剖面稀土元素总量的变化范围为 $259.2 \cdot 10^{-6} \sim 175.7 \cdot 10^{-6}$ (表2)。丹寨剖面沉积岩中,稀土元素以轻稀土相对富集(LREE/HREE=3.11~4.80)(表2),在以北美页岩为标准的丹寨剖面沉积岩稀土元素配分模式沉积岩中存在LREE相对富集,轻度Eu负异常(特别是剖面的下部),曲线均具有向右倾斜(图3)的特征,这与地壳中太古代以后的沉积岩普遍存在LREE富集, Eu负异常极为相似,同时也符合泥页岩的稀土元素组成上的特点。在丹寨剖面上,ΣREE, ΣLREE, ΣHREE, ΣLREE/ΣHREE值沿剖面表现出周期性变化。

3.2 丹寨平寨剖面下、中寒武统界线研究

3.2.1 稀土元素地球化学参数 沉积岩样品的 $\delta^{137}\text{Ce}$, $\delta^{152}\text{Eu}$, Sm/Nd, (La/Yb)_N等稀土元素地球化学参数,可用作判断物质来源和沉积环境演化等的地球化学指示剂。

Ce异常($\delta^{137}\text{Ce}$)

$\delta^{137}\text{Ce}$ 值是反映Ce异常程度的地球化学参数,该值反映稀土元素Ce富集和亏损的情况。在海水及

表 1 丹寨平寨剖面微量元素质量分数和地球化学参数 (wtB/10⁻³)

Table 1 Trace element contents and geochemical parameters for Pingzhai-Danzhai section (in 10⁻³)

样号	K1	K2	K3-1	K3-2	K4	K5-1	K5-2	K7	R2	R9	R13	R14	R15	R16	K18	R19	R21	K23
L	80.24	75.27	71.02	72.7	67.65	494	-1.48	3.00	59.57	78.9	80.82	76.7	81.17	77.1	75.02	82.6	69.57	476.0
Sc	17.75	17.41	17.39	17.39	16.23	7.0	48.14	11.2	15.29	16.9	18.19	19.1	16.28	16.2	19.41	15.6	15.30	15.22
V	116.7	118.1	116.5	115.	119.5	118	120.5	82.9	89.5	119.5	116.6	119	104.4	117	63.80	84.3	93.86	91.49
Cr	129.9	129.4	127.2	127	121.5	130	127.8	107	115.1	137	144.7	129	128.6	144	83.92	104	121.6	114.5
Co	24.0	24.17	21.93	20.4	23.27	24	19.8	17.1	15.35	19.7	24.31	22.1	17.64	24.5	41.39	12.6	15.16	18.23
Ni	43.90	49.95	45.94	47.7	46.74	48	70.79	41.9	44.41	57.9	32.22	30.7	53.42	39.6	33.6	10.1	47.40	70.27
Cu	32.40	31.23	30.17	25.4	33.96	59.2	25.27	29.1	22.14	39.4	36.7	31.1	37.34	34.7	21.69	19.3	57.35	40.37
Zn	4.5	7.1	82.75	83.9	86.17	99.1	39.92	86.1	89.98	116	101.2	126	97.13	94.6	78.77	96.9	91.34	130.4
Ga	21.43	24.79	23.8	21.73	25.4	21.7	25.56	17.7	19.87	24.8	25.86	26.7	23.94	26.1	11.21	18.9	21.61	22.29
Sr	97.56	89.96	47.67	71.7	115.7	71.0	72.59	173	178.4	167	86.84	53.6	166.8	87.4	316.1	110	113.7	139.7
Ba	729.7	579.1	524.9	601	471.4	611	573.2	348	369.8	452	519.3	594	765.9	173	293.9	461	498.9	388.1
Pb	18.77	18.96	11.56	11.9	16.81	14.7	14.49	12.7	15.12	19.3	9.323	19.6	9.137	29.5	67.47	11.4	11.23	11.47
Th	49.92	49.62	49.17	29.1	18.65	29.3	29.21	45.7	17.29	49.3	49.95	26.6	48.82	18.8	12.51	16.6	29.16	17.29
U	3.36	3.44	3.17	3.79	3.476	3.3	2.713	2.15	2.45	2.72	2.79	2.66	2.69	2.74	1.83	2.73	2.72	2.24
Sr/Ba	0.17	0.15	0.186	0.12	0.244	0.1	0.127	0.54	0.48	0.23	0.17	0.14	0.21	0.18	1.29	0.55	0.15	0.15
V/Ni	2.37	2.78	2.375	2.41	2.485	2.15	2.374	1.98	2.92	1.91	1.87	1.97	1.93	1.59	1.99	2.19	2.41	1.89
Th/U	1.76	1.71	1.046	1.62	5.533	8.13	7.351	7.32	7.42	7.1	7.47	7.77	6.93	6.88	6.84	5.97	7.76	9.51

测试单位:中国科学院贵阳地球化学研究所,测试人:袁亮

表 2 丹寨平寨剖面稀土元素质量分数及参数 (wtB/10⁻³)

Table 2 REE contents and geochemical parameters for Pingzhai-Danzhai section (in 10⁻³)

样号	R1	R2	R3-1	R3-2	R4	K5-1	R5-2	K7	R2	R9	R13	R14	R15	R16	R18	K19	K21	R23
L	13.7	19.7	46.33	49.3	45.25	59.7	71.87	41.7	35.58	11.5	47.20	47.3	43.93	47.9	32.24	11.1	46.48	39.75
Cr	79.8	92.3	87.82	91.3	91.17	97.1	93.21	81.9	59.95	84.2	88.89	89.2	87.41	90.4	62.99	80.2	58.51	75.27
Pr	19.89	19.38	19.37	29.3	19.56	14.1	11.29	9.97	19.61	9.97	19.67	19.3	18.89	19.73	7.57	3.44	16.1	9.99
Nd	36.85	37.71	36.92	37.0	37.16	38.1	40.21	35.1	39.4	44.94	37.36	35.6	35.57	37.5	27.41	14.7	31.60	31.31
Sm	6.69	7.35	7.91	7.16	7.53	7.98	7.89	9.95	9.24	6.77	7.28	6.95	7.49	7.68	5.67	7.65	7.24	6.57
Eu	1.29	1.69	1.25	1.27	1.27	1.49	1.81	1.79	1.54	1.31	1.30	1.43	1.44	1.59	1.56	1.36	1.52	1.52
Gd	4.89	4.33	5.84	5.21	5.78	7.13	6.97	7.49	7.74	5.42	5.92	5.25	5.93	5.69	4.66	6.19	5.88	5.37
Tb	0.717	0.731	0.755	0.79	0.828	0.89	0.898	1.96	1.19	0.948	0.843	0.80	0.859	0.84	0.665	0.58	0.899	0.858
Dy	1.84	1.81	4.83	4.4	4.85	7.31	6.79	7.97	7.19	5.51	5.16	5.32	5.47	4.77	5.13	5.18	5.99	5.99
Ho	0.67	0.79	0.69	0.73	0.79	0.73	0.79	0.99	1.02	0.78	0.79	0.74	0.78	0.83	0.66	0.53	0.89	0.81
Er	2.11	2.51	2.59	2.78	2.67	2.79	2.76	3.37	3.58	2.68	2.78	2.67	2.73	2.34	2.14	2.82	1.92	2.85
Tm	0.33	0.34	0.31	0.35	0.37	0.33	0.46	0.42	0.45	0.37	0.36	0.35	0.37	0.37	0.31	0.40	0.36	0.54
Yb	2.16	2.55	2.87	2.63	2.76	2.66	2.69	3.19	3.35	2.62	2.82	2.79	2.74	2.86	2.15	2.87	1.41	3.29
Zn	0.37	0.38	0.37	0.40	0.39	0.41	0.37	0.17	0.54	0.38	0.42	0.42	0.40	0.43	0.34	0.41	0.34	0.67
Y	25.17	25.39	27.07	27.2	28.12	26.7	30.24	37.4	37.92	28.1	23.77	28.9	29.41	39.4	23.77	29.97	23.8	23.39
1	246.6	246.6	243.6	243	237.4	245	275.9	144	279.2	225	242.6	247	232.8	244	176.7	223.5	246.9	296.9
2	197.9	199.6	188.8	198	141.0	207	295.8	187	156.5	182	192.8	159	183.5	194	116.8	174.7	196.2	133.4
3	41.69	41.31	14.77	13.3	26.43	44.7	49.21	58.7	62.63	16.4	19.29	17.9	48.48	49.3	28.87	18.97	17.81	12.61
4	1.69	1.89	1.22	1.41	1.44	1.76	1.18	1.17	3.11	3.92	1.92	4.06	3.79	3.95	3.52	1.56	1.22	3.84
5	23.5	19.7	16.3	19.6	16.1	15.9	19.3	15.9	11.6	17.4	15.8	17.5	15.2	15.2	14.8	14.1	13.9	12.1
6	0.18	0.15	0.19	0.19	0.29	0.19	0.15	0.14	0.23	0.19	0.29	0.29	0.24	0.19	0.21	0.21	0.29	0.21
ΣCe	0.437	0.441	0.459	0.42	0.437	0.51	0.412	0.49	0.499	0.44	0.358	0.45	0.479	0.44	0.457	0.466	0.461	0.442
δEu	0.382	0.494	0.469	0.46	0.493	0.45	0.458	1.93	0.999	1.91	1.019	1.09	1.099	0.99	1.091	0.925	0.78	1.294

注:ΣCe和δEu值是由北美页岩标准化数据计算; 1.ΣREE; 2.ΣLREE; 3.ΣHREE; 4.ΣLREE,ΣHREE; 5.(La/Yb)_N; 6.Sm/Nd

沉积物中的稀土元素主要呈 Ce³⁺ 形式存在,但由于原子结构的差异和环境氧化-还原条件的变化,Ce 是变价元素,Ce 元素还可以呈 Ce⁴⁺ 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。成岩介质氧化还原条件的变化,引起

了它们与其他稀土元素的分离,通常在氧化条件下,Ce³⁺ 氧化成 Ce⁴⁺,Ce⁴⁺ 易发生水解和被 Fe、Mn 的氧化物吸附,形成难溶解的 CeO 沉淀,与其他稀土元素分离,造成海水中 Ce 的亏损。在缺氧还原条件下,Fe 的氧化物溶解,Ce⁴⁺ 还原为 Ce³⁺,使海水中

Ce 的亏损消失。丹寨地区的 δCe 在 0.913~0.97 之间变化,基本上不出现亏损,总体呈现出一种以粘土及细碎屑沉积为主的还原条件下气候干燥的沉积环境。在界线剖面上 3 层与 4 层之间, δCe 变化较大; 4 层以上,沉积岩 δCe 升高,显示了 Ce^{3+} 更易还原为 Ce^{2+} 的沉积环境,说明界线上部沉积环境氧气补给减少,环境较早期还原,沉积环境发生变化。

Eu 异常 (δEu)

常用 δEu 表示地质体中 Eu 的异常性质特征。Eu 有 Eu^{2+} 和 Eu^{3+} 两种价态,在碱性、氧化条件下, Eu^{2+} 可以氧化成 Eu^{3+} ; 而在强酸性、还原条件下可以期望得到 Eu^{2+} 。样品的 δEu 值基本上小于 1 (表 2),这符合太古代以后的多数沉积岩中,发现有 Eu 负异常^[1]。根据剖面上 δEu 值(表 2),发现比值

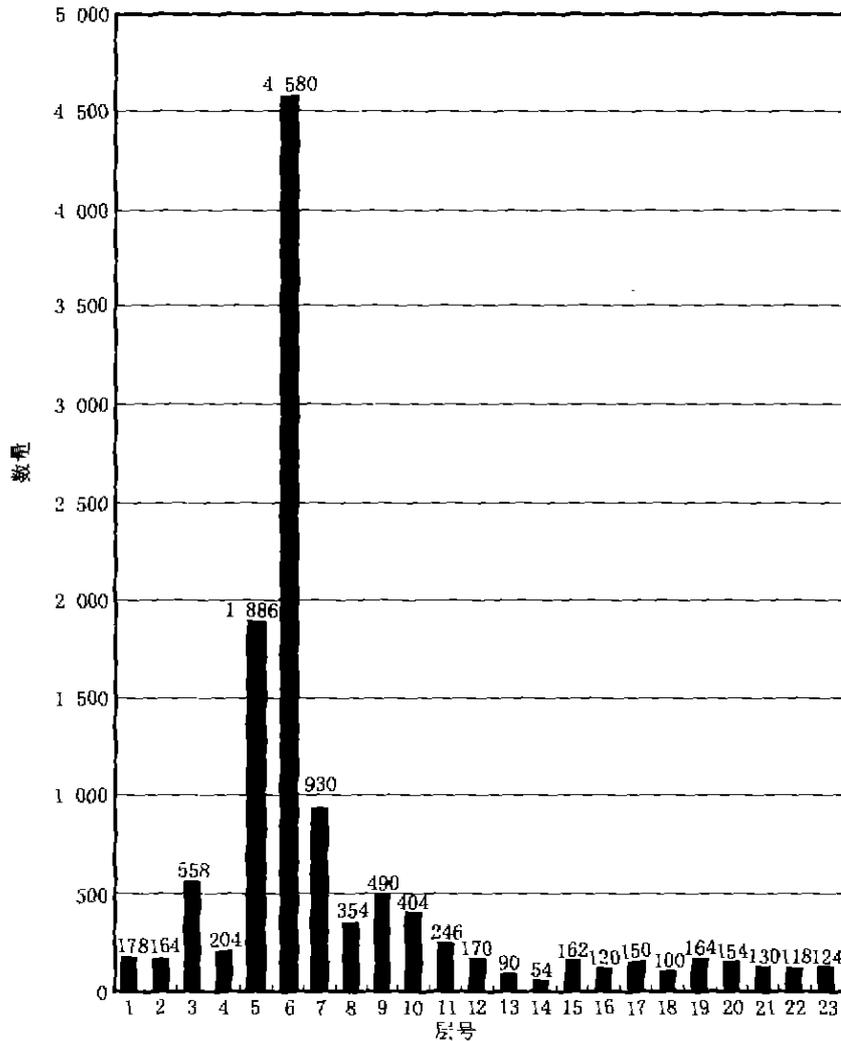


图 1 丹寨平寨凯里组剖面疑源类分布图^[7]

Fig. 1 Acritarch distribution for the section from Kaili Formation in Pingzhai-Danzhan

沿剖面表现出周期性变化,并且在 1 层以上沉积岩样品中, δEu 值升高较快,可能由于氧气含量减少所致。沉积环境较下部更趋于还原,上下地层沉积环境变化明显。

Sm/Nd 和 (La/Yb)_n

Sm/Nd 和 (La/Yb)_n 可用作判断物质来源和稀土元素迁移程度等的地球化学指示剂。(1)Sm/Nd: 剖面沉积岩样品 Sm/Nd 比值在 0.18~0.24(表 2)

之间,相对变化较小(图 2),说明界线上下沉积物质来源相近;(2)(La/Yb)_n: 该比值在 12.1 到 20.3(表 2)间变化,其中界线下部和上部样品 (La/Yb)_n 平均值分别为 18.775 和 15.87,指示海水中重稀土元素比轻稀土元素易于迁移(图 1)。

3.2.2 微量元素地球化学参数 Th/U, Sr/Ba, V/Ni 等微量元素地球化学行为和特征可以反映古海洋沉积环境的氧化-还原条件、水体深度等环境特

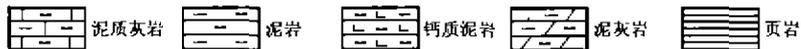
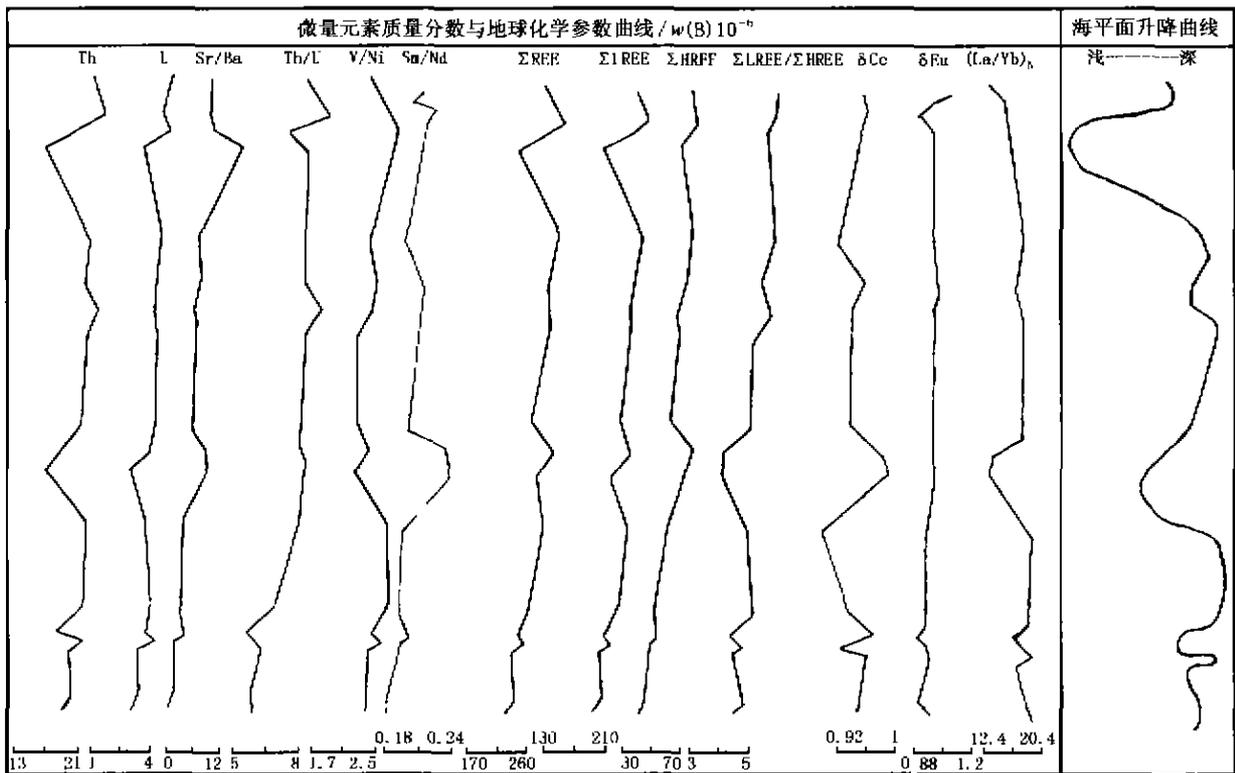
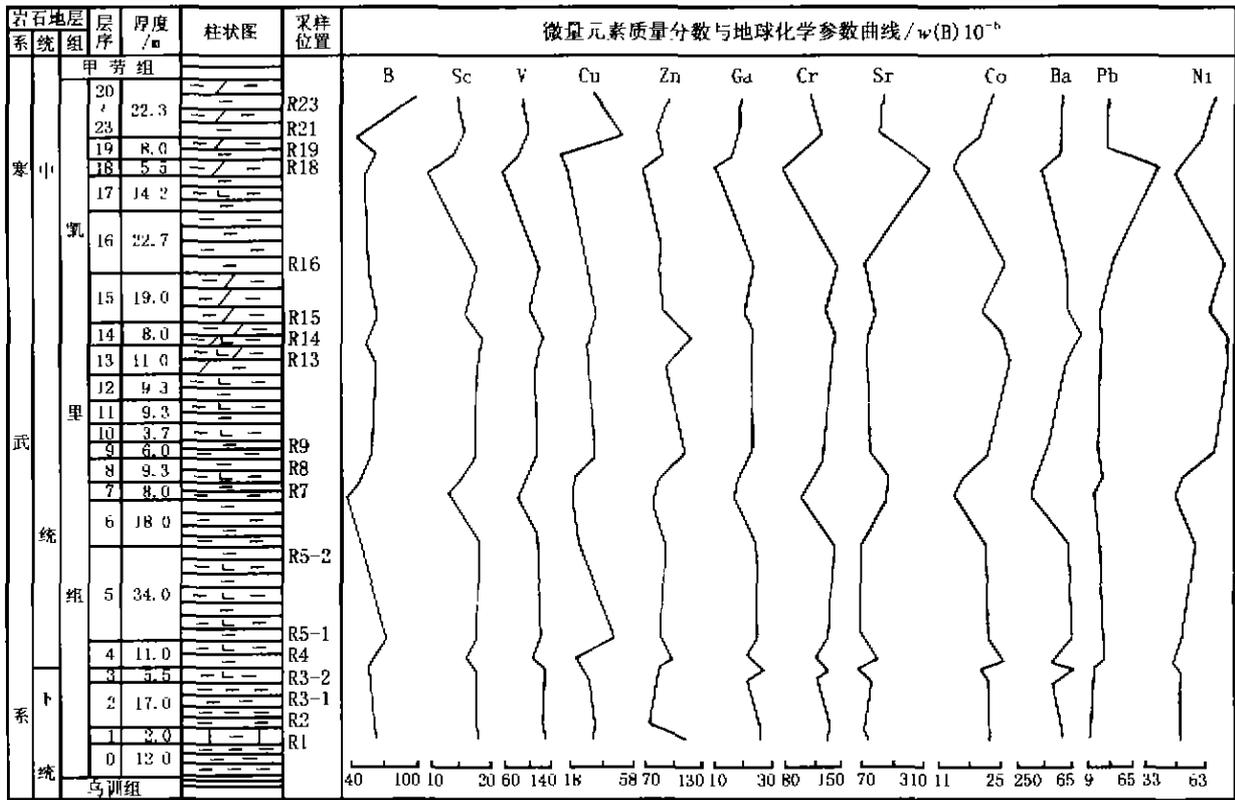


图 2 丹寨平寨剖面微量元素质量分数与地球化学参数曲线

Fig. 2 The trace element contents and geochemical parameters for the Puzhai-Lanzhai section

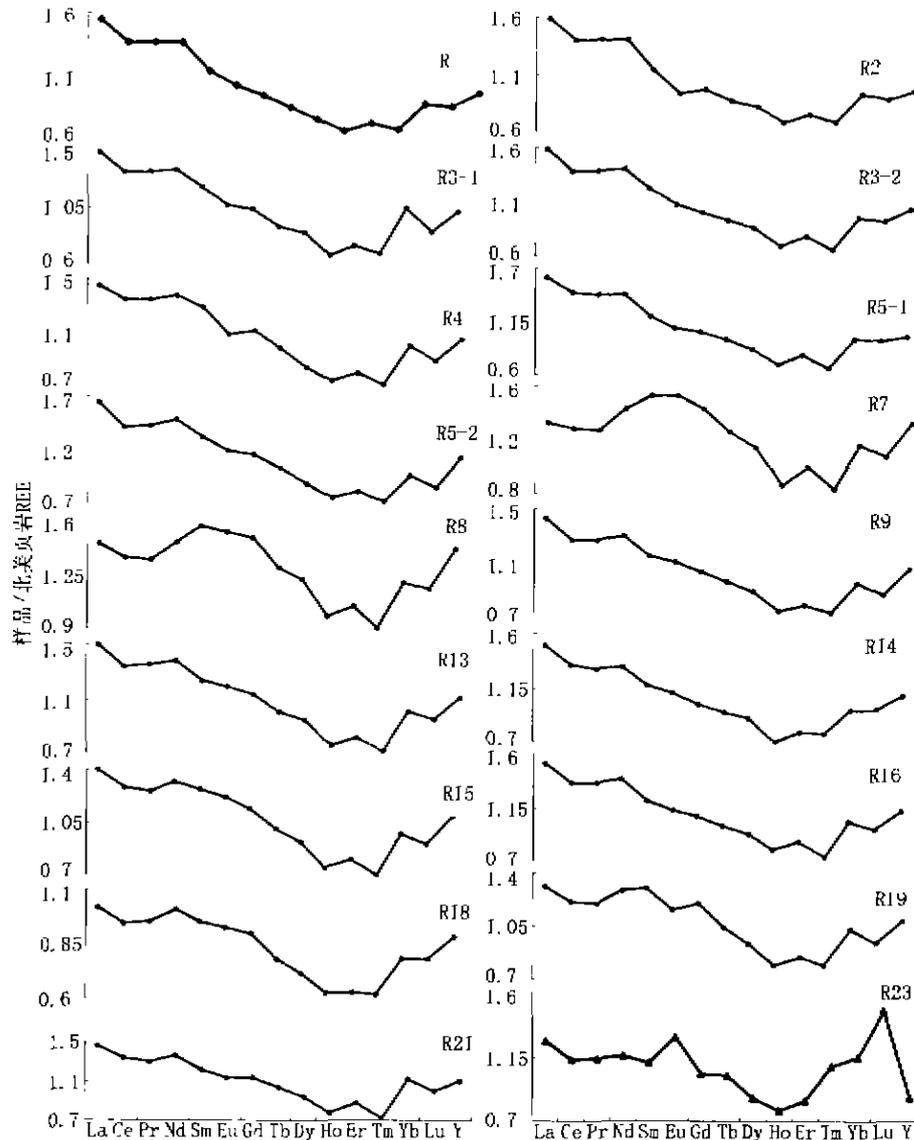


图3 贵州丹寨剖面沉积岩稀土元素配分模式(北美页岩标准化)

Fig. 3 REE abundance patterns for the Danzhu-Guzhou section (North America Shale-normalization)

证。

Th/U

Th/U 比值是反映沉积环境的氧化-还原条件的重要参数。U、Th 是地球化学性质很相似的锕族元素，U 有 U^{IV} 和 U^{VI} 两种价态， U^{IV} 较稳定，而 U^{VI} 易形成络离子迁移。在氧化环境中，Th/U 比值较高，而在还原条件下， U^{IV} 易形成易溶化合物^[12]。丹寨地区 Th/U 比值在 5.53~7.67 之间变化，这与沉积岩中页岩、泥岩的 Th/U 比值(2.7~7)相似^[11]。丹寨地区 Th/U 比值大，以还原环境为主。海水由较深—深—较深变化反映了当时的沉积环境呈现周期性的变化。在界线剖面 3 层以下层位，Th/U 比值变化小，曲线平缓；而在 4 层，沉积岩样品的 Th/U

比值减小到最低，随后逐渐升高(图 2)。总体而言，界线下部地层沉积环境较上部更趋于氧化，但剖面第 1 层 Th/U 比值指示了沉积环境氧含量减少，更趋于还原环境。从而显示了剖面第 3 层为整个剖面沉积环境的一个重要变化层。

V/Ni

V/Ni 比值反映海水中的元素迁移富集能力，氧化还原条件的重要参数。V、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^[13-15]。在海水中，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。因此，海水的氧化度、酸度降低，还原度、碱度增加，沉积物中 Ni 的

富集程度明显增加, V/Ni 比值降低^[11]。丹寨地区剖面的 V/Ni 比值范围分别为 1.89~2.15。在 3 层以下层位 V/Ni 比值高;而在 4 层以上层位, 比值小, 显示了从 5 层过渡到 4 层的沉积环境更趋于还原的变化特征(图 2)。

Sr/Ba

Sr/Ba 比值常用于研究古海洋环境的变化, 显示了沉积环境水体深浅和元素的迁移富集的重要参数。Sr、Ba 同属亲石元素, 地球化学性质相似。但在沉积盆地水体中, Ba 极易被粘土及细碎屑沉积物以吸附形式富集, 水体越深, Ba 含量越高, Sr/Ba 比值降低。而 Sr 主要从海水中直接沉淀^[11]。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 Sr 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(Sr/Ba>1)。随着沉积盆地水体深度增加, 沉积物中 Sr/Ba 比值较低, 沉积物中 Sr/Ba 比值小于 1。丹寨剖面沉积岩中的 Sr/Ba 比值均小于 1, 表明本区水体较深, 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。在界线剖面上, 3 层以下 Sr/Ba 比值小, 曲线平缓说明沉积水体较深, 沉积环境稳定;而在 1 层以上, 比值突然升高, 波动较大, 显示沉积水体深度变化大, 水体相对较浅(图 2)。

4 结论

本区研究对象主要是丹寨平寨界线剖面沉积岩

中微量元素及稀土元素特征沿剖面呈现出一定的规律性和指示性等地球化学特征, 这种特性与地层时代界线常常相互对应, 这已经得到证实。同时对比台江剖面 and 丹寨剖面地球化学特征也具有相似的特性。通过对丹寨剖面界线层微量元素及稀土元素地球化学特征进行研究, 可以推断早—中寒武世交界期的环境变化特征: 在早寒武世晚期, 沉积环境主要是偏氧化、水体略深、气候干燥的沉积环境, 生物以 *Bathynotus*, *Nanguops*, *Radlichsia* 等为主;而在早—中寒武世交界期, 由于该地区可能发生了一个区域性的海退或缺氧事件(图 2), 导致海平面下降, 环境更趋于还原, 地质事件的发生和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, 海平面上升, 氧气充足, 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。正是由于界线剖面 3—4 层沉积岩微量元素及稀土元素地球化学特征变化明显, 说明在沉积环境总体渐变过程中存在一个相对突变期, 这与生物组合上出现相应的变化相对应。结合界线剖面地球化学特征和生物组合来进行划分, 将平寨界线剖面上下、中寒武统界线置于剖面 3~4 层。

致谢: 在成文中得到中国科学院地球化学研究所南君亚研究员等的耐心指导和帮助; 中国科学院地球化学研究所漆亮高级实验师分析测试了样品, 在此谨向他们表示诚挚的意义!

参考文献

- 1 顾礼文. 中国寒武系. 中国地层[M]. 北京: 地质出版社, 1981.
- 2 覃惠麟. 滇东寒武系的划分与对比[J]. 地质学报, 1984, 58(2).
- 3 郭庆军. 贵州区域地质志寒武系[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- 4 肖向葵, 朱兆令等. 中国寒武纪地层对比表及说明书[M]. 中国各纪地层对比表及说明书. 北京: 科学出版社, 1982.
- 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).
- 6 赵元龙, 黄友坪, 毛家仁等. 华南地区下中寒武统界线划分的几点建议[J]. 贵州地质, 1992, 9(3).
- 7 赵元龙, 袁宗良, 朱兆令等. 华南过渡区凯里组及其同层层的初步研究[J]. 地质学杂志, 1993, 17(3): 171~178.
- 8 Zhuo Y L, Yuan Z L, Zou L J et al. The division of the Lower Middle Cambrian boundary in China[J]. Journal of Guizhou University of Technology, 1993, 27(1).
- 9 袁宗良, 赵元龙, 周震等. 贵州凯里组下中寒武统界线及“时虫动物群”[J]. 古生物学报, 1997, 26(1).
- 10 肖向葵, 范德廉, 杨培莉等. 华北地震震旦系、寒武系、奥陶系化学地史[J]. 地质科学, 1964, 2, 203~229.
- 11 Zhuo Z H, Zou L J. Neoproterozoic Stratigraphy and Palaeontology of Six System Boundaries in China (Cambrian-Ordovician Boundary 1)[J]. Anhui Science and Technology Publishing House, 1981, 327~340.
- 12 赵振华, 赵惠麟, 吴之芬等. 大阳寒武系-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, 1988, 8(6): 877~887.

- 13 牛立军,赵元龙. 贵州下、中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): 625~630.
- 14 郭庆军, 杨卫东, 赵元龙等. 贵州台江下、中寒武统界线侯选剖面地球化学特征研究[1]. 地球化学(待刊).
- 15 郭庆军. 黔东南过渡地区下、中寒武统界线研究[D]. 硕士论文. 中国科学院贵阳地球化学研究所, 1999.
- 16 杨瑞东. 贵州下、中寒武统凯里组中藻类化石及藻类的早期演化[D]. 博士论文. 1393.
- 17 中国科学院地球化学研究所编. 高等地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- 18 王中刚, 于学元, 赵振华等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- 19 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学导论[M]. 北京: 地质出版社, 1957.
- 20 南君业, 吴明清, 周德全等. 贵州二叠-三叠纪沉积地球化学研究(国家自然科学基金资助项目结题报告) [R]. 1997.

THE DIVISION OF MIDDLE-LOWER CAMBRIAN BOUNDARY, DANZHAI, GUIZHOU

GUO Qing-jun¹ YANG Wei-dong¹ ZHAO Yuan-long²
ZHU Li-jun³ YUAN Jin-liang² YANG Rui-dong²

(1 *Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese
Academy of Sciences, Guiyang 550002*)

(2 *Resource Environmental Institute of Engineering, Guizhou
University of Technology, Guiyang 550003*)

(3 *Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy
of Sciences, Nanjing 250008*)

Abstract The geochemical characteristics such as REE abundance patterns and variety of the trace element contents in the sedimentary rocks along the boundary section of the Lower-Middle Cambrian in Danzhai, Guizhou Province were studied. In reference to the division made by the paleontologists on the basis of fossil association, the aim of this paper is to provide geochemical evidence for determining and locating the boundary section of the Lower-Middle Cambrian. As a result, the boundary of the Lower-Middle Cambrian is located between Bed 3 and Bed 4.

Key words Danzhai of Guizhou; the Lower-Middle Cambrian; the boundary of section; geochemical characteristics

ISSN 1001-0672(2001)04-0011-06; CNDEN; KUYAE

Synopsis of the first author Guo Qingjun, male, 26 years old, a doctorate candidate of Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Now he is engaged in sedimentary geochemistry.