

贵州台江中、下寒武统界线剖面
微量元素地球化学特征

朱立军 赵元龙

(贵州工学院地质系, 贵阳 550003)

内 容 提 要

对贵州台江中、下寒武统界线剖面元素地球化学特征进行研究,探讨了微量元素丰度与比值沿剖面变化的规律性及剖面稀土元素分布模式,为剖面地层中、下寒武统界线划分和沉积环境分析提供了地球化学依据。

关键词 地层界线 元素地球化学 沉积环境

1 前言

我国华南地区中、下寒武统界线的划分主要有两种意见,一种意见是划在 *Kunmingaspis-Chittidilla* 带之下(项礼文等, 1981; 罗惠麟等, 1984; 尹恭正, 1987; 朱洪源等, 1988); 另一种意见是划在 *Kunmingaspis-Chittidilla* 带及相应的三叶虫带之上(卢衍豪等, 1982; 孙振华, 1982; 刘永耀等, 1984; 张全忠等, 1984; 周天荣, 1986; 姜立富, 1988; 林焕令等, 1990; 赵元龙等, 1992)。赵元龙等(1993)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-Dyctoecephalus wuxunaspis* 带之间。

笔者在贵州台江中、下寒武统界线剖面系统地采集了 38 块沉积岩地球化学样品,经分选处理,采用原子吸收光谱和等离子体光谱,系统分析了样品中 Cu、Pb、Zn、Ni、Co、Sr、Mn、Ti、Fe、Cr、V、Ba、Cl、As、F 等 15 种微量元素含量和 15 种稀土元素含量,讨论了微量元素及稀土元素丰度、分布模式及比值在地层中的演化规律,为该区中、下寒武统界线的划分和沉积环境分析提供了元素地球化学依据。

贵州台江中、下寒武统剖面基本由凯里组构成,岩性为泥岩、页岩和粉砂质泥岩,下部夹中厚层深灰色、灰黑色钙质泥岩、泥灰岩及薄层泥质粉砂岩,上部夹中厚层泥质粉砂岩、砂岩,顶部为灰岩。该剖面出露较好,根据生物地层和岩性组合特征,中、下寒武统界线应介于岩性层第 9—10 层之间。该界线之下的第 6—9 层由灰色薄层泥灰岩、灰绿色粉砂质泥岩、页岩组成,化石丰富,个体较大,产三叶虫、海绵骨针、单板类化石;界线之上的第 10—12 层主要为灰色、灰绿色粉砂质泥岩、泥岩,产三叶虫,化石较下部少,三叶虫也有自下而上递减的趋势。中、下寒武统界线附近生物及岩性组合有明显变化。

2 元素地球化学特征

2.1 微量元素地球化学特征

剖面中微量元素丰度、比值呈规律性变化(表 I, 插图 1), 与地壳元素丰度相比, Pb、Zn、Ni、As、F 等元素相对富集; 而 Cu、Sr、Mn、Ti、Ba、Cr、V、Co、Fe 等元素相对贫乏。同贵州区域内主要沉积岩微量元素丰度对比, 剖面中泥岩和页岩的 Cu、V、Co 丰度及 Ni/Co 值基本一致, 而石灰岩及粉砂岩中 Cu、Pb、Zn、Co、Ni、V、Cr 等有较大的变化。微量元素丰度和比值沿剖面从下至上总体表现出高一低一高或低一高一低的变化趋势, 在剖面下部(第 6—10 层)和剖面顶部(第 29—31 层)存在两个剧变周期, 特别是在剖面下部(第 6—10 层)几乎所有测试元素均出现较大变化幅度。同时, 该区段内的微量元素变化规律性与剖面微量元素总体变化趋势一致。

表 I 贵州台江剖面微量元素含量
Trace element contents of the section in Taijiang, Guizhou

岩石	元素含量($\times 10^{-6}$)														
	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cr	V	Sr	Mn	Ti	Fe	Ba	As	F	Cl
泥、页岩	45.3	58.8	97.2	86	21	46	104	16.4	551	3231	43283	279	3.5	1900	41.4
粉砂岩	24	36	76	78	19	38	97	64	641	2286	36977	322	3	1500	44
灰 岩	23.3	87.3	183.3	63	13.3	24	65	118	589	1150	22761	314	3.9	1300	480
地壳丰度	55	12.5	70	75	25	100	135	375	950	570	56300	425	1.8	625	130

注: 1. 剖面微量元素含量分别为 12、8、9 个沉积岩样品的平均值; 2. 地壳元素丰度引自泰勒(1964)。
插图 1 台江剖面微量元素含量与比值曲线图

The content and ratio curves of sedimentary trace elements in the section of Taijiang, Guizhou

2.2 稀土元素地球化学特征

台江剖面沉积岩稀土元素丰度、比值等地球化学参数与地壳中同类沉积岩稀土元素地球化学特征相似(表 II), 稀土元素总量以泥岩和页岩最高, 达 $164 \times 10^{-6} - 281 \times 10^{-6}$, 灰岩最低, 为 $130 \times 10^{-6} - 148 \times 10^{-6}$, 灰岩稀土总量随其泥质含量增加而增加, 粉砂岩居中, 为 $159 \times 10^{-6} - 188 \times 10^{-6}$ 。台江剖面沉积岩中的稀土元素以轻稀土相对富集($LREE/HREE = 2.5 - 3.9$)、Eu 中度亏损($\delta Eu = 0.48 - 0.88$)和无明显的 Ce 亏损($\delta Ce = 0.84 - 0.93$)为特征。采用 Elderfield 等(1982)提出的 Ce 异常计算公式, $Ce_{anom} = -0.027 - -0.099$, 均大于分界值 -0.10 , 表明台江剖面沉积岩 Ce 相对富集, 未出现明显的 Ce 亏损。

在以北美页岩为标准的台江剖面沉积岩稀土元素分布模式图(插图 2)上, 呈近于平坦对称的“V”型曲线, 与北美页岩具有相似的稀土元素分布模式, 表现出典型沉积岩稀土元素地球化学特征, 特别是剖面沉积岩中存在的中度 Eu 负异常同地壳中太古代以后的沉积岩中普遍存在的 Eu 负异常极为类似。值得注意的是, 本区沉积岩稀土元素地球化学特征与黔东南桂北地区广泛分布的前寒武系浅变质岩稀土元素地球化学特征相比(表 III), 不仅在稀土元素总量和分布模式方面十分相似, 而且在轻重稀土比值和 Eu 负异常特征等地球化学参数方面也十分相似, 这对本区沉积岩稀土元素地球化学特征的成因及沉积岩物源的研究具有重要意义。

表 II 台江剖面稀土元素含量和地球化学参数
REE contents and geochemical parameters of the section in Taijiang, Guizhou

元素含量 ($\times 10^{-6}$)	岩 性 及 样 品 号								
	泥灰岩 TB1-1	灰岩 TB3-2	页岩 TB9-5	页岩 TB9-6	泥岩 TB12-9	泥岩 TB13-10	泥岩 TB24-12	粉砂岩 TB27-15	北美页岩
La	27.580	27.630	43.620	46.580	44.690	32.680	36.570	27.680	32
Ce	48.790	55.570	76.690	80.340	73.330	62.730	70.690	55.370	73
Pr	5.480	6.110	8.260	8.520	8.050	7.720	8.330	6.540	7.9
Nd	21.790	23.390	31.640	32.300	32.890	31.820	33.150	26.500	33
Sm	4.120	4.940	6.280	5.870	6.230	7.170	6.850	5.930	5.7
Eu	0.800	0.520	0.700	0.720	0.950	0.870	0.920	0.740	1.24
Gd	3.880	4.570	5.760	4.950	5.580	6.690	6.430	4.920	5.2
Tb	0.660	0.640	0.830	0.830	0.800	1.040	1.050	0.730	0.85
Dy	3.900	3.680	4.940	4.600	4.510	6.360	6.000	4.340	5.8
Ho	0.800	0.660	0.990	0.850	0.960	1.240	1.230	0.900	1.04
Er	2.160	1.710	2.690	2.430	2.610	3.370	3.240	2.100	3.4
Tm	0.270	0.260	0.430	0.370	0.410	0.530	0.460	0.300	0.50
Yb	1.900	1.460	2.420	2.320	2.350	3.030	2.790	1.810	3.1
Lu	0.260	0.130	0.280	0.250	0.270	0.360	0.310	0.150	0.48
Y	18.200	17.680	24.340	22.880	26.570	32.890	28.210	21.640	27
REE 总量	140.590	148.950	209.870	213.810	210.200	198.500	206.230	159.650	
轻稀土总量	108.560	118.160	167.190	174.330	166.140	142.990	156.510	122.760	
重稀土总量	32.030	30.790	42.680	39.480	44.060	55.510	49.720	36.890	
轻稀土/重稀土	3.389	3.838	3.917	4.416	3.771	2.576	3.148	3.328	
δCe	0.864	0.932	0.880	0.878	0.842	0.860	0.882	0.896	
δEu	0.879	0.481	0.511	0.586	0.707	0.552	0.609	0.602	

表 III 台江剖面沉积岩与前寒武系基底变质岩稀土元素地球化学参数对比
The comparison of REE geochemical parameters of sedimentary rocks in the section of
Taijiang with that of the Precambrian basement metamorphic rocks in Guizhou

岩性	剖面沉积岩									前寒武系基底浅变质岩				
ΣREE ($\times 10^{-6}$)	140.59	148.95	209.87	213.81	210.20	198.50	206.23	159.65		152.55	200.79	283.51	209.40	193.42
$\frac{\Sigma\text{LREE}}{\Sigma\text{HREE}}$	3.39	3.84	3.92	4.42	3.77	2.58	3.14	3.33		3.83	3.13	4	3.19	3.49
δEu	0.612	0.34	0.36	0.41	0.49	0.38	0.42	0.42		0.93	0.63	0.67	0.67	0.69

注: δEu 值是由球粒陨石标准化数据计算。
(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

插图 2 北美页岩标准化剖面稀土元素分布模式图
(图中纵座标为岩石的 REE 含量与北美页岩 REE 含量比值的对数值)
North America Shale-normalized REE abundance patterns of the section in Taijiang, Guizhou

3 中、下寒武统界线及沉积环境讨论

沉积岩中微量元素及稀土元素的分布与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(如 δCe 等)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。

3.1 Sr/Ba 比值

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、Ba 的地球化学行为却有显著区别,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的形式富集。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($\text{Sr/Ba} > 1$)。随着沉积盆地水体深度加大,海水能量降低,粘土及细碎屑物质增加,对 Ba 离子的吸附能力增强,沉积物中 Sr/Ba 比值降低,在半深海、深海或滞流海域的沉积物中 Sr/Ba 比值小于 1。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,海水能量较低,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。

3.2 V/Ni 比值

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。在海水中,V、Ni 主要被胶体质点或粘土等吸附沉淀,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。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、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,形成同 Sr/Ba 比值变化相同的变化特征。本区剖面的 V/Ni 比值范围为 1.0—2.1,此值基本在半深海、深海或滞流海域 V/Ni 比值范围内,其变化趋势同区内 Sr/Ba 比值基本一致,也反映了相同的沉积环境演化。

3.3 δCe 值

在海水及沉积物中的稀土元素主要呈三价离子形式存在,具有极其相似的地球化学行为,常作为一个“整体”活动。但由于原子结构的差异和环境氧化-还原条件的变化,Ce 元素还可以呈四价离子形式存在于海水及沉积物中,与其它三价稀土元素发生分离,出现异常行为。 δCe 值是反映 Ce 异常程度的地球化学参数。根据对现代海洋稀土元素地球化学研究,就整个海水来说,具有 Ce 亏损的地球化学特征,但在不同深度及不同氧化-还原条件下,Ce 的异常程度是变化的,由于生物活动,有机质发育等造成的局部相对还原环境, Ce^{3+} 很难氧化为 Ce^{4+} 而水解,则可出现 Ce 的相对富集。稀土元素总量具有随海水深度增加而提高的特点。本区剖面的稀土元素总量和 δCe 值变化的特征所反映出的沉积环境演化趋势同上述 Sr/Ba、V/Ni 比值所得出的结论是一致的。总体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。剖面下部和上部 δCe 值在 -0.099—-0.067 间,接近 -0.10 的分界值,属于浅海陆棚相;在剖面上部, δCe 值在 -0.027—0.054 之间变化,属于还原条件、海水深度较大的陆棚边缘盆地相。剖面第 9—10 层样品的 δCe 值变化较大,反映出在本区沉积环境演化中,可能出现了较剧烈的变化周期。

3.4 中、下寒武统界线

本区寒武系剖面以凯里组为主体,沉积岩中微量元素及稀土元素地球化学特征沿剖面呈现出规律性和周期性,是剖面地层界线划分的地球化学依据之一。台江剖面微量元素及稀土元素地球化学特征有两个较突出的特点:一是沿剖面所表现出的周期性,如 Mn、Ba、Sr/Ba、V/Ni 和稀土总量(ΣREE)等,反映出沉积环境的水动力条件由较强—弱—较强,海水由较深—深—较深,从浅海陆棚相—陆棚边缘盆地相—浅海陆棚相的演化过程;二是剖面微量元素及稀土元素地球化学特征的变化主要集中反映在剖面第 6—10 层之间,突变点主要分布于第 9、10 层样品中,说明在沉积环境总体渐变过程中存在一个相对突变周期,同时在剖面岩性组合和生物组合上也有相应的变化。因此,结合岩性组合和生物组合的研究,将台江剖面中、下寒武统界线置于剖面第 9 层至第 10 层之间是恰当的,这从生物组合、岩性组合和沉积岩微量元素地球化学特征等方面都取得了较一致的结论。

参 考 文 献

王中刚等, 1989: 稀土元素地球化学. 科学出版社。
卢衍豪等, 1982: 中国寒武纪对比表及说明书. 科学出版社。
项礼文等, 1981: 中国的寒武系. 中国地层 4. 地质出版社。
赵元龙等, 1992: 华南地区中、下寒武统界线划分的几点建议. 贵州地质, 9(3): 241—245。
赵元龙等, 1993: 华南寒武系过渡区凯里组及同期地层的初步研究. 地层学杂志, 17(3): 171—178。
贵州省地质矿产局, 1992: 贵州省区域矿产志. 地质出版社。

[1994 年 6 月收到, 1995 年 10 月修改]

STUDIES OF TRACE ELEMENTS AND REE GEOCHEMISTRY
OF SEDIMENTARY ROCKS IN MIDDLE-LOWER CAMBRIAN
BOUNDARY SECTION OF TAIJIANG, GUIZHOU

Zhu Li-jun and Zhao Yuan-long
(*Department of Geology, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003*)

Key words Middle-Lower Cambrian boundary, REE geochemistry, sedimentary environment

Summary

The Middle-Lower Cambrian boundary section of Taijiang, Guizhou, is a good and potential stratotype section. The authors have recently obtained some new results in litho-stratigraphy and biostratigraphy, based on which the Middle-Lower Cambrian boundary in the section should be placed between Beds 9 and 10 in the section. In this paper, by applying the principle and method of chemistratigraphy, the characteristics and variety of trace elements and REE geochemistry in the sedimentary rocks across the section have been discussed, providing an important geochemical basis for the division of the Middle-Lower Cambrian boundary of the section. Over 38 samples of the sedimentary rocks were systematically collected from the section across the Middle-Lower Cambrian boundary, with 15 trace elements, 15 rare earth elements and total REE analysed for the samples. Their main geochemical characteristics are recognized as follows:

1. As compared with the trace elements abundance of crust, the trace element contents of the section are rich in Pb, Zn, Ni, As and F but poor in Cu, Sr, Mn, Ti, Ba, Cr, V, Co and Fe.

The ratios of Sr/Ba and V/Ni in the sedimentary rocks are variable, ranging from 0.02 to 0.64 and from 0.8 to 2.1 respectively.

2. The REE contents of samples in the section are relatively constant, varying from 130 to 281 ppm. The North America Shale-normalized REE patterns of all samples are similar, showing an enrichment of LREE over HREE, with the LREE/HREE ratio from 2.5 to 3.9, while δ Eu values and δ Ce values ranging from 0.48 to 0.88 and from 0.84 to 0.93 respectively. North America Shale-normalized REE patterns of the samples are flat symmetry distribution patterns and significant negative Eu anomaly.

3. The variations in the trace elements content, ratio and δ Ce value of the sedimentary rocks in the section display an obvious periodicity and orientation features and are mainly situated between Beds 6 and 10 in the middle-lower part of the section. After discussion on the geochemical character of trace elements and REE in the section, the authors applied the geochemical character of these elements to stratigraphic division, sedimentary environment analysis and the study of sedimentary facies, with conclusions arrived at as follows:

1) According to elemental geochemical character, the ratio of interrelated elements and parameter of REE geochemistry, such as Sr/Ba, V/Ni and δ Ce values, are a good sign of the sedimentary environment. The Sr/Ba values and V/Ni values are rising with the shallowing of sea water, while the total REE content of the sedimentary rocks increases with the deepening of water, and δ Ce value of the sedimentary rocks indicates a reducing-oxidizing condition in the water body.

2) The sedimentary environment in the section of Taijiang reflected by the elemental geochemical character is mainly under a reducing condition, bathyal or abyssal, with sedimentary facies changing from neritic shelf facies to shelf-edge basin facies and then to neritic shelf facies.

3) The trace element content, ratio, total REE content and δ Ce value of the sedimentary rocks in the section are highly variable between Beds 6 and 10 in the section, providing an important basis in geochemistry for stratigraphic division. Based on biostratigraphic combined with lithostratigraphic classification, the Middle-Lower Cambrian boundary in the section of Taijiang should be situated between Beds 9 and 10 in the section.