

文章编号: 1009-3850(2010)04-0060-06

## 綦江观音桥中上奥陶统微量元素地球化学特征

谢尚克<sup>1,2</sup>, 汪正江<sup>2</sup>, 王 剑<sup>2</sup>, 卓皆文<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院研究生部, 北京 100037; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

**摘要:** 中上扬子地区广泛发育着完整的奥陶系地层, 其中的上奥陶统宝塔组中出现地球化学异常。綦江观音桥剖面中上奥陶统地层的地球化学研究表明, 宝塔组中 V、Ni 出现亏损,  $V/(V+Ni)$  值表现为低值, 而 Th/U、Ni/Co 与 Sr/Ba 值却表现为高值, 判断晚奥陶世中宝塔期为强氧化气候, 海水突然加深, 是一次明显的海侵过程。中上奥陶统地球化学异常是华夏板块与扬子板块相互作用的结果。

**关键词:** 中上扬子地区; 中上奥陶统; 地球化学异常; 古环境

**中图分类号:** P534.42

**文献标识码:** A

中上扬子地区奥陶系地层分布广泛, 出露良好, 层序发育完整。华南在奥陶纪时位于冈瓦纳大陆西北缘, 与波罗的板块、滇缅马板块和塔里木板块等同处中低纬度地区<sup>[1]</sup>, 奥陶纪大部分时间处于温室期, 海平面上升导致海洋生态域扩展, 生物分异度提高<sup>[2~6]</sup>。中奥陶世以来, 洋底扩张加速, 火山活动频繁<sup>[7~9]</sup>, 甚至还可能存在天体撞击事件<sup>[10]</sup>。奥陶纪的海洋-大气系统显著贫氧, 氧含量可能只有现在的一半左右<sup>[11]</sup>, 推测当时可能为温室气候环境<sup>[12]</sup>。晚奥陶世初的海平面可能是显生宙以来最高的<sup>[13~14]</sup>, 直到奥陶纪末因全球冰期事件影响而下降。

海相碳酸盐岩的微量元素分析是研究古气候、古海洋环境的一种有效手段, 对于了解古海水温度、古盐度及古环境具有十分重要的意义<sup>[15~16]</sup>。本文通过微量元素地球化学特征研究晚奥陶世初研究区环境气候的突然变化及当时特殊的构造活动背景。

### 1 区域地质概况

中国华南地区在奥陶纪的构造活动相当活跃, 存在着古板块的碰撞、火山活动、冰期以及海平面的

大规模升降。中奥陶世晚期或晚奥陶世早期, 扬子板块发生了强烈的构造运动<sup>[17~22]</sup>。扬子隆后盆地是构建在克拉通基底及中上寒武统碳酸盐台地基础之上, 盆地由东向西推进。扬子东缘前陆隆起的远程效应, 使得隆后盆地表现为构造掀斜效应<sup>[21,23]</sup>。研究区位于綦江观音桥, 处于扬子碳酸盐岩台地地区。该区域保存了奥陶纪的连续地层沉积, 地层发育齐全、出露广泛(图1)。扬子地块主体在中晚奥陶世(相当 Sandbian-Katian 期)出现了多次海平面变化<sup>[22,24]</sup>, 且能够进行全球对比<sup>[24,25]</sup>, 其中海平面的变化可能受到黔中隆起的影响<sup>[18,26,35]</sup>。

### 2 研究层位

本文选择的研究层位主要包括: 中奥陶统湄潭组主要为生物碎屑粉砂岩, 中间夹粉砂质页岩和少量的生物碎屑灰岩, 反映了海岸带沉积环境; 中奥陶统十字铺组为泥质瘤状灰岩、生物碎屑灰岩, 是碳酸盐岩台地相, 反映了海侵过程; 上奥陶统宝塔组为龟裂纹灰岩、生物碎屑灰岩, 是碳酸盐岩台地相, 其中海水进一步上升; 上奥陶统临湘组为泥质瘤状灰岩, 是碳酸盐岩淹没台地相; 上奥陶统五峰组黑色页岩,

收稿日期: 2010-07-30; 改回日期: 2010-10-22

作者简介: 谢尚克(1986-), 男, 硕士生, 主要从事沉积学方面研究。E-mail: shangk86@163.com

资助项目: 中国地质调查局“中上扬子海相含油气盆地分析与油气成藏条件综合调查评价”项目(1212010733505)和“雪峰山西侧海相油气地质调查”项目(1212010782003)

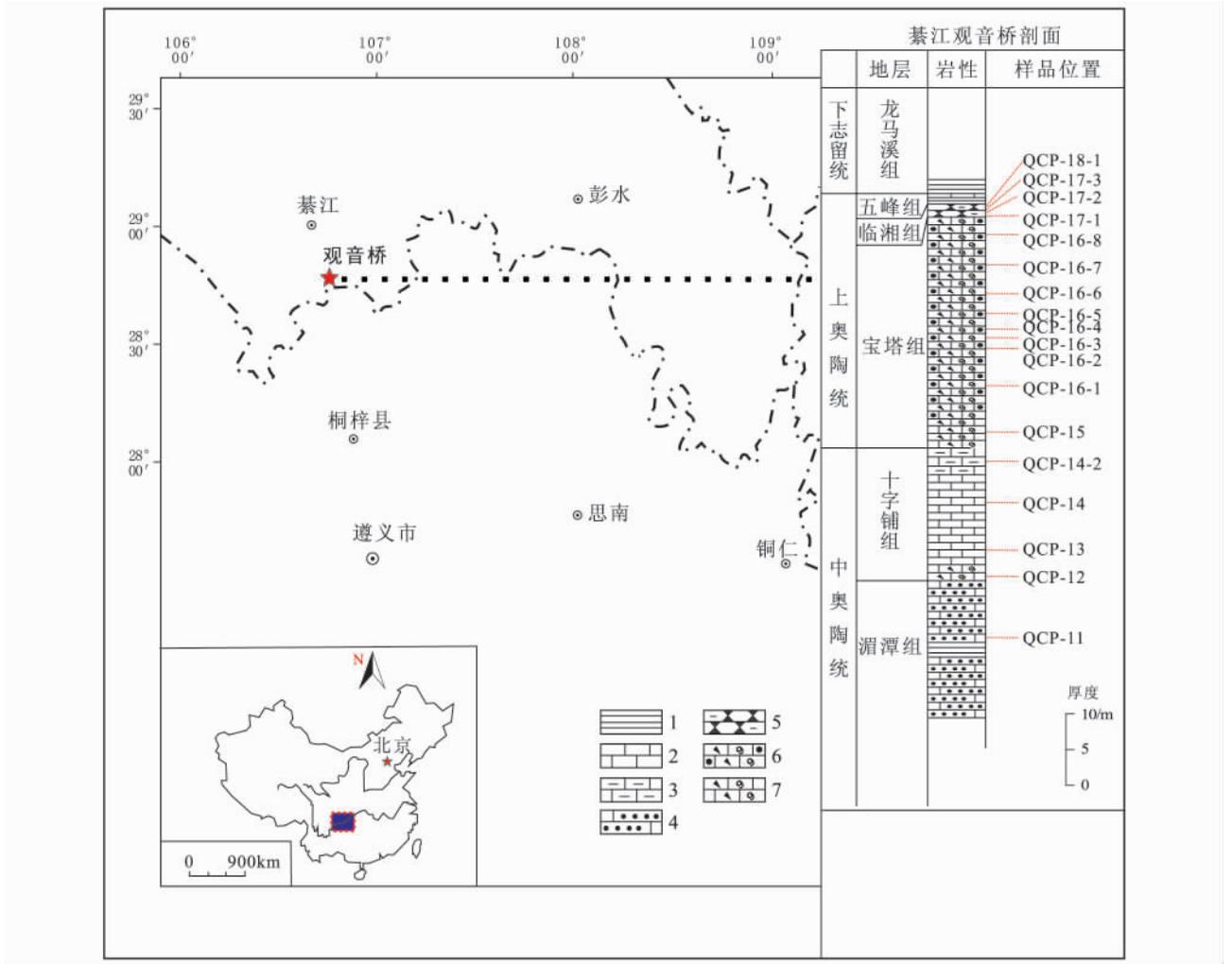


图1 重庆綦江观音桥剖面及采样位置.

1. 页岩; 2. 灰岩; 3. 泥质灰岩; 4. 钙质细砂岩; 5. 泥质瘤状灰岩; 6. 龟裂纹灰岩; 7. 生物碎屑灰岩

Fig. 1 Location of the Guanyinqiao section in Qijiang, Chongqing

1 = shale; 2 = limestone; 3 = muddy limestone; 4 = calcareous fine-grained sandstone; 5 = muddy nodular limestone; 6 = polygonal limestone; 7 = bioclastic limestone

则反映了深水盆地相。

### 3 样品选择和分析方法

对綦江观音桥剖面中上奥陶统地层进行采样, 共计 20 件, 其中样品涪潭组 1 件、十字铺组 4 件、宝塔组 9 件、临湘组 4 件。取样位置见图 1。样品在室温下自然风干, 经缩分混匀后, 研磨至 200 目。微量元素分析前样品经 HF-HClO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub> 消解处理, 去离子水定容后, 用电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS) 测定元素含量(以干重计), 测试工作由国家地质实验测试中心完成, 分析精度优于 5%。

### 4 测试结果

微量元素及分析结果见表 1。

## 5 讨论

微量元素的分配及其比值的变化、组合在一定程度上反映着古气候环境的演化历程。地层中元素的分配一方面取决于元素本身的物理化学性质, 另一方面又受到古气候、古环境的极大影响。

### 5.1 V、Ni 及 V/(V + Ni) 的变化特征

地层的 V/(V + Ni) 值常被用作沉积环境的判别指标。V/(V + Ni) 在富氧环境下小于 0.45, 在贫氧环境下居于 0.45 ~ 0.60 之间, 而在缺氧环境下大于 0.60<sup>[27~28]</sup>。綦江观音桥剖面中(图 2), V/(V + Ni) 在涪潭组为 0.69, 是缺氧环境; V/(V + Ni) 在十字铺组为 0.31 ~ 0.58, 平均值为 0.43, 变化不大, 是弱氧化环境; V/(V + Ni) 在宝塔组为 0.19 ~ 0.52, 平均

表1 綦江观音桥微量元素含量及分析结果(单位:  $\mu\text{g/g}$ )Table 1 REE contents ( $\mu\text{g/g}$ ) in the Upper Ordovician strata in the Guanyinqiao section, Qijiang, Chongqing

层位	湄潭组	十字铺组				宝塔组				
样品编号	QCP-11	QCP-12	QCP-13	QCP-14	QCP-14-2	QCP-15	QCP-16-1	QCP-16-2	QCP-16-3	QCP-16-4
Sc	7.09	8.94	5.09	5.17	4.51	5.41	5.12	5.88	2.6	3.95
V	27	27.3	22.4	13.2	16.1	19.9	28.8	18.5	7.63	16.2
Co	5.67	10.6	7.56	7.85	6.16	11.6	14.3	10.6	8.36	7.77
Ni	12.1	19.6	27.5	29.5	25.4	44	42.4	36.9	32.3	35.2
Rb	123	114	10.2	33.9	23.4	29.4	24.4	26.5	7.49	17
Sr	179	283	494	377	256	364	327	294	425	430
Ba	1204	620	85.9	136	93.7	132	107	120	93.7	76.5
Th	15.9	24.4	13.4	6.79	6.26	5.95	8.05	5.21	2.9	3.09
U	2.94	4.54	1.22	0.47	0.28	0.39	0.41	0.31	0.11	0.19
V/(V + Ni)	0.69	0.58	0.45	0.31	0.39	0.31	0.40	0.33	0.19	0.32
V/Sc	3.81	3.05	4.40	2.55	3.57	3.68	5.63	3.15	2.93	4.10
Th/U	5.41	5.33	11.0	14.4	22.4	15.3	19.6	16.8	26.4	16.3
Ni/Co	2.13	1.85	3.64	3.76	4.12	3.79	2.97	3.48	3.86	4.53
Sr/Ba	0.15	0.46	5.75	2.77	2.73	2.76	3.06	2.45	4.54	5.62
层位	宝塔组				临湘组					
样品编号	QCP-16-5	QCP-16-6	QCP-16-7	QCP-16-8	QCP-17-1	QCP-17-2	QCP-17-3	QCP-18-1		
Sc	4.79	7.09	4.52	6.91	12.3	10.3	11.9	7.12		
V	24	25.1	13.9	23.6	52.3	42.7	43.7	27.8		
Co	9.77	15.8	9.06	17.5	20.5	26.6	25.4	12.9		
Ni	37.1	43.5	33.2	41.7	48.8	59.7	60.2	39.2		
Rb	15.8	31.1	26.5	45.9	112	90.3	96.5	61.5		
Sr	323	321	468	437	317	405	384	357		
Ba	90.9	135	124	206	409	293	319	308		
Th	4.76	5.45	3.96	6.36	13.3	11.8	12.7	9.08		
U	0.28	0.27	0.22	0.42	0.93	0.83	0.86	0.72		
V/(V + Ni)	0.39	0.37	0.30	0.36	0.52	0.42	0.42	0.41		
V/Sc	5.01	3.54	3.08	3.42	4.25	4.15	3.67	3.90		
Th/U	17	20.2	18.0	15.1	14.3	14.2	14.8	12.6		
Ni/Co	3.80	2.75	3.66	2.38	2.38	2.24	2.37	3.04		
Sr/Ba	3.55	2.38	3.77	2.12	0.78	1.38	1.20	1.16		

值为0.33,变化较大,反映了弱氧化-氧化气候,其中QCP-16-3样品的V/(V + Ni)值为0.19,相对于剖面上、下层位,出现明显的低值,反映出当时强氧化的特殊环境;临湘组的V/(V + Ni)为0.41~0.52,平均值为0.44,变化不大,是贫氧环境。

V是一种对氧化还原条件敏感的元素,在氧化环境的沉积物中亏损,而在还原环境中富集<sup>[31]</sup>,随着盐度的增加,还原程度的增强,V的聚集作用十分明显。V元素与V/(V + Ni)有相似的变化特征曲线(图2)。V在湄潭组富集,值为27,是贫氧环境;在十字铺组中为13.2~27.3,平均值为19.75,是氧化环境;在宝塔组为7.63~28.8,平均值为19.74,变化剧烈,反映了弱氧化-氧化的环境,其中QCP-16-3样品的V值为7.63,相对于剖面上、下层位,出现

明显亏损,是强氧化的环境;V值在临湘组为27.8~52.3,平均值为41.63,变化剧烈,反映了变化频繁的弱氧化-还原气候。

Ni的含量与生物的富集作用有关<sup>[31]</sup>,在綦江观音桥剖面,Ni在湄潭组的值为12.1;在十字铺组为19.6~29.5,平均值为25.5;Ni在宝塔组为32.3~44.0,平均值为38.48;Ni在临湘组为30.2~60.2,平均值为51.98。结合前面的V、V/(V + Ni)研究特征,綦江观音桥剖面从低部到顶部,Ni值是逐渐增大的过程。自中奥陶世以来,海平面上升,新一轮海侵正式开始,生物逐渐开始繁盛,生命进行新一轮演化的过程<sup>[5-6]</sup>。对于临湘组出现的异常高值,笔者认为宝塔组氧化环境突然转变为临湘组的还原环境,不适应环境的生物被淘汰并开始大量

死亡,致使生物异常富集。

### 5.2 Th/U、Sr/Ba 及 Ni/Co 的变化特征

Th/U 常被用作氧化还原条件的判别指标, Th/U 在缺氧的环境中为 0 ~ 2, 在贫氧环境中为 2 ~ 8, 在氧化环境中可达到 8<sup>[16, 27-29]</sup>。Th/U 在湄潭组为 5.41, 为贫氧环境; 在十字铺组为 5.33 ~ 22.4, 平均值为 13.28, Th/U 值变化剧烈, 反映了弱氧化-氧化的环境; Th/U 值在宝塔组为 15.1 ~ 26.4, 平均值为 18.3, 变化较大, 反映了氧化-强氧化的环境, 剖面的 QCP-16-3 样品的 Th/U 值高达 26.4, 是明显的强氧化环境特征; Th/U 值在临湘组为 12.6 ~ 14.8, 平均值为 13.98, 变化不大, 相对于宝塔组是弱氧化的环境。

Sr/Ba 值随着远离海岸而逐渐增大, 常作为古盐度的标志<sup>[31-32]</sup>。Sr/Ba 在湄潭组为 0.15 表明其沉积环境离岸较近; 十字铺组 Sr/Ba 值为 0.46 ~ 5.75, 平均值为 3.04, 变化较大, 反映海水开始逐渐加深, 表明其沉积环境离岸较远; Sr/Ba 值在宝塔组为 2.12 ~ 5.62, 平均值为 3.36, 其中 QCP-16-4 样品的 Sr/Ba 值高达 5.62, 表明这时海水较深, 其沉积

环境离岸最远; Sr/Ba 值在临湘组为 0.78 ~ 1.38, 平均值 1.13, 其沉积环境离岸较远。

Ni/Co 常作为氧化还原条件的辅助判别指标<sup>[31-32]</sup>, Ni/Co 在湄潭组的值为 2.13, 显示还原环境; 在十字铺组为 1.85 ~ 4.12 之间, 平均为 3.34, 变化较大, 表现为弱还原-氧化环境; 在宝塔组为 2.38 ~ 4.53 之间, 平均为 3.89, 变化不大, Ni/Co 在 QCP-16-4 样品中高达 4.53, 显示明显的强氧化环境特征; 临湘组的 Ni/Co 为 2.24 ~ 3.04, 平均为 2.51, 变化不大, 相对于宝塔组为还原气候。

### 5.3 微量元素地球化学的环境意义

Ni/Co、Sr/Ba 与 Th/U 在纵向上显现出相似的变化特征, 而与 V、Ni 和 V/(V + Ni) 的变化相反(图 2)。综合以上研究结果, 研究区晚奥陶世沉积环境发生了变化, 从湄潭组的还原环境到十字铺组的弱还原-氧化环境, 从宝塔组的氧化-强氧化环境到临湘组的弱氧化-还原气候。其中在宝塔组的中部 QCP-16-3 样品出现的异常值, 表现为强氧化的环境特征, 表明中宝塔期为湿润潮湿气候, 海水突然加深, 是明显的一次海侵过程。

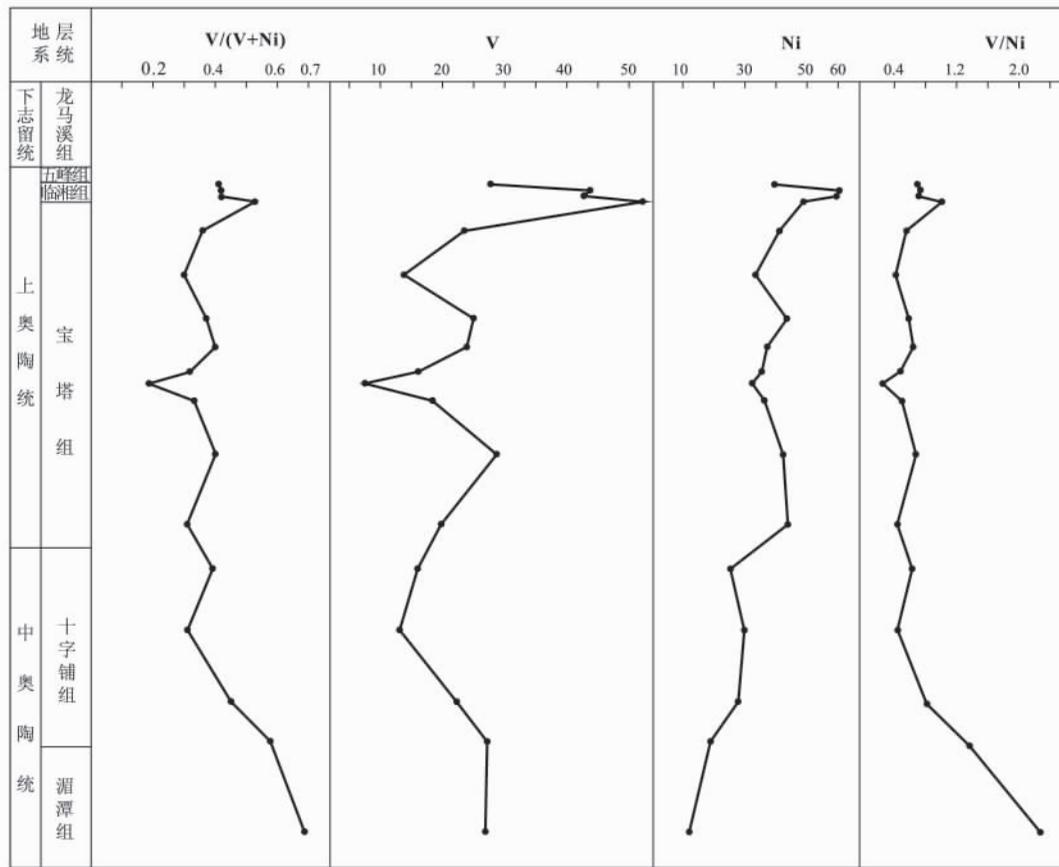


图 2 綦江观音桥地球化学元素纵向对比

Fig. 2 Correlation of the geochemical signatures for the Guanyinqiao section, Qijiang, Chongqing

#### 5.4 地球化学异常的地质解释

中上扬子地区宝塔组期出现的海水加深过程,可能受到黔中隆起的影响<sup>[18, 21, 26]</sup>。奥陶纪的洋底扩张加速<sup>[5~6, 7~9]</sup>,构造挤压作用导致深断裂活动,中晚奥陶世火山活动加剧,扬子板块在该时期有着特殊的沉积构造背景。“华夏”和“扬子”两个地块在晚奥陶发生强烈的板内造山运动<sup>[17~22]</sup>,导致“华夏古陆”的不断隆升和大规模向西北扩展。随着华南板块向北的俯冲,中国南方洋盆处于挤压状态,扬子地区向下挠曲,深海盆地向北迁移<sup>[20~22, 34~35]</sup>。特殊的沉积构造背景导致晚奥陶世宝塔期微量元素出现地球化学异常。海平面上升,在中宝塔期表现出强氧化的环境特征。异常的地球化学特征反映,自晚奥陶世中宝塔期起,“华夏”板块和“扬子”板块构造活动剧烈。

扬子地区在晚奥陶世处于赤道附近<sup>[1]</sup>,全球性气候回暖可能导致冰期的消融<sup>[36]</sup>,这些因素是否也导致中上扬子地区中晚奥陶世的气候变化,需要作进一步的研究。

## 6 结论

根据綦江观音桥中上奥陶统微量元素地球化学研究,宝塔组中 V、Ni 出现亏损, V/(V + Ni) 值表现为低值,而宝塔组中的 Th/U、Ni/Co 与 Sr/Ba 值却表现为高值,证明宝塔组为氧化-强氧化的环境特征。晚奥陶世“华夏”板块与“扬子”板块相互作用,导致海水突然加深,表现为明显的一次海侵过程,致使上奥陶统宝塔组中部出现了地球化学异常。中宝塔期强氧化的环境特征是“华夏”板块与“扬子”板块构造作用的结果。

#### 参考文献:

- [1] FORTEY R A, COCKS L R M. Palaeontological evidence bearing on global Ordovician-Silurian continental reconstructions [J]. *Earth-Science Review*, 2003, 61: 245 - 307.
- [2] BARNES C R, FORTEY R A, WILLIAMS S H. The pattern of global bio-events during the Ordovician period [A]. Walliser O. *Global Events and Event Stratigraphy* [C]. Heidelberg: Springer-Verlag, 1996. 139 - 172.
- [3] COOPER R A, MALETZ J, TAYLOR L, et al. Graptolites: patterns of diversity across paleolatitudes [A]. Webby B D, Paris F, Droser M L et al. *The Great Ordovician Biodiversification Event* [C]. New York: Columbia University Press, 2004. 281 - 293.
- [4] ALBANESI G L, BERGSTROM S M. Section 29. Conodonts: Lower to Middle Ordovician record [A]. Webby B D, Paris F, Droser M L et al. *The Great Ordovician Biodiversification Event* [C]. New York: Columbia University Press, 2004. 312 - 326.
- [5] 张元动, 陈旭. 奥陶纪笔石动物的多样性演变与环境背景 [J]. *中国科学 D 辑*, 2008, 38(1): 10 - 21.
- [6] 张元动, 詹仁斌等. 奥陶纪生物大辐射研究的关键科学问题 [J]. *中国科学 D 辑*, 2009, 39(2): 129 - 143.
- [7] QING H R, BAMES C R, BUHL D, et al. The strontium isotopic composition of Ordovician and Silurian brachiopods and conodonts: relationships to geological events and implications for coeval seawater [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1998, 62(10): 1721 - 1733.
- [8] SHIELDS G A, CARDEN G A F, VEIZER J, et al. Sr, C, and O isotope geochemistry of Ordovician brachiopods: a major isotopic event around the Middle-Late Ordovician transition [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, 67(11): 2005 - 2025.
- [9] SHIELDS G A, VEIZER J. Section 6. Isotopic signatures [A]. Webby B D, Paris F, Droser M L et al. *The Great Ordovician Biodiversification Event* [C]. New York: Columbia University Press, 2004. 68 - 71.
- [10] SCHMITZ B, HARPER D A T, PENCKER-EHRENBRINK B et al. Asteroid breakup linked to the Great Ordovician Biodiversification Event [J]. *Nature Geoscience*, 2008, 1(1): 49 - 53.
- [11] BERNER R A. Modeling atmospheric O<sub>2</sub> over Phanerozoic time [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001, 65(5): 685 - 694.
- [12] MILLER K G, KOMINZ M A, BROWNING J V et al. The Phanerozoic record of global sea-level change [J]. *Science*, 2005, 310: 1293 - 1298.
- [13] HAQ B U, SCHUTTER SR. A chronology of Paleozoic sea-levels [J]. *Science*, 2008, 322, 64 - 68.
- [14] 张秀莲. 碳酸盐岩中氧、碳稳定同位素与古盐度、古水温的关系 [J]. *沉积学报*, 1985, 3(4): 17 - 30.
- [15] 常华进, 储雪蕾, 冯连君, 等. 氧化还原敏感微量元素对古海洋沉积环境的指示意义 [J]. *地质论评*, 2009, 55: 91 - 99.
- [16] 罗志立. 扬子古板块的形成及其对中国南方地壳发展的形响 [J]. *地质科学*, 1979, (2), 127 - 138.
- [17] 刘特明. 黔中何时隆起-从黔北奥陶-志留纪各期沉积环境演变探讨黔中隆起何时形成 [J]. *贵州地质*, 1987, 4(1): 65 - 71.
- [18] 戎嘉余, 陈旭. 华南晚奥陶世的动物群分异及生物相、岩相分布模式 [J]. *古生物学报*, 1987, 26(5): 507 - 535.
- [19] 戎嘉余, 詹仁斌, 华夏古陆于奥陶-志留纪之交的扩展证据和机制探索 [J]. *中国科学 D 辑*, 2010, 40(1): 1 - 17.
- [20] 刘宝珺, 许效松, 等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [21] 刘宝珺, 许效松, 等. 中国南方岩相古地理 [M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [22] 许效松. 万方, 尹福光, 等. 奥陶系宝塔组灰岩的环境相、生态相与成岩相 [J]. *矿物岩石*, 2001, 21(3): 64 - 68.
- [23] 苏文博, 李志明. 海平面变化全球可比性的可靠例证-上扬子地台东南缘奥陶纪层序地层及海平面变化研究 [J]. *沉积学报*, 1999, 17(3): 345 - 353.

- [24] STIG M BERGSTROM, CHEN XU. First documentation of the Ordovician Guttenberg  $\delta^{13}\text{C}$  excursion ( GICE ) in Asia: chemostratigraphy of the Pagoda and Yanwashan formations in southeastern China [J]. Geological Magazine, 2009, 146 ( 1 ) : 1 - 11.
- [25] 何熙琦,肖加飞,王尚彦,等. 黔中隆起研究 [J]. 贵州地质, 2005, 22( 2 ) : 83 - 89.
- [26] WIGNALL P B, TWITCHETT R J. Oceanic anoxia and the end Permian mass extinction [J]. Science, 1996, 272: 1155 - 1158.
- [27] KIMURA H, WATANABE Y. Ocean anoxia at the Precambrian-Cambrian boundary [J]. Geology, 2001, 29: 995 - 998.
- [28] 严德天,陈代钊,王清晨,等. 扬子地区奥陶系-志留系界线附近地球化学研究 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39 ( 3 ) : 285 - 299.
- [29] 颜佳新,徐四平,李方林. 湖北巴东栖霞组缺氧沉积环境的地球化学特征 [J]. 岩相古地理, 1998, 18( 6 ) : 27 - 32.
- [30] 邓宏文,钱凯. 沉积地球化学与环境分析 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993.
- [31] 史忠生,陈开远,史军,等. 运用锶钡比判定沉积环境的可行性分析 [J]. 断块油气田, 2003, 10( 2 ) : 12 - 16.
- [32] 戎嘉余,詹仁斌. 华南奥陶、志留纪腕足动物群的更替兼论奥陶纪末冰川活动的影响 [J]. 现代地质, 1999, 13( 4 ) 393 - 394.
- [33] 肖传桃,姜衍文,朱忠德. 湖北宜昌奥陶纪层序地层及扬子地区五峰组沉积环境的讨论 [J]. 高校地质学报, 1996, 2 ( 3 ) : 339 - 347 .
- [34] 陈旭,戎嘉余,周志毅,等. 上扬子区奥陶纪-志留纪之交的黔中隆起和宜昌上升 [J]. 科学通报, 2001, 46: 1052 - 1056.
- [35] 刘英俊,曹励民,李兆麟,等. 元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1984.

## Trace element geochemistry of the Middle and Upper Ordovician strata in the Guanyinqiao section, Qijiang, Chongqing

XIE Shang-ke<sup>1,2</sup>, WANG Zheng-jiang<sup>2</sup>, WANG Jian<sup>2</sup>, ZHUO Jie-wen<sup>2</sup>

( 1. Graduate School, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China )

**Abstract:** The complete Middle and Upper Ordovician strata are of widespread occurrence in the middle-upper Yangtze area. The geochemical examination of the Middle and Upper Ordovician strata in the Guanyinqiao section, Qijiang, Chongqing have disclosed that the Baota Formation displays V and Ni depletion, low V/( V + Ni ) ratios, and high Th/U and Ni/Co ratios. These values imply that there was once one phase of transgression during the deposition of the Baota Formation under the highly oxidized climatic conditions. The geochemical anomalies in the Middle and Upper Ordovician strata may be attributed to the interaction of the Cathaysian plate and Yangtze plate.

**Key words:** middle-upper Yangtze area; Middle and Upper Ordovician strata; geochemical anomaly; palaeoenvironment