

# 川东南—黔中及其周边地区下组合烃源岩元素地球化学特征及沉积环境意义

陶 树<sup>1</sup> 汤达祯<sup>1</sup> 周传祯<sup>2</sup> 李 凤<sup>3</sup> 李婧婧<sup>1</sup> 陈晓智<sup>1</sup> 孟昌衷<sup>4</sup>

(1. 中国地质大学(北京)海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室, 能源学院, 北京 100083; 2. 香港天地能源服务有限公司, 北京 100022; 3. 中石化勘探南方分公司, 四川 成都 610041; 4. 贵州省地矿局 113 地质队, 贵州 水城 553000)

**摘要:** 笔者采用 ICP-MS 测试分析技术, 对川东南—黔中及其周边地区震旦—志留纪地层 28 件样品进行了 B、V、Ni、Sr、Ba、Th、U 等指示沉积环境的敏感微量元素做了系统测试分析, 采用 GB/T14506.28-93 硅酸盐岩石化学分析方法和 X 射线荧光光谱法测定主要元素和微量元素含量, 并探讨了 Sr/Ba、V/Ni、V/(V+Ni)、Sr/Ca、Ca/Mg、Th/U 比值与沉积环境的对应关系。分析结果表明, 本区下组合沉积环境主要为半深海、深海及浅海滞流环境。元素空间分布的差异性反映了沉积环境的区域性变化。

**关键词:** 川东南—黔中及其周边地区; 微量元素; 震旦—志留系; 沉积环境

**中图分类号:** P595      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2009)02-0397-07

下组合是震旦系与下古生界统称。微量元素对古沉积环境的指示具有重要意义, 前人研究成果颇丰。Walker<sup>[1]</sup>和 Couch<sup>[2]</sup>等用 B 元素含量和粘土矿物的吸附性恢复古盐度; Hatch<sup>[3]</sup>等用 V/Ni、Ni/Co 等比值反演水体分层和氧化环境。对于南方地区微量元素地球化学分析, 朱立军等<sup>[4]</sup>、何宏等<sup>[5]</sup>、熊国庆等<sup>[6]</sup>、杨兴莲等<sup>[7]</sup>、李双建等<sup>[8]</sup>、彭东等<sup>[9]</sup>、杨威等<sup>[10]</sup>也做了很多工作。由于本次研究区域面积较大, 地层跨越时间较长, 沉积环境空间和时间上分布差异性较大, 因此在前人研究的基础上, 笔者采用多种方法, 既判断了研究区内沉积环境的总体面貌, 又比较详细地叙述了由微量元素及其比值变化所指示的不同地区沉积环境的明显区别, 反映了沉积环境空间分布的差异性。对再次认识研究区沉积环境区空间分布提供重要的依据。

## 1 地质背景

研究区位于上扬子陆块的南部, 地层属于扬子地层分区。区内震旦系、寒武系、奥陶系及志留系均

有沉积, 且分布广, 主要为海相碳酸盐岩及碎屑岩类。由于受加里东运动的影响, 奥陶系在黔中隆起基本缺失, 志留系也仅见下志留统龙马溪组、石牛栏组和中下志留统韩家店组<sup>[11]</sup>。陡山沱组烃源岩发育时期, 研究区处于近岸砂泥坪相区及开阔台地相区, 至灯影期, 主体处于局限台地相带; 早寒武世早期, 研究区主要处于台地—盆地沉积相带, 逐渐演变为开阔台地至局限台地相带; 早寒武世在区内以广海陆棚—开阔台地相为主; 奥陶纪末—志留纪早期, 经历了非补偿滞留还原海盆—正常陆表海/深水陆棚海—残留海—陆相沉积环境的变迁<sup>[12]</sup>。

## 2 样品与测试

本次研究选用 28 件样品, 岩性主要为泥岩、泥灰岩和灰岩, 研究区志留系以页岩为主, 寒武系、震旦系以泥岩为主。样品分布于丹寨、三都、遵义、桐梓、习水、金沙、双河、盐津、麒麟、石林、叙永、茅台等地, 范围较广(图 1)。

微量元素采用 DZ/T0223-2001 电感耦合等离

收稿日期: 2008-10-06; 改回日期: 2008-11-03

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40730422)和中国石油化工股份有限公司南方油气勘探开发公司的重点科技项目(P2004-06)资助。

作者简介: 陶树, 男, 1981 年生, 博士生, 主要从事能源地质、油藏方面的研究; E-mail: peach888@163.com。

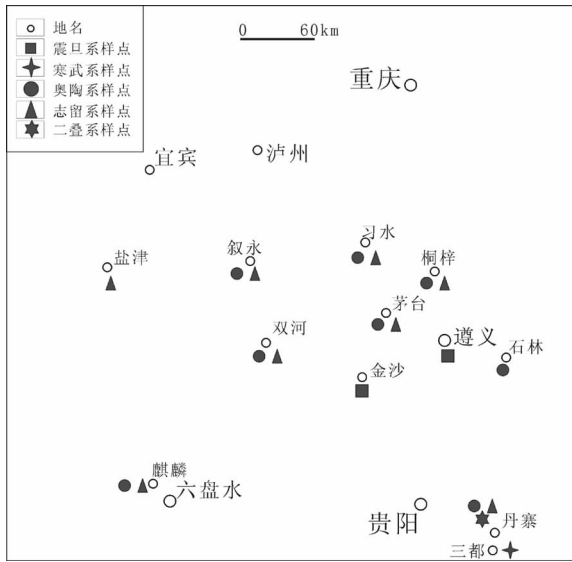


图1 研究区采样点分布简图

Fig.1 Distribution of sampling points in study area

子质谱(ICP-MS)分析方法测定,仪器型号:HR-ICP-MS,全岩分析采用GB/T14506.28-93硅酸盐岩石化学分析方法和X射线荧光光谱法测定主要元素和微量元素含量,仪器型号:飞利浦PW2404,X射线荧光光谱仪,所有样品均由核工业北京地质研究院实验室完成,分析结果见表1。

### 3 微量元素特征及其沉积环境指示

(1)硼含量。硼含量在研究区内普遍偏低,为  $4.49 \times 10^{-6} \sim 206 \times 10^{-6}$ ,岩相古地理分析全部样品都属于海相环境中的沉积物,但判识结果按B含量大部分样品所代表的岩石是在淡水—咸水过渡环境中沉积的,这种定性判识结果与岩相古地理分析有所偏差,

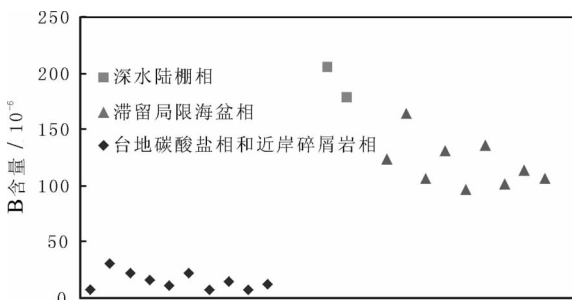


图2 B含量与其沉积环境指示分带图

Fig.2 Indicating zoning diagram of B content and its sedimentary environment

可能是由于该地区的高演化和地表风化导致B的散失。尽管如此,硼的环境地球化学分异作用仍然具有一定规律性:①台地碳酸盐相和近岸碎屑岩相中,硼呈低值,一般小于  $50 \times 10^{-6}$ ,样号2、3、6、14、24、28、42、CB41、CB53、CB73、CB76代表此类相;②深水陆棚沉积的渣拉沟群( $\epsilon_{1z}$ )和都柳江组( $\epsilon_{2d}$ )泥岩,显然受分层海水影响,硼呈特高值,达  $178 \times 10^{-6} \sim 206 \times 10^{-6}$ ,样号9、11代表此类相;③产于停滞的局限海盆环境的志留纪笔石页岩及其灰岩夹层,硼的含量也相对较高,可达  $100 \times 10^{-6}$ 以上,样号20、39、CB13、CB25、CB27、CB40、CB58、CB67、CB82代表此类相(图2)。

(2) Sr/Ba 比值。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。水动力条件变化较大的滨海和浅海地带,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( $>1$ )。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<sup>[4,13]</sup>。研究区沉积岩中的 Sr/Ba 比值大都小于 1,表明本区沉积环境主要为半深海、深海或浅海滞流区。部分奥陶系和志留系的滨浅海相或台地相沉积,具有较高的 Sr/Ba 比值,样号 24、28、42、CB41、CB53、CB73、CB76 代表此类相,与 B 元素环境指向一致。震旦系、寒武系半深海—深海样品的 Sr/Ba 比值均小于 1(图 3)。

(3)V/Ni 比值。V、Ni 同属铁族元素,其离子价态易随氧化度变化,常用做评判沉积介质盐度的指标<sup>[14]</sup>。海水含 V、Ni 极其微少,但是在页岩和粘土中,V含量可达  $130 \times 10^{-6}$ ,Ni含量可达  $68 \times 10^{-6} \sim 95 \times$

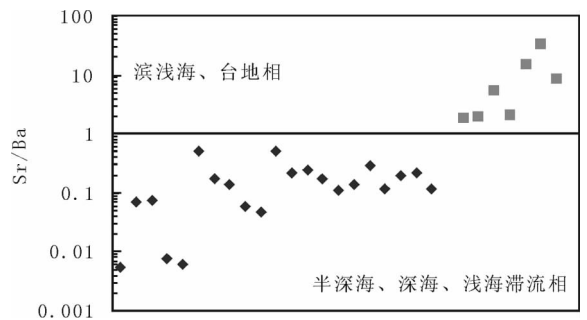


图3 Sr/Ba 比值及其沉积环境指示图

Fig.3 Indicating zoning diagram of Sr/Ba ratio and its sedimentary environment

表 1 川东南—黔中及其周边地区烃源岩系元素地球化学分析  
Table 1 Element geochemical data of source rocks in Chuandongnan-Qianzhong and its peripheral areas

样号	地层	地点	岩性	B	V	Ni	Sr	Ba	Th	U	Ca/%	Mg/%	V/Ni	V/V+Ni	Sr/Ba	Sr/Ca	Ca/Mg	Th/U
2	红花园组(O <sub>1</sub> h)	丹寨	沥青灰岩	7.87	24.7	6.97	359	63826	0.85	0.441	27.15	16.24	3.54	0.78	0.006	18.512	1.990	1.927
3	翁顶群(S <sub>1-2</sub> w)	丹寨	沥青砂岩	30.8	8.05	/	9.75	142	2.99	0.595	0.1	0.2	/	0.069	136.50	0.595	5.025	
6	邦寨组(D <sub>1</sub> b)	丹寨	砂岩	21.8	7.2	/	14.5	199	3.53	0.554	0.22	0.21	/	0.073	92.273	1.247	6.372	
9	渣拉海群(€ <sub>1z</sub> )	三都	黑色泥岩	206	95.7	51.6	23.4	3104	8.3	3.3	0.05	0.77	1.85	0.65	0.008	655.20	0.077	2.515
11	都柳江组(€ <sub>2d</sub> )	三都	黑色泥岩	178	86.6	28	20.6	3336	7.37	2.56	0.06	0.72	3.09	0.76	0.006	480.66	0.099	2.879
14	三都组(€ <sub>3s</sub> )	三都	块状灰岩	16.6	27.4	16.8	152	301	3.53	1.11	33.96	5.44	1.63	0.62	0.505	6.266	7.432	3.180
17	陡山沱组(Z <sub>6ds</sub> )	遵义	粉砂质泥岩	51.4	42.6	32.9	81.6	455	3.94	4.47	7.76	2.98	1.29	0.56	0.179	14.722	3.100	0.881
20	龙马溪组(S <sub>1</sub> l)	桐梓	笔石页岩	123	92.3	34.8	119	843	18.6	6.04	5.22	2.48	2.65	0.73	0.141	31.916	2.506	3.079
24	宝塔组(O <sub>2</sub> b)	桐梓	瘤状灰岩	11.6	32	38.9	260	139	3.48	0.392	44.53	1.06	0.82	0.45	1.871	8.174	50.01	8.878
28	宝塔组(O <sub>2</sub> b)	习水	笔石页岩	22.7	26.5	27.2	249	126	3.18	0.259	45.42	0.94	0.97	0.49	1.976	7.675	57.52	12.28
39	龙马溪组(S <sub>1</sub> l)	习水	笔石页岩	164	113	46.8	50.3	870	18.4	3.72	0.38	2.7	2.41	0.71	0.058	185.32	0.168	4.946
42	石牛栏组(S <sub>1</sub> s)	习水	生物碎屑灰岩	7.45	10.9	19.3	353	64.9	1.19	0.376	48.28	1.11	0.56	0.36	5.439	10.236	51.78	3.165
46	灯影组(Z <sub>6dy</sub> )	金沙	含沥青白云岩	61.7	14.5	10.1	71.1	1529	0.612	1.17	28.38	19.32	1.44	0.59	0.047	3.507	1.749	0.523
CB04	宝塔组(O <sub>2</sub> b)	双河	灰岩	57	72.6	27.3	373	711	12.4	2.48	17.07	2.04	2.66	0.73	0.525	30.592	9.961	5.000
CB06	五峰组(O <sub>3</sub> w)	双河	生物碎屑泥岩	101	156	47.5	321	1453	13.8	3.92	14.54	2.29	3.28	0.77	0.221	30.908	7.559	3.520
CB07	龙马溪组(S <sub>1</sub> l)	双河	泥质粉砂岩	94.6	95.2	37.1	354	1461	13.1	2.66	14.64	2.38	2.57	0.72	0.242	33.852	7.323	4.925
CB13	龙马溪组(S <sub>1</sub> l)	双河	笔石页岩	106	101	40.9	247	1453	15.5	4.57	9.82	2.52	2.47	0.71	0.170	35.214	4.639	3.392
CB25	龙马溪组(S <sub>1</sub> l)	盐津	灰岩	131	85.5	31.6	98.4	884	10.7	1.88	7.96	6.22	2.71	0.73	0.111	17.307	1.524	5.691
CB27	龙马溪组(S <sub>1</sub> l)	盐津	笔石页岩	95.7	85	41.1	150	1102	17.6	4.65	8.38	3.11	2.07	0.67	0.136	25.060	3.208	3.785
CB33	松坎组(S <sub>1</sub> sk)	盐津	泥灰岩	52.2	49.1	21.4	286	979	11.6	1.72	22.82	2.43	2.29	0.70	0.292	17.546	11.18	6.744
CB40	龙马溪组(S <sub>1</sub> l)	麒麟	笔石页岩	136	113	43.5	103	888	17.7	5.06	5.58	2.83	2.60	0.72	0.116	25.842	2.347	3.498
CB41	宝塔组(O <sub>2</sub> b)	麒麟	灰岩	14.6	19.8	30.8	199	95.9	2.5	0.268	47.93	0.88	0.64	0.39	2.075	5.813	83.91	9.328
CB53	涪潭组(O <sub>1</sub> m)	石林	生物礁灰岩	7.35	8.59	23.4	276	18.4	0.145	0.213	53.95	0.57	0.37	0.27	15.00	7.162	112.7	0.681
CB58	松坎组(S <sub>1</sub> sk)	叙永	生物碎屑灰岩	101	111	38.7	85.4	448	17.9	3.01	1.82	3.16	2.87	0.74	0.191	65.692	0.686	5.947
CB67	龙马溪组(S <sub>1</sub> l)	叙永	笔石页岩	113	113	40.7	131	596	16.7	3.2	7.94	2.65	2.78	0.74	0.220	23.098	3.567	5.219
CB73	宝塔组(O <sub>2</sub> b)	叙永	灰岩	12.7	12.9	20.9	584	16.7	0.341	4.06	53.66	0.93	0.62	0.38	34.97	15.237	68.69	0.084
CB76	宝塔组(O <sub>2</sub> b)	茅台	灰岩	4.49	13.4	22.2	617	70.4	1.16	0.424	50.32	0.62	0.60	0.38	8.764	17.166	96.62	2.736
CB82	龙马溪组(S <sub>1</sub> l)	茅台	笔石页岩	106	116	50	104	896	18.7	4.74	4.79	2.03	2.32	0.70	0.116	30.397	2.809	3.945

注: B、U 微量元素数值单位为 10<sup>-6</sup>。

$10^{-6}$ 。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,还原性、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 比值变化相反的变化特征(图 3)。V/Ni 比值总是海相大于淡水相(南京大学地质系,1984),本次研究分析的 28 件样品中,砂岩 V 含量为  $7.2 \times 10^{-6}$ ,泥岩 V 含量为  $156 \times 10^{-6}$ ,含沥青质灰岩 Ni 含量为  $6.97 \times 10^{-6}$ ,而泥岩 Ni 含量为  $51.6 \times 10^{-6}$ ,平均值较低。V/Ni 比值为 0.37~3.54,有 7 件样品小于 1 (另有 2 件未检测出 Ni),分别为样号 24、28、42、CB41、CB53、CB73 和 CB76。总体上看,川东南地区的 V/Ni 比值要高于黔中地区,由于在奥陶纪和志留纪受黔中隆起和雪峰山隆起的影响,黔中部分地区的 V/Ni 比值低于 1,但大部分地区该值基本在半深海、深海或滞流海域 V/Ni 比值范围内,与 Sr/Ba 比值环境指向基本一致(图 4)。

(4)Sr/Ca 比值也常用来推测古盐度。淡水以 Sr/Ca 比值明显低于咸水为特征,Sr 与 Ca 相比,Sr 在海水与大洋水中都表明有绝对的和相对的富集。但也有学者根据中国陆相盆地研究结果认为该比值受钙含量影响比较大,当钙的含量过高时,较咸水沉积物的 Sr/Ca 比值反而低于淡水沉积物<sup>[5]</sup>。本次研究所采得 28 件样品有近半数为灰岩、白云岩,其 Ca 含量相对较高,这使 Sr/Ca 比值与样品中 Ca 含量具有一定的相关性,会受 Ca 含量的影响,故在此暂不考虑灰岩样品。Ca 是常量元素,在自然界分布很广,

而 Sr 属于微量元素,海水中平均含量约  $8 \times 10^{-6}$ ,在页岩和粘土中可达  $300 \times 10^{-6} \sim 450 \times 10^{-6}$ 。Sr/Ca 比值与水介质盐度之间尚未建立起确切的量化关系,但相对关系是存在的,即该比值高,则盐度相对高。区内地层 Sr 含量  $9.75 \times 10^{-6} \sim 617 \times 10^{-6}$ ,平均  $203 \times 10^{-6}$ ,比全球页岩及粘土平均值明显偏低。Sr/Ca 比值为 3.507~655,部分 Sr/Ca 比值的变化(图 5)总体是寒武系泥岩段 Sr/Ca 比值普遍偏高,表明沉积介质盐度普遍较高,如样号 9、11;奥陶系、志留系的页岩、泥岩在川东南地区表现出相对稳定的状态,Sr/Ca 比值基本上在 25 左右,如样号 20、CB06、CB07、CB13、CB27、CB40 和 CB67;而在灰岩、白云岩中由于 Ca 含量的增加,Sr/Ca 比值普遍偏低,如样号 24、28、42、46、CB25、CB33、CB41、CB53、CB73 和 CB76 (图 5)。

(5)Ca/Mg 比值在以白云岩为主的蒸发台地、局限台地相中最低,在潮下开阔台地、台地边缘浅滩沉积中则由于白云岩不发育而比较高。区内寒武纪碳酸盐岩主要是局限台地云坪相白云岩,因此其 Ca/Mg 比值较低,一般都小于 5;奥陶纪为以开阔台地为主的环境,沉积物主要为白云质灰岩和石灰岩,因此,其 Ca/Mg 比值较高,显示为从 10 到 100 的剧烈变化,如样号 24、28、CB04、CB41、CB53、CB73 和 CB76;早志留世由于页岩沉积占主要地位,其中粘土矿物中的蒙脱石含量一般较高,所以 Mg 含量也偏高,其 Ca/Mg 比值亦偏低,并且因为有石灰岩层的发育,这一比值也有波动,多在 1~10,如样号 20、CB07、CB13、CB25、CB27、CB40、CB67 和 CB82(图 6)。

(6)Th/U 比值。风化过程铀易氧化和淋失,钍则残留在沉积物中或被粘土矿物吸附,于是在风化产物中,如在某些陆相页岩和三水铝土矿中,Th/U

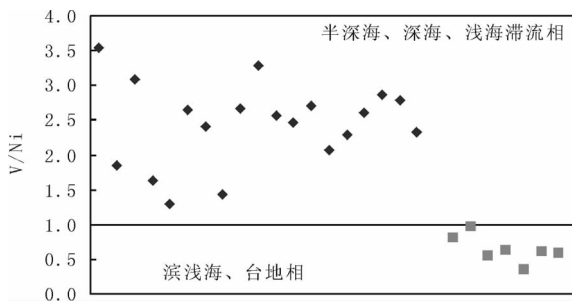


图 4 V/Ni 比值及其沉积环境指示图

Fig.4 Indicating zoning diagram of V/Ni ratio and its sedimentary environment

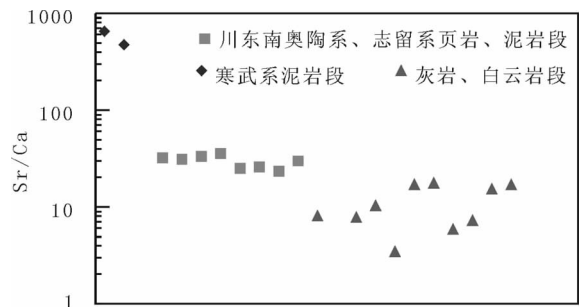


图 5 Sr/Ca 比值及其在地层中分布图

Fig.5 Sr/Ca ratio and its distribution in strata

比值高达 7 以上;而水下沉积的黑色页岩、石灰岩等岩层中 Th/U 比值不到 2。因此可以用 Th/U 来判断海陆相地层。正常海水中平均含钍  $0.0007 \times 10^{-6}$ , 平均含铀  $0.003 \times 10^{-6}$ , Th/U < 1; 页岩和粘土中平均钍含量为  $7 \times 10^{-6} \sim 12 \times 10^{-6}$ , 平均铀含量为  $1.3 \times 10^{-6} \sim 3.7 \times 10^{-6}$ , Th/U 比值约为 4。研究区岩石钍含量为  $0.15 \times 10^{-6} \sim 18.7 \times 10^{-6}$ , 平均  $8.78 \times 10^{-6}$ ; 含铀  $0.213 \times 10^{-6} \sim 6.04 \times 10^{-6}$ , 平均含量  $2.42 \times 10^{-6}$ , Th/U 值平均 4.29, 钍铀丰度及比值与全球页岩和粘土相近。现大都以 Th/U 比值等于 7 为界, 小于 7 的为海相沉积, 大于 7 为陆相淡水沉积。按此标准划分, 该区地层除个别样品(样号 24、28、CB41 均为川东南地区奥陶系灰岩样品)外均属海相沉积无疑, 但平面上海水盐度的微弱变化和纵向上的明显变化是存在的。以平均 Th/U 比值衡量, 川东南地区海水盐度相对黔中地区稍低, 纵向上的变化以黔中地区为例(表 2), 从底部到顶部 Th/U 比值逐渐增大, 表明该区海水盐度逐渐降低, 属海退系列沉积。其中的奥陶系样号 24、28 的 Th/U 比值

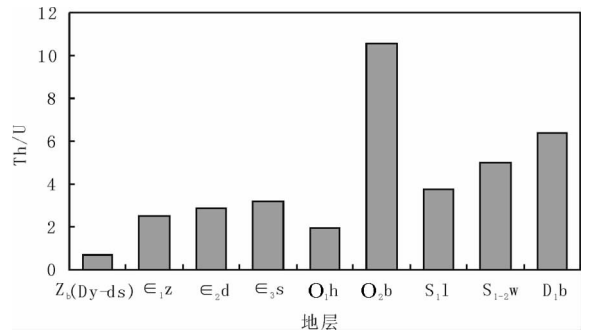


图 7 黔中地区 Th/U(AVE)比值随地层变化图  
Fig.7 Variation of Th/U(average) ratio with geological age in Qianzhong area

过高是由 U 含量过低引起, 这与岩性有关(图 7)。

### 4 结论

(1) 研究区硼的环境地球化学分异作用具有一定规律性: ①台地碳酸盐相和近岸碎屑岩相中, 硼呈低值, 一般小于  $50 \times 10^{-6}$ ; ②深水陆棚沉积的渣拉沟群( $\epsilon_{1z}$ )和都柳江组( $\epsilon_{2d}$ )泥岩, 显然受分层海水影响, 硼呈特高值, 达  $178 \times 10^{-6} \sim 206 \times 10^{-6}$ ; ③产于停滞的局限海盆环境的志留纪笔石页岩及其灰岩夹层, 硼的含量也相对较高, 可达  $100 \times 10^{-6}$  以上。

(2) 岩石 Sr/Ba 比值大都小于 1, 属于陆棚边缘盆地相及浅海陆棚相。部分奥陶系和志留系的滨浅海相或台地相沉积, 具有较高的 Sr/Ba 比值。震旦系、寒武系半深海—深海样品的 Sr/Ba 比值均小于 1。

(3) 奥陶纪和志留纪受黔中隆起和雪峰山隆起的影响, 黔中部分地区的 V/Ni 比值低于 1, 大部分地区 V/Ni 比值在半深海、深海或滞流海域范围内, 与 Sr/Ba 比值环境指向基本一致。

(4) 寒武系泥岩 Sr/Ca 比值普遍偏高, 表明沉积介质盐度普遍较高; 奥陶系、志留系的页岩、灰岩在川东南地区表现出相对稳定的状态, Sr/Ca 比值基本上在 30 左右, 而在灰岩、白云岩中由于 Ca 含量的增加, Sr/Ca 比值普遍偏低。

(5) 寒武纪碳酸盐岩主要是局限台地云坪相白云岩, 因此其 Ca/Mg 比值较低, 一般都小于 5; 奥陶纪为以开阔台地为主的环境, 沉积物主要为白云质灰岩和石灰岩, 因此, 其 Ca/Mg 比值较高, 显示为从 10 到 100 的剧烈变化; 早志留世由于页岩沉积占主要地位, 其中粘土矿物中的蒙脱石含量一般较高, 所以其中的 Mg 含量也偏高, 因此其 Ca/Mg 比值亦偏低。

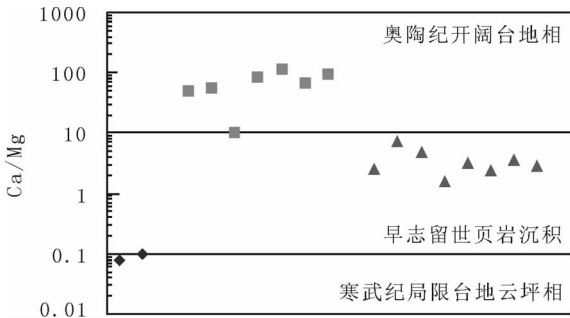


图 6 Ca/Mg 比值及其沉积环境指示分带图  
Fig.6 Indicating zoning diagram of Ca/Mg ratio and its sedimentary environment

表 2 黔中地区 Th/U 比值

Table 2 Th/U ratio in Qianzhong area

样号	地 层	取样点	Th/U	Th/U(AVE)
46	灯影组 ( $Z_1dy$ )	金沙岩孔	0.523	0.702
17	陡山沱组 ( $Z_1ds$ )	遵义松林	0.881	
9	渣拉沟群 ( $\epsilon_{1z}$ )	三都渣拉沟	2.515	2.515
11	都柳江组 ( $\epsilon_{2d}$ )	三都渣拉沟	2.879	2.879
14	三都组 ( $\epsilon_{3s}$ )	三都渣拉沟	3.180	3.180
2	红花园组 ( $O_1h$ )	丹寨坝固	1.927	1.927
24	宝塔组 ( $O_2b$ )	桐梓九坝	8.878	10.578
28	宝塔组 ( $O_2b$ )	习水良村	12.278	
20	龙马溪组 ( $S_1l$ )	桐梓九坝	3.079	3.730
39	龙马溪组 ( $S_1l$ )	习水良村	4.946	
42	石牛栏组 ( $S_1s$ )	习水良村	3.165	5.025
3	翁项群 ( $S_{1-2w}$ )	丹寨坝固	5.025	
6	邦寨组 ( $D_1b$ )	丹寨坝固	6.372	

(6)以 Th/U 比值衡量,川东南地区海水盐度相对黔中地区稍低,纵向上的变化以黔中地区为例,从底部到顶部 Th/U 比值逐渐增大,表明该区海水盐度逐渐降低,属海退系列沉积。其中奥陶系样品的 Th/U 比值过高是由 U 含量过低引起,与岩性有关。

### 参考文献(References):

- [1] Hatch J R, Leventhal J S. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A [J]. *Chemical Geology*, 1992, 99:65-82.
- [2] Couchel. Calculation of palaeosalinities from boron and clay mineral data[J]. *AAPG Bull*, 1971, 55:1829-1839.
- [3] Walker C T. Evaluation of boron as a palaeosalinity indicator and its application to off shore prospects [J]. *AAPG*, 1968, 55:571-778.
- [4] 朱立军, 赵元龙. 贵州台江中、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.  
Zhu Linjun, Zhao Yunlong. Studies of trace elements and REE geochemistry of sedimentary rocks in Middle-Lower Cambrian boundary section of Taijiang, Guizhou [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1996, 35(5):623-630 (in Chinese with English abstract).
- [5] 何宏, 彭苏萍, 邵龙义. 巴楚寒武-奥陶系碳酸盐岩微量元素及沉积环境[J]. *新疆石油地质*, 2004, 25(6):631-633.  
He Hong, Peng Suping, Shao Longyi. Trace elements and sedimentary settings of Cambrian-Ordovician carbonates in Bachu area, Tarim basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2004, 25(6):631-633(in Chinese with English abstract).
- [6] 熊国庆, 王剑, 胡仁发. 贵州梵净山地区震旦系微量元素特征及沉积环境[J]. *地球学报*, 2008, 29(1):51-60.  
Xiong Guoqing, Wang Jian, Hu Renfa. Trace element characteristics and sedimentary environment of the Sinian system of the Fanjingshan area in Guizhou Province [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2008, 29(1):51-60 (in Chinese with English abstract).
- [7] 杨兴莲, 朱茂炎, 赵元龙, 等. 黔东前寒武纪-寒武纪转换时期微量元素地球化学特征研究 [J]. *地质学报*, 2007, 81 (10):1391-1397.  
Yang Xinglian, Zhu Maoyan, Zhao Yunlong, et al. Trace element geochemical characteristics from the Ediacaran Cambrian transition interval in Eastern, South China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81 (10):1391-1397(in Chinese with English abstract).
- [8] 李双建, 肖开华, 沃玉进, 等. 湘西、黔北地区志留系稀土元素地球化学特征及其地质意义[J]. *现代地质*, 2008, 22(2):273-280.  
Li Shuangjian, Shao Kaihua, Wo Yujin, et al. REE geochemical characteristics and their geological signification in Silurian, west of Hunan Province and North of Guizhou Province [J]. *Geoscience*, 2008, 22(2):273-280(in Chinese with English abstract).
- [9] 彭东, 谢云喜, 王明光, 等. 四川九寨沟地区泥盆-三叠系多重地层层划分对比及沉积环境[J]. *中国地质*, 2006, 33(5):1013-1022.  
Peng Dong, Xie Yunxi, Wang Mingguang, et al. Multiple stratigraphic classification and correlation of the Devonian-Triassic in the Jiuzhaigou area, Sichuan, and its sedimentary environment[J]. *Geology in China*, 2006, 33 (5):1013-1022 (in Chinese with English abstract).
- [10] 杨威, 魏国齐, 金惠, 等. 川东北飞仙关组鲕滩储层成岩作用和孔隙演化[J]. *中国地质*, 2008, 34(5):822-828.  
Yang Wei, Wei Guoqi, Jin Hui, et al. Diagenesis and pore evolution of the oolitic shoal reservoir in the Feixianduan Formation in northeastern Sichuan[J]. *Geology in China*, 2008, 34(5):822-828 (in Chinese with English abstract).
- [11] 贵州省地矿局. 贵州省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1992.  
Guizhou Geological Prospecting Bureau. Regional Geology of Guizhou Province [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1992 (in Chinese with English abstract).
- [12] 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京:石油工业出版社, 2004.  
Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies Paleogeography of the Cambrian and Ordovician in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004 (in Chinese with English abstract).
- [13] 邓平. 微量元素在油气勘探中的应用[J]. *石油勘探与开发*, 1993, 20(1):27-32.  
Deng Ping. The application of trace amount of elements in the exploration of oil and gas [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1993, 20 (1):27-32 (in Chinese with English abstract).
- [14] 苗建宇, 周立发, 邓昆, 等. 吐鲁番拗陷二叠系烃源岩地球化学与沉积环境的关系[J]. *中国地质*, 2004, 31(4):424-430.  
Miao Jianyu, Zhou Lifa, Deng Kun, et al. Relationship between the depositional environment and geochemistry of Permian hydrocarbon source rocks in the Turpan depression [J]. *Geology in China*, 2004, 31(4):424-430(in Chinese with English abstract).
- [15] 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, 1993:18-28.  
Deng Hongwen, Qian Kai. Sediment Geochemistry and the Analysis of Environment [M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1993:18-28(in Chinese with English abstract).

## Element geochemical characteristics of the lower assemblage hydrocarbon source rocks in southeast Sichuan—central Guizhou (Chuangongnan—Qianzhong) region and its periphery areas and their implications to sedimentary environments

TAO Shu<sup>1</sup>, TANG Da-zhen<sup>1</sup>, ZHOU Chuan-yi<sup>2</sup>,  
LI Feng<sup>3</sup>, LI Jing-jing<sup>1</sup>, CHEN Xiao-zhi<sup>1</sup>, MENG Chang-zhong<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education; School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Hong Kong Tiandi Energy Service Company Ltd., Beijing 100022, China; 3. South China Branch of Sinopec Exploration, Chengdu 610041, Sichuan, China; 4. No. 113 Geological Party, Guizhou Bureau of Geological Exploration, Shuicheng 553000, Guizhou, China)

**Abstract:** This paper deals with the contents of such elements as B, V, Ni, Sr, Ba, Th and U by using the ICP-MS (Inductively Coupled Plasma—Ms Spectrometer) technique for 28 samples collected from Sinian—Silurian strata in Chuandongnan—Qianzhong region and its periphery areas. The contents of major and trace elements were determined by means of GB/T14506.28—93 and X-Ray Fluorescence Spectrometry. The corresponding relationships between the Sr/Ba, V/Ni, V/(V+Ni), Sr/Ca, Ca/Mg and Th/U values and the sedimentary environments were studied. The results show that the main sedimentary environments are bathyal, deep-sea or shallow sea stagnant environments. The difference in spatial distribution of elements reflects regional variation of the sedimentary environment.

**Key words:** Chuandongnan—Qianzhong and periphery area; trace elements; Sinian—Silurian; sedimentary environment.

---

**About the first author:** TAO Shu, male, born in 1981, Ph. D candidate, mainly engages in the study of energy geology and reservoir description; E-mail: peach888@163.com.