

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2017.06.08

引用格式: 梁恩云,刘耀荣,邹光均,等. 张家界地区志留系岩石地球化学与构造背景[J]. 中国地质调查,2017,4(6): 58-65.

张家界地区志留系岩石地球化学与构造背景

梁恩云, 刘耀荣, 邹光均, 魏方辉, 刘庚寅, 熊苗

(湖南省地质调查院, 长沙 410116)

摘要: 张家界地区志留系出露有兰多弗里统及文洛克统,其中兰多弗里统泥岩中 SiO_2 含量平均 61.59%, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值平均 3.63, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值平均 4.80, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 值平均 3.49, ΣREE 含量平均 238.58×10^{-6} , LREE 含量平均 213.89×10^{-6} , LREE/HREE 值平均 8.68, B 含量平均 98.29×10^{-6} , B/Ga 值平均 3.99, Th/U 值平均 5.61。通过构造环境判别图解认为: 兰多弗里统泥岩以活动大陆边缘物源为主,混入部分大陆岛弧物源,其古老物源则可能来自被动大陆边缘;已经拼合在一起的华夏、扬子陆块,在志留纪时期继续向北西挤压,形成多处隆升(黔中隆起、雪峰隆起等),随着进一步挤压,雪峰隆起升出海面,为张家界地区提供了泥质沉积物,挤压导致岛弧形成并提供了部分物源。

关键词: 沉积岩; 地球化学; 构造背景; 张家界地区; 湘西北

中图分类号: P534.43

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2017)06-0058-08

0 引言

除了气候、地形、搬运距离和成岩作用,一般认为碎屑岩组分主要受物源区母岩性质和构造背景影响^[1-3],因此,利用碎屑岩的化学成分可以判断母岩特征,并分析研究盆地沉积环境、大地构造背景和构造演化等^[4-15]。在奥陶纪时期,张家界地区沉积了大量的碳酸盐岩,而奥陶系—志留系之交的龙马溪组则为炭质页岩,其作为烃源岩研究是当今热点^[16-22];志留系沉积了一套以碎屑岩为主的地层,而此后缺失了石炭系,石炭系的缺失是由于加里东隆升导致没有接受沉积还是沉积之后由于加里东隆升导致剥蚀仍没有定论^[23-26]。为此,研究当时的沉积环境与构造背景有一定的意义。至今为止,湖南省地质调查院在湘西北地区开展了大量的区域地质调查工作,积累了丰富的野外资料及测试数据。本文拟以张家界地区志留系兰多弗里统泥岩的地球化学特征为讨论点,分析当时的沉积构造背景。

1 区域地质概况

张家界地区位于扬子陆块东南缘,毗邻华夏陆块,其北西为石门—桑植复向斜,南东为武陵断弯褶皱带。区内构造以 NE 向断裂为主,为湘西北弧形构造带的组成部分。区内无岩浆岩出露,出露地层(图1)由老到新有青白口系、南华系、震旦系、寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、二叠系、三叠系、白垩系和第四系。青白口系岩性以浅变质砂岩为主,夹少量板岩;南华系岩性主要为含冰碛砾泥岩、含冰碛砾粉砂岩、砂泥质冰碛砾岩等;震旦系、寒武系、奥陶系以碳酸盐岩为主;志留系主要为泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、石英粉砂岩等;泥盆系以石英砂岩为主,夹泥质粉砂岩;二叠系、三叠系主要为碳酸盐岩,夹石英砂岩、炭质页岩等;白垩系主要为灰质砾岩、泥质粉砂岩。其中以志留系出露最广,是本文探讨的重点。

收稿日期: 2017-04-05; 修订日期: 2017-11-09。

基金项目: 中国地质调查局“湖南 1:5 万尹家溪、溪口、三岔村幅区域地质调查(编号: 12120114066201)”和“扬子工程湘西—鄂西成矿带神农架—花垣地区地质矿产调查(编号: DD20160029)”项目联合资助。

第一作者简介: 梁恩云(1983—),男,高级工程师,主要从事区域地质矿产调查与研究。Email: 8832188@163.com。

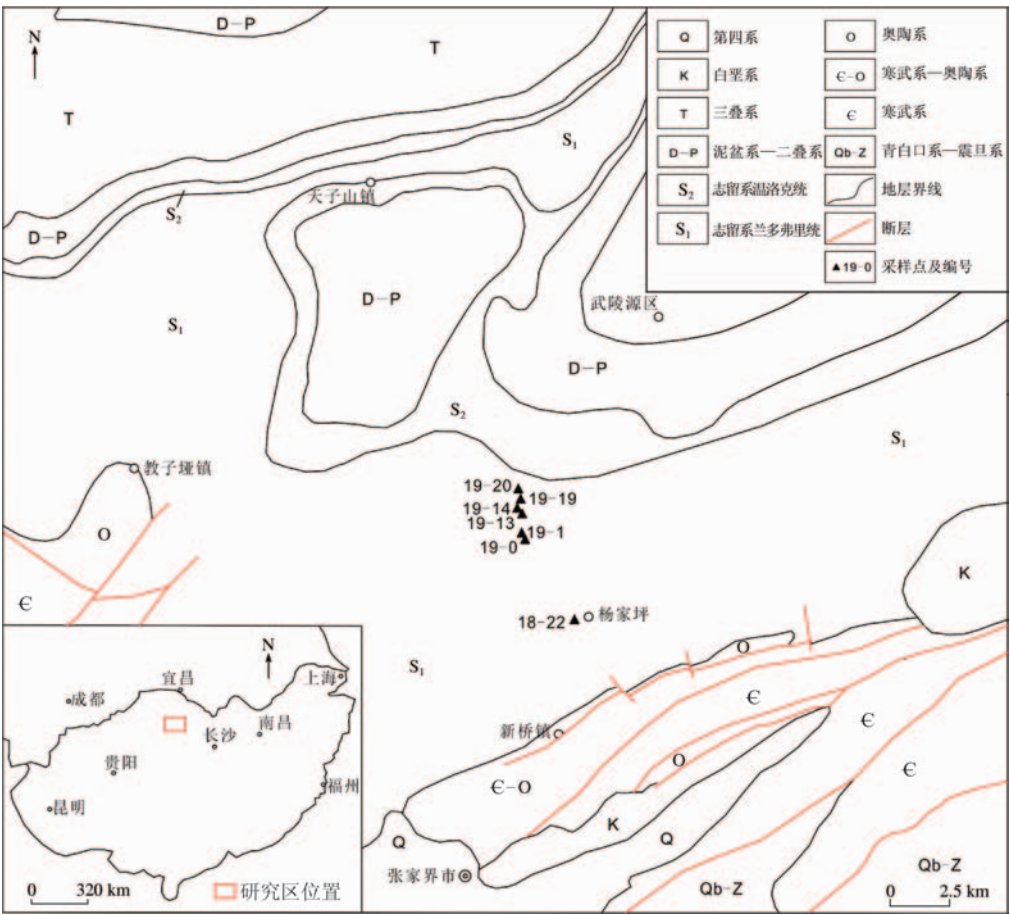


图 1 张家界地区地质简图

Fig.1 Regional geological sketch of Zhangjiajie area

2 样品及分析

在张家界地区,志留系仅出露兰多弗里统及文洛克统,岩性主要为泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩及石英粉砂岩等,自下而上,形成多个泥岩→砂岩旋回,本次研究对象为志留系兰多弗里统泥岩。在杨家坪附近测制剖面及采集样品(图 1),有新滩组(S_{1x})、小河坝组(S_{1xh})、马脚冲组(S_{1m})、溶溪组(S_{1r})、吴家院组(S_{1w})。本次采集了 7 件泥岩样品(18-22、19-0、19-1、19-13、19-14、19-19 和 19-20),分别采自新滩组、马脚冲组和溶溪组。采样时避免了风化及节理、裂隙,保证样品新鲜、无污染。

样品的分析在国土资源部长沙矿产资源监督检测中心完成,使用仪器有原子荧光光度计

(AFS-830 a)、原子吸收光度计(Z-2300)、ICP 质谱仪、ICP 全谱仪(ICP-6300)等,分析环境温度 20℃、湿度 65%。

3 地球化学特征

3.1 常量元素特征

样品常量元素分析结果见表 1。兰多弗里统泥岩中, SiO_2 含量 58.88%~64.07%,平均 61.59%; Al_2O_3 含量 15.63%~19.21%,平均 17.07%; K_2O 含量 3.56%~4.53%,平均 3.99%; Na_2O 含量 0.57%~1.32%,平均 0.90%; $Fe_2O_3 + FeO$ 含量 6.32%~7.34%,平均 6.82%; MnO 含量 0.04%~0.10%,平均 0.07%; CaO 含量 0.41%~1.32%,平均 0.67%; MgO 含量 2.16%~3.16%,平均 2.62%; SiO_2/Al_2O_3 值 3.07~4.10,平均 3.63。 K_2O/Na_2O 值 2.88~7.00,平均 4.80; $Al_2O_3/(K_2O + Na_2O)$ 值 3.27~3.75,平均 3.49。

表 1 常量元素分析结果
Tab. 1 Analysis results of major elements

样号	地层	$w_B/\%$												ICV	CIA
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量		
18-22	S _{1x}	61.35	0.690	16.95	2.83	3.56	0.10	2.68	1.32	1.32	3.80	0.150	4.56	0.34	66.08
19-0	S _{1m}	63.20	0.594	16.43	5.33	1.02	0.06	2.16	0.59	0.75	4.11	0.141	5.37	0.33	70.82
19-1	S _{1r}	61.04	0.610	16.56	6.36	0.94	0.04	2.48	0.59	0.57	3.98	0.100	6.07	0.34	72.34
19-13	S _{1r}	59.53	0.670	17.46	4.25	2.98	0.06	3.16	0.82	0.81	4.27	0.140	5.33	0.37	70.07
19-14	S _{1r}	58.88	0.610	19.21	3.78	3.00	0.07	3.01	0.47	0.73	4.53	0.140	5.10	0.38	73.37
19-19	S _{1r}	63.10	0.610	17.23	4.83	1.49	0.07	2.60	0.46	1.03	3.56	0.120	4.52	0.35	72.93
19-20	S _{1r}	64.07	0.610	15.63	5.34	2.00	0.05	2.26	0.41	1.11	3.69	0.180	4.22	0.33	70.38

MgO/Al₂O₃ 值大致反映出该时期碎屑岩中海洋组分和陆源组分的比例^[2]。全部样品中,MgO/Al₂O₃ 值 0.13~0.18,平均 0.15,其离散程度较小,说明沉积-构造环境较为稳定。K₂O/Na₂O 值明显大于 1,个别高达 6.98,钾含量大于钠含量,表明陆缘组分占主体地位。ICV 值 0.33~0.38,平均 0.35,CIA 值 66.08~73.37,平均 70.86。当 ICV 值大于 1 时,表明其含黏土矿物较少,属构造活动时期的初始沉积;当 ICV 值小于 1 时,表明其含较多黏土矿物,可能经历了再沉积作用或是强烈风化条件下的初始沉积^[27]。而本次研究的兰多弗里统泥岩中黏土矿物必然不少,其 ICV 值在 0.35 附近,可

视其代表初始沉积,CIA 值显示当时为温暖湿润气候条件^[28]。

3.2 稀土元素特征

样品稀土元素分析结果见表 2。兰多弗里统泥岩中,稀土元素含量总体较高, Σ REE 含量(不包括 Y) $215 \times 10^{-6} \sim 261.33 \times 10^{-6}$,平均 238.58×10^{-6} ,明显高于大陆上地壳的平均稀土元素总量(146.4×10^{-6}),也高于北美页岩的平均值(173.2×10^{-6});LREE 含量 $193.16 \times 10^{-6} \sim 236.41 \times 10^{-6}$,平均 213.89×10^{-6} ;HREE 含量 $21.84 \times 10^{-6} \sim 28.01 \times 10^{-6}$,平均 24.70×10^{-6} ;LREE/HREE 值 7.61~9.49,平均 8.68。

表 2 稀土元素分析结果
Tab. 2 Analysis results of rare earth elements

样号	$w_B/10^{-6}$														
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
18-22	47.60	88.12	10.38	38.52	7.05	1.49	6.32	1.02	5.05	1.18	3.46	0.59	3.61	0.61	30.65
19-0	52.30	93.12	11.26	41.72	7.61	1.50	6.86	1.13	5.97	1.31	3.83	0.64	3.87	0.66	33.93
19-1	63.29	101.90	13.24	48.02	8.37	1.59	7.32	1.18	6.09	1.32	3.86	0.65	3.84	0.66	34.70
19-13	55.06	100.00	11.76	43.43	7.80	1.55	7.16	1.17	6.30	1.37	4.07	0.70	4.20	0.71	37.08
19-14	56.07	102.40	11.83	42.78	7.53	1.56	7.09	1.14	6.22	1.36	3.96	0.68	3.60	0.70	35.33
19-19	50.94	94.89	10.95	40.06	7.02	1.35	6.39	1.03	5.69	1.28	3.75	0.67	3.92	0.67	33.06
19-20	50.83	95.62	11.51	44.35	8.98	1.87	8.00	1.36	7.19	1.52	4.34	0.71	4.19	0.70	41.02

La_N/Yb_N 值 7.85~10.66,平均 8.97,表明样品的轻、重稀土元素分异特别明显。 δ Eu 值 0.611~0.675,平均 0.639,呈现明显的 Eu 负异常,与北美页岩标准值(δ Eu = 0.65)比较接近。 δ Ce 值 0.758~0.868,平均 0.839,与华南褶皱系环境(δ Ce = 0.84)差不多^[29]。

从稀土元素球粒陨石标准化分布型式图(图 2)及 LREE/HREE 值可知,其具轻稀土富集、重稀土平缓的特点,兼具铕负异常、铈异常不明显的特点,与典型的后太古宙页岩和上陆壳相似(轻稀土富集、重稀土平坦、铕负异常显著)。

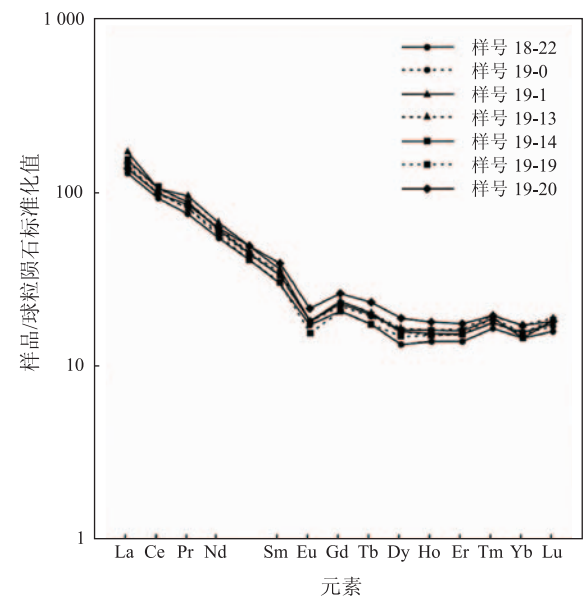


图2 稀土元素球粒陨石标准化分布型式图
Fig.2 Chondrite – normalized REE patterns

3.3 微量元素特征

样品微量元素分析结果见表3。微量元素含量整体上与上地壳丰度^[30]相差较大,其中 Rb、Ga、Hf、Co、Pb 约为 1.5 倍,Th、V 约为 2 倍,B、Sc 则大于 3 倍,Nb、Ta 约为 1/2,而 Sr 含量仅为 1/5 左右。Sr/Ba 值 0.126 ~ 0.199,平均 0.167;Rb/Sr 值 1.47 ~ 2.33,平均 2.03; Ba/Rb 值 2.38 ~ 3.80,平均 3.04; Zr/Hf 值 16.24 ~ 22.78,平均 19.37; Zr/Th 值 6.23 ~ 10.31,平均 8.72;Sc/Cr 值 0.14 ~ 0.24,平均 0.18。除 Zr/Hf 值、Zr/Th 值变化范围较大外,其他比值差异不大。微量元素 B 在陆相岩石中一般低于 70×10^{-6} ,而海相岩石中一般大于 100×10^{-6} ;陆相环境中 B/Ga 值一般为 3.0 ~ 3.3,海相环境中则大于 4.5 ~ 5.0^[31]。本次采集泥岩样品中,B 含量 $77 \times 10^{-6} \sim 131 \times 10^{-6}$,平均 98.29×10^{-6} ,B/Ga 值 3.17 ~ 4.82,平均 3.99,反映出兰多弗里统泥岩的海相及陆相沉积特征均不明显。

表3 微量元素分析结果
Tab.3 Analysis results of trace elements

样号	$w_B/10^{-6}$								
	Rb	Sr	Ba	Ga	Nb	Ta	Zr	Hf	Th
18-22	145.75	99.11	520.30	23.24	15.76	1.42	184.00	9.77	17.84
19-0	157.13	80.56	509.20	23.62	16.64	1.63	215.00	9.48	21.24
19-1	194.65	83.66	533.00	23.38	15.20	1.34	185.00	8.12	20.53
19-13	192.80	91.28	498.20	26.34	19.30	1.97	154.00	9.48	20.99
19-14	227.88	108.00	542.60	27.60	17.54	1.62	141.00	8.04	22.62
19-19	157.60	71.55	462.30	24.63	20.69	1.66	173.00	9.54	20.18
19-20	148.53	71.44	565.10	23.25	16.37	1.48	184.00	9.48	19.48
平均	174.91	86.51	518.67	24.58	17.36	1.59	176.57	9.13	20.41
上地壳	112.00	350.00	55.00	17.00	25.00	2.20	190.00	5.80	10.70

样号	$w_B/10^{-6}$								
	V	Cr	Co	Ni	B	Sc	U	Pb	Au
18-22	112.40	105.50	17.02	45.06	112.00	15.78	3.56	30.69	0.92
19-0	113.00	98.20	15.28	41.33	77.00	15.24	3.81	33.52	1.25
19-1	110.80	88.71	17.61	49.50	96.00	15.00	3.31	24.52	1.24
19-13	132.10	87.98	17.73	48.42	104.00	17.65	3.92	31.65	1.79
19-14	139.70	81.56	18.23	50.36	131.00	19.31	3.89	39.28	1.92
19-19	124.20	72.65	17.64	46.56	78.00	16.65	3.75	38.64	3.19
19-20	106.20	102.70	15.79	41.62	90.00	14.23	3.29	28.68	0.76
平均	119.77	91.04	17.04	46.12	98.29	16.27	3.65	32.43	1.58
上地壳	60.00	35.00	10.00	20.00	15.00	3.70	2.80	20.00	1.80

注：上地壳丰度据参考文献[30]。

4 构造背景判别方法

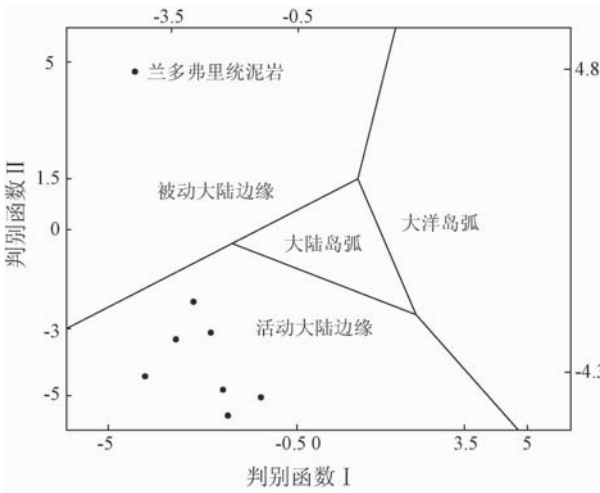
在沉积建造中,陆源碎屑岩不仅保留着源区母

岩的相关信息,也直接记录了沉积盆地构造演化轨迹。研究表明,尽管有沉积过程中的改造作用,但物源区的地球化学成分是碎屑岩成分的主要控制因素。因此,通过分析碎屑岩的化学成分即可确定

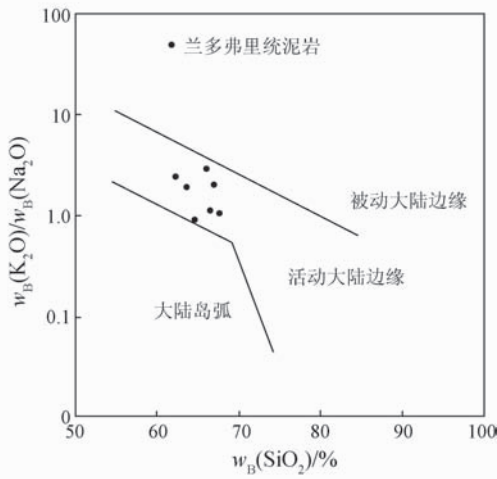
母岩性质(其通常与构造环境密切相关),再造沉积盆地的构造演化历史。

Bhatia^[32]将大陆边缘和大洋盆地划分为大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘和被动大陆边缘,并提出了一些以主量元素参数来判别构造环境的图解(图3(a))。Roser 和 Korsch^[33]提出了砂岩和泥岩沉积盆地构造环境的 $K_2O/Na_2O - SiO_2$ 图解(图3(b))。其中活动大陆边缘包括了一系列复杂的

位于活动板块边界之上或邻近板块边界的构造活动大陆边缘,沉积物来自大陆边缘岩浆弧或与走滑断层有关的隆升区;被动大陆边缘包括了稳定大陆边缘的板内盆地和克拉通内部盆地,沉积物来自稳定的大陆地区并沉积在远离活动板块边缘的地方。在图3(a)和图3(b)中,研究区志留系样品的投点均落入活动大陆边缘范围。



(a) 主量元素构造环境判别分析图



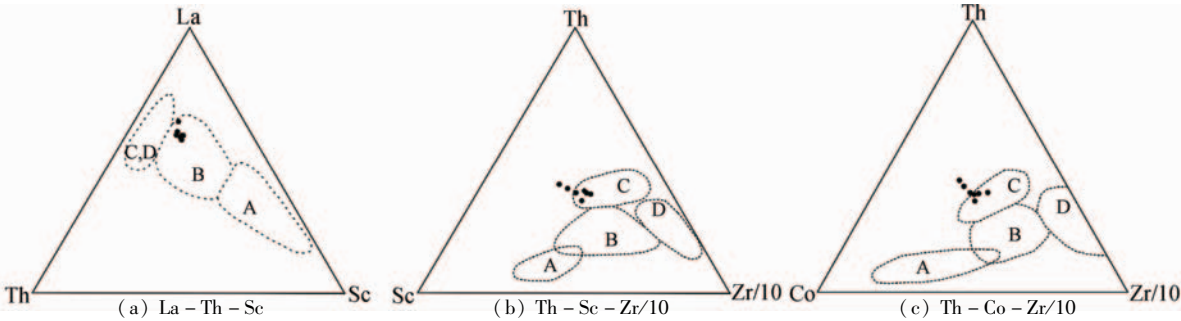
(b) $K_2O/Na_2O - SiO_2$ 构造环境判别图

图3 岩石常量元素构造环境判别图

Fig.3 Tectonic setting discrimination diagrams of major elements in the rocks

REE、Th、U、Nb、Ta、Zr 和 Hf 属惰性元素范围,性质稳定,较少或不受沉积过程的影响^[34]。Bhatia^[35]在研究澳大利亚古生代浊积杂砂岩的构造环境时,认为最具构造判别意义的是 $La - Th - Sc$ 、 $Th - Sc - Zr/10$ 及 $Th - Co - Zr/10$ 3 种三角图

(图4)。从图4(a)可知,张家界地区志留系兰多弗里统泥岩落入大陆岛弧范围内,其在图4(b)、4(c)中则落入活动大陆边缘范围及附近。在 $La/Y - Sc/Cr$ 图解^[36]中,则主要落入被动大陆边缘及其外围,可能反映了古老物源特性(图5)。



• 兰多弗里统泥岩; A 大洋岛弧; B 大陆岛弧; C 活动大陆边缘; D 被动大陆边缘

图4 岩石微量元素构造判别图

Fig.4 Tectonic setting discrimination diagrams of trace elements in the rocks

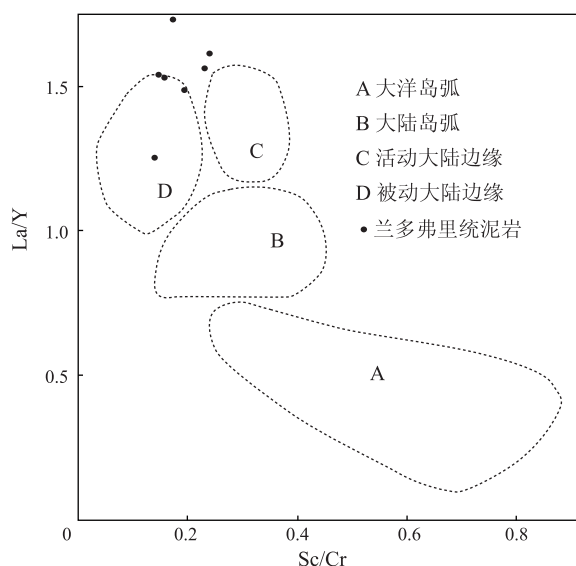


图5 La/Y - Sc/Cr 判别图

Fig. 5 Discrimination diagrams of La/Y - Sc/Cr

5 讨论

综上所述,张家界地区志留系岩石主要显示了活动大陆边缘与大陆岛弧的沉积环境信息,其古老物源则有被动大陆边缘的特征。当然,这还要结合区域地质资料来考虑。

戎嘉余等^[37]认为奥陶纪晚期扬子地块和华夏地块汇聚拼合后引起隆升,且向西北扩大。志留纪兰多维列世黔中古陆北缘和东北缘发生了一次短暂的向北扩展露出海面的地质事件^[38]。朱志军等^[39]提出渝东—湘西地区早志留世小河坝期碎屑岩沉积的物质主要来自东南部的江南雪峰山隆起。马义波等^[40]在研究江南造山带西南缘盆地演化时,认为贵州梵净山地区从南华纪到奥陶纪经历了大陆裂谷盆地到被动大陆边缘盆地的转变,至志留纪形成前陆盆地。李斌等^[26]认为,湘西地区志留系物源来自于东南部雪峰隆起,其沉积盆地构造演化经历了前陆盆地的形成期、发展期、萎缩期和消亡期几个阶段。梁恩云等^[41]认为湘西北地区奥陶纪—志留纪地质背景从伸展体制的被动大陆边缘演化为挤压体制的前陆盆地,并建立了沉积—构造演化模型。

元古宙基底陆源碎屑岩是扬子与华夏陆块变质基底的主体,扬子陆块 Th/U 值为 4.4 ~ 4.8,华

夏陆块 Th/U 值为 5.3 ~ 5.4^[42]。张家界地区志留系兰多弗里统泥岩样品的 Th/U 为 5.01 ~ 6.20,平均 5.61。由此可以认为,兰多弗里统泥岩的物源为华夏陆块。

张家界地区志留系时期的沉积构造背景为:已经拼合在一起的华夏、扬子陆块,在志留纪时期继续向北西挤压,且形成多处隆升(黔中隆起、雪峰隆起等),随着进一步挤压,雪峰隆起升出海面,在沉积间断的同时遭受剥蚀。

6 结论

(1) 张家界地区志留系岩石地球化学主要显示了活动大陆边缘与大陆岛弧的沉积环境信息,物源为华夏陆块,其古老物源则有被动大陆边缘的特征。

(2) 志留系兰多弗里统时期的张家界地区附近存在岛弧,且东南方向的山峰隆起开始升出水面,提供沉积物源。

参考文献:

- [1] McLennan S M, Hemming S, McDaniel M J, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics [M] // Jonhanson M J. Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Boulder: Geological Society of America, 1993: 21 - 40.
- [2] 毛光周, 刘池洋. 地球化学在物源及沉积背景分析中的应用 [J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(4): 337 - 348.
- [3] 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2016: 285 - 289.
- [4] 于兴河, 王德发, 郑浚茂. 华北地区二叠系砂岩成分与构造背景关系的探讨 [J]. 现代地质, 1994, 8(3): 299 - 307.
- [5] 顾雪祥, 刘建明, Schulz O, 等. 江南造山带雪峰隆起区元古宙浊积岩沉积构造背景的地球化学制约 [J]. 地球化学, 2003, 32(5): 406 - 426.
- [6] 和政军, 李锦轶, 莫申国, 等. 漠河前陆盆地砂岩岩石地球化学的构造背景和物源区分析 [J]. 中国科学: 地球科学, 2003, 33(12): 1219 - 1226.
- [7] 赵小明, 姚华舟, 汤朝阳, 等. 青海省曲麻莱地区上三叠统巴颜喀拉山群砂岩成分与构造背景探讨 [J]. 华南地质与矿产, 2006(1): 54 - 58.
- [8] 柏道远, 周亮, 王先辉, 等. 湘东南南华系—寒武系砂岩地球化学特征及对华南新元古代—早古生代构造背景的制约 [J]. 地质学报, 2007, 81(6): 755 - 771.
- [9] 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问

- 题[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 92–103.
- [10] 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.
 - [11] 朱志军, 陈洪德, 林良彪, 等. 川东南—湘西地区志留系小河坝组砂岩微量元素地球化学特征及意义[J]. 地质科技情报, 2010, 29(2): 24–30, 43.
 - [12] 孙林华, 桂和荣. 皖北地区新元古代构造背景的转换: 来自碎屑岩地球化学的证据[J]. 地球学报, 2011, 32(5): 523–532.
 - [13] 王浩霖, 常山. 贺兰山中段奥陶系米钵山组砂岩地球化学及构造背景分析[J]. 资源调查与环境, 2012, 33(3): 198–205.
 - [14] 胡楠, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘布青山得力士坦地区马尔组物源分析及其构造背景研究[J]. 地质学报, 2013, 87(11): 1731–1747.
 - [15] 梁恩云, 彭能立, 刘耀荣, 等. 张家界三岔地区五强溪组岩石地球化学与构造背景探讨[J]. 东华理工大学学报: 自然科学版, 2016, 39(3): 259–265.
 - [16] 文玲, 胡书毅, 田海芹. 扬子地区志留纪岩相古地理与石油地质条件研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6): 11–14.
 - [17] 苏文博, 李志明, 史晓颖, 等. 华南五峰组—龙马溪组与华北下马岭组的钾质斑脱岩及黑色岩系——两个地史转折期板块构造运动的沉积响应[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 82–95.
 - [18] 胡艳华, 孙卫东, 丁兴, 等. 奥陶纪—志留纪边界附近火山活动记录: 来华南周缘钾质斑脱岩的信息[J]. 岩石学报, 2009, 25(12): 3298–3308.
 - [19] 董大忠, 程克明, 王玉满, 等. 中国上扬子区下古生界页岩气形成条件及特征[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 288–299, 308.
 - [20] 王玉满, 董大忠, 李建忠. 川南下志留统龙马溪组页岩气储层特征[J]. 石油学报, 2012, 33(4): 551–561.
 - [21] 郑和荣, 高波, 彭勇民, 等. 中上扬子地区下志留统沉积演化与页岩气勘探方向[J]. 古地理学报, 2013, 15(5): 645–656.
 - [22] 于深洋, 李越, 张园园. 云南大关志留系龙马溪组灰岩层显示的台缘相特征[J]. 地层学杂志, 2016, 40(2): 162–167.
 - [23] 王根贤, 耿良玉, 肖耀海, 等. 湘西北秀山组上段、小溪峪组的地质时代和沉积特征[J]. 地层学杂志, 1988, 12(3): 216–227.
 - [24] 万方, 许效松. 川滇黔桂地区志留纪构造—岩相古地理[J]. 古地理学报, 2003, 5(2): 180–186.
 - [25] 王怿, 戎嘉余, 徐洪河, 等. 湖南张家界地区志留纪晚期地层新见兼论小溪组的时代[J]. 地层学杂志, 2010, 34(2): 113–126.
 - [26] 李斌, 胡博文, 石小虎, 等. 湘西地区志留纪沉积体系及典型前陆盆地的形成模式研究[J]. 地学前缘, 2015, 22(6): 167–176.
 - [27] Cullers R L, Podkovyrov V N. The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Uj group, southeastern Russia[J]. Precambrian Res, 2002, 117(3/4): 157–183.
 - [28] Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. Nature, 1982, 299: 715–717.
 - [29] 迟清华, 鄯明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 48–49.
 - [30] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: its composition and evolution. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks[M]. Oxford, London: Blackwell scientific Publication, 1985: 1–301.
 - [31] 刘英俊, 曹立明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 360–428.
 - [32] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. J Geol, 1983, 91(6): 611–627.
 - [33] Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone—mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio[J]. J Geol, 1986, 94(5): 635–650.
 - [34] Pearce J A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins[M]//Hawkesworth C J, Norry M J. Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Shiva; Nantwich, 1983: 230–249.
 - [35] Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control[J]. Sediment Geol, 1985, 45(1/2): 97–113.
 - [36] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. Contrib Mineral Petrol, 1986, 92(2): 181–193.
 - [37] 戎嘉余, 詹仁斌, 许红根, 等. 华夏古陆与奥陶—志留纪之交的扩展证据和机制探索[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(1): 1–17.
 - [38] 戎嘉余, 王怿, 詹仁斌, 等. 论桐梓上升——志留纪埃隆晚期黔中古陆北扩的证据[J]. 地层学杂志, 2012, 36(4): 679–691.
 - [39] 朱志军, 陈洪德, 林良彪, 等. 渝东—湘西地区志留纪小河坝组层序岩相古地理特征及演化[J]. 地层学杂志, 2012, 36(3): 662–671.
 - [40] 马义波, 唐佐其, 譙文浪, 等. 贵州梵净山地区南华系—志留系沉积体系特征及其演化[J]. 贵州地质, 2015, 32(1): 15–20, 26.
 - [41] 梁恩云, 刘伟, 刘耀荣, 等. 关于湘西北红岩溪地区沉积—构造—成矿研究的一些认识[J]. 中国地质调查, 2016, 3(4): 29–36.
 - [42] 马振东, 陈颖军. 华南扬子与华夏陆块古—中元古代基底地壳微量元素地球化学示踪探讨[J]. 地球化学, 2000, 29(6): 525–531.

Geochemical characteristics and tectonic setting of Silurian rocks in Zhangjiajie area

LIANG Enyun, LIU Yaorong, ZOU Guangjun, WEI Fanghui, LIU Gengyin, XIONG Miao
(Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410116, China)

Abstract: Silurian outcrops include Llandovery Series and Wenlock Series in Zhangjiajie area. In the mudstones of Llandovery Series, the contents of different compositions are as follows: the average content of SiO₂ is 61.59%, the average value of SiO₂/Al₂O₃ is 3.63, K₂O/Na₂O is 4.80, Al₂O₃/(K₂O + Na₂O) is 3.49, the average content of $\sum$ REE is 238.58×10^{-6} , the average content of LREE is 213.89×10^{-6} , the average value of LREE/HREE is 8.68, the average content of B is 98.29×10^{-6} , the average value of B/Ga is 3.99 and the average value of Th/U is 5.61. According to the tectonic setting discrimination diagrams, the authors declared that the mudstones source of Llandovery Series is active continental margin, interfused with some continent island arc. And the older source could be passive continental margin. The authors concluded that after the combination of Cathaysia and Yangtze Plate, the new plate continued to extrude northwest and formed many uplifts (Qianzhong and Xuefeng uplifts). With further extrusion, Xuefeng uplift was raised above the sea level, which provided argillaceous sediment for Zhangjiajie area. The extrusion caused the formation of island arc and provided part source.

Key words: sedimentary rock; geochemistry; tectonic setting; Zhangjiajie area; Northwest Hunan

(责任编辑: 刘丹, 刘永权)