

文章编号:1009-3850(2019)03-0048-07

贵州印江县铁厂村老堡组硅质岩地球化学特征 及沉积环境探讨

赵志强¹, 贺同军¹, 孙小浩², 蔡柯柯¹, 樊杰¹, 王世伟³

(1. 重庆市地质矿产勘查开发局 607 地质队, 重庆 400054; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 3. 重庆彭水苗族土家族自治县规划和自然资源局, 重庆 彭水 409600)

摘要:通过岩性组合特征和岩石地球化学分析,认为贵州印江县铁厂村老堡组硅质岩的沉积环境为台地边缘斜坡至台盆。硅质主要来源于陆源碎屑,不具热水沉积的特征。岩石地球化学特征研究表明, $V/(V+Ni)$ 值指示老堡组硅质岩形成于静海环境,受陆源的影响较大。 δCe 值和 $(La/Ce)_N$ 值表明老堡组硅质岩的沉积环境为开阔盆地和大陆边缘之间,构造背景为大陆边缘。

关键词:硅质岩;地球化学;沉积环境;物质来源

中图分类号:P595

文献标识码:A

引言

贵州地区的寒武系底部发育了一套黑色、灰黑色层状硅质岩,层位稳定,厚度较大。其下部为震旦系陡山沱组白云岩,上部为寒武系牛蹄塘组黑色页岩。目前已有学者^[1-13]对该套硅质岩进行了研究,对其成因和物质来源等问题存在争议,有人认为是热水沉积成因硅质岩^[4-5],也有人认为是生物成因硅质岩^[2,6,9],还有人认为其物源主要来自大陆风化^[9,13]。查明这套硅质岩的成因和物质来源,对探讨当时的沉积环境具有重要意义。本文从地球化学的角度对贵州印江县铁厂村老堡组剖面进行了系统的研究,旨在探讨研究区埃迪卡拉纪—寒武纪过渡时期沉积的这套硅质岩的形成环境和物质来源。

1 地质背景

研究剖面位于扬子陆块与江南陆块的过渡区(图1a)。研究区大地构造位置一级分区属羌塘—扬子—华南板块,二级分区属扬子陆块,三级构造分区属上扬子地块和江南造山带^[14]。新元古代武陵期形成的统一古华南大陆板块,是在 Rodinia 超大陆裂解的构造动力学背景下开始发生裂解的,以其上覆的下江期板溪群的典型裂谷盆地沉积地层为代表,反映了统一的华南古大陆自 820Ma 以后,主要在 820~740Ma 期间迅速转入伸展裂谷构造发育期。区域上,雪峰期沉积了芙蓉坝组、甲路组、红子溪组、张家坝组和清水江组。加里东期南华纪经历了小冰期、间冰期和大冰期,小冰期沉积了两界河组,间冰期沉积了大塘坡期。大冰期沉积了南沱

收稿日期:2019-07-17; 改回日期:2019-08-12

作者简介:赵志强(1983—),男,高级工程师,主要从事区域地质和区域矿产调查工作。E-mail:350195123@qq.com

通讯作者:贺同军(1978—),男,高级工程师,主要从事地质矿产勘查工作

资助项目:武陵山成矿带酉阳-天柱地区地质矿产调查(121201010000160904)

(图 1c)^[15]。

陡山沱组:岩性大致可以三分:下部以灰色、黄灰色中层状泥质白云岩、细晶白云岩、硅质岩为主,

研究区震旦系至寒武系上统出露的地层主要为南沱组、陡山沱组、老堡组、牛蹄塘组、九门冲组

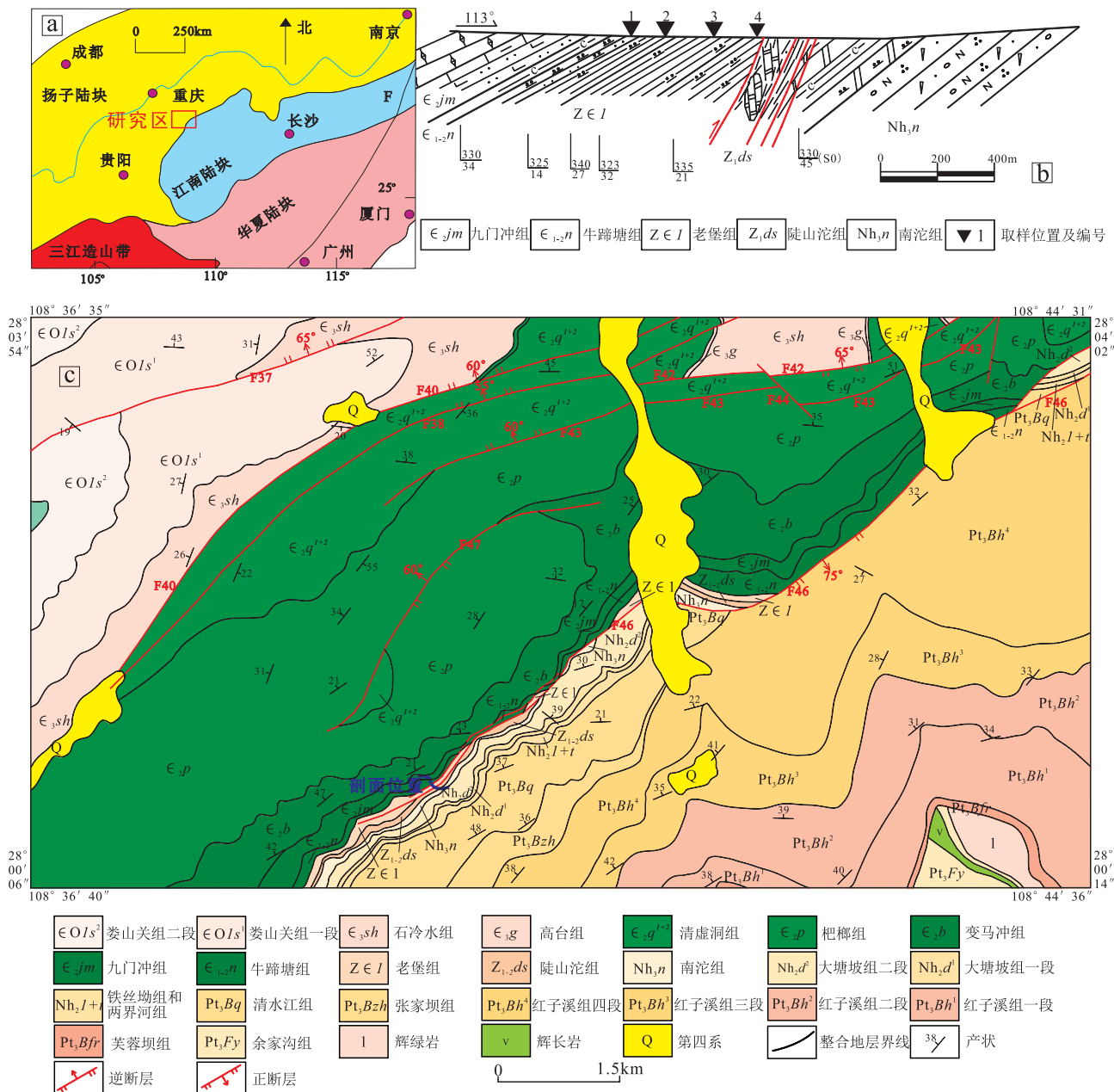


图1 研究区大地构造位置图(a)、剖面图(b)、地质图(c)^[15]

Fig.1 Tectonic setting (a), cross section (b) and geological map (c) of the Laobao Formation in Tiechang, Yinjiang, Guizhou (after Zhou Zhengmao et al., 2018)

间夹粉砂岩,称“帽白云岩”;中部为灰色、深灰色含炭质粉砂质页岩间夹灰色薄-中层状泥质白云岩;上部为灰色薄-厚层状细晶白云岩,与下伏南沱组整合接触。

老堡组:岩性为黑灰、灰黑色薄层(偶夹中层)状硅质岩、含炭质泥质硅质岩夹黑色硅质板岩、炭质硅质页岩,与下伏陡山沱组断层接触。

牛蹄塘组:下部为黑色薄-中层状炭质泥岩,上部为深灰、灰黑色薄-中层状含粉砂质炭质泥岩,间夹灰黑色薄层状炭硅质页岩,自下而上炭质含量逐渐减少,与下伏老堡组整合接触。

九门冲组:下部为灰色薄层状砂泥质灰岩与黄灰色薄层状钙质粉砂岩互层;上部为灰黑色薄-厚层状微-粉晶灰岩,间夹黑色页片状含粉砂质炭质页岩,与下伏牛蹄塘组整合接触。

2 地球化学特征

本次工作在剖面上将震旦系老堡组分为4层,每层取1件样品,共取4件样品,从下至上岩性依次为硅质板岩、炭质硅质页岩、碎裂化硅质岩、含炭质泥质硅质岩,采样位置如图1b所示。对样品分别进行了主量元素、微量元素和稀土元素测试分析,其中样品前处理及主量元素、微量元素、稀土元素测试由澳实分析检测(广州)有限公司矿物实验室完成。

2.1 主量元素

硅质岩中 Al、Fe、Mn、Ti 等元素是判别硅质岩成因的重要标志。前人研究表明,Fe、Mn 元素的富集与热水沉积作用相关,而 Al、Ti 的相对集中则与陆源物质的介入有关^[16-17]。对于 Al、Fe、Mn 元素,主要采用 $Al/(Al + Fe + Mn)$ 的比值来判别硅质岩成因。Yamamoto 经过研究,认为热水沉积的硅质岩 $Al/(Al + Fe + Mn)$ 值小于 0.4,受陆源影响的硅质岩 $Al/(Al + Fe + Mn)$ 值大于 0.4。海相沉积岩的 $Al/(Al + Fe + Mn)$ 值随着热水沉积物参与的程度而减小,并以 Al、Fe、Mn 做三角图(图2)来判别硅质岩成因^[16-17]。文中 $Al/(Al + Fe + Mn)$ 值为 0.5 ~ 0.89,平均为 0.73 > 0.4,可知老堡组的硅质岩形成受陆源影响很大;Al-Fe-Mn 三角图解可知 2 号样品落入非热液成因的硅质岩内,1 号在其边缘附近,更靠近非热液成因的硅质岩,3 和 4 号样品更靠近 Al 元素一端,说明两个样品的形成与陆源物质的介入

关系较大。

目前 $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ 值被认为是判别硅质岩形成构造背景的一个较好的指标^[18-20]。其中大陆边缘硅质岩的 $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3) = 0.5 \sim 0.9$;远洋盆地硅质岩的 $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3) = 0.4 \sim 0.7$;洋中脊硅质岩的 $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3) < 0.4$ 。Murray 系统总结了显生宙不同环境硅质岩的地球化学特征,提出用 $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ - Fe_2O_3/TiO_2 图解(图3)来判别硅质岩形成环境^[18]。本文中 $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3) = 0.7 \sim 0.93$,平均值为 0.82,结合 $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ - Fe_2O_3/TiO_2 图解可知,本文硅质岩为大陆边缘硅质岩,构造背景为大陆边缘。

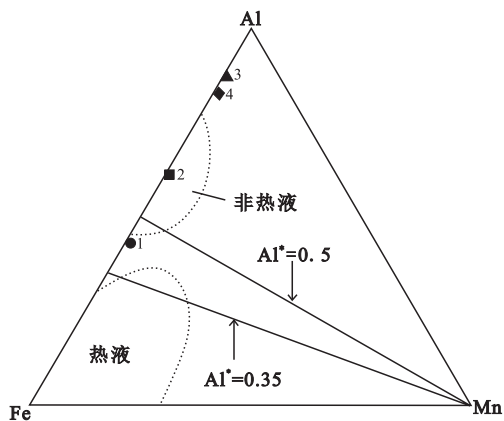


图2 Al-Fe-Mn 三角图解^[16]

Fig. 2 Al-Fe-Mn triangular diagram for the siliceous rocks from the Laobao Formation (after Yamamoto, 1987)

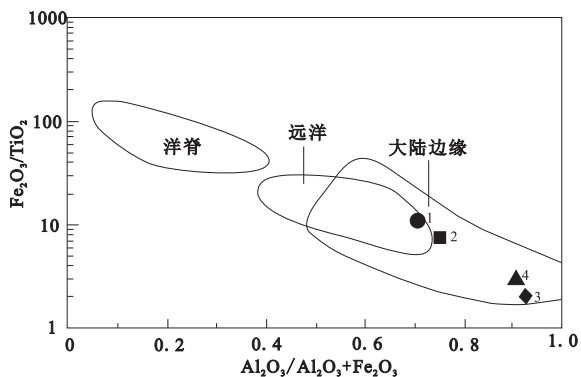


图3 $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ - Fe_2O_3/TiO_2 图解^[18]

Fig. 3 $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ vs. Fe_2O_3/TiO_2 diagram for the siliceous rocks from the Laobao Formation (after Murray, 1994)

表 1 印江县铁厂村老堡组硅质岩主量元素含量 (wt%)

Table 1 Major element contents in the siliceous rocks from the Laobao Formation (wt%)

样品编号	样品名称	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	CO ₂	FeO
1	含炭质泥质硅质岩	4.66	8.74	1.97	1.13	4.92	0.062	0.15	0.39	63.87	0.17	12.42	1.35
2	碎裂化硅质岩	5.23	0.07	1.75	1.01	0.34	0.008	0.04	0.06	86.97	0.22	0.41	0.22
3	炭质硅质页岩	5.15	0.08	0.37	1.00	0.30	0.005	0.04	0.04	89.38	0.18	0.31	0.08
4	硅质板岩	4.12	0.05	0.43	0.60	0.23	0.008	0.05	0.30	90.86	0.14	0.44	0.07

表 2 印江县铁厂村老堡组硅质岩微量元素含量 (ppm)

Table 2 Trace element contents in the siliceous rocks from the Laobao Formation (ppm)

样品编号	样品名称	Sr	Zr	Cr	Hf	Au	Nb	Ta	Ba	V	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	W	Pb	Th	U
1	含炭质泥质硅质岩	484	56.0	41.0	1.10	<0.1	3.58	0.23	1005	30.8	4.48	8.14	8.69	32.6	6.65	48.3	41.3	3.86	5.17	2.90
2	碎裂化硅质岩	86.0	63.0	47.0	0.20	<0.1	3.31	0.24	1651	70.8	9.80	8.17	13.7	31.7	6.57	32.9	126	5.78	5.09	1.99
3	炭质硅质页岩	53.0	56.0	46.0	0.15	<0.1	3.42	0.001	6635	43.8	16.8	0.013	6.61	3.91	6.83	26.7	251	14.3	2.98	1.51
4	硅质板岩	328	47.0	22.0	0.20	<0.1	2.51	0.11	4726	32.7	15.7	0.012	5.87	5.90	4.87	12.9	222	1.53	2.30	1.28

表 3 印江县铁厂村老堡组硅质岩稀土元素含量 (ppm)

Table 3 REE contents in the siliceous rocks from the Laobao Formation (ppm)

样品编号	样品名称	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	LaN/YbN	δEu	δCe
1	含炭质泥质硅质岩	22.7	13.9	23.1	3.68	23.8	5.56	1.53	3.69	0.87	5.38	1.02	2.79	0.37	2.46	0.34	0.53	1.57	0.77
2	碎裂化硅质岩	16.0	10.9	15.6	2.48	14.0	2.95	0.84	1.97	0.50	3.65	0.81	2.21	0.36	2.41	0.41	0.43	1.63	0.71
3	炭质硅质页岩	11.4	8.09	10.0	1.51	7.63	1.23	1.66	0.92	0.26	2.13	0.53	1.54	0.29	2.28	0.47	0.33	7.27	0.67
4	硅质板岩	16.2	6.39	9.67	2.19	16.4	5.40	1.99	3.40	0.62	3.51	0.68	1.68	0.27	1.89	0.38	0.32	2.15	0.61
5	北美页岩	31.5	66.5	7.9	7.9	27	5.9	1.18	5.2	0.79	5.8	1.04	3.4	0.5	2.97	0.44			

2.2 微量元素

Jones 和 Manning 提出, $V/(V + Ni)$ 值可以反映沉积物形成时的氧化还原环境, 即 $V/(V + Ni)$ 小于 0.46 时为氧化环境、0.46 ~ 0.57 为弱氧化环境、0.57 ~ 0.83 为缺氧环境、0.83 ~ 1 为静海环境^[21-22]。文中 $V/(V + Ni)$ 值为 0.79 ~ 1.0, 平均为 0.92, 可知本文老堡组硅质岩应为缺氧至静海环境。

U/Th 值也可以用来指示硅质岩的沉积物源与热水成因的关系。热水沉积硅质岩 U/Th 值大于 1, 而非热水沉积硅质岩 U/Th 值小于 1^[22-23]。文中 U/Th 值为 0.39 ~ 0.56, 平均为 0.5 < 1, 该硅质岩应为

非热水沉积硅质岩。

2.3 稀土元素

Murray 等认为, δCe 和 $(La/Ce)_N$ 对环境的指示意义更明显^[11,18]。其中大洋中脊附近的硅质岩 δCe 的值为 0.3 ± 0.13 , $(La/Ce)_N \geq 3.5$; 开阔洋盆的硅质岩 δCe 的值为 0.6 ± 0.11 , $(La/Ce)_N = 2 \sim 3$; 大陆边缘的硅质岩 δCe 的值为 1.09 ± 0.25 , $(La/Ce)_N$ 值接近 1^[18,20]。印江县铁厂村老堡组硅质岩 δCe 值为 0.61 ~ 0.77, 平均值为 0.69; $(La/Ce)_N$ 值为 1.55 ~ 2.1 平均为 1.79, 判断硅质岩的沉积环境处于开阔盆地和大陆边缘之间。

表 4 印江县铁厂村老堡组硅质岩元素比值表(重量比)
Table 4 Element ratios in the siliceous rocks from the Laobao Formation

样品编号	样品名称	$\frac{Al}{Al + Fe + Mn}$	$\frac{U}{Th}$	$(La/Ce)_N$	$\frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$	$\frac{Fe_2O_3}{TiO_2}$	$\frac{V}{V + Ni}$
1	含炭质泥质硅质岩	0.50	0.56	1.55	0.70	11.49	0.79
2	碎裂化硅质岩	0.66	0.39	1.80	0.75	7.96	0.90
3	炭质硅质页岩	0.89	0.51	2.10	0.93	2.01	1.00
4	硅质板岩	0.86	0.55	1.71	0.91	3.12	1.00



图 4 铁厂村老堡组硅质岩野外露头照片
Fig. 4 Field outcrops of the siliceous rocks from the Laobao Formation

3 沉积环境探讨

铁厂村老堡组硅质岩具层状构造, 隐晶质结构。岩石主要由石英、玉髓、粘土矿物、炭质及少量的碳酸盐矿物组成。其中石英为他形粒状, 次棱角

状; 玉髓为隐晶质, 无色, 透明; 碳酸盐矿物为他形粒状; 粘土矿物为隐晶质, 发生轻微绢云母化蚀变, 有大量黑色炭质与粘土矿物混杂在一起, 炭质较集中分布, 呈层理构造(图 4 和图 5)。根据该层硅质岩的结构、构造和矿物特征可知硅质岩的形成受陆源碎屑的影响较大。

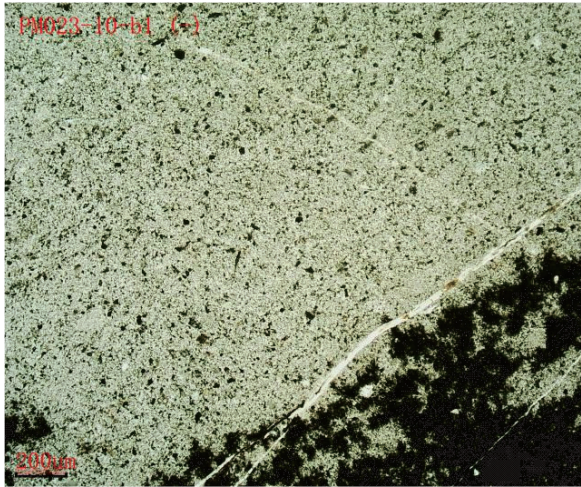


图 5 铁厂村老堡组硅质岩偏光显微镜图片
Fig. 5 Photomicrograph of the siliceous rocks from the Laobao Formation

埃迪卡拉纪—寒武纪过渡时期的 CO_2 浓度是今天的 20 倍^[11,24]。大气中的高 CO_2 含量会导致大陆的化学风化特别强烈,大量的碱质、重碳酸根、硫酸盐和硅质会通过河流被带入到海洋中,此时洋中脊扩张和海底热液活动相对较弱^[11,13]。在此背景下,我国南方碳酸盐台地形成了大量的碳酸盐,在水相对较深的斜坡和盆地内形成了大量的硅质岩^[11,13]。文中 $V/(V + \text{Ni})$ 值指示老堡组硅质岩应为静海环境, $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ 值和 Al 、 Fe 、 Mn 三角图显示老堡组硅质岩受陆源的影响较大,与此时环境相吻合; $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 值和 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) - \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 图解指示本文硅质岩形成构造背景为大陆边缘, δCe 值和 $(\text{La}/\text{Ce})_N$ 值表明本文老堡组硅质岩的沉积环境处于开阔盆地和大陆边缘之间。周正茂、李核良等(2019)认为本区老堡组下伏地层陡山沱组形成环境为陆源碎屑与碳酸盐岩混合沉积的浅海陆棚,其上覆地层牛蹄塘组为滞留盆地环境^[15]。

常华进等^[13]对桂北泗里口老堡组硅质岩进行了较为详细的研究,认为该硅质岩形成于深水盆地,其形成受海底热液的影响较小,硅质主要来源于河流搬运到海洋中溶解的 SiO_2 。结合岩相古地理^[13,25]可知,桂北泗里口接近于盆地中心,而贵州老厂村位于盆地边缘。

综上可知,本区老堡组硅质岩形成于台地边缘斜坡至台盆环境中,其硅质来源受陆源碎屑的影响较大。

4 结论

(1)形成于震旦系(埃迪卡拉纪—寒武纪过渡时期)老堡组的硅质岩受海底热液的影响较小,受陆源碎屑的影响较大,不具热水沉积的特征。

(2)贵州合水镇老堡组硅质岩沉积环境为台地边缘斜坡至台盆环境。

参考文献:

- [1] 伊海生,彭军,夏文杰. 扬子东南大陆边缘晚前寒武纪古海洋演化的稀土元素记录[J]. 沉积学报,1995,13(4): 13-137.
- [2] 唐世荣,王东安,李任伟. 湘川地区震旦—寒武系硅岩的有机岩石学研究[J]. 沉积学报,1997,15(1): 54-59.
- [3] 陈孝红,汪啸风,毛晓冬. 湘西地区晚震旦世黑色岩系地层层序、沉积环境与成因[J]. 地球学报,1999,20(1): 87-95.
- [4] 彭军,伊海生,夏文杰. 湘黔桂地区晚前寒武纪层状硅质岩地球化学特征及成因[J]. 地质地球化学,1999,27(4): 33-39.
- [5] 彭军,夏文杰,伊海生. 湘西晚前寒武纪层状硅质岩的热液沉积地球化学标志及其环境意义[J]. 岩相古地理,1999,19: 29-37.
- [6] 赵国连. 生物作用在二氧化硅聚集沉淀过程中的意义—以皖南浙西的硅质岩为例[J]. 沉积学报,1999,17(1): 30-37.
- [7] 彭军,徐望国. 湘西上震旦统层状硅质岩沉积环境的地球化学标志[J]. 地球化学,2001,30: 293-298.
- [8] 胡杰. 桂东北较深水相前寒武纪之交的硅质微生物岩[J]. 微生物古生物学报,2008,25(3): 291-305.
- [9] 常华进,储雪蕾,冯连君,等. 湖南安化留茶坡硅质岩的 REE 地球化学特征及其意义[J]. 中国地质,2008,35: 879-887.
- [10] 常华进,储雪蕾,冯连君,等. 华南老堡组硅质岩中草莓状黄铁矿—埃迪卡拉纪末期深海缺氧的证据[J]. 岩石学报,2009,25: 1001-1007.
- [11] 杨兴莲,朱茂炎,赵元龙,等. 黔东震旦系一下寒武统黑色岩系稀土元素地球化学特征[J]. 地质论评,2008,54(1): 3-15.
- [12] 张位华,姜立君,高慧,杨瑞东. 贵州寒武系底部黑色硅质岩成因及沉积环境探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报,2003,22(2): 174-178.
- [13] 常华进,储雪蕾,冯连君,等. 桂北泗里口老堡组硅质岩的常量、稀土元素特征及成因指示[J]. 沉积学报,2010,28(6): 1098-1107.
- [14] 贵州省地质调查院. 贵州省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,2013.
- [15] 周正茂,李核良,赵志强,等. 贵州 1:5 万 谯家铺幅(H49E023002)、甘龙口幅(H49E023003)、合水幅(H49E024003)3 幅区域地质调查报告[R]. 重庆:重庆市地质矿产勘查开发局 607 地质队,2018.
- [16] Yamamoto K. Geochemical characteristics and depositional environments of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto terranes[J]. Sedimentary Geology,1987,52:65-108.
- [17] 朱炳光. 硅质岩成因研究进展[J]. 中国西部科技,2011,10(26): 10-11,36.
- [18] Murray R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: General principles and applications[J]. Sedimentary Geology,1994,90(3/4):213-232.
- [19] Girt G H, Ridge D L, Knaack C, et al. Provenance and depositional setting of Paleozoic chert and argillite, Sierra Nevada, California[J]. Journal of Sedimentary Research,1996,66(1): 107-118.
- [20] 张聪,黄虎,侯明才. 地球化学方法在硅质岩成因与构造背景研究中的进展及问题[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2017,44(3): 293-304.
- [21] Jones B, Manning D A C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones[J]. Chemical Geology, 1994,111(1-4): 111-129.

- [22] 赵志强,凌云,李核良,等. 重庆秀山小茶园大塘坡组含锰岩系地球化学特征分析及意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2019, 38(2): 330–341.
- [23] 谢桂青,胡瑞忠,方维萱,漆亮. 云南墨江金矿床硅质岩沉积环境的地球化学探讨[J]. 地球化学, 2001, 30(5): 491–496.
- [24] Crowley T J, Berner R A. Palaeoclimate: CO₂ and climate change[J]. Science, 2001, 292(5518): 870–872.
- [25] 毛晓东,汪啸风,陈孝红. 扬子地台东南缘震旦纪—早寒武世沉积环境及有关矿产[J]. 华南地质与矿产, 1998, 2: 24–31.

Geochemistry and sedimentary environments of the siliceous rocks from the Sinian-Lower Cambrian Laobao Formation in Tiechang, Yinjiang, Guizhou: An approach

ZHAO Zhiqiang¹, HE Tongjun¹, SUN Xiaohao², CAI Keke¹, FAN Jie¹, WANG Shiwei³

(1. No. 607 Geological Prospecting Party, Chongqing Bureau of Geology and Mineral Resources, Chongqing, 400054, China; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3. Pengshui Bureau of Planning and Natural Resources, Pengshui 409600, Chongqing, China)

Abstract: The sedimentary environments of the siliceous rocks from the Sinian-Lower Cambrian Laobao Formation in Tiechang, Yinjiang, Guizhou are classified, according to lithological associations and geochemical signatures, into the platform-margin to the platform basin sedimentary environments. The siliceous deposits are primarily derived from the terrigenous clastic deposits rather than the hydrothermal deposits. Geochemically, the V/(V + Ni) ratios suggest the euxinic environment for the formation of the siliceous rocks from the Laobao Formation. The Al/(Al + Fe + Mn) ratios and Al-Fe-Mn triangular diagram indicate that the terrigenous clastics have play an important part in the formation of the siliceous rocks. The Al₂O₃/(Al₂O₃ + Fe₂O₃) ratios and Al₂O₃/(Al₂O₃ + Fe₂O₃) versus Fe₂O₃/TiO₂ diagrams indicate the continental marginal environment for the tectonic setting of the siliceous rocks from the Laobao Formation. The δCe values and (La/Ce)_N values also show that the siliceous rocks from the Laobao Formation were formed in the sedimentary environments intermediate between the open basin and continental marginal environments.

Key words: siliceous rock; geochemistry; sedimentary environment; origin