

四川地区上二叠统吴家坪组条带状硅质岩成因分析

李蔚洋¹, 刘杰¹, 何幼斌²

(1 江汉油田勘探开发研究院; 2 长江大学地球科学学院)

摘要 四川盆地上二叠统吴家坪组条带状硅质岩分布广泛,所含生物主要为体小壳薄的有孔虫、介形虫、腕足类、双壳类等,缺乏放射虫,偶见海绵骨针。显微薄片显示,生物屑多被硅化,见残余方解石碎屑。 MnO/TiO_2 值平均为4.5, $Al-Fe-Mn$ 判别图解多数样品落于I区, Co/Ni 值平均为0.127,稀土元素总量平均为 1.4778×10^{-6} ,轻稀土元素总量/重稀土元素总量的值皆小于1,重稀土元素有富集趋势,这些特征均表明硅质岩中的硅来源于热水沉积。综合分析认为,所研究的硅质岩为沉积—交代的综合产物,由石灰岩发生交代作用所形成;沉积物中的硅来自同沉积火山活动、海底热泉及上升洋流等;硅质岩形成时主要为较深水的斜坡,部分为开阔台地,与碳酸盐岩原岩具有相同的沉积环境。

关键词 硅质岩; 岩石成因; 沉积作用; 吴家坪组; 四川盆地

中图分类号: TE111.3 **文献标识码**: A

硅质岩是一类富含 SiO_2 (一般大于 70%) 的特殊岩石,在化学沉积和生物沉积的岩类中,其规模仅次于碳酸盐岩。由于其抵抗后期改造的能力较强,能够反映出某些沉积相带特殊的地质背景,有助于恢复成岩前的古地理、古气候及指导找矿,所以硅质岩的研究具有十分重要的理论意义和实用价值。

硅质岩成因和形成环境的研究方法很多,如地球化学方法^[1-2]、同位素方法^[3]、岩石学方法等。本文通过地球化学方法对四川地区吴家坪组条带状硅质岩的成因和沉积环境进行了分析。

1 概况

本次研究的取样位置处于四川盆地北部边界,与龙门山推覆带和秦岭—大别造山带相邻,在长江沟、双汇、立石河及尖山四个野外剖面上取样(图1),共获取上二叠统吴家坪组硅质岩样品18块。

四川盆地上二叠统吴家坪组的岩性如图2所示,它与下伏茅口组多呈假整合接触。吴家坪组多以海相石灰岩为主并含煤,其下部(第1层)主要为灰色中层硅质条带泥晶石灰岩,中部和上部石灰岩段(第2—9层)主要为灰色—灰黑色、中—厚层状的灰

泥石灰岩和含生物屑石灰岩,并含隧石条带及少量燧石团块、灰黑色薄层状硅质岩等。沉积环境总体为较深水的斜坡及开阔台地。



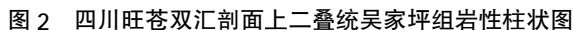
图1 四川地区硅质岩样品取样位置

2 条带状硅质岩的特征

本区上二叠统吴家坪组的硅质岩类型多样,按产状一般可分为结核状(团块状)、条带状及层状三

收稿日期: 2010-04-12

李蔚洋:女,1981生,2003年毕业于江汉石油学院,2009年毕业于长江大学矿产普查与勘探专业,获硕士学位。通讯地址:433123 湖北省潜江市;电话:(0728)6509631-814



石灰岩呈互层或过渡,甚至有的硅质岩层中夹有残余的石灰岩体,而它们的生物屑类型完全相同。条带状硅质岩在剖面上具有较好的成层性,厚度大体均一,层面有不同程度的起伏,有些地方还露出孤立的石灰岩体。条带状硅质岩与其原岩(石灰岩)的沉积环境是一致的。这种硅质岩的原岩主要为中薄层的石灰岩,水平纹理发育,有的地区还有同沉积变形构造,其中的生物类型多较单调,是一些营浮游生活的

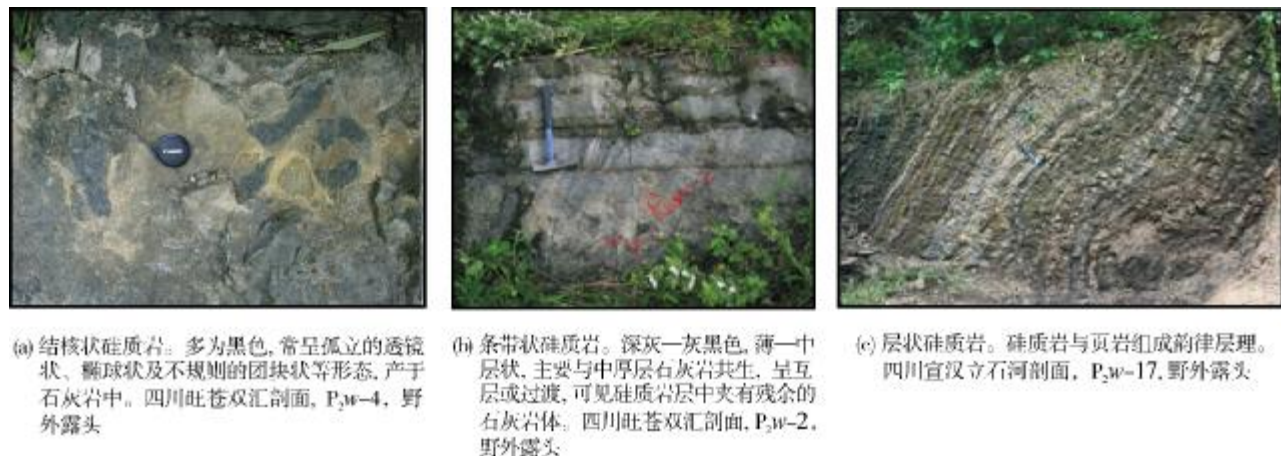


图3 四川盆地北部边界野外剖面硅质岩特征

钙质生物。而且在横向上这种石灰岩与中—厚层石灰岩和薄层硅质岩相过渡,因此它形成时的水体是较深的,介于浅水与深水的过渡环境即斜坡环境。

硅质岩的矿物成分以玉髓和微晶石英为主,还有含量不等的杂质,如泥质、有机质、方解石、甚至白云石(后期交代产物)。薄片中的燧石呈小米粒状和小于 1 μm 的隐晶,扫描电镜下呈片状、海绵状及等粒状,颗粒间有泥质和炭质充填。化学成分特征则介于薄层状硅质岩和结核状硅质岩之间。

条带状硅质岩中的生物碎屑类型多单调,主要为体小壳薄的有孔虫、介形虫、腕足类、双壳类等,缺乏放射虫,偶见海绵骨针。生物碎屑的含量一般小于 30%,并多已硅化,部分还可见残余方解石碎屑。

因此,条带状硅质岩可能为沉积—交代的综合产物。在沉积过程中,沉积物中混有的硅质成分一部分就地沉淀,另一部分则为交代碳酸盐沉积物所致。

2.2 地球化学特征

2.2.1 主量元素地球化学特征

研究区上二叠统吴家坪组条带状硅质岩化学成分以 SiO₂ 为主,含量为 57.18%~97.85%(平均值 84.53%);其次为 CaO、Fe₂O₃、FeO、MgO,含量分别为 0.74%~23.4%(平均值 7.74%),0.05%~1.02%(平均值 0.60%),0.47%~1.02%(平均值 0.58%),0.08%~1.36%(平均值 0.35%);其他成分的含量都较低,平均值均小于 0.1%(表 1)。

表 1 四川盆地北部上二叠统吴家坪组硅质岩化学成分(%)及 MnO/TiO₂ 值

样品编号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	灼失	MnO/ TiO ₂
尖 P ₂ W-19-1	91.86	0.36	0.33	1.02	3.20	0.11	0.11	0.04	0.02	0.08	0.15	2.57	12.20
尖 P ₂ W-29-1	57.18	0.07	0.05	0.12	23.40	0.19	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	18.50	5.50
立 P ₂ W-8-2	84.43	0.22	1.02	0.71	6.50	1.36	0.12	0.05	0.03	0.26	0.13	6.26	4.33
立 P ₂ W-5-2	97.85	0.02	0.71	0.56	0.74	0.08	0.04	0.02	0.01	0.02	0.09	0.64	9.00
立 P ₂ W-6-5	96.66	0.02	0.62	0.56	1.18	0.36	0.04	0.03	0.01	0.01	0.07	1.22	7.00
立 P ₂ W-11-2	74.02	0.02	0.77	0.47	13.52	0.42	0.03	0.01	0.02	0.04	0.07	11.54	3.50
立 P ₂ W-21-3	87.01	0.03	0.68	0.63	6.79	0.11	0.04	0.03	0.02	0.01	0.09	5.62	4.50
立 P ₂ W-28-3	87.23	0.01	0.63	0.61	6.57	0.12	0.04	0.03	0.02	0.01	0.07	5.50	3.50
平均	84.53	0.09	0.60	0.58	7.74	0.35	0.06	0.03	0.02	0.06	0.09		4.50

研究表明,硅质岩的 Fe、Mn、Al、Ti 是判别其成因的重要标志,这归因于 Fe、Mn 的富集主要与热水沉积作用有关,而 Al、Ti 则与陆源碎屑物质的参与有关。其中 MnO/TiO₂ 值是判断硅质岩沉积环境的重要地球化学指标,离陆较近的大陆坡和边缘海沉积的硅质岩

MnO/TiO₂ 值一般小于 0.5,离陆较远的远洋盆地沉积的硅质岩 MnO/TiO₂ 值大于 0.5^[4]。本区吴家坪组条带状硅质岩 MnO/TiO₂ 的平均值为 4.5,远大于 0.5,表明该区条带状硅质岩可能形成于离陆较远的远洋盆地。

海相沉积物中 Al/(Al+Fe+Mn)值是衡量沉积物中

热水沉积含量的标志,该比值随着热水沉积含量的增加而减小^[5]。M. Adachi(1986)^[7]和 Ymamoto^[1]在系统地研究了热水沉积与生物沉积硅质岩样品后指出,硅质岩 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 值由纯热水沉积的 0.01 变化到纯远海生物沉积的 0.60,并由此拟定了硅质岩 Al-Fe-Mn 三角成因判别图解,发现所有纯热水沉积的数据均落入图中的富铁端,而非热水沉积的数据均落入图

中的富铝端。有的热水沉积中锰含量很低,被认为是直接从热泉中沉积的^[4]。笔者对表 2 中给出的 6 件硅质岩样品做了 Al-Fe-Mn 判别图解(图 4),结果有 4 件样品落于 I 区(热水成因硅质岩),有 1 件样品落于 I 区和 II 区(生物成因硅质岩)的过渡区域,还有 1 件样品落于更靠近 Al 端。这个结果表明,研究区吴家坪组条带状硅质岩的形成主要与热液有关。

表 2 四川盆地北部上二叠统吴家坪组硅质岩化学组分($\times 10^{-2}$)及其部分比值(%)

样品编号	Al	Mn	Fe	$Al/(Al+Fe+Mn)$	$Fe/(Al+Fe+Mn)$	$Mn/(Al+Fe+Mn)$
尖 P ₂ W-19-1	0.189	0.118	1.020	14.243	76.865	8.892
尖 P ₂ W-29-1	0.036	0.017	0.126	20.112	70.391	9.497
尖 P ₂ W-32-1	0.116	0.031	0.104	46.160	41.385	12.455
尖 P ₂ W-35-2	0.753	0.040	0.138	80.907	14.828	4.266
尖 P ₂ W-36-1	0.449	0.022	0.977	31.002	67.458	1.540
双 P ₂ W-2-2	1.710	0.026	1.340	55.592	43.563	0.845
平均	0.542	0.042	0.618	41.336	52.415	6.249

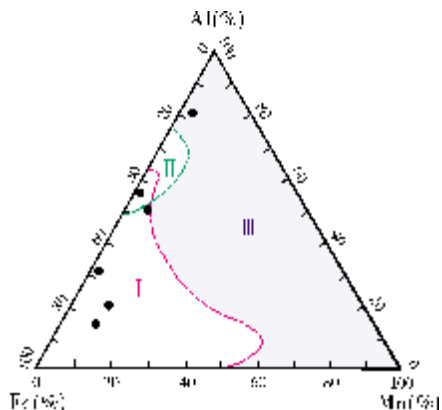


图 4 四川盆地北部上二叠统吴家坪组硅质岩 Al-Fe-Mn 判别图解(底图据文献[7])

I 热水成因硅质岩; II 生物成因硅质岩; III 正常海水成因硅质岩

2.2.2 微量元素地球化学特征

在热水沉积硅质岩中微量元素主要有 Co 和 Ni,其中又以 Ni 较为富集,Co 相对较少,Co/Ni 值小于 1^[5]。研究区内条带状硅质岩中 Co 含量为 $(1.86 \sim 2.88) \times 10^{-6}$,平均值 2.39×10^{-6} ;Ni 含量为 $(4.65 \sim 41.90) \times 10^{-6}$,平均值 29.59×10^{-6} (表 3)。每个样品的 Co/Ni 值均小于 0.5,平均为 0.127,因此认为研究区的条带状硅质岩具有热水沉积特征。

2.2.3 稀土元素地球化学特征

稀土元素含量特征也是区别热水沉积和非热水沉积的重要标志^[8]。Fleet 等^[9]在系统深入地研究世

表 3 四川盆地北部上二叠统吴家坪组硅质岩中 Co、Ni 含量($\times 10^{-6}$)及其比值

样品编号	Co	Ni	Co/Ni
长-P ₂ W-8-3	1.86	4.65	0.400
立-P ₂ W-5-4	2.46	32.90	0.075
立-P ₂ W-6-4	2.34	29.70	0.079
立-P ₂ W-11-2	2.34	33.10	0.071
立-P ₂ W-11-3	2.88	35.30	0.082
立-P ₂ W-21-2	2.46	41.90	0.059
平均	2.39	29.59	0.127

界上属于热水成因的金属沉积与属于非热水成因的水成金属沉积中的稀土元素(REE)之后,得出结论:热水沉积中 Σ REE(稀土元素总量)低;非热水沉积中 Σ REE 总量高,但 HREE(重稀土元素)不富集。

本次研究样品的稀土分析结果见表 4,平均稀土元素总量为 1.4778×10^{-6} ,明显低于前人结果 $(1.80 \sim 13.70) \times 10^{-6}$ ^[6]。轻稀土元素总量/重稀土元素总量(Σ LREE/ Σ HREE)皆小于 1,变化范围为 0.6195~0.7130,HREE 有富集趋势。

以上特征也表明研究区硅质岩中的硅来源于热水沉积。

3 讨论与结论

综上所述,研究区硅质岩的 MnO/TiO_2 的平均值

表 4 四川盆地北部上二叠统吴家坪组硅质岩稀土元素含量($\mu\text{g/g}$)及 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 值

元 素	尖 $P_{90-19-1}$	尖 $P_{90-29-1}$	平 均
轻稀土元素 (LREE)	La	2.72	3.82
	Ce	2.30	2.70
	Pr	0.70	0.89
	Nd	2.93	3.64
	Sm	0.66	0.73
	Eu	0.12	0.14
重稀土元素 (HREE)	Gd	0.65	0.77
	Tb	0.11	0.12
	Dy	0.56	0.62
	Ho	0.12	0.12
	Er	0.29	0.32
	Tm	0.05	0.05
	Yb	0.27	0.28
	Lu	0.04	0.04
ΣLREE	0.5316	0.6517	0.5917
ΣHREE	0.8581	0.9141	0.8861
$\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$	0.6195	0.7130	0.6663
ΣREE	1.3897	1.5658	1.4778

为 0.7427, 表明该区条带状硅质岩可能形成于离陆较远的远洋盆地; Al-Fe-Mn 判别图解中本区样品多落于富铁端, 硅质岩的形成主要与热液有关; Co/Ni 值平均为 0.127, 每个样品的 Co/Ni 值均小于 0.5, 这也表明本区条带状硅质岩具有热水沉积特征; 平均稀土元素总量为 1.4778×10^{-6} , 轻稀土元素总量/重稀土元素总量皆小于 1, 变化范围 0.6195~0.7130, 重稀土元素有富集趋势, 这些特征仍然表明研究区

硅质岩中的硅来源于热水沉积。

分析认为, 四川地区上二叠统吴家坪组条带状硅质岩为沉积—交代的综合产物, 为石灰岩发生交代作用所形成。沉积物中硅质成分丰富, 它们来自同沉积火山活动、海底热泉及上升洋流等的作用。硅质岩形成时为较深水的斜坡, 部分为开阔台地环境, 与碳酸盐岩原岩具有相同的沉积环境。

参 考 文 献

- [1] Yamamoto K. Geochemical characteristics and depositional environments of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto terranes. *Sedimentary Geology*, 1987, 52(1/2): 65-108.
- [2] Murray R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and application. *Sedimentary Geology*, 1994, 90(3/4): 213-232.
- [3] 江永宏, 李胜荣. 湘黔地区前寒武—寒武纪过渡时期硅质岩生成环境研究. *地学前缘*, 2005, 12(4): 622-629.
- [4] 杨玉卿, 冯增昭. 华南下二叠统层状硅岩的形成及意义. *岩石学报*, 1997, 13(1): 111-120.
- [5] Baltuck M. Provenance and distribution of Tethyan pelagic and hemipelagic siliceous sediments, Pindos Mountains, Greece [J]. *Sedimentary Geology*, 1982, 31(1): 63-88.
- [6] Adachi M, Yamamoto K, Sugisaki R. Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the northern Pacific: Their geological significance as indication of ridge activity [J]. *Sedimentary Geology*, 1986, 47(1/2): 125-148.
- [7] 高长林, 何将启. 北大巴山硅质岩的地球化学特征及其成因. *地球科学: 中国地质大学学报*, 1999, 5(3): 246-250.
- [8] Marching V, Gundlach H, Moller P, et al. Some geochemistry indicators for discrimination between diagenetic and hydrothermal metalliferous sediments [J]. *Marine Geology*, 1982, 50(3): 241-256.
- [9] Fleet A J. Hydrothermal and hydrogenous ferro-manganese deposits: Do they form a continuum? [M]// Rona P A, Bostrom K, Laubier L, et al. *Hydrothermal Process at Seafloor Spreading Centers*. New York: Plenum Press, 1983: 535-555.

编辑: 吴厚松

Origin of Upper Permian Wujiaping Banding Siliceous Rock in Sichuan Basin

Li Weiyang, Liu Jie, He Youbin

Abstract: Late Permian Wujiaping banding siliceous rock is widely distributed in the upper Yangtze area. Small foraminifera, ostracoda, brachiopod and dissoconch are common but radiolaria is Lack of and calthrop is rare. The observation of microscopic sections has shown that pioclasts are most silicated and residual calcites can be found. Average ratio of MnO/TiO_2 is 4.5. There are 4 specimens that fall in domain I in the Al-Fe-Mn discrimination diagram. The ratios of Co/Ni are less than 0.5 with the average of 0.127. Total volume of the rare-earth element is 1.4778×10^{-6} . The values of $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ are less than 1. The HREE has a concentration tendency. All of these characteristics indicate that the Si in the silica rock derives from the hydrothermal deposits. It is believed that the silica rock is a deposition-alternation product, which was caused by metasomatism of limestone. The silica rock is commonly built up in the deepwater slope and partly in the open platform so that it formed in the same depositional environment with carbonate rock.

Key words: Siliceous rock; Rock origin; Deposition; Upper Permian; Sichuan Basin

Li Weiyang: female, Master. Add: Exploration and Development Research institute, SINOPEC Jiangnan Oilfield Company, Qianjiang, Hubei, 433124 China