

文章编号: 1000-0550(2013)04-0621-09

滇东南丘北地区上二叠统吴家坪阶硅质岩地球化学特征及地质意义^①

刘加强 王训练 周洪瑞 高金汉 于蕾 毛志芳 郑楠

(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院 北京 100083)

摘要 运用岩石学和地球化学的方法研究滇东南丘北地区晚二叠世吴家坪阶硅质岩,取得以下主要认识:(1)滇东南丘北地区硅质岩 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值除样品 P29 外均大于 80, $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ 为 0.46~0.76, 表明硅质岩主要为生物成因,受陆源碎屑影响较小;(2)硅质岩 Ce/Ce^* 为 0.517~0.858, La_N/Ce_N 为 1.12~1.80, 经球粒陨石标准化的稀土模式则表现为轻稀土元素富集,且具有明显负 Eu 异常的右倾型,表明沉积环境为大陆边缘;(3)样品 P29 硅质岩 Eu/Eu^* 为 1.129, 反映其受到一定程度热液的影响,可能受峨眉山地幔柱或(和)断裂的共同影响。

关键词 滇东南丘北地区 上二叠统吴家坪阶 硅质岩 地球化学特征

第一作者简介 刘加强 男 1982 年出生 博士研究生 古生物学与地层学 E-mail: catwinner@sina.cn

中图分类号 P534.63 P595 **文献标志码** A

0 引言

滇黔桂盆地特殊的地质背景、丰富的金属矿产及油气资源而引起国内外学者的广泛关注,海西期大地构造性质的认识存在裂谷盆地、被动大陆边缘裂谷盆地、弧后裂谷盆地、弧后盆地或洋盆等不同观点^[1]。

硅质岩形成于特定的地质与地球化学条件,能够提供沉积盆地和构造活动的重要信息^[2]。晚二叠世吴家坪期滇黔桂地区发育大量的硅质岩,为构造背景及沉积盆地的研究提供了良好的条件。国内外学者^[3-9]主要通过地球化学、岩石学及古生物学等方法研究滇黔桂地区晚二叠世吴家坪期硅质岩成因、形成环境及油气勘探意义,将其成因主要归于生物成因及热液成因等,而同属滇黔桂盆地的滇东南丘北地区尚无吴家坪期沉积硅质岩的系统研究。

不同学者^[10-16]对滇东南地区的晚二叠世古地理背景进行了研究。虽然认识有所差异,但其沉积环境均落在过渡地带,反映了滇东南地区在滇黔桂地区构造演化和沉积背景研究过程中的重要性。本文研究滇东南丘北地区上二叠统吴家坪组硅质岩的地球化学特征,旨在探讨硅质岩的特征及成因类型及沉积背景。

1 地质背景与测试结果

滇东南地区处于滇、黔、桂三省的结合带(图 1

a),位于滇黔桂盆地西缘,构造上属于右江造山带^[17]。

二叠纪区内发育文山—麻栗坡—南盘江及那坡等同沉积断裂^[18],同时,该区又处于峨眉山大火成岩省的外带^[19,20],中、晚二叠世之交由峨眉山地幔柱和文山断裂共同控制的玄武岩出露于丘北铁厂、文山花庄、文山他痴及广南那梭等地^[21],富宁地区晚二叠世铁镁质侵入岩地球化学特征与峨眉山大火成岩省岩石特征相似^[22],表明峨眉山地幔柱对滇东南地区东南部也有影响。

本文共采集吴家坪组硅质岩样品 4 件,采样地点及层位见图 1b 及图 2。硅质岩主要呈层状或似层状产出,其下伏地层岩性多为泥岩、炭质泥岩或粉砂质泥岩。颜色为灰色—深灰色(图 3a, b),主要由微晶石英组成,可见黄铁矿晶体(图 3c, d),仅 P19 样品所在剖面见少量放射虫或海绵骨针化石(图 3e, f)。样品化学分析经中国地质大学(北京)地学实验中心测试完成,主量元素和微量元素结果分见表 1 和表 2。

滇东南丘北地区的硅质岩 SiO_2 含量为 87.81%~97.57%, P29—R—7—1 含量最低为 87.81%。此外, P29—R—7—1 的 Al_2O_3 、 TFe_2O_3 及 MnO 的含量也明显高于其它 3 个样品。微量元素中,滇东南丘北地区吴家坪期 P29、P46、P14 剖面硅质岩与东攀 DP2—7 硅质岩^[6]北美页岩标准化曲线均较平坦(图 4),具有

^①中国地质调查局项目“不同地层区地层系统的完善与对比研究”(编号:基[2011]01-47-09)资助
收稿日期:2012-09-03;收修稿日期:2012-11-01

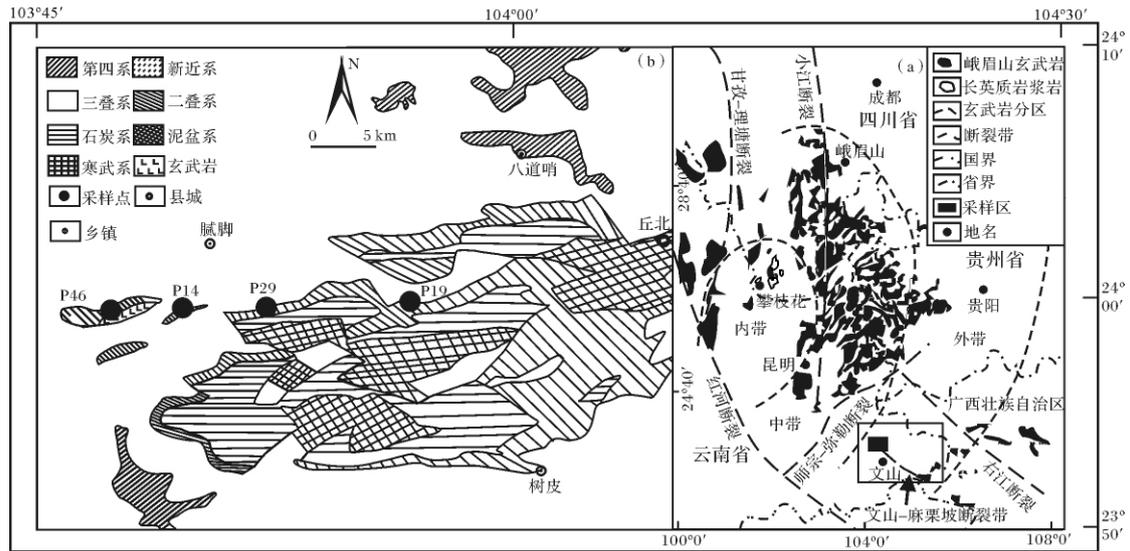


图1 研究区地质简图(图1a据何斌等^[19], Xu Y G. 等^[20]修改)

Fig.1 Sketch geological map of study area with locations of sampling site (Fig.1 a modified from He B, *et al*^[19]. Xu Y G, *et al*^[20].)

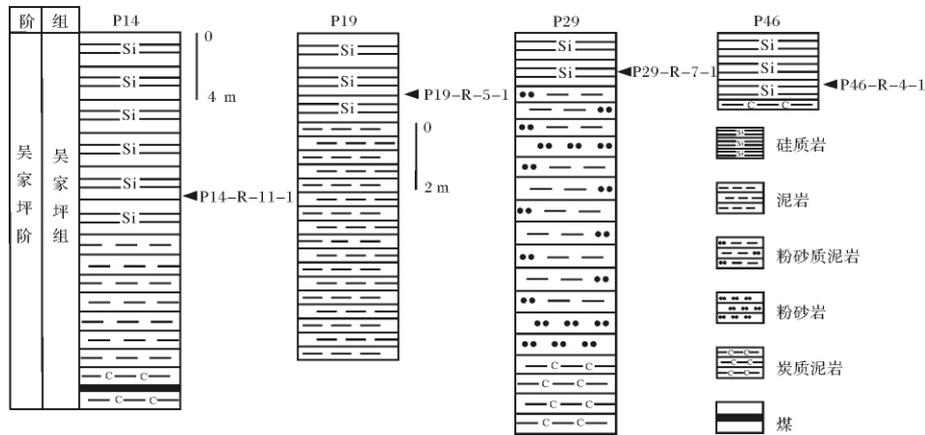


图2 滇东南丘北地区吴家坪阶硅质岩采样层位柱状图

Fig.2 Stratigraphic columns along four profiles with indication of the analyzed sample

表1 丘北、东攀、来宾上二叠统硅质岩主要元素(wt%)测试结果

Table 1 Major elements compositions(wt%) of Qiubei, Dongpan and Laibin region

样品号	P14-R-11-1	P19-R-5-1	P29-R-7-1	P46-R-4-1	DP2-6	DP2-7	164E	175	178
采样地点	丘北			东攀 ^①			来宾 ^②		
SiO ₂	97.57	94.31	87.81	96.76	80.46	84.82	60.14	92.09	95.43
TiO ₂	0.08	0.01	0.23	0.02	0.28	0.27	0.01	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	1.05	0.21	2.11	0.53	8.27	7.14	0.05	0.01	0.02
TFe ₂ O ₃	0.42	0.06	1.80	0.12	4.25	1.77	0.23	0.65	0.72
MnO	0.00	0.00	0.03	0.01	0.15	0.27	0.01	0.01	0.01
MgO	0.03	0.03	0.06	0.00	1.37	0.79	0.34	0.12	0.10
CaO	0.03	3.33	4.05	0.08	0.42	0.52	22.04	4.20	1.75
Na ₂ O	0.01	0.02	0.02	0.01	0.23	0.82	0.01	0.01	0.02
K ₂ O	0.12	0.01	0.33	0.02	1.48	1.31	0.02	0.02	0.04
P ₂ O ₅	0.00	<0.005	0.23	<0.005	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01
Al ₂ O ₃ /(Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	0.71	0.79	0.54	0.82	0.47	0.32	0.61	0.62	0.71
Fe ₂ O ₃ /TiO ₂	5.39	5.77	7.89	5.88	8.10	48.70	21.87	17.33	13.09
Al/(Al + Fe + Mn)	0.65	0.72	0.46	0.76	0.59	0.72	0.13	0.01	0.02

注: ①东攀上二叠统硅质岩代表数据据田云涛等^[6]; ②来宾上二叠统硅质岩代表数据据邱振和王清晨^[4] ①、②其它样品分析结果详见原文。

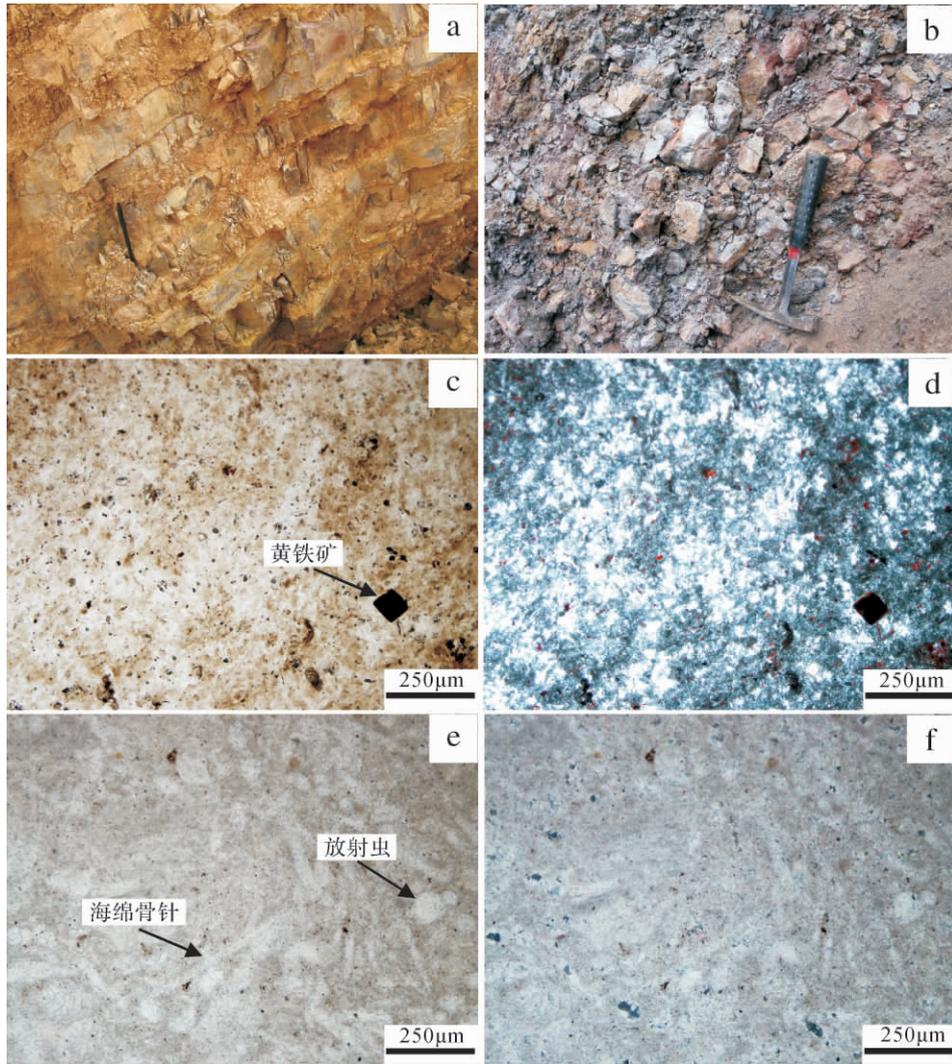


图 3 滇东南丘北地区吴家坪组硅质岩岩石学特征

(a) P₁₄ 深灰色硅质岩野外照片; (b) P₁₉ 硅质岩野外照片; (c) P₁₄ 硅质岩, 主要有微晶石英组成, 可见黄铁矿(单偏光); (d) P₁₄ 硅质岩, 主要有微晶石英组成, 可见黄铁矿(正交偏光); (e) P₁₉ 硅质岩, 可见放射虫和海绵骨针(单偏光); (f) P₁₉ 硅质岩, 可见放射虫和海绵骨针(正交偏光);

Fig. 3 Petrogeological characteristics of Wuchiapingian cherts of Qiubei, Southeast Yunnan

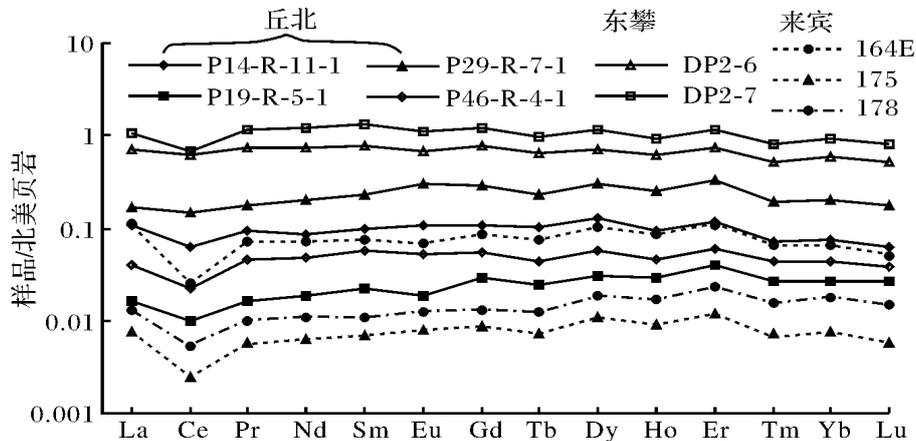


图 4 丘北、东攀及来宾地区上二叠统吴家坪阶硅质岩北美页岩稀土元素配分曲线

Fig. 4 Shale-normalized REE distribution patterns of Upper Permian Wuchiapingian cherts of Qiubei, Dongpan and Laibin region

表2 滇东南丘北地区上二叠统吴家坪组硅质岩稀土元素($\mu\text{g/g}$)测试结果

Table 2 Rare earth elements compositions of Wuchiapingian cherts of Qiubei, Southeast Yunan

样品号	P14-R-11-1	P19-R-5-1	P29-R-7-1	P46-R-4-1
La	4.408	0.667	6.764	1.641
Ce	5.084	0.822	12.222	1.841
Pr	0.947	0.166	1.800	0.462
Nd	3.308	0.698	7.628	1.811
Sm	0.745	0.168	1.757	0.421
Eu	0.172	0.030	0.475	0.084
Gd	0.679	0.186	1.853	0.339
Tb	0.124	0.030	0.283	0.054
Dy	0.712	0.168	1.651	0.306
Ho	0.125	0.038	0.333	0.060
Er	0.322	0.108	0.906	0.166
Tm	0.044	0.017	0.123	0.027
Yb	0.266	0.091	0.713	0.153
Lu	0.038	0.016	0.105	0.023
Y	2.899	1.940	9.829	1.542
La _N /Yb _N ^③	1.419	0.625	0.812	0.916
La _N /Ce _N ^③	1.755	1.643	1.120	1.804
(La/Yb) _C ^④	11.257	4.961	6.441	7.271
(La/Ce) _C ^④	2.243	2.099	1.431	2.305
Ce/Ce*	0.609	0.605	0.858	0.517
Eu/Eu*	1.036	0.733	1.129	0.955
δEu	0.737	0.521	0.803	0.679
ΣREE	16.974	3.205	36.614	7.390

注: ③: 北美页岩标准化值; ④: 球粒陨石标准化值; $\text{Ce}/\text{Ce}^* = 2\text{Ce}_N / (\text{La}_N + \text{Pr}_N)$; $\text{Eu}/\text{Eu}^* = \text{Eu}_N / (\text{Sm}_N + \text{Gd}_N)^{1/2}$; $\delta\text{Eu} = \text{Eu}_C / (\text{Sm}_C + \text{Gd}_C)^{1/2}$.

明显的 Ce 异常, P19 剖面硅质岩北美页岩标准化曲线则表现为重稀土元素富集, 与来宾地区硅质岩^[4]变化趋势更为一致, 具弱 Ce 负异常; Ce/Ce^* 为 0.517 ~ 0.858, 数值明显大于来宾地区而小于东攀地区; Eu/Eu^* 为 0.733 ~ 1.129, 与来宾 (0.67 ~ 1.04) 和东攀地区 (0.68 ~ 0.97) 相似; La_N/Ce_N 介于 1.12 ~ 1.80, La_N/Yb_N 为 0.63 ~ 1.42, ΣREE 含量较低, 为 3.205 ~ 36.614 $\mu\text{g/g}$ 。

2 硅质岩地球化学特征

硅质岩的常量、稀土元素的地球化学特征对于恢复硅质岩成因及其沉积环境具有重要的借鉴意义, 已成为古海洋分析的重要手段^[2, 23-29]。

由于研究区该时期硅质岩的研究尚无报道, 本文将本区硅质岩的地球化学数据与广西来宾和广西崇左东攀数据进行对比, 以期待查明滇东南丘北地区吴家坪组硅质岩的成因及其沉积环境。邱振和王清

晨^[4]通过来宾中上二叠统硅质岩的研究认为来宾地区的硅质岩主要为热液成因, 其沉积环境为远离陆源干扰且受热液作用影响的海盆环境。田云涛等^[6]将崇左东攀上二叠统大隆组硅质岩成因归于生物作用为主, 并受大量物源物质和少量热液和火山物质影响, 并认为其为大陆边缘中下部沉积产物。冯增昭等^[12]认为上二叠统长兴组、大隆组层状硅质岩的成因复杂, 并认为以生物成因为主, 而火山活动和热水沉积则是局部的、次要的, 且通过沉积序列、化学分析和古生物化石的方法研究认为硅质岩沉积环境可从深浅水到深水。

2.1 常量元素

康健丽等^[30]通过对西南天山马达尔地区硅质岩的研究认为: 若硅质岩源区有较高比例的陆源泥质沉积物时, 硅质岩的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 与 Al_2O_3 有较好的负相关。 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 与 Al_2O_3 图解 (图 5) 表明, 东攀地区 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 与 Al_2O_3 具有明显负相关关系, 且各点连线斜率较小, 随着陆源碎屑物质输入的减少, 斜率变陡且负相关关系逐渐不明显; 来宾地区 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值最大且变化范围较大, 而 Al_2O_3 变化范围较小; 丘北地区硅质岩介于两者之间。这表明东攀地区硅质岩中陆源泥质沉积物含量较高, 而来宾地区硅质岩含陆源物质最少, 丘北地区介于其中。此外, 滇东南丘北地区硅质岩 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值除 P29 外均大于 80, 表明丘北地区硅质岩受陆源碎屑影响较小。

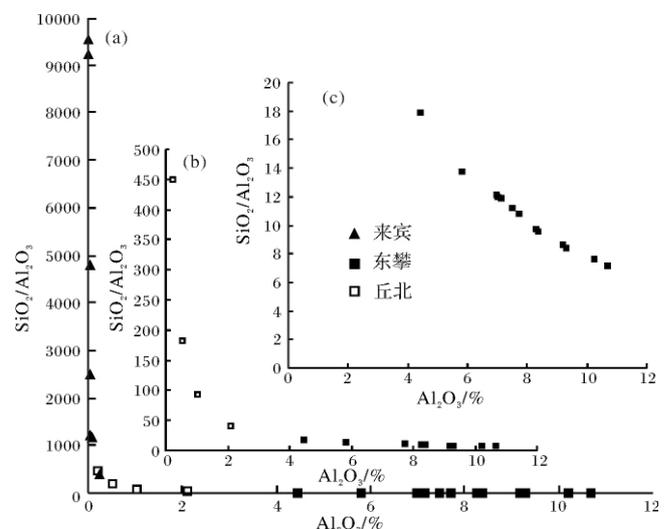


图5 丘北、东攀及来宾地区上二叠统吴家坪阶硅质岩 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ — Al_2O_3 图解

Fig. 5 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ versus Al_2O_3 diagram of Upper Permian Wuchiapingian cherts of Qiubei, Dongpan and Laibin region

硅质岩中 Al 和 Ti 可以指示陆源碎屑输入,而 Fe 和 Mn 则是热液参与的指标^[28,31]。海相沉积物中 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 大于 0.4 反映其生物成因,小于 0.4 则为热液成因^[32],该值在 0.01(纯热液成因)至 0.6(纯生物成因)之间变化^[28,29]。滇东南丘北地区硅质岩的 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 为 0.46~0.76,除 P29 小于 0.6 外,其它样品均大于 0.65,说明除 P29 外其它硅质岩主要为生物成因,P29 接近热液成因区域。在 Al—Fe—Mn 三角图解中,热液成因硅质岩落于图解富 Fe 端,而非热液成因硅质岩落于富 Al 端^[28]。滇东南丘北地区硅质岩在 Al—Fe—Mn 图解(图 6)中全部落在非热液成因区域。考虑到研究区东部的 P19 剖面硅质岩中见少量硅质海绵骨针和放射虫化石,说明该地区硅质岩可能水体较深,受生物作用的影响大。由于 Mn 是硅质岩形成过程中的分离产物,Mn 和 Al 的比值不能反映沉积物的沉积环境,在研究硅质岩沉积环境时更倾向于用 $Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$ 来判别其沉积环境^[2]。滇东南丘北地区硅质岩 $Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$ 介于 0.54~0.82,与大陆边缘硅质岩(0.5~0.9)变化范围一致^[2]。在 $Fe_2O_3/TiO_2-Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$ 图解(图 7a)中,滇东南丘北地区落于大陆边缘区域,反映该区硅质岩沉积环境为大陆边缘附近。

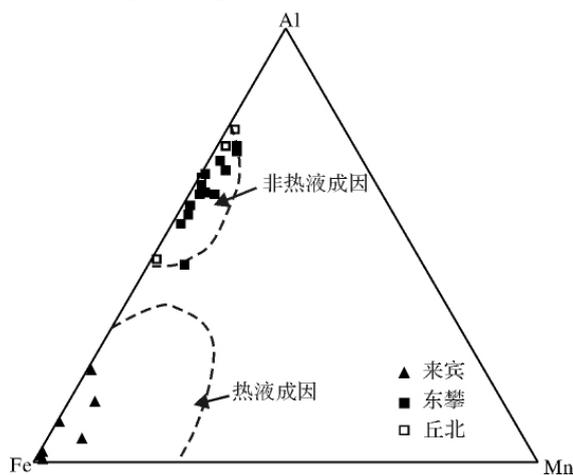


图6 丘北、东攀、来宾地区晚二叠世硅质岩 Al—Fe—Mn 图解(据 Adachi 等^[28])

Fig. 6 Al—Fe—Mn diagram of Upper Permian Wuchiapingian cherts of Qiubei, Dongpan and Laibin region(after Adachi, *et al.* ^[28])

2.2 稀土元素特征

硅质岩稀土元素配分模式、Ce 和 Eu 异常、 La_N/Ce_N

$Yb_N/La_N/Ce_N$ 比值可以指示硅质岩形成环境的不同^[25~27]。

与大陆边缘相关的硅质岩经球粒陨石标准化的稀土模式则表现为轻稀土元素富集,且具有明显负 Eu 异常的右倾型^[33]。页岩标准化稀土模式在受沉积环境影响的同时,还与陆源碎屑的输入有关。一般地,在受陆源影响的环境中,轻稀土元素富集比较明显, La_N/Yb_N 为 1.49~1.74,而在远洋和深海盆地中,轻稀土元素明显亏损,其 La_N/Yb_N 约为 0.70,大陆边缘其值则介于这两个值之间^[34],这说明随着陆源碎屑输入的减少, La_N/Yb_N 有规律的递减。滇东南丘北地区吴家坪阶各硅质岩页岩标准化稀土模式表现出一定的差异性,其中 P19—R—5—1 页岩标准化稀土模式 La_N/Yb_N 为 0.63,明显小于 0.70,略显左倾,这表明 P19—R—5—1 距离物源区较远,受陆源碎屑影响很少。P14—R—11—1 页岩标准化配分模式 La_N/Yb_N 为 1.42,略显右倾,表明其接受的陆源碎屑较其它地区多,其余样品介于 0.8~1.0 之间,受陆源碎屑影响较小。硅质岩经球粒陨石标准化后 La_C/Yb_C 介于 4.961~11.257,明显富集轻稀土元素, δEu 值介于 0.521~0.803,具明显负异常,表明其沉积环境为大陆边缘附近。

Ce/Ce^* 也是硅质岩研究的重要地球化学指标。Murray *et al.*^[24,25] 认为形成于大洋中脊附近硅质岩 Ce/Ce^* 约为 0.29,远洋盆地的 Ce/Ce^* 约为 0.55,而大陆边缘附近的 Ce 异常不明显^[34], Ce/Ce^* 为 0.67~1.35。滇东南丘北地区吴家坪期硅质岩 Ce/Ce^* 为 0.517~0.858,Ce 异常不明显,表明沉积环境为大陆边缘。另外,大陆边缘沉积的硅质岩 La_N/Ce_N 为 0.5~1.5,大洋盆地内部的硅质岩为 1.0~2.5,大洋中脊附近的硅质岩为 3.5。滇东南丘北地区吴家坪期硅质岩 La_N/Ce_N 为 1.12~1.80,结合 $La_N/Ce_N-Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$ 图解(图 7b),认为滇东南丘北地区吴家坪期硅质岩沉积环境为大陆边缘。

受热液影响的硅质岩 Eu 呈现一定程度的正异常。滇东南丘北地区吴家坪组中下部硅质岩北美页岩标准化 Eu/Eu^* 为 0.733~1.036,具负异常或弱的正异常,不支持硅质岩热液成因。吴家坪组顶部 P29—R—7—1 硅质岩的 Eu/Eu^* 为 1.129,具一定的正异常,可能受到一定程度的热液影响。

3 讨论与结论

通过对滇东南丘北地区晚二叠世吴家坪期硅质

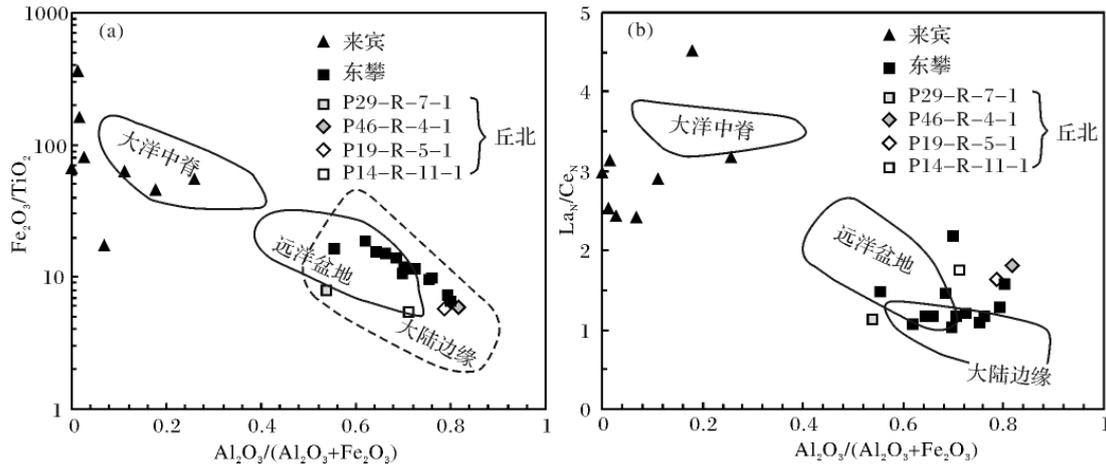


图7 丘北、东攀、来宾硅质岩 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ (a) 及 $\text{La}_N/\text{Ce}_N - \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 图解(大洋中脊、远洋盆地和大陆边缘分区界线据 Murray^[2])

Fig. 7 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ and $\text{La}_N/\text{Ce}_N - \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ diagrams of Upper Permian Wuchiapingian cherts of Qiubei, Dongpan and Laibin region. (ridge, pelagic and continental margin curve after Murray^[2])

岩的常量元素、稀土元素地球化学特征的分析可以看出, 硅质岩主要以生物化学成因为主。P29—R—7—1 与其它硅质岩相比具较低的 $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ 值、较大的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 值和 Eu 的正异常。考虑其沉积环境同为大陆边缘, 可以排除因沉积环境的不同造成的差异。

晚二叠世的大火成岩是中国唯一公认的地幔柱成因大火成岩省^[21-22], 该区峨眉山大火成岩省的外带(图1a)。此外, 研究区发育文山—麻栗坡和丘北—广南—富宁断裂带, 为该时期的岩浆活动提供了条件。

张旗等^[35]研究了扬子地块西南缘晚古生代基性岩浆岩地球化学特征, 认为从晚泥盆世到晚二叠世的120 Ma期间, 地幔柱岩浆活动的规模和强度逐渐增加且玄武岩分布中心从南宁—百色之间逐渐向北西 310° 方向迁移了约600 km, 其迁移速度平均为5 km/Ma。丘北县位于南宁北西向, 两者相距约为600 km。据此推断晚二叠世时玄武岩分布中心位于丘北北东附近, 沿断裂带喷发, 温浏地区的玄武岩可能为该时期的产物。滇东南丘北地区硅质岩应该受热液影响。据此可以推断滇东南丘北地区吴家坪组中下部硅质岩沉积时, 玄武岩分布中心距离该地区大于10 km, 因此该时期沉积的硅质岩不具 Eu 异常, 而当吴家坪顶部硅质岩沉积时, 与玄武岩分布中心相距较近, 使得 P29—R—7—1 受到热液的作用较大, 使其 Fe_2O_3

含量较高, 致使其 $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ 值较小、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 值较大和 Eu 正异常。由于生物成因作用在成岩过程中占主导, 致使其虽受到一定程度热液影响, 也未改变其在投在生物成因区域。由此也可以得知, $\text{Al}-\text{Fe}-\text{Mn}$ 三角图解是对占主导作用的硅质岩成因的反映。

其它3个样品未受到热液的作用, 可以很好的反映研究区沉积环境, 其自 P14 剖面至 P19 剖面 La_N/Yb_N 有规律的减小, P19 剖面硅质岩中放射虫和海绵骨针化石, 反映其沉积环境逐渐加深。同时, 硅质岩下伏地层多为灰色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩或炭质泥岩, 沉积层理不明显及硅质岩镜下看见黄铁矿晶体, 均显示其沉积能量较低。

通过对滇东南丘北地区、来宾、东攀地区硅质岩地球化学特征的研究可以看出, 研究区的硅质岩以生物成因为主, 与东攀地区硅质岩相比受陆源碎屑影响较小, 且沉积环境均为大陆边缘, 而来宾地区则为受热液影响的远离陆源物质干扰而受热液作用影响的海盆环境^[4]。P29 由于受到一定程度的热液影响, 在 $\text{Al}-\text{Fe}-\text{Mn}$ 图解中接近热液成因区域, 且在北美页岩标准化曲线上显示与来宾地区相似的特征。将上述三个地区投到前人对该地区所做的古地理图^[13]中可以发现, 东攀地区距离物源区最近, 来宾最远, 文山地区介于两者之间。可见硅质岩的地球化学特征可以很好的反演区域古地理特征。

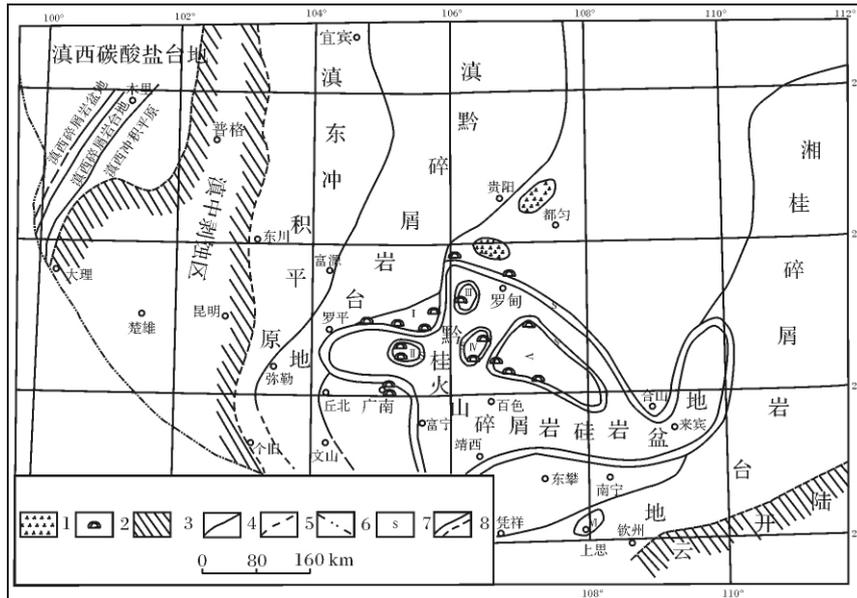


图8 中国南方晚二叠世龙潭期岩相古地理图(据冯增昭等^[12]修改)

1—生物集;2—生物礁;3—剥蚀区;4—古地理单元界线;5—推测古地理单元界线;6—红河—元江断裂;7—斜坡;8—实测/推测陆海交界线 I—册亨碳酸盐岩台地;II—隆林孤立碳酸盐岩台地;III—望谟孤立碳酸盐岩台地;IV—乐业孤立碳酸盐岩台地;V—东兰孤立碳酸盐岩台地;VI—上思硅岩盆地

Fig. 8 Lithofacies paleogeography map of Longtan Age of Late Permian of South China(Modified from Feng Zengzhao^[12])

综上所述,可以得出以下结论:

(1) 晚二叠世时滇东南丘北地区、东攀地区同为大陆边缘环境,且东攀地区距离物源区较近,此时期所沉积硅质岩受陆源碎屑影响较大。滇东南丘北地区吴家坪阶硅质岩主要为生物作用沉积,受陆源碎屑影响较小。来宾硅质岩沉积环境为远离陆源的海盆,主要受热液影响;

(2) 滇东南丘北地区 P29 硅质岩 Eu^* 为 1.129, 反映其受到一定程度热液的影响,表明晚二叠世时该地区受峨眉山幔柱或(和)断裂的共同影响;

(3) 滇东南丘北地区吴家坪期研究区由西向东其水体深度逐渐加深,且水体能量较低。硅质岩地球化学特征能很好的反映古地理环境。

致谢:在云南野外期间,云南有色地质局郭远生局长,崔银亮总工,张道红处长及云南有色 306 队,310 队给予了热情帮助,在此谨表感谢,也感谢审稿专家对本文提出的中肯意见。

参考文献 (References)

1 杜远生,黄宏伟,黄志强,等. 右江盆地晚古生代—三叠纪盆地转换及其构造意义[J]. 地质科技情报, 2009, 28(6): 10-15 [Du Yuansheng, Huang Hongwei, Huang Zhiqiang, et al. Basin translation from Late Paleozoic to Triassic of Youjiang Basin and its tectonic signif-

icance[J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(6): 10-15]
 2 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
 3 邱振,王清晨. 滇黔桂地区中上二叠统硅质岩的地球化学特征及沉积背景[J]. 岩石学报, 2010, 26(12): 3612-3628 [Qiu Zhen, Wang Qingchen. Geochemistry and sedimentary background of the Middle-Upper Permian cherts in the Xiang-Qian-Gui region [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(12): 3612-3628]
 4 邱振,王清晨. 广西来宾中上二叠统硅质岩海底热液成因的地球化学证据[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(5): 725-737 [Qiu Zhen, Wang Qingchen. Geochemical evidence for submarine hydrothermal origin of the Middle-Upper Permian chert in Laibin of Guangxi [J]. China Earth Science, 2011, 41(5): 725-737]
 5 邱振,王清晨. 桂西地区上二叠统硅质岩地球化学特征及对本区烃源岩发育潜力的指示意义[J]. 地质科学, 2011, 46(1): 52-67 [Qiu Zhen, Wang Qingchen. Geochemistry of the Upper Permian chert in the western Guangxi and its impact on forming hydrocarbon source rock [J]. Chinese Journal of Geology, 2011, 46(1): 52-67]
 6 田云涛,冯庆来,李琴. 桂西南柳桥地区上二叠统大隆组层状硅质岩成因和沉积环境[J]. 沉积学报, 2007, 25(5): 671-677 [Tian Yuntao, Feng Qinglai, Li Qin. The petrogenesis and sedimentary environment of the bedded cherts from Upper Permian Dalong Formation, Southwest Guangxi [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(5): 671-677]
 7 吴浩若. 放射虫硅质岩对华南古地理的启示[J]. 古地理学报,

- 1999, 1(2): 28-35 [Wu Haoruo. Implications of radiolarian chert for the palaeogeography of the South China [J]. *Journal of Palaeogeography*, 1999, 1(2): 28-35]
- 8 吴浩若, 邝国敦, 咸向阳, 等. 桂南晚古生代放射虫硅质岩及广西古特提斯的初步探讨[J]. *科学通报*, 1994, 39(3): 809-812 [Wu Haoruo, Kuang Guodun, Xian Xiangyang, *et al.* Late Paleozoic radiolaria cherts in southern Guangxi and preliminary exploration on paleotethys in Guangxi [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1994, 39(9): 809-812]
- 9 王忠诚, 吴浩若, 邝国敦. 广西晚古生代硅岩的地球化学及其形成的大地构造环境[J]. *岩石学报*, 1995, 11(4): 449-455 [Wang Zhongcheng, Wu Haoruo, Kuang Guodun. Geochemistry and origin of Late Paleozoic cherts in Guangxi and their explanation of tectonic environments [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11(4): 449-455]
- 10 王鸿祯. 中国古地理图集[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 1-85 [Wang Hongzhen. Atlas of the Palaeogeography of China [M]. Beijing: Cartographic Publishing House, 1985: 1-85]
- 11 刘宝瑛, 许效松. 中国南方岩相古地理图集(震旦纪-三叠纪)[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 1-239 [Liu Baojun, Xu Xiaosong. Lithofacies Paleogeography of South China (Sinian-Triassic) [M]. Beijing: Science Press, 1994: 1-239]
- 12 冯增昭, 金振奎, 杨玉卿, 等. 滇黔桂地区二叠纪岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-146 [Feng Zengzhao, Jin Zhenkui, Yang Yuqing, *et al.* Lithofacies Paleogeography of Permian of Yunnan-Guizhou-Guangxi Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 1-146]
- 13 冯增昭, 杨玉卿, 金振奎. 中国南方二叠纪岩相古地理[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1997: 1-242 [Feng Zengzhao, Yang Yuqing, Jin Zhenkui. Lithofacies Paleogeography of Permian of South China [M]. Dongying Shandong: Petroleum University Press, 1997: 1-242]
- 14 梅冥相, 李仲远. 滇黔桂地区晚古生代至三叠纪层序地层序列及沉积盆地演化[J]. *现代地质*, 2004, 18(4): 555-563 [Mei Mingxiang, Li Zhongyuan. Sequence-stratigraphic succession and sedimentary-basin evolution from Late Paleozoic to Triassic in the Yunnan-Guizhou-Guangxi Region [J]. *Geoscience*, 2004, 18(4): 555-563]
- 15 梅冥相, 马永生, 戴少武, 等. 南盘江盆地晚古生代盆地充填序列特征及生储盖组合划分[J]. *现代地质*, 2001, 15(1): 75-82 [Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Dai Shaowu, *et al.* Late Paleozoic filling succession of the Nanpanjiang Basin and the division of association of oil-generating strata, reservoir and capping bed [J]. *Geoscience*, 2001, 15(1): 75-82]
- 16 梅冥相, 马永生, 高金汉, 等. 滇黔桂盆地及其邻区晚古生代层序地层格架及相对海平面变化[J]. *现代地质*, 2002, 16(4): 365-373 [Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Gao Jinhan, *et al.* Sequence-stratigraphic framework and relative sea level changes of Late Paleozoic in the Dianqianqi Basin and its adjacent areas [J]. *Geoscience*, 2002, 16(4): 365-373]
- 17 王清晨, 蔡立国. 中国南方显生宙大地构造演化简史[J]. *地质学报*, 2007, 81(8): 1025-1040 [Wang Qingchen, Cai Ligu. Phanerozoic tectonic evolution of South China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(8): 1025-1040]
- 18 王立亭, 陆彦邦, 赵时久, 等. 中国南方二叠纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-138 [Wang Liting, Lu Yanbang, Zhao Shijiu, *et al.* Permian Lithofacies Paleogeography and Mineralization in South China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 1-138]
- 19 何斌, 徐义刚, 肖龙, 等. 峨眉山大火成岩省的形成机制及空间展布: 来自沉积地层学的新证据[J]. *地质学报*, 2003, 77(2): 194-202 [He Bin, Xu Yigang, Xiao Long, *et al.* Generation and spatial distribution of the Emeishan Large Igneous Province: New evidence from stratigraphic records [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2003, 77(2): 194-202]
- 20 Xu Y G, Luo Z Y, Huang X L, *et al.* Zircon U-Pb and Hf isotope constraints on crustal melting associated with the Emeishan mantle plume [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008, 72: 3084-3104
- 21 王祖关, 江能人, 谭雪春, 等. 云南岩相古地理图集[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1995: 1-228 [Wang Zuguan, Jiang Nengren, Tan Xuechun, *et al.* Atlas of the sedimentary facies and palaeogeography of Yunnan [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1995: 1-228]
- 22 Zhou M F, Zhao J H, Qi L, *et al.* Zircon U-Pb geochronology and elemental and Sr - Nd isotope geochemistry of Permian mafic rocks in the Funing area, SW China [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2006, 151(1): 1-19
- 23 Murray R W, Buchholtz Ten Brink M R, Jone D L, *et al.* Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments of chert and shale [J]. *Geology*, 1990, 18: 268-271
- 24 Murray R W, Buchholtz Ten Brink M R, Gerlach D C, *et al.* Rare earth, major, and trace element in chert from Franciscan complex and Monterey Group: assessing REE source to fine-grained marine sediments [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55: 1875-1895
- 25 Murray R W, Buchholtz Ten Brink M R, Gerlach D C, *et al.* Rare earth and trace element composition of Monterey and DSDP chert and associated host sediment: assessing the influence of chemical fractionation during diagenesis [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1992, 56: 2657-2671
- 26 Murray R W, Jone D L, Buchholtz Ten Brink M R. Diagenetic formation of bedded chert: evidence from chemistry of the chert-shale couplet [J]. *Geology*, 1992, 20: 271-274
- 27 Yasuhiro K, Kyoko N, Yukio I. Geochemistry of Late Permian to Early Triassic pelagic cherts from southwest Japan: implications for an oceanic redox change [J]. *Chemical Geology*, 2002, 182(1): 15-34
- 28 Adachi M, Yamamoto K, Sugisaki R. Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the Northern Pacific, their geological significance as indication of ocean ridge activity [J]. *Sedimentary Geology*, 1986, 47: 125-148
- 29 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
- 30 康健丽, 张招崇, 董书云, 等. 西南天山马达尔地区硅质岩地球化学特征及其沉积环境[J]. *岩石矿物学杂志*, 2010, 29(1): 79-

- 89 [Kang Jianli, Zhang Zhaochong, Dong Shuyun, *et al.* Geochemistry of cherts from Madaer area in Southwest Tianshan Mountains: Implications for deposition environments [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2010, 29(1): 79-89]
- 31 Bostrom K, Peterson M N A. The origin of Al-poor ferromagnesian sediments in areas of high heat flow on the East Pacific Rise [J]. *Marine Geology*, 1969, 7: 427-447
- 32 Bostrom K, Kraemer T, Gartner S. Provenance and accumulation rates of opaline silica, Al, Ti, Fe, Mn, Cu, Ni and Co in Pacific pelagic sediments [J]. *Chemical Geology*, 1973, 11: 132-148
- 33 Armstrong H A, Owen A W, Floyd J D. Rare earth geochemistry of Arenig cherts from the Ballantrae Ophiolite and Leadhills Imbricate Zone, southern Scotland: Implications for origin and significance to the Caledonian Orogeny [J]. *Journal of the Geological Society (London)*, 1999, 156: 549-560
- 34 杜远生, 朱杰, 顾松林, 等. 北祁连山带寒武系-奥陶系硅质岩沉积地球化学特征及其对多岛洋的启示 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2007, 37(10): 1314-1329 [Du Yuansheng, Zhu Jie, Gu Songlin, *et al.* Sedimentary geochemistry of the Cambrian-Ordovician cherts: Implication on archipelagic ocean of North Qilian orogenic belt [J]. *Science in China: Earth Sciences*, 2007, 37(10): 1314-1329]
- 35 张旗, 钱青, 王焰, 等. 扬子地块西南缘晚古生代基性岩浆岩的性质与古特提斯洋的演化 [J]. *岩石学报*, 1999, 15(4): 576-583 [Zhang Qi, Qian Qing, Wang Yan, *et al.* Late Paleozoic basic magmatism from SW Yangtze Massif and evolution of the Paleo-Tethyan Ocean [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(4): 576-583]

Geochemical Feature of Upper Permian Wuchiapingian Cherts of Qiubei Region, Southeast Yunnan and Its Geological Significance

LIU Jia-qiang WANG Xun-lian ZHOU Hong-rui GAO Jin-han
YU Lei MAO Zhi-fang ZHENG Nan

(School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geoscience, Beijing 100083)

Abstracts: Cherts of the Late Permian occurred extensively in the Dian-Qian-Gui region, which provide critical information with respect to the study of tectonic setting and the formation of sedimentary basins. At present most attention has been focused on Guangxi and Southwestern Guizhou, however, few relevant research has been carried out in Southeast Yunnan. Based on petrogeology and geochemistry, the Wuchiapingian cherts of Upper Permian of Qiubei region, Southeast Yunnan have been systematically studied. The results show that all samples except P29 have much higher $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratios (>80), $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ ratio between 0.46 and 0.76; Ce/Ce^* and La_N/Ce_N ratios are 0.517 ~ 0.858 and 1.12 ~ 1.80, respectively; Chondrite-normalized REE patterns of the cherts characterized by significant negative Eu anomalies and LREE enrichment; Besides, the NASC-normalized Eu/Eu^* ratio of P29 is 1.129. Combining with the published geochemical data of cherts from the equivalent horizons of Dongpan and Laibin region, we draw a conclusion that (1) The cherts of Qiubei and Dongpan region developed in a setting of continental marginal in the late Permian, and terrestrial debris is the main material source of the cherts of Dongpan. Meanwhile, the cherts of Qiubei are characteristic of biogenesis, and received little terrigenous input, and those of Laibin were deposited in an ocean basin with influence of submarine hydrothermal fluid and no input of terrigenous materials; the Eu/Eu^* ratio of P29 is 1.129, which reflects its hydrothermal influence and implies the movement from both (either) Emeishan Mantle and (or) regional fault; During the late Permian, the water depth of Qiubei region deepen gradually from west to east with low water energy.

Key words: Southeast Yunnan; Upper Permian Wuchiapingian; cherts; geochemical feature