

滇西南澜沧江带官房地区三叠纪火山岩地质地球化学特征及其构造环境

张彩华, 刘继顺, 刘德利

(中南大学 地质与环境工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 官房地区火山岩属三江构造带南澜沧江构造岩浆带北段, 中晚三叠世喷发了一套由中三叠统忙怀组酸性火山岩和上三叠统小定西组基性火山岩组成的火山岩系。忙怀组酸性火山岩以高硅、富钾、低钛为特征, SiO_2 含量平均为 75.49%, K_2O 含量平均为 3.88%, TiO_2 含量平均为 0.136%, $A/\text{CNK} > 1.1$ (平均为 1.53), 属高钾钙碱性流纹质火山岩类; $\sum\text{REE}$ 平均为 276.85×10^{-6} , 富集轻稀土元素, 具强 Eu 负异常, 微量元素在蛛网图上显示出 K、Rb、Ba、Th 强烈富集, 而 Ti、P 则明显亏损。小定西组也以富钾为特征(K_2O 含量平均为 2.68%), 里特曼指数 σ 在 2.23~9.24 之间(平均为 6.27), 为高钾钙碱性玄武岩-钾玄岩系列, $\sum\text{REE}$ 平均为 171.83×10^{-6} , 轻度富集轻稀土元素, 稀土元素配分型式为缓右倾斜-平坦型, 无 Eu 或弱的负 Eu 异常; 微量元素配分模式以 K、Rb、Ba、Th 强烈富集, Ti、Y、Yb、Cr 则明显亏损为特征。南澜沧江带三叠纪火山岩系的地质、岩石组合和地球化学特征表明其为活动大陆边缘弧的产物。

关键词: 南澜沧江带; 三叠纪; 火山岩; 地球化学特征; 构造环境; 滇西

中图分类号: P588.14 P59 P54

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2006)05-0377-10

Geological and geochemical characteristics and tectonic setting of Triassic volcanic suite in Guanfang area along South Lancangjiang belt

ZHANG Cai-hua, LIU Ji-shun and LIU De-li

(College of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha, 410083)

Abstract: The volcanic suite of Guanfang area occurs in the north of South Lancangjiang magmatic tectonic zone within the Sanjiang Three-River tectonic belt. A volcanic suite composed of acidic volcanics of Manghuai Formation and basic volcanics of Xiaodingxi Formation was extruded in the Guanfang area in the middle-Late Triassic period. With high silica ($\text{SiO}_2 = 75.49\%$ on average), rich potassium ($\text{K}_2\text{O} = 3.88\%$ on average), low titanium ($\text{TiO}_2 = 0.136\%$ on average) and A/CNK high than 1.1 (1.53 on average), the acidic volcanic rocks of Manghuai Formation belong to potassium-rich calc-alkali rhyolitic volcanic rock series. The rocks have an average $\sum\text{REE}$ of 276.85×10^{-6} and show evident negative Ti, P and Eu anomalies as well as positive K, Rb, Ba, Th anomalies in the trace element spider diagrams. Basic volcanic rocks of Xiaodingxi Formation are also enriched in potassium ($\text{K}_2\text{O} = 2.68\%$ on average), with their Rittmann index varies in the range of 65.92% ~ 75.68% ($\sigma = 6.27$ on average), thus belonging to potassium-high calc-alkali basalt-shoshonite series. The REE distribution pattern is slightly right oblique with an average $\sum\text{REE}$ of 171.83×10^{-6} , and there exist no or very weak negative Eu anomalies. The rocks show evident K, Rb, Ba, Th positive anomalies and Ti, Y, Yb, Cr negative anomalies in the trace element distribution pattern. According to the rock assemblage as well as geological

收稿日期: 2005-08-29; 修订日期: 2006-04-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40072032); 云南省省院省校合作项目(2003UDBEA00Q021)

作者简介: 张彩华(1970-), 男, 高级工程师, 博士研究生, 主要从事矿床学和成矿预测研究, E-mail: zhangcai.hua@163.com

and geochemical characteristics, it is suggested that the Triassic volcanic suite in Guanfang area along South Lancangjiang belt of Yunnan Province should be composed of epicontinental arc-volcanic rocks.

Key words: South Lancangjiang belt; Triassic; volcanic rocks; geochemical characteristics; tectonic setting; western Yunnan

南澜沧江火山弧属于我国“三江”构造岩浆带, 为全球特提斯成矿域的一部分, 是我国极具铜多金属找矿潜力的成矿远景区。官房地区处于滇西南澜沧江火山弧(云县—景洪)北段富钾火山岩区(朱勤文, 1993; 莫宣学, 1998), 夹持于印支期临沧花岗岩基与澜沧江深大断裂之间, 内有官房和文玉两个中小型铜多金属矿床, 铜、铅矿点密集分布, 这一区域极有可能成为澜沧江带找矿优先突破的矿化集中区。目前, 除云南省地质局在 1977 年对该区火山岩做过 1:20 万地质填图外, 对其地球化学特征、成因演化以及形成构造环境等方面尚缺乏系统研究, 本文在实测地质地球化学剖面的基础上对这方面做些

探讨, 这对拓宽该区地质找矿思路具有重要意义。

1 地质背景和特征

研究区位于滇西南澜沧江两岸, 云县与景东的交界处(图 1)。出露地层主要为: 上三叠统小定西组(T_3x)沿澜沧江深断裂呈带状分布; 中三叠统忙怀组(T_2m)与小定西组呈假整合接触, 地表出露不全, 在官房通过钻孔控深 500 m。样品全部来自实测的向阳山地质剖面, 为坑道或钻孔内新鲜无蚀变岩石, 样品编号代表采样标高。

官房地区小定西组火山岩系地层厚 2 190 m(未

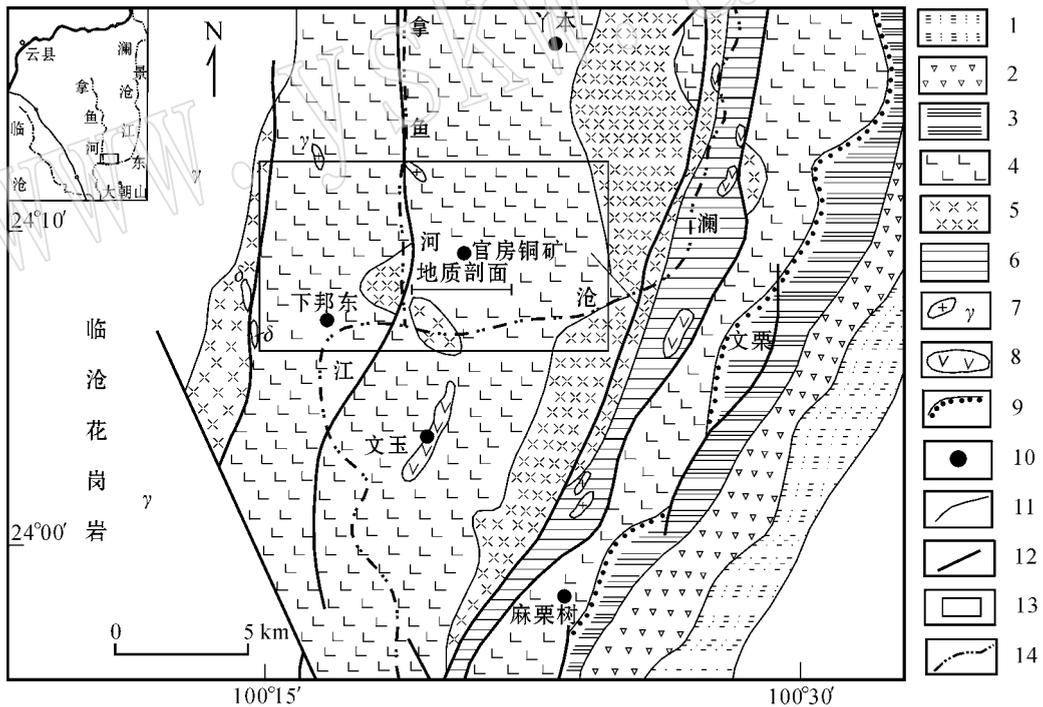


图 1 南澜沧江带官房地区火山岩分布地质略图(据 1:20 万云县—景谷幅改编)

Fig. 1 Geological sketch map showing the distribution of volcanic rocks in Guanfang area along South Lancangjiang belt(modified from 1:200 000 geological map of Yunxian-Jinggu area)

- 1—白垩系南星组 2—白垩系景星组 3—侏罗系和平乡组 4—上三叠统小定西组 5—中三叠统忙怀组 6—上二叠统 7—花岗岩岩体 8—闪长岩岩体 9—不整合接触界线 10—铜矿床(点) 11—地质界线 12—断层 13—研究区 14—河流
- 1—Cretaceous Nanxing Formation 2—Cretaceous Jingxing Formation 3—Jurassic Hepingxiang Formation 4—Upper Triassic Xiaodingxi Formation 5—Middle Triassic Manghuai Formation 6—Upper Permian 7—granite 8—diorite 9—unconformity 10—copper deposit (spot); 11—geological boundary 12—fault 13—study area 14—river

见顶) ,共有 5 个喷发旋回 ,分为 3 段 6 个亚段 ,主要为一套高钾玄武岩-钾质粗玄武岩-钾玄武岩组合(图 2) 。在每一次喷发旋回的上部 ,气孔杏仁构造发育 ,岩石为紫红色或砖红色 ,中下部则过渡为青灰色致密块状。岩石类型较复杂 ,主要有钾玄武岩、辉斑玄武岩、钾质粗玄武岩、玄武质岩屑凝灰岩、玄武质角砾凝灰岩和少量安山玄武质集块岩、角砾岩 ,以溢流相为主。在小定西组第 1 段中可见较多的辉绿岩脉 ,顺层或切层产出 ;在第 2 段老毛村火山岩中夹一层厚 4 m 产状平缓的硅质岩 ,局部可见沉集块岩。从整体看 ,火山岩未见枕状构造 ,而在每一次喷发旋回的上部气孔杏仁构造发育 ,具“红顶绿底”现象 ,表明喷发环境从还原向氧化演化 ,沉积相为陆相-海陆交互相。火山岩中沉积岩夹层为含 *Pergamidia nakuensis*

Reed *Equiselite* sp.^① 等动植物化石的凝灰质砂岩、页岩 ,时代为晚三叠世 ,表现出活动陆缘火山岩的特征。

忙怀组发育厚 2 146 m(山头街剖面)的火山岩系地层 ,其中火山岩厚 2 044 m ,占 95.2% ,为一套高钾流纹岩及其火山碎屑岩组合 ,爆发指数为 48.7。其中夹多层含 *Myophoria*(*Costatoria*)*goldfussi*^① 等动植物化石厚度不大的泥页岩和硅质岩 ,时代为中三叠统。岩石类型有高钾流纹岩、流纹斑岩、流纹质角砾岩、流纹质岩屑凝灰岩、玻屑凝灰岩、凝灰岩。在官房忙怀组的顶部以一层厚 3~10 m 的紫红色凝灰质砂岩、页岩与小定西组假整合接触。从总体上忙怀组的巨厚酸性火山岩和小定西组巨厚的基性火山岩构成两个大的喷发旋回。

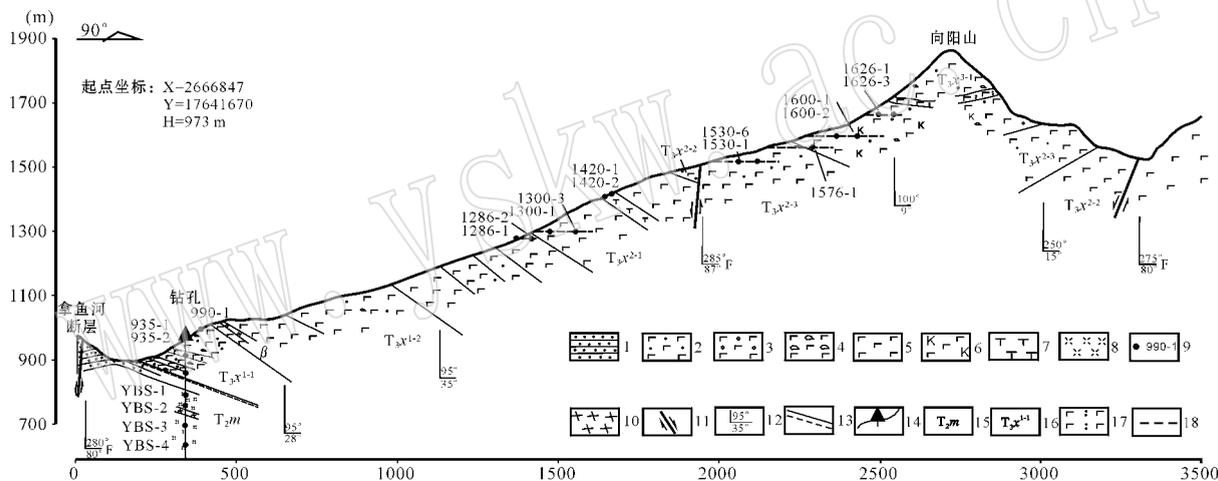


图 2 官房地区三叠纪火山岩向阳山地质剖面图

Fig. 2 Xiangyangshan geological section of Triassic volcanic rocks in Guanfang area

1—砂岩 2—辉斑玄武岩 3—气孔玄武岩 4—杏仁玄武岩 5—青灰色块状玄武岩 6—钾玄武岩 7—粗玄武岩 8—流纹岩、流纹质角砾岩 9—采样位置及样号 10—辉绿岩 11—断层 12—岩层产状 13—平行不整合面 14—钻孔 15—中三叠统忙怀组 16—上三叠统小定西组第 1 段第 1 亚段 17—玄武质凝灰岩 18—坑道工程

1—sandstone 2—basalt with pyroxene porphyritic crystal 3—basalt with fumarolic structure 4—basalt with amygdaloidal structure 5—basalt with massive structure 6—shoshonite 7—dolerite 8—rhyolite and rhyolitic breccia 9—sampling location and its zerial number 10—diabase 11—fault ; 12—attitude of strata 13—parallel unconformity 14—drill 15—Middle Triassic Manghuai Formation 16—1st Submember of 1st Member of Upper Triassic Xiaodingxi Formation 17—basaltic tuff 18—gallery

2 岩石学特征

官房地区火山岩采用镜下鉴定和 TAS 图(图 3) 结合命名。小定西组基性火山岩成分点大部落在 S₂

区 ,定名为钾玄武岩 ,其余分别被定名钾质粗玄武岩和辉斑玄武岩。在岩相上具斑状结构 ,块状构造 ,在每一次火山喷发旋回的上部具气孔或杏仁构造。基质为间隐结构和粗玄结构。斑晶主要为斜长石和普通辉石 ,在钾玄武岩中偶见橄榄石。斜长石斑晶 *A_n* 值

① 云南省地质局. 1977. 云南景东幅区域地质调查报告(地质部分)

为 40~53, 未见环带, 约占样品含量 14%~20% 左右, 普通辉石斑晶呈粒柱状, 约占样品含量 2% 左右。基质由斜长石(50%~56%)、辉石(5%~8%) 和玻璃质(10%~15%) 组成。

忙怀组流纹质火山岩具斑状结构, 流纹构造, 局部具块状构造。基质为玻基交织结构, 局部具霏细结构; 斑晶有长石和石英, 长石斑晶约占样品含量 30% 左右, 钾长石(主)、斜长石(次) 均见, 环带不发育, 石英斑晶约占样品含量 10% 左右, 二者均为半自形粒状且具熔蚀现象。基质由斜长石(40%~

45%) 显微粒状石英(10%~16%) 微量黑云母、磁铁矿、锆石等组成, 碎裂岩化强烈, 细脉状硅化发育。

3 地球化学特征

3.1 主量元素特征

官房地区小定西组和忙怀组火山岩的岩石化学分析结果见表 1。将归一后重新计算的数据投入 TAS 分类图解(图 3)和 K_2O-SiO_2 图(图 4)中, 可以看出该区火山岩类集中在基性和酸性两个成分区

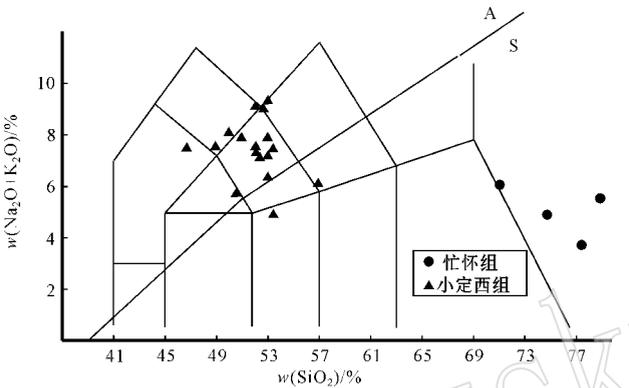


图 3 官房地区火山岩 TAS 图解(据 Le Maitre 等, 1989)
Fig. 3 TAS diagram of volcanic rocks in Guanfang area
(after Le Maitre et al., 1989)

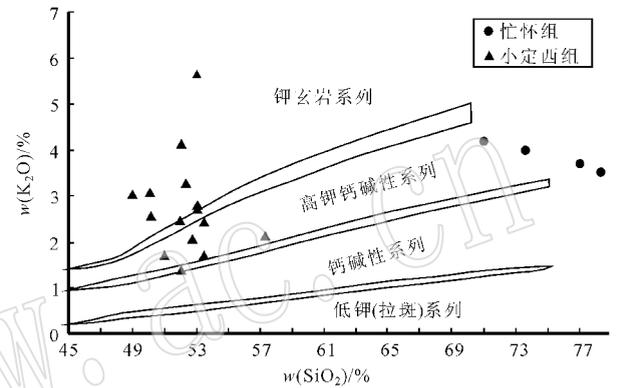


图 4 官房地区火山岩 K_2O-SiO_2 图解(据 Rickwood, 1989)
Fig. 4 K_2O-SiO_2 diagram of volcanics in Guanfang area
(after Rickwood, 1989)

表 1 官房地区火山岩化学成分

$w_B/\%$

Table 1 Chemical composition of volcanic rocks in Guanfang area

样号	岩性	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	CO ₂	total	ALK	A/CNK	*[Mg]
YBS-1	流纹岩	74.69	10.90	0.842	1.78	1.83	0.756	4.09	0.820	0.136	0.044	0.064	1.77	2.25	99.97	4.91	1.19	
YBS-2	流纹斑岩	79.07	10.62	1.06	0.854	0.204	0.340	3.49	2.02	0.127	0.040	0.027	1.76	0.37	99.98	5.51	1.46	
YBS-3	流纹岩	71.35	14.80	1.34	1.58	0.660	0.701	4.26	1.87	0.160	0.040	0.032	3.28	1.06	101.1	6.13	1.65	
YBS-4	流纹岩	76.83	11.36	0.734	1.40	1.01	0.493	3.66	0.122	0.119	0.041	0.054	3.50	1.56	100.9	3.782	1.83	
935-1	玄武质凝灰岩	52.39	16.64	8.27	1.38	2.92	4.60	3.30	5.86	1.29	0.441	0.181	2.26	0.221	99.75	9.16		0.48
935-2	辉斑玄武岩	52.99	16.60	5.62	2.57	2.84	4.93	5.46	3.93	1.09	0.395	0.293	2.80	0.267	99.79	9.39		0.54
1286-1	钾质粗玄岩	48.99	16.95	4.18	5.19	3.28	6.15	2.96	4.48	1.57	0.550	0.501	4.00	0.209	99.01	7.44		0.55
1286-2	钾质粗玄岩	50.47	16.33	5.49	3.68	3.26	6.43	3.06	4.96	1.19	0.406	0.510	3.5	0.883	100.2	8.02		0.57
1300-1	辉斑玄武岩	50.63	16.99	3.46	5.56	6.16	5.55	2.52	3.14	1.32	0.359	0.300	3.50	0.720	100.2	5.66		0.53
1300-3	安粗岩	57.33	17.20	2.46	4.48	5.76	3.46	2.16	3.72	0.996	0.243	0.108	2.20	0.098	100.2	5.88		0.48
1420-1	钾质粗玄岩	52.01	16.93	3.61	4.22	2.47	6.36	4.14	4.19	1.08	0.293	0.199	4.34	0.790	100.6	8.33		0.60
1420-2	钾质粗玄岩	52.11	16.23	5.40	2.70	4.21	3.96	2.37	6.02	1.03	0.290	0.151	3.44	2.95	100.9	8.39		0.48
1530-1	辉斑玄武岩	52.66	16.53	6.08	3.14	2.40	5.13	2.06	6.02	1.30	0.464	0.111	3.57	0.348	99.81	8.08		0.52
1530-6	辉斑玄武岩	52.07	15.29	0.525	8.04	2.30	4.99	1.19	5.98	1.24	0.476	0.144	4.34	0.325	96.91	7.17		0.51
1576-1	钾玄岩	53.45	16.48	4.97	4.15	7.34	4.45	1.58	3.25	1.34	0.554	0.150	2.65	0.052	100.4	4.83		0.48
1600-1	钾玄岩	52.93	16.27	6.36	3.26	6.24	4.27	2.58	3.65	1.28	0.536	0.320	2.38	0.186	100.3	6.23		0.46
1600-2	钾玄岩	53.07	16.35	5.62	3.78	3.79	4.71	2.71	4.50	1.30	0.541	0.257	2.84	0.058	99.53	7.21		0.49
1626-1	钾玄岩	53.35	16.05	4.65	4.14	4.92	4.42	2.50	4.97	1.25	0.540	0.210	2.94	0.441	100.4	7.47		0.49
1626-3	玄武质凝灰岩	51.31	14.58	6.60	2.65	6.46	3.45	1.55	6.25	1.13	0.474	0.200	3.88	1.70	100.2	7.8		0.42

测试单位为国土资源部宜昌地质矿产研究所岩矿测试分析研究室, 应用熔片法在日产理学 3080E1 型波长色散 X 射线荧光光谱仪上测定, 分析精度(RSD%) 小于 0.9; *[Mg] = Mg/(Mg + Fe²⁺), A/CNK = Al₂O₃/(CaO + Na₂O + K₂O) 分子比, ALK = Na₂O + K₂O。

域 缺少中性成分 ,类似于“双峰式”火山岩的 Daly 间断 ,但其在时间上以基性岩晚于酸性岩形成为特征而有别于经典“双峰式”火山岩(王焰等 2000)。

小定西组基性火山岩基本上处在 Irvine 分界线的上方 ,大部分样品落在高钾玄武岩、钾玄武岩区 ,为高钾钙碱性-钾玄武岩系列。15 个样品岩石化学平均值为 SiO₂ 52.38%、TiO₂ 1.23%、Al₂O₃ 16.36%、Fe₂O₃ 4.89%、FeO 3.93%、MnO 0.24%、MgO 4.86%、CaO 4.29%、Na₂O 4.73%、K₂O 2.68%、P₂O₅ 0.44% ,大多数样品 Na₂O-2 < K₂O ,具富钾特征 ,里特曼指数 σ 在 2.23~9.24 之间(平均为 6.27) ,其化学成分与火山弧玄武岩中的钾玄武岩相似。与大陆裂谷拉斑玄武岩化学成分相比(平均值 TiO₂ 2.23%、CaO 9.7%、Al₂O₃ 14.3%、MgO 5.9%) ,TiO₂、CaO、MgO 含量偏低 ,Al₂O₃ 含量偏高。与大洋中脊拉斑玄武岩(平均值 TiO₂ 1.44%、Al₂O₃ 16.0%、CaO 11.2%、Na₂O 2.75%、K₂O 0.14%) (Condie ,1996) 相比 ,二者化学成分较近似 ,但 K₂O 偏高 ,CaO 偏低 ,具有高 K₂O、中等 TiO₂、Al₂O₃ 等特征。

忙怀组流纹质酸性火山岩的 SiO₂ 含量为 71.35%~79.07% (平均为 75.49%) ,Al₂O₃ 含量为 10.9%~14.8% (平均为 11.92%) ,CaO 含量为 0.2%~1.83% (平均为 0.93%) ,Na₂O 含量 0.12%~2.02% (平均为 1.21%) ,K₂O 含量为 3.66%~4.26% (平均为 3.88%) ,TiO₂ 含量平均为 0.136% ,A/CNK > 1.1 (平均为 1.53) ,里特曼指数(σ) 小于 3.3 (平均为 0.84) ,具有高硅、高钾、低钛、中等 Al₂O₃、CaO < 1%、ALK < 8% (平均为

5.78%) λ K₂O > Na₂O 的特征 ,属于弱碱质流纹岩中的钾质流纹岩 ,属钙碱性系列。

3.2 稀土元素特征

稀土元素分析结果和相关参数见表 2。官房地区小定西组基性火山岩所有样品具有比较一致的 REE 含量和配分型式 , \sum REE 为(142.0~205.5) $\times 10^{-6}$ (平均为 171.83 $\times 10^{-6}$) , δ Eu 为 0.85~1.09 (平均为 0.97) ,LREE/HREE 为 3.06~4.56 (平均为 3.63) ,(La/Yb)_N 为 6.93~11.52 (平均为 8.71) ,(La/Sm)_N 为 2.94~4.57 (平均为 3.74) ,(Gd/Yb)_N 为 1.09~1.30 (平均为 1.16) 。稀土元素配分型式为轻度富集轻稀土的缓右倾斜-平坦型 ,无 Eu 或弱的负 Eu 异常(图 5)。

忙怀组流纹质火山岩 \sum REE 为(230.7~336.6) $\times 10^{-6}$ (平均 276.85 $\times 10^{-6}$) ,LREE/HREE 为 1.52~2.95 (平均 2.08) , δ Eu 为 0.12~0.36 (平均 0.19) , δ Ce 为 0.72~0.82 (La/Yb)_N 为 2.71~8.03 (平均 4.81) ,(La/Sm)_N 为 3.16~4.81 (Gd/Yb)_N 为 0.53~0.84 (平均为 0.67) 。稀土元素配分模式为轻稀土富集型的右倾斜型 ,具明显的 Eu 负异常 ,与 S 型花岗岩配分模式相似(图 5)。

3.3 微量元素特征

小定西组基性火山岩的不相容元素 K、Rb、Hf、Nb 等及 Ba/Rb、Ba/Sr 比值与陆缘弧非常接近 ,仅 Sr、Ba 略低 ,Zr 略高(Pearce ,1982) 。微量元素配分分布模式以 K、Rb、Ba、Th 强烈富集 ,Ta、Ce、P、Zr、Hf、Sm 中等程度富集 ,Ti、Y、Yb、Cr 明显亏损为特征 ,呈 Rb、Ba、Th 隆起的右倾斜形式 ,具有弧火山岩的特征(图 6) 。Ta 平均值小于 1 $\times 10^{-6}$,Nb 平均值

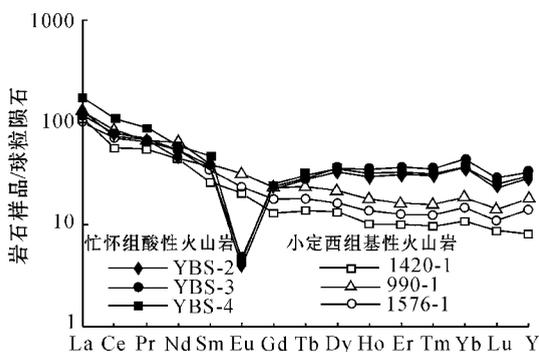


图 5 官房地区火山岩矿石稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(球粒陨石数据据 Boynton ,1984) Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of volcanic rocks in Guanfang area(Chondrite data from Boynton ,1984)

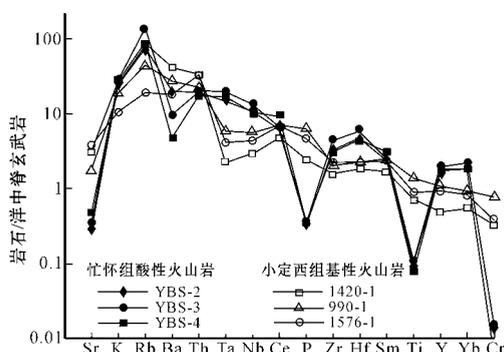


图 6 官房地区火山岩微量元素标准化蛛网图(洋脊玄武岩数据据 Pearce 等 ,1984) Fig. 6 Trace element normalized spider diagram of volcanics in Guanfang copper deposit(Primitive mantle data from Pearce et al. ,1984)

表2 官房地区火山岩稀土元素和微量元素分析结果及有关比值

 $\omega_B/10^{-6}$

Table 2 REE and trace element composition of volcanic rocks in Guanfang area

样号	YBS-1	YBS-2	YBS-3	YBS-4	935-1	935-2	1286-1	1286-2	1300-1	1300-3	1420-1	1420-2	1530-1	1530-6	1576-1	1600-1	1600-2	1626-1	1626-3
La	72.8	39.9	35.8	53.5	29.5	34.4	32.1	26.3	32.6	29.5	32.6	36.8	30.6	33.7	38.6	42.3	37.4	37.9	43.7
Ce	106	61.8	65.3	91.8	49.8	55.3	49.9	42.9	50.3	48.0	47.6	56.2	59.8	59.5	67.8	61.6	60.0	57.3	63.3
Pr	12.8	8.19	8.39	10.8	6.17	6.37	6.68	6.09	5.82	5.26	6.62	6.88	7.83	7.18	8.34	8.50	8.73	6.76	7.24
Nd	48.3	26.1	31.2	34.8	25.2	26.1	30.1	25.6	28.8	21.6	25.8	27.3	31.4	33.7	33.2	35.5	31.3	32.9	30.4
Sm	10.6	7.72	7.93	9.89	5.88	6.27	6.62	5.63	6.31	5.05	5.50	5.63	7.29	6.82	7.76	7.73	7.75	6.77	6.69
Eu	1.00	0.29	0.35	0.33	1.48	1.50	1.64	1.64	1.56	1.33	1.51	1.40	1.73	1.96	1.76	1.88	1.93	1.90	1.71
Gd	8.11	7.15	7.49	8.04	4.41	4.52	5.34	4.47	4.90	3.93	4.14	4.10	5.68	5.66	6.02	5.71	5.66	5.25	4.91
Tb	1.41	1.36	1.38	1.48	0.65	0.68	0.86	0.68	0.80	0.62	0.67	0.68	0.88	0.91	0.94	0.91	0.91	0.79	0.79
Dy	9.45	10.2	11.0	10.9	4.24	4.34	5.47	4.40	4.72	3.59	4.14	3.92	5.02	5.48	5.34	5.88	5.50	5.27	4.63
Ho	1.87	2.16	2.53	2.32	0.82	0.85	1.01	0.76	0.86	0.59	0.74	0.71	1.0	0.99	1.09	1.06	0.99	0.94	0.92
Er	5.44	6.53	7.63	6.84	2.21	2.35	2.84	2.24	2.37	1.81	2.12	1.95	2.66	2.80	3.11	3.10	2.99	2.90	2.52
Tm	0.79	1.00	1.16	1.04	0.34	0.36	0.39	0.33	0.36	0.26	0.32	0.28	0.41	0.40	0.48	0.48	0.41	0.41	0.37
Yb	5.14	6.21	7.48	6.23	2.01	2.11	2.49	2.15	2.20	1.60	1.84	1.81	2.50	2.50	2.83	2.79	2.76	2.43	2.23
Lu	0.61	0.70	0.89	0.76	0.28	0.29	0.35	0.31	0.29	0.20	0.27	0.26	0.34	0.36	0.39	0.37	0.35	0.36	0.30
Y	52.3	51.4	58.6	54.2	17.1	18.4	18.5	18.5	17.2	15.1	14.6	15.7	25.2	26.5	27.8	24.5	28.5	23.9	18.3
∑REE	336.6	230.7	247.1	292.9	150.1	163.8	164.3	142.0	159.1	138.4	148.5	163.6	182.3	188.5	205.5	202.3	195.2	185.8	188.0
L/H	2.95	1.66	1.52	2.19	3.68	3.83	3.41	3.20	3.72	4.00	4.15	4.56	3.17	3.13	3.28	3.52	3.06	3.40	4.38
δEu	0.36	0.13	0.15	0.12	0.96	0.92	0.92	1.09	0.93	0.99	1.04	0.95	0.89	1.06	0.85	0.93	0.96	1.06	0.98
δCe	0.72	0.73	0.82	0.81	0.79	0.78	0.73	0.74	0.76	0.80	0.69	0.74	0.85	0.82	0.81	0.69	0.72	0.75	0.73
(La/Yb) _i	8.03	3.64	2.71	4.87	8.32	9.24	7.31	6.93	8.40	10.45	10.04	11.52	6.94	7.64	7.73	8.59	7.68	8.84	11.10
(La/Sm) _i	4.81	3.62	3.16	3.79	3.51	3.84	3.39	3.27	3.62	4.09	4.15	4.58	2.94	3.46	3.48	3.83	3.38	3.92	4.57
(Gd/Yb) _i	0.84	0.61	0.53	0.69	1.17	1.14	1.14	1.10	1.18	1.30	1.20	1.20	1.21	1.20	1.13	1.09	1.09	1.15	1.17
Cr	8.90	3.70	3.80	1.50	68.7	57.5	88.7	118	112	29.2	81.3	95.6	98.9	102	94.8	87.9	107	107	106
Co	2.50	<1	<1	4.10	23.5	22.9	22.1	26.3	26.6	18.9	27.3	24.5	24.9	29.7	24.8	26.0	21.6	22.6	20.1
Rb	177	150	272	165	82.4	166	75.1	61.4	117	68.9	174	25.2	43.8	23.8	37.9	91.9	84.7	95.4	31.3
Sr	34.9	33.7	43.3	57.7	439	263	380	277	506	507	366	167	301	170	456	513	409	360	219
Ba	461	390	190	94.4	1180	1110	1290	913	528	359	812	303	308	158	358	580	536	379	192
V	6.48	4.24	3.10	4.16	180	155	194	189	201	154	183	203	261	163	201	192	181	208	105
Nb	23.3	37.2	46.1	36.2	14.0	13.7	17.9	15.2	12.9	9.12	10.3	9.76	11.4	13.1	15.3	14.4	15.3	14.3	13.4
Ta	0.74	2.61	3.47	2.97	0.84	0.60	1.60	1.22	<0.5	<0.5	<0.5	0.89	<0.5	0.80	0.74	1.47	0.45	0.3	0.62
Zr	149	299	385	281	143	171	183	177	162	139	142	114	153	146	200	186	191	200	190
Hf	5.97	11.4	14.1	10.9	4.46	4.54	5.75	5.23	4.72	4.08	4.39	3.37	4.11	4.65	5.30	5.25	4.95	5.35	5.66
U	2.43	3.87	4.00	3.48	0.98	0.98	1.25	1.25	1.12	0.98	0.98	0.98	0.98	1.12	1.32	0.98	0.98	0.98	0.98
Th	22.40	23.00	30.80	22.50	7.37	8.4	5.68	5.45	4.1	4.48	6.67	3.6	5.79	12.1	6.52	4.84	11.6	8.46	8.23
Zr/Nb	6.39	8.04	8.35	7.76	10.21	12.48	10.22	11.64	12.56	15.24	13.79	11.68	13.42	11.15	13.07	12.92	12.48	13.99	14.18
Zr/Y	2.85	5.82	6.57	5.18	8.36	9.29	9.89	9.57	9.42	9.21	9.73	7.26	6.07	5.51	7.19	7.59	6.70	8.37	10.38
Nb/La	0.32	0.93	1.29	0.68	0.47	0.40	0.56	0.58	0.40	0.31	0.32	0.27	0.37	0.39	0.40	0.34	0.41	0.38	0.31
Nb*	0.28	0.62	0.69	0.53	0.27	0.17	0.36	0.32	0.29	0.23	0.16	0.21	0.29	0.43	0.41	0.28	0.31	0.30	0.34

测试单位 湖北宜昌地质矿产研究所 稀土元素采用 ICP-AES 方法检测 微量元素采用 ICP-MS 方法检测 ;Nb* = 2Nb_N/(K_N + La_N) ;岩性同表 1。

为 13.34×10^{-6} ,Sr 平均值为 355.5×10^{-6} ,Cr 平均值为 90.3×10^{-6} 均远小于板内碱性玄武岩的丰度值(板内碱性玄武岩 Ta、Nb、Sr、Cr 的丰度值分别为 5.9×10^{-6} 、 84×10^{-6} 、 842×10^{-6} 、 536×10^{-6}) (Pearce,1982)。特征参数 Nb* 值为 0.16~0.43 , Zr/Nb 为 10.21~15.24 ,Zr/Y 为 5.51~10.38 , Nb/La 为 0.27~0.58 ,均小于 1 ,表明玄武岩受到了硅铝质地壳物质的混染 (Wilson,1989)。

忙怀组流纹质酸性火山岩微量元素配分分布模式以 K、Rb、Ba、Th 强烈富集 ,Ta、Ce、Zr、Hf、Sm 中等程度富集 ,Ti、P 明显亏损为特征(图 6)。Zr/Nb 为 6.39~8.35 ,Zr/Y 为 2.85~6.57 ,Nb/La 值平均为 0.8 小于 1 ,特征参数 Nb* 值为 0.28~0.69 ,Sr* [2Sr_N/(Ce_N + Nd_N)] 值为 0.03~0.07 ,Ti* 值 [2Ti_N/(Sm_N + Tb_N)] 为 0.03~0.05 ,均小于 1 ;Zr* 值 [2Zr_N/(Sm_N + Tb_N)] 为 1.36~2.19 ,Hf* 值

[$2\text{Hf}_N / (\text{Sm}_N + \text{Tb}_N)$] 为 1.05~2.98, $K^* [2\text{K}_N / (\text{Ta}_N + \text{La}_N)]$ 为 1.56~2.14, 均大于 1, 表明酸性岩浆来源于地壳重熔 (Wilson, 1989)。

3.4 Pb 同位素特征

官房地区小定西组基性火山岩的 Pb 同位素分析结果如表 3, 其 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.428~18.466, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.673~15.688, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.129~38.314, Th/U 值为 3.82~3.86。在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变异图中, 各投点均位于

NHRL 线左侧 (图 7)。各火山岩的 μ 值为 9.60~9.63, 变化范围较小, 该比值不同于地球形成早期地幔铅同位素 μ 值为 7.91 的单阶段演化趋势, 这证实小定西组基性火山岩中铅同位素经历了两阶段演化, 说明在地球铅同位素演化后又有放射性元素 U 和 Th 的富集事件发生。

4 构造环境探讨

汇聚板块边缘的火山喷发产物从基性到酸性均

表 3 官房地区玄武质火山岩的 Pb 同位素比值和特征参数

Table 3 Pb isotopic ratio and characteristic parameter of basaltic volcanic rocks in Guanfang area

样号	同位素组成			特征参数		
	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	表面年龄/Ma	μ 值	Th/U
XT-1	18.466	15.688	38.314	235	9.63	3.86
P13	18.428	15.673	38.218	246	9.61	3.82
P26	18.446	15.669	38.129	226	9.60	3.82

测试单位 湖北宜昌地质矿产研究所同位素测试中心。

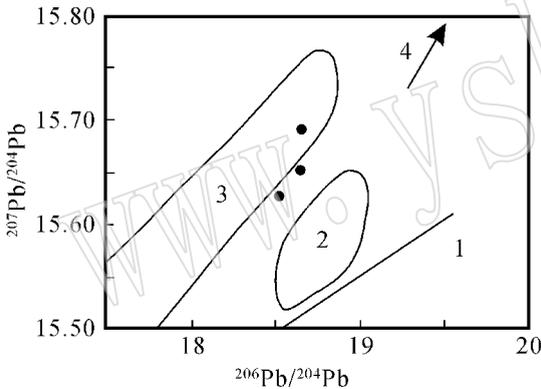


图 7 小定西组基性火山岩铅同位素比值及源区示踪 (据 Norman 等, 1989)

Fig. 7 Pb isotopic ratio and tracing source of basic volcanic rocks of Xiaodingxi Formation (after Norman *et al.*, 1989)

- 1—北半球大洋玄武岩铅同位素成分回归线 (NHRL); 2—软流圈地幔+消减组分; 3—陆下岩石圈地幔; 4—富集 Th、U 的地壳
- 1—northern hemisphere reference line (NHRL); 2—asthenosphere mantle + subduction component; 3—subcontinental lithosphere mantle; 4—crust enriched in Th and U

有形成一种很特征的由低钾拉斑系列-钙碱系列-高钾钙碱系列-橄榄粗玄武岩或钾玄武岩系列 4 种主要岩浆系列组成的岩石组合。这 4 种岩浆系列随着距海沟由近而远, 火山作用从早期至晚期, 火山岩带从年轻变为成熟而递进演变 (夏林圻, 2002)。官房地区中三叠统忙怀组酸性火山岩与上三叠统小定西组

基性火山岩岩石组合就属于 4 种岩浆系列中的高钾钙碱系列-橄榄粗玄武岩或钾玄武岩系列。从岩石组合上看, 官房地区火山岩具备汇聚板块边缘火山岩的特征并形成于靠近大陆一侧。

将研究区小定西组基性火山岩的岩石化学成分换算后分别投入到 $\text{TiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5$ 和 $\text{V} - \text{Ti}$ 判别图解 (图 8) 中, 投点都落入岛弧火山岩区; 在判别板内与非板内玄武岩的 $\text{TiO}_2 - \text{Zr}$ 图解 (图 9) 中, 基性火山岩明显集中于弧火山岩区; 在判别岛弧与非岛弧火山的 $\text{Th}/\text{Yb} - \text{Ta}/\text{Yb}$ 图解 (图 9) 中, 玄武岩落在火山弧玄武岩中的高钾钙碱性玄武岩和钾玄武岩区。在 $\text{Th}/\text{Yb} - \text{Ta}/\text{Yb}$ 变异图解 (图 10) 中, 这些玄武质火山岩的成分点集中于富集地幔区域, 其变化趋势与图中活动大陆边缘钙碱性-钾玄武岩系列玄武质火山岩 (C-S 矢量) 的成分变化是一致的, 表明源区为富集地幔并有一定的地壳混染。大量的火山岩常量和微量元素构造环境判别图解表明, 研究区小定西组基性火山岩为活动大陆边缘的弧火山岩。官房地区中三叠统忙怀组流纹岩在适合酸性岩的 $\lg\tau - \lg\sigma$ 图中, 落入消减带火山岩中, 在 $(\text{La}/\text{Yb}) - \text{Yb}$ 图中, 则落入到伸展盆地火山岩区内 (图 11)。

消减带流体的参与使得火山岩浆富含挥发组分, 因而会聚板块边缘的火山作用常具高爆发性 (夏林圻, 2002)。活动大陆边缘的岩浆弧发育于陆壳之上, 火山岩往往以钙碱性和碱性为主, 与岛弧火山岩系相比, 钙碱性酸性岩浆 (英安质、流纹质) 喷发物更

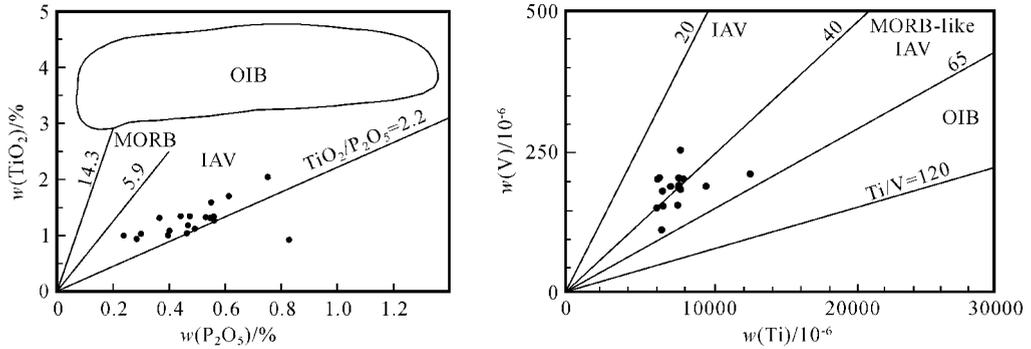


图 8 小定西组基性火山岩 $TiO_2 - P_2O_5$ 和 $V - Ti$ 判别图解(据 Rogers, 1992)

Fig. 8 $TiO_2 - P_2O_5$ and $V - Ti$ discrimination diagrams of Xiaodingxi Formation basic volcanics (after Rogers, 1992)

MORB—洋脊玄武岩 ;OIB—洋岛玄武岩 ;IAV—岛弧玄武岩

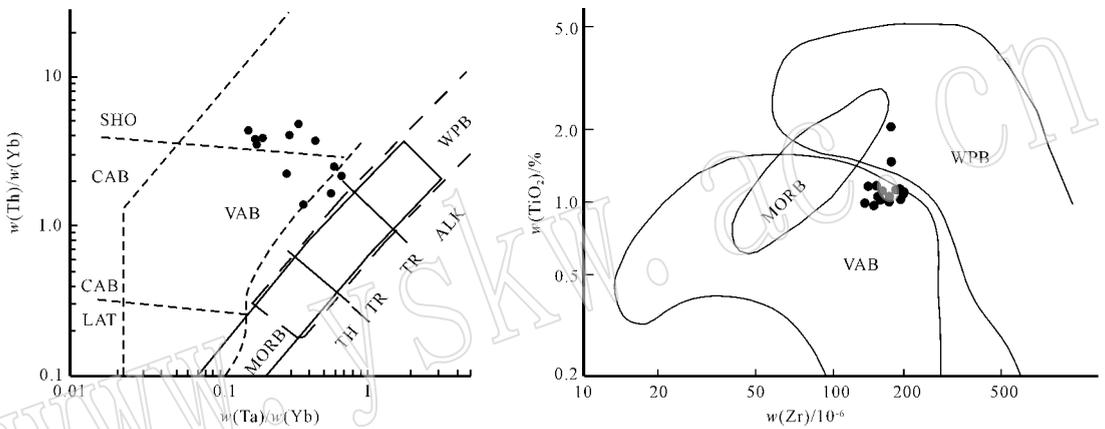


图 9 小定西组基性火山岩 $Th/Yb - Ta/Yb$ 和 $TiO_2 - Zr$ 构造环境环境判别图解(据 Pearce, 1982)

Fig. 9 $Th/Yb - Ta/Yb$ and $TiO_2 - Zr$ discrimination diagrams of Xiaodingxi Formation basic volcanics

(after Pearce, 1982)

VAB—火山弧玄武岩 ;MORB—洋中脊玄武岩 ;WPB—板内玄武岩 ;LAT—低钾拉斑玄武岩 ;CAB—钙碱性玄武岩 ;SHO—钾玄武岩

丰富,且多数以火山碎屑流的形式产出,其中至少有一部分是通过大陆壳的部分熔融产生。很明显,官房地区中三叠统忙怀组酸性火山岩以钙碱性为主,流纹质火山碎屑岩占 44.1% (按剖面厚度计算),因此研究区火山岩具有活动大陆边缘弧的特征。

但是,岩石化学和地球化学特征不是确定火山岩大地构造环境或构造-岩浆类型的唯一依据,还应综合分析火山岩组合、共生沉积岩和沉积相等特征。忙怀组酸性火山岩中夹多层含植物化石厚度不大的泥页岩、凝灰质砂岩和硅质岩,小定西组沿澜沧江深断裂呈带状展布,局部夹含动植物化石的凝灰质砂页岩、沉集块岩和硅质岩,再结合火山岩的常量、微量元素特征,官房地区的三叠纪火山岩可以厘定为活动大陆边缘弧构造环境,是澜沧江洋板块向东俯冲消减的产物。

5 物质来源讨论

Frey 等(1978)认为,玄武质岩石的 $*[Mg]$ 值在 0.65~0.75 范围时代代表了原生岩浆的成分。根据表 1 可知,小定西组基性火山岩的 $*[Mg]$ 值为 0.42~0.60,较之原生岩浆要低,表明该岩属演化的岩浆。在微量元素比值蛛网图中存在 Nb 的负异常,且 Nb^* 特征值远小于 1,说明玄武质火山岩的形成经历地壳物质的同化混染。

Brown 等(1984)认为产于消减带来自壳源的火山岩含较高的 Rb、Ba、K、La、Ce、Sm 和 Tb,而贫 Ta、Nb 和 Ti;产于消减带来自幔源的火山岩由于消减作用则选择性富集 Th 而非 Ta,因此 $Th > Ta$ 表明有消减洋壳及流体的加入。本区酸性火山岩的 $Th > >$

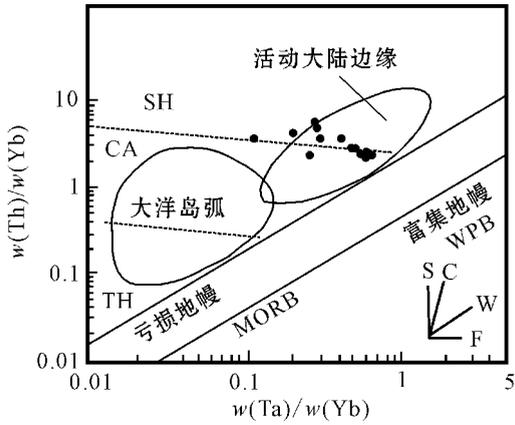


图 10 小定西组玄武质火山岩的 Th/Yb - Ta/Yb 变异图 (据 Wilson, 1989; 李昌年等, 2005)

Fig. 10 Variation of Th/Yb - Ta/Yb in basaltic rocks of Xiaodingxi Formation (after Wilson, 1989; Li Changnian et al., 2005)

虚线划分了拉斑玄武质 (TH) 钙碱性 (CA) 和钾玄质 (SH) 区域, 右下边矢量分别代表消减组分 (S)、地壳混染 (C)、板内富集 (W) 和分离结晶 (F) 的影响

The dashed lines are boundaries of tholeiitic (TH), calc-alkaline (CA) and shoshonitic (SH) field, the vector (lower right) represent effects of subduction components (S), intraplate enrichment (W), crustal contamination (C) and fraction crystallization (F), respectively

Ta 表明有消减带物质的加入, 忙怀组酸性火山岩的 I_{Sr} 值为 0.70779, 介于 0.706~0.719 之间, 说明其岩浆来源主要为壳源, 但受到了幔源物质的污染; 铝饱和指数 $A/CNK > 1.1$ (平均为 1.53), 富集轻稀土元素, $LREE/HREE = 1.52 \sim 2.95$, 具强的铕负异常 ($\delta Eu = 0.12 \sim 0.36$), 高的 Rb、Ba、K、La、Ce、Sm、Tb 及低的 Ta、Nb、Ti 和亲铁元素 Co、Ni、Cr、V 等特征, 表明酸性火山岩主要为陆壳物质的重熔产物 (李昌年, 1992)。从特征参数 Nb^* 、 Sr^* 和 Ti^* 均小于 1, Zr^* 、 Hf^* 和 K^* 均大于 1 的特点也可以得出相同结论 (Wilson, 1989)。

6 结论

根据以上分析, 可得出以下几点认识:

(1) 官房地区中三叠统忙怀组为高钾钙碱性流纹质酸性火山岩, 上三叠统小定西组为高钾钙碱性-钾玄岩系列的玄武质基性火山岩。

(2) 火山岩的地质特征和地球化学特征充分说明, 研究区火山岩为大陆边缘弧构造环境的产物。

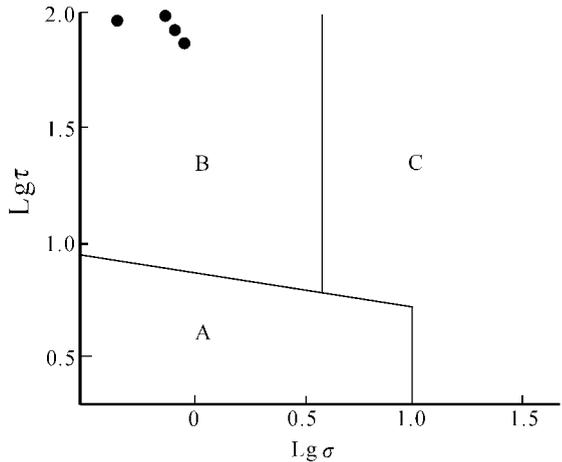
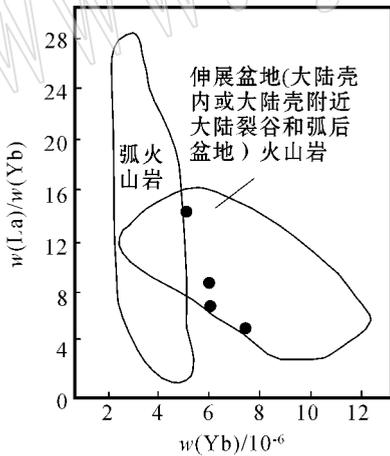


图 11 官房地区流纹岩 Yb - (La/Yb) 和 $lg \tau - lg \sigma$ 判别图解 (据 Pearce, 1983)

Fig. 11 Yb - (La/Yb) and $lg \tau - lg \sigma$ discrimination diagrams of rhyolite in Guanfang area (after Pearce, 1983)

A—板内火山岩 B—消减带火山岩 C—A 和 B 区派生的碱性火山岩

(3) 火山岩的物源较复杂。酸性火山岩主要来自陆壳的重熔, 有消减带物质的带入; 基性火山岩来源于富集地幔, 并受到了陆壳物质的混染。

致谢: 衷心感谢云县江天矿冶股份公司地勘处和贵州地勘局物化探总队杨松副队长在野外工作中给予的帮助和匿名审稿人提出的宝贵修改意见。

References

- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements : meteorite studies [A]. Hederson P. Rare Earth Element Geochemistry [C]. Amsterdam : Elsevier Science , 63 ~ 114.
- Brown G C , Thorpe R S and Webb P C. 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. [J]. Soc. , London , 141 : 413 ~ 426.
- Frey F A and Prinz M. 1978. Ultramafic inclusion from San Carlos , Arizona : petrologic and geochemical data bearing on their petrogenesis [J]. Earth Planet. Sci. Lett. , 38 : 129 ~ 176.
- Li Changnian . 1992. Petrology of Trace Element of Igneous [M]. Wuhan : Publishing House of China University of Geoscience , 1 ~ 150 (in Chinese).
- Li Changnian , Wang Fangzheng and Zhong Chengsheng. 2005. Geochemistry of Quaternary basaltic volcanic rocks of Weizhou island in Beihai City of Guanxi and a discussion on characteristics of their source [J]. Acta Petrological et Mineralogica , 24(1) : 1 ~ 10 (in Chinese with English abstract).
- Le Maitre R W , Bateman P , Dudek A , et al. 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms : Recommendation of the International Union of the Geological Subcommission on the Systematic of Igneous Rocks [M]. Oxford : Blackwell Scientific.
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different type of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram [J]. Chem. Geol. , 56 : 207 ~ 218.
- Mo Xuanxue , Shen Shangyue , Zhu Qinwen , et al. 1998. Volcanics-Ophiolite and Mineralization of Middlesouthern Part in Sanjiang Area of Southwestern China [M]. Beijing : Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Norman M D and Leeman W P. 1989. Geochemical evolution of Cenozoic-Cretaceous magmatism and its relation to tectonic setting , southwestern Idaho , U. S. A. [J]. Earth Planet. Sci. Lett. , 94(1 ~ 2) : 78 ~ 96.
- Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of Lavas from destructive plate boundaries [A]. Thorpe R S. Andesite : Orogenic andesites and related rocks [C]. Chichester : Wiley , 525 ~ 548.
- Pearce J A. 1983. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margin [A]. Hawkesworth C J and Norry M J. Continental Basalts and Mantle Xenoliths [C]. Nantwich : Shiva , 230 ~ 249.
- Pearce J A , Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granite rock [J]. J. Petrol. , 25 : 956 ~ 983.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor element [J]. Lithos , 22 : 247 ~ 263.
- Rogers N W. 1992. Potassic magmatism as a key to trace-element enrichment processes in the upper mantle [J]. Volcanology and Geothermal Research , 50 : 85 ~ 99.
- Wang Yan , Qian Qing , Liu Liang , et al. 2000. Major geochemical characteristics of bimodal volcanic rocks in different geochemical environments [J]. Acta Petrologica Sinica , 16(2) : 169 ~ 173 (in Chinese).
- Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis : A Globe Tectonic Approach [M]. London : Unwin Hyman.
- Xia Linqi. 2001. A study of Volcanic Rocks in Orogenic Belt [J]. Acta Petrological et Mineralogica , 20(3) : 223 ~ 232 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Qinwen. 1993. Tectonic setting of Triassic Volcanic Rocks from Yunxian along South Langcangjiang belt in Western Yunnan [J]. Acta Petrological et Mineralogica , 12(2) : 134 ~ 142 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 李昌年 . 1992. 火成岩微量元素地球化学 [M]. 武汉 : 中国地质大学出版社 , 1 ~ 195.
- 李昌年 , 王方正 , 钟称生 . 2005. 广西北海涠洲岛(含斜阳岛)第四纪玄武质火山岩的地球化学性质及其源区特征 [J]. 岩石矿物学杂志 , 24(1) : 1 ~ 10.
- 莫宣学 , 沈上越 , 朱勤文 , 等 . 1998. 三江中南段火山岩—蛇绿岩与成矿 [M]. 北京 : 地质出版社 , 5 ~ 46.
- 王焰 , 钱青 , 刘良 , 等 . 2000. 不同构造环境中双峰式火山岩的主要特征 [J]. 岩石学报 , 16(2) : 169 ~ 173.
- 夏林圻 . 2001. 造山带火山岩研究 [J]. 岩石矿物学杂志 , 20(3) : 223 ~ 232.
- 朱勤文 . 1993. 滇西南澜沧江带云县三叠纪火山岩大地构造环境 [J]. 岩石矿物学杂志 , 12(2) : 134 ~ 142.