

滇西南晚古生代火山岩与裂谷 作用及区域构造演化

杨开辉

莫宣学

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

(中国地质大学, 北京 100083)

主题词 火山岩 裂谷 滇西南

提 要 特提斯构造东南带的滇西南地区发育三个系列的晚古生代火山岩: 碱性橄榄玄武岩系列, 大陆拉斑玄武岩系列和类似 MORB 拉斑玄武岩系列。地质、地球化学特征反映它们可能是保山—掸邦地块东缘昌宁—孟连晚古生代裂谷(局部向初始洋盆转化), 而不大可能是宽阔洋底和洋岛的火山作用产物。逐渐增强的前进式裂谷作用伴随陆壳的减薄(局部分离, 洋壳诞生)和软流圈顶面的抬升, 可能导致不同深度地幔产生不同程度熔融作用, 形成本区三个系列岩浆。地幔对流可能引导陆缘裂谷、洋壳扩张、俯冲、微陆块碰撞以及岩石圈深部剪切作用, 制约区域晚古生代至中生代早期的构造岩浆演化。

在“三江”构造带南段, 古板块边界及构造体制一直是近10年来国内外特提斯构造学者积极研究、热烈争论而至今在认识上尚存在很大分歧的问题, 其争论焦点在于滇西南昌宁—孟连带是代表宽阔的古大洋^[1,2]还是陆缘裂谷小洋盆^[3,4], 探索这个问题的一条关键而有效的途径是通过火山岩系列、组合及其地球化学研究重建区域古板块构造格局。广泛分布于滇西南地区的晚古生代火山岩记录了该区这一重要地质时期的板块构造发展和岩石圈深部过程。本区在前人研究的基础上, 通过作者的实际工作, 着重于区域火山岩系列、组合及其地球化学的分析, 探讨滇西南地区板块构造的发展。

1 区域地质与火山岩组合

1.1 区域地质与构造格局

“三江”地区作为特提斯构造带的东段, 在滇西主要包括怒江、澜沧江和金沙江三条板块缝合带。本文研究区域位于怒江带以东, 包括保山—掸邦地体、昌宁—孟连裂谷带和南澜沧江构造带(图1、2)。区域出露的最老地层为西盟群、澜沧群和大勐龙群等。西盟群分布于保山—掸邦地块的中部, 为一套类复理石建造, 其变质年龄为1176.7—806 Ma^[5,6]。澜沧群和大勐龙群分布于区域东部, 为一套复理石建造, 其时代大致相当或稍晚于西盟群^[6-8]。澜沧群含有中基性火山岩系, 可能形成于陆缘岛弧或弧后环境^[12]。同位素年代资料表明, 澜沧群形成时代为晚元古代晚期至早古生代(870—519 Ma)^[6,9,13]。这些地层组成了区域基底

岩系,可能反映保山—掸邦地块东部陆缘环境。在此基础上,自古生代以来区域上发育以碎屑岩、碳酸盐岩为主夹火山岩的盖层。

地球物理及区域构造研究^[7,8]揭示了滇西南地区存在三条主要的深断裂带(图1),即柯街—孟定断裂、西南澜沧江断裂和东南澜沧江断裂。这三条深断裂带的发生时间可能比较早,制约着自古生代以来区域沉积、变质和岩浆作用的差异性。

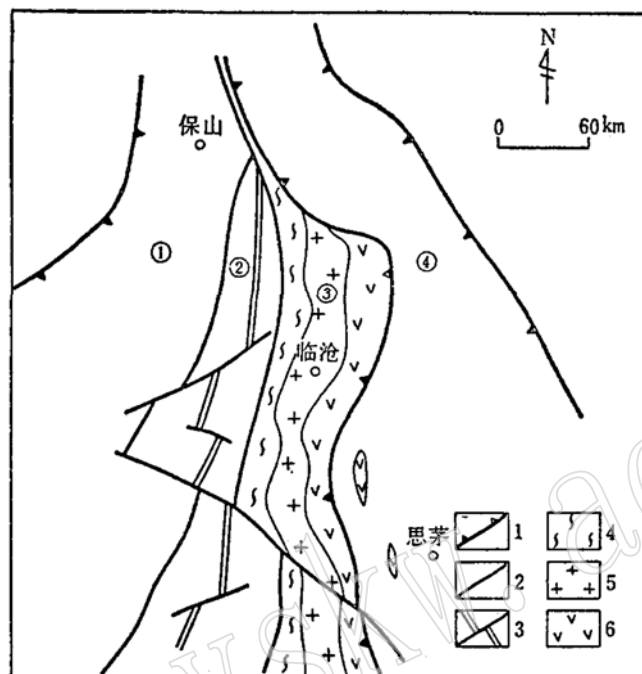


图1 滇西南区域构造地质图

Fig. 1 Schematic geological map showing regional tectonic framework of southwestern Yunnan

1—板块结合带, 2—断裂, 3—古裂谷扩张带, 4—区域变质带, 5—花岗岩带, 6—弧火山岩带; ①—保山—掸邦微陆块, ②—昌宁—孟连晚古生代裂谷带, ③—临沧—景洪微陆块, ④—思茅微陆块(据陈炳蔚等1992资料改绘)

在柯街—孟定断裂以西的保山—掸邦稳定区, 下古生界为半深海—浅海相具类复理石层序的碎屑岩夹碳酸盐岩建造, 局部夹酸性火山岩(如缅甸掸邦仓德温地区^[15])。上古生界为浅海—滨海相碎屑岩、碳酸盐岩组合, 以含冰水沉积相、冷水动物群和大陆溢流玄武岩建造为特征^[5]。中生代以后该区为陆台环境。

往东, 由柯街—孟定断裂与西南澜沧江断裂界定的昌宁—孟连地区是一个晚古生代活动带(图2)。下古生界分布于该带的两旁, 其特征可类比于其西侧的保山—掸邦稳定区域。上古生界记录了一个火山作用活跃、沉积类型复杂的裂谷盆地的形成与演化。泥盆系为一套富含竹节石、笔石、放射虫等浮游生物的硅质岩和具复理石序列的碎屑岩系。石炭—二叠系以分选极差的陆源碎屑岩(南段群)^[6]和富含放射虫硅质层的细碎屑岩(拉巴群)^[6,23]以及基性火山岩、碳酸盐岩组合为特征。这些地层单元的岩相在区域上极不稳定, 变化突然, 可能反映盆地地形的复杂性。中生代以来, 该活动带以残余海盆的海陆交互相和陆相湖泊沉积为特点。

在东西两条南澜沧江深断裂带夹持的临沧—景洪地区显示了明显的重力异常^[7],可能是保山—掸邦地块东缘在晚古生代裂解开来的微陆片^[4]。该区以发生于晚古生代至中生代的变质、岩浆作用为特点,自西向东包括澜沧群、大勐龙群变质岩系、花岗岩基和中基性、中酸性火山岩带,反映活动的陆缘造山作用。东南澜沧江断裂带以东地区为中生代发展起来的思茅盆地,以陆相沉积为主。由于覆盖,对该盆地在中生代以前的地质认识十分有限。

1.2 火山岩地质

晚古生代火山岩主要分布于昌宁—孟连裂谷区和保山—掸邦地块北部。许多研究者对区域不同地段、剖面进行了研究^[1-3,11],取得了丰富的资料。在此基础上,对区域火山岩的系统与综合研究容许我们辩识三套不同性质的火山岩组合:1)大陆拉斑玄武岩组合,分布于保山—镇康地区;2)碱性玄武岩系;3)类似 MORB 拉斑玄武岩系,分布于昌宁—孟连裂谷区内。这三套火山岩分别对应于三个系列,其主要特征列于表 2。

大陆拉斑玄武岩:形成于晚石炭世。尽管火山作用间隔很短(限于晚石炭世晚期),所形成的火山岩广泛分布于保山—掸邦地块的北部地区,自东向西包括两个岩带:东带沿着保山、柯街一带延伸达 180 km,宽约 10—30 km;西带沿六库、施甸、永德、镇康一线展布,其宽约 10—40 km,延伸约 300 km。火山岩系与下伏上石炭统丁家寨组呈喷发不整合,其中共生的沉积岩包括生物碎屑灰岩、火山-沉积碎屑岩等,具有浅海、滨海环境特点。火山岩喷发韵律十分发育,主要显示水下喷发特点,局部显示明显的陆相特点^[11]。

火山岩类型较简单,以溢流相玄武质熔岩为主,伴生少量玄武质火山碎屑岩及火山沉积岩类。玄武质熔岩结晶程度高,主要由数量不等的单斜辉石、斜长石组成,局部可见斜方辉

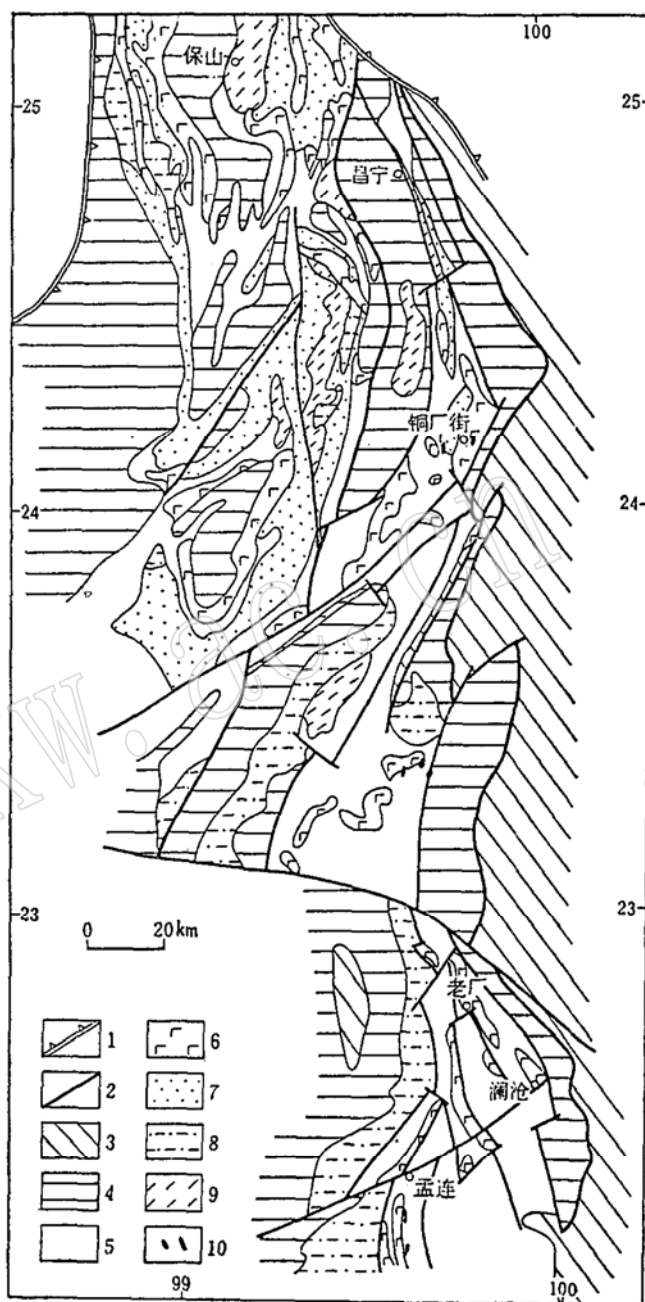


图 2 昌宁—孟连古裂谷及邻区地质图

Fig. 2 Geological map of the Changning-Menglian paleo-rift zone and neighboring areas

- 1—板块结合带; 2—深断裂; 3—元古界; 4—下古生界;
5—上古生界; 6—火山岩; 7—三叠系; 8—侏罗—白垩系;
9—新生界; 10—超镁铁质-镁铁质岩

石、橄榄石等。斜长石常见环带结构。熔岩常呈致密状、杏仁状、气孔状。杏仁体成分主要为铁质、硅质和碳酸盐类,或兼而有之,呈现同心圈层构造。单一熔岩层的厚度不大(一般小于10m),但构造变化迅速,熔岩层底部常为致密状,中上部为气孔状、杏仁状。不同构造的熔岩常交替出现。按矿物成分及结构构造差异划分,熔岩的主要类型有,粗粒玄武岩,致密玄武岩,气孔—杏仁状玄武岩,安山玄武岩等。后期蚀变强度不一,包括绿泥石化、绿帘石化等。

碱性玄武岩和类似 MORB 玄武岩:广泛分布于昌宁—孟连地区。该火山岩带北起昌宁,经铜厂街、老厂、南至孟连、曼信,再延入缅甸境内,其宽约 20—50 km,延伸大于 300km。在构造上,火山岩产于裂谷区内次级的地堑式盆地的旁侧,与裂谷断裂体相关。碱性玄武岩浆作用开始的时间可能较早,持续较长。碱性玄武岩类广泛分布于裂谷区内。类似 MORB 岩浆开始活动的时间可能较晚,限于某些强烈扩张的地段。类似 MORB 火山岩与碱性、过渡性火山岩共生,分布于铜厂街、孟连等地。在昌宁、铜厂街地区,类似 MORB 火山岩还与席状辉长辉绿岩墙,超镁铁质岩块在空间上共生,可能为被肢解的蛇绿岩组合。

这两类火山岩组成昌宁—孟连火山岩系。火山碎屑岩与熔岩同等发育,构成多个熔岩→火山碎屑岩的喷发旋回,反映喷溢与爆发作用的交替。火山岩系的下伏地层为泥盆纪含硅质岩类复理石建造;火山岩系的沉积夹层为灰岩、碎屑岩、薄层硅质泥岩等,含瓣鳃、腕足、珊瑚、有孔虫、䗴、放射虫及植物等化石;上覆地层主要为厚层灰岩。由此看来,区域火山活动的环境可能为陆棚浅海—半深海盆。然而,对该火山岩带的形成时代,尚未取得一致的确切的认识。在区域上,火山岩系在裂谷北带(如耿马、铜厂街、平掌等)组成平掌组的下部,南带(如沧源、老厂、依柳、孟连等)组成依柳组。䗴、珊瑚等化石资料^{①②}反映这两个组可能形成于早石炭世。但张旗等^[1]根据所发现的放射虫化石认为火山岩系应形成于晚二叠世。继而,李达周等^[2]亦持类似看法。最近一些研究表明该火山岩系含有石炭至二叠纪的丰富化石,目前看来,火山岩的形成时代只可大致确定为石炭至二叠之间。

碱性玄武岩类与类似 MORB 玄武岩在岩相学特征上呈现明显差异。类似 MORB 玄武岩具细粒结构、粗玄结构、斑状结构,主要矿物包括普通辉石、斜长石和少量橄榄石、磁铁矿等。碱性玄武岩常见斑状结构或显微斑状结构,斑晶为富钛普通辉石、橄榄石,基质为间隐、间粒结构,由富钛普通辉石、斜长石、磁铁矿等组成。富钛辉石粒径为 0.2—20 mm,常见环带、沙钟状构造。后期的变质、蚀变作用强弱不等,其矿物包括绿泥石、绿帘石、阳起石、黝帘石、碳酸盐类等。

2 地球化学

2.1 常量元素

表 1 列出研究区域晚古生代火山岩的代表性分析结果。蚀变作用使得火山岩的成分产生不同程度的改变,岩石系列的化学演化趋势变得模糊,数据离散度增大。尽管如此,仍可总结出区域火山岩主要元素的一般特点:1) SiO_2 变化范围狭窄,而且一般低于 52%;2) K_2O

① 1/20万凤庆幅区域地质调查报告。

② 1/20万孟连幅区域地质调查报告。

表 1 滇西南火山岩代表性分析结果
Table 1 Analyses of representative volcanic rocks in southwestern Yunnan

	保山地区		铜厂街		老厂	
	Jw-25	Jw-44	Tk-7	Tk-9	LL-404	LL-452
SiO ₂ (%)	48.88	45.32	47.31	46.12	44.65	39.12
TiO ₂	1.96	1.77	2.23	1.85	3.44	4.53
Al ₂ O ₃	15.28	16.11	17.98	16.78	13.83	11.37
Fe ₂ O ₃	4.10	4.41	6.96	4.64	1.27	3.00
FeO	7.22	5.62	3.41	5.39	9.79	11.67
MnO	0.14	0.15	0.07	0.19	0.13	0.00
MgO	5.88	6.07	6.18	7.21	6.00	13.12
CaO	9.77	9.37	5.97	10.41	6.71	10.40
Na ₂ O	1.94	1.96	3.43	2.60	3.12	0.95
K ₂ O	0.90	0.40	0.69	0.57	2.65	0.74
P ₂ O ₅	0.30	0.27	0.17	0.24	1.22	1.06
H ₂ O ⁺	2.62	2.59	4.57	3.55	3.77	2.26
H ₂ O ⁻	0.60	0.80	0.44	0.34	0.20	0.25
CO ₂	1.14	1.93	0.08	0.07	2.54	0.82
TOT	99.85	99.86	99.47	99.96	99.32	99.48
V (ppm)	246	225	281	261	280	351
Cr	119	170	136	137	102	250
Co	34	41	37	35	23	31
Ni	93	125	68	62	44	117
Cu	43	106	71	58	27	173
Zn	97	77	89	84	105	93
Pb	<10	<10	<10	<10	<10	16
Rb	18	5	19	12	46	35
Sr	213	241	178	202	632	345
Ba	201	104	124	90	282	279
Ga	19	17	18	17	19	14
Nb	14	10	7	5	63	48
Zr	134	94	146	128	303	177
Y	23.17	19.29	37.31	29.79	30.01	22.84
Sc	32.14	31.58	39.29	40.39	18.33	22.50
La	18.07	11.03	8.31	6.40	49.42	49.50
Ce	38.97	24.16	20.48	17.50	105.10	86.27
Pr	4.54	3.19	3.26	2.69	12.24	10.43
Nd	20.72	14.03	17.95	13.92	52.78	46.72
Sm	4.89	3.86	5.57	4.43	10.88	9.76
Eu	1.66	1.37	2.00	1.55	3.37	3.94
Gd	5.25	4.07	7.65	5.58	8.85	8.25
Tb	0.73	0.66	1.18	1.05	1.40	1.11
Dy	5.15	4.15	7.52	6.01	7.54	6.00
Ho	1.07	0.97	1.63	1.37	1.51	1.10
Er	2.63	2.23	3.84	3.35	3.21	2.45
Tm	0.38	0.10	0.49	0.51	0.44	0.30
Yb	2.31	2.06	3.25	3.20	2.49	1.62
Lu	0.21	0.17	0.45	0.38	0.34	0.10
(Ce/Yb) _n	4.30	2.99	1.61	1.34	10.77	13.59

含量低,除了碱性系列岩石的 K_2O 变化于 2%—3% 外,余者均小于 1.5%,多数小于 1%。可见,区域火山岩主要为低钾玄武岩类和碱性玄武岩。

图 3 被认为是划分蚀变、变质火山岩系列的有效图解^[20]。从中可见,保山—镇康地区的

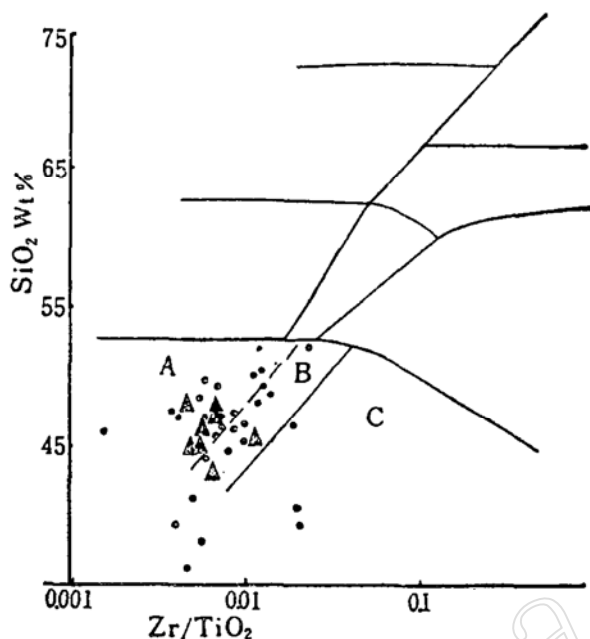


图 3 SiO_2 — Zr/TiO_2 图解

Fig. 3 SiO_2 — Zr/TiO_2 diagram

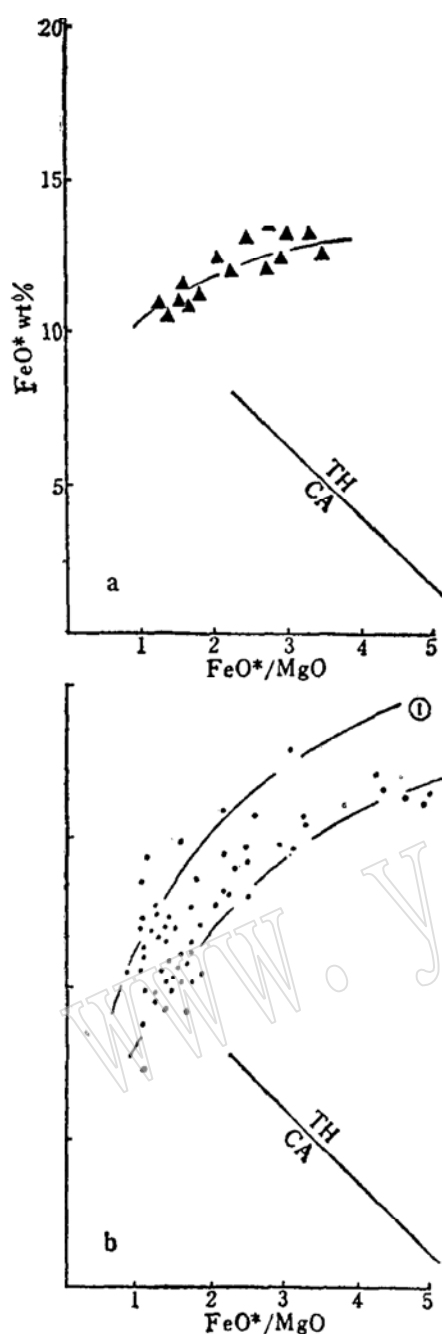
A—亚碱性玄武岩; B—碱性玄武岩; C—碧玄岩类, 点为昌宁—孟连地区火山岩, 三角为保山地区火山岩
(据参考文献[20])

火山岩为亚碱性玄武岩类; 昌宁—孟连火山岩带包括碱性和亚碱性玄武岩类。图 4 表明, 研究区火山岩都显示富铁演化趋势, 说明亚碱性火山岩应属于拉斑系列。在该图 (a) 上, 昌宁—孟连火山岩显示两个趋势, 分别大致对应于拉斑系列与碱性系列。图 5 显示保山—镇康地区的拉斑玄武岩具有富硅的演化趋向, 区别于昌宁—孟连地区的火山岩类。这一差异可能表明在保山—镇康地区的拉斑玄武岩浆在相对较高的氧逸度下经历了分离结晶作用, 或是受到了地壳中 Or 或 Ab 组分的混染作用^[21]。在昌宁—孟连地区, 火山岩呈现三个不同的趋势 (图 5, b), 大致对应于 SiO_2 饱和程度不同的拉斑玄武岩、碱性橄榄玄武岩和少量碱性苦橄质玄武岩的演化特点, 反映铁镁硅酸盐矿物在不同岩浆中分离作用的程度及相互之间比例的可能差异。

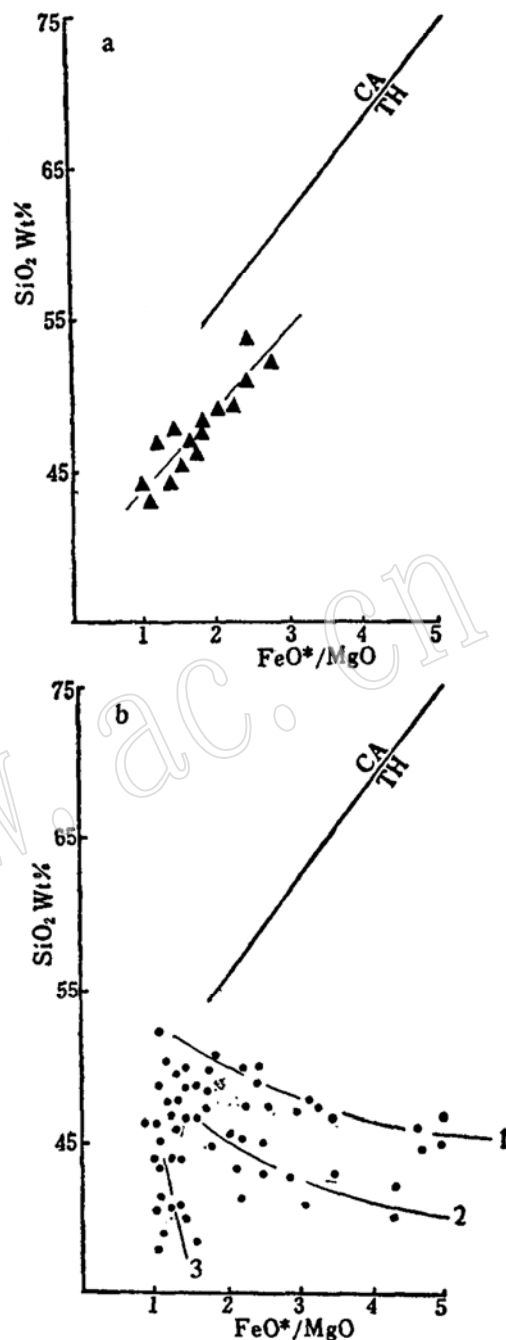
如果对 CO_2 、 H_2O 含量较低 (<5%) 的样品忽略其影响, 把其余组分换算成 100% 之后, 进行岩石化学标准分子计算^①, 结果表明保山—镇康地区的火山岩为 SiO_2 过饱和 (普遍含 Q 分子), 属于石英拉斑玄武岩系列; 昌宁—孟连地区火山岩包括两个系列, 橄榄拉斑玄武岩系列 (SiO_2 近饱和, 含 Ol 分子但无 Ne, 一般无 Q 分子) 和碱性橄榄玄武岩系列 (SiO_2 不饱和或强烈不饱和, Ol 分子含量高, Ne 分子常见)。

2.2 微量元素

① 杨开辉, 1990, 博士学位论文。

图4 FeO^* — FeO^*/MgO 图解Fig. 4 FeO^* — FeO^*/MgO diagram

a—保山地区火山岩；b—昌宁—孟连地区火山岩，其中两个趋势大致对应于碱性系列①和拉斑系列②

图5 SiO_2 — FeO^*/MgO 图解Fig. 5 SiO_2 — FeO^*/MgO diagram

图例同图4，b中三个趋势大致对应于拉斑玄武岩①、碱性橄辉玄武岩②和碱性苦橄质玄武岩③

上述三个不同系列火山岩在微量元素地球化学特征上亦有明显差异（表1）。

图6b显示保山—镇康地区的拉斑玄武岩具有轻稀土富集的配分型式， $(\text{Ce}/\text{Yb})_n$ 比值变化于2.09—4.90，没有Eu异常。图6a表明在昌宁—孟连地区，拉斑玄武岩中轻稀土含量较低，呈现轻稀土弱亏损型或平坦型， $(\text{Ce}/\text{Yb})_n$ 比值变化于0.6—2.61，近似于红海中轴地区的N或T—MORB，反映了岩浆源区的亏损特点；与此不同，碱性玄武岩类呈轻稀土高

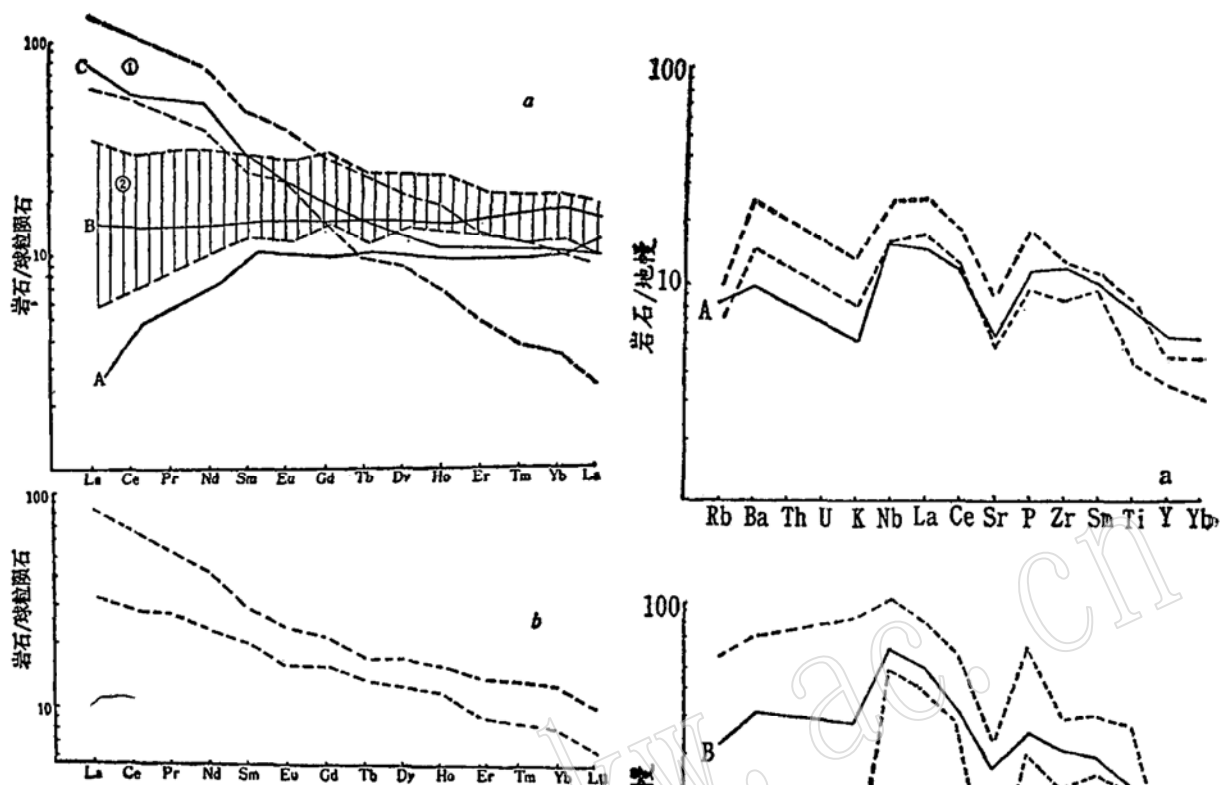


图 6 稀土配分型式

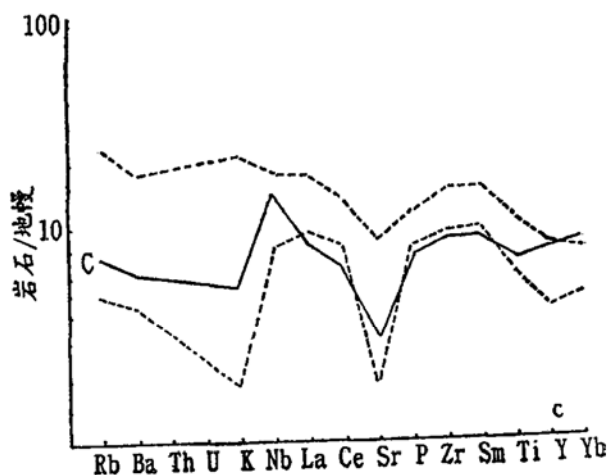
Fig. 6 Chondrite normalized REE patterns

图 a 为昌宁—孟连地区火山岩，其中①区为碱性玄武质火山岩，②区为拉斑玄武质火山岩；A—红海 N-MORB，B—红海 T-MORB，C—红海碱性玄武岩（红海火山岩资料来源于^[14]）。图 b 为保山—镇康地区火山岩稀土配分型式的变化范围。标准值取 Leedy 球粒陨石的稀土元素含量值

图 7 不相容元素谱系图

Fig. 7 Dendritic diagram of incompatible elements

元素的排列顺序按 Holm(1985)^[19]。图 a 反映保山—镇康地区火山岩变化范围，其中 A—德干高原拉斑玄武岩^[18]；图 b 反映昌宁—孟连地区碱性玄武质火山岩范围，其中 B—红海碱性玄武岩^[14]；图 c 反映昌宁—孟连地区拉斑玄武质火山岩范围，其中 C—红海 T-MORB^[14]



度富集型式, $(Ce/Yb)_n$ 比值为 8.74—15.55, 没有 Eu 异常, 重稀土含量相对较低, 与红海碱性玄武岩相似, 反映其原生岩浆可能为富集源区低熔作用的产物。

图 7 反映研究区不同系列火山岩中不相容元素的变化特点。在保山—镇康地区 (图 7a) 拉斑玄武岩只适度富集不相容元素, 在图上曲线较为平缓, 略向右倾, 显示 Sr 谷和微弱的 Zr 谷。若将本区火山岩与印度德干高原拉斑玄武岩相比较, 可见二者在曲线特征上是协调相似的, 反映了大陆拉斑玄武岩形成背景的共同特点。在昌宁—孟连地区, 碱性玄武岩在图 (7b) 上的曲线较高, 并且显示 Sr、Zr 谷和 Nb 峰, 曲线右端 (Ti—Y—Yb) 向右陡倾, 而左段 (Rb—K) 变化较大; 拉斑玄武岩 (7c) 中不相容元素含量明显较低, 曲线低缓, 只显示微弱的 Sr 谷和 Nb 峰。这些特点与裂谷火山岩的一般特点相近^[19], 若与红海火山岩比较, 则该区拉斑玄武岩与红海 T-MORB 类似, 而碱性玄武岩则与红海裂谷区的同类岩石相似。

研究区三个系列火山岩的不同演化趋势很好地体现在许多不相容元素之间的变化图解上。图 8 例示三个系列火山岩的不同演化趋势 (自右向左, 依次为碱性橄榄玄武岩系列, 大陆拉斑玄武岩系列和类似 MORB 拉斑玄武岩系列) 可能反映三种不同的母岩浆的演化分异产物。这些不同的演化特点亦明显地反映在 Yb—V、Yb—Ce、Sc—V 等图解上。

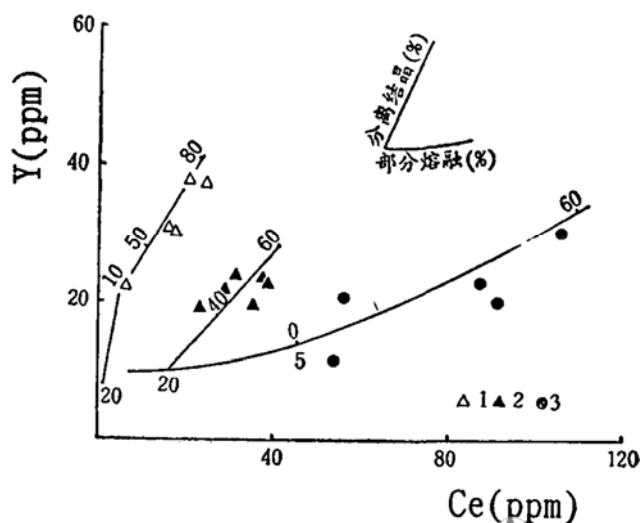


图 8 Ce—Y 图解

Fig. 8 Ce—Y diagram

1—类似 MORB 火山岩, 2—大陆拉斑玄武岩, 3—碱性橄榄玄武岩, 曲线为模拟计算结果, 其中数字为部分熔融或分离结晶百分比

3 讨论

3.1 大陆边缘裂谷与初始洋壳扩张

滇西南地区的古板块构造重建是特提斯构造研究的关键环节之一。目前, 对该区构造, 尤其是昌宁—孟连构造火山岩带的认识尚存在明显的分歧: 一则认为昌宁—孟连地区曾是一支古裂谷, 火山岩与超镁铁质、镁铁质岩在局部构成蛇绿岩套^[3,4]; 二则认为该区为宽广的古特提斯洋的南支^[1,2], 其中火山岩及断继分布的超镁铁质、镁铁质岩被认为是包括洋岛、洋壳消减形成的混杂堆积的组成部分, 甚至将该带作为代表冈瓦纳和欧亚大陆界线的重要缝合带^[23]。系统地总结研究区域火山岩系列、组合及其地球化学特征显然是澄清古板块构造环境的一个最主要方面。

Condie (1982)^[17] 强调把构造岩石组合 (petrotectonic assemblage) 的辨识作为重建古板块体制的一条关键途径, 并且较系统地总结了不同板块构造环境中形成的典型火山岩组合及其特征。在大陆裂谷环境, 火山岩的组合有两种类型: 其一, 拉斑系列±碱性系列组合, 其中拉斑系列局限于裂谷中央, 碱性系列广泛分布于裂谷边缘 (如红海裂谷); 其二,

“双峰”组合,即拉斑玄武岩+流纹岩或碱性玄武岩+粗面岩,其中酸性与基性火山岩为时空统一体,在数量上以基性端员占优势。如前所述,分布于滇西南地区的晚古生代火山岩包括碱性系列、大陆拉斑系列和类似 MORB 拉斑系列,这一组合看来具备前一类的大陆裂谷火山岩组合特点。在地球化学特征上,研究区火山岩带有明显的板内环境的烙印。如图9,保山—镇康地区的火山岩投入大陆内部环境;昌宁—孟连地区火山岩多数投入大陆环境,少数投入洋脊或洋岛环境。如果将研究区与红海裂谷洋盆类比,可见二者在火山岩组合上是相似的,而且两个地区相应系列火山岩在稀土配分和不相容元素标准化模式特征上是相似的。这些特点表明研究区火山岩可能形成于裂谷并向洋壳转化的构造背景。

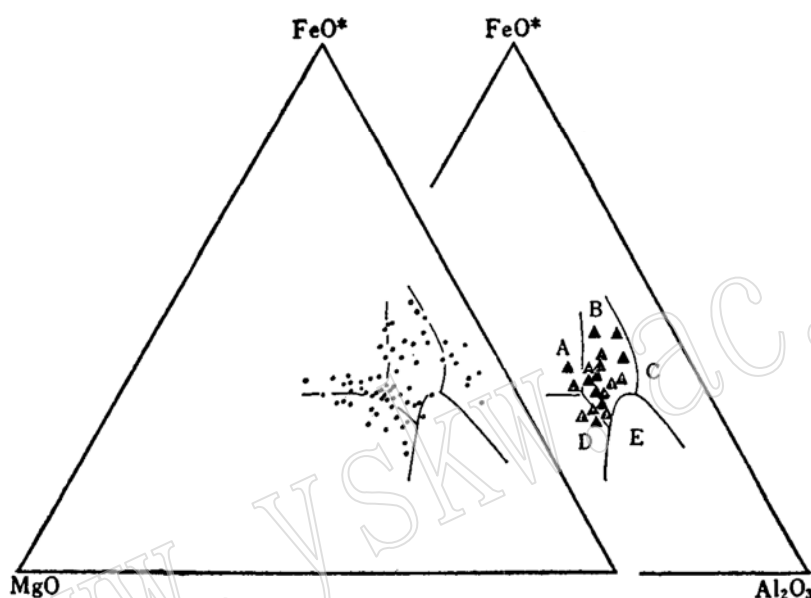


图 9 FeO^* — MgO — Al_2O_3 图解

Fig. 9 FeO^* — MgO — Al_2O_3 diagram

A—洋岛火山岩; B—大陆火山岩; C—岛弧扩张中心火山岩; D—洋脊火山岩; E—造山带火山岩
点为昌宁—孟连地区火山岩; 三角为保山地区火山岩 (据参考文献[28])

如果联系到研究区域基底岩系的地质特征及其所反映的构造环境,可以看出昌宁—孟连古裂谷作用可能发生在保山—掸邦地块的东侧陆缘区。研究表明^[12],出露于裂谷东侧的基底岩系澜沧群包括两套火山岩系:一套为以钙碱性系列为主的岛弧火山岩(惠民组),分布于该基底岩带的最东侧;另一套为碱性火山岩系,形成于以陆壳为底的初始弧后扩张区,分布于该基底岩带的西侧如栗义一带,紧靠昌宁—孟连裂谷东侧,可能与此相连并出露于昌宁—孟连带西侧的岩系为一套可能自元古代至古生代连续而趋向稳定的沉积组合。看来,裂谷的基底岩系反映了保山—掸邦地块东侧被动大陆边缘环境,晚古生代的裂谷作用可能发生于这一古岛弧体系,继承古弧后盆地而扩张。

类似 MORB 玄武岩及共生基性岩墙群的出现表明昌宁—孟连裂谷曾发生初始洋壳的扩张作用,但这类岩石分布的局限性意味着宽阔大洋存在的可能性不大。占优势的碱性火山岩显示大陆板内特点,而且赋存于碱性火山岩系中的块状硫化物矿床具有富铅特点,其铅同位

素明显地继承了陆壳基底岩系的特点, 这表明该火山岩系并非产于洋岛环境^①。另一方面, 浅水与较深水相的沉积组合如陆缘碎屑岩、浊积岩、碳酸盐、硅质岩等, 以及放射虫与浅水生物化石在区域上的共生和极不稳定的岩相特点可能反映古裂谷地形的复杂性。而且, 该带往南向泰国境内的延伸有限, 可能意味着该古裂谷曾尖灭于保山—掸邦地块的内部。由此看来, 与其说昌宁—孟连地区曾是一个宽阔的大洋或多岛洋, 毋宁说它曾相似于现代大陆边缘海盆 (如加里福尼亚湾、红海等), 在其中不同水深的沉积物和生物群落并存^[24,25]。我们认为昌宁—孟连带不大可能代表古澜沧江大洋的南支, 而更可能反映一支或许由澜沧江洋中某支扩张脊向保山—掸邦陆缘穿刺传波而开启的与该洋相通的裂谷小洋盆。因此, 把该带当作冈瓦纳和欧亚大陆界限的延伸是不合适的, 该界限可能位于区域东侧的某个位置。

3.2 裂谷火山作用的发展

根据火山岩组合及其演化趋势, 邓晋福^[10]认为裂谷火山作用存在两种不同型式: 1) 前进式裂谷火山作用, 形成碧玄岩霞石岩系列→碱性橄榄玄武岩系列→拉斑玄武岩系列, 反映大陆裂谷向大洋转化的趋势; 2) 后退式裂谷火山作用, 形成拉斑玄武岩系列→碱性橄榄玄武岩系列→强碱碧玄岩霞石岩系列, 反映裂谷构造的“收缩—闭合”。研究区火山岩系列组合与演化可能反映了前进式裂谷火山作用的特点以及在此背景下壳幔状态及深部过程对岩浆的起源与演化的制约作用。

如前所述, 滇西南晚古生代三个不同的火山岩系列 (表2) 即碱性橄榄拉斑玄武岩系列→大陆拉斑系列→类似 MORB 拉斑系列, 可能为三种母岩浆的分异产物。根据火山岩的化学演化特征 (前述), 可以假定初始岩浆主要经历了低压下铁镁矿物 (以及斜长石) 的分

表2 滇西南地区晚古生代火山岩系列的主要特征

Table 2 Main characteristics of the Paleozoic volcanic series from southwestern Yunnan

	大陆拉斑玄武岩系列	类似 MORB 拉斑玄武岩系列	碱性橄榄玄武岩系列
构造背景	保山—掸邦地块	昌宁—孟连裂谷	昌宁—孟连裂谷
区域岩石组合	浅海碎屑岩、碳酸盐岩	硅质岩, 碎屑岩, 碳酸盐, 基性岩墙, 超镁铁质、镁铁质	碎屑岩, 碳酸盐岩等
主要岩石类型	粗粒玄武岩, 杏仁—气孔玄武岩, 安山玄武岩, 玄武岩等	岩块枕状玄武岩, 斜长玄武岩, 辉石玄武岩等	碱性橄榄玄武岩, 粗面玄武岩, 粗面安山岩, 碱性苦橄质玄武岩等
特征标准矿物	Q	Ol	Ol, Nc
分子			
硅—碱图和	亚碱性	亚碱性	碱性
SiO ₂ —Zr/TiO ₂ 图			
SiO ₂ —FeO*/MgO 图和	富硅, 弱富铁	富铁	富铁
FeO*—FeO*/MgO 图			
稀土配分模式	LREE 富集	LREE 弱亏损或平坦式	LREE 强富集
不相容元素标准化模式	不相容元素富集, 类似于德干高原拉斑玄武岩	较平坦, 类似于红海裂谷 T—MORB	不相容元素强富集, 类似于红海碱性玄武岩
推测岩浆起源	富集地幔 20% 熔融	亏损地幔 20% 熔融	富集地幔 5% 熔融

① 杨开辉, 1990。

离结晶作用。这样的过程只提高演化岩浆中不相容元素的绝对含量,而几乎不影响初始岩浆的稀土配分型式和不相容元素之间的比值。研究区三个系列火山岩在稀土配分型式及不相容元素比值(如图8)上的显著差异隐示着它们可能是三种不同的初始岩浆演化产物。在选定适当的分配系数,假定合理的源区地幔成份之后,利用平衡部分熔融和分离结晶模式对Ce—Y变异图(图8)进行定量模拟,结果表明研究区火山岩可能是两种不同地幔源区经历不同程度熔融作用产生的三种不同的初始岩浆分异产物,其中,碱性系列和大陆拉斑系列可能是富集型地幔分别经历5%和20%熔融所形成岩浆的产物,而类似MORB拉斑系列可能为亏损地幔经20%熔融所产生的岩浆经分离结晶分异的产物。这些事件可能与昌宁—孟连逐渐增强的裂谷作用有关。伴随这一过程,地幔底辟上升使得陆壳减薄,岩浆起源深度随软流圈顶面的抬升而变浅,最初在保山—掸邦地块之下富集的地幔产生不同程度熔融,所形成的岩浆分异产生碱性系列和大陆拉斑玄武岩系列,继而可能在先期熔炼后相对亏损的浅部地幔熔融产生玄武岩浆,经分异形成类似MORB拉斑玄武岩类。

3.3 区域构造—岩浆演化

滇西南晚古生代裂谷作用诱发产生的保山—镇康地区大陆拉斑玄武岩和昌宁—孟连地区碱性、类似MORB拉斑玄武岩与稍后开始并持续到三叠纪的陆缘造山作用形成的呈并列带状分布于昌宁—孟连带以东临沧—景洪地区的变质岩、花岗岩和火山岩构成了复杂的构造—岩浆—变质带(图1)。主张昌宁—孟连带代表宽广洋盆的研究者认为临沧—景洪带应是洋壳向东俯冲过程形成的,含蓝闪石片岩带与其直接相关^[13]。这种观点不仅与昌宁—孟连火山岩特点不相容(前述),而且也与临沧—景洪带的特点不相符合。虽然位于昌宁—孟连裂谷带东侧形成印支期(260—193 Ma^[13])的含蓝闪石变质带可能形成于裂谷期后陆片碰撞、仰冲作用,但是在该带以东的岩浆岩带自东向西排布着由老而新的钙碱性系列(C₃—P₂)→高钾钙碱系列和钾玄岩系列(T₁)火山岩→花岗岩带(印支、海西期为主),表明南澜沧江洋壳可能是自东向西俯冲的。这与澜沧群火山岩所指示的前泥盆纪洋壳俯冲方向一致^[6,12]。进而,临沧—景洪构造—岩浆带南延可能与泰国北部难河(Nan)带、马来半岛文东—劳勿(Bentong-Raub)带相连接,成为冈瓦纳与欧亚大陆界限的南段。在难河带,具有岛弧性质的晚古生代蛇绿岩、蓝片岩和形成于二叠至早三叠世的弧火山岩带也反映了洋壳向西俯冲的过程^[26,27]。与此不同,昌宁—孟连带向南延伸与泰国北部清迈带相连,继而消失于微陆块内部,为一条陆缘裂谷火山岩带^[26]。该带所反映的陆缘裂谷盆地可能与古澜沧江洋相联系(前述),甚至在晚古生代作为东侧临沧—景洪—难河陆缘火山弧后的扩张海盆也并非不可能。

尽管目前对滇西南构造机制的认识尚存在着较大分歧^[1,4,23],从火山岩石学的角度来看,该区域自晚古生代以来的构造演化以大陆边缘裂谷作用和弧造山作用为主要特征。这两种构造作用在时空上相互联系,可能受制于某统一机制。我们认为深部地幔分层对流^[22]机制的变更可能是导致研究区域地壳扩张、俯冲和碰撞作用的内在原因,理想化的模式如图10。在石炭纪(图10a),地幔上升流使得保山—掸邦微陆块东侧产生裂谷,富集型地幔较深部产生低程度熔融形成岩浆喷发产生碱性玄武岩系列。继后(C₃—P,图10b)伴随壳幔滑脱,陆壳向两侧退去,裂谷中央局部地段强烈扩张并伴随类似MORB岩浆喷发形成新生洋壳。同时,地幔对流的形式因裂谷两翼岩石圈的构造条件不同而改变。在裂谷西侧,地幔扩张并导致较高程度熔融所产生的大陆拉斑玄武岩浆在地块内部的保山—镇康一带喷发;裂谷东侧的

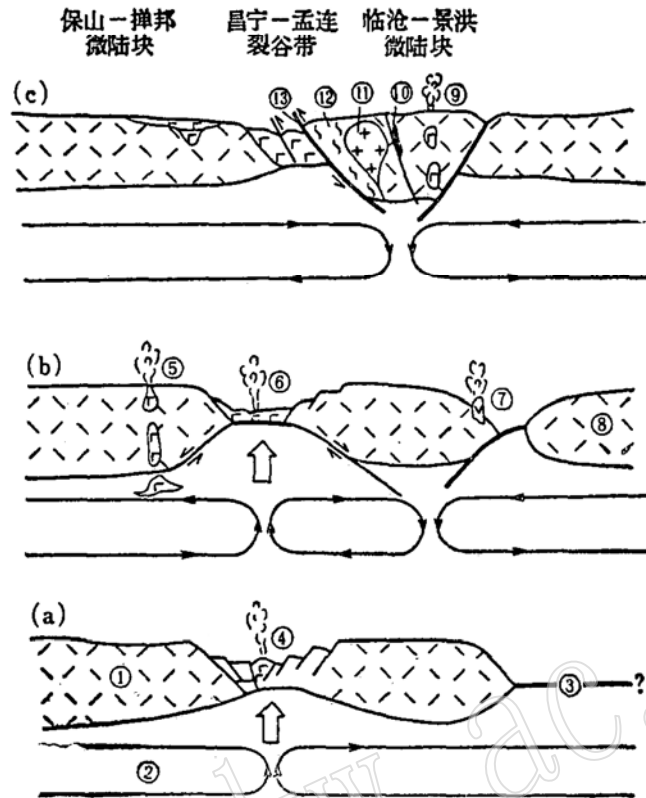


图 10 区域构造发展模式

Fig. 10 Schematic model showing development of regional tectonics

(a)裂谷早期; (b)裂谷中晚期; (c)裂谷期后; ①—陆壳; ②—地幔; ③—洋壳 (古澜沧江洋?); ④—碱性火山作用; ⑤—大陆拉斑质火山作用; ⑥—大洋拉斑火山作用; ⑦—钙碱性火山作用; ⑧—思茅微陆块; ⑨—钾玄岩质火山作用; ⑩—超镁铁质、镁铁质岩; ⑪—花岗岩类; ⑫—变质岩带; ⑬—逆冲构造带

临沧—景洪微陆块之下可能产生地幔下降流, 导致古澜沧江洋壳向西俯冲, 伴随形成钙碱性火山岩带和花岗质岩带。在晚二叠至早三叠纪 (图10 c), 地幔上升流衰竭, 使裂谷扩张停止, 进而临沧—景洪微陆块可能沿着昌宁—孟连裂谷东侧壳幔滑脱带 (西澜沧江断裂带) 向西仰冲, 伴随强烈剪切形成蓝闪片岩变质带。与此同时, 下降流的继续作用导致古澜沧江洋壳的消亡和东部思茅微陆块与临沧—景洪陆块的碰撞, 形成碰撞型高钾火山岩和花岗岩带。

本文为地矿部七五重点科技攻关项目所属课题 (86010-2-8)。池际尚教授对作者工作给予了指导, 谨表谢忱。

参 考 文 献

- 1 张旗、李达周、张魁武. 云南云县铜厂街蛇绿混杂岩的初步研究. 岩石学报, 1985, 1(3): 1—14.
- 2 李达周等. 云南孟连地区火山岩的岩石化学和地球化学特征及其意义. 青藏高原研究, 1986, 横断山考察专集(2): 137—146.
- 3 杨喜文. 对云县铜厂街蛇绿岩的探讨. 云南地质, 1982, 1(1): 59—71.
- 4 杨喜文、严平兴. 南特提斯滇西带石炭—二叠纪构造、古地理格局. 地球科学, 1990, 15(4): 307—406.
- 5 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志. 地质出版社, 1990.
- 6 罗君烈. 滇西特提斯造山带的演化及基本特征. 云南地质, 1990, 9(4): 248—290.

- 7 陈炳蔚等.怒江—澜沧江—金沙江地区大地构造.地质出版社, 1987.
- 8 陈炳蔚等.三江地区主要大地构造问题及其成矿关系.地质出版社, 1992.
- 9 陈吉琛.滇西花岗岩类时代划分及同位素年龄值选用的讨论.云南地质, 1987, 6(2): 101—113.
- 10 邓晋福.大陆裂谷岩浆作用及深部过程.见: 池际尚主编, 中国东部新生代玄武岩及上地幔研究.中国地质大学出版社, 1988, 201—218.
- 11 巩满福.保山地区晚石炭世火山岩及其构造环境.成都地质学院学报, 1990, 17(2): 26—36.
- 12 翟明国、丛柏林、张儒媛.滇西澜沧群两类火山岩系的识别及其地质意义.中国科学B辑, 1990(1).
- 13 张儒媛、丛柏林、韩秀伶.滇西蓝片岩中的角闪石.地质科学, 1990(1): 43—53.
- 14 Arthur R, Henjes-Kunst F, Puchelt H and Baumann A. Volcanic activity in the Red Sea Axial trough; evidence for a large mantle diapir? Tectonophysics, 1988, 150: 121—134.
- 15 Brinckmann J and Hinze C. On the geology of the Bawdwin lead-zinc Mine, northern Shan State, Burma. Geol. Jahrb. Hannover, 1981, D43: 7—45.
- 16 Coleman R G and McGuire A V. Magma systems related to the Red Sea Opening. Tectonophysics, 1988, 150: 77—100.
- 17 Condic K T. Plate tectonics and crust evolution. Pergamon Press Inc. 1982.
- 18 Cox K G and Hawkesworth C J. Geochemical stratigraphy of the Deccan Traps at Mahabaleshwar, West Ghats, India, with implications for open system magmatic processes. Petrol. 1985, 26: 355—377.
- 19 Holm P E. The geochemical fingerprints of different tectonomagmatic environments using hygromagmatophile element abundance of tholeiitic basalts and basaltic andesites. Chem. Geol. 1985, 51: 303—323.
- 20 Winchester J A and Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chem. Geol. 1977, 20: 325—343.
- 21 Irvine T N. Metastable liquid immiscibility and MgO-FeO-SiO_2 fraction patterns in the system $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{-Fe}_2\text{SiO}_4\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{-KAlSi}_2\text{O}_6\text{-SiO}_2$. Carnegie Inst. Washington Yearbook, 1976, 75: 597—611.
- 22 Irvine T N. A Global convection framework: concept of symmetry, stratification, and system in the earth's dynamic structure. Econ. Geol. 1989, 84: 2059—2114.
- 23 Liu Benpei, Feng Qinglai and Fang Nianqiao. Tectonic evolution of the Paleo-Tethys in Changning-Menglian belt and adjacent region, Western Yunnan. Journal of China University of Geosciences, 1991, 2: 18—28.
- 24 Lonsdale P F. Geology and tectonic history of the Gulf of California. In: Winterer E F (ed). The Eastern Pacific Ocean and Hawaii, 1989.
- 25 Schmidt N. Plate tectonics and the Gulf of Californian region. Arizona Geology, 1990, 20: 1—4.
- 26 Barr S M and Macdonald A S. Nan River suture zone, northern Thailand. Geology, 1987, 15: 907—910.
- 27 Thanasuthipitak T. Geology of Uttaradit area and its implications on tectonic history of Thailand. In: Proc. 3rd Reg. Conf. Geol. Min. Res. SE. Asia, 1978, 187—200.
- 28 Pearce T H, Gorman B E and Birkett T C. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. Earth Planet. Sci. Lett. 1977, 36: 121—132.

Late Paleozoic Rifting-related Volcanic Rocks and Tectonic Evolution in Southwestern Yunnan

Yang Kaihui

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Mo Xuanxue

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Key words: volcanic rock, rift, Yunnan

Abstract

Three different series of Carboniferous-Permian volcanic rocks are recognized in southwestern Yunnan of the eastern Tethyan orogenic belt, i. e. plateau tholeiitic, alkaline basaltic and MORB-like rocks. Geochemical studies support the understanding that the volcanic rocks are associated with the development of the Changning-Menglian rift basin on the eastern side of the Baoshan-Shan State terrane, and are unlikely to represent rocks produced in ocean floor and oceanic island environments. It is inferred that, with the thinning of the continental crust and the local emplacement of the oceanic crust, this region experienced progressive rifting. As a result of different degrees of melting at different depths of the mantle, three different sorts of magma were formed and then evolved into three series of volcanic rocks. The closure of the rift basin was related to the westward subduction of the Lancangjiang ocean beneath the Baoshan-Shan State terrane, as is evidenced by the arc volcanic suite of the Lincang-Jinghong belt east of the Changning-Menglian belt. The convective mantle and the change in convection patterns are presumed to have been responsible for the rifting, spreading of the initial oceanic crust and collision of terrance.