

文章编号: 1000- 6524 (2002) 03- 0231- 11

滇西富碱斑岩带的 Nd Sr Pb 同位素特征 及其挤压走滑背景

曾普胜¹, 莫宣学², 喻学惠²

(1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘 要: 滇西富碱斑岩带形成于新生代(年龄为 23.18~ 62 Ma), 沿金沙江- 哀牢山断裂带分布。对其岩石化学、同位素地球化学等方面的研究表明其总体处于剪切挤压为主、局部引张的构造环境中, 苍山等地元古宙基底变质岩的穿刺(翘起)就是挤压环境下的产物之一; 富碱斑岩是深部交代的富集地幔(EM II)流体上侵经地壳物质不同程度混染的产物, 扬子陆块和冈瓦纳大陆的组分对新生代岩浆活动均产生影响。

关键词: 挤压走滑; Nd Sr Pb 同位素; 富碱斑岩; 苍山的穿刺; 金沙江- 哀牢山断裂; 滇西地区
中图分类号: P597; P542 **文献标识码:** A

Nd, Sr and Pb isotopic characteristics of the alkaline rich porphyries in western Yunnan and its compression strike_slip setting

ZENG Pu_sheng¹, MO Xuan_xue² and YU Xue_hui²

(1. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Distributed along the Jinshajiang- Ailaoshan fault zone, the alkaline_rich porphyry zone was formed in Paleogene (from 62 Ma to 23.18 Ma). The petrochemical and isotopic geochemical characteristics of the porphyries suggest that the tectonic setting is predominantly shear_compression and locally extension, uplifting (diapir) of the Proterozoic basement metamorphic rocks of Mt. Cangshan is also a product of the same setting. The alkaline_rich porphyry results from upward erosion of deep EM II fluid contaminated in different degrees by crustal components. Porphyries keep a trace of both Yangtze block and Gondwana continent, as shown by lead isotopes.

Key words: compression strike_slip setting; Nd, Sr, Pb isotopes; alkaline_rich porphyries; diapir of Mt. Cangshan; Jinshajiang- Ailaoshan fault zone; western Yunnan

收稿日期: 2001- 09- 17; 修订日期: 2002- 07- 02

基金项目: 国土资源部资源与环境科技攻关资助项目(95- 02- 001- 02)

作者简介: 曾普胜(1964-), 男, 副研究员, 从事岩石学和矿床学研究。

滇西富碱斑岩带分布于金沙江-哀牢山断裂带两侧,属金沙江富碱斑岩带的一部分,为中外地质学家广泛关注(涂光炽,1982;芮宗瑶等,1983;谢应雯等,1984;Tapponnier *et al.*, 1986,1990;张玉泉等,1987,1997,2000;钟大赉等,1989;蔡新平,1992;莫宣学,1992,1993;吕伯西等,1993,2000;吴根耀,1993,1994;邓万明等,1997,1998;从柏林等,1998;Chung *et al.*, 1997,1998;曾普胜等,1999;沈敢富等,2000;杨建民等,2001;骆耀南等,2001),对其构造环境和矿产资源的研究具有特殊的意义。其中,对其构造环境的讨论引人注目:张玉泉等(1987)认为该区的富碱斑岩属裂谷环境的产物,与东非裂谷的碱性斑岩相似;另一种观点(曾普胜等,1999;吕伯西等,2000;骆耀南等,2001)则认为它属总体挤压、局部引张构造环境的产物;杨建民等(2001)认为滇西北富碱斑岩不是典型的碱性岩类,只是较为富碱的中酸性岩类。本文从岩石化学、同位素地球化学特征等方面,结合前人资料,对滇西北富碱斑岩的构造环境再做探讨。

1 滇西富碱斑岩的时空分布

滇西富碱斑岩带沿金沙江-哀牢山断裂带及其两侧分布(图1),巍山以南分布于哀牢山断裂带狭长的条带内,以北则在前述断裂带两侧较宽的范围内分布,明显受控于断裂带本身及其次级断裂。岩体主要有姚安-华坪岩群(受控于绿汁江断裂带)、马厂箐-永胜岩群(程海断裂带)、北衙-宁蒗岩群(隐伏断裂?)、剑川岩群(金沙江断裂与木里-丽江隐伏断裂交汇处)、甬哥岩群(遥感影像较清楚显示的近东西向隐伏断裂)、巍山-永坪岩群(隐伏断裂)。另外,滇西近来的航磁资料显示兰坪-巍山-永坪一带有NNW、NW向隐伏岩带存在。富碱斑岩的岩石组合大致可划分为4种类型:①碱性辉

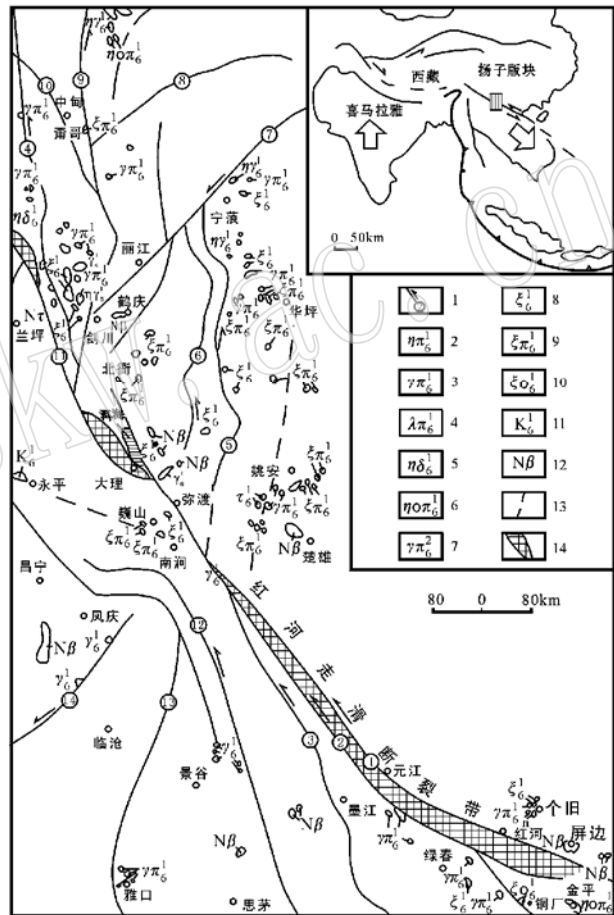


图1 滇西新生代富碱斑岩带岩体分布略图

Fig. 1 Simplified map showing distribution of rock bodies in the Cenozoic alkaline-rich porphyry zone, western Yunnan

- 1—主要断裂: ①红河断裂; ②哀牢山断裂; ③九甲断裂; ④金沙江断裂; ⑤永胜-祥云断裂; ⑥程海-宾川断裂; ⑦木里-丽江断裂; ⑧小金河断裂; ⑨格咱河断裂; ⑩德钦-中甸断裂; ⑪乔后-雪山山断裂; ⑫一郎-营盘山断裂; ⑬澜沧江断裂; ⑭南汀河断裂; 2—二长花岗岩; 3—花岗斑岩; 4—石英斑岩; 5—二长闪长岩; 6—石英二长斑岩; 7—二长斑岩; 8—正长岩; 9—正长斑岩; 10—石英正长斑岩; 11—碱性岩; 12—晚三叠世玄武岩; 13—隐伏断裂; 14—元古宙变质岩

长岩-霞石正长岩组合,以永平县西侧的卓潘岩体为代表;②二长斑岩-正长斑岩-花岗斑岩组合,在金沙江-哀牢山断裂带两侧广泛分布,是喜马拉雅期侵入岩中最主要的岩石组合类型,主要分布在中甸甬哥-东炉房、剑川老君山、宁蒗-北衙、大理马厂箐、巍山莲花山等地;③粗面岩-正长岩组合,集中分布于姚安-华坪一带;④石英正长岩-霓辉(辉石)正长岩组合,岩体主要分布于哀牢山-墨江一带。

从时空分布看,滇西地区喜马拉雅期岩浆活动具有多阶段多期次叠加的特点(表1)。

表1 滇西富碱斑岩带岩体同位素年龄

Table 1 Isotope ages of rock bodies in the alkaline rich porphyry zone, western Yunnan

序号	地点	岩性	测定对象	测试方法	年龄(Ma)	资料来源
1	剑川北郊	粗面岩	黑云母	K-Ar	36.7	涂光炽等, 1989
2	剑川马鹿山	正长斑岩	全岩	K-Ar	36.1	邓万明等, 1997
3	丽江石鼓	正长斑岩	黑云母	K-Ar	36	谢应雯等, 1984
4	丽江小桥头	透辉石正长岩	黑云母	K-Ar	33.0	张玉泉等, 1997
5	剑川水晶山	正长斑岩	全岩	K-Ar	31.3	邓万明等, 1997
6	剑川老君山	正长斑岩	长石	K-Ar	28.2	张玉泉等, 1997
7	丽江玉召块	正长斑岩	全岩	K-Ar	23.4	邓万明等, 1997
8	姚安	花岗正长斑岩	黑云母	K-Ar	36	张玉泉等, 1997
9	姚安文化村	粗面斑岩	黑云母	K-Ar	33.5	张玉泉等, 1997
10	姚安	石英正长斑岩	黑云母	K-Ar	33	张玉泉等, 1997
11	宁蒗脂肪沟	石英正长斑岩	斜长石	Ar-Ar 坪年龄	58.82	王登红等, 2001
12	宁蒗大火山	二长斑岩	全岩	K-Ar	37.6	邓万明等, 1997
13	宁蒗罗卜地	糜棱岩化正长斑岩	全岩	K-Ar	32.37	杨建民等, 2001
14	宁蒗罗卜地	石英正长斑岩	斜长石	Ar-Ar 坪年龄	24.60	王登红等, 2001
15	宁蒗脂肪沟	石英正长斑岩	斜长石	Ar-Ar 坪年龄	24.54	王登红等, 2001
16	鹤庆北衙五里盘	正长斑岩	全岩	K-Ar	38.36	杨建民等, 2001
17	鹤庆北衙笔架山	粘土化矿石	全岩	K-Ar	37.81	杨建民等, 2001
18	鹤庆北衙红泥塘	石英正长斑岩	长石	K-Ar	37.50	杨建民等, 2001
19	鹤庆松桂	石英正长斑岩	全岩	K-Ar	37.28	杨建民等, 2001
20	鹤庆北衙万洞山	糜棱岩化正长斑岩	全岩	K-Ar	35.98	杨建民等, 2001
21	鹤庆六合村	正长斑岩	全岩	K-Ar	33.9	邓万明等, 1997
22	鹤庆北衙	正长斑岩	钾长石	K-Ar	27.3	张玉泉等, 1997
23	鹤庆北衙红泥塘	石英正长斑岩	斜长石	Ar-Ar 坪年龄	24.56	王登红等, 2001
24	宾川干海子	正长斑岩	钾长石	K-Ar	62	谢应雯等, 1984
25	云南金厂箐	正长斑岩	钾长石	Ar-Ar 坪年龄 1	55.49	王登红等, 2001
26	祥云马厂箐	二长花岗斑岩	黑云母	K-Ar	35.1	张玉泉等, 1997
27	祥云马厂箐	角闪正长岩	钾长石	K-Ar	29	张玉泉等, 1997
28	云南金厂箐	正长斑岩	钾长石	Ar-Ar 坪年龄 2	23.18	王登红等, 2001
29	巍山各救母	二长斑岩		K-Ar	55.7	云南省地矿局区调队, 1990
30	巍山大莲花山	二长花岗斑岩	黑云母	K-Ar	48	云南省地矿局区调队, 1990
31	永平卓潘	透辉石正长岩	黑云母	K-Ar	38.0	张玉泉等, 1997
32	金平南板桥	霓辉正长岩	全岩	Rb-Sr 等时线	42	吕伯西等, 1993
33	金平铜厂	正长斑岩	黑云母	K-Ar	37.7	张玉泉等, 1997
34	金平十里村	透辉石花岗岩	长石	K-Ar	35.8	张玉泉等, 1997
35	金平八一村	二长岩	黑云母	K-Ar	29.8	张玉泉等, 1997
36	绿春哈播	石英正长岩	全岩	Rb-Sr 等时线	37	吕伯西等, 1993

其中, 早期(65~ 50 Ma)集中于金沙江-哀牢山断裂带北东侧宁蒗的脂肪沟(王登红等, 2001)一鹤庆铺台山一宾川的宝峰寺(谢应雯等, 1984)一姚安老街子等地, 主要受近 SN 向和 NE 向构造控制, 岩浆活动范围离走滑断裂带稍远; 中期(55~ 38 Ma)集中于巍山莲花山一祥云马厂箐一鹤庆北衙红泥塘(杨建民等, 2001); 晚期(38~ 25 Ma)岩浆活动达到鼎盛, 金沙江-哀牢山断裂带的金平一剑川一带均有分布, 这一时期的岩浆活动有南东早而北东晚的趋势(Chung *et al.*, 1998), 并有部分叠加于前两期之上, 如宁蒗萝卜地、北衙笔架山(王登红等, 2001)、楚雄小水井(杨建民等, 2001)等地。多期岩浆活动叠加形成复式岩体的现象比较普遍。

2 岩石化学特征

前人对富碱斑岩的岩石化学成分曾做过大量研究(云南省地质矿产局, 1990; 邓万明等 1998; 杨建民等, 2001), 笔者选择有代表性的数据列于表 2, 并与国外莱茵地堑等裂谷环境中的碱性岩和澳大利亚“A”型花岗岩进行对比, 结合本次野外和镜下观察结果, 其岩石化学特征简述如下:

表 2 滇西地区代表性的富碱斑岩岩石化学分析结果

$w_B/\%$

Table 2 Chemical analyses of rocks from representative alkaline rich porphyries in western Yunnan Province

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	64.09	61.15	67.32	68.63	67.41	66.56	65.13	66.35	67.59	73.94	54.94	55.8	47.02	44.0
TiO ₂	0.90	0.63	0.39	0.19	0.40	0.20	0.45	0.03	0.37	0.30	0.31	0.5	3.02	2.8
Al ₂ O ₃	11.65	14.85	15.71	16.16	14.01	15.44	15.99	12.60	15.19	12.68	22.26	20.2	14.19	14.1
Fe ₂ O ₃	4.32	3.59	2.11	1.37	1.42	1.01	1.99	2.19	1.09	1.00	0.96	2.3	9.39	6.7
FeO	3.26	1.66	0.88	0.35	1.56	2.17	2.03	2.73	2.26	1.53	0.72	1.1	4.85	4.9
MnO	0.08	0.12	0.06	0.03	0.00	0.05	0.00	0.10	0.03	0.27	0.15	0.1	0.17	—
MgO	4.62	1.91	1.08	0.18	0.49	1.24	1.26	0.82	1.12	0.28	0.40	1.2	6.15	5.7
CaO	5.76	3.79	2.43	1.14	1.95	1.35	2.40	1.64	1.74	0.99	1.77	4.2	5.69	13.0
Na ₂ O	2.03	3.99	4.89	4.95	2.86	4.80	4.33	3.50	3.82	3.45	8.11	5.9	4.34	2.6
K ₂ O	7.00	6.50	4.13	5.81	5.19	5.80	5.20	8.57	5.73	4.61	5.60	4.9	1.17	1.8
P ₂ O ₅	0.76	0.34	0.18	0.07	0.20	0.16	0.20	0.35	0.65	0.08	0.39	0.1	0.41	0.5
烧失量		0.86	0.78	0.81							4.38	3.6	3.62	4.0
总量	99.51	99.39	99.96	99.69						99.13	99.93	100.0	100.02	100.0

未注来源者均由云南省地矿局测试中心分析; 1—中甸甬哥辉石角闪正长岩; 2—剑川粗面岩(邓万明等, 1998); 3—剑川玉召块正长斑岩; 4—北衙正长斑岩(邓万明等, 1998); 5—宝峰寺二长花岗斑岩; 6—祥云马厂箐角闪正长岩; 7—巍山莲花山角闪石英二长斑岩(谭雪春等, 1985)^①; 8—永平卓潘碱性正长岩(段建中, 2000); 9—铜厂石英正长岩(谭雪春, 1985); 10—澳大利亚 A 型花岗岩(涂光炽, 1982); 11—中欧 fitou 地区的霞石正长岩; 12—英国莱茵地堑地区 Kaiserstuhl 响岩(Sørensen, 1974); 13—剑川剑湖玄武岩(邓万明等, 1998); 14—英国莱茵地堑地区 Kaiserstuhl 碱玄岩(Sørensen, 1974)。

(1) SiO₂ 含量($w_B/\%$) 范围为 56.24~ 75.07, 平均 66.18, 属中酸性到酸性岩, 其中多

① 谭雪春, 曾群望, 苏文宁. 1985. 滇西东部斑岩和斑岩铜矿. 云南省地质科学研究所, 251 页.

数样品属酸性岩; 无论野外、镜下观察还是岩石化学计算, 滇西富碱斑岩大多数岩体中均少见霞石、石榴石或者碱性暗色矿物分子出现, SiO_2 饱和或过饱和, 不是典型的碱性岩;

(2) 与国外裂谷环境(莱茵地堑和澳大利亚“A”型花岗岩)的碱性岩相比, 滇西富碱斑岩 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, 高钾富碱是其显著特征;

(3) 喷出岩少(仅剑川和大理海东有喷出岩出露), 且无双峰式火山岩组合特征, 裂谷环境的岩石特征不明显。

3 Nd, Sr, Pb 同位素地球化学特征

样品采自剑川老君山及其附近的束河、小桥头、格者耶, 北衙地区的铺台山、笔架山、红泥塘一带, 岩性从正长斑岩、石英正长岩、石英二长斑岩、花岗斑岩到煌斑岩均有, 为便于对比, 还选择“S”型的鲁甸花岗岩和岛弧带“I”型的雪鸡坪石英闪长玢岩采样分析。样品由宜昌地质矿产研究所测试, 质谱分析在装有可调接受器的 Finnigan MAT261 质谱计上完成。Rb/Sr 值测定精度好于 0.1%, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 好于 0.02%; Pb 同位素流程本底, Pb 为 2×10^{-9} g, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 0.05%, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 0.08%, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 0.1%。Sm、Nd 同位素本底, Sm、Nd 为 5×10^{-11} g, Nd 同位素的质谱分流校正采用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$, 标准样品测定值 La Jolla $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511863 \pm 7$, GBW04419 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512734 \pm 17$, 计算 ϵNd 用的 Juvinas 无球粒陨石的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 标准值是 0.512638。Sr、Nd、Pb 同位素分析结果列于表 3。

表 3 滇西地区富碱斑岩 Nd, Sr 和 Pb 同位素分析结果

Table 3 Analyses of Nd, Sr and Pb isotopes of alkaline rich porphyries in western Yunnan Province

序号	样品名称	$w(\text{Nd})$ / 10^{-6}	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}(t)$	$w(\text{Sr})$ / 10^{-6}	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	ϵSr	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$
1	束河花岗斑岩	18.37	0.512597 ± 14	-1.28	1430	0.70599 ± 4	21.1	18.595 ± 2	15.588 ± 2	38.587 ± 4
2	小桥头石英二长斑岩	23.88	0.512573 ± 14	-1.75	1416	0.70602 ± 4	21.6	18.584 ± 3	15.615 ± 5	38.676 ± 8
3	老君山正长斑岩	29.00	0.512565 ± 13	-1.90	1219	0.70615 ± 3	23.4	18.531 ± 4	15.541 ± 2	38.442 ± 3
4	格者耶正长斑岩	39.81	0.512555 ± 12	-2.15	846	0.70688 ± 6	33.8	18.603 ± 5	15.550 ± 4	38.486 ± 10
5	铺台山石英正长斑岩	21.32	0.512317 ± 15	-6.75	166	0.70617 ± 2	23.7	18.490 ± 1	15.594 ± 3	38.747 ± 3
6	笔架山石英正长斑岩	39.31	0.512510 ± 10	-3.00	1493	0.70748 ± 7	42.3	18.532 ± 2	15.567 ± 2	38.510 ± 5
7	红泥塘煌斑岩	14.57	0.512693 ± 15	0.50	301	0.72136 ± 5	239.3	18.045 ± 7	15.569 ± 2	38.327 ± 20
8	鲁甸花岗岩	20.06	0.512129 ± 13	-13.90	910	0.70873 ± 4	60.0	18.517 ± 1	15.676 ± 1	38.658 ± 1
9	雪鸡坪石英闪长玢岩	44.66	0.512363 ± 16	-7.65	236	0.70989 ± 5	76.5	18.123 ± 2	15.539 ± 6	38.226 ± 10

样品由宜昌地质矿产研究所周肃测定。

4 讨论

4.1 挤压走滑证据

处于冈瓦纳大陆与扬子陆块接合部位的滇西地区, 经历了特提斯洋壳消减和印支期强烈的陆-陆碰撞形成造山带(从柏林等, 1998)。新生代以来, 表现为大规模走滑、逆冲推覆、快速隆升, 以挤压为主, 挟持在哀牢山左行走滑断裂和实皆右行走滑断裂(伊洛瓦底江)之间

的地区则在这组断裂的走滑作用下向东南做构造逃逸(tectonic escape)(吴根耀, 2000); 同时伴随近 EW 向的挤压缩短和逆冲推覆, 哀牢山、苍山、雪龙山等地的古老变质岩被挤出隆升。可见, 这一时期总的构造背景以挤压为主。

4.1.1 哀牢山断裂带的挤压走滑特征

哀牢山断裂带呈北西向展布, 大理以南至中越边境约 500 km 的范围内形迹十分明显, 包括红河断裂、哀牢山断裂、九甲断裂等多条断裂(图 1)。关于哀牢山左行走滑断裂带, 研究成果很多, 如 Tapponnier 等(1986, 1990)推算水平断距为 760 km; Chung 等(1997)认为水平断距在 620 km 以上; 吴根耀(1993)在对比滇西丽江、金平二叠纪玄武岩的基础上确认其水平断距为 450 km 左右; 李齐等(2000)也认为, 左行走滑距离在中国境内不小于 350 km, 平均走滑速率为 47.7 mm/a; 张连生等(1991)确定的滑移量达 200 km 以上。左行结束后, 右行滑移开始, 0.75 Ma 以来的右行滑移距离达 5~6 km(Allen 等, 1984a, 1984b)。实际上, 红河走滑断裂本身经历了先为挤压的大规模左行走滑、后为拉张的右行走滑的复杂演化过程。

断裂的西南侧, 地层和构造的延伸方向也都为北西向, 并大致与红河断裂平行, 地层受挤压多表现为线状褶皱和倒转褶皱, 逆冲推覆构造多处可见, 如金平县的三家河一大平等地; 北东侧, 紧邻断裂处也断续出现北西向构造, 稍远处则为一系列近南北向的较大规模的断裂, 如小江断裂、绿汁江断裂、程海—宾川断裂等, 这些断裂也多具长期活动的特点。1997 年发生的武定地震、姚安地震即分布在绿汁江断裂和小江断裂上。总体看, 断裂系内挤压逆冲推覆占优势。

剪切走滑的特征明显, 断裂两侧的地层分布有明显的差异: 北东侧地层相对完整且构造简单, 变质程度低, 而南西侧地层构造均较复杂, 变质程度高。以元江一带为例, 北东侧为三叠纪砂页岩和灰岩, 西南侧为一套北西走向的变质岩带, 构成哀牢山山脉的主体。变质带呈北窄南宽的条带, 并可按变质程度分为深、浅两个带, 前者位于红河断裂与哀牢山断裂之间, 属多期变质叠加形成的前寒武纪哀牢山群片岩、片麻岩、变粒岩、大理岩等; 后者分布于哀牢山断裂的西南侧, 有古生代片岩、变基性火山岩和三叠纪板岩、变质砂岩、变流纹岩等组成。

红河断裂的本身多处于深切的河谷中, 有的地段表现出谷中谷的特点。在较宽的河谷中充填着第三纪和第四纪沉积(云南省区域地质志, 1990)。综合看, 新生代地层的沉积中心随时间推移, 有从南东向北西迁移的趋势, 即由古新世的红河大文迷一带→渐、中新世的红河—元江→上新世的弥渡金宝山一带→早更新世的凤仪松毛坡一带→晚更新世的洱海。这种现象可能反映了哀牢山断裂带挤压隆起之后的应力松弛的先后更迭情况, 与通常的裂谷中连续的长条形凹陷沉积不同。

4.1.2 苍山的形成与隆升

苍山位于著名的历史文化名城大理(图 1)西侧, 为一变质岩带, 巍峨挺拔, 山脊 19 座峰海拔多在 4000 m 以上, 主峰马龙峰 4280 m, 南北连绵长约 80 km, 与其东侧的洱海(海拔约 1980 m)形成鲜明对照。然而, 这座高峰并不是所谓的“古陆”, 而是古新世末才隆起形成的。苍山本身由一套变质岩组成, 米士(1947)称其为“太古宙苍山片麻杂岩”, 区调报告称“元古宙苍山群”; 沙绍礼等(1998)经过详细的工作后将“苍山群”详细划分为古元古代沟头箐岩群、中元古代苍山岩群、新元古代罗平山岩组。其中, 沟头箐岩群分布于苍山西侧, 由斜长角闪岩、变粒岩、片麻岩、大理岩等组成; 苍山岩群分布于苍山东侧, 与沟头箐岩群呈断层

接触,由大理岩、斜长角闪岩、云母片岩组成,驰名中外的大理石即产于其中;罗平山岩组分布于洱源县城西的罗平山东坡,与沟头箐岩群和苍山岩群均呈断层接触,由白云母石英片岩、绢云千枚岩、结晶灰岩组成。这些岩石组合以深变质或片麻理、片理而明显地有别于古生代之后的岩石。众所周知,侏罗纪到白垩纪时期,苍山以西地区处于快速堆积的磨拉石沉积环境,其周围水面以上的地质体最易被剥蚀而呈砾石出现于沉积物中。如果苍山为早已隆起的古陆,那么,在元古宙之后的地层中或多或少均应留有苍山变质岩剥蚀而来的碎屑(砾石)的痕迹。但是,经多年的地质工作,包括系统的地质填图工作,发现苍山群变质岩砾石最早见于始新世宝相寺组(E_2b)底部砾岩中。区域上看,滇西北兰坪盆地等地的逆冲推覆构造也始于这一时期。可见,苍山变质岩是新生代以来才挤压翘起的元古宙基底地层。

从苍山老变质岩的隆升翘起(穿刺)和哀牢山断裂剪切走滑的特点来看,滇西地区富碱斑岩分布区的构造背景总体上仍处于挤压剪切状态,地壳在东西向上仍有加厚缩短的趋势。哀牢山断裂带这样一组深切地幔的NW向走滑断裂,其两侧伴随的次级近SN向或NW向断裂对新生代富碱斑岩的控制作用明显。

4.2 同位素地球化学证据

从表2中可见,不同富碱斑岩体的Nd同位素组成极为相近, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值为0.512317~0.512597, $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值为-6.75~-1.28,与球粒陨石型原始地幔值接近;北衙地区红泥塘石英正长斑岩中煌斑岩的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值甚至大于0,显示出岩石源于富集地幔的特征。

新生代富碱斑岩的锶初始比值(I_{Sr}) 在0.70587~0.70668之间, ϵSr 值为21.1~42.3,具壳幔混合型岩石特征。设岩浆中地幔物质的比例为 $m(\%)$,则

$$m = (I_c - I_{\text{Sr}}) / (I_c - I_m) \times 100\%$$

其中 $I_c = 0.7092 - 0.000247t$,为一定时间 t 时壳源线的 I_{Sr} 比值; $I_m = 0.7040 - 0.00011t$,为一定时间 t 时幔源线的 I_{Sr} 比值。将本区的 I_{Sr} 比值和估计(或实测)年龄值代入上式,计算结果,新生代富碱斑岩的 m 值在35.7%~62.9%之间,平均54.3%,也表现为壳幔混合型。可见,成岩过程中地壳混染比例在一半左右。胡瑞忠等(1997)对马厂箐矿区黄铁矿的流体包裹体中He同位素的测定结果也表明,地幔He的比例在6%~35%之间,与本次Sr同位素结果反映的情况相近。

关于Pb同位素,魏启荣(1999)统计了三江地区中段各种地质体的360余个样品的Pb同位素分析结果,发现以 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.5$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.65$ 、 $\mu = 9.35$ 为界可划分冈瓦纳Pb同位素省和扬子Pb同位素省,高于上述界线者属冈瓦纳Pb同位素省,反之则属扬子Pb同位素省。新生代富碱斑岩的Pb同位素组成数值($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为18.49~18.603,平均18.556; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.541~15.615,平均15.576; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为38.442~38.676,平均38.575)明显较印支期的高,略高于分界线值,明显地高于印支期形成的亲扬子地块的鲁甸花岗岩体和雪鸡坪岩体,且在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 相关图中接近EM II的交代地幔端员(曾普胜,2000;张玉泉等,2000)。这似乎表明,位于两构造域交汇部位的新生代富碱斑岩带是冈瓦纳大陆与扬子陆块共同作用的结果,其Pb同位素组成特征具有混合来源的特点,且冈瓦纳的烙印更加明显。

综合Nd-Sr-Pb同位素的结果可以看出,滇西新生代富碱斑岩是深部交代的富集地幔经地壳不同程度混染而成,具有扬子Pb同位素省和冈瓦纳Pb同位素省混合的特征,是两

大陆闭合后在新生代经历复杂地质作用的结果。

5 结 论

(1) 岩石化学特征表明滇西富碱斑岩为中酸性至酸性岩,以酸性岩为主, $K_2O > Na_2O$, 喷出岩少,且无双峰式火山岩,不具有典型的裂谷特征。

(2) 钼同位素值与球粒陨石型原始地幔接近,岩石具有源于富集地幔的特征;锶同位素结果显示,岩浆中地幔物质的比例为 35.7% ~ 62.9%,平均 54.3%,表现为壳幔混合型;铅同位素分析结果表明富碱斑岩具扬子 Pb 同位素省与冈瓦纳 Pb 同位素省混合来源的特点。

(3) 金沙江-哀牢山断裂带内的富碱斑岩分布区,新生代以来总体处于剪切走滑挤压为主、局部引张的构造环境中,苍山等元古宙基底变质岩的翘起就是挤压环境下的产物之一。

致 谢 野外工作得到云南地勘局和第三地质大队、北衙矿业股份有限公司的支持,杨伟光、和群道对野外工作给予很多帮助,宜昌地质矿产研究所周肃博士完成同位素测试,沙绍礼先生、王登红博士对本文提出了建设性的意见,在此一并致谢。

References

- Allen C R, Han Yuan, Sieh K E, *et al.* 1984a. Study of the Quaternary activity of the Red River Fault (I): general survey of its contemporary activities and evidence of activities faulting[J]. *Seismic Geology*, 7(1): 39~ 51 (in Chinese with English abstract).
- Allen C R, Han Yuan, Sieh K E, *et al.* 1984b. Study of the Quaternary activity of the Red River Fault (II): its features of activity, slip rate and recurrence intervals of earthquakes[J]. *Seismic Geology*, 7(2): 173~ 185 (in Chinese with English abstract).
- Cai Xinping. 1992. Deep_sourced exclave within the Cenozoic alkali porphyry in the west rim of Yangtz Craton and its significance[J]. *Chinese Journal of Geology*, 27(2): 183~ 189 (in Chinese with English abstract).
- Chung S L, Lee T L, Lo C H, *et al.* 1997. Intraplate extension prior to continental extrusion along the Ailao Shan- Red River shear zone[J]. *Geology*, 25(4): 311~ 314.
- Chung S L, Lo C H, Lee T L, *et al.* 1998. Diachronous uplift of the Tibetan Plateau starting 40 Myr ago[J]. *Nature*, 394: 769~ 773.
- Cong Bolin, Zhang Ruyuan, Wu Genyao, *et al.* 1998. Study on geology of metamorphic rocks in the western of Yunnan, China[A]. Shi Baoheng. *New Probe of Earth Sciences in China*[C]. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese with English abstract).
- Deng Wanming, Huang Xuan, Zhong Dalai. 1997. Alkali porphyries in the western of Yunnan and its relationship to intracontinental deformation[J]. *Science in China (D)*, 28(2): 111~ 117 (in Chinese with English abstract).
- Deng Wanming, Huang Xuan, Zhong Dalai. 1998. Petrologic characteristics and genesis of Cenozoic alkali porphyries in the western of Yunnan[J]. *Chinese Journal of Geology*, 33(4): 412~ 425 (in Chinese with English abstract).
- Duan Jianzhong. 2000. Characteristics of petro_mineralogy & petro_chemistry of Jinshajiang- Red River alkali porphyry zone [J]. *Geology in Yunnan*, 19(3): 207~ 231 (in Chinese with English abstract).
- Hu Ruizhong, Bi Xianwu, Shao Shuxun, *et al.* 1997. Study on helium isotope composition of copper deposit in Machangjing, Yunnan, China[J]. *Chinese Science Bulletin*. 42(14): 1 542~ 1 545 (in Chinese).
- Li qi, Chen Wenji, Wan Jinglin, *et al.* 2000. New evidence for the time of tectonic uplift and transformation of style of

- movement of Ailaoshan- Red River shear zone[J]. *Science in China (D)*, 30(6): 576~ 583 (in Chinese with English abstract).
- Lu Boxi, Qian Xianggui. 2000. Tectonic types of Cenozoic alkalic series magmatic rocks in Sanjiang region, western Yunnan, China[J]. *Geology in Yunnan*, 19(3): 232~ 243 (in Chinese with English abstract).
- Lu Boxi, Wang Zeng, Zhang Nengde, *et al.* 1993. Granitoids in Sanjiang Region and Their Metallogenic Specialization[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Luo Yaonan, Yu Rulong. 2001. Major features and dynamic model of the Himalayan tectono-magmatism in the intracontinental orogenic belt in Longmenshan - Jinpingshan Mountains[A]. Chen Yuchuan, *et al.* Study on Himalayan Endogenic Mineralization[C]. Beijing: Seismic Publishing House, 88~ 95 (in Chinese with English abstract).
- Misch P. 1947. *Geology of Lijiang*[M]. Translated by Li Pu. Peking: National University of Peking.
- Mo Xuanxue. 1992. Some problem in the study on volcanic rocks of orogenic belt in the Western of China[A]. Petrologic Division of China University of Geosciences. Paper Collection of Petrology[C]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 47~ 55 (in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue, Lu Fengxiang, Shen Shangyue, *et al.* 1993. Sanjiang Tethyan Volcanism and Related Mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House, 267 (in Chinese with English abstract).
- Rui Zongyao, Huang Chongke, Qi Guoming, *et al.* 1983. Porphyry Copper (molybdenum) Deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Sha Shaoli. 1998. Basic characteristics of metamorphic belt in Diancangshan Mountain, Yunnan, China[J]. *Geology in Yunnan*, 17(1): 1~ 16 (in Chinese with English abstract).
- Shen Ganfu, Lu Boxi. 2000. Petrogenesis and metallogeny of Cenozoic intrusive rocks in Sanjiang region, the southwestern of China[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Sörensen H. 1974. *The Alkaline Rocks*[M]. London: The Garden City Press Ltd, 243~ 258.
- Tapponnier P, *et al.* 1990. The Ailao Shan- Red River metamorphic belt: Tertiary left-lateral shear between Indochina and South China[J]. *Nature*, 343: 431~ 437.
- Tapponnier P, *et al.* 1986. On the mechanics of the collisions between India and Asia[A]. Coward M P, Ries A C. *Collision Tectonics*[C], Oxford: Blackwell Scientific Publications, 115~ 157.
- Tu Guangchi. 1982. Preliminary study on the two alkali porphyry belts in the South of China[A]. Annual Report of Guiyang Institute of Geochemistry, China Academy of Science[C]. Guiyang: People's Publishing House of Guizhou, 127~ 129 (in Chinese with English abstract).
- Tu Guangchi. 1989. On alkali intrusive rocks[J]. *Mineral Resources and Geology*. 3(3): 1~ 4 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Yang Jianmin, Xue Chunji, *et al.* 2001. Isotope geochronology constrain on gold mineralization of Himalayan in the Sanjiang (Lancangjiang- Nujiang- Jinshajiang)- Daduhe River region, southwestern China[A]. Chen Yuchuan, *et al.* Study on Himalayan Endogenic Mineralization[C]. Beijing: Seismic Publishing House, 88~ 95 (in Chinese with English abstract).
- Wei Qirong. 1999. Study of Sr- Nd- Pb isotope tracing on volcanic rocks, geochemical division and mineralization in the middle part of Sanjiang area, southwestern China[D]. Wuhan: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Wu Genyao. 1993. Comparison of basalts in Lijiang and Jinping, western Yunnan and its geological significance[J]. *Acta Petrological Sinica*, 9(sup.): 63~ 69 (in Chinese with English abstract).
- Wu Genyao. 1994. Tertiary thrust in the northwestern Yunnan, China[J]. *Tectonics & Metallogeny*, 18(4): 331~ 338 (in Chinese with English abstract).
- Wu Genyao. 2000. *Stratigraphy of Orogengy*[M]. Chengdu: Sichuan Press of Science and Technology (in Chinese with English abstract).
- Xie Yingwen, Zhang Yuquan, Tu Guangchi. 1984. Preliminary study on chemistry and metallogenic specialization of the Ailaoshan- Jinshajiang alkali intrusive rock belt[J]. *Journal of Kunming College of Technology*, (4): 1~ 17 (in Chinese

- with English abstract).
- Yang Jianmin, Xue Chunji, Xu Jue, *et al.* 2001. Geological features and mineralization of the Himalayan alkalic porphyry in Western Yunnan [A]. Chen Yuchuan, *et al.* Study on Himalayan Endogenic Mineralization [C]. Beijing: Seismic Publishing House, 57~ 68 (in Chinese with English abstract).
- Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1990. Regional Geology of Yunnan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Zeng Pusheng, Yang Weiguang, Yu Xuehui. 1999. Alkalic porphyry belt in western Yunnan and its relation to gold mineralization [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(sup.): 367~ 372 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Pusheng. 2000. Volcano- intrusive complex in Zhongdian, Yunnan and its relationship to the mineralization of Cu and Au [D]. Beijing: China University of Geosciences.
- Zhang Liansheng, Zhong Dalai, Liu Xiaohan. 1991. Tectonic relationship between Jinshajiang suture and Red River- Ailaoshan fault [A]. Annual Report of Open Research Laboratory of Tectonic Evolution of Lithosphere, Institute of Geology, China Academy of Science (1989- 1990) [C]. Beijing: China Press of Science & Technology (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuquan, Xie Yingwen, Li Xianhua, *et al.* 2000. Isotope characteristics of magmatic rocks of shoshonitic series in the eastern of Tibetan Plateau: petrogenesis and tectonic significance [J]. *Science in China (D)*, 30(5): 493~ 498 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuquan, Xie Yingwen, Tu Guangchi. 1987. Preliminary study on alkalic porphyry belt in the Ailaoshan- Jinshajiang and its relation to the rift tectonics [J]. *Acta Petrologica Sinica*, (1): 17~ 25 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuquan, Xie Yingwen. 1997. Geochronology of alkalic intrusive rocks in Ailaoshan- Jinshajiang region and its isotope characteristics of Nd, Sr [J]. *Science in China (D)*, 27(4): 289~ 293 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Dalai, Tapponnier P, Wu Haiwei, *et al.* 1989. Left lateral strike slip: an important form of intracontinental deformation in post collision [J]. *Chinese Science Bulletin*, (7): 526~ 529 (in Chinese).

附中文参考文献

- Allen C R, 韩源, Sieh K E, 等. 1984a. 红河断裂的第四纪活动研究(一) ——现代活动概貌、活动断裂证据 [J]. *地震地质*, 7(1): 39~ 51.
- Allen C R, 韩源, Sieh K E, 等. 1984b. 红河断裂的第四纪活动研究(二) ——断裂活动特征、滑动速度与地震重复周期探讨 [J]. *地震地质*, 7(2): 173~ 185.
- 蔡新平. 1992. 扬子地台西缘新生代富碱斑岩中的深源包体及其意义 [J]. *地质科学*, 27(2): 183~ 189.
- 从柏林, 张儒媛, 吴根耀, 等. 1998. 中国滇西变质地质学研究 [A]. 石宝珩. 中国地质科学新探索 [C]. 北京: 石油工业出版社, 93~ 110.
- 邓万明, 黄莹, 钟大赉. 1997. 滇西富碱斑岩及其与板内变形的关系 [J]. *中国科学(D)*, 28(2): 111~ 117.
- 邓万明, 黄莹, 钟大赉. 1998. 滇西新生代富碱斑岩的岩石特征与成因 [J]. *地质科学*, 33(4): 412~ 425.
- 段建中. 2000. 金沙江- 红河富碱侵入岩带岩石- 矿物学及岩石化学特征 [J]. *云南地质*, 19(3): 207~ 231.
- 胡瑞忠, 毕献武, 邵树勋, 等. 1997. 云南马厂箐铜矿氩同位素组成研究 [J]. *科学通报*, 42(14): 1542~ 1545.
- 李齐, 陈文奇, 万景林, 等. 2000. 哀牢山- 红河剪切带构造抬升和运动形式转换时间的最新证据 [J]. *中国科学(D 辑)*, 30(6): 576~ 583.
- 吕伯西, 钱祥贵. 2000. 滇西三江地区新生代碱性系列岩浆岩构造类型 [J]. *云南地质*, 19(3): 232~ 243.
- 吕伯西, 王增, 张能德, 等. 1993. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性 [M]. 北京: 地质出版社.
- 骆耀南, 俞如龙. 2001. 龙门山- 锦屏山陆内造山带喜马拉雅期构造- 岩浆作用主要特征及其动力学模式 [A]. 陈毓川. 喜马拉雅期内生矿作用研究 [C]. 北京: 地质出版社, 88~ 95.
- 米士 P. 1947. 丽江地质志 [M]. 李璞译. 北京: 国立北京大学.
- 莫宣学, 路风香, 沈上越, 等. 1993. 三江特提斯火山作用与成矿 [M]. 北京: 地质出版社.
- 莫宣学. 1992. 我国西部造山带火山岩研究中的一些问题 [A]. 中国地质大学岩石教研室. 岩石学论文集 [C]. 武汉: 中国地质大学出版社. 47~ 55.
- 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 等. 1983. 中国斑岩铜(钼)矿 [M]. 北京: 地质出版社.

- 沙绍礼. 1998. 点苍山变质带基本特征[J]. 云南地质, 17(1): 1~ 16.
- 沈敢富, 吕伯西. 2000. 西南三江地区新生代侵入岩的成岩与成矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 涂光炽. 1982. 华南两个富碱侵入岩带的初步研究[A]. 中国科学院贵阳地球化学研究所年报[C]. 贵阳: 贵州人民出版社, 127~ 129.
- 涂光炽. 1989. 关于富碱侵入岩[J]. 矿产与地质, 3(3): 1~ 4.
- 王登红, 杨建民, 薛春纪, 等. 2001. 西南三江- 大渡河地区喜马拉雅期金成矿作用同位素年代学证据[A]. 陈毓川. 喜马拉雅期内生成矿作用研究[C]. 北京: 地质出版社, 84~ 87 页.
- 魏启荣. 1999. 三江中段火山岩同位素示踪及地球化学分区与成矿[D]. 武汉: 中国地质大学.
- 吴根耀. 1993. 滇西丽江、金平二叠纪玄武岩的对比及其地质意义[J]. 岩石学报, 9(增刊): 63~ 69.
- 吴根耀. 1994. 滇西北地区第三纪的逆冲推覆构造[J]. 大地构造与成矿学, 18(4): 331~ 338.
- 吴根耀. 2000. 造山带地层学[M]. 成都: 四川科学技术出版社.
- 谢应雯, 张玉泉, 涂光炽. 1984. 哀牢山- 金沙江富碱侵入岩带地球化学与成矿专属性初步研究[J]. 昆明工学院院报, 4: 1~ 17.
- 杨建民, 薛春纪, 徐 珏, 等. 2001. 滇西北喜马拉雅期富碱斑岩地质特征及其成矿作用[A]. 陈毓川. 喜马拉雅期内生成矿作用研究[C]. 北京: 地质出版社, 57~ 68 页.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 曾普胜, 杨伟光, 喻学惠. 1999. 滇西富碱斑岩带及其与金矿化的关系[J]. 地球学报, 20(增刊): 367~ 372.
- 曾普胜. 2000. 云南省中甸地区火山侵入杂岩及其与铜金成矿的关系[D]. 北京: 中国地质大学.
- 张连生, 钟大赉, 刘小汉. 1991. 金沙江缝合线与红河- 哀牢山断裂的构造关系[A]. 中国科学院地质研究所岩石圈构造演化开放研究实验室年报(1989- 1990)[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 23~ 25 页.
- 张玉泉, 谢应雯, 李献华, 等. 2000. 青藏高原东部钾玄岩系岩浆岩同位素特征: 岩石成因及其构造意义[J]. 中国科学(D), 30(5): 493~ 498.
- 张玉泉, 谢应雯, 涂光炽. 1987. 哀牢山- 金沙江富碱侵入岩及其与裂谷构造关系的初步研究[J]. 岩石学报, 1: 17~ 25.
- 张玉泉, 谢应雯. 1997. 哀牢山- 金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd, Sr 同位素特征[J]. 中国科学(D), 27(4): 289~ 293.
- 钟大赉, Tapponnier P, 吴海威, 等. 1989. 左行走滑断裂——碰撞后陆内变形的重要形式[J]. 科学通报, (7): 526~ 529.