

## 滇西南那邦变质基性岩地球化学与俯冲板片裂离\*

季建清<sup>1</sup> 钟大赉<sup>2</sup> 陈昌勇<sup>3</sup>

1. 北京大学地质学系, 北京 100871; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

3. 昆明理工大学国土资源系, 昆明 650093

1. Department of Geology, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. Department of Land and Source, Kunming Science and Technology University, Kunming 650093, China

2000-01-10 收稿, 2000-06-28 改回.

Ji Jianqing, Zhong Dalai and Chen Changyong. 2000. Geochemistry and genesis of Nabang metamorphic basalt, southwest Yunnan, China: implications for the subducted slab break-off. *Acta Petrologica Sinica*, 16(3):433~442

**Abstract** The Nabang metamorphic basalt is discovered recently on the border of China and Burma. The major, trace and rare earth element characteristics of Nabang metamorphic basalt have been investigated. All studied rocks are depleted in light rare earth elements (LREE) with  $\Sigma\text{REE} = 24 \sim 50 \mu\text{g/g}$ ,  $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 0.43 \sim 0.75$  the same and  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.45 \sim 0.74$ .  $\text{Ti}_2\text{O}$ , Nb and Ta show that the Nabang metamorphic rocks are different from island-arc basalt as shown by the geochemical diagrams. The Nd-Sr isotope data show a clear signature of a depleted mantle source similar to N-MORB with  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.704 \sim 0.705$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.5129 \sim 0.5132$ ,  $\epsilon_{\text{Nd}} = +4.85 \sim +9.67$ . Combining with its geochronological results and geological background, it can be concluded that the Nabang metamorphic basalt is related to Myitkyina suture, east Burma. The Nabang metamorphic basalt may be an evidence of slab-breakoff of Neo-Tethys subducted upper oceanic crust.

**Key words** Metamorphic basalt, Oceanic relict, Myitkyina suture, Slab break-off, Nabang, West Yunnan

**摘要** 中缅边界那邦麻粒岩相变质基性岩地球化学特征研究表明其原岩是岩浆岩,并具有 MORB 的特性,其岩石化学具有以下特征:岩石的  $\text{TFeO}/\text{MgO}$  值低(1.10~2.17),AFM 图解上显示拉斑玄武岩演化趋势; $\text{TiO}_2$  含量(1.14%~1.81%)高于岛弧拉斑玄武岩。多数微量元素与大洋中脊拉斑玄武岩含量相当,Nd、Ta 值高于岛弧拉斑玄武岩。稀土元素配分图显示轻稀土亏损、重稀土较有富集的配分型式,稀土元素和总量( $\Sigma\text{REE}$ )值十倍于球粒陨石( $24 \sim 50 \mu\text{g/g}$ ),  $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 0.43 \sim 0.75$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.45 \sim 0.74$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.704 \sim 0.705$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.5129 \sim 0.5132$ ,  $\epsilon_{\text{Nd}} = +4.85 \sim +9.67$ 。大地构造背景和年代学研究显示,那邦变质基性岩是先前密支那新特提斯洋壳的上部组成,是俯冲板片裂离作用折返地表的麻粒岩相岩石,对探讨特提斯洋俯冲时限、俯冲洋壳的变质变形作用、俯冲物质的深部运动等都有重要的意义。

**关键词** 变质基性岩; 洋壳残片; 密支那缝合带; 板片裂离; 那邦; 滇西

中图法分类号 P588.346

## 1 引言

与青藏高原同属新特提斯构造域的我国滇西三江及东缅甸地区的大地构造研究中,尽管对东缅密支那缝合带的认

识已有许多侧面的了解(Friedrich,1983; Hutchison,1989),但一直未有系统的研究,有关密支那缝合带的许多问题,包括它封闭前的大洋地壳组成、演化,密支那古洋盆的性质,洋盆的开启和闭合的时限以及它是否是雅鲁藏布江缝合带的南延部分等,一直悬而未决。中缅边界新近发现的归属著名

\* 国家自然科学基金重点项目(49732100)成果。

第一作者简介:季建清,男,1968年生,博士后,岩石学、构造地质学专业。

的 Mogok 变质带的具有 MORB 特性的那邦变质基性岩为认识上述问题提供了切入点。作为洋壳组成的那邦变质基性岩出露于密支那古俯冲带具有岛弧性质的上驮板片的前缘,对揭示板片俯冲过程和其后经受的地质作用历史和特点、探索俯冲带和碰撞造山带深部动力机制等都具有深远的意义。

## 2 地质背景

滇西南的腾冲及其以西地区位于东喜马拉雅东构造结的南侧翼,东以高黎贡大型右旋走滑断裂带与保山地块为邻,西以密支那缝合带与东缅地块相接。受两大碰撞作用影响,在该地区出露了一套与碰撞作用相关的岩浆岩,被认为是西藏冈底斯同碰撞岩浆岩带的东(南)延。

那邦变质基性岩出露于密支那缝合带以东约 45~

60km,中国滇西西缘高山区(海拔多为 1700m 以上)与东缅盆地之间相接的低丘陵区。变质基性岩呈大小不等的透镜体、似层状赋存于具有同碰撞成因的片麻状花岗闪长岩体内,呈近南北的带状分布,大者出露宽度几百米,长约几千米,与围岩接触关系为渐变过渡或截然变化的关系。变质基性岩经历了两期变质作用,早期为麻粒岩相变质作用,主要矿物组合为石榴石+单斜辉石+斜长石(石英,形成石榴辉石岩,变质作用的温压分别是 750 C~860 C、0.8~1.0GPa,变质作用时限为 74~77Ma(钟大赉等,1999;季建清等,2000);后期的变质变形作用使得石榴辉石岩退变为斜长角闪岩,新生斜长石和角闪石线理与后期右行逆冲走滑剪切变形带的线理方向相一致,形成时间为 23Ma 前后,相应温压条件是 640 C~720 C,0.59~0.8GPa(季建清,1998a,b)。

表 1 那邦变质基性岩常量元素( $\times 10^{-2}$ )化学分析结果

Table 1 The major element ( $\times 10^{-2}$ ) analysis of the metamorphic basalt

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
样品	NB-4	NB-4-1	NB-8-1	NB-8-3	NB-8-6	NB-8-5	YJ-51	YJ-51-1
SiO <sub>2</sub>	49.52	49.74	48.05	49.29	48.62	47.96	48.46	48.92
TiO <sub>2</sub>	1.17	1.14	1.81	1.32	1.41	1.25	1.38	1.44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.01	15.13	16.19	16.38	18.95	18.46	15.26	15.85
TFeO	8.66	9.13	12.04	9.23	9.33	10.38	10.81	10.67
MnO	0.14	0.12	0.21	0.17	0.18	0.14	0.16	0.25
MgO	7.84	7.95	6.23	6.33	4.55	4.79	6.04	6.05
CaO	13.08	11.83	11.2	12.33	11.7	11.91	13.33	12.87
Na <sub>2</sub> O	2.14	2.15	2.03	2.44	2.79	2.54	2.31	2.51
K <sub>2</sub> O	0.53	0.54	0.46	0.68	0.81	0.91	0.52	0.40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.09	0.17	0.11	0.12	0.13	0.12	0.08
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.57	—	0.64	0.48	0.40	—	0.22	—
烧失量	0.91	1.61	0.66	0.92	0.79	1.40	0.99	0.68
Total	99.64	99.43	99.69	99.68	99.65	99.82	99.60	99.72
TFeO/MgO	1.10	1.15	1.93	1.46	2.05	2.17	1.79	1.76

注: TFeO=FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

## 3 变质基性岩的地球化学

### 3.1 样品描述和测试

本文运用采自中缅边界的该镇西 5km 的缅甸河谷内,是上述的一宽度达到 2km 的变质基性岩包体的中央部位,YJ-51 与 NB-4/NB-8 系列样品相距约 1km,NB-8 系列样品间距均为 50m±(采样位置和详细地质图参见季建清等,1998a)。样品中石榴石和单斜辉石矿物含量各有不同。

将样品研磨至 30 目粒度,稀盐酸浸泡三小时后低温烘干,玛瑙研磨至 200 目以下粉末。那邦变质基性岩的地球化学分析结果如表 1 和表 2。其中五件常量元素分析样品为中国科学院地质研究所七室 X 荧光分析,三件微量元素和五件稀土元素分析为中国科学院岩石圈开放研究室 ICP-MS 测定。五件样品常量和部分微量元素(NB-4-1, NB-8-5, YJ-51-1)为北京有色冶金设计研究总院矿业测试中心 XRF 方法测试。五件样品(NB-4-1, NB-8-5, YJ-51-1, NB-8-3, NB-8-8)稀土元素为中国科学院高能物理研究所 INAA 分析。

表2 那邦变质基性岩( $\times 10^{-6}$ )微量元素和稀土元素含量分析结果Table 2 The trace element and Rare Earth Element(REE) analysis of the metamorphic rocks( $\times 10^{-6}$ )

样品	NB-4	NB-4-1	NB-8-1	NB-8-3	NB-8-6	NB-8-5	YJ-51	NB-8-7	YJ-51-1	NB-8-8
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ba	47.42	72.8		52.5	78.69	96.9	42.22	73.20		68.4
Rb	5.69	8.4		13.2	13.54	13.1	6.53	11.5		8.33
Sr	132	112		152	142	126	158	138		119
Y	27.86	35		25	29.59	22	30.68	22		21
Zr	69.38	94		76	68.40	60	69.06	74		63
Nb	4.16	6.6		6.2	4.38	4.4	5.29	5.9		4.5
Th	0.18				0.23		0.20			
Pb	1.98				8.31		2.95			
Ni		74		147		89		60		94
V		283		254		202		270		244
Cr		234		354		386		360		332
Hf	1.41	3.57		2.55	1.47	2.67	1.88	3.03		2.16
Cs	0.22				0.18		0.13			
Ta	0.22	0.36		nd	0.25	nd	0.33	0.45		0.21
Co		40		34		42.7		36		36.8
U	0.18	0.24		0.29	0.21	0.22	0.22	0.46		0.15
Ti/Y	296	370		378	302	459	336	449		399
Zr/Y	2.5	2.7		3.0	2.3	2.73	2.1	3.4		3
La	2.44	2.61	3.04	3.22	3.38	3.46	2.84	2.88	2.59	3.27
Ce	6.89	7.27	7.35	9.30	7.54	9.68	9.25	8.85	8.30	8.69
Pr	1.33		1.41		1.39		1.63		1.42	
Nd	6.79	6.51	7.42	8.22	8.38	7.71	9.32	8.12	8.33	7.49
Sm	3.62	2.51	2.81	3.15	3.71	3.02	3.55	3.20	3.27	3.13
Eu	1.27	1.03	1.13	1.32	1.23	1.17	1.37	1.26	1.15	1.32
Gd	4.11		4.24		3.48		4.67		4.63	
Tb	0.62	0.71	0.73	0.88	0.76	0.96	0.86	0.92	0.80	0.96
Dy	5.22		4.66		5.35		6.31		5.19	
Ho	1.26		1.06		1.14		1.41		1.06	
Er	3.12		2.95		3.25		4.25		3.12	
Tm	0.49		0.47		0.38		0.61		0.48	
Yb	3.03	2.97	3.02	3.51	3.33	3.77	3.25	3.33	3.35	3.54
Lu	0.43	0.44	0.45	0.46	0.49	0.55	0.54	0.45	0.47	0.53
$\Sigma$ REE	38.32		40.69		44.14		50.26		43.60	
(La/Sm) <sub>N</sub>	0.435	0.688	0.698	0.660	0.588	0.740	0.464	0.581	0.511	0.674
(La/Yb) <sub>N</sub>	0.543	0.630	0.679	0.658	0.685	0.658	0.451	0.621	0.744	0.663

XRF 和 INAA 分析的标样主要元素误差 < 5%, 微量元素误差以 Y 较大 (< 25%), 其次为 Co < 15%, Ba, Ni, V, Ta, Lu 和 Eu < 10%, 其余 < 5%; ICP-MS 方法误差大多 < 10%; X 荧光分析 < 8%。

用地球化学方法恢复变质岩原岩的一个必要前提是变质作用是一个等化学过程。高级变质岩原岩性质的恢复一直是变质岩研究中的一个难题。由于缺乏可信的实验岩石学资料, 元素(尤其是微量元素和稀土元素, 甚至是同位素组成)在较高级变质作用过程中的迁移和同位素分馏特性至今难

以确定。对那邦变质基性岩的岩石化学工作, 根据野外观察和室内岩相学研究, 我们考虑了以下因素:

(1) 那邦变质基性岩的围岩花岗闪长岩侵位和捕获变质基性岩的过程并没有引起变质基性岩成分转变和热力变质作用。只是在变质基性岩块边部见有一些混染现象, 出现角闪石、石榴石的重结晶, 本文的采样避开这样的部位。

(2) 那邦变质基性岩的出露岩块规模不同, 地表发现的最大出露宽度近 300m, 除了后期的走滑逆冲剪切变形作用外, 该岩块主体未受周围岩浆岩的影响, 表现为岩块内部仅

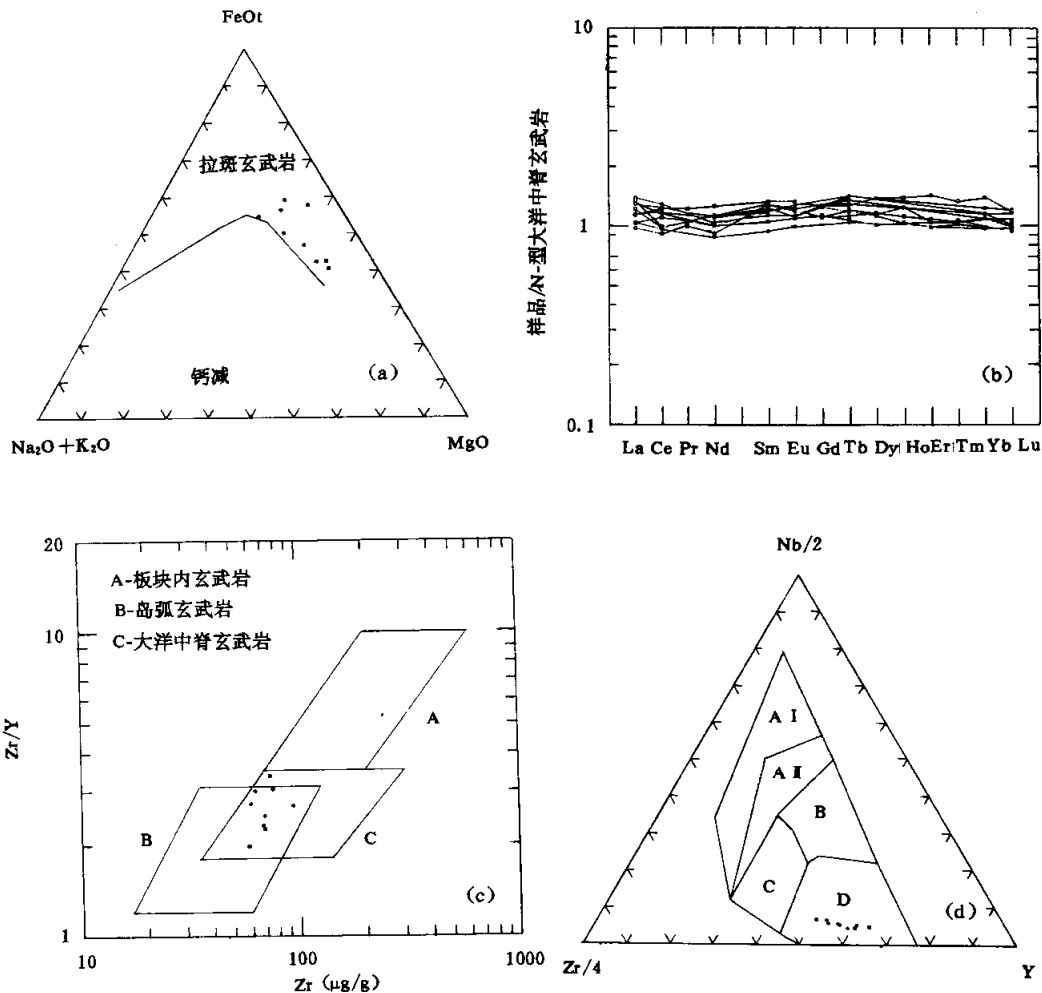


图 1-I 那邦变质基性岩的地球化学图解

1a: Toleiitic-拉斑玄武岩系列; Cala-Alkaline-钙碱性系列; 图 1b: A I、A II WPB, 板内基性岩; B-E-MORB; C-板内拉斑玄武岩; D-N-MORB + IAB; 图 1c-h 中: OFB-大洋玄武岩; ARC-岛弧钙碱性岩浆岩; CAB-钙碱性玄武岩; IAB-岛弧拉斑玄武岩; LKT-低钾拉斑玄武岩

Fig. 1-I Geochemical diagrams of Nabang metamorphic basalt

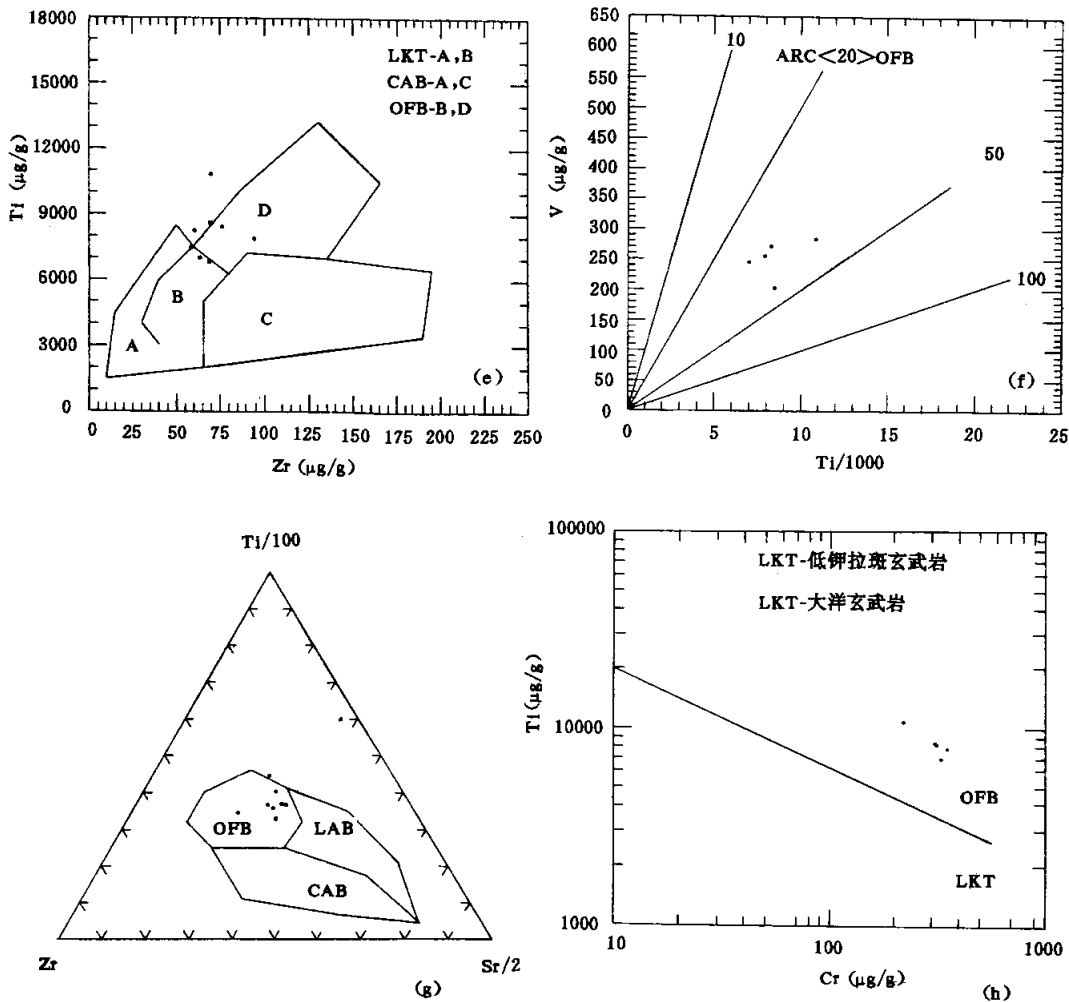


图 1-II 那邦质基性岩的地球化学图解 (图例见图 1-I)

Fig. 1-II Geochemical diagrams of Nabang metamorphic basalt

有沿着脆性断裂后期贯入的花岗质岩脉(K-Ar 年龄 13Ma, 宽度几厘米到 50 厘米不等, 本文)和与剪切变形作用引起的一些小规模原地变异熔体(毫米到厘米级)。采样中, 为避开后期的岩脉和变形的影响, 本文样品采自变质岩块体中央部位。可以认为这些样品受变质作用引起的元素迁移或同位素分馏很弱, 仍属封闭体系, 变质作用的转变近似于等化学过程。

(3) 由于大部分微量元素(Zr, U, Pb, Th, Y, REE 等)和一部分主量元素(FeO\*, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO 等)在变质作用(包括麻粒岩相, 甚至是榴辉岩相)中表现为惰性迁移特征, 即使全岩成分上从变质岩原岩到变质基性岩的转变是一个非等化学的转变, 但这些惰性元素的特征基本上反映了原岩特征。

### 3.2 岩石地球化学

利用主元素和 Ba, Co, Cr, Ni, Nb, Rb, Sr, V, Y, Zr 含量特征, 依据变质岩的元素化学学习性和变质岩的原岩判别方法(图略), 那邦变质基性岩原岩是基性火成岩。作为基性火成岩原岩的那邦变质基性岩在 AFM 图解(图 1a)上显示拉斑玄武岩系列基性岩特性。

变质基性岩还具有以下特征: 岩石的 TFeO/MgO 值低(1.10~2.17), AFM 图解上是拉斑玄武岩; TiO<sub>2</sub> 含量(1.14~1.81%)高于岛弧拉斑玄武岩。多数微量元素与大洋中脊拉斑玄武岩含量相当, Nd, Ta 含量值高于岛弧拉斑玄武岩。

质基性岩的微量元素与大洋中脊拉斑玄武岩相比,除了活动元素如 Cs, Ba, Rb, K 外,多数标准化值接近 1.0。大离子亲石元素(K, Rb, Ba 等)的富集表明那邦变质基性岩不是围岩花岗质岩石形成时熔融的残留。

图 1b 是经过球粒陨石标准化后的稀土元素配分图,显示轻稀土亏损、重稀土富集的配分型式,La, Sm 等元素近十倍于球粒陨石,所有稀土元素都与大洋中脊玄武岩的一致。稀土总量  $\Sigma\text{REE}$  值小,  $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=0.43\sim 0.75$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=0.45$

$\sim 0.74$ , 与现代印度洋中脊玄武岩、阿曼、雅鲁藏布江等地的蛇绿岩中玄武质绿片岩或辉绿岩的稀土特征很相似。也与西班牙西南的 MORB 特性的含石榴石的角闪岩相变质岩相似 (Castro, 1996)。

表 3 是那邦变质基性岩全岩的同位素组成测定结果。它的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值相对于大西洋或太平洋中脊玄武岩的值要稍高,而且它的 Pb 同位素比值也有别于大西洋和太平洋中脊玄武岩的值,但与印度洋中脊玄武岩的 Sr、Pb 同位素比值相仿。

表 3 那邦变质基性岩的同位素组成测定结果

Table 3 Isotopic analysis of the metamorphic rocks

样品号	Rb/Sr	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
YJ-51	0.1219	0.704503	0.2209	0.513137 $\pm$ 8	18.432	15.588	38.547
YJ-51-1	—	—	0.2224	0.513020 $\pm$ 11	—	—	—
NB-4	0.2077	0.704142	0.2228	0.513027 $\pm$ 12	18.454	15.618	38.660
NB-8-1	—	—	0.2097	0.512915 $\pm$ 10	18.251	15.525	38.196
NB-8-6	0.2779	0.704782	0.2211	0.512883 $\pm$ 10	18.551	15.593	38.808
YJ-51-2*	—	0.704286	—	0.513118 $\pm$ 12	—	—	—
YJ-48*	—	0.703668	—	0.512997 $\pm$ 12	18.307	15.645	38.472

注:中国科学院地质研究所同位素室(黄董、许荣华)测定,\*为德国 Tubingen 大学 Fukun Chen 测定样品。

变质基性岩的  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  值较高,  $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$  (4.8~9.6) 为高值。在大地构造上,西藏雅鲁藏布江缝合带与东缅甸境内密支那缝合带相连,那邦变质基性岩若与密支那缝合带消亡洋壳有关,那么以新特提斯洋张开的期限为基性岩形成期,以此求得  $\epsilon_{\text{Nd}}(t=150\text{Ma})$  值为 4.17~9.14, 显示源区的亏损。

变质基性岩的围岩,包括花岗闪长岩、二长花岗岩、与壳幔相互作用有关侵位的尖晶橄榄辉长苏长岩、含橄榄石玄武岩等的稀土元素配分图、Sr, Nd, Pb 的同位素组成与那邦变质基性岩截然不同(季建清, 1998)。

### 3.3 成因构造环境判别

在 Zr/Y-Zr (图 1c) 和 Nb/2-Zr/4-Y (图 1d) 图解上,证明那邦变质基性岩原岩不是板内成因的基性岩; Ti-Zr (图 1e)、V-Ti/1000 (图 1f)、Ti/100-Zr-Sr/2 (图 1g)、Ti-Cr (图 1h) 图解指示那邦变质基性岩的原岩不是与岛弧相关的基性岩。

与大西洋、太平洋的基性岩同位素比值相比,变质基性岩的 Sr、Pb 同位素比值稍高,所有的 Sr、Pb 同位素子体间比值和  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  及 Nd 值域与印度洋的大洋中脊拉斑玄武岩的同位素比值十分相似。在  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  的图解上,投影点位于 DUPAL 异常的区域,并在现代印度洋中脊的玄武岩区 (Mertz, 1991)。此外,那邦变质基性岩  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  和  $\epsilon_{\text{Nd}}$  值与中生代西藏日喀则蛇绿岩、晚古生代滇西双沟蛇

绿岩和新近滇东南发现的八布蛇绿岩相似 (Gopel *et al.*, 1992; 张旗等, 1995; 钟大赉等, 1998)。那邦变质基性岩的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  比值与现代印度洋 MORB 的地幔源区和青藏、三江特提斯洋洋壳岩石的同位素组成相似, 都具特提斯演化时期南半球地幔中的 DUPAL 异常的特征。看来仅仅用原岩形成时同海水发生过交换作用或变质作用等后期因素来解释同位素的特征可能较为笼统, 这其中有特提斯演化时期, 南半球的地幔中 DUPAL 异常大背景的因子 (Dupre *et al.*, 1983)。

## 4 原岩性质的讨论

腾冲地块西边界密支那缝合带是由一系列出露面积较大的白垩世超基性-基性岩岩片显示 (Friedrich, 1983; Hutchison, 1989), 该缝合带是西藏雅鲁藏布蛇绿岩带的南延。东部与之相邻的是与西藏冈底斯同碰撞岩浆岩带同属东亚第三纪巨型岩浆岩带的南部延伸盈江-那邦岩浆岩 (季建清, 1998), 其形成年代约为 45~55Ma (锆石 U-Pb 和  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  初步测试)。那邦变质基性岩呈包体赋存在这一岩浆岩带中。与通常的蛇绿岩相比, 地球化学特征具有 MORB 特性的那邦变质基性岩原岩是否是大洋中脊玄武岩 (MORB) 存在两个论证上的问题: 一是这套岩石岩性较为单一, 没有完整的超基性岩或大洋沉积岩组合 (最近发现有超基性岩的变

质岩),野外产状和岩石组合没有能提供可信的证据;二是那邦变质基性岩经受了麻粒岩相变质作用的改造,它的元素地球化学特征、同位素地球化学是否还能代表原岩性质难以确定。如果不考虑那邦变质基性岩的地球化学特征和年代学结果,仅仅依据其基性岩岩性和经受的变质作用的特点,结合其出露在腾冲地块西缘所处的大地构造背景,那邦变质基性岩可能的地质成因可以推定有以下的情况:

(1)原岩为岛弧拉斑玄武岩,底垫到岛弧地体,即腾冲地块西缘的下地壳,并经过进一步的熔融事件,熔融岩浆抽提后残剩相为石榴辉石岩,经变质变形作用改造成为斜长角闪岩;

(2)腾冲地块西缘在中生代晚期成为岛弧构造环境之前可能有一个麻粒岩相的下地壳,下地壳岩石组合包括变质基性岩,新生代初同碰撞岩浆岩围岩形成的过程中,捕虏变质基性岩为包体,并在后期的变质变形作用中转变为斜长角闪岩;

(3)那邦变质基性岩原岩是 MORB,俯冲过程中发生了麻粒岩相的变质作用,经过一系列机制的转变,为同碰撞岩浆岩围岩捕虏,并抬升到腾冲地块西缘(俯冲带上驮板片的前缘)。

岛弧拉斑玄武岩与大洋拉斑玄武岩的地球化学性质的重要差别在于高场强元素的含量上。与大洋中脊玄武岩相比,岛弧拉斑玄武岩相对于大离子亲石元素和轻稀土元素亏损 Nb、Ta 和 Ti。那邦变质基性岩的  $TiO_2$  含量是 1.17~1.95%,明显高于岛弧拉斑玄武岩的  $TiO_2$  的含量(一般小于 0.9%)。微量元素 Nb(4.4~6.6 $\mu g/g$ )和 Ta(0.3~0.5 $\mu g/g$ )的含量也高于通常的岛弧拉斑玄武岩。另外,前文中的经验判别图解也是一个重要证据。

那邦变质基性岩不可能是老的变质基底岩石。因为如果是老基底岩石下伏于晚古生代沉积岩之下,其变质年龄应该大于 400Ma,即大于晚古生代地层形成以前,但已经获得的早期变质年龄要远远小于 400Ma;并且,作为老基底的麻粒岩通常是多次熔融抽提的结果,其成分应亏损大离子亲石元素,但变质基性岩的微量元素特征不是这样。因此那邦变质基性岩不可能是从下地壳上来的古老基底。

我们倾向那邦变质基性岩是上述的第三种成因,它是与密支那缝合带相关的俯冲消减洋壳被带到近地表的位置,包裹在那邦中缅边界的同碰撞岩浆岩中。地球化学、年代学结果也提供了较为充分的依据。那邦变质基性岩的原岩具有 MORB 特性,但它不一定是大洋中脊玄武岩。具 MORB 特性的基性岩可以产出在多种构造环境,它不仅产在大洋扩张中心,而且还可出现于转换断层、小洋盆、弧后盆地、甚至裂谷环境(张旗,1990)。腾冲地块西缘白垩纪以来一直是会聚的构造环境,盈江-那邦同碰撞岩浆岩带的发育、地球物理资料(臧绍先等,1992;章杰,1989)指示新特提斯洋盆由西向东方向的俯冲,消减的洋壳即使不是大洋洋壳,也应该是消减的小洋盆或弧后洋盆。

## 5 俯冲洋壳裂离作用的岩石学证据

在俯冲带和造山带的研究中,俯冲板片在消亡后,后续地质作用过程对造山带的地质演化具有重要的制约作用。依据造山带岩浆作用、变质作用(尤其针对高压、超高压变质岩)和地壳抬升、地球物理地震层析证据,一系列造山带深部构造模式被提了出来(Sack, 1990; Davies G R *et al.*, 1993; Davies J H, 1995; Blanckenburg, 1995),即俯冲板片的裂离作用。与拆沉作用的模式相似,俯冲板片的裂离作用是俯冲的大洋岩石圈在俯冲过程中,下插的洋壳在温度升高、压力增大的物相转变中榴辉岩化,与软流圈地幔之间形成密度差。一方面,俯冲板片在裂离以前已处于较大的深度,压力和温度较高,经受了高压或超高压的变质作用;另一方面,其中含水矿物发生部分熔融和脱流体作用,携带的大离子亲石元素、轻稀土和大量地壳组分的熔融体与流体上侵,引起上驮地幔楔的活化熔融、物质交换,形成同碰撞岩浆岩。俯冲板片在下伏软流圈地幔对流作用、密度差引起向下的拖曳力,还有地幔上涌体热抬升上浮力的作用,以及板片上部密度小的浮力间相互作用,在俯冲板片薄弱的部位发生裂开,直至断离,下伏的软流圈上涌,温度升高,引起地壳的大规模熔融,岩浆岩的底侵作用、火山活动、上部地壳的构造伸张、中低压高温变质作用、上部地壳的快速隆起。同时,俯冲板片的上部洋壳组成(在俯冲过程中经历了高压或超高压变质作用)由于突然失去了向下的拖曳力,在浮力等因素的综合作用下,反弹折返回地表,成为多在造山带中有出露的超高压变质地体。裂离形成的下插板片进一步扰动软流圈地幔,引起更强的热流,促成地壳的进一步熔融和岩浆岩的形成。

对一个造山作用的时间域而言,俯冲板片的裂离作用时间域相对较为短暂,但对造山带物质组成、构造演化、盆地形成等却有重要制约作用。造山带中要识别裂离作用需有精确定年年代学工作的界定。一般地,因由地壳的拉伸构造发育特点,俯冲板片裂离作用的时间域应该是 5~10Ma。俯冲的大洋岩石圈在怎样的深度发生裂离作用,受多种边界条件的制约。Davies *et al.* (1995)在对俯冲板片裂离作用的数值模拟中考虑到的主要边界因素较为完整,包括俯冲带地温结构、俯冲板片的强度、俯冲角度、俯冲速率、与俯冲板片相连的大陆地壳的上浮力和板片裂离的时间域等因素。

Chemenda *et al.* (1993, 1995, 1996)的物理模型的模拟实验表明,裂离始于整个岩石圈上部地壳的拆离作用,在高的挤压应力条件下,俯冲板片内部有较小的拉伸作用,板片的裂离的深度较大,一般达到 150km 的深度;在低挤压应力的条件下,俯冲板片内部的拉伸应力大,引起板片裂离的深度较小,一般在 35~45km 左右。西藏的喜马拉雅地区即是高挤压应力环境,而 Oman 地区则是低挤压应力的环境,腾冲地块西缘与密支那相关的洋壳的俯冲应该是一个低挤压应力环境。





45km 以上的深度曾有俯冲板片的裂离作用,随后与裂离作用有关的同碰撞花岗岩闪长岩围岩一起,受裂离作用诱发的热动力作用,发生快速抬升,并出露在俯冲带上驮板片的“构造窗”部位。我们知道,岛弧地体中未曾有过洋壳残片出露的报道,而那邦 MORB 特性的变质岩包体的出现正是俯冲洋壳消亡后深部板片发生裂离作用的岩石学证据,这将为探讨洋壳俯冲和岛弧形成的深部物质运动过程提供了研究途径。

图 2 是那邦变质基性岩的成因模式。

(1) >80Ma:白垩纪新特提斯洋消减阶段,印度大陆的向北运动,它与欧亚大陆间的洋壳向北消减。与密支那缝合带相关的洋壳俯冲到当时已经拼接到欧亚大陆上的腾冲地块之下。

(2) 75Ma 左右,已经俯冲到约 45km 的相当于下地壳或壳幔混合层深度的位置,俯冲的洋壳发生脱水作用和麻粒岩相变质作用,即记录在那邦变质基性岩中的早期变质作用。

(3) 随着两大陆的进一步汇聚,俯冲洋壳的变质作用程度进一步加深,在更深的深度可能还有榴辉岩相变质作用,俯冲洋壳板片内部因为弯曲变形等因素发生内部层与层之间的拆离作用,尤其是俯冲洋壳的上部洋壳层位发生相互间的拆离,也由于当时的腾冲地块的壳幔混合层对俯冲洋壳 35~45km 深度的影响,使得该部位成为俯冲洋壳的薄弱部位。

(4) 约 55—45Ma,由于腾冲地块不在印度大陆向北运动的正向部位,与 Chemenda *et al.* (1996) 的物理模拟相一致,俯冲洋壳上部层位首先在 35~45km 的深度发生断离,并受腾冲地块的向上推挤,开始向上运动。整个俯冲板片随后也发生裂离,以下的俯冲洋壳继续向下运动,而上部的俯冲物质向上折返。由于俯冲板片的裂离,下伏的软流圈地幔上涌,带来热物质,引起俯冲带附近的地幔楔和下地壳发生地温结构的巨大变化,大规模的熔融事件发生,盈江-那邦岛弧型岩浆岩带的形成就在这个阶段。并且源自软流圈地幔上涌的热作用引起该地区的地壳抬升等。

(5) 两大陆拼帖后,约 23Ma 前后的地块的旋转和大型右旋走滑运动和使得裂离的洋壳随花岗岩出露在腾冲地块的西缘,并在变形中又遭受了高角闪岩相的变质变形作用的改造,约 6~8Ma 快速抬升出露在上驮板片的构造窗部位。

致谢 感谢云南省盈江县那邦镇派出所于仕伟在野外期间的帮助。

## References

Biino G G, Marquer D, Nussbaum C H. 1997. Alpine and pre-Alpine subduction events in polycyclic basements of the Swiss Alps. *Geology*, 25:751~754

Blanckenburg F, von Davies J H. 1995. A model for syncollisional magmatism and tectonics in Alps. *Tectonics*, 14:120~131

Castro A, Fernandez C, Jesus D, de la Rosa *et al.* 1996.

Significance of MORB-derived amphibolites from the Aracena Metamorphic Belt, Southwest Spain. *Journal of Petrology*, 37: 235~260

Chemenda A I, Mattauer M, Bokumb A N. 1996. Continental subduction and a mechanism of exhumation of high-pressure metamorphic rocks: new modelling and field data from Oman. *Earth and Planetary Science Letters*, 143:173~182

Chemenda A I, Mattauer M, Bokun A N. 1995. A mechanism for syn-collisional deep rock exhumation and associated normal faulting: results from physical modelling. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 132:225~232

Chemenda A I. 1993. Subduction of lithosphere and back-arc dynamics: insights from physical modelling. *Journal of Geophysical Research*, 98:16167~16185

Davies J H, von Blanckenburg F. 1995. Slab break-off: A model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 129:85~102

Dupre B and Allegre C J. 1983. Pb-Sr isotope variation in Indian Ocean basalts and mixing phenomena. *Nature*, 303: 142~146

Friedrich B. 1983. *Geology of Burma*, Berlin: Gebruder Borntraeger, 44~147

Gopel C, Allegre C J and Xu Ronghua. 1992. Lead isotopic study in the Xigaze ophiolite (Tibet): the problem of the relationship between magmatites (gabbros, dolerites, lavas and tectonites, harzburgites). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 69:301~310

Hutchison C S. 1989. *Geological Evolution of South-east Asia*. Oxford: Clarendon Press: 3~314

Ji Jianqing, Zhong Dalai and Ding Lin *et al.* 1998. Study on metamorphism of granulite-facies metamorphic rocks discovered in the Nabang area from the border of China and Burma. *Acta Petrologica Sinica*. 14(2): 163~175 (in Chinese with English abstract)

Ji Jianqing. 1998. Petrology and Cenozoic lithospheric tectonic evolution of Tengchong-Yingjiang-Nabang area, west Yunnan, south-west China. Institute of Geology, CAS: Ph. D dissertation 33~57 (in Chinese with English abstract)

Ji Jianqing, Zhong Dalai, Shang Haiqing, Qiu Ji and Hu Shiling. 2000. Dating of two metamorphic events on the basaltgranulite from the Nabang area on the border of China and Burma. *Acta Petrologica Sinica*, 16(2): 227~232 (in Chinese with English abstract)

Mertz D F, Devey C W, Todt W *et al.* 1991. Sr-Nd -Pb isotope evidences against plume-asthenosphere mixing north of Iceland. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 76:243~255

Widiyantoro S and Rob van der Hilst. 1996. Structure and evolution of lithospheric slab beneath the Sunda Arc, Indonesia. *Science*, 271:1566~1570

Zang Shaoxian, Wu Zhongliang and Ning Jieyuan. 1992. The interaction of plates around China and its effect on the stress field in China, Part II: The influence of Indian plate. *Acta*

Geophysica Sinica, 35(4): 428~440(in Chinese with English abstract)

Zhong Dalai, Wu Genyao, Ji Jianqing *et al.* 1999. Discovery of ophiolite in southeast Yunnan, China. Chinese Science Bulletin, 44(1): 35~42

#### 附中文参考文献

季建清, 钟大赉, 丁林. 1998a. 中缅边界那邦变质基性岩的发现及其变质作用研究. 岩石学报, 14(2): 163~175

季建清. 1998b. 滇西南腾冲-盈江-那邦地区岩石学与新生代岩石圈

构造演化. [博士学位论文]. 北京:中国科学院地质研究所

季建清, 钟大赉, 桑海清, 裘冀, 胡世玲. 2000. 滇西南那邦变质基性岩两期变质作用的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究. 岩石学报, 16(2): 227~232

张旗. 1990. 如何正确使用玄武岩判别图. 岩石学报, 6(1):87~95

臧绍先, 吴忠良, 宁杰远. 1992. 中国周边板块的相互作用及其对中国应力场的影响-(II)印度板块的影响. 地球物理学报, 35: 428~440

章杰, 臧绍先. 1989. 中、缅、印交界地区的地震分布特征及震源机制解的研究. 地震学报, 8:240~253