

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

扬子地台西缘盐边群玄武质岩石地球化学特征 及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄

杜利林^{1,2)}, 耿元生²⁾, 杨崇辉²⁾, 王新社²⁾, 任留东²⁾, 周喜文²⁾, 石玉若^{2,3)}, 杨铸生⁴⁾

1) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029; 2) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037

3) 北京离子探针中心, 100037; 4) 四川省地质矿产厅攀西地质大队, 四川西昌, 615000

内容提要:选择盐边群底部荒田组玄武质岩石(原划为蛇绿岩), 通过岩石化学和微量元素地球化学研究, 认为盐边群玄武质岩石可能形成于弧后盆地环境; 通过 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究, 获得玄武质岩石岩浆结晶年龄为 782 ± 53 Ma, 其形成时代为新元古代。同时获得其中继承性变质锆石年龄为 1837 ± 14 Ma。变质锆石年龄可能代表扬子地台西缘变质基底年龄, 证明扬子地台西缘可能存在古元古代变质基底。

关键词:盐边群; 玄武质岩石; 离子探针; 弧后盆地; 新元古代

四川境内的扬子地台基底分为结晶基底与褶皱基底(四川省地质矿产局, 1991)。盐边群作为褶皱基底的一部分, 前人曾进行过大量研究工作(李继亮, 1981, 1984; 李继亮等, 1983; 骆耀南, 1983, 1985; 赖明宗, 1983; 从柏林, 1988; 李复汉等, 1988; 刘朝基等, 1988; 孙传敏, 1994a, 1994b)。对盐边群中的基性岩曾提出了蛇绿岩(李继亮等, 1983; 骆耀南, 1983, 1985; 赖明宗, 1983; 李继亮, 1984; 孙传敏, 1994a, 1994b)、岛弧玄武岩(从柏林, 1988; 刘朝基等, 1988; 张旗等, 2001; 沈渭洲等, 2003)和地幔柱(朱维光等, 2004)等不同的成因认识。形成时代上, 较早的同位素资料皆反映其形成于中元古代(李继亮, 1981; 李复汉等, 1988)。近年来, 围绕着扬子地台西缘开展了许多同位素年代学研究, 原认为形成于新太古代—古元古代的康定杂岩被证明形成于新元古代(Zhou et al., 2002; Li et al., 2003; 陈岳龙等, 2004)。同时, 原划为盐边群蛇绿岩的“层状堆晶岩”也分别获得了 840 Ma(朱维光等, 2004)和 936 Ma(沈渭洲等, 2003)的同位素年龄。因而, 盐边群的形成时代、形成环境, 是有待解决的重要科学问题。

本次工作针对近年来研究相对较少的盐边群底部荒田组玄武质岩石进行了地球化学研究, 并结合 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学工作, 对其形成的构造背景和形成时代提出了一些不同认识。

1 地质背景

盐边群主要出露于磨盘山断裂以西, 金河—箐河断裂东南(李继亮, 1984), 自下而上划分为荒田组、渔门组、小坪组和乍古组(四川省地质矿产局, 1991)。荒田组主要为变质玄武岩, 夹变质凝灰岩和硅质板岩、碧玉岩等, 其中变质玄武岩多为块状构造, 并见有海底喷溢的枕状构造和气孔、杏仁状构造(陈智梁等, 1987)。本次工作主要沿着攀枝花至渔门公路进行。玄武岩野外呈灰绿色, 致密块状构造, 已发生轻微蚀变, 部分地段出露有褐色斑点状玄武岩。玄武岩上部与其平行不整合接触的为渔门组板岩, 具类复理石沉积特征(四川省地质矿产局, 1991)。采样位置见图 1, 具体采样点坐标为: CX107-3(N: $26^{\circ}51.946'$, E: $101^{\circ}31.116'$); CX108-1(N: $26^{\circ}51.500'$, E: $101^{\circ}30.982'$); CX109-1、CX109-3、CX109-4(N: $26^{\circ}51.186'$, E: $101^{\circ}31.045'$)。

2 岩相学特征

镜下玄武岩样品(CX107-3、CX109-1、CX109-3、CX109-4)主要由透闪石、绿泥石、斜长石、绿帘石和少量的钛铁矿(或白钛矿)组成, 具变熔结凝灰结构。透闪石和绿泥石组成矿物集合体, 含量从 30%~50%不等, 定向排列, 但形态不规则, 可能代表变

注: 本文为中国地质调查局地质调查项目(编号 200313000061)资助的成果。

收稿日期: 2005-02-02; 改回日期: 2005-08-10; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 杜利林, 男, 1973 年生, 助理研究员。从事变质岩石学和岩石地球化学研究。通讯地址: 100037, 北京阜外百万庄 26 号, 中国地质科学院地质研究所; Email: dulilin7310@cags.net.cn。

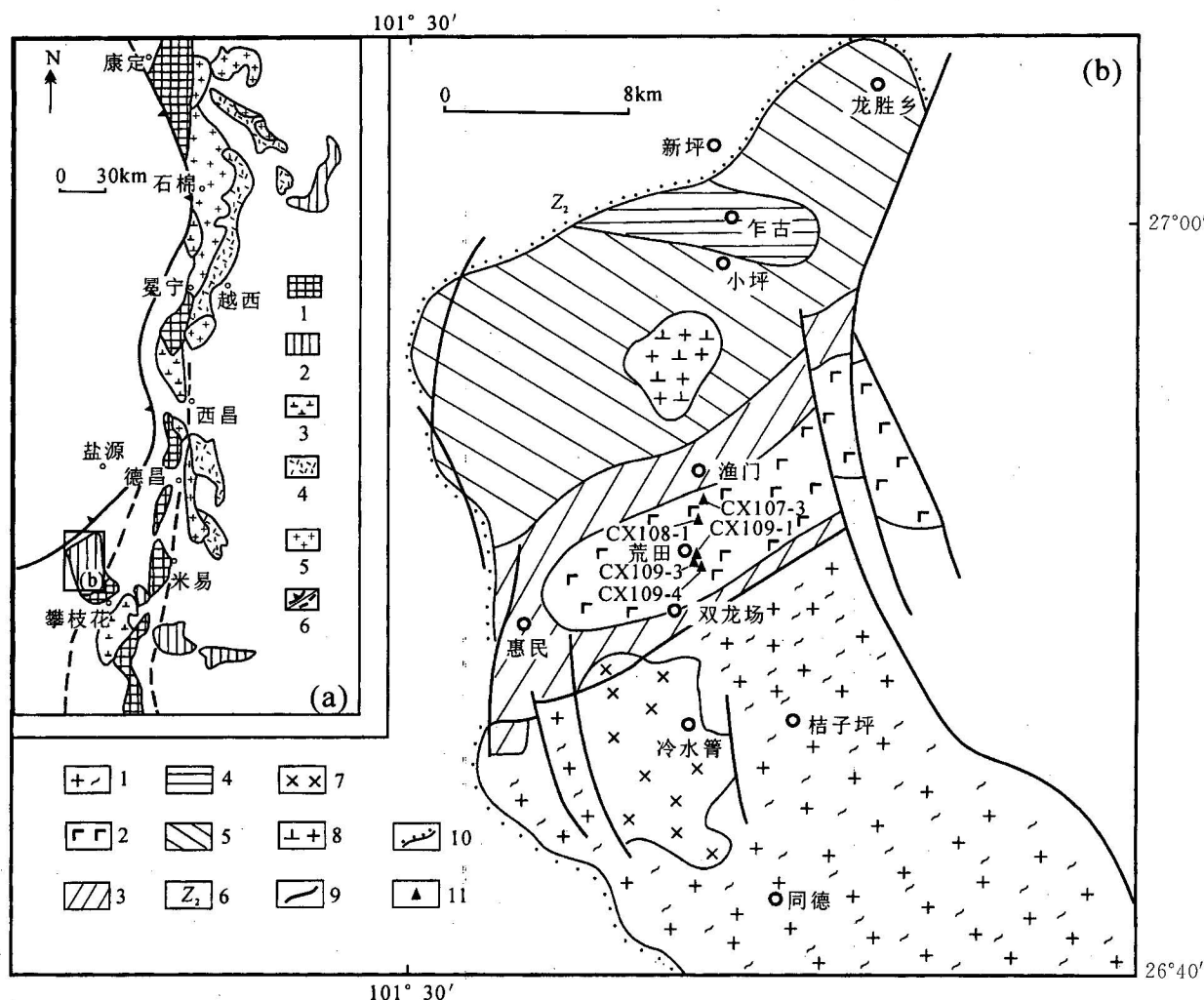


图 1 川西盐边群地质略图(据李复汉等,1988 简化和修改)

Fig. 1 Geological map of Yanbian Group in Western Sichuan (modified after Li F H et al, 1988)

(a): 1—康定群; 2—会理群/峨边群/盐边群; 3—石英闪长岩; 4—苏雄组; 5—新元古代花岗岩; 6—逆断层/推测断层; (b): 1—康定群; 2—荒田组; 3—渔门组; 4—乍古组; 5—小坪组; 6—上震旦统; 7—冷水箐杂岩; 8—花岗闪长岩; 9—断层; 10—不整合面; 11—采样点
(a): 1—Kangding Group; 2—Huili Group/E'bian Group/Yanbian Group; 3—quartz diorite; 4—Suxiong Formation; 5—Neoproterozoic granite; 6—overthrust fault/inferred fault; (b): 1—Kangding Group; 2—Huangtian Formation; 3—Yumen Formation; 4—Zhagu Formation; 5—Xiaoping Formation; 6—Upper Sinian; 7—Lengshuiqing complex; 8—granodiorite; 9—fault; 10—unconformity; 11—sampling locality

质前的塑性晶屑或岩屑形态; 基质具交织结构, 主要由微晶斜长石和基性玻璃质组成, 绿帘石化、绿泥石化强烈; 钛铁矿含量小于 5%。在 CX108-1 样品中, 镜下主要组成矿物由板状基性斜长石、隐晶质基质和基性玻璃质组成, 具间隐结构。斜长石排列不规则, 长可达 1 mm, 其间充填有隐晶质基质或基性玻璃质, 局部黑云母化和绿泥石化较强烈。同时, 镜下该样品中的钛铁矿含量稍高, 可达 5%~8% 左右。

根据岩相学初步观察认为, 该组样品中大多不具备典型玄武岩的结构, 结合下面的岩石化学分析结果, 暂将这些样品定名为玄武质岩石。

3 地球化学特征

地球化学分析样品被磨碎至 200 目以下。分析在中国地质科学院国家地质测试中心完成; 主量元素和 Nb、Zr、Rb、Sr、Ba、Ga、Pb、V 利用 X 荧光光谱仪测定, 分析误差为 3%~5%; 稀土元素和 Y、Cr、Ni、Co、Sc、Ta、Th、U、Hf 利用 ICP-MS 测定, 分析误差为 3%~8%。分析结果见表 1。

玄武质岩石的 SiO_2 为 46.52%~48.88%, MgO 为 4.07%~8.26%, TiO_2 为 1.39%~3.11%, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 为 2.52%~4.02%。岩石化学分析中

表 1 盐边群玄武质岩石地球化学分析表

Table 1 Geochemical analysis of basalts from

Yanbian Group

样品号	CX107 -3	CX108 -1	CX109 -1	CX109 -3	CX109 -4	9915 *	9933 *	9934 *
SiO ₂	48.56	48.88	46.52	47.63	48.12	48.13	48.19	48.12
TiO ₂	1.88	3.11	1.87	1.47	1.39	1.99	1.86	2.00
Al ₂ O ₃	13.74	11.84	13.79	14.82	14.99	12.59	12.39	12.59
Fe ₂ O ₃	5.50	7.34	3.44	4.41	3.30	5.06	4.53	4.45
FeO	7.17	8.07	8.70	7.67	8.42	8.75	9.91	9.87
MnO	0.22	0.29	0.27	0.22	0.20	0.19	0.21	0.21
MgO	6.40	4.07	7.64	7.94	8.26	7.49	7.56	7.62
CaO	9.09	6.65	10.33	8.82	7.18	7.78	7.19	7.43
Na ₂ O	2.61	3.64	1.72	2.93	3.31	3.27	3.15	3.17
K ₂ O	0.75	0.38	0.80	0.21	0.48	0.46	0.47	0.46
P ₂ O ₅	0.22	0.51	0.23	0.18	0.16	0.33	0.33	0.30
H ₂ O ⁺	3.38	3.44	3.46	3.36	3.50			
CO ₂	0.21	1.44	0.56	0.30	0.12			
total	99.52	99.66	99.33	99.96	99.43			
LOI	2.89	3.91	3.19	2.87	3.07	3.43	3.99	3.97
La	8.26	18.0	8.02	6.18	5.86	10.17	10.12	10.32
Ce	20.3	44.9	20.4	15.5	14.4	27.79	27.29	28.25
Pr	3.08	6.81	3.18	2.36	2.23	3.705	3.888	3.905
Nd	15.6	32.8	15.8	12.0	10.9	20.05	19.96	19.85
Sm	4.84	9.70	4.65	3.51	3.32	5.962	6.009	5.950
Eu	1.70	3.02	1.61	1.39	1.18	2.291	2.332	2.325
Gd	5.8	10.5	5.27	4.17	3.73	7.036	6.924	6.799
Tb	1.03	1.91	0.98	0.74	0.68	1.278	1.363	1.270
Dy	6.75	12.2	6.36	5.12	4.47	8.213	8.207	7.994
Ho	1.45	2.41	1.29	1.06	0.86	1.679	1.643	1.633
Er	4.23	6.67	3.66	3.08	2.44	4.455	4.461	4.225
Tm	0.60	0.88	0.50	0.44	0.33	0.632	0.630	0.647
Yb	3.97	5.18	2.83	2.77	2.03	3.962	3.866	4.134
Lu	0.61	0.66	0.37	0.41	0.28	0.579	0.580	0.589
V	329	292	311	281	281			
Cr	120	5.29	300	259	317			
Co	35.9	34.2	39.5	42.9	37.8			
Ni	47.1	4.29	72.1	69.2	74.2			
Ga	17.6	22.4	18.6	18.3	17	18.62	18.02	17.89
Rb	15.5	13.3	11.7	7.78	11.2	6.511	5.510	5.864
Sr	203	223	247	324	174	192.9	206.2	214.2
Ba	159	475	255	62.4	109	464.2	449.8	463.1
Th	0.44	0.65	0.43	0.59	0.47	0.527	0.537	0.547
Sc	49.7	39.0	48.9	46.6	45.9	51.97	53.47	54.76
Pb	5.41	4.11	6.02	7.03	3.30			
U	0.15	0.19	0.13	0.17	0.07	0.116	0.095	0.077
Zr	126	289	136	91.4	83.7	75.49	84.25	82.35
Nb	6.4	11.5	6.5	6.3	5.0	3.990	4.087	4.138
Hf	3.69	7.49	3.66	2.56	2.36	2.554	2.430	2.475
Ta	0.28	0.57	0.31	0.19	0.20	0.733	0.358	0.387
Y	37.3	68.7	35.7	28	24.7	41.97	42.58	43.54

注: * 为盐边群玄武岩样品,引自沈渭洲等,2003;分析单位:主量元素为%,稀土元素和微量元素为 $\times 10^{-6}$ 。

(表 1),玄武质岩石的烧失量为 2.87%~3.99%,表明样品受到较强的蚀变作用影响,活动性组分 K、

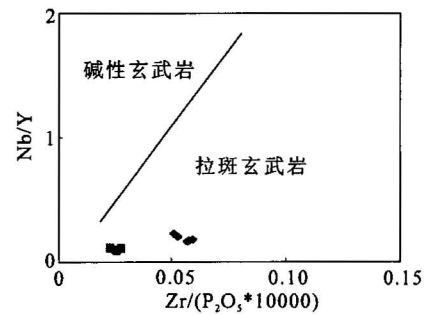
图 2 盐边群玄武质岩石 Nb/Y-Zr/P₂O₅ 分类图

Fig. 2 Nb/Y-Zr/P₂O₅ classification on basalt of Yanbian Group

◆—表 1 中 CX107-3~CX109-4 五个样品;■—表 1 中 9915~9934 三个样品

◆—Five samples from CX107-3 to CX109-4 in the table 1;

■—three samples from 9915 to 9934 in the table 1

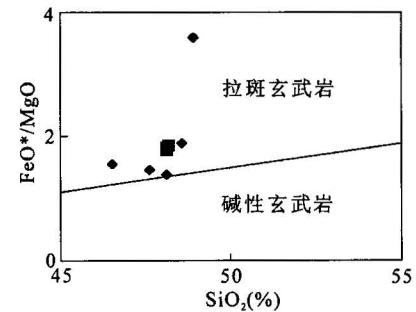
图 3 盐边群玄武质岩石 SiO₂-FeO^{*}/MgO 分类图

Fig. 3 SiO₂-FeO^{*}/MgO classification on basalt of Yanbian Group

◆—表 1 中 CX107-3~CX109-4 五个样品;■—表 1 中 9915~9934 三个样品

◆—Five samples from CX107-3 to CX109-4 in the table 1;

■—three samples from 9915 to 9934 in the table 1

Na 可能发生一定的迁移,因而可能会对岩石分类有影响。采用惰性组分分类图解 Nb/Y-Zr/P₂O₅ 判定 (Winchester et al., 1976),荒田组玄武质岩石位于拉斑玄武岩区(图 2)。用 SiO₂-FeO^{*}/MgO 图解进一步区分钙碱性和拉斑玄武岩 (Miyashiro, 1974),所有的玄武岩样品皆投于拉斑玄武岩区(图 3)。

荒田组玄武质岩石稀土元素总量低,一般在 $53 \times 10^{-6} \sim 98 \times 10^{-6}$ 之间,而样品 CX108-1 稀土总量偏高,为 156×10^{-6} 。在稀土元素球粒陨石标准化配分图解中(图 4),轻稀土相对略微富集,显示平坦或略具右倾的稀土分配模式, Eu 异常不明显,类似于

洋中脊玄武岩(Saunders, 1983)、弧后盆地玄武岩(Saunders et al., 1979; 高永军等, 2000; 田丽艳等, 2003)和岛弧拉斑玄武岩(万渝生等, 1997), 而与轻稀土富集, 轻重稀土强烈分异的洋岛玄武岩差别明显(Sun et al., 1989)。同时, 在球粒陨石标准化配分图解中(图 4), 从 CX109-4 至 CX108-1 稀土总量有一定的变化, 但各样品稀土配分模式相似, 分配曲线近于平行, 显示出结晶分异的演化特征。在 La/Sm-La 图解中(图略), 也显示分离结晶作用的趋势。

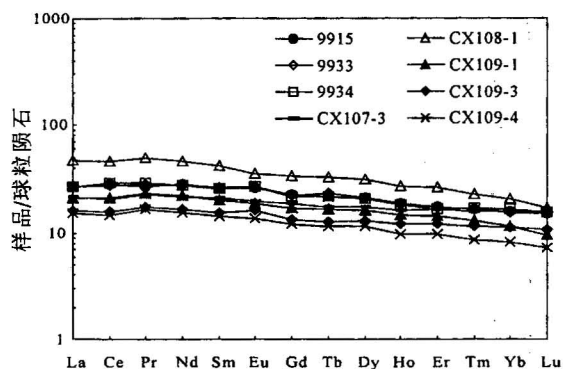


图 4 盐边群玄武质岩石稀土配分图解
(标准化值为 Leedeey 球粒陨石, 引自王仁民等, 1987)

Fig. 4 REE distribution patterns on basalt of Yanbian Group (normalizing data are Leedeey's Chondrite from Wang Renmin et al., 1987)

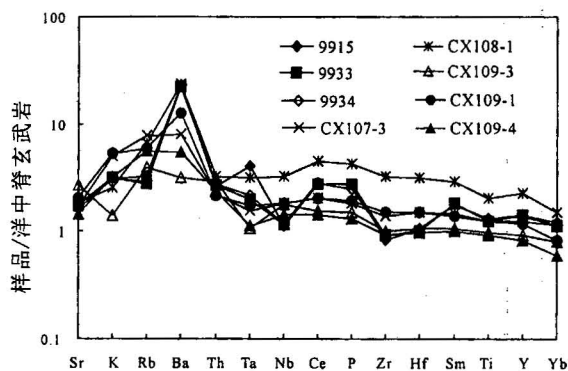


图 5 盐边群玄武质岩石微量元素配分图解
(标准化值引自王仁民等, 1987)

Fig. 5 Trace elements distribution patterns on basalt of Yanbian Group
(normalizing data from Wang Renmin et al., 1987)

玄武质岩石微量元素中(样品 CX107-3、CX109-1、CX109-3、CX109-4), 相容性元素 V、Cr、Co、Ni 普遍相对较高(而 CX108-1 中 Cr、Ni 相对其

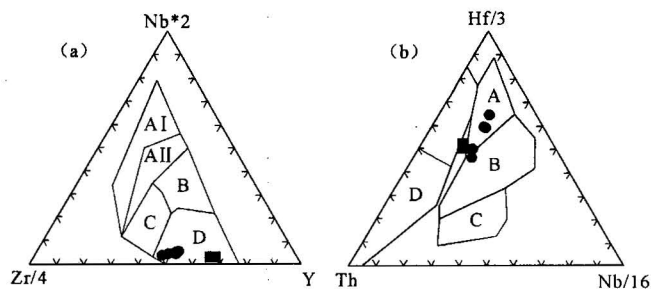


图 6 盐边群玄武质岩石构造环境判别图

Fig. 6 Identification diagrams of tectonic setting on basalt of Yanbian Group

(a): 引自 Meschede, 1986; A I—板内碱性玄武岩; A II—板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩; B—富集型洋中脊玄武岩; C—板内拉斑玄武岩和火山玄武岩; D—正常型洋中脊玄武岩和火山玄武岩; (b): 引自 Wood, 1980; A—正常洋中脊玄武岩; B—富集型洋中脊和板内玄武岩; C—板内碱性玄武岩; D—岛弧拉斑玄武岩; ●—表 1 中 CX107-3~CX109-4 五个样品; ■—表 1 中 9915~9934 三个样品

(a): Tectonic setting discrimination of Zr/4-Y-Nb * 2 for basalt (after Meschede, 1986); A I—within plate alkalic basalt; A II—within plate alkalic basalt and tholeiite; B—enriched middle oceanic ridge basalt; C—within plate tholeiite and volcanic arc basalt; D—normal middle oceanic ridge basalt and volcanic arc basalt; (b): tectonic setting discrimination of Th-Nb/16-Hf/3 for basalt (after Wood, 1980); A—normal middle oceanic ridge basalt; B—enriched middle oceanic ridge basalt and within plate basalt; C—within plate alkalic basalt; D— island arc tholeiite; ●—five samples from CX107-3 to CX109-4 in the table 1; ■—three samples from 9915 to 9934 in the table 1

他样品低), 高场强元素相对于 N-型洋中脊玄武岩(MORB)含量相当或略高(其中 CX108-1 中 Nb、Ta、Zr、Hf 相对其他样品明显增高)。在 N-MORB 标准化配分图解中(图 5), 大离子亲石元素相对略微富集, 但高场强元素分布趋势平坦, 并无明显的亏损, 类似于洋中脊玄武岩和弧后盆地玄武岩特征(Keleman et al., 1990)。样品 CX107-3、CX109-4 中具轻微的 Ta 负异常, 可能与受到少量中下地壳物质污染有关, 与典型的岛弧玄武岩不同。在玄武岩样品(9915、9933、9934)中, 具明显的 Nb(部分 Ta)、Zr、Hf 负异常, 叠加了部分岛弧拉斑玄武岩特征。在玄武岩构造环境判别图解 Zr/4-Y-Nb * 2 中(图 6a), 各样品点分别投于正常洋中脊玄武岩区; 在 Th-Nb/16-Hf/3 图解中(图 6b), 部分玄武岩样品投于洋中脊玄武岩区, 而部分投于洋中脊玄武岩与岛弧拉斑玄武岩的过渡区域。

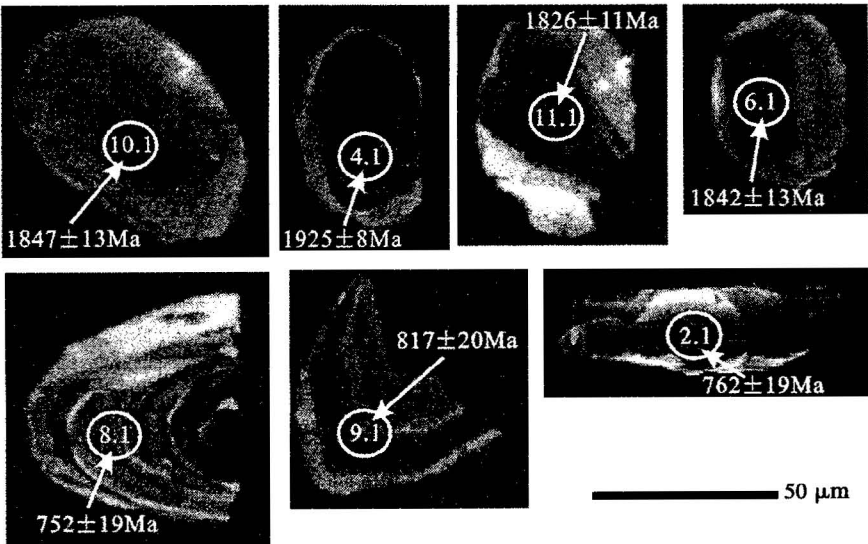


图 7 盐边群玄武质岩锆石阴极发光图像
Fig. 7 CL images of zircons on basalt of Yanbian Group

表 2 盐边群玄武岩锆石离子探针分析表
Table 2 SHRIMP zircon analysis on basalt from Yanbian Group

样点号	²⁰⁶ Pb _c (%)	U (×10 ⁻⁶)	Th (×10 ⁻⁶)	²³² Th ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* (×10 ⁻⁶)	²⁰⁶ Pb ²³⁸ U 年龄(Ma)	²⁰⁷ Pb ²⁰⁶ Pb 年龄(Ma)	不谐 和性 (%)	²⁰⁷ Pb* ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb* ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb* ²³⁸ U	±%	误差 相关性
CX109-4-1.1	4.10	119	110	0.95	6.52	383 ±12	1310 ±1100	129	0.0286	34	0.241	35	0.0611	3.1	0.090
CX109-4-2.1	0.15	451	687	1.57	48.7	762 ±19	705 ±35	-8	0.0629	1.7	1.088	3.1	0.1255	2.6	0.846
CX109-4-3.1	1.51	110	111	1.04	12.8	809 ±22	740 ±160	-9	0.0639	7.8	1.178	8.3	0.1337	2.9	0.348
CX109-4-4.1	0.04	825	52	0.07	248	1934 ±44	1924.6 ±8.0	0	0.11790	0.45	5.69	2.7	0.3498	2.6	0.986
CX109-4-5.1	1.43	215	204	0.98	14.1	469 ±12	169 ±150	-178	0.0494	6.6	0.515	7.1	0.0755	2.7	0.384
CX109-4-6.1	0.15	551	8	0.02	175	2028 ±46	1842 ±13	-10	0.11264	0.69	5.74	2.7	0.3697	2.6	0.967
CX109-4-7.1	0.25	482	526	1.13	47.3	695 ±17	691 ±36	-1	0.0625	1.7	0.982	3.1	0.1139	2.6	0.844
CX109-4-8.1	0.44	586	554	0.98	62.5	752 ±19	897 ±34	16	0.0690	1.7	1.176	3.1	0.1237	2.6	0.847
CX109-4-9.1	0.45	1007	1068	1.10	117	817 ±20	855 ±30	4	0.06755	1.5	1.259	3.0	0.1352	2.6	0.873
CX109-4-10.1	0.09	363	6	0.02	108	1910 ±44	1847 ±13	-3	0.11291	0.73	5.37	2.8	0.3449	2.7	0.964
CX109-4-11.1	0.17	569	9	0.02	171	1929 ±44	1826 ±11	-6	0.11160	0.60	5.37	2.7	0.3488	2.6	0.975

注:误差为 1σ, Pb_c 和 Pb* 分别代表普通铅和放射成因铅;标准校正误差为 0.68%。(1)普通铅校正用²⁰⁴Pb 测量值;(2)普通铅用推测的²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵Th 一致性年龄校正;(3)普通铅用推测的²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁸Pb/²³²Th 一致性年龄校正。

4 锆石特征及 U-Pb 年龄

本次选取玄武质岩石样品 CX109-4 进行年龄测定。具体的处理过程是破碎、淘洗和重液分离,之后进行电磁分离,最后对锆石进行手工挑纯。然后将其与 TEM 标样一起粘在树脂台上,打磨抛光,去掉约锆石颗粒一半的厚度,尽可能得到横切颗粒中心的剖面,制成样靶。离子探针测试前,在电子探针上进行阴极发光研究,以确定锆石的内部结构和成因。最后再经清洗镀金,在 SHRIMP II 上进行同位素测试(Williams, 1998; 宋彪等, 2002)。应用锆石标样

TEM(年龄 417 Ma)进行元素间的分馏校正,应用 SL13(年龄 572 Ma, U 含量 238×10⁻⁶)标定样品的 U、Th、Pb 含量。数据处理采用 Ludwig SQUID1.0 及 ISPLIT 程序。普通铅应用实测²⁰⁴Pb 校正。单次测定的数据点误差采用 1σ。对于较年轻的锆石(<1.2~1.4 Ga),年龄测定结果采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 数值,对于时代较老的锆石(>1.2~1.4 Ga),年龄测定结果采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 数值(与万渝生研究员交流)。其加权平均值为 95%的置信度。本次锆石阴极发光图像在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针实验室完成;锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定在北京离

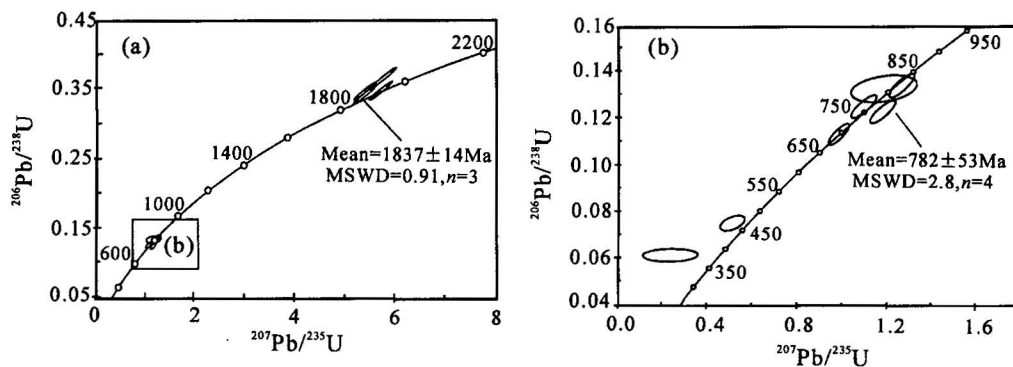


图 8 盐边群玄武质岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 8 Concordia diagram of zircon U-Pb ages on basalt of Yanbian Group

子探针中心的 SHRIMP II 上完成。

玄武质岩石中锆石呈柱状和不完整粒状,粒度多为 50~100 μm 。在阴极发光(CL)图像中(图 7),锆石有两种:一种锆石颗粒中具有典型的岩浆韵律环带,内部无继承性锆石核, Th/U 比值为 0.98~1.57(表 2),具岩浆锆石特征(Rowley et al., 1997; Sue et al., 1999; Hoskin et al., 2000),四个锆石年龄测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $782 \pm 53 \text{ Ma}$ (由于所挑选出的锆石颗粒太少,测点少、较分散,使年龄误差偏大),可能代表了玄武质岩石的形成时代(图 8b)。另一种为具核幔结构的复合型锆石,锆石内核较均匀、弱发光, Th/U 比值为 0.02~0.07(表 2),具典型的变质锆石特征(Bradley et al., 1998; Claesson et al., 2000; Hoskin et al., 2000),三个测点的锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $1837 \pm 14 \text{ Ma}$ (图 8a);锆石幔部可能为岩浆结晶部分,宽度小于 20 μm ,离子探针无法进行年龄测定(图 7)。

5 讨论与结论

盐边群荒田组玄武质岩石为拉斑玄武岩,稀土总量低,稀土配分模式表现为平坦或略具右倾的稀土配分模式;在微量元素方面,相容性元素含量高。在微量元素配分图解中,部分样品表现为正常洋中脊玄武岩特征,而部分具有岛弧拉斑玄武岩特征,与形成于弧后盆地环境玄武岩相似(Saunders et al., 1979)。玄武岩中的 Ti 与洋中脊玄武岩中的相当或略高,可能更多是继承了源区的特征。锆石特征方面,玄武质岩石中具有典型的变质继承性锆石,说明岩浆在形成前或形成过程中可能受到地壳物质的混染。在岩相学方面,玄武质岩石中变质晶屑和岩屑与基质的含量随样品变化,同时样品 CX108-1 中,结

构与其他样品明显不同,反映玄武质岩石形成存在陆—海相环境的变化。

关于盐边群的形成时代,以前的同位素资料反映其形成于中元古代(李继亮,1981;李复汉等,1988)。沈渭洲等(2003)和朱维光等(2004)利用单颗粒锆石 U-Pb 法获得原划为盐边群蛇绿岩的冷水管杂岩(高家村杂岩)的同位素年龄分别为 $936 \pm 7 \text{ Ma}$ 和 $840 \pm 5 \text{ Ma}$,两者结果相差近 100 Ma,较本次工作获得同位素年龄偏大。笔者认为可能与其中含有残留的继承性锆石有关,其年龄可能代表混合年龄。本次利用 SHRIMP 测定年龄结果为 $782 \pm 53 \text{ Ma}$,误差较大,初步判定玄武质岩石的可能形成时代在 800 Ma 左右,与区域上构造岩浆事件的时代近于一致。而玄武质岩石中~1.8 Ga 变质继承性锆石的发现和年龄测定,证明扬子地台西缘可能存在古元古代的变质基底。

目前,关于扬子地台西缘新元古代构造环境有两种观点:一种为具板块俯冲性质的岛弧环境(颜丹平等,2002;Zhou et al., 2002;沈渭洲等,2003);另一种为地幔柱(李献华等,2001,2002a,2002b,2002c;Li et al., 2002;Li et al., 2003)。李献华等(2001,2002a,2002b,2002c)、Li et al. (2002)、Li et al. (2003)根据地球化学和同位素资料认为,扬子西缘 860~750 Ma 的中、基性岩浆活动是新元古代地幔柱活动引起的裂谷环境下的岩浆产物。从康滇地区来看,新元古代火山岩(原康定杂岩、苏雄组、盐井群、黄水河群等)中,酸性火山岩约占全部火山岩的 98% 以上,而基性火山岩非常少,与典型的地幔柱引发的以基性岩为主的大火成岩省(如峨眉山玄武岩)有明显的差异。本次工作中,盐边群荒田组玄武质岩具洋中脊和岛弧玄武岩的地球化学特征,与地幔柱

成因的玄武岩有很大的不同。同时扬子地台西缘从北向南 600 多千米范围内大量出现新元古代具有火山弧性质的 I 型花岗岩(李献华等, 2002c; Zhou et al., 2002; 耿元生等, 待发表资料)。

笔者认为, 盐边群玄武质岩石的形成可能代表一种弧后盆地环境。在新元古代板块俯冲体制下引起的弧后拉张, 同时伴随具有 MORB 性质的地幔物质上涌, 喷发形成盐边玄武岩。在玄武岩的形成过程中有少量中、下地壳物质的加入, 同时可能有俯冲板片脱水形成的流体混入, 因而使玄武岩中轻稀土、LILE 发生微富集, 同时在玄武岩中也保留了残留地壳的变质锆石年龄信息。然而, 扬子地台西缘在新元古代究竟处于何种复杂的构造环境, 还应该将野外地质、岩石学、地球化学与同位素年代学紧密结合, 综合分析。

致谢:中国科学院地质与地球物理研究所郭敬辉研究员在文章资料分析及成文过程中提出部分修改建议; 北京离子探针中心刘敦一研究员、陶华工程师及中心其他老师安排和准备离子探针测试工作; 中国地质科学院地质研究所伍家善研究员、万渝生研究员、简平研究员、薛怀民研究员和王彦斌研究员, 中国地质大学(北京)张招崇教授提出许多建议和意见, 几位审稿人提出了宝贵的修改建议。在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 陈岳龙, 罗照华, 赵俊香, 等. 2004. 从锆石 SHRIMP 年龄及岩石地球化学特征论四川冕宁康定杂岩的成因. 中国科学(D 辑), 34(8): 687~697.
- 陈智梁, 陈世瑜. 1987. 扬子地块西缘地质构造演化. 重庆: 重庆出版社, 1~171.
- 从柏林. 1988. 攀西古裂谷的形成与演化. 北京: 科学出版社, 1~96.
- 高永军, 穆治国, 吴世迎. 2000. 马里亚纳海槽玄武岩 K-Ar 地质年代学及地球化学研究. 海洋地质与第四纪地质, 20(3): 53~59.
- 赖明宗. 1983. 四川盐边前震旦纪蛇绿岩套的地球化学特征. 攀西地质, (1): 35~53.
- 李复汉, 覃嘉铭, 申玉连, 等. 1988. 康滇地区的前震旦系. 重庆: 重庆出版社, 1~160.
- 李继亮. 1981. 攀西地区前震旦系 Rb-Sr 年龄讨论. 中国科学院同位素地质论文摘要汇编.
- 李继亮, 张凤秋, 王守信. 1983. 四川盐边元古代蛇绿岩的稀土元素分配特点. 岩石学研究, (3): 37~44.
- 李继亮. 1984. 川西盐边群的优地槽岩石组合. 中国地质科学院院报, 第 9 号: 21~34.
- 李献华, 周汉文, 李正祥, 等. 2001. 扬子地块西缘新元古代双峰式火山岩的锆石 U-Pb 年龄和岩石化学特征. 地球化学, 30(4): 315~322.
- 李献华, 周汉文, 李正祥, 等. 2002a. 川西新元古代双峰式火山岩成因的微量元素和 Sm-Nd 同位素制约及其大地构造意义. 地质科学, 37(3): 264~276.
- 李献华, 李正祥, 周汉文, 等. 2002b. 川西新元古代玄武质岩浆岩的锆石 U-Pb 年代学、元素和 Nd 同位素研究: 岩石成因与地球

动力学意义. 地学前缘, 9(4): 329~338.

- 李献华, 李正祥, 周汉文, 等. 2002c. 川西南关刀山岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd 同位素地球化学——岩石成因与构造意义. 中国科学(D 辑), 32: 60~68.
- 刘朝基, 曾绪伟, 金久堂. 1988. 康滇地区基性—超基性岩. 重庆: 重庆出版社.
- 骆耀南. 1983. 康滇构造带的古板块历史演化. 地球科学, (3): 93~102.
- 骆耀南. 1985. 中国攀枝花—西昌裂谷带. 见: 张云湘编. 中国攀西裂谷文集(1). 北京: 地质出版社, 1~25.
- 四川省地质矿产局. 1991. 四川省区域地质志. 北京: 地质出版社, 7~47.
- 沈渭洲, 高剑锋, 徐士进, 等. 2003. 四川盐边冷水箐岩体的形成时代和地球化学特征. 岩石学报, 19(1): 27~37.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 48(Sup.): 26~30.
- 孙传敏. 1994a. 川西元古代蛇绿岩与扬子板块西缘元古代造山带. 成都理工学院学报, 21(4): 11~16.
- 孙传敏. 1994b. 四川盐边元古代蛇绿岩中辉石的成因矿物学特征及其大地构造意义. 矿物岩石, 14(3): 1~15.
- 田丽艳, 赵广涛, 陈佐林, 等. 2003. 马里亚纳海槽热液活动区玄武岩的岩石地球化学特征. 青岛海洋大学学报, 33(3): 405~412.
- 万渝生, 吴澄宇. 1997. 稀土元素地球化学与玄武岩质岩石的成因——应用与问题. 见: 张炳薰等主编. 岩石圈研究的现代方法. 北京: 地质出版社, 215~228.
- 王仁民, 贺高品, 陈珍珍, 等. 1987. 变质岩原岩图解判别法. 北京: 地质出版社.
- 颜丹平, 周美夫, 宋鸿林, 等. 2002. 华南在 Rodinia 古陆中位置的讨论——扬子地块西缘变质—岩浆杂岩证据及其与 Seychelles 地块的对比. 地学前缘, 9(4): 249~256.
- 张旗, 周国庆. 2001. 中国蛇绿岩. 北京: 科学出版社.
- 朱维光, 邓海林, 刘秉光, 等. 2004. 四川盐边高家村镁铁—超镁铁质杂岩的形成时代: 单颗粒锆石 U-Pb 和角闪石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学制约. 科学通报, 49(10): 985~992.

References

- Bradley R Hacker, Lothar R, Laura W, et al. 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling—Dabie Orogen, China. Earth and Planetary Letters, 161: 215~230.
- Chen Yuelong, Luo Zhaohua, Zhao Junxiang, et al. 2004. Petrogenesis and dating of the Kangding complex, Sichuan Province. Science in China Series (D), 48(5): 622~634.
- Chen Zhiliang, Chen Shiyu. 1987. On the tectonic evolution of the West Margin of the Yangtze Block. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1~171 (in Chinese with English abstract).
- Claesson S, Vetrin V, Bayanova T. 2000. U-Pb zircon ages from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia: a record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic. Lithos, 51: 95~108.
- Cong Bolin. 1988. Formation and Evolution of Panxi Paleo-rift. Beijing: Science Press, 1~96 (in Chinese).
- Gao Yongjun, Mu Zhiguo, Wu Shiyang. 2000. Studies on K-Ar geochronology and geochemistry of Mariana Trough basalts. Marine Geology & Quaternary Geology, 20(3): 53~59 (in Chinese with English abstract).
- Hoskin P W O, Black L P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. Journal of Metamorphic Geology, 18: 423~439.
- Kelemen P B, Johnson K T M, Kinziert R J, et al. 1990. High field strength element depletions in arc basalts due to mantle-magma

- interaction. *Nature*, 345(7):521~523.
- Lai Mingzong. 1983. Geochemical characteristics of Presinian ophiolite suite, Yanbian county, Sichuan province. *Panxi Geology*, (1): 35~53(in Chinese).
- Li Fuhan, Qin Jiaming, Shen Yulian, et al. 1988. The pre-Sinian in the Kangdian area. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1~160 (in Chinese with English abstract).
- Li Jiliang. 1981. Discussion of Rb-Sr ages on pre-Sinian in Panxi area. Summary collection of isotopic geology, Chinese Academy of Sciences.
- Li Jiliang, Zhang Fengqiu, Wang Shouxin. 1983. Rare earth element distribution pattern of Proterozoic ophiolite, Yanbian, Sichuan. *Petrological Research*, (3):37~44 (in Chinese).
- Li Jiliang. 1984. Eugeosyncline rock association of Yanbian Group in western Sichuan, China. *Bulletin of Chinese Academy of Geological Sciences*, 9: 21 ~ 34 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Li Zhengxiang, et al. 2001. Zircon U-Pb age and petrochemical characteristics of the Neoproterozoic bimodal volcanics from western Yangtze block. *Geochemica*, 30 (4):315~322 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Li Zhengxiang, et al. 2002a. Petrogenesis of Neoproterozoic bimodal volcanics in Western Sichuan and its tectonic implications: geochemical and Sm-Nd isotopic constrains. *Chinese Journal of Geology*, 37(3): 264~276 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Zhou Hanwen, et al. 2002b. U-Pb zircon geochronological, geochemical and Nd isotopic study of Neoproterozoic basaltic magmatism in Western Sichuan: petrogenesis and geodynamic implications. *Earth Science Frontiers*, 9(4):329~338 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Zhou Hanwen, et al. 2002. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian Rift of South China: implications for the initial rifting of Rodinia. *Precambrian Research*, 113: 135~154.
- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Zhou Hanwen, et al. 2003. SHRIMP U-Pb zircon age, geochemistry and Nd isotope of the Guandaoshan pluton in SW Sichuan: Petrogenesis and tectonic significance. *Science in China*, 46(Supp):73~83.
- Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precambrian Research*, 122:85~109.
- Liu Chaoji, Zeng Xuwei, Jin Jiutang. 1988. Basic-ultrabasic rocks in the Kangdian region. Chongqing: Chongqing Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Luo Yaonan. 1983. Paleo-plate history of the Kangdian tectonic belt. *Earth Science*, (3): 93~102 (in Chinese with English abstract).
- Luo Yaonan. 1985. Panzhihua—Xichang Paleo-rift belt of China. In: Zhang Yunxiang, eds. *Collected Works of Panxi Rift, China* (1). Beijing: Geological Publishing House, 1~25 (in Chinese).
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, 56:207~218.
- Miyashiro A. 1974. Volcanic rock series in island areas and active continental margins. *American Journal of Science*, 247:237~245.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province. 1991. *Regional Geology of Sichuan province*. Beijing: Geological Publishing House, 7~47 (in Chinese).
- Rowley D B, Xue F, Tucker R D, et al. 1997. Ages of ultrahigh pressure metamorphism and prolioth orthogneisses from the eastern Dabie Shan: U/Pb zircon geochronology. *Earth and Planetary Letters*, 151: 191~203.
- Saunders A D. 1983. The rare earth element characteristics of igneous rocks from the ocean basins. In: Henderson P, ed. *Rare Earth Element Geochemistry*, 205~236.
- Saunders A D, Tarney J. 1979. The geochemistry of basalts from a back-arc spreading center in the East Scotia Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43: 555~572.
- Shen W Z, Gao J F, Xu S J, et al. 2003. Format on age and geochemical characteristics of the Lengshuiqing body, Yanbian, Sichuan province. *Acta Petrologica Sinica*, 19(1): 27~37 (in Chinese with English abstract).
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48 (Supp): 26~30 (in Chinese with English abstract).
- Sue K, David S, William C. 1999. Identifying granite sources by SHRIMP U-Pb zircon geochronology: an application to the Lachlan foldbelt. *Contribution to Mineral and Petrology*, 137:323~341.
- Sun Chuanmin. 1994a. Proterozoic ophiolites in western Sichuan and the Proterozoic orogenic belt on the western border of Yangtze paleo-plate. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 21(4): 11~16 (in Chinese with English abstract).
- Sun Chuanmin. 1994b. Genetic mineralogy of pyroxenes from the Yanbian Proterozoic ophiolites (Sichuan, China) and its geotectonic implications. *Journal of Mineral and Petrology*, 14 (3): 1~15 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic sysematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J, eds. *Magmatism in the Ocean Basins*. The Geological Society Publishing House, 313~345.
- Tian Liyan, Zhao Guangtao, Chen Zuolin, et al. 2003. The preliminary study of petrological geochemistry of basalts from hydrothermal activity regions, Mariana Trough. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 33(3): 405~412 (in Chinese with English abstract).
- Schaltegger U, Fanning C M, Gunther D, et al. 1999. Growth, annealing and recrystallization of zircon and preservation of monazite in high-grade metamorphism: conventional and in-situ U-Pb isotopi, cathodoluminescence and microchemical evidence. *Contribution to Mineral and Petrology*, 134: 186~201.
- Wan Yusheng, Wu Chengyu. 1997. REE geochemistry and basaltic petrogenesis: applications and problems. In: Zhang Bingxi, et al., eds. *Modern Methods on Lithospheric Research*, 215~228 (in Chinese).
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: Mickibben M A, Shanks III W C, Ridley W I. *Applications of Micro Analytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*. *Reviews Econ. Geol.*, 7: 1~35.
- Winchester J A, Floyd P A. 1976. Geochemical magma type discrimination: Application to altered and metamorphosed igneous rocks. 28(1976):459~469.
- Wood D A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems

- of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50: 11 ~ 30.
- Yan Danping, Zhou Meifu, Song Honglin, et al. 2002. Where was South China located in the reconstruction of Rodinia? *Earth Science Frontiers*, 9 (4): 249 ~ 256 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Zhou Guoqing. 2001. *Ophiolites of China*. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
- Zhou Mei-Fu, Yan Dan-Ping, Kennedy K A, et al. 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtz Block, South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 196: 51 ~ 67.
- Zhu Weiguang, Deng Hailin, Liu Bingguang, et al. 2004. The age of the Gaojiacun mafic-ultramafic intrusive complex in the Yanbian area, Sichuan Province: Geochronological constraints by U-Pb dating of single zircon grains and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of hornblende. *Chinese Science bulletin*, 49(10): 1077 ~ 1085.

Geochemistry and SHRIMP U-Pb Zircon Chronology of Basalts from the Yanbian Group in the Western Yangtze Block

DU Lilin^{1,2)}, GENG Yuansheng²⁾, YANG Chonghui²⁾, WANG Xinshe²⁾, REN Liudong²⁾
ZHOU Xiwen²⁾, SHI Yuruo^{2,3)}, YANG Zhusheng⁴⁾

1) *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*

2) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing; 100037*

3) *Beijing SHRIMP Center, Beijing; 100037*

4) *Panxi Geological Team, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xichang, Sichuan, 615000*

Abstract

Basalts from the Huangtian Formation of the Yanbian Group, previously considered as ophiolite, were formed in a back-arc basin environment as is revealed by this study on their geochemistry and trace elements geochemistry. A SHRIMP U-Pb zircon age of 782 ± 53 Ma was obtained for the magmatism emplacement, and an inherited metamorphic zircon age of 1837 ± 14 Ma was obtained. The metamorphic zircon age may represent the metamorphic age of the basement in the Western Yangtze, which support the existence of a Paleoproterozoic metamorphic basement.

Key words: Yanbian Group; basalt; SHRIMP; back-arc basin; Neoproterozoic