

文章编号: 1000- 6524 (2003) 02- 0131- 07

义敦岛弧带弧后区板内岩浆作用的时代及意义

曲晓明, 侯增谦, 唐绍华

(中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要:通过对义敦岛弧夏囊沟一带酸性火山岩的岩石地球化学和 Rb- Sr 同位素研究, 首次在该岛弧弧后区确立了一条板内火山岩带。这些火山岩属钾玄岩系列, 以高 K_2O , 低 CaO , 富 Nb, Ta, Zr, Hf, 贫 Sr, Eu 为特点, 具标准的“V”型稀土元素配分型式, 构造环境判别图解显示其形成于板内裂陷环境。由 4 个全岩样品给出的 Rb- Sr 等时线年龄 $t = 189.2 \pm 5.0$ Ma, 相关系数 $R = 0.999824$, $I_{Sr} = 0.714578$ 。认为火山岩的成分分异受斜长石在岩浆源区熔融残留和岩浆形成后黑云母的结晶分离双重控制。位于该带东侧弧后扩张盆地中的晚三叠世勉戈组双峰火山岩的形成年龄为 213.1 Ma, 说明该岛弧仅仅在 24 Ma 左右时限内就完成了从俯冲造弧到板内裂陷的重大转换, 由此可对该岛弧带的碰撞造山过程和演化时序做出精确约束。

关键词: 义敦岛弧; 板内岩浆作用; Rb- Sr 等时线; 碰撞造山; 演化时序

中图分类号: P588.14⁺1; P542

文献标识码: A

Age of intraplate volcanism in the back arc area of Yidun island arc and its significance

QU Xiao_ming, HOU Zeng_qian and TANG Shao_hua

(Institute of Mineral Resource, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: Based on the study of the felsic volcanics in Xia'nangou district of Yidun island arc, the authors identified for the first time an intraplate volcanics belt in the back arc region of the arc. These volcanic rocks are shoshonitic series and are geochemically characterised by K_2O , Nb, Ta, Zr, Hf enrichment and CaO , Sr, Eu depletion. They have a common "V_type" REE chondrite normalized pattern. Their Pearce's tectonic discrimination diagrams indicate a clear intraplate rifting formation setting. Four bulk rock samples give a good Rb-Sr isochron with $t = 189.2 \pm 5$ Ma, $R = 0.999824$, and $I_{Sr} = 0.714578$. The chemical variation of the volcanics are controlled by both residual of plagioclase in the melting source area and crystal fractionation of biotite after magma formation. Considering the 213 Ma formation age of the Miange Formation bimodal volcanics in the back arc basin east of the intraplate volcanic rock belt, it is held that the island arc completed the important transition from subduction arc-forming to intraplate rifting regime only within a period of 24 Ma, from which exact constraints on the arc evolution sequence have been obtained.

Key words: Yidun island arc; intraplate magmatism; Rb-Sr isochron; collision and orogeny; evolution sequence

“三江”构造带作为冈瓦纳大陆与欧亚大陆碰撞复杂的构造组合决定了它们在全球构造, 特别是特汇聚形成的巨型造山带, 其独特的构造位置和极其提斯构造中的重要地位。产于“三江”构造带北段的

收稿日期: 2002- 01- 21; 修订日期: 2002- 10- 14

基金项目: 原国家科委“九五”科技攻关资助项目(96- 914- 03- 05)

作者简介: 曲晓明(1960-), 男, 研究员, 主要从事有色金属和贵金属矿床调查研究。

义敦古岛弧既是带中的重要构造单元,又孕育了丰富的银、金多金属矿产资源。精细划分该岛弧构造体制的转换过程,研究不同演化阶段岛弧岩浆作用机理,不仅对揭示整个“三江”特提斯构造具有重要意义,而且可为阐明本地区多金属矿床成矿规律提供理论依据。近年来,笔者通过对该岛弧火山侵入岩系的系统研究,首次在弧后区夏囊沟一带确立了一条板内火山岩带,从其与弧后扩张盆地中的晚三叠世勉戈组双峰火山岩的空间配置关系可以限定岛弧俯冲造弧与弧陆碰撞之间的分界,它们是义敦古岛弧碰撞造山演化过程中构造体制转换的一个重要标志。

1 板内火山岩分布与岩相学特征

义敦岛弧带板内火山岩产于弧后盆地西侧,呈带状与弧后盆地中的晚三叠世勉戈组双峰火山岩大体呈 NNW 向平行展布(图 1),宽 600~5000 m,产状稳定,倾向 55°~65°,倾角 60°~70°,岩性为流纹岩。岩石具斑状结构,斑晶为钾长石和石英;基质具微晶半自形粒状结构,主要由板条状钾长石和他形石英组成,铁质含量较高,有具他形粒状的磁铁矿或褐铁矿。此外,还有少量锆石和磷灰石。不同层位斑晶含量变化很大,最高时占 20%,有的层位斑晶则完全缺失,变成火山碎屑结构。火山碎屑以浆屑为主,含少量长英质晶屑。岩石经历绿片岩相低级变质,变质后浆屑大多变为石英集合体,有的呈交代残余保留;长英质晶屑也已为绢云母集合体取代。

2 岩石地球化学

义敦岛弧带板内火山岩样品取自夏囊沟化探异常区。显微镜下研究表明,岩石中有较多的自形细粒黄铁矿呈浸染状分布,含量约 1%。个别层位有少量硅化石英、绢云母、绿泥石等呈细脉状沿裂隙分布。岩石化学分析结果列于表 1。从表中看出,蚀变作用除对个别样品造成总量降低外(SO₂ 损失),总体上对原岩化学成分没有造成大的影响。

2.1 常量元素

义敦岛弧带中的板内火山岩以高钾低钠为特点(表 1),在 K₂O-SiO₂ 图(图 2)上大部分落在钾玄

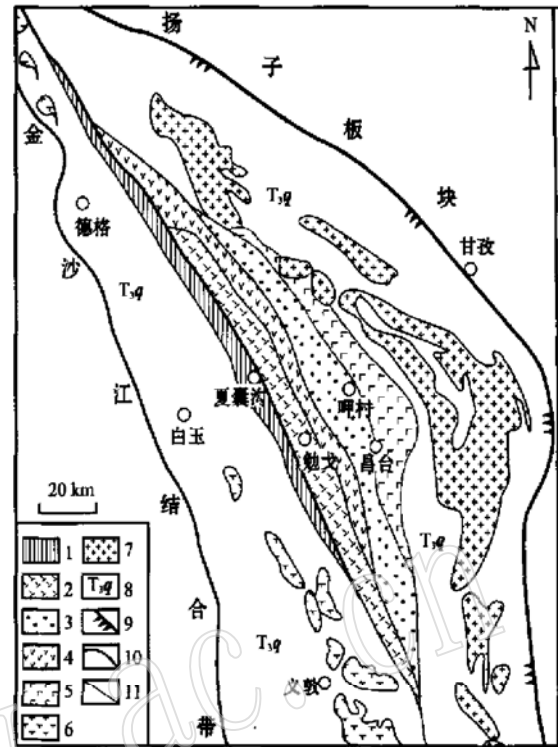


图 1 义敦岛弧构造格架与火山岩分布图

Fig. 1 The volcanic rock distribution and tectonic framework of Yidun island arc

- 1—板内火山岩; 2—弧后盆地火山岩; 3—内弧英安岩; 4—弧间裂谷双峰火山岩; 5—外弧钙碱性火山岩; 6—燕山晚期造山后花岗岩; 7—印支晚期岩浆弧花岗岩; 8—晚三叠世曲嘎寺组砂板岩; 9—甘孜-理塘俯冲带; 10—主干断裂; 11—地质界限
- 1—intraplate volcanics; 2—back_arc volcanics; 3—inner_arc dacite; 4—inter_arc rift volcanics; 5—outer_arc calc_alkaline volcanics; 6—late Yanshanian post-orogenic granite; 7—late Indosinian arc granite; 8—sandy slate of Upper Triassic Qugasi Formation; 9—Ganzi-Litang subduction belt; 10—major fault; 11—geological boundary

岩区内,与岛弧火山岩钙碱性特点明显不同,显示出更具陆内裂谷的岩浆属性。Al₂O₃ 含量为 7.42%~13.11%,为过铝质。CaO 含量很低,最高为 0.08%,平均为 0.02%,有的样品甚至不含 CaO,反映岩浆形成于一个特殊的演化环境中。FeO^T 和 MgO 含量分别为 2.48%~6.54% 和 0.16%~3.98%,比弧后盆地中的火山岩明显增高^①。各氧化物与 SiO₂ 的相关关系见图 3,从图中可以看出,Al₂O₃、FeO^T、TiO₂ 与 SiO₂ 呈负相关,反映出岩浆成分分异可能主要受黑云母分离结晶的控制。岩石中 CaO 含量极低,并且不随 SiO₂ 变化,说明岩浆演化过程中并没有发生

① 曲晓明. 2000. 义敦岛弧带构造演化和多金属矿成矿规律研究地矿部“九五”科技攻关项目科研报告.

表 1 夏囊沟板内火山岩常量元素($w_B/\%$)、微量元素及稀土元素($w_B/10^{-6}$)分析结果

Table 1 Analyses of major, trace and rare earth elements in Xia' nanggou volcanics

样品编号	CX128	CX137	CX140	CX142	CX101	CX108	CX114	CX120	CX125
SiO ₂	79.75	72.90	69.56	71.87	68.5	74.36	76.04	75.61	66.77
Al ₂ O ₃	7.42	10.70	9.27	9.32	13.11	10.31	9.00	8.02	11.87
Fe ₂ O ₃	2.54	2.34	4.94	3.89	2.48	2.42	2.62	3.56	4.63
FeO	0.75	1.05	1.60	1.22	2.83	0.06	0.65	0.77	1.32
MgO	0.16	1.91	3.13	1.08	2.22	0.17	3.16	1.68	3.98
CaO	0.01	0.01	0.08	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Na ₂ O	0.23	0.15	0.13	0.14	1.40	0.25	0.12	0.13	0.15
K ₂ O	6.06	7.93	5.26	7.15	7.19	8.76	4.49	6.27	7.44
MnO	0.03	0.07	0.13	0.04	0.06	0.04	0.08	0.05	0.10
TiO ₂	0.22	0.25	0.31	0.26	0.30	0.37	0.23	0.22	0.27
P ₂ O ₅	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
CO ₂	0.16	0.16	0.12	0.12	0.08	0.08	0.04	0.04	0.08
H ₂ O+	0.72	1.09	1.29	0.76	1.53	0.56	1.43	0.78	1.89
total	98.06	98.58	95.84	95.89	99.73	97.41	97.89	97.16	98.54
Ba	183.0	796.0	999.0	739.0	562	332	707	276	272
Be	1.4	2.1	2.3	1.9	1.1	1.3	3.2	1.3	2.3
Sc	1.1	1.7	0.8	0.6	1.9	1.1	1.1	1.0	1.6
Ti	1319.0	1499.0	1858.0	1559.0	1798	2218	1379	1319	1619
V	31.6	31.8	29.3	33.8	31.6	25.8	26.4	26.3	43.8
Cr	13.2	9.4	9.9	27.6	22.2	10.5	13.1	16.4	10.9
Mn	232.0	542.0	1007.0	310.0	465	310	620	387	774
Co	3.2	3.8	7.2	13.0	2.6	5.4	2.5	2.5	4.4
Ni	5.1	7.2	24.3	58.0	5.4	18.0	5.1	5.6	8.8
Cu	10.6	9.2	37.7	73.3	15.2	24.8	13.8	35.0	39.9
Pb	256.6	12.2	424.8	398.7	29.5	80.1	26.1	542.8	208.5
Zn	123.0	38.0	328.0	199.0	65.0	78.0	63.0	280.0	97.0
Ga	15.9	25.5	23.1	17.9	33.3	15.9	18.8	18.1	31.8
Rb	115.0	222.0	212.0	179.0	299.0	153.0	151.0	219.0	282.0
Sr	27.4	21.9	10.8	15.9	17.4	52.0	15.5	18.4	24.5
Nb	71.6	59.5	57.7	66.9	60.1	58.9	47.8	57.9	98.5
Ta	4.5	4.9	4.2	5.1	4.1	3.3	2.8	3.8	7.5
Zr	711.0	615.0	563.0	646.0	636.0	557.0	460.0	559.0	969.0
Hf	13.6	12.1	12.5	13.9	14.3	13.1	10.6	12.9	21.2
Ag	0.171	0.040	0.187	0.338	0.144	0.628	0.181	0.140	0.126
Au*	10.1	1.2	1.9	5.6	0.9	2.0	14.9	2.4	17.2
As	264.0	42.0	80.0	121.0	51.0	334.0	147.0	21.0	96.0
Sb	4.2	2.0	7.5	15.2	2.9	32.2	13.4	2.0	6.8
Hg	0.108	0.046	0.073	0.043	0.046	0.575	0.422	0.378	0.104
La	30.20	16.94	78.30	63.96	52.18	48.93	56.54	67.11	104.90
Ce	53.05	34.93	120.90	111.50	102.30	87.24	89.37	110.50	172.90
Pr	6.05	4.64	16.40	14.27	11.81	9.85	9.84	11.93	19.85
Nd	20.32	16.64	57.25	51.51	41.98	34.67	32.31	40.38	68.13
Sm	4.27	3.96	11.45	10.33	8.32	6.32	5.37	6.57	12.24
Eu	0.17	0.15	0.35	0.32	0.25	0.26	0.19	0.19	0.37
Gd	4.95	4.34	9.68	10.32	7.50	5.76	5.24	6.21	11.86
Tb	1.01	0.99	1.69	1.88	1.37	1.13	1.06	1.23	2.22
Dy	7.82	7.85	10.47	12.75	9.84	7.74	7.73	8.74	15.80
Ho	1.85	1.90	2.32	2.73	2.14	1.72	1.75	2.01	3.48
Er	7.08	6.33	6.92	8.43	6.79	5.74	5.6	6.71	11.33
Tm	1.20	0.94	0.94	1.24	1.10	0.95	0.90	1.11	1.78
Yb	8.50	6.16	6.31	7.80	7.15	6.38	5.73	6.80	11.27
Lu	1.45	1.18	1.02	1.29	1.15	1.00	1.00	1.13	1.86
Y	60.52	53.74	61.40	77.26	60.49	48.29	48.71	57.87	93.49
ΣREE	147.95	106.96	324.0	293.33	253.89	217.89	222.7	270.6	438.0

测试单位: 原地质矿产部武汉岩矿测试中心; 常量元素分析采用 X 荧光熔片法; 微量元素和稀土元素分析采用 ICP-AES 法; * Au 的质量分数单位为 10^{-9} 。

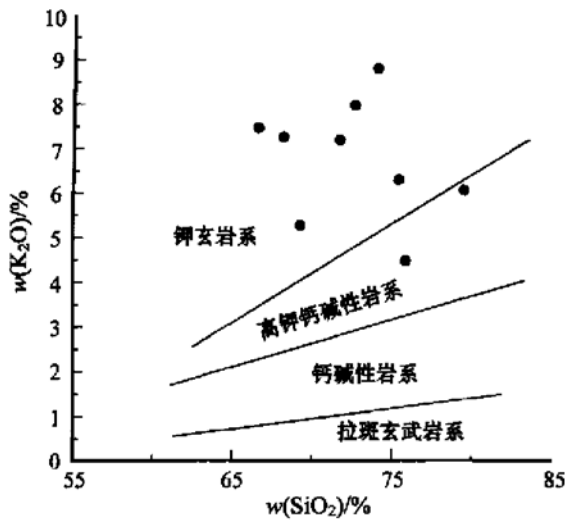


图2 夏囊沟板内火山岩 K₂O- SiO₂ 图
Fig. 2 K₂O- SiO₂ diagram of Xia' nanggou volcanics

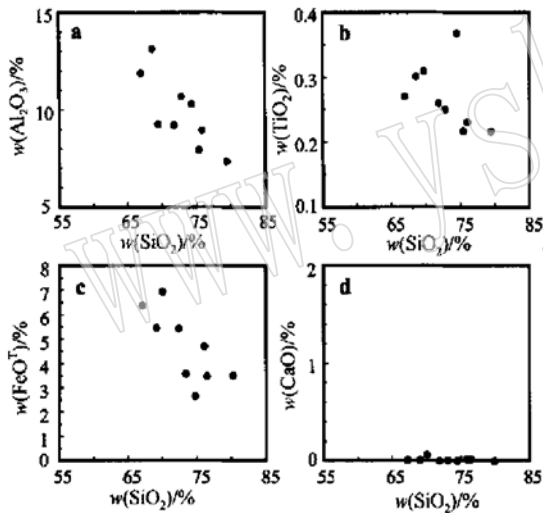


图3 夏囊沟板内火山岩氧化物- SiO₂ 变异图
Fig. 3 Oxide- SiO₂ diagrams of Xia' nanggou volcanics

斜长石的结晶分离。

2.2 微量元素

板内火山岩微量元素经 N- MORB 标准化后的分配曲线见图 4a。图中样品分配曲线的高度一致性反映了岩浆源区的均一性, 也说明岩浆的分异演化受统一的机理控制。从 LILE 看, Ba 低且出现强烈的 Sr、P、Ti 谷。Sr 亏损与 CaO 含量低是一致的, 共同反映了源区斜长石的大量分离。P 和 Ti 的强烈亏损可能分别与磷灰石和钛铁矿在源区残留有关。相反高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf 富集成峰, 表明它们已经远离岛弧环境, 特别是 Ta 峰的出现是板内岩浆

作用的显著标志 (Marjorie, 1989; Edwards *et al.*, 1994; Hoogewerff *et al.*, 1997)。

2.3 稀土元素

同微量元素一样, 义敦岛弧带板内火山岩表现出高度一致的稀土元素分馏特点, 其球粒陨石标准化曲线呈规则的“V”形 (图 4b), 负 Eu 异常强烈而规则, $\delta Eu = 0.09 \sim 0.13$; 轻重稀土分馏微弱, $La/Yb = 2.75 \sim 12.4$; 稀土元素总量变化较大, $\Sigma REE = 106.96 \times 10^{-6} \sim 438.0 \times 10^{-6}$ 。

3 板内火山作用的年代

本文用 Rb- Sr 全岩等时线测定了夏囊沟火山岩的时代。样品是从已做过化学分析的 9 个样品

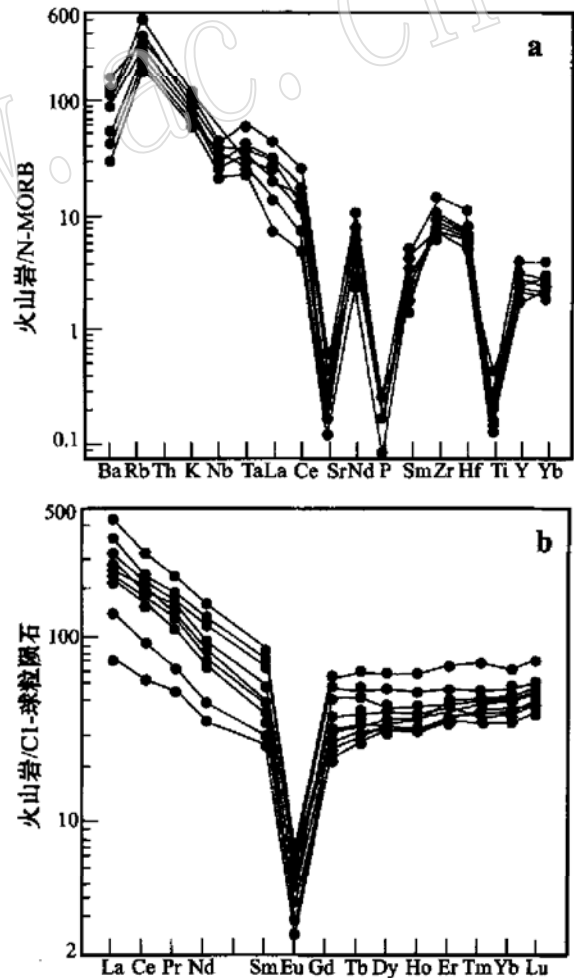


图4 夏囊沟火山岩微量元素和稀土元素分布曲线

Fig. 4 Trace and rare earth element distribution patterns of Xia' nanggou volcanics

(表 1) 中挑选出来的, 由中国科学院地质研究所同位素质谱室测定, 所用仪器为 VG- 354 型质谱仪。样品分析前先用 NBS607 标样对仪器做了校正, 误差小于 0.2‰, 符合测试要求。分析结果列于表 2, 在图 5 中 4 个样品构成了相关性很好的等时线, 相关系数

$R = 0.999824$, 年龄 $t = 189.2 \pm 5.0 \text{ Ma}$, 初始锶比值 $I_{Sr} = 0.714578$, 说明产于义敦古岛弧弧后区的这些板内火山岩是在早侏罗世晚期形成的, 不同于以前认为的晚三叠世(胡世华等, 1992)。

表 2 夏囊沟板内火山岩 Rb-Sr 同位素分析结果

Table 2 Rb, Sr isotopic composition of Xia' nanggou volcanics

样号	$w(\text{Rb}) / 10^{-6}$	$w(\text{Sr}) / 10^{-6}$	$^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$	$w(^{87}\text{Rb}) / 10^{-6}$	$w(^{86}\text{Sr}) / 10^{-6}$
CX I - 01	311.800	17.530	52.080 000	0.855 302 ± 16	1.012 000	0.194 30
CX I - 08	155.900	51.080	8.837 000	0.738 500 ± 19	0.506 000	0.572 60
CX I - 28	117.700	29.120	11.720 000	0.748 003 ± 33	0.382 300	0.326 10
CX I - 42	176.600	15.710	32.750 000	0.800 865 ± 20	0.573 400	0.175 10

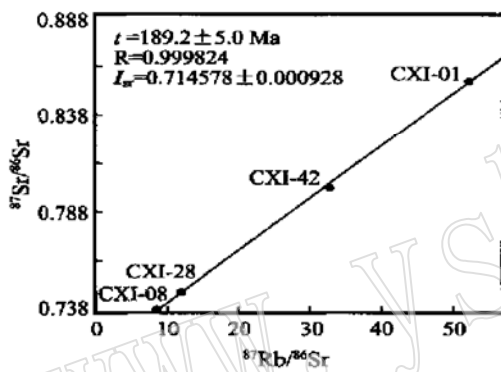


图 5 夏囊沟火山岩 Rb-Sr 等时线

Fig. 5 Rb-Sr isochron diagram of Xia' nanggou volcanics

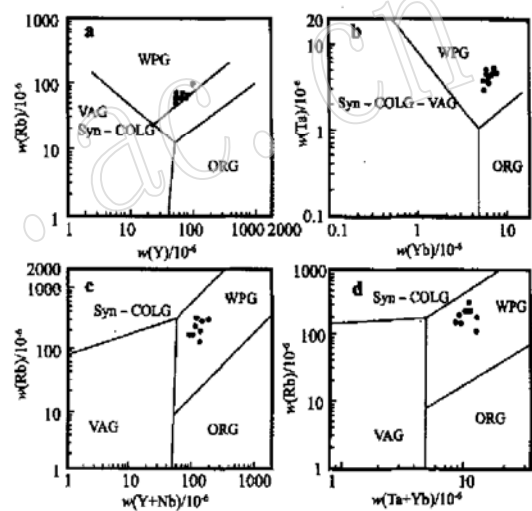


图 6 夏囊沟火山岩形成构造环境判别图

(据 Pearce 等, 1984)

Fig. 6 Tectonic environment diagrams of Xia' nanggou volcanics(after Pearce *et al.*, 1984)

VAG—火山弧岩浆区; Syn-COLG—同碰撞岩浆区; WPG—板内岩浆区; ORG—洋脊岩浆区

4 岩浆作用环境与岩浆演化

夏囊沟火山岩 K_2O 高度富集, CaO 强烈亏损, 在微量元素分布曲线上(图 4a) Nb、Ta 的富集进一步证实了它们已经不属于岛弧环境(Edwards *et al.*, 1994; Hoogewerff *et al.*, 1997)。在 Pearce(1984) 的系列判别图中这些火山岩都落在板内岩浆区(图 6)。较高的初始锶比值($I_{Sr} = 0.714578$)指示岩浆是由地壳岩石部分熔融形成的。只有在远离岛弧的陆内缺水环境中才具备使源区钾长石优先熔融、斜长石大量残留的条件, 因为众多的实验研究(Holtz and Johannes, 1994; Breton and Thompson, 1988)业已证明, 在缺水条件下, 地壳岩石在部分熔融过程中钾长石将优先熔融, 斜长石的熔融会受到有效抑制, 此时减压和增温成为诱发壳源岩浆作用的主导因素。另外, 岩浆中 P 含量很低(图 4a)意味着磷灰石

同斜长石一起在源区残留, 根据 Conrad 等(1988)的研究, 这时岩浆的熔融程度不会很高, 估计 15% 左右。

虽然在陆内裂隙环境中岩浆快速上升喷发没有给矿物结晶分离创造多少机会, 但并不排除某些对外部条件反应敏感的矿物发生结晶分离作用。在图 3 中, 这些板内火山岩的 FeO^T 、 TiO_2 、 Al_2O_3 三种组分与 SiO_2 呈比较明显的负相关, 说明黑云母在岩浆演化中有明显分离。岩石中黑云母含量的变化也与这些成分一致。在对矿物结晶行为有示踪意义的

V/Ti- Ti/Zr 图(图7)上,板内火山岩随 SiO₂ 的增高以规则的负斜率演化。这种变化特点要求 Ti 在分离相中的 K_D 值(在矿物与熔体之间的分配系数)远大于 V 和 Zr。根据 Marjorite(1989)的综合资料,黑云母符合这一条件,说明这些火山岩的成分分异主要受黑云母分离结晶支配。

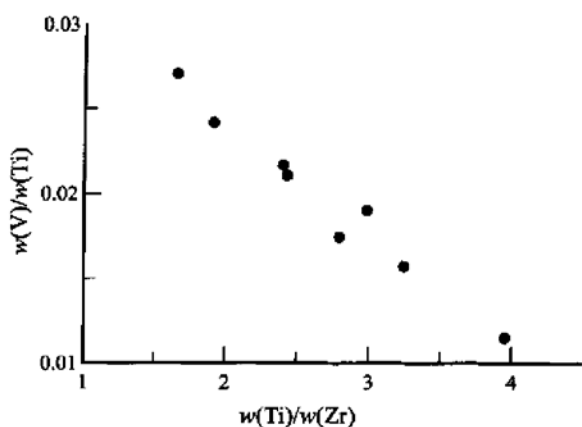


图7 夏囊沟火山岩 V/Ti- Ti/Zr 图

Fig. 7 V/Ti- Ti/Zr diagram of Xia' nanggou volcanics

5 对岛弧带碰撞造山演化过程的约束

大陆造山带的形成常常经历洋壳俯冲、陆陆碰撞和造山隆起3个重要过程(董树文,1999)。俯冲造山过程从洋壳俯冲消减开始,到弧后扩张盆地形成结束,火山岩浆弧构成俯冲造山带的主体。对于碰撞造山过程,目前认识还相对粗浅。陈衍景等(1998)研究认为碰撞过程发生于俯冲洋壳消失、陆陆汇聚的初始阶段。

产于义敦岛弧带北段夏囊沟一带的这套板内火山岩空间上分布于以勉戈组火山岩为主体的弧后扩张盆地之后,虽然两者相距甚近,但两种火山岩浆作用的构造环境已经发生了重大转折。在弧后扩张体制下,岩浆作用仍然与洋壳俯冲有关,地壳岩石和地幔楔一起在来自俯冲板片的流体作用下发生部分熔融,形成一套以钙碱性流纹岩为主的双峰岩石组合。由钾玄岩和流纹岩共同构成的 Rb- Sr 全岩等时线年龄为 213 ± 1 Ma(胡世华等,1992),初始锶比值 $I_{Sr} = 0.705979$,说明义敦岛弧的弧后扩张发生在晚三叠世中期,岩浆生成过程中有地幔组分参与,但仍以地壳组分为主。仅经过 24 Ma 左右到早侏罗世晚期(189.2 Ma)岩浆作用已转入陆内裂陷环境,岛弧演

化则进入碰撞造山阶段。这时俯冲板片在经历了较浅部位的脱水之后,继续下插发生断离拆沉,从而导致软流圈上涌,后者又会造成地壳物质减压和升温,进而发生部分熔融。分布于义敦岛弧夏囊沟一带的这套火山岩富 K₂O 贫 CaO,具钾玄岩特性,指示其岩浆源区高度缺水。实验岩石学已证明,地壳岩石在缺水条件下低程度熔融是高钾流纹岩生成的首要条件(Puziewie and Johannes, 1990)。与弧后扩张盆地中的火山作用不同,在板内裂陷环境中引发地壳浅部岩石大规模熔融的主要原因已不是来自俯冲板片的流体,而是由软流圈上涌引起的减压和增温,这符合岛弧造山带演化的一般规律。

6 结论

(1) 产于义敦岛弧弧后区夏囊沟一带的酸性火山岩虽然与弧后扩张盆地勉戈组中的双峰火山岩系相邻,但它们形成于截然不同的构造环境,前者具有清晰的板内裂陷岩浆作用特点,标志着该岛弧俯冲造弧阶段已经结束。

(2) 板内火山岩4个全岩样品给出 Rb- Sr 全岩等时线年龄 $t = 189.2 \pm 5.0$ Ma, 相关系数 $R = 0.999824$, 结合弧后盆地勉戈组双峰火山岩 213 Ma 的形成年代(胡世华等,1992),说明该岛弧仅仅在 24 Ma 左右时限内就完成了从俯冲造弧向陆内裂陷体制的转换,由此对岛弧带碰撞造山演化过程获得了精确约束。

(3) 板内火山岩以富 K₂O、Nb、Ta、Zr、Hf, 贫 CaO、Sr、Eu 为特点,稀土元素经球粒陨石标准化后的分配曲线呈“V”型, I_{Sr} 值(0.714578)较高,这些都指示板内火山作用是在地壳源区的缺水环境中发生的,它们的形成没有来自俯冲板片的流体参与。

(4) 板内火山岩浆的成分分异受岩浆源区斜长石熔融残留和岩浆形成之后黑云母结晶分离双重制约,但仍以前者为主。岩浆源区熔融程度较低,估计在 15% 左右。

Reference

- Breton N L and Thompson A B. 1998. Fluid-absent (dehydration) melting of biotite in metapelites in the early stages of crustal anatexis[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 99: 226- 237.
- ChenYanjing. 1998. Factors and mechanism of the rock-forming and ore-forming models in collisional orogenic processes[J]. *Earth Sci*

- ence Frontiers, 5 (supp.): 109~ 118 (in Chinese with English abstract).
- Conrad W. 1988. Water_saturated and_undersaturated meltion of met-aluminous and peraluminous crustal compositions at 10 kb: evidence for the origin of silicic magmas in the Taupo volcanic zone, New Zealand, and other occurrence[J]. J. Petrol., 29: 265~ 303.
- Dong Shuwen. 1999. The tectono_magmatic evolution and mineralization in an orogenic belt[A]. Chen Yuchuan. The Theories and Methods of Modern Assessment on Mineral Resources[C]. Beijing: Seismic Publishing House(in Chinese).
- Edwards C M H, Menzies M A, Thirlwall M F, *et al.* 1994. The tran-sition to potassic volcanism in island arcs: the Ringgit_Beser complex, east Jast Java, Indonesia[J]. J. Petrology, 35: 1 557~ 1 595.
- Gribble R F, Stern R J, Newman S, *et al.* 1998. Chemical and isotopic composition of lavas from the Northern Mariana trough: implication for magmagenesis in back_arc basins[J]. J. Petrol., 39: 125~ 154.
- Holtz F and Johannes W. 1994. Maximum and minimum water contents of granitic melts: implication for chemical and physical properties of ascending magmas[J]. Lithos, 32: 149~ 159.
- Hoogewerff J A, Bergen M J V, Vroon P Z. *et al.* 1997. U series, Sr-Nd_Pb isotope and trace_element systematics across an active island arc_continent collision zone: implications for element transfer at the slab_wedge interface[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta. 61: 1 057~ 1 072.
- Hu Shihua, Hou Liwei, Yin Xianke, *et al.* 1992. Volcano_sedimentation of Yidun Arc in western Sichuan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Marjorie W. 1989. Igneous Petrogenesis[M]. London: Uniwin Human, 4.
- Pearce J A Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimina-tion diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. J. Petrol., 25: 956~ 983.
- Puziewies J and Johannes W. 1990. Experimental study of a biotite_bearing granitic system under water_saturated and water_undersatur-ated conditions[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 104: 397~ 406.

附中文参考文献

- 陈衍景. 1998. 影响碰撞造山成岩成矿模式的因素及其机制[J]. 地学前缘, 5 (增刊): 109~ 118.
- 董树文. 1999. 造山带构造岩浆演化与成矿作用[A]. 陈毓川. 当代矿产资源评价的理论与方法[C]. 北京: 地震出版社.
- 胡世华, 侯立伟, 尹显科, 等. 1992. 川西义敦岛弧火山- 沉积作用[M]. 北京: 地质出版社.