

文章编号:1009-3850(2017)04-0041-07

滇西北羊拉乡贝吾玄武岩形成的大地构造环境探讨

张雪峰, 吴 亮, 王 宇, 柳建明, 杨 强

(重庆市地质矿产勘查开发局川东南地质大队, 重庆 400038)

摘要:贝吾玄武岩为滇西北金沙江蛇绿混杂岩带中的一个岩块。通过详细的野外调查和岩石地球化学研究认为,贝吾玄武岩为低钾拉斑玄武岩,分异程度较低,大离子亲石元素相对于高场强元素富集,稀土总量低,轻稀土略富集,整体特征介于正常洋脊玄武岩与岛弧玄武岩之间,为似洋中脊玄武岩。其类似于岛弧玄武岩的富集特征表明了成岩过程中俯冲作用的存在,综合岩性组合、构造特征和地质背景分析,认为其属前弧玄武岩,形成于初始俯冲的洋内弧环境。

关键词:玄武岩;洋内弧;羊拉;滇西北

中图分类号:P542

文献标识码:A

金沙江结合带位于“三江”中段,是一条重要的铜多金属成矿带,有羊拉大型铜矿床产出。前人对该结合带作了大量工作,基本查明了该带的岩性组合和构造格架。羊拉铜矿一带的贝吾玄武岩,前人多认为具有洋脊-准洋脊型玄武岩特征,形成于洋脊扩张中心^[1-3]。然而通过笔者的调查研究,认为其可能并非洋脊玄武岩,在此谨作探讨。

1 区域地质背景

本文研究的贝吾玄武岩地理位置上位于云南省德钦县羊拉铜矿区,大地构造位置上位于西南三江中段的金沙江结合带,其东侧为中咱-中甸陆块,西侧为昌都-思茅陆块(图1)。金沙江结合带是一条古特提斯缝合带,其经过泥盆纪大陆裂解、石炭纪洋盆扩张、二叠纪俯冲消减、三叠纪碰撞造山所形成^[1,4-7]。

关于贝吾玄武岩所在区域的地层,存在不同的认识和划分方案:(1)1977年四川地勘局区调三队

在开展1:20万得荣幅填图时,将其命名为嘎金雪山群,分上、下段。上段为一套碎屑岩、灰岩、硅质岩和火山岩的不等厚互层组合,下段以变质石英砂岩为主,变质程度因地而异,少数地区混合岩化明显,而贝吾玄武岩划归上段;(2)1993年云南地矿局三大队在开展找矿普查工作时,按时代由新到老将该套地层划分为a、b、c、d、e 5个岩性段,贝吾玄武岩即属于e段,主体为灰绿色致密块状玄武岩、蚀变杏仁状玄武岩,中下部夹大理岩、凝灰质绢云母板岩;(3)1999年成都地质矿产研究所王立全等认为其是由不同岩性、不同时代、不同规模的构造岩片混杂叠置的非史密斯单元^[1];(4)2008年云南省地调院在大羊拉地区1:5万矿调时,将其划分为志留系、江边组、里农组和贝吾组等地层单元,贝吾玄武岩即属于贝吾组。

通过本次1:5万区域地质调查工作,认为该套地层确实为一套构造混杂的火山-沉积岩系,整体无序,局部有序。其中贝吾玄武岩为一大型岩块,属

收稿日期:2017-08-08; 改回日期:2017-10-19

作者简介:张雪峰(1986-),男,硕士,工程师,主要从事区域地质调查研究工作。E-mail:zxfkxx@163.com

资助项目:《西南三江有色金属资源基地调查》项目(项目编号DD20160016)资助

于金沙江构造混杂岩带的组成部分,顶部与三叠系上统甲丕拉组呈断层或角度不整合接触,底部与构造混杂岩带呈断层接触。贝吾玄武岩整体呈灰绿色,主要岩性为玄武岩、玄武安山岩,夹少量黑色薄层状硅质岩和方解石脉。玄武岩多为致密块状构造,偶见枕状构造、杏仁状构造,镜下多具斑状结构,斑晶多为基性斜长石,偶见橄榄石和辉石;基质具间粒间隐结构,成分以基性斜长石和普通辉石为主,岩石普遍遭受绿泥石化。

战明国等^[8]通过贝吾玄武岩中锆石 U-Pb 测年获得 361.6 ± 8.5 Ma 的年龄,其时代相当于早石炭世。其上覆的甲丕拉组为一套紫红色含砾砂泥岩磨拉石沉积,其下伏的构造混杂岩主要由变质石英砂岩块、大理岩岩块和绢云母-砂泥质千枚岩、板岩基质组成,普遍遭受韧性剪切,变形复杂而强烈,古生物组合和同位素定年数据从泥盆纪到二叠纪均

有出现^[1,9-10]。研究区地质简图见图 1。

2 样品采集与分析结果

2.1 样品采集及特征

贝吾玄武岩岩块被羊拉乡至贝吾村的公路从中部横切,本次样品采集工作就沿该公路展开。从岩块顶部到底部,取样间隔 800m,共 7 个,基本代表了贝吾玄武岩的整体特征,具体采样位置见图 1。经薄片镜下鉴定,所取样品 5 个为玄武岩,1 个为辉长岩、1 个为辉绿岩。玄武岩镜下多具斑状结构,基质具变余间粒-间隐结构、块状构造。主要矿物成分为基性斜长石(48% ~ 55%)、普通辉石(13% ~ 35%),其次为隐晶质、绿帘石、绿泥石等。斑晶状基性斜长石呈半自形宽板状,稀疏零星分布,无定向性,具简单-聚片双晶,多已绢云母化,粒径多在 0.3 ~ 0.5mm。基质中基性斜长石呈自形-半自形板

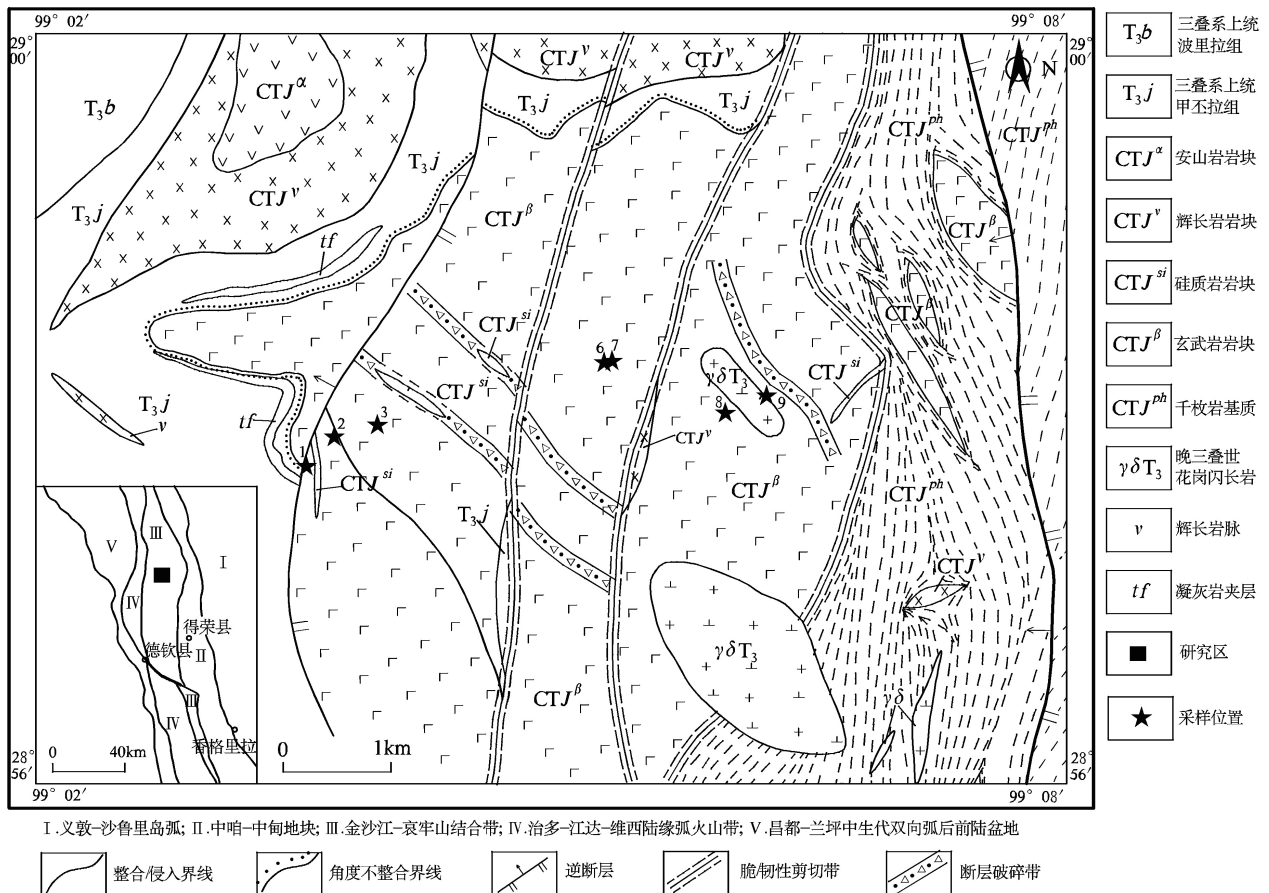


图 1 贝吾玄武岩区域地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of the Beiwu basalts

表 1 贝吾玄武岩主量元素(wt%)、微量元素和稀土元素($\times 10^{-6}$)测试结果
Table 1 Major(wt%) and trace($\times 10^{-6}$) element determinations for the Beiwu basalts

岩性	玄武岩	玄武岩	玄武岩	辉长岩	辉绿岩	玄武岩	玄武岩
样品号	BW1	BW2	BW3	BW6	BW7	BW8	BW9
SiO ₂	50.04	49.01	49.49	47.85	50.79	56.42	53.73
TiO ₂	1.50	1.63	1.41	0.99	1.18	0.78	0.92
Al ₂ O ₃	15.81	14.82	14.09	18.41	15.05	14.37	17.47
Fe ₂ O ₃	1.56	1.69	1.72	1.00	2.70	0.87	1.09
FeO	8.44	8.62	8.62	6.72	6.35	6.20	6.97
MnO	0.16	0.17	0.16	0.13	0.17	0.15	0.15
MgO	5.63	4.47	5.30	7.79	5.46	5.89	3.82
CaO	6.52	10.83	9.17	7.05	9.37	7.15	7.77
Na ₂ O	3.98	2.92	3.77	3.02	4.24	5.04	3.04
K ₂ O	0.27	0.04	0.09	1.58	0.24	0.34	1.01
P ₂ O ₅	0.25	0.30	0.14	0.09	0.30	0.10	0.14
LOI	5.09	5.35	5.12	4.93	3.46	1.55	2.41
Total	99.23	99.85	99.09	99.58	99.29	98.86	98.52
FeO*	9.84	10.14	10.17	7.62	8.78	6.98	7.94
Sc	40.06	37.31	38.43	33.42	33.95	26.29	24.29
V	291.14	273.49	280.05	196.35	192.92	131.71	171.14
Cr	50.47	37.65	47.44	201.37	120.15	201.27	23.07
Co	32.89	31.68	33.59	27.66	24.65	23.75	21.74
Ni	40.06	29.82	23.44	76.94	24.25	152.32	10.27
Ga	19.59	23.85	19.98	20.63	20.22	20.81	22.12
Rb	11.84	4.72	6.02	52.78	9.63	13.85	35.12
Sr	230.40	77.92	175.39	205.29	288.70	120.28	298.17
Y	50.91	61.16	48.31	31.75	35.54	70.74	38.25
Zr	128.25	140.20	92.00	62.17	89.69	234.81	81.65
Nb	9.15	9.05	2.46	4.91	19.24	14.95	7.63
Cs	4.42	1.50	2.16	3.67	0.51	6.73	9.92
Ba	164.21	121.70	126.49	311.43	111.81	138.78	328.22
La	10.96	11.93	5.51	2.64	14.13	15.95	13.87
Ce	20.96	23.31	11.78	6.41	25.52	29.88	25.44
Pr	3.59	4.00	2.29	1.35	4.04	4.89	4.08
Nd	16.56	18.79	11.84	7.19	17.75	23.30	17.94
Sm	4.83	5.49	3.93	2.58	4.35	6.63	4.52
Eu	1.05	1.17	0.96	0.93	0.91	1.33	1.19
Gd	4.07	4.69	3.40	2.17	3.60	5.67	3.79
Tb	1.04	1.19	0.94	0.61	0.81	1.45	0.84
Dy	10.91	12.73	10.22	6.73	7.54	14.69	8.20
Ho	2.39	2.77	2.29	1.52	1.70	3.28	1.82
Er	4.13	4.77	3.90	2.55	2.95	5.57	3.22
Tm	0.60	0.72	0.58	0.38	0.40	0.83	0.48
Yb	5.44	7.21	5.09	2.69	2.98	7.93	4.16
Lu	0.63	0.72	0.57	0.40	0.40	0.75	0.54
Hf	4.23	5.78	1.90	2.87	2.38	7.52	3.84
Ta	3.72	8.22	1.92	15.33	29.30	8.24	11.08
Pb	5.25	4.65	5.86	5.76	4.55	5.76	13.34
Th	3.08	0.44	0.54	0.34	2.79	1.52	3.57
U	1.94	0.51	0.14	0.19	0.74	0.91	0.81
ΣREE	87.15	99.50	63.29	38.14	87.09	122.15	90.09
LREE/HREE	1.98	1.86	1.35	1.24	3.27	2.04	2.91
(La/Yb) _N	1.45	1.19	0.78	0.70	3.40	1.44	2.39

注: FeO* = 0.899 × Fe₂O₃ + FeO; ΣREE 不含 Y; LREE 为 La-Eu; HREE 为 Gd-Lu

条状,多具聚片双晶,长径无定向排列,在其搭建的格状间隙内充填着已绿帘石化、绿泥石化的矿物或火山玻璃,显示原岩具间粒-间隐结构。部分岩石中见有少量方解石微细脉贯入,脉宽一般 0.05mm 左右。

2.2 分析方法及结果

样品的分析测试由国土资源部成都矿产资源监督检测中心完成,主量元素分析采用熔片法,将样品制成玻璃饼,用 X 射线荧光光谱法(XRF)测定样品的主量元素含量,分析误差小于 1%。微量元素分析用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)完成,分析精度优于 5%。具体测试分析结果列于表 1。

3 岩石地球化学特征

3.1 主量元素

样品 SiO_2 含量为 47.85% ~ 56.42%, 平均为 50.97%, 属于基性岩范畴。在火山岩 SiO_2 -($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) 分类图上(图 2)样品主要落入玄武岩区域, 仅 BW8 和 BW9 两个样品落入玄武安山岩区域。样品 K_2O 含量较低, 平均 0.28%, 全碱($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) 含量 2.97% ~ 5.38%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 均小于 1, 在 SiO_2 - $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 图上(图 2)大多位于亚碱性区域。根据 SiO_2 - FeO^*/MgO 图, 仅 BW6 号样品属于钙碱性系列, 其它全部属于拉斑系列(图略)。根据 AFM 图解(图 3), 样品具有向富铁方向演化的特征, 与拉斑系列一致。样品平均 MgO 含量偏低(5.37%), 两个落入玄武安山岩区的样品 MgO 含量 5.89, 未达到高镁安山岩标准^[11]。平均全铁 FeO^* 含量 8.7%。岩浆分异程度较低, CIPW 标准矿物计算分异指数 $\text{DI} = 33.65 \sim 40.96$ 。

3.2 微量及稀土元素

从微量元素原始地幔标准化图(图 4)上可以看出, 样品选择性富集大离子亲石元素(LILE) Sr、Rb、Ba, 而 K 的变化较大。高场强元素(HFSE)表现为 Ta 的明显富集, Zr、Hf 略富集, 而 Nb、P、Ti 相对亏损。与正常洋脊玄武岩(N-MORB)和岛弧玄武岩(IAB)^[12] 比较, 其大离子亲石元素的富集程度介于正常洋中脊玄武岩和岛弧玄武岩之间, 而高场强元素的特征与两者基本一致。

从稀土元素球粒陨石标准化图(图 5)上可以看出, 样品稀土总量偏低, $\Sigma\text{REE} = (38.14 \sim 122.15) \times 10^{-6}$, 平均 79.49×10^{-6} , 其中 LREE 平均 $52.18 \times$

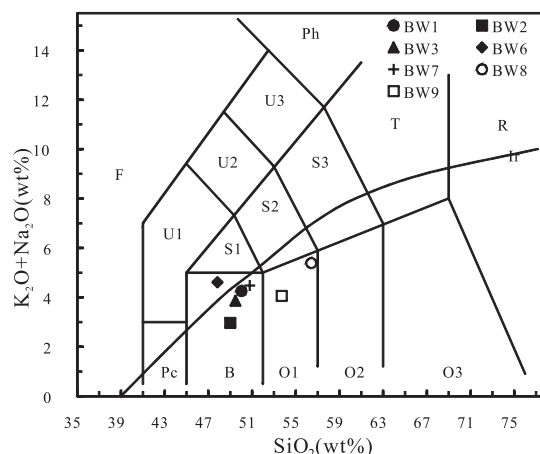


图 2 贝吾玄武岩 SiO_2 - $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 分类图(据 Le maitre, 1986; Irvine, 1971)

Pc. 苦橄玄武岩; B. 玄武岩; O1. 玄武安山岩; O2. 安山岩; O3. 英安岩; R. 流纹岩; S1. 粗面玄武岩; S2. 玄武质粗面安山岩; S3. 粗面安山岩; T. 粗面岩、粗面英安岩; F. 副长石岩; U1. 碱玄武岩、碧玄武岩; U2. 响岩质碱玄武岩; U3. 碱玄武质响岩; Ph. 响岩; Ir. 上方为碱性; 下方为亚碱性

Fig. 2 SiO_2 vs. $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ diagram for the Beiwu basalts (after Le Maitre, 1986; Irvine, 1971)

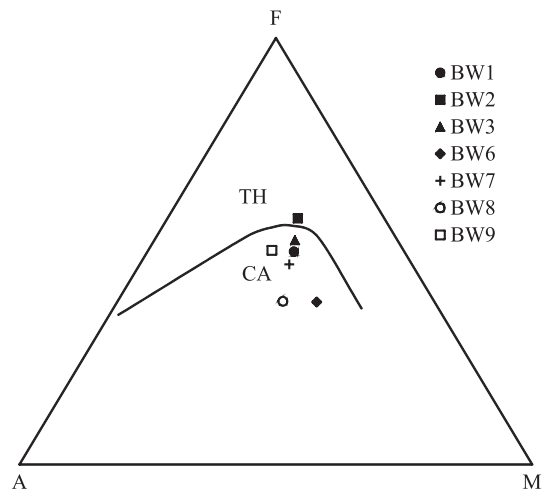


图 3 贝吾玄武岩 AFM 图解(据 kono, 1969; Irvine, 1971)

A. $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; F. FeO^* ; M. MgO ; TH. 拉斑系列; CA. 钙碱性系列

Fig. 3 AFM triangular diagram for the Beiwu basalts (after Kono, 1969; Irvine, 1971)

10^{-6} , HREE 平均 26.35×10^{-6} ; LREE/HREE 均大于 1, 平均为 1.98, 平均 $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 1.41$ 。稀土配分模式整体趋于水平, 而轻稀土略富集, 这与岛弧玄武岩类似, 而不同于正常洋中脊玄武岩的 LREE 略亏损特征。各稀土元素之间分异明显, Ce、Eu、Gd、Er、

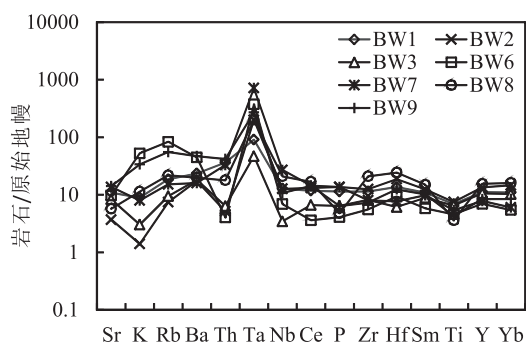


图4 贝吾玄武岩微量元素原始地幔标准化图(原始地幔标准化资料据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 4 Primitive mantle-normalized spidergram for the Beiwu basalts (primitive mantle-normalized data from Sun and McDonough, 1989)

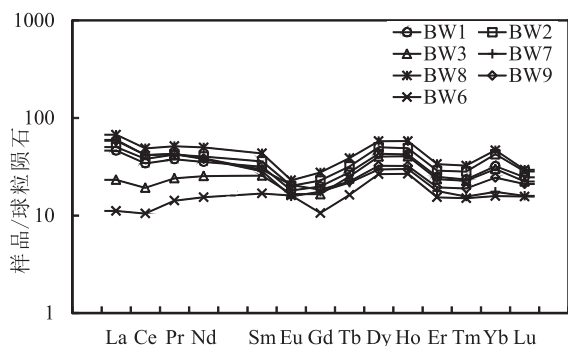


图5 贝吾玄武岩稀土元素球粒陨石标准化图(球粒陨石标准化资料据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the Beiwu basalts (chondrite-normalized data from Sun and McDonough, 1989)

Tm 形成负异常,其中 $\delta\text{Ce} = 0.82$, $\delta\text{Eu} = 0.78$, Dy、Ho、Yb 形成正异常。Ce 负异常可能反映了海相沉积物参与了成岩作用。而 Eu 在斜长石/熔体之间的分配系数很高,其负异常可能与斜长石在岩浆早期的大量析出有关。

4 构造环境探讨

关于贝吾玄武岩形成的大地构造环境,前人多因其具洋脊-准洋脊型玄武岩的岩石地球化学特征而认为其形成于洋中脊。然而,具有洋脊化学特征的玄武岩并非一定产于洋脊环境,似洋中脊玄武岩(MORB-like 玄武岩)就不是产于洋中脊,而是产在前弧的喷发玄武岩,是前弧中最广泛的岩石,称为

前弧玄武岩(FAB),其是在洋盆初始俯冲开始后的伸展环境下形成的初始弧^[13]。本文将从岩石化学、岩性组合和构造特征等方面,对贝吾玄武岩形成的大地构造环境进行综合探讨。

4.1 岩石地球化学

贝吾玄武岩为低钾拉斑玄武岩,与大陆裂谷碱性玄武岩和大陆溢流玄武岩明显不同,与洋岛玄武岩对比,也不具有其富集特征。结合区域地质背景分析,其可能的成因类型为大洋中脊玄武岩(MORB)或岛弧玄武岩(IAB)。

利用微量元素岩石地球化学判别图解进行投图分析,在 Ni-Ti/Zr 判别图解(图6)上,大部分落入岛弧拉斑玄武岩(IAT)区域,仅两个样品落入洋中脊玄武岩区域。在 Zr-Zr/Y 判别图解(图7)上,大部分落入洋中脊玄武岩区域,少部分落入岛弧玄武岩和洋中脊玄武岩交汇区域,但 Zr/Y 一般小于3,具有大洋岛弧的特征。在用 Nb、Ta、Hf、Yb 等元素构筑的多种判别图解上,样品落点均以集中在洋脊和岛弧环境之间为主,说明贝吾玄武岩不具有典型的岛弧玄武岩或洋中脊玄武岩特征,而是介于两者之间。

LILE 相对于 HFSE 选择性富集的特征与正常洋中脊玄武岩明显不同,而类似于岛弧玄武岩;稀土配分模式上,其 LREE 略富集的特征与正常洋中脊玄武岩不同,而类似于岛弧玄武岩。这种富集特征表明了成岩过程中俯冲作用的存在,此外,其 Nb、

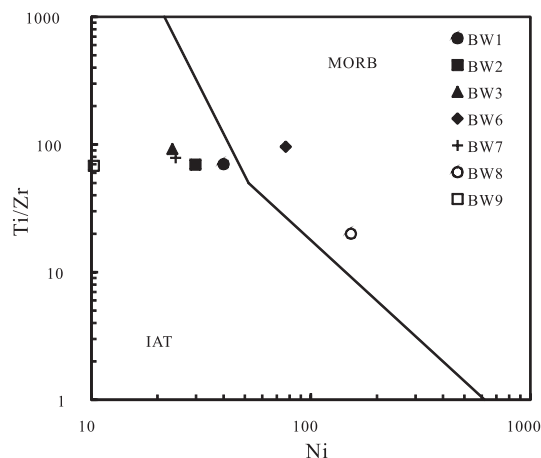


图6 贝吾玄武岩 Ni-Ti/Zr 判别图解(据 Beccaluva, 1980)

MORB. 洋中脊玄武岩; IAT. 岛弧拉斑玄武岩

Fig. 6 Ni vs. Ti/Zr discrimination diagram for the tectonic interpretation of the Beiwu basalts (after Beccaluva, 1980)

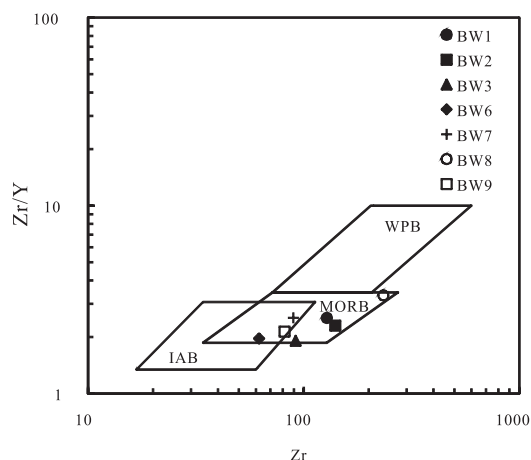


图7 贝吾玄武岩 Zr-Zr/Y 判别图解(据 Pearce, 1979)

IAB. 岛弧玄武岩; MORB. 洋中脊玄武岩; WPB. 极内玄武岩

Fig. 7 Zr vs. Zr/Y discrimination diagram for the Beiwu basalts (after Pearce, 1979)

Ti 的亏损也说明了这一点。所以从岩石地球化学特征上看, 贝吾玄武岩更可能形成于俯冲环境。

4.2 岩性与构造

从岩性组合上看, 贝吾玄武岩以单一的玄武岩为主, 见枕状构造、方解石脉和水平纹层状硅质岩, 未见陆源碎屑物质, 说明其形成于较深水环境, 与成熟的岛弧环境不同, 而与洋脊环境或初始俯冲的洋内弧环境一致。

从构造特征上看, 贝吾玄武岩属于金沙江蛇绿混杂带中的一个岩块, 出露面积约 20 km², 其底部与泥盆纪到二叠纪的混杂岩呈断层接触, 顶部与晚三叠世的砂砾岩呈断层或角度不整合接触, 内部变形中等, 仅为数条脆-韧性断裂切割, 说明其并未经过强烈的深部构造作用。而洋壳残片往往因俯冲而进入深部构造层次, 自身变形强烈, 且大多被构造肢解为小的岩块, 地表出露规模往往不大。例如, 南侧徐龙一带代表蛇绿岩套残片的超基性岩, 其变形强烈, 体积很小, 多为数米至数十米尺度。因此, 从构造变形特征分析, 贝吾玄武岩可能并非洋壳残片, 而更可能来源于金沙江岛弧体系。

从地质背景上分析, 贝吾玄武岩可与其下部原嘎雪山群 a、b 段的洋内岛弧型火山岩配套^[1], 后者为二叠纪的玄武安山岩、角闪安山岩, 代表了更

晚的洋内俯冲作用。

综上所述, 贝吾玄武岩更可能形成于洋内弧环境, 与前弧玄武岩 (FAB) 相当。

5 结论

(1) 贝吾玄武岩为低钾拉斑玄武岩, 大离子亲石元素 (LILE) 相对于高场强元素 (HFSE) 选择性富集, 稀土总量低, 轻稀土略富集, 整体特征介于正常洋脊玄武岩与岛弧玄武岩之间。

(2) 贝吾玄武岩为前弧玄武岩, 形成于初始俯冲的洋内弧环境。

参考文献:

- [1] 王立全, 潘桂棠, 李定谋, 等. 金沙江弧-盆系时空结构及地史演化[J]. 地质学报, 1999, 73(3): 206-217.
- [2] 魏君奇, 陈开旭, 何龙清. 德钦羊拉地区火山岩形成的构造环境讨论[J]. 云南地质, 1999, 18(1): 53-62.
- [3] 朱俊, 李文, 曾普胜, 等. 滇西北羊拉矿区基性岩地球化学特征及构造意义[J]. 地质与勘探, 2010, 46(5): 899-909.
- [4] 孙晓猛, 简平. 滇川西部金沙江古特提斯洋的威尔逊旋回[J]. 地质论评, 2014, 50(4): 343-350.
- [5] 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [6] 潘桂棠, 王立全, 李荣社, 等. 多岛弧盆系构造模式: 认识大陆地质的关键[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(3): 1-20.
- [7] 王立全, 李定谋, 管士平, 等. 云南德钦鲁春-红坡牛场上叠裂谷盆地“双峰式”火山岩的 Rb-Sr 年龄值[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(1): 65-71.
- [8] 战明国, 路远发, 陈式房, 等. 滇西北羊拉大型铜矿床形成条件及其成因类型[J]. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 183-186.
- [9] 潘家永, 张乾, 马东升, 等. 滇西羊拉铜矿区硅质岩特征及与成矿的关系[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(1): 10-16.
- [10] 朱俊, 曾普胜, 曾礼传, 等. 滇西北羊拉铜矿区地层划分[J]. 地质学报, 2009, 83(10): 1415-1420.
- [11] 邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 等. 高镁安山岩/闪长岩类 (HMA) 和镁安山岩/闪长岩类 (MA): 与洋俯冲作用相关的两类典型的火成岩类[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1112-1118.
- [12] 杨婧, 王金荣, 张旗, 等. 全球岛弧玄武岩数据挖掘——在玄武岩判别图上的表现及初步解释[J]. 地质通报, 2016, 35(12): 1937-1949.
- [13] 肖庆辉, 李廷栋, 潘桂棠, 等. 识别洋陆转换的岩石学思路——洋内弧与初始俯冲的识别[J]. 中国地质, 2016, 43(3): 721-737.

Tectonic setting of the Beiwu basalts from Yangla, northwestern Yunnan: An approach

ZHANG Xue-feng, WU Liang, WANG Yu, LIU Jian-ming, YANG Qiang

(*Southeastern Sichuan Geological Party, Chongqing Bureau of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400038, China*)

Abstract: The Beiwu basalts constitute a large tectonic block in the Jinshajiang ophiolitic mélange zone in northwestern Yunnan. The integration of detailed field investigation and lithogeochemical study shows that the Beiwu basalts have the features of low-K tholeiitic basalts, low differentiation, remarkably enrichment of large ion lithophile elements (LILE) relative to the high field strength elements (HFSE), low total REE amount, slightly enrichment of light rare earth elements (LREE). The Beiwu basalts are not assigned to the typical mid-oceanic ridge basalts (MORB) or island-arc basalts (IAB), but to a transitional type between them or to the MORB-like basalts. The similarity of the Beiwu basalts to the island-arc basalts suggests the existence of the subduction during the diagenetic processes. It is concluded from lithologic association, geological background and tectonic setting that the Beiwu basalts may be assigned to the front arc basalts (FAB) which are formed in the initial subduction of intra-oceanic arc environments.

Key words: basalt; intra-oceanic arc; Yangla; northwestern Yunnan