

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2018.03.012

青海省俄昌公仁地区杂岩组火山岩地球化学特征及构造环境

王光辉¹, 加永泽巴², 邹建¹, 宋福生¹

(1. 四川省核工业地质调查院, 成都 610052;

2. 西藏大学工学院, 拉萨 850000)

摘要: 俄昌公仁地区地处西金乌兰—金沙江构造混杂岩带与北羌塘—昌都地体的交汇部位。文章通过对乌丽—开心岭杂岩组火山岩岩石学、主量元素、稀土元素、微量元素等地质地球化学研究表明:杂岩组火山岩为典型的钙碱性岩石组合,推断杂岩组火山岩属于与板块俯冲作用有关的岩浆岛弧带的产物,形成于与板块俯冲作用有关的岛弧构造环境;锆石 U-Pb 同位素年代为 $258.5 \text{ Ma} \pm 4.6 \text{ Ma}$,属晚二叠世早期。

关键词: 杂岩组;二叠纪火山岩;地球化学特征;构造环境;俄昌公仁地区;青海省

中图分类号: P534.46;P588.14 **文献标识码:** A

0 引言

青海省治多县俄昌公仁地区大地构造上属于东特提斯构造域,西南三江成矿带北段,处于澜沧江—龙木错结合带与可可西里—金沙江结合带之间的昌都—思茅地块中部^[1],该区火山活动十分强烈,火山岩分布广泛、相变快、厚度大,在火山活动间歇发育沉积碳酸盐岩。

前人对于金沙江洋打开、俯冲和闭合的观点和认识主要有:①金沙江弧后洋盆始于泥盆纪晚期,形成于石炭纪—二叠纪^[2-3];②关于俯冲时限认识的分歧较大,有学者认为早二叠世晚期向西俯冲^[3],有学者认为晚石炭世开始俯冲直至晚二叠世早期^[4];③关于碰撞闭合时限的认识也较模糊,有学者认为晚二叠世晚期开始碰撞造山^[4],在中二叠世末期基本闭合,最终闭合于中三叠世^[5];④对于西金乌兰—金沙江缝合带的俯冲极性,有学者认为它是向北消亡的^[6],将昆仑作为其伴生岛弧,但近年来区域地质研

究表明,南侧羌塘北缘完整的岩浆弧才是与之匹配的伴生岛弧;⑤西金乌兰—金沙江缝合带南部的乌丽—开心岭岛弧被认为是西金乌兰—金沙江洋向南俯冲的产物^[4]。为此,本文在分析乌丽—开心岭杂岩组火山岩的岩石地球化学特征及锆石 U-Pb 年龄的基础上,将探讨其构造环境及成岩时代。

1 地质概况

俄昌公仁地区位于西金乌兰—金沙江构造混杂岩带与北羌塘—昌都地体的交汇部位(图 1a)。构造演化受特提斯从发展到消亡的构造动力学体制制约,从元古代以来经历了基底形成、洋陆转换、盆山转换、陆内调整及高原隆升等构造作用阶段。

区内出露地层主要为中元古界宁多岩组($P_{t_2}n$)片麻岩、片岩;二叠系杂岩组($P_{1-2}gd$)玄武岩、安山岩,诺日巴日保组(P_2nr)灰岩夹长石石英砂岩,少量火山岩夹层,九十道班组(P_2j)灰岩;三叠系结隆组($T_{1-2}j$)灰岩,巴塘群(T_3Bt)碎屑岩、灰岩,甲丕

收稿日期: 2017-04-17; 责任编辑: 赵庆

基金项目: 中国地质调查局“青海省治多县俄昌公仁地区 1:5 万 I46E012020、I46E013020、I46E014020 三幅区域地质矿产调查项目”(编号:12120113033500)资助。

作者简介: 王光辉(1986—),男,工程师,在职研究生,主要从事区域地质矿产调查固体矿产勘查。E-mail:372043589@qq.com

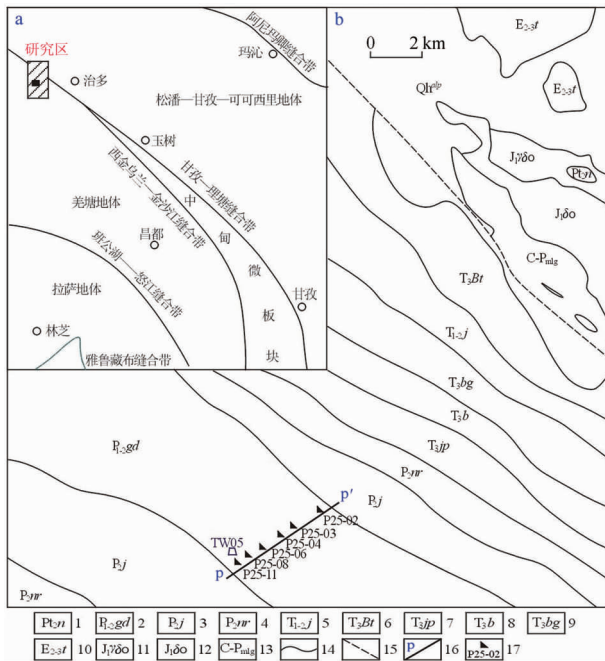


图1 俄昌公仁一带地质简图

Fig. 1 Geological sketch for the Echanggongren area

1. 中元古界宁多岩组; 2. 下-中二叠统杂岩组;
3. 中二叠统九十道班组; 4. 中二叠统诺日巴组;
5. 早-中三叠统结隆组; 6. 晚三叠世巴塘群; 7. 晚三叠世甲丕拉组;
8. 晚三叠世波里拉组; 9. 晚三叠世巴贡组; 10. 古近纪沱沱河组;
11. 早侏罗世英云闪长岩; 12. 早侏罗世石英闪长岩;
13. 石炭纪-二叠纪混杂岩; 14. 地质界线;
15. 缝合带边界; 16. 剖面位置; 17. 采样位置及编号

拉组(T_{3jp})长石砂岩、粉砂岩、砾岩、含砾粗砂岩, 波里拉组(T_{3b})灰岩, 巴贡组(T_{3bg})灰黑色泥岩、粉砂岩; 以及新生界沱沱河组(E_{2-3t})砾岩, 查保马组(ENc)火山碎屑岩、安山岩(图 1b)。

2 火山岩岩石学特征

本次研究对象杂岩组火山岩位于金沙江构造混杂岩带之南, 呈 NWW - SSE 向带状分布(图 1b)。

杂岩组主要由中基性火山岩组成, 夹少量灰岩、硅质岩。杂岩组岩性主要有灰黑色褐铁矿-碳酸盐化玄武安山岩、灰紫色杏仁状强白云石化碎裂玻基斑状玄武安山岩、灰绿色杏仁状辉石玄武安山岩、灰紫色铁白云石化杏仁状玄武安山岩、灰褐色孔雀石化强蚀变玄武安山岩、紫红色玄武安山岩、灰色褐铁矿-白云石化玄武安山岩质屑凝灰角砾熔岩、白色硅质岩、灰紫色褐铁矿化含岩屑粗面安山岩, 区域

上岩石类型较为复杂, 且岩相变化较大, 岩层中夹有早二叠世化石的海相沉积夹层, 为溢流相-爆发相火山岩。岩石中多发育柱状节理, 局部地段岩石破碎, 广泛发育绿泥石化、绿帘石化、高岭土化、褐铁矿化等蚀变现象; 与开心岭群九十道班组(P_2j)碳酸盐岩呈断层接触(图 2a), 未见顶底。属海相喷发类型。

灰黑色褐铁矿-碳酸盐化玄武安山岩(图 2b): 灰黑色, 块状构造, 多斑状-显微交织结构, 岩石由斑晶与基质组成。斑晶约占 45%, 其中暗色矿物斑晶约占 20%, 完全被碳酸盐取代, 仅存短柱状、粒状假象, 粒度 0.6~1.2 mm; 斜长石约占 25%, 为自行长板、板柱状(图 2c), 粒度 0.5~1.5 mm, 为中-基性。基质约占 55%, 为显微针状斜长石杂乱分布, 粒隙间充填尘点状、微粒状褐铁矿(褐铁矿化)。

灰绿色杏仁状辉石玄武安山岩: 灰绿色杏仁状构造、多斑状-玻晶交织结构, 岩石具不规则状气孔, 由白云石、石英、绿泥石充填, 呈多环状。由斑晶与基质组成, 斑晶约占 40%, 其中暗色矿物斑晶约占 20%, 为短柱或粒状, 大部分被白云石取代, 偶见辉石残留, 粒度 0.5~2.1 mm; 斜长石约占 20%, 为自行板柱状(图 2d), 粒度 0.5~1.5 mm, 为中-基性斜长石。基质约占 60%, 为柱状斜长石微晶和玻璃组成, 多脱玻化, 形成针状、毛发状斜长石锥晶, 遍布尘点状褐铁矿。

3 样品的采集、处理及测试方法

(1) 样品的采集、处理

本次研究工作草测杂岩组地质剖面 1 条(见图 1b 中 P-P')。在该剖面上共采集锆石 U-Pb 年龄分析样 1 个(样号: TW05), 常量元素、稀土元素、微量元素分析样 6 个(样号: P25-02、P25-03、P25-04、P25-06、P25-08、P25-11)及化石样 5 个。现场选取新鲜和弱蚀变的样品。

样品室内处理过程: 去除风化部分后, 将其粉碎至 1~5 mm, 用去离子水和 3% 的稀盐酸多次超声浸泡及清洗, 直至无气泡产生; 将样品用去离子水冲洗干净, 烘干后粉碎至 200 目以备分析测试。主量元素、微量元素、稀土元素测试在西南冶金地质测试所完成。

锆石阴极发光(CL)显微照相和激光剥蚀等离子质谱(LA-ICP-MS)锆石 U-Pb 定年由 中国地质科

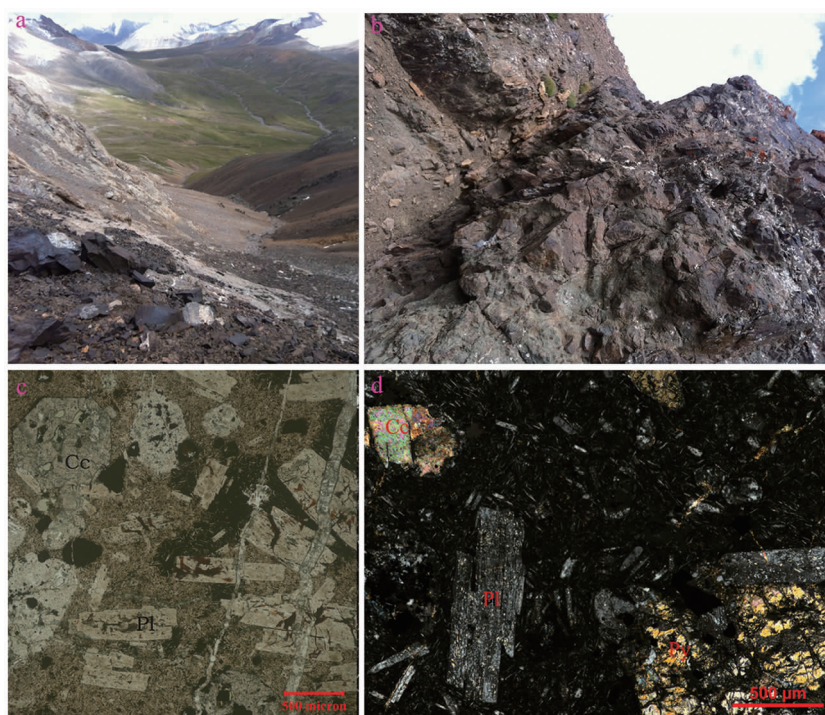


图2 岩石野外照片及显微特征

Fig. 2 Field photographs and microscopic features of rocks

a. 尕笛考组与九十道班组界线(昂瓜涌曲, 镜向 SE);

b. 紫红色玄武安山岩(昂瓜涌曲, 镜向 NW);

c. 碳酸盐化玄武安山岩镜下特征(单偏光); d. 辉石玄武安山岩镜下特征(正交偏光)

学院国家地质实验测试中心完成。阴极发光图像利用 JEOL JXA-8100 型电子探针分析仪获取。

(2) 测试方法

元素测试方法: 1) 主量元素测试采用碱熔玻璃片法, 使用仪器为 Axios X 荧光仪; 2) 微量元素采用高温高压消解, 利用 Perjub-Ekmer Sciex Elan 6000 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS) 测试; 3) 稀土元素采用 NexLON 300x ICP-MS 质谱法测试。

锆石 U-Pb 定年: 测试所用的激光剥蚀系统为 193nmArF-excimer 激光器的 RESolutionM-50, 激光束直径为 40 μm , 频率 10 Hz, 输出能量 2 mJ。采用 He 作为剥蚀物质的载体, 以锆石 Temora 作为外标对锆石样品的年龄值进行校正, 以 ^{29}Si 作为内标校正实验中的信号漂移。实验获得的数据采用 ICPMSDataCal 软件进行处理, 再利用 Ludwig 的 Isoplot 3.0 完成加权平均年龄的计算与谐和图的绘制。

(3) 测试分析结果

尕笛考组火山岩锆石 U-Pb 定年、主量元素分析、稀土和微量元素测试分析结果如表 1—表 4 所述。

4 测试结果分析

4.1 锆石 U-Pb 年龄

尕笛考组火山岩玄武安山岩样品的锆石阴极发光图像(图 3)显示, 大部分锆石自形程度较好, 长宽比为 1:1.5~1:2, 具有明显的震荡环带结构, 环带窄而细密, 个别锆石出现扇形分带结构, 并可见继承锆石的残留核(图 3 中的⑤号点)。

尕笛考组火山岩玄武安山岩锆石 U-Pb 年龄测试数据见表 1, 其中 $w(\text{Th})=101.5\times 10^{-6}\sim 1429.0\times 10^{-6}$, $w(\text{U})=171.4\times 10^{-6}\sim 1112.2\times 10^{-6}$, Th、U 呈现较好的正相关关系; $w(\text{Th})/w(\text{U})=0.3\sim 1.4$ 。

本次测试的年龄值为 120.5 Ma—1892.7 Ma, 年龄跨度大, 说明锆石具多来源, 捕获了较多的构造-岩浆事件的信息。但是, 其阶段性很强, 主要有四个年龄段: 1) 240.3~259.2 Ma; 分析点 $w(\text{Th})/w(\text{U})=0.5\sim 0.7$, 锆石淡棕色、透明、发育明显的振荡环带, 在锆石 U-Pb 同位素谐和图(图 4)中, 所



图3 杂笛考组火山岩锆石 CL 图像和年龄值

Fig. 3 CL images and ages of volcanic rocks of Gadikao Formation

有锆石数据点均落在谐和线上或附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $258.5 \text{ Ma} \pm 4.6 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.034$), 该年龄代表杂笛考组玄武安山岩锆石结晶年龄; 2) $1244.3 \sim 1892.7 \text{ Ma}$: 锆石呈现模糊状, 环带不明显或无环带, 不排除为变质成因, 局部可见继承锆石的残留核, 代表宁多岩组基底重熔的产物; 3) 337.0 Ma : 锆石呈黑色、无环带, 可能为捕获的石炭系锆石; 4) 120.5 Ma : 锆石结晶环带较多, 可能为经过后期重结晶改造的锆石。

4.2 地球化学特征与分析

(1) 主量元素

从表 2 可见, 杂笛考组火山岩扣除烧失量计算到 100% 后, $w(\text{SiO}_2) = 54.27\% \sim 59.98\%$, 属中性火山岩; 全碱 $\text{KN} = 4.55 \sim 9.42$, $\text{K/N} = 0.06 \sim 1.67$, 显示低钾、高钾并存的特点; 在 TAS 图解(图 5)

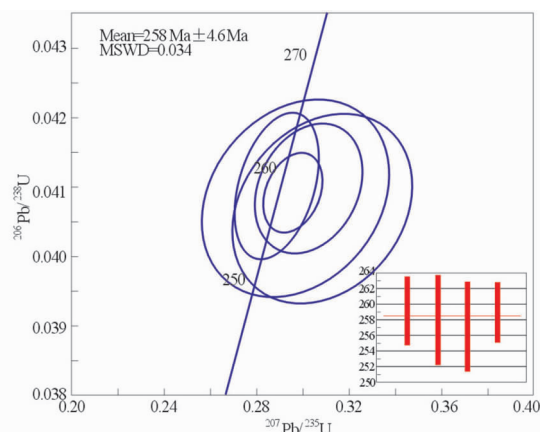


图4 杂笛考组火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图和统计直方图

Fig. 4 Concordia and histogram of LA-ICP-MS U-Pb age volcanic rocks of the Gadikao Formation

上, 2 个样品落在碱性系列区域, 4 个样品落在亚碱性系列区域; 结合镜下鉴定特征, 火山岩样品主要为玄武安山岩、安山岩; $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 14.09\% \sim 17.70\%$, 平均 15.36% , 高于大洋玄武岩; $w(\text{TiO}_2) = 0.72\% \sim 0.89\%$, 平均 0.83% , 含量较低, 显示岛弧火山岩特性, 有别于洋岛和洋中脊火山岩 ($w(\text{TiO}_2)$ 一般大于 1.3%); 组合指数 $\sigma = 1.92 \sim 6.18$, 除 1 个样以外均大于 3.3; $\text{A/NK} = 1.20 \sim 2.24$, 全部大于 1.0 过铝质。综合岩石化学参数、岩石化学图解及计算出的标准矿物组成等各种判别标志, 认为杂笛考组火山岩总体上归属亚碱性—碱性系列。

表1 杂笛考组玄武安山岩锆石 U-Pb 年龄测试数据

Table 1 U-Pb zircon dating results of basaltic andesite form Gadikao Formation

测试点	$w_B/10^{-6}$				同位素比值及误差								同位素年龄及误差/Ma							
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		
1	26.5	296.7	531.7	0.6	0.0513	0.0022	0.2886	0.0119	0.0410	0.0007	0.0101	0.0004	253.8	91.7	257.5	9.4	259.2	4.3		
2	10.1	101.5	209.6	0.5	0.0523	0.0046	0.2965	0.0269	0.0408	0.0009	0.0120	0.0008	298.2	200.0	263.6	21.1	258.0	5.8		
3	46.1	590.3	892.5	0.7	0.2620	0.0291	1.0706	0.0847	0.0356	0.0018	0.0172	0.0012	3258.9	175.9	739.0	41.5	225.5	11.3		
4	368.8	1429.0	1049.6	1.4	0.1183	0.0051	3.9390	0.1876	0.2414	0.0058	0.0550	0.0023	1931.5	77.2	1621.7	38.6	1394.1	30.2		
5	105.0	114.9	264.0	0.4	0.1604	0.0034	7.5410	0.1968	0.3413	0.0066	0.0855	0.0038	2461.1	35.2	2177.9	23.4	1892.7	31.9		
6	37.2	442.7	606.3	0.7	0.0658	0.0026	0.4987	0.0244	0.0537	0.0011	0.0154	0.0006	1200.0	83.3	410.8	16.5	337.0	6.4		
7	36.2	374.4	764.4	0.5	0.1173	0.0086	0.5934	0.0453	0.0380	0.0012	0.0172	0.0011	1916.7	126.9	473.1	28.9	240.3	7.8		
8	19.7	210.3	443.3	0.5	0.0559	0.0052	0.3078	0.0257	0.0407	0.0009	0.0113	0.0008	450.0	207.4	272.5	20.0	257.1	5.6		
9	73.2	129.1	242.4	0.5	0.1147	0.0046	4.4275	0.1969	0.2845	0.0091	0.0712	0.0037	1875.6	72.2	1717.5	36.9	1614.0	45.5		
10	4.9	192.6	218.4	0.9	0.0977	0.0076	0.2638	0.0229	0.0189	0.0005	0.0060	0.0004	1579.9	145.2	237.7	18.4	120.5	3.0		
11	303.1	330.7	1112.2	0.3	0.2006	0.0031	5.9126	0.1416	0.2129	0.0034	0.1109	0.0042	2830.6	26.1	1963.1	20.8	1244.3	17.9		
12	23.0	265.3	497.3	0.5	0.0539	0.0027	0.3024	0.0155	0.0410	0.0006	0.0104	0.0004	364.9	110.2	268.3	12.1	258.9	3.8		
13	8.5	111.4	171.4	0.6	0.0645	0.0062	0.3625	0.0350	0.0406	0.0013	0.0110	0.0006	761.1	203.7	314.1	26.1	256.9	7.9		

备注: 样号 TW05; 表中所列误差均为 1σ 误差

表 2 杂笛考组火山岩主量元素分析结果

Table 2 Major element analysis of volcanic rocks of Gadikao Formation

样品号	P25-02	P25-03	P25-04	P25-06	P25-08	P25-11
岩石名称	安山玄武岩	安山玄武岩	安山玄武岩	玄武安山岩	安山玄武岩	粗面安山岩
SiO ₂	57.03	53.03	54.68	58.39	55.50	58.62
TiO ₂	0.86	0.88	0.84	0.71	0.85	0.76
Al ₂ O ₃	14.16	14.32	13.76	16.53	13.93	17.38
Fe ₂ O ₃	6.74	5.90	3.33	4.84	4.47	5.11
FeO	1.89	2.67	4.43	1.26	3.24	1.34
MnO	0.09	0.16	0.16	0.08	0.12	0.05
MgO	3.24	4.89	5.87	1.26	6.13	1.32
CaO	6.09	10.05	7.51	5.75	8.25	3.03
Na ₂ O	6.87	2.53	2.48	6.08	2.01	7.17
K ₂ O	0.43	2.87	4.22	2.61	2.74	2.50
P ₂ O ₅	0.48	0.50	0.45	0.44	0.42	0.50
灼失	2.12	2.22	2.23	2.07	2.14	2.21
Σ	99.99	100.01	99.96	100.00	99.79	100.00
σ	3.95	5.53	4.19	5.21	1.92	6.18
SI	16.9	26	29	7.86	33.07	7.58
DI	63.79	42.41	49.73	71.08	43.39	77.58
AR	2.13	1.56	1.61	2.26	1.44	2.79
A/NK	1.2	1.99	1.61	1.3	2.24	1.2
A/CNK	0.63	0.57	0.63	0.72	0.66	0.88
KN	7.15	4.75	6.37	8.31	4.55	9.42

量单位: $w(\text{主量元素})/\%$

表 3 杂笛考组火山岩稀土元素分析结果

Table 3 REE element analysis of volcanic rocks of Gadikao Formation

样品号	P25-02	P25-03	P25-04	P25-06	P25-08	P25-11
岩石名称	安山玄武岩	安山玄武岩	安山玄武岩	玄武安山岩	安山玄武岩	粗面安山岩
La	44.8	52.0	49.8	65.9	44.9	78.1
Ce	84.4	70.8	78.7	106	78.6	115.5
Pr	10.86	13.12	12.14	14.16	11.03	14.64
Nd	42.75	36.32	39.82	44.75	40.71	59.93
Sm	9.49	12.05	10.43	10.11	9.88	9.16
Eu	2.7	3.13	3.06	2.78	2.9	2.41
Gd	9.1	9.63	9.91	9.69	9.1	8.94
Tb	1.29	1.49	1.45	1.45	1.31	1.23
Dy	5.6	6.44	6.45	6.70	5.7	5.24
Ho	1.1	1.27	1.27	1.26	1.1	1.06
Er	3.0	3.23	3.20	3.16	2.8	3.01
Tm	0.48	0.57	0.55	0.51	0.45	0.50
Yb	2.53	2.39	2.81	2.88	2.41	2.81
Lu	0.5	0.52	0.56	0.48	0.4	0.54
Y	23.40	20.87	23.23	22.29	21.64	25.40
$w(\Sigma\text{REE})$	242.08	230.50	243.41	291.13	232.99	328.49
$w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$	4.15	4.35	3.93	5.14	4.18	5.74
$w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$	11.88	14.60	11.89	15.35	12.50	18.65
$w(\text{Ce})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$	8.49	7.53	7.12	9.36	8.28	10.45
$w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Sm})_{\text{N}}$	2.92	2.67	2.96	4.03	2.81	5.28
$w(\text{Gd})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$	2.90	2.92	2.84	2.69	3.05	2.57
δEu	0.88	0.80	0.91	0.85	0.92	0.80
δCe	0.89	0.64	0.75	0.80	0.83	0.77

量单位: $w(\text{微量})/10^{-6}$

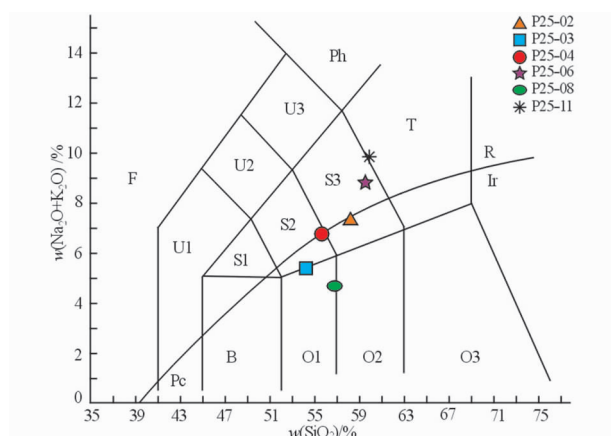


图5 杂笛考组火山岩 TAS 分类图

(底图据 Le Maitre, 1989)

Fig. 5 TAS classification diagram of volcanic rocks of Gadikao Formation

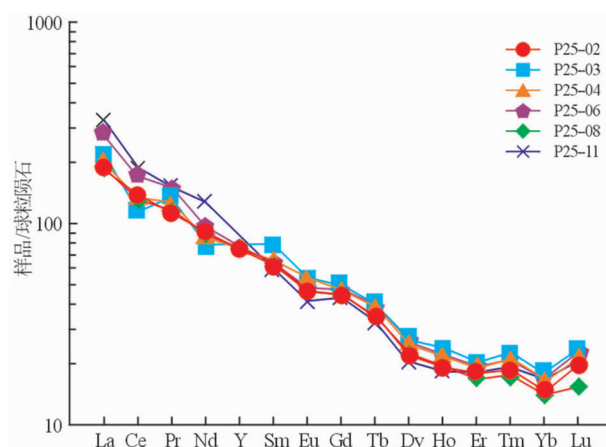


图6 杂笛考组火山岩稀土元素球粒陨石

标准化分布型式图

(球粒陨石标准化值取自 Thompson, 1982)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE-patterns of volcanic rocks from Gadikao Formation

表4 杂笛考组火山岩微量元素分析结果

Table 4 Trace element analysis of volcanic rocks from Gadikao Formation

样品号	P25-02	P25-03	P25-04	P25-06	P25-08	P25-11
岩石名称	安山玄武岩	安山玄武岩	安山玄武岩	玄武安山岩	安山玄武岩	粗面安山岩
Cs	3.56	5.98	4.70	5.61	4.30	2.73
Rb	12.4	97.4	102.5	79.1	49.2	40.6
Sr	467.6	768.1	693.9	419.4	1805.0	590.7
Ba	151	497	884	407	1019	629
Nb	7.35	6.66	8.09	7.46	6.87	8.32
Ta	0.46	0.42	0.49	0.49	0.42	0.55
Zr	216	194	219	259	204	278
Hf	5.88	5.29	5.72	7.10	5.77	7.84
Th	16.76	15.32	17.36	19.07	17.43	20.25
Cr	194.23	157.01	151.49	129.2	158.94	120.42
Sc	21.3	19.49	21.535	17.71	19.78	16.88
U	3.50	1.29	4.24	2.94	2.65	1.99
K	3437	20780	3311	20410	21600	19910
Ti	5064	4649	4829	4052	4923	4411
P	2004	1887	1885	1740	1781	2098
$w(\text{Nb})_{\text{N}}/w(\text{La})_{\text{N}}$	0.16	0.13	0.16	0.11	0.15	0.11
K^*	3.94	2.25	2.48	1.71	2.95	2.81
Nb^*	0.10	0.11	0.14	0.11	0.11	0.11

量单位: $w(\text{微量})/10^{-6}$

4.2.1 稀土元素

从表3可以看出,杂笛考组火山岩稀土总量 $w(\sum \text{REE}) = 230.50 \times 10^{-6} \sim 328.29 \times 10^{-6}$, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE}) = 4.15 \sim 5.74$, $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} = 11.88 \sim 18.65$, $w(\text{Ce})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} = 7.12 \sim 10.45$, $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Sm})_{\text{N}} = 2.67 \sim 5.28$, $w(\text{Gd})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} = 2.57 \sim 3.05$ 。说明轻稀土元素较重稀土元素富集,轻稀土元素分馏明显。 $\delta \text{Su} = 0.80 \sim 0.92$,具弱铈负异常; $\delta \text{Ce} = 0.64 \sim 0.89$,具弱

铈负异常。在REE球粒陨石标准化图(图6)上,6个样品的稀土元素配分曲线较为一致,轻稀土元素曲线右倾而重稀土元素曲线平坦,反映地幔岩浆来源。

4.2.2 微量元素

杂笛考组火山岩微量元素含量(表4)表现为大离子亲石元素(Sr、Rb、K、Ba、Ce、Th)富集(图7),高场强元素(Ta、Zr、Nb、P、Hf)亏损、Ti元素显著亏损,反映钙碱性岛弧火山岩的特征。

$w(\text{Rb})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} = 3.07 \sim 22.93$,强不相容元

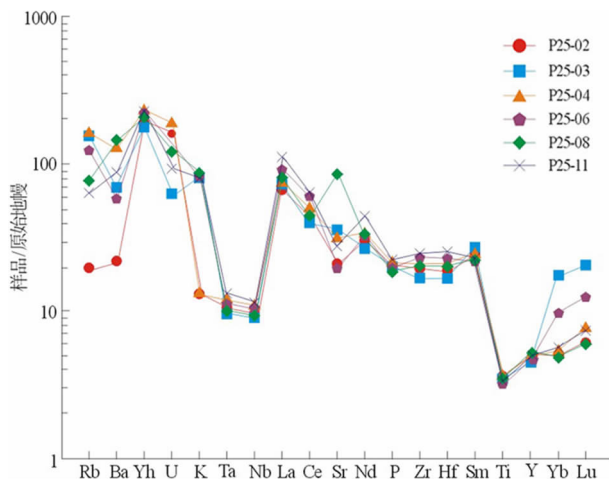


图7 杂笛考组火山岩原始地幔标准化微量元素配分图
(据 Sun 和 Mc Donough, 1989)

Fig. 7 Primary mantle-normalized trace element patterns of volcanic rocks from Gadikao Formation

素富集。Salter 发现活动大陆边缘区 $w(\text{Nb})/w(\text{La})$ 值普遍小于 0.5^[7], 杂笛考组 $w(\text{Nb})/w(\text{La})$ 值为 0.11~0.16; 与板块俯冲作用有关的岛弧火山岩的 $w(\text{Ba})/w(\text{La}) > 30$ ^[8], 杂笛考组 $w(\text{Ba})/w(\text{La}) = 36.43 \sim 41.50$, 与岛弧火山岩一致。

$K^* = 1.71 \sim 3.94$, 均大于 1, 岩浆产于岛弧区, 与板块消减作用有关。 $\text{Nb}^* = 0.10 \sim 0.14$, 明显的负异常。火山岩微量元素配分图与钙碱性岛弧型火山岩特征相似。

5 杂笛考组火山岩成岩构造环境探讨

杂笛考组(P₂gd)火山岩常量元素 $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 14.09\% \sim 17.70\%$, 平均 15.36%, 高于大洋玄武岩; $w(\text{TiO}_2) = 0.72\% \sim 0.89\%$, 平均 0.83%, 含量较低, 显示岛弧火山岩特性; 稀土元素 $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 值与典型岛弧火山岩相似^[9]; 微量元素特征也与岛弧火山岩相符; $w(\text{Th})/w(\text{Ta})$ 值和汇聚板块火山岩 $w(\text{Th})/w(\text{Ta}) > 10$ 一致^[10], 大离子亲石元素(Sr、K、Rb、Ba、Th、Ce)富集, 高场强元素(Ta、Nb、P、Zr、Hf)亏损, Ti 元素显著亏损, 也反映岛弧火山岩的特征。在大洋火山岩和大陆火山岩判别图解(图 8)中, 杂笛考组火山岩所有样品落于岛弧造山带玄武岩、安山岩区; 在 $w(\text{Hf})/3-w(\text{Th})-w(\text{Ta})$ 图解(图 9)中, 所有样品均落在 D 区(板边岛弧玄武岩区); 在 $w(\text{Ti})-w(\text{Zr})$ 图解(图 10)中, 杂

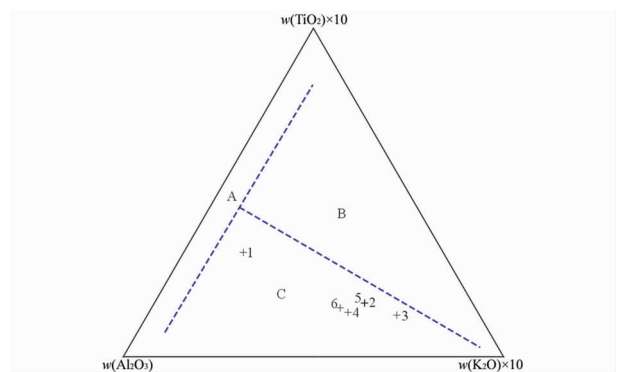


图8 杂笛考组火山岩 $w(\text{TiO}_2) \times 10-w(\text{Al}_2\text{O}_3)-w(\text{K}_2\text{O}) \times 10$ 判别图解
(据赵崇贺, 1989)

Fig. 8 $w(\text{TiO}_2) \times 10-w(\text{Al}_2\text{O}_3)-w(\text{K}_2\text{O}) \times 10$ discrimination diagram of volcanic rocks from Gadikao Formation

1. P25-02; 2. P25-03; 3. P25-04;
4. P25-06; 5. P25-08; 6. P25-11

A. 大洋玄武岩区; B. 大陆裂谷型玄武岩、安山岩区;
C. 岛弧造山带玄武岩、安山岩区

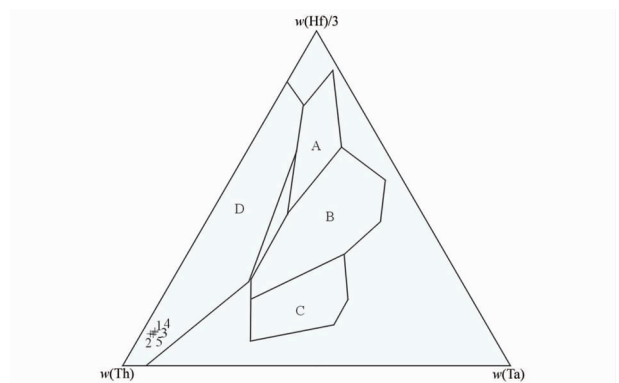


图9 杂笛考组火山岩 $w(\text{Hf})/3-w(\text{Th})-w(\text{Ta})$ 判别图解
(据 Wood, 1980)

Fig. 9 $w(\text{Hf})/3-w(\text{Th})-w(\text{Ta})$ discrimination diagram of volcanic rocks from Gadikao Formation

1. P25-03; 2. P25-04;

3. P25-06; 4. P25-08; 5. P25-11

A. 正常型洋脊拉斑玄武岩; B. 异常型洋脊拉斑玄武岩;
C. 板内碱性玄武岩及其分异产物; D. 板边岛弧玄武岩

笛考组玄武岩的投影点位于岛弧玄武岩区。由此可进一步确认杂笛考组火山岩的形成环境为岛弧环境。

6 结语

(1) 金沙江缝合带南部杂笛考组火山岩是典型的高硅、富钠的钙碱性岩石, 具有富集大离子亲石元

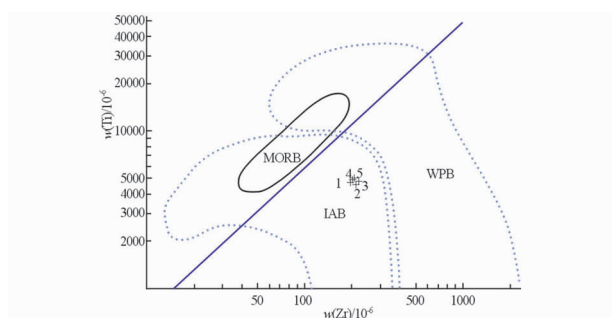


图 10 杂笛考组火山岩 $w(\text{Ti})$ — $w(\text{Zr})$ 判别图解

(据 Pearce, 1980)

Fig. 10 $w(\text{Ti})$ — $w(\text{Zr})$ discrimination diagram of volcanic rocks from Gadikao Formation

1. P25-03; 2. P25-04;

3. P25-06; 4. P25-08; 5. P25-11

MORB. 洋中脊玄武岩; IAB. 岛弧玄武岩; WPB. 板内玄武岩

素(Rb、Sr、Ba)、亏损高场强元素(Nb、Ta、P、Ti等)、轻稀土元素富集、轻稀土较重稀土元素分馏强、轻度的钕负异常等特点,指示其形成于与活动大陆边缘有关的岛弧构造环境,为火山弧演化的产物^[11]。

(2)研究表明,早二叠世金沙江带和澜沧江洋相继向昌都—思茅中央陆块下相向俯冲,并于早、中三叠世古特提斯洋闭合。杂笛考组火山岩形成于晚二叠世早期的岛弧构造环境,说明金沙江洋在治多县俄昌公仁一带于晚二叠世向南俯冲于北羌塘—昌都地块之下。杂笛考组火山岩空间上呈北西向展布,与北侧西金乌兰—金沙江缝合带的西确涌混杂岩相伴产出,二者具有成对性关系^[12]。

(3)杂笛考组时代为晚二叠世早期,可以确定治

多县俄昌公仁地区,金沙江俯冲时限为晚二叠世早期。

参考文献:

- [1] 任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等. 从全球看中国大地构造:中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京:地质出版社,1999.
- [2] 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):206-218.
- [3] 汪啸风, Lan Metcalfe, 简平, 等. 金沙江缝合带构造地层划分及时代厘定[J]. 中国科学:D辑,1999,29(4):289-297.
- [4] 陈健,李建放,安勇胜,等. 风火山地区西金乌兰湖—金沙江蛇绿构造混杂带的物质组成及发展演化特征[J]. 西北地质,2007,40(3):36-41.
- [5] 任纪舜,肖黎薇. 1:25万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱[J]. 地质通报,2004,23(1):1-11.
- [6] 吴建功,肖序常,李廷栋. 青藏高原东—格尔木地学断面[J]. 地质学报,1989(4):285-295.
- [7] Salters V T, M, Hart S R. The mantle sources of ocean ridges island areas; the Hf-isotope connection[J]. Earth and Planet Science Letters, 1991,104:364-380.
- [8] 白云山,牛志军,段其发,等. 青海省南部治多县扎河一带上三叠统巴塘群火山岩特征及其构造环境[J]. 华南地质与矿产,2014,30(4):319-327.
- [9] 王中刚,于学元,赵振华,等. 稀土元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1989:190-210.
- [10] Treuil M A. Global geochemical model of uranium distribution and concentration in volcanic rock series[C]//Uranium deposits in volcanic rock. Vienna:International Atomic Energy Agency, 1985:53-67.
- [11] 侯广顺,杨贺杰. 俯冲带环境下的火成岩岩石组合及其意义[J]. 科技信息,2009(18):21-23.
- [12] 邓晋福,罗照华,苏尚国,等. 岩石成因、构造环境与成矿作用[M]. 北京:地质出版社,2004:231-236.

Geochemical characteristics and tectonic environment of the volcanic rocks from Gadikao Formation in Echanggongren area, Qinghai Province, China

WANG Guanghui¹, JIA Yongzeba², ZOU Jian¹, SONG Fusheng¹

(1. Sichuan Institute of Nuclear Geology, Chengdu 610052, China;

2. College of Engineering Tibet University, Lhasa 850000 Tibet, China)

Abstract: The Echanggongren area is situated at the intersection position of Xijinwulan-Jinshajiang river melange belt and the north Qiangtan-Changdu Terrian. Study on petrology, major element, REE and trace element geochemistry of volcanic rocks of Gadikao Formation show that the volcanic rock belongs to the typical calc-alkali rock series and is deduced to be the product of the plate subduction-related magmatic island arc. The zircon U-Pb age of $258.5 \text{ Ma} \pm 4.6 \text{ Ma}$ belongs to Late Permian Period.

Key Words: Gadikao Formation; Permian volcanic rocks; Geochemistry; tectonic setting; Echanggongren Prefecture; Qinghai province