文章编号：1004—5589（2017）02—0452—08

四川攀枝花二叠纪双峰式火山岩地球化学特征及其地质意义

朱靓，郗爱华，王挽琼，钟祥，吴垚墜

西南石油大学 地球科学与技术学院，成都 610500

摘要：攀枝花二叠纪火山岩发育有玄武岩和粗面岩的基性和碱性两个端元，区域上明显缺失中间过渡类型。玄武岩 SiO_2 含量处于45.65%～49.32%范围内，粗面岩 SiO_2 含量介于64.39%～69.17%之间，构成经典的“双峰式”火山岩特征组合。两者均具有富Na、贫K、轻稀土富集、轻重稀土明显分馏的特征。特征微量元素Nb/Ta、Th/Ta、Th/U比值变化相对较小，玄武岩分别为15.16、2.70和4.13，粗面岩分别为15.40、2.55和4.12，显示两者具有相似的地球化学属性。微量元素特征显示，除了Ti和Y等少数高场强元素不协调以外，玄武岩与粗面岩绝大多数微量元素变化规律相似，且Rb、Ce、Y、Nb、Hf、Ta等元素与洋岛玄武岩（OIB）特征一致，说明它们具有地幔柱构造系统下的岩浆属性，岩浆源于石榴石二辉橄榄岩岩石圈地幔的部分熔融。结合前人资料，攀枝花二叠纪双峰式火山岩的厘定，不仅暗示了岩浆形成于拉张的裂谷构造环境，也为西南地区二叠纪峨眉山大火成岩地幔柱成因提供支撑。

关键词：双峰式火山岩；岩石地球化学；峨眉山大火成岩省；攀枝花；四川

中图分类号：P595　　**文献标识码**：A　　**doi**：10.3969/j.issn.1004-5589.2017.02.012

Geochemical characteristics and their geological significance of Permian bimodal volcanic rocks in Panzhihua, Sichuan

ZHU Liang, XI Ai-hua, WANG Wan-qiong, ZHONG Xiang, WU Yao-ye

College of Earth Sciences & Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China

Abstract: Panzhihua Permian volcanic rocks consist of basal and alkaline ends of basalt and trachyte, and the intermediate transitional types are absent. SiO_2 content in the basalt ranges from 45.65% to 49.32%, while SiO_2 content in the trachyte ranges from 64.39% to 69.17%, which constitute the classic “bimodal” volcanic assemblages. Both basalt and trachyte are enriched in Na and light rare earth elements, but depleted in K, with obvious light and heavy rare earth fractionation. In addition, the variation in typical trace elements ratios of Nb/Ta, Th/Ta, and Th/U is relatively small, the ratios in the basalt are 15.16, 2.70 and 4.13, and that in the trachyte are 15.40, 2.55 and 4.12, respectively, indicating that they have similar geochemical properties. Trace element characteristics show that, except minor high field elements like Ti and Y that are not consistent, changes of most trace elements in the basalt and trachyte are similar, and characteristics of Rb, Ce, Y, Nb, Hf and Ta is consistent with that of Ocean Island basalt (OIB), which indicate that the Panzhihua volcanic rocks are with magma property from mantle column structure system, and magma stemmed from partial melting of garnet lherzolite lithosphere mantle.

收稿日期：2017-03-03；**改回日期**：2017-04-25

基金项目：国家自然科学基金项目（41272095）.

通讯作者：郗爱华（1963-），女，博士，教授，主要从事固体矿产勘查教学及科研工作. E-mail：aihuaxi@163.com

Combined with the previous studies, the determination of the Permian bimodal volcanic rocks in Panzhihua not only implies that the magma was formed in the extensional rift tectonic environment, but also supports that the origin of the Permian Emeishan igneous province in southwest China is related to mantle plume.

Key words: bimodal volcanic rocks; rock geochemistry; Ermeishan igneous province; Panzhihua; Sichuan

0　引言

攀西地区位于扬子地台西南缘，该区域在多期次岩浆与构造运动作用下，形成了一条被称为攀西裂谷的构造活动带[1,2]，岩石类型复杂的古生代及中生代火山岩广泛分布其中，构成富含多种岩浆岩的杂岩带，空间上隶属于峨眉山大火成岩省的范畴（图 1）。近年来，虽然峨眉山大火成岩省已经被国际上普遍认可，但是，对于大火成岩省的分布范围、岩浆作用的类型及成分、岩浆源区的类型及部分熔融程度，特别是岩浆形成的构造背景等系列问题仍然存在争议[3-7]，原因之一就是区域上作为源区成分证据的火山岩出露单一，以至于没有足够的证据揭示攀西裂谷岩浆形成的构造背景及演化特点。本次工作在攀枝花含矿辉长岩体的周边发现二叠纪时期的碱性火山岩，通过与攀枝花二滩玄武岩对比，发现其岩石地球化学具有双峰式分布的成分特点，鉴于双峰式火山岩通常被认为是裂谷环境下的岩浆作用产物，该成果对区域构造演化及峨眉山大火成岩省地幔柱成因具有一定的支撑。

1　地质概况

攀西地区位于四川省西南部，北起四川冕宁，延经西昌、米易、攀枝花，南邻云南永仁县，东至四川会东县，西抵甘孜州，南北延长达 300 多 km[8]。大地构造位置属于康滇地轴中段，发育典型的双地壳结构，基底由元古代—太古代的结晶基底和褶皱基底组成，主要分布在康定—攀枝花一带，沉积盖层主要由震旦系到新生界地层组成，出露面积虽少，但各个时期地层发育较为齐全[9]。区域断裂构造主要以南北向或近南北向的断裂带为主，主要包括金河—菁河断裂、安宁河断裂、磨盘山—昔格达断裂和攀枝花断裂 4 个主干断裂，岩浆活动的时间及动力学机制受攀西裂谷作用制约，具有多期次、分布广、规模大及类型多样的特点，特别是区域基性-超基性岩在空间上严格地受上述四个断裂的控制（图 1）。

2　攀枝花地区火山岩特征

2.1　玄武岩

产于攀西及以东广大地区，以陆相喷发为主，在攀枝花地区出露的玄武岩经剥蚀后残留的规模相对较小，内部有宽度不等、产状不规则的正长岩脉及花岗岩脉的穿插侵入。区域上按照空间分布及出露特点可划分两大喷发旋回：第一旋回发育在火山建造的下部，由苦橄质辉石玄武岩-辉斑玄武岩-杏仁状橄榄玄武岩组成，具有裂隙式溢流韵律特征；第二旋回发育在火山建造的上部，由橄榄粗安质、安粗玄武质集块岩-杏仁状安粗玄武岩-粗面岩组成，具有中心式喷发韵律特征[8,11]。本文研究的玄武岩样品采自二滩水电站附近，称为二滩玄武岩[6,12]。

岩石新鲜面呈灰黑色、黑绿灰色，风化面在氧化后呈暗红黑色，可见气孔构造及杏仁构造，柱状节理发育。显微镜下呈斑状结构，基质细粒-隐晶质结构，斑晶主要为斜长石和少量辉石，含量约 20%；可辨别的基质矿物主要包括斜长石、辉石和角闪石等，有的基质矿物不易辨认，含量约 75%。除此之外，不透明矿物含量可达 5%。斜长石：斑晶呈自形-半自形晶粒结构，偏光色无色，呈板状或片状，正低突起，正交偏光下具有一级灰白干涉色，聚片双晶发育，晶体内裂隙发育，双晶纹弯曲，颗粒直径约 0.5 ~ 2.5 mm，含量约 15%；基质呈细长条交织结构，粒径约 0.05 ~ 0.5 mm，普遍具有钠黝帘石化、高岭土化等蚀变现象。辉石：斑晶呈自形-半自形粒状结构，偏光色无色或略带有淡黄色，正高突起，两组近直交解理，短柱状，一级橙黄干涉色，颗粒直径与斜长石斑晶相似，含量约 5%；基质中辉石颗粒直径约 0.05 ~ 0.4 mm，普遍具有纤闪石化、绿泥石化现象。

2.2　粗面岩

出露于攀枝花含矿辉长岩体附近，受控于攀

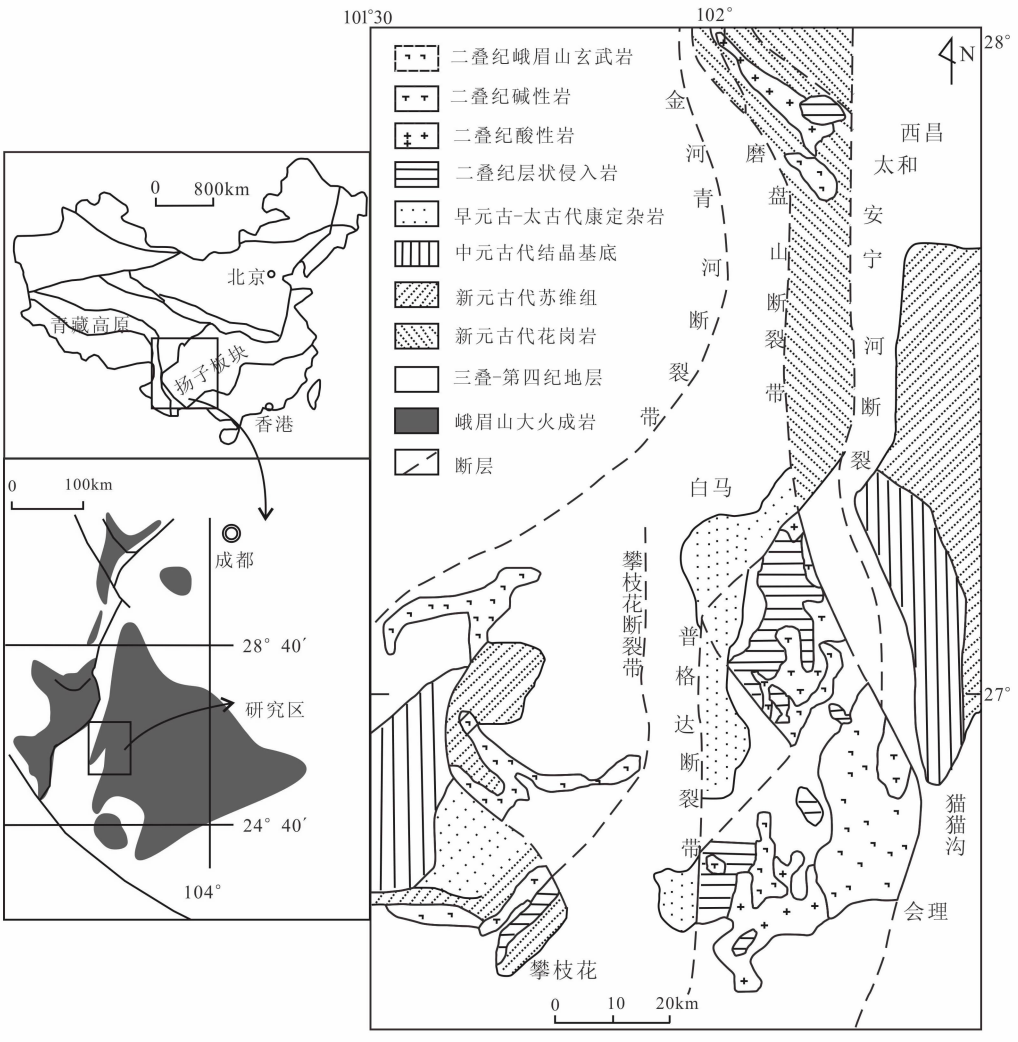


图 1 攀西地区构造-地质略图[10]

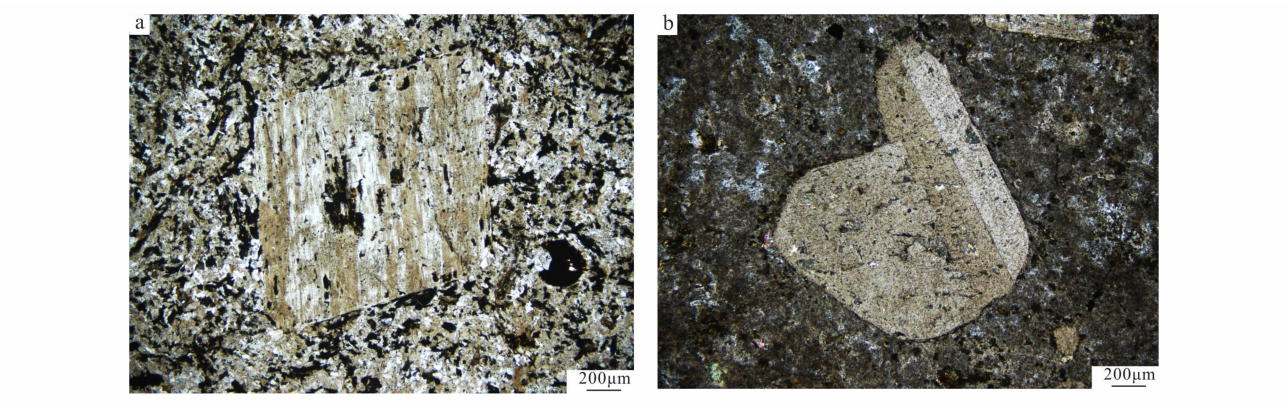
Fig. 1 Simplified tectonic-geological map of Panxi area

枝花断裂带，出露面积约 20 km^2，呈 NE 走向的条带状，与中二叠统阳新组地层呈不整合接触关系。

岩石新鲜面呈深灰色，发育玄武岩式的柱状节理，斑状-似斑状结构。镜下鉴定斑晶主要为钾长石（图 2）及少量斜长石，总量约 20%。基质主要由钾长石、碱性角闪石和少量黑云母等组成，含量约 75%，可见约 5% 的不透明矿物。其中钾长石斑晶呈自形-半自形柱状或板状，偏光色无色，负低突起，一级灰白干涉色，发育卡式双晶，颗粒直径约 0.7 ~ 3 mm，含量约 12%；基质钾长石呈细粒它形粒状，颗粒约 0.05 ~ 0.1 mm，普遍发生高岭土化蚀变，含量 >50%。斜长石：主要以斑晶的形式产出，可见聚片双晶，颗粒约 0.5 ~ 3 mm，具有钠黝帘石化、绢云母化等蚀变现象。碱性角闪石：以基质形式出现，偶被包裹在长石斑晶中，单偏光下呈蓝绿-深绿色，正中突起，两完全组解理，解理夹角约 56°，正交偏光下干涉色呈一级橙黄色，颗粒直径约 0.02 ~ 0.3 mm，边缘常见污浊的微粒状不透明矿物。

3 火山岩岩石地球化学

选取攀枝花地区二滩玄武岩和大黑山粗面岩样品，采用 ME-XRF06 及 X 荧光光谱测定主量元素含量，应用 ME-MS81 分析微量元素及稀土元素，分析流程详见参考文献［13-15］。



a. 聚片双晶发育的斜长石斑晶；b. 具有卡氏双晶的钾长石斑晶.

图 2　攀枝花粗面岩显微特征

Fig. 2　Microscopic characteristics of trachyte from Panzhihua region

3.1　主量元素

样品的主量元素含量见表 1。5 个玄武岩样品的 $w(SiO_2)$ = 45.65% ~ 49.32%，平均为 48.09%，显示岩石为基性岩。$w(Na_2O)$ = 1.81% ~ 3.10%，$w(K_2O)$ = 0.74% ~ 2.21%，全碱含量较高 $w(Na_2O + K_2O)$ = 2.62% ~ 5.10%，平均为 3.96%，且 Na_2O / K_2O = 1.04 ~ 4.09，总体上具有富钠贫钾的特点。A / CNK = 1.11 ~ 1.28，属弱过铝质岩；$w(TiO_2)$ = 2.00% ~ 2.79%，Ti/Y = 560.49 ~ 494.87，具有高钛玄武岩的组分含量（$TiO_2 > 2.5\%$）[16]。在 TAS 图解中（图 3a），落在玄武岩区间的样品点，介于碱性玄武岩与亚碱性玄武岩过渡区间。采用不活泼元素 Nb/Y 与 Zr/TiO_2 进行判别（图 3b），绝大部分样品点属于碱性玄武岩系列，说明本期玄武岩具有碱性玄武岩的地球化学成分特点。

与玄武岩相比，粗面岩的 $w(SiO_2)$ = 64.39% ~ 69.17%，平均为 66.39%，基本属于中性岩系列。碱质组分含量高，$w(Na_2O)$ = 4.87% ~ 5.78%，$w(K_2O)$ = 3.16% ~ 4.07%，全碱 $w(Na_2O + K_2O)$ = 8.94% ~ 9.58%，平均为 9.42%，总体上具有 Na 高 K 低的成分特点，A/CNK = 0.81 ~ 0.91，属准铝质岩。在 TAS 分类图解中成分点落在碱性岩系列区间（图 3a）。$w(TiO_2)$ = 0.56% ~ 0.71%（平均为 0.65），含量相对较低。

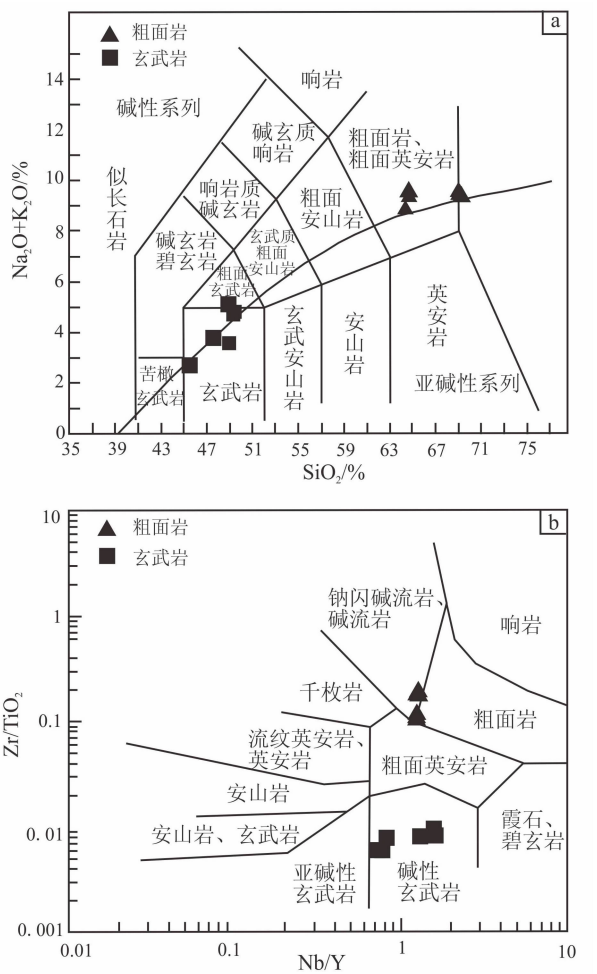


图 3　攀枝花粗面岩和玄武岩 TAS 图解（a）及 Nb/Y – Zr/TiO_2 图解（b）

Fig. 3　TAS（a）and Nb/Y – Zr/TiO_2（b）diagrams of trachyte and basalts from Panzhihua region

表1 攀枝花粗面岩和玄武岩主量元素（wt%）和微量元素（10^{-6}）分析结果

Table 1 Major element and trace element results of trachyte and basalts from Panzhihua region

样品号	BH04	BH05	BH06	BH07	BH08	BH11	BH12	BH13	BH14	BH15
岩性	粗面岩	粗面岩	粗面岩	粗面岩	粗面岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩
SiO_2	64.39	64.54	64.71	69.16	69.17	45.65	49.02	49.32	47.59	48.86
Al_2O_3	14.07	14.27	14.34	11.37	11.43	9.12	11.42	11.47	12.21	11.98
CaO	2.01	1.92	1.82	0.71	0.74	8.64	9.94	7.86	10.85	8.09
TFe_2O_3	6.45	6.38	6.13	7.05	7.12	12.22	11.18	11.17	12.72	11.23
K_2O	3.16	4.68	4.53	4.60	4.67	0.75	1.74	2.21	0.74	2.00
Na_2O	5.78	4.87	4.96	4.96	4.91	1.87	1.81	2.53	3.03	3.10
MgO	0.40	0.37	0.37	0.22	0.22	15.00	8.88	8.49	8.36	8.26
MnO	0.22	0.20	0.20	0.27	0.27	0.19	0.18	0.17	0.23	0.16
P_2O_5	0.12	0.12	0.12	0.04	0.05	0.21	0.27	0.34	0.22	0.32
TiO_2	0.69	0.71	0.71	0.57	0.56	2.00	2.50	2.56	2.32	2.79
BaO	0.10	0.12	0.11	0.04	0.04	0.03	0.06	0.06	0.03	0.06
LOI	2.13	1.91	1.93	0.52	0.58	3.36	1.94	2.57	1.68	2.33
A/CNK	1.28	1.24	1.27	1.11	1.11	0.81	0.85	0.91	0.84	0.91
Total	99.52	100.09	99.93	99.51	99.76	99.02	98.92	98.75	99.98	99.18
Rb	78.10	106.50	102.00	129.50	123.00	28.00	41.00	53.00	23.00	36.00
Ba	907.00	949.00	930.00	370.00	349.00	297.00	552.50	582.50	295.00	546.00
Th	15.95	16.25	16.75	20.30	20.40	3.15	4.15	6.30	2.50	6.70
U	3.71	3.86	4.10	4.99	5.20	0.85	0.95	1.35	0.80	1.40
Ta	6.10	6.00	6.20	8.60	8.70	1.25	1.80	2.05	1.10	2.00
Nb	93.50	92.80	95.70	135.50	131.00	18.00	25.50	34.00	15.00	34.00
Sr	141.00	143.50	140.50	24.80	22.30	416.50	540.50	618.00	552.00	502.00
Zr	781.00	774.00	789.00	1110.00	1050.00	152.50	204.50	234.00	142.00	238.00
Hf	18.90	19.10	20.10	25.40	25.80	3.05	4.40	5.05	2.90	4.90
La	92.70	92.40	93.80	124.50	116.00	25.00	35.60	47.83	21.69	46.12
Ce	206.00	209.00	210.00	278.00	259.00	47.43	68.00	90.56	40.90	87.20
Pr	23.60	23.70	25.00	31.20	30.10	5.99	8.71	11.49	5.23	10.93
Nd	90.00	88.60	92.00	119.00	116.00	24.99	34.25	44.26	22.18	43.02
Sm	17.40	17.45	17.55	22.60	22.90	5.83	7.90	9.66	5.59	9.40
Eu	4.62	4.56	4.76	4.34	4.23	1.77	2.54	2.64	1.79	2.61
Gd	15.15	15.50	15.40	20.40	21.00	5.11	6.86	7.27	5.72	7.30
Tb	2.30	2.33	2.36	3.15	3.24	0.69	0.79	0.90	0.80	0.83
Dy	14.60	14.35	15.35	20.50	20.70	3.74	4.52	4.94	4.34	4.86
Ho	2.71	2.79	2.86	3.83	3.82	0.71	0.88	0.91	0.86	0.86
Er	7.43	7.56	7.68	10.65	10.30	1.94	2.20	2.44	2.36	2.32
Tm	1.02	1.04	1.04	1.44	1.42	0.23	0.28	0.30	0.28	0.28
Yb	6.62	6.81	6.53	9.40	9.34	1.31	1.56	1.73	1.64	1.66
Lu	0.99	0.98	1.03	1.41	1.37	0.19	0.23	0.25	0.23	0.23
Y	74.50	73.80	75.50	106.00	104.00	21.41	19.75	21.66	19.95	21.06
ΣREE	485.14	487.07	495.36	650.42	619.42	124.89	174.30	225.18	113.61	217.62
LREE	434.32	435.71	443.11	579.64	548.23	111.00	156.99	206.44	97.38	199.28
HREE	50.82	51.36	52.25	70.78	71.19	13.90	17.31	18.74	16.23	18.34
LREE/HREE	8.55	8.48	8.48	8.19	7.70	7.99	9.07	11.02	6.00	10.87
La_N/Yb_N	10.04	9.73	10.30	9.50	8.91	13.74	16.37	19.83	9.49	19.93
δEu	0.85	0.83	0.87	0.61	0.58	0.97	1.03	0.92	0.96	0.93
δCe	1.05	1.07	1.04	1.06	1.05	0.92	0.92	0.92	0.91	0.92

注：LOI = 烧失量.

3.2　稀土元素

表 1 可见，粗面岩稀土元素含量高，ΣREE = 485.14 × 10^{-6} ~ 650.42 × 10^{-6}，LREE/HREE = 7.70 ~ 8.55，富集轻稀土元素；玄武岩稀土总量明显低于粗面岩，ΣREE = 113.61 × 10^{-6} ~ 225.18 × 10^{-6}，且 LREE/HREE = 6.00 ~ 11.02，与许多著名的大陆裂谷玄武岩的情况相似，显示出玄武岩轻重稀土分馏略好于粗面岩的地球化学特点。稀土元素配分图解显示，粗面岩与玄武岩配分曲线总体相似，稀土总量高的粗面岩位于曲线的上部区间，δEu 值为 0.83 ~ 0.87，具有明显的 Eu 负异常；稀土总量低的玄武岩位于曲线的下部区间，δEu 值介于 0.92 ~ 1.03 之间，Eu 负异常不明显，个别样品具有正异常，说明源区没有斜长石残留。与洋岛玄武岩（OIB）稀土元素分配曲线相比较（图 4a），二滩玄武岩除了 Yb 元素略低，其稀土元素分配曲线与洋岛玄武岩的具有高度的一致性；虽然粗面岩的重稀土元素含量较洋岛玄武岩的略高，但其与洋岛玄武岩稀土元素分配曲线趋势具有一定的相似性，暗示这两类岩石原始岩浆可能均来自富集地幔的部分熔融，且具有相似的演化关系。球粒陨石标准化的玄武岩 La_N/Yb_N 值介于 9.49 ~ 19.93 之间，粗面岩 La_N/Yb_N 值范围为 8.91 ~ 10.30，暗示两者源区不同或者为相同源区不同程度部分熔融的产物。

3.3　微量元素

微量元素原始地幔标准化蛛网图显示（图 4b），二滩玄武岩有着与洋岛玄武岩相似的微量元素特点，富集不相容元素，亏损高场强元素，且以高钛型为主体。Ta/Hf 比值介于 0.38 ~ 0.41，>0.3，说明具有地幔柱特征[17]。Nb/La = 0.69 ~ 0.74，具有明显低于球粒陨石和原始地幔的 Nb/La 比值，暗示源区可能是岩石圈地幔的部分熔融且熔融程度较低。与玄武岩相比较，粗面岩中强不相容元素 U、Th、Ta、La、Ce 等元素明显富集，相容性强的 Y、Yb 和 Lu 等元素明显高于原始地幔和玄武岩，Sr、P、Ti 则有较大程度的亏损。

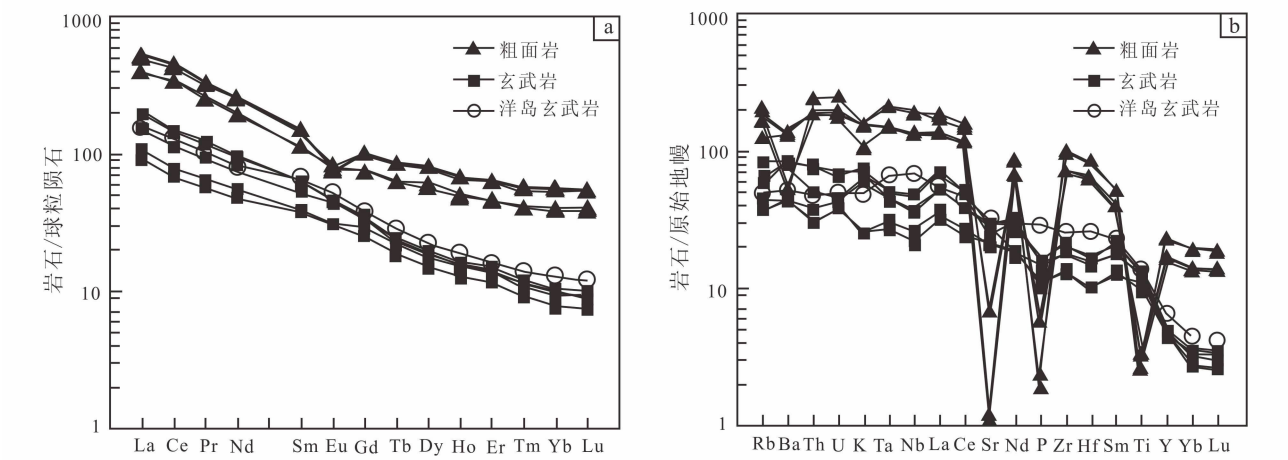


图 4　攀枝花地区粗面岩和玄武岩稀土元素配分模式图（a）和微量元素蛛网图（b）

Fig. 4　Chondrite-normalized REE distribution pattern (a) and spidergram (b) of trachyte and basalts from Panzhihua region

Sr 一般情况下相容于斜长石中，如同 Ti 相容于磁铁矿中，P 则大量存在于磷灰石中。粗面岩中 Sr、P、Ti 等元素的亏损说明岩石中缺乏斜长石、磷灰石和磁铁矿，与攀枝花富含磁铁矿的辉长岩构成成份上的互补。除此之外，Y、Yb、Lu 等元素一般相容于石榴石中，粗面岩中这些不相容元素的富集，说明粗面岩岩浆并非地幔低程度部分熔融的产物，可能源于石榴石二辉橄榄岩深度，且源区发生了石榴石的熔融。

4　讨论

4.1　岩石成因及源区探讨

攀枝花地区二叠纪火山岩表现为基性和碱性两个不连续的成分特点，中间具有明显的间断，显示

出两个不同喷发性质的突变，从基性玄武岩和碱性粗面岩的形成条件及其自身的岩石学、地球化学特征，证实了岩石组合具有大陆裂谷典型的“双峰式”特点。

二滩玄武岩以轻度亏损 Sr，明显亏损 P 和富集 Ti 为特征，与峨眉山高钛玄武岩相似，地球化学组成特征类似于现代洋岛和大陆裂谷的碱性玄武岩，$(Ce/Yb)_N$ = 6.93 ~ 15.59，与来自石榴石二辉橄榄岩地幔源区部分熔融形成的岩石相近[5,17]，且 Nb/Ta = 15.14，接近原始地幔值和球粒陨石变化范围（17.5 ± 2.0）[18]。由此推测，二滩玄武岩的原始岩浆可能是来自富集型石榴石二辉橄榄岩地幔的部分熔融。粗面岩有着与玄武岩类似的 REE 配分型式，并以其特有的 Y、Yb、Lu 富集暗示岩浆源于石榴石二辉橄榄岩的部分熔融。同时，粗面岩还具有 LREE 和 Th 富集、Nb-Ta、Sr、P、Ti 亏损微量元素特点，表明它们很可能是原始岩浆经历了结晶分异-同化混染地壳物质的过程，结晶分异的产物可能是攀枝花含矿的基性辉长岩，构成了粗面岩与含矿辉长岩成分上的相互补充。

4.2 岩浆演化模式及地质意义

根据前人研究，攀枝花粗面岩的锆石 U-Pb 年龄为（261.6 ± 4.4）Ma[19]，虽然目前还没有有关二滩玄武岩可靠的年龄报道，但是，根据攀枝花二滩玄武岩地处峨眉山大火成岩省的中部，是峨眉山玄武岩的一部分的地质事实，可以推测其地质年龄应该介于 258 ~ 260 Ma 之间[20]，从而说明攀枝花断裂带中的这两种火山岩均产生于晚二叠世，与峨眉山玄武岩形成时间一致。在如此短暂的地质历史时间内，在同一空间形成如此大规模的火山喷发和岩浆侵入，同时形成多处超大型岩浆型矿床，这本身就是地幔柱存在的典型地质证据。攀枝花地区二叠纪时期的火山岩是峨眉山大火成岩省的重要组成部分，区域上这种玄武岩和粗面岩共存的“双峰式”火山岩分布模式，揭示了岩浆形成于拉张的裂谷构造环境，引起裂谷作用的地球动力学机制为地幔柱的上隆。

5 结论

（1）攀枝花地区存在基性的玄武岩与碱性的粗面岩共存的地质事实，两者均形成于晚二叠世时期。

（2）攀枝花地区碱性粗面岩和玄武岩地球化学特征表明，二者是石榴石二辉橄榄岩岩石圈地幔同源岩浆的不同演化阶段不同程度部分熔融的产物，岩浆的形成受峨眉山大火成岩省的影响。

（3）基性玄武岩与碱性粗面岩呈“双峰式”分布的成分特点，揭示了晚二叠世时期攀西地区为拉张的裂谷环境，其地球动力学机制可能为峨眉山地幔柱的上隆。

参考文献：

[1] 滕吉文. 攀枝花—西昌构造带是一条被动活化的古裂谷带 [C]. 地球物理与中国建设：祝中国地球物理学会成立 50 周年文集，1997：335-338.
TENG Ji-wen. The Panzhihua-Xichang tectonic belt is a passive activated rift zone [C]. Geophysics and China's Construction: A Collection of 50th Anniversary Celebration of the Chinese Geophysical Society, 1997: 335-338.

[2] 从柏林，黄开年. 攀西地区的大地构造演化-海西晚期至印支期的裂谷作用 [J]. 科学通报，1987，32（17）：1321-1324.
CONG Bo-lin, HUANG Kai-nian. The tectonic evolution of the Panxi area- the rift effect of the Late Hercynian to the Indosinian period [J]. Chinese Science Bulletin, 1987, 32 (17): 1321-1324.

[3] 沈发奎，刘枞. 攀枝花裂谷支双峰式火山岩 [J]. 矿物岩石，1984，19（1）：1-16.
SHENG Fa-kui, LIU Di. The bimodal volcanic rocks in the Panzhihua branch rift [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1984, 19 (1): 1-16.

[4] 陈玉禄，侯浩，杨更. 康滇地轴中段西缘二叠纪火山岩岩石地球化学特征 [J]. 四川地质学报，1999，19（1）：22-26.
CHEN Yu-lu, HOU Hao, YANG Geng. Lithogeochenmical features of the Permian volcanic rocks on the western margin of the central Kangdian axis [J]. Journal of Sichuan Geology, 1999, 19 (1): 22-26.

[5] 杨瑞瑛，黄忠祥，李继亮. 攀西裂谷火成岩组合的微量元素地球化学 [J]. 中国科学，1985（9）：844-855.
YANG Rui-ying, HUANG Zhong-xiang, LI Ji-liang. Trace elements geochemistry of igneous rocks assemblage in Panxi rift [J]. Scientic Sinica, 1985 (9): 844-855.

[6] 沈发奎. 对攀枝花裂谷双模式岩浆系列的岩石学特征及其岩浆演化模式的初步探讨 [J]. 四川地质学

报，1982（2）：84-85.
SHEN Fa-kui. Preliminary study on petrological characteristics and magmatic evolution patterns of bimodality of magma series in Panzhihua rift [J]. Acta Geologica Sichuan, 1982 (2): 84-85.

[7] 李宏博. 峨眉山大火成岩省地幔柱动力学：基性岩墙群、地球化学及沉积地层学证据：博士学位论文[D]. 北京：中国地质大学，2012.
LI Hong-bo. Mantle plume geodynamic significances of the Emeishan large igneous province: evidence from mafic dykes, geochemistry and stratigraphic records: doctor's degree thesis [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2012.

[8] 王义昭. 三江地区南段大地构造与成矿 [M]. 北京：地质出版社，2000：1-30.
WANG Yi-zhao. Tectonics and metallogenesis in the southern Sanjiang region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 1-30.

[9] 张成江，刘家铎，刘显凡，等. 攀西地区金属成矿系统 [J]. 成都理工大学学报：自然科学版，2009，36（4）：387-394.
ZHANG Cheng-jiang, LIU Jia-duo, LIU Xian-fan, et al. Metallization systems in the Panzhihua-Xichang area of Sichuan, China [J]. Jourenal of Chengdu University of Technology, 2009, 36 (4): 387-394.

[10] 张云湘，骆耀南，杨崇喜，等. 攀西裂谷 [M]. 北京：地质出版社，1988：1-46.
ZHANG Yu-xiang, LUO Yao-nan, YANG Chong-xi, et al. Panxi branch rift of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 1-46.

[11] 钟宏，朱维光，漆亮，等. 攀西地区峨眉山玄武岩的铂族元素地球化学特征 [J]. 科学通报，2006，51（11）：1297-1305.
ZHONG Hong, ZHU Wei-guang, QI Liang, et al. Geochemical characteristics of platinum elements of Emeishan basalt in Panxi region [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51 (11): 1297-1305.

[12] 酆文清. 二滩水电站坝区岩石学研究 [J]. 水电站设计，1988（1）：55-63.
FENG Wen-qing. Petrologicl research on Ertan Hydropower Station dam area [J]. Design of Hydroelectric Power Station, 1988 (1): 55-63.

[13] Ma Q, Zheng J P, Griffin W L, et al. Triassic "adakitic" rocks in an extensional setting (North China): melts from the cratonic lower crust [J]. Lithos, 2012, 149: 159-173.

[14] Gao S, Liu X M, Yuan H L. Determination of forty two major and trace element in USGS and NIST SRM glasses by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. Geostand Newsl, 2002, 26 (2): 181-195.

[15] Nekouyanfar M, Azarpey M, Makvandi A. An investigation the results of ME-MS81D tests on clay lenses of Asmari Formation [C]. Intenational Applied Geological Congress, 2010: 26-28.

[16] 严再飞，黄智龙，许成，等. 峨眉山二滩玄武岩地球化学特征 [J]. 矿物岩石，2006，33（3）：77-84.
YAN Zai-fei, HUANG Zhi-long, XU Cheng, et al. Geochemical fature of emeishan basalts from Ertan area [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2014, 33 (3): 458-470.

[17] 张成江，汪云亮，侯增谦. 峨眉山玄武岩系 Th、Ta、Hf 特征及岩浆源区大地构造环境探讨 [J]. 地质论评，1999，45（增刊 1）：858-860.
ZHANG Cheng-jiang, WANG Yun-liang, HOU Zeng-qian. Th, Ta and Hf characteristics and the tectonic setting of magmatic source region of Emeishan basalts [J]. Geological Review, 1999, 45 (Suppl. 1): 858-860.

[18] 赵正，漆亮，黄智龙，等. 攀西裂谷南段鸡街碱性超基性岩微量元素和 Sr-Nd 同位素地球化学及其成因探讨 [J]. 岩石学报，2012，28（6）：1915-1927.
ZHAO Zheng, QI Liang, HUANG Zhi-long, et al. Trace elements and Sr-Nd isotopic geochemistry and genesis of Jijie alkaline-ultramafic rocks, southern part of Panxi rift [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28 (6): 1915-1927.

[19] Zhou M F, Malpas J, Song X Y, et al. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guada-lupian mass extinction [J]. Earth Planet Sci Lett, 2002, 196: 113-122.

[20] Xu Y G, He B, Chung S L, et al. Geologic, geochemical, and geo-physical consequences of plume involvement in the Emeishan [J]. Geology, 2004, 32: 917-920.