

甘肃天祝地区乌鞘岭一带双峰式火山岩的发现及其构造环境

黄增保^{1,2}, 李葆华¹, 刘明强², 金霞²

HUANG Zeng-bao^{1,2}, LI Bao-hua¹, LIU Ming-qiang², JIN Xia²

1. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059;

2. 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000

1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China

摘要:北祁连乌鞘岭一带出露一套以玄武质岩石为主的双峰式火山岩组合,火山岩岩石类型以变质玄武岩为主,夹少量的流纹岩。玄武质岩石为蚀变玄武岩,属拉斑玄武岩系列,低 SiO₂、K₂O,高 Ti,富 Na、Th、U 等,轻稀土元素亏损—略富集型,无明显 Eu 异常,微量元素具 Nb、Ta 负异常。流纹质岩石属钙碱性系列,高 SiO₂,低 K₂O,为钠质系列,大离子亲石元素富集,具明显的 Nb、P、Ti、Sr 负异常和 Th、U 正异常,轻稀土元素富集,(La/Yb)_N 为 2.98~11.46, Eu 负异常明显,δEu 介于 0.07~0.60 之间。结合区域资料分析,乌鞘岭双峰式火山岩可能形成于弧后盆地环境。

关键词:北祁连乌鞘岭地区;双峰式火山岩;地球化学特征;形成环境

中图分类号:P588.14; P581

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)09-1374-08

Huang Z B, Li B H, Liu M Q, Jin X. The discovery of bimodal volcanic rocks in Wuqiaoling area of Tianzhu County, Gansu Province, and its tectonic setting. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(9):1374-1381

Abstract: A suite of basaltic bimodal volcanic rocks is exposed in Wuqiaoling area, North Qilian Mountain. The volcanic rocks are mainly metamorphic basalts intercalated with small amounts of rhyolites. Basaltic rocks are usually metamorphic basalts of the tholeiite series, with low SiO₂ and K₂O, high Ti and rich Na, Th and U. The light rare earth elements of basaltic rocks are of the depletion-slight enrichment pattern with no obvious Eu anomaly but obvious Nb, Ta negative anomalies. The rhyolitic rocks are of the calc-alkaline series with high SiO₂ and low K₂O, belonging to the agpaitic type, enriched with large lithophile elements and showing obvious Nb, P, Ti and Sr negative anomalies and Th, U positive anomalies. Light rare earth elements are concentrated, with (La/Yb)_N being 2.98-11.46. Eu has an obvious anomaly with δEu being 0.07-0.60. In combination with the regional data analysis, the authors hold that Wuqiaoling bimodal volcanic rocks might have been formed in a back arc setting.

Key words: Wuqiaoling in north Qilian; bimodal volcanic rocks; geochemical characteristics; tectonic setting

九个泉-老虎山蛇绿混杂岩带是北祁连造山带一条重要的缝合带, 历来受到地质学家的广泛关注^[1-8], 分布于该缝合带中的火山岩的成因是研究其构造属性的关键。前人已积累了大量的资料, 一般认

为其形成于弧后扩张脊环境^[2-5], 部分学者认为是弧后盆地或海山^[6]、岛弧环境^[1]。笔者在 1:5 万古浪县幅等 4 幅区域地质调查工作中, 对分布于该缝合带中段乌鞘岭一带的火山岩作了较为全面系统的调查与

收稿日期:2011-01-11;修订日期:2011-05-27

资助项目:中国地质调查局地质大调查项目《祁连山古浪县幅、张家墩幅、天祝县幅、西大滩幅 1:5 万区域地质调查》(编号:1212010610311)和国家自然科学基金项目《滇黔桂地区卡林型金矿床流体不混溶成矿作用研究》(批准号:40873036)

作者简介:黄增保(1978-),男,在读硕士,工程师,从事区域地质调查工作。E-mail:gsddhzb@126.com

研究,从玄武岩岩片中厘定出大量的流纹岩,为一套双峰式火山岩。本文通过对火山岩主量元素、稀土元素和微量元素的分析,探讨其形成的构造环境。

1 区域地质概况和火山岩地质特征

研究区位于九个泉-老虎山蛇绿混杂岩带中段,大地构造隶属于走廊南山北缘的弧后盆地单元^[3-5]。该地区分布着呈北西西—南东东向展布的变质橄榄

岩、辉石岩、辉长岩、玄武岩、变砂岩等,一般以透镜状岩片或岩块混杂产出,之间被北西西向的断层所分割,构成蛇绿混杂岩带,并逆冲于三叠系之上(图 1)。局部见有加里东晚期侵入的石英闪长岩体。

乌鞘岭双峰式火山岩位于甘肃省天祝县安远镇南东约 10km 的乌鞘岭一带,沿乌鞘岭、毛毛山山脊分布,向南与蛇纹岩、橄辉岩、辉石岩、辉长岩等蛇绿岩块、变砂岩等一起逆冲于三叠系河湖相沉积岩系

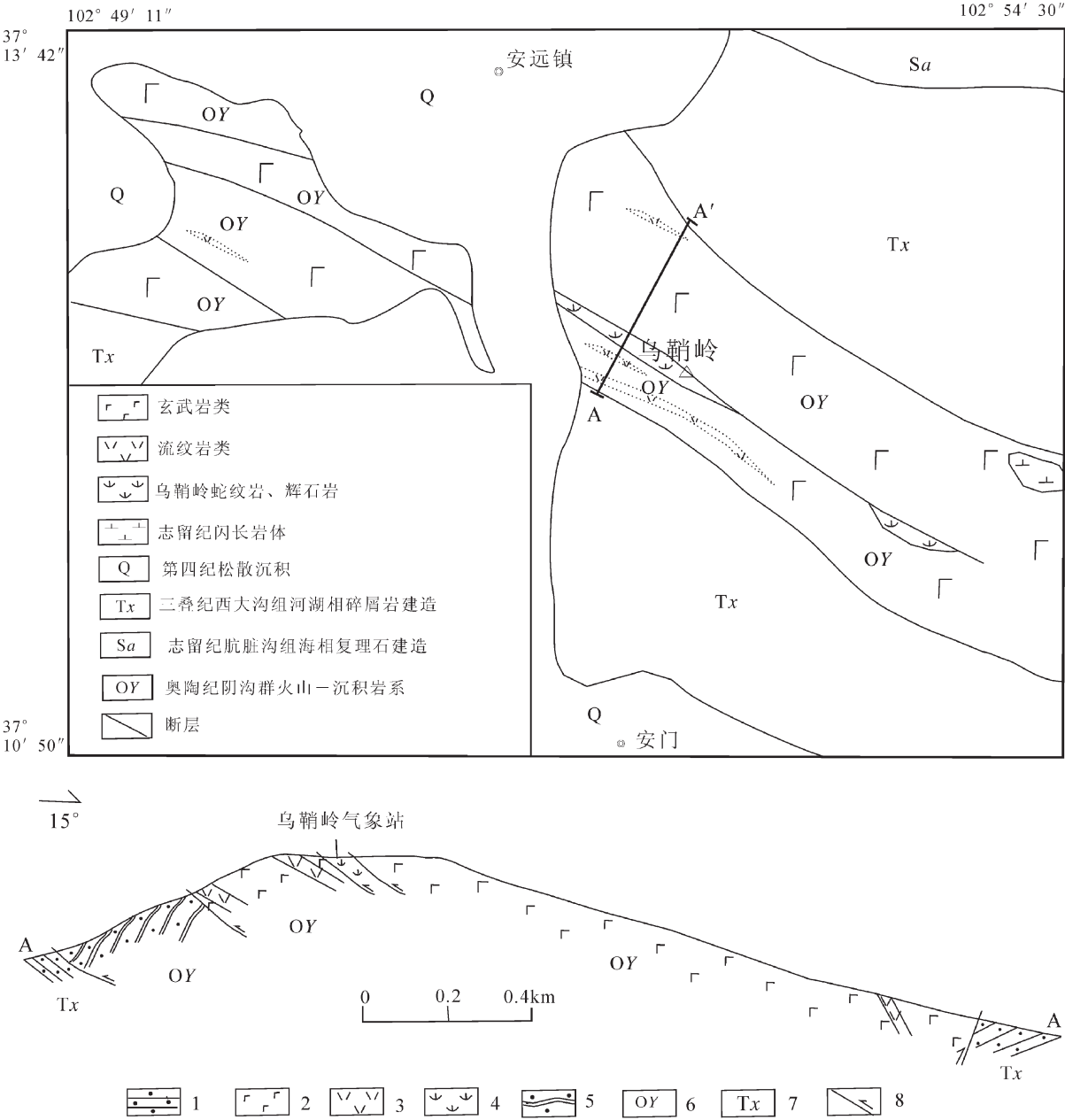


图 1 天祝县乌鞘岭地区地质简图(上)和阴沟群地质剖面(下)

Fig. 1 Sketch geological map of Wuqiaoling area in Tianzhu (upper) and geological profile of Yingou Group (lower)

1—砂岩;2—玄武岩;3—流纹岩;4—蛇纹岩、辉石岩、辉长岩;5—变砂岩;6—奥陶纪阴沟群;7—三叠纪西大沟组;8—断层

之上。笔者在乌鞘岭气象站一带的填图和地质剖面测量表明(图 1),双峰式火山岩与蛇纹岩、橄辉岩、辉石岩、辉长岩等蛇绿岩块相伴产出,接触处变形较强,火山岩呈混杂基质产出,岩性为绿泥绿帘片岩、绿泥阳起片岩、绿泥片岩、绢云绿泥片岩等;远离接触带构造变形较弱,呈宽 50~300m,长 3~5km 的岩片产出,岩性变化不大,为玄武岩夹流纹岩。玄武岩呈块状层,较厚,绿泥石化、绿帘石化等蚀变较强;流纹岩呈薄层状,单层厚度大多为 10~50cm,个别达 2m,横向延伸不稳定,常相变为玄武岩,与玄武岩出露比为 50:1。玄武岩与流纹岩的互层关系表明它们应为同时代的岩石组合。

九个泉-老虎山蛇绿混杂岩带中呈岩片或混杂基质产出的奥陶系火山-沉积地层,前人称之为阴沟群^[9]。夏林圻等^[9]对该地层中的火山熔岩做过大量的 Sm-Nd 等时线测年,得到了各个地区的等时线年龄:老虎山地区(辉石细碧玢岩)453.56Ma±4.44Ma、扁都口地区(角斑岩)464.59Ma±21.89Ma、白泉门地区(辉石玄武岩)468.8Ma±4.63Ma,相当于中-晚奥陶世,故将乌鞘岭双峰式火山岩的形成时代暂定为中-晚奥陶世。

2 岩石学特征

这里仅对奥陶系阴沟群火山岩中的熔岩叙述如下。

蚀变杏仁状玄武岩:斑状结构,基质具间隐结构,气孔-杏仁构造。斑晶为斜长石,自形细板状,粒径 0.3~0.4mm,含量约 10%,具较强的钠黝帘石化。基质主要为斜长石微晶,间隙中充填金属矿物、隐晶质和少量暗色矿物,斜长石微晶为细长板条状,长轴 0.1~0.4mm,隐约可见聚片双晶,含量约 50%;暗色矿物被绢云母和绿泥石集合体交代,含量约 30%,金属矿物含量约 2%。气孔为椭圆状,粒径 1~2.5mm,气孔的长轴具定向性,含量约 8%,部分气孔被绿泥石、方解石和玉髓充填,玉髓多分布于气孔的边缘。

钠长阳起片岩:纤状变晶结构,片状构造,主要矿物为阳起石和钠长石。阳起石呈长柱状,多呈纤维状集合体定向分布;钠长石为它形晶,轻微绢云母化,沿片理分布,局部呈透镜状集合体展布;黄铁矿、磁铁矿呈星散状、细条带状分布,此外岩石中有绿帘石脉和绿泥石脉的穿插。矿物组成阳起石为 70%,钠

长石 15%,绿帘石 5%,绿泥石 3%,石英 2%,榍石和金红石 2%,黄铁矿、磁铁矿 3%。

流纹岩:浅灰色、灰白色,斑状结构,基质具放射、球粒结构,块状构造。斑晶为透长石,呈半自形板粒状,粒径 1mm 左右,经油浸测定折光率在 1.545 左右,含量在 15%左右,石英它形粒状、多呈熔蚀圆粒状,粒径 0.5~1mm,含量约 7%;基质为透长石,板条状,粒径小于 0.1mm,集合体呈放射状、球粒状,含量 55%左右,石英 18%左右,绿泥石、绿帘石少量(3%)。岩石中白钛石及不透明金属矿物粒度小于 0.02mm,含量 2%左右。

3 岩石地球化学特征

本文样品采自天祝县乌鞘岭气象站南侧,沿垂直火山岩地层走向系统采集,并经镜下观察,挑选较新鲜的玄武岩和流纹岩进行了室内分析。样品由国土资源部中南矿产资源监督检测中心完成,其中主量元素为湿化学法分析,RSD<2%~8%,稀土和微量元素使用 ICP-MS 法测定,RSD<10%。其火山岩主量、稀土和微量元素分析结果列于表 1 中。

乌鞘岭一带的阴沟群火山岩主要岩石类型为玄武岩和流纹岩,含少量的英安岩(图 2)。从表 1 中可以看出,本区玄武岩 H₂O 含量(H₂O⁺+H₂O⁻)在 1.16%~5.12%之间,平均为 3.20%,表明基性火山岩

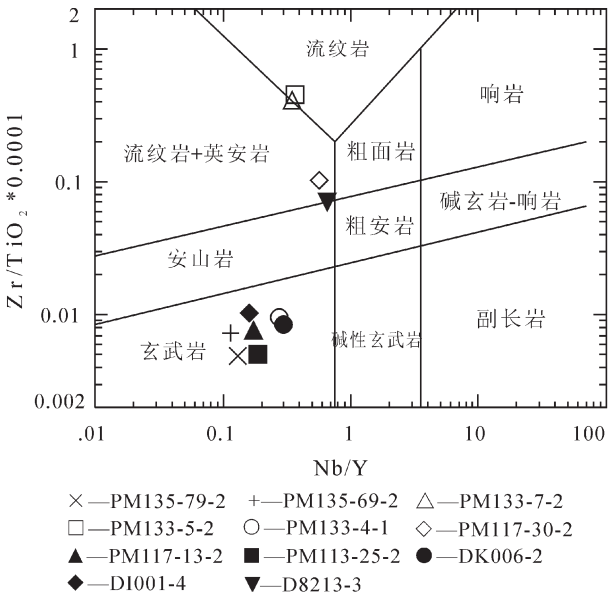


图2 乌鞘岭火山岩 Nb/Y-Zr/TiO₂ 图解
Fig. 2 Nb/Y-Zr/TiO₂ diagram of volcanic rocks in Wuqiaoling

表 1 乌鞘岭火山岩主量、稀土、微量元素含量
Table 1 Major elements, REE and trace elements content of Wushaoling volcanic rocks

送样号 岩性	PM117-30-2	PM133-5-2 流纹岩	PM133-7-2 岩	DI001-4	PM133-4-2 玄武岩	DK006-2 玄武岩	D8213-3	PM113-25-2 钠长阳起片岩	PM117-13-2	PM135-69-2 蚀变玄武岩	PM135-79-2
SiO ₂	79.81	75.15	73.80	71.66	48.98	48.86	49.36	49.66	48.79	46.74	48.18
Al ₂ O ₃	9.71	11.71	10.74	12.10	18.10	17.29	13.15	13.68	15.10	16.17	13.88
Fe ₂ O ₃	0.08	2.19	1.78	1.30	2.26	2.92	3.54	2.15	2.78	2.58	6.51
FeO	1.44	2.27	1.49	3.24	8.62	5.80	4.38	9.50	6.96	8.75	8.55
CaO	1.61	0.971	2.76	1.03	2.00	8.77	10.88	7.60	8.53	5.04	9.89
MgO	0.08	0.23	0.12	2.32	6.68	6.33	5.90	8.52	6.15	8.8	4.63
K ₂ O	2.34	0.14	0.11	0.54	0.48	0.73	0.73	0.09	0.05	0.34	0.47
Na ₂ O	3.08	6.31	5.88	3.52	5.30	4.11	4.86	3.78	3.71	3.86	2.69
TiO ₂	0.07	0.15	0.11	0.59	1.44	1.07	0.97	1.35	0.55	1.58	1.99
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.02	0.15	0.27	0.20	0.09	0.11	0.01	0.15	0.15
MnO	0.05	0.021	0.03	0.06	0.16	0.16	0.12	0.17	0.20	0.17	0.21
CO ₂	1.00	0.54	2.14	0.81	0.43	0.18	2.57	0.21	2.78	0.65	0.14
H ₂ O ⁺	0.48	0.36	0.30	2.18	4.64	2.76	1.06	2.77	2.78	4.65	1.94
H ₂ O ⁻	0.202	0.09	0.06	0.21	0.27	0.38	0.10	0.24	0.19	0.47	0.16
total	100.71	100.21	101.17	100.29	98.99	99.35	100.03	99.43	100.88	99.9	99.4
Mg [#]	0.04	0.04	0.03	0.29	0.33	0.37	0.38	0.37	0.34	0.38	0.20
F	64.9	88.20	66.0	924	772	408	608	110	167	242	259
La	24.6	33.7	31.4	35.2	11.8	10.7	30.2	7.79	1.86	4.45	4.4
Ce	40.6	73.3	66.6	67.0	24.6	25.2	50.4	12.6	4.28	11.6	13.8
Pr	4.24	10.9	9.76	7.99	3.83	3.51	6.34	1.71	0.55	2.14	2.78
Nd	15.8	46.3	40.6	28.7	17.2	15.2	23.8	8.30	25.50	10.8	14.9
Sm	3.76	11.6	10.0	5.36	4.56	3.78	4.30	2.58	0.90	3.61	5.21
Eu	0.097	1.16	1.41	1.00	1.22	1.29	1.18	0.94	0.55	1.22	1.74
Gd	4.17	10.1	8.90	4.55	3.74	3.68	3.45	3.58	1.74	3.61	5.28
Tb	0.83	2.09	1.80	0.64	0.78	0.67	0.50	0.67	0.39	0.84	1.24
Dy	6.02	15.0	12.9	3.40	5.34	4.11	2.74	5.02	2.97	5.49	8.27
Ho	1.15	3.05	2.60	0.64	1.08	0.84	0.54	1.02	0.61	1.11	1.69
Er	3.75	8.03	7.01	1.78	2.98	2.30	1.46	3.17	1.55	3.07	4.72

续表 1

送样号 岩性	PM117-30-2	PM133-5-2	PM133-7-2	DI001-4	PM133-4-2	DK006-2	D8213-3	PM113-25-2	PM117-13-2	PM135-69-2	PM135-79-2
		流纹岩	岩		玄武岩	玄武岩		钠长阳起片岩		蚀变玄武岩	
Tm	0.55	1.25	1.11	0.31	0.52	0.40	0.24	0.49	0.27	0.54	0.81
Yb	3.60	7.63	6.82	2.07	3.34	2.60	1.46	2.85	1.67	3.39	5.11
Lu	0.49	0.84	0.80	0.30	0.46	0.37	0.20	0.38	0.23	0.42	0.69
Y	29.2	74.7	64.1	16.6	28.6	20.6	13.7	23.8	12.4	27	44.1
ΣREE	138.857	299.65	265.81	175.54	110.05	95.25	140.51	74.90	32.52	79.29	114.74
δEu	0.07	0.32	0.45	0.60	0.88	1.04	0.91	0.95	1.32	1.02	1.01
(La/Yb) _N	4.62	2.98	3.10	11.46	2.4	2.8	13.9	1.8	0.8	0.89	0.58
Cr	13.0	6.93	1.48	73.3	69.4	127	310	131	69.2	62.5	197
Ni	1.00	2.52	2.66	21.8	46.2	70.2	68.6	51.8	13.8	42.2	75.7
Co	13.8	1.95	1.37	9.67	31.1	30.2	31.8	45.6	34.3	43.4	63
Li	4.70	1.53	1.92	31.4	23.6	9.11	10.2	22.1	33.8	14.6	32.2
Rb	82.2	4.32	2.18	70.0	12.5	12.3	11.9	2.15	1.70	11.2	9.14
Cs	2.00	0.35	0.24	6.53	1.49	0.54	0.44	1.85	1.90	0.42	0.59
Sr	58.6	93.1	90.5	24.6	157	458	165	86.8	221	114	109
Ba	63.4	55.6	39.4	642	133	338	298	37.8	39.2	122	75.5
V	1.75	14.3	10.1	79.0	256	193	198	290	242	401	376
Sc	3.72	2.07	2.99	5.77	30.3	15.0	34.1	47.9	44.2	39.8	56.7
Nb	16.5	27.0	22.0	11.5	7.92	6.08	2.18	4.48	2.17	3.07	5.72
Ta	1.68	1.91	1.50	0.96	0.48	0.50	0.50	0.50	0.50	<0.5	<0.5
Zr	68.0	677	448	176	138	90.3	58.70	67.8	41.6	114	98.1
Hf	3.90	16.4	11.3	5.46	3.58	2.67	2.68	4.08	2.89	4.8	5.02
Be	4.53	2.03	1.26	1.97	2.77	0.78	0.66	3.25	2.91	1.05	0.82
Ga	12.2	12.8	10.6	14.3	14.2	15.8	11.8	24.6	24.8	21.5	15
U	3.66	3.35	2.31	2.06	0.78	0.54	0.94	1.81	2.05	<0.05	0.064
Th	22.50	6.40	8.37	14.5	1.72	1.64	6.38	11.0	7.71	0.46	0.4
K	9713	577	469	14611	1984	3022	3022	369	220	1395	1930
Ti	396	899	659	3530	8631	6414	3423	8092	3267	9471	11928
P	44	46	35	329	593	435	193	242	31	321	323

注: 氧化物含量为%, 稀土和微量元素为 10⁻⁶

遭受过一定的蚀变影响,这与野外和镜下的薄片观察结果是一致的。这种蚀变作用可能影响到部分活泼元素(如 K、Na、Cs、Rb、Sr 等)的地球化学行为,本文重点对不活动元素(如 Nb、Ta、Zr、Hf、Th、REE、Ti 等)进行讨论。

3.1 火山岩系列和组合

Nb、Y 均为不活动痕量元素, SiO₂-Nb/Y 图可以有效地区分火山岩的系列。本文所采样品的投点在 SiO₂-Nb/Y 图(图 3)中大部分落入非碱性区,说明火山岩属非碱性系列。在 AFM 图(图 4)中多数玄武岩类样品的投点沿拉斑系列和钙碱性系列的界线分布,具明显的富铁镁趋势;流纹岩属钙碱性系列,具明显的富碱趋势。

玄武岩类 SiO₂ 含量介于 46.74%~49.66%之间, Al₂O₃、TFeO、MgO、CaO 含量较高,且 FeO>Fe₂O₃, Na₂O>K₂O, 其中 Na₂O 含量为 2.69%~5.30%, K₂O 变化于 0.05%~0.73%之间,属钠质火成岩类。TiO₂ 介于 0.97%~1.99%之间,个别为 0.55%(D8213-3),平均 1.28%。就 TiO₂ 含量而言,本区玄武岩类介于典型的洋脊拉斑玄武岩(1.5%)和典型的活动大陆边缘、岛弧拉斑玄武岩(0.83%)^[10]之间。

流纹岩类 SiO₂ 含量介于 71.66%~79.81%之间,随 SiO₂ 含量增加,多数样品 TFeO、MgO、Al₂O₃、TiO₂、P₂O₅ 等氧化物含量减少,其它氧化物含量无明显的规律性变化。Na₂O 含量远大于 K₂O, Na₂O/K₂O 比值为 1.32~52.04,属钠质系列。

3.2 稀土元素特征

玄武岩类稀土元素含量变化较大, $\sum \text{REE}$ 介于 32.52×10^{-6} ~ 140.51×10^{-6} 之间, $\sum \text{LREE}/\sum \text{HREE}$ 介于 0.49~1.68 之间,个别为 4.78(D8213-3), (La/Yb)_N 介于 0.58~2.8 之间,个别 13.9(D8213-3),为轻稀土元素亏损—略富集型,仅 D8213-3 样品显示轻稀土元素富集型; δEu 值介于 0.88~1.31 之间,具弱负 Eu 异常—弱正 Eu 异常。玄武岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线近于平坦或略左倾(图 5-a),与典型的 N-MORB 稀土元素地球化学特征相似,个别样品(D8213-3)稀土元素配分曲线右倾,轻稀土元素富集,曲线型式具洋岛玄武岩的一般特征。

流纹岩类稀土元素含量明显高于玄武岩类, $\sum \text{REE}$ 在 138.85×10^{-6} ~ 299.65×10^{-6} 之间,轻稀土元素明显富集($\sum \text{LREE}/\sum \text{HREE}$ 介于 1.44~4.80 之间, (La/Yb)_N 介于 2.98~11.46 之间), Eu 负异常较

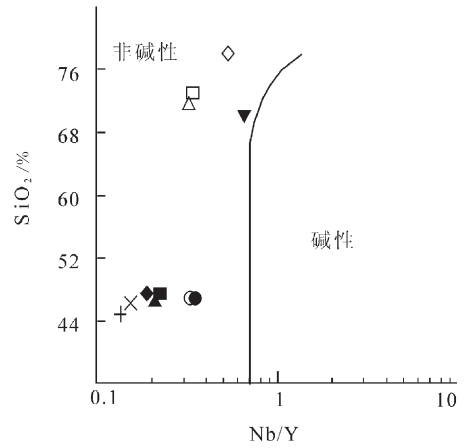


图 3 乌鞘岭火山岩 SiO₂-Nb/Y 图解(图例同图 2)

Fig. 3 Diagram of Wuqiaoling volcanic rocks

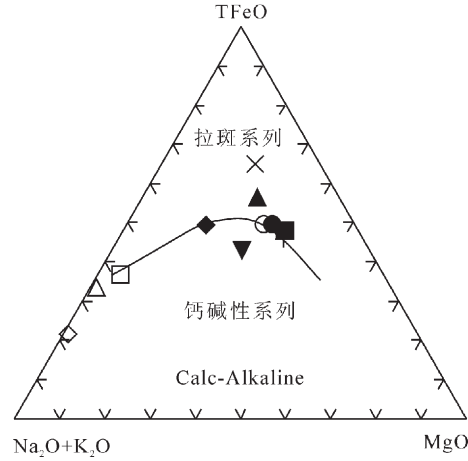


图 4 乌鞘岭火山岩 AFM 图解(图例同图 2)

Fig. 4 AFM diagram of Wuqiaoling volcanic rocks

明显(δEu 介于 0.07~0.60)。稀土元素配分曲线右倾(图 5-b),轻重稀土元素分馏明显,且轻稀土元素部分负斜率较大,而重稀土元素部分负斜率小。

3.3 微量元素特征

从表 1 中看出,玄武岩类 Cr 含量较低,变化于 62.5×10^{-6} ~ 310×10^{-6} 之间, $\text{Mg}^\#$ 值介于 0.20~0.38 之间,属于演化的玄武岩。在 N-MORB 标准化微量元素蛛网图(图 6-a)中,多数样品 Ba、Th、Rb 等大离子亲石元素相对富集,从 Nb 到 Lu 基本未发生分馏,近平坦型分布,与典型的 E-MORB 相似。多数样品具 Nb 负异常, Nb<La,但无明显的 Ti 负异常,与典型弧后盆地玄武岩的地球化学特征相似^[5],表明很可能形成于弧后盆地环境,与前人^[2-3]的认识是

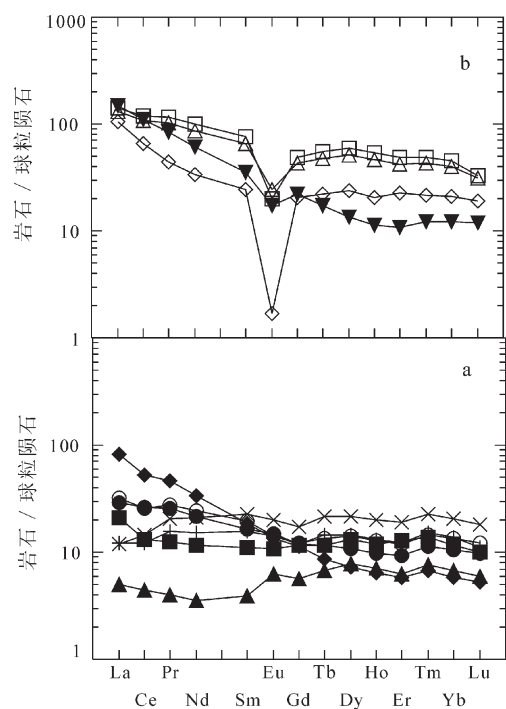


图 5 稀土元素球粒陨石标准化配分型式(图例同图 2)
Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns

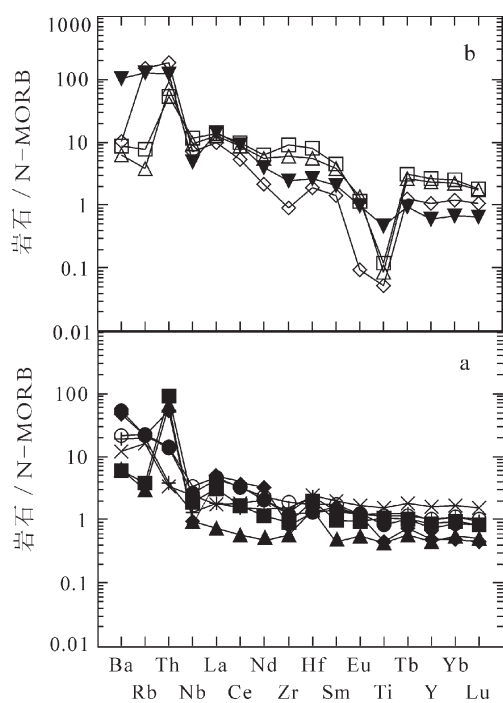


图 6 微量元素洋脊玄武岩标准化配分型式(图例同图 2)
Fig. 6 N-MORB-normalized trace elements patterns

一致的。多数样品 U、Th 等元素含量较高,可能与俯冲流体中洋壳物质的带入有关。

流纹岩类具有与中基性火山岩相似的曲线形式,总体显示为斜率不大的右倾模式(图 6-b),依然保持了 Ba、Rb、Th 的正异常,但具十分明显的 Eu、Ti 的负异常,具有 A 型花岗岩的特征,表明形成的深度很深。

4 形成的构造环境讨论

乌鞘岭一带出露的阴沟群火山岩具典型的双峰式火山岩的特征。双峰式火山岩并不只是大陆裂谷环境的产物,它可以产于成熟岛弧中短暂的拉张环境即弧后盆地环境^[11-12],但是前者为钾质,后者为钠质。从这个意义上,乌鞘岭火山岩具钠质的特征暗示了其可能形成于弧后盆地。

区内玄武岩除个别样品(D8213-3)外,其余样品(La/Yb)_N(0.58~2.77,平均 1.54)、(La/Sm)_N(0.42~1.49,平均 1.03)、Ce/Zr(0.10~0.28,平均 0.16)、Th/Yb(0.09~4.15,平均 1.01)、Th/La(0.09~4.15,平均 1.01)、Ti/Y(270.5~350.8,平均 306.30)的比值较低,而 Zr/Nb(14.85~37.13,平均 20.14)和 Y/Nb(3.39~

8.79)的比值较高。这些特征均与 MORB 相似,特别是与 E-MORB 相似^[13]。玄武岩多数具 LREE 亏损的模式(N-MORB),个别样品 LREE 富集(OIB 型),微量元素也具有 E-MORB 的特征。样品中的 Th、U 富集通常源于消减带,也是弧后盆地火山岩的一个特征^[5]。

在不活动元素 Zr-Zr/Y 图(图 7 左图)中,玄武岩样品的投点部分投入到板内玄武岩区,部分落入岛弧玄武岩和洋脊玄武岩的过渡区内,在 Zr/4-Nb×2-Y 图解(图 7 右图)中,多数样品的投点落入 N-MORB 区和岛弧玄武岩区,具岛弧火山岩和洋脊火山岩过渡的特点,也说明其成因可能与消减作用有关,与微量元素所显示的特征基本一致。此外,乌鞘岭一带的双峰式火山岩有较多的砂岩、灰岩和硅质泥岩夹层,而且砂岩中含有大量陆源石英碎屑,表明火山岩中的沉积岩夹层形成于陆缘环境,而非远洋环境,与老虎山一带阴沟群玄武岩中沉积岩夹层的成因相似^[7]。

九个泉-老虎山弧后盆地中除发育较完整的蛇绿岩层序的弧后扩张脊型基性火山岩系(如老虎山、石居里^[2,7-8])外,出现双峰式火山岩并非偶然,夏林

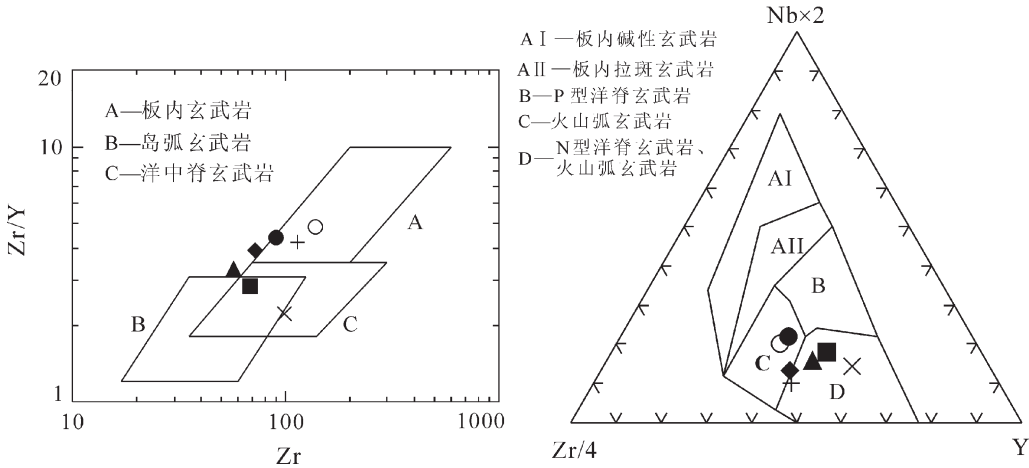


图 7 火山岩 Zr-Zr/Y 和 Zr-Nb-Y 图解 (图例同图 2)
Fig. 7 Zr-Zr/Y and Zr-Nb-Y diagrams of volcanic rocks

圻等^[5]在研究北祁连山奥陶纪弧后盆地火山岩的成因时曾报道,在肃南扁麻沟一带也存在双峰式火山岩(由长英质熔岩和基性熔岩构成的双峰式岩套),为早期弧后盆地形成过程中岛弧裂谷化的产物,并认为北祁连山弧后盆地火山岩由早到晚形成由长英质熔岩和基性熔岩构成的双峰式岩套→正常弧后盆地基性熔岩→发育有较完整蛇绿岩层序的弧后扩张脊型基性火山岩系。笔者在野外调查过程中在老虎山一带甚至还发现少量的安山岩等中性火山熔岩,说明九个泉-老虎山蛇绿混杂岩带中的阴沟群火山岩系的组成十分复杂。

综上所述,笔者认为乌鞘岭双峰式火山岩与肃南扁麻沟一带的双峰式火山岩形成环境相似,应为弧后盆地发育初期的弧间裂谷环境。其可能是:北祁连山在奥陶纪沿海沟向北俯冲消减,消减带俯冲下沉的板片对软流圈的粘性拖曳作用,引起岛弧轴下和岛弧后方的地幔楔中发生补充性对流循环,导致深部岩浆上升,使岛弧地壳隆起产生拉张,从而形成岛弧裂谷化,产生双峰式火成岩石组合。

致谢:参加野外工作的还有李增、余君鹏、朱彦虎等工程师,在此表示感谢。

参考文献

[1]张招崇,毛景文,杨建明,等.北祁连山西段早奥陶世阴沟群火山岩

构造背景[J].岩石矿物学杂志,1997,16(13):193-201.
[2]张旗,孙晓猛,周德进,等.北祁连蛇绿岩的特征、形成环境及其构造意义[J].地球科学进展,1997,12(4):366-393.
[3]夏林圻,夏祖春,徐学义.北祁连山海相火山岩岩石成因[M].北京:地质出版社,1996:74-129.
[4]夏林圻,夏祖春,任有祥,等.祁连山及邻区火山作用与成矿[M].北京:地质出版社,1998.
[5]夏林圻,夏祖春,徐学义.北祁连山奥陶纪弧后盆地火山岩浆成因[J].中国地质,2003,30(1):40-60.
[6]徐学义,赵江天,李向明,等.北祁连山早古生代硅质岩稀土元素特征及构造环境意义[J].地质科技情报,2003,22(3):22-26.
[7]钱青,张旗,孙晓猛,等.北祁连老虎山玄武岩和硅质岩的地球化学特征及形成环境[J].地质科学,2001,36(4):444-453.
[8]钱青,张旗,孙晓猛.北祁连九个泉玄武岩的形成环境及地幔源区特征:微量元素和 Nd 同位素地球化学制约[J].岩石学报,2001,17(3):385-394.
[9]甘肃省地质矿产局.甘肃省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997:200-310.
[10]Pearce J A. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins[C]//Hawkesworth et al. Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Nantwich Shiva,1983:230-249.
[11]王焰,钱青,刘良,等.不同构造环境中双峰式火山岩的主要特征[J].岩石学报,2000,16(2):169-173.
[12]周刚,秦纪华,张招崇,等.新疆富蕴县苏普特一带双峰式火山岩的发现及其地质意义[J].地质论评,2007,53(3):337-348.
[13]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [C]//Saunders A D, Norty M J. Magmatism in ocean basins. Geo. Soc. London. Spec. Publ., 1989: 313-345.