

滩间山群的重新厘定

——来自柴达木盆地周缘玄武岩年代学和地球化学证据

高晓峰, 校培喜, 贾群子

西安地质矿产研究所, 陕西, 710054

内容提要:柴达木盆地周缘滩间山群在岩石组合、玄武岩同位素年代学和地球化学特征以及在区域成矿过程中作用具有明显差异。柴北缘和柴南缘(东昆仑地区)滩间山群具有不同的岩石组合和沉积建造:柴北缘滩间山群下部为中基性海相火山岩,上部为碎屑岩-碳酸盐岩;柴南缘下部为中基性-中酸性火山岩夹碎屑岩,中部为碎屑岩夹中基性火山岩,上部为碳酸盐岩夹碎屑岩。柴北缘和柴南缘滩间山群中玄武岩年代学和地球化学对比研究表明,柴北缘玄武岩形成时限约在510~460Ma,代表了寒武纪—奥陶纪岩浆作用;柴南缘形成时限约在450~440Ma,为中奥陶世—早志留世喷发产物。柴北缘滩间山群玄武岩总体上具有岛弧火山岩性质,代表了早古生代区域上洋陆俯冲过程中不同阶段的产物;柴南缘滩间山群玄武岩具有E-MORB特征,为祁漫塔格有限洋(弧后盆地)打开过程中的产物。

关键词:地球化学;玄武岩;滩间山群;柴达木盆地

滩间山群(又称祁漫塔格群)由青海省地层表编写小组(1980)创名,原指分布于赛什腾山万洞沟及滩间山一带由浅变质碎屑岩、变中-基性火山岩夹生物碎屑灰岩和大理岩构成的一套浅变质绿色岩系,青海省地质矿产局(1991)和孙崇仁等(1997)将其分布范围扩展至整个柴达木盆地北缘和西南缘,然而,新疆维吾尔自治区地质矿产局(1993)将东昆仑地区延伸至新疆区范围的同一套地层称为祁漫塔格群。近年来的研究表明(邬介人等,1987;李怀坤等,1999;Shi et al.,2006;张德全等,2001;赵风清等,2003;王惠初等,2003;Xu et al.,2006;赖绍聪等,1996),滩间山群在柴达木盆地周缘地区存在构造变形、岩石组合及变质程度的差异,同时滩间山群分布在不同大地构造单元内,划分为同一岩群(组)是否合适?本文以滩间山群岩石组合、火山岩年代学及地球化学、在区域成矿过程中作用等方面开展分布在柴达木盆地北缘和南缘滩间山群对比研究。

1 区域地质概况及岩石学特征

柴北缘-东昆仑地区位于青海省的西部,为中央

造山带重要组成部分(殷鸿福等,1998)。柴北缘-东昆仑地区在大地构造位置横跨祁连造山带、柴达木盆地和东昆仑造山带等三个构造单元(图1),柴北缘-东昆仑地区的地质构造演化主要包括:新太古代—古元古代基底形成演化、长城纪—青白口纪古大陆裂解与汇聚、南华纪—早古生代洋陆转化、晚古生代—三叠纪板内伸展裂陷与挤压造山、中-新生代陆内叠覆造山等五个阶段。

滩间山群火山岩广泛分布在柴北缘-东昆仑地区,其中柴北缘火山岩呈北西—南东向展布,西起赛什腾山的吉绿素,向东经双口山、锡铁山至都兰,绵延约600km,出露宽度2~12km,火山岩带与元古宙达肯大坂群断层接触,上覆与不同时代地层呈断层或高角度不整合接触(青海省地质矿产局,1991;Shi et al.,2006);柴达木南缘(即东昆仑地区)滩间山群火山岩呈北西西—南东东或近东西向展布,多见于祁漫塔格山北坡、小狼牙山、五道沟、冰沟、巴音格勒呼都森、肯得可克及野马泉一带,底部与金水口岩群为断层接触关系,上覆与不同时代地层均为断层接触关系,并为早泥盆世以后的花岗岩体侵入(青海省地质矿产局,1991)。

注:本文得到中国地质调查局工作项目《昆仑-阿尔金成矿带基础地质综合研究》(编号1212010911025)资助的成果。

收稿日期:2010-03-29;改回日期:2011-02-21;责任编辑:郝梓国,黄敏。

作者简介:高晓峰,男,1979年生。博士,助理研究员。从事岩石学和岩石地球化学研究工作。电话:029-87821743;Email:xfgao2000@163.com。

DOI:CNKI:11-1951/P.20110907.1101.004 网络出版时间:2011-9-7 11:01

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1951.P.20110907.1101.004.html>

柴北缘滩间山群火山岩以灰绿色中性熔岩、玄武质熔岩和火山碎屑岩为主, 有少量岩脉, 岩脉主要是中基性岩脉, 产在玄武质熔岩中, 玄武质熔岩和安山质熔岩之间为渐变过渡关系, 可见一些辉绿岩及辉长岩块, 未见岩墙群和地幔橄榄岩(史仁灯等, 2004); 柴达木盆地南缘滩间山群火山岩岩石类型复杂, 以玄武岩为主, 次为安山-英安质凝灰质火山灰岩, 少量玄武安山岩、基性火山角砾岩、细碧岩等, 玄武岩发育枕状构造, 岩石风化面呈土红色、褐色, 新鲜面呈灰绿色、深灰绿色、暗灰色、暗褐色等。

2 滩间山群火山岩年代学特征

近年来前人对滩间山群火山岩及相关侵入体开展了大量的同位素年代学工作(郭介人等, 1987; 李怀坤等, 1999; Shi et al., 2006; 张德全等, 2001; 韩英善等, 2000; 赵凤清等, 2003; 王惠初等, 2003; 袁桂邦等, 2002), 这些工作主要集中在柴达木盆地北缘, 柴达木盆地南缘研究程度较低(图 1)。由于不同的同位素体系和实验方法的差异, 其中柴达木盆地北缘滩间山群火山岩年龄从 $542 \pm 13 \text{Ma}$ 玄武岩(王惠初等, 2003) 到 $415.19 \pm 7 \text{Ma}$ 安山岩(张德全等, 2001), 具有较广的年龄分布范围。

柴达木盆地南缘仅在那陵郭勒河东岸滩间山群火山岩组中, 取得玄武岩 Rb-Sr 等时线同位素年龄为 $448 \pm 36 \text{Ma} \sim 440.4 \pm 82 \text{Ma}$ (1:5 万滩北雪峰等幅区域地质调查报告, 内部资料)^①, 我们对该地区火山岩也开展了同位素测年工作, 选择祁漫塔格地区滩间山群蚀变玄武岩为测年对象(地理坐标为: 东经 $37^{\circ}48'00''$; 北纬 $90^{\circ}52'37''$)。锆石形态见图 2 左, 总体上, 锆石为长柱状, 岩浆振荡环带发育, 显示出岩浆锆石特征, 锆石 Th/U 比值在 $0.31 \sim 0.59$ 之间(表 1), 其中 6、7 点显示锆石的核部和边缘为两个年龄区间, 因此, 我们认为 2、3、5、6 点代表了岩浆深部结晶锆石年龄, 其余的 1、4、7、8、9、10、11 点为岩浆喷出地表冷却结晶锆石年龄, 即柴南缘滩间山群玄武岩形成年龄, 1、4、7、8、9、10、11 点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的加权平均年龄为 $(443.1 \pm 7.3) \text{Ma}$ (MSWD = 7.0)。锆石的 CL 图像和 LA-ICP-MS 法单颗粒锆石微区 U-Pb 年龄测定是在西北大学大陆动力学教育部重点实验室完成, 详细分析步骤和数据处理方法参见文献袁洪林等(2003)和 柳小明等(2002)。

结合区域上古生物化石组合、同位素测年数据和构造热事件的相互佐证, 柴达木北缘滩间山群玄武岩总体形成在 $510 \sim 460 \text{Ma}$ 年龄区间, 时代为晚

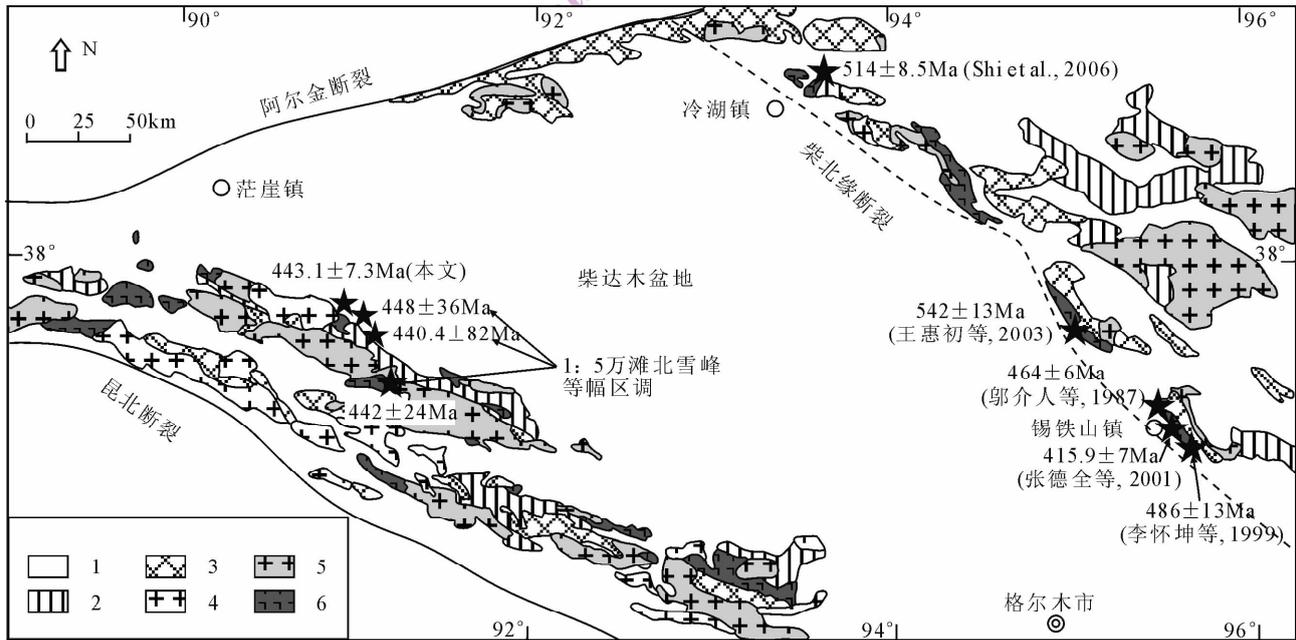


图 1 滩间山群分布图(据青海省地质矿产局, 1991)

Fig. 1 Geological sketch map of the Tanjianshan Group(modified after QHBGMR, 1991)

1—中生代地层; 2—古生代地层; 3—前寒武纪地层; 4—中生代花岗岩; 5—古生代花岗岩; 6—滩间山群

1—Mesozoic and Cenozoic Stratum; 2—Paleozoic Stratum; 3—Precambrian Stratum; 4—Mesozoic and Cenozoic granite;

5—Paleozoic granite; 6—Tanjianshan Group

表 1 滩间山群玄武岩锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data for zircons of basalt from the Tanjianshan Group

测点	Th ($\mu\text{g/g}$)	U ($\mu\text{g/g}$)	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
				比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄(Ma)	1 σ	年龄(Ma)	1 σ	年龄(Ma)	1 σ
1	52	134	0.39	0.0551	0.0014	0.5542	0.0124	0.0729	0.0006	0.0223	0.0004	448	8	454	3	447	7
2	492	856	0.57	0.0656	0.0010	0.7112	0.0101	0.0787	0.0004	0.0241	0.0001	545	6	488	3	480	2
3	83	267	0.31	0.0577	0.0009	0.6208	0.0078	0.0780	0.0005	0.0252	0.0003	490	5	484	3	502	5
4	77	207	0.37	0.0566	0.0012	0.5403	0.0105	0.0692	0.0004	0.0215	0.0001	439	7	432	3	431	2
5	72	122	0.59	0.0566	0.0014	0.6019	0.0146	0.0771	0.0005	0.0240	0.0001	478	9	479	3	479	2
6	46	91	0.50	0.0583	0.0012	0.6071	0.0113	0.0755	0.0005	0.0231	0.0003	482	7	469	3	462	5
7	60	167	0.36	0.0578	0.0013	0.5789	0.0124	0.0727	0.0005	0.0226	0.0001	464	8	452	3	451	2
8	50	127	0.40	0.0574	0.0012	0.5555	0.0103	0.0702	0.0005	0.0221	0.0003	449	7	437	3	441	6
9	59	114	0.52	0.0601	0.0013	0.5915	0.0119	0.0713	0.0005	0.0221	0.0003	472	8	444	3	443	6
10	38	101	0.37	0.0556	0.0014	0.5402	0.0134	0.0704	0.0005	0.0219	0.0001	439	9	439	3	439	2
11	42	115	0.37	0.0617	0.0016	0.6073	0.0140	0.0713	0.0006	0.0222	0.0004	482	9	444	3	445	8

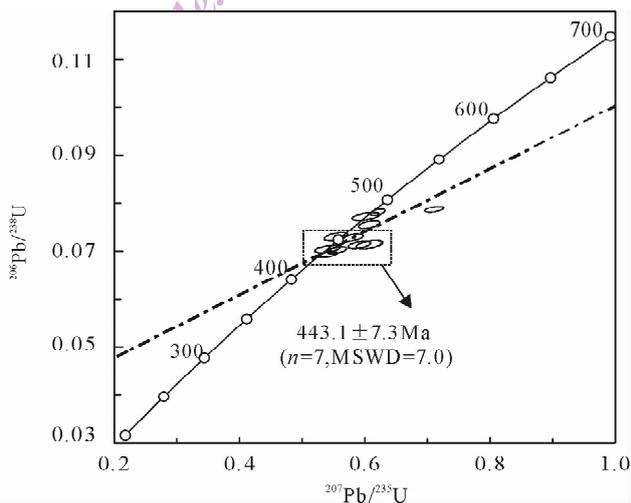
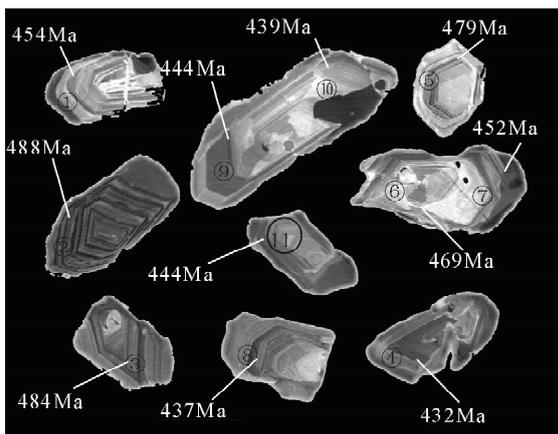


图 2 玄武岩锆石 CL 图像及 U-Pb 谐和图

Fig. 2 CL images and U-Pb concordia diagram of the zircons from basalts

寒武世—奥陶纪；柴南缘滩间山群玄武岩形成在 450~440Ma 左右，为晚奥陶世—早志留世。

3 滩间山群玄武岩地球化学特征及构造意义

3.1 滩间山群玄武岩主、微量元素地球化学特征

在 Nb/Y-SiO₂ 和 FeOT/MgO-SiO₂ 图解上(图 3)，柴达木北缘滩间山群玄武岩为碱性-钙碱性-拉斑系列；柴南缘滩间山群主要为拉斑玄武岩系列。所有玄武岩样品的主、微量元素分析结果见表 2。

柴北缘滩间山群碱性玄武岩 SiO₂ 含量在 48.32% ~ 49.54% 之间，Al₂O₃ (18.03% ~ 18.47%)，K₂O(2.64% ~ 3.06%)，Na₂O(2.75% ~ 2.99%)，CaO (8.33% ~ 8.88%)，P₂O₅ (0.49% ~ 0.52%)，MgO 的含量变化于 3.15%

~ 3.52%，FeO_T[0.9(Fe₂O₃ + FeO)]为 8.04% ~ 8.57%，TiO₂ (0.68% ~ 0.73%)，Mg[#] [Mg/(Mg + ΣFe)原子比值]为 41 ~ 43。其他玄武岩样品其中 SiO₂ 含量变化于 48.12% ~ 51.03%，Al₂O₃ (12.89% ~ 18.83%)，K₂O(0.1% ~ 0.81%)，Na₂O (0.31% ~ 2.56%)，CaO (6.92% ~ 13.83%)，P₂O₅(0.05% ~ 0.25%)，MgO 的含量变化于 3.29% ~ 11.56%，FeO_T [0.9(Fe₂O₃ + FeO)]为 6.16% ~ 13.21%，TiO₂ (0.1% ~ 1.75%)，Mg[#] [Mg/(Mg + ΣFe)原子比值]为 0.36 ~ 0.77。

柴南缘滩间山群玄武岩 SiO₂ 含量变化于 46.9% ~ 52.17%，Al₂O₃ (12.47% ~ 16.44%)，K₂O (0.06% ~ 2.68%)，Na₂O (1.34% ~ 5.85%)，CaO(4.63% ~ 11.97%)，P₂O₅(0.07%

表 2 滩间山群玄武岩主量元素 (%) 和微量元素分析结果 ($\mu\text{g/g}$)Table 2 Major (%) and trace element ($\mu\text{g/g}$) concentrations of basalts from the Tanjianshan Group

样号	20D210-1	20P75-1	20P81-1	99Y-511	99Y-514	99Y-516	99Y-517	99Y-518	99Y-520	99Y-522	DQY-36
地点	柴北缘										
参考文献	王惠初等, 2003			Shi et al., 2006							
SiO ₂	51.03	49.65	48.27	48.16	51.27	51.07	48.12	48.56	48.88	50.17	49.54
TiO ₂	1.72	1.41	0.81	0.8	0.93	1	1.55	1.05	0.75	1.54	0.68
Al ₂ O ₃	13.09	13.36	14.06	18.83	16.18	16.01	14.7	14.64	14.9	12.89	18.03
Fe ₂ O ₃	6.09	3.99	6.01	6.13	3.44	2.94	3.61	2.84	2.13	4.08	4.93
FeO	9.05	8.76	4.11	4.86	4.2	4.25	7.9	8.3	6.65	9.54	3.6
MnO	0.19	0.19	0.36	0.24	0.12	0.14	0.19	0.18	0.15	0.21	0.27
MgO	5.75	6.69	6.67	3.29	7.93	7.28	7.25	8.13	8.98	5.86	3.15
CaO	8.86	10	12.88	12.46	6.92	7.91	9.51	10.27	12.71	10.88	8.88
Na ₂ O	2.45	1.76	3.18	0.31	3.61	3.78	2.33	2.56	1.25	1.53	2.75
K ₂ O	0.13	0.12	0.12	0.9	0.25	0.81	0.44	0.1	0.41	0.1	2.78
P ₂ O ₅	0.2	0.25	0.18	0.12	0.1	0.1	0.13	0.07	0.05	0.12	0.49
LOI	2.08	3.62	2.7	3.01	4.33	3.77	3.32	2.49	2.04	1.92	3.86
Total	100.6	99.8	99.35	99.11	99.28	99.06	99.05	99.19	98.9	98.84	98.96
Mg [#]	0.42	0.49	0.56	0.36	0.66	0.66	0.54	0.57	0.65	0.44	0.41
La	7.46	5.3	17.93	15.97	11.91	12.46	9.88	6.39	5.01	7.67	129.1
Ce	16.6	12.95	37.14	31.06	25.34	27.9	23.94	14.7	12.41	18.39	234.1
Pr	1.78	2.08	3.89	3.44	2.83	3.01	2.88	1.64	1.45	2.36	23.34
Nd	12.26	9.63	18.41	13.78	12.41	12.73	12.86	7.44	6.49	11.16	81.16
Sm	3.54	3.77	3.73	3.03	2.96	3.11	3.43	2.29	1.77	3.11	14.58
Eu	1.38	1.09	1.18	1.01	1.04	1.12	1.2	0.81	0.63	1.12	3.28
Gd	5.55	4.32	3.57	3.27	3.16	3.67	3.94	2.62	2.12	3.88	12.67
Tb	0.98	0.97	0.51	0.51	0.58	0.58	0.71	0.49	0.38	0.71	1.46
Dy	6.27	4.6	2.95	2.92	3.25	3.42	4.21	2.76	2.33	4.21	6.33
Ho	1.38	0.9	0.55	0.58	0.68	0.69	0.85	0.57	0.51	0.87	1.26
Er	3.76	2.92	1.4	1.64	1.88	1.78	2.11	1.55	1.43	2.36	2.97
Tm	0.57	0.33	0.2	0.24	0.28	0.27	0.31	0.23	0.18	0.37	0.43
Yb	3.98	2.5	1.38	1.58	1.68	1.87	2.09	1.51	1.23	2.51	2.63
Lu	0.68	0.36	0.19	0.26	0.28	0.3	0.35	0.25	0.22	0.41	0.43
Y	33.37	27.26	22.15	19.21	22.58	23.9	25.75	17.19	16.73	30.41	40.23
Rb	20	1.6	1.9	22	14	31	20	0.7	30	2.4	90
Sr	50.38	167	770	262	344	182	355	166	156	156	946
Ba	832.8	31	51	682	90	253	162	26	85	25	1050
Th	0.3	0.6	3.5	4.6	3.2	3.4	0.9	0.5	0.5	0.7	56
U		0.2	1	1	0.7	0.8	0.3	0.2	0.3	0.3	14
Ta		1.2	0.6	0.6	0.4	0.5	1.1	0.4	0.2	0.7	2.6
Nb	0.7	9.2	7.6	7.3	4.6	6.2	16	6.8	3.5	8.6	37
Zr	36	89	90	34	80	85	74	36	32	64	247
Hf	1.1	2.6	2.5	1.6	3.9	3	3.6	2.1	1.5	3.1	6.5
Cr	152.4	205	299	17	266	258	44	121	291	75	11
Co	610	56	41	19	30	28	38	39	37	41	20
Ni	40	67	63	9.3	144	142	50	77	126	53	6.1
V				410	128	137	285	272	230	364	176

续表 2

样号	DQY-37	DQY-38	99Y-478	99Y-484	Ⅱ3P1Gs10	ⅡGs3107	6343/3	6343/12	0058/3	6PM201GS1	6PM201GS3
地点	柴北缘				柴南缘						
参考文献	Shi et al., 2006				1:25 万布咯达坂峰幅 ^①		1:25 万苏吾什杰幅 ^②			1:5 万乌兰乌珠尔等幅 ^③	
SiO ₂	48.32	48.71	50.18	48.72	49.15	49.04	46.9	48.36	49.26	50.83	52.17
TiO ₂	0.73	0.72	0.1	0.15	1.58	1.7	1.98	2.01	1.41	1.76	1.56
Al ₂ O ₃	18.04	18.47	15.8	15.58	14.94	14.62	12.47	12.66	16.44	13.64	16.09
Fe ₂ O ₃	4.41	4.5	0.87	2.13	2.28	2.6	3.94	5.25	2.33	1.4	1.44
FeO	4.6	4.3	5.38	4.25	10.52	9.42	8.62	7.11	6.96	6.85	6.85
MnO	0.31	0.28	0.15	0.13	0.19	0.18	0.22	0.22	0.2	0.16	0.16
MgO	3.52	3.34	11.56	10.27	6.64	6.61	6.68	6.28	7.69	5.04	5.7
CaO	8.68	8.33	8.91	13.83	9.86	10.47	8.49	10.35	10.22	9.32	6.13
Na ₂ O	2.9	2.99	1.95	1.7	1.34	2.85	2.48	2.85	3.68	5.15	5.24
K ₂ O	2.64	3.06	1.41	0.1	0.86	0.62	0.58	0.42	0.46	0.38	0.45
P ₂ O ₅	0.52	0.52	0.05	0.05	0.13	0.2	0.2	0.2	0.12	0.24	0.27
LOI	4.22	3.74	2.96	2.35	1.84	1.44	6.88	4.06	0.74	5.08	3.78
Total	98.89	98.96	99.27	99.21	99.33	99.75	99.41	99.77	99.51	99.85	99.84
Mg [#]	0.43	0.42	0.77	0.75	0.49	0.50	0.50	0.49	0.60	0.53	0.56
La	137.1	133	0.84	0.38	6.03	9.18	11.9	8.33	4.43	15.66	17.52
Ce	237.6	240.2	1.41	0.94	15.15	18.94	21.8	18.9	19.8	36.97	43.10
Pr	24.82	24.53	0.16	0.12	2.53	2.78	3.21	3.97	1.34	4.78	5.18
Nd	89.23	84.65	0.72	0.63	11.97	12.69	15.3	19.8	11.4	23.65	24.05
Sm	16.2	15.13	0.23	0.31	3.5	4.01	3.91	5.5	3.62	6.44	6.38
Eu	3.55	3.51	0.1	0.15	1.34	1.47	1.62	1.91	1.14	1.80	1.59
Gd	14.2	13.18	0.33	0.38	4.15	4.79	6.13	7.28	4.99	7.99	7.56
Tb	1.72	1.58	0.07	0.1	0.73	0.83	1.3	1.43	0.85	1.33	1.25
Dy	6.66	6.71	0.52	0.67	4.26	4.91	8.88	9.78	5.52	8.14	7.38
Ho	1.26	1.25	0.11	0.15	0.85	0.91	1.76	2.06	1.22	1.68	1.56
Er	3.08	3.07	0.31	0.42	2.24	2.63	5.68	6.51	3.97	4.81	4.47
Tm	0.41	0.44	0.05	0.07	0.33	0.38	0.83	1.01	0.52	0.70	0.66
Yb	2.71	2.67	0.31	0.4	1.91	2.28	4.85	5.45	3.05	4.70	4.55
Lu	0.43	0.47	0.06	0.07	0.26	0.34	0.63	0.66	0.49	0.79	0.74
Y	41.48	39.72	3.65	5.09			40.2	46.2	28.9		
Rb	85	92	65	3.2	3	39					
Sr	921	889	165	103	93	239	215	210	320		
Ba	915	992	265	33	78	110	110	82	81		
Th	51	54	0.2	0.1	0.6	1.3					
U	15	12	0.1	0.1							
Ta	1.9	2.4	0.1	0.1	0.5	0.5	1.2	0.68	1.1		
Nb	31	41	0.6	0.8	7.2	6.9	8.9	19	19		
Zr	253	262	5.3	5.8	87	101	72	135	115		
Hf	6.4	6.7	0.18	0.3	3.3	3.6					
Cr	8.9	7	100	572	151	94.4	150	180	260		
Co	23	23	35	31			55	74.5	46		
Ni	8.2	9	97	106	63.5	80.1	76	58	99		
V	206	182	112	131	297.8	332.7	278	440	250		

续表 2

样号	6PM201GS4	6PM201GS6	6PM202GS1	Gs0189	P18Gs16	P22GS5	27GS835	27GS1069	27GSP10-6	27GSP10-9	27GS284	
地点	柴南缘											
参考文献	1:5 万乌兰乌珠尔等幅 ^①			1:5 万野马泉等幅 ^②								
SiO ₂	48.71	47.99	51.39	48.78	50.22	52.57	48.43	49.23	48.28	49.21	49.58	
TiO ₂	1.65	1.9	1.29	0.87	1.03	1.11	1.24	1.03	1.05	1.08	1.39	
Al ₂ O ₃	15.94	13.45	16	14.2	14.28	13.1	13.97	13.99	14.77	13.85	13.3	
Fe ₂ O ₃	2.58	1.7	7.38	1.42	2.1	1.69	1.82	0.8	1.88	2.47	2.03	
FeO	6.65	8.65	1.57	9.03	9.62	10.9	10.69	9.6	9.08	9.72	10.95	
MnO	0.15	0.21	0.12	0.18	0.19	0.22	0.21	0.18	0.17	0.18	0.2	
MgO	6.2	6.93	3.55	8.12	6.89	5.58	8.34	7.8	8.01	6.91	6.73	
CaO	8.94	7.05	4.63	11.79	8.74	10.7	11.14	10.58	11.92	11.97	10.26	
Na ₂ O	3.8	3.31	5.85	2.52	2.12	1.28	2.13	2.9	1.96	1.56	2.92	
K ₂ O	0.35	0.4	2.68	0.15	0.13	0.14	0.24	0.06	0.09	0.06	0.26	
P ₂ O ₅	0.28	0.27	0.16	0.07	0.09	0.09	0.07	0.1	0.11	0.09	0.18	
LOI	4.58	7.94	5.19	2.45	4.4	2.45	1.81	1.92	1.58	1.56	0.36	
Total	99.83	99.8	99.81	99.58	99.81	99.83	100.1	98.19	98.9	98.66	98.16	
Mg [#]	0.55	0.55	0.44	0.59	0.52	0.45	0.55	0.58	0.57	0.51	0.49	
La	20.08	17.76	15.32	3.66	3.54	4.19						
Ce	48.71	43.66	33.35	8.76	8.45	11.84						
Pr	5.68	5.54	4.19	1.31	1.31	1.8						
Nd	27.37	28.01	20.17	7.25	6.39	8.48						
Sm	6.84	7.26	4.80	2.14	2.23	2.66						
Eu	2.12	1.95	1.63	0.78	1.16	1.1						
Gd	8.38	9.01	5.66	2.46	3.01	3.61						
Tb	1.32	1.51	0.95	0.48	0.57	0.63						
Dy	8.04	8.73	5.56	3.1	3.68	4.09						
Ho	1.68	1.84	1.14	0.66	0.74	0.85						
Er	4.66	5.18	3.21	1.95	2.23	2.39						
Tm	0.68	0.77	0.49	0.31	0.37	0.37						
Yb	4.71	4.97	3.12	1.83	2.25	2.28						
Lu	0.79	0.78	0.48	0.3	0.34	0.36						
Y				16.9	18.64	21.52						
Rb				23	5.4	122	4.4	5.1	5	27.48		
Sr				155	149	358	118	154	145	179.8		
Ba				226	78.1	973	61.9	84	120	257.2		
Th				1.4	1.4	28.5	0.9	0.7	1	5.65		
U												
Ta				0.33	0.25	1.87	0.75	0.5	0.5	0.7		
Nb				4.3	3.4	18.9	5.6	4.2	3.6	6.67		
Zr				88.8	59.6	214	60.6	72	68.1	93.85		
Hf				2.89	2	7.1	2.2	2.6	1.8	3.1		
Cr				314.9	210	21	250	177	157	188.3		
Co					56.8	9.2	55.9	54.1	50.6	45.32		
Ni					124	5.5	124	88.7	68.5	82.14		
V					249	57	291	306	310	242.6		

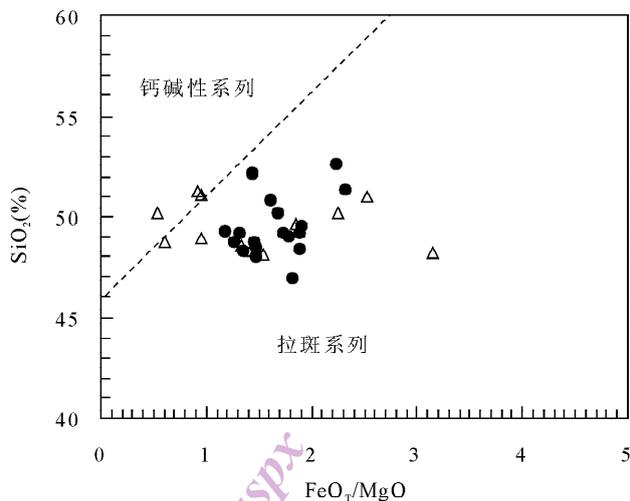
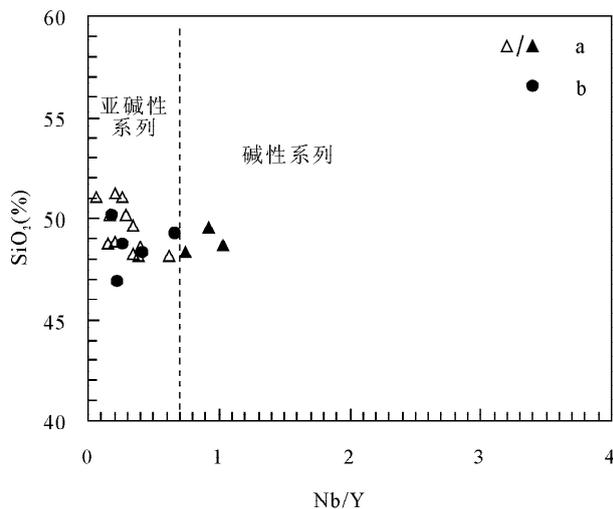


图3 滩间山群玄武岩 Nb/Y-SiO₂ 和 FeO_T/MgO-SiO₂ 图解

Fig. 3 Nb/Y vs SiO₂ and FeO_T/MgO vs SiO₂ and diagrams of basalts from the Tanjianshan Group

(a)—柴北缘滩间山群玄武岩; (b)—柴南缘滩间山群玄武岩

(a)—Basalts from Tanjianshan group of north margin of the Qaidam basin; (b)—Basalts from Tanjianshan group of south margin of the Qaidam basin

~ 0.28%), MgO 的含量变化于 3.55% ~ 8.34%, FeO_T [0.9(Fe₂O₃ + FeO)] 为 8.11% ~ 12.42%, TiO₂ (0.87% ~ 2.01%), Mg[#] [Mg/(Mg + ΣFe) 原子比值] 为 0.44 ~ 0.59。

除个别样品外,无论是柴北缘或柴南缘滩间山群玄武岩总体上具有较低的 Mg[#] 暗示着所有样品均不是原生岩浆,在 SiO₂ 对主微量元素图解上(图4),柴北缘玄武岩相对于柴南缘低 TiO₂、Zr 和高 Al₂O₃、MgO、CaO,随着 SiO₂ 的增加,柴北缘玄武岩不具有连续演化的特征。相反,东昆仑地区玄武岩随着 SiO₂ 含量的增加总体上表现出连续的演化特征,如 MgO、FeO_T、TiO₂、CaO、Zr 降低和 Al₂O₃ 等增加的趋势。

在 REE 配分模式图上(图5),柴北缘玄武岩具有两种稀土元素配分模式,其中碱性系列和大部分样品具有 LREE 相对 HREE 富集岛弧玄武岩配分模式,部分样品表现出较 MROB 还要低轻稀土元素配分模式;然而柴南缘玄武岩表现出平坦稀土元素配分模式,类似于 E-MORB 稀土元素特征。

在不容元素原始地幔标准化蛛网图上(图5),柴北缘玄武岩碱性系列和大部分样品表现出类似于岛弧火山岩的不相容元素配分型式,表现出 Th 正异常而亏损 Nb-Ta、Ti、P 的特征,另外部分样品并没有表现出 Nb-Ta 亏损,具有比 N-MORB 还亏损微量元素特征,暗示与其他两组具有不同的源区性质和形成机理;柴南缘玄武岩具有轻微亏损 Ti、P

和 Nb-Ta 不亏损元素特征,结合稀土元素特征,说明其可能来源于具有 E-MORB 性质熔融源区。

3.2 滩间山群玄武岩成因及构造意义

柴南缘滩间山群玄武岩 Mg[#] 在 0.44~0.59 之间和低 Ni 含量说明其不是原生岩浆(表2),而是地幔岩石低压熔融分离结晶作用的产物。在哈克图解上(图4),随着 SiO₂ 含量增加,MgO、FeO_T、TiO₂、CaO、Zr 具有逐渐降低反映玄武质岩浆演化的过程中其分离结晶相主要为镁铁矿物,如橄榄石、辉石等,Al₂O₃ 随着 SiO₂ 的增加而增加和无 Eu 负异常暗示没有斜长石分离结晶,在微量元素蛛网图上,轻微的 P、Ti 亏损意味着一定程度的磷灰石和钛铁矿等矿物分离结晶。

在构造环境判别图上(图6),柴南缘玄武岩落入岛弧火山岩和 E-MORB 范围,但其并没有表现出相应的岛弧火山岩的元素地球化学特征,而表现出平坦的稀土配分模式和类似 E-MORB 微量元素特征。虽然缺乏详细的同位素地球化学资料,但结合其南侧十字沟等蛇绿岩带出现,我们认为其很可能来自亏损地幔(N-MORB)和富集地幔交代熔融源区,而其富集端元为板块俯冲过程中改造的古老岩石圈地幔。近年来的大地构造研究表明,柴北缘-东昆仑地区早古生代期间总体上为多岛洋构造格局,随着昆中洋在奥陶纪向北俯冲消减,导致了其北部祁漫塔格有限洋(弧后盆地)打开。柴南缘滩间山群玄武岩同位素年代学研究表明,其形成时代约为

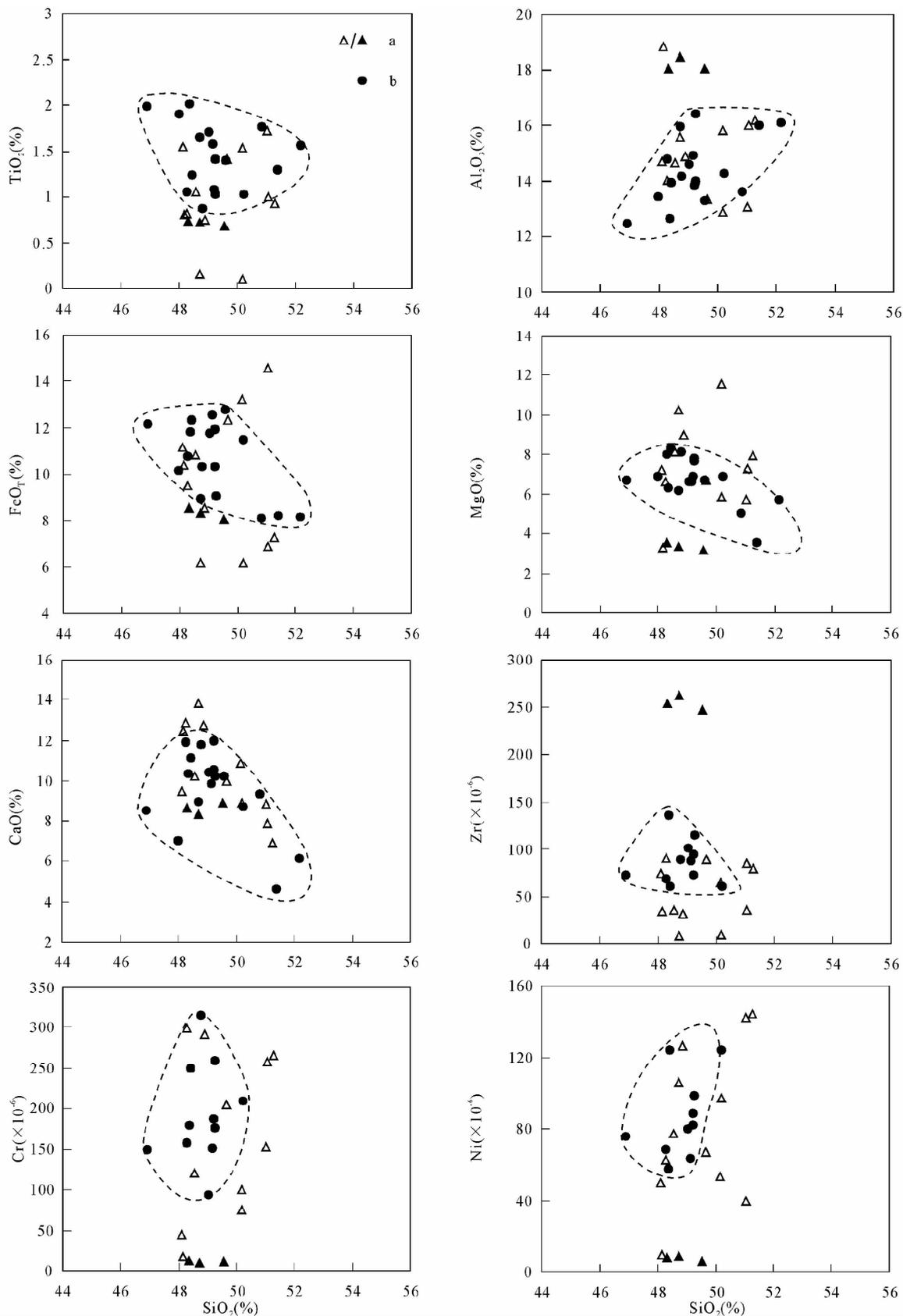


图 4 滩间山群玄武岩 SiO₂ (%)对主量(%),微量元素(μg/g)变化图

Fig. 4 SiO₂ (%) vs major element (%) and trace element (μg/g) plots of basalts from the Tanjianshan Group

a—柴北缘滩间山群玄武岩; b—柴南缘滩间山群玄武岩

a—Basalts from Tanjianshan group of north margin of the Qaidam basin; b—Basalts from Tanjianshan group of south margin of the Qaidam basin

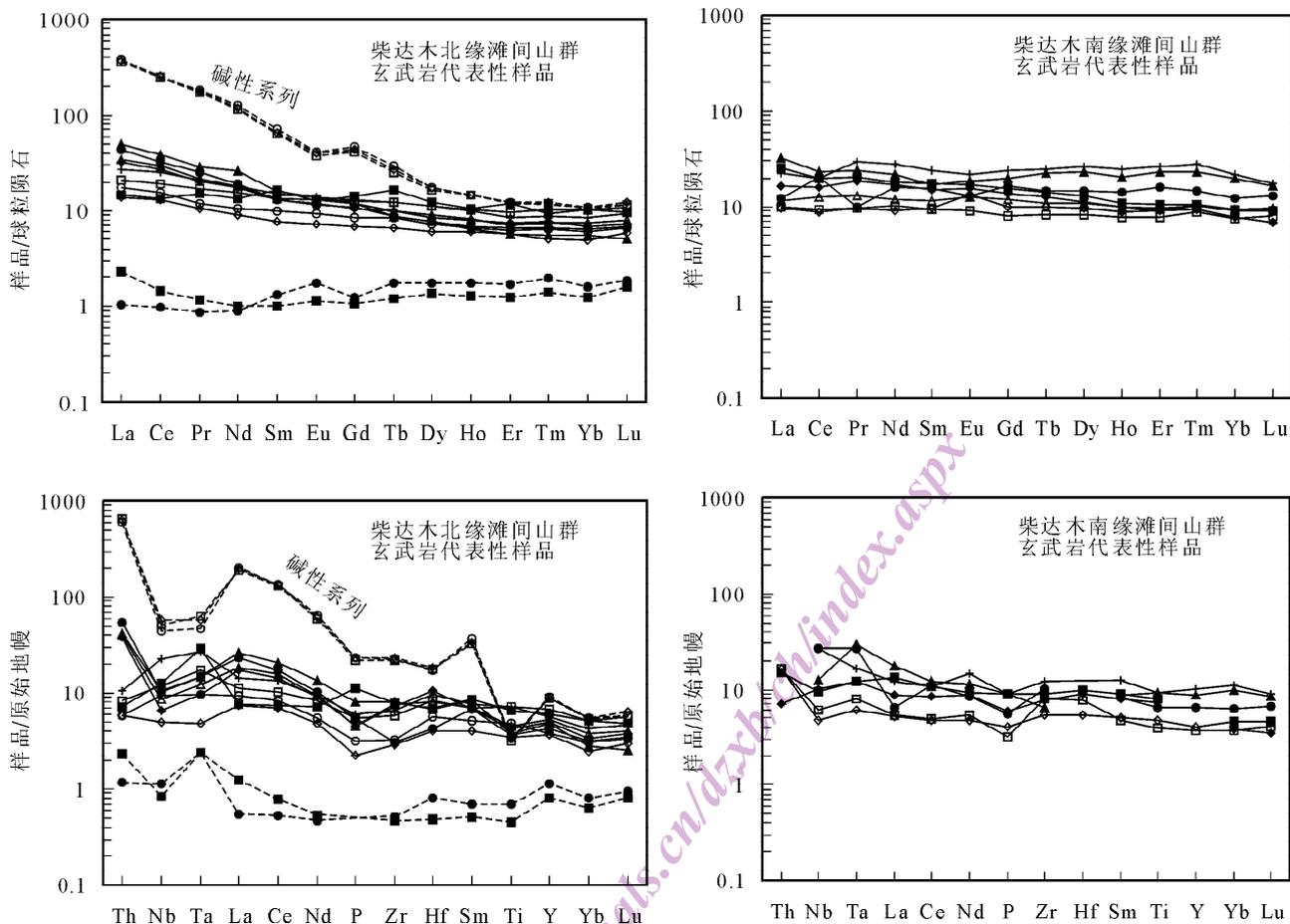


图5 滩间山群玄武岩的球粒陨石标准化 REE 配分模式和原始地幔标准化不相容元素蛛网图。球粒陨石和原始地幔标准化值分别引自 Taylor 等(1985)和 Sun 等(1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle (PM) normalized spidergrams of basalts from the Tanjianshan Group. Values ($\mu\text{g/g}$) of trace element for chondrite are from Taylor et al. (1985) and for PM from Sun et al. (1989) respectively

450 ~ 440Ma,为中奥陶世—早志留世喷发产物,结合其具有类似于 E-MORB 元素地球化学特征,我们认为柴南缘滩间山群玄武岩为奥陶纪祁漫塔格有限洋打开过程中的地质响应。

相对与柴南缘滩间山群玄武岩为单一拉斑玄武系列,柴北缘滩间山群玄武岩岩石组合较为复杂,包含了碱性-亚碱性一个完整系列,其中碱性和大部分亚碱性具有典型的岛弧火山岩的稀土配分模式和微量元素特征,部分亚碱性玄武岩强烈亏损微量元素特征。在构造环境判别图上(图6),柴北缘滩间山群大部分玄武岩均落入岛弧火山岩范围,反映其形成于岛弧环境。Xu 等(2006)对柴北缘超高压变质岩研究表明,区域上存在寒武纪—奥陶纪洋陆俯冲消减闭合作用,结合柴北缘滩间山群玄武岩形成时限(510 ~ 460Ma),我们认为其为寒武纪—奥陶纪俯冲消减过程中的产物,而表现出不同岩石系列和

元素地球化学特征反映洋陆俯冲消减闭合作用的不同阶段,但碱性玄武岩出现,标志着柴北缘玄武岩为成熟岛弧产物,强烈亏损微量元素玄武岩很可能来源于俯冲带岛弧发生部分熔融地幔楔,结合区域上整体大地构造环境,我们推测其形成于岛弧裂开的弧间盆地。

4 滩间山群火山岩成矿特征

滩间山群作为区域上主要的矿源层和赋矿围岩,不同构造单元具有不同成矿特征。柴北缘地区与滩间山群火山岩相关的典型矿床为锡铁山 Pb-Zn 矿,前人研究表明锡铁山大型铅锌矿床发育有非层状和层状两种类型的铅锌矿体(祝新友等, 2006; 邓达文等, 2003; 邬介人等, 1987),通过对两类矿体产出地质条件与地球化学特征的研究,发现非层状矿体分布于代表喷口系统的网脉状蚀变带的上方

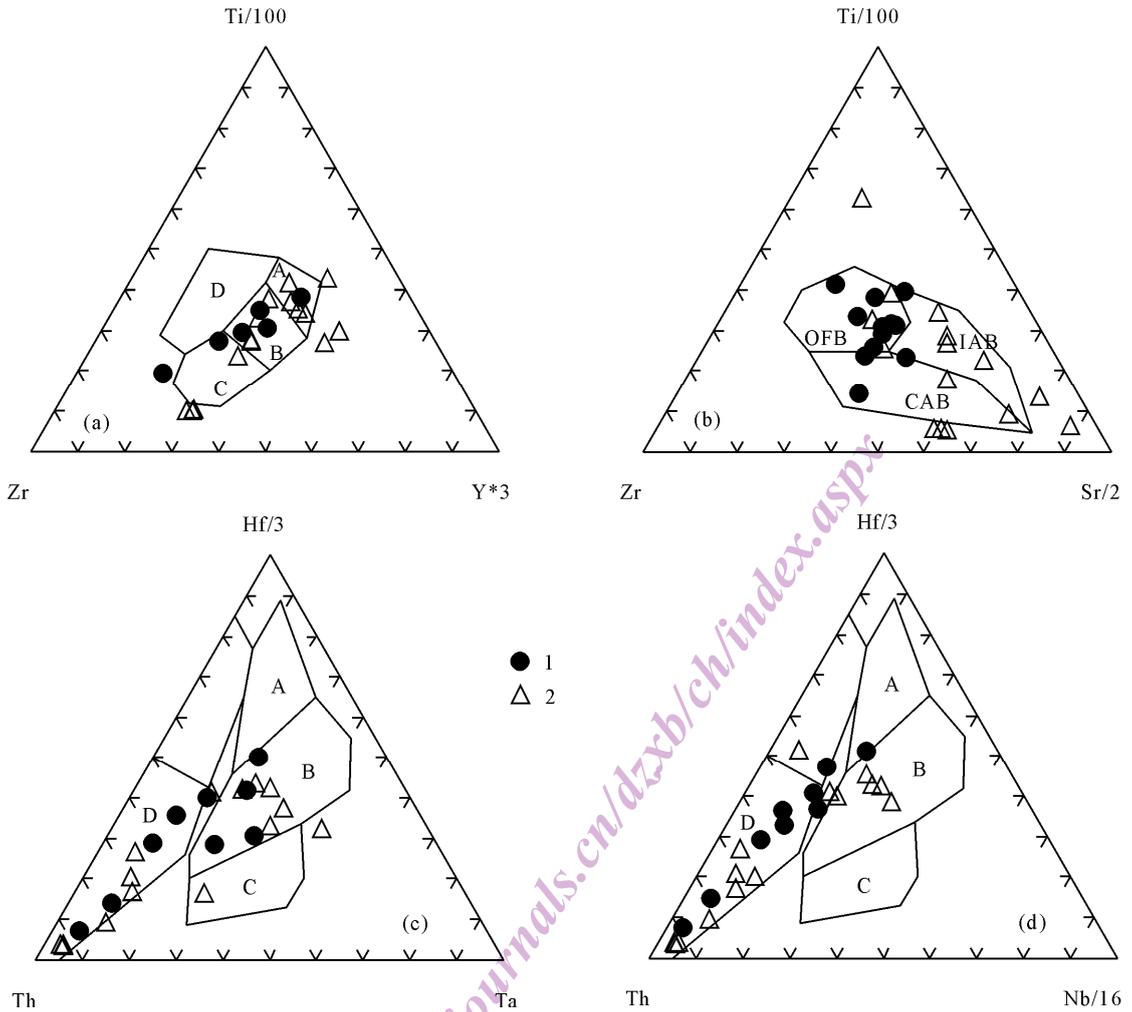


图 6 滩间山群玄武岩微量元素判别图解

Fig. 6 Trace elements discrimination of basalts from the Tanjianshan Group

1—柴北缘; 2—柴南缘; (a)—Ti-Zr-Y 图解, A 示岛弧拉斑玄武岩, B 示岛弧拉斑、钙碱性玄武岩和 MORB, C 示岛弧钙碱性玄武岩, D 示板内玄武岩; (b)—Ti-Zr-Sr 图解, OFB 示洋底玄武岩, IAB 示岛弧玄武岩, CAB 示钙碱性玄武岩; (c)—Hf-Th-Ta 图解, A 示 N-MORB, B 示 E-MORB 和板内拉斑玄武岩, C 示板内碱性玄武岩, D 示岛弧玄武岩; (d)—Hf-Th-Nb 图解, A 示 N-MORB, B 示 E-MORB 和板内拉斑玄武岩, C 示板内碱性玄武岩, D 示岛弧玄武岩

1—The Northern Qaidam; 2—The Southern Qaidam; (a)—Ti-Zr-Y discrimination diagram. A, island-arc tholeiite; B, island-arc tholeiite, calc-alkaline basalt and MORB; C, island-arc calc-alkaline basalt; D, within-plate basalt. (b)—Ti-Zr-Sr discrimination diagram. OFB, ocean floor basalt; IAB, island-arc basalt; CAB, calc-alkaline basalt. (c)—Hf-Th-Ta discrimination diagram. A, N-MORB; B, E-MORB and within-plate tholeiite basalt; C, within-plate alkaline basalt; D, island-arc basalt. (d)—Hf-Th-Nb discrimination diagram. A, N-MORB; B, E-MORB and within-plate tholeiite basalt; C, within-plate alkaline basalt; D, island-arc basalt

附近,其中发育有大量的热水爆破角砾岩,而层状矿体分布于远离喷口的外侧,属于远端沉积的产物,两者具有相同的矿物组合和成矿元素组合,自非层状矿体→层状矿体,矿石品位下降,Zn/Pb 比值增高,黄铁矿相对含量增加。揭示出非层状矿体不是层状矿体后期改造的产物,而是形成于喷流作用阶段。总体上,锡铁山 Pb-Zn 矿和滩间山群火山-沉积岩系密切相关,为同期成岩成矿,考虑到喷流沉积矿床产于拉张构造环境,结合早古生代区域构造演化环境,

其形成环境很可能为弧后(弧间)拉张环境,这和区域上滩间山群具有代表弧间环境的玄武岩是一致的(强烈亏损微量元素)。

而柴南缘与滩间山群玄武岩密切相关典型矿床为卡而却卡铜矿和肯德可克铁矿,前期研究表明这些矿床均为晚华力西-印支期侵入岩与围岩接触带上形成的一系列矽卡岩型和接触交代型矿床,其中滩间山群为主要的矿源层。柴南缘玄武岩研究表明,滩间山群代表了拉伸环境,与滩间山群相关的矿

产并不是同期成矿而为后期改造成矿。因此,作为早古生代区域上与成矿密切相关的滩间山群,在柴达木盆地北缘和南缘成矿过程中作用具有明显差别。

5 结论

(1) 柴达木盆地南、北缘滩间山群具有不同的岩石组合和沉积建造;柴北缘滩间山群下部为中基性海相火山岩,上部为碎屑岩-碳酸盐岩;柴南缘下部为中基性-中酸性火山岩夹碎屑岩,中部为碎屑岩夹中基性火山岩,上部为碳酸盐岩夹碎屑岩。

(2) 柴北缘和柴南缘滩间山群中玄武岩对比研究表明,柴北缘玄武岩形成时限约在 510 ~ 460Ma,代表了寒武纪—奥陶纪岩浆作用。柴南缘玄武岩形成时限约在 450 ~ 440Ma,为中奥陶世—早志留世喷发产物。岩石地球化学研究表明,柴北缘滩间山群玄武岩总体上具有岛弧火山岩性质,代表了早古生代区域上洋陆俯冲过程中不同阶段的产物;柴南缘滩间山群玄武岩具有 E-MORB 特征,为祁漫塔格有限洋(弧后盆地)打开过程中的产物。

(3) 柴北缘地区与滩间山群相关的矿产为同期成岩成矿。柴南缘与滩间山群相关的矿产为后期改造型,多为华力西-印支期侵入岩与围岩接触带上形成了一系列矽卡岩型和接触交代型矿床,其中滩间山群主要作为矿源层。

综上所述,建议对滩间山群进行重新厘定,柴北缘地区(命名地)仍沿用滩间山群(时代为寒武纪—奥陶纪),柴南缘的滩间山群改为祁漫塔格群(时代为奥陶纪—志留纪)。

注 释

- ① 青海省地质调查院. 中华人民共和国地质图说明书(淮北雪峰地区 4 幅 1:50000), 内部资料。
- ② 青海省地质调查院. 2004. 中华人民共和国地质图说明书(布咯达坂峰幅 1:250000), 内部资料。
- ③ 西安地质矿产研究所. 2003. 中华人民共和国地质图说明书(苏吾什杰幅 1:250000), 内部资料。
- ④ 青海省地质调查院. 2009. 中华人民共和国地质图说明书(乌兰乌珠尔-祁漫塔格地区 8 幅 1:50000), 内部资料。
- ⑤ 青海省地质调查院. 2006. 中华人民共和国地质图说明书(野马泉地区 6 幅 1:50000), 内部资料。

参 考 文 献

邓达文, 孔华, 奚小双. 2003. 青海锡铁山热水沉积型铅锌矿床的地球化学特征. 矿物岩石地球化学通报, 22(4): 310 ~ 313.
韩英善, 彭琛. 2000. 托莫尔日特蛇绿混杂岩带地质特征及其构造

- 意义. 青海地质, 9(1): 18 ~ 25.
赖绍聪, 邓晋福, 赵海玲. 1996. 柴达木北缘奥陶纪火山作用与构造机制. 西安地质学院院报, 18(3): 8 ~ 14.
李怀坤, 郑健康. 1999. 柴达木北缘新元古代重大地质事件年代格架. 现代地质, 13(2): 224 ~ 225.
柳小明, 高山, 袁洪林, Bodo H, Detlef G, 陈亮, 胡圣红. 2002. 193 nm LA-ICP-MS 对国际地质标准参考物质中 42 种主元素和微量元素的分析. 岩石学报, 18(3): 408 ~ 418.
青海省地质矿产局. 1991. 青海省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1 ~ 662.
青海省地层表编写小组. 1980. 西北地区区域地层表—青海分册. 北京: 地质出版社, 1 ~ 277.
史仁灯, 杨经绥, 吴才来, Tsuyoshi I, Takafumi H. 2004. 柴达木北缘超高压变质带中的岛弧火山岩. 地质学报, 78(1): 52 ~ 64.
孙崇仁. 1997. 青海省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1 ~ 340.
邹介人, 任秉琛, 张莓. 1987. 青海锡铁山块状硫化物矿床的类型及地质特征. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, (20): 1 ~ 70.
王惠初, 陆松年, 袁桂邦. 2003. 柴达木盆地北缘滩间山群的构造属性及形成时代. 地质通报, 22(7): 487 ~ 493.
新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1 ~ 841.
殷鸿福, 张克信. 1998. 中央造山带的演化及特点. 地球科学, 33(5): 437 ~ 441.
袁桂邦, 王惠初, 李惠民, 郝国杰, 辛后田, 张宝华, 王青海, 田琪. 2002. 柴北缘绿梁山地区辉长岩的锆石 U-Pb 年龄及其意义. 前寒武纪研究进展, 25(1): 36 ~ 40.
袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. 科学通报, 48(14): 1511 ~ 1520.
张德全, 丰成友, 李大新, 徐文艺, 阎升好, 余宏全, 董英君, 崔艳合. 2001. 柴北缘-东昆仑地区的造山型金矿床. 矿床地质, 20(2): 137 ~ 146.
赵风清, 郭进京, 李怀坤. 2003. 青海锡铁山地区滩间山群的地质特征及同位素年代学. 地质通报, 22(1): 28 ~ 31.
祝新友, 邓吉牛, 王京彬, 林龙军, 樊俊昌. 2006. 锡铁山矿床两类喷流沉积成因的铅锌矿体研究. 矿床地质, 25(3): 252 ~ 262.
Xu Z Q, Yang J S, Wu C L, Li H B, Zhang J X, Qi X X, Song S G, Qiu H J. 2006. Timing and mechanism of formation and exhumation of the Northern Qaidam ultrahigh-pressure metamorphic belt. Journal of Asian Earth Sciences, 28: 160 ~ 173.
Shi R D, Yang J S, Wu C L, Tsuyoshi I, Takafumi H. 2006. Island arc volcanic rocks in the north Qaidam UHP belt, northern Tibet plateau: Evidence for ocean continent subduction preceding continent continent subduction. Journal of Asian Earth Sciences, 28: 151 ~ 159.
Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: Sauters A D & Norry M J (Eds), Magmatism in

the ocean basins. Geological Society Special Publication, 42; 313 ~ 345.

Taylor S R, McLemann S M. 1985. The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell Oxford Press, 312.

Redetermination of the Tanjianshan Group: Geochronological and Geochemical Evidence of Basalts from the Margin of the Qaidam Basin

GAO Xiaofeng, XIAO Peixi, JIA Qunzi

(*Xian Institute of Geology and Mineral Resources, Xian, 710054*)

Abstract

The Tanjianshan Group distributed widely on the margin of the Qaidam basin is characterized by distinct differences in rock assemblages, isotopic chronology and geochemical features of basalts, as well as regional mineralization. It has different rock assemblages and sedimentary formation on the northern and southern margins of the Qaidam basin. The Group on the north consists of intermediate-basic marine-facies volcanic rocks on the bottom, and classic rocks and carbonate rocks on the top, whereas the Group on the south consists of intermediate-basic and intermediate-acidic volcanic rocks intercalated with minor clastic rocks, clastic rock interlayered with minor intermediate-basic volcanic rock in the middle, and carbonatic rock intercalated with minor clastic rocks. The isotopic geochronology and geochemical comparison of basalt from the Tanjianshan Group on the southern and northern margins of the Qaidam basin show that the basalt on the north formed ca. 510 to 460 Ma, representing the Cambrian-Ordovician magmatism, while the basalt from the south formed at ca. 450 to 440 Ma and was the product of Middle Ordovician-Early Silurian magmatic eruption. In general, the basalt of the Tanjianshan Group in the north margin of the Qaidam basin has the features of island-arc volcanic rocks, and should be the product of subduction of regional oceanic continent during the Early Paleozoic, while the basalt on the southern margin has the features of E-MORE lavas and should represent the remnants of fragmented oceanic crust during the opening of the Paleo-Qimantegge ocean (post-arc basin).

Key words: geochemistry; basalt; Tanjianshan Group; Qaidam basin