

青海德令哈石底泉地区牦牛山组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义

杨张张,孙健,赵新科,田振,赵振英,孙东亮,李大磊,杨本昭,杨强晟

陕西地矿第一地质队,陕西安康,725000

内容提要: 本文对德令哈市石底泉地区牦牛山组火山岩进行了年代学、岩石学和地球化学研究,主量元素和微量元素分析结果显示岩石具有高钾高钠,贫铁镁的特征,属中酸性岩类,具有岛弧火山岩的地球化学特征。牦牛山组上部火山岩段的安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 395.7 ± 2.7 Ma, 确定其形成时代不晚于早泥盆世,而不是传统认为的晚泥盆世,为柴达木盆地北缘早古生代的构造演化提供新的年代学依据。综合分析表明,石底泉地区牦牛山组火山岩为活动大陆边缘构造环境的产物,其形成与板块俯冲作用密切相关。

关键词: 牦牛山组; 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学特征; 构造环境; 石底泉地区, 青海

石底泉地区,大地构造位置位于古亚洲构造域的早古生代祁连造山带,秦祁昆造山系欧龙布鲁克陆块三级构造单元。受多期构造运动影响,岩浆活动频繁,形成工作区类型各异、规模不等的各类侵入岩、火山岩。而牦牛山组磨拉石建造被认为是早古生代造山作用结束的标志(张雪亭等,2007)。由于目前尚缺乏有关牦牛山组形成时代的精确年龄,对牦牛山组形成时代的认识主要依据在该组上部层位所采集的生物化石,并以此推测早古生代造山结束的时间为晚泥盆世(张雪亭等,2007)。牦牛山组磨拉石建造中含有大量的中酸性火山岩层,为此,笔者等在进行“青海省德令哈市大煤沟地区 J47E015001、J47E016001 两幅 1:5 万区域地质矿产调查”时,重点以德令哈市石底泉地区产出的牦牛山组火山岩为研究对象,开展了详细的野外观察和室内岩石学、地球化学研究以及 LA-ICP-MS(激光剥蚀等离子体质谱)锆石 U-Pb 法同位素年龄测定,并研究了其岩石学、地球化学特征,探讨了形成时间和岩浆成因等有关问题。

1 地质背景

研究区位于宗务隆山—青海南山晚古生代—早古生代裂陷带以南,大地构造位置位于秦祁昆造山系欧龙布鲁克陆块三级构造单元。多年来不同学者

按不同观点对其进行了划分,黄汲清按优、冒地槽观划分为欧龙布鲁克台隆(黄汲清等,1965);青藏高原及其邻区大地构造单元初步划分方案(潘桂棠,2002)中,将其划分为全吉微陆块;张雪亭等(2005)通过对青海大地构造格局的详细研究,提出了西域板块的概念,并将其进一步划分为欧龙布鲁克陆块;其后陆松年(2006)在对中央造山带的研究中,认为全吉山的地层系统比欧龙布鲁克山发育的更完整、更具代表性,因此将欧龙布鲁克陆块更名为全吉地块;张雪亭等(2007)在《青海省区域地质概论》中仍将其划分为欧龙布鲁克陆块;李荣社等(2008)在《昆仑山及邻区地质》一书将昆仑山及邻区的构造单元进行了划分,划分为欧龙布鲁克陆块。(图 1a)。

研究区内出露的地层主要有下奥陶统多泉山组(O_1d)、下泥盆统牦牛山组(D_1m)和上新统狮子沟组(N_2s)等。本次所研究的牦牛山组是笔者等本次新厘定的填图单位,前人将其划分为晚泥盆世流纹斑岩岩体,笔者本次依据分析数据结合野外产出状态,将其准确厘定为是一套以安山岩、粗安岩、粗面岩、细粒长石石英沉凝灰岩等岩性为主的火山岩组合,归至牦牛山组^①(图 1b)。牦牛山组主要分布于石底泉南山一带,总体呈北西向条带状展布。与周围早古生代奥陶纪碳酸盐岩呈断层接触,出露面积约

注:本文为中国地质调查局地质调查项目(编号:DD20160012)的成果。

收稿日期:2017-03-24;改回日期:2017-10-18;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.06.015

作者简介:杨张张,男,1988年生。工程师。主要从事区域地质调查工作。Email:124772454@qq.com。通讯作者:孙健,男,1983年生。工程师。主要从事区域地质调查及矿产工作。Email:290564897@qq.com。

5.46km²。岩石柱状节理发育,形成近于陡立的地貌景观。

笔者等在青海德令哈石底泉地区(北纬 37°30′14.8″、东经 96°12′55.7″)牦牛山组上部火山岩段采集了岩石化学分析样品,其中的一块灰色蚀变安山岩样品用作定年样品(图 1b)。火山岩层总体走向北西西向,具有中等到缓的南西倾向。

2 测试方法

牦牛山组火山岩样品的全岩化学分析在有色金属西北矿产地质测试中心完成。主量元素采用 Xios4.0KwX 荧光质谱仪分析,稀土和微量元素采用离子体质谱仪 ICP-MS 测定,检查环境温度为 20℃,湿度为 66%。元素分析相对误差小于 5%。

锆石分选、样品制靶及 La-ICP-MS 锆石 U-Pb 同

位素分析方法:在廊坊尚艺岩矿检测技术有限公司进行碎样,用水淘洗粉尘后,先用磁铁矿除去磁铁矿等磁性矿物,再用重液选出锆石,然后选出晶形完好,具有代表性的锆石粘贴在环氧树脂靶表面,抛磨使锆石内部暴露,再镀上黄金膜。其后通过扫描电镜进行阴极发光照相(CL),以了解锆石内部生长及后期变化结构。

锆石的阴极发光(CL)显微照相在西北大学大陆动力学国家重点实验室的 Cameca 电子探针仪器上完成,分析电压 15kV,电流 19nA。锆石 LA-ICP-MS(激光剥蚀等离子体质谱)原位微区 U—Th—Pb 同位素测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,测定采用 Agilent 型 ICP-MS,采用的激光斑束直径是 30μm,激光剥蚀样品的深度为 20~40μm。锆石年龄采用标准锆石 91500 年龄作为外部标准物

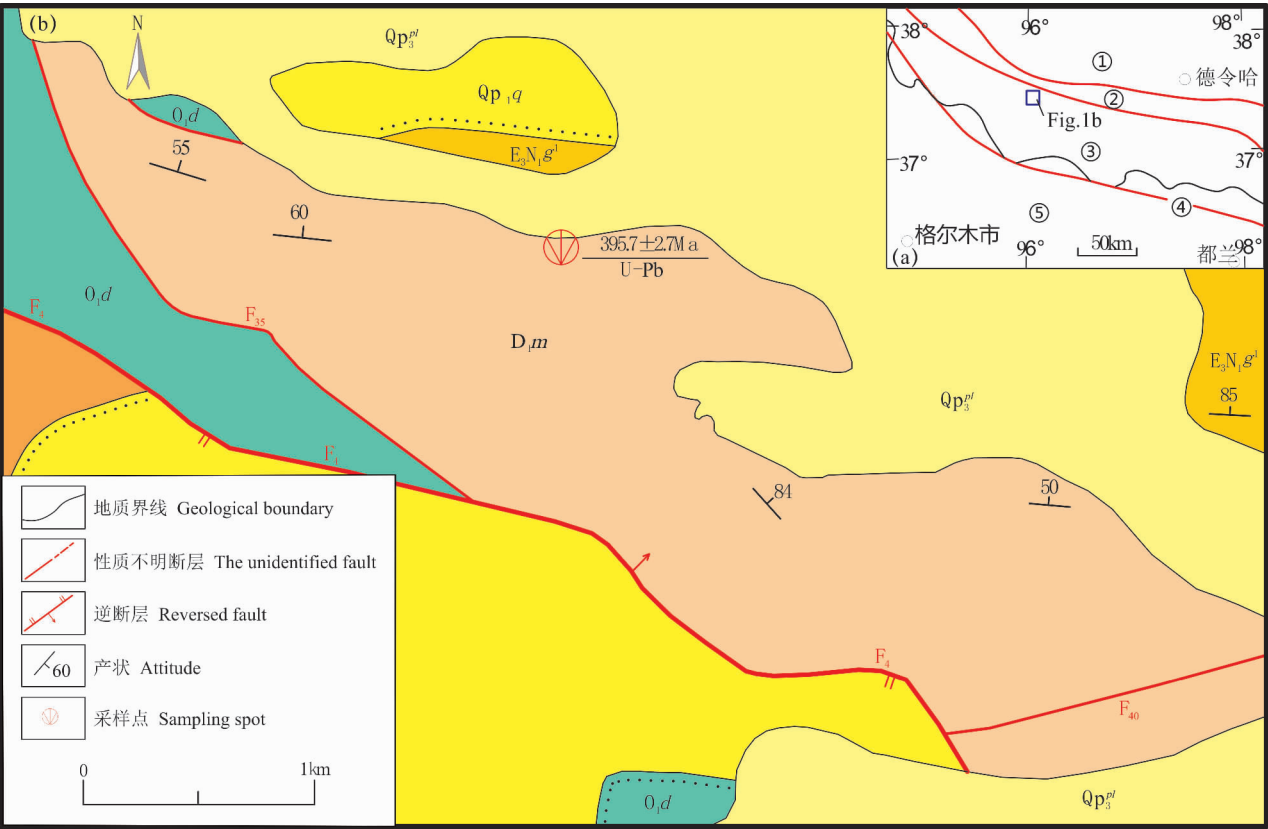


图 1 青海德令哈石底泉地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Shidiqian area, Delingha, Qinghai

Qp₃^{pl}—上更新统洪积物;Qp₁q—下更新统七个泉组;E₃N₁g¹—渐新统一中新统干柴沟组下岩段;D₁m—下泥盆统牦牛山组;O₁d—下奥陶统多泉山组。① 南祁连地块;② 宗务隆山—青海南山晚古生代—早古生代裂陷带;③ 欧龙布鲁克陆块;④ 赛什腾山—锡铁山—哇洪山早古生代结合带;⑤ 柴达木陆块

Qp₃^{pl}—Upper Pleistocene Proluvium; Qp₁q—Lower Pleistocene Qigequan Formation; E₃N₁g¹—Lower Ganchaigou Formation; D₁m—Maoniushan Formation; O₁d—Duoquanshan Formation. ① South Qilian block;② Zongwulong Mountain—southernQinghai Mountain Paleozoic to Early Mesozoic fault—subsiding geosyacline;③ Olongbuluke block;④ Saishiteng Mountain—Xitie Mountain—Wahong Mountain Early Paleozoic suture zone;⑤ Qaidam block

质,元素含量采用 NIST610 作为外标。锆石同位素年龄测定和数据处理按照袁洪林等报道的流程进行。年龄计算机及 U-Pb 谐和图的绘制采用 Isoplot 软件 3.0 版。

3 分析结果

3.1 岩石地球化学特征

青海德令哈石底泉地区牦牛山组火山岩代表性样品的全岩化学分析结果列于表 1。

3.1.1 主量元素

从表 1 可以看出,牦牛山组火山岩的 SiO₂ 变化范围不大,除一个样品的 SiO₂ 含量为 73.50% 外,其余样品的 SiO₂ 含量集中在 60.54% ~ 66.75% 之间;TiO₂ 含量较高,变化于 0.11% ~ 0.73% 之间;K₂O 含量在 0.15% ~ 4.58%,平均 3.01%,Na₂O 含量在 2.44% ~ 7.11%,里特曼指数 δ = 1.46 ~ 3.98,小于 4,属钙碱性岩,Mg[#]变化于 0.27 ~ 0.52 之间,其中 $Mg^{\#} = n(Mg) / [n(Mg) + n(TFe)]$ (邓晋福等, 2015a,b)。除一个样品的 A/CNK 值为 0.85 外,其余样品含量集中于 1.00 ~ 1.39 之间,反应岩石为弱铝饱和型(Al₂O₃ > K₂O + Na₂O + CaO),标准矿物组合中 q 平均含量 19.37,反映岩石中 SiO₂ 饱和,出现刚玉分子,反映出高铝的特征。在火山岩 Zr/TiO₂ - Nb/Y 分类图 (WinchesterandFloyd, 1977) 上,样品的投点多数落入安山岩、粗安岩、英安岩区(图 2a);在 FAM 图解 (Irvine, 1971) 中,样品投影均落入钙碱性系列区域(图 2b),且分布于靠近 A 端的 AF 线附近,显示出贫铁、镁而富碱的特征,具有岛弧火山岩的特征。

3.1.2 微量和稀土元素

牦牛山组火山岩稀土总量较高,介于 124.57 × 10⁻⁶ ~ 199.36 × 10⁻⁶ 之间。LREE/REE = 13.34 ~ 16.40, (La/Yb)_N = 15.54 ~ 19.31,轻稀土富集,重稀土亏损。δEu = 0.73 ~ 1.17

表 1 青海德令哈石底泉地区下泥盆统牦牛山组火山岩主量和微量元素分析结果
Table 1 Analytical results and characteristic value of major and trace elements of the volcanic rocks from the Lower Devonian Maoniushan Formation in Shidiquan area, Delingha, Qinghai

样号	YQ1	YQ2	PM021 -YQ1	PM021 -YQ2	D6009 -YQ1	PM021 -YQ4	D6006 -YQ1	PM021 -YQ3	D6010 -YQ1
岩性	蚀变安山岩		粗安岩			粗面岩	紫红色 流纹斑岩	英安质 流纹岩	蚀变 英安岩
SiO ₂	62.00	61.20	62.85	63.50	60.54	66.75	73.50	62.00	61.90
TiO ₂	0.33	0.64	0.59	0.49	0.73	0.37	0.11	0.32	0.51
Al ₂ O ₃	18.28	17.57	15.76	16.42	17.29	17.00	14.66	16.27	15.66
Fe ₂ O ₃	1.21	1.57	3.24	2.59	2.30	2.77	1.10	2.41	2.15
FeO	2.51	3.28	1.80	1.74	2.99	0.19	0.19	1.06	2.06
MnO	0.06	0.09	0.10	0.09	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
MgO	1.60	2.90	1.56	1.43	2.60	0.57	0.27	0.71	2.04
CaO	2.92	2.37	3.94	2.70	3.24	0.86	1.24	5.19	3.26
Na ₂ O	2.47	7.11	3.04	5.30	5.00	5.71	2.44	4.61	2.67
K ₂ O	3.48	0.15	3.39	2.47	2.75	4.07	4.25	1.95	4.58
P ₂ O ₅	0.18	0.19	0.21	0.19	0.25	0.14	0.03	0.17	0.16
烧失	4.74	2.54	2.52	2.34	2.11	1.10	1.94	5.03	3.77
总和	100.06	99.97	99.19	99.45	100.22	99.61	99.83	99.94	99.09
A/CNK	1.39	1.09	1.00	1.01	1.01	1.11	1.35	0.85	1.03
La	41.41	23.69	38.86	42.86	35.00	29.09	43.87	41.07	41.55
Ce	88.19	53.42	79.77	88.09	76.19	63.43	81.15	88.20	86.13
Pr	10.09	6.54	9.49	10.23	9.04	7.23	8.05	9.86	9.82
Nd	38.44	26.82	35.49	37.34	34.44	29.37	25.33	36.48	37.03
Sm	6.64	4.28	6.26	6.11	6.25	5.30	3.95	5.61	6.75
Eu	2.02	1.23	1.61	1.51	1.61	1.59	0.85	1.23	1.53
Gd	4.74	3.07	4.26	4.67	4.54	3.32	3.34	4.68	4.66
Tb	0.54	0.43	0.56	0.56	0.54	0.48	0.38	0.57	0.58
Dy	3.23	2.21	3.35	3.41	3.16	2.47	2.33	3.13	3.21
Ho	0.54	0.39	0.61	0.64	0.58	0.48	0.44	0.62	0.58
Er	1.54	1.16	1.47	1.58	1.50	1.23	1.42	1.54	1.73
Tm	0.32	0.24	0.33	0.36	0.33	0.25	0.32	0.35	0.31
Yb	1.42	0.95	1.40	1.52	1.32	1.24	1.50	1.55	1.47
Lu	0.25	0.14	0.20	0.21	0.23	0.20	0.22	0.23	0.20
Y	16.06	11.44	15.61	16.45	15.53	12.69	12.70	16.17	15.50
Rb	71.24	8.61	62.22	29.78	40.45	60.69	63.98	15.22	102.36
Ba	2460.00	158.00	1170.00	1160.00	1140.00	1410.00	1000.00	484.00	1110.00
Th	8.50	3.44	4.33	7.74	7.66	2.23	3.17	5.80	10.93
U	1.51	0.73	1.08	1.47	1.68	1.29	1.66	1.22	2.10
Ta	0.51	0.41	0.38	1.00	0.84	0.79	1.27	1.03	1.21
Nb	9.07	4.51	8.11	9.92	9.95	8.84	10.80	8.73	10.25
Sr	204.00	651.00	625.00	774.00	614.00	369.00	142.00	231.00	410.00
Zr	211.42	122.71	162.45	167.68	169.13	206.50	97.24	181.78	94.31
Hf	5.55	3.17	4.28	4.66	4.59	5.36	3.29	4.92	3.06

注:主量元素含量单位为%,微量和稀土元素含量单位为×10⁻⁶。样品由有色金属西北矿产地质测试中心分析。

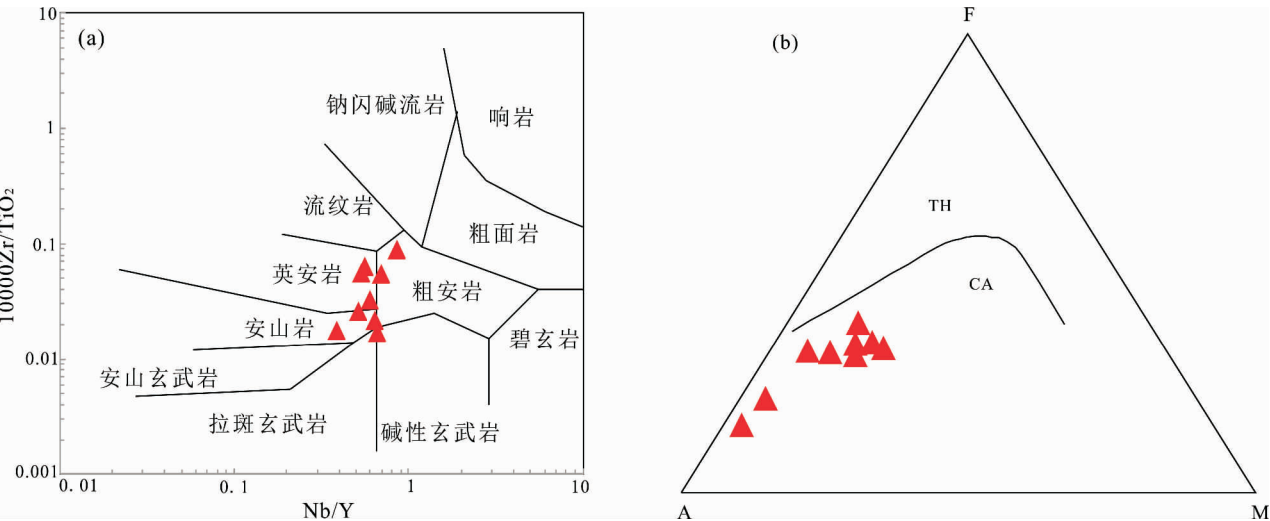


图 2 青海德令哈石底泉地区下泥盆统牦牛山组火山岩:(a) $Zr/TiO_2 - Nb/Y$ 图解,(b) FAM 图解
Fig. 2 $Zr/TiO_2 - Nb/Y$ diagram(a) and FAM diagram(b) of the volcanic rocks from Lower Devonian Maoniushan Formation in Shidiqian area, Delingha, Qinghai

之间,具铕负弱异常~弱正铕异常; $\delta Ce = 0.97 \sim 1.03$ 之前,铈无异常特征。与安山岩相比,酸性火山岩 Eu 明显亏损,说明在酸性火山岩喷出之前,岩浆结晶已沉淀出较多的斜长石晶体,导致 Eu 亏损。采用里德 6 个球粒陨石平均值(增田,1973)作为球粒陨石标准化值的稀土配分模式图中(图 3a),曲线呈向右缓倾的轻稀土富集型,但重稀土分馏不明显,具相对平坦的型式,铈基本无异常或具弱负异常特征,各稀土曲线近于平行,其分布型式与现代岛弧火山岩稀土配分型式很相似;与 T-MORB 型洋中脊玄武岩也有相似性,似乎反映岩浆来源于未亏损轻稀

土的或较为富集的地幔源区。
牦牛山组火山岩大离子亲石元素 K、Rb、Ba 的含量较高,火山岩中 K 含量除 2 号样较低外,其他样品介于 $16188 \times 10^{-6} \sim 38021 \times 10^{-6}$ 、Rb 为 $8.61 \times 10^{-6} \sim 102.36 \times 10^{-6}$ 、Ba 为 $158 \times 10^{-6} \sim 2460 \times 10^{-6}$ 。Sr 含量为 $142 \times 10^{-6} \sim 774 \times 10^{-6}$ 。高场强元素方面,Th 含量为 $2.23 \times 10^{-6} \sim 10.93 \times 10^{-6}$,Hf 含量为 $3.06 \times 10^{-6} \sim 5.55 \times 10^{-6}$,U 含量为 $0.73 \times 10^{-6} \sim 2.10 \times 10^{-6}$,Zr 为 $94.31 \times 10^{-6} \sim 211.42 \times 10^{-6}$,含量均较高。Nb、Ta 含量较低,Nb 含量为 $4.51 \times 10^{-6} \sim 10.80 \times 10^{-6}$,Ta 为 $0.38 \times 10^{-6} \sim$

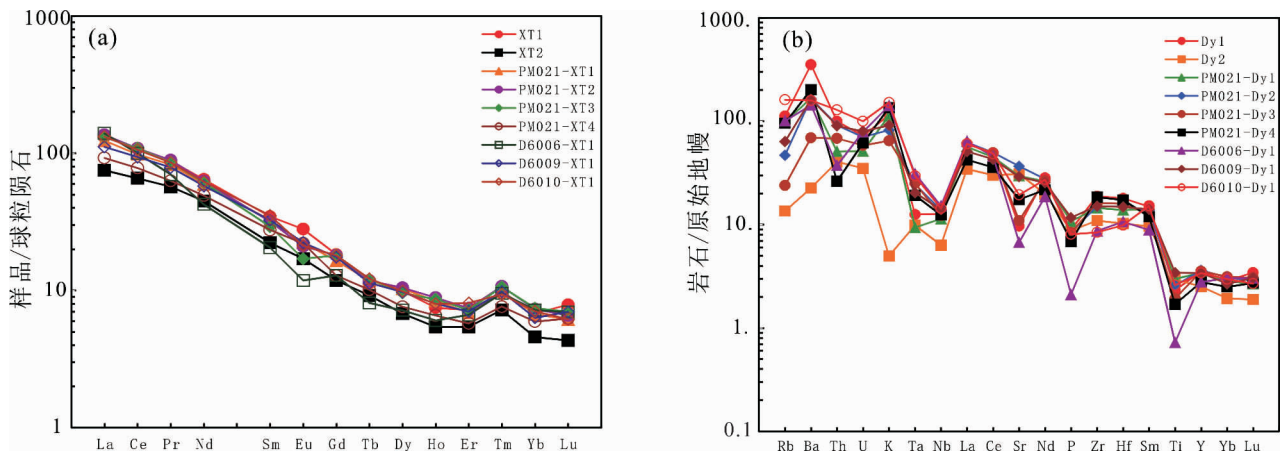


图 3 青海德令哈石底泉地区下泥盆统牦牛山组火山岩:(a) 稀土元素配分模式图,(b) 微量元素蛛网图
Fig. 3 Chondrite normalized REE patterns(a) and Trace element spidergram(b) of the volcanic rocks from Lower Devonian Maoniushan Formation in Shidiqian area, Delingha, Qinghai

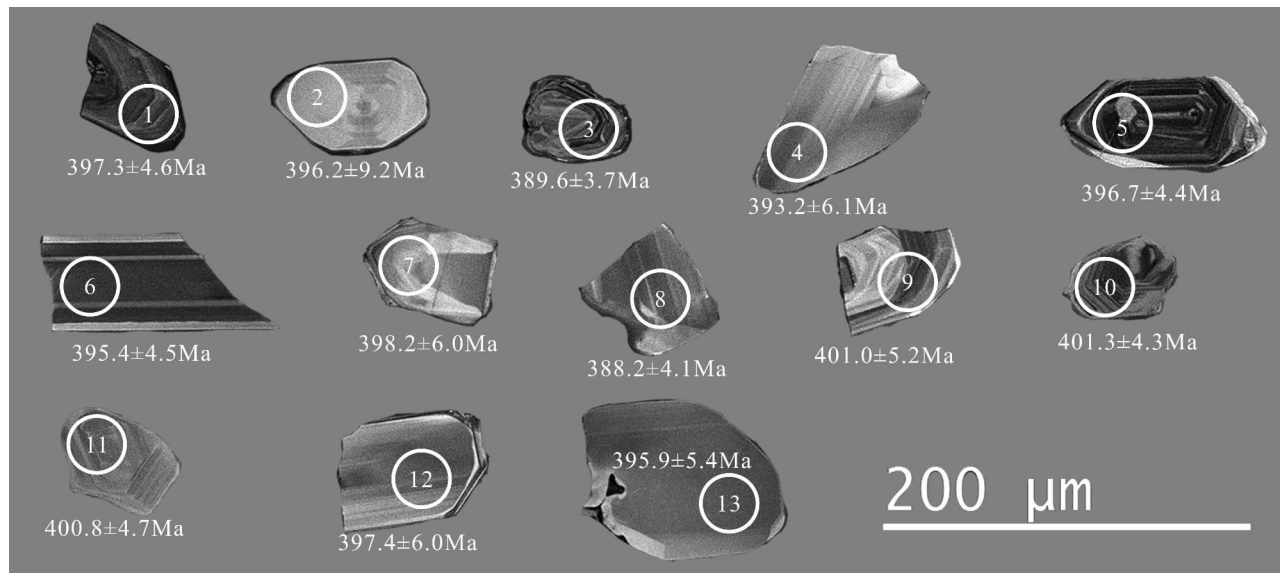


图 4 青海德令哈石底泉地区下泥盆统牦牛山组蚀变安山岩 U-Pb 锆石阴极发光图片

Fig. 4 Cathodoluminescence image of the altered andesite rocks from Lower Devonian Maoniushan Formation in Shidiquan area, Delingha, Qinghai

1.27×10^{-6} 。在以原始地幔为标准 (Sun S S, 1989) 的微量元素比值蛛网图 (图 3b) 中, 表现为强不相容元素 Rb、Ba、U、Th 强烈富集, 中等不相容元素 La、Ce、Nd、Zr、Hf、Sm 等中等富集, Ta、Nb、Sr 亏损, 弱不相容元素 Ti、P 亏损, K 富集, 其特征与岛弧火山岩分布型式基本相似。

3.2 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定

本次研究对牦牛山组火山岩中的蚀变安山岩进行了锆石 U-Pb 同位素测年, 样品号为 D4077-U-

Pb2, 样品岩性为蚀变安山岩。根据阴极发光图像 (图 4) 和锆石镜下特征, 笔者等选取晶形相对完整 (部分锆石破碎是由于碎样所致), 自形程度高, 颗粒较大, 具有明显振荡环带的锆石进行剥蚀测试; 并在进行普通铅校正后, 剔除铅丢失严重的点, 最终选择 13 颗锆石的 13 个数据参与年龄计算。从锆石阴极发光图像来看 (图 4), 所选锆石大部分锆石多呈短柱状、长柱状, 呈棕色或无色透明, 围绕核部发育清晰的振荡环带构造, 个别发育扇型分带或平行晶

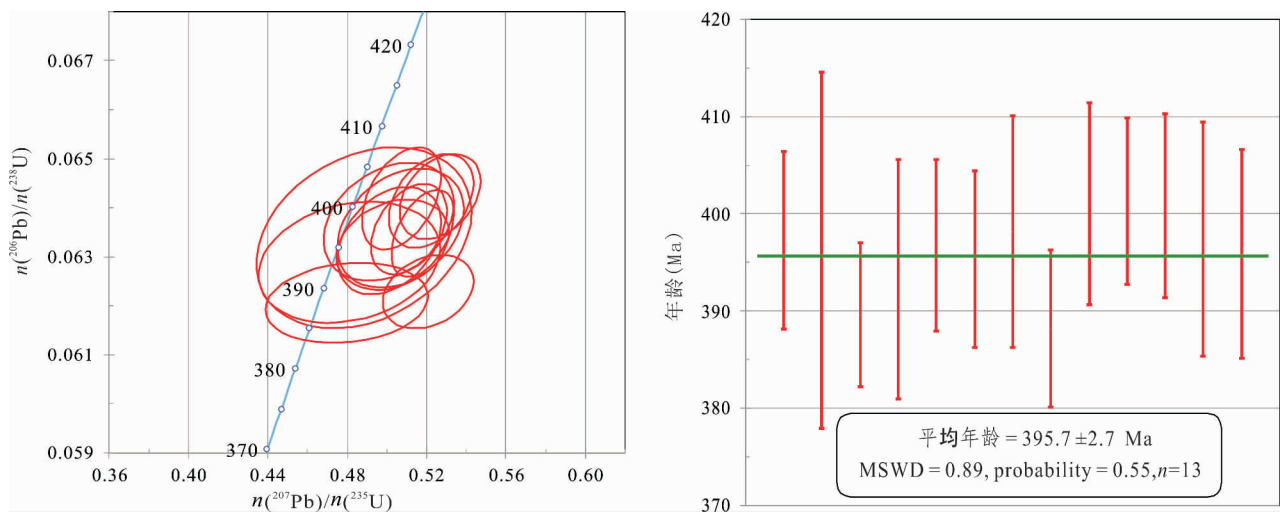


图 5 青海德令哈石底泉地区下泥盆统牦牛山组蚀变安山岩锆石 U-Pb 同位素谐和图

Fig. 5 U-Pb concordia diagram of zircons of the altered andesite rocks from the Lower Devonian Maoniushan Formation in Shidiquanarea, Delingha, Qinghai

表 2 青海德令哈石底泉地区下泥盆统牦牛山组安山岩锆石 U – Pb 同位素分析结果表

Table 2 LA – ICP – MS U – Pb isotope dating analysis of zircons of the andesite rocks from Lower Devonian Maoniushan Formation in Shidiquan area, Delingha, Qinghai

测点号	元素含量 (× 10 ⁻⁶)			Th U	同位素比值						同位素年龄 (Ma)							
					$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		谐和度 (%)	
	测值	± 1σ	测值		± 1σ	测值	± 1σ	测值	± 1σ	测值	± 1σ	测值	± 1σ					
1	135	478	1687	0.28	0.0603	0.0020	0.5110	0.0156	0.0636	0.0008	613.0	72.2	429.6	10.4	397.3	4.6	92	
2	26	217	188	1.15	0.0607	0.0052	0.4885	0.0443	0.0634	0.0015	627.8	384.2	433.7	29.3	396.2	9.2	90	
3	256	1688	2484	0.68	0.0626	0.0022	0.5209	0.0187	0.0623	0.0006	694.5	75.9	438.2	12.3	389.6	3.7	88	
4	57	479	388	1.23	0.0596	0.0042	0.4810	0.0375	0.0629	0.0010	587.1	158.3	424.1	25.1	393.2	6.1	92	
5	311	917	3995	0.23	0.0593	0.0016	0.5182	0.0128	0.0635	0.0007	588.9	57.4	432.4	8.5	396.7	4.4	91	
6	100	945	584	1.62	0.0599	0.0026	0.5029	0.0232	0.0633	0.0007	611.1	97.2	429.2	15.5	395.4	4.5	91	
7	49	359	377	0.95	0.0608	0.0032	0.5011	0.0268	0.0637	0.0010	631.5	110.2	430.4	17.8	398.2	6.0	92	
8	126	1225	769	1.59	0.0593	0.0035	0.4796	0.0335	0.0621	0.0007	588.9	129.6	420.6	22.5	388.2	4.1	91	
9	119	412	1478	0.28	0.0589	0.0019	0.5074	0.0163	0.0642	0.0009	564.9	68.5	427.6	10.8	401.0	5.2	93	
10	178	1081	1664	0.65	0.0610	0.0020	0.5267	0.0166	0.0642	0.0007	638.9	70.4	440.6	10.9	401.3	4.3	90	
11	103	375	1264	0.30	0.0608	0.0020	0.5223	0.0174	0.0641	0.0008	631.5	67.6	438.2	11.5	400.8	4.7	91	
12	40	360	267	1.35	0.0609	0.0032	0.5070	0.0261	0.0636	0.0010	635.2	111.1	433.9	17.3	397.4	6.0	91	
13	61	596	379	1.57	0.0594	0.0026	0.5011	0.0214	0.0633	0.0009	588.9	96.3	426.8	14.3	395.9	5.4	92	

注:样品由西北大学大陆动力学国家重点实验室测定。

体长轴的生长条带,反映绝大部分锆石具有岩浆结晶特征。少部分锆石内部有熔蚀结构,晶形不规则,反映后期有热液改造。长轴直径约 100 ~ 300μm, Th/U 介于 0.23 ~ 1.62 之间,均大于 0.2,条带状—扇形分带,具岩浆锆石特征。

从测试结果来看,13 个数据的²⁰⁶Pb/²³⁸U 视年龄介于 388.2 ± 4.1 ~ 401.3 ± 4.3Ma 之间,加权平均结果分为 395.7 ± 2.7Ma (MSWD = 0.89, n = 13) (图 5)。因此,395.7 ± 2.7Ma 代表了安山岩岩浆锆石的结晶年龄。

4 讨论

4.1 构造环境分析

区域地质资料表明,柴北缘牦牛山组由下部陆相沉积夹中酸性火山岩和上部火山岩(安山岩、英安岩、流纹岩和相关火山碎屑岩)组合共同构成,且柴达木盆地北缘牦牛山组直接不整合于滩间山群或沙柳河岩群(鱼卡河岩群)之上(青海地质矿产局, 1991)。晚志留世—早泥盆世时期,柴达木盆地北缘和东昆仑地区广泛发育有岛弧地球化学特征的花岗岩被认为是后碰撞阶段伸展作用的产物,这些花岗岩被解释为板块俯冲过程中不同阶段的产物(吴才来等,2004;孟繁聪等,2005;赵振明等,2008;刘彬

等,2012)。边千韬等(2007)对东昆仑阿尼玛卿一带同时期花岗岩进行了岩石地球化学研究,并结合阿尼玛卿蛇绿混杂岩的形成与演化,认为该时期花岗岩是古特提斯洋向北消减过程中形成的弧花岗岩。区域上俯冲相关岩浆作用的广泛发育指示,柴北缘在志留—泥盆世为活动大陆边缘(闫臻等,2012)。

研究区出露的为牦牛山组上部的火山岩(一套以安山岩、粗安岩、细粒长石石英沉凝灰岩、粗面岩等岩性为主)组合,岩石后期经历了较强的构造作用改造和蚀变。岩石化学分析牦牛山组火山岩属于高钾钙碱性岩系列,显示出贫铁、镁而富碱的特征,具有岛弧火山岩的特征。稀土配分型式呈向右缓倾的轻稀土富集型,但重稀土分馏不明显,具相对平坦的型式,δEu 介于 0.73 ~ 1.17 之间,铕弱亏损至基本无负异常;各稀土曲线近于平行,其分布型式与现代岛弧火山岩稀土配分型式很相似;与 T-MORB 型洋中脊玄武岩也有相似性;而微量元素特征表现为强不相容元素 Rb、Ba、U、Th 强烈富集,中等不相容元素 La、Ce、Nd、Zr、Hf、Sm 等中等富集, Ta、Nb、Sr 亏损,弱不相容元素 Ti、P 亏损, K 富集,其特征与岛弧火山岩分布型式基本相似。

利用 TiO₂—Zr (Pearce, 1982) 图解(图 6a)进行投影,样品均落入 VAB 区,即火山弧玄武岩区;在

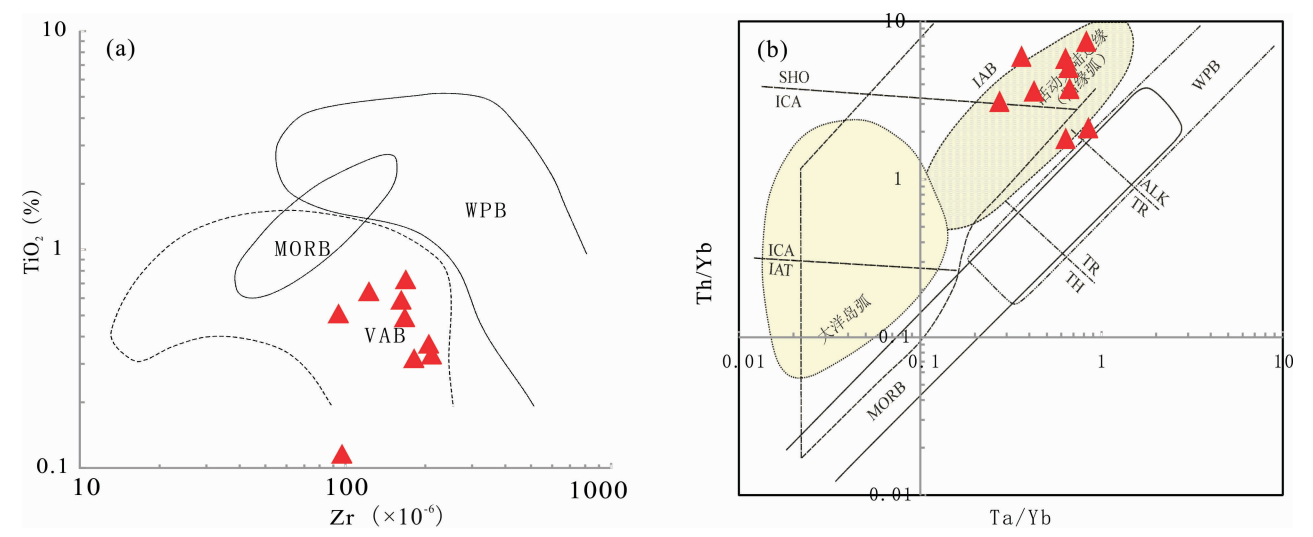


图 6 青海德令哈石底泉地区下泥盆统牦牛山组火山岩:(a) TiO_2 —Zr 图解;(b) Ta/Yb — Th/Yb 图解
Fig. 6 TiO_2 —Zr diagram(a) and Ta/Yb — Th/Yb diagram(b) of the volcanic rocks from the Lower Devonian Maoniushan Formation in Shidiqian area, Delingha, Qinghai

Ta/Yb — Th/Yb (Pearce, 1982) 图解(图 6b) 中样品落在活动大陆边缘区,岩石地球化学特征综合分析,说明形成这套火山岩的源岩类似于岛弧火山岩的源区。结合本区区域地质分析,表明石底泉地区牦牛山组火山岩可能形成于活动大陆边缘,进一步表明牦牛山组的形成与板块俯冲作用密切相关。

4.2 地质意义

20 世纪 80 年代所填绘的 1: 20 万地质图中,牦牛山组的形成时代主要依据牦牛山组上部沉积岩层中所采集的化石而确定,如在阿木尼克和牦牛山地区上部细碎屑岩中采到的植物化石 *Leptophloeumrhombicum*、在祁漫塔格地区上部泥质碎屑岩夹层中采到的植物化石 *Lepidodendropsissp.*、在肯得可克地区采得的 *Leptophloeumrhombicum*, *Sublepidodendronmirabile*, *Cyclostigmakil torkense* 及鱼化石 *Bothriolepinae?* 等^②,除此在阿木尼克山还有珊瑚化石 *Cladopara?* 和微古植物。由上述化石可以确定牦牛山组的地层时代为晚泥盆世(张雪亭等,2007),但具有不确定性,可能代表了牦牛山组形成时代的上限。张耀玲等(2010)获得格尔木锯齿山一带牦牛山组上部英安岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $406.1 \pm 2.9\text{Ma}$,陆露等(2010)获得大于沟南侧牦牛山组底部流纹岩中锆石 LA-ICP-MS 法 U-Pb 年龄为 $423.2 \pm 1.8\text{Ma}$,为目前获得该组最老的年龄,代表了牦牛山组地层沉积时代下限。因此东昆仑地区牦牛山组形成限定于晚志留世—早泥

盆世是合适的,而非已有通过化石确定的晚泥盆世。陈守建等(2007)认为柴北缘地区牦牛山组可完全与东昆仑波罗斯太、那更滩南部的牦牛山组相对比,是晚古生代裂陷作用的产物,为典型的伸展磨拉石建造。夏文静(2014)在对柴北缘牦牛山组研究后,获得该区牦牛山组英安岩和流纹岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 $416 \pm 5\text{Ma}$ 和 $429 \pm 4\text{Ma}$,花岗岩砾石的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $371 \pm 14 \sim 377 \pm 5\text{Ma}$,由此说明,柴北缘的牦牛山组形成于早志留世—晚泥盆世。笔者本次在石底泉地区牦牛山组上部火山岩段的蚀变安山岩中获得了 $395.7 \pm 2.7\text{Ma}$ 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄,结果表明,牦牛山组陆相火山—沉积建造中的上部火山岩段形成于早泥盆世,而不是传统认为的晚泥盆世。由于样品取自牦牛山组上部火山岩段,因此所获得的 U-Pb 年龄代表了该地区牦牛山组的时代上限,而不是传统认为的晚泥盆世,进一步佐证了柴北缘的牦牛山组形成于早志留世—晚泥盆世,为柴达木盆地北缘早古生代的构造演化提供了新的年代学依据。

5 结论

- (1)石底泉地区牦牛山组安山岩样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析的结果表明,其年龄值为 $395.7 \pm 2.7\text{Ma}$,确定牦牛山组形成时代为不早于早泥盆世。
- (2)石底泉地区牦牛山组火山岩,岩石地球化

学成分表明具有高钾高钠,贫铁镁而富碱的特征,具有岛弧火山岩的特征。

(3)石底泉地区牦牛山组可能为活动大陆边缘构造环境的产物,其形成与板块俯冲作用密切相关,证实了牦牛山组的形成非传统认为的晚泥盆世,进一步佐证了柴北缘的牦牛山组形成于早志留世—晚泥盆世,为柴达木盆地北缘早古生代的构造演化提供了新的年代学依据。

致谢:诚挚感谢审稿专家对本文提出的宝贵意见。感谢项目组同事大力支持和帮助,在此一并致以衷心的感谢。

注 释 / Notes

- ① 陕西地矿第一地质队. 2016. 中华人民共和国 1:5 万区域地质矿产调查报告·石底泉幅·羊肠子沟幅。
- ② 青海省地质局. 1980. 中华人民共和国 1:20 万区域地质调查报告·怀头他拉幅。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 边千韬, Pospelov I I, 李惠民, 常承法, 李继亮. 2007. 青海省布青山早古生代末期埃达克岩的发现及其构造意义. 岩石学报, 23(5): 925~934.
- 陈守建, 李荣社, 计文化, 赵振明, 孟勇, 史秉德. 2007. 昆仑造山带晚泥盆世沉积特征及构造古地理环境. 大地构造与成矿学, 31(1): 44~51.
- 邓晋福, 冯艳芳, 狄永军, 刘翠, 肖庆辉, 苏尚国, 赵国春, 孟斐, 马帅, 姚图. 2015a. 岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换. 地质论评, 61(3): 473~484.
- 邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 肖庆辉, 狄永军, 苏尚国, 赵国春, 段培新, 戴蒙. 2015b. 关于火成岩常用图解的正确使用: 讨论与建议. 地质论评, 61(4): 717~734.
- 黄汲清, 肖序常, 任纪舜, 赵庆林, 姜春发, 刘涌泉, 崔述德. 1965. 中国大地构造基本特征: 三百万分之一中国大地构造图说明书.
- 亨德森(Henderson). 1989. 稀土元素地球化学. 田丰, 施琅. 等. 译. 北京: 地质出版社.
- 李荣社, 计文化, 杨永成, 于浦生, 赵振明, 陈守建, 孟勇, 潘晓平, 史秉德, 张维吉, 李行, 洛长义. 2008. 昆仑山及邻区地质. 北京: 地质出版社.
- 刘彬, 马昌前, 张金阳, 熊富浩, 黄坚, 蒋红安. 2012. 东昆仑造山带东段早泥盆世侵入岩的成因及其对早古生代造山作用的指示. 岩石学报, 28(6): 1785~1807.
- 陆露, 吴珍汉, 胡道功, Barosh P J 郝爽, 周春景. 2010. 东昆仑牦牛山组流纹岩锆石 U-Pb 年龄及构造意义. 岩石学报, 26(4): 1150~1158.
- 陆松年, 王惠初, 李怀坤, 袁桂邦, 辛后田, 郑健康. 2002. 柴达木盆地北缘“达肯大坂群”的再厘定. 地质通报, 21(1): 19~23.
- 陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 于海峰, 金巍, 郭坤一. 2004. 新元古时期中国古大陆与罗迪尼亚超大陆的关系. 地学前缘, 11(2): 515~523.
- 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 陈志宏, 王惠初, 张传林, 相振群. 2006. “中

- 央造山带”早古生代缝合带及构造分区概述. 地质通报, 25(12): 1368~1380.
- 路远发. 2004. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包. 地球化学, 33(5): 459~464.
- 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 丁俊, 陈智梁. 2002. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分. 地质通报, 21(11): 701~707.
- 孟繁聪, 张建新, 杨经绥. 2005. 柴北缘锡铁山早古生代 HP/UHP 变质作用后的构造热事件—花岗岩和片麻岩的同位素与岩石地球化学证据. 岩石学报, 21(1): 45~56.
- 邱家骧. 1985. 岩浆岩岩石学. 北京: 地质出版社.
- 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.
- 青海省地质矿产局. 1997. 青海省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1~340.
- 孙娇鹏, 陈世悦, 马寅生, 彭渊, 邵鹏程, 马帅, 代昆, 郑策. 2016. 柴达木盆地北缘早奥陶世陆—弧碰撞及弧后前陆盆地——来自碎屑岩地球化学的证据. 地质学报, 90(1): 80~92.
- 吴才来, 杨经绥, 许志琴, Wooden, J L, Ireland T, 李海兵, 史仁灯, 孟繁聪, 陈松永, Persing H, Meibom A. 2004. 柴达木盆地北缘古生代超高压带中花岗质岩浆作用. 地质学报, 78(5): 658~674.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 张建新, 吴才来等. 2007. 造山的高原——青藏高原的地体拼合、碰撞造山及隆升机制. 北京: 地质出版社.
- 夏文静. 2014. 柴北缘牦牛山组沉积环境、形成时代和形成大地构造背景. 导师: 牛漫兰, 闫臻. 合肥工业大学硕士学位论文, 合肥: 1~94.
- 夏文静, 牛漫兰, 闫臻, 吴齐, 郭现轻, 付长垒, 李继亮. 2014. 柴北缘牦牛山地区牦牛山组沉积相组合特征. 地质学报, 88(5): 943~955.
- 杨张张, 李四龙, 杨强晟, 刘旭鹏, 商鹏飞. 2016. 青海德令哈石底泉辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义. 地质论评, 62(4): 1081~1091.
- 闫臻, 王宗起, 李继亮, 许志琴, 邓晋福. 2012. 西秦岭楔的构造属性及其增生造山过程. 岩石学报, 28(06): 1808~1828.
- 张雪亭. 2006. 青海省大地构造格架研究. 导师: 莫宣学. 中国地质大学(北京)博士学位论文: 1~116.
- 张雪亭, 杨生德, 杨站君. 2007. 青海省区域地质概论. 北京: 地质出版社.
- 张耀玲, 胡道功, 石玉若, 陆露. 2010. 东昆仑造山带牦牛山组火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地质通报, 29(11): 1614~1618.
- 周伟, 杜玮. 2015. 柴北缘红柳沟北镁铁—超镁铁质岩体形成时代及意义. 地质论评, 61(增刊): 790~791.
- 赵振明, 马华东, 王秉璋, 拜永山, 李荣社, 计文化. 2008. 东昆仑早泥盆世碰撞造山的侵入岩证据. 地质论评, 54(1): 47~56.
- 朱小辉, 陈丹玲, 王超, 王红, 刘良. 2015. 柴达木盆地北缘新元古代—早古生代大洋的形成、发展和消亡. 地质学报, 89(2): 234~251.
- Andersen T. 2002. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report 2004Pb. Chem. Geol., 192: 59~79.
- Bian Qiantao, Pospelov I I, Li Huimin, Chang Chengfa, Li JiLiang. 2007&. Discovery of the end-Early Paleozoic adakite in the Buqingshan area, Qinghai province, and its tectonic implications. Acta Petrologica Sinica, 23(5): 925~934.
- Black L P, Gulson B L. 1978. The age of the Mud Tank carbonatite, Strangways Range, Northern Territory. BMRJ. Aust. Geophys., 3: 227~232.
- Chen Shoujian, Li Rongshe, Ji Wenhua, Zhao Zhenming, Meng Yong, Bing De. 2007&. The deposition characteristics and tectono-

- paleogeographic environment of Kunlun orogenic belt in Late Devonian. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(1): 44 ~ 51.
- Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Meng Fei, Ma Shuai, Yao Tu. 2015a&. Magmatic arc and ocean—continent transition: Discussion. *Geological Review*, 61(3): 473 ~ 484.
- Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Di Yongjun, Su Shangguo, Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015b&. On the correct application in the common igneous petrological diagrams: Discussion and suggestion. *Geological Review*, 61(4): 717 ~ 734.
- Falloon T J, Green D H, Hatton C J, et al. 1988. Anhydrous partial melting of a fertile and depleted peridotite from 2 to 30 kb and application to basalt petrogenesis. *Journal of Petrology*, 29(6): 1257 ~ 1288.
- Griffin W L, Belousova E A, Shee S R, et al. 2004. Archean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons. *Precambrian Research*, 131(3 ~ 4): 231 ~ 282.
- Huang Jiqing(Huang T K), Xiao Xuchang, Ren Jishun, Zhao Qinglin, Jiang Chunfa, Liu Yongquan, Cui Shude. 1965 #. The basic geotectonic characteristics of China: 1/3000000 China tectonic map specification.
- Hirose K, Kushiro I. Partial melting of dry peridotites at high pressures: Determination of compositions of melts segregated from peridotite using aggregates of diamond. *Earth & Planetary Science Letters*, 1993, 114(4): 477 ~ 489.
- Irvine T N and Barager W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 8(5): 523 ~ 548.
- Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, et al. 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211(1 ~ 2): 47 ~ 69.
- Lu Lu, Wu Zhenhan, Hu Daogong, Barosh P J, Hao Shuang, Zhou Chunjing. 2010&. Zircon U-Pb age for rhyolite of the Maoniushan Formation and its tectonic significance in the East Kunlun Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4): 1150 ~ 1158.
- Li Rongshe, Ji Wenhua, Yang Yongcheng, Yu Pushing, Zhao Zhenming, Chen Shoujian, Meng Yong, Pan Xiaoping, Shi Bingde, Zhang Wei, Li Hang, Luo Zhangyi. 2008#. *Geologica Map of Kunlun Mountains and Its Adjacent Area*. Beijing: Geological Publishing House.
- Liu Y S, Gao S, Hu Z C, Gao C G, Zong K Q, Wang D B. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt—peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1&2): 537 ~ 571. doi:10.1093/petrology/egp082
- Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, Gao C G, Gao S, Xu J, Chen H H. 2010b. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535 ~ 1546.
- Ludwig K R. 2003. *Isoplot 3.00 User's Manual: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Eochronological Center. Special Publication No. 4a: 1 ~ 70.
- Lu Songnian, Wang Huichu, Li Huaikun, Yuan Guibang, Xin Houtian, Zheng Jiankang. 2002&. Redefinition of the "Dakendaban Group" on the northern margin of the Qaidam basin. *Geological Bulletin of China*, 21(1): 19 ~ 23.
- Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong, Yu Haifeng, Jin Wei, Guo Kunyi. 2004&. Relationship Between Neoproterozoic Cratons of China and the Rodinia. *Earth Science Frontiers*, 11(2): 515 ~ 523.
- Lu Songnian, Yu Haifeng, Li Huaikun, Chen Zhihong, Wang Huichu, Zhang Chuanlin, Xiang Zhenqun. 2006&. Early Paleozoic suture zones and tectonic divisions in the " Central China Orogen ". *Geological Bulletin of China*, 25(12): 1368 ~ 1380.
- Lu Yuanfa. 2004&. Geokit—A geochemical toolkit for Microsoft Excel. *Geochimica*, 33(5): 459 ~ 464.
- Meng Fancong, Zhang Jianxin, Yang Jingsui. 2005&. Tectono - thermal event of post-HP/UHP metamorphism in the Xitieshan area of the North Qaidam Mountains, western China: isotopic and geochemical evidence of granite and gneiss. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 45 ~ 46.
- Masuda A, Nakamura N, Tanaka T. 1973. Fine structures of mutually normalized rare-earth patterns of chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 37(2): 239 ~ 248.
- Middlemost E A K. 1987. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Reviews*, 37(3 ~ 4): 215 ~ 224.
- Miyashiro A. 1974. Volcanicrock series in island arc and active Continental margins. *American Journal of Science*, 274(4): 321 ~ 355.
- Pan Guitang, Li Xingzhen, Wang Liquan, Ding Jun, Chen Zhiliang. 2002&. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai—Tibet Plateau and its adjacent regions. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 701 ~ 707.
- Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. *Andesites*: 528 ~ 548.
- Qiu Jiaxiang. 1985 #. *Magmatic Petrology*. Beijing: Geological Publishing House.
- Qinghai Bureau of Geology and Mineral Resources. 1991#. *Regional Geology of Qinghai Province*. Beijing: Geological Publishing House: 1 ~ 662.
- Qinghai Bureau of Geology and Mineral Resources. 1997 #. *Lithostratigraphic Units of Qinghai*. Wuhan: China University of Geosciences Press: 1 ~ 340.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. *Geological Society London Special Publications*, 42(1): 313 ~ 345.
- Walter M J. 2003. 2.08 melt extraction and compositional variability in mantle lithosphere. *Treatise on Geochemistry*, 2(1): 363 ~ 394.
- Sun Jiaopeng, Chen Shiyue, Ma Yinsheng, Peng Yuan, Shao Pengcheng, Ma Shuai, Dai Kun, Zheng Ce. 2016&. Early Ordovician continental—arc collision and retroarc foreland basin on the northern margin of Qaidam Basin: Geochemical evidence from clastic rocks. *Acta Geologica Sinica*, 90(1): 80 ~ 92.
- Winchester J A Floyd P A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325 ~ 343.
- Wu Cailai, Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Wooden J L, Ireland T, Li Haibing, Shi Rendeng, Meng Fancong, Chen Songyong, Persing H, Meibom A. 2004&. Granitic Magmatism on the Early Paleozoic UHP Belt of Northern Qaidam, NW China. *Acta Geologica Sinica*, 78(5): 658 ~ 674.
- Xia Wenjing. 2014&. *Sedimentary Facies, Formation Age and Tectonic Setting of Maoniushan Formation along the North Margin of Qaidam Terrane*. Supervisor: Niu Manlan, Yan Zhen. Dissertation Submitted

to Hefei University of Technology for master's degree; 1 ~ 94.

Xia Wenjing, Niu Manlan, Yan Zhen, Wu Qi, Guo Xianqing, Fu Changlei, Li Jiliang. 2014&. Sedimentary facies of the Maoniushan Formation in Maoniushan area along the northern margin of Qaidam Terrane. *Acta Geologica Sinica*, 88(5): 943 ~ 955.

Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibin, Zhang Jianxin, Wu Cailai. 2007&. Orogenic Plateau—the Qinghai—Tibet Plateau Land Body Split, Collision Orogenic and Uplift Mechanism. Beijing: Geological Publishing House; 1 ~ 458.

Yang Zhangzhang, Li Silong, Yang Qiangsheng, Liu Xupeng, Shang Pengfei. 2016&. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating and Geological Significance of Shidiquan Gabbro in Delingha, Qinghai. *Geological Review*, 62(4): 1081 ~ 1091.

Yan Zhen, Wang Zongqi, Li Jiliang, Xu Zhiqin, Deng Jinfu. 2012&. Tectonic settings and accretionary orogenesis of the West Qinling Terrane, northeastern margin of the Tibet Plateau. *Acta Petrologica Sinica*, 28(6): 1808 ~ 1828.

Zhang Xueting. 2006&. Study on the Tectonic Framework of Qinghai. Supervisor: Mo Xuanxue. Dissertation Submitted to China University

of Geosciences(Beijing) for Doctoral Degree; 1 ~ 116.

Zhang Xueting, Yang Shengde, Yang Zhanjun. 2007#. Concise Regional Geology of Qinghai Province. Beijing: Geological Publishing House.

Zhang Yaoling, Hu Daogong, Shi Yurao, Lu Lu. 2010&. SHRIMP zircon U-Pb ages and tectonic significance of Maoniushan Formation volcanic rocks in East Kunlun orogenic belt, China. *Geological Bulletin of China*, 29(11): 1614 ~ 1618.

Zhou Wei, Du Wei. 2015#. The Formation age and significance of Hongliugoubei Mafic—Ultramafic intrusion, Northern Qaidam. *Geological Review*, 61(supp.): 790 ~ 791.

Zhao Zhenming, Ma Huadong, Wang Bingzhang, Bai Yongshan, Li Rongshe, Ji Wenhua. 2008&. The evidence of intrusive rocks about collision—orogeny during Early Devonian in eastern Kunlun area. *Geological Review*. 54(1): 47 ~ 56.

Zhu Xiaohui, Chen Danling, Wang Chao, Wang Hong, Liu Liang. 2015&. The initiation, development and termination of the Neoproterozoic—Early Paleozoic ocean in the northern margin of Qaidam basin, 89(2): 234 ~ 251.

LA-ICP-MS U-Pb Age of the Zircons from the Volcanic Rocks in Maoniushan Formation in Shidiquan Area, Delingha, Qinghai, and Its Geological Significance

YANG Zhangzhang, SUN Jian, ZHAO Xinke, TIAN Zhen, ZHAO Zhenying, SUN Dongliang, LI Dalei, YANG Benzhaoh, YANG Qiangsheng

Team No. 1, Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Ankang, Shaanxi, 725000

Objectives: The study area is located in the south of late Paleozoic to early Mesozoic rift zone in Zongwulong Mountain—Qinghai Nanshan Mountain (southern Qinghai Mountain), and its tectonic position lies in the third grade tectonic unit of Oulongbuluke Block in Qinling—Qilian—Kunlun orogenic belts. Due to the influence of multi-period tectonic movement and magmatic activity, various type of intrusive rocks and volcanic rocks were formed. The molasses of the Maoniushan Formation is considered as a sign of the end of the early Paleozoic orogeny. Up to now, a little study on petrology and geochemistry of volcanic rocks in Shidiquan area in Delingha city has been reported, and the formation age of mafic rocks is still unknown as well. Therefore, the authors of this paper intends to take volcanic rocks that crop out in Shidiquan area as research objects. Through detailed field observation as well as petrological analysis, geochemical analysis and U-Pb isotopic dating method, we will discuss the problems of petrological and geochemical characteristics, formation time and magma origin in the study area in depth.

Methods: A gray altered andesite sample, which weighs about 40 ~ 55 kg, was collected from the Maoniushan Formation in Shidiquan area for isotopic dating, with its geographical coordinate of E96°12'55.7"、N37°30'14.8". Zircon separation was carried out using conventional methods, and zircon grains were then hand-picked under a binocular microscope. Afterwards, zircon grains with fine crystalline shape and transparency were mounted in epoxy mounts and next been polished to section the crystals in half for further analysis. These steps were undertaken at the Langfang Rock and Mineral Testing Technology, Co. Ltd, Hebei Province, China. Later, Then zircon grains were taken cathodoluminescence (CL) images by using scanning electron microscope to reveal their internal structures. Zircon U-Pb isotopic ages were analyzed using the laser ablation-multicollector inductively coupled-plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS) at the State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, China. Analytical instruments include Agilent 7500a type four stage rod mass spectrometer, Geolas 200M laser ablation system and excimer laser with wavelength of 193 nm. The diameter of laser beam was 30 μm and the depth

of it is 20 ~ 40 μm.

Results: LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Andesite from Upper part of the Maoniushan Formation shows an age of 395.7 ± 2.7 Ma, which confirm that the age is Early Devonian. The analyses of major and trace elements show that the Shidiquan gabbro has characteristic of rich in K, Na , alkali and poor in Fe, Mg. These geochemical characteristics indicate that the neutral (acidic) rocks were formed in volcanics arc area.

Conclusions: Comprehensive analyses suggest that the volcanic rocks from the MaoniushanFormation is the product of the active continental margin environment. It is concluded that the Maoniushan Formation is closely related to the subduction of the plate and formed in the Late Devonian. This study provides a new time constraint for the Early Paleozoic orogeny in Northern Qaidam.

Keywords: Maoniushan Formation; LA-ICP-MS ziron U-Pb dating; geochemical characters; tectonic environment; Shidiquan area, Delingha, Qinghai

Acknowledgements: This study was generously financed by the China Geological Survey(No. DD20160012) . We thank the reviewers for their constructine remarks. We also thank the unit leaders and colleagues for field work assistance.

First author: YANG Zhangzhang, male, born in 1988, engineer, mainly engaged in regional geology. Email: 124772454@ qq. com

Corresponding author: SUN Jian, male, born in 1983, engineer, mainly engaged in regional geology. Email: 290564897@ qq. com

Manuscript received on: 2017-03-24; Accepted on: 2017-10-18; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2017. 06. 015

(上接第 1601 页) 每年上传登载 20000 多篇论文,浏览量达 2480 多万次,该网站已突破语种,走出了国门,有 20 多个国家从中下载论文。刘恋于 2015 年成功申报中国科协“中国地学期刊网维护与建设”项目,主要保障“中国地学期刊网”的正常运转,继续维护与建设该网站,发挥其重要的引领作用;改造网站页面,完善网站的英文翻译等功能;进一步完善本网站服务功能,上网期刊编辑和读者使用方便;建设国家地质标准库、标准图件库,便于作者参考。逐步使得“中国地学期刊网”成为国内外有广泛影响的地学期刊网站。

《地质学报》(英文版)先后获得国家和省部级多次表彰和奖励,是我国科技期刊界公认的最高水平期刊之一。曾获中宣部、科技部、新闻出版署、中国科协、中国期刊协会等多部门表彰。自刘恋进入编辑部工作以来,《地质学报》(英文

版)2010 ~ 2011 年被中国科协、财政部评为“A 类精品期刊”;2011 年获得国家自然科学基金重点学术期刊专项基金项目资助;2012 年荣获中国科协颁发的“优秀国际科技期刊一等奖”;2013 年、2015 年均荣获国家新闻出版广电总局“百强报刊”称号;2016 年入选“中国科技期刊登峰行动计划项目”;2012 ~ 2016 年连续荣获“中国最具国际影响力学术期刊”称号。

刘恋博士结合地质研究与编辑工作,成功申报多项地质科研类项目,发表一批高水平科研论文,提升了自身科研能力和创新能力。新时代的科技期刊编辑不仅要做好选题策划、组稿、审稿、编辑加工等日常编辑工作,而且要密切关注科技的发展方向,以便在策划及组稿时更有针对性。在结合编辑工作和自身所学专业的基础上,刘恋成功申报国家自然科学基金青年基金资助项目等 4 项基础地质科研类项目,并以第 1 作者在 SCI 期刊《Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology》、《Acta Geologica Sinica (English Edition)》、《Chinese Science Bulletin》发表论文 4 篇、在 EI 期刊《地质学报》发表论文 1 篇、在中文核心期刊《地质论评》、《地质与勘探》、《中国矿业》、《第四纪研究》发表论文 4 篇,并参与撰写书籍 3 本。

Dr. LIU Lian, Editor of *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, Awarded “Stallion Prize” of China Editological Society of Science Perodicals

(章雨旭 供稿)

