

昆仑山世界地质公园哈萨山蛇绿岩地球化学特征及 锆石 U-Pb 年龄

沈洪江, 杨林, 覃爽, 宋伟, 秦永超, 宁萌萌

四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队, 成都, 610213

内容提要: 哈萨山蛇绿岩位于东昆中缝合带中部, 为昆仑山世界地质公园三大核心地质遗迹之一, 蛇绿岩出露较为完整, 通过对蛇绿岩中堆晶辉长岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年研究, 获得年龄值为 438.5 ± 2.6 Ma, 表明蛇绿岩形成于早志留世。岩石地球化学研究显示, 蛇纹岩的原岩为橄榄岩类, 蛇纹岩的稀土元素总量较低, 呈右倾斜的配分曲线; 辉长岩显示轻稀土较重稀土富集, 具有不同程度的 Eu 负异常, 配分曲线较为平缓, 略呈右倾型; 玄武岩具有轻稀土较重稀土富集的特征, 具有明显的 Eu 负异常, 相对富集大离子亲石元素, 高场强元素呈平坦型, Nb、P 轻微亏损, 各样品配分曲线大致平行于 E-MORB 谱线, 显示为同源岩浆, 主要表现为 E-MORB 特征, 并具有洋中脊向洋岛过渡的特征, 其形成的构造环境应属初始小洋盆, 可能为原特提斯洋洋壳残迹, 形成于洋陆转换早期。

关键词: 昆仑山世界地质公园; 蛇绿岩; 锆石 U-Pb 测年; E-MORB; 初始小洋盆

昆仑山世界地质公园所在的东昆仑造山带属于古亚洲构造域和特提斯—喜马拉雅构造域的结合带, 经历了多期构造运动, 地质构造极为复杂, 地层变形、变质、变位明显 (郭宪璞等, 2007)。哈撒山蛇绿岩位于东昆中缝合带中部, 为昆仑山世界地质公园三大核心地质遗迹之一^①, 姜春发等 (1992) 称其为万保沟准蛇绿岩, 时代归属中晚元古代, 属洋岛构造环境; 马延虎、蔡德华等在 1:5 万区调工作中依据含放射虫硅质岩及研究区发育晚奥陶世沟弧盆体系等特征, 认为其形成时代可能属早—中奥陶世^②; 王国灿等 (2004) 认为蛇绿岩赋存的纳赤台岩群具有混杂岩特征, 是东昆仑地区早古生代活动类型沉积建造, 为东昆中构造带存在早古生代洋盆的依据; 张雪亭等 (2007) 通过对出露于东昆仑地区的纳赤台岩群火山岩进行地球化学分析研究, 认为其形成于俯冲弧构造环境, 部分具有大洋构造环境的特点; 潘裕生等 (1996) 基于对东昆仑早古生代地质演化历史研究, 提出纳赤台群碎屑岩、碳酸盐岩和浊积岩组合形成于活动陆缘。上述资料表明对于该地区蛇绿岩的时代、构造属性等还存在较大争议, 并缺乏测年数据, 导致对区域的大地构造背景与演化历史有各种不同的认识。本文在野外调查的基础上, 结合

野外产状, 通过锆石 U-Pb 年龄、主微量元素等方面的研究, 探讨哈撒山一带蛇绿岩的形成时代和构造环境, 以期为中昆缝合带和东昆仑造山带的形成与演化研究提供基础地质资料。

1 地质背景及岩石学特征

研究区位于青藏高原东北部柴达木盆地南缘的昆仑山世界地质公园哈撒山一带, 所处大地构造位置为东昆仑造山带的中东段, 是华北和华南两大板块的结合部位, 是划分东昆北构造带与东昆南构造带的重要边界, 也是一条多旋回复合的碰撞缝合带 (王国灿等, 1999) 区域性东昆仑中央断裂呈东西向横贯研究区北部, 其他次级断裂多呈北西—南东向展布, 蛇绿岩与奥陶—志留纪纳赤台群以构造残片呈构造混杂产出, 零星分布^③。

蛇绿岩组分有橄榄岩、蛇纹石化橄榄岩、蛇纹岩、辉长岩、橄榄辉长岩、辉绿岩、辉绿玢岩、枕状玄武岩、硅质岩, 另外还含有灰岩、变质砂岩等外来岩块; 基质由板岩、千枚岩、粘土岩等组成, 岩块与基质、岩块与岩块之间多数为断层接触或者韧性剪切带接触关系 (图 1)。

注: 本文为青海昆仑山国家地质公园管理局委托的研究项目“青海昆仑山世界地质公园野牛沟结合带调查与国际对比研究项目”成果。

收稿日期: 2017-09-30; 改回日期: 2018-05-31; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2018.04.014

作者简介: 沈洪江, 男, 1988 年生。2012 年毕业于长安大学资源勘查工程专业, 工程师, 主要从事区域地质调查、地质遗迹调查与评价工作。Email: 237488543@qq.com。

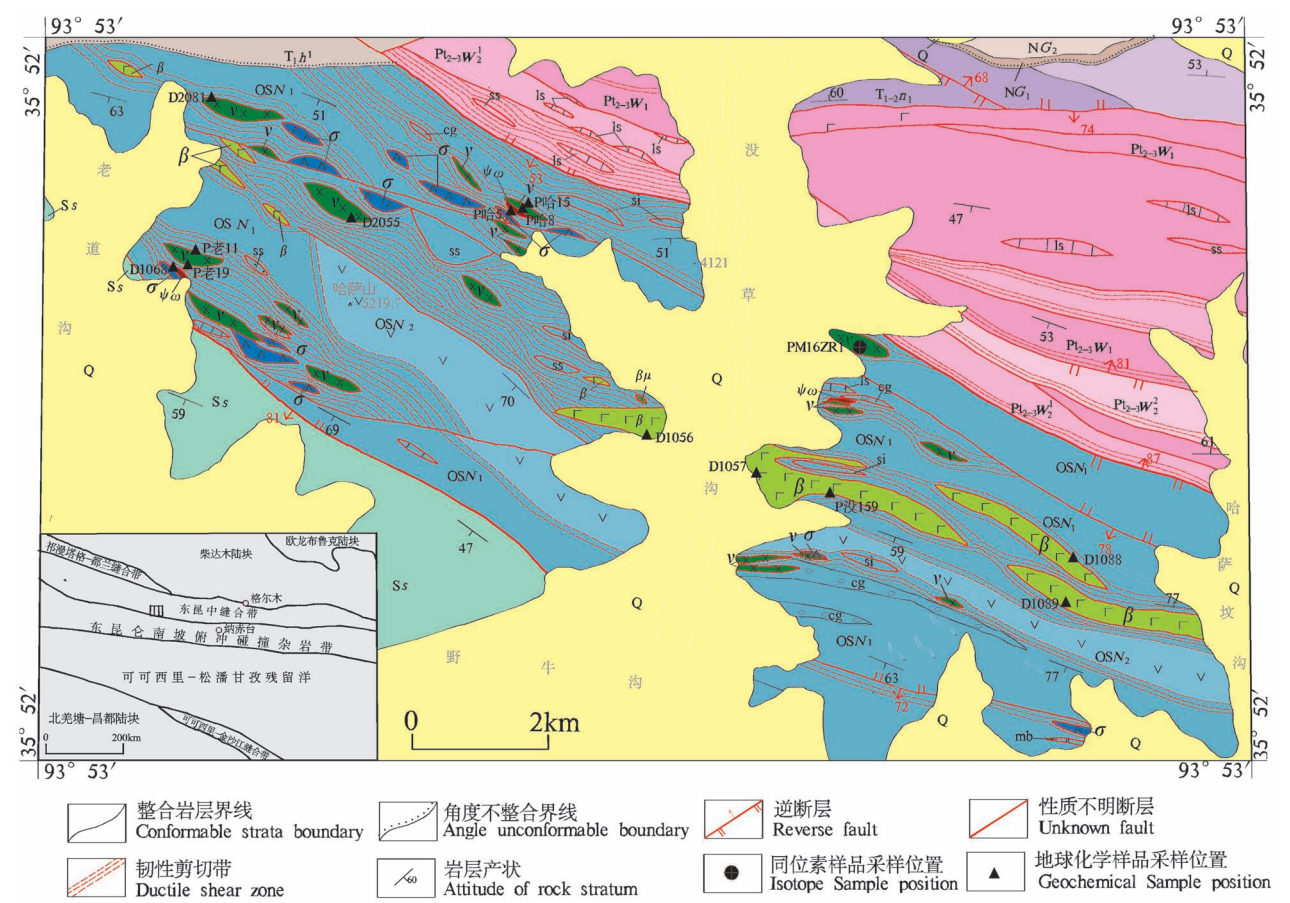


图 1 昆仑山世界地质公园哈萨山地区地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of Hasashan area, the Mountain Kunlun UNESCO Global Geopark

Q—第四系;NG₂—贵德群砂岩组;NG₁—贵德群砾岩组;T₁h¹—洪水川组一段;Ss—赛什腾组;OSN₂—纳赤台群二岩组;OSN₁—纳赤台群一岩组;Pt₂₋₃W₂¹—万宝沟群碳酸盐组白云岩段;Pt₂₋₃W₂¹—万宝沟群碳酸盐组灰岩段;Pt₂₋₃W₁—万宝沟群火山岩组;β—玄武岩;βμ—辉绿岩;ν—辉长岩;σ—橄榄岩;ψω—蛇纹岩;si—硅质岩;mb—大理岩;ls—灰岩;ss—砂岩;cg—砾岩

Q—Quaternary system; NG₂—Guide Group Sandstone Formation; NG₁—Guide Group Conglomerate Formation; T₁h¹—the First Member of Hongshuichuan Formation; Ss—Saishiteng Formation; OSN₂—the Second Member of Naijital Gr.; OSN₁—the First Member of Naijital Gr.; Pt₂₋₃W₂¹—Wanbaogou Group Carbonate Formation Dolomite Member; Pt₂₋₃W₂¹—Wanbaogou Group Carbonate Formation Limestone Member; Pt₂₋₃W₁—Wanbaogou Group Volcanic Rock Formation; β—basalt; βμ—diabase; ν—gabbro; σ—peridotite; ψω—serpentinite; si—silicalite; mb—marble; ls—limestone; ss—sandstone; cg—conglomerate

2 分析方法

2.1 锆石 U-Pb 年龄测试方法

在详细野外地质调查和镜下观察的基础上,选择从哈撒山地区蛇绿岩中采集新鲜无脉体贯入的辉长岩样品(PM16ZR1)进行测年,样品采集重量约为 60 kg,采样坐标为 N:35°56′12″,E: 94°03′58″。

先在实验室将样品粉碎至 80~100 目,按常规方法挑选锆石,最后将挑选的锆石置于环氧树脂中,待固结后抛磨至锆石粒径的大约二分之一,使锆石

内部充分暴露,进行锆石阴极发光成像,锆石的阴极发光(CL 图像)研究在北京锆年领航科技有限公司实验室完成,通过阴极发光照相(CL)以了解锆石内部生长及后期变化的结构,根据锆石反射光和透射光照片选取岩浆环带现象清晰的点进行测试。

单颗粒锆石微区 U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室的激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)和德国 LambdaPhysik 公司的 ComPexl02 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF 波长 193 nm)以及 MicroLas 公司的 GeoLas200M 光

学系统的联机完成。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标准物质进行校正,微量元素含量采用 NIST610 作为外标, SiO_2 作为内标进行校正(袁洪林等, 2003)。锆石微量和同位素数据采用 GLITTER 程序,普通铅校正采用 Andersen (Andersen, 2002) 的方法,年龄计算使用 Isoplot (ver2. 49) 完成 (Ludwi, 2003)。

2.2 地球化学分析测试

对蛇绿岩样品分别进行了主量元素、微量及稀土元素测试。测试样品首先被磨碎至 200 目,分析在中国地质科学院矿产综合利用研究所分析测试中心完成。 H_2O 由重量法测定,检测下限 $< 0.5\%$ 。 FeO 采用重铬酸钾容量法进行测定,其它主量元素分析用 X 荧光光谱仪 (AXIOS) 测定,分析的相对标准偏差小于 $2\% \sim 8\%$,微量元素 Nb、Zr、Rb、Sr、Ba、Ga、Pb、

V 分析用电感耦合等离子体光谱仪 (Opima5300V) 测定,一般样品分析的相对标准偏差小于 5% ,稀土元素和其它微量元素分析用分析用电感耦合等离子体质谱仪 (NexION 350X) 测定,一般样品分析的相对标准偏差小于 10% 。

3 测试结果

3.1 岩石地球化学特征

在详细的野外调查基础上,采集哈撒山地区新鲜的蛇绿岩组分进行岩石地球化学分析,其中蛇纹岩 3 件,辉长岩 5 件,玄武岩 5 件,具体采样位置见图 1,每件样品重约 5 kg,测试结果见表 1。

3.1.1 主量元素

蛇纹岩的烧失量普遍较大,均大于 12% ,岩石的 SiO_2 含量为 $45.17\% \sim 48.67\%$,平均为 46.95% ; TiO_2 含量为 $0.02\% \sim 0.07\%$,平均为 0.04% ,低于大洋中脊地幔的 TiO_2 含量 ($0.1\% \sim 0.4\%$) (Pearce et al., 1984); MgO 含量较高,为 $42.35\% \sim 48.30\%$,平均为 45.88% ,介于在世界典型蛇绿岩中地幔方辉橄榄范围内 ($\text{MgO} = 39.6\% \sim 48.4\%$),高于典型二辉橄榄岩 ($\text{MgO} = 38.98\%$) (Coleman et al., 1977); Na_2O 和 K_2O 含量较低且变化较小,分别为 $0.12\% \sim 0.13\%$ (平均为 0.12%) 和 $0.05\% \sim 0.06\%$ (平均为 0.06%); Al_2O_3 含量为 $0.13\% \sim 0.6\%$,平均 0.34% ; CaO 含量较低,为 $0.15\% \sim 2.35\%$,平均为 1.39% ; TFe_2O_3 含量在 $0.33\% \sim 1.45\%$,平均为 1.06% , P_2O_5 为 $0.004\% \sim 0.017\%$,平均 0.01% ,在 Al_2O_3 —

CaO — MgO 图解 (图 2a) 中,蛇纹岩样品均落在变质橄榄岩区域内,表明本区蛇纹岩的原岩为橄榄岩类。

辉长岩样品的主量元素含量较稳定,归一化后,辉长岩的 SiO_2 含量为 $39.66\% \sim 49.24\%$,平均为 46.43 , TiO_2 含量为 $0.04\% \sim 2.09\%$,平均为 1.35% , Na_2O 为 $0.12\% \sim 3.55\%$,平均为 2.09 , K_2O 为 $0.06\% \sim 0.71\%$,平均为 0.34 , $\text{NaO} > \text{K}_2\text{O}$,显示出富钠低钾特征。 $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0.18\% \sim 16.52\%$,平均为 10.28 , MgO 为 $5.64\% \sim 35.25\%$,平均为 14.89 , CaO 为 $8.77\% \sim 14.40\%$,平均为 10.96 , TFe_2O_3 为 $1.25\% \sim 4.26\%$,平均为 3.02% , P_2O_5 为 $0.01\% \sim 0.29\%$,平均 0.19% 。岩石化学反映 MgO 、 FeO 、 Fe_2O_3 含量高的特点,在 CaO — Al_2O_3 — MgO 图解 (图 2a) 上落入镁铁质堆晶岩区,反映了岩石的堆晶成因,与野外特征一致。

玄武岩样品主量元素归一化后, SiO_2 含量为 $48.01\% \sim 48.80\%$,平均为 48.46% ,属于基性岩类; TiO_2 含量为 $1.67\% \sim 2.56\%$,平均为 1.92% ; MgO 含量较高,为 $4.08\% \sim 11.08\%$,平均为 6.92% ; Na_2O 含量为 $1.94\% \sim 3.89\%$,平均为 3.29% ; K_2O 含量为 $0.22\% \sim 0.90\%$,平均为 0.51% ; Al_2O_3 含量变化较大,在 $10.96\% \sim 17.07\%$,平均为 10.44 , CaO 含量为 $8.86\% \sim 15.64\%$,平均为 12.59% ;

TFe_2O_3 含量为 $0.36\% \sim 3.25\%$,平均为 1.86% ; P_2O_5 含量为 $0.17\% \sim 0.28\%$,平均为 0.21% , MgO 含量较高, $\text{FeO} > \text{Fe}_2\text{O}_3$,反映出还原条件下较好的海底喷发环境。在 TiO_2 — K_2O — P_2O_5 图解中 (图 2b) 均投入大洋拉斑玄武岩区。在 TFeO — Al_2O_3 — MgO_3 图解中 (图 2c) 中均投入洋中脊或洋底玄武岩区,在 AFM 图解 (图 2d) 显示样品主体为拉斑系列。

3.1.2 稀土元素

蛇纹岩的稀土元素总量较低, $\Sigma\text{REE} = 14.41 \times 10^{-6} \sim 22.72 \times 10^{-6}$,平均为 17.56×10^{-6} ; $\Sigma\text{LREE} = 12.31 \times 10^{-6} \sim 20.04 \times 10^{-6}$,平均值为 15.38 , $\Sigma\text{HREE} = 2.1 \times 10^{-6} \sim 2.69 \times 10^{-6}$,平均值为 2.18×10^{-6} , $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE} = 5.86 \times 10^{-6} \sim 7.83 \times 10^{-6}$, (La/Yb)_N = $10.67 \sim 30.07$, (La/Sm)_N = $2.62 \sim 4.48$, (Gd/Yb)_N = $2.15 \sim 5.67$,表明岩石的稀土元素分馏明显,轻稀土较重稀土富集。 δEu 为 $0.52 \sim 0.79$,具有明显的 Eu 负异常,在球粒陨石标准化稀土元素配分模式图中 (图 3a),呈右倾斜的配分曲线,反映轻稀土极度分馏,轻稀土部分与 E—MORB 型 (富集

表 1 哈撒山蛇绿岩的主量元素(%)和微量元素($\times 10^{-6}$)分析数据
Table 1 Major element (%) and trace element ($\times 10^{-6}$) data for Hasashan ophiolite

	P 哈 5	P 哈 15	D1068	P 哈 8	D20181	D2055	P 老 11	P 老 19	D1056	D1057	D1088	D1089	P 没 159
	蛇纹岩			辉长岩					玄武岩				
SiO ₂	37.08	40.08	43.30	47.42	46.45	46.80	47.43	46.15	43.42	44.23	45.72	41.39	46.63
Al ₂ O ₃	0.11	0.51	0.25	0.15	6.46	12.19	15.91	14.99	15.44	13.85	10.27	11.78	14.58
Fe ₂ O ₃	5.76	4.17	0.29	5.98	3.03	4.13	2.49	2.09	1.58	0.91	0.34	2.50	3.11
FeO	1.17	2.54	5.63	2.74	13.16	11.94	7.66	9.98	5.65	8.06	14.29	7.36	8.62
CaO	1.93	0.13	1.49	11.77	8.69	11.12	9.82	9.55	14.14	12.16	8.30	13.22	9.28
MgO	39.65	40.06	37.68	28.81	18.04	5.47	7.39	7.36	3.96	6.42	10.38	3.58	7.57
K ₂ O	0.05	0.05	0.043	0.05	0.70	0.40	0.22	0.28	0.81	0.39	0.21	0.36	0.56
Na ₂ O	0.10	0.10	0.12	0.10	1.15	2.41	3.42	3.00	3.52	3.34	1.82	2.88	3.43
TiO ₂	0.01	0.03	0.06	0.03	0.95	1.95	1.57	2.01	1.61	1.52	1.80	2.19	1.61
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.02	0.01	0.18	0.28	0.19	0.25	0.18	0.16	0.21	0.24	0.16
MnO	0.09	0.10	0.09	0.18	0.28	0.24	0.19	0.21	0.13	0.17	0.34	0.21	0.21
灼失	14.18	12.48	2.22	17.44	4.45	17.44	3.29	3.73	9.18	8.37	8.79	5.38	5.33
H ₂ O ⁺	9.87	11.66	1.11	7.54	2.67	7.54	3.10	3.19	2.42	2.96	1.24	2.71	2.62
H ₂ O ⁻	0.37	0.74	0.049	0.56	0.13	0.56	0.14	0.091	0.16	0.13	0.11	0.11	0.12
Σ	100.04	100.16	91.19	99.58	103.54	114.37	99.57	99.60	99.62	99.58	102.47	91.09	101.09
La	2.08	4.83	3.56	10.88	11.46	5.57	9.64	10.10	7.21	8.58	7.04	8.38	8.43
Ce	6.34	9.45	6.46	11.56	26.17	13.76	21.30	23.20	15.90	18.20	18.86	19.17	15.51
Pr	1.10	1.02	1.05	2.17	3.69	2.25	3.10	3.53	2.64	2.87	3.01	3.35	2.39
Nd	2.19	3.93	2.08	4.66	4.06	6.36	15.60	18.40	14.00	14.50	14.20	16.19	12.52
Sm	0.50	0.69	0.50	3.25	4.12	5.80	4.88	6.31	4.96	4.88	4.23	5.24	4.41
Eu	0.10	0.12	0.13	1.00	1.45	2.24	0.95	1.24	1.36	1.48	1.64	1.69	1.63
Gd	0.70	0.81	0.50	11.16	4.85	10.84	6.43	8.03	6.89	6.58	5.36	6.55	6.11
Tb	0.10	0.12	0.14	0.90	0.86	1.20	0.92	1.16	0.97	0.97	0.97	1.19	1.13
Dy	0.60	0.72	0.40	5.17	5.34	7.18	8.13	9.68	8.38	8.15	6.01	7.22	7.41
Ho	0.10	0.14	0.14	1.00	1.09	1.12	1.53	1.80	1.60	1.55	1.16	1.39	1.59
Er	0.30	0.40	0.30	3.00	3.60	3.72	4.68	5.49	4.73	4.61	3.52	4.26	4.8
Tm	0.10	0.10	0.10	0.50	0.51	0.62	0.68	0.83	0.73	0.71	0.54	0.64	0.73
Yb	0.10	0.31	0.08	3.10	3.31	2.96	3.83	4.32	3.79	3.92	3.45	4.16	4.68
Lu	0.10	0.10	0.10	0.60	0.49	0.88	0.51	0.57	0.53	0.51	0.48	0.60	0.7
Y	0.28	5.51	3.12	41.05	47.40	56.70	26.70	23.40	44.10	42.00	28.50	36.50	56.5
ΣREE	14.41	22.72	15.54	58.94	71.00	64.50	82.18	94.66	73.68	77.51	70.46	80.03	72.04
LREE	12.31	20.04	13.78	33.52	50.95	35.98	55.47	62.78	46.07	50.51	48.98	54.02	44.89
HREE	2.10	2.69	1.76	25.42	20.05	28.52	26.71	31.88	27.61	27.00	21.48	26.01	27.15
La _N /Yb _N	14.06	10.67	30.07	2.38	2.34	1.27	1.70	1.58	1.29	1.48	1.38	1.36	1.22
La _N /Sm _N	2.62	4.41	4.48	2.11	1.75	0.60	1.24	1.01	0.91	1.11	1.05	1.01	1.20
Gd _N /Yb _N	5.67	2.15	5.07	2.92	1.19	2.97	1.36	1.51	1.47	1.36	1.26	1.28	1.06
LREE/HREE	5.86	7.46	7.83	1.32	2.54	1.26	2.08	1.97	1.67	1.87	2.28	2.08	1.65
δEu	0.52	0.47	0.79	0.45	0.99	0.85	0.52	0.53	0.71	0.80	1.05	0.88	0.96
δCe	0.97	0.96	0.78	0.53	0.94	0.91	0.91	0.91	0.85	0.86	0.96	0.85	0.80
Rb	5.00	5.00	6.50	5.00	5.00	5.00	3.00	7.80	8.66	5.00	3.00	4.70	5.90
Ba	55	43	24	72	44	125	78	98	101	89	38	66	67
Th	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0
U	0.56	0.10	1.00	0.21	0.25	0.16	0.19	0.21	0.95	1.00	0.80	0.45	0.60
K	415	415	653	1415	1826	2324	3360	2688	6723	3237	1764	3024	4704
Ta	0.78	0.31	0.55	0.41	1.75	0.97	1.40	0.50	0.70	0.72	0.50	0.70	0.60
Nb	1.00	1.57	1.34	11.00	13.20	12.10	14.10	5.70	6.42	7.72	3.30	5.20	4.40
La	0.21	0.83	0.56	8.84	9.64	10.10	11.46	6.36	7.21	8.58	7.04	8.38	8.43
Ce	0.343	0.45	0.46	15.60	21.30	23.20	26.17	15.80	15.90	18.20	18.86	24.17	15.51
Sr	56	25	6	256	240	566	620	175	516	508	339	347	334
Nd	0.19	3.93	0.08	6.56	15.60	18.40	4.06	3.05	14.00	14.50	18.19	14.30	14.20

	P 哈 5	P 哈 15	D1068	P 哈 8	D20181	D2055	P 老 11	P 老 19	D1056	D1057	D1088	D1089	P 没 159
	蛇纹岩			辉长岩					玄武岩				
P	18	14	17.5	437	812	1082	1232	572	781	707	880	1056	748
Zr	2	8	26	82	78	132	116	90.5	87	87	89	88	159
Hf	0.5	0.7	0.5	2.5	3.6	3.5	4.3	3.1	2.3	2.6	2.6	2.6	5.7
Sm	0.1	0.1	0.1	4.2	4.9	6.3	4.0	2.9	5.0	4.9	3.5	3.4	6.0
Ti	81	203	155	8016	9420	12060	11700	10440	9660	9120	10800	13020	9600
Y	0.3	5.5	3.1	41.1	47.4	56.7	26.7	23.4	44.1	42	28.5	36.5	56.5
Yb	0.1	0.3	0.6	3.1	3.8	4.3	3.6	2.6	3.79	3.9	3.3	3.7	7
Lu	0.1	0.1	0.12	0.4	0.51	0.57	0.49	0.4	0.53	0.51	0.48	0.6	0.7

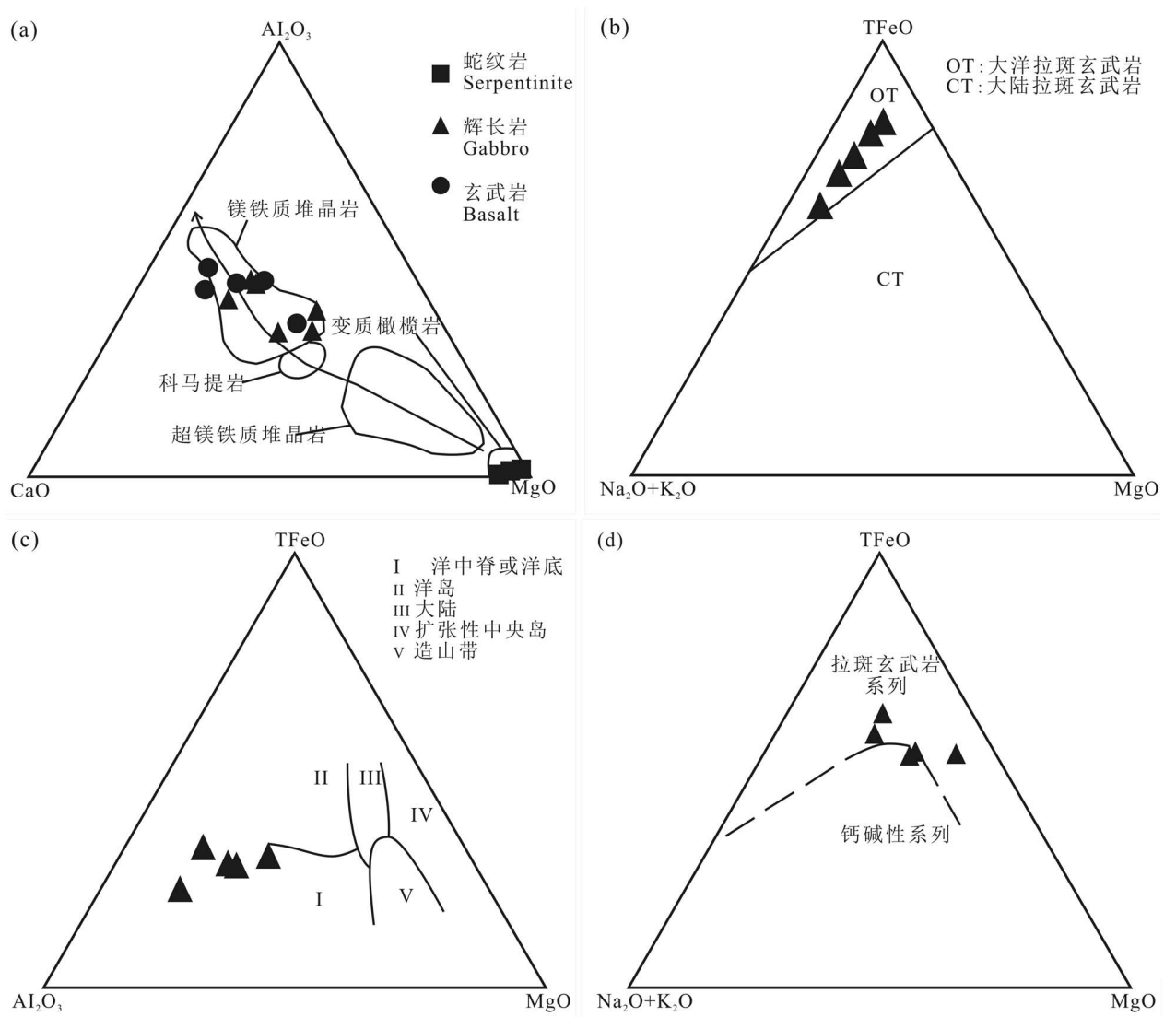


图 2 昆仑山世界地质公园哈撒山蛇绿岩 Al_2O_3 —CaO—MgO 图解 (据 Coleman, 1977)、 TiO_2 — K_2O — P_2O_5 图解 (据 Pearce, 1975)、TFeO— Al_2O_3 —MgO₃ 图解 (据 Pearce et al., 1977)、AFM 图解 (据 Irvine, 1971)

Fig. 2 Al_2O_3 —CaO—MgO diagram (after Coleman, 1977), TiO_2 — K_2O — P_2O_5 diagram (after Pearce, 1975), TFeO— Al_2O_3 —MgO₃ diagram (after Pearce et al., 1977) and AFM diagram (after Irvine, 1971) of the Hasashan ophiolite in the Mountain Kunlun UNESCO Global Geopark

型洋脊玄武岩) 稀土元素特征相类似,说明该区超基性岩在构造冷侵位过程中发生严重的蚀变、变质作用,导致轻稀土富集,重稀土亏损的特点;原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 3b) 总体具有左高右低的特征,其中 Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素明显

富集, K、Ce、Ti、P 明显亏损。
辉长岩的稀土元素总量相对低,轻稀土含量变化范围大, $\Sigma\text{REE} = 58.94 \times 10^{-6} \sim 94.66 \times 10^{-6}$, $\Sigma\text{LREE} = 33.52 \times 10^{-6} \sim 62.78 \times 10^{-6}$, $\Sigma\text{HREE} = 20.05 \times 10^{-6} \sim 31.88 \times 10^{-6}$, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE} = 1.32 \sim 14.69$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 1.70 \sim 2.38$, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 0.60 \sim$

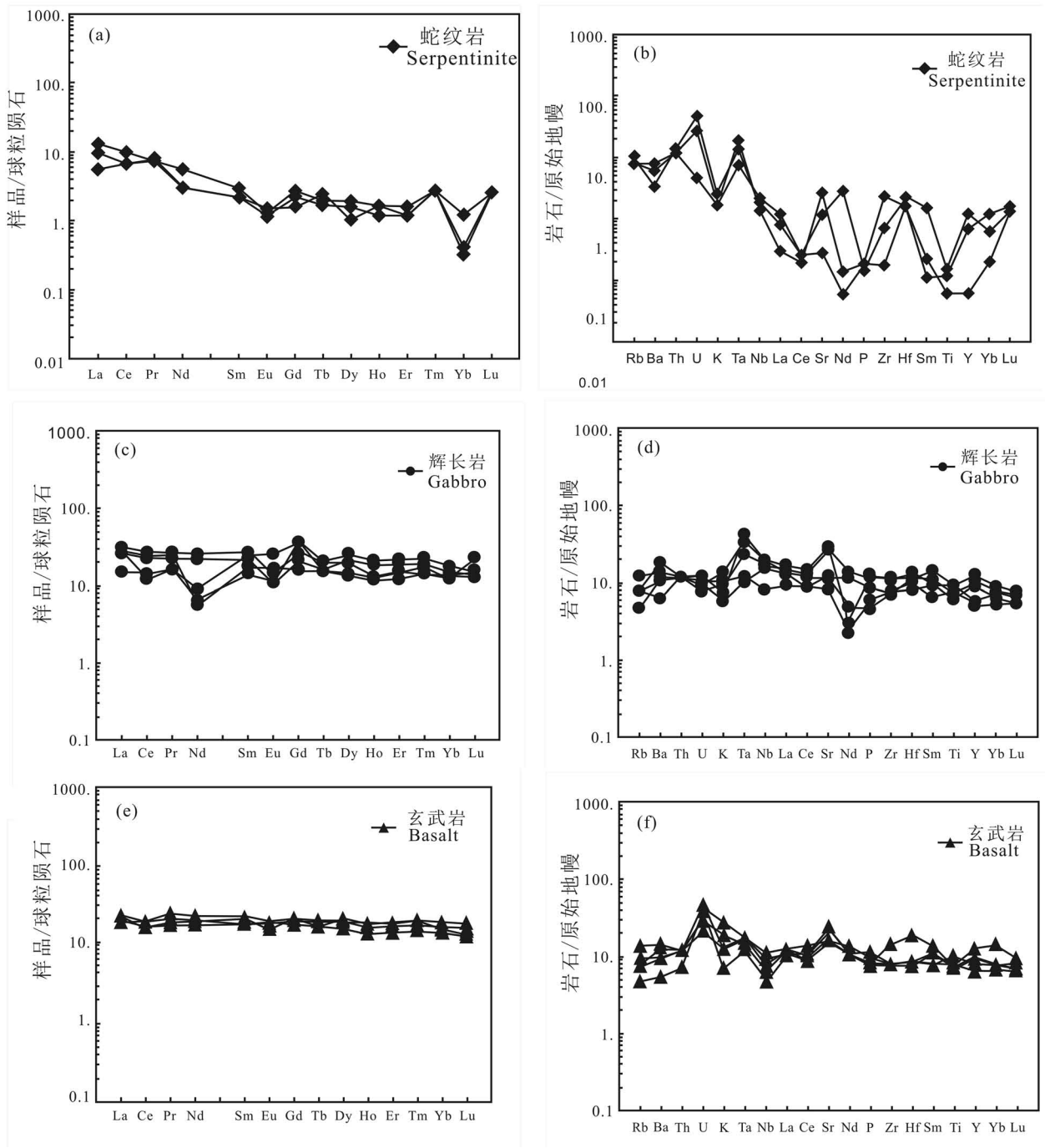


图 3 昆仑山世界地质公园哈撒山蛇绿岩的球粒陨石标准化 REE 配分模式图 (据 Boynton,1984) 和原始地幔标准化微量元素蛛网图(据 Sun,1989)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns (after Boynton,1984) and trace element spider diagram (after Sun,1989) of the Hasashan ophiolite in the Mountain Kunlun UNESCO Global Geopark

2.11, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 1.19 \sim 2.97$ 。球粒陨石标准化稀土元素配分曲线较为平缓,略呈右倾型(图 3c),显示轻稀土较重稀土轻微富集。 δEu 为 0.45 ~ 0.99,具有明显的 Eu 负异常。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 3d)上可以看出,整体较为平缓略向右倾, Sr 呈峰值,表明为有斜长石参与的堆晶岩。

玄武岩具有轻稀土较重稀土富集的特征, $\Sigma\text{REE} = 70.46 \times 10^{-6} \sim 80.03 \times 10^{-6}$, $\Sigma\text{LREE} = 44.89 \times 10^{-6} \sim 54.02 \times 10^{-6}$, $\Sigma\text{HREE} = 21.48 \times 10^{-6} \sim 26.71 \times 10^{-6}$, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE} = 1.66 \sim 2.28$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 1.70 \sim 2.38$, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 0.60 \sim 2.11$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 1.19 \sim 2.97$, δEu 为 0.71 ~ 1.05,其中 4 件样品介于 0.71 ~ 0.96,具有明显的 Eu 负异常,一件样品为 1.05,具有微弱的正异常。 δCe 为 0.53 ~ 0.91,均小于 1,为 Ce 负异常。表明轻重稀土分异不太明显,但轻稀土较重稀土略微富集。 $\delta\text{Eu} = 0.72 \sim 1.05$,平均为 0.88,总体具有微弱的负铕异常。球粒陨石标准化稀土元素配分曲线显示,稀土元素总量变化较小,呈

微弱的右倾型(图 3f),与 E-MORB 极为相似。在原始地幔标准化微量元素蛛网图上(图 3d),相对富集 Ba、K、Sr、Rb 等大离子亲石元素,高场强元素呈平坦型分布,高场强元素含量变化较小,形成“大隆起”形态,与大陆板内玄武岩和洋中脊碱性玄武岩相似(徐学义等,2003)。

3.2 锆石 U-Pb 定年

锆石反射光显示颗粒裂缝不甚发育,自形程度较好,多为短柱状、少部分呈不规则粒状。阴极发光图像较暗,颗粒多,为灰黑色,可能是 U 含量较高所致。锆石长 80 ~ 220 μm ,宽 50 ~ 120 μm ,长宽比为 3 : 1 ~ 1 : 1。CL 图像显示,大多数锆石内部结构较为清晰,发育岩浆振荡环带,且 Th/U 的值在 0.29 ~ 0.93,均大于 0.1,表现出典型的岩浆锆石特征,属于岩浆结晶的产物。其中少数锆石核部存在早期继承锆石,故在实验分析中尽量选择锆石边部。结合透射光、反射光和阴极发光选择了具有较少裂纹和包裹体的锆石进行了 26 次分析(表 2、图 4)。

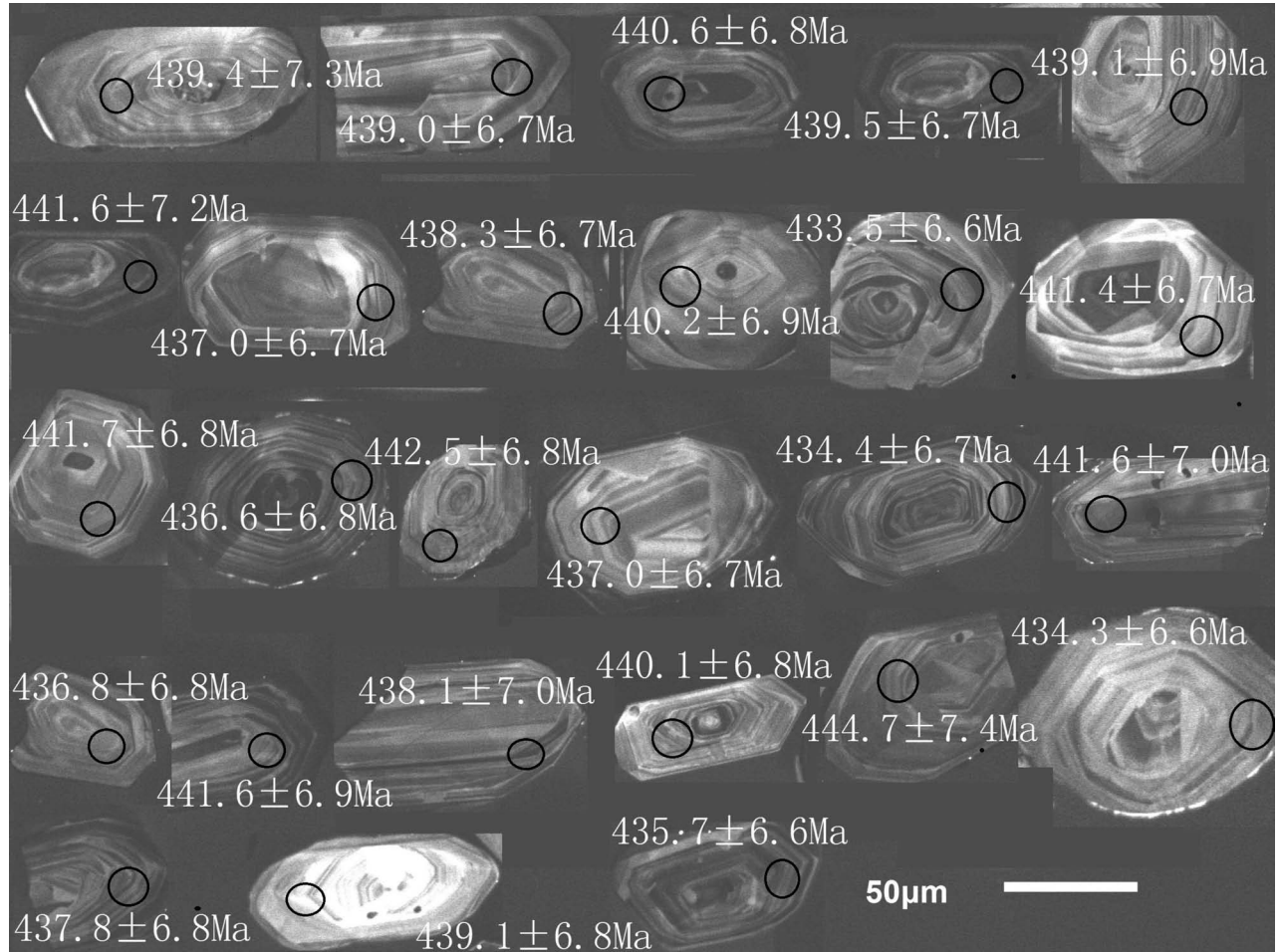


图 4 昆仑山世界地质公园哈萨山蛇绿岩中辉长岩(PM16ZR1)锆石 CL 图像
Fig. 4 CL images of the representative zircons from the Hasashan ophiolite in the Mountain Kunlun UNESCO Global Geopark

表 2 昆仑山世界地质公园哈萨山蛇绿岩中辉长岩 (PM16ZR1) 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope data of gabbro (PL56ZR1) from the Hasashan ophiolite in the Mountain Kunlun UNESCO Global Geopark

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度 (%)
	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ			
1	35	61	361	0.57	0.0580	0.0023	0.5642	0.0169	0.0705	0.0012	529.2	85.3	454.2	11	439.4	7.3	97
2	108	213	235	0.51	0.0554	0.0017	0.5388	0.0097	0.0705	0.0011	429.9	68.3	437.6	6.4	439.0	6.7	100
3	70	140	533	0.50	0.0575	0.0019	0.5612	0.0113	0.0707	0.0011	511.7	70.8	452.3	7.4	440.6	6.8	97
4	160	431	246	0.37	0.0547	0.0017	0.5322	0.0090	0.0706	0.0011	400.1	66.4	433.3	6.0	439.5	6.7	97
5	73	112	242	0.65	0.0568	0.0019	0.5516	0.0118	0.0705	0.0011	481.0	73.3	446.1	7.7	439.1	6.9	97
6	73	70	329	1.04	0.0568	0.0022	0.5549	0.0155	0.0709	0.0012	481.4	83.1	448.2	10.1	441.6	7.2	99
7	98	156	244	0.63	0.0559	0.0018	0.5406	0.0095	0.0701	0.0011	447.9	68.0	438.8	6.3	437.0	6.7	100
8	73	124	262	0.59	0.0555	0.0018	0.5386	0.0098	0.0704	0.0011	432.8	68.6	437.5	6.5	438.3	6.7	97
9	79	153	860	0.52	0.0539	0.0018	0.5250	0.0117	0.0707	0.0012	365.6	75.2	428.5	7.8	440.2	6.9	100
10	256	648	686	0.40	0.0556	0.0017	0.5332	0.0092	0.0696	0.0011	435.4	67.4	433.9	6.1	433.5	6.6	100
11	208	639	198	0.33	0.0565	0.0018	0.5523	0.0095	0.0709	0.0011	472.0	67.4	446.5	6.2	441.4	6.7	99
12	60	104	162	0.58	0.0524	0.0017	0.5128	0.0103	0.0709	0.0011	304.7	72.7	420.4	6.9	441.7	6.8	105
13	48	94	475	0.51	0.0539	0.0019	0.5207	0.0117	0.0701	0.0011	366.1	75.3	425.6	7.8	436.6	6.8	103
14	145	270	304	0.54	0.0558	0.0018	0.5465	0.0097	0.0711	0.0011	443.2	68.1	442.7	6.3	442.5	6.8	100
15	91	270	375	0.34	0.0555	0.0018	0.5366	0.0098	0.0701	0.0011	431.4	68.8	436.2	6.5	437.0	6.7	100
16	113	215	142	0.53	0.0554	0.0017	0.5322	0.0095	0.0697	0.0011	426.3	68.4	433.3	6.3	434.4	6.7	100
17	43	59	392	0.73	0.0574	0.0020	0.5615	0.0134	0.0709	0.0012	507.3	76.4	452.5	8.7	441.6	7.0	98
18	119	224	235	0.53	0.0556	0.0018	0.5376	0.0107	0.0701	0.0011	436.4	71.0	436.8	7.1	436.8	6.8	100
19	72	107	133	0.67	0.0565	0.0019	0.5522	0.0113	0.0709	0.0011	470.5	72.2	446.5	7.4	441.6	6.9	99
20	40	65	192	0.62	0.0569	0.0021	0.5514	0.0136	0.0703	0.0012	485.8	78.2	445.9	8.9	438.1	7.0	98
21	58	170	191	0.34	0.0572	0.0019	0.5570	0.0109	0.0707	0.0011	497.4	70.7	449.6	7.1	440.1	6.8	98
22	60	119	487	0.50	0.0561	0.0021	0.5654	0.0156	0.0731	0.0012	456.3	82.1	455.1	10.1	444.7	7.4	100
23	147	423	279	0.35	0.0550	0.0017	0.5288	0.0092	0.0697	0.0011	413.5	67.7	431	6.1	434.3	6.6	101
24	85	122	207	0.70	0.0568	0.0018	0.5507	0.0105	0.0703	0.0011	483.9	70.2	445.4	6.9	437.8	6.8	98
25	63	96	326	0.66	0.0545	0.0018	0.5301	0.0110	0.0705	0.0011	393.3	72.3	431.9	7.3	439.1	6.8	102
26	99	180	448	0.55	0.0557	0.0018	0.5374	0.0096	0.0699	0.0011	441.2	68.5	436.7	6.32	435.7	6.7	100

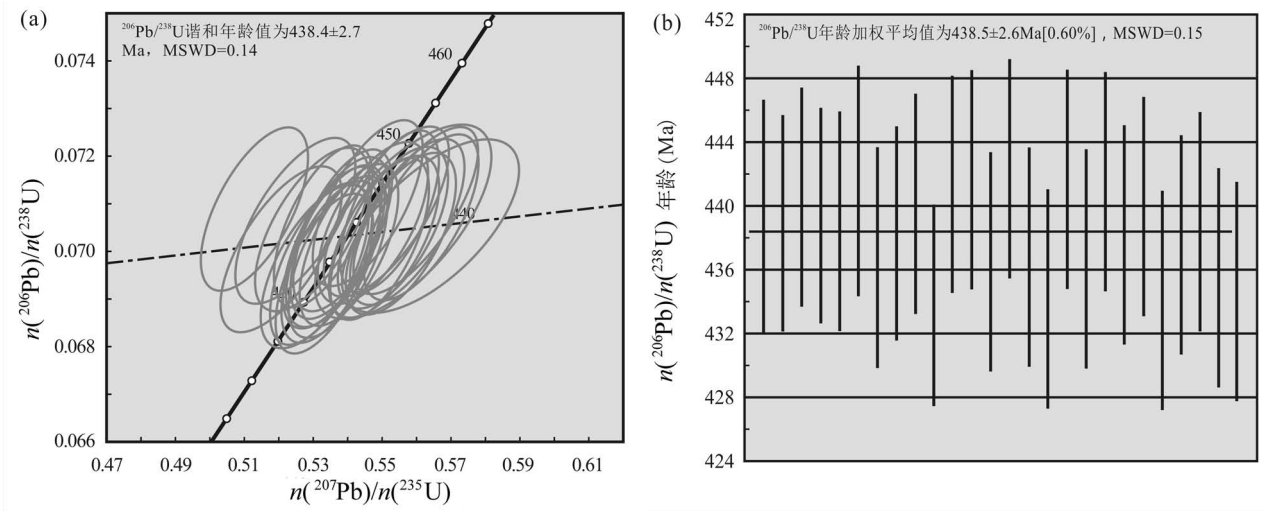


图 5 昆仑山世界地质公园哈撒山蛇绿岩中辉长岩 (PM16ZR1) 锆石 U-Pb 谐和图 (a) 和锆石年龄值 (b)

Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagram (a) and representative zircon ages (b) of gabbro (PM16ZR1) from the Hasashan ophiolite in the Mountain Kunlun UNESCO Global Geopark

在 U-Pb 谐和图上,25 组数据投影在一致曲线上或其附近,表明锆石较好的保持了 U-Pb 的封闭体系,26 个样点²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 值非常接近,约为 0.05。该类锆石为同期岩浆结晶形成。²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为 (438.5±2.6) Ma (95% 置信度,MSWD = 0.15) (图 5a、b), 加权平均年龄的误差与单个分析误差基本一致,在 U-Pb 谐和图内呈集群分布,大部分分析点都位于谐和线上或其附近,样品可信度较

高。且各测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄近于一致,该年龄值代表了辉长岩的形成年龄,表明该蛇绿岩形成于早志留世。

4 地质意义

4.1 蛇绿岩形成环境

玄武岩是蛇绿岩地球化学研究的最佳对象(张旗等,1999),更适合用来判别蛇绿岩的形成环境。

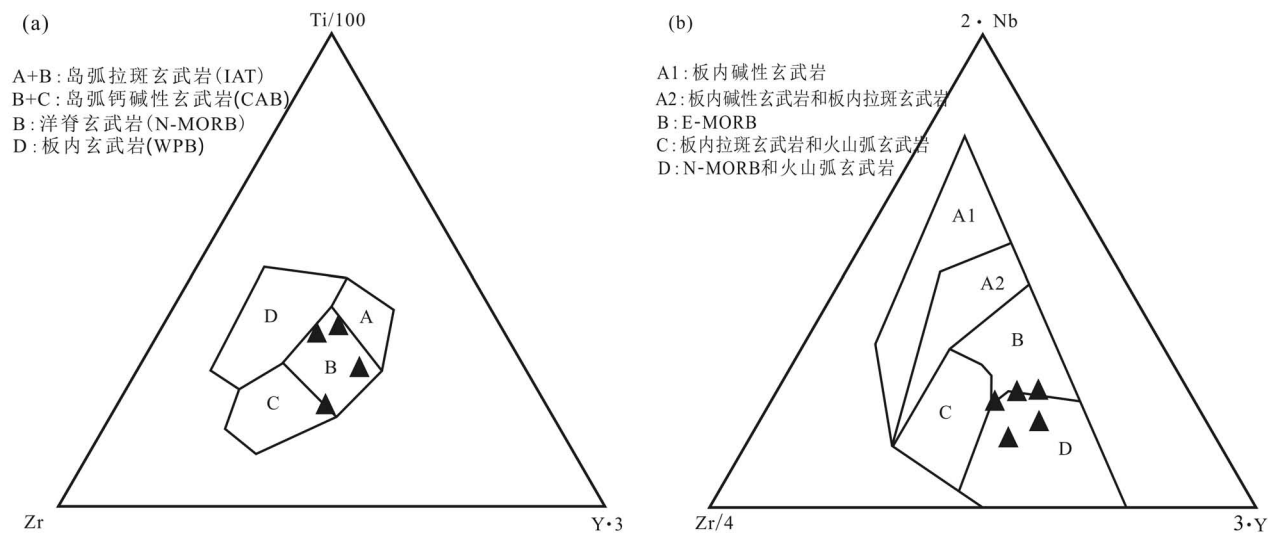


图 6 昆仑山世界地质公园哈撒山蛇绿岩中玄武岩的 Ti/100—Zr—Y×3 图解 (a, 据 Pearce et al., 1973) 和 Nb×2—Zr/4—Y×3 图解 (b, 据 Meschede, 1986)

Fig. 6 Ti/100—Zr—Y×3 diagram (a, after Pearce et al., 1973) and Nb×2—Zr/4—Y×3 diagram (b, after Meschede, 1986) of basalt from Hasashan ophiolite

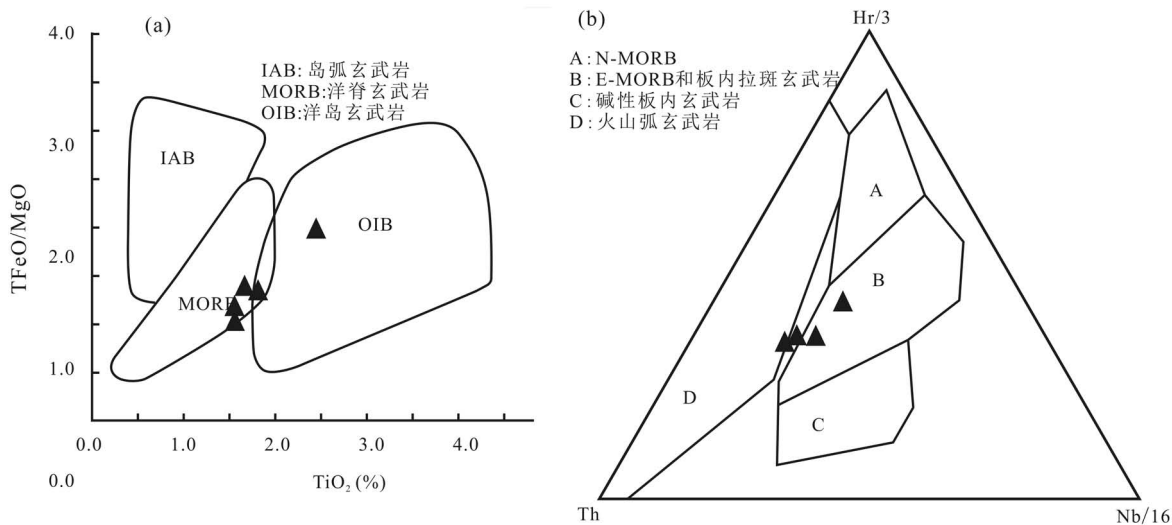


图 7 昆仑山世界地质公园哈萨山蛇绿岩中玄武岩的 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}-\text{TiO}_2$ 图解(据 Pearce et al., 1973) 和 $\text{Hf}/3-\text{Th}-\text{Nb}/16$ 图解(据 Wood, 1980)

Fig. 7 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}-\text{TiO}_2$ diagram (after Pearce et al., 1973) and $\text{Hf}/3-\text{Th}-\text{Nb}/16$ diagram (after Wood, 1980) of basalt from the Hasashan ophiolite in the Mountain Kunlun UNESCO Global Geopark

根据哈撒山蛇绿岩中玄武岩的地球化学特征,并结合构造环境判别图和区域地质资料,综合讨论哈撒山蛇绿岩的形成构造环境。

哈撒山蛇绿岩中玄武岩具有轻稀土较重稀土富集的特征,在球粒陨石标准化稀土配分图(图 3e)中,玄武岩的配分曲线与 E-MORB 一致。岩石的 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 为 0.91~1.20,5 个样品中有 4 各样品 $\text{La}_{\text{N}}/\text{Sm}_{\text{N}}$ 大于 1,一个样品比值小于 1,但接近于 1; $(\text{La}/\text{Ce})_{\text{N}}$ 为 0.97~1.41,仅有一个样品比值小于 1 并接近于 1,为 0.97,其余均大于 1,与 E-MORB $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} > 1$, $(\text{La}/\text{Ce})_{\text{N}} > 1$ 的特征大致相似,显示源区曾有少量富集地幔物质的混合作用(吴峻等, 2002,侯增谦等,1996;),各样品谱线大致平行,显示为同源岩浆,并大致平行于 E-MORB 谱线,表明相同的成因信息。在 $\text{Ti}/100-\text{Zr}-\text{Y} \times 3$ 图解(图 6a)中,样品点大部分都落入 B 区,即洋脊玄武岩区域内;在 $\text{Nb} \times 2-\text{Zr}/4-\text{Y} \times 3$ 构造环境判别图解(图 6b)中,样品点亦落入 B 区和 D 区,即 E-MORB 和 N-MORB 及火山弧玄武岩区域,表明具有向火山弧玄武岩地球化学性质过渡的趋势;在 $\text{TiO}_2-\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ 图解(图 7a)中,样品点主要落入洋脊玄武岩,另外有一个样品落入洋岛玄武岩区域内,具有向洋岛玄武岩过渡的趋势,暗示其岩浆可能起源于富集地幔;在 $\text{Hf}/3-\text{Th}-\text{Nb}/16$ 图解(图 7b)中,

样品点大部分都落入 B 区,即 E-MORB 范围内;在 V—Ti 图解(图 8)中,样品点主体投于洋中脊玄武岩区域内,并具有向洋岛玄武岩和大陆溢流玄武岩过渡的趋势,大陆溢流玄武岩为洋盆形成的初始过程提供了重要的地质证据(周鼎武等, 1997),代表了地质历史时期的初始小洋盆特征。

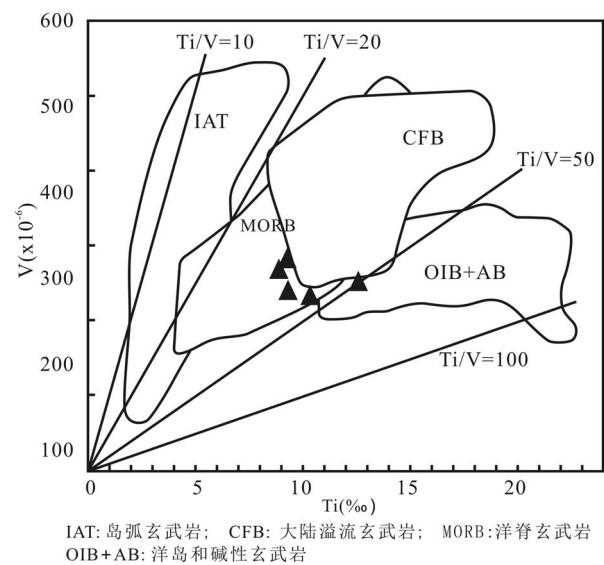


图 8 昆仑山世界地质公园哈萨山蛇绿岩中玄武岩的 V—Ti 图解(据 Shervais, 1982)
Fig. 8 V—Ti diagram (after reference Shervais, 1982) of basalt from the Hasashan ophiolite

上述地球化学特征表明哈撒山蛇绿岩中玄武岩主要为 E-MORB 特征,具有洋中脊向洋岛过渡的特征,其形成的构造环境应属初始小洋盆环境。

4.2 形成时代及构造意义

新元古代末期,受控于 Rodinia 超大陆裂解事件下的全球统一构造和动力学机制,东昆仑地区整体处于离散状态。东昆仑金水口南形成于大陆裂谷环境的变余辉长岩(796±41 Ma,任军虎等,2001)、小庙地区形成于大陆拉张带或裂谷初期环境的基性岩脉(733.6±6.6 Ma,任军虎等,2010)就是对 Rodinia 超大陆裂解事件的响应,表明至少从 796±41 Ma 开始,东昆仑地区已经开始裂解(祁晓鹏等,2016)。在裂解的基础上,晚震旦世—寒武纪纽芬兰世在布青山—阿尼玛卿一带已形成一定规模的原特提斯洋洋壳(魏博,2015),形成了以苦海地区洋岛型辉长岩(555±9 Ma)、长石山 SSZ 型蛇绿岩蛇绿岩(537.2±3.5 Ma,祁晓鹏等,2016)、布青山地区得力斯坦 MOR 型蛇绿岩(516.4±6.3 Ma,刘战庆,2011)等,表现出了洋壳的特征。寒武纪第二世—中奥陶世,主洋盆向北俯冲消减,局部形成小洋盆(魏博,2015),持续拉张形成了清水泉蛇绿岩、塔妥蛇绿岩、曲什昂蛇绿岩等洋壳物质,代表了弧后洋盆的持续扩张。分布于东昆仑东段的纳赤台岩群为一套变沉积—火山岩,其变基性火山岩的锆石 U-Pb 年龄为 474.0±7.9 Ma,形成环境为弧后盆地,也很好地印证了东昆仑地区原特提斯洋洋壳向北俯冲导致的弧后扩张作用(陈有炘,2013)。马延虎等认为该地区早寒武世地壳沉陷形成温泉沟陆缘海盆,中奥陶世陆缘海盆进一步扩张形成以万保沟蛇绿岩为代表初始小洋盆,晚奥陶纪发生洋陆转换,由南向北俯冲消减^②。本文研究的哈萨山蛇绿岩中辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为 438.5±2.6 Ma,为早志留世早期,蛇绿岩形成环境为初始小洋盆环境,表明在 438 Ma 左右,原特提斯洋向北俯冲,导致东昆中哈萨山一带已出现弧后拉张的小洋盆,蛇绿岩形成于洋陆转换早期,可能为是原特提斯洋洋壳的残迹。下三叠统洪水川组(T₃h)紫红色磨拉石建造角度不整合覆盖于蛇绿岩带之上,代表了蛇绿岩套的时代上限,标志着洋陆转换结束,研究区进入陆内环境。

5 结论

(1) 锆石 U-Pb 测年结果表明,哈撒山辉长岩结晶年龄为 438.5±2.6 Ma,代表了哈撒山蛇绿岩形成时代为早志留世。

(2) 哈萨山地球化学特征表明哈撒山蛇绿岩中玄武岩主要为 E-MORB 特征,具有洋中脊向洋岛过渡的特征,其形成的构造环境应属的初始小洋盆环境。

(3) 哈萨山蛇绿岩可能为是原特提斯洋洋壳的残迹,形成于洋陆转换早期。

注 释 / Notes

- ① 四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队.2015.中国青海昆仑山世界地质公园规划(2016~2025)
- ② 青海省地调院.2003.1:5 万没草沟幅(146E001017)区域地质调查说明书.

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)

陈有炘,裴先治,李瑞保,李佐臣,裴磊,刘成军,杨杰.2013.东昆仑东段纳赤台岩群变火山岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义.地质前缘,20(6):240~254.

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.2015.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.

郭宪璞,王乃文,丁孝忠,王大宁,赵民.2007.东昆仑万宝沟岩群基质地层中发现白垩纪孢粉组合.地质通报,26(12):2612.

侯增谦,莫宣学,朱勤文,沈上越.1996.“三江”古特提斯地幔热柱—洋岛玄武岩证据.地球学报,17(4):343~361.

侯增谦,莫宣学,朱勤文,沈上越.1996.“三江”古特提斯地幔热柱—洋中脊玄武岩证据.地球学报,17(4):362~375.

姜春发,杨经绥,冯秉贵.1992.昆仑开合构造.北京:地质出版社:1~224.

李荣社,计文化,赵振明,陈守建,孟勇,于浦生,潘小平.2007.昆仑早古生代造山带研究进展.地质通报,26(4):373~382.

刘战庆,裴先治,李瑞保,李佐臣,张晓飞,刘智刚,陈国超,陈有炘,丁仁平,郭俊锋.2011.东昆仑南缘阿尼玛卿构造带布青山地区两期蛇绿岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造意义.地质学报,85(2):185~194.

潘裕生,周伟明,许荣华,王东安,张玉泉,谢应雯.1996.昆仑山早古生代地质特征与演化中国科学(D 辑),26(4):302~307.

祁晓鹏,杨杰,范显刚,崔建堂,蔡振锋,曾献文,魏伟,屈小相,翟黎明.2016.东昆仑东段东昆中构造混杂岩带长石山蛇绿岩年代学、地球化学特征及其构造意义.中国地质,43(3):797~816.

任军虎,柳益群,周鼎武,冯乔,张琨,董忠良,秦萍莉.2010.东昆仑小庙基性岩脉地球化学及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年.吉林大学学报(地球科学版),40(4):859~868.

任军虎,张琨,柳益群,周鼎武,冯乔.2011.东昆仑金水口南变余辉长岩地球化学及锆石定年.西北大学学报(自然科学),41(1):100~106.

王国灿,张天平,梁斌,陈能松,朱云海,朱杰,拜云山.1999.东昆仑造山带东段昆中复合蛇绿混杂岩带及“东昆中断裂带”地质含义.地球科学,24(2):129~133.

王国灿,王青海,简平,朱云海.2004.东昆仑前寒武纪基底变质岩系的锆石 SHRIMP 年龄及其构造意义.地质前缘,11(4):481~490.

魏博.2015.东昆中构造带(东段)蛇绿岩与岛弧型侵入岩地质特征及构造熟悉研究.导师:裴先治.西安:长安大学硕士学位论文:1~

- 132
- 袁峻,兰朝利,李继亮,俞良军.2002.阿尔金红柳沟蛇绿混杂岩中 MORB 与 oIB 组合的地球化学证据.岩石矿物学杂志,21(1):24~30.
- 徐学义,马中平,李向民,何世平,杨军录.2003.西南天山吉根地区 P. MORB 残片的发现及其构造意义.岩石矿物学杂志,22(3):245~253.
- 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.
- 张旗,钱青,王焰,贾秀琴,韩松.1999.蛇绿岩的地球化学研究.地质论评,45(增刊):101~345.
- 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:1~278.
- 周鼎武,张成立,刘良.1997.大陆造山带古洋盆恢复的有关问题讨论.西北大学学报(自然科学版),27(5):185~194.
- Andersen T.2002.Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . Chem. Geol., 192:59~79.
- Boynton W V.1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier: 63~114.
- Chen Youxin, Pei Xianzhi, Li Ruibao, Li Zuochen, Pei Lei, Liu Chengjun, Yang Jie. 2013&. Zircon U-Pb age, geochemical characteristics and tectonic significance of metavolcanic rocks from Naij Tal Group, east section of East Kunlun. Earth Science Frontiers, 20(6): 240~254.
- Coleman R G.1977. Ophiolite: Ancient Oceanic Lithosphere? New York: Springer Verlag Berlin Heidelberg,1~229.
- 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.
- Guo Xianpu, Wang Naiwen, Ding Xiaozhong, Wang Daning, Zhao Min. 2007&. Discovery of the Cretaceous sporopollen assemblage in the matrix strata of the Wanbaogou Group—complex in the East Kunlun orogenic belt. Geological Bulletin of China, 26(12):1612.
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Zhu Qinwen, Shen Shangyue.1996&. The "three rivers" ancient tethatis mantle plume—evidence of the mid-ocean ridge basalt. Acta Geoscientia Sinica, 17(4): 343~361.
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Zhu Qinwen, Shen Shangyue.1996&. The "Three rivers" ancient tethatis mantle plume—evidence of oceanic basalt. Acta Geoscientia Sinica, 17(4): 343~361.
- Irvine T N, Baragar W R A.1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., 8:523~548.
- Jiang Chunfa, Yang Jingsui, Feng Binggui. 1992 #. Opening—closing tectonics of Kunlun. Beijing: Geological Publishing House: 1~224.
- Li Rongshe, Ji Wenhua, Zhao Zhenming, Chen Shoujian, Meng Yong, Yu Pusheng, Pan Xiaoping. 2007&. Progress in the study of the Early Paleozoic Kunlun orogenic belt. Geological Bulletin of China, 26(4):373~382.
- Liu Zhanqing, Pei Xianzhi, Li Ruibao, Li Zuochen, Zhang Xiaofei, Liu Zhigang, Chen Guochao, Chen Youxin, Ding Saping, Guo Junfeng. 2011&. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of the two suites of ophiolites at the Buqingshan area of the A'nyemaqen orogenic belt in the southern margin of East Kunlun and its tectonic implication. Acta Geological Sinica, 85(2): 185~194.
- Ludwig K R.2003. Users Manual for Isoplot 3.00. Berkeley Geochronology Center Special Publication, (4):46.
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb—Zr—Y diagram. Chemical Geology, 56(3): 207~218.
- Pan Yusheng, Zhou Weiming, Xu Ronghua, Wang Dongan, Zhang Yuquan, Xie Yingwen. 1996&. Geological features and evolution of Early Paleozoic in Kunlun orogenic belt. Science in China (Series D), 26(4):302~307.
- Pearce J A, Cann J R.1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth and Planetary Science Letters, 19(2): 290~300.
- Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. 1984. Characteristics and tectonic significance of supra- subduction zone ophiolites. In: Kokelaar B P, Howells M F. eds. Marginal Basin Geology. Geological Society of London Special Publication, 16(1): 77~94.
- Pearce J A, Gale G H. 1977. Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks. Geological Society, London, Special Publication, 7: 14~24.
- Pearce T H. 1975. The $\text{TiO}_2\text{—K}_2\text{O—P}_2\text{O}_5$ Diagram a method of discriminating between oceanic and nonoceanic basalt. Earth planet. Sci. Lett., 24:419~426.
- Qi Xiaopeng, Yang Jie, Fan Xiangang, Cui Jiantang, Cai Zhenfeng, Zeng Xianwen, WEI Wei, Qu Xiaoxiang, Zhai Liming. 2016&. Age, geochemical characteristics and tectonic significance of Changshishan ophiolite in central East Kunlun tectonic melange belt along the east section of East Kunlun Mountains. Geology in China, 43(3): 797~816.
- Ren Junhu, Liu Yiqun, Zhou Dingwu, Feng Qiao, Zhang Kun, Dong Zhongliang, Qin Pingli. 2010&. Geochemical characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of basic dykes in the Xiaomiao area, Eastern Kunlun. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 40(4): 859~868.
- Ren Junhu, Zhang Kun, Liu Yiqun, Zhou Dingwu, Feng Qiao. 2011&. Geochemical characteristics and zircon dating of blasto-gabbro from the South Jinshuikou area, Eastern Kunlun. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 41(1): 100~106.
- Shervais J W. 1982. Ti—V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. Earth and Planetary Science Letters, 31:457~484.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J. eds. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society London Special Publications, 42(1): 313~345.
- Wang Guocan, Zhang Tianping, Liang Bin, Chen Nengsong, Zhu Yunhai, Zhu Jie, Bai Yunshan. 1999&. Composite ophiolitic melange zone in central part of eastern section of eastern Kunlun orogenic zone and geological significance of "fault belt in central part of eastern section of eastern Kunlun orogenic zone. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 24(2): 129~133.
- Wang Guocan, Wang Qinghai, Jian Pin, Zhu Yunhai. 2014&. Zircon SHRIM P ages of Precambrian metamorphic basement rocks and their tectonic significance in the eastern Kunlun Mountains. Earth Science Frontiers, 11(4): 481~490.
- Wei Bo. 2015&. Study on the Geological and Tectonic Attribute of the Ophiolite and Island-arc-type Igneous Rocks, Central Belt of East Kunlun (Eastern Section). Supervisor: Pei Xianzhi. Xi'an: Chang'an University master's thesis.
- Wood D A. 1980. The application of a Th—Hf—Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. Earth and Planetary Science Letters, 50(1): 11~30.
- Wu Jun, Lan Chaoli, Li Jiliang, Yu Liangjun. 2002&. Geochemical evidence of MORB and OIB combination in Hongliugou ophiolite

melanges, Altun fault belt. *Acta Petrologica et Mineralogica* . 21 (1) : 24~30.

Xu Xueyi, Ma Zhongping, Li Xiangmin, He Shiping, Yang Junlu. 2003. The discovery of P-MORB in Jigen area of southwest Tianshan Mountains and its tectonic implications. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22(3) : 245~253.

Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, Liu Xiaoming, Xu Ping, Sun Deyou. 2003. New generation intrusion in the northeast of zircon laser probe U-Pb dating and rare earth elements analysis. *Chinese Science Bulletin*, 48(14) : 1511~1520.

Zhang Qi, Qian Qing, Wang Yan, Jia Xiuqin, Han Song. 1999. Geochemistry of ophiolites. *Geological Review*, 45 (Supp.) : 101~345.

Zhang Xueting, Yang Shengde, Yang Zhanjun. 2007. Introduction to regional geology of qinghai province. Beijing: Geological Publishing House; 1~278.

Zhou Dingwu, Zhang Chengli, Liu Liang. 1997. A Discussion on the Problems About the Reconstruction of a Ancient Ocean Basin in a Continental or orogenic Belt. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 27(5) : 185~194.

Age and Geochemical Characteristics of the Hasashan Ophiolite in the Mountain Kunlun UNESCO Global Geopark

SHEN Hongjiang, YANG Lin, QIN Shuang, SONG Wei, QIN Yongchao, NING Mengmeng
Regional Geological Surveying Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Chengdu, 610213

Objectives: The Hasashan ophiolite is located in the middle of suture belt in central East Kunlun, which is one of the three core geological relics of the Mt. Kunlun UNESCO Global Geopark, The combination of ophiolite is relatively complete, but the times and tectonic attributes of the ophiolite in this area are still controversial, and lack of dating data, which leads to various understandings of the tectonic setting and evolution history of the region.

Methods: On the basis of detailed field geological surveys and microscopic observations, we chose to collect fresh gabbro samples from the ophiolite in Hasashan for zircon U-Pb isotopic age analysis. And systematically collected fresh ophiolite components for Petrogeochemical analysis. this paper combines the occurrence of the zircon U-Pb age and the main trace elements in the field to investigate the formation age and tectonic setting of the ophiolite. This study provides basic geological data for identifying the Kunlun Suture Zone and studying on the formation and evolution of the East Kunlun Orogenic Belt .

Results: The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the gabbro in cumulate ophiolite shows that the age is 438.5 ± 2.6 Ma, which indicates that the ophiolite was formed in the Early Silurian; Detailed petrogeochemical studies show that the protolith of serpentines is peridotite and the total amount of rare earth elements of serpentine is lower, with a right oblique distribution curve. Gabbro showed that the light rare earth has a higher concentration of heavy rare earth with varying degrees of Eu anomalies. The distribution curve is more gentle with slightly to the right. The light rare earth of basalt is relatively higher than heavy rare earth. And it shows systematic enrichment of LILE, there are obvious Eu negative anomalies, no differences of HFSE and slight depletion of Nb and P. Each sample distribution curve is roughly parallel to the E-MORB line, which suggests that the magma is homologous magma. It has features of E-MORB and the mid-ocean ridge transition to the island; the formation of the tectonic environment should be the initial small ocean basin environment, may be the original Proto-Tethys Ocean crust, formed in the early stage of the land conversion.

Keywords: Mt. Kunlun UNESCO Global Geopark; ophiolite belt; zircon U-Pb dating; E-MORB; initial small ocean basin

Acknowledgements: This article is preliminary research achievement of project entrusted by Qinghai golmu National geological park service in 2016

First author: SHEN Hongjiang, male, born in 1988, engineer, mainly engaged in regional geology survey, geological relic investigation and evaluation work. Email: 237488543@qq.com

Manuscript received on: 2017-09-30; Accepted on: 2018-05-31; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2018.04.014