

# 东昆仑造山带早古生代火山岩锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义\*

朱云海<sup>①\*\*</sup> 林启祥<sup>①</sup> 贾春兴<sup>②</sup> 王国灿<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> 中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074; <sup>②</sup> 青海省地质调查院, 西宁 800003)

**摘要** 东昆仑造山带诺木洪地区早古生代火山岩以玄武岩岩片和变火山岩岩片形式存在, 对两种岩片中锆石的 SHRIMP U-Pb 定年结果表明, 玄武岩岩片的形成年龄为(419 ± 5) Ma, 变火山岩岩片的形成年龄为(401 ± 6) Ma, 证明在东昆仑地区存在早古生代的洋陆转换, 其中玄武岩岩片代表大洋拉张的中脊环境, 而变火山岩岩片则代表挤压的俯冲碰撞环境. 火山岩中继承锆石的年龄 1734 Ma 反映了东昆仑的基底可能为中元古代.

**关键词** 火山岩 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 早古生代 东昆仑造山带

近年来大量的实际资料证明东昆仑造山带乃是中国中央造山带为复杂的造山带, 经历了多旋回的造山带演化<sup>[1-7]</sup>. 不同造山旋回均在物质成分上留下了印迹, 表现为在同一造山带内部形成多期蛇绿岩<sup>[4-6]</sup>及各种类型的岩浆活动产物. 在东昆仑造山带东段的诺木洪地区出露一套浅变质的火山岩, 其形成时代一直存在争议. 初步研究显示, 该套火山岩由两类不同的岩片组成, 即玄武岩岩片和变火山岩岩片. 两种岩片中的火山岩在物质成分上存在明显的差异; 同时该套火山岩与变橄榄岩、辉石岩和硅质岩密切共生, 组成较典型的蛇绿岩组合. 显然, 该套火山岩年代的确定, 对于揭示东昆仑造山带早期洋

陆转换过程和构造演化历史具有重要意义. 本文报道这两套岩片的高精度锆石离子探针(SHRIMP)定年的结果并探讨年龄的地质意义.

## 1 地质背景

诺木洪地区早古生代火山岩广泛出露于东昆中构造混杂岩带和东昆南早古生代构造混杂岩带内(图 1). 由于化石较少, 故该套火山岩地层的时代尚存争议, 从早石炭世哈拉郭勒群到新元古代万保沟群<sup>[7-11]</sup>. 前人多认为该套岩石组合为一具有上下关系的连续地层, 并把该地层从下到上分成 4 到 5 个组(如下碎屑岩组、火山岩组、上碎屑岩组、碳酸盐岩组等). 作者

2004-08-24 收稿, 2005-03-06 收修改稿

\* 高等学校全国优秀博士论文作者专项资金项目(批准号: 200228)、中国地质调查局 1:25 万阿拉克湖幅区域地质调查项目(19991300004021)和 1:25 万民和县幅数字地质填图项目(200213000016)资助

\*\* E-mail: [yhzhu@cug.edu.cn](mailto:yhzhu@cug.edu.cn)



据灰岩中的微古植物化石和白云岩中叠层石化石及火山岩的 Sm-Nd 全岩等时线年龄((884±38) Ma), 把该套地层的时代定为中新元古代. 地科院中法队在万保沟附近于万保沟群上部炭质页岩中发现小壳类化石<sup>[7]</sup>, 并测得块状玄武岩的 Rb-Sr 等时线年龄为(667±21) Ma, 从而把万保沟群火山岩的时代定为晚震旦-寒武纪.

通过地球化学成分的对比我们发现诺木洪地区火山岩与万保沟地区火山岩存在明显差异. 万保沟地区万保沟群玄武岩的 SiO<sub>2</sub> 大多在 47%~51%之间, 具高 Ti 特征(TiO<sub>2</sub> 大多在 3%~4%之间, 少数在 1.6%~3%), 反映其构造环境具板内特点<sup>[7]</sup>. 而诺木洪地区玄武岩岩片中玄武岩为低 Ti(TiO<sub>2</sub>=0.73%~1.33%, 平均 1.16%); 变火山岩岩片中玄武岩 TiO<sub>2</sub>=0.37%~1.61%, 平均 0.80%(表 1). 与万保沟地区万保沟群火山岩在物质成分上有很大差异. 为了解决该套火山岩的时代问题, 我们从结晶较粗的玄武岩中分选出锆石, 并用锆石 SHRIMP U-Pb 定年技术进行了测年, 获得了有重要意义的结果.

## 2 样品及分析方法

### 2.1 样品制备

对玄武岩岩片, 作者选择 AP9 剖面中 AP<sub>9</sub>Bb3-3 玄武岩. 对于变火山岩岩片我们选择 AP<sub>12</sub>Bb16-1 玄武岩. 锆石用常规方法分选, 最后在双目镜下挑纯. 将锆石与锆石标准样 SL13 及数粒 TEM 置于环氧树脂中, 然后抛磨至约一半以揭露锆石内部, 用于背散射电子图像和阴极发光电子图像研究及随后的 SHRIMP U-Pb 分析. 锆石背散射电子图像和阴极发光电子图像研究在中国地质科学院矿床地质研究所电子探针研究室完成.

### 2.2 锆石特征

纳赤台群玄武岩锆石 CL 图像见图 2. 从图中可以看出, AP<sub>9</sub>Bb3-3 样品中锆石大小不均匀, 从 50~200 μm. AP<sub>12</sub>Bb16-1 样品锆石粒度均匀, 一般 150~200 μm. 大部分锆石颗粒为自形晶, 具韵律型生长环带, 可见光性随生长环带变化的特点, 且能见到规则的生长纹和个体较大的暗色包裹体, 为岩浆结晶锆石,

少数颗粒结晶较好, 不见环带及裂隙, 为变质新生锆石, 部分颗粒外形不整, 环带可见, 为继承锆石<sup>[12,13]</sup>.

### 2.3 测试方法

锆石 SHRIMP U-Pb 分析在中国地质科学院 SHRIMP II 上完成, 详细分析流程和原理参考文献 [14,15]. 分析时, 采用跳峰扫描, 记录 <sup>206</sup>Pb<sup>+</sup>, Zr<sub>2</sub>O<sup>+</sup>, <sup>204</sup>Pb<sup>+</sup>, <sup>207</sup>Pb<sup>+</sup>, <sup>208</sup>Pb, U<sup>+</sup>, Th<sup>+</sup>, ThO<sup>+</sup>和 UO<sup>+</sup> 九个离子束峰, 每 7 次扫描记录一次平均值. 一次离子为约 4.5 nA, 10 kV 的 O<sup>-2</sup>, 靶径约 25~30 μm. 质量分辨率约 5400(1%峰高). 应用 RSES 参考锆石进行元素间的分馏校正(interelement fractionation), 即用 SL13(572 Ma, U=238 μg/g)作初次校正, TEM(417 Ma)作二次校正. 测定的 TEM 标准重现性为 2%. 数据处理采用 Ludwig SQUID1.0<sup>[16]</sup>及 ISOPLLOT<sup>[17]</sup>程序. 年龄计算常数采用 IUGS(1977)推荐值<sup>[18]</sup>. 表 2 中列出的误差均为 1σ. 加权平均年龄具 95%的置信度.

## 3 分析结果和解释

表 2 列出了 AP<sub>9</sub>Bb3-3 和 AP<sub>12</sub>Bb16-1 的 SHRIMP 分析结果. AP<sub>9</sub>Bb3-3 的测定年龄值标于 CL 图像(图 2(a)~(e))中, AP<sub>12</sub>Bb16-1 的测定年龄值标于 CL 图像(图 2(f))中.

### 3.1 玄武岩岩片(样品号: AP<sub>9</sub>Bb3-3)

AP<sub>9</sub>Bb3-3 锆石主要以岩浆结晶锆石为主, 有少量继承锆石和变质新生锆石. 图 2(b)中 1 号锆石为继承锆石, 其 Th/U 比值较高, 为 0.74, 锆石 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为 1734 Ma. 图 2(c)中 7 号锆石也为继承锆石, Th/U 比值较低, 为 0.17, 其锆石 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为 930 Ma. 图 2(b)中 2 和 5 号锆石较自形, 核心构造、环带构造、裂隙不见, 显示出变质新生锆石的特征<sup>[11]</sup>. 其锆石的 Th/U 比值较高, 为 0.67~1.00, 平均 0.80, 获得的锆石 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄值较小, 为(249~264) Ma, 平均年龄 257 Ma. 其余的 11 个锆石颗粒为岩浆结晶锆石, U 和 Th 含量不高(U=58~322 μg/g; Th=22~146 μg/g), 但 Th/U 比值相近(Th/U=0.36~0.56, 平均 0.45), 大部分锆石发育韵律环带, 清楚地指示了其岩浆成因. 这些锆石的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为 405~436 Ma, 11 个

表 1 诺木洪地区早古生代玄武岩地球化学分析结果

样品号	AP <sub>9</sub> Bb 3-3	AP <sub>9</sub> Bb 4-1	AP <sub>9</sub> Bb 6-1	AP <sub>9</sub> Bb 8-1	AP <sub>9</sub> Bb 9-1	AP <sub>9</sub> Bb 13-1	AP <sub>9</sub> Bb 15-1	AP <sub>9</sub> Bb 17-1	AP <sub>9</sub> Bb 26-1	AP <sub>12</sub> Bb 13-2	AP <sub>12</sub> Bb 16-1	AP <sub>12</sub> Bb 37-1	AP <sub>12</sub> Bb 49-1	AP <sub>12</sub> Bb 68-2
SiO <sub>2</sub>	51.14	48.80	48.06	50.42	48.61	48.60	49.07	48.59	47.76	48.54	46.75	49.28	50.54	47.89
TiO <sub>2</sub>	1.12	1.00	1.05	1.09	1.06	1.21	1.00	1.33	0.73	0.84	0.42	1.23	0.70	0.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.61	13.46	13.45	12.23	13.39	13.53	14.06	13.43	11.52	16.37	9.6	16.02	19.31	18.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.27	3.94	1.96	2.40	1.88	2.61	1.62	2.67	3.59	1.40	4.01	1.75	0.78	1.31
FeO	9.18	7.77	9.53	9.07	8.68	10.20	9.35	10.58	5.08	7.35	5.15	6.58	9.02	9.58
MnO	0.18	0.19	0.20	0.18	0.19	0.23	0.19	0.22	0.14	0.15	0.17	0.15	0.12	0.18
MgO	5.48	8.04	8.13	7.39	7.41	6.87	7.65	7.34	4.41	7.68	11.01	7.55	3.86	6.14
CaO	10.53	10.44	8.97	10.23	12.57	11.41	12.58	9.03	18.38	8.33	13.97	9.14	2.89	2.98
Na <sub>2</sub> O	3.19	2.78	2.90	3.81	2.65	2.30	2.06	2.56	4.04	3.71	2.17	2.61	5.68	4.01
K <sub>2</sub> O	0.21	0.44	0.22	0.05	0.30	0.37	0.19	0.95	0.11	0.83	0.69	1.94	0.94	1.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.08	0.12	0.06	0.19	0.13	0.20	0.16	0.26
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2.48	2.71	3.40	2.40	2.76	2.30	1.88	2.48	2.26	3.72	2.19	2.93	4.13	5.29
CO <sub>2</sub>	1.93	0.11	1.81	0.34	0.19	0.04	0.07	0.11	1.71	0.41	3.40	0.37	1.68	1.68
Σ	99.43	99.78	99.78	99.71	99.79	99.78	99.80	99.41	99.79	99.52	99.66	99.75	99.81	99.76
La	4.31	3.49	3.87	5.35	3.81	3.99	3.19	4.47	2.52	13.11	11.95	16.55	9.55	62.18
Ce	10.91	8.16	8.41	10.83	9.26	9.04	7.51	12.32	5.80	29.79	26.47	38.47	19.22	123.50
Pr	1.61	1.34	1.36	1.53	1.37	1.51	1.31	1.74	0.99	3.45	3.63	5.07	2.48	14.98
Nd	7.29	6.34	6.19	6.84	6.36	7.09	5.42	8.33	4.22	14.43	13.9	20	10.76	55.25
Sm	1.92	1.73	1.72	1.83	1.61	1.87	1.56	2.24	1.43	3.18	2.78	4.2	2.13	7.89
Eu	0.88	0.83	0.83	0.83	0.86	1.04	0.81	1.11	0.62	1.07	0.80	1.42	0.70	2.36
Gd	2.86	2.73	2.76	2.86	2.78	2.94	2.50	3.63	2.15	3.33	2.26	4.45	2.54	5.33
Tb	0.48	0.48	0.46	0.51	0.46	0.51	0.44	0.59	0.36	0.52	0.30	0.65	0.38	0.65
Dy	3.16	3.33	3.14	3.36	3.18	3.48	2.96	4.09	2.48	3.25	2.72	3.97	2.58	3.12
Ho	0.62	0.66	0.64	0.67	0.62	0.68	0.60	0.82	0.47	0.65	0.31	0.75	0.49	0.59
Er	1.80	1.93	1.83	2.00	1.76	1.99	1.60	2.40	1.40	1.99	0.84	2.07	1.56	1.42
Tm	0.29	0.30	0.30	0.32	0.27	0.31	0.27	0.38	0.22	0.31	0.14	0.31	0.24	0.21
Yb	1.73	1.91	1.91	2.03	1.72	1.93	1.67	2.40	1.39	1.95	0.83	1.98	1.66	1.30
Lu	0.28	0.31	0.30	0.32	0.28	0.32	0.28	0.38	0.21	0.30	0.13	0.30	0.24	0.19
Y	16.75	17.34	17.29	17.91	16.15	18.31	15.26	22.34	13.23	18.35	8.31	20.65	12.56	13.85
Co	35.2	46.0	45.2	44.2	40.0	45.5	42.3	45.1	37.3	28.5	56	32.4	20	45.6
Ni	71.4	103.2	93.9	84.1	99.3	83.6	79.7	71.2	136.5	102.6	248	40.8	8.7	28.9
Cu	138.4	136.7	134	119.7	147.8	147	136.6	167	86.7	47	24.7	30	138.7	101.7
Cr	174.4	238.6	201.9	158.9	220.2	110.4	127.6	121.6	264	240.8	946.1	185.7	19.1	17.5
Sr	196	225	244	89	273	207	152	176	266	594	401	446	246	196
Rb	11.4	26	11.2	3	21.7	27	9.8	83.7	3.4	31.6	24.9	117.6	17.4	27.6
Hf	2.3	2.1	2.2	2	2.3	2.5	1.8	2.9	2	2.2	1.8	3.6	2	2.8
Zr	78.4	72.2	69.7	80.4	71.3	85.2	73	92.7	51.3	69.4	62.7	126.9	48.3	74.1
Nb	4.1	4.4	4.3	4.4	4.2	4.8	4.2	5.3	3.9	5.1	5.2	6.9	3.1	4.1
Th	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.5	0.5	0.5	2.5	2.6	6.5	0.7	14.1
Pb	14	14.1	19.4	13.1	17	14.6	10.9	35.8	13.7	13.3	21.4	30	2.2	16.4
Ta	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ba	137	174	120	45	124	154	65	174	108	606	595	545	221	407

测试单位: 湖北省地质实验研究中心, 其中 AP<sub>9</sub> 剖面为玄武岩片, AP<sub>12</sub> 剖面为变火山岩岩片

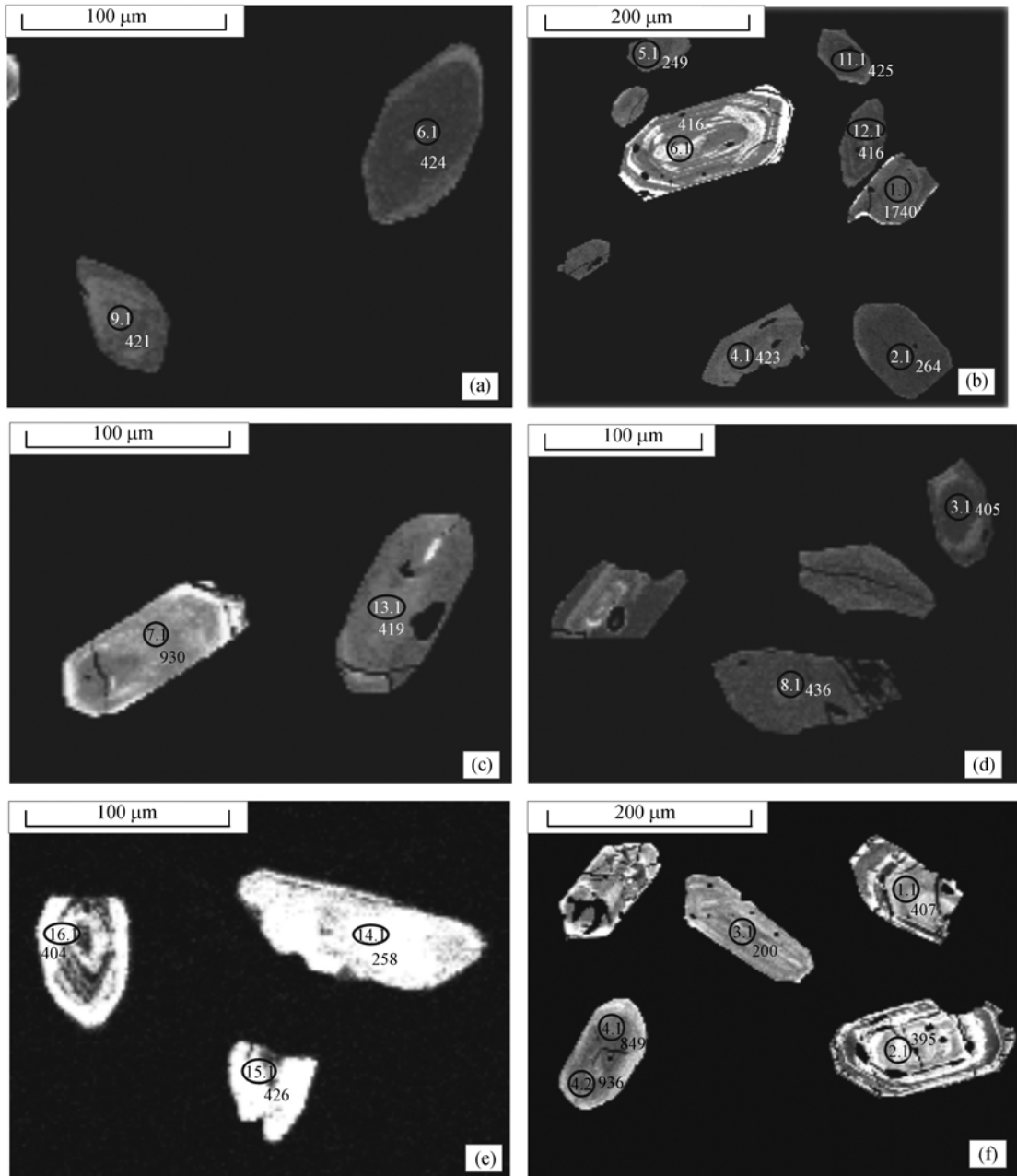


图 2 东昆仑早古生代火山岩锆石 CL 图像  
(a)~(e)为 AP<sub>9</sub>Bb3-3; (f) 为 AP<sub>12</sub>Bb16-1; 图中所标数值分别为分析号及  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄(Ma)

点在谐和图中(图 3)成群分布, 其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄的加权平均值为  $(419 \pm 5)$  Ma.

### 3.2 变火山岩岩片(样品号: AP<sub>12</sub>Bb16-1)

AP<sub>12</sub>Bb16-1 锆石量较少, 但所获得的数据仍很

有意义, 其锆石  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图见图 4. 其中的锆石可分为三种类型, 图 2(f)中 1, 2 号颗粒为岩浆结晶锆石, 具有明显的岩浆型韵律环带, Th/U 比值为 0.42~0.46, 与玄武岩岩片相近, 锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分别为 395, 407 Ma, 加权平均年龄为  $(401 \pm 6)$  Ma,

表 2 东昆仑早古生代火山岩锆石 SHRIMP 分析数据<sup>a)</sup>

点号	Pb <sub>c</sub> %	U/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Th/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}/\text{Ma}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}/\text{Ma}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^* \pm \%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U} \pm \%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm \%$			
AP9Bb3-3													
1.1	0.08	175	126	0.74	46.5	1734±19	1740±19	0.1065	1.0	4.53	1.6	0.3087	1.3
2.1	4.48	130	125	1.00	4.88	264±6	-50±656	0.0451	27.0	0.26	27.1	0.0418	2.3
3.1	4.53	58	25	0.44	3.38	405±11	-79±883	0.0446	36.1	0.40	36.2	0.0649	2.9
4.1	5.39	89	35	0.41	5.46	423±10	391±620	0.0545	27.6	0.51	27.7	0.0678	2.4
5.1	0.97	900	642	0.74	30.7	249±3	75±110	0.0475	4.7	0.26	4.8	0.0393	1.2
6.1	4.35	73	28	0.39	4.46	424±12	112±570	0.0483	23.9	0.45	24.1	0.0679	3.0
7.1	0.36	468	75	0.17	62.6	930±11	888±37	0.0686	1.8	1.47	2.2	0.1551	1.3
8.1	7.32	64	22	0.36	4.13	436±13	-340±1142	0.0402	44.3	0.39	44.4	0.0701	3.0
9.1	0.36	175	88	0.52	10.2	421±6	676±68	0.0620	3.2	0.58	3.5	0.0674	1.4
10.1	4.73	119	41	0.36	7.17	416±9	265±545	0.0515	23.8	0.47	23.8	0.0667	2.1
11.1	2.21	69	33	0.49	4.16	425±10	468±452	0.0564	20.4	0.53	20.6	0.0682	2.3
12.1	2.86	108	57	0.55	6.35	416±8	216±378	0.0504	16.3	0.46	16.4	0.0666	1.9
13.1	0.58	322	146	0.47	18.7	419±5	371±86	0.0540	3.8	0.50	4.1	0.0672	1.3
14.1	5.03	110	72	0.67	4.07	258±7	-363±1017	0.0398	39.3	0.22	39.4	0.0409	2.6
15.1	2.90	103	43	0.43	6.21	426±9	106±456	0.0481	19.3	0.45	19.4	0.0683	2.1
16.1	2.65	129	70	0.56	7.34	404±7	186±377	0.0498	16.2	0.44	16.3	0.0646	1.8
AP <sub>12</sub> Bb16-1													
1.1	3.04	1041	460	0.46	60.1	407±5	409±103	0.0549	4.6	0.49	4.8	0.0652	1.1
2.1	4.90	1455	596	0.42	83.0	395±7	588±256	0.0596	11.8	0.52	11.9	0.0632	1.8
3.1	0.66	666	416	0.64	18.2	200±3	337±116	0.0532	5.1	0.23	5.3	0.0315	1.3
4.1	0.29	425	72	0.18	57.4	939±10	849±33	0.0674	1.6	1.46	2.0	0.1568	1.2
4.2	0.25	353	60	0.18	45.2	894±10	936±37	0.0703	1.8	1.44	2.1	0.1488	1.2

a) 表内误差为 1 $\sigma$ ; Pb<sub>c</sub> 和 Pb\* 分别表示普通铅和放射性成因铅; 应用实测的  $^{204}\text{Pb}$  进行普通铅校正

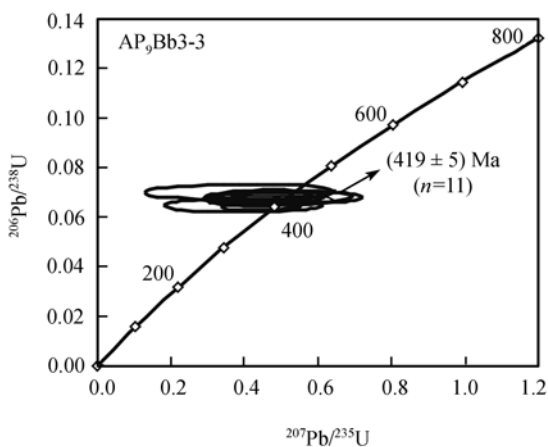


图 3 玄武岩岩片锆石  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图

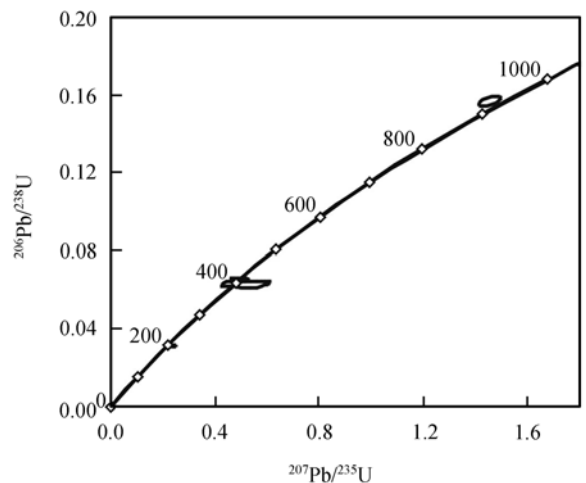


图 4 变火山岩岩片锆石  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图

代表了火山岩的形成年龄. 图 2(f)中 4 号颗粒为继承锆石, 其 Th/U 比值低, 为 0.18, 在其不同部位获得的两个年龄为 894, 939 Ma. 图 2(f)中 3 号颗粒为变质新生锆石, Th/U 比值较高, 为 0.64, 获得的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 200 Ma.

## 4 讨论

### 4.1 早古生代火山岩锆石 SHRIMP 年龄及地质意义

东昆仑地区经历了漫长的地质演化和多次的构造活动. 对诺木洪一带发育的火山岩和碎屑岩及碳酸盐岩的时代, 一直存在分歧. 文献[10]定为晚泥盆世, 青海省区综队在海德乌拉等 8 幅 1:5 万联测时根据获得的火山岩 Sm-Nd 年龄, 定为中新元古代<sup>[8]</sup>. 潘裕生等根据板岩中发现的疑源类和微体古生物化石, 将其厘定为奥陶-志留纪<sup>[9]</sup>.

本次研究获得诺木洪地区早古生代火山岩中玄武岩岩片锆石 SHRIMP 年龄为  $(419 \pm 5)$  Ma, 变火山岩岩片中锆石 SHRIMP 年龄为  $(401 \pm 6)$  Ma, 记录了该套火山岩的形成年龄. 表明了诺木洪地区玄武岩岩片形成于晚志留世, 而变火山岩岩片形成于早泥盆世. 在诺木洪地区火山岩的锆石中保存有中元古代的信息, 有 1734 Ma 的年龄, 反映了其基底的时代可能为中元古代, 同时在玄武岩岩片中尚获得了 3 个晚二叠-早三叠的年龄(246~264 Ma), 反映了在海西-印支存在一次强烈的构造活动, 东昆仑地区广泛发育的该期岩浆弧岩浆活动也暗示了这一点.

### 4.2 构造演化

根据本次获得的火山岩年龄数据结合地球化学数据, 我们可以对东昆仑构造演化作如下分析:

东昆仑造山带经历了多期构造演化, 古元古代存在一次较明显的洋陆转化过程, 形成了古元古代蛇绿岩<sup>[4,5]</sup>. 早古生代志留纪末期, 沿东昆中一带又发生广泛裂解, 形成一套具明显枕状构造的玄武岩, 其化学成分上属拉斑玄武岩系列, 稀土元素配分曲线为无轻稀土富集的平坦型(图 5), 显示出洋脊玄武岩的特点. 构造环境判别为略富集的 E-MORB

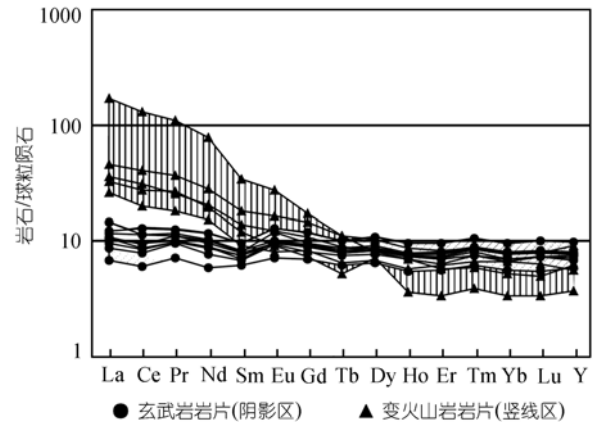


图 5 东昆仑早古生代火山岩稀土配分曲线

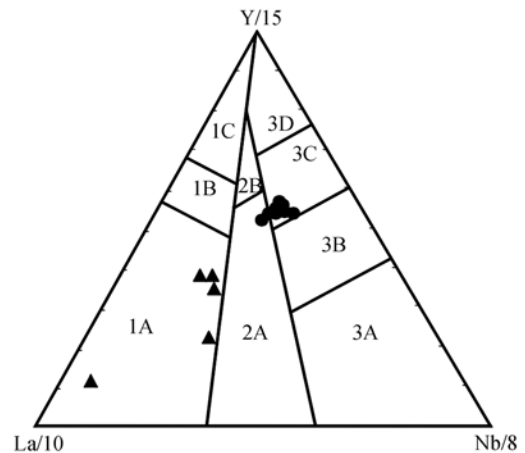


图 6 东昆仑早古生代火山岩 Y15-La10-Nb8 图

(图 6)<sup>[19]</sup>, 反映了其与大洋中脊间的亲缘关系. 同时该套玄武岩还和蛇纹岩、辉石岩、硅质岩密切共生, 反映在志留纪末期, 拉张的幅度较大, 形成了代表洋壳的蛇绿岩组合. 在与之共生的硅质岩中, 我们发现了早古生代的放射虫(冯庆来教授鉴定). 该期形成的洋盆规模较大, 延伸较远, 向东可到清水泉地区, 张克信等在清水泉附近的龙什更公玛一带该套地层的板岩中获 O-S 的疑源类化石<sup>[6]</sup>. 泥盆纪早期, 该洋盆关闭, 在俯冲过程中形成一套岛弧火山岩, 该套岩石为钙碱性系列, 稀土配分曲线为向右倾的轻稀土富集型, 构造环境判别为火山弧, 在俯冲过程中火山岩遭受了较强的挤压, 造成了较强的变质. 从玄武岩岩

片和变火山岩岩片的空间配置看, 俯冲是由南向北。

## 5 结论

(1) 诺木洪地区在早古生代存在一次洋陆转化的过程, 玄武岩岩片代表洋盆拉张阶段的产物, 其火山岩锆石 SHRIMP 年龄为 $(419 \pm 5)$  Ma, 代表火山岩形成(即洋盆形成)于晚志留世, 变火山岩岩片代表了洋盆关闭发生俯冲阶段的产物, 其火山岩的锆石 SHRIMP 年龄为 $(401 \pm 6)$  Ma, 形成于早泥盆世。

(2) 诺木洪地区火山岩中存在年龄为 1734 Ma 的继承锆石, 可能暗示了东昆中和东昆南的基底为中元古代。

**致谢** 向树元、拜永山、王青海、安守文、邓中林、朱耀生等参加了野外工作, 王国灿教授协助完成了锆石 SHRIMP 年龄测试, 匿名审稿人对本文的初稿提出了许多宝贵的修改意见, 在此一并表示衷心感谢。

## 参 考 文 献

- 1 殷鸿福, 张克信. 中央造山带的演化及其特点. 地球科学, 1998, 23(5): 437~441
- 2 殷鸿福, 张克信. 东昆仑造山带的一些特点. 地球科学, 1997, 22(4): 339~346
- 3 殷鸿福, 张克信, 王国灿, 等. 非威尔逊旋回与非史密斯方法——中国造山带研究的理论与方法. 中国区域地质, 1998, (增刊): 1~9
- 4 朱云海, 张克信, Pan Yuanming, 等. 东昆仑造山带不同蛇绿岩带的厘定及其构造意义. 地球科学-中国地质大学学报, 1999, 24(2): 134~138
- 5 朱云海, 张克信, 王国灿, 等. 东昆仑复合造山带蛇绿岩、岩浆岩及构造岩浆演化. 武汉: 中国地质大学出版社, 2002
- 6 张克信, 殷鸿福, 朱云海, 等. 造山带混杂岩区地质填图理论、方法与实践——以东昆仑造山带为例. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001
- 7 潘裕生, 周伟明, 许荣华, 等. 昆仑山早古生代地质特征与演化. 中国科学, D 辑, 1996, 26(4): 302~307
- 8 青海地矿局第一区调队. 埃肯德勒斯特幅区域地质调查报告(1:20 万). 北京: 地质出版社, 1982
- 9 青海省区调综合大队. 海德郭勒等八幅 1:5 万联测报告. 北京: 地质出版社, 1996
- 10 青海省地矿局第一区调队. 阿拉克湖幅区域地质调查报告(1:20 万). 北京: 地质出版社, 1982
- 11 朱志直, 赵 民, 郑健康. 东昆仑中段“纳赤台群”的解体与万保沟群的建立. 青藏高原地质文集(16). 北京: 地质出版社, 1985. 1~14
- 12 陆松年, 杨春亮, 蒋明媚, 等. 前寒武纪大陆地壳演化示踪. 北京: 地质出版社, 1996. 8~22
- 13 陈多福, 李献华, 潘晶铭, 等. 浙江景宁鹤溪群斜长角闪岩变质新生锆石特征、离子探针(SHRIMP)U-Pb 年龄及地质意义. 矿物学报, 1998, 18(4): 396~400
- 14 Compston W, Kinny P D, Williams I S, et al. The age of Pb loss behavior of zircons from the Isua supracrustal belt as determined by ion microprobe. Earth Planet Sci Lett, 1986, 80: 155~171
- 15 Williams I S, Claesson S. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high-grade paragneisses from Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb: Contrib. Mineral Petrol, 1987, 97: 205~217[DOI]
- 16 Ludwig K R. Squid 1.02: A user manual. Berkeley Geochronological Center Special Publication, 2001. 219
- 17 Ludwig K R. Using Isoplot/EX, version 2, A geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center Special Publication 1 a, 1999. 47
- 18 张 旗, 简 平, 刘敦一, 等. 宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义. 中国科学, D 辑, 2003, 33(4): 309~314[PDF]
- 19 Cabanis B, Lecolle M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale. C R Acad Sci, Ser II, 1989, 309: 2023~2029