

# 青藏高原中部阿索蛇绿岩岩石学与同位素年龄

曾孝文, 王 明, 范建军, 解超明, 罗安波, 高忠维

ZENG Xiaowen, WANG Ming, FAN Jianjun, XIE Chaoming, LUO Anbo, GAO Zhongwei

吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061

College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China

**摘要:**阿索蛇绿岩位于尼玛县阿索乡西南,大地构造上归属于狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带中段。蛇绿岩以岩片形式混杂在晚侏罗世-早白垩世复理石中,岩石组合较齐全,由下至上为蛇纹岩、辉石岩、堆晶辉长岩、席状岩墙及火山熔岩,同时存在蛇绿岩上覆沉积岩系。辉长岩获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和年龄为  $117.5 \pm 0.5$  Ma, 时代为早白垩世。狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带中的蛇绿岩形成于晚三叠世-早白垩世,主要分布在 219~178 Ma、165~149 Ma 和 117~114 Ma 三个年龄段,代表了大洋演化的扩张、俯冲、弧后拉张 3 个阶段。

**关键词:**青藏高原; 狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带; 阿索蛇绿岩; 岩石学; 锆石 U-Pb 定年

**中图分类号:** P588.12; P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2018)08-1492-11

**Zeng X W, Wang M, Fan J J, Xie C M, Luo A B, Gao Z W. Petrology and geochronology of Asuo ophiolite in central Tibetan Plateau. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(8):1492-1502**

**Abstract:** Asuo ophiolite belongs to Shiquanhe-Yongzhu-Jiali ophiolite zone, located in southwestern Asuo County. The rock combination is complete, and consists from the bottom to the top of serentine, pyroxenite, cumulate gabbro, mafic dyke swarms and volcanic lava, with the existence of sedimentary rocks overlying ophiolite. In this paper, LA-ICP-MS U-Pb dating was carried out for the zircons of the gabbro dyke of Asuo ophiolite. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro dyke yielded a concordant age of  $117.54 \pm 0.58$  Ma, indicating that it was formed in the Early Cretaceous. The ophiolite of Shiquanhe-Yongzhu-Jiali ophiolite zone was formed in Late Triassic to Early Cretaceous and mainly distributed in three age groups of 219~178 Ma, 165~149 Ma and 117~114 Ma, representing the ocean expansion, subduction and back-arc extension respectively.

**Key words:** Tibetan Plateau; Shiquanhe-Yunzhug-Jiali ophiolite belt; Asuo ophiolite; petrology; zircon U-Pb dating

作为中冈底斯板块与北冈底斯板块的地质界线<sup>[1-3]</sup>,狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带对于探讨青藏高原中部新特提斯洋演化研究具有重要意义。狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带一直被认为与班公湖-怒江缝合带密切相关,二者均是青藏高原中部新特提斯洋演化的产物<sup>[4-5]</sup>,但在形成机制、演化时限方面存在很大争议,这在很大程度上制约了对青藏高原中部新特提斯洋演化历史的认识。近二十年来,

随着大比例尺区域地质填图在青藏高原的不断开展,狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带上已经厘定出狮泉河蛇绿岩、拉果错蛇绿岩、阿索蛇绿岩等数个蛇绿岩地质体<sup>[6-10]</sup>。蛇绿岩是古大洋存在的直接证据,对蛇绿岩进行测年是研究古大洋形成、演化和消亡时限最有效的方法<sup>[11]</sup>。前人针对狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带中的蛇绿岩均开展了相关定年工作,狮泉河-申扎蛇绿岩带的年代学格架已经初步建立。但

收稿日期:2018-01-05;修订日期:2018-03-14

资助项目:中国地质调查局项目《班公湖-怒江成矿带铜多金属矿资源基地调查》(编号:DD20160026)、《冈底斯-喜马拉雅铜矿资源基地调查》(编号:DD20160015)和国家自然科学基金项目《青藏高原羌唐南部埃迪卡拉纪地层研究》(批准号:41602230)、《班公湖-怒江洋早白垩世构造演化:来自复理石沉积的制约》(批准号:41702227)

作者简介:曾孝文(1995-),男,在读硕士生,构造地质学专业。E-mail:zengxwjl@126.com

通讯作者:王明(1984-),男,博士,副教授,从事青藏高原大地构造与区域地质研究。E-mail:wm609@163.com

年代学格架中主体为全岩 K-Ar 和 Rb-Sr 年龄,可信度较低,缺乏高精度的锆石 U-Pb 定年数据支撑<sup>[9]</sup>。本文主要报道阿索蛇绿岩的岩石学和锆石 U-Pb 年代学特征,进一步完善狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带蛇绿岩的年代学格架,以期为探讨青藏高原中部新特提斯洋演化提供重要依据。

### 1 地质背景

青藏高原是东特提斯构造域的主体,具有复杂的岩石圈结构及巨厚的大陆地壳。北部劳亚古大陆、泛华夏陆块群及南部的冈瓦纳大陆北缘不断进行弧后扩张与裂离,经历了包含古生代多岛弧盆系形成演化的复杂构造运动后,于中生代末期奠定了青藏高原现今的构造格局<sup>[12]</sup>。青藏高原现今构造格局主要受控于古特提斯洋与新特提斯洋的形成、发展与消亡等演化。古特提斯洋和新特提斯洋的先后闭合,在青藏高原形成了近东西向的 5 条板块缝合带,以及一些次一级的构造带,这 5 条缝合带自北向南形成时间逐渐变新,依次是康西瓦-玛沁-昆仑山板块缝合带、西金乌兰-金沙江板块缝合带、龙木

错-双湖-澜沧江板块缝合带、班公湖-怒江板块缝合带和印度-雅鲁藏布江板块缝合带<sup>[13]</sup>。将这些缝合带作为板块之间的边界,将青藏高原自北向南划分为巴彦喀拉-甘孜板块、羌北-昌都板块、羌南-保山板块、冈底斯板块和喜玛拉雅板块(图 1)。冈底斯板块上的次级狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带及沙莫勒-米拉山断裂带,将冈底斯板块三分为北冈底斯板块、中冈底斯板块和南冈底斯板块<sup>[1]</sup>。

狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带是北冈底斯板块与中冈底斯板块的地质界线,是由蛇绿岩、构造混杂岩块和深海复理石组成的蛇绿混杂岩带,东西向延伸可达千余千米,受大型走滑断裂和逆冲构造的影响,蛇绿岩呈串珠状断续出露,由西向东包括狮泉河蛇绿岩、拉果错蛇绿岩、中仓蛇绿岩、阿索蛇绿岩、永珠-纳木错蛇绿岩及嘉黎-波密蛇绿岩<sup>[3-5,14]</sup>。阿索蛇绿岩位于狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带中段,北侧紧邻班公湖怒江缝合带。阿索蛇绿岩整体呈北西西-南东东走向,整个蛇绿岩带呈喇叭状展布,区域上北侧次级大地构造单元为珉千日白垩纪残余海盆,主要沉积了巨厚的早白垩世郎山组灰

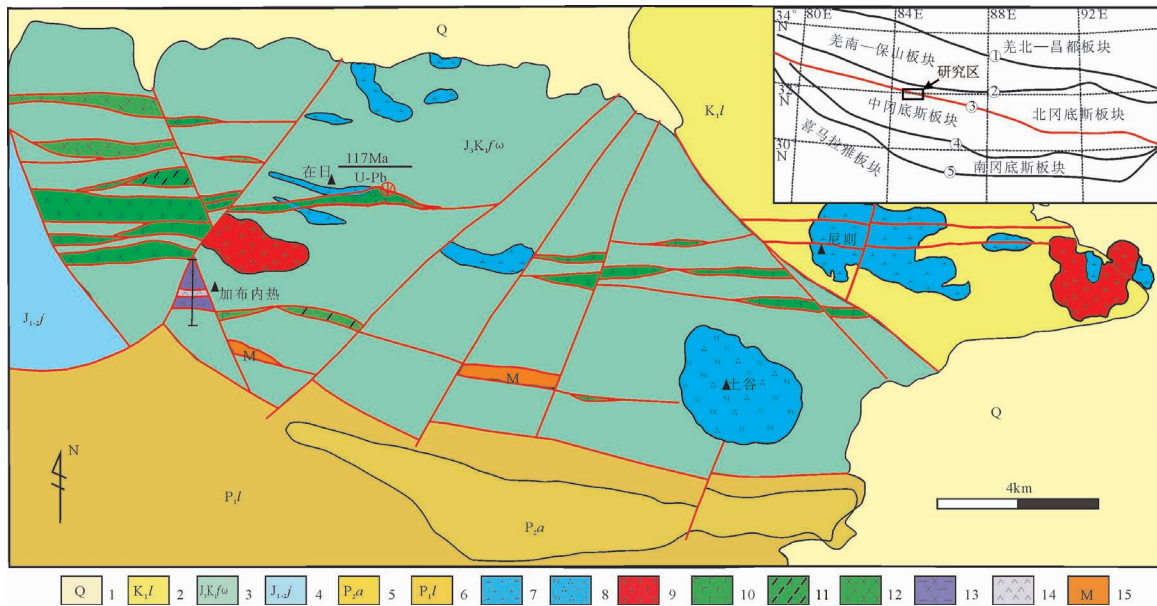


图 1 藏北尼玛县阿索乡阿索蛇绿岩地质简图

Fig. 1 Geological map of the Asuo ophiolite in Asuo Town of Nima County, northern Tibet  
 1—第四系冲洪积物;2—下白垩统郎山组;3—晚侏罗世-早白垩世复理石岩片;4—中下侏罗统接叙组;  
 5—上二叠统昂杰组;6—下二叠统拉嘎组;7—闪长岩;8—石英钠长斑岩;9—花岗岩;10—玄武岩岩片;  
 11—辉绿岩岩片;12—辉长岩岩片;13—堆晶岩岩片;14—超基性岩岩片;15—变质岩岩片;  
 ①—龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带;②—班公湖-怒江板块缝合带;③—狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带;  
 ④—沙莫勒-米拉山断裂带;⑤—印度-雅鲁藏布江板块缝合带

岩,南侧主要为晚古生代二叠系典型的冈瓦纳型沉积地层,主要为拉嘎组、昂杰组等冈瓦纳型沉积地层,早侏罗世它日错-文部燕山期岩浆弧在这些地层中发育<sup>[15]</sup>。

## 2 蛇绿岩野外地质特征

阿索蛇绿混杂岩带位于尼玛县阿索乡,由江西地调院在进行1:25万邦多区幅区域地质调查中厘定<sup>[16]</sup>,前人将其划归到狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带<sup>[6,16]</sup>。该混杂岩带呈北西西-南东东向喇叭状展布,北侧与岷千日残余海盆沉积的郎山组灰岩断层接触,南侧与晚古生代拉嘎组、下拉组断层接触。阿索混杂岩带呈北西西向延伸,该混杂岩带以复理石砂岩为基质,混杂了不同时代、不同构造背景的构造岩片,各岩片与基质之间均为断层接触关系,且受到右行韧性剪切作用的改造。蛇绿岩岩片与复理石基质之间均为断层接触关系,蛇绿岩各单元之间也多为断层接触<sup>[15]</sup>。蛇绿岩片由超基性岩岩片、堆晶岩岩片、基性岩墙岩片、火山熔岩等岩片组成,所有岩块均以构造岩块的形式混杂在复理石为主的基质中。

蛇绿岩在阿索地区出露端元较齐全,蛇绿岩的主要岩石组成有辉石岩、堆晶岩、辉长岩、辉长辉绿岩岩墙、辉绿玢岩岩墙、基性火山熔岩等,伴生沉积岩主要有硅质岩、铁锰质砂岩、滑塌角砾岩、角斑岩等。

超基性岩单元在混杂岩带南部加布内热地区部分出露,主要岩石有蛇纹岩、辉石岩等,面积不明,主要混杂在断层破碎带中,后期构造变形较强,多以透镜状形式产出(图2)。在其西南部列马母地区也有少量出露。

堆晶岩单元主要出露于加布内热剖面附近,但面积较小,多为层状辉长岩,少数为堆晶辉石岩,含有少量堆晶伟晶辉长岩,粒度可达5cm(图版I-b)。该剖面中堆晶岩还发育少量斜长花岗岩脉体。斜长花岗岩主要出露在加布内热剖面中的细粒堆晶岩中,多为脉状产出,宽0.1~0.5m(图版I-b)。同时,堆晶岩中也侵入了后期的辉长岩,并可见明显的冷凝边。堆晶岩单元与超基性岩单元、基性岩墙单元之间均为断层接触关系。

阿索蛇绿岩中基性岩墙单元岩石出露面积最大,在混杂岩带的西部和中部以透镜状岩片的形式大量出现,总出露宽度可达10km。基性岩墙岩石类型较丰富,主要有辉长岩、辉长辉绿岩(图版I-c)、辉绿玢岩(图版I-d)等。单个岩墙宽度为0.5~1.0mm,由于后期构造作用,岩墙倾向和倾角均变化较大。受后期沿断裂发生的热液作用,多发生了碳酸盐化等蚀变。由于后期的左行韧性剪切作用,部分岩片发生糜棱岩化。

火山熔岩单元在混杂岩带的西部与中部均有零星出露,以透镜状形式出现,宽度为1~2km。主要岩性为枕状玄武岩,岩枕大小在30~70cm之间,与

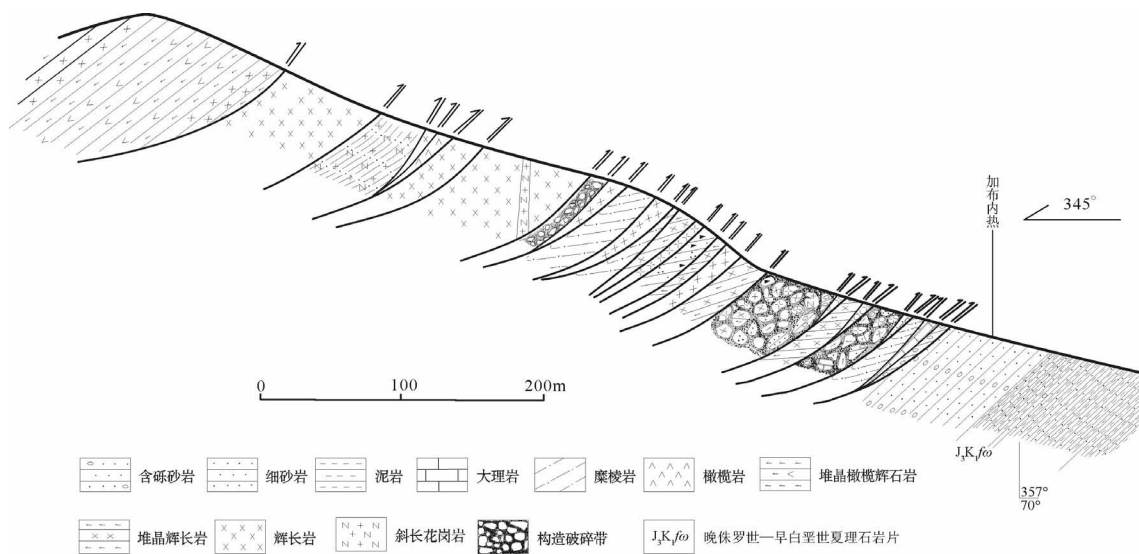
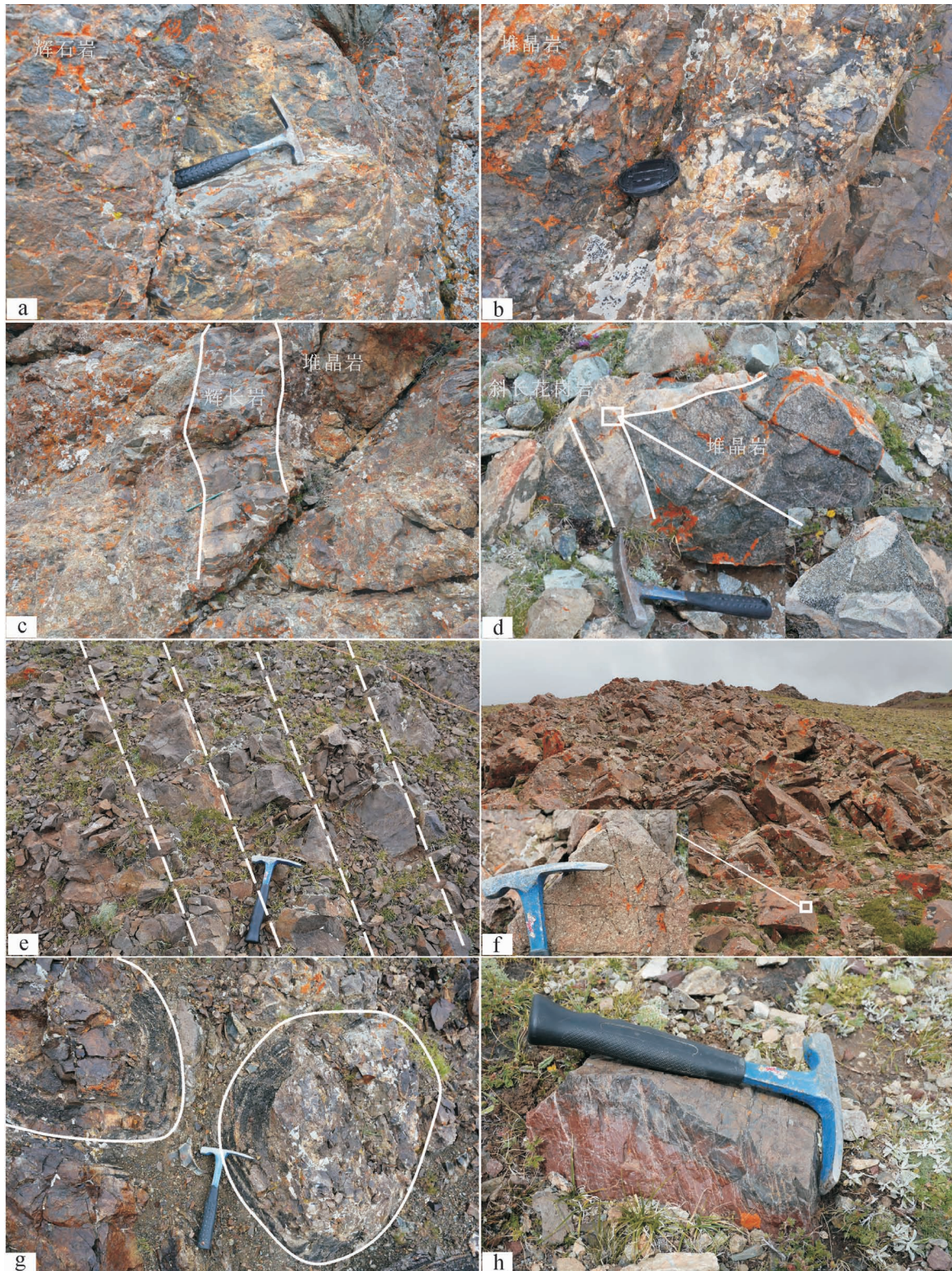


图2 尼玛县阿索乡加布内热蛇绿岩剖面

Fig. 2 Profile of Jiabuneire ophiolite in Asuo Town, Nima County



图版 I Plate I



a.辉石岩野外露头;b.粗粒堆晶辉长岩野外露头;c.侵入堆晶岩中的辉长岩;d.斜长花岗岩野外照片;  
e.辉长质岩墙;f.辉绿玢岩岩墙;g.玄武岩枕状构造;h.放射虫硅质岩



复理石及基性岩墙之间为断层接触关系。枕状玄武岩核部主要为斑晶较少的粒玄武岩,边部岩性为细碧岩,与上覆的角斑岩组成细碧角斑岩建造,局部夹少量硅质岩。

### 3 蛇绿岩岩石学特征

#### 3.1 超基性岩

阿索蛇绿岩中的超基性岩岩石出露面积较小,主要在加布内热混杂岩带地区有所出露。超基性岩主要为蛇纹岩与辉石岩。蛇纹岩多为灰褐色,未见明显露头,仅见少量转石。辉石岩风化面浅绿色,新鲜面深绿色,后期发生了蛇纹石化与滑石化(图版 I-a)。辉石岩呈中细粒粒状结构,块状构造,主要矿物组成为单斜辉石,含少量橄榄石(图版 II-a)。

#### 3.2 堆晶辉长岩

研究区堆晶岩单元出露面积较小,主要出露在加布内热地区,主要岩石类型为堆晶辉长岩。堆晶辉长岩主要出露粗粒堆晶岩与细粒堆晶岩2种岩石类型。粗粒堆晶岩呈深灰色(图版 I-b),主要由单斜辉石与斜长石组成,其中单斜辉石含量约60%,粒度在2~5cm之间,斜长石含量约40%,主要呈自形柱状。细粒堆晶岩主要由单斜辉石与斜长石韵律分布组成,局部斜长花岗岩脉体侵入其中(图版 I-c)。镜下可以观察到辉石纤闪石化及斜长石黝帘石化(图版 I-b)。斜长花岗岩呈灰白色,脉体宽10~15cm。岩石为细粒花岗结构,主要矿物组成为斜长石与石英,含少量角闪石。斜长石聚片双晶发育,后期发生了绢云母化蚀变,部分角闪石蚀变为绿泥石。

#### 3.3 基性岩墙群

基性岩墙群在研究区出露面积最广泛,主要岩石类型有辉长岩、辉绿岩、辉绿玢岩等。辉长岩为中细粒辉长结构或辉长辉绿结构(图版 II-e),发生了绿泥石化和碳酸盐化,蚀变较严重,但仍然有少量单斜辉石,斜长石自形程度多高于单斜辉石,二者大小相当。侵入堆晶岩中的辉长岩粒度较小,主要为辉长辉绿结构,斜长石呈自形柱状,单斜辉石呈半自形-他形粒状,斜长石发生轻微的变形(图版 II-d)。辉绿玢岩野外多为黄褐色,可见明显的斑晶(图版 I-f)。斑晶主要为单斜辉石与斜长石,含量约20%。单斜辉石斑晶发育嵌晶含长结构,包裹

细小的针柱状斜长石,斜长石斑晶聚片双晶发育。基质主要为辉绿结构,针柱状长石格架中充填了他形的单斜辉石。推测辉长岩、辉绿岩及辉绿玢岩应是基性岩墙结晶同源岩浆结晶深度变低导致的岩石组合。

#### 3.4 基性火山熔岩

蛇绿岩的火山熔岩单元主要岩石为玄武岩,部分玄武岩发育良好的枕状构造(图版 I-g)。玄武岩的岩性主要为细碧岩,斑晶主要为斜长石,基质主要为斜长石与单斜辉石,斜长石边部多呈刺状,部分斜长石发育典型的中空骸晶结构,表明其是海底环境喷发的产物(图版 II-g)。在玄武岩的上部还伴生硅质岩,野外主要为暗红色(图版 I-h),镜下可以观察到重结晶成石英的放射虫颗粒(图版 II-h)。

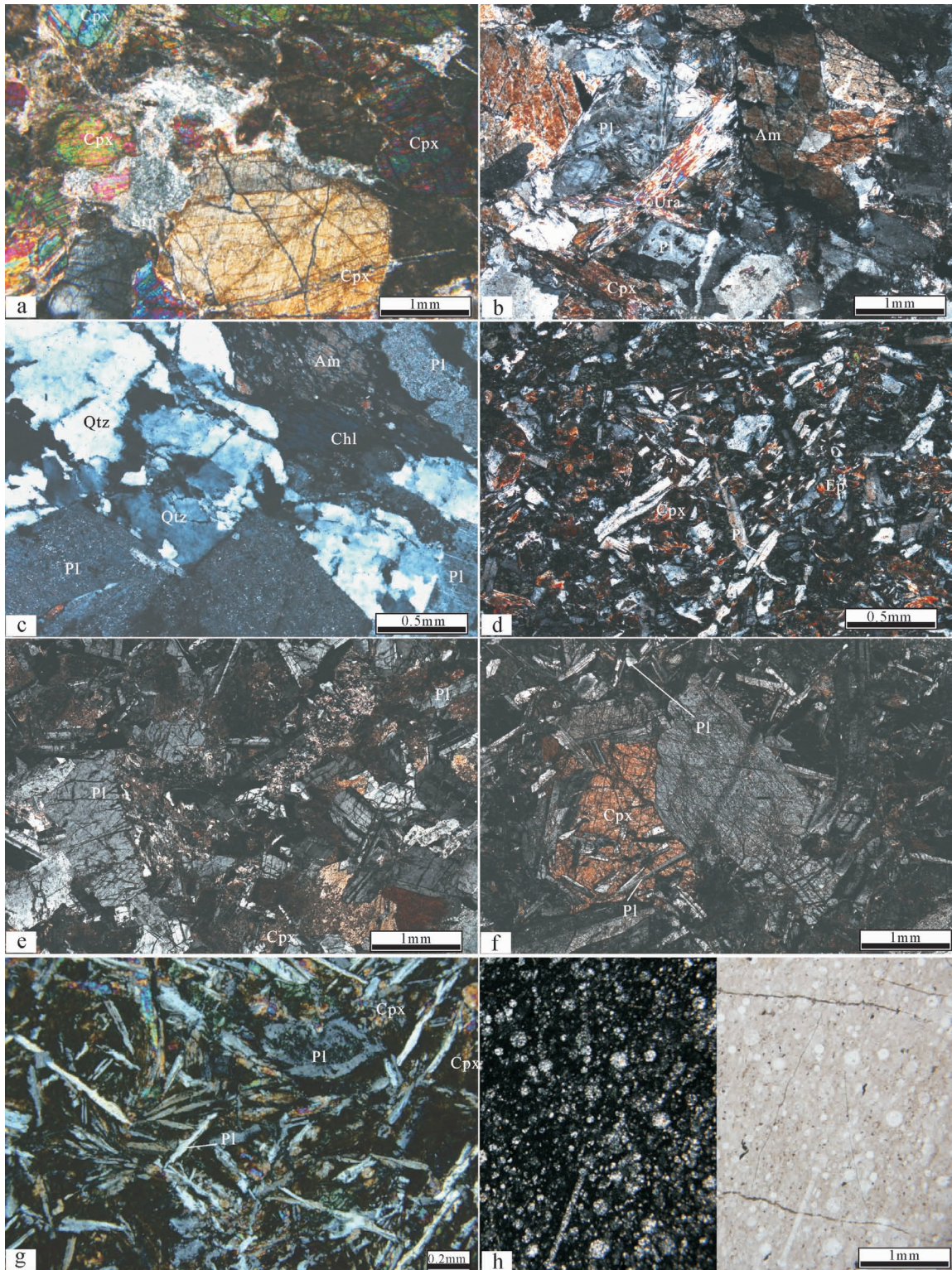
### 4 辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

阿索蛇绿岩定年样品采自在日附近(图1),岩性为辉长岩。在河北廊坊区调院采用重磁选方法对辉长岩样品进行锆石的分选,然后在双目显微镜下挑选干净的锆石。而后进行锆石靶的制备并打磨样品靶,以暴露大多数锆石颗粒中心部位,随后进行抛光。锆石的阴极发光图像分析在中国地质科学院地质研究所的阴极发光设备上完成。锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质大学北京地学实验中心完成,分析仪器为193nm激光剥蚀进样系统(UP193SS)和Agilent 7500a型四级杆等离子体质谱仪联合构成的激光等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)。详尽的试验条件见参考文献[17],同位素分析结果见表1,锆石微量和稀土元素分析结果见表2。

在辉长岩定年样品(N16T49)中选取了20颗代表性锆石进行定年,锆石阴极发光(CL)图像见图3。锆石干净透明,但破碎较严重,多为不规则的粒状,少数为半自行柱状,锆石粒径在150~300 $\mu\text{m}$ 之间,长宽比在1:1~2:5之间。锆石颗粒晶形较残缺,部分锆石具有弱环带、条带状或面状结构(图3),表现出典型的基性岩浆锆石特点<sup>[18]</sup>。锆石微量元素丰度可用于探讨其形成时的结晶条件和源区类型,对于鉴别锆石及其寄主岩石的成因也有重要意义<sup>[19]</sup>。分析样品锆石的微量元素测试结果见表2。测试结果显示,锆石Th含量为 $193\times 10^{-6}\sim 5111\times 10^{-6}$ ,U含量为 $174\times 10^{-6}\sim 2216\times 10^{-6}$ ,Th、U之间具有正相关关系,Th/U值在1.11~2.39之间,具有岩浆锆石的



图版 II Plate II



a.辉石岩镜下照片;b.细粒堆晶辉长岩镜下照片;c.斜长花岗岩镜下照片;d.辉长岩辉长辉绿结构;  
e.辉长质岩墙;f.辉绿玢岩岩墙;g.细碧岩中空骸晶结构;h.放射虫硅质岩镜下照片。Chl—绿泥石;  
Cpx—单斜辉石;Pl—斜长石;Am—角闪石;Qtz—石英;Ep—绿帘石;Ura—纤闪石



表1 阿索蛇绿岩中辉长岩(N17T49)LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb同位素测定结果  
Table 1 LA-ICP-MS U-Th-Pb analyses of zircons from samples of the gabbro (N17T49)

测点	Th	U	Th/ U	同位素比值						年龄/Ma					
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ
01	539	418	1.29	0.0484	0.0019	0.1225	0.0049	0.0184	0.0002	116	69	117	4	117	1
02	853	480	1.78	0.0489	0.0020	0.1239	0.0051	0.0184	0.0002	141	74	119	5	118	1
03	1198	501	2.39	0.0485	0.0020	0.1236	0.0051	0.0185	0.0002	126	75	118	5	118	1
04	2338	1030	2.27	0.0484	0.0011	0.1238	0.0029	0.0186	0.0002	117	34	119	3	119	1
05	1059	566	1.87	0.0483	0.0018	0.1222	0.0044	0.0184	0.0002	113	63	117	4	117	1
06	1094	610	1.79	0.0483	0.0017	0.1226	0.0044	0.0184	0.0002	115	62	117	4	117	1
07	694	476	1.46	0.0486	0.0020	0.1229	0.0049	0.0184	0.0002	127	71	118	4	117	1
08	1254	663	1.89	0.0484	0.0015	0.1223	0.0039	0.0183	0.0002	118	54	117	3	117	1
09	1833	1012	1.81	0.0519	0.0014	0.1314	0.0034	0.0184	0.0002	280	39	125	3	117	1
10	459	339	1.36	0.0484	0.0028	0.1227	0.0071	0.0184	0.0002	120	105	118	6	117	2
11	193	175	1.11	0.0484	0.0053	0.1222	0.0134	0.0183	0.0003	116	216	117	12	117	2
12	2688	1338	2.01	0.0493	0.0012	0.1251	0.0029	0.0184	0.0002	163	34	120	3	118	1
13	587	369	1.59	0.0484	0.0028	0.1229	0.0070	0.0184	0.0002	117	105	118	6	118	1
14	909	660	1.38	0.0481	0.0018	0.1218	0.0044	0.0184	0.0002	105	63	117	4	117	1
15	1580	898	1.76	0.0481	0.0015	0.1223	0.0037	0.0185	0.0002	103	50	117	3	118	1
16	5112	2216	2.31	0.0485	0.0010	0.1231	0.0025	0.0184	0.0002	124	28	118	2	117	1
17	547	425	1.29	0.0481	0.0021	0.1220	0.0052	0.0184	0.0002	106	74	117	5	117	1
18	725	505	1.43	0.0480	0.0019	0.1219	0.0046	0.0184	0.0002	101	65	117	4	118	1
19	268	215	1.25	0.0484	0.0039	0.1223	0.0099	0.0183	0.0003	118	155	117	9	117	2
20	554	350	1.59	0.0484	0.0028	0.1234	0.0072	0.0185	0.0002	120	109	118	6	118	1

特点。在锆石的稀土元素球粒陨石标准化配分图解中,稀土元素配分曲线呈现左倾正斜率,轻、重稀土元素分馏明显,具有典型的岩浆锆石稀土元素配分特征<sup>[20]</sup>。结果显示,样品锆石具有较强的负Eu异常( $\delta\text{Eu}=0.06\sim 0.14$ ,主要集中在0.10左右,平均值为0.09)和正Ce异常( $\delta\text{Ce}=16.9\sim 230$ ,平均值为53.3),与基性岩中典型锆石的特征相似,表明锆石具有明显的幔源岩浆成因特征<sup>[19]</sup>。值得注意的是,测试样品中锆石具有较高的Y、Yb含量与较低的U/Yb值(图4),这与典型洋壳锆石的矿物化学特征一致<sup>[21]</sup>。

对已经获得的20个锆石测年测点数据,用Iso-plot3.0程序进行数据处理<sup>[22]</sup>。测试结果显示,20个分析点的数据在锆石U-Pb谐和图中分布较集中,均位于谐和线上及其附近。<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄在119~117Ma之间,20个点最终获得<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄加权平均值为 $117.5\pm 0.5\text{Ma}$ (图5),属于早白垩世,代表了蛇绿岩中堆晶辉长岩的成岩年龄。Zhang等<sup>[24]</sup>在枕状玄武岩中获得的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为 $124\pm$

10Ma,唐峰林等<sup>[14]</sup>在堆晶辉长岩中获得了 $117.5\pm 4.5\text{Ma}$ 的全岩K-Ar年龄,与本次定年的结果一致。

## 5 讨论与结论

### 5.1 阿索蛇绿岩形成时代

对于阿索斯蛇绿岩的形成时代,前人在进行区域地质调查时做了一些有意义的工作。在阿索混杂岩带复理石岩片中,前人在区域地质调查过程中发现了侏罗纪一早白垩世孢粉:*Classopol-lisanmullus* verb. *Chasmatosporites* sp. *Leiotriletes*, *Cyathidites*, *Lygodiu- msporites*, *Chasmatosporites*, *Ovalipoilis*, *Psophophaera*, *Araucariacites*, *napesituopollenites*, *Taxodiaceapollenites*, *Ginkgocycadophytrs*, *Cycadopites*等;在硅质岩中发现了早白垩世放射虫:*Archaeodictyomitra* sp., *Pseudodictyomitra* sp., *Praeconoc- aryomma* sp., *Crucella* sp., *Paronaella* sp., *Thanarla* sp.(南京古生物研究所,王玉净鉴定)<sup>[14]</sup>。另外,前人在辉长辉绿岩墙群中获全岩K-Ar法同位素年龄值为 $118.7\pm 4.7\text{Ma}$ ,据此认为阿

表 2 阿索蛇绿岩中辉长岩锆石 LA-ICP-MS 原位微量、稀土元素分析结果

Table 2 Trace element and REE compositions of zircons in gabbro of Asuo ophiolite as measured by LA-ICP-MS

10 <sup>-6</sup>										
测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y	9824.58	15398.54	9284.82	13990.57	2505.87	4887.58	10160.05	2489.12	11917.05	10087.65
Nb	11.93	9.84	16.44	22.98	2.18	3.48	25.66	3.03	5.51	4.55
La	0.07	0.22	0.19	0.22	0.08	0.09	0.08	0.09	0.14	0.11
Ce	102.37	89.69	188.13	217.35	13.49	31.39	157.27	24.85	52.64	65.38
Pr	1.15	1.57	2.29	2.86	0.1	0.47	0.86	1.2	1.06	0.95
Nd	23.62	27.26	43.59	54.08	2.13	7.99	17.99	21.48	20.26	14.92
Sm	52.98	62.87	89.86	105.72	7.57	18.48	42.88	42.01	46.96	31.86
Eu	7.82	8.53	4.1	9.05	1.93	3.37	3.24	5.78	7.28	2.44
Gd	244.9	319.24	349.58	455.08	44.08	92.62	216.77	141.55	252.4	165.98
Tb	91.16	126.21	117.68	155.89	18	36.38	82.77	41.4	97.74	69.5
Dy	1061.86	1552.21	1155.24	1653.81	231.12	436.56	969.5	359.45	1193.66	893.98
Ho	371.91	553.57	330.66	508.31	88.24	162.35	333.05	91.17	428	338.55
Er	1514.42	2346.45	1127.33	1942.02	380.98	701.92	1342.41	290.28	1761.05	1499.71
Tm	342.79	544.65	222.75	383.68	94.57	174.76	297.02	55.27	408.11	361.82
Yb	3622.39	5721.35	2042.4	3565.22	1072.46	1966.76	2936.81	539.69	4350.33	3865.13
δEu	0.06	0.12	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.12	0.06	0.11
δCe	56.64	25.29	16.94	40.12	43.22	26.39	29.79	28.67	73.89	23.76
ΣREE	4285.5	7383.11	9952.55	5299.71	4586.49	7703.84	4571.58	8155.72	7815.5	3906.64
测点	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Y	4789.46	3430.63	8233.49	2376.99	6835.81	6508.85	7409.12	16039.71	4906.82	6664.45
Nb	4.9	3.57	4.26	1.06	2.41	9.1	2.22	38.5	3.46	5
La	0.07	0.05	0.08	0.13	0.11	0.08	0.07	0.07	0.06	0.08
Ce	40.07	17.11	30.68	17.38	20.43	36.02	20.88	198.47	23.85	16.81
Pr	0.22	0.13	0.61	0.19	0.55	0.21	0.29	1.12	0.2	0.27
Nd	4.91	2.63	10	2.64	10.53	5.13	6	24.05	4.38	6.28
Sm	14.29	7.9	23.7	6.44	26.45	18.01	18.05	69.65	13.71	19.7
Eu	2.52	1.48	3.68	2.02	6.59	3.1	4.97	8.57	3.38	4.72
Gd	88.92	49.8	132.45	34.24	135.1	99.67	120.52	372.88	83.45	122.18
Tb	35.07	21.38	56.45	14.9	51.89	44.08	49.37	151.28	34.96	48.79
Dy	431.21	291.45	726.01	193.87	654.44	580.47	668.43	1774.79	439.24	633.91
Ho	159.24	114.13	274.97	78.27	244.29	224.5	261.27	588.24	162.89	229.03
Er	711.7	518.44	1223.12	376.76	1064.44	980.44	1131.95	2081.1	683.41	910.85
Tm	171.53	131.61	303.98	99.19	265.48	237.61	264.44	410.32	155.33	205.34
Yb	1849.8	1514.91	3381.98	1202.84	2953.94	2537.51	2662.4	3740.38	1591.12	2041.04
ΔEu	0.11	0.1	0.12	0.07	0.08	0.06	0.06	0.07	0.1	0.14
ΔCe	25.99	119.94	19.44	70.28	95.39	230.11	56.84	39.58	26.32	18.37
EREE	2547.44	6461.63	6408.46	3093.19	6894.38	11864.59	4553.28	4967.05	2846.32	5474.27

索小洋盆形成时代为侏罗纪—早白垩世<sup>[4]</sup>。前人在混杂岩带边界断层的二云石英片岩中获得 120.9±1.2Ma(多硅白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar法)的同位素年龄值,谢国刚等<sup>[5]</sup>认为,该年龄是二云石英片岩的主变质年

龄,反映了阿索弧后盆地于早白垩世早期消减萎缩。由于K-Ar法同位素测年的技术欠缺,且二云母片岩的变质年龄并不代表洋壳的形成年龄,化石信息又具有穿时性,因此前人对阿索蛇绿岩形成时



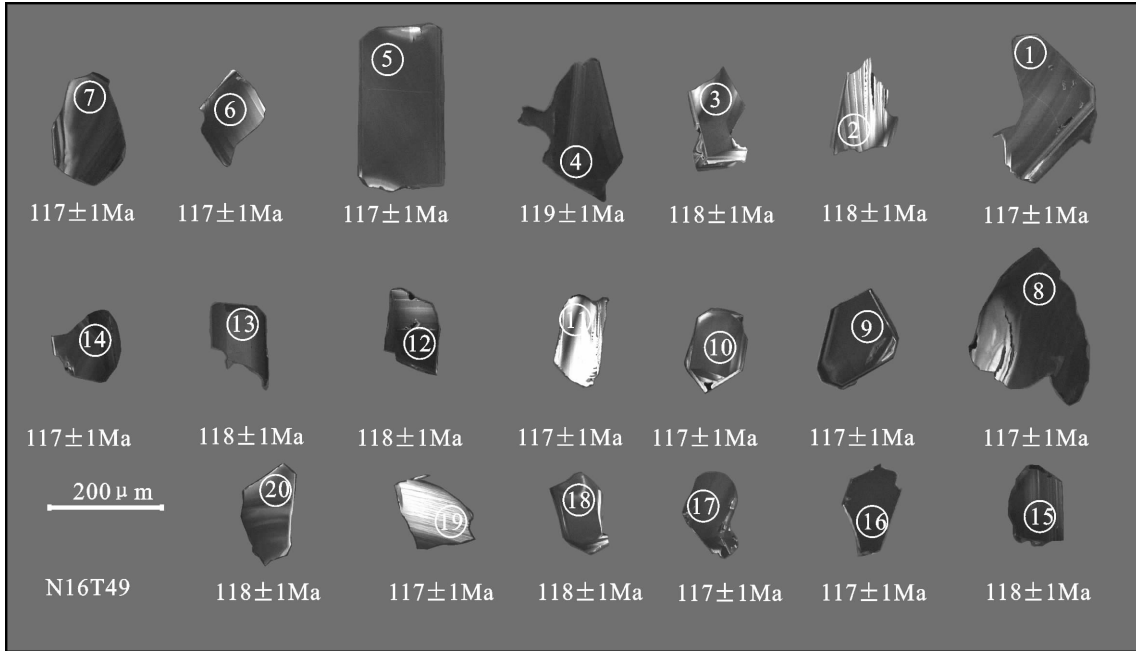


图3 阿索蛇绿岩中辉长岩中典型锆石阴极发光(CL)图像及其<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄  
Fig. 3 Zircon CL images and <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U ages of typical zircons of gabbro from Asuo ophiolite

代的厘定缺乏强有力的证据。在本次工作中,对蛇绿岩中的堆晶辉长岩进行锆石U-Pb测年获得的年龄加权平均值为117.5±0.5Ma,这与前人获得的年代学结果一致,代表了蛇绿岩的形成年龄。笔者在卷入混杂岩带中的浅海碎屑岩岩片中发现了含早白垩世晚期的中圆笠虫、珊瑚,同时区域上存在与混杂岩带角度不整合接触的晚白垩世竞柱山组磨拉石盖层。综合前人研究结果,笔者认为,阿索蛇

绿岩代表的洋盆至少在早白垩世已经存在洋壳,在早白垩世晚期发生了消亡。

### 5.2 狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带年代学格架

近年来,随着研究工作的进一步深入,狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带上的各个蛇绿岩块体均获得了可信度较高的锆石U-Pb谐和年龄及少量Ar-Ar年龄,这些年龄构成狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带的年代学格架,为探讨该大洋的演化提供了基础地质资

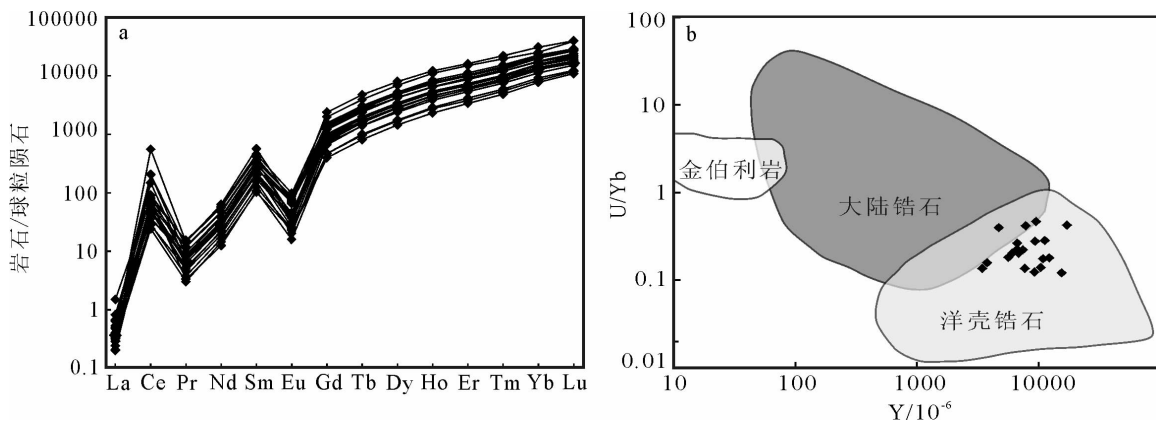


图4 阿索蛇绿岩中辉长岩锆石稀土元素蛛网图(a)及Y-U/Yb成因判别图解(b)(标准化数据参考文献[23])  
Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns(a) and Y-U/Yb plot(b) for zircons in the gabbro of Asuo ophiolite

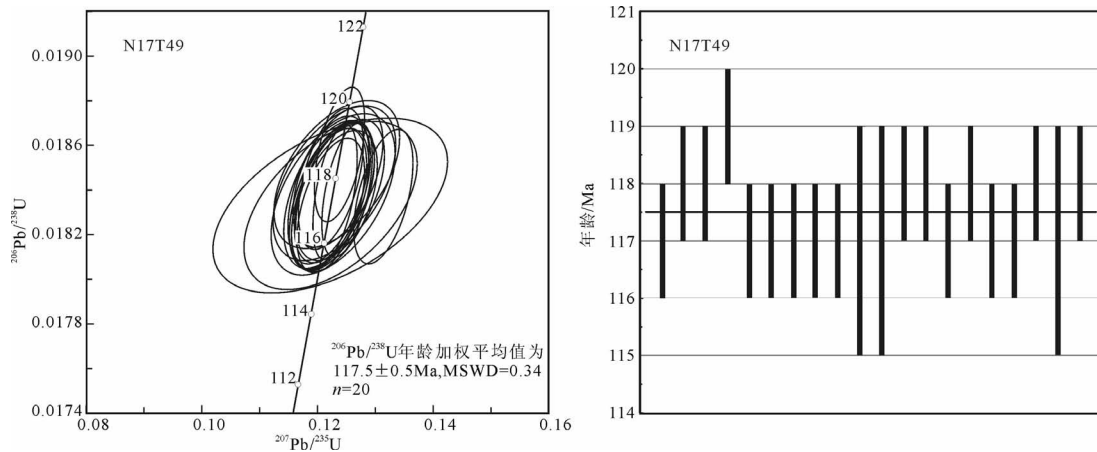


图 5 阿索蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 5 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams of gabbro from the Asuo ophiolite

料。系统收集该蛇绿岩带上的蛇绿岩定年结果(图 6),发现狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带中的蛇绿岩形成时代主要分为 3 个阶段:晚三叠世-早侏罗世,地层主要分布在狮泉河、拉果错、纳木错及凯蒙地区,形成年龄在 219~178Ma 之间;中一晚侏罗世,地层主要分布在狮泉河、拉果错、永珠-纳木错地区,形成年龄在 165~149Ma 之间;早白垩世晚期,地层主要分布在中仓-阿索地区,形成年龄在 117~114Ma 之间。综合以上年龄结果,笔者认为,狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带代表的洋盆可能在晚三叠世已经开始扩张,最晚在早侏罗世已经裂解成洋。前人对

该蛇绿岩带上的中一晚侏罗世蛇绿岩的地球化学分析结果显示,中晚侏罗世蛇绿岩普遍遭受了俯冲物质的影响,可能指示此时该大洋处于俯冲消减阶段<sup>[28]</sup>。早白垩世晚期的蛇绿岩出露范围较小,其中的辉长岩普遍具有弧后盆地的地球化学特征,可能代表了俯冲过程中的弧后扩张事件<sup>[4,29]</sup>。同时,该大洋存在的时间达到 100Ma 左右,而现代的弧后盆地持续最长的时间约为 60Ma,其演化时限与弧后盆地演化不符<sup>[30]</sup>。同时,北冈底斯板块缺乏与洋盆拉张同期的或早于洋盆形成时代的晚三叠世-早侏罗世岩浆弧<sup>[27]</sup>。因此,前人关于该大洋是班公湖-

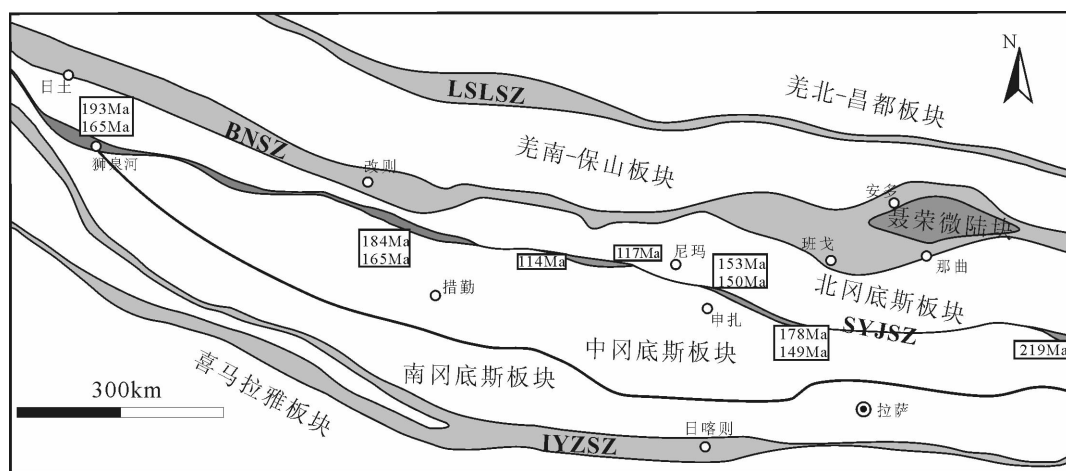


图 6 狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带地质简图(蛇绿岩年龄据参考文献[9-10,25-28])

Fig. 6 Sample geological map of Shiquanhe-Yunzhug-Jiali ophiolite zone  
LSLSZ-龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带;BNSZ-班公湖-怒江板块缝合带;  
SYJSZ-狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带;IYZSZ-印度-雅鲁藏布江板块缝合带



怒江洋南向俯冲的弧后盆地的观点尚需进一步讨论。狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿岩带代表的洋盆可能是一个与班公湖-怒江洋平行的、独立演化的小洋盆。

**致谢:**野外工作得到吉林大学西藏科研队的队员们和后勤工作人员的帮助,锆石同位素测试分析由中国地质大学(北京)科学研究院老师帮助完成,在此一并致以真挚的谢意。

## 参考文献

- [1]Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y, et al. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 2011, 301(1/2):241-255.
- [2]Zhu D C, Li S M, Cawood P A, et al. Assembly of the Lhasa and Qiangtang terranes in central Tibet by divergent double subduction[J]. *Lithos*, 2016, 245:7-17.
- [3]Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y, et al. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau[J]. *Gondwana Research*, 2013, 23(4):1429-1454.
- [4]徐梦婧. 青藏高原狮泉河-永珠-嘉黎蛇绿混杂岩带的构造演化[D]. 吉林大学博士学位论文, 2014.
- [5]Xu M, Li C, Zhang X, et al. Nature and evolution of the Neo-Tethys in central Tibet: synthesis of ophiolitic petrology, geochemistry, and geochronology[J]. *International Geology Review*, 2014, 56(9): 1072-1096.
- [6]曹圣华, 罗小川, 唐峰林, 等. 班公湖-怒江结合带南侧弧-盆系时空结构与演化特征[J]. *中国地质*, 2004, 31(1):51-56.
- [7]王永胜, 曲永贵, 吕鹏, 等. 西藏永珠蛇绿岩带地质特征[J]. *吉林地质*, 2003, 22(2):1-14.
- [8]杨日红, 李才, 迟效国, 等. 西藏永珠-纳木湖蛇绿岩地球化学特征及其构造环境初探[J]. *现代地质*, 2003, 17(1):14-19.
- [9]和钟铎, 杨德明, 王天武. 西藏嘉黎断裂带凯蒙蛇绿岩的年代学、地球化学特征及大地构造意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22(3):653-660.
- [10]徐建鑫. 西藏改则县拉果错蛇绿岩的构造属性[D]. 吉林大学硕士学位论文, 2015.
- [11]简平, 刘敦一, 张旗, 等. 蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年[J]. *地学前缘*, 2003, 10(4):439-456.
- [12]潘桂棠, 陈智樑, 李兴振, 等. 东特提斯多弧-盆系统演化模式[J]. *岩相古地理*, 1996(2):52-65.
- [13]李才, 黄小鹏, 翟庆国, 等. 龙木错-双湖-吉塘板块缝合带与青藏高原冈瓦纳北界[J]. *地学前缘*, 2006, 13(4):136-147.
- [14]潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. *岩石学报*, 2006, 22(3):521-533.
- [15]谢国刚. 西藏冈底斯-拉萨陆块中部构造格局及地质演化[D]. 中国地质大学(武汉)硕士学位论文, 2004.
- [16]唐峰林, 黄建村, 罗小川, 等. 藏北阿索构造混杂岩的发现及其地质意义[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2004, 27(3):245-250.
- [17]袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 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[J]. *科学通报*, 2003, 48(14):1511-1520.
- [18]吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 2004, 49(16):1589-1604.
- [19]Belousova E, Griffin W, O'Reilly S Y, et al. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contributions to Mineralogy & Petrology*, 2002, 143(5):602-622.
- [20]Hoskin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2000, 18(4):423-439.
- [21]Grimes C B, John B E, Kelemen P B, et al. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance[J]. *Geology*, 2007, 35(7):643-646.
- [22]Ludwig K R. User's manual for Isoplot 3.0: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronological Center Spec. Pub., 2003, 4: 1-70.
- [23]Sun S S, Mc Donough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[C]//Saunders A D, Noryy M J. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society London Special Publications, 1989, 42: 313-345.
- [24]Zhang K J, Xia B, Zhang Y X, et al. Central Tibetan Meso-Tethyan oceanic plateau[J]. *Lithos*, 2014, s210/211:278-288.
- [25]Yuan Y J, Yin Z X, Weiliang L, et al. Tectonic Evolution of the Meso-Tethys in the Western Segment of Bangonghu-Nujiang Suture Zone: Insights from Geochemistry and Geochronology of the Lagkor Tso Ophiolite[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015, 89(2): 369-388.
- [26]Zhong Y, Xia B, Liu W L, et al. Geochronology, petrogenesis and tectonic implications of the Jurassic Namco-Renco ophiolites, Tibet[J]. *International Geology Review*, 2015, 57(4):508-528.
- [27]Zeng Y C, Xu J F, Chen J L, et al. Geochronological and geochemical constraints on the origin of the Yunzhug ophiolite in the Shiquanhe-Yunzhug-Namu Tso ophiolite belt, Lhasa Terrane, Tibetan Plateau[J]. *Lithos*, 2018, s300/301:250-260.
- [28]郑有业, 许荣科, 马国桃, 等. 锆石 SHRIMP 测年对狮泉河蛇绿岩形成和俯冲的时间约束[J]. *岩石学报*, 2006, 22(4):895-904.
- [29]Xu M J, Li C, Xu W, et al. Petrology, Geochemistry and Geochronology of Gabbros from the Zhongcang Ophiolitic Mélange, Central Tibet: Implications for an Intra-Oceanic Subduction Zone within the Neo-Tethys Ocean[J]. *Journal of Earth Science*, 2014, 25(2):224-240.
- [30]肖庆辉, 李廷栋, 潘桂棠, 等. 识别洋陆转换的岩石学思路——洋内弧与初始俯冲的识别[J]. *中国地质*, 2016, 43(3):721-737.