



## 青海拉脊山东段峡门蛇绿混杂岩带的物质确定及其构造意义

曹锦山, 王伟, 李五福, 张新远, 缙明亮

青海省青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室/青海省地质调查院, 青海 西宁 810012

**摘要:** 在拉脊山东段青海省民和县峡门镇以南地区新识别出一条蛇绿混杂岩带, 其物质组成复杂, 构造岩块主要由蛇绿岩岩块、外来岩块、火山岩岩块以及变沉积岩岩块组成。基性火山熔岩和辉绿岩具轻稀土富集的“右倾”配分模式, 大离子亲石元素 Ba、Th、Sr 相对富集, 高场强元素 P、Ti、Nb 相对亏损, 总体岩石地球化学特征与岛弧拉斑玄武岩类似。岩石学、岩石地球化学、同位素年代学特征及区域资料综合研究认为, 峡门蛇绿岩属与俯冲有关的 SSZ 型蛇绿岩, 很可能是早古生代原特提斯洋俯冲消减的弧后小洋盆, 属于弧后盆地扩张型蛇绿岩。

**关键词:** 拉脊山; 蛇绿混杂岩; 岩石地球化学; SSZ 型蛇绿岩; 构造环境; 青海省

## DETERMINATION OF THE XIAMEN OPHIOLITE MELANGE IN THE EASTERN SECTION OF LAJI MOUNTAIN, QINGHAI PROVINCE: Tectonic Implication

CAO Jin-shan, WANG Wei, LI Wu-fu, ZHANG Xin-yuan, GOU Ming-liang

Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources in Northern Qinghai-Tibet Plateau/Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, China

**Abstract:** An ophiolite melange belt with complex material compositions is newly identified in Xiamen Town in the eastern section of Laji Mountain, Qinghai Province. The tectonic blocks are mainly composed of ophiolites, exotic blocks, volcanic rocks and meta-sedimentary rocks. The basic volcanic lava and diabase are characterized by right-dipping LREE enrichment patterns, enrichment of LILEs (Ba, Th and Sr), and depletion of HFSEs (P, Ti and Nb), with the general petrogeochemistry similar to that of island-arc tholeiite. The comprehensive study of petrology, petrogeochemistry, isotope chronology and regional geology show that the Xiamen ophiolite is of supra-subduction zone (SSZ) type, which is probably a back-arc small ocean basin formed by Early Paleozoic Proto-Tethyan Ocean subduction, belonging to back-arc basin spreading ophiolite.

**Key words:** Laji Mountain; ophiolite melange; petrogeochemistry; SSZ-type ophiolite; tectonic setting; Qinghai Province

### 0 引言

祁连造山带位于青藏高原东北缘, 北与阿拉善地

块相连, 南与柴北缘-西秦岭造山带相接, 东、西分别

与鄂尔多斯地块和塔里木地块相邻, 是我国中央造山

收稿日期: 2021-10-29; 修回日期: 2021-12-15. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局项目“青海区域地质调查片区总结与服务产品开发”(12120114079701); “青海省民和县西沟地区三幅 1:5 万区域地质矿产调查”(12120114041301).

作者简介: 曹锦山(1990—), 男, 从事区域地质矿产调查工作, 通信地址 青海省西宁市城中区南川西路 107 号, E-mail//1061428298@qq.com

通信作者: 王伟(1982—), 男, 从事区域地质矿产调查工作, 通信地址 青海省西宁市城中区南川西路 107 号, E-mail//1533419085@qq.com

带的重要组成部分<sup>[1]</sup>。祁连造山带被划分为北、中、南3个构造带<sup>[2]</sup>,其中存在多条以蛇绿混杂岩为主的增生杂岩。拉脊山蛇绿混杂岩带位于中祁连和南祁连的结合部位,其构造属性长期以来存在争议:有的学者认为拉脊山蛇绿混杂带属前寒武纪基底裂谷基础上形成的裂隙槽组合或裂谷型蛇绿岩<sup>[3-4]</sup>或陆间裂谷小洋盆<sup>[5-10]</sup>;王二七等<sup>[11-12]</sup>认为拉脊山蛇绿混杂岩带属北祁连早古生代蛇绿岩的重要组成部分,是北祁连早古生代蛇绿岩在古生代中期陆内变形阶段沿祁连中央冲断带向南俯冲至中祁连元古宙结晶地块之下并经过多期构造变形抬升至地表的“构造窗”。通过近年来开展的区域地质填图和科研工作,在拉脊山蛇绿混杂岩带的空间展布、物质组成、构造属性研究方面获得了新的资料,认为拉脊山蛇绿混杂带是由前寒武纪地块、增生楔和岛弧火山岩组成的增生混杂带<sup>[13-19]</sup>。

青海省地质调查院于2014—2016年,承担完成了青海省民和县西沟地区1:5万三幅区域地质矿产调查工作<sup>①</sup>,对区内前人划分的六道沟组进行了详细的调查研究<sup>②</sup>,认为其并非一套正常沉积-火山喷发的地层,而

是一条具有构造混杂特点并发育蛇绿岩组分的蛇绿混杂岩带,重新厘定为峡门蛇绿混杂岩带。结合区域资料分析,认为峡门蛇绿混杂岩应当属于区域上拉脊山蛇绿混杂岩带的东延部分。本文针对该带的蛇绿岩组分,从岩石组合、岩石地球化学、形成时代、构造环境分析等方面进行阐述,为区域上拉脊山蛇绿混杂岩带的研究提供新的资料。

## 1 区域地质背景

拉脊山蛇绿混杂岩带位于中祁连造山带,西起日月山,东至民和官亭镇,全长约200 km,宽10~20 km,是一条呈北西西走向的弧形山脉(图1)。拉脊山蛇绿混杂岩带南、北两侧分别为化隆岩群和湟源岩群构成的元古宙变质结晶基底<sup>[20-24]</sup>,之间主要出露寒武纪—奥陶纪火山-沉积岩系<sup>[25]</sup>,局部地段出露志留系和泥盆系山间磨拉石堆积<sup>[26]</sup>。

峡门蛇绿混杂岩带位于拉脊山东段,为拉脊山蛇绿混杂岩带的一部分(图1b)。区域上党河南山-拉脊山蛇绿混杂岩带西起疏勒南山,主体向东沿经苏里、哈

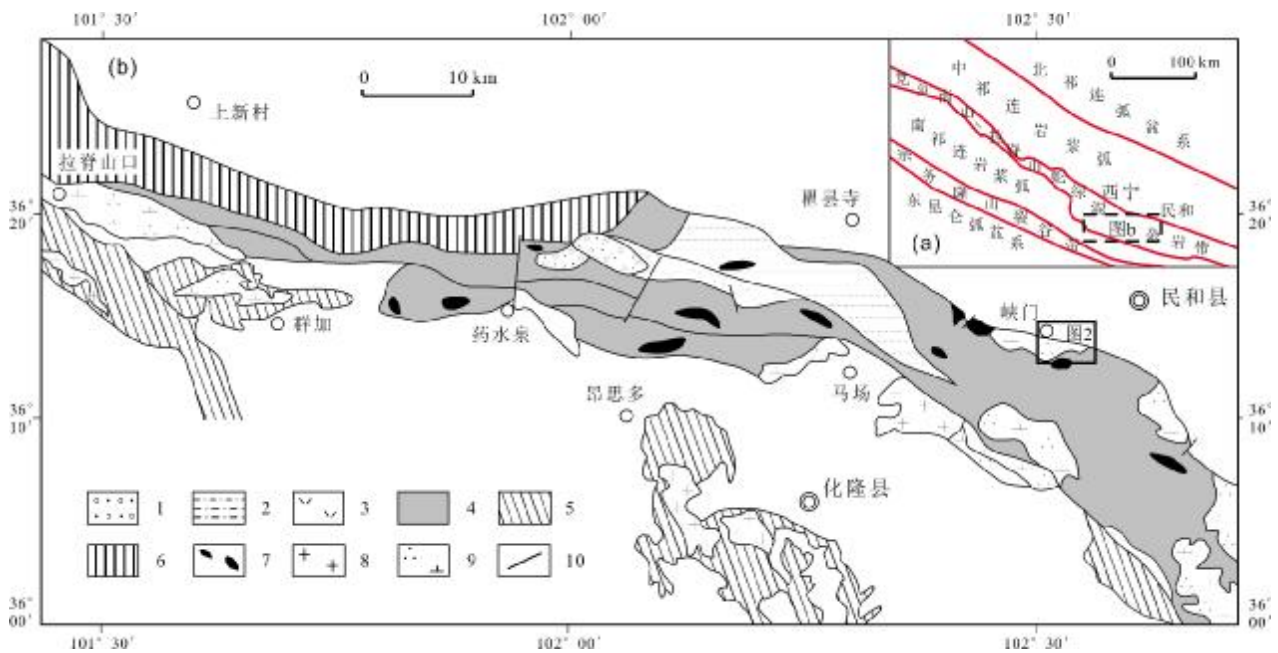


图1 拉脊山地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Lajishan area

1—泥盆系 (Devonian); 2—志留系 (Silurian); 3—奥陶系 (Ordovician); 4—混杂带 (melange zone); 5—化隆岩群 (Hualong rock group); 6—湟源岩群 (Huangyuan rock group); 7—超基性岩 (ultrabasic rock); 8—花岗岩 (granite); 9—石英闪长岩 (quartz diorite); 10—断层 (fault)

①张新远,等. 青海省民和县西沟地区1:5万三幅区域地质矿产调查报告. 青海省地质调查院. 2017.

②张克信,等. 1:25万民和回族土族自治县幅区域地质调查报告. 中国地质大学(武汉)地质调查研究院. 2005.

拉湖、木里、沙柳河、刚察及拉脊山一线,呈北西向狭长带状断续出露展布. 本文研究的峡门蛇绿混杂岩构造位置属秦祁昆造山系、中-南祁连弧盆系,三级构造单元为党河南山-拉脊山蛇绿混杂岩带<sup>[27]</sup>,北邻中祁连岩浆弧,南邻南祁连岩浆弧与宗务隆山裂谷带相隔(图1a).

峡门蛇绿混杂岩带位于青海民和县西南部峡门镇南侧一带,距离民和县城约30 km,整体呈团块状展布,出露面积约70.5 km<sup>2</sup>,东部与中奥陶世闪长岩、石英闪长岩呈侵入接触,北部被第四系覆盖,西北部地区与晚奥陶世英云闪长岩呈断层接触,局部与古近纪-中新世西宁组呈断层接触. 峡门蛇绿混杂岩带北侧发育的峡门断裂(F1,区域上称拉脊山北缘断裂)为本区主断裂,也是研究区蛇绿混杂岩带的北部边界断裂(图2).

## 2 蛇绿混杂岩物质组成

混杂岩带由大小不等的弱变形构造岩块和相对强变形的基质组成,在宏观上构成极为明显的“网结状”构造,岩块和基质、岩块和岩块之间均呈脆韧性断层接触.

混杂岩带内发育的构造岩石块体大致可分为4类:蛇绿岩岩块、外来岩块、火山岩岩块以及变沉积岩岩块. 基质由强变形的变质火山岩、细碎屑岩及不同岩块改造而成的细粒物组成,岩性为蚀变中基性糜棱岩、含凝灰角砾熔岩质糜棱岩、凝灰岩质糜棱岩、火山岩质超糜棱岩、强片理化的灰绿色绿泥石片岩、钠长绿帘绿泥石片岩、长英质千枚岩等.

### 2.1 蛇绿岩岩块

该类岩石由变质橄榄岩、辉长岩、基性岩墙、基性火山熔岩及海相沉积物组成,是经历了俯冲刮削、碰撞

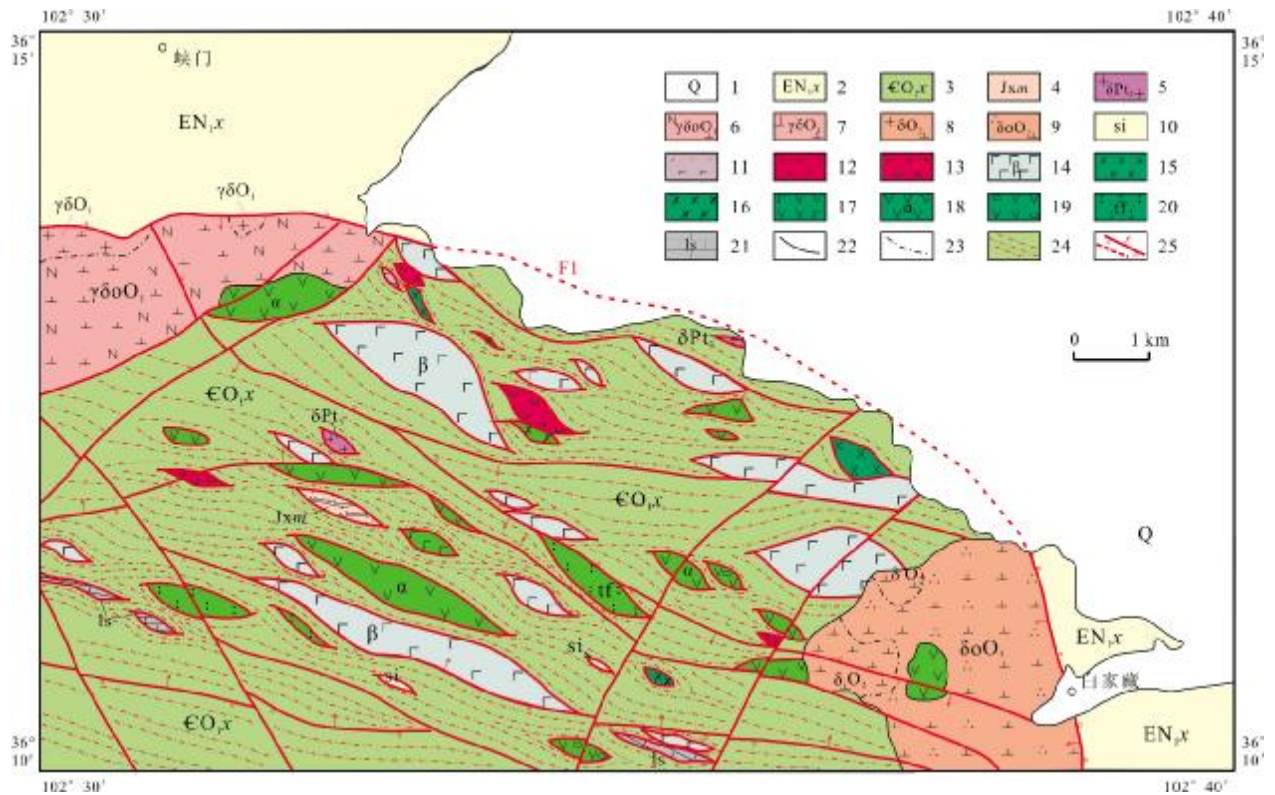


图2 拉脊山蛇绿混杂岩带东段峡门地区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of Xiamen area in the eastern section of Lajishan ophiolite melange belt

- 1—第四系(Quaternary); 2—西宁组(Xining fm.); 3—峡门蛇绿混杂岩(Xiameng ophiolite melange); 4—磨石沟组(Moshigou fm.); 5—新元古代花岗岩(Neoproterozoic granite); 6—早奥陶世英云闪长岩(E. Ordovician tonalite); 7—早奥陶世花岗闪长岩(E. Ordovician granodiorite); 8—中奥陶世闪长岩(M. Ordovician diorite); 9—中奥陶世石英闪长岩(M. Ordovician quartz diorite); 10—硅质岩(siliceous rock); 11—辉石岩(pyroxenite); 12—橄榄岩(peridotite); 13—蛇纹岩(serpentinite); 14—玄武岩(basalt); 15—辉绿岩(diabase); 16—辉长岩(gabbro); 17—玄武安山岩(basaltic andesite); 18—安山岩(andesite); 19—安山质角砾熔岩(andesitic breccia lava); 20—凝灰岩(tuff); 21—灰岩(limestone); 22—侵入界线(boundary of intrusion); 23—脉动侵入(pulsating intrusion); 24—韧性剪切带(ductile shear zone); 25—逆断层/遥感推断断层(reverse fault/ remote sensing inferred fault)

就位、后碰撞改造等过程的复杂构造移置体。蛇绿岩呈大小不一的构造岩块产出,岩块长轴沿北西向展布,不同蛇绿岩石块体之间及其与周边的其他岩石块体之间多以断层、韧性剪切带或强片理化带等构造界面接触。

### (1)变质橄榄岩

该类岩石出露局限,在整个蛇绿岩中占比较小,通常与辉长岩相伴产出,单体规模较小,普遍具蛇纹石化,部分岩石原岩特征较为明显。主要岩石类型为强蛇纹石化纯橄岩、蛇纹石化斜辉橄橄榄岩、蛇纹岩、蛇纹石化辉石岩。

蛇纹石化斜辉橄橄榄岩:黑绿色,叶片状变晶结构,块状构造。矿物成分主要为橄榄石(77%)、斜方辉石(20%)、磁铁矿等金属矿物(3%)。由于热液交代蚀变作用的参与,橄榄石全部被蛇纹石及纤维蛇纹石的集合体交代,沿不规则网状裂纹析出星点状磁铁矿,显橄榄石晶体变化后的构造特征。斜方辉石被叶蛇纹石交代。

蛇纹石化辉石岩:深灰色,叶片变晶结构,块状构造。从镜下观察来看岩石中的矿物成分有蛇纹石(93%)、金属矿物(4%)、碳酸盐矿物(3%)。蛇纹石为热液交代蚀变作用形成的矿物,形态呈叶片状,叶片长一般在0.013~0.12 mm之间,为叶蛇纹石。多呈交织状排列的集合体,显自形、半自形粒状晶的假象轮廓,假象中无原矿物残留。金属矿物呈自形、半自形粒状晶。碳酸盐矿物呈显微粒状,不太均匀的分布在叶蛇纹石集合体中。

### (2)辉长岩

该类岩石于区内出露广泛,呈小透镜状产出,普遍具阳起石化,主要岩石类型为蚀变细粒辉长岩、强阳起石化暗色辉长岩。

蚀变细粒辉长岩:灰绿色,辉长结构,嵌晶含长结构,块状构造。岩石由斜长石(56%)、暗色矿物(42%)、不透明矿物(2%)组成。斜长石近等轴粒状,略被泥化、钠长石化、不均匀的钠黝帘石化,推测是基性斜长石,暗色矿物呈粒状,在较粗的颗粒中嵌有柱状斜长石,形成岩石的嵌晶含长结构,暗色矿物全部被纤闪石化,斜长石也有碎裂双晶弯曲现象。

### (3)基性岩墙

由强蚀变辉绿岩、蚀变辉长辉绿岩组成,多呈岩块

或透镜状产出,量少且单体规模较小,具纤闪石化或钠黝帘石化,其中在峡门水库附近见规模较大的辉绿岩墙穿插玄武岩中,组成了蛇绿岩中相关的基性岩席或岩墙。岩性特征描述如下。

强蚀变辉绿岩:灰绿色,辉绿结构,块状构造,岩石由斜长石(72%)、暗色矿物(28%)组成。斜长石呈板状、柱状,均匀分布在岩石中,全部被钠黝帘石化。暗色矿物呈柱状、粒状,充填在斜长石矿物颗粒之间,全部纤闪石化。岩石具辉绿结构,块状构造,在岩石裂隙中充填碳酸盐矿物。

### (4)基性火山熔岩

分布范围较广泛,主要为玄武岩类岩石,多具绿片岩相变质,主要岩石特征如下。

蚀变玄武岩:灰绿色,斑状结构、基质玻璃结构,发育块状构造、枕状构造、杏仁及气孔状构造。岩石由斑晶(10%)、基质(82%)和杏仁(5%)组成。斑晶矿物组分是斜长石(10%),呈板状、板柱状,普遍被绿泥石化、帘石化。少量含铁碳酸盐矿物(3%),呈极不规则状均匀分布在岩石中。杏仁呈椭圆状,其内充填有硅质、硅质绿泥石等,在岩石中分布均匀,不具方向性排列。

钠长石化阳起石化玄武岩:暗绿色,变余斑状结构,基质具粒状纤状变晶结构,不明显的定向构造。岩石由少数斑晶、大量的基质矿物、沿裂隙充填的石英及绿泥石组成。斑晶为斜长石(2%),辉石假象(1%)。斜长石呈板状晶,表面布有绿泥石;辉石全部被阳起石交代,保留粒状晶的假象形态;基质成分为阳起石(50%)、钠长石(20%)、金属矿物(2%)。

### (5)深海沉积物

较为完整的蛇绿岩中,其上部的深海沉积物包括放射虫硅质岩、含钙质超微化石的灰岩、页岩和硬砂岩等。研究区蛇绿混杂岩带中仅见零星透镜状、小构造块体产出的硅质岩。岩石为紫红色、灰绿色,显微粒状变晶结构,块状构造。主要矿物成分为石英,呈半自形粒状晶,粒径在0.01~0.08 mm之间,颗粒间彼此紧密镶嵌,还有不透明的铁质矿物。它们呈显微粒状集合体不均匀地分布在岩石中,使岩石显紫红色。此外,岩石受力影响发育多条裂隙,由后期热液作用形成的方解石和石英充填成脉。

## 2.2 外来岩块

主要包括蓟县系湟中群磨石沟组石英岩块体和新



元古代变质侵入体块体两类。

石英岩块在龙合寺南西约 3.8 km 处出露,呈透镜状北西向展布,出露面积约 0.18 km<sup>2</sup>。岩石为灰白—白色石英岩,粒状变晶结构,块状构造。岩石受构造运动影响而具碎裂岩化,局部露头处见层间不协调褶皱。

新元古代变质侵入体岩性为糜棱岩化的眼球状花岗岩,在龙合寺南西侧和西沟水库沟口出露,分别呈透镜状和楔状体产出,块体规模较小,岩块边部脆韧性动力变质明显,表现为糜棱岩化。这些岩块具 S 型碰撞花岗岩的特征,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年获得的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄加权平均值为 821.1±5.6 Ma<sup>[28]</sup>。

### 2.3 火山岩岩块

在峡门蛇绿混杂岩带内还识别出较多的中基性—中酸性火山岩岩块,呈大小不一、数量不等的构造透镜体产出,岩性主要为灰绿色、深灰色玄武安山岩、安山岩、辉石安山岩、安山质角砾熔岩,局部为变基性—中性火山岩(绿片岩)类。这些火山岩岩块边部脆韧性变形动力变质明显,局部片理化强烈,岩石地球化学特征显示为俯冲作用的岛弧火山岩。

### 2.4 变沉积岩岩块

混杂岩带内少量出露,分为碳酸盐岩和变质细碎屑岩两种。碳酸盐岩包括浅灰色细—粉晶灰岩、灰色结晶灰岩等。变质细碎屑岩包括泥绢云母千枚岩、云母片岩、泥质板岩、钙质千枚状片岩等。前者呈透镜状、细条带状沿北西向展布,后者区内出露普遍较少,且多呈块体间的基质(糜棱岩、千糜岩)产出。这些变质沉积岩大部分应当是早古生代弧后盆地俯冲闭合时期充填盆地沉积的产物,也有部分可能是伸展时期陆缘盆地沉积的产物,只是目前无法详细区分。

## 3 岩石地球化学特征

从表 1 可以看出,采集的蛇绿岩样品烧失量均明显偏高(3.1%~18.54%),这与野外及镜下特征一致。故主量元素分析、计算和投图均使用经过烧失量校正后的数据。

### 3.1 主量元素特征

#### 3.1.1 变质橄榄岩

SiO<sub>2</sub> 含量为 33.42%~39.50% (属于超基性岩范畴),TiO<sub>2</sub> 0.01%~0.05%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.19%~0.70%,MgO 36.97%~38.74%,Na<sub>2</sub>O 0.11%~0.15%,K<sub>2</sub>O 0.01%~

0.05%,全铁 TFeO 8.70%~11.33%。岩石总体表现为低 SiO<sub>2</sub>,贫 TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O,富 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO 特征,属残余地幔产物。岩石普遍 Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O,相对富 Na, Mg<sup>#</sup> 值为 91.7~94.88。

在 AFM 图解(图 3)中,超基性岩样品均落入镁铁和超镁铁堆积岩区域;在 ACM 图解(图 4)中,超基性岩样品集中落入变质橄榄岩区。

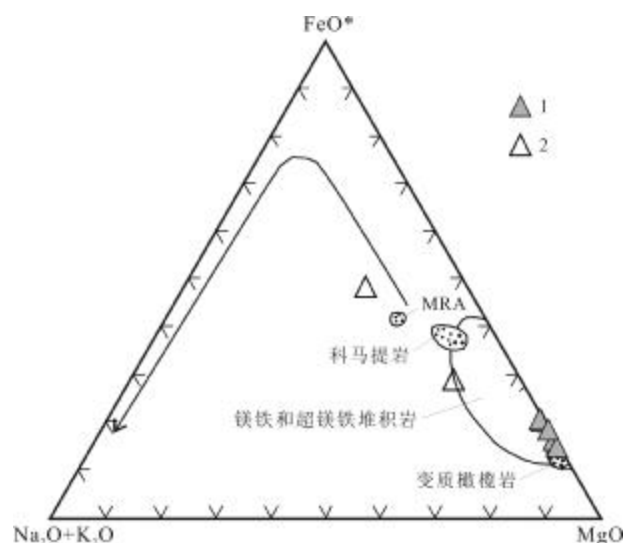


图 3 AFM 图解

(据 Coleman, 1977)

Fig. 3 The AFM diagram

(After Coleman, 1977)

1—超基性岩(ultrabasic rock); 2—辉长岩(gabbro)

#### 3.1.2 镁铁质岩类

SiO<sub>2</sub> 含量为 46.45%~48.88% (属基性岩范畴),TiO<sub>2</sub> 0.10%~1.38%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11.52%~15.50%,MgO 6.58%~12.26%,全铁 TFeO 6.33%~10.57%,Na<sub>2</sub>O 1.84%~3.13%,K<sub>2</sub>O 0.54%~0.71%。Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O,Na<sub>2</sub>O 和 K<sub>2</sub>O 平均值高于变质橄榄岩。岩石总体为低 SiO<sub>2</sub>,贫 K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O,而 FeO<sub>t</sub>、MgO 含量相对较低,具有镁铁质岩石的特征。岩石普遍 Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O,相对富 Na, Mg<sup>#</sup> 值为 59.85~79.57。在 AFM 图解中(图 3),基性岩样品均落入镁铁和超镁铁堆积岩区域;在 ACM 图解中(图 4),基性岩样品集中落入镁铁堆积岩区。

#### 3.1.3 基性岩墙和基性火山熔岩

SiO<sub>2</sub> 含量为 45.86%~50.64%,平均为 47.70%;TiO<sub>2</sub> 为 0.20%~1.73%,平均 0.67%,与 IAT(岛弧拉斑玄武岩)的 TiO<sub>2</sub> 含量(0.84%)相当(Pearce, 1982)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为

表 1 峡门蛇绿岩主量元素分析结果  
Table 1 Contents of major elements in Xiamen ophiolite

样品号	GS345	GS345	Pm31GS	Pm31GS	Pm31GS	Pm02GS	QIVG	Pm02GS	Pm02G	Pm20GS	Pm20GS	GS327
	1-1	1-2	12-1	14-1	14-2	25-1	S05	23-1	S01	20-1	70-1	6-1
岩性	超镁铁质岩类					镁铁质岩类		基性岩(席)及基性火山熔岩				
	蛇纹石化橄榄岩	斜辉橄榄岩	辉石岩	蛇纹岩		辉长岩		辉绿岩			蚀变玄武岩	
SiO <sub>2</sub>	33.59	33.42	39.1	37.6	39.5	46.45	48.88	45.86	49.55	46.36	46.11	50.64
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.02	0.05	0.01	0.03	1.38	0.1	0.26	0.2	0.82	1.73	0.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.23	0.22	0.7	0.19	0.27	14.52	15.5	5.46	3.06	17.56	14.03	16.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.08	6.61	7.32	8.43	6.98	3.65	1.24	1.76	4.05	4.76	5.61	5.24
FeO	1.2	1.05	3	2.3	2.4	6.4	4.97	8.05	6.93	6.4	6.65	6.85
MnO	0.11	0.1	0.15	0.19	0.11	0.17	0.16	0.23	0.18	0.19	0.17	0.21
MgO	38.37	38.74	36.97	37.04	37.99	6.58	12.26	15.98	20.33	4.77	4.47	5.32
CaO	0.13	0.13	0.47	1.28	0.35	8.63	10.48	14.78	15.36	9.95	8.87	8.12
Na <sub>2</sub> O	0.15	0.14	0.13	0.13	0.11	3.13	1.84	0.41	0.24	3.58	3.76	1.86
K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.54	0.71	0.54	0.06	0.39	0.55	0.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.17	0.01	0.03	0.03	0.14	0.24	0.04
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	4.74	3.73	0.47	1.04	0.37	3.79	0.23	2.79	3.97	1.69	4.51	0.07
CO <sub>2</sub>	9.81	9.68	10.96	11.1	11.2	4.36	3.26	3.56	3.38	3.16	3.05	4.02
LOI	18.54	19	11.47	12.33	11.68	7.49	3.1	5.49		4.19	6.86	3.54
总量%	99.46	99.46	99.4	99.56	99.49	99.09	99.26	98.84	99.99	99.12	99.07	99.07
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.07	0.08	0.17	0.26	0.42	0.17	0.38	1.32	0.25	0.11	0.15	0.02
Mg <sup>f</sup>	94.39	94.88	91.7	92.04	92.84	59.85	79.97	76.48	80.88	50.54	47.21	51.4
TFeO	9.35	8.7	10.91	11.33	9.89	10.57	6.33	10.32	10.58	11.25	12.68	12.1

含量单位:%.

3.06%~17.56%, Na<sub>2</sub>O 为 0.24%~3.76%; K<sub>2</sub>O (0.06%~0.55%), 平均为 0.31%, 与 IAT(岛弧拉斑玄武岩)的 K<sub>2</sub>O 含量(0.43%)相当(Pearce, 1982). 主量元素含量与辉长岩相差无几, 与变质橄榄岩相比, 具硅不饱和, 高钛、高铝、高碱低镁铁的特征, 总体表现为富钠贫钾. 在 SiO<sub>2</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)图解(图 5)中, 玄武岩和辉绿岩样品投点集中分布在亚碱性系列; 在 AFM 图解(图 6)中, 玄武岩和辉绿岩样品投点在拉斑玄武岩系列, 表现出拉斑玄武质岩浆的演化趋势.

## 3.2 稀土元素和微量元素特征

### 3.2.1 变质橄榄岩和辉长岩

由表 2 可知, 变质橄榄岩稀土总量  $\Sigma$  REE 为  $4.41 \times 10^{-6}$ ~ $7.97 \times 10^{-6}$ . 其中斜辉橄榄岩  $\Sigma$  REE 为  $8.83 \times 10^{-6}$ , 辉石岩  $\Sigma$  REE 为  $4.05 \times 10^{-6}$ , 蛇纹石岩  $\Sigma$  REE 为

$3.07 \times 10^{-6}$ . 从蛇纹石化橄榄岩-蛇纹石岩其稀土总量很低, 基本无变化, 稀土整体较亏损. LREE/HREE 比值为 4.38~8.05, (La/Yb)<sub>N</sub> 为 5.21~12.44, 显示轻稀土略微富集, Sm/Nd 比值普遍为 0.20~0.22, 反映物源与地幔岩浆的成分相似, 且是较低或中等程度部分熔融的产物.  $\delta$ Eu 略小于 1, 显示钕弱负异常特征. 球粒陨石为标准化的稀土配分模式图中(图 7), 曲线具略“右倾”的轻稀土弱富集型, 分馏不明显.

辉长岩稀土总量  $\Sigma$  REE 较变质橄榄岩明显增加, 为  $5.5 \times 10^{-6}$ ~ $89.18 \times 10^{-6}$ , 平均为  $47.34 \times 10^{-6}$ ; LREE/HREE 为 2.27~3.97, 平均为 3.12; (La/Yb)<sub>N</sub> 均大于 1, 平均为 2.73, 反映岩石轻重稀土分异较明显;  $\delta$ Eu 为 0.95~1.63, 岩石显示钕弱正异常特征. 球粒陨石为标准化的稀土配分模式图中(图 7a), 岩石曲线呈略微

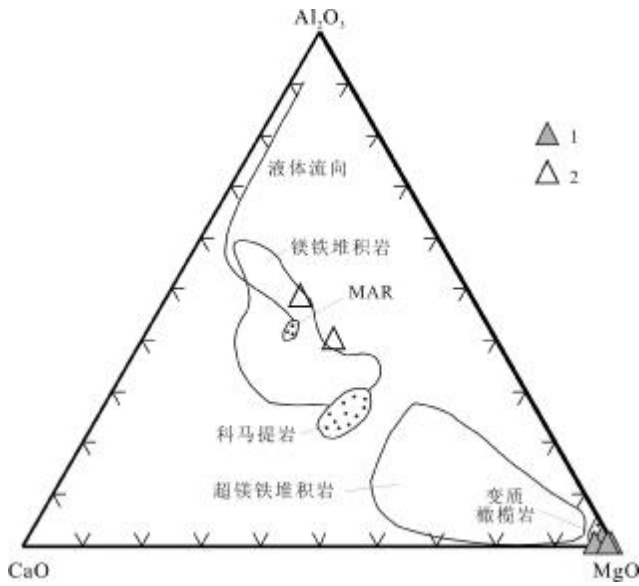


图4 ACM图解  
(据 Coleman, 1977)

Fig. 4 The ACM diagram  
(After Coleman, 1977)

1—超基性岩(ultrabasic rock); 2—辉长岩(gabbro)

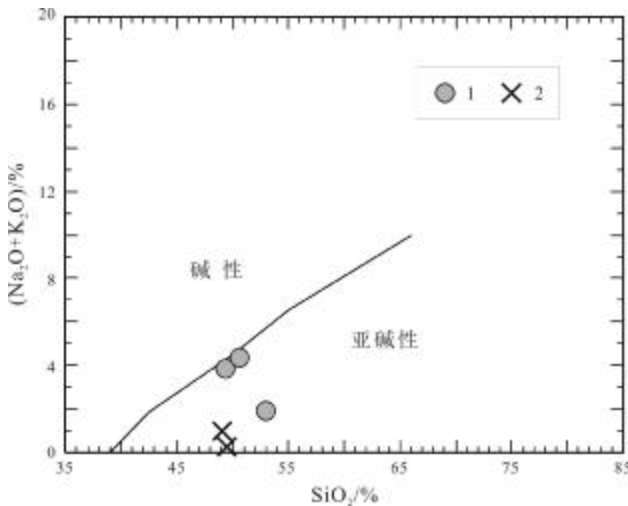


图5 SiO<sub>2</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)图解

Fig. 5 The SiO<sub>2</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) diagram

1—玄武岩(basalt); 2—辉绿岩(diabase)

“右倾”的轻稀土富集型,重稀土曲线较平坦.在原始地幔为标准化的微量元素比值蛛网图中(图7b),整体起伏变化不大,显示左侧隆起向右“平缓”降低的分布曲线.岩石总体表现出Ba、Rb、Th、Ta、La、Hf元素富集特征,K、Nb、Sr、P、Ti元素亏损,Nb、Ce、Sm、Tb、Y、Er、Yb、Lu元素无起伏变化.

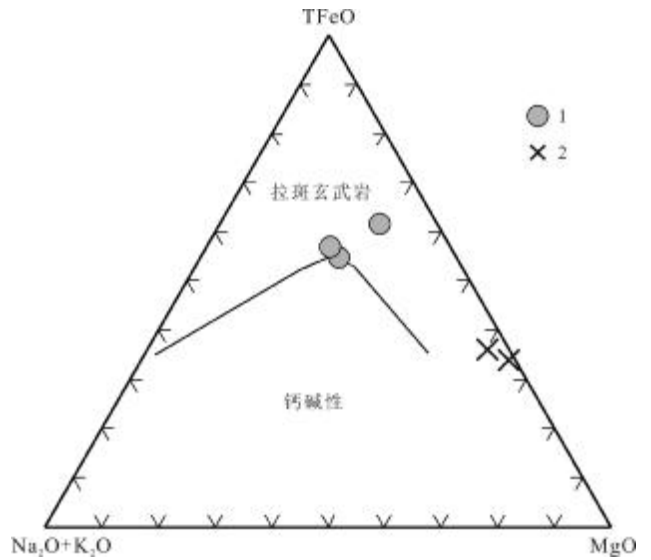


图6 AFM图解

Fig. 6 The AFM diagram

1—玄武岩(basalt); 2—辉绿岩(diabase)

### 3.2.2 基性岩(席)及基性火山熔岩

稀土总量  $\Sigma REE$  为  $10.7810^{-6} \sim 95.99 \times 10^{-6}$ , 平均为  $42.90 \times 10^{-6}$ , 普遍高于前述镁铁-变质橄榄岩的稀土总量.轻重稀土比值 LREE/HREE 为 1.35~4.80, 平均 3.23;  $(La/Yb)_N$  为 0.91~5.11, 平均为 3.06, 反映轻稀土具一定程度富集;  $(La/Sm)_N$  为 1.5~2.64, 平均为 1.96, 表明轻稀土内部分馏特征较明显;  $(Gd/Yb)_N$  为 0.66~1.51, 平均 1.25, 反映重稀土内部分馏作用很小;  $\delta Eu$  介于 0.92~1.07 之间, 平均为 0.99, 钕基本无异常, 反映岩浆源区无斜长石残留.球粒陨石为标准化的稀土配分模式图中(图8a),曲线基本呈平滑略“右倾”的轻稀土富集型.

在原始地幔标准化微量元素蛛网图中(图8b),玄武岩和辉绿岩样品均表现出大离子亲石元素 Ba、Th、Sr 相对富集,高场强元素 P、Ti、Nb 相对亏损,总体特征与火山弧玄武岩类似<sup>[29]</sup>.表明岩石具有与俯冲作用有关的标志性的、独特的地球化学特点<sup>[30]</sup>.

## 4 讨论

### 4.1 形成时代

区域上整个拉脊山蛇绿混杂岩带中同位素年代学资料较丰富:张金明等<sup>①</sup>在拉脊山蛇绿混杂岩带西段苏里扎巧合一带的辉长质糜棱岩中获得 LA-ICP-MS

①张金明,等.青海省天峻县苏里地区五幅区调 1:5 万五幅区调报告.青海省地质调查院. 2015.

表2 峡门蛇绿岩稀土元素和微量元素分析结果

Table 2 Contents of REEs and trace elements in Xiamen ophiolite

样品号	GS34 51-1	GS34 51-2	Pm31GS 12-1	Pm31GS 14-1	Pm31GS 14-2	Pm02GS 25-1	QIVG S05	Pm02GS 23-1	Pm02G S01	Pm20GS 20-1	Pm20GS 70-1	GS32 76-1
岩性	超镁铁质岩类				镁铁质岩类			基性岩(席)及基性火山熔岩				
	蛇纹石化橄榄岩	斜辉橄榄岩	辉石岩	蛇纹岩	辉长岩		辉绿岩		玄武岩			
La	1.01	1.92	2.23	1.11	0.74	13.61	0.82	2.46	1.83	14.30	15.13	1.97
Ce	0.78	1.52	2.40	1.14	1.16	29.37	1.61	4.88	3.42	23.62	29.51	3.21
Pr	0.29	0.52	0.48	0.25	0.14	4.06	0.17	0.76	0.48	3.59	4.16	0.53
Nd	1.19	2.13	1.75	0.88	0.56	18.39	0.81	3.58	2.00	15.20	18.97	2.49
Sm	0.26	0.45	0.39	0.17	0.11	4.38	0.25	0.94	0.55	3.41	4.90	0.83
Eu	0.07	0.11	0.11	0.05	0.02	1.43	0.16	0.31	0.19	1.22	1.68	0.30
Gd	0.21	0.37	0.42	0.15	0.09	4.78	0.36	1.10	0.60	3.48	5.50	1.20
Tb	0.03	0.06	0.06	0.02	0.02	0.83	0.07	0.20	0.10	0.53	0.91	0.23
Dy	0.22	0.37	0.37	0.12	0.09	5.01	0.47	1.20	0.67	3.46	6.10	1.75
Ho	0.05	0.07	0.08	0.02	0.02	1.01	0.10	0.25	0.14	0.74	1.29	0.42
Er	0.14	0.21	0.22	0.06	0.05	2.88	0.30	0.74	0.38	2.11	3.64	1.37
Tm	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.42	0.05	0.11	0.05	0.30	0.53	0.22
Yb	0.13	0.19	0.24	0.06	0.05	2.64	0.28	0.75	0.32	1.89	3.19	1.46
Lu	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.38	0.05	0.12	0.05	0.30	0.49	0.25
Sr	4.3	6.25	6.24	7.8	6.52	249.6	140.2	43.66	35.08	237.7	420.6	197.8
Rb	0.4	1.69	1.39	2.38	3.67	10.08	23.65	6.98	2	5.18	5.74	0.88
Ba	64.4	32.1	8.65	49.78	9.16	193.8	56.07	393.4	52.44	122.5	203.3	32.78
Th	0.34	0.85	0.45	0.36	0.34	2.19	2.39	0.53	0.34	2.04	2.53	0.62
Ta	0	0.1	0.05	0.1	0.08	0.97	1.39	0.24	0.17	0.92	0.8	0.25
Nb	0.52	1.1	0.39	0.39	0.6	10.26	3.58	1.77	1.86	7.19	11.33	1.68
Zr	6.8	6.1	5.45	5.54	4.95	144.9	7.92	18.3	11.48	54	140.5	19
Hf	0.7	0.6	0.26	0.6	0.17	4.5	0.77	0.7	0.77	1.5	3.8	0.6
Cr	3422	2589	3688	3711	2366	247.1	415.1	971.7	1579	82.59	81.82	56.36
Ni	2377	2464	928.3	1100	1069	-	161	-	374.5	23.77	45.96	27.93
Co	-	-	-	-	-	39.13	-	65.44	-	-	-	-
V	0.06	0.04	0.1	0.15	0.15	0.43	0.05	0.07	0.08	0.44	0.57	0.19
Y	1.28	1.97	2.13	0.57	0.55	24.56	2.77	6.23	3.48	18.78	31.08	10.56
∑REE	4.41	7.97	8.83	4.05	3.07	89.18	5.5	17.38	10.78	74.13	95.99	16.21
LREE	3.59	6.65	7.36	3.6	2.73	71.24	3.82	12.92	8.47	61.34	74.36	9.32
HREE	0.82	1.33	1.47	0.45	0.34	17.94	1.68	4.46	2.31	12.79	21.63	6.9
LREE/HREE	4.38	5.01	5.01	8	8.03	3.97	2.27	2.9	3.67	4.8	3.44	1.35
(La/Yb) <sub>N</sub>	5.21	6.79	6.26	12.47	9.98	3.48	1.97	2.23	3.86	5.11	3.2	0.91
δEu	0.86	0.78	0.83	0.94	0.6	0.95	1.63	0.94	1.01	1.07	0.99	0.92
(La/Sm) <sub>N</sub>	2.49	2.71	3.6	4.11	4.23	1.95	2.06	1.65	2.09	2.64	1.94	1.5
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1.27	1.54	1.41	2.02	1.45	1.46	1.04	1.19	1.51	1.49	1.39	0.66

含量单位: 10<sup>-6</sup>.



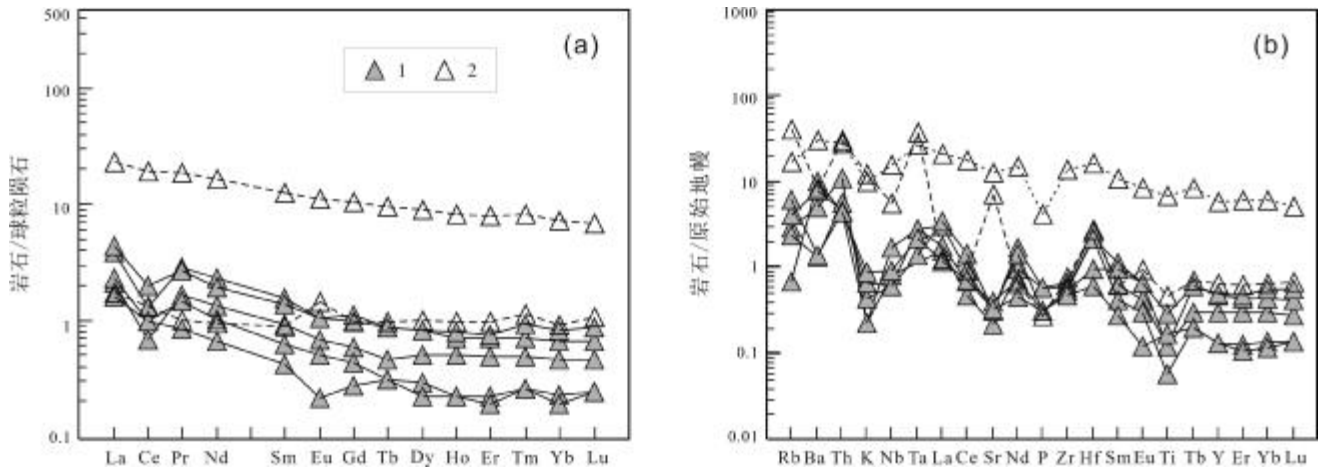


图7 变质橄榄岩和辉长岩稀土配分图和微量元素蛛网图

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns and trace element spidergrams of metamorphic peridotite and gabbro

1—超基性岩(ultrabasic rock); 2—辉长岩(gabbro)

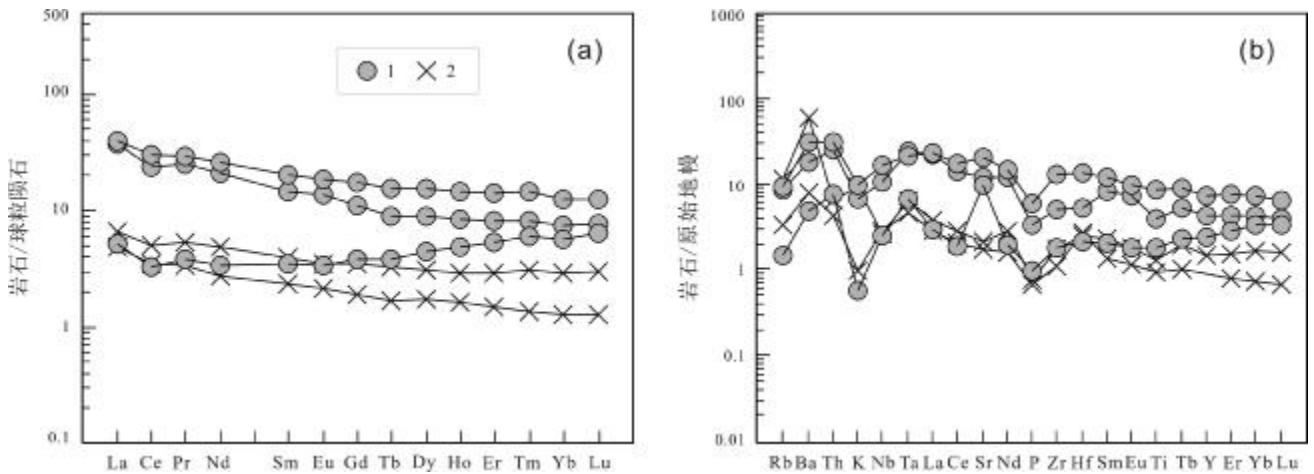


图8 基性岩(席)、基性火山熔岩稀土配分图和微量元素蛛网图

Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns and trace element spidergrams of basic rock (sheet) and basic volcanic lava

1—玄武岩(basalt); 2—辉绿岩(diabase)

锆石 U-Pb 年龄  $524 \pm 2.5$  Ma (MSWD=0.43,  $n=22$ ); 白旭东等<sup>①</sup>在木里错喀莫日南辉长岩中获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄  $491.8 \pm 1.2$  Ma (MSWD=0.92,  $n=24$ ); 许海泉等<sup>②</sup>在刚察种羊场附近的糜棱岩化辉石岩中获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄  $513.4 \pm 2.1$  Ma ( $n=24$ ); 付长垒等<sup>[17]</sup>在拉脊山口辉绿岩块中获得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄  $491 \pm 5.1$  Ma (MSWD=1.6,  $n=10$ )。这些同位素测年资料均表明整个拉脊山蛇绿混杂岩带中从早寒武世就已经有洋壳出现。

#### 4.2 构造环境及构造意义

蛇绿岩作为古洋壳碎片,在古大洋的识别和重建,例如大洋的形成、扩张和闭合,俯冲带的发展,以及大陆造山带的形成过程等方面,起着不可替代的关键作用,也是碰撞和增生造山带中作为识别汇聚板块边界的最主要标志<sup>[31-35]</sup>。Dilek 等<sup>[34]</sup>研究认为,微量元素 Ti、V、Th、Yb、Nb 在变质作用和蚀变中最不活跃,它们不仅是区分俯冲作用相关岩浆和其他类型岩浆的指标,而且在与其他地球化学和野外区域构造约束联合

①白旭东,等. 青海省天峻县木里地区 1:5 万六幅区调报告.青海省地质调查院. 2014.

②许海泉,等. 青海省刚察县电泵站地区 1:5 万 4 幅区调报告.青海省地质调查院. 2014.

运用中极为可靠. 在 Pearce(1980)玄武岩 Hf-Th-Nb 图解中(图 9), 玄武岩和辉绿岩样品投点均分布在 D 区(火山弧玄武岩); 在 Pearce(1973)的玄武岩 Ti-Zr-Sr 判别图解中(图 10), 玄武岩和辉绿岩样品投点均在 IAB(岛弧拉斑玄武岩); 在 Pearce(1982)的玄武岩 Ti-Zr 判别图解中(图 11), 玄武岩和辉绿岩样品投点分布在 A、B 区(低钾拉斑玄武岩), 其中有一个玄武岩样品投点在 D 区(洋中脊玄武岩); 在 Pearce(2014)玄武岩 Th/Yb-Nb/Yb 图解中(图 12), 玄武岩和辉绿岩样品投点位于 MORB-OIB 地幔域趋势线以上, 表明该蛇绿岩属于与俯冲有关的蛇绿岩.

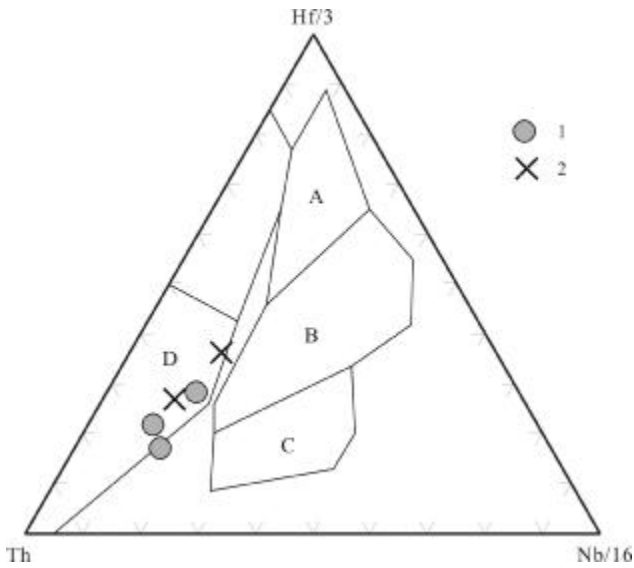


图 9 Hf-Th-Nb 图解  
(据 Pearce, 1980)

Fig. 9 The Hf-Th-Nb diagram  
(After Pearce, 1980)

A—正常洋脊玄武岩(normal mid-ocean ridge basalt); B—富集型洋脊玄武岩和板内拉斑玄武岩(enriched mid-ocean ridge basalt and within-plate tholeiite); C—板内碱性玄武岩(within-plate alkali basalt); D—火山弧玄武岩(volcanic arc basalt); 1—玄武岩(basalt); 2—辉绿岩(diabase)

以上事实表明, 峡门蛇绿岩的形成环境与板块的俯冲消减作用密切相关. 邓晋福等<sup>[36]</sup>认为洋中脊扩张型(MORS)蛇绿岩中的地幔橄榄岩为无交代作用的变质橄榄岩类, 洋俯冲带上面(SSZ)蛇绿岩中的地幔橄榄岩为明显交代作用记录的变质橄榄岩类. 研究区地幔橄榄岩具有明显的变质交代作用, 岩石普遍蛇纹石化, 具有 SSZ 型蛇绿岩特征.

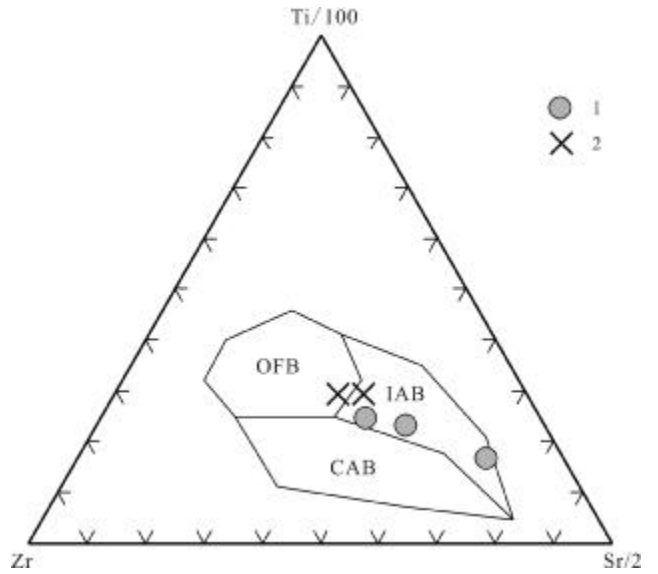


图 10 Ti-Zr-Sr 图解  
(据 Pearce, 1973)

Fig. 10 Ti-Zr-Sr diagram  
(After Pearce, 1973)

IAB—岛弧拉斑玄武岩 (island arc tholeiite); OFB—洋脊拉斑玄武岩 (oceanic ridge tholeiite); CAB—岛弧钙碱性玄武岩 (island arc calc-alkaline basalt); 1—玄武岩 (basalt); 2—辉绿岩 (diabase)

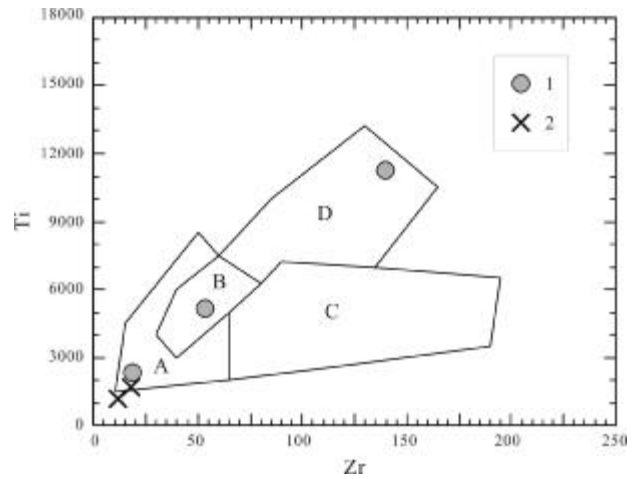


图 11 Ti-Zr 图解  
(据 Pearce, 1982)

Fig. 11 The Ti-Zr diagram  
(After Pearce, 1982)

A、B—岛弧拉斑玄武岩 (island arc tholeiite); A、C—岛弧钙碱性玄武岩 (island arc calc-alkaline basalt); B、D—洋中脊拉斑玄武岩 (mid-ocean ridge tholeiite); 1—玄武岩 (basalt); 2—辉绿岩 (diabase)

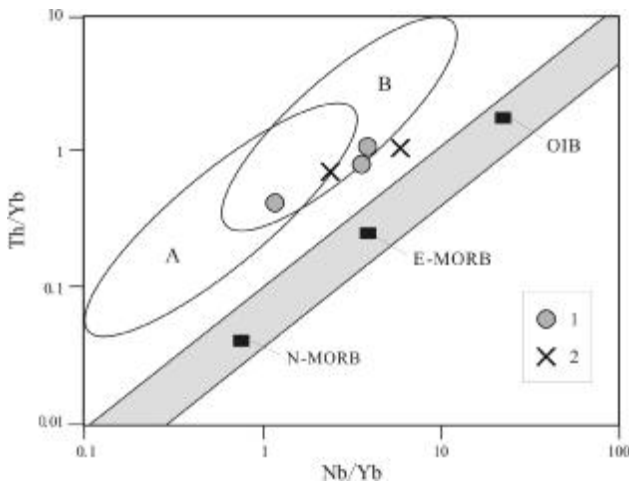


图 12 Th/Yb-Nb/Yb 图解

(据 Pearce, 2014)

Fig. 12 The Th/Yb-Nb/Yb diagram

(After Pearce, 2014)

N-MORB—正常洋脊玄武岩(normal mid-ocean ridge basalt); E-MORB—富集洋脊玄武岩(enriched mid-ocean ridge basalt); OIB—洋岛玄武岩(ocean island basalt); A—大洋弧(oceanic arc); B—大陆边缘弧(continent marginal arc); 1—玄武岩(basalt); 2—辉绿岩(diabase)

综上所述,笔者认为峡门蛇绿岩属于与俯冲有关的SSZ型蛇绿岩.付长全等<sup>[18]</sup>认为拉脊山蛇绿混杂岩带是寒武纪时期原特提斯洋演化的产物,属SSZ型蛇绿岩,具有双向俯冲的特点,早期向南晚期向北.峡门蛇绿岩很可能是早古生代原特提斯洋俯冲消减的弧后小洋盆,属于弧后盆地扩张型蛇绿岩.峡门蛇绿混杂岩的确定至少说明在寒武纪该区存在一个小洋盆,该蛇绿混杂岩的发现对于研究整个拉脊山蛇绿混杂岩带的构造演化具有重要的参考价值,同时也是了解原特提斯洋演化的一个“窗口”.

## 5 结论

(1)峡门蛇绿混杂岩带由大小不等的弱变形构造岩块和相对强变形的基质组成.构造岩块主要由蛇绿岩岩块、外来岩块、火山岩岩块以及变沉积岩岩块组成.基质由强变形的变质火山岩、细碎屑岩及不同岩块改造而成的细粒物组成,具有强片理化和糜棱岩化等动力变质作用特征.

(2)研究区蛇绿岩主要由变质橄榄岩(蛇纹石化橄榄岩、蛇纹石化斜辉橄榄岩、辉石橄榄岩、蛇纹岩)、蚀变辉长岩、辉绿岩墙、基性火山熔岩(枕状玄武岩)和深

海沉积物(紫红、浅灰绿色硅质岩)组成.其中基性火山熔岩和辉绿岩岩石地球化学特征显示:轻稀土富集,大离子亲石元素Ba、Th、Sr相对富集,高场强元素P、Ti、Nb相对亏损,具有IAT(岛弧拉斑玄武岩)特征,表明其形成环境与板块的俯冲消减作用密切相关.

(3)岩石学、岩石地球化学、同位素年代学特征及区域资料综合研究认为,峡门蛇绿岩属SSZ型蛇绿岩,很可能是早古生代原特提斯洋俯冲消减的弧后小洋盆,属于弧后盆地扩张型蛇绿岩.

## 参考文献(References):

- [1]张国伟,柳小明.关于“中央造山带”几个问题的思考[J].地球科学—中国地质大学学报,1998,23(5):443-448.  
Zhang G W, Liu X M. Some remarks on China Central Orogenic System[J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(5): 443-448.
- [2]冯益民,何世平.祁连山大地构造与造山作用[M].北京:地质出版社,1996:35-37.  
Feng Y M, He S P. Geotectonics and orogeny of the Qilian Mountains, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 35-37.
- [3]左国朝,李志林.拉鸡山裂谷带特征及演化[J].甘肃地质学报,2001,10(1):26-31.  
Zuo G C, Li Z L. Features and evolution history of Lajishan rift zone [J]. Acta Geologica Gansu, 2001, 10(1): 26-31.
- [4]曾广策,邱家骧,朱云海.拉鸡山造山带的蛇绿岩套及古构造环境[J].青海地质,1997,13(1):1-6.  
Zeng G C, Qiu J X, Zhu Y H, et al. Ophiolitic suite of Lajishan orogenic belt and its paleotectonic setting[J]. Qinghai Geology, 1997, 13(1): 1-6.
- [5]夏林圻,夏祖春,彭礼贵,等.北祁连山石灰沟奥陶纪岛弧火山岩系岩浆性质的确定[J].岩石矿物学杂志,1991,25(1):1-10.  
Xia L Q, Xia Z C, Peng L G, et al. Determination of magmatic nature of Ordovician island arc volcanic series in the Shihuigou area in the Northern Qilian Nountains [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1991, 25(1): 1-10.
- [6]邱家骧,曾广策,王思源,等.青海拉脊山造山带早古生代火山岩[J].西北地质科学,1995,31(1):69-83.  
Qiu J X, Zeng G C, Wang S Y, et al. Early Palaeozoic volcanic rocks in Laji Mountain orogenic belt, Qinghai Province [J]. Northwest Geoscience, 1995, 31(1): 69-83.
- [7]邱家骧,张珠福.北秦岭早古生代海相火山岩的实验、成分与构造开合[J].地球科学—中国地质大学学报,1997,29(3):11-17.  
Qiu J X, Zhang Z F. Experiment, composition and tectonic opening closing of Early Palaeozoic marine volcanic rocks from northern Qinling Mountains, China [J]. Earth Science — Journal of China

- University of Geosciences, 1997, 29(3): 11-17.
- [8]邱家骧,曾广策,朱云海,等.北秦岭-南祁连早古生代裂谷造山带火山岩与小洋盆蛇绿岩套特征及纬向对比[J].高校地质学报,1998,35(4):34-46.
- Qiu J X, Zeng G C, Zhu Y H, et al. Characteristics and latitudinal comparative research on the Early Palaeozoic volcanic rocks of rifted orogenic belt and small ocean basin ophiolite suit from northern Qinling Mountains and southern Qilian Mountains [J]. Geological Journal of China Universities, 1998, 35(4): 34-46.
- [9]杨巍然,邓清禄,吴秀玲.南祁连拉脊山造山带基本特征及大地构造属性[J].地质学报,2002,76(1):106.
- Yang W R, Deng Q L, Wu X L. Basic characteristics and geotectonic attributes of the Lajishan orogenic belt in the South Qilian [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(1): 106. (in Chinese)
- [10]杨巍然,邓清禄,吴秀玲.拉脊山造山带断裂作用特征及与火山岩-蛇绿岩套的关系[J].地质科技情报,2000,19(2):5-11.
- Yang W R, Deng Q L, Wu X L. Faulting of Laji orogenic belt and its relationship to volcanic rocks and ophiolites [J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(2): 5-11.
- [11]王二七,张旗,Burchfiel C B.青海拉脊山:一个多阶段抬升的构造窗[J].地质科学,2000,35(4):493-500.
- Wang E Q, Zhang Q, Burchfiel C B. The Lajishan fault belt in Qinghai Province: A multi-staged uplifting structural window [J]. Chinese Journal of Geology, 2000, 35(4): 493-500.
- [12]王二七,张旗.关于祁连山东段地块的构造叠加和折返的讨论——答左国朝研究员等的质疑[J].地质论评,2001,18(6):566-567.
- Wang E Q, Zhang Q. A discussion on the tectonic superposition and inversion in the eastern section of the Qilian Mountains [J]. Geological Review, 2001, 18(6): 566-567. (in Chinese)
- [13]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,1996,16(2):52-65.
- Pan G T, Chen Z L, Li X Z, et al. Models for the evolution of the polyarc-basin systems in eastern Tethys [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1996, 16(2): 52-65.
- [14]潘桂棠,李兴振,王立全,等.青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J].地质通报,2002,21(11):701-707.
- Pan G T, Li X Z, Wang L Q, et al. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(11): 701-707.
- [15]张旗,周国庆,王焰.中国蛇绿岩的分布、时代及其形成环境[J].岩石学报,2003,19(1):1-8.
- Zhang Q, Zhou G Q, Wang Y. The distribution of time and space of Chinese ophiolites, and their tectonic settings [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(1): 1-8.
- [16]张雪亭.青海省大地构造格架研究[D].北京:中国地质大学,2006.
- Zhang X T. Study on the tectonic framework of Qinghai [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2006.
- [17]付长垒,闫臻,郭现轻,等.拉脊山口蛇绿混杂岩中辉绿岩的地球化学特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J].岩石学报,2014,30(6):1695-1706.
- Fu C L, Yan Z, Guo X Q, et al. Geochemistry and SHRIMP zircon U-Pb age of diabases in the Lajishankou ophiolitic mélangé, South Qilian terrane [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(6): 1695-1706.
- [18]付长垒,闫臻.拉脊山蛇绿混杂带结构组成、形成时代与形成过程[J].地球学报,2017,38(S1):29-32.
- Fu C L, Yan Z. The composition, age and tectonic setting of Lajishan ophiolite mélangé [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2017, 38(S1): 29-32.
- [19]钟林汐.青海拉脊山中酸性侵入岩的地球化学特征、成岩时代及构造意义[D].北京:中国地质大学,2015.
- Zhong L X. Geochemical characteristics, diagenetic ages and tectonic significances of the intermediate-felsic intrusive rocks in Qinghai Lajishan Mountains [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2015.
- [20]郭进京,张国伟,陆松年,等.中祁连地块东段元古宙基底涅源群沉积构造环境[J].西北大学学报(自然科学版),1999,29(4):343-347.
- Guo J J, Zhang G W, Lu S N, et al. Analysis for sedimentary-tectonic setting of the Huangyuan Group in the western Mid-Qilian Massif, Qilian Orogenic Belt [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 1999, 29(4): 343-347.
- [21]郭进京,赵凤清,李怀坤,等.中祁连东段涅源群的年代学新证据及其地质意义[J].中国区域地质,2000,19(1):26-31.
- Guo J J, Zhao F Q, Li H K, et al. New chronological evidence of the age of Huangyuan Group in the eastern segment of Mid-Qilian massif and its geological significance [J]. Regional Geology of China, 2000, 19(1): 26-31.
- [22]徐学义,王洪亮,陈隽璐,等.中祁连东段兴隆山群基性火山岩锆石定年及岩石成因研究[J].岩石学报,2008,24(4):827-840.
- Xu X Y, Wang H L, Chen J L, et al. Zircon U-Pb dating and petrogenesis of Xinglongshan Group basic volcanic rocks at eastern segment of Middle Qilian Mts [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(4): 827-840.
- [23]Wan Y S, Xu Z Q, Yang J S, et al. Ages and compositions of the Precambrian high-grade basement of the Qilian terrane and its adjacent areas [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 75(4): 375-384.
- [24]何世平,李荣社,王超,等.南祁连东段化隆岩群形成时代的进一步限定[J].岩石矿物学杂志,2011,30(1):34-44.
- He S P, Li R S, Wang C, et al. The further age constraint of Hualong rock group in the eastern segment of south Qilian mountains [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2011, 30(1): 34-44.
- [25]青海省地质矿产局.青海省区域地质志[M].北京:地质出版社,1991:103-105.

- Qinghai Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Qinghai Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.
- [26]左国朝,李志林,张崇. 青海拉鸡山构造带是裂谷还是构造窗——与王二七研究员商榷[J]. 地质论评, 2001, 47(6): 561-566.  
Zuo G C, Li Z L, Zhang C. Lajishan tectonic zone of Qinghai Province: Rift or tectonic window? — To discuss with Prof. Wang Er'qi[J]. Geological Review, 2001, 47(6): 561-566.
- [27]潘桂堂,肖庆辉,尹福光,等. 中国大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 2017: 205-207.  
Pan G T, Xiao Q H, Yin F G, et al. Chinese geotectonics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017: 205-207. (in Chinese)
- [28]张新远,欧阳光文,王春涛,等. 拉脊山东段峡门地区新元古代花岗岩闪长岩体锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 中国锰业, 2018, 36(5): 85-88.  
Zhang X Y, Ouyang G W, Wang C T, et al. Zircon U-Pb age and geological significance of Neoproterozoic granodiorite in Xiamen area, Shandong Province[J]. China's Manganese Industry, 2018, 36(5): 85-88.
- [29]Ellam R M, Hawkesworth C J. Elemental and isotopic variations in subduction related basalts: Evidence for a three component model[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1988, 98(1): 72-80.
- [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.  
Xiao Q H, Li T D, Pan G T, et al. Petrologic ideas for identification of ocean-continent transition: Recognition of intra-oceanic arc and initial subduction[J]. Geological in China, 2016, 43(3): 721-737.
- [31]Dilek Y. Ophiolite concept and its evolution[C]//Dilek Y, Newcomb S. Ophiolite concept and the evolution of geological thought. Boulder, Colorado: Geological Society of America, 2003:1-16.
- [32]Dilek Y, Furnes H, Shallo M. Suprasubduction zone ophiolite formation along the periphery of Mesozoic Gondwana[J]. Gondwana Research, 2007, 11(4): 453-475.
- [33]Lister G, Forster M. Tectonic mode switches and the nature of orogenesis [J]. Lithos, 2009, 113(1/2): 274-291.
- [34]Dilek Y, Furnes H. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere [J]. GSA Bulletin, 2011, 123(3/4): 387-411.
- [35]Song S G, Wang M M, Xu X, et al. Ophiolites in the Xing'an-Inner Mongolia accretionary belt of the CAOB: Implications for two cycles of seafloor spreading and accretionary orogenic events[J]. Tectonics, 2015, 34(10): 2221-2248.
- [36]邓晋福,肖庆辉,苏尚国,等. 火成岩组合与构造环境: 讨论[J]. 高校地质学报, 2007, 13(3): 392-402.  
Deng J F, Xiao Q H, Su S G, et al. Igneous petrotectonic assemblages and tectonic settings: A discussion[J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13(3): 392-402.
- (上接第 715 页/Continued from Page 715)
- [37]田健,滕学建,刘洋,等. 内蒙古狼山地区早石炭世石英闪长岩 U-Pb 年龄、地球化学特征及其对古亚洲洋俯冲的指示[J]. 地质通报, 2020, 39(7): 1035-1045.  
Tian J, Teng X J, Liu Y, et al. U-Pb age and geochemical characteristics of quartz diorite in Early Carboniferous from Langshan area of Inner Mongolia, and its implication for subduction of Paleo-Asian Ocean[J]. Geological Bulletin of China, 2020, 39(7): 1035-1045.
- [38]袁建国,任永健,姜振宁,等. 内蒙古锡林浩特毛登牧场早石炭世花岗岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 现代地质, 2017, 31(6): 1131-1146.  
Yuan J G, Ren Y J, Jiang Z N, et al. Zircon U-Pb dating and geochemistry of granites in Early Carboniferous in Maodeng of Xilin Hot, Inner Mongolia and their geological implications[J]. Geoscience, 2017, 31(6): 1131-1146.
- [39]肖中军,王振强,赵春勇,等. 内蒙古苏尼特左旗北部阿登锡勒大队一带早石炭世高分异 I 型花岗岩的发现及地质意义[J]. 地质论评, 2015, 61(4): 777-786.  
Xiao Z J, Wang Z Q, Zhao C Y, et al. The discovery of monzogranite and its geologic implication in Adenxile, Sonid Zuoqi, Inner Mongolia[J]. Geological Review, 2015, 61(4): 777-786.