

# 昆秦接合部志留—泥盆纪侵入岩及其构造环境

张智勇<sup>1,2</sup>, 张克信<sup>1</sup>, 朱云海<sup>1</sup>, 王 瑾<sup>2</sup>

1. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 青海省地质调查院, 青海西宁 810012

**摘要:** 通过详细的地质填图和年代学研究, 确定昆秦接合部存在志留—泥盆纪岩浆活动, 采用单颗粒锆石 U—Pb 定年方法测定侵入岩的形成时代为 382~423 Ma, 即志留—泥盆纪。岩体以小岩株、岩脉及构造岩片产出, 普遍受后期构造作用, 多数以构造片岩卷入海西期苦海—赛什塘构造混杂岩带内。岩性有石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩及二长花岗岩 4 种, 属于典型的钙碱性系列。常量和微量元素特征及构造环境判别显示, 其形成于岛弧或陆缘弧及同碰撞构造环境, 反映了原特提斯洋壳俯冲消减及随后的陆壳碰撞过程。该阶段侵入岩在侵入时代和形成的构造环境上, 与东昆仑早古生代岩浆活动一致, 因此, 昆秦接合部发育的志留—泥盆纪岩浆弧向西可与东昆仑早古生代岩浆岩带相接。志留—泥盆纪侵入岩产出的地质特征及其形成的构造环境进一步说明, 昆秦接合部地区古特提斯多岛小洋盆形成于弧后扩张作用, 与原特提斯洋的关闭紧密相关。

**关键词:** 侵入岩; 志留—泥盆纪; 昆秦接合部; 构造环境。

中图分类号: P588

文章编号: 1000-2383(2005)02-0159-09

收稿日期: 2004-10-15

## Silurian-Devonian Intrusive Rocks and Tectonic Environment in Copulae of Kunlun-Qinling Mountains

ZHANG Zhi-yong<sup>1,2</sup>, ZHANG Ke-xin<sup>1</sup>, ZHU Yun-hai<sup>1</sup>, WANG Jin<sup>2</sup>

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Geological Survey Institute of Qinghai, Xining 810012, China

**Abstract:** Silurian-Devonian magmatic activity was discovered in the copulae of the Kunlun-Qinling mountains by detailed mapping and chronology analysis. Single grain zircon U-Pb dating yielded formation dates of 382–423 Ma in the intrusive rocks, which is Silurian-Devonian. The intrusive bodies are output in stocks, dikes and tectonic slices, which were suffered from later tectonism and evolved in the Kuhai-Saishitang Hercynian mélangé belt as tectonic slices. The rock types are quartz-diorite, tonalite, granodiorite and monzonite granite, belonging to typical calc-alkali rocks. The characteristics of trace elements, main elements and tectonic environment discrimination reveal that the rocks were formed in an island arc tectonic environment or a continental margin arc tectonic environment. Some were also formed in a syncollisional tectonic environment, which reflects the stages of the prototethys ocean subduction and later continental crust collision. In that period intrusive rocks are in accordance with the East Kunlun Early Paleozoic magmatic activity zone, so it is suggested that a Silurian-Devonian magmatic arc developed in the copulae between the Kunlun-Qinling mountains, which joins the East Kunlun Early Paleozoic magmatic rock zone to the west. The geological characteristics and tectonic environment of the Silurian-Devonian intrusive rock in the copulae between Kunlun-Qinling Mountains indicated that the Paleotethys archipelagic ocean was formed in back-arc expansion, which was closely related to the close of the prototethys ocean.

**Key words:** intrusive rock; Silurian-Devonian; copulae of Kunlun-Qinling mountains; tectonic environment.

基金项目: 中国地质调查局“1:25万兴海幅区域地质调查”项目(No. 19961300010122); 高等学校全国优秀博士学位论文作者专项资金项目(No. 200228)。

作者简介: 张智勇(1964—), 男, 高级工程师, 在读博士, 主要从事青藏高原区域地质填图与研究。E-mail: zzhiyong@mail.cgs.gov.cn

东昆仑、西秦岭造山带东西交接地区地质构造复杂,近年来,大量研究揭示出该地区是一个有着复杂洋陆演化历史的复合型造山带(殷鸿福和张克信,1998;朱云海等,1999;张克信等,2001,2004;Zhang *et al.*, 2000, 2004),经历了原特提斯和古特提斯 2 个多岛洋成洋时期(Yin *et al.*, 2004).原特提斯和古特提斯形成时限包括早古生代(可能包括元古代晚期)及晚古生代至三叠纪 2 个阶段,其中志留—泥盆纪是原特提斯与古特提斯相衔接的重要时期.因此,研究这一关键时期的地质记录及其形成的地质构造环境对于探讨原、古特提斯转换的可能机制、恢复古特提斯形成的构造背景具有重要的启示和制约意义.昆秦接合部地区以往很少发现志留—泥盆纪时期的地质记录,因而很难恢复该阶段的地质构造演化历史.最近,通过详细的地质填图和同位素年代学研究,证明昆秦接合部一带存在志留—泥盆纪岩浆侵入活动,并根据产出的地质特征以及地球化学特征,对侵入岩形成的构造环境进行了研究.

## 1 区域地质特征

昆秦接合部造山带主造山期构造格架主要受控于柴达木地块、若尔盖地块及其发育于其间的海西期苦海—赛什塘古特提斯分支洋相互作用(张智勇等,2004),自西而东可划分为柴达木微陆块、苦海—赛什塘构造混杂带、若尔盖微陆块 3 个构造单元(图 1).通过在该地区详细的地质填图和同位素年代学、地球化学研究,在苦海—赛什塘构造混杂带龙通、曲龙、唉呀日、噶尔日和柴达木微陆块东南缘扎那合惹一带,新发现和确定了志留—泥盆纪侵入岩的存在.它们由 7 个岩体组成,出露总面积约 42.25 km<sup>2</sup>(图 1).岩体受海西—印支期主造山期构造作用,与围岩多呈构造接触,部分保留侵入接触关系.各岩体均由单一岩类组成,之间未见侵入接触.岩体呈现 3 种产出状态:呈小岩株状侵入组成柴达木微陆块结晶基底岩系的早元古代白沙河岩组中(图 1a);在构造混杂带的裂解基底岩片中以岩脉状产出(图 1b);呈构造岩片卷入构造混杂带内(图 1c, 1d).岩石类型有石英闪长岩、英云闪长岩、花岗岩闪长岩、二长花岗岩 4 种,受后期韧性构造作用岩石普遍具糜棱岩化、碎裂岩化特点.根据岩石类型和形成时代等特征可划分为以下 5 个岩石单元.

噶尔日片麻状石英闪长岩分布于苦海—赛什塘

构造混杂带东段噶尔日,为一侵入岩构造岩片,与围岩构造接触,东段被第四系掩盖,出露面积约 0.51 km<sup>2</sup>(图 1c).岩石呈灰—灰绿色,片麻状构造为主,变形弱处为块状构造,变余花岗结构,糜棱结构为主,局部保留中粒、中细粒结构.岩体内的片麻状构造及糜棱面理与围岩面理一致,表明岩体与围岩一起共同经历了变质变形作用改造.岩性为灰绿色片麻状石英闪长岩,斜长石多以碎斑状产出,多呈棱角状,眼球状、不规则状,部分保持其晶体的完整性,含量 69%~80%.其次呈碎基产出,为微细粒状,多与石英构成条状、团块状长英质集合体,围绕碎斑定向分布,含量 8%~10%.黑云母多已蚀变为绿泥石,仅保留假象,以集合体形式出现,与长英质集合体平行排列,含量 10%~15%,含少量钾长石.

曲龙片麻状英云闪长岩分布在苦海—赛什塘构造混杂带曲龙、龙通,由一个侵入体和一个侵入岩构造岩片组成.龙通一带以岩脉状产于构造混杂带内规模较大的裂解基底岩片中,岩体原始侵入特征部分保留,侵入元古代龙通片岩中,面积约 0.7 km<sup>2</sup>(图 1b).曲龙一带呈规模较大的构造岩片产出,出露面积约 12.04 km<sup>2</sup>(图 1d).岩性为灰—灰绿色片麻状英云闪长岩,具变余花岗结构、糜棱结构、碎裂结构,块状、片麻状构造.斜长石为更长石,含量 61%~78%.石英呈他形粒状、眼球状,裂隙发育,部分呈碎基充填于裂隙之中,含量 21%~25%.钾长石为微斜长石,含量 2%~6%.黑云母呈半自形鳞片状,多呈集合体形式透镜状定向排列,多为绿泥石、绿帘石交代,含量 5%~7%.

乎若合片麻状石英闪长岩分布在柴达木微陆块东南乎若合,呈单一的岩株状侵入早元古代白沙河岩组中,面积约 0.95 km<sup>2</sup>(图 1a).岩体内可见围岩捕虏体,围岩中有岩枝穿插.受构造改造明显,岩石普遍糜棱岩化,片麻状构造发育,糜棱面理产状与围岩糜棱面理略有斜交.岩性为灰色片麻状石英闪长岩,具变余细粒花岗结构、糜棱结构,片麻状构造.主要由碎斑、碎基两部分组成.碎斑:斜长石为近等轴状他形、半自形板状、眼球状,定向排列,为更长石,含量 63%.石英为不规则状、透镜状,具定向性,含量 15%.黑云母为片状,部分显示“云母鱼”构造,含量 8%.普通角闪石为他形、半自形,多蚀变为绿泥石,局部可见更长石包裹体,含量 10%.碎基主要为长英质集合体及暗色矿物集合体,二者多围绕碎斑相间定向分布,形成片麻状构造,含量 4%.

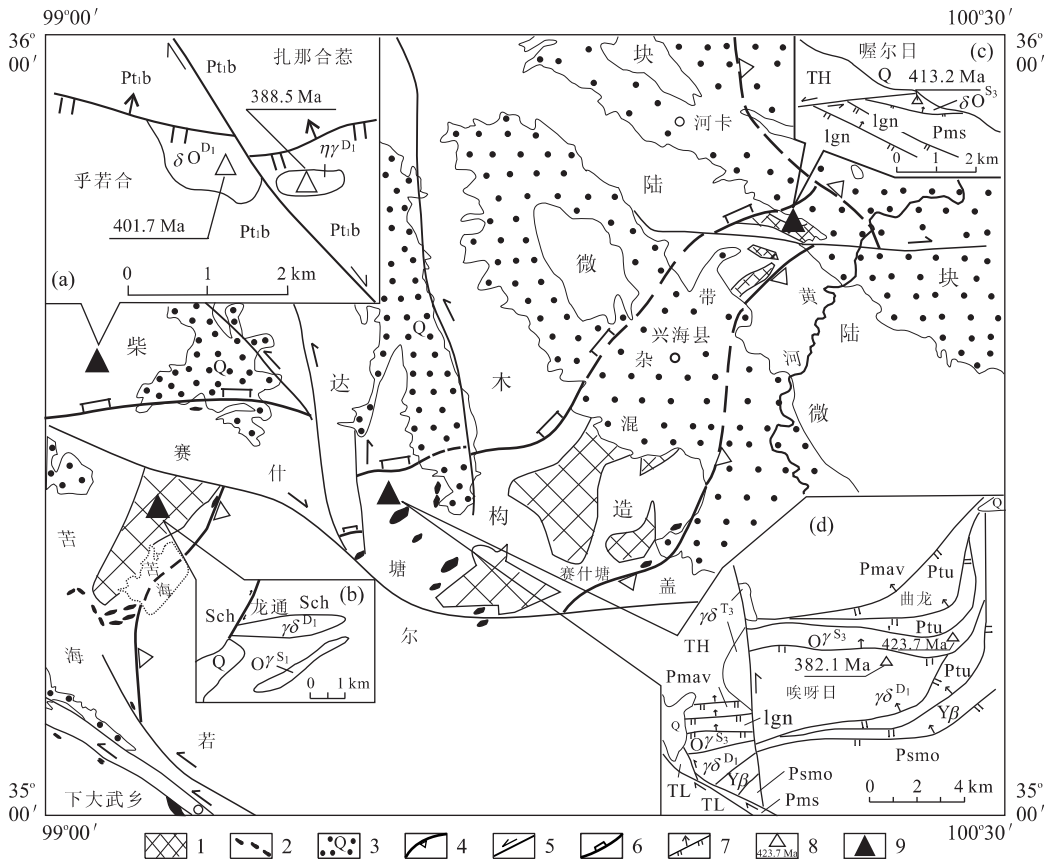


图 1 昆秦接合部构造单元及志留—泥盆纪侵入岩分布

Fig. 1 Tectonic unit and S-D intrusive rock distribution in copulae of Kunlun-Qinling mountain

1. 裂解基底岩片; 2. 蛇绿岩; 3. 第四系; 4. 滑脱带构造单元边界; 5. 走滑断层; 6. 逆冲带构造单元边界; 7. 逆冲断层; 8. 采样位置及同位素年龄; 9. 岩体位置; Pt<sub>1b</sub>. 白沙河岩组; TL. 隆务河群; TH. 洪水川群;  $\gamma\delta^{T_3}$ . 晚三叠世花岗闪长岩; 构造岩片; Sch. 龙通片岩 (Pt<sub>1b</sub>); lgn. 沙乃亥片麻岩 (Pt<sub>1</sub>);  $Y\beta$ . 雅日玄武岩 (P); Psmo. 塞日科龙洼蛇绿混杂岩 (P); Pms. 雪穷糜棱片岩 (P); Pmav. 曲龙中酸性火山岩 (P); Ptu. 双龙浊积岩 (P); 志留—泥盆纪花岗岩;  $\delta o^{S_3}$ . 嘎尔日石英闪长岩;  $o\gamma^{S_3}$ . 曲龙英云闪长岩;  $\delta o^{D_1}$ . 乎若合石英闪长岩;  $\gamma\delta^{D_1}$ . 唉呀日山花岗闪长岩;  $\eta\gamma^{D_1}$ . 扎那合惹二长花岗岩

唉呀日花岗闪长岩分布在苦海—赛什塘构造混杂带唉呀日、龙通, 由一个侵入体和一个侵入岩构造岩片组成. 唉呀日一带为一个侵入岩构造岩片, 呈条状近东西向展布, 岩体与围岩均呈韧性剪切带接触, 面积约 26.4 km<sup>2</sup> (图 1d). 龙通一带以岩脉状产于构造混杂带内规模较大的裂解基底岩片—元古代龙通片岩中, 岩体原始侵入特征部分保留, 面积约 1.4 km<sup>2</sup> (图 1b). 岩体内变形强弱有别, 多具花岗岩结构、块状构造. 岩性为灰—灰白色花岗闪长岩, 具变余中细粒花岗岩结构、糜棱结构, 块状、片麻状、眼球状构造. 斜长石为更长石, 含量为 55%~64%. 石英多为微细粒状集合体, 定向分布于裂隙中, 含量 20%~23%. 钾长石为微斜长石, 多为高岭土、绿泥石交代, 含量 8%~12%. 黑云母鳞片状集合体形式多围绕在长石周围定向排列, 含量 5%~10%.

扎那合惹二长花岗岩分布在柴达木微陆块东南扎那合惹, 呈单一的岩株状侵入早元古代白沙河岩组中, 面积约 0.26 km<sup>2</sup> (图 1a). 岩体受构造影响较小, 但岩石混染明显, 局部可见暗色矿物包体, 椭圆状, 大小在 2 cm×1 cm~2 cm×2 cm 间. 岩性为浅肉红色二长花岗岩, 中细粒花岗结构、块状构造. 微斜条纹长石具轻微高岭土化, 含量 36%, 斜长石为更长石, 含量 33%, 石英含量 26%, 黑云母多为白云母交代, 含量 4%.

## 2 地球化学特征

志留—泥盆纪侵入岩岩石地球化学成分测定结果列于表 1 中.

志留—泥盆纪侵入岩 SiO<sub>2</sub> 含量变化较大, 从

表 1 志留—泥盆纪侵入岩常量元素( $10^{-2}$ )、稀土元素及微量元素分析( $10^{-6}$ )结果

Table 1 Analyses results of major, trace and rare earth elements from S—D intrusive rocks

岩石单元	渥尔日片麻状石英闪长岩	曲龙片麻状英云闪长岩		平若合片麻状石英闪长岩	唉呀日山花岗岩闪长岩			扎那合二长花岗岩	
岩石名称	石英闪长岩	英云闪长岩		石英闪长岩	花岗岩闪长岩			二长花岗岩	
样品编号	2409	4218	3008—1	3415—2	3308—1	3008	4238—1	1127	3309—1
SiO <sub>2</sub>	58.76	68.89	60.32	69.39	65.40	70.56	70.58	68.59	73.25
TiO <sub>2</sub>	0.45	0.42	0.71	0.24	0.24	0.18	0.28	0.27	0.076
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.89	14.42	17.33	15.43	15.68	13.90	14.91	15.27	14.09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.57	0.64	1.52	1.31	0.66	0.52	1.08	1.12	0.00
FeO	1.36	2.08	3.45	1.47	3.71	1.78	1.14	1.20	2.38
MnO	0.089	0.04	0.08	0.054	0.085	0.042	0.072	0.04	0.051
MgO	1.44	2.28	2.73	0.75	2.56	0.61	1.62	1.30	0.52
CaO	2.70	1.70	2.72	2.49	5.00	3.03	2.60	2.72	1.10
Na <sub>2</sub> O	7.47	3.28	4.20	4.74	4.04	4.66	4.33	4.66	3.42
K <sub>2</sub> O	0.19	3.62	2.80	1.97	1.08	2.59	1.92	1.50	4.56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.12	0.25	0.098	0.051	0.096	0.10	0.09	0.054
H <sub>2</sub> O	0.0	1.16	2.26	1.50	1.02	0.57	0.15	0.28	0.44
Los	2.15	2.10	1.01	2.16	1.69	1.56	1.26	2.52	1.13
总和	100.18	99.59	99.38	100.10	100.20	99.53	99.89	99.56	100.63
La	35.55	32.31		11.10	9.33	15.00	39.86		23.72
Ce	55.46	16.88		20.10	16.01	24.70	32.69		41.60
Pr	4.95	4.53		2.17	1.57	2.36	2.91		4.38
Nd	19.11	13.42		8.22	5.88	8.13	10.72		14.90
Sm	3.16	2.40		1.83	1.20	1.56	1.95		3.36
Eu	0.93	0.57		0.51	0.39	0.48	0.52		0.42
Gd	2.21	1.31		1.38	1.24	1.43	1.59		3.64
Tb	0.30	0.21		0.22	0.19	0.18	0.30		0.56
Dy	1.46	1.34		0.95	1.16	1.06	0.89		3.55
Ho	0.25	0.28		0.24	0.24	0.26	0.16		0.67
Er	0.68	0.83		0.45	0.70	0.63	0.43		1.96
Tm	0.09	0.12		0.036	0.11	0.050	0.10		0.26
Yb	0.61	0.83		0.60	0.79	0.68	0.26		1.74
Lu	0.94	0.13		0.081	0.12	0.07	0.10		0.27
Y	7.13	6.90		5.38	7.97	6.33	3.50		19.81
∑REE	125.70	75.16		47.89	38.93	56.59	92.48		101.03
δEu	1.03	0.89		0.94	0.97	0.97	0.88		0.37
Rb		97		52	32	75	67		281
Ba	176.0	746		896	252	866	1474		263
Th		22		7	5	9	6		15
Ta	1.0	2.15		0.99	1.7		0.63		2.35
Nb		20		10	11	10	12		20
Zr	212.0	114		94	82	11	138		41

注:3008—1,1127 号样据 1:5 万鄂拉山口幅区调报告(1992),其余由西安综合岩矿测试中心测试。

58.76%~73.25%。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量变化大,为 13.9%~20.89%,多数在 14%~15%之间,渥尔日片麻状石英闪长岩达 20.89%,显示高铝。K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O 含量 5.12%~7.98%,多数 Na<sub>2</sub>O 含量大于 K<sub>2</sub>O。在 w(SiO<sub>2</sub>)-AR 图解中(图 2)落在钙碱性岩区,仅扎那合二长花岗岩处在钙碱性及碱性交界。石英闪长岩显示低钾钙碱性系列,英云闪长岩显示中—高钾钙碱性系列,花岗岩闪长岩为中钾钙碱性系列,二

长花岗岩为高钾钙碱性系列,具 S 型花岗岩特征。

稀土元素总量较低,∑REE $38.93 \times 10^{-6} \sim 125.7 \times 10^{-6}$ ,平均  $76.8 \times 10^{-6}$ ,轻重稀土分馏明显,LREE/HREE 在 7.56~23.15 之间,δEu=0.37~1.03,多数 0.88~1.03 之间,属无铕异常,仅二长花岗岩 δEu 为 0.37,具中等负铕异常。稀土配分曲线较为相近,反映出一定的亲缘性,其中石英闪长岩、英云闪长岩、花岗岩闪长岩均呈右倾平滑曲线,铕异常

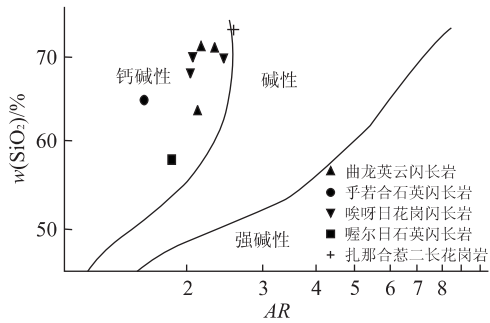


图 2  $w(\text{SiO}_2)$ -AR 图  
Fig. 2  $w(\text{SiO}_2)$ -AR diagram

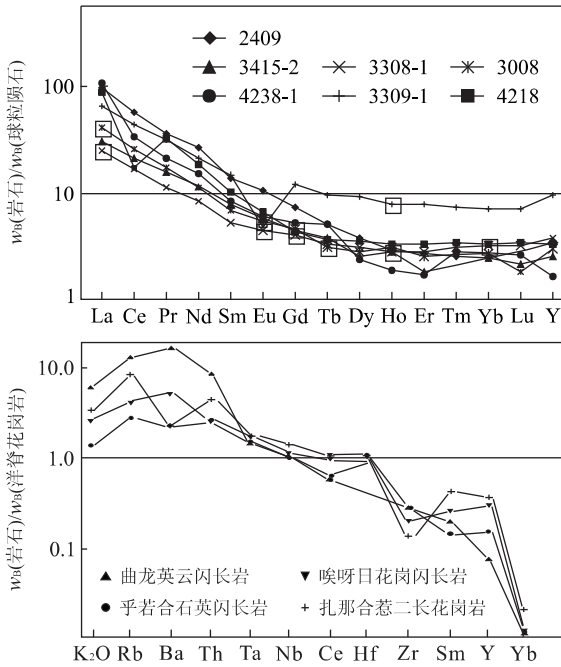


图 3 稀土配分曲线和微量元素蛛网图(球粒陨石标准化值据 Taylor and McLennan, 1985; 洋脊花岗岩值据 Pearce et al., 1984)

Fig. 3 REE distribution patterns and spider diagram of trace elements

不明显,轻稀土富集,重稀土较平坦,具壳幔型花岗岩特点.二长花岗岩呈现典型的右倾“V”型曲线,具中等负铕异常,显示壳型花岗岩特征(图 3).

在微量元素蛛网图(图 3)上,总体上分布曲线相近,其中石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩 K、Rb、Ba、Th 相对富集, Nb、Hf 与洋脊花岗岩相近, Y、Yb 亏损,分布曲线呈左侧凸起,中部平坦,右侧下凹的型式,与牙买加陆缘弧花岗岩类似.而二长花岗岩不但 K、Rb、Ba、Th 相对富集,而且 Ta、Nb、Ce 也高于洋脊花岗岩,分布型式类似于碰撞花岗岩.

### 3 形成时代与构造环境分析

采用单颗粒锆石 U—Pb 法对所划分的 5 个岩石单元进行了年龄测定(采样位置见图 1),样品的粉碎、锆石的挑选、化学处理和锆石 U—Pb 同位素分析均由天津地质矿产研究所同位素实验室完成,分析结果列于表 2 中.

2049 样品采于涅尔日片麻状石英闪长岩内,锆石颗粒为无色及浅黄色透明柱状自形晶体,在谐和图上(图 4),所有 3 个点均落在谐和线上,得出 3 个点表面年龄统计权重平均年龄为  $(413.2 \pm 1.2)$  Ma. 4458—2 样品采于曲龙片麻状英云闪长岩内,1 号点锆石颗粒为浅黄色透明洁净自形晶体,具有岩浆锆石特征,2 号点锆石颗粒为浅黄色透明短柱状含裂缝大晶体,表明其可能受后期作用,在谐和图上(图 4) 2 个点均落在谐和线上,1 号点表面年龄为  $(423.7 \pm 3.5)$  Ma. 3308—1 样品采于乎若合片麻状石英闪长岩内,锆石颗粒为黄色透明长柱状锆石断头、黄色透明一半透明短柱状自形晶体和浅黄色透明柱状多晶面锆石,在谐和图上(图 4) 3 个点均落在谐和线上,得出 3 个点表面年龄统计权重平均年龄为  $(401.7 \pm 2.9)$  Ma. 4238—1 样品采于唉呀日山花岗岩闪长岩内,锆石颗粒为无色及浅黄色透明柱状自形晶体,2 号锆石颗粒锥端有腐蚀,在谐和图上(图 4) 4 个点均落在谐和线上,4 个点表面年龄统计权重平均年龄为  $(382.1 \pm 3.3)$  Ma. 3309—1 样品采于扎那合惹二长花岗岩内,锆石颗粒为浅黄色及浅紫红色透明柱状自形晶体,3 个点构成不一致线,上交点年龄  $(1154 \pm 44)$  Ma,下交点年龄  $(388.5 \pm 9.9)$  Ma(图 4).

以上 5 个样品选取的锆石颗粒以无色、透明、柱状、自形的岩浆锆石为主,前 4 个样品中锆石颗粒均落在谐和线上,其一致线年龄可以代表岩体的侵入年代,后一个样品所测的 3 颗锆石表面年龄集中在下交点附近,其下交点年龄可以代表岩体的成岩年龄.上述结论进一步得到了岩体地质特征的佐证,岩体侵入于元古代地层,并与围岩共同经历了海西主造山期构造作用的强烈改造,故所限定的岩体形成时代应晚于元古代而早于晚泥盆世,与岩体的锆石 U—Pb 同位素年龄在 423~382 Ma 之间,属晚志留世至早泥盆世形成的结论相一致.

根据岩石的主元素和微量元素对志留—泥盆纪侵入岩构造环境进行了判别.在花岗岩构造环境  $R_1-R_2$  图解中(图 5),多数位于 2 区,少部分在 3、6

表 2 侵入岩单颗粒锆石铀—铅年龄测定结果

Table 2 Single grain Zircon U-Pb dating results of intrusive rocks

样品号	样品情况		$w_B/10^{-6}$			普通铅含量/ng	同位素原子比值*					表面年龄/Ma		
	点号	锆石特征	质量/ $\mu\text{g}$	U	Pb		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
2409	1	浅黄色透明细长柱状自形晶	50	346	24	0.046	1 202	0.070 12	0.068 59 (32)	0.5265 (121)	0.055 67 (117)	427.6	429.5	439.3
	2	无色透明细长柱状自形晶	50	176	11	0.01	2 275	0.088 49	0.063 38 (35)	0.490 6 (257)	0.056 14 (276)	396.1	405.3	458.0
	3	无色透明短柱状自形晶	50	103	7	0.002	7 955	0.072 42	0.066 13 (39)	0.500 3 (298)	0.054 87 (306)	412.8	411.9	406.9
4458-2	1	浅黄色透明洁净长柱状自形晶	50	183	14	0.013	2 924	0.186 4	0.067 93 (57)	0.514 4 (52)	0.054 91 (29)	423.7	421.4	408.8
	2	浅黄色透明短柱状含裂缝大晶体	50	157	14	0.015	2 156	0.129 0	0.066 27 (100)	0.499 1 (105)	0.054 62 (72)	413.7	411.1	396.5
3308-1	1	黄色透明长柱状锆石断头	35	98	7	0.010	1 470	0.113 6	0.064 05 (65)	0.481 7 (64)	0.054 55 (42)	400.2	399.3	393.9
	2	黄色透明一半透明短柱状自形晶	10	281	19	0.006	2 000	0.102 8	0.064 49 (75)	0.486 4 (77)	0.054 70 (53)	402.9	402.5	400.2
	3	浅黄色透明柱状多晶面锆石	50	79	6	0.021	774	0.099 9	0.065 14 (184)	0.492 2 (199)	0.054 80 (142)	406.8	406.4	404.0
4238-1	1	柱状双锥明显无色透明自形大晶体	50	138	9	0.017	1 598	0.138 2	0.061 92 (104)	0.459 3 (115)	0.053 81 (91)	387.3	383.8	363.0
	2	长方柱状浅黄色透明自形晶	45	168	10	0.004	6 838	0.105 0	0.061 01 (103)	0.455 1 (108)	0.054 11 (82)	381.8	380.9	375.5
	3	细长柱状无色透明自形晶	40	107	7	0.004	3 840	0.122 3	0.060 63 (92)	0.446 5 (94)	0.053 41 (71)	379.5	374.8	346.4
	4	细长柱状无色透明自形晶	50	88	6	0.018	949	0.151 5	0.060 48 (161)	0.450 4 (175)	0.054 02 (138)	378.5	377.6	371.8
3309-1	1	粗大短柱状浅紫红透明自形晶	20	218	13	0.009	1 976	0.038 37	0.061 05 (90)	0.453 6 (93)	0.053 89 (70)	382.0	379.8	366.3
	2	短柱状浅黄色透明自形晶	20	192	14	0.005	3 950	0.041 61	0.073 68 (104)	0.607 3 (111)	0.059 78 (63)	458.3	481.9	595.7
	3	长柱状浅黄色透明自形晶	15	297	27	0.011	2 306	0.042 73	0.091 85 (98)	0.832 7 (108)	0.065 75 (430)	566.5	615.1	798.5

\*  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  已对实验空白 ( $\text{Pb}=0.050\text{ ng}$ ,  $\text{U}=0.002\text{ ng}$ ) 及稀释剂做了校正, 其他比例中的铅同位素为放射成因铅同位素。括号内的数字为  $2\sigma$  绝对误差。

区。其中渥尔日片麻状石英闪长岩和曲龙片麻状英云闪长岩落在 2、3 区, 属消减的活动大陆边缘花岗岩和碰撞前花岗岩。乎若合片麻状石英闪长岩和唉呀日山花岗岩闪长岩均落在 2 区, 靠近 6 区, 为消减的活动大陆边缘花岗岩。扎那合惹二长花岗岩落在 6 区, 为同碰撞花岗岩。在花岗岩构造环境 Y-Nb 判别图上(图 6), 志留—泥盆纪侵入岩均为火山弧和同碰撞花岗岩, 花岗岩构造环境 Rb-(Y+Nb) 判别图上(图 6), 曲龙片麻状英云闪长岩、乎若合片麻状石英闪长岩和唉呀日山花岗岩闪长岩均为火山弧花岗岩, 扎那合惹二长花岗岩则为同碰撞花岗岩, 但投点靠近火山弧花岗岩, 说明与前三者有着较密切的演化关系。

由锆石 U-Pb 年龄所获得的岩体形成年龄集

中在 382~423 Ma 之间, 应为早古生代晚期岩浆作用产物。与东昆仑中东段确定的早古生代岩浆岩带的侵位时代(Chen *et al.*, 2001; 潘裕生和孔祥儒, 1998), 如万宝沟岩体(412.6 Ma)、诺木洪南胡晓钦岩体(426.5 Ma)、清水泉南变闪长岩岩体(446.5 Ma) 等相当, 属于同一阶段岩浆活动, 表明该岩浆岩带已延入东昆仑东端昆秦接合部一带。志留—泥盆纪侵入岩的成分和构造环境判别一致显示, 其具有明显的岛弧或陆缘弧及同碰撞花岗岩成因特征, 反映在该阶段存在洋壳的俯冲消减及碰撞造山作用。其中, 石英闪长岩、英云闪长岩和花岗闪长岩组成的低钾至中高钾钙碱性系列代表了洋壳俯冲消减作用产物, 而高钾钙碱性系列的二长花岗岩可能属于陆陆碰撞或弧陆碰撞产物。与此一致, 清水泉南变闪长岩

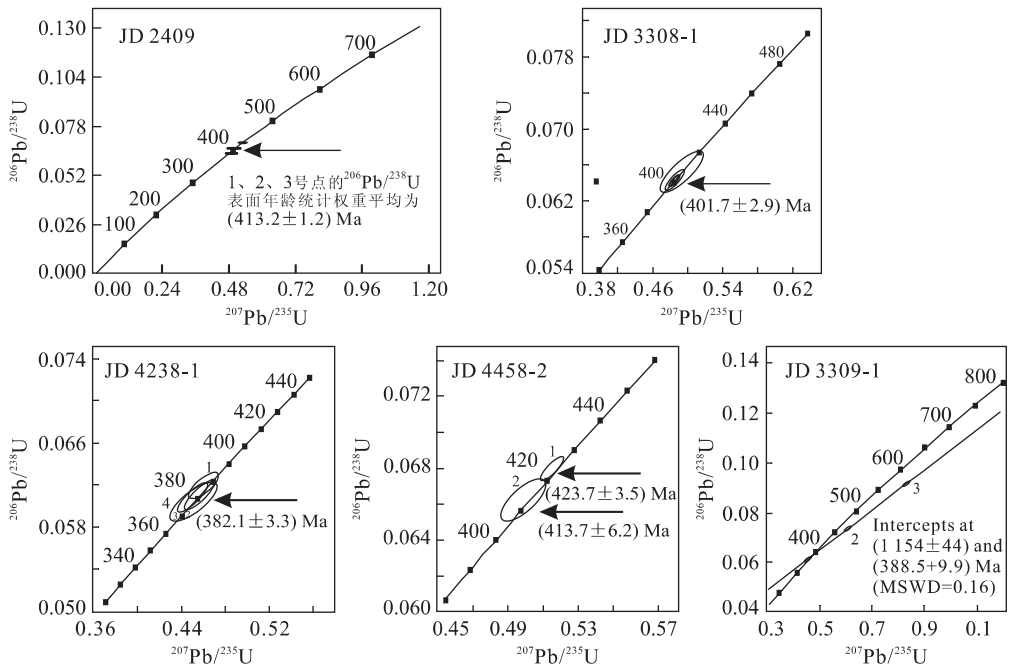


图 4 U—Pb 年龄曲线谐和图

Fig. 4 U-Pb age concordant curve

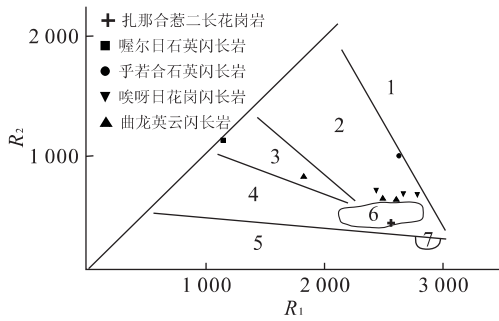


图 5 花岗岩  $R_1-R_2$  图解 (Batchelor and Bowden, 1985)

Fig. 5  $R_1-R_2$  diagram for granites

- 1. 地幔分异花岗岩; 2. 碰撞前花岗岩; 3. 碰撞后隆起花岗岩; 4. 造山晚期—晚造山期花岗岩; 5. 非造山区花岗岩; 6. 同碰撞花岗岩;
- 7. 造山后花岗岩

岩体形成于岛弧构造环境 (Chen *et al.*, 2001), 东昆仑中东段分布的同期早古生代火山地层为纳赤台群, 在诺木洪郭勒、清水泉一带, 由中基性、中酸性火山岩组成, 形成年龄 401 Ma 和 446.5 Ma, 均形成于岛弧构造环境 (Chen *et al.*, 2001; 朱云海等, 2003)。上述资料表明, 在东昆仑中东段柴达木微陆块的南缘及东缘昆秦接合部存在一条早古生代岩浆岩带, 是加里东期原特提斯洋壳活动的重要组成部分, 形成于原特提斯洋壳消减阶段。原特提斯洋壳在北祁连地区发育较完整, 其格局属多岛洋 (Yin *et al.*, 2004), 存在多列弧、盆、微陆块, 柴北缘、祁漫

塔格、东昆仑即属原特提斯洋弧、盆、微陆块相间构造区, 既有主大洋俯冲消减作用影响, 又受小洋盆、边缘海、弧后盆地等洋壳俯冲消减作用的控制。因此, 处于昆秦接合部地区的志留—泥盆纪侵入岩与原特提斯洋闭合过程相关, 是小洋盆或边缘海及弧后盆地等洋壳消减以及微陆块与岛弧碰撞的产物。

昆秦接合部志留—泥盆纪侵入岩保存在海西期古特提斯形成的构造混杂带以及柴达木微陆块内, 这与东昆仑中东段早古生代岩浆岩的地质产状相一致, 如在东昆仑南构造混杂带中就常保留有此种岛弧性质的岩片或超岩片 (张克信等, 2001)。以赋存于裂解基底岩片并以构造岩片方式卷入古特提斯蛇绿构造混杂岩带的产出状态说明, 岩体在形成后经历了构造移位, 其形成的动力学与古特提斯洋壳形成有关。昆秦接合部苦海—赛什塘古特提斯分支洋初始扩张于泥盆纪 (王秉璋等, 2000; 张智勇等, 2004), 拉龙洼拉张型辉绿岩墙群年龄 398.4 Ma 和苦海、下大武 MORB 型蛇绿岩年龄 400 Ma, 代表了陆壳裂离与洋壳扩张时限, 这与上述岛弧或陆缘弧及同碰撞花岗岩代表的原特提斯洋壳消减及陆壳碰撞时限相近。原特提斯洋壳消减及挤压碰撞事件与古特提斯洋壳拉张事件时空分布一致, 说明古特提斯多岛小洋盆的形成与原特提斯洋闭合过程紧密相关, 伴随志留—泥盆纪岛弧或陆缘弧形成而产生的弧后

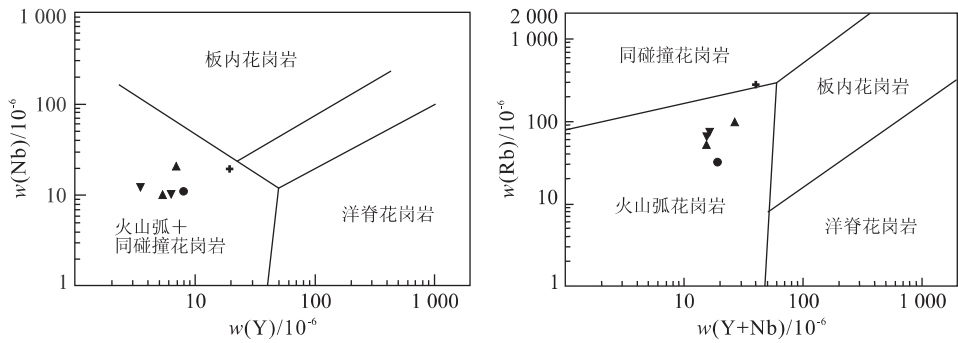


图 6 花岗岩  $w(\text{Nb})-w(\text{Y})$ 、 $w(\text{Rb})-w(\text{Y}+\text{Nb})$  判别图(Pearce *et al.*, 1984)

Fig. 6  $w(\text{Nb})-w(\text{Y})$  and  $w(\text{Rb})-w(\text{Y}+\text{Nb})$  discrimination diagram for granites

扩张作用导致了古特提斯多岛小洋盆的形成。

## 4 结论

(1)在昆秦接合部一带存在志留—泥盆纪岩浆侵入活动,侵入年龄 382~423 Ma。该阶段侵入岩在侵入时代和形成的构造环境与东昆仑早古生代岩浆侵入活动有一致性,因而可以确认东昆仑早古生代岩浆岩带从格儿木南、诺木洪南、清水泉南向东延入昆秦接合部;(2)岩石的成分特征和构造环境判别证明,昆秦接合部志留—泥盆纪侵入岩形成于岛弧或陆缘弧及同碰撞构造环境,记录了原特提斯演化踪迹,反映了原特提斯洋壳俯冲消减及随后的陆壳碰撞过程;(3)志留—泥盆纪是原、古特提斯衔接的重要时期,志留—泥盆纪侵入岩产出的地质特征及其形成的构造环境进一步说明,昆秦接合部地区古特提斯的形成与原特提斯洋的关闭息息相关,形成的动力学机制可以解释为伴随志留—泥盆纪岛弧或陆缘弧形成而产生的弧后扩张作用导致了古特提斯多岛小洋盆的形成。

致谢:本文野外调查期间得到中国地质大学殷鸿福院士、中国地质调查局于庆文研究员、青海省地矿局任家琪总工、青海省地调院张雪亭副院长和参加 1:25 万兴海幅地质填图全体同志的支持和帮助,在此深致谢意。

## References

Batchelor, R. A., Bowden, P., 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multi-cationic parameters. *Chem. Geol.*, 48(1):43—55.  
Chen, N. S., Sun, M., Zhang, K. X., et al., 2001.  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  and U-Pb ages of metadiorite from the eastern Kunlun

orogenic belt; Evidence for early-Paleozoic magmatic zone and excess argon in amphibole minerals. *Chinese Science Bulletin*, 46(4):330—333.  
Pan, Y. S., Kong, X. R., 1998. Lithosphere structure, evolution and dynamics of Qinghai-Xizang (Tibetan) plateau. Guangdong Science & Technology Press, Guangzhou (in Chinese).  
Pearce, J. A., Harris, N. B. W., Tindle, A. G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *F. Petrol.*, 25:956—983.  
Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell, Oxford.  
Wang, B. Z., Zhang, Z. Y., Zhang, S. Q., et al., 2000. Geological features of Lower Paleozoic Ophiolite in Kuhai-Saishitang region, eastern section of Eastern Kunlun. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(6):592—598 (in Chinese with English abstract).  
Yin, H. F., Zhang, K. X., 1998. Evolution and characteristics of central orogenic belt. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 23(5):437—441 (in Chinese with English abstract).  
Yin, H. F., Zhang, K. X., Feng, Q. L., 2004. The archipelagic ocean system of eastern Eurasian Tethys. *Acta Geologica Sinica*, 78(1):230—236.  
Zhang, K. X., Lin, Q. X., Zhu, Y. H., et al., 2004. New paleontological evidence on time determination of the east part of the eastern Kunlun mélangé and its tectonic significance. *Science in China (Series D)*, 47(10):865—873.  
Zhang, K. X., Huang, J. C., Yin, H. F., et al., 2000. Application of radiolarians and other fossils in non-Smith strata; Exemplified by the Animaqing mélangé belt in eastern Kunlun Mountains. *Science in China (Series D)*, 43(4):364—374.



- Zhang, K. X., Yin, H. F., Zhu, Y. H., et al., 2001. Theory, method and practice to geological mapping in mélangé district of orogenic belts. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Zhang, K. X., Zhu, Y. H., Yin, H. F., et al., 2004. Application of tectonic facies in geological mapping in East Kunlun orogenic belt. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(6): 661—666 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. Y., Yin, H. F., Wang, B. Z., et al., 2004. Presence and evidence of Kuhai-Saishitang branching ocean in copulae between Kunlun-Qinling Mountains. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(6): 691—696 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Y. H., Wang, G. C., Jia, C. X., et al., 2003. Early Paleozoic volcanism in Nuomuhongguole area, East Kunlun orogenic belt. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(6): 606—614 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Y. H., Zhang, K. X., Pan, Y., et al., 1999. Determination of different ophiolitic belts in eastern Kunlun orogenic zone and their tectonic significance. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 24(2): 134—138 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 潘裕生, 孔祥儒, 1998. 青藏高原岩石圈结构演化和动力学. 广州: 广东科技出版社.
- 王秉璋, 张智勇, 张森琦, 等, 2000. 东昆仑东端苦海—赛什塘地区晚古生代蛇绿岩的地质特征. *地球科学—中国地质大学学报*, 25(6): 592—598.
- 殷鸿福, 张克信, 1998. 中央造山带的演化及其特点. *地球科学—中国地质大学学报*, 23(5): 437—441.
- 张克信, 殷鸿福, 朱云海, 等, 2001. 造山带混杂岩区地质填图理论、方法与实践. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 张克信, 朱云海, 殷鸿福, 等, 2004. 大地构造相在东昆仑造山带地质填图中的应用. *地球科学—中国地质大学学报*, 29(6): 661—666.
- 张智勇, 殷鸿福, 王秉璋, 等, 2004. 昆秦接合部海西期苦海—赛什塘分支洋的存在及其证据. *地球科学—中国地质大学学报*, 29(6): 691—696.
- 朱云海, 王国灿, 贾春兴, 等, 2003. 东昆仑造山带诺木洪郭勒早古生代火山活动. *地球科学—中国地质大学学报*, 28(6): 606—614.
- 朱云海, 张克信, Pan Yuanming, 等, 1999. 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*, 24(2): 134—138.