

甘肃北山地区古亚洲南缘古生代岛弧带位置的讨论

谢春林^{1,2)}, 杨建国²⁾, 王立社²⁾, 王育习²⁾, 王静平²⁾

1) 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京, 100083; 2) 西安地质矿产研究所, 西安, 710054

内容提要:综合研究得出结论:“甘肃北山红石山断裂带以北的雀儿山—英安山地区为一种与俯冲洋壳板块相关的岛弧带,它记录了古亚洲大洋向南缘东天山古陆系统下俯冲消减的整个地史过程”。主要依据:①该地区缺少古老基底陆壳;②发育于区内的中奥陶世—泥盆纪不同时代地层中的火山岩和石炭—三叠纪的中酸性侵入岩,主要以钙碱性或 TTG 或埃达克成分系列为主要标志,揭示深部有消减洋壳板片或岩源的存在;③从中奥陶世和志留纪火山岩的玄武岩、安山岩和英安岩组合,到泥盆纪以安山岩、英安岩为主的流纹岩、玄武岩组合,至三叠纪马鞍山、小草湖中酸性侵入岩序列的部分高钾钙碱性岩石类型组合,反映古亚洲大洋在南侧消减带之上从一种不成熟岛弧到成熟岛弧和大陆边缘弧发育演化的过程;文章提出代表古亚洲大洋南缘消减带的实际位置应在雀儿山—英安山一线以北的蒙古境内,而北山岛弧带实属南侧东天山古陆陆缘增生地体的一部分。

关键词:甘肃北山;雀儿山—英安山地区;北山岛弧带;陆缘增生地体

源于经典板块构造系统的“岛弧带”,系代表发生在洋-陆碰撞消减带上的一种火山-沉积构造组合,并主要以钙碱性火山岩(安山岩)或 TTG 或埃达克岩产出为主要标志(王焰等,2000;张旗等,2003;邓晋福等,2004)。而涉及北山地区的“岛弧带”,目前仍由于对区内“蛇绿岩”或“缝合带”以及板块运动或消亡方式的看法和分歧,不免也就存在多种观点和认识。如有认为“红石山缝合带具双向俯冲的特性,于南北两侧形成白山—狼娃山和野马泉—雀儿山两条岛弧带”(何世平等,2002;龚全胜等,2002)。有提出“明水—石板井—小黄山洋向南俯冲形成窑洞努如—公婆泉岛弧带(左国朝等,1990,1996,2003;龚全胜等,2002,2003)”。还有提出红石山—百合山一线以南的扫子山—明水一带为早古生代岛弧带(赵安生等,1993);白云山—斜山—东七一山岛弧带(何世平等,2002),以及骆驼山—黑条山—六驼山华力西期岛弧岩浆带(殷克明等,2005)等等。

就目前文献和资料,笔者认为在甘肃北山地区具有真正岛弧特征地域或地质实体,唯一是在红石山—蓬勃山一线以北的雀儿山—英安山一带及其以北地区。该带向东可延至内蒙古自治区雅干一带,

向西可能同斋山—准噶尔—北天山洋南缘的俯冲杂岩带位置相当或相连(夏林圻等,2007)。换句话说,可代表哈萨克斯坦板块或古亚洲大洋与南缘东天山—北山陆块(邱瑞照等,2008)间的俯冲消减带或缝合带的位置,还应在雀儿山—英安山一线以北的蒙古人民共和国境内。且按原始古陆构造系统归属,该岛弧带仍应隶属于东天山古陆系统被动陆缘增生地体的部分。

1 区域地质概述

研究区以红石山断裂带(F1、F2)为界分两个构造单元,以南为白山晚古生代弧后盆,以北为北山岛弧带。区内火山沉积地层最老为中奥陶统咸水湖组,最新为下二叠统双堡塘组,缺少前寒武纪古老基底变质岩系(在白山晚古生代弧后盆地稍有出露)。所见中酸性岩的形成一般滞后于火山作用,主要为石炭—三叠纪或华力西至印支期岩浆作用产物(图1)。

1.1 地层

中奥陶统咸水湖组:出露于雀儿山—英安山一带的近中部,为一套中基-酸性火山岩、同质凝灰岩、凝灰角砾岩与富含火山成分的含砾砂岩、砂砾岩构

注:本文为“十一五”国家科技支撑计划课题(编号 2006BAB01A11)、国土资源大调查项目“甘肃营毛沱地区矿产远景调查”(矿调【2004】8-2号)资助的成果。

收稿日期:2009-02-16;改回日期:2009-09-21;责任编辑:郝梓国。

作者简介:谢春林,男,1975年生。博士研究生。矿物学、岩石学、矿床学专业,主要从事地质矿产调查研究工作。电话:029-87821776; Email: xchl629128@163.com。

成的火山-沉积地层。火山岩以安山岩、英安岩为主,次为安山玄武岩、变余流纹岩。在四顶黑山西以中性-中酸性火山岩为主,以东火山碎屑成分增多,并夹中酸性火山岩和凝灰岩,与上覆中上志留统公婆泉群为断层接触。地层中产头足类等生物化石,时代为中奥陶世^①。

志留系:出露于中奥陶统咸水湖组分布区北部和西部。区域上分下统园包山组、中统和中上志留统公婆泉群。岩性:下统园包山组为一套浅海-半深海相砂岩、粉砂岩、泥硅质岩沉积,产笔石化石;中统下部为英安岩、安山岩及玄武岩夹正常沉积岩,中部为中性-酸性火山岩与粉砂岩、泥质板岩互层,上部为板岩夹安山岩和灰岩,灰岩中产珊瑚化石;出露于红石山断裂以北地区的中上志留统公婆泉群由巨厚的中酸性-酸性火山岩夹板岩、碳酸盐岩、硅质岩组成,产珊瑚化石,与上覆泥盆系呈不整合接触。

泥盆系:分下泥盆统大南湖组、下中泥盆统雀儿山群和中泥盆统头苏泉组。下泥盆统大南湖组,出露于甘新与蒙古交界处一侧的红石山北—黑山一带,为一套以安山岩为主的陆源碎屑沉积岩系;下中泥盆统雀儿山群,出露于中奥陶统咸水湖组南和马鞍山环状岩体的东西两侧,由中基性-酸性火山岩、火山碎屑岩夹正常沉积碎屑岩和灰岩构成,火山岩为杏仁状安山玄武岩、安山岩、英安质角砾凝灰岩、安山质角砾凝灰岩、安山质集块熔岩等,总体上以安山岩和英安岩为主,其内所夹钙质砂岩、粉砂岩和大理岩透镜体中产腕足和珊瑚化石;中泥盆统头苏泉组为一套钙碱性火山岩夹少量灰岩和砂岩组合,火山岩主要为安山岩和流纹岩,产珊瑚化石。石炭系不整合于其上。

石炭系:分下石炭统白山组、扫子山组及绿条山组,与下伏下中泥盆统雀儿山群、上覆白垩系赤金堡组均为不整合接触。绿条山组出露于红石山断裂带以北地区,岩性为黑色细粒晶屑岩屑凝灰质砂岩、粉砂岩夹灰绿色安山岩、玻基玄武岩,火山岩常呈夹层或透镜状顺层整合产于砂质板岩、粉砂质板岩中,局部地段还见辉绿岩侵入于火山岩内,产大量腕足、珊瑚和腹足类化石,据 1:200000 红石山幅和 1:50000 甜水井幅区域地质调查资料^{②③},在该地层的中下部还发现有流纹岩、英安岩和同质爆发相凝灰岩等酸性火山岩,显示有双峰式火山作用特征。白山组主要位于扫子山组南,红石山断裂附近稍有出露,分板岩和千枚岩两个岩性段,岩性包括安山质凝灰岩、凝灰质砂岩、泥硅质板岩、灰黑色硅质板岩、

凝灰质板岩、粉砂质板岩、绢云千枚岩、绢云绿泥千枚岩、片理化安山岩等,为一套浅海相碎屑岩沉积建造。扫子山组主要出露于红石山断裂以南,以北有少量见及,岩性为一套浅变质碎屑岩夹硅质岩、玄武岩、英安岩火山沉积岩系,其中火山岩,上部以英安岩、下部以玄武岩为主,亦显双峰式火山岩套组合特征,在碎屑岩中产珊瑚和孢粉化石,但在产出上,主要在雀儿山—英安山地区南部的红石山一带出露,应属南侧白山晚古生代弧后盆地火山沉积建造的组成部分。

下二叠统双堡塘组:出露于双沟山一带,呈狭长带状不整合在下中泥盆统雀儿山群之上。岩性组合以海相碎屑岩为主,夹灰岩或砂质灰岩扁豆体,局部含基性火山岩。灰岩中常含腕足类、头足类、腹足类、珊瑚等化石。

总体上看,发育于雀儿山—英安山一带的火山作用,相对以中酸性的安山岩、流纹岩组合为特征。其中的中奥陶世为一种变安山岩和变英安岩夹变安山玄武岩和流纹岩组合;志留纪为安山岩、流纹岩、英安岩夹少量玄武岩组合;早泥盆世为英安岩和流纹岩组合;早中泥盆世为安山玄武岩—安山岩—英安岩及同质凝灰岩组合;中泥盆世为安山岩、流纹岩及少量玄武岩组合;早石炭世为安山岩、玻基玄武岩及流纹岩、英安岩组合。

1.2 岩浆岩

除相关时代地层中的火山岩外,区内主要以晚华力西期中酸性侵入岩类广泛发育为特点。各岩体及其岩石类型组合为:

早石炭世红石山北坡序列:出露于新疆尹吾县红山—圆盘山和黑石山北一带,侵入在中泥盆统头苏泉组地层内,由角闪英云闪长岩、角闪石英闪长岩、角闪二长花岗岩和钾长花岗岩等单元构成。内含大小不等、形态各异的火山岩捕虏体。在英云闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩中见辉长质包体和大量英安岩、安山岩火山地层捕虏体。

晚石炭—早二叠世大鱼山序列:出露于中蒙边界一带,侵入于中上志留统公婆泉群、下泥盆统大南湖组和下中泥盆统雀儿山群内。由闪长岩、角闪石英二长闪长岩、英云闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩单元构成,包体主要见于二长花岗岩内,为细粒闪长质和石英闪长质,在英云闪长岩中可见地层捕虏体。

晚石炭—早二叠世双沟山南序列:出露于四顶黑山—双沟山断裂带(F3)南侧,侵入于下中泥盆统

图 1

图 1 甘肃北山雀儿山—英安山地区地质构造略图(据 1 : 250000 红宝石幅区调报告,2004[●] 修编)

Fig. 1 Simplified geological-tectonic map of the Queershan-Yinganshan area in Beishan Mt. Gansu province
(Modified from regional geo-survey report on Hongbaoshi area on 1 : 250000 scale, 2004[●])

1—第四系—新近系;2—白垩系—侏罗系;3—下二叠统双堡塘组;4—下石炭统白山组;5—下石炭统扫子山组;6—下石炭统绿条山组;7—中泥盆统头苏泉组;8—下中泥盆统雀儿山群;9—下泥盆统大南湖组;10—中上志留统公婆泉群;11—中奥陶统咸水湖组;12—前长城系小红山片麻岩套;13—早三叠世小草湖序列;14—早三叠世马鞍山序列;15—中二叠世干河梁序列;16—晚石炭世—早二叠世四顶黑山序列;17—晚石炭—早二叠世双沟山南序列;18—晚石炭—早二叠世大鱼山序列;19—早石炭世红石山北坡序列;20—基性杂岩(辉长岩)体;21—超基性岩体;22—不整合接触界线;23—地质界线;24—断层(F1、F2—红石山断裂带;F3—四顶黑山—双沟山断裂);I—北山岛弧带;II—白山晚古生代弧后盆地
1—Quaternary-Neogene;2—Cretaceous-Jurassic;3—Lower Permian Shuangbotang Fm;4—Carboniferous Baishan Fm;5—Lower Carboniferous Saozishan Fm;6—Lower Carboniferous Lvtiaoshan Fm;7—middle Devonian Tousuquan Fm;8—Lower-middle Devonian Queershan Group;9—Lower Devonian Dananhu Fm;10—Middle-upper Silurian Gongpoquan Group;11—Middle Ordovician Xianshuihu Fm;12—PreChangcheng Period gneiss suite of Xiaohongshan;13—early Triassic Xiaocao Sequence;14—early Triassic Maanshan Sequence;15—mid-Permian Ganheliang Sequence;16—late Carboniferous-early Permian Sidingheishan Sequence;17—late Carboniferous-early Permian south Shuanggoushan Sequence;18—late Carboniferous-early Permian Dayushan Sequence;19—early Carboniferous northern slope of Hongshishan Sequence;20—basic complex;21—ultrabasic rocks;22—unconformity;23—geological boundary;24—fault (F1、F2—Hongshishan fault belt; F3—Sidingheishan—Shuanggoushan fault belt); I—Beishan arc island zone; II—Baishan Neopaleozoic back-arc basin

雀儿山群内。由闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩单元岩石构成。包体主要见于石英闪长岩内,为暗色闪长质包体。

晚石炭—早二叠世四顶黑山序列:出露于四顶黑山基性超基性杂岩体的南北两侧,侵入在中上志留统公婆泉群、中奥陶统咸水湖组及四顶黑山基性超基性岩体内,为石英闪长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩-钾长花岗岩序列组合。

中二叠世干河梁序列:出露于红石山基性超基性杂岩体和岩带北侧,呈一椭圆形岩基状,由石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩单元岩石构成。前二者为岩体边缘相,钾长花岗岩在岩体中心,在二长花岗岩中有大量石英闪长岩暗色微粒包体。岩体侵入于石炭系扫子山群和双沟山序列的石英闪长岩岩石单元内。二长花岗岩锆石 U-Pb 法年龄为 263Ma,时代为中二叠世(刘明强等,2005;刘明强,2007)。

早三叠世马鞍山和小草湖序列:出露于红石山基性超基性杂岩体之西的红石山断裂北侧,侵入在早石炭世绿条山组和扫子山群内,呈同心环状,由石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩单元岩石构成。内地层捕虏体,包体主要见于二长花岗岩内,为暗色微粒包体。花岗闪长岩锆石 U-Pb 法年龄为 237Ma(宋秉田等,2004;刘明强等,2005)。时代为早三叠世。

由上可见,发育于雀儿山—英安山一带的中酸性岩浆侵入作用,有明显滞后于火山沉积作用的特征,最早为早石炭世,即相当于古亚洲大洋完全闭合

消亡的造山期后,且其中的早期(石炭—二叠纪)序列以含大量火山围岩地层捕虏体和含角闪石类矿物的岩石组合为特征,晚期(二叠—三叠纪)序列则少含围岩地层捕虏体,而以富含暗色闪长质或先期单元岩石包体与之相区别,显示出某些先期序列或单元岩石再循环熔融的源区属性。

2 岩石地球化学特征

2.1 火山岩

雀儿山—英安山地区不同时代地层火山岩的主元素、稀土元素和微量元素分析数据列于表 1、2。岩石化学分析资料表明,该区不同时代地层中的火山岩,除个别样品在 AFM 图(图 2)中为拉斑玄武岩成分系列外,其余均落在钙碱性系列成分区内,并一致表现出一种从玄武岩(或安山玄武岩)—安山岩—英安岩和流纹岩向富碱性和低 m/f、B/S 比值(图 3、4)的成分演化趋势。这也反映在 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ 和 $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解中,除中奥陶世咸水湖组玄武岩和泥盆纪的个别玄武岩或安山岩为碱性系列或高钾或钾玄岩成分系列外,其余无论玄武岩、安山岩、英安岩和流纹岩均在亚碱性系列或低-中钾钙碱性成分系列范围内(图 5、6)。其成分完全与“岛弧火山岩有较多的钙碱性火山岩,英安岩和流纹岩也可占有相当数量”的要求相一致(张旗,1995)。同样,反映在稀土和微量元素地球化学特征上(图 7),从中奥陶世咸水湖组的玄武岩、英安岩组合到中泥盆世头苏泉组的安山岩-流纹岩组合,其稀土和微量元素的丰度和模式也一致保持着一种逐渐过渡演化的

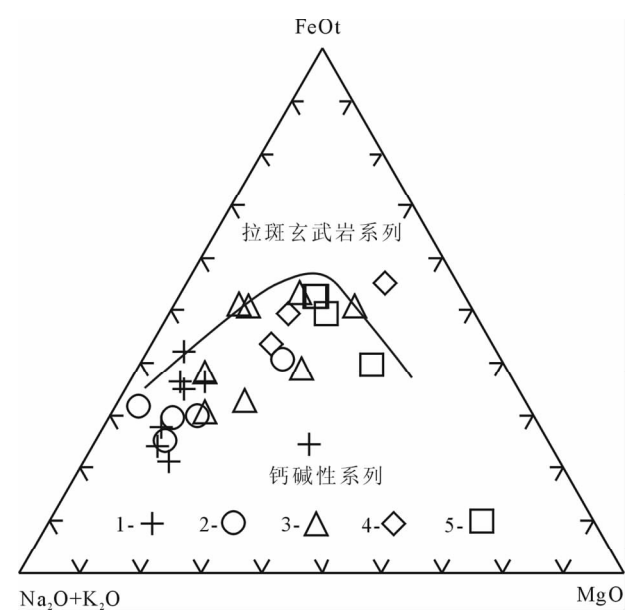


图 2 甘肃北山雀儿山—英安山地区火山岩 AFM 图解(据 Castro et al. ,1999)

Fig. 2 Diagrams of AFM for volcanic rocks from Queershan-Yinganshan area in Beishan, Gansu Province (After Cafro et al. ,1999)

1—流纹岩;2—英安岩;3—安山岩;4—安山玄武岩;5—玄武岩
1—Rhyolite;2—dacite;3—andesite;
4—andesitic basalt;5—basalt

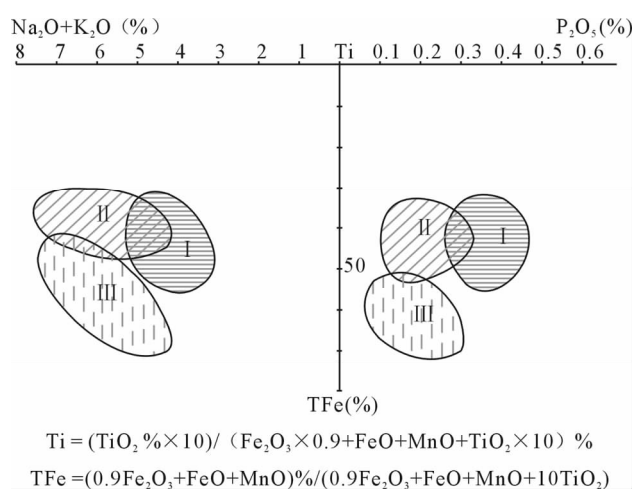


图 3 甘肃北山雀儿山—英安山地区火山岩 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\%$ -Ti-TFe- $\text{P}_2\text{O}_5\%$ 图解

Fig. 3 Diagram of $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\%$ -Ti-TFe- $\text{P}_2\text{O}_5\%$ for volcanic rocks from Queershan-Yinganshan area in Beishan, Gansu Province

I —安山岩、安山玄武岩; II —英安岩; III —流纹岩
I —Andesit, andesitic basalt; II —dacite; III —rhyolite

趋势。稀土模式从一种近平坦型到轻稀土富集的右倾型, Eu 异常从一种微弱的正异常到明显的负异常。

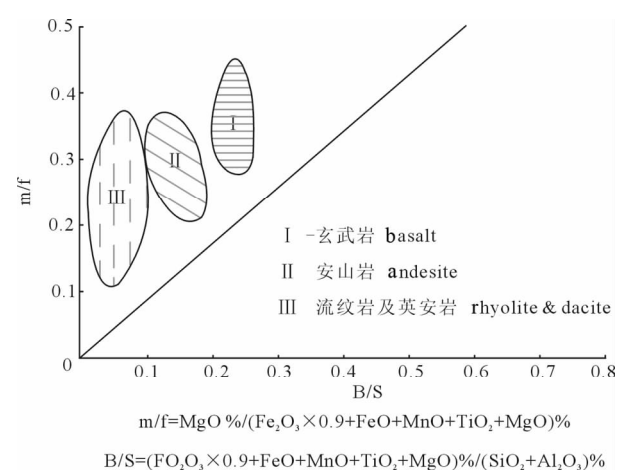


图 4 雀儿山-英安山地区火山岩 m/f-B/s 比值图解

Fig. 4 Diagram of m/f-B/S for volcanic rocks from Queershan-Yinganshan area in Beishan, Gansu Province

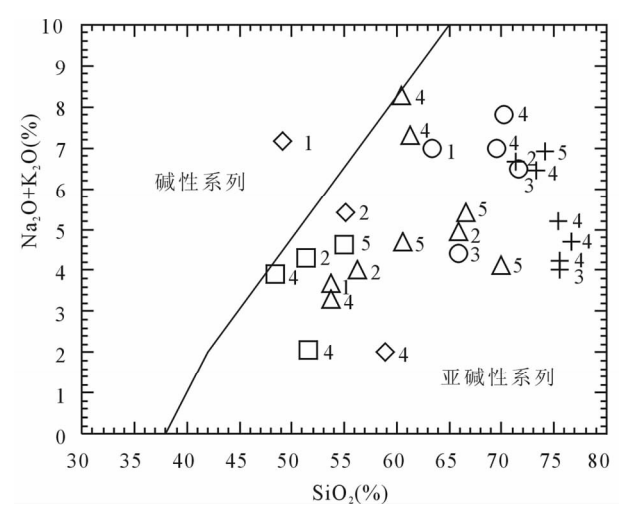


图 5 甘肃北山雀儿山—英安山地区火山岩 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ - SiO_2 图解(据 Irvine et al. ,1971) (岩性花纹同图 2)

Fig. 5 Diagram of $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ - SiO_2 for volcanic rocks from Queershan-Yinganshan area in Beishan, Gansu Province(After Irvine et al. , 1971)

1—咸水湖组(O_2);2—公婆泉群($\text{S}_{1\sim 2}$);3—大南湖组(D_1);
4—雀儿山群($\text{D}_{1\sim 2}$);5—头苏泉组(D_2)
1—Xianshuihu Fm(O_2);2—Gongpoquan Grp($\text{S}_{1\sim 2}$);
3—Dananhu Fm(D_1);4—Queershan Grp($\text{D}_{1\sim 2}$);
5—Tousuquan Fm(D_2)

常,微量元素的富 Sr、K、Rb、Ba、Th 等大离子亲石元素,相对亏损 Zr、Hf、Y、Yb、Cr 等高场强元素,以及一致地出现 Nb、Ta 谷等,也完全展示出一种岛弧火山岩组合的典型标志。

2.2 中酸性侵入岩

就中酸性侵入岩类成分特征而言,最明显的特征是该区几乎缺少碰撞造山带中常见的“S”型花岗

岩类产出,除二叠—三叠纪较晚时代(干河梁、马鞍

表 1 甘肃北山雀儿山—英安山地区不同时代地层中火山岩主元素(%)数据表

Table 1 Major element contents (%) for volcanics of different ages from Queershan-Yinganshan area in Beishan Mt., Gansu Province															
时代地层	样号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	总计
中奥陶世 咸水湖组	Gs-68	安山玄武岩	49.06	0.95	15.37	2.27	6.52	0.19	3.91	9.36	3.49	3.68	0.22	4.56	99.58
	Gs-66	安山岩	53.8	0.88	16.56	1.87	7.11	0.16	5.2	8.42	2.76	0.53	0.33	1.58	99.20
	Gs-67	英安岩	63.36	0.48	17.22	0.69	3.17	0.09	1.82	3.48	6.44	0.56	0.12	5.27	102.7
中上志留统 公婆泉群	YQ-1	玄武岩	51.66	1.84	14.69	0.53	10.2	0.13	4.55	6.4	3.8	1.22	0.52	3.67	99.21
	YQ-2	安山玄武岩	55.18	2.0	14.41	5.49	3.75	0.12	3.5	6.48	4.2	1.2	0.67	2.32	99.32
	28YQ-1	安山岩	56.26	0.88	15.91	4.62	3.85	0.1	2.96	7.01	3.1	0.9	0.48	2.48	98.65
	6YQ-1	安山岩	65.86	0.75	13.04	1.78	1.93	0.08	2.22	5.53	3.20	1.75	0.33	3.36	99.83
	1YQ-2	英安岩	71.56	0.42	13.26	0.59	2.70	0.04	1.15	1.68	4.2	2.3	0.34	1.38	99.62
早泥盆世 大南湖组	763-1	英安岩	65.86	0.56	14.83	1.44	3.69	0.10	2.81	3.57	2.50	1.90	0.26	2.44	97.52
	747-1	流纹岩	75.52	0.10	10.35	0.51	2.03	0.04	3.59	0.96	3.80	0.22	0.30	1.58	97.42
	2143-1	流纹岩	71.32	0.42	12.57	4.13	1.75	0.03	0.82	1.52	5.9	0.78	0.21	1.12	99.36
早中泥盆世 雀儿山群	Gs-49	玄武岩	51.32	1.2	16.14	2.37	6.6	1.63	4.55	8.25	2.61	1.70	0.34	2.41	99.10
	Gs-25	玄武岩	48.36	1.16	20.01	2.52	4.86	0.13	6.96	8.36	3.69	0.23	0.15	2.55	99.00
	575-1	安山玄武岩	58.85	0.4	13.76	4.98	4.84	0.16	5.51	7.12	1.38	0.62	0.19	2.10	99.90
	Gs-9	安山岩	60.46	1.0	16.17	1.98	4.53	0.15	1.92	3.4	5.33	2.95	0.38	0.94	99.20
	803-1	安山岩	61.28	1.0	18.93	1.29	3.00	0.04	2.08	2.29	5.50	1.80	0.19	2.00	99.40
	Gs-22	英安岩	70.26	0.72	13.59	1.91	2.12	0.11	0.46	1.71	5.52	2.3	0.13	0.79	99.60
	572-1	英安岩	69.56	0.47	14.03	1.38	1.55	0.02	1.26	1.83	4.70	2.3	0.21	1.60	98.90
	YQ-1	流纹岩	72.65	0.34	16.71	0.53	2.21	0.05	1.19	0.60	5.35	1.90	0.17	0.40	99.10
	YQ619-1	流纹岩	75.61	0.19	10.51	1.50	1.68	0.06	1.04	2.64	4.08	0.14	0.07	0.78	98.30
	YQ618-1	流纹岩	73.34	0.22	12.41	1.39	2.85	0.10	1.14	0.47	4.68	1.76	0.07	0.36	98.80
	YQ804-1	流纹岩	75.41	0.32	11.52	1.44	1.00	0.02	0.82	2.67	4.30	0.90	0.24	1.28	99.90
	Gs-24	流纹岩	76.72	0.47	9.53	1.27	1.96	0.10	0.71	2.56	3.16	1.53	0.14	0.89	99.00
中泥盆世 头苏泉组	YQ-1	玄武岩	55.02	0.60	14.71	5.13	5.31	0.16	4.28	8.20	2.80	1.82	0.26	2.74	100.80
	752-1	安山岩	60.59	0.30	15.60	2.30	3.40	0.16	3.82	5.42	3.00	1.70	0.30	2.64	96.59
	756-1	安山岩	66.63	0.70	13.52	4.07	3.60	0.07	1.53	3.28	3.80	1.60	0.29	1.28	99.09
	2672-1	安山岩	69.89	0.61	12.63	3.26	2.85	0.08	1.42	4.12	4.00	0.14	0.31	0.72	99.31
	753-1	流纹岩	74.20	0.15	11.62	0.86	1.48	0.05	1.53	0.85	5.40	1.50	0.27	1.12	97.91

资料来源:摘自 1:250000 红宝石幅区域地质调查报告①(宜昌地质矿产研究所测试)。

山和小草湖序列)部分钾长花岗岩和二长花岗岩类为高钾钙碱性“A”型花岗岩外(表 3、4;图 8、9),其余均属中钾钙碱性成分系列的“I”型花岗岩类。总体上,也大体与不同时代地层中火山岩相似。稀土元素也从近平坦型到轻稀土富集的右倾型模式,负锆异常越来越明显,微量元素相对亏损高场强元素而富集大离子亲石元素,以及出现 Nb、Ta 谷等等(图 10)。这显示出该区发育的火山

岩和中酸性侵入岩有相似的源区成分属性。或者说,二者都源于同一成分源区岩石的局部熔融产物。这点,从 Na-K-Ca 成分图中也可完全反映出来(图 11),除部分二长花岗岩和钾长花岗岩的成分有向富钾方向演化趋势外,其余的闪长岩、石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩和部分早期序列(石炭—二叠纪)的二长花岗岩与不同时代地层中的安山岩、英安岩和流纹岩,几乎都落在 TTG 组合或奥长花岗岩的成分范围。

表 2

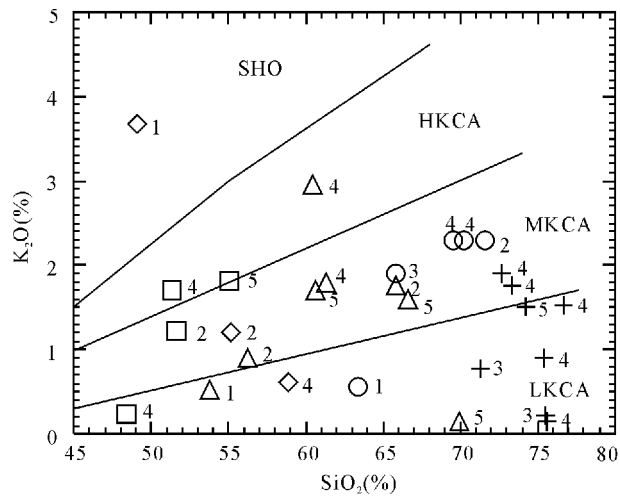


图 6 甘肃北山雀儿山—英安山地区不同时代地层中火山岩 K_2O-SiO_2 图解(图例同图 5) (据 Irvine et al. ,1971)

Fig. 6 Diagram of K_2O-SiO_2 for volcanic rocks from Queershan-Yinganshan area in Beishan, Gansu Province (legend same as Fig. 5) (After Irvine et al. , 1971)

表 3 甘肃北山雀儿山—英安山地区中酸性侵入岩主元素(%)数据表

Table 3 Major element contents (%) for intermediate-acid intrusions from Queershan-Yinganshan area in Beishan Mt. , Gansu Province

期次	样号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOS	总计
----	----	----	------------------	------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----	-----	-----	-----	-------------------	------------------	-------------------------------	-----	----

华力西期(C ₁) 红石山北坡	2669-1	ηδ	69.72	0.44	13.27	1.10	2.05	0.03	1.04	3.43	3.70	2.80	0.25	2.18	100.01
	2671-1	δ	61.53	0.69	15.68	2.25	3.50	0.06	2.68	6.17	3.20	1.10	0.26	2.00	99.12
	755-1	ξγ	72.44	0.25	11.84	3.27	1.21	0.09	0.38	2.02	5.40	1.75	0.17	0.57	99.22
华力西期(C ₃ -P) 大鱼山序列	760-1	ηγ	70.54	0.35	14.00	1.89	1.07	0.08	1.04	1.87	3.80	3.00	0.13	1.45	99.22
	765-1	γo	66.71	0.35	15.02	1.94	1.93	0.06	2.32	4.08	3.80	1.62	0.22	1.48	99.53
	2678-1	ηγ	68.89	0.58	14.37	1.55	1.65	0.04	1.70	1.68	4.20	3.10	0.29	1.81	99.86
	759-1	δ	48.30	1.22	15.82	6.13	6.32	0.22	5.93	7.49	3.30	1.05	0.65	2.72	99.36
华力西期(C ₃ -P) 双沟山南序列	Gs-26	δo	63.12	0.56	16.39	1.68	2.96	0.08	2.25	4.88	4.49	1.46	0.15	1.07	99.08
	Gs-27	δo	58.39	0.72	17.24	1.96	4.51	0.11	3.66	5.98	3.76	1.13	0.17	1.67	99.30
	Gs-34	δ	66.16	0.56	15.00	2.04	2.54	0.09	1.62	3.69	5.05	1.58	0.16	0.55	99.04
	Gs-10	γδ	67.46	0.46	14.66	2.24	1.86	0.11	1.24	2.58	3.96	2.82	0.44	1.35	98.88
	Gs-11	δ	56.17	0.98	16.19	3.76	4.53	0.15	3.62	5.66	4.01	1.98	0.22	1.38	98.65
四顶黑山序列 (C ₃ -P)	Gs-21	γδ	70.82	0.28	15.33	0.25	2.06	0.05	0.86	2.84	5.12	1.44	0.10	0.44	99.59
	Gs-7	γδ	71.12	0.30	13.83	1.40	1.73	0.07	0.74	2.72	4.00	2.89	0.09	1.29	100.18
	Gs-8	γδ	71.82	0.27	13.47	1.64	1.57	0.07	0.86	1.82	4.36	2.29	0.06	0.72	98.99
	Gs-36	ηγ	75.00	0.26	12.62	0.19	1.36	0.04	0.32	0.71	4.17	3.68	0.04	0.00	98.75
	Gs-62	γo	68.26	0.24	15.80	1.20	1.39	0.16	0.54	3.44	6.14	1.15	0.07	1.01	99.40
干河梁序列(P)	Gs-16	ξγ	76.1	0.04	12.6	0.28	1.32	0.03	0.08	1.04	3.92	4.46	0.01	0.64	100.52
	Gs-17	ξγ	71.64	0.27	13.77	1.13	2.23	0.06	0.57	2.32	3.87	3.62	0.08	1.02	100.58
	Gs-19	ξγ	75.22	0.09	12.76	0.40	1.40	0.04	0.15	1.01	3.65	4.34	0.01	0.64	99.71
	Gs-56	ηγ	64.1	0.74	16.69	0.93	3.69	0.08	1.62	4.63	4.32	2.04	0.24	0.94	100.02
	Gs-63	γo	65.3	0.44	15.75	1.22	3.21	0.08	2.07	3.83	4.00	1.81	0.15	1.55	99.71
	Gs-14	δo	66.5	0.66	15.42	1.11	3.30	0.07	1.43	3.49	4.23	2.45	0.17	0.63	99.46
	Gs-15	δo	64.68	0.84	15.34	0.76	4.18	0.09	1.60	4.04	4.06	2.32	0.22	0.90	99.03
马鞍山序列(T)	Gs-40	ηγ	72.32	0.23	13.9	0.05	1.85	0.46	0.46	1.66	3.86	3.86	0.06	1.11	99.82
	Gs-39	γδ	67.1	0.56	15.51	0.71	2.53	0.57	1.29	3.50	4.28	2.25	0.14	0.61	99.05
	Gs-59	γδ	61.5	0.76	16.61	1.45	3.59	0.09	2.61	5.24	4.39	2.15	0.28	0.99	99.66
	Gs-65	γδ	66.72	0.46	15.49	0.93	2.47	0.06	1.34	4.01	4.22	2.68	0.17	1.35	99.90
	Gs-64	δo	58.52	0.89	16.59	1.54	4.42	0.11	3.40	6.29	4.30	1.92	0.28	1.30	99.56
小草湖序列(T)	Gs-51	ηγ	75.65	0.1	12.48	0.21	1.06	0.35	0.12	0.54	3.62	4.86	0.01	0.59	99.59
	Gs-60	ηγ	76.92	0.06	12.66	0.39	0.72	0.04	0.11	0.03	4.30	4.24	0.03	0.65	100.1
	Gs-47	ηγ	70.96	0.36	14.05	0.38	2.05	0.52	0.79	2.13	4.03	3.33	0.10	0.53	99.23
	Gs-61	ηγ	72.66	0.27	13.83	0.59	1.8	0.05	0.69	1.83	3.94	3.72	0.11	0.86	100.3
	Gs-46	ηγ	70.91	0.37	14.04	0.66	1.78	0.55	0.80	2.13	3.82	3.96	0.09	0.75	99.86
	Gs-45	γδ	68.00	0.52	14.99	0.21	2.64	0.52	1.45	2.64	4.69	2.15	0.11	3.11	101.0

资料来源:摘自 1:250000 红宝石幅区域地质调查报告❶(宜昌地质矿产研究所测试)。

除上述外,该地带还曾报导过有埃达克岩产出的资料(刘明强等,2007)。按所提供的数据,具埃达克岩成分的岩石主要涉及晚石炭到二叠纪的双沟山南、四顶黑山和干河梁序列的石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩,三叠纪的马鞍山、小草湖序列的二长花岗岩、花岗闪长岩、英云闪长岩和石英闪长岩。实际上,具埃达克岩成分特征的岩石,还可包括部分火山岩类,如中奥陶世咸水湖组火山岩组合中的英安岩、中上志留统公婆泉群中的英安岩,以及中泥盆世头苏泉组火山岩组合中的安山岩等。

为了比较,表 5、6 列出了该区具埃达克岩成分的岩石和王焰等(2000)报导的 St. Helens 山埃达克岩的一些主要成分和数值特征。由表可见,该区的

埃达克岩类,除少数成分或特征数值与 St. Helens 山稍有差别外,其余方面均可进行对比。这也包括稀土和微量元素的球粒陨石标准化图形(图 12、13),以及 La/Y-Yb、Sr/Y-Yb 成分判别图解等(图 14)。这表明雀儿山—英安山地区确实发育有与俯冲消减洋壳有关的埃达克岩。

表 4

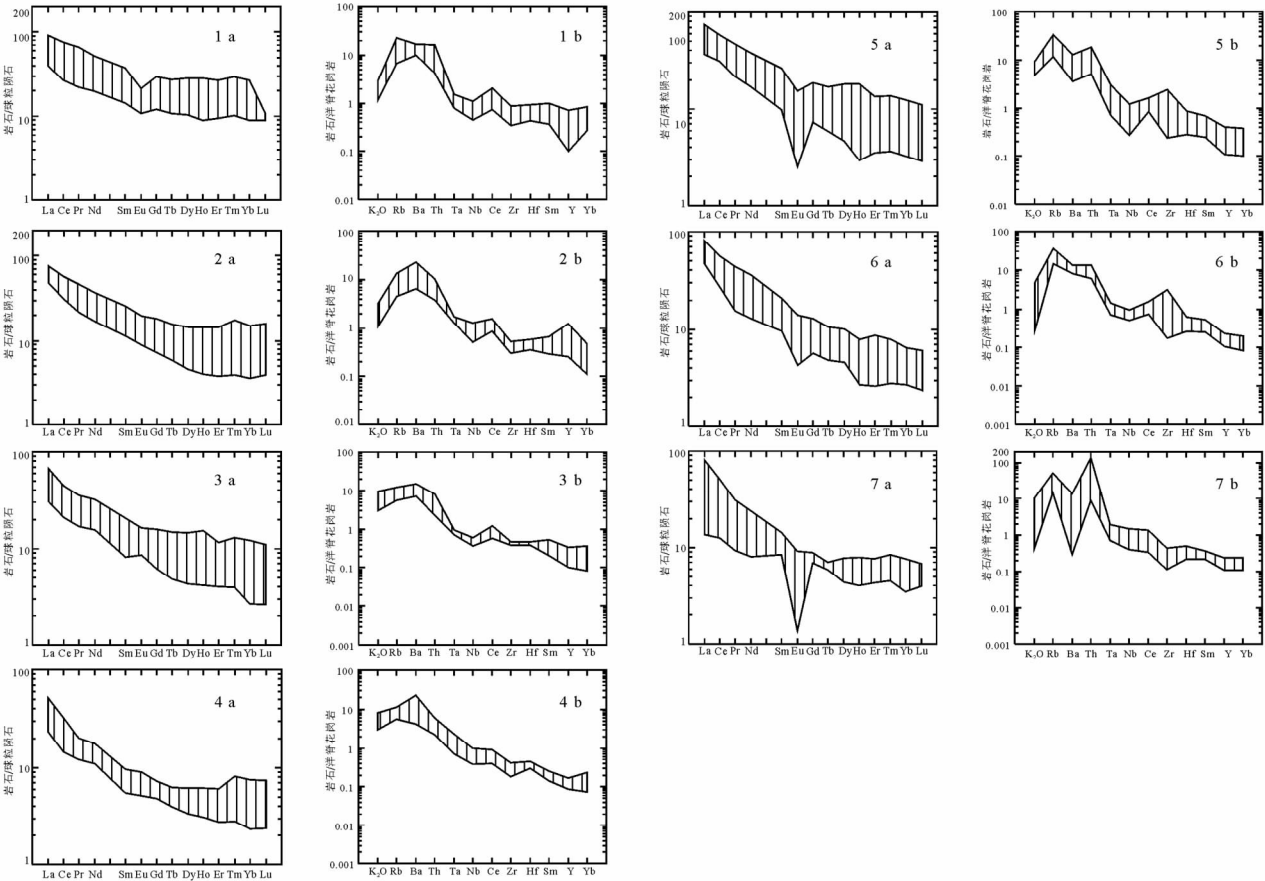


图 7 甘肃北山雀儿山-英安山地区中酸性侵入岩 REE 分配模式(a)和微量元素蛛网图(b)
Fig. 7 Chondrite-normalized REE plots(a) and trace elements spidegram(b) for intermediate-acid intrusions from Queershan-Yinganshan area in Beishan Mt. , Gansu Province

1—早石炭世红石山北坡序列;2—晚石炭-早二叠世大鱼山序列;3—晚石炭世-早二叠世双沟山南序列;

4—晚石炭-早二叠世四顶黑山序列;5—中二叠世干河梁超单元;6—三叠纪马鞍山超单元;7—三叠纪小草湖超单元

1—Early Carboniferous northern slope of Hongshishan Sequence;2—late Carboniferous-Permian Dayushan Sequence;3—late Carboniferous-Permian south Shuanggoushan Sequence;4—late Carboniferous-Permian Sidingheishan Sequence;5—Permian Ganheliang super unit;6—Triassic Maanshan super unit;7—Triassic Xiaocaohu super unit

3 岩浆源区及构造环境讨论

埃达克岩系指地球化学特征不同于正常弧安山岩—英安岩类,它是由热的俯冲板片熔融产生的安山岩-英安岩-钠质流纹岩类的集合名词,并相当于高 Al_2O_3 TTG 组合(Defaut M J et al. , 1990, 1993)。王焰等(2000)亦提出过“埃达克岩不是地幔楔的部分熔融产物,而是消减板片直接部分熔融形成的。……而消减板片主要由具 MORB 特征的洋壳及少量深海物质组成的。因此,埃达克岩成分是中酸性的,不可能出现玄武岩”,并认为“它是俯冲作用开始的一种标志”。实验岩石学证明,蚀变玄武岩在高压(>1Gpa)下经历脱水,并发生部分熔融可以形成埃达克质岩浆(Stern et al. , 1978;Ellis et al. ,

1986;Rapp et al. , 1991 , Holloway et al. , 1972)。这一方面说明埃达克岩形成源区的 MORB 洋壳属性,另一方面指明,它是消减带上岛弧环境的一种特殊类型岩石组合。且从该区埃达克岩的形成时限,还提示这种随板片消减的 MORB 洋壳部分熔融作用,可从中奥陶世延续到三叠纪。或者说,直到三叠纪,在消减带约 80km 以下深度上还有残留的洋壳存在。当然,其主要消减时段可能主要发生在泥盆-二叠纪,即北部古亚洲大洋完全消亡闭合之时。

对钙碱性系列的岩浆形成,Wyllie P J(1991)、Wyllie 等(2000)通过岩浆起源理论研究提出:“以钙碱性系列岩石,特别是以安山岩为特征的火山弧成因,与大洋板块的俯冲作用是密切相关的,是俯冲消减带特有的产物。”

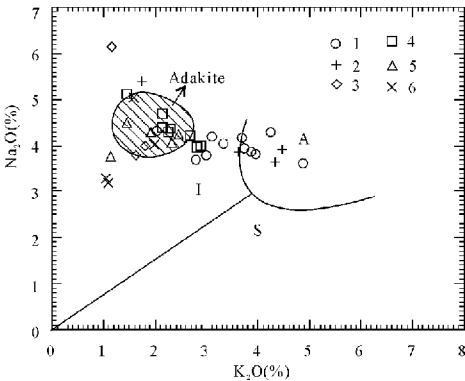


图 8 雀儿山-英安山地区中酸性侵入岩 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 成分图解 (据 Irvine et al. ,1971)

Fig. 8 Diagram of $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ for intermediate-acid intrusions from Queershan-Yinganshan area (After Irvine et al. , 1971)

- 1—二长花岗岩;2—钾长花岗岩;3—英云闪长岩;
4—花岗闪长岩;5—石英闪长岩;6—闪长岩
1—Adamellite;2—moyite;3—tonalite;4—granodiorite;
5—quartz diorite;6—diorite

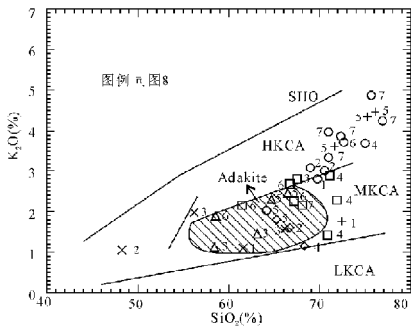


图 9 雀儿山-英安山地区中酸性侵入岩 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 成分图解 (据 Irvine et al. ,1971)

Fig. 9 Diagram of $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ for intermediate-acid intrusions from Queershan-Yinganshan area (After Irvine et al. , 1971)

- 1—红石山北坡序列;2—大鱼山序列;3—双沟山南序列;4—四顶黑山序列;5—干河梁序列;6—马鞍山序列;7—小草湖序列
1—North slope of Hongshishan sequence; 2—Dayushan sequence; 3—South Shuanggoushan sequence; 4—Sidingheishan sequence; 5—Ganheliang sequence; 6—Maanshan sequence; 7—Xiaochaohu sequence

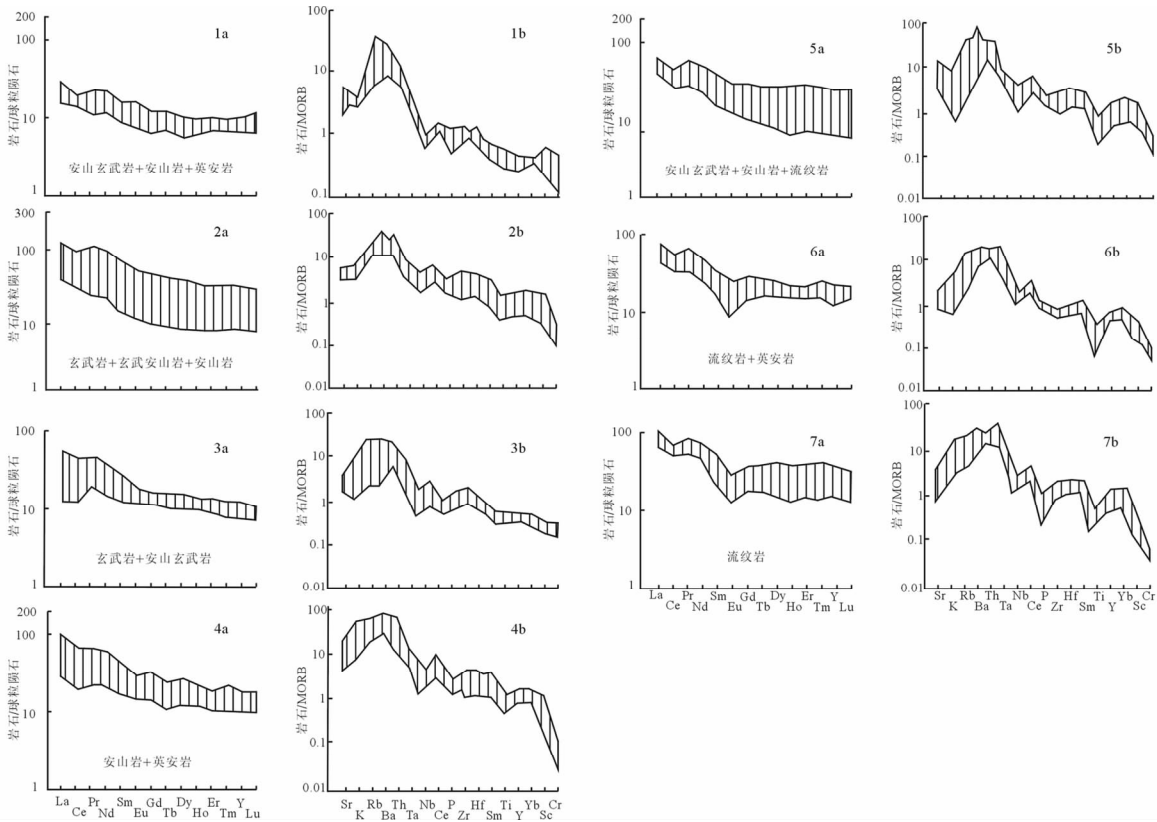


图 10 雀儿山-英安山地区不同时代火山岩 REE 分配模式(a)和微量元素蛛网图(b)

Fig. 10 Chondrite-normalized REE plots(a) and trace elements spidergram(b) for volcanic rocks from Queershan-Yinganshan area in Beishan Mt. , Gansu Province

- 1—中奥陶统咸水湖组火山岩;2—中上志留统公婆泉群火山岩;3—下中泥盆统雀儿山群玄武岩、安山玄武岩;

4—下中泥盆统雀儿山群安山岩、英安岩;5—中泥盆统头苏泉组火山岩;6—下泥盆统大南湖组火山岩;7—下中泥盆统雀儿山群流纹岩
1—Mid-Ordovician Xianshuihu Fm (andesite-basalt + andesite + dacite); 2—mid-upper Silurian Gongpoquan Grp (basalt + basalt-andesite + andesite); 3—early-mid Devonian Queershan Grp (basalt + andesite-basalt); 4—early-mid Devonian Queershan Grp (andesite + dacite); 5—mid-Devonian Tousuquan Fm (andesite-basalt + andesite + rhyolite); 6—early Devonian Dananhu Fm (rhyolite + dacite); 7—early-middle Devonian Queershan Grp (rhyolite)

表 5

表 6

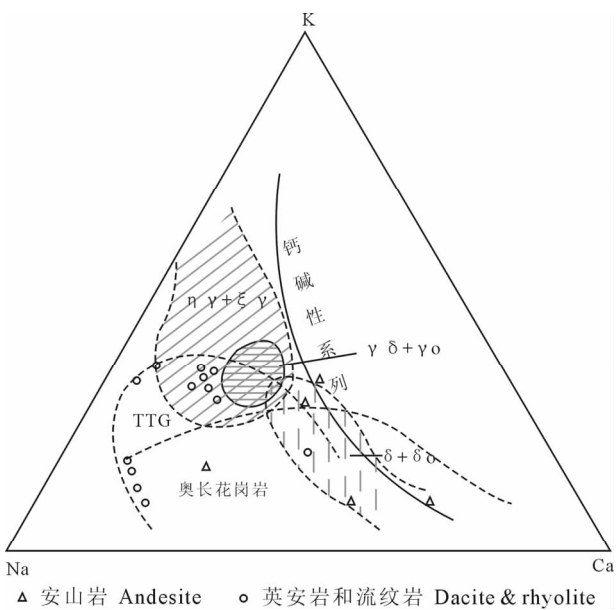


图 11 甘肃北山地区雀儿山-英安山地区中酸性火山岩、侵入岩 Na-K-Ca 成分图解

Fig. 11 Diagram of Na-K-Ca for intermediate-acid volcanic rocks and intrusions from Queershan-Yinganshan area in Beishan Mt., Gansu Province

δ—闪长岩; δo—石英闪长岩; γo—英云闪长岩;
γδ—花岗闪长岩; ξγ—钾长花岗岩; ηγ—二长花岗岩
δ—Diorite; δo—quartz diorite; γo—tonalite;
γδ—granodiorite; ξγ—moyite; ηγ—adamellite

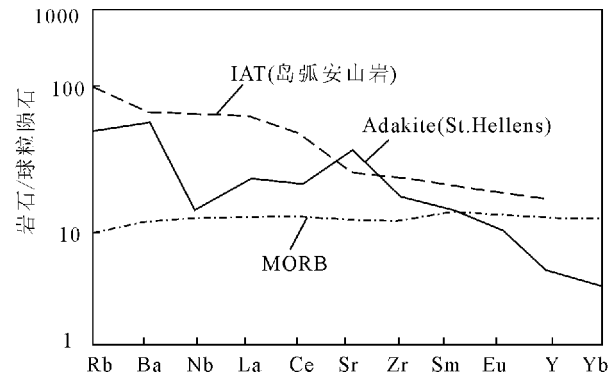


图 12 St. Hellens 山埃达克岩微量元素蛛网图 (据王焰等, 2000)

Fig. 12 Trace elements spidergram for Adakites from St. Hellens Mt. (after Wang Yan et al., 2000)

同样,对 TTG 组合,目前认为,它可以发育在岛弧环境,也可发育于大陆边缘弧,两者差别主要是前者伴有较多石英二长闪长岩和少量二长花岗岩,后者却相反(邓晋福等, 2004)。Johannes 等(1996)汇总了众多角闪岩脱水熔融产生的熔体组成(在 0.69、0.8、1.0、1.5、1.6、2.0Ga 条件下),“它大体上为 T_1T_2 ,有少量 G_1G_2 ,……但亦有少部分石英

标准矿物含量 $<20\%$,而相当于石英闪长岩和闪长岩。因此,自然界 TTG 常与石英闪长岩和闪长岩共生在一起”(Johannes W, et al, 1996)。但无论岛弧或是大陆边缘弧,它们都应源于一种玄武岩源。而这种玄武岩源既可以是底侵的玄武岩类,也可以是俯冲洋壳板片的玄武岩(邓晋福等, 2004)。不过,正像前所提及,该区是缺少古老陆壳基底的,从而排除了底侵玄武岩源的可能性。这点,邓晋福等(2004)也同样提出过“不少早期发育的岛弧内是没有大陆地壳的”。这样,结合埃达克岩的产生,则完全可说明,雀儿山—英安山地带产出的不同时代地层中的火山岩和中酸性侵入岩(即 TTG 组合),同埃达克岩一样都源于俯冲洋壳玄武岩的部分熔融,或者说,二者本来就是相同成分系列岩石的不同集合名词。

Miyashir(1974)曾对岛弧和大陆边缘弧的火山岩系列作过详细对比研究,得出“不成熟岛弧以玄武岩和玄武安山岩(AB)为主;成熟岛弧以安山岩(A)和英安岩(D)为主;而成熟大陆弧则以安山岩(A)、英安岩(D)和流纹岩为主”的结论。就甘肃北山雀儿山—英安山地区火山岩和中酸性侵入岩的岩石类型组合和成分特征比较,似乎既有不成熟岛弧,也有成熟岛弧和大陆边缘弧的综合性特征。实际上,按该区地处古亚洲大洋南缘的特殊位置,从大洋开启到消亡闭合(寒武—石炭二叠纪)时限,所见火山岩和中酸性侵入岩却恰好记录了古亚洲大洋在发育演化过程中,于大洋南缘地带从不成熟岛弧发育为成熟岛弧和大陆边缘弧的整个转化过程。具体说,中奥陶世的玄武岩、安山岩和部分英安岩组合,志留纪的安山岩、英安岩和玄武岩组合,可代表古亚洲大洋发育期间不成熟岛弧环境的产物。特别是中奥陶世咸水湖组中碱性玄武岩的出现,以及英安岩的埃达克岩的成分特征,这似乎标志着大洋发育开始闭合初期的消减带洋壳,不仅还处于一种较热状态,而且还有沉积物一同被消减,从而形成富大离子活动元素(K、Rb、Ba、Sr)的碱性玄武岩和具埃达克岩成分的英安岩(李昌年, 1992)。对这方面, Pearce 等(1982)曾利用元素的活动性来划分不同构造环境的玄武岩,提出“岛弧处于板块消减带,大洋板块俯冲必然带着活动性元素的离子进入岛弧下的地幔,使得该环境下形成的玄武岩较其它环境下形成的玄武岩更富含活动性元素”。进入泥盆纪到早石炭世时段,所形成的以安山岩和英安岩为主,部分含玄武岩和流纹岩组合,则显示一种古亚洲大洋发育晚期进

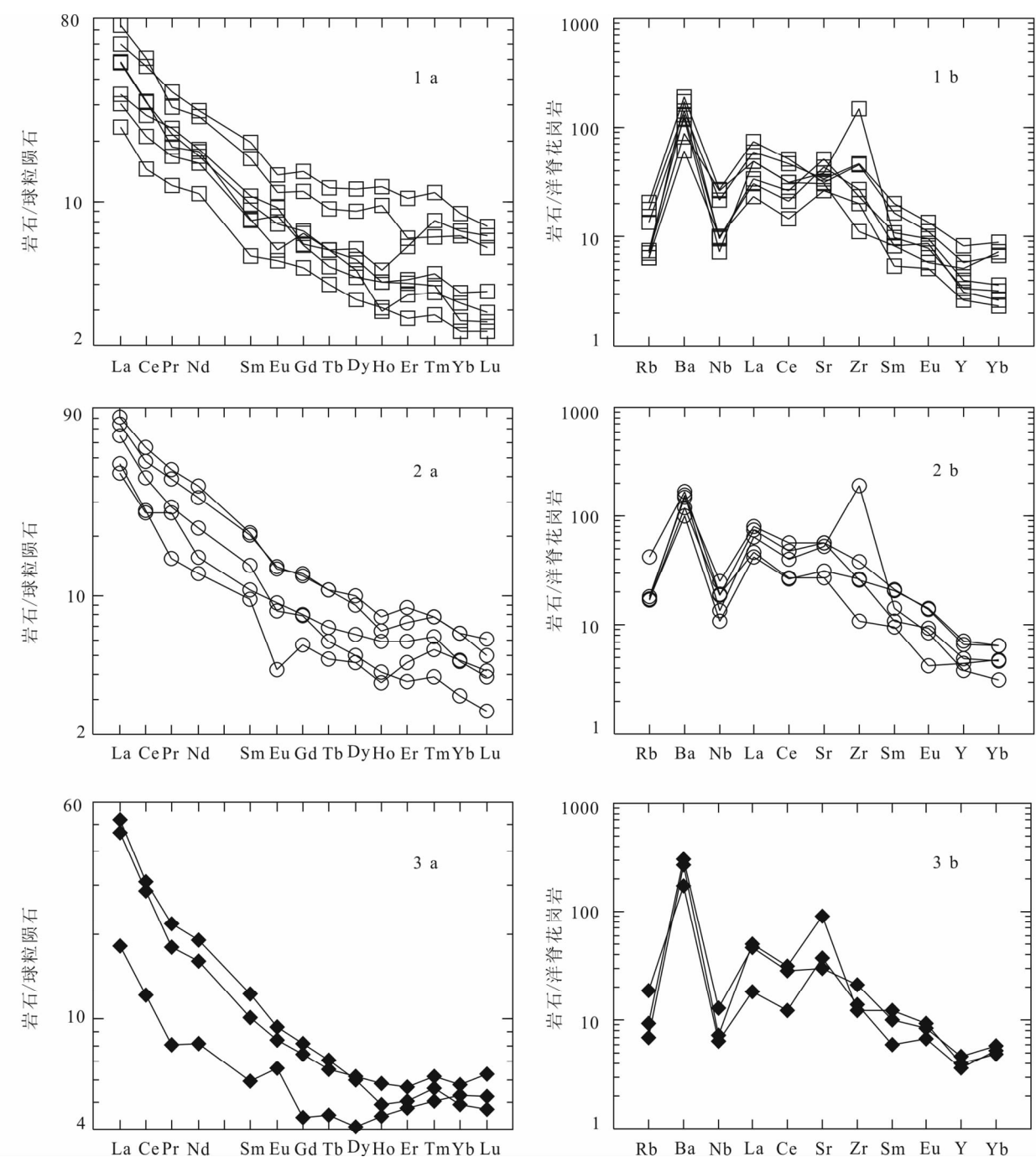


图 13 雀儿山—英安山地区埃达克岩 REE 分配图式(a)和微量元素蛛网图(b)(数据见表 2、4、6)
Fig. 13 Chondrite-normalized REE plots(a) and trace elements spidergram(b) for Adakites from Queershan-Yinganshan area(data in table 2,4,6, respectively)

1—华力西期侵入岩(1-7 样品); 2—印支期侵入岩(8-12 样品); 3—火山岩(13-15 样品)

1—Variscian period intrusion(samples 1-7); 2—Indo-Chianese epoch intrusion(8-12 samples); 3—volcanic rocks(13-15 samples)

入消亡闭合阶段的成熟岛弧岩浆作用的特性,这可由有较多比例的安山岩 TTG 组合和埃达克岩发育所说明。至晚石炭-三叠纪,大洋闭合俯冲消亡进入大陆边缘弧演化过程,且由埃达克岩发育情况分析,消减带深部仍残留有大洋岩石圈残块,这也由早石

炭世红石山北坡序列岩石的 TTG 组合和岩石富含角闪石类矿物可说明。Barbarin(1999)曾提出“含角闪石的钙碱花岗岩(低钾高钙)与俯冲作用有关”的结论。同样,也同 Condie(1982)花岗岩与构造环境或火成岩构造组合分类中的大陆边缘弧(科迪勒

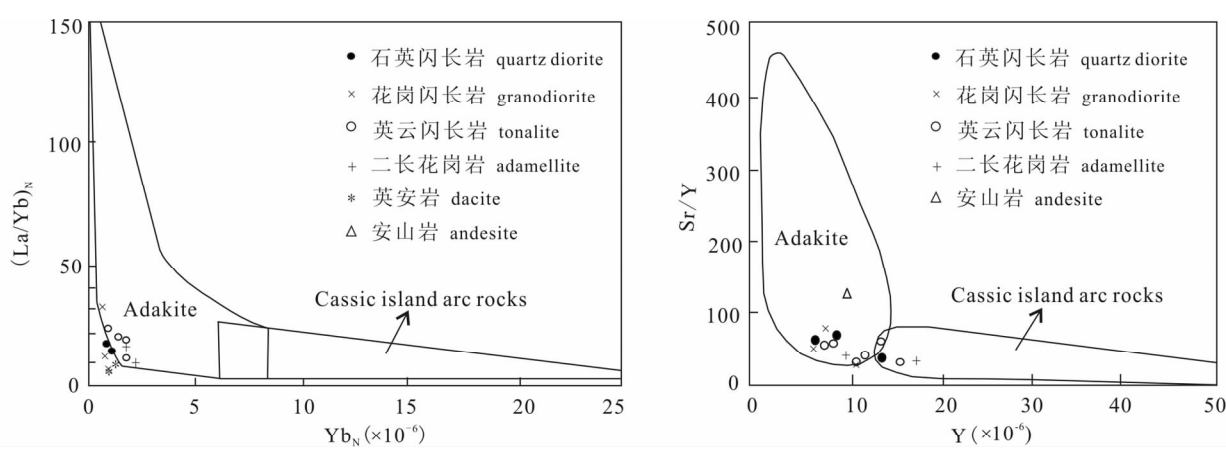


图 14 雀儿山—英安山地区埃达克岩的 $(La/Yb)_N$ - Yb_N 和 $w(Sr)/w(Y)$ - $w(Y)10^{-6}$ 图解
Fig. 14 $(La/Yb)_N$ - Yb_N & Sr/Y - Y Diagram of Adakites in Queershan-Yinganshan area

拉型)构造组合完全相似,主要由 TTG 组合的大量安山岩和英安岩或“1”型花岗岩构成。而对二叠—三叠纪中酸性侵入岩序列中的部分高钾钙碱性岩石的形成,则可能同先期序列单元岩石(包括部分火山岩类)的循环部分熔融有关。Johannes 等(1996)通过对岩石高温高压实验成果评述后认为“陆壳形成有三个阶段:①由地幔橄榄岩局部熔融形成玄武质壳;②玄武质壳局部熔融产生 T_1T_2G 组合;③ T_1T_2 的局部熔融产生钾质花岗岩(G_2)上地壳”。

此外,涉及岛弧带古陆系统归属,虽然目前还存在不同看法和认识,如有认为是“红石山洋”双向俯冲于北侧形成的岛弧带(何世平等,1996,2002)。还有提出“埃达克岩可能是加厚地壳基性岩部分熔融形成的,它揭示的是亚洲洋闭合的一次陆内地壳增厚事件(洪大卫等,2003;刘明强等,2007)。换言之,埃达克岩的形成与俯冲板片或消减带无关。但如注意到,所见中酸性侵入岩在产出分布上,有从北往南时代逐渐变新(图 1),成分有向高 SiO_2 高 K_2O 演化的趋势。那么,表明与岛弧带相关的消减带应在雀儿山—英安山一线以北地区,即在古亚洲大洋与东天山古陆系统接壤地带。Pitcher(1993)曾总结过太平洋东岸科迪勒拉(包括安第斯)活动大陆边缘火岩组合成因,得出“向洋一侧分布辉长岩—闪长岩—英云闪长岩—花岗闪长岩组合(主要是与地幔有关的源包括洋壳),陆内一侧分布花岗闪长岩—花岗岩组合”。这同雀儿山—英安山岛弧带中的中酸性侵入岩的岩石类型组合和成分变化趋势有某些相似。说明雀儿山—英安山地区实属古亚洲大洋向南朝东天山古陆系统俯冲或消减带上的岛弧带。

而涉及中酸性岩侵入滞后于俯冲作用的现象,

邓晋福等(2004)曾专门讨论过岩浆作用的滞后性,认为“由于在俯冲阶段源区没有产生岩浆的热条件,俯冲洋壳和上覆地幔楔都比较“冷”,地温达不到源岩的固相线温度(即起始熔融温度),故那时没有岩浆产生,但是俯冲下插到地幔中的大洋板块,已成新岩浆源区的组成部分。……在停止俯冲、洋盆闭合、碰撞拼合一段时间后,由于某种原因(诸如陆内汇聚、软流圈上隆、断裂诱发等等),改变了源区热状态,将地温提高到源区的起始熔融温度以上,使之部分熔融产生岩浆。这种岩浆在形成时间上滞后于俯冲作用,喷发于大陆环境,但在成分上却含有古俯冲洋壳和大洋岩石圈信息或称“俯冲带组分 SZC”,是古洋壳和古活动陆缘的历史见证。事实上,在雀儿山—英安山地区,这种中酸性岩浆侵入的滞后现象,恰好是古亚洲大洋在南缘俯冲消亡过程中从岛弧转变为大陆边缘弧的最好例证。且按古陆系统归属应为南侧东天山古陆系统陆缘增生地体的部分。

4 结论

综合研究表明,甘肃北山雀儿山—英安山地区,不仅缺少古老基底陆壳,且其内发育的中奥陶世到泥盆纪不同时代地层中的火山岩和石炭纪—三叠纪侵入的中酸性侵入岩类大多还具有 TTG 组合和部分埃达克岩成分特性,充分展示出一种发育在俯冲消减带上岛弧带的火成岩构造组合,且按火山岩和中酸性侵入岩岩石类型组合和成分演化关系,它恰好代表着古亚洲大洋向南侧东天山古陆系统下俯冲时,于消减带上从一种不成熟岛弧向成熟岛弧和大陆边缘弧发育演化的系列岩浆作用过程。

致谢:笔者对文中引述资料的原作者致以深切

谢意。不足和错误之处望批评指正。

谨以此文恭贺姜春发先生八十华寿和从事地质事业五十四载。

注 释

① 甘肃省地质调查院. 2004. 中华人民共和国地质图说明书(红宝石幅 1 : 250000), 内部资料.

② 甘肃地质局区测二队. 1971. 中华人民共和国地质图说明书(红石山幅 1 : 200000), 内部资料.

③ 内蒙古自治区地质调查院. 2003. 中华人民共和国地质图说明书(甜水井幅 1 : 50000), 内部资料.

参 考 文 献

邓晋福, 罗照华, 苏尚国等. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用. 北京: 地质出版社.

龚全胜, 刘明强, 李海林等. 2002. 甘肃北山造山带类型及基本特征. 西北地质, 35(3): 28~34.

龚全胜, 刘明强, 梁明宏, 李海林. 2003. 北山造山带大地构造相及构造演化. 西北地质, 36(1): 11~17.

何世平等. 1996. 老虎山蛇绿岩的特征及其形成环境, 见: 张旗主编“蛇绿岩与地球动力学研究”. 北京: 地质出版社.

何世平, 任秉琛, 姚文光等. 2002. 甘肃内蒙古北山地区构造单元划分. 西北地质, 35(4): 30~40.

李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学. 北京: 中国地质大学出版社.

刘明强, 王建军, 戴文军, 党引业. 2005. 甘肃北山造山带红石山地区正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值花岗岩类岩石的成因及地质意义. 地质通报, 24(9): 831~836.

刘明强. 2007. 甘肃北山造山带红石山地区埃达克质花岗岩类的发现及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 26(3): 232~238.

宋秉田, 代文军, 刘明强, 朱光儒. 2004. 北山北带北亚带西缘奥陶纪火山岩地球化学特征. 甘肃地质学报, 13(2): 51~58.

王焰, 张旗, 钱青. 2000. 埃达克岩(adakite)的地球化学特征及其构造意义. 地质科学, 35: 251~256.

夏林圻, 夏祖春, 徐学义等. 2007. 天山岩浆作用. 北京: 中国大地出版社.

殷克明, 杜玉良, 殷勇. 2005. 甘肃花岗岩类成矿作用研究与找矿方向. 西北地质, 38(4): 25~30.

邱瑞照, 李文渊, 周肃等. 2008. 中国西北大陆岩石圈类型、岩石学结构及其意义. 西北地质, 41(2): 1~21.

张旗. 1995. 蛇绿岩研究中的几个问题. 岩石学报, 11(增刊): 228~240.

张旗, 周国庆, 王焰. 2003. 中国蛇绿岩的分布、时代及其形成环境. 岩石学报, 19(1): 1~8.

洪大卫, 王式洗, 谢锡林等. 2003. 从中亚正 ϵ_{Nd} 值花岗岩看超大陆演化和大陆地壳生长的关系. 地质学报, 77(2): 203~209.

赵安生, 李景春. 1993. 甘肃北山北带金矿区域成矿特征. 贵金属地质, 2(2): 104~109.

左国朝, 何国琦. 1990. 北山地区早古生代板块构造特征. 地质科学, (4): 305~314.

左国朝, 李茂松等. 1996. 甘蒙北山地区早古生代岩石圈形成与演化. 兰州: 甘肃科技出版社.

左国朝, 刘义科, 刘春燕. 2003. 甘新蒙北山地区构造格局及演化. 甘肃地质学报, 12(1): 1~15.

Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environment. Lithos, 46: 605~625.

Castro A, Patiño Douce, A E, Corretgé, L G, de la Rosa J D, El-Biad M, El-Hmidi H. 1999. Origin of peraluminous granites and granodiorites, Iberian massif, Spain: an experimental test of granite petrogenesis. Contributions to Mineralogy and Petrology 135, 255~276.

Condie K C. 1982. Plate tectonics and crustal evolution. New York: Pergamon, 1~310.

Defant M J, Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. Nature, 37: 662~665.

Defant M J, Drummond M S. 1993. Mount St. Helens: potential example of partial melting of subducted lithosphere in a volcanic arc. Geology, 21: 547~550.

Ellis D J, Thompson A B. 1986. Subsolvus and partial melting reactions in the quartz-excess $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ system under water-excess and water-deficient conditions to 10kb: some implications for the origin of peraluminous melts from mafic rocks. Journal of Petrology, 27: 91~121.

Holloway J R, Burnham C W. 1972. Melting relations of basalt with equilibrium water pressure less than total pressure. J. Petrol, 13: 1~9.

Irvine T N, Baragar W R A. 1971. A Guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8: 523~548.

Johannes W, Holtz F. 1996. Petrogenesis and experimental petrology of granitic rocks. Springer-Verlag, 1~335.

Miyashiro A. 1974. Volcanic rock series in island areas and active continental margins. AIS, 274: 321~335.

Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Andesites, Orogenic Andesites and Related Rocks. RS Thorpe(ed), Chichester: Wiley, 525~548.

Pitcher W S. 1993. The nature and origin of granite. Chapman & Hall. London.

Rapp R P, Watson E B, Miller C F. 1991. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalites. Precambrian Research, 51: 1~25.

Stern C R, Wyllie P J. 1978. Phase compositions through Crystallization intervals in basalt-andesite- H_2O at 30 Kbar with implications for subduction zone magmas. American Mineralogist, 63: 641~663.

Wyllie P J. 1991. Plate tectonics and magma genesis. Geologische Rundschau Baud, 70: 128~150.

Wyllie P J, Ryabchikov I D. 2000. Volatile components, magmas and critical fluids in upwelling mantle. Journal of Petrology, 41(7): 1195~1206.

Discussion on the Location of Paleozoic Island Arc Zone on the South Margin of Paleo-Asian Ocean in the Beishan Area of Gansu Province

XIE Chunlin^{1,2)}, YANG Jianguo²⁾, WANG Lishe²⁾, WANG Yuxi²⁾, WANG Jingping²⁾

1) Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Beijing, 100083;

2) Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, 710054

Abstract

Based on the comprehensive analysis of previous research results, the study concludes that the Queershan-Yinganshan area, which is to the north of Hongshishan fault belt in Beishan Mt., Gansu province is an island arc associated with subduction ocean crust and records the geological process of the subduction of the ancient Asian Ocean crust subducted into the southern margin of East Tianshan old land. The conclusion is based on the facts as follows: ① this area is lack of ancient continental crust basement; ② subducted ocean crust relicts are indicated by volcanic rocks contained various age strata ranging from mid-Ordovician to Devonian and Carboniferous-Triassic intermediate-acidic intrusions. These rocks are represented by some calc-alkaline rock association or TTG or adakite series; ③ the evolution process of ancient Asian Ocean, which began with immature arc island, followed by mature island arc and ended by continental marginal arc, was successively testified by volcanic rock associations such as basalt, andesite and dacite in mid-Ordovician and Silurian, dominated by andesite and dacite interclating rhyolite in Devonian, and parts of high K calc-alkaline rock association of intermediate-acidic intrusions in Maanshan and Xiaocaohu in Triassic. Furthermore, it is suggested that the south subduction zone of ancient Asian Ocean should be really located in Mongolia, and the island arc zone should belong to part of continental margin accretionary terrain of East Tianshan old land.

Key words: Gansu Beishan; Queershan-Yinganshan area; island arc zone; continental margin accretionary terrain