

甘肃永昌南坝杂岩体的地球化学特征及构造意义

鲁胜章¹ 李兴德¹ 鲁 林² 许荣科³ 魏克林¹ 张雨莲³ 陕 亮³

(1.甘肃德泰矿业有银公司,嘉峪关 735100;2.郑州工业贸易学校,郑州 450007;3.中国地质大学 武汉 430074)

摘要:走廊过渡带石羊砬岩基南坝杂岩体含有大量的闪长质包体,作者在原 1:5 万区域地质填图资料的基础上,再次开展了该杂岩体内的包体和寄主岩的岩石学、主量及微量元素地球化学研究工作,确定南坝杂岩体的包体具火成结构,包体与寄主岩存在地球化学差异,但同时二者主量元素、微量元素在比值-比值协变图中呈双曲线或直线变异关系,在共母比值-比值成分变异图中则呈直线变异特点,反映了壳幔混源的特征;根据杂岩体内强烈的塑性构造变形及杂岩体主要岩性在 R_1-R_2 图解及微量元素洋脊花岗岩标准化图解上的判别结果,确定该杂岩体属同碰撞花岗岩,与祁连地体与阿拉善地体的碰撞有关,是碰撞晚期构造机制转化阶段的产物,而与二地体碰撞有关的底侵作用是走廊过渡带地壳生长的重要因素之一。

关键词:花岗岩;包体;岩浆混合;地球化学;地壳生长;走廊过渡带

中图分类号: P588.12⁺ **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)01-0064-10

祁连造山带是中国中央造山带的重要组成部分,其中北祁连缝合带内发育的蛇绿岩残片、榴辉岩、蓝片岩等构成了中祁连地体和阿拉善地体之间的分界线^[1]。相对而言,位于北祁连缝合带北侧与阿拉善地体之间的过渡区域-走廊过渡带,具有较北祁连更为发育的侵入岩带,绵延数百千米,尤其是在走廊过渡带内带石羊砬岩基东端的武威大口子-山丹军马一场之间的永昌南山一带,发育大面积的花岗岩,长达近百千米,宽可达十几千米,是研究造山带花岗岩侵入与造山活动关系及此过程中壳幔物质和能量交换的重要窗口。最近研究发现,在特提斯洋闭合及古亚洲洋闭合的地壳增厚隆升过程中,均有地幔物质的加入^[2-5]。潘桂棠等^[6]认为:壳内部分熔融及底侵作用已使青藏高原地壳增厚了约 20 km 以上。陆壳的底侵作用,是一种幔源物质添加到大陆地壳底部的过程,它也包括下地壳岩石部分熔融形成的岩浆向中、上地壳侵位和添加的过程^[7]。北祁连及

走廊过渡带在祁连造山带闭合造山过程中是否存在地幔物质的加入鲜有人研究。基于 20 世纪 90 年代原地矿部所推广的单元超单元填图方法,原山丹军马一场等 4 幅 1:5 万区调曾将这套房花岗岩由早到晚划分为 3 个超单元:马营超单元、南坝超单元、永昌超单元^①。相对另外两个超单元,南坝超单元具有一些不同点,如含有大量的暗色包体,侵入体与有色金属和贵金属更具成矿亲合性。如在超单元花岗岩的裂隙中赋存石英脉型铅锌多金属矿化、孔雀石化等;在山丹军马一场一带该套花岗岩中局部存在石英脉型金矿化(0.7 g/t)。其中在南坝乡附近石英脉型铅锌矿化构成工业矿体,并正在被开采。然而对这套花岗岩的岩石地球化学的分析研究,尤其是对其岩浆来源及演化过程的研究工作至今仍很薄弱,不利于对造山过程的研究和进一步的找矿工作。笔者曾参与这一带的 1:5 万区调填图工作,通过对原有资料的再分析及补充的部分野外工作,探讨岩浆混

收稿日期:2009-07-03;改回日期:2009-10-18

基金项目:甘肃德泰有限责任公司公婆泉铜矿深部找矿项目资助。

作者简介:鲁胜章,男,1975 年生,工程师,主要从事矿床地质及基础地质调查工作;E-mail: Lushengzhang0909@163.com。

通讯作者:许荣科,男,1968 年生,博士生,高级工程师,主要从事成矿规律及基础地质调查研究工作;E-mail:xurongke1968@126.com。

①甘肃地矿局地质六队,山丹军马一场等 4 幅 1:5 万区调报告,1999。

合作用、与构造的关系等,以期为区域研究提供重要的基础地质信息。

1 区域地质背景和岩体的岩相学特征

原南坝超单元位于走廊过渡带内带石羊洞岩基东端的武威大口子—山丹军马一场之间的永昌南山一带,该超单元面积可达 300~400 km²,总体呈北西西—南东东向岩席状展布,其内各侵入体主要呈岩株和条带状分布,单个侵入体面积一般为 0.03~23.5 km²。该超单元侵入寒武系大黄山组,在两者接触部位发生强烈的同化混染作用,界线犬牙交错,不易分清,而围岩显然也发生过重熔,显示岩体侵入时温度较高。

南坝超单元岩性主要有花岗闪长岩、英云闪长岩、石英闪长岩、石英二长闪长岩等,其中花岗闪长岩、英云闪长岩、二长岩和二长花岗岩是主体。该超单元岩性非常不均匀而变化非常剧烈,如在寺儿沟一带可由石英闪长岩、英云闪长岩、二长岩、二长闪长岩、角闪二长岩、正长岩、钾长花岗岩变化,快速而无序的岩性变化难以同源岩浆演化来解释。将其称为超单元欠妥,下面将其称为南坝杂岩体。该杂岩各岩性之间一般呈渐变过渡,类似于同源岩浆演化

的涌动接触关系。

南坝杂岩体主要岩性描述如下:

英云闪长岩—花岗闪长岩:灰黑色,风化色呈灰绿,斑杂构造,块状或片麻状构造,中粗粒或中细粒结构,主要组成矿物有斜长石、角闪石、黑云母、钾长石、石英、含少量磷灰石、磁铁矿、锆石等,次生矿物有绿泥石、绿帘石及白云母等。

普通角闪石:角闪石式解理,褐绿—淡绿—淡黄多色性, C \wedge Ng = 23~25°, 粒径 1~2.5 mm, 绿泥石化析出铁质, 显微镜下常见硅质细脉沿裂隙交代充填, 含量 10%~35%。

黑云母:片状—团块状,含量 3%~15%。

钾长石:由基质和斑晶组成,基质为半自形板状或他形,粒径 2~3 mm,大者可达 5~6 mm;斑晶粒径可达 1~4 cm,多为半自形—他形,卡斯巴双晶极为发育。以条纹长石为主,钾微斜长石和微斜条纹长石次之。钾长石斑晶交代熔蚀原岩中其他矿物,如交代斜长石往往从晶体内部开始,蚀变后面被褐色尘状物所覆。此外,钾长石晶体内包含大量交代残留矿物黑云母、斜长石等,含量 15%~50%。

斜长石:板状,粒径 0.5~3 mm,牌号高低变化较

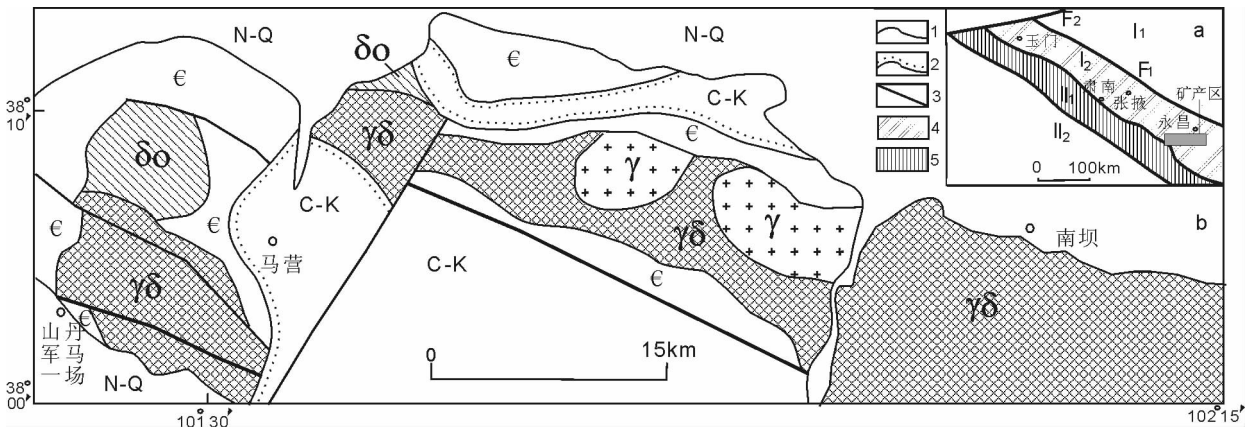


图 1 永昌南坝一带地质简图

(a 据宋述光等(2004)简化, b 据甘肃地矿局地质六队)

1—地质界线;2—不整合界线;3—断层;4—复理石沉积;5—蛇绿岩、高压变质岩、岛弧等; I₁—阿拉善地体; I₂—走廊过渡区; II₁—北祁连缝合带; II₂—中祁连地体; N-Q—新生代沉积; C-K—晚古生代—中生代沉积; ε—寒武系大黄山组; γ—加里东晚期花岗岩(永昌超单元); γ δ—加里东中期花岗闪长岩(南坝超单元); δ o—加里东早期花岗岩(马营超单元)

Fig.1 Simplified geological map of Nanba complex(tectonic setting simplified from Song Shuguang et al., 2004; geological sketch map simplified from 1:50,000 regional maps)

1—Geological boundary; 2 - Unconformity; 3—Fault; 4—Flysch sediments; 5—Ophiolites, high—pressure metamorphic island etc; I₁—Alxa terrain; I₂—Corridor transition zone, II₁ - Northern Qilian suture zone; II₂—Middle Qilian terrain; N-Q—Tertiary—Quaternary loose sediments; C-K—Late Paleozoic—Mesozoic sediments; ε—Cambrian Dahuangshan Formation; γ—Late Caledonian granite (Yongchang Superunit); γ δ—Middle Caledonian granodiorites (Nanba Superunit); δ o—Early Caledonian granite (Maying Superunit)

①甘肃地矿局地质六队.山丹军马一场等4幅1:5万区调报告,1999.

大,但主要以更-中长石为主,环带构造明显,聚片双晶、卡钠复合双晶发育。晶体常变形弯曲直至碎裂,以绢云母化蚀变为主,含量 47%。

石英明显可分两个世代,早期为细粒,晚期呈粗大斑晶,并交代早期斜长石等矿物。

二长花岗岩:中粗粒-中细粒结构,主要组成矿物有斜长石、角闪石、黑云母、石英等,含少量磷灰石、磁铁矿、锆石等。

斜长石:属更长石,双晶明显弯曲但无错断和碎裂现象,含量 27%。

钾长石:属中长石,风化导致表面覆有褐色尘状物,含量 30%。

角闪石或黑云母,全部绿泥石化,含量 13%。

石英:细粒或斑状,含量 30%。

岩石绿泥石化、绢云母化蚀变强烈,另外随着交代作用的增强,钾长石含量剧增,并变为略具混染的中粗粒钾长花岗岩。

显然南坝杂岩体岩石矿物组合与 Barbarin[®] 的富钾及钾长石斑状钙碱性花岗岩(KCG)相似。

南坝杂岩体富含大量的暗色包体(图 2)。成分主要为细-粗粒闪长玢岩、闪长岩等。包体主要为小型团块,粒径在 1~3 mm 居多,但也有宽达 1m,长达百米以上,呈透镜状(图 2-b)或条带状脉(图 2-a、2-c)产出者,产状以直立为主,部分地段存在由宽小于 3m 规则或不规则条带组合成的复合网脉状(图 2-a)与围岩互相包裹。该类条带状暗色闪长岩脉边部往往出现钾长石嵌晶结构,而在围岩中则不多见,但围岩黑云母片理在条带处有收敛现象,在较宽条带中未发现粒度分带现象。包体主要岩性描述如下:

闪长玢岩:条带状、块状构造,似斑状结构。斑晶由斜长石和普通角闪石组成。斜长石呈宽板状,自形,以拉-中长石为主,含量 15%;角闪石呈宽板状或长柱状,辉石呈短柱状,二者含量之和约为 30%。基质为中粒或中细粒,常具辉绿结构,由斜长石搭成

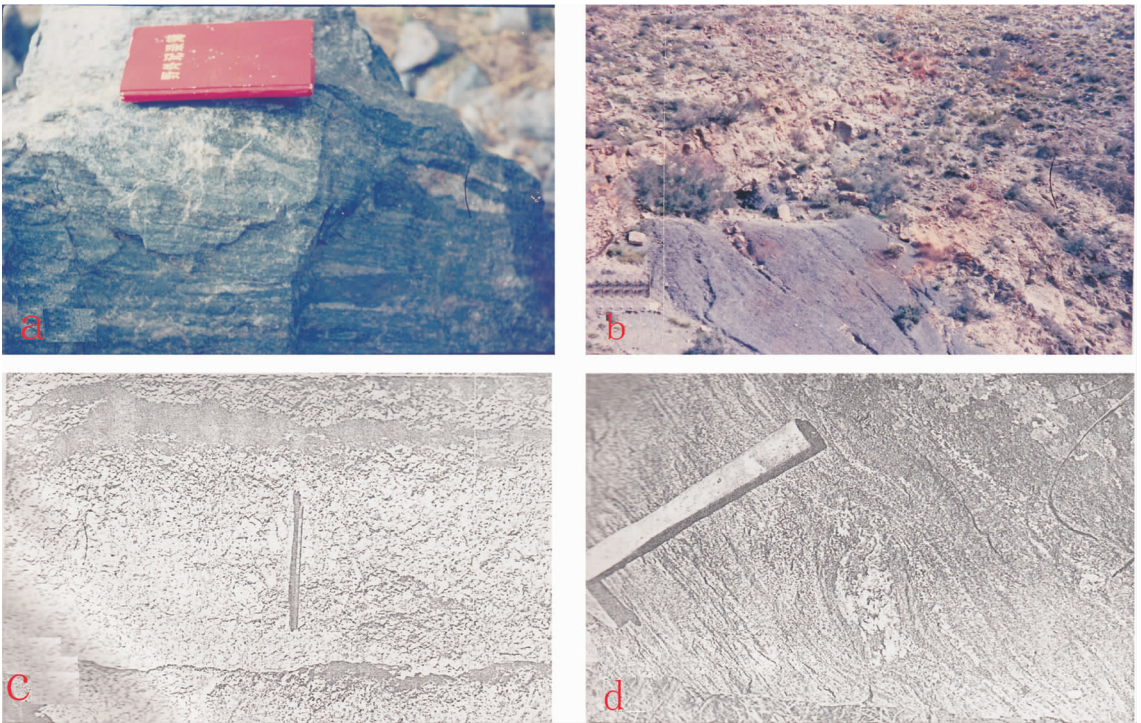


图 2 花岗闪长岩及 MME 包体

a—暗色 MME 包体、变形结构及与浅色主岩组分的相互穿插; b—透镜状 MME 包体, c—条带状包体; d—条带状 MME 包体、粒径大于 10cm 的钾长石巨斑、黑云母等构成的 S-C 组构

Fig.2 Granodiorite and MME exclaves

a—Mutually penetrating mafic microgranular enclaves and host rocks; b—Lenticular mafic microgranular enclaves; c—Striped mafic microgranular enclaves; d—Striped mafic microgranular enclaves and S-C fabrics composed of huge potassium feldspar crystals and biotite

角闪,钾长石及暗色矿物填充其中,发育巨大石英捕虏晶包含斜长石和石英的含长结构。基质中由斜长石(以中长石为主)45%,角闪石或普通辉石 25%,钾长石 40%,石英 30%,金属矿物<5%组成。且岩石局部石英含量较高,明显与捕虏晶的加入有关。

角闪二长花岗岩:包体近似椭圆形,粒径为 3 cm 左右,中粒半自形结构,粒径 2~4 mm,由斜长石(30%)、条纹长石(25%)、角闪石(16%)及波状消光的石英(25%)组成。

另外在该单元中也曾发现富云母包体,黑云母含量可达 80%,它很可能代表上地壳下部的片麻岩等基底岩系,是岩浆上升过程中被捕虏并带至浅表部。

南坝杂岩体内包含有大量的塑性变形痕迹,如长石多具有波状弯曲、闪长质捕虏体及生成的巨斑晶在围岩结晶过程中也与围岩同时发生了变形(图 2-a₂-c),反映了一种深层次高温状态下的变形过程,属于王涛等^[9]划分的亚岩浆流动组构。这一变形在后期的降温过程中还在持续,如在武威大口子一带局部、山丹军马一场水库附近发育较大规模的脆-韧性剪切带中的 S-C 组构(图 2-d),糜棱片理的定向组构总体与测区内北西向的区域构造线方向一致。

2 分析方法

主量元素、微量元素及稀土组分测试由武汉综合岩矿测试中心承担,除 H₂O 采用重量法、CO₂ 采用非水滴定法分析外,其余氧化物及微量元素和稀土元素均由 X-荧光光谱 α-系数法测定,分析精度(相对误差)除 H₂O 外为 1%。微量和稀土元素误差小于 5%。

3 地球化学特征

南坝杂岩体各寄主岩及闪长质包体的主量元素、稀土及微量元素分析结果如表 1。寄主岩的主量元素及微量元素、稀土元素与包体的有明显区别。如主量元素具有:①富硅和硅含量变化较宽, SiO₂ 为 66.53%~73.53%,酸性程度最高的中粗粒似斑状钾长花岗岩 SiO₂ 为 75.29%;②次铝-过铝, Al₂O₃ 为 11.64~14.81%, A/CNK 为 0.85~1.23,③ Fe、Mg、Ca 氧化物的含量低,但存在明显的变化;多贫磷贫钛, P₂O₅ 一般小于 0.26%, P₂O₅ 含量与 SiO₂ 含量呈负增长的趋势,指示与典型的 S 型花岗岩不同(图 3),后者常具较高的 P₂O₅ 含量和随分异作用的进行 P₂O₅

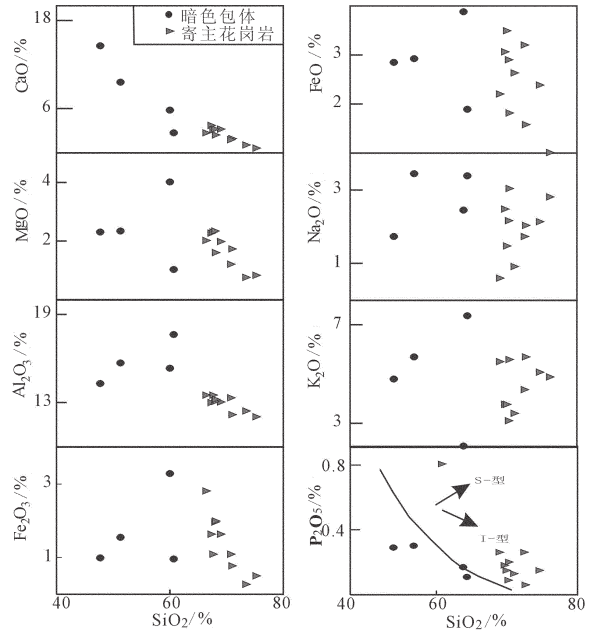


图 3 南坝杂岩体哈克图解(图中 I 型和 S 型花岗岩 P₂O₅ 随 SiO₂ 递增的变异趋势 (据 Chappell,1999)

Fig.3 Haker diagram of Naba complex rocks (variation trend of P₂O₅ with increasing SiO₂ for I- and S-type granites (after Chappell, 1999)

有递增的演化趋势^[10],④碱度中等偏低, K₂O+Na₂O 在 4.33%~8.64%,碱度率 A.R.在 1.73~4.04, AKI 值在 0.40~0.82,远低于 A 型花岗岩的平均值(0.95)^[11];⑤多数富钾, K₂O/Na₂O 为 1.44~9.02;⑥稀土配分曲线(图 4)具有弱-中等的负铕异常(Eu/Eu^{*}=0.6~0.8);⑦微量元素具有富 Rb、Th、U、Pb、Nb、Zr、Ti、P 等,高场强元素含量较低的特点(图 5)。根据岩体总体以中酸性的英云闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩及钾长花岗岩为主,岩石组合特点指示其不可能为 M 型花岗岩,前面已排除其为 S 型花岗岩的可能,故它应属于 I 型花岗岩。

包体的主量元素明显具有:①明显贫硅, SiO₂ 含量为 47.72%~60.64%,其中暗色闪长岩包体 SiO₂ 为 47.72%,相当于基性岩类;②铝不饱和(次铝-偏铝), A/CNK 为 0.41~0.95;③钙铁镁含量较寄主岩高得多;④碱度与寄主岩相当或略低, (K₂O+Na₂O) 为 3.6%~7.0%,碱度率 A.R.为 1.54~3.54, AKI 值为 0.41~0.77;⑤由富钠-富钾, K₂O/Na₂O 为 0.84~2.77;⑥稀土(图 4)及微量元素曲线(图 5)总体与寄主岩石相近,呈弱的负铕异常(Eu/Eu^{*}=0.7)。

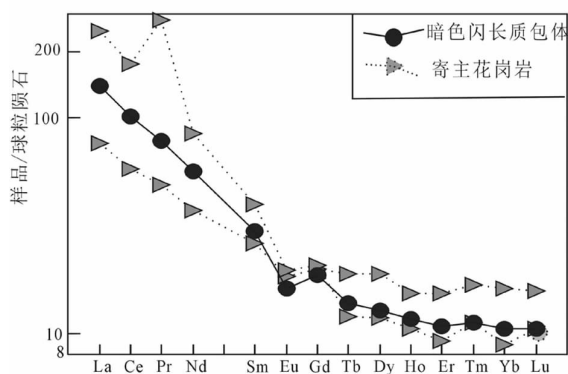


图4 南坝杂岩体闪长质包体及寄主花岗岩稀土元素配分型式(球粒陨石据 Boynton, 1984)

Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns of diorite enclaves and their host granites from the Nanba complex rocks (chondrite values from Boynton, 1984)

4 讨论

4.1 岩浆混合作用

南坝杂岩体各岩石单元中出现大量的暗色微细粒闪长质包体,这些包体不含富铝的特征变质矿物、缺乏含水矿物的脱水残留相、具有岩浆结构而非变晶结构,包体多呈浑圆状或透镜状的塑性变形,但除捕虏晶外,晶体不存在塑性形变,均表明这些闪长质包体不是基底变质岩的难熔残留物。

闪长质包体相对寄主岩贫硅、富钙镁铁,部分闪长质包体的 SiO_2 含量属基性岩范畴,其岩浆应来自地幔,但包体 Rb/Sr 比值为 0.71~2.44,远高于原始地幔值 (0.025)^[12], Rb/Nb 、 La/Nb 及 Ba/Nb 比值分别为 9.67~22.16、2.23~6.06、13.98~96.76,较之原始地幔、洋脊玄武岩及洋岛玄武岩的相应值^[13-14]均偏高,而与地壳的值相接近,表明应为幔源基性岩浆经改造的产物。包体多呈浑圆状或透镜状的塑性变形、包体和寄主岩相互撕裂和穿插、在寄主岩与闪长质包体边界处存在色率的过渡、二者界线处钾长石斑晶的增生和包体中石英捕虏晶、寄主岩中晶体的环带等现象、寄主岩中钾长石斑晶中常包裹早期结晶形成的斜长石等从而构成嵌斑结构,均指示闪长质包体在被包裹时呈高温塑性状态,从而与寄主岩发生物质交换和寄主岩晶体平衡被打破后的再平衡过程^[15-19]。

其反映闪长质包体和寄主岩的形成时间几乎是相同的,也说明两者是由岩浆混合作用所形成。

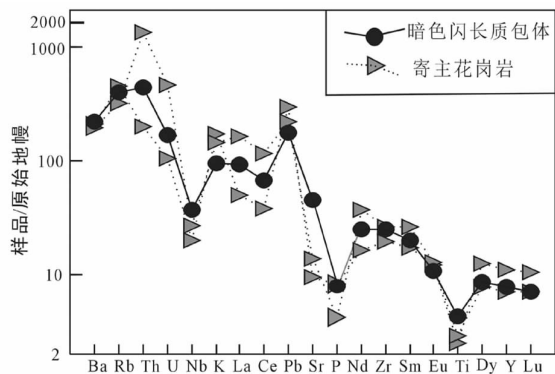


图5 南坝杂岩体闪长质包体及寄主花岗岩微量元素蛛网图(原始地幔据 Sun & McDonough, 1989)

Fig.5 Primitive mantle-normalized spidergrams of trace elements for diorite enclaves and their host granites from the Nanba complex rocks (primitive mantle values from Sun & McDonough, 1989)

包体和寄主岩的主要氧化物比值之间及氧化物与部分微量元素之间表现出良好的协变关系,如二者的 SiO_2 与 CaO 、 MgO 、 P_2O_5 等总体均呈现出负增长趋势(图 2)可能指示寄主岩石演化过程中曾发生过暗色矿物、斜长石、磷灰石等的分离结晶作用。微量元素特征图解图形极其相似,稀土曲线均为轻稀土富集的右倾型,暗示它们在成因上可能存在密切的联系。这种岩性差异最可能由结晶分异所形成,但包体的稀土元素含量与寄主岩相近,甚至小于寄主岩,多个酸性岩样品具有较包体更低的 La 含量,酸性岩的 Rb/Sr 及 Rb/Ba 值不高,多在 0.19~2.02 和 0.20~0.80 之间,大部分低于或相当于包体相应值,均反映了酸性岩浆主要不是由包体代表的基性岩浆演化而来。根据南坝杂岩包体和寄主岩 SiO_2 与其他部分氧化物(MgO 、 CaO),在共分母比值图解 $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ 、 $\text{Zr}/\text{Sr}-\text{La}/\text{Sr}$ 、 $\text{Y}/\text{Sr}-\text{Zr}/\text{Sr}$ (图 7)中呈线性相关,在 $\text{FeOT}/\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ 、 $\text{Rb}/\text{Sr}-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比值协变图解(图 6)上呈双曲线,说明它们是由岩浆混合作用所形成^[20,21]。

上述岩石学及地球化学特征,指示南坝杂岩是一个浆混体,暗色闪长岩可能代表基性端员或基性端员分异的产物,其明显的贫 Ba、Nb、P、Ti 的特征,可能与其地幔源区继承了早期岩浆弧地幔的特点有关;暗色石英闪长岩包体可能是暗色闪长岩与寄主岩混合所形成的,细粒的浅色钾长花岗岩基本不含

表 1 南坝杂岩体主岩及包体主量、微量及稀土元素
**Table 1 Major, trace and rare earth element content of host granites
 and dioritic enclaves from Nanba complex**

样品	闪长质包体			英云闪长岩—花岗闪长岩							二长花岗岩			
	OX-2	OX-4	OP-6	OX-6	OX-3	OP-2	OP-3	OP-4	OX-5	OP-1	OX-1	OP-7	OP-5	OX-7
SiO ₂ %	47.72	51.24	59.95	60.64	66.53	67.36	67.68	67.99	68.2	69.07	70.84	71.02	73.53	75.29
TiO ₂	0.36	0.39	0.69	0.3	0.46	0.4	0.35	0.47	0.41	0.39	0.58	0.23	0.38	0.19
Al ₂ O ₃	14.31	15.69	15.35	17.64	13.5	13.03	13.51	13.07	13.24	13.04	13.34	12.18	12.43	12.06
Fe ₂ O ₃	0.99	1.55	3.28	0.96	2.81	1.64	1.09	1.97	2	1.64	1.09	0.77	0.27	0.5
FeO	2.85	2.92	3.88	1.89	2.2	3.06	3.49	2.9	1.82	2.63	3.2	1.58	2.39	1.01
FeOT	3.74	4.31	6.83	2.75	4.73	4.54	4.47	4.67	3.62	4.11	4.18	2.27	2.63	1.46
Fe ₂ O ₃ T	4.16	4.79	7.59	3.06	5.25	5.04	4.97	5.19	4.02	4.56	4.65	2.53	2.93	1.62
MnO	0.05	0.03	0.08	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07	0.04	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02
MgO	2.31	2.35	4.01	1.05	2.03	2.27	2.31	2.35	1.62	1.99	1.22	1.74	0.77	0.84
CaO	14.55	9.59	5.81	2.71	2.71	3.72	3.16	3.27	2.48	3.21	1.8	1.98	1.07	0.69
Na ₂ O	1.73	3.44	2.45	3.38	0.61	2.48	1.48	2.16	3.04	0.92	1.73	2.04	2.13	2.81
K ₂ O	4.8	5.7	2.07	7.38	5.5	3.76	3.76	3.11	5.6	3.41	4.36	5.7	5.08	4.88
P ₂ O ₅	0.29	0.3	0.17	0.11	0.26	0.18	0.15	0.09	0.2	0.13	0.26	0.06	0.15	0.75
H ₂ O ⁺	1.89	2.17	1.97	1.21	1.6	1.67	2.21	2.29	1.36	2.19	1.3	1.98	1.05	0.98
CO ₂	8.5	4.94	0.37	1.76	0.6	0.28	0.07	0.28	0.29	0.25	0.46	1.34	0.22	0.11
Total	100.35	100.31	100.08	99.06	98.85	99.89	99.31	100.02	100.3	98.91	100.19	100.65	99.48	100.13
A/CNK	0.41	0.54	0.91	0.95	1.14	0.87	1.1	1.02	0.85	1.18	1.23	0.93	1.14	1.08
AR	1.58	2.13	1.54	3.24	2.21	2.19	1.92	1.95	3.44	1.73	2.35	3.41	3.29	4.04
AKI	0.56	0.75	0.41	0.77	0.52	0.63	0.48	0.53	0.84	0.4	0.57	0.78	0.73	0.82
KN	6.53	9.14	4.52	10.76	6.11	6.24	5.24	5.27	8.64	4.33	6.09	7.74	7.21	7.69
Ba/10 ⁻⁶			1123	683	1129	1074	425	992	703	334	454	459	384	410
Rb			221.4	150.7	315.8	246	329.8	176.3	302.2	216.7	184	287.4	305.4	289.1
Sr			814.8	808.8	468	168.7	60.8	246.8	149.8	88.7	121.8	865.2	79.8	69.8
Zr			210	151	266	161	383	219	169	278	265	362	181	126
Nb			20.8	14.1	17.8	11.1	30.4	15.1	18.2	22.4	20.7	25.8	19.9	11.6
Th			28	11.8	81.8	12.8	56.6	86.4	24.1	41.8	27.2	24.2	22.8	15.8
U			3	2.8	3.8	1.9	8.1	8.3	3.5	6	9.9	7.5	4.2	2.9
Pb			21.4	20.6	16.1	35.6	37.2	26.2	35.7	32.9	27.9	524.8	37.4	31.6
Ni			16.5	21.2	11	4.6	4.8	12.4	8.1	7.4	4.3	3	5.6	1.9
Cr			93.2	84.1	11.8	5	5.6	75.4	18.8	12.7	14	15.8	9.8	6
Co			17.5	16	28.2	24.6	12.2	15.2	27.6	22.6	29.7	9.4	26.4	25.5
La			51	25.6	74.8	27.8	67.8	91.5	44.2	60.6	62.3	57.9	40.8	26.9
Ce			96.2			55.2		167.5						
Pr			10.7			6.7		38.3						
Nd			39.9			26.5		59.9						
Sm			6.9			6		9.2						
Eu			1.4			1.6		1.7						
Gd			5.7			6.1		6.3						
Tb			0.8			1.1		0.7						
Dy			4.9			7.2		4.5						
Ho			1			1.3		0.9						
Er			2.7			3.8		2.3						
Tm			0.4			0.6		0.4						
Yb			2.6			4		2.2						
Lu			0.4			0.6		0.4						
Y			26.8	80.2	22.7	37.5	89	24.2	47.8	50.9	42.6	94.6	52.3	27.5
REE			251.4			186		410						
Eu/Eu*			0.7			0.8		0.6						
Rb/Sr			0.27	0.19	0.67	1.46	5.42	0.71	2.02	2.44	1.51	0.33	3.83	4.14
Rb/Ba			0.2	0.22	0.28	0.23	0.78	0.18	0.43	0.65	0.41	0.63	0.8	0.71
Rb/Nb			10.64	10.69	17.74	22.16	10.85	11.68	16.6	9.67	8.89	11.14	15.35	24.92
Ba/Nb			53.99	48.44	63.43	96.76	13.98	65.7	38.63	14.91	21.93	17.79	19.3	35.34
La/Nb			2.45	1.82	4.2	2.5	2.23	6.06	2.43	2.71	3.01	2.24	2.05	2.32

注:数据由武汉综合岩矿中心测试。

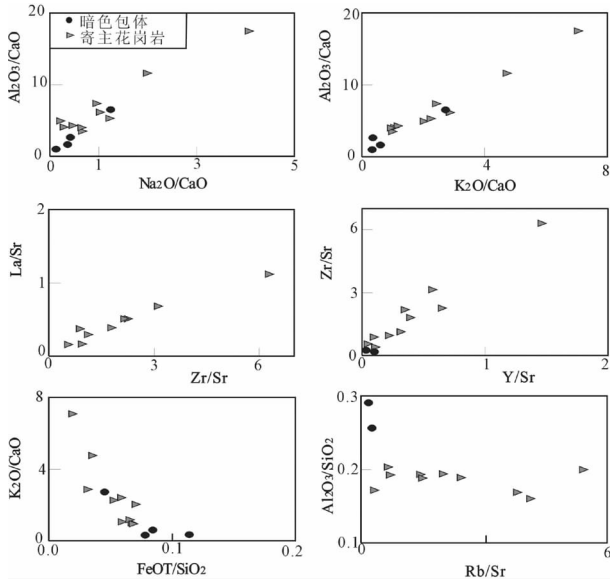


图6 南坝超单元氧化物及微量元素协变图解
Fig.6 Major and trace element relevant covariance diagrams of Nanba complex rocks

暗色包体,可能代表酸性端员或其演化的组分,其他岩性则可能是浅色和暗色端员组分按不同比例主要在液态下发生化学混合形成的,以酸性端员为主。其

中暗色的闪长质加入较晚,从而造成了已生成的酸性岩浆中少部分已分离结晶的钾长石粒径的增大,而新的岩浆的加入改变了原来岩浆的物化平衡,造成晶体结晶过程失稳,形成晶体的环带构造,未混熔的基性岩浆团和一些混合后偏基性的岩浆部分较酸性部分发生较快速的结晶,从而出现一些岩浆快速冷却的标志—辉绿结构等,结晶过程中部分热的传导,造成部分酸性岩浆形成一些巨斑。

4.2 构造意义

构造环境 R_1-R_2 判别图(图7-a)指示,寄主岩主要位于同碰撞花岗岩区;在微量元素构造环境判别图解(图7-b,7-c)上,样品点分散,位于岛弧花岗岩、同碰撞花岗岩和板内花岗岩的交界区,主体位于前二者叠合的地带,与利用 Maniar 和 Piccoli(1989)^[24]的构造环境分类图解,获得它属于 IAG+CAG+CCG 的范畴相一致。而根据其岩石组合主要由英云闪长岩—花岗闪长岩—二长花岗岩组成,显示与岩浆弧花岗岩(CAG)的岩石组合最为一致。而根据矿物组合,则明显与 Barbarin 的富钾及钾长石斑状钙碱性花岗岩(KCG)相似。Barbarin 认为 KCG 主要指示一种构造体制的转换,而不是特定的构造环境,尤其在碰撞

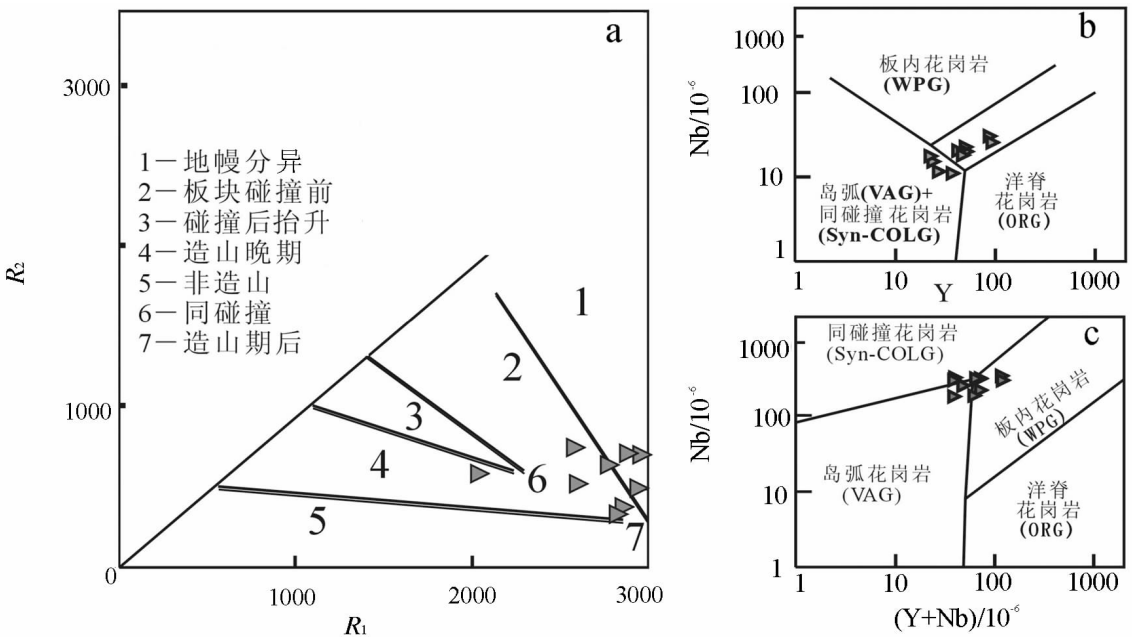


图7 构造环境判别图解

7-a R_1-R_2 图(据 Batchelor 等,1985)^[22], 7-b Nb-Y diagram(据 Pearce 等,1984)^[23]; 7-c Rb-Y+Nb diagram (据 Pearce,等,1984)^[23]

Fig.7 Discrimination diagrams of tectonic environment

7-a R_1-R_2 diagram (after Batchelor et al., 1985)^[22], 7-b Nb-Y diagram (after Pearce et al.,1984)^[23]; 7-c Rb-Y+Nb diagram (after Pearce et al.,1984)^[23]

将要结束时特别丰富。南坝杂岩体中特征的巨斑状结构及 S-C 组构(图 2-d)等构成的流变构造特征在秦岭同碰撞花岗岩^[9]、冈底斯同碰撞花岗岩^[10]中均很发育,因此,南坝杂岩体可能代表了北祁连洋封闭和中祁连地块与北侧阿拉善地块碰撞的岩浆响应,而构造图解上同时反映了板内、岛弧等信息与其所处于岩浆弧和稳定陆块的过渡带相一致。

原甘肃地矿局地质六队与原西安地质学院王崇礼教授合作,曾在本文研究区北数十千米的河西堡一带与南坝杂岩体类似的岩性中获得 420~430 Ma 的 Rb-Sr 等时线年龄^①,推测南坝杂岩体结晶年龄与之相接近。而这一时间正是区域上认为的北祁连洋盆和弧盆闭合的时期-奥陶纪末^[2,25]。南坝杂岩体内发育大量韧性或韧性-脆性变形痕迹,反映了在其就位过程及之后的相当长一段时间内存在强大的区域挤压构造应力,迫使岩浆底辟式上升,从而在其通道上留下了大量的韧性变形痕迹。而包体和寄主岩近于相似的微量元素组成,较酸性的包体与寄主岩具有非常相近的常量、稀土总量和稀土配分曲线,指示了壳幔岩浆间发生了微量元素的充分交换,即幔源岩浆的结晶速度应较慢,热散失应比较慢,这也与其发生缓慢的底辟式上升相吻合。而这一岩浆的壳幔混合特点反映了阿拉善地体与南侧的祁连地体碰撞过程中在走廊过渡带有明显的幔源物质的加入,地幔岩浆底侵对当时陆壳的垂向增生具有一定的贡献。

5 结论

(1)南坝杂岩体内的闪长质包体具有火成结构,包体中含有长石和石英的捕掳晶、钾长石巨斑的出现及其所具有的嵌斑结构等岩石特征指示它是一个由壳幔岩浆混合形成的花岗杂岩体;(2)包体和寄主岩尽管具有不同的地化特点,如寄主岩明显具有富硅、贫铁镁钙磷钛、铝不饱和-弱过饱和(A/CNK 为 0.41~1.14)、碱度中等偏低、富钾、中等-弱的负锶异常($\delta \text{Eu}=0.6\sim 0.8$)、微量元素具有富 Rb、Th、U、Pb、高场强元素 Nb、Zr、Ti、P 等含量较低的特征,其低磷及 AKI 值在 0.40~0.82,及杂岩体主要以中酸性的英云闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、钾长花岗岩为主,说明岩体属于 I 型花岗岩。而包体则具相对贫

硅、富铁镁钙磷钛、铝不饱和-弱过饱和、中等左右的碱度并富钠、稀土负锶异常不明显(δEu 为 0.7)等特点,微量元素总体与寄主岩石相似,包体与寄主岩部分主量元素、微量元素在比值-比值协变图中呈双曲线或直线变异关系,在共分母比值-比值成分变异图中则呈直线变异特点,支持通过岩石学观察得出的结论。根据杂岩体内强烈的塑性构造变形、杂岩体主要岩性在 R_1-R_2 图解及微量元素判别图解上的判别结果,确定该杂岩体属碰撞阶段晚期形成于岩浆弧与稳定陆块过渡区形成的花岗岩,反映碰撞过程中相关的壳-幔岩浆混合作用是地壳生长的重要因素之一。

致谢:感谢为填制本文所依赖的 1:5 万基础地质资料而付出辛苦劳动的原甘肃地质六队四分队相关地质人员梁积伟、张彦杰、李长林、卢永军、柴世则、谢明德及辅助工作人员等,感谢审稿人提出的建设性意见,对提高本文质量具有重要意义。

参考文献(Reference):

- [1] 宋述光, 张立飞, Niu Y, 等. 青藏高原北缘早古生代板块构造演化和大陆深俯冲[J]. 地质通报, 2004, 3 (10): 918-925.
Song Shuguang, Zhang Lifei, Y Niu, et al. Early Paleozoic plate-tectonic evolution and deep continental subduction on the northern margin of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 3 (10):918-925(in Chinese with English abstract).
- [2] 肖庆辉, 邱瑞照, 邓晋福, 等. 中国花岗岩与大陆地壳生长方式初步研究[J]. 中国地质, 2005, 32 (3):343-352.
Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, Deng Jinfu, et al. Granitoids and continental crustal growth modes in China [J]. Geology in China, 2005, 32 (3):343-352 (in Chinese with English abstract).
- [3] 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 等. 冈底斯岩浆带中段岩浆混合作用:来自花岗杂岩的证据[J]. 岩石学报, 2006, 22(4):835-844
Dong Guochen, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, et al. Magma mixing in middle part of Gangdise magma belt: Evidences from granitoid complex [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (4): 835-844 (in Chinese with English abstract).
- [4] 许荣科, 马国桃, 郑有业, 等. 西藏阿依拉杂岩体的地球化学、年代学及构造意义[J]. 地质通报, 2006, 25(12):1428-1436.
Xu Rongke, Ma Guotao, Zheng Youye, et al. The feature of geochemistry, chronology and tectonic significance of Ayila complex rocks in Tibet [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (12): 1428-1436 (in Chinese with English abstract).
- [5] 洪大卫, 王式光, 谢锡林, 等. 试析地幔来源物质成矿域-以中亚造山带为例[J]. 矿床地质, 2003, 22(1):41-55.

①甘肃地矿局地质六队.河西堡等两幅 1:5 万区调报告.1997.

- Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, et al. Metallogenic province derived from mantle sources: A case study of central Asian orogenic belt[J]. *Mineral Deposits*, 2003, 22(1):41-55(in Chinese with English abstract).
- [6] 潘桂棠. 青藏高原巨厚地壳与高原形成机制 [C]//青藏高原大地构造与形成演化. 地质专报. 第 10 号.北京:地质出版社, 1990: 1-176.
- Pan Guitang. Excessive thickness and formation mechanism of Tibetan plateau crust [C]//Tectonic and Evolution of Tibet. Specialized Geological Report (No.10). Beijing:Geological Publishing House, 1990:1-176(in Chinese).
- [7] Furlong K P, Fountain D M. Continental crustal underplating: thermal considerations and seismicpetrologic consequences. [J]. *Geophys Res.*, 1986, 91(B8):8285-8294.
- [8] Barbarin, B . A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. *Lithos*, 1999, 46(3):605-626.
- [9] 王涛, 张宗清, 王晓霞, 等. 秦岭造山带核部新元古代碰撞变形及其时代——强变形同碰撞花岗岩与弱变形脉体锆石 SHRIMP 年龄限定[J]. *地质学报*, 2005, 79(2):220-232.
- Wang Tao, Zhang Zongqing, Wang Xiaoxia, et al. Neoproterozoic collisional deformation in the core of the Qinling Orogen belt and its age: Constrained by zircon SHRIMP dating of strongly deformed syn-collisional granites and weakly deformed granitic veins [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(2):220-232(in Chinese with English abstract).
- [10] Chappell B W. Aluminum saturation in I- and S-type granit and the characterization of fractionated haplogranite [J]. *Lithos*, 1999, 46:535-551(in Chinese with English abstract).
- [11] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987, 95:407-419.
- [12] Hofmann A W. Chemical differentiation of the earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust [J]. *Earth and Planet Sci. Lett.*, 1988, 90:297-314.
- [13] Saunders A D, Norry M J and Tarney J. Origin of MORB and chemically depleted mantle reservoirs: trace element constraints [J]. *Petrol.*, 1988, Special Lithosphere Issue, 425-445.
- [14] Weaver B L. The origin of ocean island basalt end-member composition: trace element and isotopic constraints [J]. *Earth Planet. Sci.*, 1991, 104:3810.
- [15] 伍光英, 肖序常, 肖庆辉, 等. 湘南多金属矿集区燕山期成矿花岗岩的主元素地球化学特征和成因探讨 [J]. *中国地质*, 2008, 35(2): 217-231.
- Wu Guangying, Xiao Xuchang, Xiao Qinghui, et al. Major element geochemistry and genesis of Yanshanian mineralized granites in the polymetallic deposit concentration region, southern Hunan [J]. *Geology in China*, 2008, 35(2):217-231(in Chinese with English abstract).
- [16] 谌宏伟, 罗照华, 莫宣学, 等. 东昆仑造山带三叠纪岩浆混合成
- 因花岗岩的岩浆底侵作用机制 [J]. *中国地质*, 2005, 32(3):386-395.
- Chen Hongwei, Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, et al. Underplating mechanism of Triassic granite of magma mixing origin in the East Kunlun orogenic belt [J]. *Geology in China*, 2005, 32(3):386-395(in Chinese with English abstract).
- [17] 马铁球, 邝军, 柏道远, 等. 南岭中段诸广山南体燕山早期花岗岩地球化学特征及其形成的构造环境分析 [J]. *中国地质*, 2006, 33(1): 119-131.
- Ma Tieqiu, Kuang Jun, Bai Daoyuan, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of the early Yanshanian South Zhuguangshan granite in the central segment of the Nanling Mountains [J]. *Geology in China*, 2006, 33(1):119-131(in Chinese with English abstract).
- [18] 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 新疆尾亚矿区 3 期岩浆混合作用的初步研究 [J]. *中国地质*, 2007, 34(2):289-299.
- Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. Three-stages magma mixing in the Weiya ore district, Xinjiang [J]. *Geology in China*, 2007, 34(2):289-299(in Chinese with English abstract).
- [19] 柏道远, 陈必河, 孟德保, 等. 中昆仑耸石山地区晚古生代花岗岩地球化学特征、成岩作用与构造环境研究 [J]. *中国地质*, 2006, 33(6):1236-1245.
- Bai Daoyuan, Chen Bihe, Meng Debao, et al. Geochemical characteristics, rock-forming processes and tectonic setting of Late Paleozoic granites in the Songshishan area, Central Kunlun Mountains [J]. *Geology in China*, 2006, 33(6):1236-1245(in Chinese with English abstract).
- [20] Langmuir C H. A general mixing equation with application to Icelandic basalt [J]. *Earth and Planet Sci. Lett.*, 1978, 37:380-392.
- [21] 马昌前. 花岗岩的成岩作用和形成环境——存在的问题和解决的途径 [J]. *地质科技情报*, 1992, 11(1):11-16.
- Ma Changqian. Petrogenesis and Tectonic setting of granitoids: Problems and Approach [J]. *Geological Science and Technology Information*, 1992, 11(1):11-16(in Chinese with English abstract).
- [22] 高秉璋, 洪大卫, 郑基俭, 等. 花岗岩类 1:5 万区域地质填图方法指南 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1991:24.
- Gao Bingzhang, Hong Dawei, Zheng Jijian, et al. Guides for 1/50000 Regional Geological Investigation (granitoids) [M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1991:24(in Chinese).
- [23] Pearce J, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *J Petrol.*, 1984, 25: 956-983.
- [24] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *GSA Bull.*, 1989, 101:635-643.
- [25] 夏令圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连构造-火山岩浆演化动力学 [J]. *西北地质科学*, 1995, 16(1):1-28.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi. Dynamics of tectono-volcano-magmatic evolution from North Qilian mountains, China [J]. *Northwest Geoscience*, 1995, 16(1):1-28(in Chinese with English abstract).

Geochemistry of Nanba complex rocks in Yunchang, Gansu Province, and its tectonic significance

LU Sheng-zhang¹, LI Xing-de¹, LU Lin², XU Rong-ke³,
WEI Ke-lin¹, ZHANG Yu-lian³, SHAN Liang³

(1. Detai Mining Corporation, Jiuquan 735100, Gansu, China; 2. Zhengzhou Industrial and Trade School, Zhengzhou 450007, Henan, China; 3. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: There are a lot of microgranular enclaves hosted in the Naba complex, a part of the Shiyangdong batholith. Based on field geological, petrographic and geochemical characteristics, the authors reveal that the microgranular enclaves have igneous texture. In spite of the geochemical difference between the microgranular enclaves and the host granite, their SiO_2 oxides (such as MgO , CaO) and bi-element scatter diagrams assume hyperbolic or linear relationship, whereas their $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$, $\text{Zr}/\text{Sr}-\text{La}/\text{Sr}$, $\text{Y}/\text{Sr}-\text{Zr}/\text{Sr}$, $\text{FeOT}/\text{TiO}_2-\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$, $\text{Rb}/\text{Sr}-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ covariant diagrams show linear variation, suggesting a crust-mantle mingling granite. Tectonically, geochemical features of granites of Ayila complex in $\text{R1}-\text{R2}$ diagram and $\text{Nb}-\text{Y}$ and $\text{Rb}-\text{Y}+\text{Nb}$ diagram all indicate they are syn-collision granites. It is thus held that the Ayila complex and the mingling granites are products of the collision between the Alxa terrane and the Qilian terrane, and the related underplating is an important factor responsible for the growth of the transitional zone crust.

Key words: granite; microgranular enclaves; magma mingling; geochemistry; crustal growth; transitional zone

About the first author: LU Sheng-zhang, male, born in 1975, engineer, mainly engages in the study of economic geology and regional geological investigation; E-mail: Lushengzhang0909@163.com.