

# 新疆于田普鲁一带早古生代花岗岩 岩石地球化学特征及构造意义

王炬川<sup>1</sup>, 韩芳林<sup>1,2</sup>, 崔建堂<sup>3</sup>, 张俊良<sup>1</sup>

(1.陕西省地质勘查局区域地质调查研究院, 陕西 咸阳 712000;

2.中国地质大学, 北京 100083; 3.长安大学, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 昆仑山北缘于田地区发育有大量的早古生代花岗岩, 通过开展1:25万于田县幅区域地质调查工作, 将其划分为2个岩浆岩带, 进一步细分为4个岩石系列。岩石组合及岩石地球化学特征的研究表明, 南带石英闪长岩系列的岩浆主要来自于地幔, 是俯冲作用的产物, 其中似斑状二长花岗岩系列的岩浆主要来源于下地壳, 是碰撞造山作用中壳幔相互作用共同产物的共同产物; 北带正长花岗岩系列和英云闪长岩系列的岩浆则主要来源于下地壳或地幔, 形成于造山后的伸展体制。整个早古生代岩浆岩的发展演化过程, 直接、客观地反映了北昆仑和南昆仑板块的运动学特征。

**关键词:** 花岗岩; 早古生代; 岩带; 系列; 探讨成因; 形成环境

中图分类号: P588.12<sup>1</sup>, P595 文献标识码: A 文章编号: 1671-2552(2003)03-0170-12

塔里木盆地南侧、昆仑山北缘于田地区, 出露有大量的近东西向展布的花岗岩<sup>[1,2]</sup>, 由于自然条件极其恶劣, 前人工作程度很低。我们在开展1:25万于田县幅区调工作中, 首次发现了早古生代板块缝合带——其曼于特蛇绿混杂岩带<sup>[3]</sup>。工作区早古生代花岗岩规模较大、发育完整, 是解剖早古生代花岗岩的理想之地。通过细致的野外观测和系统的采样分析可以看出, 早古生代花岗岩无论是构造位置, 还是岩浆成因都与该缝合带有密切的时空关系。本文重点通过岩石学、地球化学等特征的研究探讨了早古生代花岗岩的成因机制和构造意义。

## 1 区域地质背景

工作区位于中央造山带与阿尔金断裂南端的结合部位, 处于弧形构造的顶端部位<sup>[4,5]</sup>。其北为塔里木板块, 其南为羌塘地块, 中间地块又为其曼于特蛇绿岩带分割为昆北和昆南两个地块。早古生代花岗岩伴生于其曼于特缝合带的两侧附近。该带向西与库地—

苏巴什晚古生代缝合带重叠, 向东为阿尔金断裂切割, 北侧为普鲁—阿羌晚古生代火山海槽所肢解, 南侧约20 km为与之大致平行的苏巴什—库地晚古生代缝合带所限定, 也就是说, 包括花岗岩、蛇绿岩在内的早古生代的地质构造痕迹保存于古特提斯洋裂合过程的残块之中, 而本区可能是保存最完好的一个残块<sup>[3]</sup>。该带北侧昆北地块上发育被动陆缘复理石建造, 其时代多为前寒武纪, 由中浅变质的陆缘碎屑复理石组成, 南侧昆南地块西接库地地块, 为古昆仑洋消减过程中的陆缘型岛弧及弧后盆地, 由浅变质碎屑岩、灰岩、中基性火山岩等组成。

## 2 花岗岩基本地质特征

### 2.1 地质特征

工作区早古生代侵入岩规模巨大, 多数呈SWW—NEE向呈带状沿其曼于特、流水代牙、皮什盖一带分布(图1)。主体分布于缝合带南侧, 部分跨越缝合带出露于阿拉雷克—流水一带。在缝合带两

收稿日期: 2002-08-20; 修订日期: 2003-03-06

地调项目: 中国地质调查局1:25万于田县幅区域地质调查项目成果之一。

作者简介: 王炬川(1965—), 男, 高级工程师, 从事区域地质调查工作。

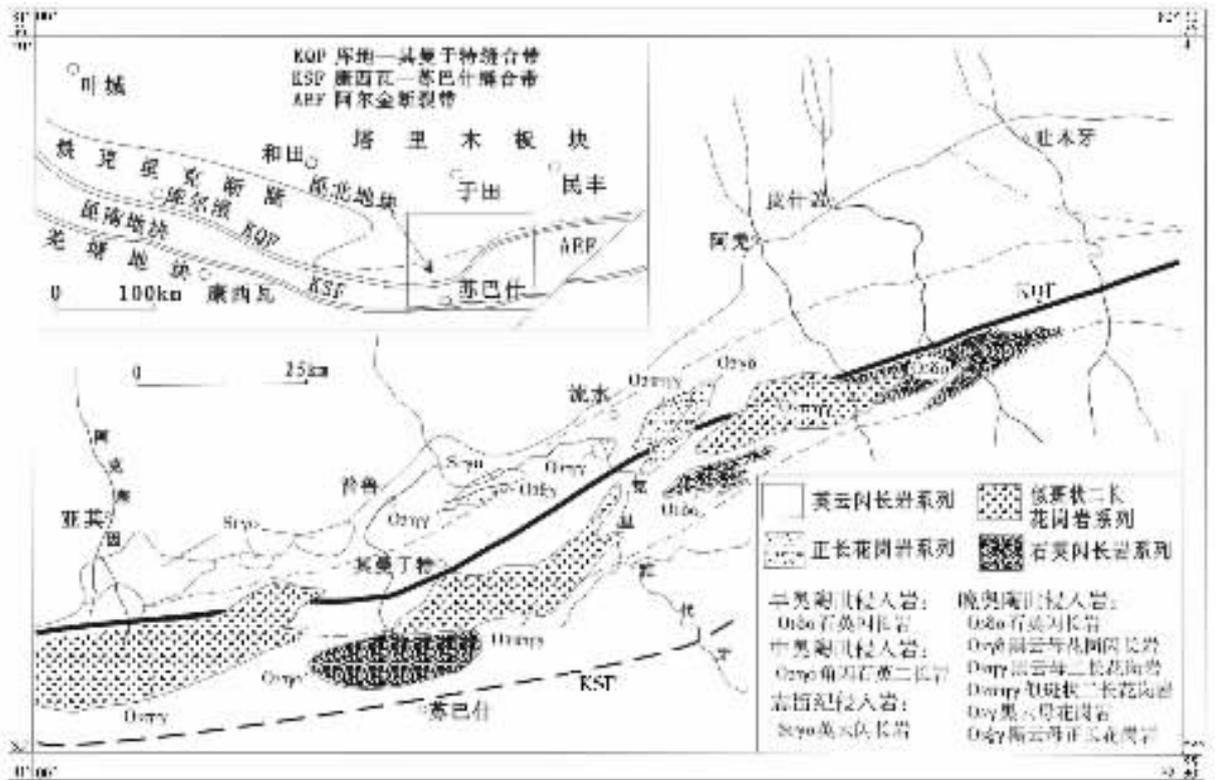


图1 早古生代侵入岩分布

Fig. 1 Distribution of Early Paleozoic intrusions

侧10 km范围内,侵入岩超过30%。其岩石组成复杂,中基性—酸性、碱性均有发育。依据产出构造位置,以缝合带为界将早古生代侵入岩划分为南北2个岩浆岩带,并进一步将其细分为4个岩石系列。南带包括石英闪长岩系列和似斑状二长花岗岩系列,空间位置上二者重叠,但岩石特征差别明显;北带包括正长花岗岩系列和英云闪长岩系列(图1)。各系列地质特征分述如下。

### 2.1.1 石英闪长岩系列(南带)

分布于其曼于特缝合带以南10 km范围内。工作区有3个较大的侵入体,出露于皮什盖、阿拉玛斯、卡也地,面积约107 km<sup>2</sup>。单个侵入体多呈透镜状或近椭圆形,长轴方向与区域构造线完全一致,侵入于阿拉玛斯岩群(Jx<sup>A</sup>)等地层中。围岩主要岩性有:白云质大理岩、黑云二长片麻岩、石英岩、眼球状混合岩夹斜长角闪岩等。侵入界面多向外陡倾或被区域性大断层所围限。岩体内侧叶理构造不发育,外侧接触交代变质作用较明显,形成有名的“和田玉”。阿拉玛斯岩体和皮什盖岩体的早期单元中含有大量的深源暗色包体,含量5%~25%,分布不均,多呈浑

圆状、透镜状或不规则状,大小5~20 cm不等,包体与寄主岩石界线清楚。岩性为细粒闪长岩,主要矿物有角闪石、黑云母、斜长石等。

我们在该系列岩体中做了2个锆石U—Pb法测年分析,获得(481±3.6)Ma和(452.6±5.9)Ma的年龄值(天津地质矿产研究所测试,详细资料另文发表,下同)。时代为早、中奥陶世,与区域上古昆仑洋的开始闭合相对应。

### 2.1.2 似斑状二长花岗岩系列(南带)

主体分布于缝合带以南,少部分出露于其北,岩体规模较大,呈岩基产出。工作区有4个较大的侵入体,出露面积约410 km<sup>2</sup>。单个侵入体大多呈椭圆形,长轴方向与区域构造线一致,部分切穿缝合带。主体侵入阿拉玛斯岩群和库拉甫河岩群(ε—O)K,围岩除同于石英闪长岩系列的围岩岩性外,还有块状玄武岩、变砂岩、大理岩夹绿片岩等。侵入界面外倾,接触变质作用不明显,其内包体少见。

该系列阿克塞因岩体中获得了(442.3±4.8)Ma的锆石U—Pb年龄,时代为晚奥陶世。岩体局部切割缝合带,表明其就位于昆仑洋闭合造山过程中或之后。

### 2.1.3 正长花岗岩系列(北带)

分布于缝合带以北卡羌、流水一带,零散出露,岩体规模较小,呈岩枝状产出,总面积不超过70 km<sup>2</sup>。单个侵入体规模较小,多呈浑圆状产出,边界圆滑。岩体主体侵入于卡羌岩组(Chk)和阿拉叫依岩群(Z—ε)A之中。围岩主要岩性有各类片岩、片麻岩、石英岩夹大理岩及变长石石英砂岩等。奎代买岩体中含有较多的深源暗色包体,含量5%~30%,多呈浑圆状或不规则状,大小5~20 cm。与寄主岩石界线大多清楚,少部分为过渡关系。包体岩性为中细粒角闪石英二长岩,具细粒花岗结构,主要矿物组成为角闪石10%、黑云母10%、斜长石35%~40%、微斜长石35%~30%等。流水岩体中含有小于5%的暗色包体,特征与石英闪长岩系列中的包体基本相同。

岩体明显截切缝合带,主体分布于俯冲带的下盘,表明岩浆就位于造山之后。在该系列奎代买岩体中获得(437±1.5)Ma的锆石U—Pb年龄,时代为晚奥陶世。

### 2.1.4 英云闪长岩系列(北带)

分布于缝合带以北10 km范围内,岩体规模一般较小,呈岩株状、带状出露于阿拉雷克、普鲁以东,面积约147 km<sup>2</sup>。单个侵入体规模不大,主体侵入于卡羌岩组和阿拉叫依岩群之中,围岩主要岩性与似斑状二长花岗岩系列的围岩相同。侵入界面多向外陡倾,内侧偶见叶理构造,外接触带有较弱的热变质现象。岩石中极不均匀地含大量的深源暗色包体,呈浑圆状、长条状或不规则状,一般小于40 cm,与寄主岩石普遍为过渡关系,部分界线清楚。包体与寄主岩石岩性相同,只是暗色矿物含量较高,主要矿物组成为斜长石45%~50%、石英20%~25%、角闪石15%~10%、黑云母10%~15%。

我们在该系列岩体中获得了(410±34)Ma的锆石U—Pb年龄和(415±32)Ma的Rb—Sr等时线年龄值,时代为早志留世。

## 2.2 岩相学特征

### 2.2.1 石英闪长岩系列(南带)

主要为一套中基性岩石组合,岩性有细粒石英闪长岩、中细粒角闪石英二长岩等,各岩性基本特征见表1。该系列岩石以暗色矿物含量高(特别是角闪石)、石英含量低、矿物粒度较细为主要特征,岩石普遍发生蚀变,主要为绿帘石化、绿泥石化等。矿物特征:斜长石在石英闪长岩中为半自形柱状,卡钠复合双晶发育,An=48~46,为中长石,在石英二长

岩中为半自形柱状—板柱状,多数双晶不清,以更长石为主。钾长石在石英闪长岩中多为他形粒状,充填于粒间或孔隙中,洁净,格子双晶清晰;而在石英二长岩中为半自形柱状,较洁净,为微斜长石或条纹长石,常交代斜长石形成净边结构。角闪石多为自形—半自形柱状,在石英闪长岩中多色性为褐色—浅褐色,反映其形成温度较高,物源较深<sup>[6]</sup>,在石英二长岩中为绿色—浅绿色(绿黄色)。黑云母呈自形叶片状,Ng—褐色,Np—浅褐黄色,多数已蚀变成绿泥石。石英为他形粒状,充填于孔隙中。

### 2.2.2 似斑状二长花岗岩系列(南带)

主要为一套酸性岩石组合,有中细粒黑云母二长花岗岩、中粒似斑状黑云母二长花岗岩等,各岩性特征见表1。该套岩石以斑状、似斑状结构为特征,矿物组成中不含角闪石,暗色矿物含量较低,蚀变相对较弱。主要矿物特征:斜长石呈半自形柱状,多数混浊,双晶不清,个别双晶结合平直清晰,An=26~28,为更长石。钾长石在斑晶中为半自形厚板状微斜长石或条纹长石,洁净,具清晰的条纹结构和格子双晶,条纹形态为补片状或不规则状,系交代成因。另外钾长石晶体中包裹有早期结晶的斜长石,可能为地壳重熔的残余物,这一特征反映了中带侵入岩可能源于下地壳。黑云母自形—半自形叶片状,因氧化而析出铁质。石英他形粒状,充填于孔隙之中。

### 2.2.3 正长花岗岩系列(北带)

主要为一套碱性或酸性岩石组合,岩性有细粒黑云母花岗闪长岩、中粒似斑状黑云母二长花岗岩及细—中细粒黑云母正长花岗岩等,岩石组成变化较大,总体以富含钾长石为主要特征,蚀变较弱或基本无蚀变。主要矿物特征:斜长石呈半自形柱状,洁净,流水岩体中较混浊,在奎代买岩体的包体中存在2种斜长石,一种呈半自形柱状,较干净,为岩浆结晶产物,另一种表面浑浊,可能为地壳重熔过程中的残余物,钾长石在斑晶中为半自形厚板状,基质中多为微斜长石,呈他形—半自形柱状,洁净,格子双晶清晰,晶体中包裹有斜长石自形晶。钾长石普遍交代斜长石。黑云母为半自形片状,因应力作用常集中一起显示弯曲现象。石英为他形充填状。

### 2.2.4 英云闪长岩系列(北带)

岩石呈深灰—灰白色,色率变化较大,岩性主要为一套英云闪长岩,早期单元色率较浅,矿物粒径2~4 mm,晚期单元色率较深,并且不均匀。矿物组成

表 1 侵入岩基本特征一览表

Table 1 Summary of the basic characteristics of intrusive rocks

岩带	岩石系列	岩石单元序号	单元	代号	岩性	结构构造	主要矿物含量/%					包体含量	年龄 Ma	备注
							Kp	Pl	Q	Hb	Bi			
北带	英云闪长岩系列	Ⅳ-2	阿拉雷克 2	S <sub>1</sub> γ <sub>0</sub>	灰色中粒英云闪长岩	中粒半自形粒状结构, 块状构造	5	50~60	20~25	5~10	10~15	少量	416	
		Ⅳ-1	阿拉雷克 1	S <sub>1</sub> γ <sub>0</sub>	浅灰色中粒英云闪长岩	中粒半自形粒状结构, 块状构造	5	45~50	25~30		8~10	大量	425	
	正长花岗岩系列	Ⅲ-5	奎代买 2	O <sub>3</sub> εγ	中粒黑云正长花岗岩	中粒花岗结构, 块状构造	40~45	25~20	20~25		8~10		437	
		Ⅲ-4	奎代买 1	O <sub>3</sub> ηγ	灰白色细粒二长花岗岩	细粒花岗结构, 块状构造	35~40	25~30	25~30		3~5			
		Ⅲ-3	流水 2	O <sub>3</sub> ηγ	中粒似斑状黑云二长花岗岩	似斑状结构, 块状构造	30~35	30~25	30~35		5~10	较多		①
		Ⅲ-2	流水 1	O <sub>3</sub> εγ	中粒黑云母正长花岗岩	细粒结构, 块状构造	50~55	15~20	25~30		3~5			
Ⅲ-1	同阿尤甫	O <sub>3</sub> γδ	中细粒黑云花岗闪长岩	细粒花岗结构, 块状构造	15~20	35~40			10~15	较多				
南带	似斑状二长花岗岩系列	Ⅱ-5	阿克塞 3	O <sub>3</sub> γ	中粒黑云母花岗岩	中粒半自形粒状结构, 块状构造	35~40	30~35	25~30		5~10		442	①
		Ⅱ-4	阿克塞 2	O <sub>3</sub> λγ	中粒似斑状黑云母花岗岩	似斑状结构, 块状构造	20~25	40~45	25~30		5~8			
		Ⅱ-3	阿克塞 1	O <sub>3</sub> γ	中细粒黑云母花岗岩	细粒花岗结构, 块状构造	10~15	50~55	25~30		5~8			
		Ⅱ-2	阿羌脑 2	O <sub>3</sub> ληγ	中粒似斑状黑云二长花岗岩	似斑状结构, 块状构造	30~35	30~25	20~25		5~8			①
		Ⅱ-1	阿羌脑 1	O <sub>3</sub> λγ	中细粒黑云母二长花岗岩	中细粒花岗结构, 块状构造	25~20	30~25	25~30		15~20			
北带	石英闪长岩系列	Ⅰ-5	皮什盖 2	O <sub>3</sub> ληγ	中粒似斑状角闪石英二长岩	斑状结构, 块状、微片麻状构造	25~30	30~40	10~15	5		捕虏体		①
		Ⅰ-4	皮什盖 1	O <sub>3</sub> ηγ	灰绿色中细粒石英闪长岩	中细粒半自形粒状, 块状构造	5~8	50~60	15~20	15~20		大量	452	
		Ⅰ-3	卡也地 2	O <sub>2</sub> ηγ	中粒角闪石英二长岩	中粒半自形粒状结构, 块状构造	30~40	30~35	10~15	10	2~3		461	
		Ⅰ-2	卡也地 1	O <sub>2</sub> ηγ	中细粒角闪石英二长岩	中—中细粒半自形粒状, 块状构造	15~20	50~55	10~15	10	3~5			
		Ⅰ-1	阿拉玛斯	O <sub>1</sub> δ <sub>0</sub>	细粒石英闪长岩	细粒半自形粒状, 块状构造	1~2	45~50	5~10	3~5	35~40	大量	481	

注 ① 岩石中含钾长石斑晶 5%~20%

具两期, 早期粒度细小, 0.3~1mm, 约占 60%, 晚期晶体粗大, 为 2~3mm。蚀变主要表现为斜长石的轻微绢云母化和高岭土化。主要矿物特征: 斜长石在早期单元中为半自形柱状, 多数表面混浊; 在晚期单元中可分出两期, 早期晶体粒度细小, 洁净, 双晶发育, An=28~30, 晚期晶体粗大, 自形柱状, 具环带结构, 一般为 2~3 环, 中心混浊, 边缘洁净, 双晶不发育, An=30, 晶体中常包裹有石英、斜长石、角闪石等, 这一特征可能反映出岩浆混合作用的存在。钾长石为他形填隙状, 洁净, 具清晰的格子双晶, 常交

代斜长石形成净边结构。黑云母呈自形叶片状, 多数聚集在一起。角闪石自形柱状。石英他形粒状。

### 3 岩石地球化学特征及成因分析

#### 3.1 岩石化学特征

各岩石系列岩石化学成分见表 2。

##### 3.1.1 石英闪长岩系列

SiO<sub>2</sub> 较低, 多数属中性岩范畴。与其他系列岩石相比, 该系列岩石 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、MgO、CaO、TiO<sub>2</sub> 的含量较高, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=0.42~1.29, 变化范围较大, 平均

表 2 岩石化学分析结果  
Table 2 Results of chemical analysis of rocks

岩带划分	岩石系列	岩石单元序号	样品号	氧化物含量/ $10^{-2}$														参数值			
				SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	LASS	总量	δ	A/CNK	
北带	英云闪长岩系列	IV-2	D2024/3	66.14	0.47	13.28	1.4	2.68	5.25	3.13	1.14	3.78	0.072	0.13	1.1	0.04	1.56	99.31	1.05	0.78	
		IV-2	D4624/1	69.49	0.37	14.48	0.71	1.84	3.95	1.76	1.74	4.15	0.06	0.089	0.5	0.03	0.76	99.6	1.31	0.91	
		IV-1	D2030/1	57.51	0.5	14.59	2.05	6.97	6.35	3.03	1.06	2.57	0.16	0.1	2.5	0.06	3.39	99.66	0.91	0.86	
		IV-1	D2027/2	72.89	0.27	11.88	1.09	1.72	3.38	1.34	1.6	3.96	0.056	0.092	0.05	0.04	0.96	99.43	1.03	0.83	
	正长花岗岩系列	III-5	D2011/1	71.59	0.32	13.78	1.12	1.62	1.5	0.25	4.56	3.74	0.064	0.067	0.75	0.06	0.81	99.6	2.41	1	
		III-4	D2012/2	73.74	0.2	13.5	1.1	1.15	1.55	0.58	4.56	3.3	0.051	0.04	0.46	0.06	0.59	100.4	2.01	1.02	
		III-3	D3034/2	73.92	0.2	12.1	0.83	1.1	2.05	0.72	4.16	3.46	0.072	0.068	0.48	0.02	0.54	99.34	1.88	0.87	
		III-2	D3037/2	72.45	0.17	13.57	0.79	1.09	2.1	0.5	4.63	3.32	0.068	0.074	0.05	0.02	0.6	99.48	2.15	0.95	
		III-2	D3036/1	75.85	0.025	12.3	0.71	0.26	1.8	0.14	4.63	3.78	0.042	0.014	0.2	0.01	0.24	99.82	2.15	0.85	
		III-1	D3040/2	74.01	0.19	12.8	0.89	1.36	1.55	0.58	4.16	3.37	0.052	0.045	0.5	0.01	0.59	99.75	1.83	1	
	南带	似斑状二长花岗岩系列	II-5	D6889/2	74.03	0.15	12.84	0.14	1.39	1.3	0.22	4.56	3.9	0.07	0.025	0.16	0.17	0.48	99.62	2.31	0.94
			II-4	D692/3	69.37	0.41	15.01	0.92	1.6	3	1.73	3.2	3.85	0.063	0.1	0.52	0.01	0.83	100.3	1.88	0.98
			II-3	D693/2	71.24	0.35	14.46	0.82	1.13	2	1.37	3.35	4.1	0.05	0.081	0.26	0.08	1.05	100.1	1.97	1.03
			II-2	D662/1	72.26	0.41	13.91	0.82	0.97	2.3	1.04	4.2	3.55	0.056	0.075	0.28	0.08	0.79	100.5	2.05	0.96
II-1			D1441/5	67.37	0.35	15.31	1.74	1.67	3.1	2.01	3.86	2.78	0.052	0.11	0.91	0.07	1.15	99.69	1.81	1.06	
II-1			D3043/2	59.88	0.62	18.04	3.71	2.35	5.1	1.73	2.77	3.41	0.07	0.2	0.84	0.01	1.22	99.36	2.26	1.01	
石英闪长岩系列		I-5	D2061/1	57.86	0.54	18.57	2.31	3.01	4.55	2.16	4.36	3.94	0.12	0.3	1.08	0.02	1.38	99.43	4.64	0.95	
		I-4	D2053/1	58.28	0.74	15.07	2.62	4.66	7.1	4.26	2.35	2.45	0.11	0.14	1.52	0.03	1.96	100.2	1.51	0.77	
		I-3	D1022/5	62.09	0.61	14.71	2.33	3.03	3.9	3.23	4.5	3.5	0.1	0.23	0.77	0.03	0.93	99.5	3.35	0.83	
		I-2	D1024/2	57.44	0.9	16.32	3.2	4	6.35	3.74	3.12	3.2	0.11	0.32	0.48	0.09	0.79	99.94	2.77	0.81	
I-2	D1027/1	58.54	0.67	16.84	1.43	3.98	5.8	4.55	1.89	3.5	0.11	0.28	1.64	0.01	2.14	100.2	1.87	0.92			
I-1	D3046/2	57.42	0.52	11.4	0.92	6.66	9.5	8.84	0.71	1.7	0.16	0.074	1	0.04	1.2	99.84	0.4	0.55			

注:样品由西安综合岩矿测试中心测定

值为0.88, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O总体偏高;铝饱和指数(A/CNK)为0.55~0.95;里特曼指数(δ)变化较大,主要为1.1<δ<3.3,属准铝质的钙碱性岩,少数为钙性和碱性岩。在A-F-M图解(图2)中,多数落在钙碱性岩区。该系列岩石有向富铝方向演化的趋势。在Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O图解(图3)中,主体落入I-型花岗岩区。

3.1.2 似斑状二长花岗岩系列

与石英闪长岩系列相比, SiO<sub>2</sub>含量明显增加,属酸性岩, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O含量较高,在2.83%~8.46%之间, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O平均值为1.03,二者基本相当, FeO、MgO、CaO则相对贫化, A/CNK=0.878~1.06, δ为1.81~3.08,属铝饱和的钙碱性岩。在A-F-M图解(图2)中,多数落在钙碱性岩区,并且明显向富碱方向演化。在Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O图解(图3)中,似斑状二长花岗岩系列则位于I、A、S型花岗岩界线附近。

3.1.3 正长花岗岩系列

SiO<sub>2</sub>为71.59%~74.01%,属酸性岩范畴, Na<sub>2</sub>O+

K<sub>2</sub>O为7.53%~8.30%, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O平均值为1.27, FeO、MgO、CaO含量很低。δ为1.83~2.41,碱度率(AR)达3.06~3.98,为碱性花岗岩。在Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O图解(图3)中,集中位于A-型花岗岩区。

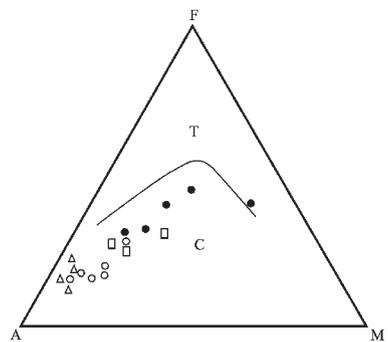


图2 早古生代侵入岩A-F-M图解

Fig. 2 A-F-M diagram of Early Paleozoic intrusions  
T—拉斑玄武岩系列; C—钙碱性岩系列; ●—石英闪长岩系列; ○—似斑状二长花岗岩系列; △—正长花岗岩系列; □—英云闪长岩系列

3.1.4 英云闪长岩系列

SiO<sub>2</sub>为57.51%~72.89%,变化范围较大,属中酸性岩;FeO、MgO、CaO含量较似斑状二长花岗岩系列和正长花岗岩系列高,以富钙为最大特征。Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O为3.63%~5.56%,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O平均值为0.38,K<sub>2</sub>O远小于Na<sub>2</sub>O,A/CNK=0.78~0.91,δ为0.91~1.31,平均值为1.07,属准铝的钙性岩石。在Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O图解(图3)中落入I-型花岗岩区。

3.2 稀土特征

各系列岩石稀土含量分析结果见表3。

3.2.1 石英闪长岩系列

该系列岩石稀土总量变化较大,ΣREE=(147.20~606.00)×10<sup>-6</sup>,δEu=0.66~1.04,显示Eu为负异常,且部分岩石Eu亏损明显。(La/Yb)<sub>N</sub>=2.47~10.56,说明轻稀土均富集,且部分显示强富集。(La/Sm)<sub>N</sub>=2.61~5.62,(Gd/Yb)<sub>N</sub>=0.48~0.98,说明轻、重稀土分馏较明显。稀土元素配分曲线模式(图4)总体显示左高右低的特征,同时可以看出,各单元稀土配分曲线特征极为相似,反映其具有相同或相似的岩浆来源和演化历史。

3.2.2 似斑状二长花岗岩系列

该系列岩石稀土总量较高,ΣREE=(181.8~373.4)×10<sup>-6</sup>,δEu值变化较大,部分δEu=0.21~0.67,显示Eu负异常明显,部分δEu=1.21~1.60,显示Eu为正异常。(La/Yb)<sub>N</sub>=5.89~53.88,说明轻稀土均富集,且部分轻稀土为强富集。(La/Sm)<sub>N</sub>=4.78~15.48,(Gd/Yb)<sub>N</sub>=0.67~2.44,说明轻稀土分馏明显,部分重稀土分馏较差,而部分重稀土分馏较明显。稀土元素配分曲线模式(图5)总体显示左高右低的特征。由图5可以看出,该系列岩石具有完全不同的稀土元素特征,说明二者具有不同的物质来源。

3.2.3 正长花岗岩系列

该系列岩石稀土总量变化较大,ΣREE=(81.50~738.70)×10<sup>-6</sup>,δEu=0.49~0.76,多为Eu负异常,且部分Eu亏损明显,(La/Yb)<sub>N</sub>值变化较大,多数(La/Yb)<sub>N</sub>=4.20~16.01,显示轻稀土富集,且部分为强富集,个别(La/Yb)<sub>N</sub>=0.86,显示重稀土富集,而轻

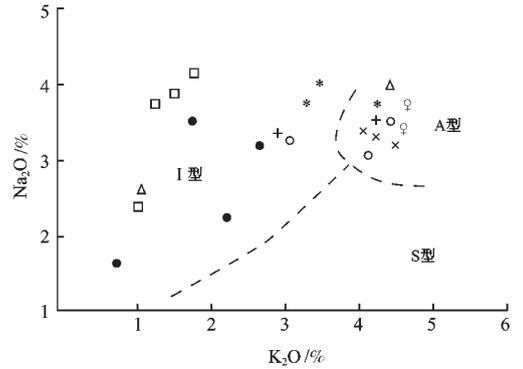


图3 Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O岩石类型图解(据Collin,1982)

Fig. 3 K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O diagram of rock types

●—阿拉玛斯岩体;○—卡也地岩体;△—皮什盖岩体;  
+—阿羌脑岩体;×—流水岩体;\*—阿克赛因岩体;  
◇—奎代买岩体;□—阿拉雷克岩体

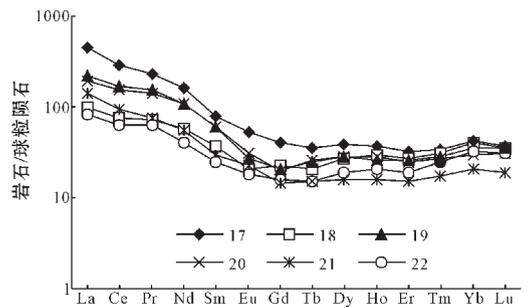


图4 石英闪长岩系列稀土配分图

Fig. 4 REE distribution diagram of the quartz diorite series

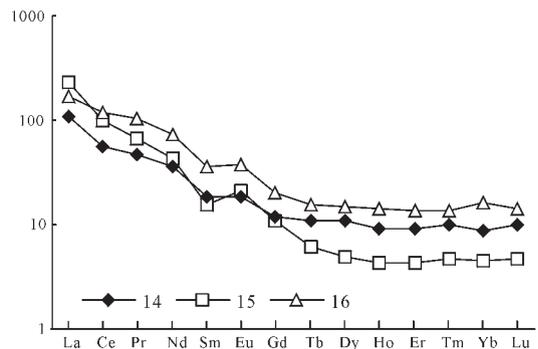
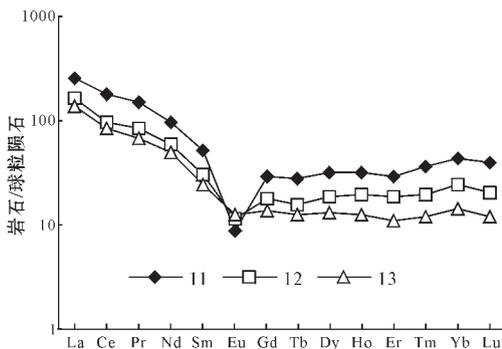


图5 似斑状二长花岗岩系列稀土配分图

Fig. 5 REE distribution diagram of the porphyroid monzogranite series

表3 岩石稀土元素分析结果  
Table 3 Results of REE analysis of rocks

岩石系列	岩石单元序号	样品号	稀土元素含量/ $10^{-6}$													
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
英云闪长岩系列	IV - 2	D2024/3	22.32	37.11	4.45	18.49	4.04	1.07	4.35	0.62	3.87	0.87	2.39	0.44	2.59	0.47
	IV - 2	D4624/1	20.08	39.07	4.86	18.37	3.27	0.91	2.99	0.42	3.07	0.74	1.89	0.32	2.47	0.35
	IV - 1	D2030/1	19.99	28.83	3.37	10.46	1.96	0.82	2.02	0.27	1.44	0.31	0.82	0.15	0.78	0.14
	IV - 1	D2027/2	23.28	33.67	4.27	16.91	2.63	0.88	2.74	0.35	1.95	0.41	1.06	0.19	1.06	0.19
	●	D2023/1	5.98	9.68	1.17	5.42	1.58	0.66	2.08	0.35	2.34	0.55	1.52	0.29	1.69	0.29
正长花岗岩系列	III - 5	D2011/1	58.25	115.3	14.1	57	11.79	3.73	12.14	1.58	8.53	1.69	3.93	0.5	2.16	0.37
	●	D2011/2	108.73	174.49	17.9	72.83	12.57	1.85	12.57	1.64	9.31	1.91	5.12	0.86	4.68	0.84
	III - 4	D2012/2	179.55	297.94	30.22	128.1	24.02	4.29	24.11	3.18	19.12	4.08	10.65	1.82	9.88	1.72
	III - 3	D3034/2	34.06	66.45	7.62	26.54	5.25	1.19	5.17	0.8	6	1.47	4.04	0.82	6.55	0.99
	III - 2	D3037/2	41.66	81.53	8.6	30.56	5.59	1.02	4.63	0.68	4.71	1.17	3.27	0.7	5.65	0.93
	III - 2	D3036/1	11.4	23.65	3.38	13.6	3.26	0.49	3.41	0.65	5.7	1.51	4.39	0.97	7.85	1.24
	III - 1	D3040/2	57.05	109.8	11.86	44.5	7.71	1.16	7.63	1.13	8.74	2.34	6.31	1.17	8.06	1.19
似斑状二长花岗岩系列	II - 5	D689/2	79.87	166.74	17.99	58.65	10.44	0.63	8.88	1.36	9.91	2.36	6.08	1.2	8.06	1.22
	II - 4	D692/3	52.31	91.52	10.04	34.8	6.16	0.83	5.44	0.78	5.77	1.43	3.84	0.64	4.6	0.63
	II - 3	D693/2	43.64	79.67	8.07	29.15	4.78	0.91	4.21	0.63	4.06	0.92	2.3	0.4	2.67	0.37
	II - 2	D662/1	37.94	55.94	6.2	22.73	4.02	1.43	3.83	0.56	3.57	0.69	1.99	0.34	1.75	0.32
	II - 1	D1441/5	80.76	104.6	8.7	28.39	3.26	1.62	3.55	0.32	1.59	0.32	0.93	0.16	0.89	0.15
	II - 1	D3043/2	61.25	122.09	13.71	48.57	7.7	3.01	6.76	0.82	4.82	1.12	2.95	0.47	3.23	0.47
石英闪长岩系列	I - 5	D2061/1	141.73	275.8	27.88	94.76	15.76	3.86	12.77	1.79	11.95	2.67	6.77	1.13	7.97	1.14
	I - 4	D2053/1	31.36	71.56	8.74	35.34	7.5	1.52	6.94	1.04	8.52	2.13	5.56	1.04	7.52	1.09
	I - 3	D1022/5	69.18	157.66	18.15	63.85	12.19	1.95	6.32	1.22	8.88	1.91	5.42	0.94	6.76	1.08
	I - 2	D1024/2	61.65	142.17	17.1	66.04	11.87	2.21	6.07	1.28	8.87	2.1	5.25	0.91	5.73	0.95
	I - 2	D1027/1	45.43	87.53	9.07	32.71	5.85	1.66	4.45	0.75	4.98	1.16	3.12	0.57	3.96	0.58
	I - 1	D3046/2	26.68	58.12	7.42	23.9	4.98	1.33	4.84	0.75	5.78	1.53	3.95	0.81	6.18	0.94
岩石系列	岩石单元序号	样品号	特征参数													
			$\Sigma$ REE/ $10^{-6}$	LREE/ $10^{-6}$	HREE/ $10^{-6}$	$\delta$ Eu	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Gd/Yb)_N$							
英云闪长岩系列	IV - 2	D2024/3	103.08	87.48	15.6	0.856	5.117	3.453	1.0294							
	IV - 2	D4624/1	98.81	86.56	12.25	0.959	4.927	3.8379	0.7419							
	IV - 1	D2030/1	71.36	65.43	5.93	1.377	15.22	6.3744	1.5873							
	IV - 1	D2027/2	89.59	81.64	7.95	1.096	13.04	5.5323	1.5843							
	●	D2023/1	33.60	24.49	9.11	1.238	2.101	2.3655	0.7543							
正长花岗岩系列	III - 5	D2011/1	291.04	260.14	30.9	1.042	16.01	3.0879	3.4447							
	●	D2011/2	425.24	388.3	36.93	0.492	13.79	5.4365	1.6462							
	III - 4	D2012/2	738.69	664.12	74.56	0.594	10.79	4.6719	1.4957							
	III - 3	D3034/2	166.95	141.11	25.84	0.759	3.088	4.0548	0.4838							
	III - 2	D3037/2	190.70	168.96	21.74	0.652	4.378	4.6579	0.5023							
	III - 2	D3036/1	81.50	55.78	25.72	0.492	0.862	2.1856	0.2662							
似斑状二长花岗岩系列	III - 1	D3040/2	268.65	232.08	36.57	0.503	4.203	4.6247	0.5802							
	II - 5	D689/2	373.31	334.32	39.07	0.213	5.884	4.7815	0.6753							
	II - 4	D692/3	218.79	195.66	23.13	0.47	6.752	5.3074	0.7248							
	II - 3	D693/2	181.78	166.22	15.56	0.665	9.705	5.7061	0.9664							
	II - 2	D662/1	141.31	128.26	13.05	1.207	12.87	5.8986	1.3414							
	II - 1	D1441/5	235.24	227.35	7.91	1.599	53.88	15.483	2.4447							
石英闪长岩系列	II - 1	D3043/2	276.98	256.33	20.64	1.367	11.26	4.9716	1.2827							
	I - 5	D2061/1	606.07	559.79	46.19	0.881	10.56	5.6206	0.982							
	I - 4	D2053/1	207.86	156.02	33.84	0.695	2.476	2.6133	0.5656							
	I - 3	D1022/5	355.56	322.98	32.53	0.657	6.076	3.547	0.573							
	I - 2	D1024/2	332.26	301.04	31.16	0.767	6.388	3.2461	0.6493							
	I - 2	D1027/1	201.82	182.25	19.57	1.043	6.812	4.8536	0.6887							
I - 1	D3046/2	147.21	122.43	24.78	0.899	2.563	3.3484	0.48								

注 样品由北京大学地球与空间科学学院测定, ● 为暗色包体样品

稀土亏损。(La/Sm)<sub>N</sub>=2.19~5.44 (Gd/Yb)<sub>N</sub>=0.26~3.44,说明轻稀土分馏明显,少部分重稀土分馏较差,而大部分重稀土分馏较明显。稀土元素配分曲线模式(图6)总体显示左高右低的特征。同时,由图6可见,该系列岩石稀土元素特征与正常花岗岩类稀土元素特征不完全相同,可能与其物源有关,其稀土元素配分曲线特征与古元古界结晶基底岩石的特征相似。

包裹于奎代买正长花岗岩中的包体与正长花岗岩系列岩石具有极其相似的稀土配分曲线特征,表明它们有着共同的岩浆源。包体中常见地壳残余斜长石与以上分析得出的源区与斜长石处于平衡熔融相佐证。

3.2.4 英云闪长岩系列

该系列岩石稀土总量较小且变化较大 ΣREE=(65.43~260.14)×10<sup>-6</sup>, δEu=0.86~1.38,以Eu多为正异常为主,少数稍显示负异常。(La/Yb)<sub>N</sub>值变化较大(2.10~15.22),均显示轻稀土富集,且部分为强富集。(La/Sm)<sub>N</sub>=2.37~6.37, (Gd/Yb)<sub>N</sub>=0.74~1.58,说明大部分轻稀土分馏明显,重稀土除少数分馏较高外,大部分分馏较低。稀土元素配分曲线模式(图7)总体显示左高右低的特征。同时,由图7可见,该系列岩石稀土元素特征与正常花岗岩类的稀土元素特征不完全相同,可能与其物源有关,其稀土元素特征与古元古界结晶基底岩石的特征相似。极其相似的稀土配分曲线(特别是LREE)表明该系列岩石可能来自于同一岩浆源。该系列岩石的稀土配分曲线总体构成一向右缓倾的斜线,LREE分馏、富集较为明显,HREE曲线近于平坦或向右缓倾,表现出亏损的特征,类似于埃达克岩(adakite),可能揭示有近似埃达克岩的形成环境和物质来源<sup>[8-10]</sup>。

大量包裹于深色英云闪长岩中的同源微粒包体的稀土配分曲线呈近水平状,其形态类似于洋中脊玄武岩之稀土特征,说明岩浆主要来自于地幔。包体的中、重稀土配分曲线与暗色英云闪长岩吻合较好,轻稀土也有一定的相似性,因此,包体的稀土组成可以近似地代表源区物质的稀土组成。

3.3 微量元素特征

各系列岩石微量元素平均值见表4。

3.3.1 石英闪长岩系列

在以MORB标准化的微量元素配分型式图(图8)中,该系列各单元岩石具有相似的微量元素组成,

曲线吻合较好,反映其形成于相近的构造环境和具相似的物质来源。阿拉玛斯岩体的大离子亲石元素强烈富集,高场强元素(Zr、Hf、Sm、Y、Yb)及亲铁元素(Sc、Cr)大体相当或略有亏损。曲线形态与大西洋型碱性玄武岩比较接近,说明岩浆主要来自于地幔。同时注意到,曲线上Ce及Sm呈较小的突起,显示出一定的大陆钙碱性玄武岩的曲线特征,表明陆壳物

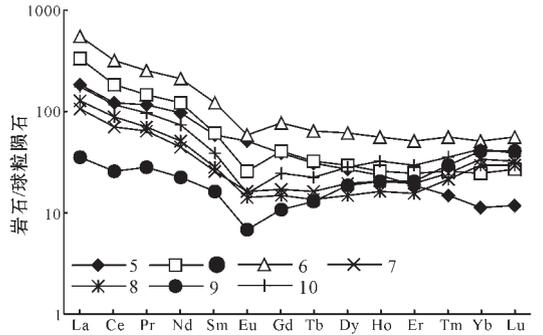


图6 正长花岗岩系列稀土配分图

Fig. 6 REE distribution diagram of the syenogranite series

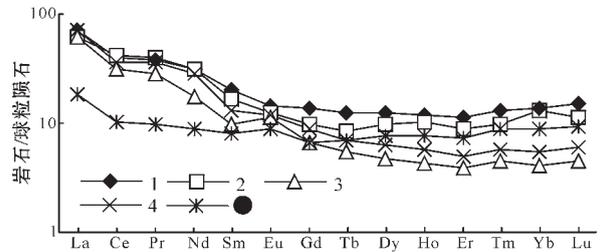


图7 英云闪长岩系列稀土配分图

Fig. 7 REE distribution diagram of the tonalite series

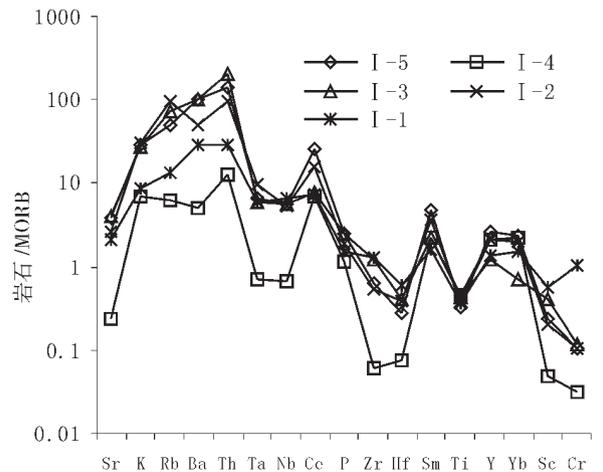


图8 石英闪长岩系列微量元素MORB标准化配分型式图  
Fig. 8 MORB-normalized trace element distribution patterns of the quartz diorite series

表 4 岩石微量元素分析结果  
Table 4 Results of trace elements of rocks

岩石系列	岩石单元序号	微量元素含量/ $10^{-6}$													
		Cr	Ni	Co	Sc	Ba	Sr	Rb	Zr	Nb	Hf	Ta	Ti	Th	Y
英云闪长岩系列	IV-2	122.01	59.28	17.43	24.25	537.2	270.4	30.23	116.4	17.31	1.59	0.56	2331	4.31	15.15
	IV-1	48.86	18.61	10.57	15.11	369.9	252.3	17.14	85.9	15.03	1.24	0.47	2137	4.65	8.51
正长花岗岩系列	III-5	35.74	13.21	6.35	10.09	642.7	100.5	237.6	120.6	20.03	1.69	3.29	1776	43	29.33
	III-4	31.23	4.41	3.85	5.77	387.2	70.1	218.6	224.4	10.02	4.53	2.41	1110	33.2	34.33
	III-3	29.77	7.27	4.66	4.69	569.6	197.1	235.7	75.46	13.11	0.911	2.71	1119	17	46.84
	III-2	30.66	7.57	4.61	4.11	1433	228.9	466.3	173.5	12.05	3.047	3.46	1000	47.2	42.49
	III-1	28.82	8.96	7.31	7.21	659.9	340.8	141.3	62.09	16.66	0.872	1.91	1064	18.5	71.61
似斑状二长花岗岩系列	II-5	19.43	4.31	3.41	5.45	172.6	49.8	204.4	28.85	9.89	0.251	2.55	833	32	69.71
	II-4	24.01	7.29	5.48	4.35	756.8	239.7	151.7	41.38	13.04	0.356	1.95	2276	37.1	47.83
	II-3	22.87	8.11	6.23	5.23	702.2	262.8	154.1	42.91	16.47	0.406	2.81	1943	22.9	30.51
	II-2	32.99	11.91	8.54	7.37	2251	237.8	345.8	64.04	15.34	0.815	1.51	2713	33.8	21.76
	II-1	23.89	6.57	8.51	8.64	1183	443.1	168.5	92.11	16.97	1.625	1.98	3077	30.9	19.08
石英闪长岩系列	I-5	26.78	12.23	10.5	9.33	2070	448.8	101.8	55.8	19.25	0.663	1.18	3021	27.3	77.35
	I-4	7.8	2.78	1.36	1.96	100	28.65	12.8	5.4	2.37	0.179	0.13	4140	2.55	64.38
	I-3	28.53	14.69	13.72	16.73	2074	487.4	148.1	107.5	19.97	0.998	1.08	3860	41.6	36.35
	I-2	25.65	12.33	10.53	8.23	998	307.3	187.6	49.4	18.85	0.925	1.71	3413	18.7	64.71
	I-1	264.66	41.97	19.84	22.53	586	254.5	27.6	112.9	23.56	1.441	1.04	3329	5.73	41.15

注:样品由北京大学地球与空间科学学院测定,所列数据为各单元平均值

质的广泛加入,是壳幔物质混合作用的产物。

皮什盖岩体和卡也地岩体则更多地显示出钙碱性大陆弧特征(Y、Yb正异常),大离子亲石元素(K、Rb、Ba、Th)和Ce、Sm为正异常,亲铁元素强烈亏损。

3.3.2 似斑状二长花岗岩系列

从图9可以看出,该系列各单元岩石具有基本一致的微量元素曲线特征,表现出非常明显的3个隆起(Y、Yb正异常),与南带石英闪长岩系列相比,又有Sr、Ba、Ti明显的负异常及亲铁元素的强烈亏损,这一特征与中带侵入岩的物源较浅有关,也可能与斜长石处于平衡熔融状态的结论相吻合。从曲线形态可以看出,阿羌沟脑岩体是石英闪长岩系列和似斑状二长花岗岩系列的过渡类型。

3.3.3 正长花岗岩系列(北带)

该系列岩石的微量元素组成基本一致(图10),配分图中曲线呈锯齿状,反映了岩浆经历了充分的分异演化,表现出与似斑状二长花岗岩(南带)相似的曲线特征。差别在于Sr、Ba、Ti相对明显亏损,而Rb、Th的相对富集更为突出,显示出物源更浅、熔融程度更低的特点。

3.3.4 英云闪长岩系列

英云闪长岩与正长花岗岩系列的微量元素特

征差别明显。在微量元素MORB标准化图(图11)中,其曲线较平滑,反映岩浆分异演化较弱。大离子亲石元素富集明显,高场强元素由Nb—P富集程度逐渐减弱,由Zr—Ti亏损程度大体递增;Y—Cr曲线大体平坦,亏损较为明显,曲线特征与亚丁湾的拉斑—碱性洋中脊玄武岩比较接近,反映其物源主要来自于地幔或古老的TTG岩套。这与稀土元素研究

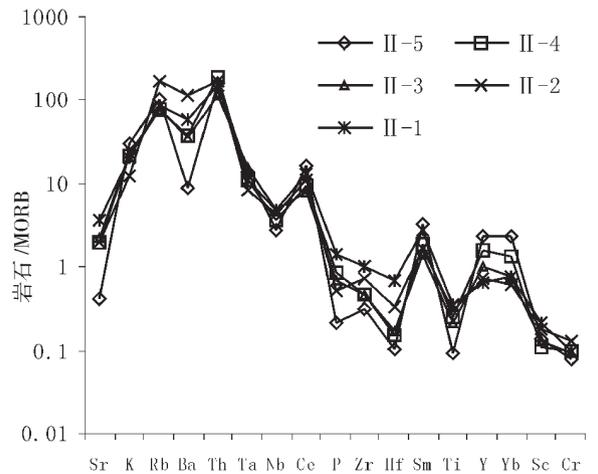


图9 似斑状二长花岗岩微量元素MORB标准化配分型式  
Fig. 9 MORB-normalized trace element distribution patterns of porphyroid monzogranites

得出的结论相印证。

### 4 成因及构造环境分析

#### 4.1 成因分析

上述地质、岩石、岩石地球化学特征表明,石英闪长岩系列岩浆形成、演化较为复杂。早期岩石单元(阿拉玛斯岩体)中角闪石多色性为褐色—浅褐色,表明岩浆源较深。早期岩浆可能与角闪石或石榴石处于平衡状态<sup>[10]</sup>,晚期与斜长石处于平衡熔融状态,以皮什盖岩体最为特征。岩浆主体由下地壳偏基性的硅镁质岩石通过不同程度的平衡部分熔融形成,并与从地幔中分泌的基性岩浆发生强烈的混合,岩石中大量的微粒闪长质包体和暗色矿物角闪石中见有石英包裹体可以说明这一点<sup>[11]</sup>。最终形

成具有拉斑玄武质岩浆特征的熔浆,运移到地壳浅层形成一套含角闪石的钙碱性花岗岩(ACG)<sup>[12]</sup>。按Barbarin的观点,这种岩浆中地幔组分超过50%<sup>[12]</sup>。岩浆具有强烈的活动性,晚期岩浆侵蚀大量地壳物质明显向富碱方向演化,岩浆源可能向上运移(卡也地岩体中包体与寄主岩石界线截然)。

似斑状二长花岗岩系列主要形成于下地壳,岩浆源较浅,早期岩石单元的岩浆多与角闪石处于平衡熔融状态,晚期则多与斜长石处于平衡熔融状态。在Rb/Sr-Sr图解(图12)中,样品投影点构成了部分熔融所具有的双曲线形态特征。由下地壳中基性岩石通过平衡部分熔融形成钙碱性玄武质岩浆,衍生出一系列富钾钙碱性花岗岩(KCG)<sup>[12]</sup>。岩浆混合作用微弱,以结构演化为特征。晚期岩浆明显的负锶异常表明斜长石具分离结晶作用,但由于造岩矿物比重差异很小,花岗岩粘度较大,分离结晶作用难以实现<sup>[11]</sup>,因此很有可能是岩浆源区与斜长石处于平衡熔融状态。

正长花岗岩系列以富碱为特征,为一套A-型花岗岩。以流水岩体为例,岩浆主要来自于下地壳,与斜长石处于平衡熔融状态。岩石锶初始值为 $0.7072 \pm 0.0034$ (据1:25万于田县幅区调项目成果),为锶中等偏低的花岗岩,表明岩浆来源于下地壳。岩体中普遍含有细粒角闪闪长岩包体,表明可能发生过中基性岩浆和酸性岩浆的混合作用。在图12中,样品投影点构成一条近似的双曲线,说明岩浆以部分熔融作用为主。

英云闪长岩系列是典型的I-型花岗岩。按Barbarin的分类方案应为大洋斜长花岗岩类(RTG)。在

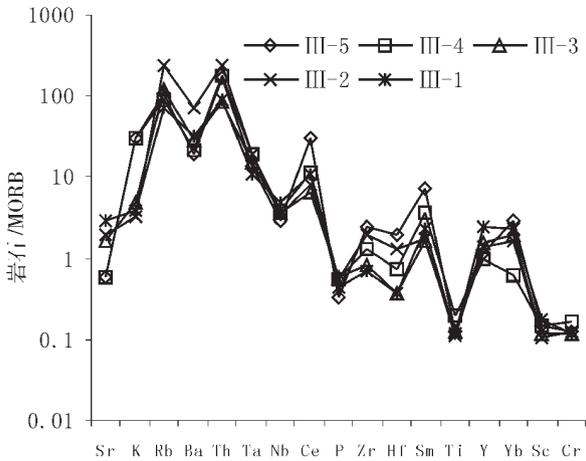


图10 正长花岗岩系列微量元素MORB标准化配分型式

Fig. 10 MORB-normalized trace element distribution patterns of the syenogranite series

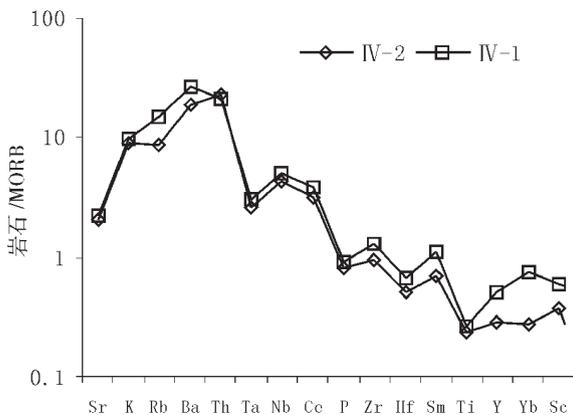


图11 英云闪长岩系列微量元素MORB标准化配分型式

Fig. 11 MORB-normalized trace element distribution patterns of the tonalite series

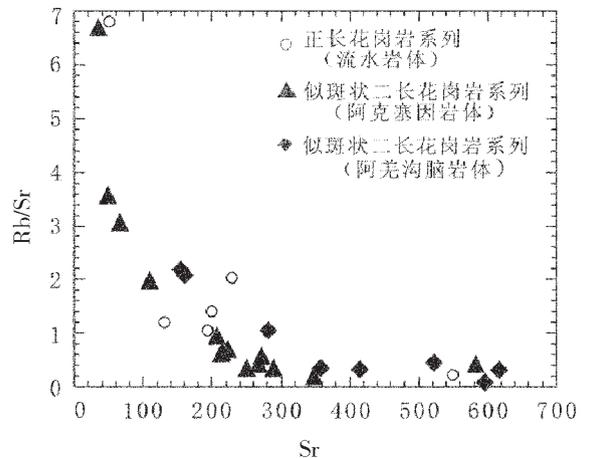


图12 Rb/Sr-Sr相关图

Fig. 12 Diagram of Rb/Sr-Sr

$R_1-R_2$ 构造判别图(图13)中,主体落入地幔分离区,表明岩浆主要来源于地幔<sup>[12]</sup>。岩石中广泛发育的同源暗色微粒包体的稀土总量很低,配分曲线平坦,这是来源于地幔的另一个有力证据。部分岩石单元重稀土明显亏损表明源区处于麻粒岩相<sup>[8-10]</sup>。岩浆与角闪石或石榴石处于平衡熔融状态,岩浆源较深。

#### 4.2 形成环境探讨

工作区侵入岩的工作程度极低,构造环境的研究基本处于空白状态。本次区调中首次发现了早古生代其曼于特缝合带<sup>[3]</sup>,为侵入岩的详细研究提供了一个大的构造背景,反过来,侵入岩的研究又为缝合带的确立提供了一个有力的佐证。

南带侵入岩中石英闪长岩系列局限于缝合带的上盘附近,岩体规模较小,为一套中基性岩石,依据矿物组成和岩石组合,归属Barbarin的含角闪石钙碱性花岗岩(ACG)类<sup>[12]</sup>。据Barbarin的研究,这类花岗岩是俯冲作用的直接产物<sup>[11,12]</sup>。在 $R_1-R_2$ 图解(图13)中,由地幔分离到板块碰撞前、再到碰撞后的抬升均有分布,表明岩浆形成环境较为复杂,但以板块碰撞前的俯冲期为主。工作区为古特提斯洋向南部昆南地块下俯冲的产物,这与主体岩体分布于缝合带上盘附近的地质事实相吻合。

似斑状二长花岗岩系列亦分布于缝合带的南侧,局部切穿缝合带,呈岩基产出,规模巨大,为一套酸性岩石,依Barbarin的观点归为富钾钙碱性花岗岩(KCG),是构造体制转换(挤压-伸展)下地壳岩浆活动的产物<sup>[11,12]</sup>。在 $R_1-R_2$ 图解(图13)中,主体落入同碰撞期和碰撞后的抬升区内或附近。以上特征表明该系列岩石形成于南、北昆仑地块碰撞造山过程中,是陆壳急剧叠置增厚,引起下地壳岩石广泛熔融的产物。

正长花岗岩系列分布于缝合带北侧附近,岩体规模不大,岩石强烈富碱,按Barbarin的划分,归属碱性花岗岩(PAG)<sup>[12]</sup>,其形成与大陆上隆和裂谷作用有关。岩石化学特征显示A-型花岗岩特点,利用图14进行判别<sup>[6]</sup>,该系列两个岩体的样品全部落入 $A_2$ 型花岗岩区,形成于造山后构造垮塌阶段,而非裂谷环境<sup>[7]</sup>。

北带英云闪长岩系列分布于缝合带的北侧,串珠状、带状的分布特征显示出明显的张裂环境,矿物及岩石组合特征符合Barbarin大洋斜长花岗岩类(RTG)<sup>[12]</sup>,但由于缺少铁镁质岩石及相应的洋壳沉积建造,不可能形成于大洋环境。比较可能的情况

是,在造山后伸展阶段,出现了一次明显的拉张事件,造成拉张轴心部位岩石圈地幔或下地壳古老的TTG岩套发生部分熔融形成岩浆,进而上升至近地表形成了这一套钙性岩浆岩。

### 5 岩浆与构造演化

早古生代岩浆活动集中于480~410 Ma之间,其间基本连续发展。加上裂解期蛇绿岩中辉长岩(526.3±1.0) Ma的年龄值,可以说在长达100Ma的地质历史过程中,岩浆活动伴随了板块俯冲、碰撞、抬升的多个阶段。如果忽略岩浆活动略滞后于构造运动这个因素,则可以认为古昆仑洋板块的俯冲消亡发生于480~450 Ma的早奥陶世,而昆北和昆南地块在该区的碰撞则发生于450~440 Ma的晚奥陶世,碰撞后抬升及陆内调整则在440~410 Ma之间。概括起来,古昆仑洋的消减俯冲经历了一个相对漫长的地

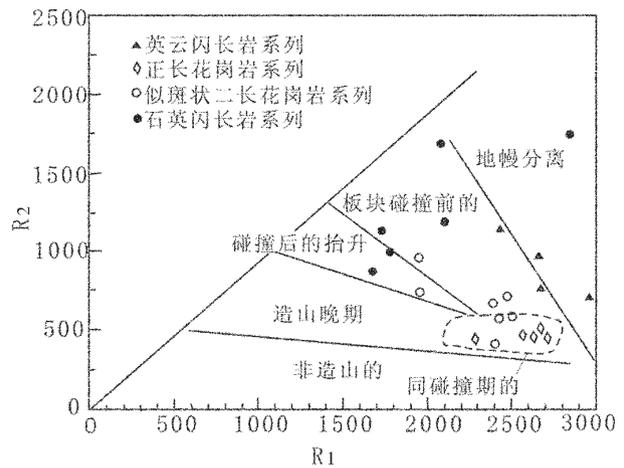


图13  $R_1-R_2$  相关图

Fig. 13 Diagram of  $R_1-R_2$

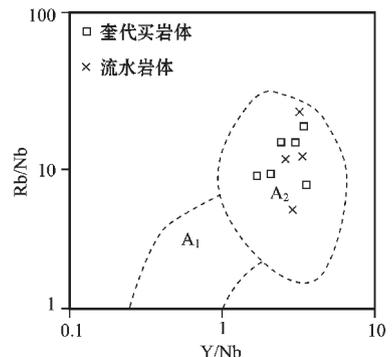


图14 A-型花岗岩分类图

Fig. 14 Classification of A-type granites

$A_1$ —非造山A-型花岗岩;  $A_2$ —造山后A-型花岗岩

质历史时期,形成了一定规模的俯冲期侵入岩,而板块对接碰撞则急促而剧烈,形成了规模巨大的碰撞期侵入岩,碰撞期后的均衡调整则经历了20~30 Ma的地质时间,形成了一定规模的花岗岩。

早古生代侵入岩伴随了板块构造发展的各个阶段。不同构造阶段形成不同特征的侵入岩石组合,可分性极强,但时代上又基本连续发展。因此,研究侵入岩不但可以了解该区岩浆活动的特征,而且可以为区域地质构造研究提供确切的时代信息。岩浆岩大多来源于下地壳或上地幔,对源区有很强的继承性,可以提取深部陆壳地球化学性质的重要信息(另文发表),另一方面,花岗岩的广泛贯入,也是该时代大陆地壳的一个重要的增长方式<sup>[13-15]</sup>,从这些方面讲,深入细致地研究侵入岩无疑具有特殊的重要地质意义。

致谢:本文赖以讨论的各种资料均来自于1:25万于田县幅区调项目,是项目全体同仁的共同劳动成果,文中部分图件由霍向光同志完成,在此一并表示衷心的感谢。

#### 参考文献:

- [1] 姜耀辉,等.西昆仑山加里东期花岗岩的类型及其大地构造意义[J]岩石学报,1999,15(1):105~115.  
[2] 许荣华.西昆仑北部早古生代构造岩浆岩带的发现[J]地质科学,1994,29(4):313~328.

- [3] 韩芳林,崔建堂,计文化,等.西昆仑其曼于特蛇绿混杂岩的发现及其地质意义[J]地质通报,2002,21(8~9):573~577.  
[4] 孙鸿烈,等.喀喇昆仑—昆仑山地区地质演化[M]北京:科学出版社,2000.  
[5] 姜春发,等.昆仑开合构造[M]北京:地质出版社,1992.  
[6] 薛君治,白学让,陈武.成因矿物学[M]武汉:武汉地质学院出版社,1986.  
[7] 张昱,李仰春.伊春地区晚印支期花岗岩类特征及成因探讨[A]见:中国花岗岩地质调查与研究高级研讨班论文集[C]2001.  
[8] 王焰,张旗,钱青.埃达克岩(adakite)的地球化学特征及其构造意义[J]地质科学,2000,35(2):251~256.  
[9] 王强,许继锋,赵振华,等.大别山燕山期亏损重稀土元素花岗岩的成因及动力学意义[J]岩石学报,2001,17(4):551~564.  
[10] 许继锋,王强,徐义刚,等.宁镇地区中生代安基山中酸性侵入岩的地球化学[J]岩石学报,2001,17(4):576~584.  
[11] 罗照华,柯珊,谌宏伟.岩浆作用与花岗岩区填图[A]见:中国花岗岩地质调查与研究高级研讨班论文集[C]2001.  
[12] 肖庆辉,邓晋福,马大栓,等.花岗岩研究与思维方法[M]北京:地质出版社,2001.  
[13] 孙延贵,张国伟,郑健康,等.柴达木地块东南缘岩浆弧(带)形成的动力学背景分析[A]见:中国花岗岩地质调查与研究高级研讨班论文集[C]2001.  
[14] 王晓霞,王涛,卢欣祥.北秦岭老君山、秦岭梁环斑结构花岗岩岩浆混合的岩相学证据及其意义[J]地质通报,2002,21(8~9):523~527.  
[15] 王涛.花岗岩研究与大陆动力学[J]地质前缘,2000,7(增刊):137~146.

## Geochemical Characteristics of Early Paleozoic granites in the Pulu area, Yutian, Xinjiang and its tectonic significance

WANG Juchuan<sup>1</sup>, HAN Fanglin<sup>1,2</sup>, CUI Jiantang<sup>3</sup>, ZHANG Junliang<sup>1</sup>

(1. Institute of Regional Geology, Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xianyang 712000, Shaanxi, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China  
3. Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** Large amounts of Early Paleozoic granite are developed in the Yutian area on the northern margin of the Kunlun Mountains. On the basis of 1:250000 regional geological survey of the Yutian Sheet, two magmatic belts with distinct characteristics may be distinguished, which may be further divided into four rock series. Through studies of their rock associations and geochemical characteristics, the authors propose the following view: in the southern belt, the magma of the quartz diorite series was mainly derived from the mantle and is the product of subduction and the magma of the porphyroid monzogranite series mainly originated from the lower crust, being the product of the interaction of crust and mantle in collisional orogeny; in the northern belt, the magma of the syenite granite series and tonalite series mainly came from the lower crust or mantle and originated in a post-orogenic extensional regime.

**Key words:** granite; Early Paleozoic; rock belt; series; origin; environment