

# 胶东牟平—乳山地区花岗岩 副矿物特征及其成因

张起诚 沈昆 赵志高  
(山东省地质矿产局实验室)

安家桐 于东斌  
(山东省地质矿产局第三地质队)

**提要** 本文论述了牟平—乳山地区花岗岩的岩石学特征,副矿物组合特征,尤其是锆石特征,副矿物的化学成分与微量元素及稀土元素组合特征,并在此基础上探讨了花岗岩的成因。本区花岗岩的成因是复杂的,既有花岗岩化作用(交代作用)和深熔作用形成的花岗岩,又有岩浆分异结晶作用的产物。

## 前 言

各种火成岩中副矿物的种类、含量和晶体化学特征可以有很大变化。它们或者与源岩物质或原岩浆组成有关,或者受成岩方式和成岩物理化学条件的控制,因此研究副矿物组合及其产出特征对深入了解岩石成岩作用、含矿性和进行岩石对比均有一定的意义。

本文试图通过对牟平—乳山金矿区的元古宙和中生代花岗质岩石中副矿物特征的对比分析,对这些岩石的成因和控矿作用进行探讨。

## 一、地质概述

牟平—乳山金矿区位于胶辽台隆胶北隆起东部。区内出露的地层主要是太古宙胶东群变质岩系,变质程度为高角闪岩相,其原岩相当于中基性—中酸性火山岩和碎屑—碳酸盐沉积岩。区内花岗质岩石广泛出露,包括昆崮山岩体、鹤山岩体、院格庄岩体、老师坟岩体、柳林庄岩体和凉水湾—三佛山岩体等。

昆崮山岩体(包括乳山—福祿地和高陵—王格庄)为一大致呈南北—北北东向延展的似椭圆形复式深成岩基,出露面积达1200km<sup>2</sup>。包括三类岩石:细粒含石榴石花岗岩,中粗粒黑云母花岗岩、中粗粒(片麻状)淡色花岗岩。前者分布于岩体北部和西部边缘,中粗粒

本文1990年1月收到,4月改回。

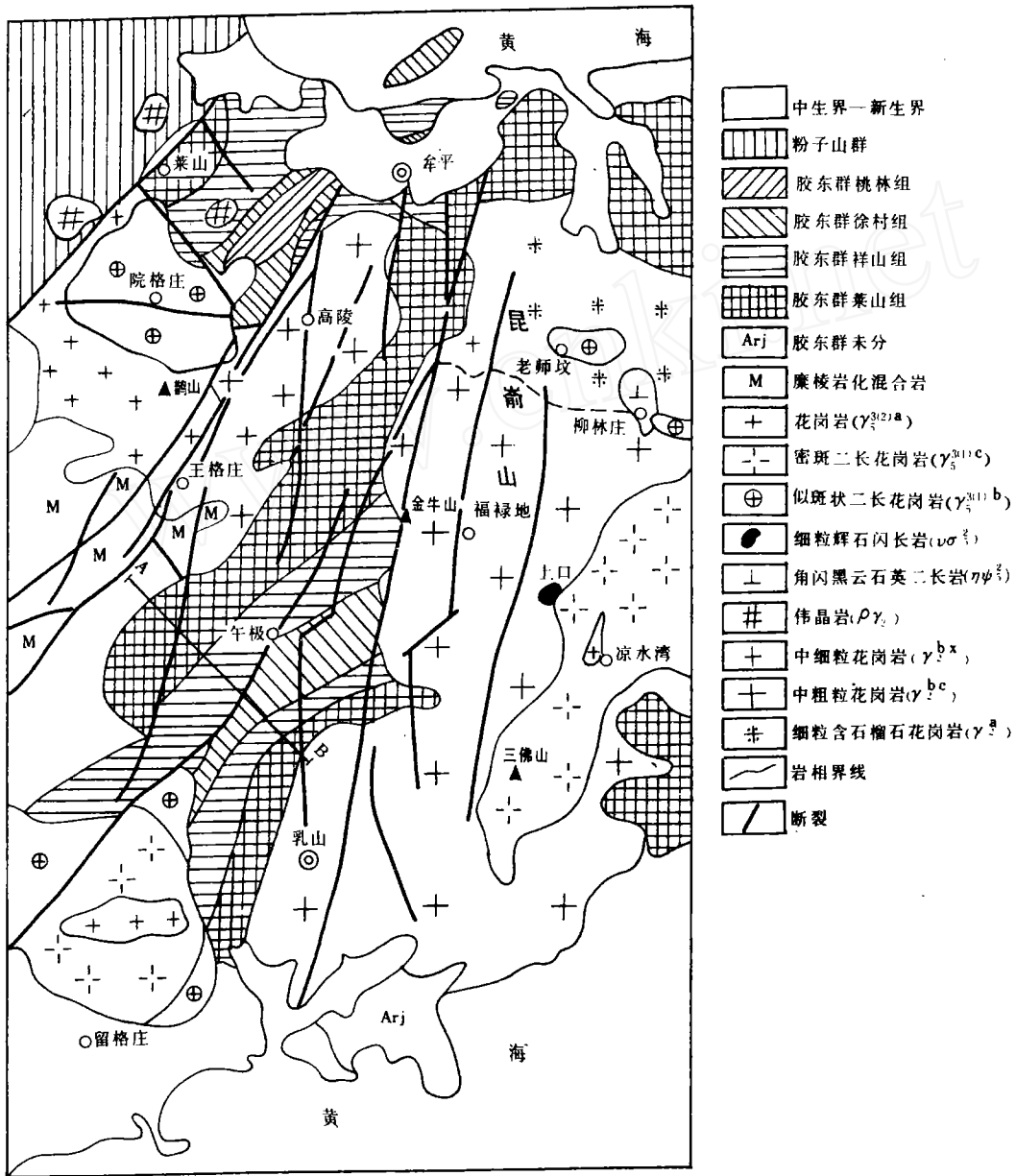


图1 牟平—乳山地区地质略图(1:56万)

黑云母花岗岩构成岩体的主体,而片麻状花岗岩则分布于岩体的东南边缘。鹊山岩体位于昆嵛山岩体西北,它们之间被胶东群隔开。岩体形态不规则,出露面积为 250km<sup>2</sup>。也可分为中细粒和中粗粒两种花岗岩。这两个岩体周边均有边缘混合岩带,岩体中有黑云变粒岩、片麻岩、大理岩及少量斜长角闪岩残留体,近似平行于片麻理分布,并有长英质混合脉体和伟晶岩脉发育。鹊山花岗岩并经受了强烈的碎裂化—糜棱岩化作用。Rb—Sr 同位素资料表明这两个岩体形成早于 700Ma。

老师坟岩体(25km<sup>2</sup>)和院格庄岩体(100km<sup>2</sup>)大致呈椭圆形岩株出露,分别侵入于昆嵛山岩体和鹊山岩体,具有清楚的侵入接触关系,但其冷凝边不发育。它们为巨斑状二长花岗岩,斑晶主要为钾长石。柳林庄岩体(12km<sup>2</sup>)呈滴状岩株侵入于昆嵛山岩体,为角闪黑云石英二长岩。凉水湾—三佛山岩体(380km<sup>2</sup>)分布于本区东南,呈北东东向延展的岩基—岩株侵入于昆嵛山岩体,为中粗粒块状密斑二长花岗岩。老师坟岩体和凉水湾—三佛山岩体的 Rb—Sr 等时线年龄分别为 164.03Ma 和 145.54Ma,表明它们是中生代燕山期侵位的。

## 二、岩石学特征

本区各主要岩体的岩石类型和基本特点归纳在表 1 中。

从表 1 可以看出,这些岩石所含的主要造岩矿物种类很相似,即都以石英、斜长石和钾长石为主,含少量黑云母和白云母,在 SiO<sub>2</sub> 含量较低的(偏中性)岩石中可含较多的角闪石和少量辉石。钾长石主要是微斜长石和条纹长石,而斜长石主要是更长石。另外在昆嵛山岩体和鹊山岩体的某些部位可含特征的石榴石。这两个岩体内部在大范围内显得都较均匀,矿物含量变化不大;而在老师坟岩体和院格庄岩体中矿物含量有一定变化范围;在柳林庄岩体的不同部位暗色矿物的含量可以有相当大的变化,可从以黑云母为主到以角闪石为主,颜色呈浅灰—深灰。

就岩石结构而言,除凉水湾密斑二长花岗岩和院格庄、老师坟岩体的似斑状二长花岗岩以外,都具有明显的交代结构,特别是蠕虫(英)结构和交代残余结构较普遍,如斜长石的残余晶体分布在钾长石中。也见到其他一些交代结构(表 1)。在院格庄岩体和老师坟岩体中,岩石具有明显的似斑状结构,斑晶为钾长石,一般长 2—4cm;大者可达 6—7cm,其中包含有较多的斜长石、黑云母等其它矿物,它们往往沿钾长石晶体作环带分布。基质具中粒半自形—它形(花岗)结构。凉水湾—三佛山岩体显示岩浆结晶的特点,包括密斑结构—不等粒花岗结构。以上特征结合岩石化学特征<sup>[1]</sup>表明,昆嵛山岩体和鹊山岩体是通过交代—深熔作用形成的;而中生代各岩体是通过岩浆侵位—结晶形成的,相当于南京大学地质系<sup>[2]</sup>提出的同熔花岗岩。

## 三、副矿物特征

### (一)副矿物组合特征

本区主要岩体副矿物组合及含量见表 2。

表 1 牟平—乳山地区各岩体基本特征表

岩体名称	岩石类型	结 构	构 造	矿物成分及含量(%)					备 注	
				钾长石	斜长石	石英	黑云母	其他矿物		
鹤山岩体	中细粒花岗岩	中细粒花岗结构,碎裂状花岗结构,交代结构(蠕虫状结构、净边结构、残余结构)	块状、略显片麻状、碎裂状构造	实测含量(%)n=17					在糜棱岩带内具糜棱结构,或碎斑结构,压碎眼球结构,基质具压碎胶质结构	
				26.45	40.22	20.11	4.08	1.15		
				CIPW 标准矿物分子(%)						
				51.53	17.73	30.73				
昆 崮 山 岩 体	中粗粒花岗岩	块状结构(蠕虫状结构、净边结构、条纹长石结构;包括不规则的条带状钠质条纹;规则的钠质条纹;细小的板状斜长石残留条纹),残余结构(包括变余蠕虫结构、岛屿状或港湾状结构,变余花岗变晶结构,包含变晶结构)	块状、条带状构造	实测含量(%)n=4						
				27.46	42.22	26.41	2.97	0.69		
				CIPW 标准矿物分子(%)n=9						
					51.59	21.81	26.59			
		片麻状花岗岩	中粗粒花岗结构,交代结构(蠕虫状结构、净边结构、条纹长石结构;包括不规则的条带状钠质条纹;规则的钠质条纹;细小的板状斜长石残留条纹),残余结构(包括变余蠕虫结构、岛屿状或港湾状结构,变余花岗变晶结构,包含变晶结构)	片麻状构造,条带状构造	实测含量(%)n=1					
	36.71				41.49	19.77	1.84	0.19		
CIPW 标准矿物分子(%)n=2										
				50.19	18.76	31.06				
	细粒含石榴石花岗岩	中细粒花岗变晶结构,其他结构同中粗粒花岗岩	块状构造	实测含量(%)n=2					含石榴石	
				34.64	28.53	35.10	1.33	0.42		
				CIPW 标准矿物分子(%)n=9						
				54.59	14.00	31.41				
院 格 庄 — 老 师 坟 岩 体	似斑状二长花岗岩	似斑状结构基质;包括中细粒结构,等粒至不等粒结构,花岗结构;斑晶:钾长石(包裹有石英、斜长石、黑云母、角闪石)具蠕虫状结构和净边结构,在钾长石内有交代残余结构	块状构造或斑状构造	院格庄岩体实测含量(%)n=3					斜长石具环带状结构,其他矿物的含量中包括 2.64%的角闪石	
				23.36	38.28	30.73	3.61	5.02		
				CIPW 标准矿物分子(%)n=3						
				54.75	21.08	24.17				
				老师坟岩体实测含量(%)n=1						
				42.90	30.82	23.98	2.30			
				CIPW 标准矿物分子(%)						
				57.24	13.53	29.23				
柳林庄岩体	角闪黑云石英二长岩	二长结构,交代结构(包括蠕虫状结构、净边结构、交代残余结构、环带结构)	块状构造	实测含量(%)n=8					文象结构局部存在,其他矿物的含量包括 4.45%的角闪石	
				35.42	39.70	11.30	6.59	6.99		
				CIPW 标准矿物分子(%)n=5						
凉水湾—三佛山岩体	密斑二长花岗岩、中细粒二长花岗岩、中粗粒二长花岗岩,文象花岗岩	似斑状结构,不等粒状结构,密斑结构,文象结构	块状构造	实测含量(%)n=3						
				32.38	30.15	34.11	2.42	1.00		
				CIPW 标准矿物分子(%)n=2						
				57.57	9.33	33.11				
上口岩体	细粒辉石闪长岩	细粒状结构,半自形及他形晶结构,环带结构	块状构造	目估含量(%)					其他矿物含量中包括普通角闪石和普通辉石	
				15.00	60.65	5.00	<5.00	10		

注:n 为样品数。

表2 牟平—乳山地区主要岩体副矿物组合特征及含量对比表

含量 样品 数量 (g/t)	类型	昆嵛山中粗粒花岗岩		山含石	鹤山中	柳林庄	林庄	师班	坟花	院格庄	庄花	凉水	湾花
		块状	片麻状	细粒 石榴石 花岗岩	中 花 岩	角闪 石 二 长 岩	黑 英 闪 石 岩	斑 长 石 岩	斑 长 石 岩	斑 长 石 岩	斑 长 石 岩	斑 长 石 岩	斑 长 石 岩
矿物名称		4	1	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1
磁铁矿		2479.69	6940.84	1068.87	258.95	16874.54	5628.91	2456.89	3445.78				
榍石		733.61	少量	42.74	404.52	10018.20	1522.09	788.93	655.12				
褐帘石		69.25	80.08	14.51	182.45	123.75	—	少量	14.42				
磷灰石		131.22	59.59	35.71	192.33	1085.92	398.69	78.05	45.05				
锆石		24.23	40.22	4.79	6.93	199.35	91.12	1.87	3.65				
黄铁矿		138.12	15.81	198.23	72.30	49.79	11.39	26.01	3.65				
石榴石		15.51	少量	812.01	55.88	—	微量	—	—				
萤石		微量	几颗	几颗	几颗	微量	少量	几颗	少量				
重晶石		87.30	—	139.76	185.22	少量	少量	—	少量				
方铅矿		微量	几颗	微量	微量	少量	微量	微量	微量				
黄铜矿		微量	—	微量	几颗	微量	—	—	—				
辉钼矿		几颗	—	—	—	微量	—	—	—				
金红石		微量	几颗	微量	几颗	微量	—	—	几颗				
锐钛矿		几颗	—	1.49	几颗	—	几颗	—	—				
独居石		几颗	—	—	几颗	—	—	—	—				
自然铅		—	几颗	—	—	微量	几颗	—	几颗				
碳硅石		几颗	—	—	几颗	—	—	几颗	—				
钛铁矿		少量	8.45	—	—	—	—	—	—				
自然金		2颗	2颗	1颗	—	—	—	—	11颗				
铅丹		几颗	—	几颗	几颗	—	—	—	—				
白钛石		微量	—	—	微量	—	—	—	—				

从表2可以看出,各岩体的副矿物组合有其自身的特点。

### 1. 昆嵛山岩体和鹤山岩体

昆嵛山中粗粒花岗岩、细粒含石榴石花岗岩和鹤山中细粒花岗岩三者的副矿物组合基本相似(表2),所含副矿物的种类较多(17—20种左右),副矿物总含量比较高,但变化范围较大。以富含磁铁矿、榍石、磷灰石、褐帘石、黄铁矿为显著特点,独居石偶见,磷钇矿完全见不到。在昆嵛山岩体和鹤山岩体中Sn, W, Zn, Mo的矿物含量甚微或几乎不含。

该二岩体副矿物的主要差别是,鹤山中细粒花岗岩中磁铁矿含量偏低,而富含褐帘石和磷灰石;昆嵛山中粗粒(片麻状)花岗岩中磁铁矿的含量特高,而榍石极低。细粒含石榴石花岗岩中石榴石的含量极高。

昆嵛山岩体由中心的中粗粒花岗岩到边缘的细粒含石榴石花岗岩,其副矿物的种类和含量也有所差别。即由岩体中心到边缘,副矿物种类由多变少,磷灰石和锆石的含量减少,而石榴石的含量则增加。值得注意的是昆嵛山花岗岩中见到了银金矿(Au73.22%),

Ag22.45%),推测可能来自胶东群变质岩。

归纳起来,昆崙山中粗粒(块状)花岗岩副矿物组合特征为磁铁矿+榍石+黄铁矿+磷灰石+重晶石+褐帘石+锆石+石榴石;片麻状花岗岩为磁铁矿+褐帘石+磷灰石+锆石+黄铁矿+钛铁矿;细粒含石榴石花岗岩为磁铁矿+石榴石+黄铁矿+榍石+磷灰石+锆石+锐钛矿。鹊山中细粒花岗岩副矿物组合特征为榍石+磁铁矿+磷灰石+重晶石+褐帘石+黄铁矿+石榴石+锆石。

## 2. 柳林庄岩体

该岩体含副矿物种类较少,仅 13 种,但含量较高,以富含磁铁矿、榍石、褐帘石、磷灰石和锆石为特点(表 2)。其副矿物组合特征是:磁铁矿+榍石+磷灰石+锆石+褐帘石+黄铁矿。

## 3. 老师坟岩体和院格庄岩体

该二岩体普遍含有磁铁矿、榍石、磷灰石、锆石、黄铁矿,而以磁铁矿和榍石的含量极高为特点。其差别是老师坟花岗岩副矿物含量均高于院格庄岩体(表 2)。

该二岩体副矿物组合特征完全一样,均为磁铁矿+榍石+磷灰石+锆石+黄铁矿。

## 4. 凉水湾岩体

该岩体含副矿物种类甚少,仅 12 种左右,以富含磁铁矿和榍石为显著特点,而锆石、磷灰石、黄铁矿含量与其他岩体相比显著下降,含有少量的萤石、重晶石及微量方铅矿,还见到了银金矿(Au64.57%,Ag25.56%)。其副矿物组合特征是:磁铁矿+榍石+磷灰石+褐帘石+黄铁矿+锆石。

综上所述可以看出,本区元古代花岗岩(昆崙山和鹊山岩体)与燕山期花岗岩(柳林庄岩体)及燕山晚期花岗岩类(老师坟、院格庄和凉水湾岩体)主要副矿物组合虽然无明显的差别,但是前者副矿物种类远远多于后者。总的趋势是由老到新副矿物组合由复杂到简单。值得注意的是昆崙山和凉水湾岩体中都见到了银金矿。

## (二) 锆石的特征

锆石是一种分布比较广泛的矿物,在各种岩石中普遍存在,并且物理化学性质较稳定,故我们以锆石作为标型矿物进行了较详细的观察研究,以对岩体进行对比(表 3)。

### 1. 昆崙山花岗岩和鹊山花岗岩

该二岩体中的锆石颗粒较细小,主要为浅棕黄色,但在昆崙山中粗粒花岗岩中,见到极少量细小且具浑圆状的浅紫红或紫红色锆石与围岩胶东群变质岩中锆石极为相似。

昆崙山花岗岩中锆石的主要晶形有两种,一种为复杂的长柱状晶体,由发育的正方柱{100}、不发育的{110}与正方双锥{111}及复正方双锥{311}所组成的聚形。另一种为简单的长柱状晶体,由正方柱{100}与正方双锥{111}所组成的聚形。这种晶形的出现标志着锆石生长介质中 K、Na 和 Si 的成分均较高,是在酸性条件下结晶的,其生成温度较低。次要晶形为简单的长柱状晶体,由发育的正方柱{100}、不发育的{110}与正方双锥{111}所组成的聚形。

鹊山花岗岩的锆石,主要为复杂的长柱状晶体及简单的长柱状晶体,前者由发育的正方柱{100}、不发育的{110}与发育的复正方双锥{311}及不发育的正方双锥{111}所组成的聚形,后者由发育的正方柱{100}、不发育的{110}与正方双锥{111}所组成的聚形。这种

表3 牟平—乳山地区主要岩体锆石特征比较图表

岩体	特征		颜色	粒度 (mm)	长宽比	浑圆度	主要晶形	次要晶形	特殊晶形
	岩性	块状							
昆嵛山岩体	中粗粒花岗岩	块状	浅棕黄色	0.07	3-4	部分稍有浑圆			
		片麻状	浅棕黄色	0.065	2.5-3	部分稍有浑圆			
体	细粒含石榴石花岗岩	细粒	浅棕黄色	0.06	2.5-3.5	部分稍有浑圆			
鹤山岩体	中细粒花岗岩		浅棕黄色	0.09	2.5-3	部分稍有浑圆			
柳林庄岩体	角闪黑云石英二长岩		浅棕黄色	0.06	2-3	部分稍有浑圆			
老师坟岩体	似斑状二长花岗岩		浅棕黄色	0.065	2-3				
院格庄岩体	似斑状二长花岗岩		浅棕黄色	0.06	2.4-3				
凉水湾—佛山岩体	密斑花岗岩		浅黄色	0.065	2-3				

晶形的出现同样标志着锆石生长介质中 K, Na 和 Si 的成分均较高, 是处于酸性条件下结晶的, 且温度较低。次要晶形为简单的长柱状晶体, 由发育的正方柱 {110}、不发育的 {100} 与正方双锥 {111} 所组成的聚形。

昆崙山和鹊山花岗岩中均见到具有熔蚀现象和特殊形态的锆石(表 3), 这种锆石自生和再生现象明显, 具有次生加大、连晶和凸起等特点, 个别见到包晶。根据 B·B 梁亚霍维奇(1964)指出, 这种特殊形态的锆石, 乃是晶体生长的痕迹, 可作为花岗岩化的标志。我们认为这种锆石有着较复杂的生长史, 其浑圆的晶核可能为原岩重熔时未熔化的残留晶, 自生或再生部分可能是深熔花岗岩结晶时附生到残留晶上去的。

#### 2. 柳林庄岩体

锆石主要晶形为简单的长柱状晶体, 由正方柱 {110} 与较发育的正方双锥 {111} 和极不发育的复正方双锥 {311} 所组成的聚形(表 3)。这种晶形的出现标志着锆石赖以生长的介质中 K, Na 和 Si 的成分均较高, 是处于酸性条件下结晶的。次要晶形为复杂的长柱状晶体, 由发育的正方柱 {110}、不发育的 {100} 与发育的正方双锥 {111} 及不发育的复正方双锥 {311} 所组成的聚形。

#### 3. 老师坟和院格庄岩体

老师坟和院格庄似斑状二长花岗岩中锆石的晶形和物理性质基本相同。其主要晶形为复杂的长柱状晶体, 由发育的正方柱 {100}、不发育的 {110} 与复正方双锥 {311} 及正方双锥 {111} 所组成的聚形。次要晶形为简单的长柱状晶体, 由正方柱 {100} 或 {100} + {110} 与正方双锥 {111} 所组成的聚形(表 3)。上述晶形的出现标志着锆石生长介质中 K, Na 和 Si 的成分均较高, 是处于酸性条件下结晶的。

#### 4. 凉水湾岩体

锆石主要晶形为简单的长柱状晶体, 由正方柱 {100} 与正方双锥 {111} 所组成的聚形。次要晶形为复杂的长柱状晶体, 由发育的正方柱 {100}、不发育的 {110} 与正方双锥 {111} 及复正方双锥 {311} 所组成的聚形。这两种晶形的出现标志着锆石生长介质中 K, Na 和 Si 的成分均较高, 是处于酸性条件下结晶的, 且形成的温度较高。

## 四、副矿物的化学成分与微量元素

副矿物磁铁矿、锆石、榍石和石榴石的化学成分见表 4—表 7。

磁铁矿的化学成分基本相同, 共同的“标型元素”是 Ti, Mn, V, Ni, 且含量均较高。但昆崙山花岗岩中磁铁矿的  $TiO_2$  含量较高。

锆石的化学成分及微量元素基本相似, 其  $ZrO_2/HfO_2$  比值介于中性岩和花岗岩的锆石之间。昆崙山和鹊山花岗岩中  $ZrO_2/HfO_2$  比值落在花岗岩锆石范围之内。钇族元素含量较高, 这是交代成因的特征之一。柳林庄角闪黑云石英二长岩和老师坟似斑状二长花岗岩中锆石的  $ZrO_2/HfO_2$  比值较高, 前者属于中性范围, 而后者为酸性偏中。二者钇族微量元素含量稍低。

各岩体中榍石的化学成分基本相同, 昆崙山花岗岩中榍石含钇族元素较高, 而柳林庄和老师坟岩体中榍石含铈族元素较高。磷灰石也具有榍石这一特点。

石榴石化学分析结果(表7)表明,昆嵛山细粒含石榴石花岗岩和鹊山中细粒花岗岩

表4 楣石化学成分分析结果表(%)

岩石类型	样品数	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	RE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
昆嵛山中粗粒(块状)花岗岩	4	31.05	26.38	32.43	0.32	0.32	1.69
昆嵛山细粒含石榴石花岗岩	1	31.02	25.74	32.09	0.41	0.26	2.66
鹊山中细粒花岗岩	2	31.12	26.56	34.17	0.18	0.25	2.14
柳林庄角闪黑云石英二长岩	2	30.28	24.85	32.86	0.22	0.31	2.71
老师坟似斑状二长花岗岩	1	30.47	26.06	34.29	0.22	0.25	2.43
院格庄似斑状二长花岗岩	1	30.67	27.00	36.12	0.13	0.19	1.82
凉水湾密斑花岗岩	1	30.54	25.67	34.02	0.42	0.27	2.33

表5 锆石化学成分分析结果表(%)

岩石类型	样品数	ZrO <sub>2</sub>	HfO <sub>2</sub>	U	ThO <sub>2</sub>	Y	La	Yb	ZrO <sub>2</sub> /HfO <sub>2</sub>	RE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
昆嵛山中粗粒花岗岩	块状	2	61.70	1.37	0.086	0.003	0.134	<0.01	<0.01	45.02	0.194
	片麻状	1	64.50	1.54	0.13	0.002	0.157	<0.02	<0.01	41.88	0.235
昆嵛山细粒含石榴石花岗岩	1	59.90	1.33	0.096	0.029	0.167	<0.01	<0.01	45.03	0.235	
鹊山中细粒花岗岩	1	62.10	1.36	0.041	0.019	0.126	<0.01	<0.01	45.66	0.183	
柳林庄角闪黑云石英二长岩	2	61.80	1.26	0.039	0.012	0.114	<0.01	<0.01	49.04	0.167	
老师坟似斑状二长花岗岩	1	64.70	1.36	0.056	0.020	0.117	<0.01	<0.01	47.57	0.172	

表6 磁铁矿化学成分分析结果表(%)

岩石类型	样品数	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	NiO	
昆嵛山中粗粒花岗岩	块状	3	65.87	31.24	0.56	0.22	0.26	0.02	0.33	0.03	0.03	0.00	0.02
	片麻状	1	67.82	28.18	2.09	0.08	0.10	0.03	0.54	0.03	0.02	0.00	0.03
昆嵛山细粒含石榴石花岗岩	3	68.25	28.92	0.81	0.18	0.34	0.03	0.39	0.01	0.03	0.00	0.03	
鹊山中细粒花岗岩	1	67.57	30.35	0.21	0.31	0.45	0.04	0.12	0.05	0.04	0.00	0.02	
柳林庄角闪黑云石英二长岩	2	68.40	28.21	0.52	0.11	0.82	0.06	0.19	0.24	0.04	0.00	0.01	
老师坟似斑状二长花岗岩	1	70.28	27.13	0.31	0.12	0.66	0.07	0.21	0.18	0.05	0.00	0.02	
院格庄似斑状二长花岗岩	1	65.23	27.20	0.53	0.17	1.63	0.12	0.18	0.20	0.15	0.00	0.04	
凉水湾密斑花岗岩	1	70.05	26.54	0.75	0.21	0.42	0.07	0.46	0.10	0.03	0.00	0.03	

表7 石榴石化学成分分析结果表(%)

岩石类型	样品数	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
昆嵛山细粒含石榴石花岗岩	3	38.31	8.90	0.35	18.20	3.78	0.22	13.72	15.13	0.32
鹊山中细粒花岗岩	1	39.65	6.07	0.66	19.04	3.13	0.09	8.59	21.78	0.34
含石榴石斜长角闪岩(胶东群)	1	39.55	11.36	1.90	21.21	0.86	0.34	1.62	22.01	0.02
黑云斜长片麻岩(胶东群)	1	38.12	7.96	0.45	18.54	2.74	0.48	18.25	11.51	0.04

中的石榴石与胶东群变质岩(黑云斜长片麻岩、含石榴石斜长角闪岩)中的石榴石化学成分基本相同,为铝质石榴石。其矿物成分主要为铁铝榴石、锰铝榴石,其次为钙铝榴石。这与石榴石的红外光谱分析结果是相吻合的。锰铝榴石产于富锰沉积岩层的区域变质带中,铁铝榴石是典型区域变质的产物,而钙铝榴石则是不纯灰岩或富含钙质灰岩,经接触或区域变质而形成的。说明这两个岩体中细粒花岗岩的石榴石与胶东群变质岩有密切的成因关系,即来源于胶东群变质岩。

## 五、副矿物中稀土元素的含量和特征

对昆崙山花岗岩、鹤山花岗岩和老师坟花岗岩中的褐帘石、榍石和磷灰石用定量方法测定了稀土元素的含量(表 8),其中榍石的稀土总量( $RE_2O_3$ )是分析值,而褐帘石和磷灰石的稀土总量是计算值(各稀土元素含量之和)。由表 8 可知,各副矿物中褐帘石的稀土含量最高,榍石次之,磷灰石最低。LREE/HREE 比值以褐帘石最高,磷灰石次之,榍石最低,即褐帘石富集轻稀土,而榍石富集重稀土。昆崙山花岗岩副矿物的 LREE/HREE 比值均低于鹤山中细粒花岗岩和老师坟似斑状二长花岗岩,表明后二者副矿物相对富轻稀土,而前者副矿物相对富集重稀土。

表 8 昆崙山花岗岩、鹤山花岗岩和老师坟花岗岩主要副矿物的稀土含量(ppm)

矿物	岩体	样品数	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dr	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	RE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	$\frac{\sum LREE}{\sum HREE}$
褐帘石	I-1	2	36445	60145	6556	19760	2911	327	1623	248	598	94	161	37	65	9	1661	13.06	28.46
	I-2	1	47300	77400	8400	24000	3700	101	2199	335	928	147	285	62	206	30	2783	16.78	23.06
	II	1	28700	46900	5100	14900	2300	342	1626	230	635	101	171	34	81	11	1718	10.28	21.32
	III	1	39380	60988	6298	17704	2063	288	942	181	267	49	79	28	33	4	848	12.91	52.18
榍石	I-1	4	220	345	186	985	319	124	475	106	794	174	574	89	582	74	5700	1.69	0.25
	II	1	180	725	141	751	278	90	302	60	386	77	238	37	232	32	2182	2.66	0.61
	III	2	404	1648	330	1719	585	134	567	102	617	110	307	41	221	24	2887	2.14	0.98
	IV	1	2251	7876	1214	4654	806	111	522	84	396	78	225	37	225	32	2205	2.43	4.44
磷灰石	I-1	3	188	475	71	310	95	19	115	19	114	23	66	9	59	10	757	0.24	1.06
	I-2	1	476	1230	205	1108	427	15	598	102	637	119	318	44	263	39	3418	0.89	0.62
	II	1	72	250	38	158	75	16	117	20	127	23	55	7	34	5	693	0.16	0.56
	III	2	116	305	46	206	64	22	57	8	46	9	27	4	25	4	297	0.12	1.69
	IV	1	965	2310	281	966	137	18	95	15	56	12	34	6	31	5	336	0.52	7.92

注: I-1. 昆崙山中粗粒(块状)花岗岩; I-2. 昆崙山中粗粒(片麻状)花岗岩; II. 昆崙山细粒含石榴石花岗岩; III. 鹤山花岗岩; IV. 老师坟似斑状二长花岗岩。

根据有关资料介绍,花岗岩中副矿物的稀土含量及其组成特征与花岗岩成因有关,即不同成因的花岗岩类副矿物中稀土含量和组成特征不同。重熔型花岗岩的褐帘石、磷灰

石、萤石等副矿物稀土含量较花岗岩化形成的花岗岩高,在片麻岩和混合花岗岩中 REE 含量低,这可以作为区分花岗岩化与重熔所形成的花岗岩的标志之一。昆崙山花岗岩和鹊山花岗岩副矿物褐帘石和楣石的稀土含量( $RE_2O_3$ )与不同成因花岗岩相比(表 9),表现为昆崙山中粗粒(片麻状)花岗岩中褐帘石和楣石的稀土含量更接近于重熔型花岗岩的特征;而昆崙山细粒含石榴石花岗岩中褐帘石和鹊山中细粒花岗岩中楣石的稀土含量与原地交代花岗岩接近。但老师坟似斑状二长花岗岩中楣石的稀土含量与基性岩浆分异成因的花岗岩近似。昆崙山中粗粒(片麻状)花岗岩中磷灰石的稀土含量,也与重熔成因的花岗岩接近。但昆崙山细粒含石榴石花岗岩和鹊山中细粒花岗岩中磷灰石的稀土含量都偏低。

表 9 昆崙山、鹊山和老师坟花岗岩与不同成因的花岗岩类副矿物中  $RE_2O_3$  百分对比

不同成因花岗岩类	副矿物	褐帘石	磷灰石	萤石	绿帘石	楣石
昆崙山中粗粒花岗岩	块状	13.06(2)	0.24(3)	—	—	1.69(4)
	片麻状	16.78(1)	0.89(1)	—	—	—
昆崙山细粒含石榴石花岗岩		10.28(1)	0.16(1)	—	—	2.66(1)
鹊山中细粒花岗岩		12.88(1)	0.12(2)	—	—	2.14(2)
老师坟似斑状二长花岗岩		—	0.52(1)	—	—	2.43(1)
再生侵入花岗岩(重溶)		20.16(44)	0.69(15)	0.44(10)	1.16(21)	1.71(63)
原地交代花岗岩		11.15(21)	0.56(10)	0.20(4)	3.58(2)	1.92(12)
辉长岩建造的花岗岩		—	0.29(7)	—	0.046(3)	2.46(2)

注:( )为样品数。(据 В. В. Тяжвин)。

不同成因的花岗岩的同种副矿物中 REE 的配分亦有明显差异(表 10)。重熔型花岗岩副矿物特别是褐帘石富含第一组 REE(La-Nd),原地交代花岗岩副矿物,尤其是磷灰石相对富含中组 REE(Sm—Ho)和 Yb 组 REE(Er—Lu)。

从表 10 可以看出,昆崙山中粗粒花岗岩中褐帘石和磷灰石的 REE 配分与重熔型花岗岩相似,而昆崙山细粒含石榴石花岗岩中褐帘石和磷灰石的 REE 配分更接近于原地交代花岗岩。老师坟似斑状二长花岗岩接近于基性岩浆分异成因的花岗岩。

由昆崙山花岗岩、鹊山花岗岩和老师坟花岗岩副矿物的稀土分布型式(图 2,图 3,图 4)可见,昆崙山中粗粒花岗岩、细粒含石榴石花岗岩、鹊山中细粒花岗岩和老师坟似斑状二长花岗岩基本上是一致的,所以这些副矿物应属共同来源。褐帘石和楣石没有出现明显的负锔异常,只是昆崙山片麻状花岗岩的褐帘石出现了负锔异常。而磷灰石则均有明显的负锔异常,这表明成岩时氧逸度较低。

## 六、结 语

1. 本区元古代花岗岩昆崙山和鹊山岩体与燕山期柳林庄岩体及燕山晚期老师坟、院格庄和凉水湾岩体主要副矿物组合虽然无明显差异,但是前者副矿物种类远远多于后者,

表 10 昆嵛山、鹤山、老师坎花岗岩与不同成因花岗岩类副矿物的 REE 配分对比

花 岗 岩 类	矿 物	样 品 数	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	∑La-Nd	∑Sm-Ho	∑Er-Lu
			28.25	46.63	5.08	15.32	2.25	1.25	0.19	0.46	0.07	0.12	0.02	0.05	0.01	95.28	4.47	0.20	
昆嵛山中粗粒花岗岩	块状	2	28.25	46.63	5.08	15.32	2.25	0.19	0.46	0.07	0.12	0.02	0.05	0.01	95.28	4.47	0.20		
	片麻状	1	28.68	46.94	5.09	14.55	2.24	0.06	1.33	0.20	0.56	0.08	0.17	0.03	0.12	0.02	95.26	4.47	0.34
昆嵛山细粒石榴石花岗岩		1	28.37	46.37	5.04	14.73	2.27	0.33	1.60	0.22	0.62	0.10	0.17	0.03	0.08	0.01	94.51	5.14	0.29
鹤山中细粒花岗岩		1	30.64	47.53	4.91	13.79	1.60	0.22	0.73	0.14	0.20	0.03	0.06	0.02	0.02	0.01	96.92	2.92	0.11
再生侵入花岗岩(重熔)		22	26.06	50.13	5.19	15.58	1.36	0.09	0.48	0.05	0.51	0.06	0.17	0.02	0.26	0.02	96.96	2.55	0.47
原地交代花岗岩		14	24.70	48.93	4.56	16.56	1.99	0.09	1.59	0.14	0.59	0.05	0.34	0.08	0.34	0.02	94.92	4.42	0.78
昆嵛山中粗粒花岗岩	块状	3	11.92	30.18	4.50	19.68	6.01	1.20	7.31	1.18	7.24	1.48	4.22	0.59	3.75	0.64	66.28	24.42	9.20
	片麻状	1	8.52	22.05	3.67	19.86	7.66	0.26	10.71	1.82	11.41	2.12	5.69	0.78	4.71	0.68	54.10	33.98	11.68
昆嵛山细粒含石榴石花岗岩		1	7.19	25.40	3.77	15.87	7.48	1.58	11.75	2.04	12.76	2.26	5.55	0.67	3.41	0.45	52.23	37.87	10.08
鹤山中细粒花岗岩		2	13.26	35.44	5.02	22.80	6.02	2.02	5.32	0.75	4.12	0.81	2.20	0.28	1.71	0.28	76.52	19.04	4.47
老师坎似斑状二长花岗岩		1	19.57	46.83	5.69	19.60	2.77	0.35	1.93	0.29	1.13	0.24	0.68	0.11	0.63	0.10	91.69	6.70	1.52
再生侵入花岗岩(重熔)		25	13.58	34.12	6.40	22.18	6.73	0.58	7.63	0.96	4.28	0.63	1.40	0.20	1.22	0.13	76.23	20.80	2.95
原地交代花岗岩		7	6.25	24.81	3.63	27.62	8.74		11.64	1.15	5.30	1.72	4.54	0.93	3.53	0.13	62.31	28.55	9.13
基性岩		22	16.30	37.94	6.18	22.11	5.15	0.49	4.44	0.63	2.11	0.38	0.98	0.06	0.68	0.07	85.01	13.20	1.79
片麻岩和混合岩		14	7.87	25.35	5.50	30.99	6.96	0.40	0.87	0.55	5.85	0.99	3.41	0.51	2.51	0.24	69.71	23.62	6.67

注: 不同成因类型花岗岩副矿物的 REE 配分数据 B·B·Ляхвич。

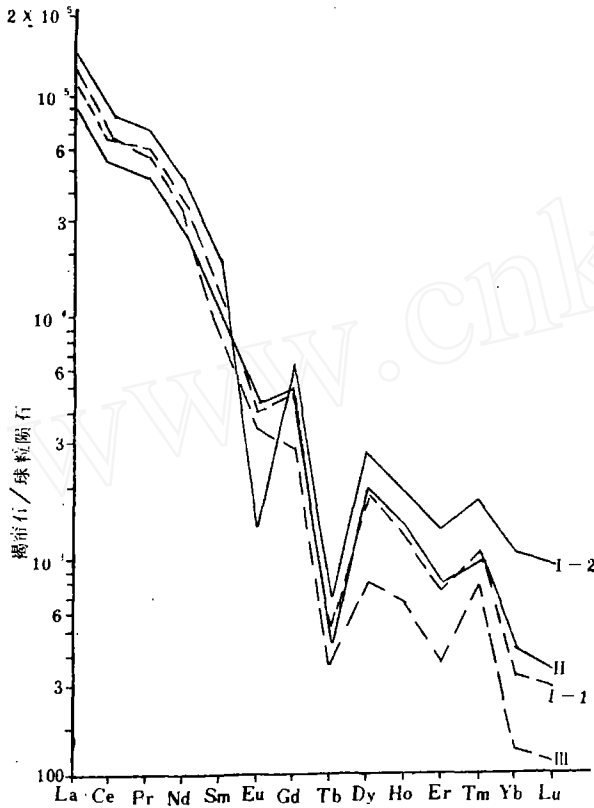


图2 昆嵛山和鹊山花岗岩副矿物  
褐帘石的REE组成模式

I-1. 昆嵛山中粗粒(块状)花岗岩; I-2. 昆嵛山中粗粒(片麻状)花岗岩; II. 昆嵛山细粒含石榴石花岗岩;  
III. 鹊山花岗岩

即元古代深熔花岗岩的副矿物组合较中生代同熔型花岗岩的更复杂。

昆嵛山花岗岩和鹊山中细粒花岗岩中绝大部分锆石晶体都稍具浑圆,熔蚀现象较明显,并有特殊形态的锆石,这种锆石自生和再生现象明显,具有次生加大、连晶和凸起等特点,个别见到包晶,反映了它们具有漫长的演化历史,可能部分属于重熔岩浆中的残留晶。锆石晶形主要为复杂的长柱状晶体。老师坟、院格庄岩体锆石的晶形为复杂的长柱状晶体,而凉水湾岩体中锆石为简单的长柱状晶体,均未见到有特殊形态的锆石。

2. 副矿物的组合、锆石的特征、副矿物的化学成分、微量元素和稀土元素的分析结果表明,本区各岩体的成因是复杂的,既有花岗岩交代作用(交代作用)和深

熔作用形成的花岗岩,又有岩浆分异结晶作用的产物。昆嵛山细粒含石榴石花岗岩和鹊山中细粒花岗岩属于交代成因的花岗岩,昆嵛山中粗粒花岗岩具有再生(深熔)花岗岩的特点。老师坟似斑状二长花岗岩接近于来自深部岩浆结晶分异成因的花岗岩。

3. 各岩体副矿物的化学成分及微量元素含量基本相似,而且副矿物的稀土模式又基本相同,表明中生代岩体的物质来源具有一定的继承性,即继承了元古代的花岗岩。

4. 昆嵛山细粒含石榴石花岗岩、鹊山中细粒花岗岩中石榴石的化学成分与胶东群黑云斜长片麻岩、含石榴石斜长角闪岩中石榴石的化学成分基本相同,均为铝质石榴石。可能表明花岗岩中的石榴石与胶东群变质岩有密切的成因联系,即来源于胶东群变质岩。

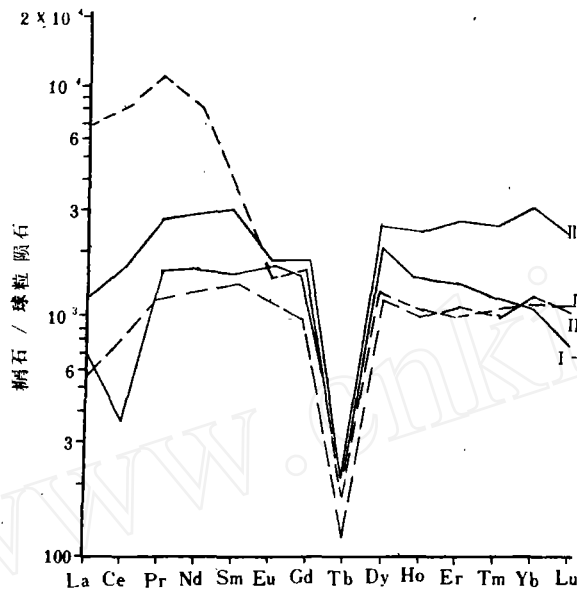


图 3 昆嵛山、鹊山和老师坟花岗岩副矿物榍石的 REE 组成模式

I-1. 昆嵛山中粗粒(块状)花岗岩; II. 昆嵛山细粒含石榴石花岗岩; III. 鹊山中细粒花岗岩; IV. 老师坟似斑状二长花岗岩

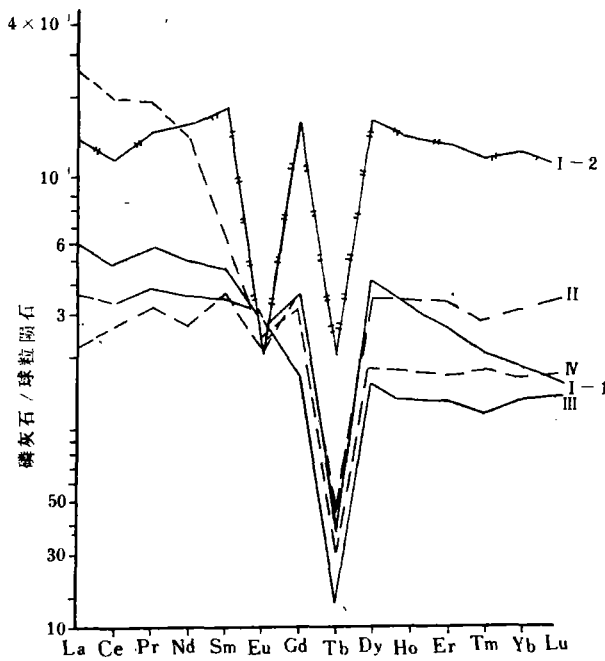


图 4 昆嵛山、鹊山和老师坟花岗岩副矿物磷灰石的 REE 组成模式

I-1. 昆嵛山中粗粒(块状)花岗岩; I-2. 昆嵛山中粗粒(片麻状)花岗岩; II. 昆嵛山细粒含石榴石花岗岩; III. 鹊山中细粒花岗岩; IV. 老师坟似斑状二长花岗岩

文中矿物的化学成分由山东省地质矿产局实验室分析,矿物的稀土元素由湖北实验研究中心测定,在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 安家桐等,1988,山东牟平—乳山地区金矿控矿条件的研究。中国金矿主要类型区域成矿条件文集,5. 胶东地区。地质出版社。
- [2] 南京大学地质系,1981,华南不同时代花岗岩类及其成矿关系。科学出版社。
- [3] 长春地质学院贺同等,1980,变质岩石学。地质出版社。
- [4] 赵振华,1978,稀土元素地球化学特征及其在岩石和矿床成因中的应用。地质地球化学,第9期。
- [5] 武汉地质学院地质系矿物教研室,1984,成因矿物学应用。武汉地质学院。
- [6] 薛君治,1982,成因矿物学简明教程。武汉地质学院。

**CHARACTERISTICS AND GENESIS OF  
THE ACCESSORY MINERALS  
IN THE GRANITIC ROCKS  
IN THE MOUPIN-RUSHAN  
REGION, EASTERN SHANDONG**

Zhang Qicheng, Shen Kun, Zhao Zhigao,

*(Laboratories of Shandong Bureau of Geology  
and Mineral Resources)*

An Jiatong and Yu Dongbin

*(The 3rd Geological Brigade,  
Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources)*

**Abstract**

In this paper the petrological characteristics of the granitic rocks in the Moupin-Rushan region are presented; the features of the accessory mineral assemblage, especially those of zircon and those in terms of chemistry, trace and rare earth elements of the accessory minerals are expounded. On this basis, the origins of the granites are discussed. It is suggested that the genesis of the granites in the region is complex in that they are formed by granitization (metasomatism), anatexis and magmatic fractionation.