

山东雁翎关地区雌山混合花岗岩 地球化学特征及其成因

万 渝 生

(中国地质科学院地质研究所)

一、地质背景

雁翎关地区位于山东泰安东南四十余公里处(图1)。本区出露泰山群变质岩系,受到中压相系的角闪岩相区域变质作用,变质时代大于24亿年。

雌山混合花岗岩带分布于东石棚—马家雌山西南和磨石山香水河东北的狭长地带(图1)。岩体走向北西—南东,与区域构造线方向一致,围岩为泰山群的山草峪组黑云变粒岩。构成雌山混合花岗岩的主体岩石为中粒黑云混合花岗岩和斑状黑云混合花岗岩(以下简称中粒和斑状混合花岗岩),另外也见中粗粒、中细—细粒黑云混合花岗岩。空间上,不同类型的岩石具有分带现象(图1),相互为渐变关系(图2)。

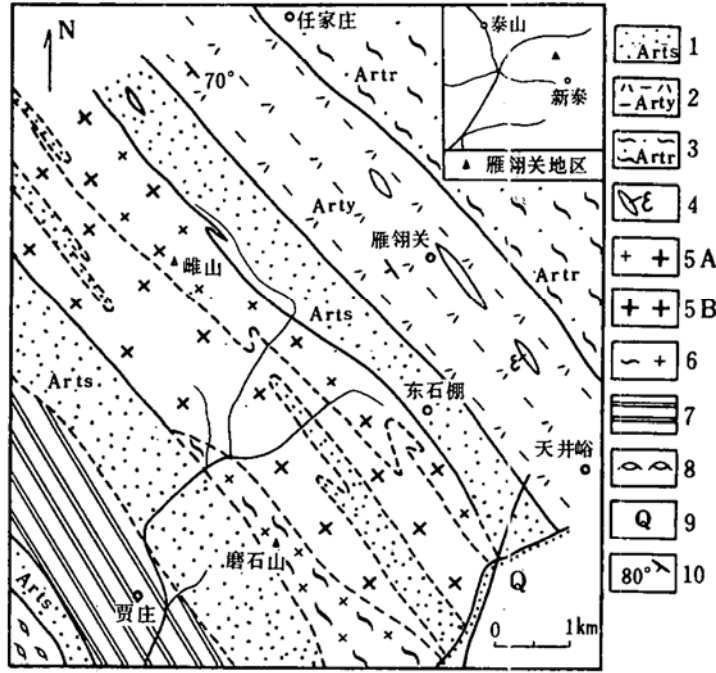


图 1 雁翎关地区地质略图
(引自程裕洪等, 略加修改和简化)

Fig.1 Geological sketch map of Yanlingguan area

1—山草峪组黑云变粒岩, 2—雁翎关组斜长角闪岩和角闪变粒岩, 3—任家庄组黑云奥长均质混合岩, 4—变超基性岩, 5—雌山混合花岗岩, 5A—斑状黑云混合花岗岩, 5B—中粒黑云混合花岗岩, 6—磨石山混合岩带, 7—贾庄混合岩化带, 8—单家峪混合岩化带, 9—第四系, 10—叶理产状

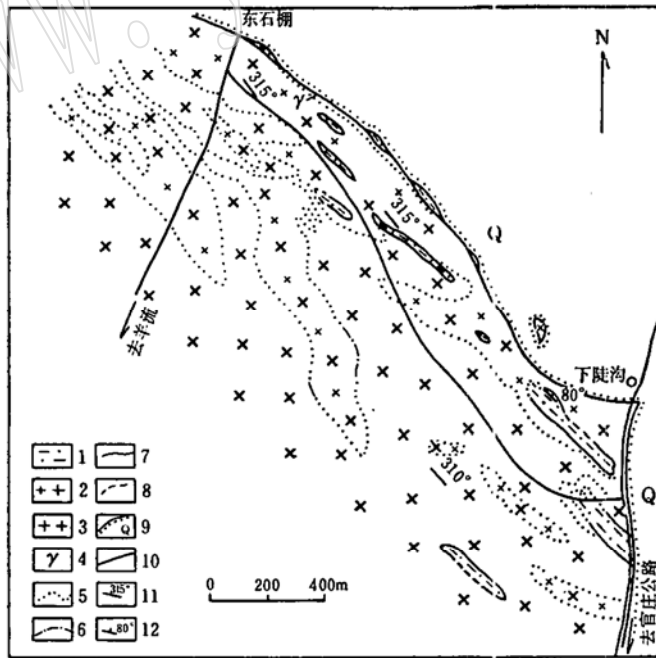


图 2 雌山混合花岗岩岩体东北部地质图

Fig.2 Geological map of north-east part of Cishan migmatite granite

1—黑云变粒岩, 2—斑状黑云混合花岗岩, 3—中粒黑云混合花岗岩, 4—伟晶质花岗岩, 5—渐变地质界线 (实测), 6—渐变地质界线 (推测), 7—突变地质界线 (实测), 8—突变地质界线 (推测), 9—第四系覆盖, 10—公路, 11—线理产状, 12—叶理产状

分布于岩体东南部的磨石山混合岩带,可进一步划分为边缘混合岩和均质混合岩两类,前者与雌山混合花岗岩同时形成,后者形成于雌山混合花岗岩之前。在一些均质混合岩中,有枣核状长英质集结体定向分布。

黑云变粒岩为岩体中的主要残余体^①,这种残余体在岩体北部比南部分布要少,二者之间存在一定的差异。

岩体北侧与围岩为清楚的侵入接触关系,岩体南侧磨石山混合岩带为混合交代过渡关系,但在磨石山的北西,一般为侵入接触关系。

不同类型岩体的岩石和残余体的分布特征和接触关系的变化表明岩体在空间上存在着南北差异。推测在岩体形成前或形成过程中,在北侧曾存在过断层作用^[1]。

二、地球化学特征

(一) 岩石化学

雌山混合花岗岩的九个分析样品取自岩体的不同地点,岩石类型也不尽相同(表1)。它们与戴里的前寒武纪花岗岩平均化学成分相似,共同特征是 $K_2O > Na_2O$, $K_2O + Na_2O$ 较高, $FeO + Fe_2O_3 + MgO + MnO + CaO$ 低。在斯特雷凯森的分类图上^[2],样品集中于花岗岩3a区,两个均质混合岩的投影点位置与混合花岗岩的重叠,表明成分一致。

(二) 微量元素地球化学

与维诺格拉多夫(1962)^[3]的花岗岩中微量元素含量相比较,雌山岩体中亲铁元素V、Cr、Co、Ni、P和Ba、Sr、Mn、Ti等亲石元素相对较贫,表明雌山混合花岗岩更偏酸性,对比两者的常量元素含量,也可看出这点。但是,雌山混合花岗岩中相对贫化Nd、Zr、F、La、Ce、Nb、Sm、Gd、Yb、Y等亲石元素。一个岩体同时贫化两类性质完全不同的元素,难以用岩浆结晶分异作用来解释,推测雌山混合花岗岩贫亲石元素与其母岩成分特征有关。

对华南花岗岩的研究表明^[4],元素Nb在黑云母中比在石英、长石中的含量要高一个数量级。本区黑云变粒岩和混合花岗岩中的Nb含量相近,表明在熔出低熔组份时,黑云母受到分解,对元素铋也可作类似的说明。这一结论与如下推测吻合:由于黑云变粒岩中微斜长石含量较低,要从中提取出富钾组份,黑云母必遭到破坏,同样,铅在混合花岗岩中的含量高于在黑云变粒岩中的含量,与微斜长石是铅的主要载体有关。

1. 科里尔图解

在科里尔图上(图3),曲线显示出明显的W形,与典型的岩浆岩完全一致,其中Ni的峰谷比Cr的更低。可把曲线分为两组:均质混合岩、细粒混合花岗岩以及中粒和斑状混合花岗岩为一组,它们的图形几乎完全重合,这提供了中粒及斑状混合花岗岩由均质混合岩熔融形成的证据;另一组为黑云变粒岩,它与前一组图形的形状十分相似,只是整个图形向上移动了一定距离。根据野外和镜下特征,均质混合岩是由黑云变粒岩经混合岩化作用而形成(混合岩化作用概念见成因讨论一节),它具有明显的W图形。

根据镜下和野外特征,黑云变粒岩的原岩为具有硬砂岩性质的粉砂岩^[1],由于黑云变粒

① 这里所指的残余体既包括交代熔融后残留下来的物质,也包括从围岩中捕虏的物质。

表 1 雌山混合花岗岩和有关岩石的化学成分
Table 1 Chemical compositions of Cishan migmatitic granite and relating rocks

编号	样品号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	P ₂ O ₅	CO ₂	灼碱	合计
1	By(2s)336	中细粒黑云混合花岗岩	73.08	0.21	14.05	1.12	0.46	0.021	0.44	1.22	3.52	5.00	0.66	0.10	0.12	0.11	—	100.11
2	Ay563	中粒黑云混合花岗岩	71.94	0.21	12.86	0.24	1.85	0.032	0.78	1.46	3.82	4.90	0.65	0.10	0.08	—	0.44	100.36
3	Ay564	同上	72.77	0.20	13.73	0.46	1.62	0.043	0.66	1.27	3.74	4.80	0.50	0.10	0.086	—	0.23	100.21
4	Ay567	同上	72.31	0.21	13.92	0.22	1.56	0.045	0.53	1.44	3.82	5.02	0.53	0.13	0.085	—	0.18	100.00
5	Ay569	斑状黑云混合花岗岩	72.12	0.19	14.18	0.17	1.61	0.049	0.60	1.27	3.62	4.79	0.72	0.17	0.069	—	0.45	100.01
6	Ay570	同上	72.48	0.18	13.77	0.68	1.62	0.045	0.41	1.38	3.80	5.02	0.50	0.10	0.062	—	0.31	100.36
7	Ay566	中粒黑云混合花岗岩	71.32	0.21	14.08	0.27	2.03	0.048	0.85	1.64	3.52	4.80	0.68	0.10	0.095	—	0.29	99.93
8	JW103	同上	69.88	0.16	14.64	1.16	1.61	0.05	1.16	2.16	3.83	4.65	0.16	0.10	0.15	—	—	98.71
9	Ay1361	同上	71.86	0.20	14.82	0.14	1.81	0.02	0.40	1.69	3.93	4.98	0.10	0.06	0.01	0.15	—	100.17
10		2—9 平均	71.84	0.20	14.63	0.42	1.71	0.042	0.67	1.54	3.76	4.86	0.48	0.11	0.079	—	—	100.04
11		前寒武纪花岗岩	71.06	0.48	14.10	1.46	1.63	0.18	0.59	1.97	3.24	4.50	0.69	—	0.10	—	—	99.72
12	Ay1154	枣核状均质混合岩	71.38	0.32	13.75	0.82	1.71	0.01	0.90	1.45	3.95	4.97	0.54	0.08	0.08	0.09	SO ₃ 0.02	99.72
13	Ay1150	均质混合岩	71.30	0.34	14.89	0.82	1.72	—	0.51	1.54	3.08	4.80	0.22	0.20	0.09	0.18	—	100.54
14		12—13 平均	71.34	0.33	14.32	0.82	1.72	0.01	0.71	1.50	3.52	4.89	0.38	0.14	0.085	0.135	—	100.68
15	Ay251	黑云变粒岩	60.64	0.18	17.82	5.41	0.81	0.10	2.53	2.81	3.25	2.78	2.41	0.25	0.11	0.16	—	99.26
16	Ay1010	同上	64.52	0.64	16.32	0.56	4.99	0.12	2.42	2.44	4.38	3.30	0.54	0.14	0.09	0.26	—	100.54
17	Ay490	同上	66.14	0.34	16.10	1.67	3.83	0.07	1.68	2.74	4.02	2.35	0.87	0.27	0.129	—	0.47	100.68
18	Ay491	轻微混合岩化黑云变粒岩	66.17	0.30	14.87	1.34	5.64	0.07	1.68	2.80	3.66	2.67	0.75	0.24	0.134	—	0.05	100.37
19	Ay492	黑云变粒岩	69.09	0.31	14.91	1.38	3.57	0.05	1.37	2.05	3.84	2.71	0.93	0.21	0.088	—	0.26	100.77
20		15—19 平均	65.31	0.35	16.00	2.07	3.77	0.08	1.94	2.57	3.83	2.76	1.10	0.22	0.11	—	—	100.77

注: 1号样品由中国地质科学院岩矿测试技术研究所测定, 其余引自程裕祺等 (1977) (1)

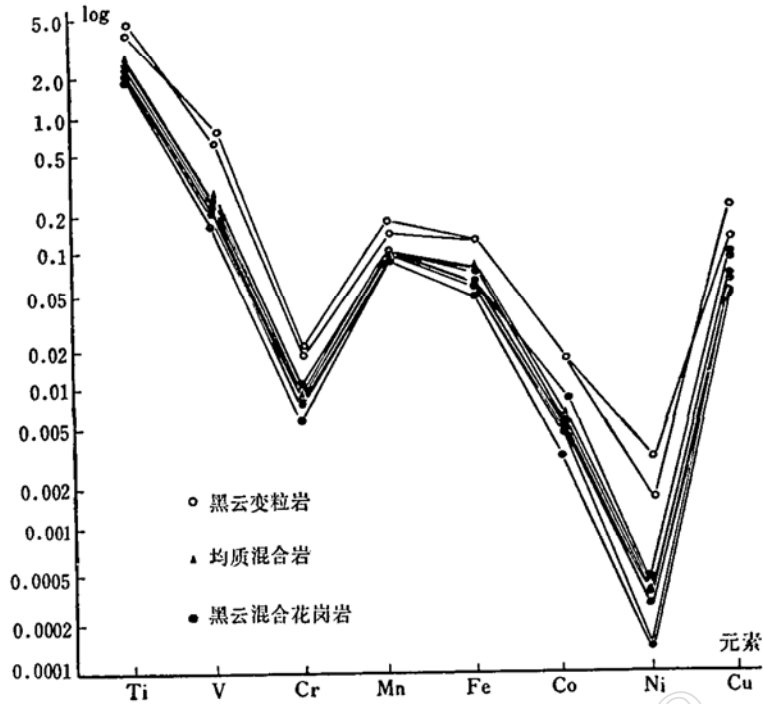


图 3 雌山混合花岗岩和有关岩石的科里尔图解

Fig.3 Coryell diagram for Cishan migmatitic granite and relating rocks

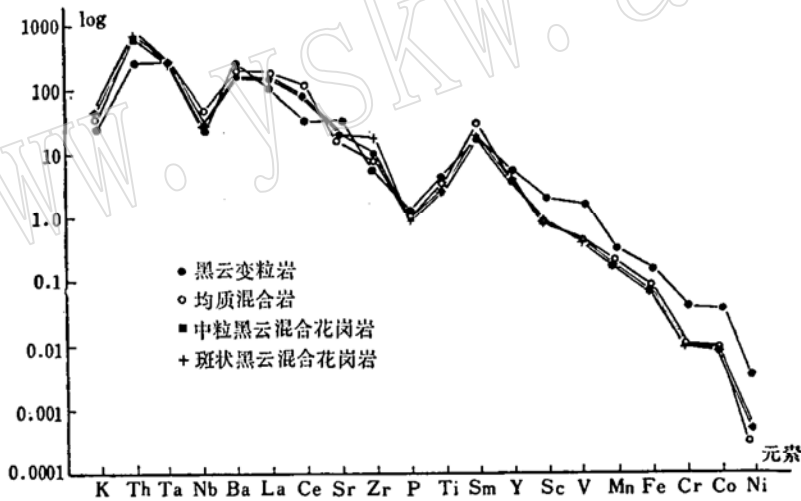


图 4 雌山混合花岗岩和有关岩石的孙氏图解

Fig.4 Sun's diagram for Cishan migmatitic granite and relating rocks

岩有完好的W图形，推测这些沉积岩的原岩与火成岩类有关。

2. 孙氏图解

孙贤铤把元素按相容性顺序排列作为横坐标，样品的元素含量除以球粒陨石值作为纵坐标作图，所得的图解简称为孙氏图解^①。把本区岩石按同样的方法作图（图4），其总体趋势与大洋基性、超基性岩相似，这可能表明在不同岩性的火成岩中，元素相容性的相对顺序变化不大，与后者相比较，本区岩石的图形更陡斜一些，这与酸性岩类中相容元素和不相容元

① 万渝生，1985，研究花岗质岩石的一种地球化学方法——孙氏图解的应用，《国外花岗岩区填图方法研究》，地质矿产部地质情报研究所。

素含量的差异比基性、超基性岩中的差异大的特征相吻合,说明在岩石演化发展过程中,由于元素性质不同而引起了分异,岩石演化越强,分异就越明显。

从图4中可见,(1)中粒和斑状混合花岗岩的曲线几乎重合,说明两类岩石的成分一致;(2)均质混合岩和混合花岗岩的曲线重合,支持了后者是由前者熔融而形成的观点;(3)与科里尔图解一样,可把图形分为两组,它们相交呈X形,推测元素在混合岩化作用过程中与在结晶分异作用过程中的行为大致相反,即在岩浆演化后期富集的元素,在部分熔融作用的早期富集。

由于黑云变粒岩与岩浆岩的曲线形状特征相似,也可作出其母岩(沉积岩)的来源物为火成岩类岩石的推论。

(三) 稀土元素地球化学

表2 雌山混合花岗岩和有关岩石的稀土元素含量及参数

Table 2 REE abundance (ppm) and some parameters of Cishan migmatitic granite and relating rocks

元素	顺序号	1	2	3	4	5	6	7
	样品号	By(2s)319	By(2s)253	By(2s)203	By(2s)336	By(2s)204	By(2s)216	By(2s)200
La		28.15	59.31	33.02	44.38	43.46	43.24	52.82
Ce		53.67	119.90	59.15	97.18	86.77	88.41	102.50
Pr		6.32	12.28	5.87	9.51	8.89	8.89	10.19
Nd		22.95	40.35	18.96	30.44	29.03	29.11	32.41
Sm		4.13	5.51	2.80	4.34	4.38	4.15	4.72
Eu		1.04	0.71	0.57	0.55	0.64	0.59	0.64
Gd		3.20	3.47	1.80	2.46	2.65	2.20	2.70
Tb		0.43	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Dy		2.28	2.32	1.23	1.55	1.81	1.10	1.81
Ho		0.44	0.40	0.22	0.28	0.31	0.17	0.29
Er		1.29	1.27	0.69	0.37	0.97	0.57	1.00
Tm		0.20	0.15	0.12	0.11	0.13	<0.10	0.10
Yb		1.12	1.03	0.57	0.70	0.89	0.46	0.72
Lu		0.21	0.19	<0.1	0.14	0.23	0.13	0.25
Y		10.82	10.56	5.55	7.39	8.42	3.89	7.45
Sc		8.27	3.69	2.96	3.16	3.22	3.05	3.12
Σ REE		144.52	261.39	133.84	203.71	192.05	186.29	220.97
δE_L		0.85	0.47	0.73	0.47	0.54	0.54	0.51
La/Yb		25.13	57.58	57.93	62.26	48.83	94.00	73.36
$\Sigma Ce/\Sigma Y$		7.11	15.03	14.24	17.24	13.62	27.08	17.50

注: By(2s)319为黑云变粒岩, By(2s)253为均质混合岩, 其余为混合花岗岩。由中国地质科学院岩矿测试技术研究所用等离子光谱法测定。

稀土分析数据和某些参数值列于表2。可见, 几类岩石具有相似的特征, 稀土总含量低于维诺格拉多夫(1962)花岗岩的平均值, 但比维氏花岗岩更富轻稀土。 $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 比值在7.11~27.08之间, La/Yb比值在25以上, 最大达94, 而维氏花岗岩的 $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 比值为5.04, La/Yb比值为6。进一步分析表明, 其原因主要是维氏花岗岩中的Y, Yb含量较高之故。

在稀土模式图上(图5, 用Leedey球粒陨石值标准化^[5]), 均质混合岩和混合花岗岩的模

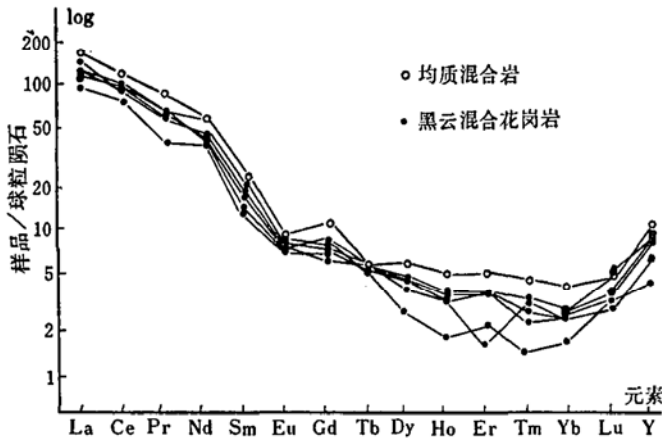


图 5 (1) 雌山混合花岗岩的稀土分配模式

Fig.5(1) REE patterns of Cishan migmatitic granite

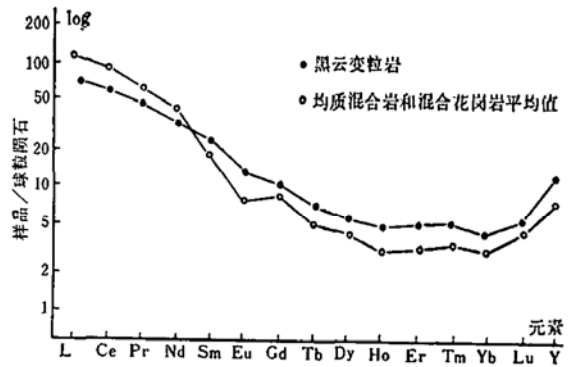


图 5 (2) 黑云变粒岩和雌山混合花岗岩的稀土分配模式

Fig.5(2) REE patterns of biotite leptynite and Cishan migmatitic granite

式图形呈向右较大的倾斜状,重稀土部分基本呈水平状(个别的跳跃可能与分析误差有关),在元素Y处又向上升。Eu只有轻微的亏损。这种稀土模式图为所谓典型的“花岗岩化”和重熔花岗岩所具有^[6],实质是岩体的形成没有经过或只经过微弱的结晶分异作用。本区均质混合岩,细粒、中粒及斑状混合花岗岩的稀土模式图形的一致性为此说提供了又一个证据。

对比黑云变粒岩和其他类型岩石的稀土模式图,可见黑云变粒岩相对于其他岩类贫化轻稀土而稍富集重稀土,两者相交于元素Sm处。与黑云变粒岩相比,其他类型岩石中Eu轻微亏损,这与后者中斜长石含量较低有关。

根据以上的讨论可以看出:

1. 中粒混合花岗岩和斑状混合花岗岩在成分上十分一致,所以,其外貌上的差异在于形成条件不同。

2. 均质混合岩,细粒混合花岗岩,中粒及斑状混合花岗岩在化学成分上属于同一类型的岩石,为中粒及斑状混合花岗岩,由均质混合岩在相对封闭条件下发生熔融而形成的假说提供了有力证据,同时表明雌山混合花岗岩没有经过明显的结晶分异作用。

3. 如果均质混合岩,细粒混合花岗岩,中粒及斑状混合花岗岩在化学成分上属于同一类型的岩石,则可推测,在某些情况下,由岩浆结晶分异作用形成的岩石所具有的成分特征,由交代熔融作用(其概念见成因讨论一节)形成的岩石也能具有。这应从交代物质的来源、交代熔融过程中各元素的地球化学行为等方面进行深入的研究。本区被交代熔融的黑云变粒岩具有火成岩类的成分特征,交代物质又是由黑云变粒岩经低程度的熔融形成,所以,均质混合岩明显继承了黑云变粒岩的成分特征并具有岩浆岩的成分图解形式。

4. 混合花岗岩与黑云变粒岩的微量元素成分特征既有差异又有联系。它们的各种图解相近,所以,黑云变粒岩对岩体产生的各种混染作用不会给混合花岗岩的成分图解带来很大的变化。

5. 根据黑云变粒岩的岩石化学和微量元素含量,推测其沉积母岩可能与中酸性火成岩

关系密切，这与以往推测其原岩为具有硬砂岩性质的粉砂岩的结论吻合。

(四) 测得雌山混合花岗岩中锆石铀铅一致曲线年龄为23.96亿年，属晚太古-早元古时代。本区变质高峰期大致与此相同或稍早，故山草峪组黑云变粒岩原岩沉积时代应更早。

在地球历史的早期阶段，沉积物的原岩，地质地貌条件，外生作用的物理化学条件等方面，与现在相比具有很大的差异，作为沉积作用的产物沉积岩，也必定会存在差异。在太古代，沉积原岩主要是一些火成岩类岩石（如基性火山岩、酸性火山岩，英云闪长岩，奥长花岗岩等），以沉积岩作为沉积原岩的不多。另外，当时火成活动和地壳的升降运动强烈，沉积物受风化剥蚀、搬运时间不长就发生沉积，所以能较多地保留火成岩类的化学成分特征。根据岩石学，地球化学研究，看来山草峪组黑云变粒岩也符合这一普遍规律。随着地质历史的演化，沉积岩的化学组成会发生有规律的变化，这一看法已得到普遍的承认。

一般认为，太古代的英云闪长岩和奥长花岗岩是大陆增生地壳加厚的结果，它们来自下部较基性岩石的部分熔融（I型花岗岩），其原岩没有经过外生作用，具有 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ，低铝高钙等特点。雌山混合花岗岩成分上不属于英云闪长岩和奥长花岗岩，在微量元素含量上也与后者有较大差异，其原因可能是雌山混合花岗岩的原岩是有过外生作用影响的黑云变粒岩之故。

三、雌山岩体的成因讨论

从均质混合岩、细粒、中粒及斑状混合花岗岩在化学成分上的一致性，以及它们对黑云变粒岩化学成分的继承性和时空上的分布规律，推测它们具有成因联系。

区域变质岩，混合岩和花岗岩的共生意味着它们之间存在某种联系。“混合岩化作用是岩浆作用的一个特殊范畴”^①，两者既有区别又有联系。笔者认为，可把混合岩化作用看成是这样一种交代熔融过程。在该作用过程中，熔融作用和交代作用同时进行，构成同一作用过程的不同方面（体系是开放的，可有大量长英质物质加入）。熔融引起交代，交代引起更

强烈的熔融，两者相互促进，随着温度的升高，水压的增大，熔体逐渐增多，最后过渡到岩浆作用阶段。在古老变质岩区，对于由围岩经交代熔融形成的花岗岩来说，由于它们形成温度一般较低，所以决定其成分特征的主要因素不是它们自身的后期演化，而是岩体所处环境的地球化学特征。由于存在元素的地球化学分区，即使是相同的壳源型花岗岩，微量元素组成和稀土模式也可能存在较大的区别。雌山混合花岗岩的化学组成明显受围岩黑云变粒岩的制约。

结论：均质混合岩是由黑云变粒岩经混合岩化作用而形成；雌山岩体是由均质混合岩在

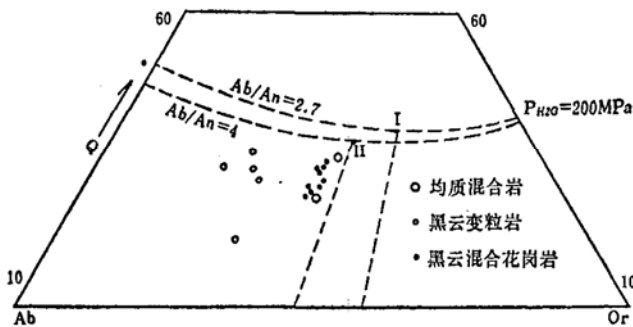


图 6 雌山混合花岗岩和有关岩石的Q—An—Ab—Or—H₂O图解

Fig.6 Q—An—Ab—Or—H₂O diagram for Cishan migmatitic granite and relating rocks

① 程裕淇 (1982), 野外工作谈话记录。

封闭条件下的熔融作用而形成,由图6推测,形成温度约为680℃,水压约为400MPa^[7];斑状混合花岗岩中的微斜长石斑晶形成于岩浆演化后期,可能与断层作用有关。

致谢,本文为研究生论文的一部分,在写作过程中,程裕淇、沈其韩先生给予了具体指导,笔者表示深深的谢意。

参 考 文 献

- [1] 程裕淇,沈其韩,王泽九,1977,山东新泰雁翎关一带泰山群变质岩系的初步研究,地质矿产研究,第五期。
- [2] Streckeisen, A., 1976, To each plutonic rocks its proper name, Earth Science Review 12.
- [3] 武汉地质学院地球化学教研室,1979,地球化学,地质出版社。
- [4] 中国科学院地球化学研究所,1979,华南花岗岩类的地球化学,科学出版社。
- [5] Masuda, A., 1975, Abundances of monoisotopic REE consistent with the Leedey Chondrite values.
- [6] 南京大学地质系,1981,华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系,科学出版社。
- [7] Winkler, G. F., 1973, Petrogenesis of metamorphic rocks, 4th Edition.

Geological and Geochemical Characteristics and Genesis of Cishan Migmatitic Granite in Yanlingguan District, Shandong

Wan Yusheng

Cishan Migmatitic granite occurs in the Shancaoyu Formation of the Taishan Group and extends from NW to SE. The pluton can be divided into three belts from north to south: 1) Porphyric migmatitic granite belt, 2) medium-grained migmatitic granite belt, 3) Moshishan migmatite belt.

There are two types of migmatites in the Moshishan migmatite belt: 1) homogeneous migmatite, which had been formed before the formation of the Cishan migmatitic granite, 2) marginal migmatite, which was formed in the course of the pluton emplacement.

Homogeneous migmatite inherit chemically biotite leptynite characters. Homogeneous migmatite, medium-grained and porphyric migmatitic granites are chemically same. There are a lot of remnants of biotite leptynite in the homogeneous migmatite and migmatitic granites, and there are systematically changing of zircon traits and accessory mineral associations in these rocks mentioned above.

It is suggested that homogeneous migmatite is formed from biotite leptynite by migmatization, Cishan pluton is formed from homogeneous migmatite by melting under closed system conditions, and the microcline porphyric crystal in porphyric migmatitic granite is formed in the later of the magma evolution.