

山东省花岗岩的成因分类刍议

徐金方

(山东省地质科学研究所)

提要 根据地质构造背景、形成机制、物质来源、岩石共生组合、岩体地质、岩石学、矿物学、地球化学和同位素地球化学特征,将山东花岗岩划分为四个成因系列、十个成因类型。即:Ⅰ.前寒武纪地壳改造系列;Ⅰ.1.原地交代型;Ⅰ.2.异地深熔型;Ⅰ.3.大陆板块碰撞型;Ⅰ.4.高级变质型;Ⅱ.同熔系列;Ⅱ.1.结晶分异型;Ⅱ.2.岩浆混合型;Ⅲ.碱性系列;Ⅲ.1.结晶分异型;Ⅲ.2.下部地壳重熔型;Ⅳ.幔源系列;Ⅳ.1.结晶分异型;Ⅳ.2.分熔型。原地交代型按其被改造原岩的性质,可划分为正变质和副变质亚型。

自70年代以来,国内外地质学家对花岗岩成因分类的讨论达到了高潮。国外具有代表意义的是 Chappell 和 White 提出的分类,其中心思想是:花岗岩是由地壳物质经熔化作用形成的,由未经地表风化的火成岩溶化而成的花岗岩称之为 I 型;由沉积岩溶化而形成的花岗岩称之为 S 型^[1]。日本学者 Ishihara 以花岗岩中的副矿物作为标志,将花岗岩分为磁铁矿型和钛铁矿型^[2]。Loiselle 和 Wones 把非造山、碱性、无水特征的花岗岩命名为 A 型花岗岩。英国学者 Pitcher 总结了各类花岗岩产出的大地构造背景,M 型花岗岩主要产在大洋岛弧;科迪勒拉 I 型产在活动大陆边缘;加里东 I 型产在造山期后隆起带;S 型产在大陆碰撞褶皱带和克拉通内韧性剪切带;A 型花岗岩产在裂谷区^[4]。Pearce 利用 Nb、Y、Ta、Yb 和 Rb 等微量元素资料,将花岗岩分为岛弧花岗岩、碰撞花岗岩和洋脊花岗岩。法国学者 Didier 根据对花岗岩中包体的研究,将花岗岩分为 C 型花岗岩和 M 型花岗岩^[5]。我国的花岗岩类研究以华南为详,徐克勤及其同事们基于长期对华南花岗岩的研究成果,将花岗岩划分为四个成因系列,即大陆地壳改造系列;过渡型地壳同熔系列;碱性系列和幔源系列^[6,7]。涂光炽等指出华南存在着两个碱性岩带,即东部沿海南澳—长乐带和西南地区哀牢山—金沙江带^[8]。王联魁等将华南花岗岩划分为两个成岩成矿系列——以地壳重熔为主要物质来源的长江系列和以地幔或地壳下部为主要物质来源的长江系列^[9]。吴利仁在对我国东部火山岩研究的基础上,将中国东部中生代花岗岩乃至所有的岩浆岩划分为幔源型、幔壳混合型和壳源型^[10]。

众所周知,大洋中的花岗岩极少,绝大多数分布在大陆。从某种意义上说,花岗岩是陆壳的象征。因此,它的成生与发展脱离不开孕育它的地壳。由于大地构造背景的不同,地壳的物质组成、岩浆活动以及变质作用等方面是因地而异的。与华南相比,山东的陆壳至

本文 1989 年 12 月收到,1990 年 5 月改回。

少在以下几个方面有明显不同:1. 山东的结晶基底是太古代;2. 基底岩石中中基性火山岩占了相当大的比例;3. 即使是正常的沉积岩,其成熟度也比华南低得多;4. 变质程度深,局部可达麻粒岩相;5. 基底中 TTG 组合相当发育;6. 高级变质区(麻粒岩相变质区)发育紫苏花岗岩类;7. 中生代位于大陆边缘,构造活化强烈;8. 岩石类型以花岗闪长岩、二长花岗岩占优势,普通花岗岩较少。因此,山东花岗岩的成因分类不能机械地照搬国外或华南的分类准则,尤其是化学准则。

本文依据大地构造背景、形成机制、物质来源、岩石组合、岩体地质以及岩石学特征,将山东花岗岩类划分为四个成因系列,10个成因类型(表1)。

表1 山东花岗岩成因类型初步划分

成因系列	前寒武纪地壳改造系列				同熔系列		碱性系列		幔源系列		
	原地交代型		异地深熔型	大陆板块碰撞型	高级变质型	结晶分异型	岩浆混合型	结晶分异型	下部地壳重熔型	结晶分异型	分熔型
成因类型											
亚型	正变质型	副变质型									
实例	双顶岩体	雌山、磁山、云岩体等	傲徕山、罗山、红石头岩体	垛崮顶岩体	雪山、马山体	七宝山、香芥、王家庄、铜井等岩体	郭家岭、伟德山、牙院格庄岩体等	龙宝山、郝山岩体	崂山岩体	泰山杂岩 (TTG)	栖霞地区的 TTG

一、前寒武纪地壳改造系列

前寒武纪地壳改造系列花岗岩是指太古代和/或早元古代中深变质基底经过混合岩化、花岗岩化、部分熔融、重熔或深熔再生作用形成的花岗岩类。按照其形成机制、构造背景及围岩的变质条件,可分为原地(半原地)交代型花岗岩、异地岩浆型花岗岩、大陆板块碰撞型花岗岩和高级变质型花岗岩。

1.1 原地(半原地)交代型花岗岩

原地(半原地)交代型花岗岩的特征是,空间上与变质岩、混合岩构成“三位一体”,相

互之间呈渐变过渡接触关系,岩体中发育交代残留体、残影体,在物质组份上取决于源岩的特征,具有明显的继承性^[11]。按照源岩的性质,可分为两个亚类:一是由正变质岩改造形成的花岗岩,如双顶岩体(狭义的玲珑花岗岩);二是由副变质岩改造形成的花岗岩,如鲁西雌山岩体,鲁东磁山岩体、云山岩体等。前者在岩石化学、地球化学及同位素地球化学特征上相当于 I 型或 M 型,后者相当于 S 型。由于前寒武纪正常沉积岩的成熟度较低,相对于 Chappell 和 White 提供的判别标志(化学标志)是有区别的。

双顶片麻状花岗闪长岩是由正变质岩改造形成的典型代表^[12]。其围岩是太古代胶东群的灰色片麻岩,相互呈渐变过渡接触关系。岩体中发育交代残留体,产状与围岩一致。实测矿物平均含量为:石英 26.1%、斜长石 46%、钾长石 19.5%、黑云母 5.1%。黑云母为镁铁黑云母, $MF=0.3$ 。麻石型副矿物组合。由 16 件硅酸盐全分析平均值计算的岩石化学参数: $ANKC^D=1.0$, $Al^*=11$, Na/K (原子数)=1.77, $NKA^*=0.79$, $Ox=0.18$ 。 $\sum REE=144PPm$, $\delta_{Eu}=0.89$, $\delta^{18}O=10.27\%$, $I_{sr}=0.7028$, $\epsilon Nd(T)=+3.4$ 。

鲁西雌山岩体是由泰山群山草峪组黑云变粒岩改造而形成的,是副变质岩改造形成的代表。由均质混合岩、混合花岗岩和混合二长花岗岩组成。岩体与围岩的接触关系清楚,岩带之间渐变过渡。13 件硅酸盐全分析平均值计算的岩石化学参数: $ANKC=1$, $Al^*=1$, $Na/K=1.16$, $NKA=0.79$, $Ox=0.25$ 。 $\sum REE=257PPm$, $\delta_{Eu}=0.54$, $\delta^{18}O=9.48$ 。

1.2. 异地岩浆型花岗岩

该类花岗岩的特征是与围岩呈明显地侵入接触关系。岩体中发育熔融残留体,其产状多数与围岩不谐调,在源岩熔化比例高的情况下,发育富云母包体。在岩石化学及地球化学特征上,取决于源岩中火成岩和沉积岩的比例以及部分熔融的程度。一般而言,部分熔融的程度低或源岩中副变质岩占绝对优势,其特征类似于 S 型或副变质岩改造型。如罗山岩体,其 $I_{sr}=0.7106$;部分熔融的程度高或源岩中正变质岩占绝对优势,其特征类似于正变质改造型或 I 型。如傲徕山岩体,其 $I_{sr}=0.7028$, $\epsilon Nd(T)=+0.2-+1.0$ ^[13];中等程度部分熔融或源岩中正副变质岩比例相当,其化学特征则介于二者之间。如红石头岩体, $I_{sr}=0.7083$, $\delta^{18}O=7.7-9.1\%$ 。

1.3 大陆板块碰撞型

乳山县垛崮顶绿帘石花岗闪长岩是该类花岗岩的典型代表^[12]。它产在扬子地块与华北地块的分界线—五荣断裂带上,以含岩浆结晶的绿帘石为特征。绿帘石 1.5—3.5mm,自形晶,含量 2—7%,往往被黑云母所包裹,被石英和斜长石交代,析出细粒磁铁矿,磁铁矿组成绿帘石自形晶的轮廓,有时呈环带状,显示出岩浆结晶的特点。根据 Nancey 的实验资料,绿帘石的形成压力在 $8.10^8 p_0$ 左右^[14]。绿帘石花岗闪长岩与五荣断裂带上的榴辉岩类构成了高压岩石组合。绿帘石英云闪长岩、花岗闪长岩在美国西海岸分布达 1000 余公里,Zen 认为它们是板块碰撞带的典型岩石^[15],垛崮顶绿帘石花岗岩的 7 个硅酸盐全分析

D) $ANEC=Al_2O_3/(Na_2O+\ast K_2O+CaO)$ 均为分子数;

$\ast Al^*=Al-(Na+K+2Ca)$ 均为原子数;

$\ast NKA=(Na+K)/Al$ 均为原子数;

$Ox=Fe_2O_3/(Fe_2O_3+FeO)$ 氧化物重量。

平均值计算得到的岩石化学参数为: $ANKC=1.0$, $Al'=4$, $Na/K=2.64$, $NKA=0.63$, $OX=0.43$, $\sum REE=146-156PPm$, $\delta_{Eu}=0.69-0.81$ 。

1.4 高级变质型

高级变质型花岗岩产在麻粒岩相变质区,见于沂沭断裂带汞丹山凸起,代表性岩体是马山紫苏花岗岩和雪山紫苏花岗闪长岩,以含紫苏辉石为特征。岩石中紫苏辉石的含量最高可达6%。岩石化学特征: $ANKC=0.96-1.03$, $Al'=-11-11$, $Na/K=1.38-1.19$, $NKA=0.71-0.75$, $OX=0.26-0.36$, $\sum REE=93.56-215.4$, $\delta_{Eu}=1.3-1.7$ 。

二、同熔系列花岗岩

按照徐克勤等的定义,形成花岗岩类的同熔作用包括来源于上地幔的岩浆在其上侵过程中同化混染地壳物质的作用,共存的地幔物质和地壳物质在一起的熔融作用以及幔源铁镁质岩浆与壳源硅铝质岩浆直接混合的作用等^[7]。根据山东的具体情况,如果把第二种作用形成的花岗岩也包含在同熔系列中,那么山东境内的绝大多数花岗岩都属于这一系列。因为山东的变质基底就是由地幔物质和地壳物质组成的。本文所指的同熔系列花岗岩主要是指第一种作用和第三种作用形成的花岗岩类。由第一种作用形成的花岗岩称为结晶分异型;由第三种作用形成的称为岩浆混合型。

2.1 结晶分异型

结晶分异型花岗岩类分布在中生代陆相火山岩盆地中,受火山机构和基底断裂的控制。其定位的年龄集中在90—120Ma。其岩石组合为辉长岩、闪长岩、石英闪长岩或正长岩、花岗闪长岩或二长斑岩,服从结晶分异演化规律。空间上往往与同源、同时代的火山岩紧密共生,呈小岩株、岩颈或岩墙产出。代表性岩体有邹平王家庄二长斑岩、五莲七宝山花岗闪长斑岩,沂南铜井花岗斑岩、峙山石英斑岩、栖霞香夼花岗闪长斑岩等。与华南同类花岗岩相比,具有低 SiO_2 (57—70%),富碱($Na_2O-K_2O=7-9.5\%$)的特征,岩石组合中出现辉石正长岩、正长岩以及正长斑岩等偏碱性岩石。以七宝山和香夼花岗闪长斑岩为例,岩石化学参数 $ANKC=0.88$, $Al'=-30$, $Na/K=1.05$, $NKA=0.67$, $OX=0.52$, $\sum REE=485.2$, $\sum LREE/\sum HREE=12.8$, $\delta_{Eu}=0.72$ 。

2.2 岩浆混合型

混合型花岗岩类在胶东地区较为发育,定位的年龄较分异型略早。峰值为110—150Ma。岩石类型主要是斑状花岗闪长岩、斑状二长花岗岩和斑状石英闪长岩。空间上和时间上不发育同源的火山岩。岩体中普遍发育闪长质暗色包体,另外还发育富云母(角闪)包体,析离体和围岩的捕虏体。空间上和时间上伴生大量的中基性岩脉群,中基性岩脉与闪长质暗色包体具有同源关系。代表性岩体有郭家岭岩体、伟德山岩体、牙山岩体、院格庄岩体、大山岩体和石臼岩体等。这类花岗岩是在中生代太平洋板块向欧亚板块俯冲的背景上,热流值升高导致地壳深部的熔融。深大断裂沟通了不同深度岩浆房乃至上地幔的联系,地幔岩浆进入地壳中的岩浆房经对流循环混合作用形成的。与分异型相比,岩浆混合型以地壳深熔岩浆为主,分异型以地幔岩浆为主;前者是深成的,后者是浅成的。以郭家岭岩体37件硅酸盐全分析的平均值为代表,该类花岗岩的岩石化学特征是: $SiO_2 66-71\%$,

$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 8\%$, $\text{ANKC} = 0.97$, $\text{Al}' = -10$, $\text{Na/K} = 1.93$, $\text{NKA} = 0.73$, $\text{OX} = 0.19$, $\sum \text{REE} = 57-348$, $\delta_{\text{Eu}} = 0.6-1.0$, $\delta^{18}\text{O} = 9-11\%$, $I_r = 0.7107$ 。

三、碱性系列

目前对碱性花岗岩的成因提出了不少模式,如交代模式(Taylor, 1980)、分异模式(Currie, 1976)、部分熔融模式(Harrisi 和 Marriner, 1980, Barker 等, 1975)^[3]。徐克勤等认为碱性花岗岩是在拉张背景上,上地幔分溶的、出溶百分比低的碱性或弱碱性岩浆,在其上升过程中同化混染了地壳物质而形成^[7]。桂训唐等认为崂山晶洞碱性花岗岩是古老地壳重熔的结果^[16],有否地幔物质的加入尚不能肯定。Whitler 认为碱性花岗岩的共同特征是: 1. 脱水的、相当硅铝质的地壳源区; 2. 足以使该地壳发生部分熔融的热源; 3. 使岩浆通向地表的通道。

山东碱性花岗岩类分布在鲁南和半岛的南海岸。有苍山县龙宝山斑状正长岩、石英正长斑岩、霓辉石英正长斑岩和霓辉正长斑岩杂岩体,微山县郝山石英正长岩、霓辉石英正长岩和碱性花岗岩杂岩体,青岛崂山晶洞花岗岩,海阳平顶山晶洞花岗岩等。鲁南的碱性花岗岩类具有明显的分异演化特点,由偏碱性的中基性岩演化到偏碱性的中酸性岩,直至碱性花岗岩。半岛南海岸的则不具备这一特点,它们常与黑云母花岗岩伴生,但时间上晚于黑云母花岗岩。前者相当于结晶分异型,后者是下部地壳重熔型。

3.1 结晶分异型

微山县郝山碱性杂岩体是分异型的典型代表。产在枣庄—苍山东西向构造带与泗阳湖—微山湖北西向断裂带的交汇处。以含碱性暗色矿物霓辉石为特征,霓辉石的含量介于5—7.9%之间,平均7.5%。岩石化学特征: $\text{Si}_2\text{O}_6 5.8-69.8\%$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 10\%$, $\text{ANKC} = 0.85-1.0$, $\text{Al}' = -47-5$, $\text{Na/K} = 1.7-3.0$, $\text{NKA} = 0.95-1.0$, $\text{TR}_2\text{O}_3 = 0.05-0.23$, $\text{Zr} 304-333\text{PPm}$, $\text{Nb} 34-41\text{PPm}$ 。

3.2 下部地壳重熔型

重熔型碱性花岗岩以青岛崂山晶洞花岗岩为代表。它位于海阳青岛断裂之东侧,空间上与同源火山岩相伴生,时间上略晚,是构造岩浆活动最晚阶段的产物。岩石普遍发育晶洞构造和花斑结构,暗色矿物有钠闪石和霓石。岩石化学特点是富硅($\text{SiO}_2 > 75\%$)、富碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 8.7\%$, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$),低铝($\text{Al}_2\text{O}_3 < 13\%$)、低钙($\text{CaO} < 0.5\%$)。 $\text{ANKC} = 0.82$, $\text{Al}' = -53$, $\text{Na/K} = 0.93$, $\text{NKA} = 1.16$, $\text{OX} = 0.74$, $\text{Ga/Al} = 5.1 \times 10^{-4}$, $\sum \text{REE} = 132-207$, $\sum \text{LREE} / \sum \text{HREE} = 4.7-5.3$, $\delta_{\text{Eu}} = 0.32-0.49$, $\delta^{18}\text{O} = 5.7-8.2\%$, $I_r = 0.7064$, $\epsilon \text{Nd}_{\text{CT}} = -13.87^{[16,17]}$ 。

四、幔源系列

幔源系列花岗岩类是指直接由地幔岩浆分异或分熔作用形成的花岗质岩石。形成时代多为晚太古代(26~28亿年)。岩石类型主要是英云闪长岩、奥长花岗岩和花岗闪长岩,产出的大地构造背景是太古代的大洋岛弧。按照岩石组合,可以分为两类:

4.1 结晶分异型

典型代表是泰山杂岩,其岩石组合有辉长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和奥长花岗岩。根据江博明等的研究^[13],它们是源于亏损地幔的玄武质岩浆经分离结晶作用和部分熔融作用形成的。

4.2 分熔型

该类型以胶北地块栖霞地区的英云闪长岩和奥长花岗岩为代表。其岩石组合呈所谓的双峰模式,即与超基性岩伴生,缺少辉长岩和闪长岩类,它们可能是由源于地幔的岩浆经部分熔融作用形成的。

其共同特征是相对贫硅(SiO_2 66—70%),贫碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 7\%$),特别是 K_2O , $\text{Na}/\text{K} = 2.8$, $\text{ANEC} = 0.92$, $\text{Al}^{\text{IV}} = -27$, $\text{MKA} = 0.60$, $\text{OX} = 0.35$, $\sum \text{REE} = 134 - 289\text{PPm}$, $\sum \text{LREE} / \sum \text{HREE} = 3.7 - 14.4$, $\delta_{\text{Eu}} = 0.6 - 0.9$, $I_{\text{Sr}} = 0.7008$, $\epsilon \text{Nd}_{\text{Cr}} = +3.1 - +4.7$ 。

以上对山东花岗岩的成因分类和一般特征的总结是初步的,由于笔者的水平和占有的资料所限,某些认识可能是片面的。敬请批评指正。

参 考 文 献

- [1] Chappell, B. W. and White, A. J. R., 1974, Two contrasting granite type, *Pacific Geology*, 8, 173—174.
- [2] Shihara, S. 1977, The magnetic-series and ilmenite-series granitic rocks, *Mining Geology*, 27, 273—305.
- [3] Whalen, J. B., 1987, A型花岗岩的地球化学特征、鉴别标志和岩石成因、周泰禧译, 1989, *地质地球化学*, (2) 22—29.
- [4] Pitcher, W. S., 1983, Granite Type and tectonic environment, In: *Mountain Building Processes* (Ed. K. Hsu) P. 19—40, Academic Press, London.
- [5] Didier, J. 著, 姜胜章译, 1981, 花岗岩及其包体. 地质出版.
- [6] 徐克勤等, 1984, 华南花岗岩成因与成矿, 南京国际学术讨论会论文集, 花岗岩地质和成矿关系. 江苏科学技术出版社, P. 1—20.
- [7] 徐克勤等, 1989, 华南花岗岩的成因系列和物质来源. *南京大学学报(地球科学)*, (3) 1—18.
- [8] 涂光炽等, 1984, 华南两个富碱侵入岩带的初步研究. 同文献[6], P. 21—37.
- [9] 王联魁等, 1982, 华南花岗岩两个成岩成矿系列的演化. *地球化学*, (4) 329—339.
- [10] 吴利仁, 1985, 中国东部中生代花岗岩类. *岩石学报*, 1(1) 1—10.
- [11] 胡受奚等, 1989, 东秦岭与华南加里东褶皱带原地—准原地改造型花岗岩特征. *岩石学报*, (1) 49—58.
- [12] 徐金方等, 1989, 胶北地块与金矿有关的花岗岩类研究. *山东地质*, 5(2) (专辑).
- [13] Jahn, B. M. et. al, 1988, Archean crustal evolution in China: The Taishan Complex and evidence for juvenile crustal addition from long-term depleted mantle. *Precambrian Res.* 38, 381—403.
- [14] Naney, M. T. 1983, Phase equilibria of rock-forming ferromagnesian silicates in granitic systems, *Am. J. Sci.* 283, 993—1033.
- [15] Zen, E. et. al, 1984, Magmatic epidote and its petrologic significance, *Geology*, 12, 515—518.
- [16] 桂训唐等, 1989, 青岛崂山晶洞碱性花岗岩同位素地球化学研究. *岩石学报*, (3) 37—44.
- [17] 周亚东, 1989, 青岛—崂山 A型花岗岩的地质地球化学特征. *南京大学学报(地球科学)*, (3) 92—107.

HUMBLE OPINION ON THE GENETIC CLASSIFICATION OF GRANITOIDS IN SHANDONG PROVINCE

Xu Jinfang

(*Shandong Institute of Geological Sciences*)

Abstract

In terms of tectonic environment, formation mechanisms, material sources, paragenetic rock association, as well as its geological, petrological, mineralogical, geochemical and isotopic characteristics, the granitoids in Shandong Province can be divided into four genetic series and ten genetic types, they are: I. Precambrian crust transformation series, including I₁. autochthonous replacement type; I₂. anatectic type; I₃. continental collision type; I₄. high-grade metamorphic type; II. syntectonic series, including II₁. crystallization differentiation type; II₂. magmatic mixing type; III. alkaline series, including III₁. fractional crystallization type; III₂. lower crust remelting type; and IV. mantle-derived series, including IV₁. magmatic differentiation type; IV₂. fractional melting type. According to the property of its source rocks, the autochthonous replacement type can be divided into the ortho- and para- subtypes.