

浅成流纹斑岩体对形成斑岩铜矿床十分有利。在相同的地质条件下，对成矿有利的花岗岩类氧化物最佳含量为：中深成岩： SiO_2 65%左右、 Fe_2O_3 2%左右、 TiO_2 0.5%左右、 CaO 2.5%左右、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 9%左右、 $\text{P}_2\text{O}_5 > 0.1\%$ ；浅-超浅成岩： SiO_2 75%左右、 $\text{TiO}_2 > 0.1\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 1\%$ 、 Na_2O 2%左右、 K_2O 5%左右或更高、 $\text{P}_2\text{O}_5 > 0.04\%$ 。

对中深成岩来说，岩性复杂的复式岩体较之岩性单一的岩体对成矿有利，单一的二长花岗岩体对成矿不利，甚至一些复式岩体中二长花岗岩也不具明显的成矿作用。

岩体规模和形态与成矿关系密切。小岩株比大岩基成矿作用明显，如面积只有 0.42km^2 的塌崖岩流纹斑岩体，却是两个中型矿床的成矿母岩（铜及铁锌矿床）；面积达200和500余 km^2 的大海坨、大河南两个岩基，只形成一些小型矿床和矿点。岩体形态复杂的及岩体接触带转弯处控矿性较好，但与围岩性质也有密切关系。

胶东半岛中生代活动陆缘 花岗质岩浆系列及成因

林景仟 谭东娟

（长春地质学院）

1. 岩浆系列 胶东半岛中生代花岗质岩浆活动剧烈。由于地幔和地壳的作用，曾多阶段产生花岗质岩浆，生成了片麻状花岗岩系列、黑云母花岗岩系列、碱性花岗岩系列、巨斑二长花岗岩系列、二长岩系列和正长岩系列。

岩石系列或岩浆系列是指由地壳或地幔产生的某一母岩浆，在分异演化过程中生成的共生岩石的总和。这一组岩石具有一定的岩石学及化学特征，相关岩石的各种组分在岩石组分图上具有连续的变异趋势，在岩石的矿物组成、结构构造上也表现出某些联系。岩石系列是基本的岩石成因单元。将一个地区内出现的同时代的有成因联系的岩石归并于岩石系列的框架中，可以查明岩浆经历了何种作用，岩浆的演化趋势如何，有助于查清母岩浆的性质和来源，对阐明区域地质环境及其发展历史也是不可少的，岩石系列的研究可以提高对矿产的预测能力。对不同岩石系列生成顺序的研究，对深处岩浆的动力学过程提供重要的启示。

2. 构造环境 从花岗质岩石系列共生及其形成的地质构造条件考察，胶东半岛区可分为两种类型的岩浆活动带。一类是花岗质底辟岩浆活动带，另一类是断裂花岗质岩浆活动带。前者产生于印支期或燕山早期开始的陆缘引张带中。岩浆的生产与莱阳地幔局部隆起有关，生成于地幔隆起区上方的上地壳层中。主要生成了片麻状花岗岩系列，至燕山期又产生了巨斑二长花岗岩系列及极少量的黑云母花岗岩系列。活动陆缘的断裂花岗质岩浆活动带主要分布于前一岩浆活动带之东。地壳发生多幕熔融作用，于印支期生成了正长岩系列（甲子山岩体，Rb-Sr等时线年龄为220Ma）及黑云母花岗岩系列（榭山）。晚侏罗世先后生成了二长

岩系列(石场、柳林庄、大山等岩体, Rb-Sr等时线年龄为146—137Ma)、黑云母花岗岩系列(崂山第一阶段岩体, Rb-Sr等时线年龄146Ma)、碱性花岗岩系列(崂山第二阶段岩体, Rb-Sr等时线年龄134Ma), 至早白垩世, 先后有巨斑二长花岗岩系列(伟德山、石臼所、郭家岭岩体, Rb-Sr、U-Pb、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄, 127—135Ma)、黑云母花岗岩系列(河山, Rb-Sr等时线年龄, 122Ma)岩体生成。两个岩浆带在中生代活动陆缘相互叠覆, 但主带是分立的, 显示出陆缘岩浆活动带双带的特征。

岩浆的活动导因于库拉板块在中生代对欧亚板块的挤压。不同岩系的岩浆是在构造发展的不同阶段生成和侵位的。在陆缘引张带中, 片麻状花岗岩系列是同碰撞期(同造山期)地壳发生深熔作用生成, 碰撞后抬升阶段及其以后, 岩浆活动渐减弱, 依次有巨斑二长花岗岩系列等岩浆的活动。在断裂花岗质岩浆活动带中。印支期的岩浆活动发生于造山晚期至造山期后环境。晚侏罗世及早白垩世的两个岩浆活动亚旋回都是从板块碰撞后抬升至造山晚期及期后的转变过程中依次产生和侵位。

3. 岩浆源 片麻状花岗岩系列主要分布于玲珑—漆家河、昆仑山—鹤山及磁山一带, 呈弧状分布于莱阳地幔隆起区以北。岩浆侵入先后为片麻状黑云母二长花岗岩、中粒黑云母二长花岗岩、分异的花岗质脉岩。前两者是岩体的主体, 脉岩体的规模不大, 但数量多。主体岩石具有岩浆结晶的半自形结构, 长石等矿物中有环带构造, 矿物及化学成分(常量及痕量元素)表现出稳定的线性变化趋势。岩体与围岩间表现出侵入交代关系, 这些事实说明岩体是岩浆成因的。

对岩体及围岩的研究揭示了地壳中熔融带的剖面。熔融带顶部变粒岩中, 由斜长石、碱性长石和石英组成的囊状体具有半自形结构。是弱部分熔融但熔体尚未聚集, 即未形成有实际意义岩浆的显示。近接触带的变粒岩中出现了较多的片麻状花岗质条带和眼球体。片麻状花岗岩体的边部可见到较多的变粒岩、角闪质岩的残留岩块以及受高程度熔融的柔皱变粒岩的捕虏体, 向片麻状花岗岩内部岩性渐趋均一, 有较多残留晶。中粒花岗岩则居于岩体中心部位, 残留组分少。岩浆在隆升、底辟侵位过程中, 尽管发生过位移, 但仍保持了地壳熔融带的固有概貌。

该岩系与区内其他岩系相比, V、Cr、Co、Ni、Mg、Rb、REE的低丰度及其与变粒岩中这些元素丰度的相似, 说明岩浆是由变粒岩熔融生成。

黑云母花岗岩系列岩石在胶东的断裂岩浆活动带中分布广泛。岩系的主要组成成员是黑云母花岗岩、石英二长岩。有些岩石含晶洞, 早期岩石常显斑状, 分异晚期出现较多的晶洞及文象结构的细粒花岗岩。多期侵入的岩浆是深部岩浆房分异和进入浅层位的岩浆就地分异生成。不同岩相的岩体中常表现出不规则弧状分布特点。岩系的Cr、Ni、Co丰度低, 与片麻状花岗岩系列相近。但是黑云母花岗岩系的Rb、Zr、Nb、REE、Y的丰度明显高于片麻状花岗岩系列。Mg偏高, Sr、Ba较低。稀土元素模式表现出强烈的分异趋势, 即随分异作用的增强, ΣREE 降低, Eu负异常增强, 中稀土元素亏损增强。

碱性花岗岩系列岩石仅见于崂山花岗岩体的中心部位。含有钠质角闪石和霓石。岩浆较富含钠、氟, 但并非无水。与黑云母花岗岩系列相比, 碱性花岗岩的成分点在Q-Ab-Or图上更富Q。岩石结构上表现为近共结的特点。根据实验资料推测, 这一类岩浆是在较低压力下生成的。该岩系的Cr、Ni、V、Co、Sr、Ba、Mg丰度甚低, 说明岩浆产生于源岩极低程

度的熔融，或者由于源岩也贫于这些元素。F 的加入可以降低熔融温度，综合考虑可以推测碱性花岗岩浆是在含 F、较低压下、低程度部分熔融的特殊条件下生成的。

巨斑二长花岗岩系列以二长花岗岩、石英二长闪长岩为主要共生岩石。岩石中常含碱性长石巨晶和细粒闪长岩包体。它常与二长岩系列及正长岩系列伴生，这一关系可能说明巨斑二长花岗岩系列母岩浆来源较深。岩石中近液相线矿物主要是角闪石、斜长石、磁铁矿、磷灰石，有时出现单斜辉石，也常见到这些矿物的残留晶和角闪质岩石的残留体，因而推测这一岩系的母岩浆来源于中地壳角闪质岩层的熔融。岩系中 V、Cr、Co、Ni、Nb、Ta 的丰度比前述三岩系都高，而 Rb、Sr、Ba、Zr、REE、Y 的丰度偏低，这可能暗示岩浆来源于更基性的源岩，是在较高程度熔融时生成的。与前述岩系相比，这一岩系的岩石中较富含角闪石、斜长石，可能这就是出现差异的岩相学原因。可以推测，黑云母花岗岩系列和碱性花岗岩系列的母岩浆也是由角闪质源岩产生的，由于这两类岩浆产生的层位较高，熔融程度低，残留组分较强烈的分离，岩浆成分出现了差异。

正长岩系列及二长岩系列发育于断裂深切切割区。前者以似粗面状、斑状及粗粒的黑云母辉石正长岩为主体，后者以二长岩、含石英二长岩为主体，伴有二长闪长岩、二长辉长岩及石英正长岩。单斜辉石和黑云母是这两个岩系的主要镁铁矿物，而二长岩系中常含角闪石，有时出现斜方辉石、橄榄石。两个岩系中广泛出现指纹结构的碱性长石和富钙的斜长石。两岩系富 K、Sr、Ba、REE 等元素，尤以正长岩系列为甚。Cr、Ni、Co、V、Fe、Mg、Ca 均较富。正长岩系列的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0.70575$ ，二长岩系列为 0.707382 。这些资料表明源岩是地壳中的基性火山源岩，可能是玄武质-苦橄玄武质的。两岩系中可见麻粒岩包体，又考虑到它们的近液相线矿物组合，推测源岩是下地壳的麻粒岩相岩层。

4. 分带熔融 研究古老地壳的研究资料和本区花岗质岩石的研究成果，推测鲁东区下地壳是麻粒岩相的，中地壳是角闪质的，上地壳是花岗质的。

岩浆的产生与库拉板块的俯冲有关，间歇性的强烈俯冲在偏向俯冲带迹线一方产生了深切切割地壳的断裂带。远离俯冲带迹线处，在地壳中产生了引张带，导致地幔上涌。产生的花岗质岩浆与地幔上升的热蒸气流对地壳作用有关。这种热蒸气流富含 CO_2 ，溶解 K、Na 及其他一些大离子亲石元素，并使下地壳脱水。在较高层位，在 H_2O 浓度增高处生成了黑云母交代带。进一步的交代和增温在高压带、水活动性弱的地段发生了黑云母的不一致熔融。伴随有其他组分的低程度熔融，生成了正长质岩浆。更高层位处于含水量较高的条件，地壳熔融程度较高，生成二长质岩浆。在中地壳的角闪质岩层的深带，可能产生巨斑二长花岗岩系列的母岩浆。较高层位生成黑云母花岗岩系列岩浆，在特殊的含 F 条件下可在更高层位生成碱性花岗岩浆。只有在地幔上涌部位的上方，才会获得巨量的热能，导致上地壳熔融，生成规模巨大的片麻状花岗岩系列的岩浆。

在断裂岩浆活动带，熔融带的位置受断裂切割深度的制约，断裂深处部位易于发生熔融。这一部分岩层一旦开始熔融，继续进入的热能就消耗到岩层的进一步熔融，热能向更高层位的传递就受到限制，更上部岩层即使出现熔体，也是更低一些的温度条件下生成的，出现熔体的数量也有限。只有在下部层的特定的温度、压力和含水量条件下不再进一步熔融时，热能才继续传递到上方，导致上层位的进一步熔融。由于热能传递时总有消耗，进入高层位的能量减少，因此，深层位较早阶段发生较高温的熔融，较浅层位生成的是较晚时产生

的较低温的熔体,这种成对的岩浆体常常是以近共结的低温花岗质岩浆的产生作为一个岩浆亚旋回的闭合。由于地质发展的各阶段断裂切割深度不同,熔融层位也就不同,因此,生成的岩浆类型有差别。

在底辟岩浆活动带中,地幔的局部隆升将大量的热能输送到上地壳,产生了巨型的片麻状花岗岩系列岩浆。由于地幔隆升时,其上方的中及下地壳的岩层发生塑性侧向流动,厚度变小,在此种张性构造应力条件下,即使产生少量熔体,当这些熔体进入高层位时,就会与高层位生成的片麻状花岗岩系列岩浆混合而被淹没,并不生成独立的岩浆体。后来,当地壳的活动性再度增强时,由中地壳生成巨斑二长花岗岩系列岩浆,相继出现少量的黑云母花岗岩系列的岩浆。

本项目得到了国家自然科学基金资助。

闽东地区燕山晚期花岗岩 成岩地球化学研究

王厚亮 岳书仓

(山东建材学院)

(合肥工业大学)

研究区位于福建东部沿海,政和大埔深断裂以东,长乐南澳深断裂西侧的狭长地带,是东南沿海构造-岩浆-成矿带的一部分,成岩与成矿关系紧密。研究成岩作用,对于揭示区域成矿规律有重要价值。

闽东地区总体为火山隆起区。发育北东向、北北东向、北西向及东西向断裂。其中北北东向的长乐南澳深断裂规模最大,对区内岩浆活动起控制作用。本区燕山晚期地壳活动强烈,该期岩浆岩占全区面积的75%以上。侵入岩主要为花岗岩,次有中性强岩及少量基性岩,呈带状沿海岸线展布。喷出岩石帽山群为英安质和流纹质岩石,呈北北东向展布。

1. 花岗岩系列划分及地球化学特征 根据稀土元素和铷锶同位素研究,闽东地区燕山晚期侵入岩和石帽山群火山岩划分为三个岩浆演化系列。系列Ⅰ:辉长岩-闪长岩-石英闪长岩-花岗闪长岩-火山岩。常分布于几组断裂交汇的火山喷发中心。系列Ⅱ:二长花岗岩-黑云母花岗岩-含黑云母晶洞花岗岩-花岗(斑)岩脉和岩枝。系列Ⅲ:钾长晶洞花岗岩-钾长花岗(斑)岩脉和岩枝。系列Ⅱ和系列Ⅲ常以岩基形式产于相对稳定的构造隆起区。

各系列的岩石学和地球化学性质各具特色。系列Ⅰ: SiO_2 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量低,富含磁铁矿。 $\delta\text{Eu} = 0.96 - 1.16$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0 = 0.7059 - 0.7115$; 系列Ⅱ, SiO_2 、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量较高,富含磁铁矿, $\delta\text{Eu} = 0.51 - 0.69$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0 = 0.7043 - 0.7206$; 系列Ⅲ: SiO_2 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量高,富含钦铁矿, $\delta\text{Eu} = 0.179 - 0.224$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0 = 0.7066 - 0.7373$ 。三个系列的共同点是, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) = 0.99 - 1.11$, 暗色矿物以黑云母、