

独立地确定锆石群中外部形态的时间演化意义。

所研究的灰色-粉红色花岗岩中锆石颗粒的形态学与地球化学特征揭示出一个三阶段历史,即在不同的、变化的环境中形成了核、环带状生长层及明显的边缘层。拉克斯福德(Laxfordian)造山运动过程中沉淀的核,根据他们的U含量为400~1200ppm、Th/U比为0.33~0.57,可能形成于花岗岩类成分的熔体中,因为这些值是花岗岩和花岗质片麻岩的特征值。锆石的带状生长层及边缘层形成于加里东事件。与此相反,在眼球状花岗岩中,核在形态上是自形的并不表明生长层结晶作用之前有长的溶解期。生长层中清晰的自形生长带及与清楚的边缘层之间清晰的界线表明是非粘性熔体中阶段生长形成,这里很少出现物理干扰。边缘带及生长环带U含量在710到1040ppm之间变化,没有明显的趋势;而Th/U比明显从生长环带的0.299~0.221降到边缘带的0.200~0.171,这可归因于加里东期锆石结晶作用期间富Th副矿物的沉淀。

七、应用前景

目前还没有一种单一的高精度测年技术可完满地从锆石中提取所有综合信息,但有几种理由可以证明锆石碎片法是一个行之有效的可替代离子探针的方法。用光学或阴极发光研究锆石内、外部形态所建立起来的地质事件序列及特性,可以在一颗锆石上一阶段一阶段地定年。由于碎片法使用方便,能做单颗粒锆石同位素稀释法的实验室用现有设备即可采用此法。只要Pb本底足够低,就可以达到高的分析精度。如果更多的特殊的酸淋洗或磨损技术能够被应用到单锆石碎片上来,以增加一致性,便可以进一步提高交点年龄的精度和准确度。单个晶核碎片的蒸发分析使得鉴别锆石早期历史中光学上不可见的残留物更容易。样品制备技术正在进一步研究,最终目的是在每个碎片分析前都要经过对相同颗粒的阴极发光及离子探针分析。最后我们希望采用每一种测年技术的所特有的优点。

译自《Earth and Planetary Science Letters》,1993,Vol. 115, p. 197-209

王可法 译 张自超 校

钡-铷-锶比值是花岗岩类成因 和演化的指示剂

П. Г. 涅达什科夫斯基 A. M. 连尼科夫

摘要 本文应用数学统计法对大量分析资料进行了综合,查明源于地幔和地壳的岩浆继承了原始基底所固有的钡-铷-锶比值。由于这些元素在熔融体结晶时不组成独立矿物,而是均匀地分散于矿物之中,所以它们的比值成为不同类型岩浆岩(首先是花岗岩类)成因的地球化学指示剂。在钡-铷-锶关系图中,不同类型的花岗岩类分布

于八个岩石地球化学区域内(拉班玄武质斜长花岗岩、钙质花岗闪长岩及花岗岩、二长岩-二长安山岩、钙碱性花岗岩、超变质花岗岩类、奥长刚玉淡色花岗岩、碱性钾质花岗岩和碱性钠质白岗岩),按铯-钡、铷-钡-铷及钡-铷的演化趋势,它们相当于幔源、壳-幔混合源及壳源岩浆演化的产物。

近十多年来的地球化学研究证明,不同成因花岗岩类的微量元素含量及比值比矿物成分或造岩组分含量更有意义,因为矿物成分在花岗岩中主要呈准共结平衡存在,而微量元素的含量与比值首先是被晶体化学和地球化学因素所控制。这就使我们能够用微量元素作为岩浆岩地球化学(或成因)分类和花岗岩类潜在含矿性的评价依据。

钡、铷、铯的地球化学特征是岩浆熔融体结晶时不形成独立矿物,由于它们在地球化学上与造岩元素钾、钙的近似性,呈类质同像进入结晶的铝硅酸盐。这就解释了花岗岩中所见到的

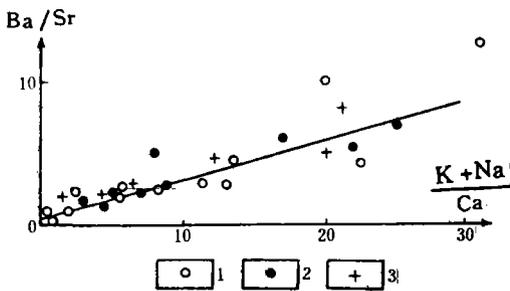


图1 花岗岩类 Ba/Sr-(K+Na)/Ca 值关系图

1. 地球化学类型 2. 建造类型 3. 国际标准成分

Ba/Sr 值与 $(K+Na)/Ca$ 值之间的正比关系(图1)。由于 Ba、Rb、Sr 微量元素的地球化学和结晶化学性质相同,所以它们在熔融体中的分布受同样的物理-化学因素控制,结果在成分相同但成因和结晶条件不同的花岗岩类岩石中见有明显不同的钡、铷、铷和铯的比值,而与它们在原始熔融体中总量的高低无关。古老的和年轻的幔源岩浆岩(拉班玄武岩和钙碱性玄武岩、安山岩、苦橄岩、橄欖岩以及它们的变质岩石)及壳源岩浆岩(超变质紫苏花岗闪长岩、紫苏花岗岩、石英正长岩及白岗岩)继承

了原始地壳不同成分花岗岩化基底层 Ba-Rb-Sr 比值的特性,在 Ba-Rb-Sr 关系图上显示很清楚(图2)。

第一类(幔源)岩石的特点是铯大于钡,铷含量极低。第二类(壳源)岩石的特点是钡大于铯,铷含量较高。而英闪岩-奥长花岗岩质“灰色片麻岩”、次碱性和碱性玄武岩、正边粗玄岩-二长安山岩及钙碱性英安岩则介于上述两类岩石之间。同时,所测定的不同时代地幔岩浆岩(从太古代的拉班玄武岩到现代大洋裂谷的玄武岩类)Ba-Rb-Sr 比值的近似性,是与在 30 亿年期间内地幔物质成分稳定的概念相符合。在原始地壳太古代岩石中 Ba 的作用明显地大于 Sr,可能是与伴有大量斜长石的硅铝质壳从上地幔分出的过程有关,形成了大量太古代稀土元素含量极低的辉长岩-斜长岩岩体。同样也不能排除,在原始地壳形成过程中放射性元素(首先是铀)裂变产物(放射性同位素钍、钍、铪及其他稀土元素,以及非放射性同位素钡及镭)的聚积起很大的作用。同时铀裂变过程中形成的 Cs^{134} 、 Cs^{135} 及 Cs^{137} 占钍同位素混合物的 65%,随后由于 γ 射线辐射的结果转变成稳定的钡原子,残余的放射性铯随着时间亦衰变为钡,导致 Ba 含量和 Ba/Sr 值在原始地壳中的增加。

关于铷,主要有两个因素影响其在岩浆熔融体中的分布:(1)与钾有密切的结晶化学键;(2)在残余花岗岩质和伟晶岩质熔融体内其射气富集远比钾强烈,这就导致随后的岩浆分异产物中铷含量和 Rb/K 值呈有规律地增加。

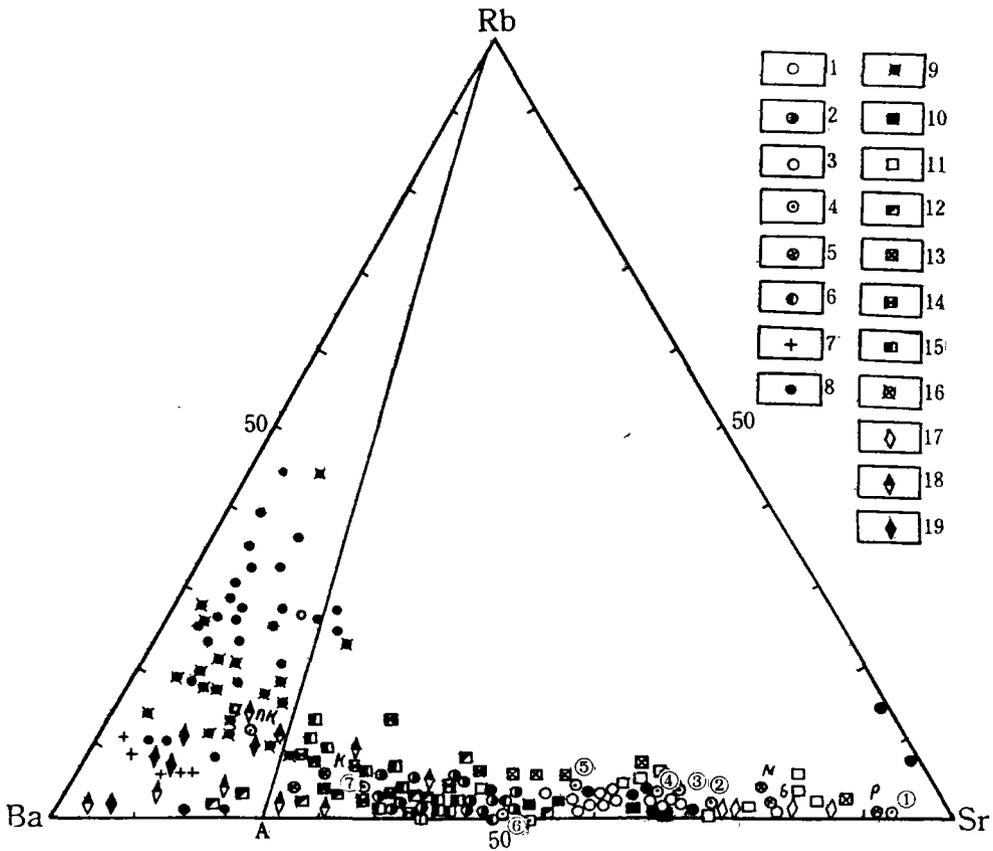


图2 古老幔源岩浆岩、年轻幔源岩浆岩及原始地壳超变质岩中 Ba-Rb-Sr 关系图

1-3 太古代岩浆岩, 1. 玄武岩(拉斑玄武质的, 苦橄质的, 斜长石质的) 2. 英闪岩及“灰色片麻岩” 3. 变玄武岩及变苦橄岩 4. 中间岩石类型(大洋玄武岩, 圆圈中的数字代表, ②岛弧拉斑玄武岩 ③太古代拉斑玄武岩 ④岛弧安山岩 ⑤中性环太平洋安山岩 ⑥加拿大地盾的太古代安山岩 ⑦岛弧英安岩) 5. 根据汉金斯和安杰尔松模式推算的上地幔和原始地壳, m - 未分异地幔 B - 280km 深处的玄武岩 k - 大陆地壳 P - 残留(原始)地幔 6-7 太古代麻粒片麻岩(6)及花岗岩类(7) Пк - 西伯利亚地台的原始地壳 8-9 太古代变泥岩(8)和超变质花岗岩类(9) 10. 显生宙拉斑玄武岩 11-14 亚洲太平洋边缘的显生宙火山岩(11) (①-优地槽玄武岩类) 12. 优地槽次碱性及碱性火山岩 13. 岛弧钙碱性火山岩 14. 岛弧次碱性火山岩 15. 外贝加尔的大陆正边粗玄岩和粗面安山岩 16. 西伯利亚地台原始地壳的超变质紫苏花岗闪长岩、紫苏花岗岩及石英正长岩 17-19 乌克兰地盾的太古代(波杜日)麻粒岩(17)、紫苏花岗闪长岩(18)及别尔季切夫玫瑰色花岗岩(19) A-Rb 线左边为原始地壳岩浆岩区

考虑第一个因素时, 根据钾含量可以判断铷在原始岩浆源内的大致含量及其产生的可能深度(地幔、地壳、壳幔混合)。第二个因素可判定花岗岩类对微量元素和金属元素的地球化学专属性(根据具体花岗岩与总结的“标准”花岗岩的 K/Rb 值进行比较), 以及根据“稀有金属性”指数评价花岗岩类潜在含矿性。铯-氟花岗岩相、翁岗岩相及伟晶岩相铷含量最高。

上述所提到的影响钡、铷、铯在岩浆熔体中地球化学性状的因素, 决定了 Ba-Rb-Sr 关系图上不同成因和不同成分岩浆的岩石化学演化趋势。譬如, 地壳所具有的不同类型的基底(大洋的、原始大陆的、大陆的)决定其形成成分不同的原始岩浆熔体, 这些岩浆演化的最终产物是不同类型的花岗岩类。菲律宾、鄂霍次克、日本等陆缘海底的中生代岩浆作用可作为花岗

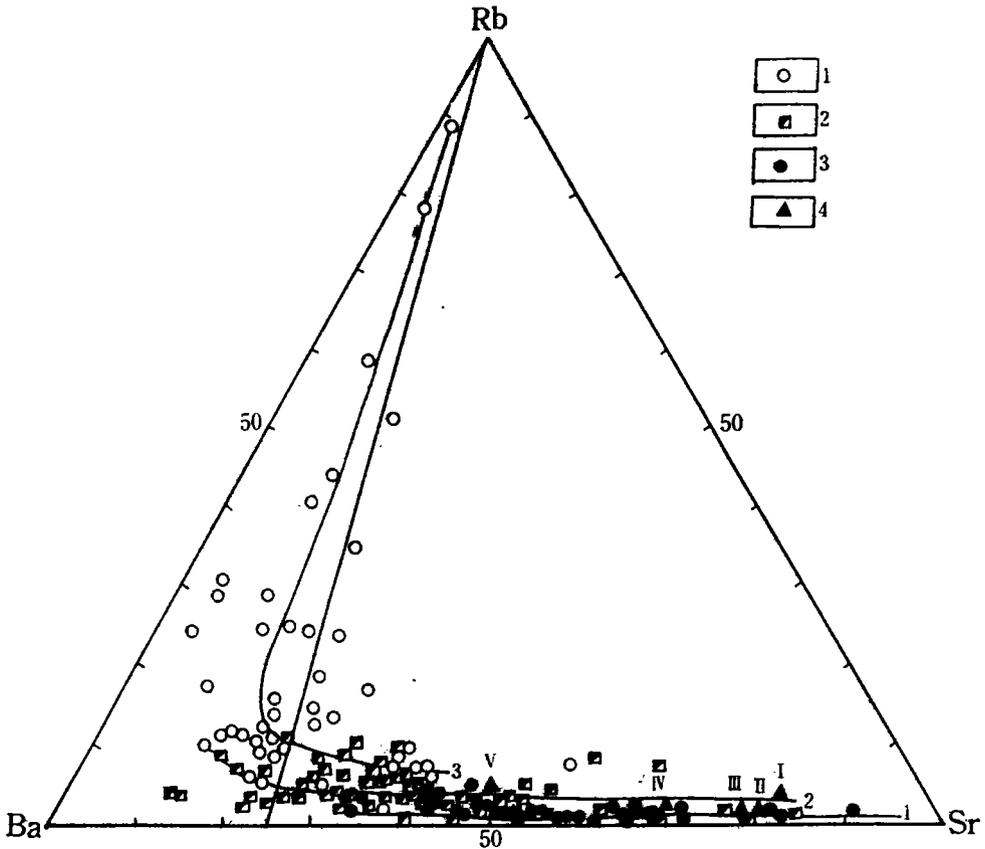


图3 中-新生代花岗岩类的 Ba-Rb-Sr 关系图

1. 日本海底的花岗岩类 2. 鄂霍次克海底的花岗岩类 3. 菲律宾海底的花岗岩类 4. 菲律宾海底的基性岩和超基性岩; I 断裂和盆地的拉斑质玄武岩 I 拉斑玄武岩 ■ 奥菲奥岩(蛇绿岩) IV 岛弧玄武岩 V 碱性玄武岩

岩类从原始幔源岩浆或壳源岩浆继承 Ba-Rb-Sr 比值的实例(图 3)。形成于大洋型地壳上的断裂中,岩浆作用具锶专属性的拉斑玄武岩浆衍生物是典型幔源成因的岩浆(见图 2、图 3)。鄂霍次克海底与基性岩同源的花岗岩类有相似的 Ba-Rb-Sr 比值,其晚期酸性分异物中钼呈聚集的趋势。然而,发育于硅铝型地壳下陷块段之上的日本海底中生代花岗岩类具有原始大陆和大陆型地壳所固有的 Ba-Rb-Sr 比值(图 3)。因此,岩浆岩的 Ba-Rb-Sr 比值反映了它们的起源(幔源或壳源),并有可能来讨论花岗岩类与不同类型原始浆岩的亲源关系。

通常认为,花岗岩类主要是通过三种途径形成的:幔源玄武质岩浆结晶分异,前寒武纪原始地壳地层超变质改造和大陆地壳物质再生重熔作用的结果。在大地构造方面,幔源岩浆产物有规律地分布于大陆地壳和大洋地壳接合部位的深水缝合带上;近断裂部位为拉斑玄武岩类岩系及其斜长花岗岩质衍生物,进一步朝陆地方向分布有安山岩系列及其花岗岩质衍生物,再往大陆深部则为正边粗玄武-二长安山岩系列及其浅色花岗岩质衍生物。超变质花岗岩类只形成于原始地壳的古老深变质地段,是由于原始沉积-变质岩被深变质改造的结果,其成分近于花岗岩的岩石(混合岩化),以及低共结花岗岩类熔融体的花岗岩状岩石再生熔化的结果。显生宙时,当地槽回返阶段地壳表现为正向运动及大陆板块构造岩浆活化时,再生花岗岩

分布最广。

根据不同地球化学类型、建造类型及标准类型花岗岩类钡、铷、锶含量关系,它们在 Ba-Rb-Sr 关系图上(图 4)的投影点可分布成八个岩石地球化学区: I - 拉斑玄武质斜长花岗岩; II - 钙质花岗闪长岩及花岗岩; III - 二长岩-二长安山岩; IV - 超变质花岗岩类; V - 钙碱性花岗岩; VI - 奥长刚玉淡色花岗岩; VII - 碱性钾质花岗岩; VIII - 碱性钠质(钠长石化)花岗岩。各区的名称是根据所分布的最典型的花岗岩类岩石地球化学类型命名的。

正如图 4 和数据(表 1,略)所示,拉斑玄武岩系列斜长花岗岩的地球化学类型,辉长岩-闪长岩建造类型(1)和闪长岩-斜长花岗岩建造类型(2),标准成分的拉斑玄武岩(1)、玄武岩(3)、碱性辉长岩(5)、霞石正长岩(7)、暗色岩(6)及安山岩(15)的投影点均在拉斑玄武质斜长花岗岩区内(I),这些岩石中锶含量大于钡,而铷含量极低。

在钙质花岗岩类区(II)分布着安山岩系列的斜长花岗岩和标准的富钙花岗岩(14),同时,还有锡霍特-阿林的阿尔明及庙昌钙-碱系列早期基性分异产物和普列奥勃拉热诺夫杂岩的古生代安山岩的投影点。这些岩石的特点是钡-锶比值变化大(从 0.5 到 5),铷的含量有些增加。

二长岩-二长安山岩区(III)包括二长安山岩系列的二长岩地球化学类型(4)、二长安山岩系列的花岗岩地球化学类型(3)及碱性岩系列的再生花岗岩地球化学类型(10),花岗闪长岩建造类型(3),标准成分的次碱性玄武岩(4)和正边粗玄岩-二长安山岩(8)。此外,还有普列奥勃拉热诺夫杂岩的古生代二长安山岩、锡霍特-阿林的中生代二长岩类、奥洛姆杂岩的前寒武纪辉长岩及正长闪长岩。这些岩石中钡含量大于锶,铷含量低。

根据 П. В. 塔乌松的意见,相当于图 4 中 I ~ III 区 Ba-Rb-Sr 比值的花岗岩类地球化学类型为幔源岩浆分异产物亦被我们的资料所证实(图 2、图 3)。

区 IV 为阿尔丹地盾和乌克兰地盾的古老的标准白岗岩(12)和钾质花岗岩(13)、太古代紫苏花岗闪长岩、紫苏花岗岩及石英正长岩,以及奥长环斑岩建造的元古代花岗岩。紫苏花岗岩类和奥长环斑花岗正长岩钡含量最高,早期岩浆岩到晚期岩浆岩中铷的含量从 2% 增长到 40%。总之,由于被花岗岩化地层的成分差异,形成的几种地球化学类型的花岗岩(钙碱性的、次碱性的、碱性的)都属于 IV 区。

钙碱性花岗岩类区(V)为碱性系列的再生钙-碱性(9)和稀有金属花岗岩(11)地球化学类型,以及花岗岩的建造类型(4)和花岗岩的中间类型(8)。欣甘-布列英和兴凯结晶地块(比占、朗多科夫、格罗迭科沃及什马科夫等杂岩)的古生代花岗岩类岩基以及庙昌和阿尔明结晶分异系列的中生代巨大侵入体有相同的 Ba-Rb-Sr 比值,这些岩石中铷的含量明显增长(达元素总和的 40%)。古生代花岗岩类的钡含量为锶的四倍,而中生代花岗岩类仅是两倍,这个差异是由于形成古生代再生花岗岩基(陆壳)及中生代安山玄武岩浆(幔-壳)分异物的基底物质 Ba-Rb-Sr 比值的不同所造成的。

奥长刚玉淡色花岗岩区(VI)除花岗岩的奥长刚玉花岗岩地球化学类型外,还有白岗岩和碱性花岗岩(7)建造类型,以及标准次碱性花岗岩(10)。乌勒凯和滨海(滨贝加尔)岩系含伟晶相前寒武纪花岗岩、季图尔杂岩的古生代花岗岩和阿尔明杂岩的中生代石英二长岩。所有这些岩石均为复杂分异岩体主侵入相的花岗岩类并且强烈微斜长石化。铷的作用增长达 75%。

碱性钾质花岗岩区(VII)根据 Ba-Rb-Sr 比值相当于稀有金属钠质花岗岩(5)地球化学类

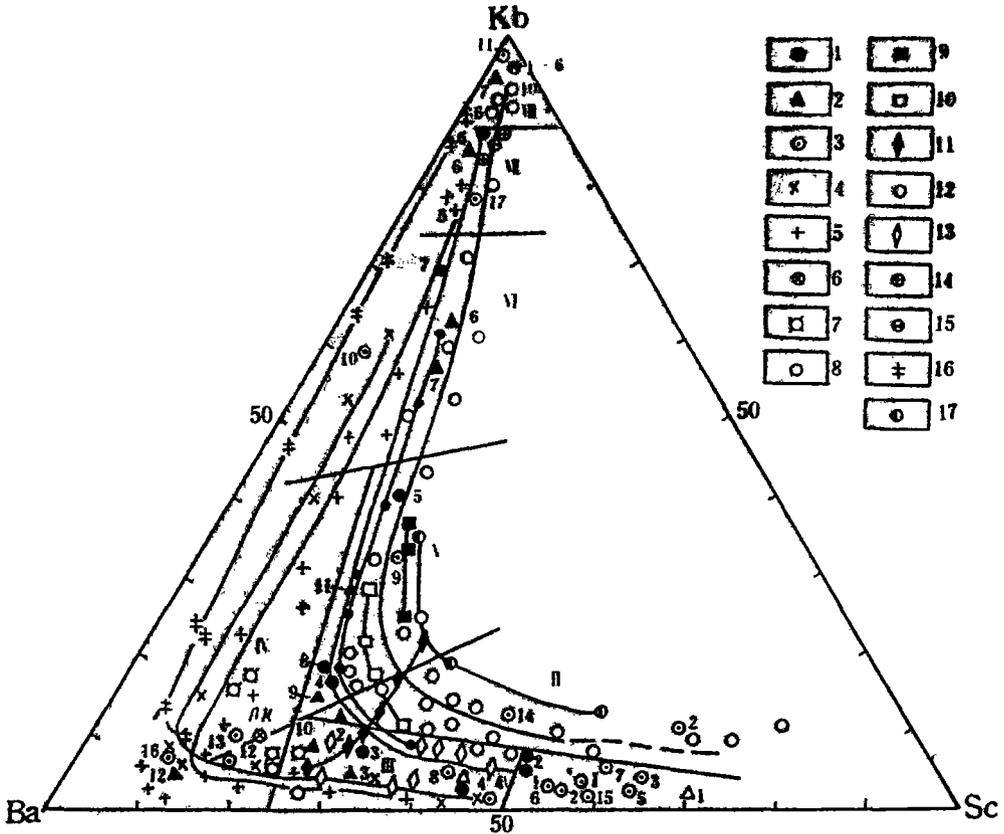


图4 Ba-Rb-Sr 关系图上花岗岩类岩石地球化学分区

I 拉斑玄武质斜长花岗岩 I 钙质花岗闪长岩 II 二长岩-二长安山岩 IV 超变质花岗岩类 V 钙碱性花岗岩 VI 奥长刚玉浅色花岗岩 VII 碱性钾质花岗岩 VIII 碱性钠质(钠长石化)花岗岩
1~17 见原文表1(略)

型、次碱性花岗岩(6)建造类型、标准碱性花岗岩(17)和内格瓦甘及汉-鲍格金岩体的碱性花岗岩。

在碱性钠质(钠长石化)花岗岩区(VIII)的投影点是锂氟花岗岩(8)、标准钠长石化花岗岩(11)、萨勒明侵入岩体、扎贝特岩株、基罗夫岩株、季格林岩株的黑鳞云母花岗岩(6~10)、蒙古让奇夫林和阿勃达尔岩体的钠长石化(微斜长石-钠长石、天河石-钠长石及钠长石-锂云母)花岗岩(1~6)。它们的特点是岩浆阶段铷含量有最大的富集。

在 Ba-Rb-Sr 关系图上(图4)明显看到原始岩浆熔体岩石地球化学演化有三个主要趋势:铯-钡,以幔源拉斑玄武岩浆的演化为典型;铯-钡-铷,出现于辉长岩-闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩同源岩浆系列中(阿尔明系列和庙昌系列),它们是由混染岩浆结晶分异形成的;钡-铷,出现于超变质的和再生的花岗岩类杂岩中,这些杂岩是由地壳富钡陆源地层花岗岩化的产物。后两种趋势在 Ba-Rb-Sr 关系图上向铷方向演化(图4),与岩石系列或杂岩中岩浆岩的形成是从基性到酸性演化顺序相符,并与花岗岩形成过程趋同演化的原理一致。

花岗岩类每个成因类别均有自己独特的发展过程。譬如说,锡霍特-阿林中生代阿尔明系

列岩浆岩的演化趋势是由Ⅰ区的钙质辉长岩类到Ⅳ区的锂-氟花岗岩,并在发展的每个阶段伴有 Ba-Rb-Sr 比值从Ⅰ到Ⅳ过渡区的花岗岩类(图 4)。东西伯利亚和乌克兰地盾前寒武纪超变质花岗岩类演化趋势从Ⅲ区(二长岩-二长安山岩)的紫苏花岗闪长岩和紫苏花岗岩开始,到Ⅵ区的奥长刚玉淡色花岗岩结束。与其演化趋势相吻合的是乌勒坎系列的早元古代花岗岩类:由Ⅲ区奥洛姆杂岩的辉长岩-正长岩和正长岩开始,经奥长环斑花岗岩建造Ⅵ区的次碱性花岗正长岩和花岗岩,到碱性钾质花岗岩区(Ⅶ)中的碱性花岗岩告终。总之,从地质历史观点出发,随着地壳的发育(从大洋壳向原始陆壳和陆壳)幔源岩浆产物被超变质产物所替代,随后两者又被再生重熔,形成了地球化学上不同类型和不同建造的花岗岩类。

概括起来说,在广泛分析材料的基础上查明,太古代原始地壳及在其中形成的超变质花岗岩类与幔源(古老的和年轻的)岩浆岩相比具有较高的钡-铯比值(图 2)。在地幔和地壳中形成的岩浆继承了原始地层所固有的钡-铷-铯比值,因为这些元素在熔融体结晶时不组成独立矿物,而是平均分散于矿物之中,所以这些比值是岩浆成因的地球化学指示剂。

根据 Ba-Rb-Sr 比值,可将幔源、壳源及混合源(壳-幔源)的花岗岩类划分为八个岩石地球化学区(图 4):拉斑玄武质斜长花岗岩、钙质花岗闪长岩和花岗岩、二长岩-二长安山岩、超变质花岗岩类、钙碱性花岗岩、奥长刚玉淡色花岗岩、碱性钾质花岗岩及碱性钠质花岗岩。花岗岩类系列和杂岩形成三个岩石地球化学演化趋势:钡-钡演化趋势是拉斑玄武质幔源岩浆的特点;铷-钡-铷演化趋势是幔-壳(混合)成因分异岩浆的特征;钡-铷演化趋势是壳源成因岩浆的特征。

译自《Тихоокеанская геология》1992, No. 4. С. 117—126

孙基安 译 张传荣 校

深成作用和变质核杂岩的成因

Gordon S. Lister Suzanne L. Baldwin

摘要 大陆伸展期的变质核杂岩的形成可以由深成活动引发。由侵入岩体、岩床或岩墙的热量输入引起的短期热事件期间,发生了韧性变形的脉动。这种侵入作用可能是变质核杂岩构造剥蚀过程中下盘差异抬升的根本原因。据 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 表面年龄推断的快速冷凝可能发生在岩浆到达期之后,而毋需是迅速的侵蚀或构造剥蚀。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 表面年龄的不均一性可以用形成在地壳浅部侵入岩床(或岩床群)的热量中的变形糜棱岩的快速冷却来解释。在这种情况下,表面的等温降压轨迹实际上与火成活动时和以后的瞬间矿物生长的温度-压力有关。

一、引言

核杂岩形成与深成活动之间有明显的时空联系。南山的核杂岩证明了这种联系,因为它