

文章编号: 1000-6524(2004)03-0214-13

新疆准噶尔地区花岗岩中微粒闪长质包体特征 及后碰撞花岗质岩浆起源和演化

李宗怀, 韩宝福, 李辛子, 杜蔚, 杨斌

(北京大学地球与空间科学学院造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 新疆准噶尔地区也布山、庙儿沟两个晚古生代后碰撞准铝-过铝质花岗岩体中, 广泛发育大量的暗色微粒闪长质包体。岩石学、矿物学、主量元素和微量元素地球化学研究表明, 包体与其寄主岩存在明显的亲缘关系。东准噶尔也布山黑云母花岗岩体中的暗色微粒包体与寄主岩有相似的地球化学成分, 表明它是与寄主花岗岩相同成因的同源包体, 是来自上地幔的基性岩浆经过高度演化、结晶分异的产物; 西准噶尔庙儿沟二长花岗岩体中含钾长石斑晶的微粒包体则主要是由幔源的地下壳基性岩部分熔融形成的残余体, 被酸性岩浆携带并发生成分上的同化和混染, 最后在上地壳侵位的产物。同准噶尔碱性花岗岩一样, 载荷包体的准铝-过铝质花岗岩是晚古生代后碰撞阶段构造-岩浆活动的岩石类型之一, 其形成和演化标志了准噶尔地区后碰撞幔源岩浆底侵作用导致大陆地壳垂向生长的过程。

关键词: 微粒闪长质包体; 花岗岩; 地壳生长; 准噶尔; 新疆

中图分类号: P588.12⁺ 1

文献标识码: A

Microgranular dioritic enclaves in Junggar granites and their implications for the origin and evolution of post-collisional granitic magmatism in North Xinjiang

LI Zong_huai, HAN Bao_fu, LI Xin_zi, DU Wei and YANG Bin

(Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, School of Earth and Space Sciences,
Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: A large number of microgranular dioritic enclaves occur in some post-collisional metaluminous-peraluminous granites, which include Yebushan and Miao'ergou occurring respectively in eastern and western Junggar of North Xinjiang. Petrological and geochemical researches reveal the cogenetic relationship between the enclaves and the host granites. The microgranular enclaves having similar geochemical composition to host biotite granite in Yebushan were generated by the fractional crystallization of mantle-derived basic magma. By contrast, the enclaves hosted in Miao'ergou monzogranite seem to be restites resulting from partial melting of highly evolved basic rocks underplated in the lower crust during earlier mantle-derived magmatism. The enclaves carried by ascending acidic magma were assimilated and finally emplaced in the upper crust. Consequently, these enclaves in common with Junggar peralkaline granite are products of post-collisional magmatic activity in late-Paleozoic. The formation and evolution of both enclaves and host granites in Junggar region prove that the process of vertical growth of continental crust resulted from the underplating of post-collisional mantle-derived magmas in late-Pale-

收稿日期: 2004-01-07; 修订日期: 2004-03-23

基金项目: 国家重大基础研究规划资助项目(2001CB409802)

作者简介: 李宗怀(1977-), 男, 硕士研究生, 构造地质学、岩石地球化学方向。

ozoic.

Key words: microgranular enclave; granite; growth of crust; Junggar; Xinjiang

对于花岗岩中不同类型的包体, 国外已有广泛研究(Didier, 1973, 1981; Chappell *et al.*, 1987; Chen *et al.*, 1989; Didier and Barbarin, 1991; Barbarin and Dider, 1992; Elburg, 1996; Silva *et al.*, 2000; Dahlquist, 2002)。在我国, 以前对于岩石包体的研究主要集中在玄武岩和金伯利岩中的幔源岩石包体上, 对酸性-中酸性火成岩中岩石包体却很少研究, 近年来才开始受到重视(徐夕生等, 1988; 董传万等, 1992; 马昌前等, 1992; 周珣若等, 1993; 周金城等, 1994; 杜杨松, 1994, 1996; 迟效国等, 1995; 邱瑞龙, 1996; 吴才来等, 1996, 1997)。根据前人的研究成果, 花岗岩中微粒包体的成因可以总结为以下3种: ①靠近寄主岩浆的围岩相碎片或者同生堆晶岩碎片; ②与长英质寄主岩浆发生混合的偏镁铁质混合岩浆泡(magma globules); ③发生重结晶的难熔变质岩碎片和花岗质岩浆的残余体(Maas *et al.*, 1997)。由此看来, 花岗岩中微粒包体的成因复杂多样, 不同类型微粒包体的特征和成因, 对于理解花岗质岩浆的起源和演化具有十分重要的意义。

含有微粒闪长质包体是全球I型花岗岩的普遍特征, 但在一套岩石组合或一个复式岩基内, 并不是所有类型的岩石中都存在微粒闪长质包体, 而总是集中分布于早期侵位的花岗闪长岩、石英二长岩和二长花岗岩内, 并以花岗闪长岩-二长花岗岩内分布最普遍(Bateman, 1963; Chappell, 1978)。在新疆准噶尔地区广泛分布有后碰撞花岗岩类(Han Baofu and Wang Shiguang, 1997), 这类花岗岩一般具 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值高、 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值相对较低、Nd和Pb模式年龄较小等幔源岩浆的特点, 是中亚造山带中生宙地壳垂向生长的重要地区之一(吴福元等, 1997; 韩宝福等, 1998)。本文试图通过东准噶尔也布山和西准噶尔庙儿沟两个花岗岩体中丰富的暗色微粒岩石包体的研究, 探讨新疆北部晚古生代大陆地壳垂向生长期间后碰撞岩浆活动的起源及演化特征。

1 地质背景

在东准噶尔地区, 沿乌伦古断裂呈北西-南东方向断续分布一晚古生代侵入岩带, 长约400 km, 主要由碱性花岗岩、钾长花岗岩、碱性辉长岩、碱性正

长岩、闪长岩、英云闪长岩及花岗闪长岩等组成, 在空间上密切共生, 以布尔根二台及恰库尔特地区分布尤为集中(赵振华等, 1996)。其中的也布山岩体(图1A)位于阿尔曼泰-扎河坝蛇绿混杂岩带以南, 北距二台约50 km, 东离中蒙界20 km。岩体侵位于早石炭世巴塔玛依内山组中, 东侧为第四系洪积物覆盖, 长约15 km, 宽4~6 km, 地表出露形态大致呈北西-南东向延伸的椭圆形, 与区域构造线方向一致。岩体附近的中-上志留统和泥盆系多以断块产出, 巴塔玛依内山组和下二叠统不整合覆盖在下伏地层之上。也布山岩体属于准铝-过铝质花岗岩, $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值为 0.7043 ± 0.0007 , $\epsilon_{Nd}(t) = +5.51 \sim +5.85$, Rb-Sr全岩等时线年龄为 268 ± 4 Ma(韩宝福等, 1998)。

西准噶尔地区也广泛出露碱长花岗岩、二长花岗岩和石英闪长岩, 主要有达拉布特断裂和玛依勒断裂之间的庙儿沟、阿克巴斯套、哈图和铁厂沟等岩体, 还有达拉布特断裂和克拉玛依断裂之间的克拉玛依北岩体、红山岩体和包古图地区的小岩体。庙儿沟岩体(图1B)呈似等轴状侵位于中晚石炭世沉积建造中, 面积约700 km²。庙儿沟岩体可划分为中央和边缘两个相带, 中央相带为肉红色碱长花岗岩, 边缘相带为钾质花岗岩和二长花岗岩, 其中广泛发育围岩顶盖、残留体和捕虏体, 并遭受强烈的岩浆同化混染作用。岩体内部原生流动构造不发育, 可见向西倾斜的节理, K-Ar法年龄282 Ma(金成伟等, 1993)。

也布山和庙儿沟两个岩体均是新疆北部晚古生代后碰撞岩浆活动的产物(金成伟等, 1993; 韩宝福等, 1998)。

2 包体及其寄主花岗岩的岩石学特征

2.1 寄主花岗岩

也布山岩体为浅红色黑云母花岗岩, 块状构造, 中粗粒花斑结构, 晶洞发育, 岩体还被晚期的细粒花岗岩脉穿插。文象交生的碱性长石和石英构成岩石的主体, 一般以较早结晶的碱性长石、石英和少量斜长石集合体为核心向外呈放射状生长(韩宝福等, 1998)。斜长石集合体以半自形斜长石为主, 含碱

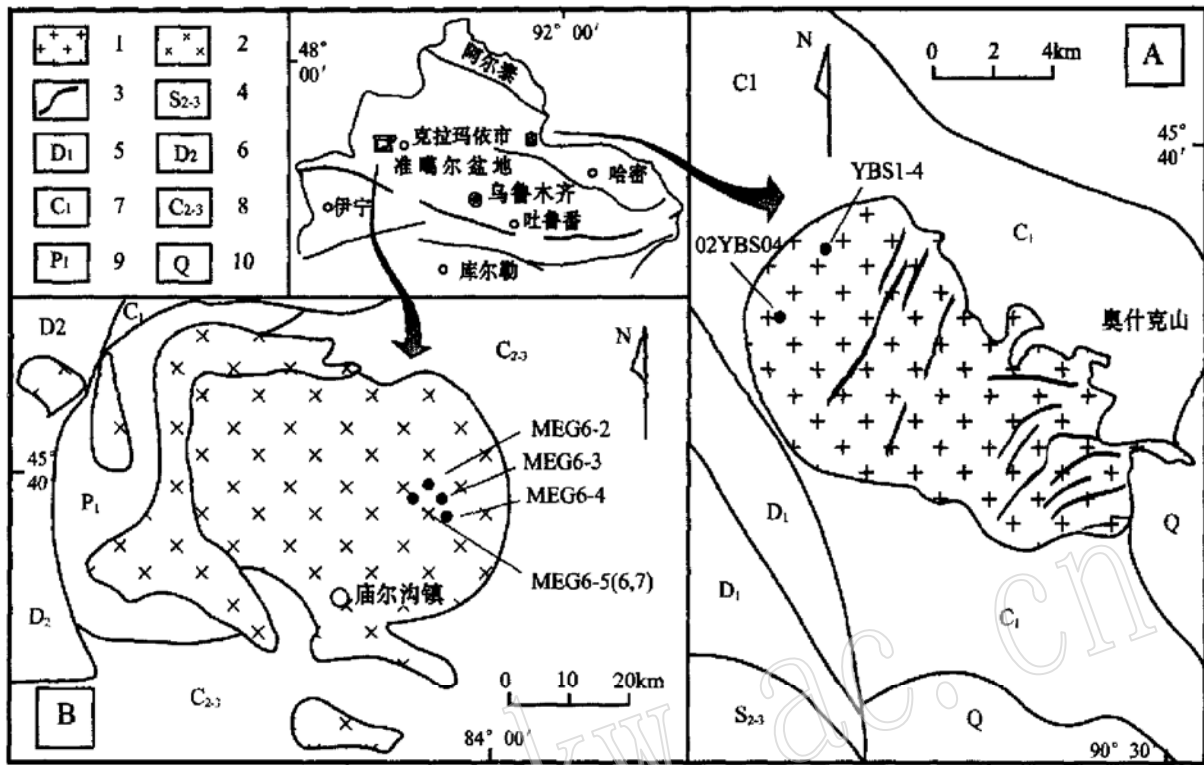


图1 新疆准噶尔地区也布山和庙儿沟岩体地质简图及采样位置

Fig. 1 Geological sketch map showing distribution of Yebushan and Miao'ergou plutons and sampling locations in Junggar, Xinjiang

A—也布山黑云母花岗岩; B—庙儿沟二长花岗岩; 1—黑云母花岗岩; 2—二长花岗岩; 3—酸性岩脉; 4—中晚志留世巴塔玛依内山组; 5—下泥盆统; 6—中泥盆统; 7—早石炭世; 8—中晚石炭世; 9—早二叠世; 10—第四系

A—biotite granite in Yebushan; B—monzogranite in Miao'ergou; 1—biotite granite; 2—monzogranite; 3—acidic vein; 4—Middle Upper Silurian; 5—Lower Devonian; 6—Middle Devonian; 7—Lower Carboniferous; 8—Middle Upper Carboniferous; 9—Lower Permian; 10—Quaternary

性长石和石英。岩石中可见熔蚀程度高的黑云母细小颗粒,此外还有榍石和锆石及少量填隙的萤石。

庙儿沟岩体含包体岩石为二长花岗岩,粒度较粗,长英质矿物自形程度好,含有少量斜长石。长石颗粒表面大多发生绢云母化。铁镁矿物含量较少,偶见角闪石、黑云母的熔蚀残斑,还可见磷灰石、钛铁矿等副矿物。

2.2 暗色微粒包体

暗色微粒包体通常呈卵圆形或椭球形,细粒结构,块状构造,少数包体因受花岗质岩浆混杂而成斑杂状。包体与寄主岩之间的接触关系有截然状和弥散状两种,以截然接触为多。这反映了包体形成时两个端元之间热学状态的差异(Vernon, 1991)。

也布山花岗岩中的包体外形呈卵圆形,色率较深,直径一般为5~15 cm,包体边缘清晰,多为截然

状接触。手标本上包体为细-微粒结构,镜下观察为斜长石(30%~40%)、石英(25%~35%)、黑云母(10%~20%)和角闪石(10%)的等粒集合体。单斜辉石含量较低,且为受熔蚀的细小颗粒(图2a、b)。斜长石颗粒自形程度好,粒度较大,具有强烈的绢云母化(图2b)。角闪石和黑云母受熔蚀程度较强,呈小颗粒分布于长英质矿物之间。此外,微粒角闪石的港湾状边缘常为黑云母充填(图2b)。

庙儿沟包体受花岗岩的混染程度较高,为似斑状结构。斑晶主要为钾长石和石英,常呈浑圆状,很少见斜长石。这些斑晶在寄主花岗岩石中都有对应的矿物,而且二者在形态、成分、光性上都有一致性,尤其在包体与寄主岩的接触界线上常见斑晶横跨两侧,表明它们并非原地结晶形成的,而是来自寄主花岗岩浆的斑晶形成的捕虏晶(Didier and Barbarin,

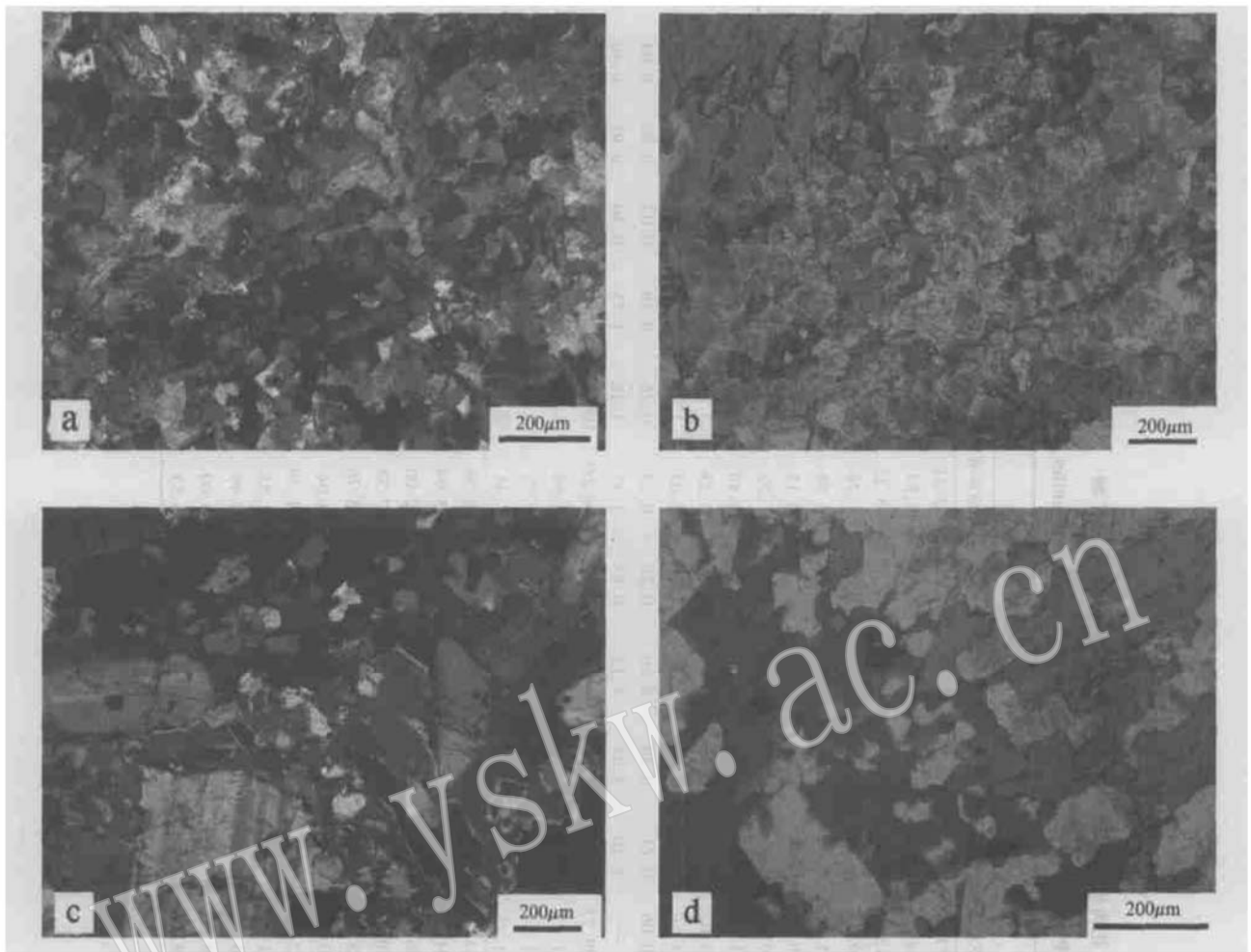


图2 微粒包体镜下照片

Fig. 2 Microphotographs of microgranular enclaves

a—长英质矿物、角闪石和黑云母等呈粒状分布,也布山,正交偏光;b—角闪石熔蚀颗粒,长石发生绢云母化,左上角可见受熔蚀的单斜辉石颗粒,也布山,单偏光;c—筛状黑云母颗粒,刀刃状边缘,镜下呈现亮边,庙儿沟,正交偏光;d—受熔蚀角闪石和黑云母颗粒,庙儿沟,单偏光
a—felsic mineral, hornblende and biotite, Yebushan, cross polarized; b—melting hornblende and clinopyroxene grains with sericitic feldspar, Yebushan, plane polarized; c—sieve texture of biotite with blade border, Miao'ergou, cross polarized; d—melting hornblende and biotite grains, Miao'ergou, plane polarized

1991)。庙儿沟包体中暗色矿物角闪石和黑云母可见筛状熔蚀结构和由磁铁矿形成的暗化边结构;黑云母颗粒熔蚀边缘为很少见的刀刃状,正交偏光下呈现很明显的亮边(图2c、d),表明它是在熔体相和结晶相的相互作用下形成的(Hibbard, 1991)。

总体来说,包体和其对应的寄主岩石在矿物组合上基本相同,主要是矿物含量有差异。包体中黑云母、角闪石和磷灰石含量稍高,偶见单斜辉石。

3 地球化学特征

所有包体样品的主量和微量元素全岩成分测定均是在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验

室完成的。主量元素用碱溶法溶样,然后用10%的HCl定容50 mL,最后在等离子光谱仪(ICAP_9000SP)上测定, K_2O 、 Na_2O 是在火焰原子发射仪上测定的。微量元素使用高压溶样罐加钢内标酸溶方法,分析仪器为高分辨率多接收等离子质谱仪(VG Axiom),实验误差小于5%。作为参照的8个寄主花岗岩样品主量和微量元素是由西北大学大陆动力学实验室分别用X荧光光谱仪(XRF)和电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)测试的。分析结果分别列于表1和表2中。

3.1 主量元素及标准矿物组成

在化学成分上,两个花岗岩体均投在二长花岗岩范围内,而其中所含包体均为花岗闪长质(图3)。

表 1 准噶尔微粒包体及其寄主花岗岩主要元素含量 ($w_B/\%$) 和 CIPW 标准矿物
 Table 1 Major elements compositions ($w_B/\%$) and CIPW normative minerals of enclaves and host granites from Junggar region

| 产状 | 包体 | | | | | | | | | | | 包体 | | | | | | | | | | | 二长花岗岩 | | |
|--------------------------------|--------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|-------|--|--|
| | YBS3 | YBS4 | 02YBS04 | YBS1 | YBS2 | XC1 | XC2 | XC4 | XC6 | XC11 | MEG6-2 | MEG6-3 | MEG6-4 | MEG6-5 | MEG6-6 | MEG6-7 | MEG6-8 | MEG1 | MEG3 | MEG6 | | | | | |
| SiO ₂ | 72.09 | 68.77 | 68.25 | 75.18 | 74.07 | 76.30 | 76.08 | 77.19 | 76.70 | 73.60 | 66.09 | 66.95 | 68.36 | 68.24 | 67.21 | 68.16 | 61.11 | 74.79 | 74.85 | 73.30 | | | | | |
| TiO ₂ | 0.48 | 0.77 | 0.67 | 0.20 | 0.20 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.22 | 0.38 | 0.75 | 0.69 | 0.72 | 0.52 | 0.70 | 1.11 | 0.22 | 0.21 | 0.25 | | | | | |
| Al ₂ O ₃ | 14.10 | 15.05 | 15.04 | 13.26 | 13.50 | 12.50 | 12.84 | 12.07 | 12.07 | 13.52 | 15.44 | 14.26 | 14.30 | 14.32 | 13.33 | 14.47 | 14.91 | 13.22 | 13.08 | 13.88 | | | | | |
| Fe ₂ O ₃ | 1.22 | 1.53 | 1.59 | 1.63 | 1.70 | 0.89 | 0.98 | 0.69 | 0.98 | 0.77 | 1.50 | 1.84 | 1.56 | 1.67 | 1.76 | 1.75 | 2.97 | 1.88 | 1.88 | 2.23 | | | | | |
| FeO | 1.95 | 2.88 | 3.08 | — | — | 0.45 | 0.50 | 0.67 | 0.73 | 1.27 | 3.50 | 4.68 | 3.80 | 4.10 | 4.98 | 4.10 | 6.55 | — | — | — | | | | | |
| MnO | 0.09 | 0.16 | 0.16 | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.12 | 0.14 | 0.12 | 0.13 | 0.15 | 0.13 | 0.17 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | | | | | |
| MgO | 0.95 | 1.36 | 1.37 | 0.21 | 0.23 | 0.26 | 0.29 | 0.27 | 0.23 | 0.24 | 1.79 | 1.14 | 1.14 | 1.13 | 1.72 | 1.20 | 1.71 | 0.16 | 0.13 | 0.21 | | | | | |
| CaO | 1.95 | 2.63 | 2.43 | 0.53 | 0.65 | 0.87 | 0.64 | 0.49 | 0.72 | 1.24 | 3.98 | 3.59 | 3.00 | 2.99 | 3.48 | 3.09 | 4.29 | 0.41 | 0.48 | 0.71 | | | | | |
| Na ₂ O | 3.09 | 2.95 | 3.31 | 3.76 | 3.89 | 3.88 | 3.50 | 3.70 | 3.69 | 3.63 | 3.33 | 3.77 | 3.26 | 3.31 | 3.23 | 3.26 | 2.96 | 4.04 | 3.95 | 4.26 | | | | | |
| K ₂ O | 2.64 | 2.24 | 2.61 | 4.98 | 5.00 | 4.31 | 4.56 | 4.31 | 4.19 | 4.56 | 2.42 | 1.77 | 2.36 | 2.28 | 2.03 | 1.73 | 2.27 | 4.91 | 4.95 | 5.08 | | | | | |
| P ₂ O ₅ | 0.25 | 0.30 | 0.30 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.13 | 0.01 | 0.06 | 0.21 | 0.28 | 0.26 | 0.28 | 0.23 | 0.26 | 0.39 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | | | | | |
| LOI | 1.20 | 1.37 | 1.19 | 0.66 | 0.43 | — | — | — | — | — | 1.20 | 1.04 | 1.15 | 0.83 | 1.37 | 1.16 | 1.75 | 0.50 | 0.91 | 0.40 | | | | | |
| TOTAL | 100.02 | 100.01 | 100.00 | 100.49 | 99.75 | 99.85 | 99.81 | 99.96 | 99.78 | 99.73 | 100.01 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.01 | 100.00 | 100.18 | 100.50 | 100.39 | | | | | |
| A/CNK | 1.23 | 1.25 | 1.18 | 1.06 | 1.04 | 0.99 | 1.08 | 1.04 | 1.01 | 1.03 | 1.00 | 1.00 | 1.07 | 1.07 | 0.96 | 1.12 | 0.98 | 1.04 | 1.03 | 1.00 | | | | | |
| A/NK | 1.77 | 2.07 | 1.82 | 1.14 | 1.14 | 1.13 | 1.20 | 1.12 | 1.14 | 1.24 | 1.89 | 1.76 | 1.80 | 1.81 | 1.77 | 2.00 | 2.03 | 1.10 | 1.10 | 1.11 | | | | | |
| N/K | 1.77 | 2.00 | 1.92 | 1.14 | 1.18 | 1.36 | 1.16 | 1.30 | 1.34 | 1.21 | 2.12 | 3.23 | 2.09 | 2.20 | 2.41 | 2.86 | 1.98 | 1.25 | 1.21 | 1.27 | | | | | |
| AN/% | 23.52 | 30.76 | 26.49 | 6.93 | 8.26 | 10.77 | 8.77 | 4.81 | 10.10 | 15.79 | 39.11 | 31.97 | 32.34 | 31.71 | 36.58 | 33.07 | 42.79 | 5.10 | 6.14 | 8.30 | | | | | |
| Q | 38.24 | 34.83 | 30.99 | 32.91 | 30.68 | 35.07 | 36.56 | 37.79 | 37.08 | 31.51 | 24.38 | 27.30 | 30.80 | 30.59 | 28.04 | 32.55 | 20.65 | 31.47 | 31.79 | 27.36 | | | | | |
| Or | 15.60 | 13.24 | 15.42 | 29.43 | 29.55 | 25.47 | 26.95 | 25.47 | 24.76 | 26.95 | 14.30 | 10.46 | 13.95 | 13.47 | 12.00 | 10.22 | 13.42 | 29.02 | 29.25 | 30.02 | | | | | |
| Ab | 26.15 | 24.96 | 28.01 | 31.82 | 32.92 | 32.83 | 29.62 | 31.31 | 31.22 | 30.72 | 28.60 | 31.90 | 27.59 | 28.01 | 27.33 | 27.59 | 25.05 | 34.19 | 33.42 | 36.05 | | | | | |
| An | 8.04 | 11.09 | 10.10 | 2.37 | 2.96 | 3.96 | 2.85 | 1.58 | 3.51 | 5.76 | 18.37 | 14.99 | 13.18 | 13.00 | 15.76 | 13.63 | 18.74 | 1.84 | 2.19 | 3.26 | | | | | |
| C | 3.21 | 3.71 | 3.07 | 0.82 | 0.60 | 0.00 | 1.10 | 0.74 | 0.18 | 0.50 | 0.53 | 0.65 | 1.55 | 1.64 | 0.04 | 2.24 | 0.72 | 0.59 | 0.42 | 0.18 | | | | | |
| Hy | 4.31 | 6.44 | 6.95 | 0.52 | 0.57 | 0.72 | 0.83 | 1.33 | 1.15 | 2.08 | 9.24 | 8.93 | 7.61 | 8.02 | 11.39 | 8.16 | 12.84 | 0.40 | 0.32 | 0.52 | | | | | |
| Mt | 1.77 | 2.22 | 2.31 | 0.00 | 0.00 | 1.29 | 1.42 | 1.00 | 1.42 | 1.12 | 2.17 | 2.67 | 2.26 | 2.42 | 2.55 | 2.54 | 3.78 | 0.00 | 0.00 | 0.77 | | | | | |
| Il | 0.91 | 1.46 | 1.27 | 0.09 | 0.09 | 0.13 | 0.15 | 0.13 | 0.11 | 0.42 | 0.72 | 1.42 | 1.31 | 1.37 | 0.99 | 1.33 | 2.11 | 0.35 | 0.39 | 0.47 | | | | | |
| Hem | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.63 | 1.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.72 | 1.71 | 1.22 | | | | | |
| Ap | 0.58 | 0.70 | 0.70 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.12 | 0.30 | 0.02 | 0.14 | 0.49 | 0.65 | 0.60 | 0.65 | 0.53 | 0.60 | 0.90 | 0.07 | 0.07 | 0.09 | | | | | |

黑云母花岗岩和二长花岗岩数据引自韩宝福等(1998),其余均为本文样品。

$w_B/10^{-6}$

表 2 准噶尔微粒包体及其寄主花岗岩微量和稀土元素含量

Table 2 Trace rare earth elements compositions of fenclaves and host granites from Junggar region

| 产状 | 包体 | | | | | | | | | | 包体 | | | | | | | | | | 二长花岗岩 | | | |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|-----|-----|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|-------|--|--|--|
| | YBS3 | YBS4 | 02YBS04 | YBS1 | YBS2 | XC1 | XCA | XC11 | MEG6-2 | MEG6-3 | MEG6-4 | MEG6-5 | MEG6-6 | MEG6-7 | MEG6-8 | MEG1 | MEG3 | MEG6 | | | | | | |
| Sc | 5.81 | 6.66 | 7.10 | 1.75 | 3.80 | | | | 8.10 | 15.97 | 11.42 | 13.74 | 11.80 | 12.03 | 19.99 | 4.58 | 5.53 | 5.27 | | | | | | |
| Cr | 76.21 | 159.22 | 110.13 | 2.32 | 1.85 | | | | 25.03 | 24.58 | 330.74 | 32.22 | 48.63 | 72.37 | 15.25 | 0.80 | 1.73 | 1.35 | | | | | | |
| Co | 7.06 | 7.43 | 6.97 | 1.03 | 1.13 | | | | 8.20 | 5.37 | 7.81 | 6.96 | 7.01 | 6.21 | 8.20 | 0.90 | 0.98 | 1.27 | | | | | | |
| Cu | 25.63 | 32.10 | 36.40 | 4.92 | 2.77 | | | | 22.85 | 20.16 | 37.30 | 27.23 | 49.44 | 30.45 | 39.26 | 6.90 | 3.67 | 3.75 | | | | | | |
| Cs | 6.77 | 7.94 | 24.60 | 3.08 | 3.64 | | | | 5.38 | 9.28 | 29.18 | 10.25 | 37.27 | 29.44 | 46.79 | 4.32 | 3.13 | 3.93 | | | | | | |
| Rb | 157.32 | 148.30 | 186.93 | 148.00 | 173.00 | | | | 87.19 | 76.45 | 124.39 | 101.17 | 105.40 | 93.29 | 197.84 | 128.00 | 75.70 | 126.00 | | | | | | |
| Sr | 164.39 | 158.33 | 142.17 | 54.40 | 61.90 | | | | 104.38 | 67.53 | 70.42 | 90.42 | 87.64 | 61.79 | 128.08 | 46.80 | 57.30 | 63.30 | | | | | | |
| Ba | 387.23 | 288.73 | 274.46 | 352.00 | 414.00 | | | | 530.87 | 116.75 | 326.19 | 304.63 | 335.67 | 215.72 | 264.59 | 570.00 | 805.00 | 601.00 | | | | | | |
| Th | 31.02 | 32.04 | 31.09 | 15.30 | 16.30 | | | | 14.45 | 22.11 | 25.66 | 20.66 | 5.29 | 16.96 | 18.47 | 10.80 | 7.32 | 7.99 | | | | | | |
| Ga | 9.81 | 8.16 | 8.70 | 15.60 | 17.30 | | | | 11.47 | 8.22 | 10.00 | 9.23 | 9.61 | 7.93 | 10.21 | 19.90 | 17.90 | 20.50 | | | | | | |
| Nb | 42.83 | 38.27 | 50.53 | 18.10 | 16.70 | | | | 11.67 | 59.01 | 15.20 | 18.63 | 17.25 | 19.82 | 61.25 | 9.60 | 6.17 | 10.90 | | | | | | |
| Zr | 484.83 | 296.41 | 543.37 | 248.00 | 287.00 | | | | 247.32 | 539.40 | 495.58 | 463.70 | 338.96 | 315.23 | 512.14 | 374.00 | 344.00 | 411.00 | | | | | | |
| Hf | 17.51 | 9.85 | 16.72 | 7.00 | 8.17 | | | | 9.14 | 20.22 | 18.14 | 16.94 | 12.86 | 11.91 | 20.05 | 10.07 | 8.10 | 11.00 | | | | | | |
| Y | 39.39 | 42.43 | 43.33 | 41.30 | 46.00 | | | | 76.92 | 150.22 | 105.51 | 109.99 | 102.39 | 105.41 | 143.75 | 38.50 | 26.40 | 50.20 | | | | | | |
| Zn | 66.37 | 30.61 | 32.85 | 49.10 | 30.90 | | | | 25.05 | 49.82 | 59.34 | 52.27 | 59.14 | 36.38 | 70.07 | 36.30 | 45.80 | 47.90 | | | | | | |
| Ge | 1.45 | 1.60 | 1.47 | 1.59 | 1.63 | | | | 1.50 | 2.37 | 2.01 | 1.83 | 1.87 | 1.77 | 2.39 | 1.87 | 1.53 | 1.74 | | | | | | |
| Pb | 21.20 | 19.84 | 21.86 | 21.90 | 20.70 | | | | 16.47 | 15.92 | 20.38 | 17.92 | 14.02 | 13.83 | 14.82 | 18.50 | 17.60 | 18.20 | | | | | | |
| U | 4.31 | 11.67 | 3.94 | 2.27 | 2.63 | | | | 2.91 | 1.70 | 2.25 | 1.42 | 1.21 | 2.01 | 1.73 | 1.94 | 1.05 | 1.23 | | | | | | |
| La | 34.58 | 32.79 | 30.53 | 37.60 | 37.50 | | | | 26.63 | 36.72 | 25.06 | 23.88 | 25.18 | 23.53 | 31.04 | 30.20 | 34.80 | 26.90 | | | | | | |
| Ce | 69.18 | 69.11 | 69.10 | 79.50 | 77.00 | | | | 66.29 | 91.14 | 71.23 | 71.64 | 71.22 | 67.17 | 96.15 | 66.80 | 75.70 | 61.90 | | | | | | |
| Pr | 8.77 | 9.74 | 9.87 | 9.12 | 9.16 | | | | 10.27 | 16.14 | 12.02 | 13.16 | 12.35 | 12.01 | 15.13 | 7.88 | 9.41 | 8.04 | | | | | | |
| Nd | 31.43 | 33.40 | 35.11 | 32.70 | 34.60 | | | | 37.29 | 57.75 | 43.45 | 46.48 | 45.96 | 43.52 | 63.43 | 32.10 | 38.00 | 35.10 | | | | | | |
| Sm | 5.60 | 5.96 | 6.61 | 6.65 | 6.97 | | | | 9.40 | 18.39 | 13.11 | 14.60 | 13.33 | 13.29 | 20.19 | 6.51 | 6.98 | 8.17 | | | | | | |
| Eu | 0.60 | 0.68 | 0.55 | 0.55 | 0.58 | | | | 0.69 | 0.44 | 0.60 | 0.72 | 0.51 | 0.45 | 0.59 | 0.60 | 0.85 | 0.67 | | | | | | |
| Gd | 5.43 | 5.84 | 6.10 | 6.32 | 6.62 | | | | 9.01 | 33.35 | 12.86 | 14.48 | 12.92 | 13.17 | 19.04 | 6.19 | 6.18 | 7.84 | | | | | | |
| Tb | 1.06 | 1.16 | 1.25 | 1.04 | 1.14 | | | | 2.04 | 4.66 | 2.99 | 3.31 | 2.88 | 3.11 | 4.16 | 1.02 | 0.92 | 1.38 | | | | | | |
| Dy | 6.43 | 6.90 | 7.27 | 6.10 | 6.81 | | | | 12.94 | 32.15 | 19.38 | 20.57 | 18.25 | 20.01 | 32.25 | 6.20 | 5.03 | 8.13 | | | | | | |
| Ho | 1.42 | 1.50 | 1.59 | 1.33 | 1.52 | | | | 2.94 | 5.72 | 4.25 | 4.34 | 3.92 | 4.28 | 5.83 | 1.32 | 1.00 | 1.77 | | | | | | |
| Er | 3.84 | 4.20 | 4.25 | 3.69 | 4.14 | | | | 7.77 | 14.71 | 11.06 | 11.12 | 10.15 | 11.05 | 14.95 | 3.67 | 2.66 | 4.75 | | | | | | |
| Yb | 5.24 | 5.44 | 5.85 | 4.27 | 5.14 | | | | 17.66 | 13.76 | 13.47 | 12.16 | 13.23 | 17.43 | 4.19 | 2.78 | 5.14 | | | | | | | |
| Lu | 0.70 | 0.74 | 0.84 | 0.66 | 0.76 | | | | 2.44 | 1.86 | 1.81 | 1.62 | 1.75 | 2.36 | 0.64 | 0.44 | 0.81 | | | | | | | |
| ΣREE | 174.28 | 177.46 | 178.93 | 189.53 | 191.94 | | | | 195.47 | 331.27 | 231.62 | 239.58 | 230.44 | 226.57 | 322.55 | 167.32 | 184.75 | 170.60 | | | | | | |
| Eu/Eu* | 0.33 | 0.36 | 0.27 | 0.26 | 0.26 | | | | 0.23 | 0.05 | 0.14 | 0.15 | 0.12 | 0.10 | 0.09 | 0.29 | 0.40 | 0.26 | | | | | | |

数据来源同表 1。

也布山包体 SiO_2 含量 68.3%~72.1%，寄主花岗岩酸性程度较高， SiO_2 含量平均达 75.6%。与其他两个包体样品(YBS4 和 02YBS04)相比，YBS3 的 SiO_2 含量(72.1%) 偏高，可能是该样品受到酸性寄主岩浆的混染程度较高，这也是包体样品间成分不均一的原因之一。庙儿沟 7 个包体样品 SiO_2 平均含量为 66.6%，较寄主二长花岗岩的平均值 74.3% 低。也布山寄主岩中 $A/\text{CNK}=0.98\sim 1.10$, $A/\text{NK}=1.12\sim 1.89$, 对应于准铝质-过铝质花岗岩；庙儿沟二长花岗岩 A/CNK 和 A/NK 均为 $1.00\sim 1.10$, 较前者稍偏碱性。包体的 A/CNK 与各自的寄主岩特征基本相类似，只是变化范围较大，也布山包体比其寄主岩石有稍富铝的特征。 A/NK 和 N/K 两个指数，包体与寄主岩石则有明显的差异：也布山包体 $A/\text{NK}=1.77\sim 2.07$, $N/\text{K}=1.77\sim 2.00$, 寄主岩石 $A/\text{NK}=1.13\sim 1.24$, $N/\text{K}=1.14\sim 1.30$ ；庙儿沟包体 $A/\text{NK}=1.76\sim 2.03$, $N/\text{K}=1.98\sim 3.23$, 寄主岩

石 $A/\text{NK}=1.10\sim 1.11$, $N/\text{K}=1.21\sim 1.27$, 表明包体分别比其寄主岩富铝、富钠。根据 $A/\text{NK}-A/\text{CNK}$ 图解(图 4)，寄主花岗岩和微粒包体均为准铝质-过铝质。在两类包体中，铁、镁含量也明显高于其对应的花岗岩。

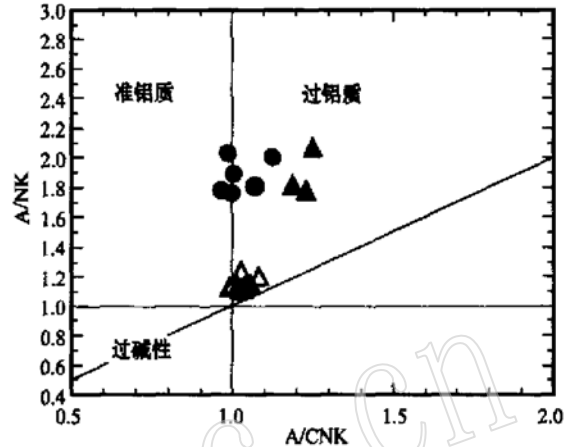


图 4 准噶尔花岗岩及其包体 $A/\text{NK}-A/\text{CNK}$ 图解

Fig. 4 A/NK versus A/CNK plot of granites and enclaves from Junggar region

图例同图 3

Symbols as for Fig. 3

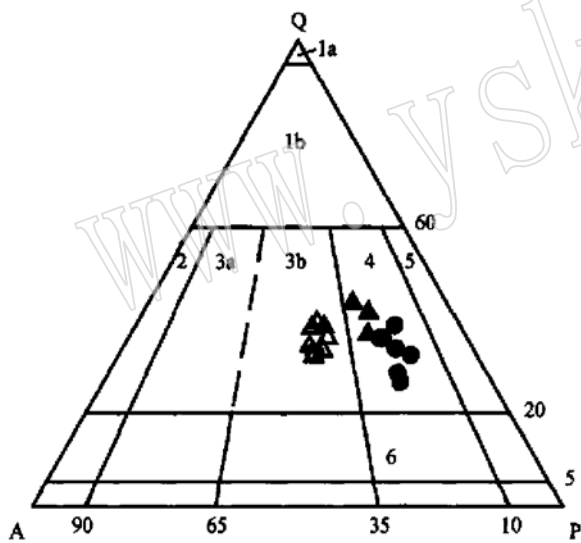


图 3 准噶尔花岗岩及其包体 QAP 图解

Fig. 3 QAP diagram of microgranular enclaves and host granites from Junggar region

1a—石英岩；1b—富石英花岗岩；2—碱长花岗岩；3a—钾长花岗岩(普通花岗岩)；3b—二长花岗岩；4—花岗闪长岩；5—英云闪长岩；6—石英二长闪长岩； Δ —也布山寄主花岗岩； \blacktriangle —也布山闪长质包体； \circ —庙儿沟寄主花岗岩； \bullet —庙儿沟闪长质包体；1a—quartzite；1b—quartz_rich granite；2—alkali_feldspar granite；3a—moyite；3b—monzogranite；4—granodiorite；5—tonalite；6—quartz monzodiorite； Δ —Yebushan host granite； \blacktriangle —Yebushan dioritic enclave； \circ —Miao'ergou host granite； \bullet —Miao'ergou dioritic enclave

暗色微粒包体与寄主岩体的成分变化规律是：随着 SiO_2 含量的增加， Al_2O_3 、 TiO_2 、 TFeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 和 P_2O_5 都呈线性递减关系，而 Na_2O 、 K_2O 则有微弱的增长(图 5)。从岩石和包体的 CIPW 标准矿物(表 1)可以看出，包体中 An 含量普遍较高(也布山 8.04%~11.09%，庙儿沟 13.00%~18.37%)，而在寄主岩中较低(也布山 1.58%~5.76%，平均 3.28%；庙儿沟 1.84%~3.26%，平均 2.43%)； Ab 和 Or 则在寄主花岗岩中较富集。此外，包体中 Mt 、 Hem 、 Ap 含量也明显高于其寄主花岗岩。

3.2 微量元素、稀土元素地球化学特征

对比黑云母花岗岩和二长花岗岩及其各自包体的微量元素、稀土元素特征发现， Ti 、 Zr 、 Sr 、 Nb 、 Th 、 Yb 在包体中丰度较高， K 、 Ba 则相对较贫， Rb 与主岩基本持平，总体上原始地幔标准化蛛网图解的形态是类似的(图 6)。

也布山包体的稀土元素总量($\sum\text{REE}=174.28\times 10^{-6}\sim 178.93\times 10^{-6}$)与寄主花岗岩($\sum\text{REE}=\dots$)

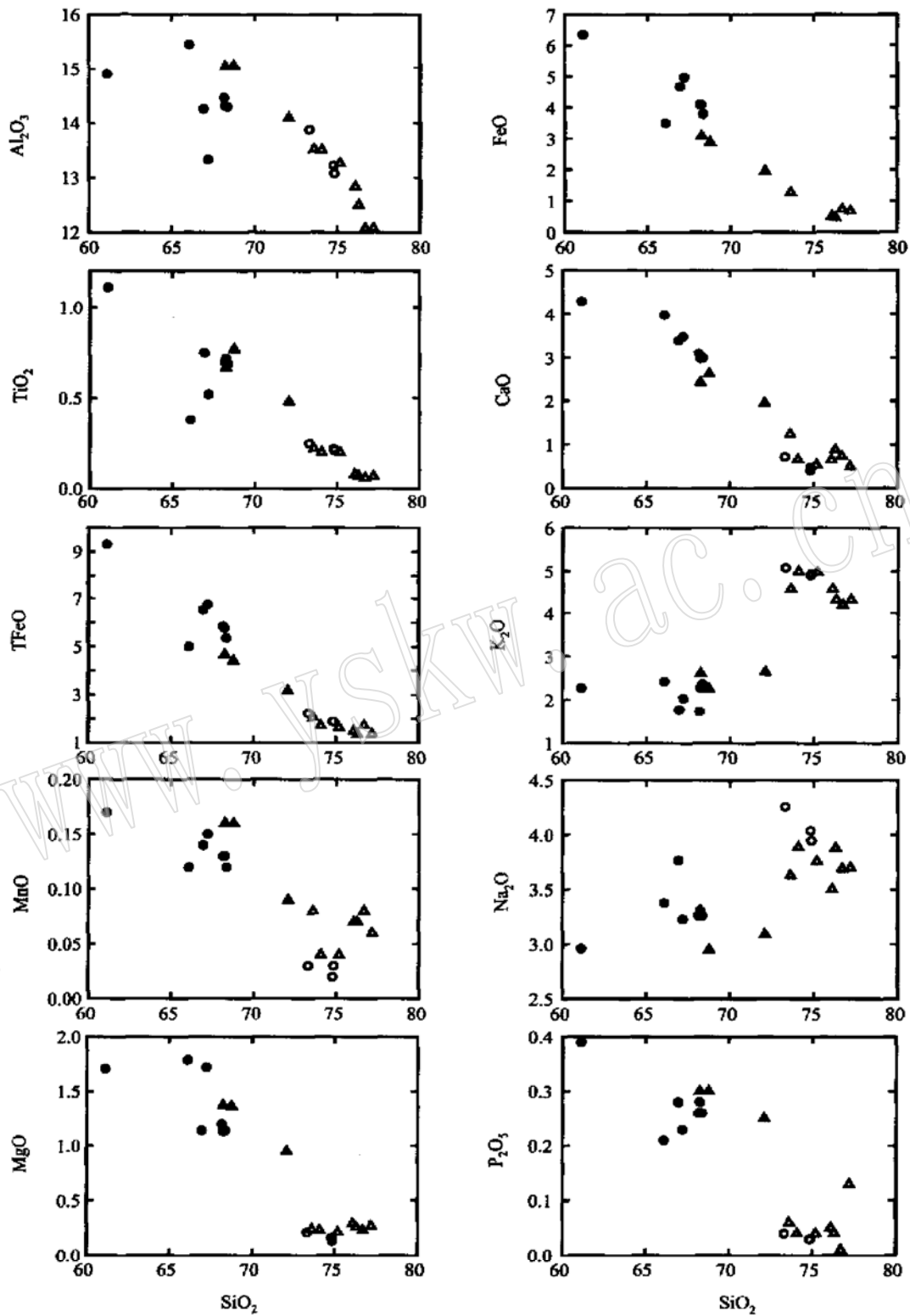


图 5 包体与寄主岩石主量元素哈克图解(图例同图 3)

Fig. 5 Harker diagrams of major elements for enclaves and host granites (Symbols as for Fig. 3)

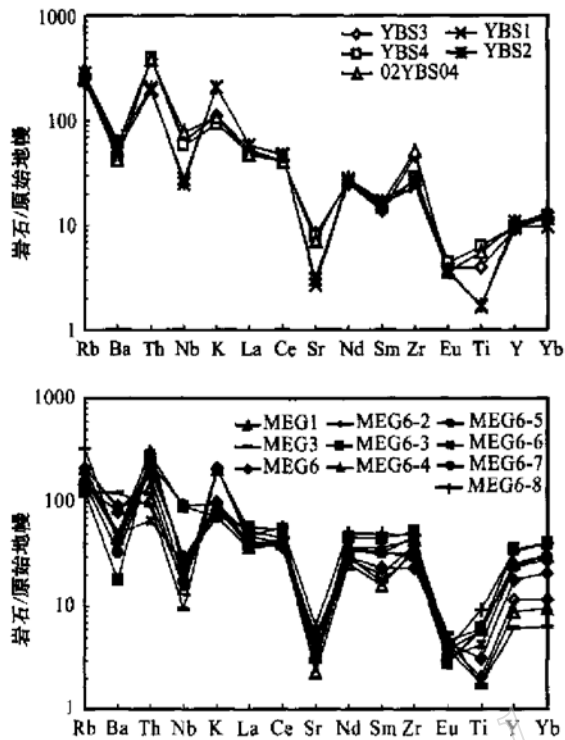


图6 包体和寄主花岗岩原始地幔标准化蛛网图

Fig. 6 Primitive_mantle normalized spidergrams of

enclaves and host granites from Junggar region

原始地幔标准化值引自 Sun and McDonough (1989)

Normalization values from Sun and McDonough (1989)

$179.70 \times 10^{-6} \sim 191.94 \times 10^{-6}$) 基本持平, REE 配分曲线近似平行, LREE 为右倾型, 而 HREE 为中部下凹的平坦型(图 7a)。但包体 Eu/Eu^* 值略高于寄主花岗岩, 表明包体中 Eu 的亏损程度较弱。花岗岩样品中, XCH1 和 XCH4 的负 Eu 异常 ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.09$ 和 0.06) 明显大于其他 3 个样品 ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.26$ 、 0.26 和 0.32), 这表明寄主岩的岩浆本身存在非均一性, 可能曾经有斜长石和角闪石的结晶分离。

庙儿沟包体 LREE 和 HREE 分布曲线平缓(图 7b), 轻重稀土元素含量较高且分馏很弱 [$(\text{La}/\text{Yb})_N = 1.5 \sim 2.1$], Eu 亏损程度高 ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.05 \sim 0.23$), 整个配分曲线呈“V”字形。但包体样品之间重稀土元素含量差异较大。寄主岩二长花岗岩稀土元素配分型式呈十分一致的右倾型, $(\text{La}/\text{Sm})_N = 2.1 \sim 3.2$, $(\text{La}/\text{Yb})_N = 3.6 \sim 9.0$, 表明轻重稀土元素分异程度较高, 稀土元素总量也较之包体明显偏低(寄主岩 $\sum \text{REE} = 167.32 \times 10^{-6} \sim 184.75 \times 10^{-6}$, 包体 $\sum \text{REE} = 195.47 \times 10^{-6} \sim 331.27 \times 10^{-6}$, 平均

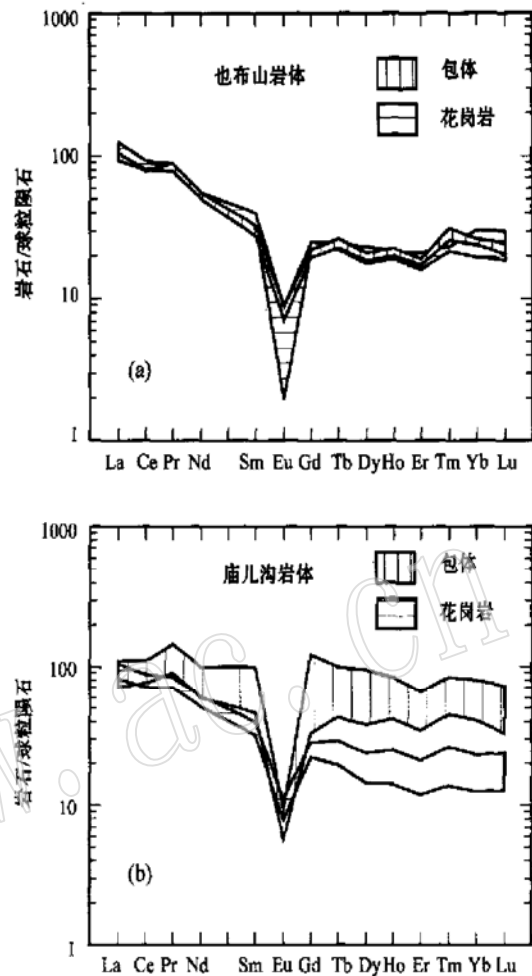


图7 包体和寄主花岗岩稀土元素球粒陨石标准化图解

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of enclaves

and host granites from Junggar region

球粒陨石标准化值来自 Nakamura (1977)

Normalization values from Nakamura (1977)

为 256.01×10^{-6}), Eu 也有较强的亏损 ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.26 \sim 0.40$), 但亏损程度比包体稍弱。

4 岩石包体与寄主花岗岩成因关系

把两个花岗岩体与其中暗色微粒包体的化学成分进行对比可以看出, 包体总是比相应的寄主岩富 CaO 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 TiO_2 和 P_2O_5 , 而贫 Na_2O 和 K_2O 、 Al_2O_3 从基本持平到稍微富集, 它们之间均具有很好的成分相关性(图 5)。与集中的寄主岩成分点相比, 包体的成分点相对比较分散。包体和寄主岩成分演化趋势与正常的岩浆演化趋势较为

相似;两者在化学成分上存在差异,但在矿物组合上基本相同。这些特点表明,包体及寄主岩源岩岩浆之间存在一定的亲缘关系,是与花岗岩有成因联系的同源包体,它与产出在S型花岗岩或者混合岩类中的变质成因的包体明显不同(Chappell and White, 1991)。

也布山岩体及其微粒包体研究资料表明,与寄主花岗岩相比,包体以基性组分富集、高场强元素Ti、Zr、Nb、Th含量较高以及富集稀土元素为特征。也布山包体中Sr的含量较高,但Eu的负异常与寄主岩石相差不大。这种元素的变异特征表明,形成暗色微粒包体和寄主花岗岩的源岩岩浆在侵位过程中可能发生了矿物相的结晶分异作用。从Sr-Eu*/Eu的双变量图解(图8a)可以看出,在分离结晶过程中,包体和花岗质岩浆间Sr的强烈分异引起的Eu异常变化很小,表明在结晶析出斜长石的同时,Eu的另外一个载体矿物钾长石主要富集于残留熔体相中,从而使得结晶相和熔体相之间Eu异常差别不明显。根据熔体结晶分离作用矿物矢量Ba-Sr图解(图8b),也布山岩浆分离结晶作用趋势以斜长石为主导,同时伴有角闪石、黑云母的析出。微量元素Rb和主元素K具有相似的化学性质,花岗质岩石中Rb的主要富集矿物是钾长石和云母,在结晶过程中,钾长石主要倾向于残留在熔体相中,而黑云母在矿物相中相对富集,因此形成蛛网图上寄主岩中K较富集,Rb在包体和寄主岩间基本持平。此外,也布山包体的铝指数(A/CNK)较高,可能是在分离结晶过程中,钾长石主要富集于残留熔体相中,导致

寄主花岗岩中A/CNK值偏低,包体中富铝矿物含量稍高也是原因之一。对于稀土元素,富集HREE的暗色矿物单斜辉石和角闪石的结晶使得HREE富集于矿物相中,而残余熔体相中相对富集了LREE,表现为寄主岩石稀土元素配分曲线HREE平坦且微下凹。包体中Ti的正异常一般与钛铁矿和榍石的结晶有关,而P则主要跟磷灰石的分离相联系。

与寄主二长花岗岩相比,庙儿沟包体中Sr含量稍高,但差异不大;包体中Eu的亏损程度明显大于寄主岩石,这种特征表明微粒包体不可能是与寄主岩同源的岩浆早期结晶的产物(邱瑞龙, 1996)。Eu的分异主要受控于初熔的钾长石,斜长石的分离不明显。也就是说,钾长石的分离比斜长石对整个体系的影响更大(图8a)。庙儿沟包体中亲石元素Ba的明显亏损,也有悖于分离结晶作用过程中斜长石的分离。对于稀土元素,包体中LREE和HREE均明显富集,尤其是HREE富集程度很高,主要归因于角闪石、单斜辉石和磷灰石等稀土元素的载体矿物在残余固相中含量较多。而钾长石和石英浅色矿物中的稀土元素含量最贫,且具富集LREE的右倾特征,它们在熔体相中浓度相对较高。此外,庙儿沟包体稀土元素含量较高且配分曲线型式较为分散,可能与源岩的组分、REE分布的非均一性温度以及花岗质岩浆的混染有关(Barbey, 1991)。结合包体的熔蚀残余结构和其他岩相学的特征,笔者认为庙儿沟包体可能是由基性源岩发生部分熔融作用的难熔残余体。

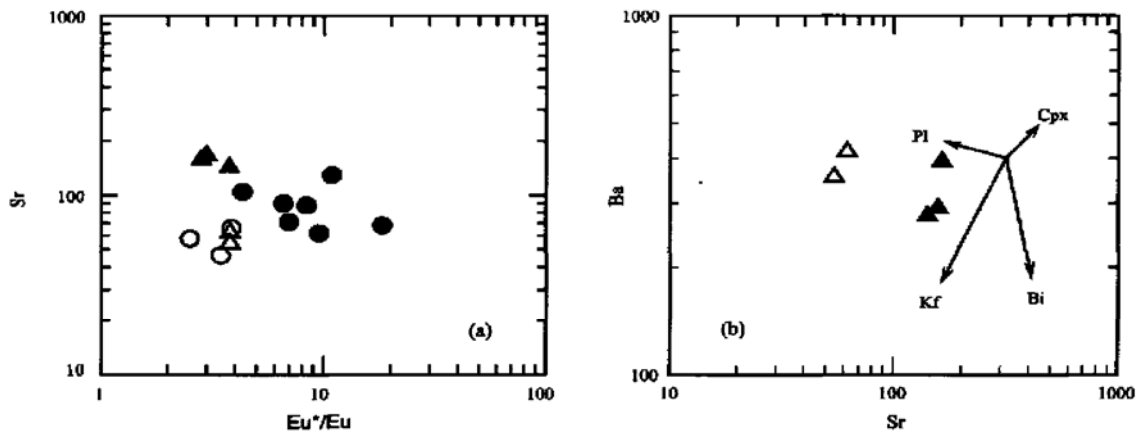


图8 熔体分离结晶矿物矢量图解(引自 Han Baofu *et al.*, 1997)

Fig. 8 Diagrams of mineral vectors for fractional crystallization of melts (after Han Baofu *et al.*, 1997)

图例同图3

Symbols as for Fig. 3

5 讨论

在新疆东准噶尔地区发育的乌伦古河碱性花岗岩(Rb_Sr 全岩等时线年龄 309~ 292 Ma), 是晚古生代后造山构造-岩浆活动的产物, 其岩浆起源于亏损地幔, 是导致地壳生长的新生物质(王式等, 1994; 韩宝福等, 1998)。该区的也布山黑云母花岗岩体 Rb_Sr 等时线年龄为 268 ± 4 Ma, 稍晚于碱性花岗岩的形成时代, 它具有低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值和高的正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值, 可能是在整个晚古生代岩浆脉动作用晚期幔源岩浆活动的结果(韩宝福等, 1998)。运用微量元素各种定量模型和协变图解对成岩过程的模拟也表明, 多阶段高程度分离结晶是幔源侵入岩的主导成岩作用(赵振华等, 1996)。结合也布山包体研究证实, 在本次岩浆脉动作用后期(约 270 Ma), 幔源的基性岩浆发生较强分异, 斜长石、角闪石和少量单斜辉石以及磷灰石和钛铁矿等副矿物结晶分离, 形成少量的闪长质结晶细粒体。析出的包体在地球化学特征上表现为与寄主岩相互区别又受其制约。经过分异的准铝-过铝质岩浆随后携带这些同源包体向上地壳侵位。随着温度和压力变化以及水合作用的影响, 包体中一些固相矿物的熔点降低, 发生早期结晶的矿物(如单斜辉石、角闪石和黑云母)的熔蚀。同时, 包体还受到寄主岩浆的同化混染作用, 使得两者在化学成分和矿物组成上趋于一致。

在西准噶尔地区, 庙儿沟二长花岗岩体 K_Ar 年龄为 280 Ma 左右(王式等, 1994; 赵振华等, 1996), 是西准噶尔晚古生代后造山岩浆活动的产物。庙儿沟包体中角闪石和黑云母具有残余体的典型结构特征, 表明它与也布山包体在成因上的差别。庙儿沟花岗岩稀土元素配分模式呈富 LREE 的右倾型; Eu 的负异常也较包体弱, 斜长石在矿物相和熔体相中的分异不明显(Mehnert, 1968; Gupta and Johannes, 1982), 这些特征都提供了岩浆发生部分熔融作用的信息。马大铨等(1985)曾对广东阳春盆地岗尾-石型花岗岩及其闪长质包体运用稀土元素进行地球化学过程定量模拟, 分别以低酸度闪长质包体代表源岩和残余体, 运用部分熔融定量模型计算其稀土元素配分模式, 结果表明, 在中等程度的部分熔融作用下拟合结果较好(林景仟, 1987)。由此可见, 庙儿沟闪长质包体可能是同源包体, 是属于部分熔融产生二长花岗质熔体时的难熔残余体。庙

儿沟二长花岗岩体的岩相学、岩石化学和地球化学等特征均显示其为壳源花岗岩, 高的氧同位素值亦证明这一点(金成伟等, 1993), 但其中碱性长石 Pb 同位素具有幔源花岗岩的特征(Kwon *et al.*, 1989)。根据包体所反映的岩石学和地球化学特征推测, 形成二长花岗岩及其包体的岩浆作用过程可能是晚古生代源自亏损地幔的岩浆向上侵入到地壳, 在底侵作用下就位形成基性的玄武质岩石, 然后又发生了部分熔融作用, 产生二长花岗质熔体, 而角闪石、单斜辉石和磷灰石等稀土元素的载体矿物富集于残留的固体相中。部分熔融形成的酸性岩浆携带残余包体在上升侵位过程中, 可能对包体进行了一定程度的改造和同化, 这主要表现为包体样品间成分的不均匀性。西准噶尔碰撞造山后区域张性构造背景也为包体及花岗质岩浆的最终侵位奠定了基础。

新疆准噶尔地区以也布山和庙儿沟岩体为代表的后碰撞幔源花岗岩广泛分布, 然而产于其中的微粒包体成因和起源却迥然不同。前者是幔源岩浆上侵过程中, 高度结晶分异的产物; 后者则主要是由幔源的下地壳基性岩石部分熔融后的难熔残余体。它们与寄主岩浆都有成因联系, 是同源包体, 提供了幔源岩浆从起源经过高度演化, 最终在上地壳侵位的直接证据, 是准噶尔地区显生宙幔源岩浆活动及其分异产物导致大陆地壳垂向生长的物质表现。当然, 通过包体与准铝-过铝质的寄主岩石之间的关系, 探讨岩石成因机制问题和幔源岩浆的分异演化过程仍是有待于进一步研究的课题。

6 结论

新疆准噶尔地区也布山、庙儿沟两个晚古生代后碰撞准铝-过铝质花岗岩体中发育了大量的暗色微粒闪长质包体。包体在地球化学特征上表现为与寄主岩石既相互联系又受其制约。也布山黑云母花岗岩中微粒包体是来自上地幔的基性岩浆高度演化、发生结晶分异的产物; 庙儿沟二长花岗岩中含钾长石斑晶的包体则主要是由基性源岩部分熔融作用形成的残余体。暗色微粒包体在被花岗质岩浆携带向上侵位的过程中, 受温压和水合作用影响以及寄主岩浆的同化混染发生不同组分的相互扩散, 逐渐在矿物组成和化学成分上趋于一致。包体的成因和特征虽具多样性, 但其形成和演化都提供了晚古生

代准噶尔地区后碰撞幔源岩浆底侵作用导致大陆地壳垂向生长过程的信息。

致谢 本文在研究和成稿过程中得到了季建清老师的热情帮助; 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室赵凤三、古丽冰、杨斌老师承担了大部分包体样品测试工作; 西北大学大陆动力学实验室完成了寄主花岗岩样品的测试; 匿名审稿人细致认真地审阅了本文并提出了启发性修改意见, 在此一并表示衷心谢忱!

References

- Barbarin B and Didier J. 1992. Genesis and evolution of mafic microgranular enclaves through various type of interaction between coexisting felsic and mafic magmas[J]. *Earth Science*, 83: 145~ 153.
- Barbey P. 1991. Restites in migmatites and autochthonous granites: Their main features and their genesis[A]. Didier J and Barbarin B. *Enclaves and Granite Petrology*[C]. Amsterdam: Elsevier, 479~ 492.
- Bateman P, Clark L, Huber N, *et al.* 1963. The Sierra Nevada: a synthesis of recent works across the central part [J]. *Geol. Surv. Prof. Pap.*, 414D: 16~ 19.
- Chappell B W. 1978. Granitoids from the Moonbi district, New England Batholith, eastern Australia[J]. *J. Geol. Soc. Aust.*, 25: 267~ 283.
- Chappell B W and White A J R. 1991. Restite enclaves and the restite model[A]. Didier J and Barbarin B. *Enclaves and Granite Petrology* [C]. Amsterdam: Elsevier, 375~ 382.
- Chappell B W, White A J R and Wyborn D. 1987. The importance of residual source material (restite) in granite petrogenesis [J]. *J. Petrol.*, 28: 1111~ 1138.
- Chen Y D, Price R C and White A J R. 1989. Inclusions in three S₂ type granites from southeastern Australia[J]. *J. Petrol.*, 30: 1181~ 1218.
- Chi Xiaoguo, Qi Changmou and Qi Yongheng. 1995. The origin of microgranular dioritic enclaves in granites in the eastern part of China [J]. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 25(2): 131~ 137 (in Chinese).
- Dahlquist J A. 2002. Mafic microgranular enclaves: early segregation from metaluminous magma (Sierra de Chepes), Pampean Ranges, NW Argentina[J]. *Journal of South American Earth Sciences*. 15: 645~ 655.
- Debon F. 1991. Comparative major element chemistry in various "microgranular enclave-plutonic host" pairs[A]. Didier J and Barbarin B. *Enclaves and Granite Petrology*[C]. Amsterdam: Elsevier, 293~ 312.
- Didier J. 1973. Granite and their enclaves: the bearing of enclaves on the origin of granites[A]. *Development in Petrology*, 3 [C]. Amsterdam: Elsevier, 393.
- Didier J. 1981. Enclaves and Host Granites—The Petrogenesis between the Enclaves and Granites [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Didier J and Barbarin B. 1991. Macroscopic features of mafic microgranular enclaves[A]. Didier J and Barbarin B. *Enclaves and Granite Petrology*[C]. Amsterdam: Elsevier, 253~ 262.
- Dong Chuanwan and Peng Yaming. 1992. The features and origin of the enclaves in the Qingtian granite, Zhejiang Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 11(1): 21~ 31 (in Chinese with English abstract).
- Du Yangsong. 1994. A review of the studies on the features of lower crust enclaves and their geological significance[J]. *Geological Science and Technology Information*, 13(3): 33~ 39 (in Chinese with English abstract).
- Du Yangsong. 1996. New advancement in rock enclaves in acidic intermediate acidic volcanic intrusive complexes[J]. *Geoscience*, 10(2): 170~ 174 (in Chinese with English abstract).
- Elburg M A. 1996. Evidence of isotopic equilibration between microgranitoid enclaves and host granodiorite, Warburton Granodiorite, Lachlan Fold Belt, Australia[J]. *Lithos*, 38: 1~ 22.
- Cupta L N and Johannes W. 1982. Petrogenesis of stromatic migmatites (Nelaug, southern Norway)[J]. *J. Petrol.*, 23: 548~ 567.
- Han Baofu and Wang Shiguang. 1997. Depleted-mantled source for the Ulungur River A₂ type granites from North Xinjiang, China: geochemistry and Nd/Sr isotopic evidence, and implication for Phanerozoic crustal growth[J]. *Chemical Geology*, 138: 135~ 159.
- Han Baofu, Wang Shiguang, Sun Yuanlin, *et al.* 1998. Metaluminous-peraluminous granite with positive $\epsilon_{Nd}(t)$: Yebushan rock from Xinjiang[J]. *Chinese Science Bulletin*, 43(12): 1323~ 1328 (in Chinese with English abstract).
- Hibbard M J. 1991. Textural anatomy of twelve magma-mixed granitoid systems[A]. Didier J and Barbarin B. *Enclaves and Granite Petrology*[C]. Amsterdam: Elsevier, 431~ 444.
- Jin Chengwei and Zhang Xiuqi. 1993. A geochronology and genesis of the western Junggar granitoids, Xinjiang[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 28(1): 28~ 36 (in Chinese with English abstract).
- Kwon S T, Tilton G R, Coleman R G, *et al.* 1989. Isotopic studies bearing on the tectonics of the West Junggar region, Xinjiang, China [J]. *Tectonics*, 8: 719~ 727.
- Lin Jingqian. 1987. Introduction to Petrogenesis of Igneous Rocks[M]. Beijing: Geological Publishing House, 108~ 134 (in Chinese).
- Ma Changqian, Wang Renjing and Qiu Jiexiang. 1992. Enclaves as indicators of the origin of granitoid magma and repeater magma mingling: an example from the Zhoukoudian intrusion, Beijing[J]. *Geological Review*, 38(2): 109~ 119 (in Chinese with English abstract).
- Maas R, Nicholls I A and Legg C. 1997. Igneous and metamorphic enclaves in the S₂ type Deddick granodiorite, Lachlan Fold Belt, SE Australia: petrographic, geochemical and Nd/Sr isotopic evidence for crustal melting and magma mixing[J]. *J. Petrol.* 38(7): 815~

842.

- Mehnert K R. 1968. Migmatites and the origin of granitic rocks[A]. *Developments in Petrology*[C]. Amsterdam: Elsevier, 393.
- Qiu Ruilong. 1996. Micrograined inclusions in Qingyang rock body and their magmatic dynamic characteristics[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 15(4): 323~ 332 (in Chinese with English abstract).
- Silva M M V G, Neiva A M R and Whitehouse M J. 2000. Geochemistry of enclaves and host granites from the Nelas area, central Portugal[J]. *Lithos*, 50: 153~ 170.
- Tindle A G. 1991. Trace element behaviour in mafic microgranular enclaves from granitic rocks[A]. Didier J and Barbarin B. *Enclaves and Granite Petrology*[C]. Amsterdam: Elsevier, 313~ 332.
- Tobisch O T, McNulty B A and Vernon R H. 1997. Microgranitoid enclave swarms in granitic plutons, central Sierra Nevada, California [J]. *Lithos*, 40: 321~ 339.
- Vernon R H. 1991. Interpretation of microstructure of microgranitoid enclaves[A]. Didier J and Barbarin B. *Enclaves and Granite Petrology*[C]. Amsterdam: Elsevier, 277~ 292.
- Wang Shiguang, Han Baofu, Hong Dawei, *et al.* 1994. Geochemistry and tectonic significance of alkali granites along Ulungur river, Xinjiang[J]. *Chinese Journal of Geology*, 29(4): 373~ 383 (in Chinese).
- Wu Cailai, Zhou Xunruo, Huang Xuchen, *et al.* 1996. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology of intrusive rocks from Tongling[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* 15(4): 299~ 306 (in Chinese with English abstract).
- Wu Cailai, Zhou Xunruo, Huang Xuchen, *et al.* 1997. Enclaves petrology of intermediate acid intrusive rocks in Tongling district, Anhui [J]. *Acta Geoscientific Sinica*, 18(2): 182~ 191 (in Chinese with English abstract).
- Wu Fuyuan, Jahn Borming and Lin Qiang. 1997. Isotopic characteristics of the postorogenic granites in orogenic belt of northern China and their implications in crustal growth[J]. *Chinese Science Bulletin*, 42(20): 2 188~ 2 192 (in Chinese).
- Zhao Zhenhua, Wang Zhonggang and Zou Tianren, *et al.* 1996. Study on petrogenesis of alkali-rich intrusive rocks of Ulungur, Xinjiang [J]. *Geochemica*, 25(3): 205~ 220 (in Chinese).
- Zhou Jincheng and Xu Xisheng. 1994. Geochemical constraints on microgranitoid enclaves by host granite[J]. *Geochemica*, 23(3): 254~ 261 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xunruo, Wu Cailai, Huang Xuchen, *et al.* 1993. Characteristics of cognate inclusions in intermediate acid intrusive rocks of Tongling area and their magmatic dynamics[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 12(1): 20~ 31(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- Didier J. 1981. 花岗岩及其包体——包体与花岗岩成因的关系[M]. 北京: 地质出版社.
- 迟效国, 戚长谋, 齐永恒. 1995. 中国东部花岗岩荷载微粒闪长质包体成因[J]. *长春地质学院学报*, 25(2): 131~ 137.
- 董传万, 彭亚鸣. 1992. 浙江青田花岗岩中岩石包体特征及成因[J]. *岩石矿物学杂志*, 11(1): 21~ 31.
- 杜杨松. 1994. 火成岩中下地壳岩石包体的特征及其研究意义[J]. *地质科技情报*, 13(3): 33~ 39.
- 杜杨松. 1996. 酸性-中酸性火山-侵入杂岩中岩石包体研究的新进展[J]. *现代地质*, 10(2): 170~ 174.
- 韩宝福, 王式, 孙元林, 等. 1998. 正 $\epsilon_{\text{Al}}(T)$ 值的准铝-过铝花岗岩: 新疆也布山岩体[J]. *科学通报*, 43(12): 1 324~ 1 328.
- 金成伟, 张秀棋. 1993. 新疆西准噶尔花岗岩类的时代及其成因[J]. *地质科学*, 28(1): 28~ 36.
- 林景任. 1987. 岩浆岩成因导论[M]. 北京: 地质出版社, 108~ 134.
- 马昌前, 王人镜, 邱家骥. 1992. 花岗质岩浆起源和多次岩浆混合的标志: 包体[J]. *地质论评*, 38(2): 109~ 119.
- 邱瑞龙. 1996. 青阳岩体微粒包体及岩浆动力学特征[J]. *岩石矿物学杂志*, 15(4): 323~ 332.
- 王式, 韩宝福, 洪大卫, 等. 1994. 新疆乌伦古河碱性花岗岩的地球化学及其构造意义[J]. *地质科学*, 29(4): 373~ 383.
- 吴才来, 周珣若, 黄许陈, 等. 1996. 铜陵地区中酸性侵入岩年代学研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 15(4): 299~ 306.
- 吴才来, 周珣若, 黄许陈, 等. 1997. 铜陵地区中酸性侵入岩的包体岩石学研究[J]. *地球学报*, 18(2): 182~ 191.
- 吴福元, 江博明, 林强. 1997. 中国北方造山带造山后花岗岩的位素特点与地壳生长意义[J]. *科学通报*, 42(20): 2 188~ 2 192.
- 赵振华, 王中刚, 邹天人, 等. 1996. 新疆乌伦古河富碱侵入岩成因探讨[J]. *地球化学*, 25(3): 205~ 220.
- 周金城, 徐夕生. 1994. 寄主花岗岩对微花岗岩类包体的地球化学制约[J]. *地球化学*, 23(3): 254~ 261.
- 周珣若, 吴才来, 黄许陈, 等. 1993. 铜陵中酸性侵入岩同源包体特征及岩浆动力学[J]. *岩石矿物学杂志*, 12(1): 20~ 31.