

# 新疆西准噶尔夏尔莆岩体岩浆混合的岩相学证据

康磊<sup>1</sup>, 李永军<sup>1</sup>, 张兵<sup>2</sup>, 张洪伟<sup>2</sup>, 王军年<sup>2</sup>

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西西安 710054;  
2. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第七地质大队, 新疆乌苏 833000)

**摘要:** 夏尔莆岩体由寄主岩石、微粒镁铁质包体和中基性岩墙群组成, 具丰富、典型的岩浆混合岩相学特征。野外露头, 寄主岩石中暗色矿物分布不均并发育暗色矿物集合体、微小的镁铁质包体和不均匀混合条带; 包体具有明显的塑性变形, 与寄主岩石或界线截然或渐变过渡, 常发育反向脉和寄主岩石中的长石巨晶(捕虏晶); 中基性岩墙群与微粒镁铁质包体紧密共生并延伸方向基本一致, 发育寄主岩石中的长石捕虏晶, 被寄主岩的反向脉横切。在镜下, 包体与寄主岩混合带中均发育斜长石异常环带和多种不平衡矿物共生现象, 包体中发育针状磷灰石。这些特征表明镁铁质包体和中基性岩墙群来源于与寄主岩石同一岩浆事件的基性岩浆, 并与其发生了强烈的岩浆混合作用。岩相学特征为夏尔莆岩体岩浆混合成因提供了重要佐证。

**关键词:** 岩浆混合, 岩相学, 夏尔莆岩体, 西准噶尔

中图分类号: P588.12; P586

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)05-0423-10

## Petrographic evidence for magma mixing of Xiaerpu granite in West Junggar, Xinjiang

KANG Lei<sup>1</sup>, LI Yong-jun<sup>1</sup>, ZHANG Bing<sup>2</sup>, ZHANG Hong-wei<sup>2</sup> and WANG Jun-nian<sup>2</sup>

(1. Earth Science & Resources College of Chang'an University; Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054, China; 2. No.7 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources Development, Usu 833000, China)

**Abstract:** Xiaerpu granite is composed of host rock, mafic microgranular enclaves and intermediate-basic dyke swarms, with the development of abundant and typical petrographical evidence of magma mixing. In field outcrops, dark minerals are distributed asymmetrically, and dark mineral aggregates, mafic microgranular enclaves, bands of nonuniform mixing are well developed. Mafic microgranular enclaves show characteristics of strong plastic distortion and clear boundary or transitional relationships with host rocks, with well developed reversed veins and captured feldspar phenocrysts (captured crystals). Basic dyke swarms and mafic microgranular enclaves occur closely and are distributed in the same direction, and basic dyke swarms contain the captured feldspar phenocrysts of the host rock, also traversed by the reversed veins of the host rock. Under the microscope, abnormal zoning of plagioclase and many types of disequilibrium mineral associations are developed in enclaves and bands of nonuniform mixing, with the acicular apatite developed in enclaves. These phenomena suggest that mafic microgranular enclaves and basic dyke swarms might have originated from basic magma formed at the same time as the host rock, and they probably experienced strong magma mixing. Petrographic features pro-

收稿日期: 2009-03-18; 修订日期: 2009-07-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40534020), 新疆维吾尔自治区地质矿产调查资助项目(XJZBKD2006-3)

作者简介: 康磊(1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事构造地质学及区域地质调查研究, E-mail: kang844@163.com; 通讯作者: 李永军(1961-), 教授, 博导, 主要从事构造地质学、区域地质调查及地球探测信息研究, E-mail: yongjunl@chd.edu.cn

vide important evidence for magma mixing of Xiaerpu granite.

**Key words:** magma mixing; petrography; Xiaerpu granite; West Junggar

作为一种重要的岩浆作用,岩浆混合作用与结晶分离作用、同化混染作用一样,是造成火成岩多样性的主要原因(李昌年,2002;邓晋福等,2004),同时为探索地壳演化、壳幔相互作用提供了重要线索(王涛,2000;李昌年,2002;莫宣学等,2002;Sklyarov and Johnston,2006),因此越来越受到重视(Hibbard,1981;周珣若,1994;Barbarin,1999;莫宣学等,2002)。而岩相学标志是识别岩浆混合的最直接(王晓霞等,2002)最重要(马铁球,2005)的证据,因而具有重要的研究意义。

夏尔莆岩体,也有文献称其为克拉玛依北岩体(金成伟等,1993;李辛子等,2004)或克拉玛依岩体(杨富贵等,1998,1999a,1999b;高山林等,2006;苏玉平等,2006),是著名的达尔布特构造带中最受关注的岩体之一,长期成为研究的焦点,但其成因一直存在较大分歧。金成伟等(1993)认为是源于下地壳-上地幔过渡区岩浆的产物;杨富贵等(1998,1999b)认为是壳源岩浆在形成过程中发生幔源岩浆的混合作用的产物;苏玉平等(2006)认为是由洋壳和岛弧

建造组成的年轻地壳部分熔融和分离结晶作用的产物。存在如此多的分歧,可能是由于这些成因研究成果均依赖岩石地球化学和同位素地球化学资料,前人未对该岩体进行系统的野外调查研究工作,缺乏野外宏观露头尺度上和岩相学上的关键证据。作者等在本区进行了1:5万区域地质矿产填图工作,在该岩体中发现岩浆混合岩和大量的微细粒镁铁质包体以及中基性岩墙群,为岩浆混合成因提供有力的证据,也为研究达尔布特深大断裂壳-幔相互作用和地壳生长方式提供了重要的信息。

### 1 岩体地质

夏尔莆岩体位于达尔布特断裂东南侧约4 km处,在克拉玛依市西北向,距其约7 km。本次工作对该岩体进行了VI—VI'、VII—VII'和VIII—VIII'号剖面测制以及地质填图的系统调查。岩体出露面积约310 km<sup>2</sup>,整体呈长条-椭圆状,受大断裂严格控制,走向与其基本一致(图1)。岩体侵入于石炭纪地层

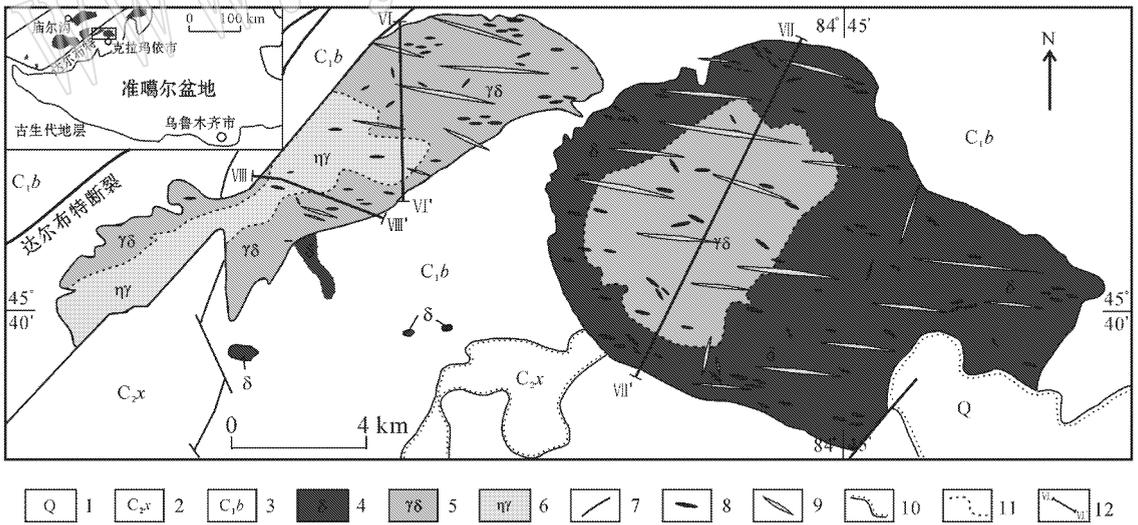


图 1 夏尔莆岩体分布示意图(据 1:50 000 资料<sup>①</sup>)

Fig. 1 Geological sketch map showing the distribution of Xiaerpu granite( based on 1:50 000 geological map<sup>①</sup>)  
1—第四系;2—晚石炭世希贝库拉斯组;3—早石炭世包古图组;4—(石英)闪长岩;5—花岗闪长岩;6—二长花岗岩;7—断层;  
8—镁铁质包体;9—中基性岩墙群;10—角度不整合接触;11—涌动接触;12—剖面位置及编号

1—Quaternary ;2—Late Carboniferous Xibeikulasi Formation ;3—Early Carboniferous Baogutu Formation ;4—( quartz) diorite ;5—granodiorite ;  
6—monzonitic granite ;7—fault ;8—mafic microgranular enclave ;9—basic dyke swarm ;10—angular unconformity ;11—gradual contact ;  
12—position and serial number of the section

① 新疆地质矿产勘查开发局地质七队,长安大学地质调查院,2008.新疆托里县科尔巴依-野马井地区1:5万区域地质矿产调查报告.

中,与围岩多为港湾状外侵接触。岩体由寄主岩石、微粒镁铁质包体和中性岩墙群3部分组成,作者等已获得它们各自的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 $(299 \pm 6) \text{Ma}$ 、 $(295 \pm 7) \text{Ma}$ 和 $(296.9 \pm 9.8) \text{Ma}$ ,年龄十分接近(另文讨论),说明它们为同一岩浆事件的产物<sup>①</sup>,形成时代为晚石炭纪的海西中期。

寄主岩石主要岩石类型为(石英)闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩,块状构造,中细粒-粗中粒结构。其中以(石英)闪长岩最为发育,其次为花岗闪长岩,二长花岗岩最少,分别占岩体出露面积的55%、35%、10%左右,不同岩石类型之间均为渐变过渡的涌动接触关系(图1)。岩石主要由碱性长石(5%~35%)、石英(10%~45%)、斜长石(30%~70%)、黑云母(1%~10%)和角闪石(0.5%~8%)组成,粒径为 $0.5 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \sim 2.5 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ 。碱性长石呈不规则状、填隙状,以条纹长石为主;石英呈他形颗粒状,斜长石多呈板条状,环带结构和聚片双晶发育;黑云母呈鳞片状;角闪石呈柱状。副矿物有磁铁矿、磷灰石、锆石、榍石等。

微细粒镁铁质包体岩性主要为石英闪长岩和闪长玢岩,块状构造,微粒-细粒状结构或似斑状结构。斑晶主要为斜长石(5%~15%),呈板条状或浑圆状,粒径为 $0.7 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm} \sim 1.6 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 。基质主要由碱性长石(10%~15%)、石英(1%~10%)、斜长石(45%~55%)、黑云母(0%~5%)和角闪石(25%~45%)组成。碱性长石为他形充填状,粒径为 $0.1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ ;石英常呈他形填隙状;斜长石呈长条或板条状,粒径为 $0.05 \text{ mm} \times 0.15 \text{ mm} \sim 0.4 \text{ mm} \times 1.3 \text{ mm}$ ,常具环带结构;黑云母呈片

状,粒径为 $0.2 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm}$ ,其中常见斜长石、碱性长石包体,具强烈的绿泥石化;角闪石呈柱状或其他形填隙状,粒径为 $0.05 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm} \sim 0.4 \text{ mm} \times 1.1 \text{ mm}$ ,其中斜长石和黑云母包体发育。副矿物有磁铁矿、磷灰石、锆石、榍石、白钛石等。

中性岩墙群岩石类型主要为辉绿玢岩、(石英)闪长岩和闪长玢岩,块状构造,微细粒结构、交织结构或斑状结构。斑晶为辉石、角闪石或斜长石(5%~25%),粒径为 $0.1 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm} \sim 1.4 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 。基质由斜长石(55%~70%)、角闪石(12%~25%)、辉石(10%~15%)和少量石英(0%~5%)组成,粒径为 $0.01 \text{ mm} \times 0.03 \text{ mm} \sim 0.05 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm}$ 。斜长石为长条状,呈明显的定向排列;角闪石为长条状,常呈团粒状分布;辉石呈短柱状,常被角闪石交代呈残晶状;石英呈他形填隙状,个别边界为港湾状,呈圆粒或不规则状。

## 2 岩浆混合的宏观证据

### 2.1 寄主岩石

根据野外地质观察,岩体中不同寄主岩石类型之间均为渐变过渡的涌动接触关系,无明显的岩性分界线,两者之间存在过渡岩石,这种接触关系为岩浆混合花岗岩体的普遍特征(刘永成等,2000;梁明宏等,2002;李昌年,2002;覃锋等,2006;李昌年等,2006)。其中这些过渡岩石很可能不是岩浆结晶分离成因,而是岩浆混合作用的产物。此外,该岩体局部在米级范围内发育不均匀条带(图2a),很明显是由条带状流动的基性岩浆与酸性岩浆不同比例混合

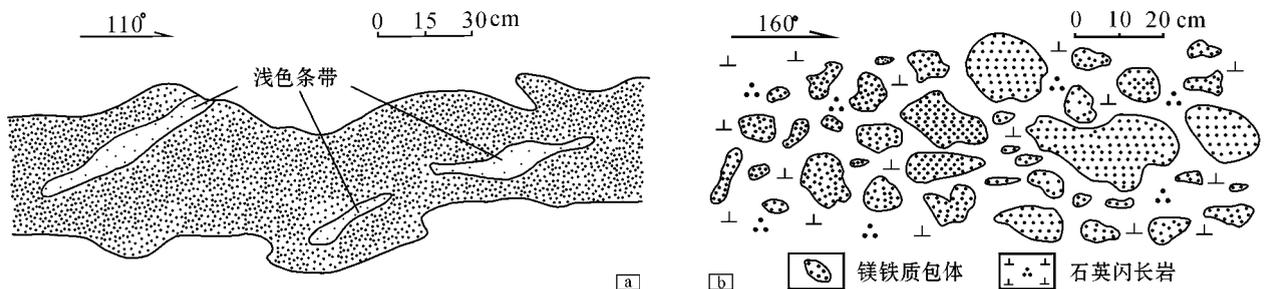


图2 夏尔莆岩体中岩浆混合的宏观特征素描图

Fig. 2 The sketching showing the macroscopical characters of magma mixing in Xiaerpu granite

a—不均匀混合条带; b—成群成带状包体

a—bands of nonuniform mixing; b—enclaves distributed in swarms and in zonation

① 新疆地质矿产勘查开发局地质七队,长安大学地质调查院,2008. 新疆托里县科尔巴依-野马井地区1:5万区域地质矿产调查报告.

的结果(Pitcher, 1997; Barharin, 1999; 王涛, 2000)。

花岗闪长岩和(石英)闪长岩中岩石越偏基性, 发现包体越发育(基性岩浆参与比例相对较大), 暗色矿物含量越多, 同时分布越不均匀, 其中暗色矿物集合体也越发育。这说明寄主岩石中的暗色矿物与包体有密切的联系, 寄主岩石与包体中暗色矿物的特征还表明, 寄主岩石中相当一部分暗色矿物很可能来自包体。暗色矿物含量不均匀现象及暗色矿物集合体的存在是基性岩浆与酸性岩浆混合不彻底的表现, 其中暗色矿物集合体就是“被打碎的包体”的

残余。这些现象是岩浆混合的典型特征(刘春华等, 1997; 王玉往等, 2007)。

## 2.2 微细粒镁铁质包体

### (1) 包体的大小、形态

夏尔莆岩体中发育大量的微细粒镁铁质包体, 在各种寄主岩石类型中均有分布。包体大小不一, 相差较大, 多数直径为 10~25 cm, 小到 1 cm 左右, 大到 1.5 m 左右。形态各异, 主要为椭圆状、浑圆状、透镜状、水滴状、火焰状(图 2b、3a), 此外长条、不规则状也发育, 局部呈残影状出现。整体流线型形

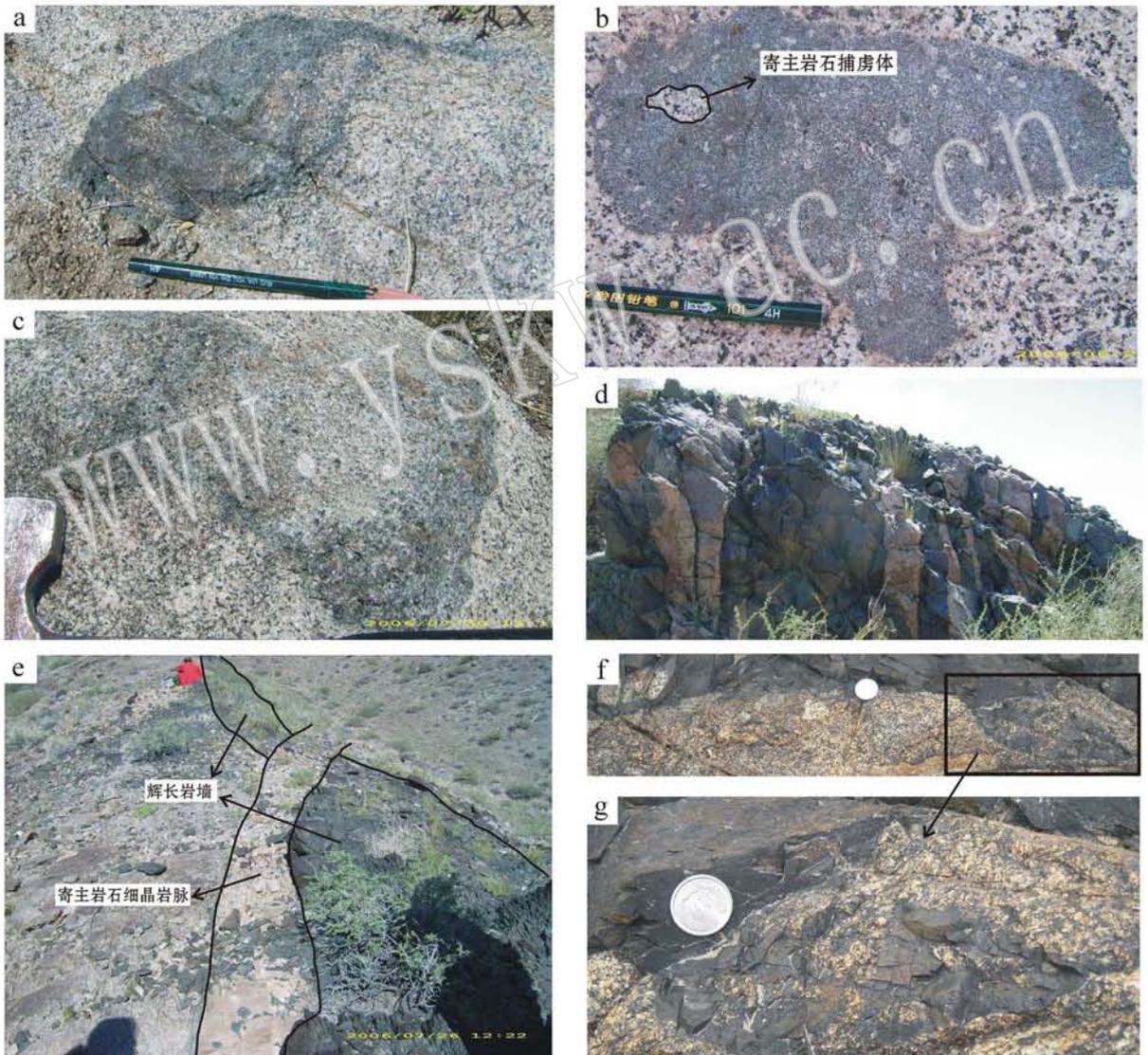


图3 夏尔莆岩体中宏观岩浆混合特征

Fig. 3 Macroscopic characteristics of magma mixing in Xiaerpu granite

a—水滴状包体及其反向脉; b—包体中寄主岩石的斜长石斑晶和岩浆捕虏体; c—迷雾状包体; d—中基性岩墙群; e—基性岩墙被寄主岩石细晶岩脉切割; f—基性岩墙与寄主岩石相互包裹; g—寄主岩石包裹基性岩墙岩块

a—water-drop shaped enclave and its reversed vein; b—captured plagioclase phenocrysts and magma of host rocks in enclave; c—dense fog-shaped enclave; d—basic dyke swarm; e—basic dyke was traversed by microlite vein of host rocks; f—basic dyke and host rocks were wrapped by each other; g—basic dyke was wrapped by host rocks

态发育,明显为塑性变形的产物,与捕虏体有明显的区别,表明微细粒镁铁质包体是呈液态混入偏酸性寄主岩浆中(莫宣学等,2002)。

### (2) 包体的成分

微粒镁铁质包体成分以闪长岩或石英闪长岩为主,呈暗黑-灰色,颜色明显较寄主岩石深,其中斑晶以斜长石为主,基质主要由斜长石、角闪石、钾长石以及少量石英组成。

根据野外观察,混合岩浆端员的混合程度越强烈,包体越偏酸性,其中石英、斜长石等浅色矿物含量增多,角闪石等暗色矿物含量降低,包体颜色变浅。当包体与寄主岩石呈渐变过渡接触关系时,在过渡区域内尚有少量石英存在,但在镁铁质微粒包体核心区几乎没有石英存在。因此,岩浆混合存在重要的成分交换作用,进一步证明镁铁质微粒包体是半塑性-塑性状态的基性岩浆与酸性岩浆混合形成的。

### (3) 包体的结构

夏尔莆岩体中包体为微细粒-细粒半自形粒状结构或似斑状结构,为典型的岩浆结构。包体中矿物粒度在不同部位有所不同,但是总是小于寄主岩石。这是镁铁质岩浆与较冷的酸性岩浆遭遇后,发生了快速结晶所致(莫宣学等,2002;李永军等,2004;冯铁球等,2005)。

岩体中有的镁铁质包体发育斜长石斑晶和岩浆捕虏体(图3b)。其中斜长石斑晶普遍发育熔蚀环带,个别呈浑圆状外形,表明其并非原地结晶形成的(Didier and Barbarin,1991)。据野外观察,包体中斜长石斑晶和岩浆捕虏体分别与寄主岩石中斜长石和岩石矿物组合的特征相同。很明显,它们都是从寄主岩石中捕获来的。这表明岩浆开始混合时,酸性岩浆已经结晶出斜长石斑晶及部分矿物,两种岩浆基本处于近液态-晶粥状态(王超等,2008)。因此,这是两种岩浆并存的重要标志(迟效国等,1995;王晓霞等,2005;朱金初等,2006)。

### (4) 包体与寄主岩石接触关系

夏尔莆岩体中微细粒镁铁质包体与寄主岩石有的呈截然接触关系,有的呈外浅内深的“双包体”状的渐变过渡关系,个别甚至可见呈迷雾状消失在寄主岩石中(图3c)。此外,包体中也有反向脉发育(图3a),一般宽在0.3~1 cm,其成分为花岗质。其中截然接触关系是由于发生混合的两种岩浆具有很不相同的初始温度和流变学性质所致,粒度较细,这种接触限制了两种岩浆的混合、化学交换及同位素交换。渐变

过渡接触关系是由于两种发生混合的岩浆的热反差度不太大,与截然接触不同,包体的粒度相对较粗,表示有比较充分的时间进行岩浆混合和物质交换。

### (5) 包体的分布

夏尔莆岩体中微细粒镁铁质包体在岩体主成岩阶段的各类岩石中均有分布。其中二长花岗岩中镁铁质包体分布最少,出露面积仅占整体的0.1%左右,分布零星,产状相对紊乱,花岗闪长岩中较发育,数量明显增多,出露面积约占整体的10%(石英)闪长岩中大量发育,分布最多,出露面积达整体的30%左右。很明显,包体越发育的岩石,其基性程度越高,这与经典的岩浆混合花岗岩体中包体分布规律基本相同(莫宣学等,2002;朱金初等,2006)。其中花岗闪长岩和(石英)闪长岩中包体常呈成群或成带状分布(图2b),各包体带走向有所差异,但大致相同,东侧岩枝中多数包体带走向 $290^{\circ}\sim 335^{\circ}$ ,西侧岩枝略偏西,多数 $270^{\circ}\sim 290^{\circ}$ 。总体上,包体长轴方向基本与带状延伸方向一致,与寄主岩体的原生流动面理及线理一致。

### 2.3 中基性岩墙群

夏尔莆岩体中发育大量中基性岩墙群(图3d),主要岩性为辉绿岩和少量闪长玢岩,延伸性较强,个别岩墙延伸可达2 km,与寄主岩石一般呈平直的侵入岩墙关系,少量呈楔状,总体上向上分支变细,甚至尖灭,大岩墙末端可分成几个小岩墙,个别被寄主岩石的细脉横切。岩墙延伸走向主要为 $280^{\circ}\sim 310^{\circ}$ ,少量为 $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ,与寄主岩石为截然接触关系,一般可见0.5 cm左右的冷凝边,局部围岩具挤压片理化构造,说明岩浆侵位与张裂隙形成时间比较接近,并且岩浆以主动方式侵入。特别是有的具斜长石斑晶,呈熔蚀的港湾状,有角闪石反应边,与周围结构明显不协调,这种斑晶,可能为来自寄主岩石而未完全熔蚀的捕虏斑晶(李辛子等,2004)。其形成原因与微细粒镁铁质包体中捕虏晶相同,说明岩墙侵入时寄主岩石未完全冷凝,寄主岩石中的斜长石晶体掉进了热的基性岩浆中。

中基性岩墙群与微细粒镁铁质包体紧密共生。从整体看,夏尔莆岩体东侧岩枝两者均发育,西侧岩枝由北向南随着微细粒镁铁质包体逐渐减少,中基性岩墙也越来越不发育;从局部看,岩墙周围微细粒镁铁质包体数量较其他部位明显较多。并且岩墙延伸的主要方向与包体带走向( $270^{\circ}\sim 335^{\circ}$ )基本一致。这种定向现象是基性岩浆在塑性状态下运移及就位

时,两者受同一期构造作用的结果(刘成东等,2002;李永军等,2003;刘志逊等,2007)。此外,有中基性岩墙被寄主岩的细脉(反向脉)切割现象(图3e),特别是在局部两者相互包裹(图3f),基性岩墙中发育寄主岩石捕虏体,而寄主岩石中又有基性岩墙的岩块(图3g),充分说明当时寄主岩还未完全固结,贯入的基性岩浆使寄主岩加热,导致其粘度降低而运动(李武显等,1999)。这些特征表明中基性岩墙与微细粒镁铁质包体、寄主岩石有密切联系。同时,中基性岩墙的发育也是众多岩浆混合花岗岩体的共同特征(李武显等,1999;王涛,2000;李昌年,2002;李永军等,2004;汪炬川等,2006;刘志逊等,2007)。

### 3 岩浆混合的微观证据

#### 3.1 主要矿物特征

镜下观察,在包体及寄主岩石混合带中各种主要矿物边缘多呈港湾状、锯齿状甚至不规则状的熔蚀结构,寄主岩石中个别石英边缘呈独特的缝合线状。尤其在包体与寄主岩石接触部位(图4b),寄主岩石中矿物沿着两者的界限发生熔蚀,且附近熔蚀结构十分发育,说明这些现象与基性岩浆的注入有直接关系,即当基性岩浆注入酸性岩浆中时,岩浆的温度、压力发生了变化,导致已结晶的矿物边部发生了熔蚀(李永军等,2004)。

在包体及寄主岩石混合带中斜长石异常环带有发育(图4c、4d),其中包体中多出现在捕虏晶中,由两部分组成。核幔部为偏酸性长石,成分相对均一(图4c和图4d中I-M),边部与正常环带结构一致(图4c和图4d中M-J),两者界线清晰,边部内侧明显较核幔部外侧偏基性。这种异常环带暗示斜长石结晶环境发生了突变(李永军等,2003;覃锋等,2006),早期在酸性岩浆中已结晶的斜长晶体,在晚期受到基性岩浆注入和混合,使岩浆变得较基性,导致晚期结晶的边缘环带再次向基性演化(李胜荣等,2006;周勇等,2006)。其中核部是早期在酸性岩浆中形成的产物,边部是晚期在混合岩浆中结晶的产物(谢磊等,2004)。寄主岩石和包体中具异常环带的斜长石基本结构相同,只是包体中斜长石的核部边缘常被熔蚀呈锯齿状或不规则状,这是由于已结晶的斜长石掉进热的基性岩浆中发生边部熔融的缘故。而寄主岩石受基性岩浆影响相对较小,核部边缘较整齐。总之,具异常环带的斜长石是存在岩浆

混合作用的有力证据。

在包体及寄主岩石混合带中不平衡矿物共生结构均发育。寄主岩石中角闪石或黑云母中发育长石和石英包体(图4e),包体中角闪石、黑云母中也发育斜长石。这些不平衡共生现象不能用正常的结晶顺序来解释,反映了熔体中 $\text{SiO}_2$ 相对含量的骤然减少(即镁铁质相对含量的骤然增加)或者斜长石含量的增加(Bateman,1993;Castro,1993),据此推断当时岩浆中突然注入了基性岩浆,熔体成分发生了突变(王晓霞等,2002;李昌年等,2006)。

此外,包体中有相同矿物包裹有其细小晶体现象,如角闪石包裹角闪石、斜长石包裹斜长石,进一步说明包体中至少有两个世代的矿物,证明了岩浆混合作用的存在。寄主岩石的花岗闪长岩和(石英)闪长岩中斜长石、石英周围常具有微小暗色矿物环带(图4g),这是由于高温基性岩浆遇到低温酸性岩浆时发生淬冷,形成细小的暗色矿物并依附在已结晶的斜长石或石英的表面,随着它们的生长,将附在其表面的暗色矿物包裹下来(Baxter and Feely,2002;Landi *et al.*,2004;李胜荣等,2006;董国臣等,2006)因而也是岩浆混合作用的标志性结构。

#### 3.2 副矿物特征

不均匀混合条带中较酸性的花岗闪长岩发育有辉石残晶,辉石处于角闪石集合体中(图4f),说明这些角闪石是由辉石转变而来。这种不平衡矿物共生现象是岩浆混合岩的有力证据(刘永成等,2000;李昌年等,2002;汪炬川等,2006)。

特别是磷灰石在寄主岩石和包体中形态具有明显的不同。在寄主岩石中磷灰石通常呈柱状(图4g),包体中则呈很长的细针状(图4h),长宽比达十几倍甚至几十倍,且可同时穿过不同矿物颗粒的晶体。其中细针状磷灰石是公认快速冷却的标志物(Wyllie *et al.*,1962;马昌前等,1992;Pitche,1997;Barbarin,1999),通常认为是岩浆过程中基性岩浆注入到温度较低酸性岩浆房中导致基性岩浆温度迅速下降的结果(Hibbard,1991)。

## 4 讨论与结论

#### 4.1 包体、中基性岩墙群和寄主岩石为同一岩浆事件的产物

包体与寄主岩石形成时间大致相同,依据为:  
①夏尔莆岩体中包体多呈椭圆状、透镜状、水滴状

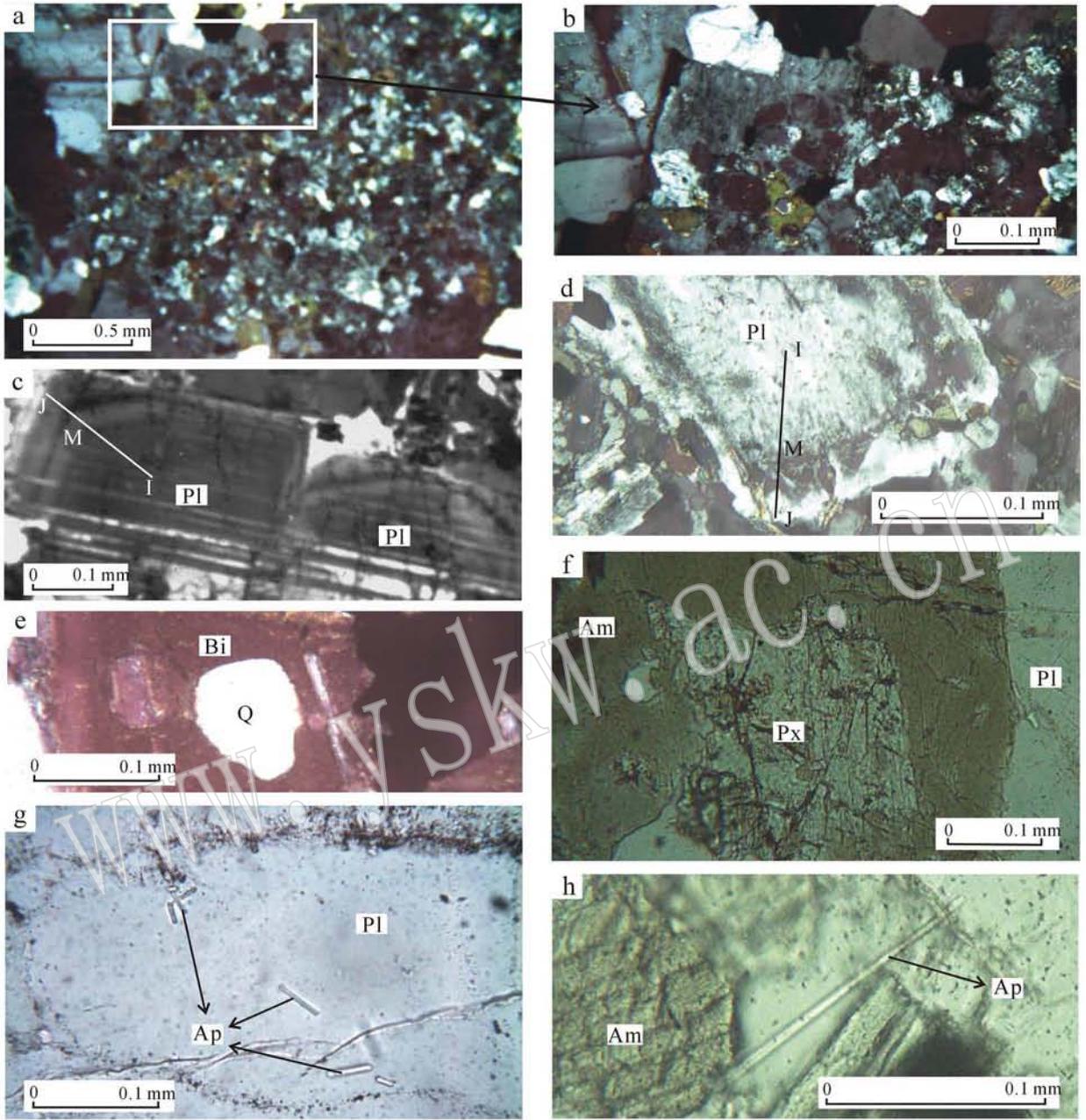


图 4 夏尔莆岩体中岩浆混合微观特征

Fig. 4 Microcosmic characteristics of magma mixing in Xiaerpu granite

a—寄主岩石中微小的包体(正交偏光); b—寄主岩石与包体的接触分界线(正交偏光); c—寄主岩石中斜长石的异常环带(正交偏光); d—包体中斜长石的异常环带(正交偏光); e—寄主岩石中黑云母包裹石英(单偏光); f—寄主岩石中角闪石发育辉石残晶(单偏光); g—寄主岩石中斜长石的暗色环带及柱状磷灰石(单偏光); h—包体中细针状磷灰石(单偏光). 矿物代号: Q—石英; Pl—斜长石; Bi—黑云母;

Am—角闪石; Px—辉石; Ap—磷灰石

a—tiny enclave in host rock (crossed polars); b—boundary between host rock and enclave (crossed polars); c—abnormal zoning of plagioclase in host rock (crossed polars); d—abnormal zoning of plagioclase in enclave (crossed polars); e—biotite wrapping quartz in host rock (plain light); f—hornblende with pyroxene restite in enclave (plain light); g—dark minerals around plagioclase and columnar apatite in enclave (plain light); h—acicular apatite in enclave (plain light); Q—quartz; Pl—plagioclase; Bi—biotite; Am—hornblende; Px—pyroxene; Ap—apatite

等塑性流变特征; ② 寄主岩石与包体相互穿插包裹, 寄主岩石中发育包体, 包体中又存在寄主岩石捕虏体和反向脉; ③ 包体中发育寄主岩石中斜长石捕虏晶。中基性岩墙群是与寄主岩石近于同时形成的

同深成岩墙, 依据有: ① 寄主岩细脉(反向脉)横切中基性岩墙; ② 寄主岩石和基性岩墙相互包裹, 两者均发育彼此的捕虏体; ③ 中基性岩墙中发育寄主岩石中的斜长石捕虏晶。包体与中基性岩墙群的密

切共生并且排列方向基本一致,说明两者可能是受同一构造作用的结果。以上说明寄主岩石、包体和中性岩墙群为同一岩浆事件的产物。此外,这也得到了前文所述同位素年龄的支持。

#### 4.2 夏尔莆岩体寄主岩石中存在强烈的岩浆化学混合作用

夏尔莆岩体中不同类型寄主岩石之间均为渐变过渡的涌动接触关系,并在寄主岩石中发现微小的镁铁质包体(图 4a)、暗色矿物分布不均匀以及发育暗色矿物集合体等岩浆混合不彻底的现象,并在这些岩浆混合不彻底的区域和不均匀混合条带中发育典型的岩浆化学混合矿物学特征:① 矿物边缘发育熔蚀结构;② 具异常环带的斜长石;③ 不平衡矿物共生结构。角闪石和黑云母中发育长石和石英包体、长石边部发育暗色矿物环带以及花岗闪长岩中有辉石残晶。这些特征充分说明寄主岩石中存在强烈的岩浆化学混合作用,由此所形成的成分结构构造较均一的寄主岩石为岩浆混合岩。

目前,人们十分重视把花岗质岩石中含有的微细粒闪长岩包体作为岩浆混合(和)作用的重要例证(Vernon, 1984; Didier *et al.*, 1991; 王德滋等, 1994; 李昌年等, 2001),而对岩浆化学混合研究尚不足(李昌年, 2002; 王玉往等, 2007)。夏尔莆岩体表现出多种岩浆化学混合特征,寄主岩石中岩浆混合岩的识别,将对研究寄主岩石中岩浆化学混合作用有一定推动作用。

#### 4.3 夏尔莆岩体为岩浆混合成因

当基性岩浆注入到酸性岩浆中,随着酸性岩浆结晶程度增大即二者物理性质差异性增大,可以由较均匀的化学混合(基性岩浆和酸性岩浆均为液相)过渡到基性岩浆呈条带状、斑点状(包体)离散状的混杂(基性岩浆为液相,酸性岩浆为固-液相),直到最后呈岩墙侵入(基性岩浆为液相,酸性岩浆为固相)(Pitcher, 1997; Barbarin, 1999; 王涛, 2000; 李昌年等, 2006)。夏尔莆岩体中从以化学混合为主、形成成分结构构造均一的岩浆混合岩,到以机械混合为主、产出大量微细粒镁铁质包体,到最后呈岩墙侵入形成的众多中性岩墙群,岩浆混合的各个阶段均有发育。自然界岩浆混合作用中暗色微细粒包体与岩浆混合岩同时存在的现象并不多见(王玉往等, 2007)夏尔莆岩体中两者均十分发育,并且有大量的中性岩墙群,更是少见。因此,夏尔莆岩体是难得的典型岩浆混合花岗岩体,对其研究具有重要意义。

本文从岩相学方面的研究得出的结论与杨富贵等(1998, 1999a)根据挥发分含量和同位素比值特征推测该岩体形成过程中可能发生过长英质岩浆和镁铁质岩浆之间的混合作用的认识是一致的,有力地支持了岩浆混合成因说,为该岩体久存的成因认识上的分歧提供了可靠的地质事实和依据,进一步证实了在晚石炭世达尔布特断裂带深处曾发生壳幔岩浆相互作用,并导致了地壳垂向增生。

#### References

- Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[ J ]. *Lithos*, 46: 605~626.
- Bateman R. 1993. Mineral disequilibria under the microscope[ A ]. Bateman R and Castro A. Heterogeneities in Felsic Igneous Rock at Scales from Crystals to Plutons[ C ]. Workshop Notes, 74~7.
- Baxter S and Feely M. 2002. Magma mixing and mingling textures in Granitoids: Examples from Galway granite, Connemara, Ireland[ J ]. *Mineral. Petrol.* 76: 63~74.
- Castro A. 1993. Biotite-hornblende relationships in calc-alkaline granitoids and enclaves[ A ]. Bateman R and Castro A. Heterogeneities in Felsic Igneous Rocks at Scales from Crystals to Plutons[ C ]. Workshop Note, 3.
- 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 with English abstract ).
- Didier J and Barbarin B. 1991. Macroscopic Features of Mafic Microgranular Enclaves[ M ]. Amsterdam: Elsevier, 253~262.
- Deng Jinfu, Luo Zhaohua, Su Shangguo, *et al.* 2004. Petrogenesis, Tectonic Setting and Mineralization[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 381( in Chinese ).
- Dong Guochen, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, *et al.* 2006. Magma mixing in middle part of Gangdise magma belt: Evidences from granitoid complex[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 835~844( in Chinese with English abstract ).
- Gao Shanlin, He Zhiliang and Zhou Zuyi. 2006. Geochemical characteristics of the karamay granitoids and their significance in west Junggar, Xinjiang[ J ]. *Xinjiang Geology*, 24(2): 125~130( in Chinese with English abstract ).
- Hibbard M.J. 1991. Textural anatomy of twelve magma-mixed granitoid systems[ A ]. Didier J and Barbarin B. Enclave and Granite Petrology. Development in Petrology[ C ]. Amsterdam: Elsevier, 431~444.
- Jin Chengwei and Zhang Xiuqi. 1993. A geochronology and geneses of the western Junggair granitoids, Xinjiang, China[ J ]. *Scientia Geologica Sinica*, 28(1): 28~36( in Chinese with English abstract ).
- Landi P, M trich N, Bertagnini A, *et al.* 2004. Dynamics of magma mixing and deassiny, recorded in plagioclase at Stromboli ( Aeolian Archipelago, Italy ) [ J ]. *Centri. Mineral. Petrol*, 147: 213~227.
- Li Changnian. 2002. Conunent on the magma mixing and their research[ J ].

- Geological Science and Technology Information, 21(4):49~54 (in Chinese).
- Li Changnian and Liao Qun'an. 2006. Magmatic mixing and mingling of Precambrian Gangbian complex innortheastern Jiangxi Province and their geological significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 25(5):357~376 (in Chinese with English abstract).
- Li Shengrong, Sun Li and Zhang Huafeng. 2006. Magmaing genesis of the Qushui collisional granitoids, Tibet, China: Evidences from genetic mineralogy [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(4):885~894 (in Chinese with English abstract).
- Li Wuxian, Dong Chuanwuan and Zhou Xinmin. 1989. Plagioclase xenocryet and magma mingling in Pingtan and Zhangzhou complexes [J]. Acta Petrologica Sinica, 15(2):286~290 (in Chinese with English abstract).
- Li Xinzi, Han Baofu, Ji Jianqing, et al. 2004. Geology, geochemistry and K-Ar ages of the Karamay basic-intermediate dyke swarm from Xinjiang, China [J]. Geochimica, 33(6):574~584 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Liu Zhiwu and Ding Sanping. 2004. Petrology fetures and magma mingling marks of the Wenquan granite from western Qinling [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 26(3):7~12 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Wang Ran, Liu Zhiwu, et al. 2003. Features and origin of mafic microgranular inclusions in the Mishuling intrusion in the West Qinling [J]. Geological Bulletin of China, 22(7):506~511 (in Chinese with English abstract).
- Liang Minghong, Zhou Xingan, Long Quansheng, et al. 2002. Magma hybrid process—field evidences from gansu beishan mountain [J]. Acta Geologica Gansu, 11(1):44~49 (in Chinese with English abstract).
- Liu Chengdong, Zhang Wenqin, Mo Xuanxue, et al. 2002. Features and origin of mafic naicroganular enclaves in the Yuegelu granite in the Eastern Kunlun [J]. Geological Bulletin of China, 21(11):739~744 (in Chinese with English abstract).
- Liu Chunhua, Sun Jinggui and Zheng Changqing. 1997. Petrographical sign of mingling of magma of weideshan rock body [J]. Liaoning Geology, 14(2):125~131 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yongcheng, Xie Yuyue and Lin Yiheng. 2002. Magmatic mixing in Bairiqili rock body in middle sector of east Kunlun [J]. Qinghai Geology, 1:26~32 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhixun, Zhao Handong, Ma Liling, et al. 2007. Petrogr aphic evidence of magma mixing of Late Carboniferous granite in the Xiao Hinggan Mountains, China and its geological implication [J]. Geological Bulletin of China, 26(3):289~298 (in Chinese).
- Ma Changqian, Wang Renjing and Qiu Jiaxiang. 1992. Enclaves as indicators of the origon of graritoid magma and repeater magma mingling: An example from the Zhoukoudian intrusion, Beijing [J]. Geol. Review, 38(2):109~119 (in Chinese with English abstract).
- Ma Tieqiu, Wu Guangying, Jia Baohua, et al. 2005. Middle-Late Jurassic granite magma-mixing in the middle segment of the Naming Mountains, South China: Evidence from mafic microgranular enclaves [J]. Bulletin of China, 24(6):506~512 (in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Xiao Qinghui, et al. 2002. Cognition of magma hybrid in granites and its research methods [A]. Xiao Qinghui, DengJunfu, et al. The ways of investigation on granitoids [C]. Beijing: Geological Publishing House, 55~70 (in Chinese).
- Pitcher W S. 1997. The Nature and Origin of Granite [M]. London: Chapman and Hall.
- Qin Feng, Xu Xiaoxia and Luo Zhaohua. 2006. Mixing and minling in petrogenesis of the Fangshan intrusion, Beijing [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(12):2957~2970 (in Chinese with English abstract).
- Skylyarov K P and Johnston D. 2006. Vapour-absent melting from 10 to 20 kbar of crustal rocks that contain multiple hydrous phases: Implications for anatexis in the deep to very deep continental crust and active continental margins [J]. Journal of Petrology, 37:661~691.
- Su Yuping, Tang Hongfeng, Hou Guangshun et al. 2006. Geochemistry of aluminous A-type granites along Darabutectonicbelt in West Junggar, Xinjiang [J]. Geochimica, 35(1):55~67 (in Chinese with English abstract).
- Vernon R H. 1984. Microgranitoid enclaves in granites—globules of hybrid magma quenched in a plutonic environment [J]. Nature, 309:438~439.
- Wang Chao, Liu Liang, Zhang Anda, et al. 2008. Geochemistry and petrography of Early Paleozoic Yusupuleke Tagh rapakivi-textured granite complex, South Altyn: An example for magma mixing [J]. Acta Petrologica Sinica, 24(12):2809~2819 (in Chinese with English abstract).
- Wang Dezi, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, et al. 1994. The magma mixing in early cretaceous volcanic activities in southeastern coast of China [J]. Journal of Najing University (Earth Sciences), 6(4):317~322 (in Chinese).
- Wang Juchuan, Cui Jiantang, Luo Qianzhou, et al. 2006. Magma mingling of Early Paleozoic intrusive rocks in western Kangxiwar, West Kunlun, China [J]. Geological Bulletin of China, 25(12):1458~1468 (in Chinese with English abstract).
- Wang Tao. 2000. Origin of hybrid itoids and the continental dynamics [J]. Acta Petrologica Sinica, 16(2):161~168 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaoxia, Wang Tao, Ilmari Happala, et al. 2005. Genesis of mafic enclaves from rapalcivi-textured granites in the Qinling and its petrological significance: evidence of elements and Nd, Sr isotopes [J]. Acta Petrologica Sinica, 21(3):935~946 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaoxia, Wang Tao, Lu Xinxiang, et al. 2002. Ptrographic evidence of hybridization magmas of the Laojunshan and Qinlingliang rapakivi-textured granites in the North Qinling and its significance [J]. Geological Bulletin of China, 21(8~9):523~529 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijua, et al. 2007. Magma-mixing genesis of quartz monzodiorite in the Weiya, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 23(4):733~746 (in Chinese with English abstract).
- Wyllie P J, Cox K G and Biggar G M. 1962. The habit of apatite in synthetic systems and igneous rocks [J]. J. Petrol., 3(2):238~243.
- Xie Lei, Wang Dezi, Wang Rucheng, et al. 2004. Complex zoning in plagioclases from the quartz diorite enclave in the Putuo texture granitic complex, Zhejiang province: record of magma mixing [J]. Acta Petrologica Sinica, 20(6):1397~1408 (in Chinese).
- Yang Fugui, Liu Congqiang, Wang Zhonggang, et al. 1999a. Problems' discussion on the formation and evolution of the Dalabut-type

- alkali granitoids[J]. Journal of Zibo University(Nat. Sci. and Eng. Ed.), 1(1):47~54(in Chinese with English abstract).
- Yang Fugui, Wang Zhonggang, Liu Congqiang, et al. 1999b. Geological and geochemical significance of hornblendes from alkali granitoids in northern and western Junggar, Xinjiang, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 19(1):70~76(in Chinese with English abstract).
- Yang Fugui, Wang Zhonggang, Hou Hongquan, et al. 1998. A primary study on the protolith of the Dalabut-type alkaligranitoids-evidence from stable isotopes and trace elements[J]. Geology. Geochemistry, 1(1):41~46(in Chinese with English abstract).
- Zhou Xunruo. 1994. Hybridization in the genesis of granitoids[J]. Earth Science Frontiers, 1(1~2):87~97(in Chinese with English abstract).
- Zhou Yong, Li Changnian, Zhong Chensheng, et al. 2006. Texture types and genetic mechanism of magma mixing in Gangbian magma mixed complex and mafic enclaves from northeastern Jiangxi Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 26(2):181~188(in Chinese with English abstract).
- Zhu Jinchu, Zhang Peihua, Xie Caifu, et al. 2006. The Huashan-Guposhan A-type granitoid belt in the Western part of the Nanling Mountains: Petrology, geochemistry and genetic interpretations[J]. Acta Geological Sinica, 56(6):506~516(in Chinese with English abstract).
- 附中中文参考文献**
- 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.
- 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用[M]. 北京:地质出版社, 381.
- 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 等. 2006. 冈底斯岩浆带中段岩浆混合作用:来自花岗岩杂岩的证据[J]. 岩石学报, 22(4):835~844.
- 高山林, 何治亮, 周祖翼. 2006. 西准噶尔克拉玛依花岗岩体地球化学特征及其意义[J]. 新疆地质, 24(2):125~130.
- 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.
- 李昌年. 2002. 岩浆混合作用及其研究评述[J]. 地质科技情报, 21(4):49~54.
- 李昌年, 廖群安. 2006. 赣东北前寒武纪港边杂岩体的岩浆混合(和)作用及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 25(5):357~376.
- 李胜荣, 孙丽, 张华峰. 2006. 西藏曲水碰撞花岗岩带的混合成因——来自成因矿物学证据[J]. 岩石学报, 22(4):885~894.
- 李武显, 董传万, 周新民. 1999. 平潭和漳州深成杂岩中斜长石捕虏晶与岩浆混合作用[J]. 岩石学报, 15(02):286~290.
- 李辛子, 韩宝福, 季建清, 等. 2004. 新疆克拉玛依中基性岩墙群的地质地球化学和 K-Ar 年代学[J]. 地球化学, 33(6):574~584.
- 李永军, 刘志武, 丁仁平. 2004. 西秦岭温泉花岗岩体岩石学特征岩浆混合标志[J]. 地球科学与环境学报, 26(3):7~12.
- 李永军, 王冉, 刘志武, 等. 2003. 西秦岭糜署岭岩体的包体特征及成因[J]. 地质通报, 22(7):506~511.
- 梁明宏, 周兴安, 龚全胜, 等. 2002. 岩浆混合作用——来自甘肃北山的野外证据[J]. 甘肃地质学报, 11(1):44~49.
- 刘成东, 张文秦, 莫宣学, 等. 2002. 东昆仑约格鲁岩体暗色微粒包体特征及成因[J]. 地质通报, 21(11):739~744.
- 刘春华, 孙景贵, 郑常青. 1997. 伟德山岩体岩浆混合作用和岩相学标志[J]. 辽宁地质, 14(2):125~131.
- 刘永成, 解玉月, 林义恒. 2000. 东昆仑中段白日期利岩体岩浆混合作用的初步研究[J]. 青海地质, 1:26~32.
- 刘志逊, 赵寒冬, 马丽玲, 等. 2007. 小兴安岭晚石炭世花岗岩岩浆混合作用的岩相学证据及其地质意义[J]. 地质通报, 26(3):289~298.
- 马昌前, 王人镜, 邱家骥. 1992. 花岗岩岩浆起源和多次岩浆混合的标志:包体——以北京周口店岩体为例[J]. 地质论评, 38(2):109~119.
- 马铁球, 伍光英, 贾宝华, 等. 2005. 南岭中段郴州一带中、晚侏罗世花岗岩岩浆的混合作用——来自镁铁质微粒包体的证据[J]. 地质通报, 24(1):506~512.
- 莫宣学, 罗照华, 肖庆辉, 等. 2002. 花岗岩类岩石中岩浆混合作用的识别与研究方法[A]. 肖庆辉, 邓晋福. 花岗岩研究思维与方法[C]. 北京:地质出版社, 53~70.
- 苏玉平, 唐红峰, 侯广顺, 等. 2006. 新疆西准噶尔达拉布特构造带铝质 A 型花岗岩的地球化学研究[J]. 地球化学, 35(1):55~67.
- 覃锋, 徐晓霞, 罗照华. 2006. 北京房山岩体形成过程中的岩浆混合作用证据[J]. 岩石学报, 22(12):2957~2970.
- 王超, 刘良, 张安达, 等. 2008. 阿尔金造山带南缘岩浆混合作用:玉苏普阿勒克塔格岩体岩石学和地球化学证据[J]. 岩石学报, 24(12):2809~2819.
- 王德滋, 周金城, 邱检生, 等. 1994. 东南沿海自生世火山活动中的岩浆混合及壳幔作用证据[J]. 南京大学学报(地球科学), 6(4):317~322.
- 王炬川, 崔建堂, 罗乾周, 等. 2006. 西昆仑康西瓦西部早古生代侵入岩的岩浆混合作用[J]. 地质通报, 25(12):1458~1468.
- 王涛. 2000. 花岗岩混合成因研究及大陆动力学意义[J]. 岩石学报, 16(2):161~168.
- 王晓霞, 王涛, Ilmari Happala, 等. 2005. 秦岭环斑结构花岗岩中暗色包体的岩浆混合成因及岩石学意义——元素和 Nd, Sr 同位素地球化学证据[J]. 岩石学报, 21(3):935~946.
- 王晓霞, 王涛, 卢欣祥, 等. 2002. 北秦岭老君山、秦岭梁环斑结构花岗岩岩浆混合的岩相学证据及其意义[J]. 地质通报, 21(8~9):523~529.
- 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 2007. 新疆尾亚地区石英二长闪长岩的岩浆混合成因[J]. 岩石学报, 23(4):733~746.
- 谢磊, 王德滋, 王汝成, 等. 2004. 浙江普陀花岗岩体中的石英闪长质包体:斜长石内部复杂环带研究与岩浆混合历史记录[J]. 岩石学报, 20(6):1397~1408.
- 杨富贵, 刘丛强, 王中刚, 等. 1999a. 达拉布特型碱性花岗岩形成和演化的某些问题探讨[J]. 淄博学院学报(自然科学与工程版), 1(1):47~54.
- 杨富贵, 王中刚, 侯鸿泉, 等. 1998. 达拉布特型碱性花岗岩源岩特征初步探讨——来自稳定同位素和微量元素的证据[J]. 地质地球化学, 1(1):41~46.
- 杨富贵, 王中刚, 刘丛强, 等. 1999b. 西北准噶尔地区碱性花岗岩体中角闪石的地质地球化学意义[J]. 矿物学报, 19(1):70~76.
- 周珣若. 1994. 花岗岩混合作用[J]. 地学前缘, 1(1~2):87~97.
- 周勇, 李昌年, 钟称生, 等. 2006. 赣东北港边火成杂岩体岩浆混合作用结构类型与成因机理[J]. 矿物学报, 26(2):181~188.
- 朱金初, 张佩华, 谢才富, 等. 2006. 桂东北里松花岗岩中暗色包体的岩浆混合成因[J]. 地球化学, 56(6):506~516.