

岩浆混合作用：来自岩石包体的证据

王德滋, 谢磊

(南京大学地球科学系, 南京 210093)

摘要: 镁铁质岩浆与长英质岩浆之间的混合作用是导致壳幔混源花岗岩类形成的主要机制。暗色、细粒且具火成结构的岩石包体是指示岩浆混合作用存在的可靠证据。这些岩石包体具有下列特征: (1) 包体常呈等轴状, 表明包体岩浆曾以液态球滴状存在于寄主岩浆中; (2) 由于基性岩浆温度恒高于酸性岩浆 (温度超出约300℃), 这类包体常具有淬冷边; (3) 包体有时含有反向脉; (4) 包体中能见到自寄主岩浆捕获的长石捕虏晶。进一步分析了三个典型的含暗色微粒包体的花岗质杂岩 (平潭、普陀山、花山一姑婆山) 研究实例, 认为暗色微粒包体的形成, 可来自深部岩浆房的玄武质岩浆向浅部酸性岩浆房的注入作用来解释。

关键词: 岩浆混合作用; 包体; 壳幔作用

中图分类号: P588.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493 (2008) 01-0016-06

Magma Mingling: Evidence from Enclaves

Wang De-zi and Xie Lei

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The magma mingling between mafic magma and felsic magma is the primary mechanism responsible for the granitoids of crust-mantle mixed source. The dark colored, microgranular and igneous-texture enclaves provide reliable evidence that indicates the existence of magma mingling. These enclaves have the following characteristics: (1) the form of enclaves usually presents an equi-axed shape, which shows that enclave magma existed in the host magma with a globule liquid state; (2) since the temperature of basic magma is higher than acidic magma (temperature excess about 300℃), this type of enclaves often has quenched margin; (3) the enclaves sometimes contain back veins; (4) feldspar xenocrysts captured from the host magma can be seen in the enclaves. Three typical granitic complexes (Pingtan, Putuoshan, Huashan-Guposhan) containing dark colored microgranular enclaves are exemplified in this paper. The formation of dark colored microgranular enclaves can be explained by the injection of the basaltic magma from deep seated magma chamber toward hypabyssal acidic magma chamber.

Key words: magma mingling; enclave; crust-mantle interaction

自然界中, 常见镁铁质岩浆与长英质岩浆存在不同程度的混合现象, 这是导致花岗质岩石在成分上多样性的主要原因之一。Magma mixing 和 Magma mingling 两词均译为岩浆混合作用, 其实二者含义有一定区别。Magma mixing 指化学上 (包括主量元素和微量元素) 呈完全均一化混合。Magma mingling 是指两种岩浆的机械混合, 属于不完全的岩浆混合。镁铁质岩浆由于其高温、低粘度常在长英质岩浆中呈包体或同深成岩墙 (syn-plutonic

dike) 出现, 两种岩浆在主量元素上尚未达到均一化程度 (Vernon, 1983)。

包体 (enclave) 一词是不具成因含义的中性名词, 指的是任意一种岩石包体被包裹在火成岩 (通常是花岗质岩石) 之中 (Didier and Barbarin, 1991)。所谓微粒花岗岩类包体 (microgranitoid enclave) 是指在花岗质岩石中广泛分布的暗色、细粒且比寄主岩富含铁镁矿物的中基性岩石包体 (王德滋等, 1992)。在文献中有时还出现镁铁质

收稿日期: 07-10-08; 修回日期: 07-12-06。

作者简介: 王德滋, 中国科学院院士, 岩石学专业。

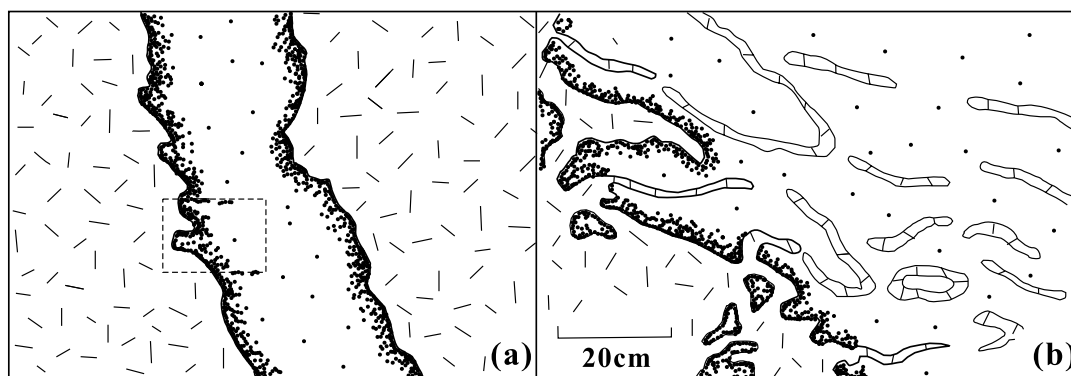
微粒包体 (mafic microgranular enclave) 一词, 它与上述微粒花岗岩类包体实际上是同一事物, 只是命名不同而已。尽管微粒花岗岩类包体在文献中出现较多, 但易使人误解包体的成分属于花岗岩类, 而实际情况并非完全如此。鉴于这类包体有两个最醒目的标志, 一是粒状结构较寄主岩细, 二是颜色较寄主岩深, 因此统一称其为暗色微粒包体 (dark colored microgranular enclave) 是比较适宜的。这类暗色包体的一个重要特征是具有细粒火成结构, 颜色较深, 形态多样。通常可在岩石露头上直接进行观察, 包体最常见的形态为近于等轴状, 表明包体岩浆曾呈球形液滴状 (globule liquid state) 存在于寄主岩浆中。有些暗色包体呈拉长的纺锤状或其他不规则状, 表明当两种岩浆混合时, 寄主岩浆处于流动状态甚至紊流状态。本文着重考察几个典型岩体内包体的地质与岩相特征, 进而探讨岩浆混合作用的可能机制。

1 包体的地质与岩相

我国东南沿海地区, 特别是沿海岛屿, 在一些露天采石场以及经海浪冲刷的海滩, 均可清晰地见到暗色微粒包体与花岗岩的关系。福建平潭岛发育典型的由花岗岩、花岗闪长岩和角闪辉长岩组成的双峰式侵入杂岩。角闪辉长岩的同位素年龄为 115 Ma, 花岗岩为 125 Ma, 二者形成的时间相近。镁铁质岩浆与长英质岩浆之间的混合作用

表现得很典型 (董传万等, 1997, 1998; 图 1)。角闪辉长岩呈同深成岩墙侵入花岗闪长岩中, 岩墙壁部呈细褶状并出现淬冷边。更常见的是, 基性岩浆呈包体形式出现于花岗岩中。有时包体相当密集。由于高温的基性岩浆接触相对低温的酸性岩浆突然冷凝 (二者温差超过 300℃), 包体常具淬冷边。无论是同深成岩墙还是暗色微粒包体, 有时可见到花岗闪长岩呈不规则脉状穿插其中, 称反向脉 (back vein)。这是由于淬冷边因突然冷凝收缩形成不规则裂缝, 使花岗闪长质熔体得以注入岩墙和包体之中。淬冷边和反向脉的出现是镁铁质岩浆与长英质岩浆发生混合的可靠证据。

浙江普陀山是舟山群岛的一个岛屿。整个岛屿是一个花岗杂岩体, 主体为晶洞钾长花岗岩, 局部见到闪长岩侵入花岗岩内。岛的中部出露流纹岩, 可能为顶垂体。晶洞和顶垂体的出现, 标志花岗杂岩体是超浅成的。岛的北部海滩在花岗岩中出现密集的暗色微粒包体, 包体成分以石英闪长岩为主。从石英闪长质包体中鉴定出三种斜长石斑晶 (谢磊等, 2004): (1) 正常环带斜长石, 内带为基性斜长石, 外带为中长石—更长石, 呈连续变化, 无间断 (图 2a); (2) 筛状结构斜长石, 筛孔为偏基性斜长石, 分布于酸性斜长石的核部 (图 2b); (3) 反环带斜长石, 内带为更长石, 外带为基性斜长石向边部渐变为钠更长石, 内外环带不连续 (图 2c)。第一类证明斑



(a) 角闪辉长岩墙 (用粗点表示) 贯入花岗闪长岩 (以杂乱短线表示), 岩墙具淬冷边;
(b) 为 (a) 图的局部放大, 辉长岩墙边部附近有零散的暗色包体, 在岩墙内侧则出现花岗闪长岩反向脉。
(a) hornblende gabbro dyke (shown as coarse dots) injected into the granodiorite (shown as irregular short bars).

Gabbro dyke shows curved quenched margin. (b) enlargement of framed area in Fig.1 (a).

There are small and dispersely dark enclaves existing nearby protrusive part of margin of dyke and granodioritic back-veins occurred in inner part of dyke.

图1 平潭花岗杂岩中的暗色包体与同深成岩墙素描 (据董传万等, 1998)

Fig. 1 Local sketch for dark enclaves and synplutonic dyke in Pingtan igneous complex. (after Dong et al, 1998)

晶属于自闪长质岩浆正常晶出的环带状斜长石。第二类斑晶的成因为花岗质岩浆中晶出的酸性斜长石斑晶被闪长质岩浆捕获发生部分熔融,产生不平衡熔体,其中富钙熔体对于贫钙熔体产生组分过冷,导致核部筛孔内晶出基性斜长石,而外部为酸性斜长石(Castro, 1999)。第三类斑晶代表花岗质岩浆中晶出的酸性斜长石斑晶被混合岩浆捕获,随即被混合岩浆晶出的斜长石所环绕形成反环带斜长石。显然,三种类型的斜长石斑晶示踪了岩浆混合作用的历程(图2)。

广西花山和姑婆山是一对典型的穹窿状花岗杂岩体,时代属于燕山早期(160~163 Ma),原先认为属于S型花岗岩。据朱金初(2006)研究,按其构造环境与岩石地球化学特征,应属铝质A型花岗岩。花山岩体颇似环状杂岩,其岩相配置为:核部为黑云母花岗岩,向外过渡为富含暗色微粒包体的角闪黑云母二长花岗岩,最外缘间断出露石英二长岩和闪长岩。姑婆山花岗杂岩的岩相配置与花山正巧相反,核部的里村岩体为暗色微粒包体高度密集的角闪黑云二长花岗岩,环绕里松岩体为黑云母花岗岩。推测里村岩体可能为输送基性岩浆的通道位置,代表岩浆混合作用最强烈的场所。里村岩体中最大的暗色微粒包体,长4.5m,宽3m,厚>2m。暗色微粒包体常具淬冷边和反向脉,并屡屡出现钾长石捕虏晶,有的钾长石捕虏晶具斜长石镶边,呈环斑结构,是岩浆混

合的典型标志。有的钾长石斑晶横跨暗色微粒包体与寄主岩边界。此外还发现由两次岩浆混合作用形成的双包体。以上数例足以证明岩浆混合作用对于壳幔混源花岗岩类的形成具有普遍意义。

暗色微粒包体是区分I型(壳幔混源型)与S型(壳源型)花岗岩的重要标志之一,前者多数含有暗色微粒包体,后者很少见到这类包体。华南地区分布不同时代的花岗岩类。其中,加里东期多数属S型花岗岩类,少数属I型花岗岩,后者富含角闪石和暗色微粒包体,空间上大都分布于断裂带附近。印支期花岗岩在南岭地区比较分散,规模亦较小,一般为强过铝至弱过铝花岗岩,未发现其中含有暗色微粒包体。南岭地区存在三条EW向展布的燕山早期花岗岩带,其中不少岩体富含暗色微粒包体,如北带的骑田岭岩体,中带的花山、姑婆山岩体和南带的佛冈岩体等,这些岩体均位于EW向和NE向两组深断裂的交汇处。显然,断裂构造为深部基性岩浆提供了上升的通道,促使两类岩浆发生混合作用。因此,富含暗色微粒包体的花岗岩体通常靠近断裂带分布,而远离断裂带的浅色花岗岩几乎见不到这类暗色包体(周新民等, 2007)。

2 岩浆混合的成因机制

花岗岩中的暗色微粒包体是如何形成的? 镁铁质岩浆与长英质岩浆是同源还是异源? 这些均

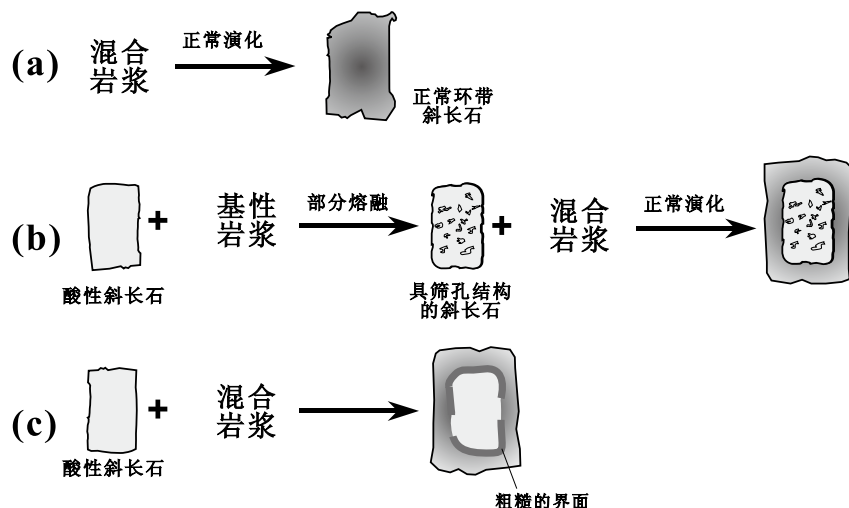


图2 普陀花岗杂岩中石英闪长质包体的岩浆演化示意图(谢磊等, 2004)

Fig. 2 Schematic diagrams illustrating possible magma evolution by the recorded plagioclase textures in quartz-diorite enclave in Putuo granitic complex (after Xie et al, 2004)

属关键性问题。Vernon (1983) 提出层状岩浆房对流的观点 (图3)。岩浆房中存在长英质和铁镁质上下两层岩浆, 由于成分和温度的不均衡性发生大规模的对流作用, 上部长英质岩浆层的对流使得下层铁镁岩浆团被带上并淬火冷凝; 下部铁镁质岩浆房对流拖下长英质岩浆团并很快均一化混合。这就是为什么淬冷包体通常比寄主岩色暗且富铁镁组分的原因。显然, 通过上述层状对流机制形成的暗色包体属于不混溶包体, 它是岩浆液态不混溶作用的产物。液态不混溶作用是岩浆演化的重要机制之一, 是指一个均匀液相在一定温度范围内分裂成两个互不相溶的共轭相。对液态不混溶作用的研究虽已取得了较大进展, 积累了不少实验资料 (Roedder, 1978; 王联魁等, 1987), 但支持这一观点的地质实验并不多, 浙江桐庐火山断陷盆地的石英二长闪长岩内暗色包体可以作为一例。

桐庐火山-侵入杂岩位于钱塘海西-印支断裂拗陷带内, 其形成分为三个阶段: 第一阶段形成流纹质凝灰岩和熔结凝灰岩, 第二阶段形成碎斑流纹英安岩, 第三阶段形成石英二长闪长岩浅成侵入体。三个阶段的岩浆活动反映了岩浆房中存在明显的成分分带, 上部是流纹质岩浆, 中部是流纹英安质岩浆, 下部是石英闪长质岩浆。浅部岩浆房内这种岩浆成分分带是闪长质岩浆经斜长石、普通角闪石的分离结晶形成的。在石英二长闪长岩中可见各种呈塑性形态的较富铁镁的岩石包体, 多数呈纺锤形、浑圆形, 有的被拉长, 显然这是石英闪长质岩浆中保存的更偏基性的岩浆团块。这些包体具火成结构, 粒度较细, 矿物成分与寄主岩相似, 两者均含普通角闪石, 包体与寄主岩不仅矿物组合相同, 而且两者的同位素地球化学特征非常相似。寄主岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ 值=0.7084~0.7099, $\varepsilon \text{Nd}/t=-5.91\sim-6.15$; 包体的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ =0.7087, $\varepsilon \text{Nd}/t=-5.13\sim-5.58$ 。包体的MgO, FeO明显高于寄主岩, 但两者的Mg/(Mg+Fe)和Na/(Na+Ca)比值无明显区别。以上表明包体岩浆与寄主岩浆密切相关, 两者是同源的, 包体岩浆是中、酸性岩浆发生熔离作用的产物 (周金城等, 1999)。尽管如此, 在桐庐带状岩浆房中, 同源暗色包体仅在石英二长闪长岩中出现, 而在流纹质熔结凝灰岩和碎斑流纹英安岩中从未见

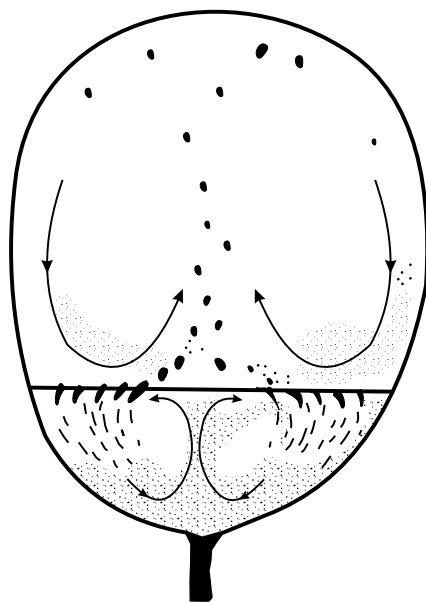


图3 层状岩浆房对流机制 (Vernon, 1983)

Fig. 3 The genetic mechanism of magma mingling — layered magma chamber convection

到。这种现象与Vernon的层状岩浆房对流的观点似乎相悖。

Eichelberger (1980) 提出暗色微粒包体来自富气的镁铁质岩浆上浮机制。当镁铁质岩浆与长英质岩浆接触时, 由于热平衡作用远易于化学平衡作用, 会在接触界面附近形成富气的低密度镁铁质岩浆, 从这种低密度镁铁质岩浆分离出球形液滴上浮, 进入长英质岩浆中并结晶形成包体。他认为, 花岗岩中的暗色包体就是通过这一机制形成的。然而, 这种情形仅可能发生于相对低压的条件下, 而在中上地壳缺乏大量玄武质岩浆与花岗质岩浆直接接触的事实, 这一机制的普遍意义似乎值得怀疑。

大量野外观察到的事实比较支持镁铁质岩浆自外部注入长英质岩浆的观点。Frost and Mahood (1987) 提出岩浆喷泉机制用以说明暗色微粒包体的成因。镁铁质岩浆以射流 (jet) 或喷泉 (fountain) 形式注入长英质岩浆之中。两者的混合程度与温度、粘度差及注入岩浆的流动速度有关。注入的通道可以是点状, 亦可呈线状。包体往往比较集中分布于花岗岩体的某一部位, 如姑婆山的里村岩体、浙江大衢山花岗岩体中的暗色微粒包体显然属于这种成因。

如果赞同镁铁质岩浆自外部注入长英质岩浆

形成暗色微粒包体的观点,则必须弄清楚镁铁质岩浆与长英质岩浆各自的源区以及如何注入等问题。Hildreth (1981) 认为镁铁质岩浆主要来自软流圈。玄武质岩浆与下地壳接触对后者加热发生部分熔融产生中、酸性岩浆,后者不断聚集,底辟上升,在上地壳构造薄弱部位(相当于地球物理剖面中的低速带)扩展成浅部岩浆房。他还认为镁铁质岩浆与地壳岩石相互作用,由于存在化学成分梯度,玄武质岩浆可以通过AFC作用产生安山质、英安质甚至流纹质岩浆。在Hildreth的模型中,并未涉及花岗岩中暗色微粒包体的成因。

笔者受Hildreth 研究思路的启发,提出可能存在两个岩浆房的构想:即深部岩浆房中的镁铁质岩浆注入浅部岩浆房的混合模式(图4)。深部岩浆房位于壳幔边界处,内含玄武质岩浆及其衍生岩浆,浅部岩浆房位于中、上地壳,内含花岗质或花岗闪长质岩浆。两个岩浆房通过伸展构造贯通。来自深部岩浆房的玄武质岩浆经拉张性通道或断裂构造注入浅部花岗质岩浆房,形成暗色微粒包体和同深成岩墙。深部岩浆房的形成与玄武质岩浆的底侵作用(underplating)有关。中国东南部晚中生代期间存在大面积的玄武质岩浆的底侵作用,其事实依据为:(1)在中-新生代玄武岩中发现基性麻粒岩包体,矿物组合比较简单,主要由单斜辉石、斜方辉石和基性斜长石组成。广东汕头麒麟镇玄武角砾岩筒中采集到的基性麻粒岩包体,其Sm-Nd等时线年龄为112 Ma,相当于玄武质岩浆底侵作用的年龄,这与浙闽粤地区双峰式侵入岩中的辉长岩年龄十分相近(徐夕生和周新民, 1995; Yu et al, 1998);(2)据福州、泉州、汕头地区人工爆炸地震测深资料(廖其林等, 1988),本区下地壳底部存在4~7 km厚的壳幔混合物质层,经徐夕生(1995)模拟计算,系由辉长质麻粒岩(70%)、尖晶石二辉橄榄岩(20%)和辉石岩(10%)混合组成。暗色微粒包体可以是辉长岩质,如安徽铜陵地区的个别石英闪长岩中发现辉长岩包体(杜杨松等, 2006),福建平潭岛花岗岩中的包体也是辉长岩(董传万等, 1997)。江西灵山花岗岩中发现一种暗色包体,核部为玄武岩,而边部为闪长岩,说明包体的原始岩浆成分为玄武质岩浆,它与花岗质岩浆混合形成包体

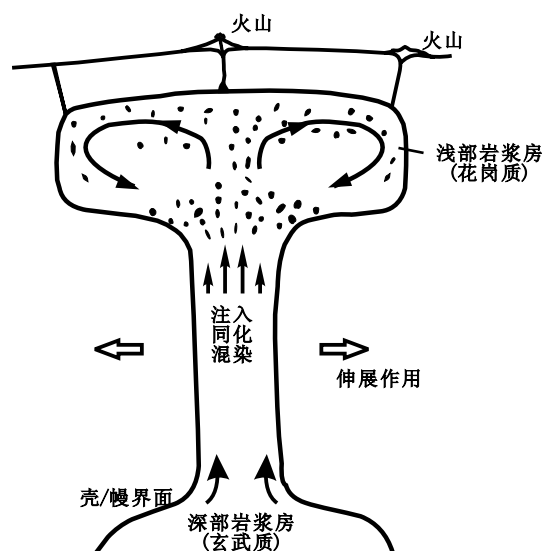


图4 深部镁铁质岩浆通过伸展构造注入浅部岩浆房混合模式

Fig. 4 The mingling mechanism of deep mafic magma injecting into shallow magma chamber along extension structure

边部的闪长岩(郑建平等, 1996)。尽管如此,在多数情形下,暗色微粒包体的成分为闪长岩质,这如何解释?有两种可能的原因:一是下地壳的平均成分为中性成分,经玄武质岩浆底侵加热部分熔融产生闪长质岩浆;另一种更可能的原因是玄武质岩浆经分离结晶和同化混染的双重作用(AFC机制)形成中基性至中性的衍生岩浆。由此形成的闪长质岩浆经伸展构造通道注入浅部酸性岩浆房中发生岩浆混合作用即形成花岗岩中常见的暗色微粒包体。

张旗等(2007)提出深部源区混合模型以解释暗色微粒包体的形成,他的基本观点是岩浆在源区先混合,然后上升侵位。笔者提出的模型主要针对花岗质火山-侵入杂岩及部分见有明显岩浆注入现象的岩体而言。暗色微粒包体看来不是一种机制所形成,上述两种模型可能具有一定程度的互补性。

References:

- Castro A, Patiño Douce A E, Corretgé L G, et al. 1999. Origin of peraluminous granites and granodiorites, Iberian massif, Spain. An experimental test of granite petrogenesis [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 135: 255-276.
- Didier J and Barbarin B. 1991. *Enclaves and granite petrology* [M]. Amsterdam: Elsevier Science.
- Dong C W, Li W X, Chen X M, et al. 1998. Late Mesozoic magma

- mixing in SE-Fujian—Petrologic evidence from the Pingtan igneous complex [J]. *Progress in Natural Sciences*, 8 (2): 196–201.
- Dong Chuanwan, Xu Xisheng, Chen Xiaoming, et al. 1997. Mineralogical record of crystallization processes of Pingtan hornblende gabbro, Fujian [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 17 (3): 285–290. (in Chinese with English abstract)
- Du Yangsong. 2006. On Mesozoic magmatism in Tongling region [G]. // Chen J. ed. *Research Progress on Geology and Geochemistry—Celebration Devoted to Academician Wang Dezi for his 60 years' Anniversary of Contribution in Geological Sciences and 80 years' Anniversary of Birthday*. Nanjing: Nanjing University Press. 65–74. (in Chinese)
- Eichelberger J C. 1980. Vesiculation of mafic magma during replenishment of silica magma reservoirs [J]. *Nature*, 288: 446–450.
- Frost T P and Mahood G A. 1987. Field-chemical, and physical constraints of mafic-felsic magma interaction in the Lamarek granodiorite, Sierra Nevada, California [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 99: 272–291.
- Hildreth W. 1981. Gradients in silicic magma chambers: implications for lithospheric magmatism [J]. *Journal of Geophysical Research*, 86: 10153–10192.
- Roedder E. 1978. Silicate liquid immiscibility in magmas and in the system $K_2O-FeO-Al_2O_3-SiO_2$: An example of serendipity [J]. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 42: 1579–1618.
- Turner J S and Campbell I H. 1986. Convection and mixing in magma chambers [J]. *Earth Science Reviews*, 23: 255–352.
- Vernon R H. 1983. Restite, xenoliths and microgranitoid enclaves in granites [J]. *J. Proceed. Royal. Soc. N. S. W.*, 116: 77–103.
- Wang Dezi, Zhou Xinmin, Xu Xisheng, et al. 1992. On geneses of microgranitoid enclaves [J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 12 (3): 235–241. (in Chinese with English abstract)
- Wang Liankui, Lu Jialan, Zhang Shaoli, et al. 1987. An experimental study on liquid segregation of Nanling granites [J]. *Science in China (Series B)*, 1: 79–87. (in Chinese with English abstract)
- Xie Lei, Wang Dezi, Wang Rucheng, et al. 2004. Complex zoning texture in plagioclases from the quartz diorite enclave in the Putuo granitic complex, Zhejiang province: record of magma mixing [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20 (6): 1397–1408. (in Chinese)
- Xu Xisheng and Zhou Xinmin. 1988. Rock inclusions in granitoids [J]. *Journal of Nanjing University (Earth Sciences Edition)*, (1): 233–241. (in Chinese with abstract)
- Xu Xisheng and Zhou Xinmin. 1995. The xenoliths from Qilin Cenozoic basaltic pipe, Guangdong [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 11 (4): 441–448. (in Chinese with English abstract)
- Yu J H, Fang Z, Zhou X M, et al. 1998. Garnet granulite facies xenoliths from Yingfengling basalt in Leizhou, Guangdong Province [J]. *Chinese Science Bulletin*, 43 (23): 2013–2018
- Zhang Qi, Pan Guoqiang, Li Chengdong, et al. 2007. Granitic magma mixing versus basaltic magma mixing: New viewpoint on granitic magma mixing process: some crucial questions on granite study (1) [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23 (5): 1141–1152. (in Chinese with English abstract)
- Zheng Jianping, Li Changnian, Xue Chongsheng, et al. 1996. Genesis of basalt inclusion in Lingshan granites, Jiangxi [J]. *Geological Science and Technology Information*, 15 (1): 19–24. (in Chinese with English abstract)
- Zhou Xinmin. 2007. Petrogenesis of Late Mesozoic granite and dynamic evolution of lithosphere in Nanling region [M]. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 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*, 80 (4): 529–542. (in Chinese with English abstract)

参考文献:

- 董传万, 李武显, 陈小明, 等. 1998. 闽东南晚中生代岩浆混合作用: 平潭火成杂岩的岩石学证据[J]. *自然科学进展*, 8 (5): 581–586.
- 董传万, 徐夕生, 陈小明, 等. 1997. 福建平潭角闪辉长岩结晶过程的矿物学记录[J]. *矿物学报*, 17 (3): 285–290.
- 杜杨松. 2006. 铜陵地区中生代岩浆作用过程[M]. // 陈骏. *地质与地球化学研究进展—庆祝王德滋院士致力于地质科学六十周年暨八十华诞*. 南京: 南京大学出版社. 65–74.
- 王德滋, 周新民, 徐夕生, 等. 1992. 微粒花岗岩类包体的成因[J]. *桂林冶金地质学院学报*, 12 (3): 235–241.
- 王联魁, 卢家烂, 张绍立, 等. 1987. 南岭花岗岩液体分离实验研究[J]. *中国科学 (B辑)*, 1: 79–87.
- 谢磊, 王德滋, 王汝成, 等. 2004. 浙江普陀花岗岩杂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史记录[J]. *岩石学报*, 20 (6): 1397–1408.
- 徐夕生, 周新民. 1988. 花岗岩类中的岩石包体[J]. *南京大学学报 (地球科学版)*, (1): 233–241.
- 徐夕生, 周新民. 1995. 广东麒麟新生代玄武质角砾岩筒中岩石包体的研究[J]. *岩石学报*, 11 (4): 441–448.
- 张旗, 潘国强, 李承东, 等. 2007. 花岗岩混合问题: 与玄武岩对比的启示——关于花岗岩研究的思考之一[J]. *岩石学报*, 23 (5): 1141–1152.
- 郑建平, 李昌年, 薛重生, 等. 1996. 江西灵山花岗岩中玄武岩包体的成因[J]. *地质科技情报*, 15 (1): 19–24.
- 周新民. 2007. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化[M]. 北京: 科学出版社.
- 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*, 35(5): 506–516.