

西秦岭温泉花岗岩体岩石学特征及岩浆混合标志

李永军, 李注苍, 任平, 刘志武, 李民贤, 李金宝

(长安大学地球科学与国土资源学院, 陕西西安710054)

[摘要] 温泉花岗岩体由酸性端元的寄主岩石和暗色微细粒镁铁质包体群及基性岩墙群组成。无岩浆混合作用或岩浆混合作用较弱区段, 寄主岩石以似斑状二长花岗岩为主, 显示正常的花岗岩结构构造; 岩浆混合作用强烈区段, 岩石的异常结构构造十分发育, 矿物之间自形程度差异显著, 常见包晶反应、包含结构、交代边、熔蚀边、交代蚕食的港湾状结构构造及交代缝合线、矿物镶边、斜长石异常环带和矿物残留等, 多见指示岩浆混合的标志性矿物针状磷灰石。暗色微粒包体中多见寄主二长花岗岩中的捕虏晶。包体的形态、结构构造以及寄主岩石强烈地成分交换等均是岩浆混合作用的标志。

[关键词] 岩石学特征; 暗色微细粒镁铁质包体; 岩浆混合作用; 温泉花岗岩; 西秦岭

[中图分类号] P588.1 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)03-0007-06

[作者简介] 李永军(1961—), 男, 甘肃天水人, 副教授, 博士, 现从事构造地质学、区域地质调查及地球探测信息研究工作。

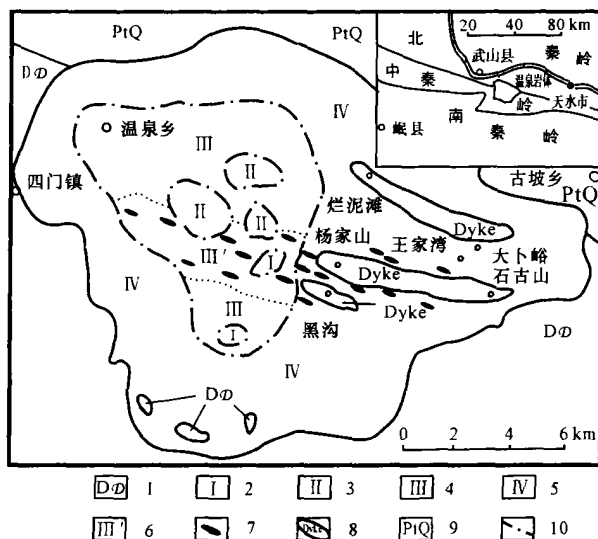
1 岩体分布及时代

温泉花岗岩体位于秦岭造山带西段北秦岭加里东造山带与中秦岭华力西褶皱带的拼结部位^[1,2], 行政区隶属甘肃省天水市武山县温泉乡—甘谷县古坡乡。岩体地表形态似圆形, 出露面积约253 km², 岩体中心坐标为东经105°07′00″, 北纬34°37′00″。

岩体由酸性端元寄主岩石和基性端元的基性岩墙群及暗色微细粒镁铁质包体群构成。寄主岩石是一个多期复式岩体, 呈同心环状分布, 由5个岩石单元组成, 各单元之间多为脉动接触, 关系清晰(图1)。

岩体中部I~III单元中产有较多暗色微细粒镁铁质包体(Mafic magmatic enclave, 代号MME)。岩体东部出露3个基性岩墙群(Dyke), 方向与镁铁质微粒包体展布方向一致。

于IV单元中获得259 Ma的单颗粒锆石U-Pb年龄, 岩体时代为二叠纪末期—三叠纪早期^[3]。



1—泥盆纪大草滩群碎屑岩; 2~5—花岗岩单元代号; 6—岩浆混合比例极高的暗色花岗岩; 7—暗色微细粒镁铁质包体; 8—基性岩墙群; 9—太古代变质火山岩—碎屑岩; 10—岩体内部脉动关系

图1 温泉花岗岩体地质略图

Fig. 1 Sketch map of the wenquan granite

2 寄主岩石的主要岩石学特征

寄主岩石的岩石类型以似斑状黑云母二长花岗岩为主(图2~图4), 可划分为5个填图单元(表1), 主要岩石学特征见表2。

[收稿日期] 2004-04-29

[基金项目] 中国地质调查局地质调查项目
(20001300010171)

表 2 温泉岩体主要岩石学特征

Table 2 Concise table of main lithologic features of wenquan granite

岩石特征		细粒黑云二 长花岗岩	细粒含斑黑云 二长花岗岩	中粒似斑状含 角闪石黑云二 长花岗岩	中粒似斑状含黑 云二长花岗岩	粗粒似斑状 正长花岗岩	微细粒辉长闪长 岩、闪长岩、石英 闪长岩(包体)
主要 矿物 含量 / %	钾长石	30~35	30~35	35	35	35~45	(捕掳晶)
	斜长石	30~35	30~35	30	35	20~35	35~60
	石 英	30	30	25~30	20~30	20~25	10~15
	黑云母	2~5	3~5	5	3~6	4~6	10~15
	角闪石	偶见	偶见	3~6	偶见	偶见	5~25
粒 度 / mm	斑 晶	无或偶见	条纹长石, 含量 约 3%	条纹长石, 晶形 较好, 含量约 3%	条纹长石, 含量约 3%~5%, 晶形较 好, 条纹构造发育	钾长石: 20×8~30 ×12, 5%~8%	捕掳晶多为长 石斑晶 10~20
	基 质	0.5~2.0	<2	2~4	3~6	3~5	0.2~0.5
正 常 结 构 造	岩石结构 构造	细粒花岗结构, 块 状构造	细粒花岗结构, 含斑 结构	中粒花岗结构, 似斑 状结构, 块状构造	粗粒半自形粒状结 构、似斑状结构, 块 状构造	粗粒半自形粒状结 构、似斑状结构, 块 状构造	微细粒半自形粒 状结构为主, 另 见蠕英结构
	钾长石 晶形	条纹长石格子双 晶, 微斜长石卡氏 双晶	条纹结构及细小条 纹结构, 卡氏双晶	卡氏双晶, 条纹少	条纹状	卡氏双晶	捕掳晶, 卡氏双 晶为主, 见条 纹长石
	斜长石 晶形	钠长石, 环带, 卡钠 复合双晶, An 为 22 ~26	钠长石, 发育环带, 卡钠复合双晶, An 为 23~27	钠长石, 双晶发育, 部分发育环带构造 和卡钠复合双晶, An 为 25~27	钠长石, 厚板状为 主, 发育双晶、环带 构造和卡钠复合双 晶, An 为 22~27	钠长石, 卡钠复合发 育, An 为 26~27	聚片双晶及环 带, An 为 32~ 42, 捕掳晶中 An 为 22~27
异 常 结 构 造	寄主岩石中 岩浆混合作 用形成的岩 体的结构构 造	紊乱和不规则环 带, 交代净边, 锯齿 状、边缘不规则状, 包晶斜长石 An 为 32~40	紊乱和不规则环带, 交代镶边, 发育包 晶, 斜长石 An 为 37 ~38	边缘不规则, 交代结 构发育, 同时见针状 磷灰石等典型的淬 火结构。斜长石 An 为 38	边缘港湾状、孤岛 状, 石英边缘缝合线 状、锯齿状, 镶边发 育。包晶斜长石的 An 为 37~40		捕掳晶定向排列 或被圆化, 普遍 见针状磷灰石, 捕掳晶边缘港湾 状、孤岛状
分布及出露 面积所占岩 体比例		小侵入体分布于岩 体中南部, 约占 3% ~5%	多呈小侵入体分布 于岩体中部, 约占 8%	呈环状分布于岩体 次外环, 约占 ~25%	分布于岩体最外环, 约占 45%~50%	呈脉状散布于早期 各单元, 约占 1%	包体及岩墙状, 约占 20%
填图单元		I	II	III	IV	V	MME 及基性岩墙

基性岩墙中非常发育, 而且在岩浆混合花岗岩中也有针状磷灰石。这些结构构造特征, 均说明矿物在结晶生长过程中, 其温度、压力、岩浆的成分等均发生重大变化。

自形程度差异、镶边结构、淬火结构、晶形的变化、条纹的变形等结构构造变化或与温度、压力有关, 或与岩浆的成分变化有关, 但交代边、熔蚀边、蚕食的港湾状结构、交代缝合线, 说明岩浆成分发生了突变。

一般情况下, 性质差异较大的岩浆注入或是性质差异较大的围岩的同化混染都有可能导致岩浆成分的突变, 但从本岩体来看, 这些结构构造最为发育的地区即是基性岩墙和暗色包体最为发育的区域, 即幔源岩浆的混入导致了总岩浆成分的显著变化。

3 包体岩石学特征

3.1 包体的岩石类型

包体有微细粒辉长闪长岩、闪长岩、石英闪长岩。主要矿物有: 斜长石, 见原生斜长石和斜长石捕掳晶两类。原生斜长石 35%~60%, 发育聚片双晶及环带, 边部凸向钾长石处形成卡钠复合双晶, 并见蠕英结构, An 为 32~42, 为中性斜长石; 斜长石捕掳晶的边缘被强烈熔蚀和交代, An 为 22~27; 普通角闪石 5%~25%, 自形-半自形, 部分被黑云母交代; 黑云母 15%, 边缘被酸性端元石英交代形成不规则状及锯齿状。

3.2 包体的形态与大小

包体多见椭球状、纺锤状、饼状、扁豆状、浑圆

状、蝌蚪状、撕裂状及不规则形态,大小悬殊,大者近 1 m,小至几厘米甚至更小,见“拖尾”等流线性形态,表明包体被“包裹”时呈塑性状态^[7~13]。

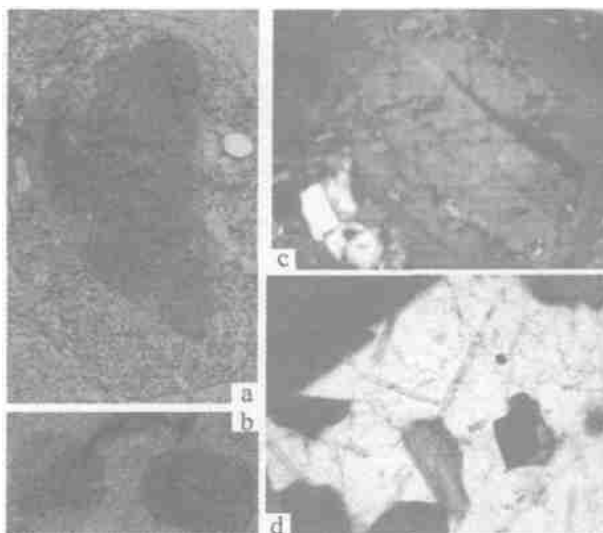
3.3 包体结构构造

一般以暗灰色、灰褐色为主,少数为灰黑色。外圈常见暗色矿物组成的浅色晕圈。岩石以细粒半自形粒状结构为主,粒度 0.2~0.5 mm,另见蠕英结构,为典型岩浆结构,部分边界见冷凝边。斜长石呈自形一半自形柱状,也有部分呈粒状;辉石矿物呈粒状充填其中,黑云母呈板状且生长受到其他矿物的限制,边缘成港湾状,见针状磷灰石插在其他矿物之间。磷灰石在寄主岩石及镁铁质微粒包体中的形态是截然不同的,前者磷灰石通常呈短柱状晶体,而后者则显极长的细针状(图 5c, d)。根据 Wyllie 等实验结果,镁铁质微粒包体中的针状磷灰石是在淬冷状态下结晶形成的,说明形成镁铁质微粒包体的基性岩浆较寄主酸性岩浆有较大温差,结晶过程中有快速的放热作用^[9]。另外在部分包体边界见冷凝边^[14],并见长石斑晶环绕分布(图 5a)。Pabst(1928)认为包体在其被“包裹”时并非固态的最为有力地证据就是具有冷凝边,这就从一个侧面证明了包体与寄主岩石有可能进行岩浆混合作用。包体中的斜长石常见异常环带,环中包有暗色矿物,有时环绕其周边有细小的暗色矿物,其外又发育它形生长边(图 5c),表明结晶过程中岩浆成分有突变,有异常成分岩浆的加入(岩浆混合作用)^[12]。

综合分析,形成镁铁质微粒包体的岩浆经历了两大结晶阶段。第一阶段为快速结晶阶段,较热地镁铁质岩浆与较冷地酸性岩浆遭遇后,快速降温达到与花岗岩浆相同的温度,即达到热平衡,由于镁铁质岩浆的过冷度(熔体温度低于其液相线温度的程度)明显超过长英质岩浆,因而结晶速度要比长英质岩浆快。这一阶段中,由于镁铁质微粒包体岩浆的成核速度很快而晶体生长速度很慢,镁铁质矿物、斜长石及副矿物形成细粒、微粒结构。第二阶段为相对慢速结晶阶段,这时镁铁质微粒包体的残余岩浆或经混合作用改造的岩浆,与其寄主花岗岩浆以相同速度冷却^[10]。此外,熔体中的扩散作用引起的包体与寄主花岗岩浆之间的元素交换,可以导致同种矿物在包体中和寄主岩中成分的趋同。

3.4 包体与寄主岩石的成分交换

多数镁铁质微粒包体与寄主岩石在成分、色率、结构构造上呈弱过渡关系,界线模糊。宏观上



a—温泉岩体中,镁铁质包体形态及与寄主岩石之间成分交换形成的晕圈,边部长石斑晶环绕;b—镁铁质包体形态及与寄主岩石之间成分交换差异形成的包体色率差异;c—镁铁质包体中的针状磷灰石;d—斜长石多阶段生长的特征:斜长石异常环带,在先晶出斜长石外圈形成它形生长边和暗色矿物镶边,此后继续生长斜长石,见针状磷灰石(c, d 均为正交偏光,×80)

图 5 温泉花岗岩体岩浆混合岩结构构造

Fig. 5 Texture and structure pictures of magma mixing of the wenquan granite

镁铁质微粒包体中经常混入寄主岩石中的钾长石巨晶(捕虏晶),斑晶约 1~2 cm,其粒度较包体中的正常矿物粒度大 1 个甚至几个数量级。包体中可看到长石斑晶在其内部定向排列或被圆化、或被基性矿物充填于其中的现象,亦反映了二者之间的过渡关系,暗色矿物如角闪石、黑云母粒度明显由寄主岩向包体逐渐减小,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。即镁铁质微粒包体与寄主岩石间不仅界线模糊,而且存在着成分交换。因此,镁铁质微粒包体是半塑性状态-塑性状态的基性岩浆与酸性岩浆混合形成的。

3.5 包体与围岩成分的对比

岩体北缘围岩是太古代变质火山岩—碎屑岩;南缘围岩为泥盆系大草滩群粗碎屑岩。在区域上也找不到与包体相同的地质体^[1],因而可排除镁铁质微粒包体来自于围岩,推断镁铁质微粒包体源于深部岩浆。

3.6 捕虏晶定向

包体内部捕虏的长石斑晶有定向现象,其长轴方向与包体的长轴方向基本一致,有时还可见到包体周围有钾长石斑晶沿镁铁质微粒包体外缘环绕,

但镁铁质微粒包体与寄主岩石都未见到由于后期改造形成的塑性变形或重结晶。根据 Arzi (1978) 实验证实,若要产生岩浆流动,又不引起晶体内部塑性变形的定向运动,必须有30%~35%以上的熔体存在^[15]。因此,镁铁质微粒包体内及外缘长石斑晶的定向,是两类岩浆在塑性状态共同作用的结果,即镁铁质微粒包体是基性岩浆在塑性状态中变形与运移的产物。

3.7 包体群的定向

包体群在寄主岩体中的排列与基性岩墙以及区域主构造线一致,有可能是岩浆流动过程中受到围岩限制或区域构造共同作用形成的。总之,包体是其基性岩浆在塑性状态下运移及就位时,受围岩限制、区域构造作用、流体压力、局部对流等复杂系统共同作用的结果。

4 基性岩墙的岩石学特征

基性岩墙群与微细粒镁铁质包体密切共生,岩墙周围微细粒镁铁质包体数量明显增多,个体较大,岩墙的展布方向与微细粒镁铁质包体显示的定向性基本一致。基性岩墙群的主要岩性有混染细粒闪长岩、混染细粒石英闪长岩、混染细粒花岗闪长岩等,其间见寄主岩石的捕掳晶,捕掳晶边缘被熔蚀为不规则状、港湾状、孤岛状和锯齿状,镜下的主要岩石学特征与包体的岩石学特征基本一致。

5 结论

通过对温泉岩体的岩石学研究得出,寄主岩石以似斑状二长花岗岩为主,无岩浆混合作用或岩浆混合作用较弱区段,显示正常的花岗岩结构构造。岩浆混合作用强烈区段,岩石的异常结构构造十分发育,矿物之间自形程度差异显著,常见交代边、熔蚀边、蚕食的港湾状结构及交代缝合线、矿物镶边等,多见指示岩浆混合的标志性矿物针状磷灰石。暗色微细粒包体中多见寄主二长花岗岩中的捕掳晶。包体的形态、结构构造以及与寄主岩石强烈的成分交换等特征均揭示了岩浆混合作用的特征。已有大量岩石化学资料佐证该岩体的岩浆混合作用信息^[16~18]。镁铁质微粒包体是岩浆混合作用的重要标志,对于研究壳-幔深部作用过程、探索地壳生长与地壳增生事件、反演地壳结构、探讨构造动

力学演化及花岗岩浆侵位空间及其地球动力学有很重要的意义^[19~20]。

[参 考 文 献]

- [1] 霍福臣,李永军. 西秦岭造山带的建造与地质演化[M]. 西安: 西北大学出版社, 1995.
- [2] 李永军,霍福臣. 西秦岭东段侵入岩的构造成因类型[J]. 甘肃地质学报, 1996, 5(1): 30~44.
- [3] 李永军,丁仁平,刘志武,等. 西秦岭温泉花岗岩体的新认识[J]. 华南地质与矿产, 2003, (3): 8~11.
- [4] 国际国科联(IUGS)火成岩分类委员会. 火成岩分类及术语词典[M]. 王碧香,沈昆,毕立君译. 北京: 地质出版社, 1991.
- [5] De La Roche, H, Leterrier, J, Grande Claude P. et al. A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1 - R_2 diagrams and major element analyses — its relationships and current nomenclature [J]. Chem. Geol., 1980, 29: 183~210.
- [6] 高秉章,洪大为,郑基俭,等. 花岗岩类区1:5万区域地质填图方法指南[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.
- [7] Vernon R.H. Microgranitoid enclaves in granites—globules of hybrid magma quenched in a plutonic environment[J]. Nature, 1984, 309: 428~439.
- [8] Giorgio Rivalenti, Maurizio Mazzucchelli, Vicente Antonio, Vitorio Girardi et al. Petrogenesis of the paleoproterozoic basalt—andesite—rhyolite dyke association in the carajas region[J]. Amazonian craton. Lithos, 1998, 43: 235~265.
- [9] 王德滋. 微粒花岗岩包体的成因[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1992, 12(3): 225~240.
- [10] 江万. 中酸性侵入岩中铁镁质微粒包体及其意义[J]. 地质科技情报, 1996, 15(1): 13~18.
- [11] 马昌前. 花岗岩类岩浆动力学——理论方法及鄂东花岗岩类例析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.
- [12] 肖庆辉,邓晋福,马大铨,等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [13] Didier. 花岗岩及其包体——包体与花岗岩成因关系[M]. 姜胜章译. 北京: 地质出版社, 1981.
- [14] Giorgio Rivalenti, Maurizio Mazzucchelli, Vicente Antonio, Vitorio Girardi et al. Petrogenesis of the paleoproterozoic basalt—andesite—rhyolite dyke association in the carajas region, Amazonian craton [J]. Lithos, 1998, 43: 235~265.
- [15] Arzi A.A. Critical phenomena in rheology of partially melted rocks [J]. Tectonophysics, 1978, 44: 173~184.
- [16] 李永军,赵仁夫,李注苍,等. 岩浆混合花岗岩微量元素成因图解尝试——以西秦岭温泉岩体为例[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2002, 25(3): 7~11.
- [17] 李永军,李景宏,孔德义,等. 西秦岭温泉混浆混合花岗岩的地球化学特征[J]. 地质地球化学, 2003, 31(4): 43~49.
- [18] 李永军,刘社华,李注苍,等. 西秦岭温泉花岗岩体岩浆混合作用的地球化学信息[J]. 地质与勘探, 2003, 39(6): 33~36.
- [19] 王涛. 花岗岩混合成因研究及大陆动力学意义[J]. 岩石学

报, 2000 16(2): 161 ~ 1681.

terozoic Svecofennian Orogen, SW Finland [J]. Lithos 2000, 54: 63 ~ 81.

[20] Markka Vaisanen, Imeli Manttari, Leo M. Kriegerman, et al. Tectonic setting of post-collisional magmatism in the Palaeopro-

Petrology fetures and magma mingling marks of the Wenquan granite from western Qinling

LI Yong-jun, LI Zhu-cang, DING San-ping, LIU Zhi-wu, LI Min-xian, LI Jin-bao

(School of Earth Science and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Wenquan granite is composed of two end-member rocks, one is the host rock of the acid end-member, and the other is the microgranular mafic enclave. In the area without magma mingling or with weak magma minglings, the host rock is dominated by porphyaceous adamellite showing normal granite fabric. However, in the area with strong magma mingling, there are widespread abnormal fabrics, distinguished differences in the idiomorphic-textures and the peritectic reaction, poilitic texture, metasomatism among the minerals, metasomatic border, embayment, rimmed structure, abnormal plagioclase zoning, relict fabric as well as the acicular apatite are very common. There are a lot of capture crystals in the rock of basic end-member. The shapes and fabric of the inclusion, as well as the strong exchange of the chemical compositions between the enclave and the host rock indicate the magma mingling.

Key words: petrology features; mafic microgranular enclave; mingling of magma; Wenquan granite; western Qinling

[英文审定: 苏生瑞]

《成都理工大学学报(自然科学版)》简介

《成都理工大学学报(自然科学版)》(ISSN 1671-9727, CN 51-1634/N)创办于 1960 年,原名《成都地质学院学报》(1960~1993 年, ISSN 0256-2197, CN 51-1153)、《成都理工学院学报》(1994~2002 年, ISSN 1005-9539, CN 51-1460/P)。现今为双月刊,国内外公开发行。

本刊已进入国内三种自然科学类核心期刊,即:(1)《中文核心期刊要目总览》第一版、第三版和第四版的核心期刊(北京大学图书馆、北京高校图书馆期刊工作研究会)、(2)“中国科学引文数据库(CSCD)”核心库源期刊(中国科学院文献情报中心)、(3)“中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)”(中国科技信息研究所)。此外,本刊还是“四川省自然科学学术类质量一级期刊”;先后 11 次在国家部委和四川省组织的科技期刊评比中获奖,其中获一等奖 4 次,二等奖 6 次,三等奖 1 次;1999 年在教育部组织的“全国优秀高等学校自然科学学报及教育部优秀科技期刊评比”中获得一等奖,该奖项等同于教育部科技进步一等奖。

收录本刊全部或部分论文的科技文摘期刊和数据库主要有:(1)中国科学引文数据库(CSCD);(2)中国学术期刊综合评价数据库;(3)中文科技期刊数据库;(4)中国地质文摘;(5)中国石油文摘;(6)古生物学文摘;(7)中国无机分析化学文摘;(8)EI;(9)PJK;(10)Chemical Abstracts;(11)Petroleum Abstracts;(12)Bibliography and Index of Geology;等等。

主要栏目有:地质与矿产,油气地质与勘探,水文与工程地质,核科学与工程,环境科学与工程,材料科学与工程,计算机科学与技术,地球探测与信息技术,数学与应用数学,化学与应用化学等。

本刊由成都市邮局发行,邮发代号为 62-24。欢迎订阅。如果错过当地邮局的订阅时间,也可以直接同编辑部联系购买。

编辑部地址:四川,成都理工大学学报(自然科学版)编辑部

电话号码:028-84078973

传真:028-84077066 84077163

邮政编码:610059

E-mail:hxq@cdut.edu.cn