

文章编号: 1001- 6996 (2003) 02- 0049- 08

北秦岭老君山环斑花岗岩的成因及大地构造意义

雷泓晏^{1,2}, 张占武², 赵选社², 陈镌路^{1,2}

(1. 中国地质大学资源学院, 武汉 430074; 2. 陕西省地调院区调所, 咸阳 712000)

摘要: 老君山环斑花岗岩分布于北秦岭造山带中, 是沙河湾、朱厂沟脑、秦岭梁北秦岭环斑花岗岩带的一部分, 以特殊的环斑结构, 富含基性暗色微粒包体为特征, 通过对其地质、岩石、地化资料研究, 结合区域大地构造环境, 认为老君山环斑花岗岩, 具有岩浆混合成因类型, 为造山后伸展环境的产物, 标志着印支期末秦岭地区俯冲碰撞的板块构造体制已经结束, 转入板内构造演化阶段。

关键词: 北秦岭造山带; 老君山; 环斑结构; 花岗岩; 伸展环境

中图分类号: P588. 121 **文献标识码:** A

0 前言

展布于秦岭造山带蜂腰地带的东江口、柞水、漕坪、沙河湾、老君山等环斑花岗岩岩体, 沿商丹板块结合带两侧出露; 由于其特殊的环斑结构、镁铁质微粒包体及所代表的地质意义, 不少学者对其进行了专题研究, 并发表多篇专著。本次在开展 1: 25 万宝鸡市幅区域地质调查中, 对分布于商丹板块结合带北侧, 侵入于宝鸡岩体、秦岭岩群、宽坪岩群、斜峪关岩群等不同地质体中的老君山环斑石英二长岩进行了调查和研究, 并与区域上同类花岗岩进行了对比。世界上典型环斑花岗岩主要产于前寒武纪稳定克拉通地块及其边缘, 其时代为元古代。北秦岭造山带中的环斑花岗岩, 与世界典型环斑花岗岩存在着较大差异, 它的形成和侵位无疑对造山带的形成、发展、演化和动力学的研究具独特的地质意义。本文从老君山环斑花岗岩地质特征、岩石学、地球化学特征等方面, 对其成因及大地构造意义给予探讨。

1 地质特征

1.1 产出特征

老君山中粗粒环斑石英二长岩主要分布于宝鸡岩体的东部宝盖寺、老君山、高码头一带, 呈岩基产出, 形态为近等轴状 (见图 1)。出露面积达 175 km²。北部与秦岭山前断裂及

收稿日期: 2003- 09- 03

作者简介: 雷泓晏, 男, 1969 年 10 月生, 1992 年毕业于西安地质学院地质系, 工程师, 现为中国地质大学工程硕士在读研究生, 曾发表过论文数篇。

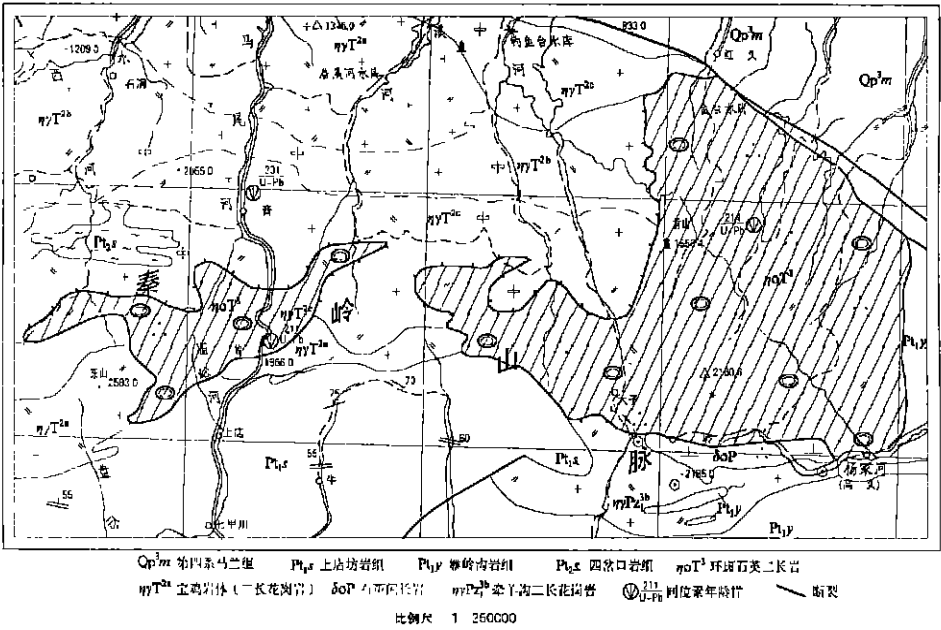


图1 高码头环斑花岗岩分布状况

Fig. 1 Distributions of the Gaomatou rapakivi granite

渭河盆地接触，侵入于秦岭岩群（图2）、宽坪岩群、斜峪关岩群中，与宝鸡岩体呈超动接触关系。岩体与地层侵入关系清楚，界面总体外倾，倾角70~80°。围岩接触变质作用明显，具角岩化、大理岩化，局部具交代蚀变理岩化，局部具交代蚀变现象。岩体边部常见围岩捕虏体，形态不规则，大小不一。其内暗色包体发育（如石英闪长岩、闪长质包体）。

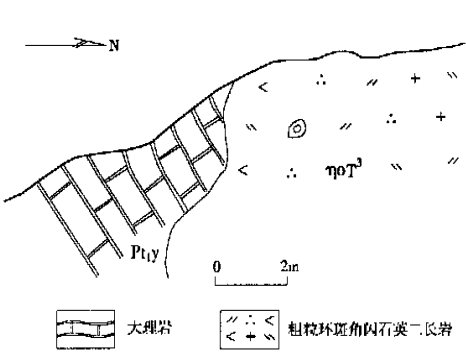


图2 太白高码头老君山岩体与秦岭岩群呈侵入接触关系素描图

Fig. 2 Sketch map showing the intrusive contact relations between the Laojunshan rock masses in Gaomatou of Taibai county and the Qinling Group

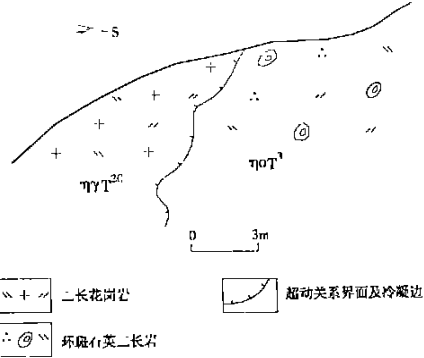


图3 宝太公路秦岭梁(η0T³)与宝鸡ηYT^{2c})呈超动接触关系素描图

Fig. 3 Super active contact between the Qinling ridge (η0T³) along the road from Baoji to Taibai and Baoji (ηYT^{2c})

秦岭梁中细粒环斑石英二长岩分布于宝鸡岩体南部，呈不规则岩株状产出，出露面积 32 km²。近北东—南西向展布。侵入于古元古界秦岭岩群和石炭系草凉驿组；与宝鸡岩体呈超动接触关系（图 3）。围岩具角岩化，岩体具球状风化特征，其内暗色包体发育，主要为闪长质类微粒包体。

1.1 岩石学特征（见表 1）。

岩石呈浅灰色、浅肉红色，似斑状结构，环斑结构，块状构造。岩石由斑晶和基质两部分组成。基质由斜长石、钾长石、石英、角闪石组成。斜长石：灰白色，呈自形一半自形板状，聚片双晶发育，An= 18~ 26；钾长石：肉红色，自形一半自形板状、它形粒状，条纹发育，普遍具卡氏双晶、格子双晶明显；石英：烟灰色，它形粒状，充填于长石粒间；角闪石：灰绿色，半自形柱状。斑晶及环斑主要由钾长石和斜长石构成，从斑晶大小看，老君山单元钾长石粗大，可称之为巨晶，大者 4~ 5 cm，一般 1~ 3 cm，含量 30~ 35 %，局部高达 40~ 50 %；而秦岭梁单元斑晶相对较小，在 0.5~ 2 cm 之间，含量 15~ 20 %。

表 1 岩石学特征表

Tab. 1 Characteristics of the lithology

| 岩体名称 | 岩石类型 | 矿物成分(10 ⁻²) | | | | 斑晶含量 (10 ⁻²) | 结构 | 构造 |
|------|------------|-------------------------|--------|--------|-------|-----------------------------|-------|----|
| | | 斜长石 | 钾长石 | 石英 | 角闪石 | | | |
| 秦岭梁 | 中细粒环斑石英二长岩 | 25~ 30 | 30~ 35 | 10~ 15 | 8~ 10 | 15~ 20 | 中细粒环斑 | 块状 |
| 老君山 | 中粗粒环斑石英二长岩 | 35~ 40 | 25~ 35 | 18~ 20 | 5~ 8 | 30~ 35 | 中粗粒环斑 | 块状 |

1.3 包体特征

环斑花岗岩中发育大量的暗色包体，约占岩体体积的 2% 左右。岩石多呈深灰色，形态多呈浑圆状、椭圆状，次为不规则状，甚至呈迷雾状，大小数厘米—近 1 m，多数在 5~ 30 cm 之间，有时成群出现，分布不均匀。与寄主岩多呈截然关系，少见过渡关系。岩石类型主要为黑云角闪二长岩、黑云角闪花岗闪长岩、黑云角闪石英闪长岩、微粒正长岩等，均具细粒半自形粒状结构，粒径 0.5~ 2 mm，块状构造。其主要成分特征见表 2:

表 2 包体类型及矿物成分特征表 (10⁻²)

Tab. 2 Inclusion types and compositions of minerals (10⁻²)

| 岩石类型 | 角闪石 | 黑云母 | 斜长石 | 钾长石 | 石英 | 钠长石 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 角闪二长岩 | 10~ 30 | 5~ 25 | 35~ 40 | 20~ 25 | < 5 | |
| 花岗闪长岩 | 10~ 15 | 10~ 15 | 30~ 35 | 15~ 20 | 20~ 25 | |
| 石英闪长岩 | 15~ 20 | 5~ 10 | 50~ 55 | 10~ 15 | 5~ 10 | |
| 微粒正长岩 | 10~ 15 | 15~ 20 | 20~ 25 | 30~ 35 | 5~ 10 | 5~ 10 |

同时包体具暗化边特征，并在与寄主岩边界上发育卵球状碱性长石斑晶，其斑晶成分与寄主岩相同，为酸性岩浆与基性岩浆混合作用的产物，是岩浆混合作用的标志性特征之一。

2 环斑特征

2.1 环斑特征

环斑由卵球状肉红色钾长石被灰白色斜长石为壳所包围的一种特殊结构, 具分布不均匀的特征, 其中老君山单元环斑占斑晶总量的 10 % 左右, 而秦岭梁约占 5 %。大小 $0.5 \times 1 \sim 1.5 \times 3$ cm, 形态以浑园状为主, 规则板柱状、不规则状次之 (见图 4)。环 (环带) 宽度不一, 宽者 3~5 mm, 窄者 1~2 mm, 与内核界线清楚、不平整。环斑以单环为主, 双环少见, 多环罕见, 并见钾长石的环带构造特征。

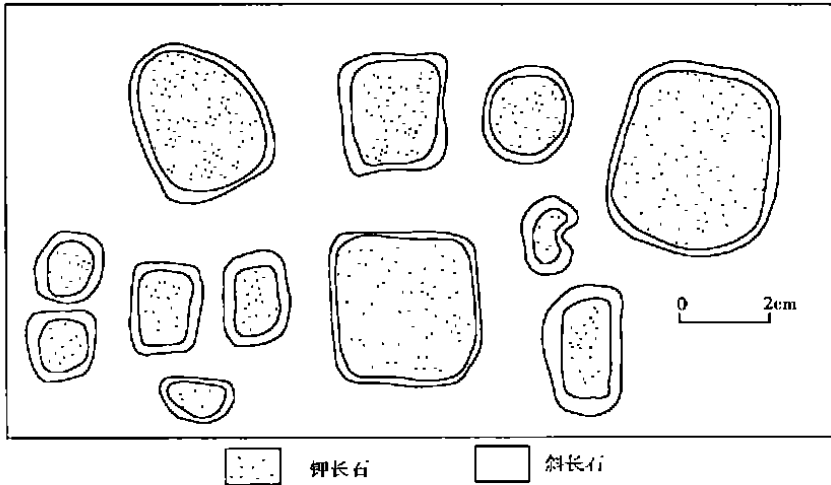


图 4 老君山、秦岭梁钾长石环斑形态素描图

Fig. 4 Sketch showing the pattern of the feldspar rapakivi in Laojunshan and Qinling ridge

2.2 环斑结构的成因

目前对环斑结构的成因主要有三种观点:

其一: 认为环斑是由于岩浆混合作用引起的成分改变和岩浆演化的结果, 其岩体是富钾的岩浆, 钾长石结晶较早, 在其结晶的晚期, 有大量的基性岩浆注入和混合, 使岩浆成分迅速向基性方向转化, 斜长石环绕钾长石“质点”大量地结晶, 形成环斑结构 (严阵, 1985)。这种作用形成的双环、多环结构, 说明基性岩浆的多次注入混合、熔融的多期性。

其二: 认为环斑是混合成因的, 就是当基性岩浆注入到碱性长石和石英结晶的酸性岩浆中时, 碱性长石和石英未能与较基性的岩浆完全反应, 发生蚀蚀到成以卵球状为主的碱性长石斑晶, 较基性的岩浆随着其上快速结晶导致了斜长石的外壳形成 (王晓霞等, 2002)。因此环斑结构与岩浆混合具有密切的关系, 也是岩浆混合成因的标志之一。

其三: 认为流体—熔体对钾长石斑晶的交代作用或斑晶—残余岩浆之间化学反应形成。

本作者: 认同第一种成因观点。

3 岩石化学及地球化学特征

3.1 岩石化学特征

岩石化学成分含量及特征参数见表 3。

从表知：岩石化学成分与中国平均值（黎彤等，1962）相比，其 SiO₂ 含量接近于中国平均值；Na₂O、K₂O 高于中国平均值；Al₂O₃ 低于中国平均值；A/CNK 为 0.85~0.88，δ 为 2.8~2.9，属准铝钙碱性岩石类型；K₂O ≤ Na₂O，ALK < 8，表现为相对贫钾富钠的特点，显示“I”型花岗岩的特征。从 DI 和 SI 值看，老君山较秦岭梁单元 DI 值大，而 SI 值小，反映老君山较秦岭梁单元岩浆分异程度高，而岩石基性程度低的特征。

表 3 岩石化学成分含量及特征参数表

Tab. 3 The lithochemical components and the characteristic parameters

| 岩体 | 岩性 | 样数 | 化学成分含量(10 ⁻²) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|----|---------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------|------|-------|
| | | | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | LOI | Σ |
| 秦岭梁 | 中细粒石英二长岩 | 4 | 64.98 | 0.74 | 14.33 | 1.77 | 2.62 | 0.17 | 2.91 | 3.32 | 3.96 | 3.95 | 0.28 | 0.84 | 99.87 |
| 老君山 | 中粗粒石英二长岩 | 5 | 65.51 | 0.89 | 15.08 | 1.64 | 2.39 | 0.21 | 1.93 | 3.27 | 4.36 | 3.60 | 0.48 | 0.60 | 99.96 |
| 中国石英二长岩 (黎彤 1962) | | | 65.74 | 0.75 | 15.89 | 1.87 | 2.52 | 0.13 | 1.64 | 3.27 | 3.29 | 3.67 | 0.20 | 0.69 | 99.66 |
| 单元/参数 | | | A/CNK | | δ | | AR | | DI | SI | | K ₂ O/Na ₂ O | | ALK | |
| 秦岭梁 | | | 0.85 | | 2.9 | | 2.62 | | 73.66 | 16.91 | | 1.00 | | 7.91 | |
| 老君山 | | | 0.88 | | 2.8 | | 2.53 | | 76.01 | 12.52 | | 0.83 | | 7.96 | |

3.2 微量元素特征

微量元素特征见表 4。

表 4 微量元素特征表

Tab. 4 Microelements

| 岩体 | 样数 | 微量元素含量(10 ⁻⁶) | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----|---------------------------|-----|-----|----|------|----|-----|-----|----|----|-----|----|----|----|
| | | F | Cr | V | Ni | Ba | Ga | Sr | Rb | Nb | Th | Zr | Hf | Ta | Y |
| 秦岭梁 | 3 | 830 | 114 | 69 | 62 | 1221 | 19 | 583 | 114 | 24 | 13 | 225 | 6 | 2 | 21 |
| 老君山 | 4 | 1685 | 98 | 78 | 37 | 916 | 18 | 616 | 102 | 21 | 22 | 220 | 7 | 2 | 27 |
| 维诺格拉多夫(1962) | | 500 | 50 | 100 | 55 | 650 | 20 | 800 | 100 | 20 | 7 | 260 | 1 | | 27 |

微量元素与世界维氏丰度值相比，具有 F、Cr、Ba、Th 元素富集明显，尤其是老君山单元 F 高达 1685×10⁻⁶，高于丰度值三倍之多，富集特征更加突出；Rb、Nb、Ni 元素略富集；而 V、Sr、Zr 元素亏损的特点，表现为壳幔混合型的元素富集特征。

3.3 稀土元素特征

稀土元素特征见表 5。

从上表知：稀土元素总量中等；δEu 分别为 0.76、0.81，表现为铕弱亏损；δCe 分别为 0.82、0.94，显示铈弱负异常；ΣCe/ΣY 分别为 5.29、5.67，(La/Yb)_N 分别为 15.55、16.38；(Ce/Yb)_N 分别为 9.92、12.3，表明高码头超单元轻重稀土分馏程度较高，并且稀土元素球粒陨石标准曲线向右倾斜明显（图 5），属轻稀土富集型。(Ge/Yb)_N 分别为 1.90、

表 5 稀土元素含量及特征参数表

Tab. 5 Rare earth elements and the features

| 岩体 | 样数 | 稀土元素含量(10 ⁻⁶) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|---------------------------|--------|-------|-------|------|------|--------|------|-------|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|--|----------------------|--|
| | | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Y | | | |
| 秦岭梁 | 3 | 43.91 | 72.32 | 8.90 | 24.83 | 4.75 | 1.14 | 4.41 | 0.78 | 3.30 | 0.65 | 1.79 | 0.25 | 1.86 | 0.31 | 16.86 | | | |
| 老君山 | 5 | 59.43 | 115.24 | 13.05 | 43.5 | 7.18 | 1.82 | 6.38 | 0.89 | 4.56 | 0.90 | 2.48 | 0.34 | 2.39 | 0.35 | 24.0 | | | |
| 岩体 | 样数 | 特征参数(10 ⁻⁶) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ΣREE | | δEu | | δCe | | ΣCe/ΣY | | Eu/Sm | | (La/Yb) _N | | (Gd/Yb) _N | | (Ce/Yb) _N | | (La/Sm) _N | |
| 秦岭梁 | 3 | 189.66 | | 0.76 | | 0.82 | | 5.29 | | 0.24 | | 15.55 | | 1.90 | | 9.92 | | 5.63 | |
| 老君山 | 5 | 282.61 | | 0.81 | | 0.94 | | 5.67 | | 0.25 | | 16.38 | | 2.14 | | 12.3 | | 5.04 | |

2.14, 比值较小, 说明重稀土分馏程度较高。总体显示为壳源稀土型特征。按王中刚 δEu 划分分类标准, 属第一类, 即 $\delta\text{Eu}>0.7$, 反映岩浆源于地幔及下地壳物质部分熔融而成。

4 时代

秦岭梁单元侵入于石炭系草凉驿组中, 其侵位时限应晚于石炭纪。前人在同位素年龄方面获得了大量的年龄数据, 锆石 U-Pb 法测定为 212~217 Ma (卢欣祥, 1999); $^{39}\text{Ar}\sim^{40}\text{Ar}$ 为 213 Ma (张宗清, 1999); 最近台湾大学同位素实验室获得高精度的 $^{39}\text{Ar}\sim^{40}\text{Ar}$ 年龄 (王非), 秦岭梁角闪石的坪年龄为 207 Ma, 老君山角闪石的坪年龄为 189.86 Ma。从时代数据看, 基本上属印支期末, 因此侵位时代置于三叠纪 (T)。

5 成因及构造环境分析

在 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 岩石成因类型图解中, 二者均投在 I 型区 (图 6)。

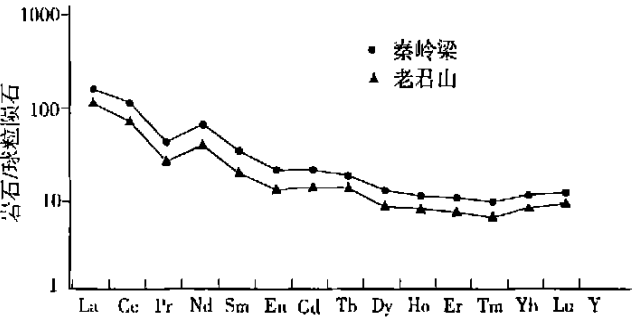


图 5 稀土 REE 标准化配分模式
Fig. 5 Standardized distributional model of rare earth REE

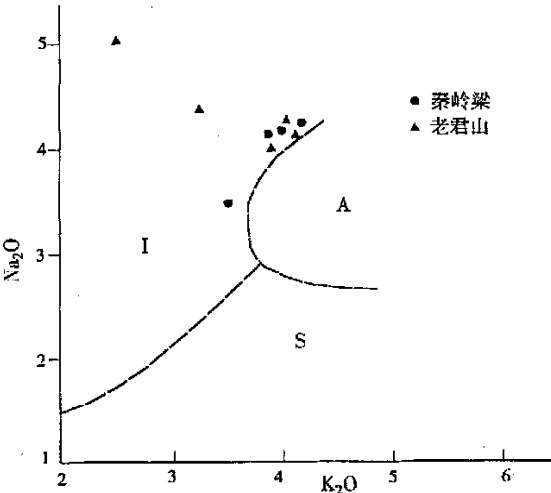


图 6 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 图解
Fig. 6 Diagram of $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$

在 $\delta\text{Eu}-(\text{La}/\text{Yb})_N$ 物质来源图解中, 二者均投在壳幔混合区 (图 7)。

在岩石化学上, A/CNK 老君山、秦岭梁分别为 0.88、0.85, 为准铝钙碱性岩石系列。在微量和稀土元素特征方面, 二者均具有壳幔混合型的特征, 结合包体特征, 分析认为, 属岩浆混合 (H) 成因, 主要来源于幔源基性岩浆参与下, 较深地壳物质 (主要为火成源岩) 局部熔融而成。

世界奥长环斑花岗岩无例外产在地台区克拉通及其边缘的深断裂带中, 都是非造山运动的产物, 与地壳的伸展时期断裂发育有关。而秦岭梁、老君山环斑二长岩则产于造山带中, 在阳离子 R_1-R_2 图解中 (图 8), 投入碰撞后隆起型花岗岩; 在 $Y+Nb-Rb$ 和 $Y-Nb$ 图解中 (图 9), 落入到火山弧—板内环境中; 按 Barin 的构造环境分类, 属富钾及钾长石斑状钙碱性花岗岩类 (KCG), 为构造体制转换的产物。在 Maniar 和 piccoli 的五组图解中, 二者多数样品落入造山带花岗岩类的后造山花岗岩类 (POG)。综合

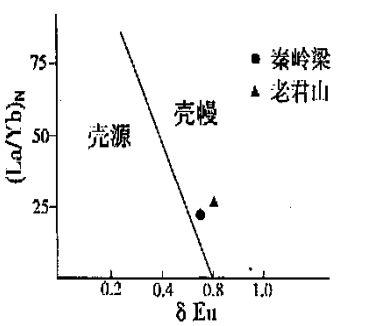


图 7 $\delta\text{Eu}-(\text{La}/\text{Yb})_N$ 相关图
Fig. 7 Correlation diagram of $\delta\text{Eu}-(\text{La}/\text{Yb})_N$

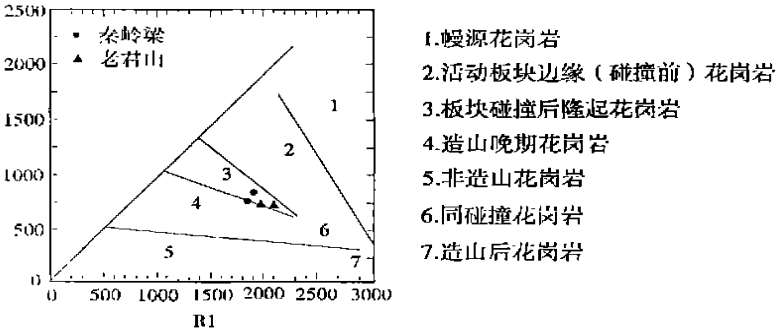


图 8 R_1-R_2 图解
Fig. 8 Diagram of R_1-R_2

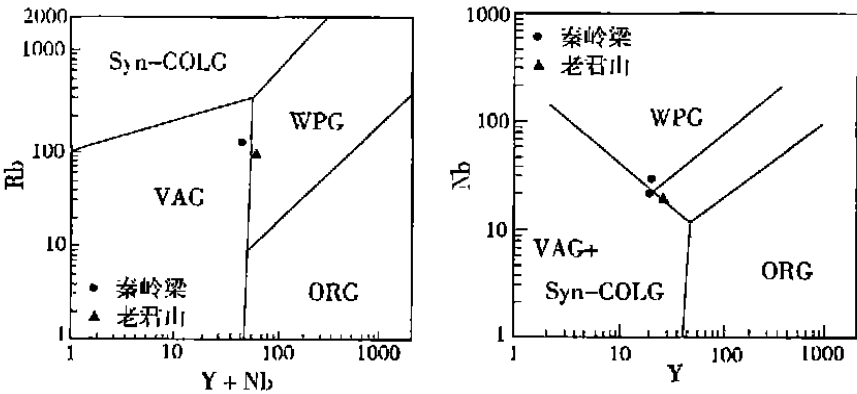


图 9 $Y+Nb-Rb$ 和 $Y-Nb$ 图解
Fig. 9 Diagram of $Y+Nb-Rb$ and $Y-Nb$
Syn- COLG 同碰撞花岗岩; WPG 板内花岗岩; VAG 火山弧花岗岩; ORC 洋脊花岗岩

分析认为,秦岭梁、老君山属造山后伸展的构造环境。

6 地质社会意义

秦岭造山带是中国内陆著名的复合型大陆造山带,构造位置十分特殊,老君山、秦岭梁环斑花岗岩是一种特殊的岩石类型。原认为产于非造山稳定环境的环斑结构出现在造山带中,对其进行成因研究具有深远的地质意义。秦岭造山带在中生代以来的发展和演化记录了造山带构造作用的相互转换和叠加。由于华南和华北两大板块的对接碰撞作用,秦岭地区广泛发生了造山带下部岩石圈的拆沉作用及基性岩浆的底侵作用,使地壳发生熔融而生成环斑花岗岩岩浆。表明老君山、秦岭梁环斑花岗岩具有明显的岩浆混合特征。

在中生代秦岭地区可能曾发生过壳幔的相互作用,有幔源物质加入到地壳中,具岩浆混合作用成因。这为研究造山环境中环斑结构成因探讨提供了新的实例,也为研究秦岭中生代地壳的增生和演化提供了新的依据。

此外,秦岭造山带又是中国生态和自然环境的分界线,生态环境效应十分重要。深化并加强对该地区地质的研究无疑可以认为是该造山带内环境地质、灾害地质和生态保护的研究提供科学的参考依据,具有积极的经济及社会意义。

致谢:本文资料主要来源于 1:25 万宝鸡市幅区调工作,是项目全体同仁的共同劳动成果,同时得到了陈家义教授级高工的精心指导,在此表示感谢。

[参 考 文 献]

- [1] 严 阵. 陕西省花岗岩 [M]. 西安交通大学出版社, 1985
- [2] 尚瑞钧, 严阵. 秦巴花岗岩 [M]. 中国地质大学出版社, 1989
- [3] 卢欣祥. 大地构造图说明书 [R]. 1999
- [4] 周询若. 花岗岩混合作用地学前缘 [M]. 北京: 中国地质大学, 1994
- [5] 王 涛. 花岗岩研究与大陆动力学地学前缘 [M]. 北京: 中国地质大学, 2000
- [6] 肖庆辉, 等. 花岗岩研究与思维方法 [M]. 北京: 中国地质出版社, 2002
- [7] 王晓霞, 等. 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, 2002 (8~9)
- [8] 王 涛. 花岗岩研究与大陆动力学 [J]. 地学前缘, 2000 (7)

(下转第 61 页)

ed that determination of the group age has a great significance for researches of the regional tectonics. The geological characteristics, the age and the geological significance of the rock group are discussed in this paper from the aspects of lithostratigraphy, lithology, geochemistry and isotopic ages.

Key Words : the Luohanci rock group; geological feature; age and the significance

(上接第 56 页)

THE GENESIS OF THE LAOJUNSHAN RAPAKIVI GRANITE IN THE NORTH QINLING AND THE TECTONIC SIGNIFICANCE

LEI Hong-yan¹, ZHANG Gu-wu², ZHAO Xuan-she², CHEN Jun-lu^{1,2}

(1. China University of Geoscience (Wuhan), College of Resources 430074; 2. Regional geological Survey Institute of Shaanxi Geological Survey, Xianyang 712000)

Abstract: The Laojunshan rapakivi granite occurs in the north Qinling orogenic zone, which is a part of the north Qinlin rapakivi granite zone from Shahewan, Zhuchanggounao to the Qinling ridge. Combining with the regional tectonic environment, researches on the information about geology, lithology and geochemistry have indicated that the Laojunshan rapakivi granite is of the genetic type with mingling of magma, which was the product from an extensional environment after orogeny, indicating the end of the plate structural system formed by subducting and collision in the Qinling area during the end of Indo-Sinian epoch, and then turning into the evolution period of inner-plate structures.

Key Words : the north Qinling orogenic zone; Laojunshan; rapakivi structure; granite; extension environment