

# 小兴安岭东南端晚石炭世大岭环斑花岗岩成因

韩振哲<sup>1,2,3</sup> 赵海玲<sup>1,2</sup> 郎海涛<sup>4</sup> 王先德<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161005; 4. 安徽省勘查技术院, 安徽 蚌埠 233000)

**提 要:** 在小兴安岭东南端的鹤岗—伊春市交界处大岭一带的晚石炭世弱片麻状中粒似斑状二长花岗岩中发育环斑结构长石, 多以呈自形宽板状或宽板柱状的碱性长石内核和斜长石外薄壳组成, 少量为不发育斜长石外壳的卵球状、球状, 大小为 1.5~3.5 cm, 其特征与典型的环斑结构在岩相学上是相同的。另外岩体中普遍发育暗色微细粒闪长质包体, 与环斑钾长石在时空上紧密相伴; 包体具典型的岩浆结构及针状磷灰石, 含寄主岩的钾长石、石英巨晶; 包体形态多呈浑圆的外形, 显示出明显的塑性流变特点, 与寄主岩常呈明显的接触关系, 有时呈过渡状、雾迷状; 以上充分说明了包体为岩浆混合成因(MME)。通过对岩体地质、环斑结构钾长石似斑晶、暗色微细粒闪长质包体等特征及岩体的岩石化学、地球化学研究表明大岭环斑花岗岩岩体为岩浆混合成因, 产于造山环境, 其形成时代、产出构造背景均不同于典型环斑花岗岩。

**关 键 词:** 环斑结构钾长石似斑晶; MME 包体; 岩浆混合成因; 小兴安岭东南端

**中图分类号:** P588.12<sup>+</sup>1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000—3657(2008)03—0399—11

近年来中国地质学家在北秦岭等地相继发现不同于元古宙非造山环斑花岗岩的造山带型环斑花岗岩<sup>[1-7]</sup>。这种环斑花岗岩通常在稳定环境下出现的为何在造山带中出现? 近年来对环斑结构的成因解释也存在一些争议, 大家试图寻找与典型环斑花岗岩的差别在哪<sup>[2-7]</sup>? 随着国内外地学界对花岗岩研究水平的不断提高, 花岗岩混合成因及其揭示的构造环境的研究也逐步得到重视, 越来越多的地质学、岩石学、地球化学等证据表明, 区别于花岗岩同源岩浆演化理论的开放系统下的岩浆混合作用, 有时在岩浆作用过程中起着不可忽视的作用, 也是火成岩的一种重要成岩作用<sup>[8]</sup>。

研究区位于兴蒙造山带东端, 属于华力西晚期伊春—延寿南北向花岗岩带北端, 2003—2005 年期间笔者等在黑龙江省小兴安岭东南端从事 1:25 万鹤岗市

幅区域地质调查时, 在鹤岗—伊春分界的大岭一带发现了晚石炭世弱片麻状环斑结构二长花岗岩, 同时岩体中发育微细粒闪长质包体。前人对其花岗岩已做过大量的岩石学、岩石化学等方面的研究, 但对岩体成因及岩体中存在的暗色微细粒包体等研究不够详细, 认为包体是析离体, 也认为包体与寄主岩是同源的、是由主岩浆自身演化的产物, 属不混熔包体<sup>①</sup>。笔者通过系统研究大岭岩体中发育的钾长石似斑晶的环斑结构、微细粒闪长质包体等岩体的宏观地质特征入手, 结合地球化学特征及对比, 认为岩体具显著的壳幔岩浆混合的岩相学特征, 是由岩浆混合作用形成, 进而肯定了兴蒙造山带东端存在晚石炭世岩浆混合成因的环斑结构花岗岩, 并根据其岩石成因及其揭示的地质构造背景、动力学意义, 来探讨该区壳幔相互作用、大陆地壳垂向增生提供了又一证据。

收稿日期: 2007-10-19; 改回日期: 2008-01-04

基金项目: 中国地质调查局基础地质调查项目(200313000035)和国家自然科学基金项目(40672088)资助。

作者简介: 韩振哲, 男, 1965 年生, 博士生, 高级工程师, 从事区域地质调查及研究工作; E-mail: hzhenz65@163.com。

① 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 1:5 万高峰林场等四幅区域地质调查报告, 2000。

# 1 岩体地质与岩相学特征

黑龙江省小兴安岭东南端广泛发育晚石炭世花岗岩,大体上呈近SN向展布,鹤岗—伊春市交界处的大岭岩体属其中之一,岩体侵位于著名的近SN向牡丹江深大断裂带的西侧约几十千米处,呈SN向出露于大岭—馒头山一带,面积约百余平方千米(图1)。岩体形态因受中生代岩体侵入、吞噬作用影响呈

不规则状,侵入晚奥陶世中细粒黑云母二长花岗岩,并被晚三叠世二长—正长花岗岩(单颗粒锆石U—Pb年龄为231Ma)侵入。岩体单颗粒锆石U—Pb年龄为317.7~325Ma<sup>①</sup>,形成于石炭纪晚期古亚洲洋构造域时期松嫩地块与佳木斯地块碰撞后期构造环境,表现为围绕佳木斯地块横向增生、垂向增厚的特征。

岩体岩石类型单一,岩性为弱片麻状中粒似斑状黑云母二长花岗岩,具中粒似斑状或环斑结构、弱

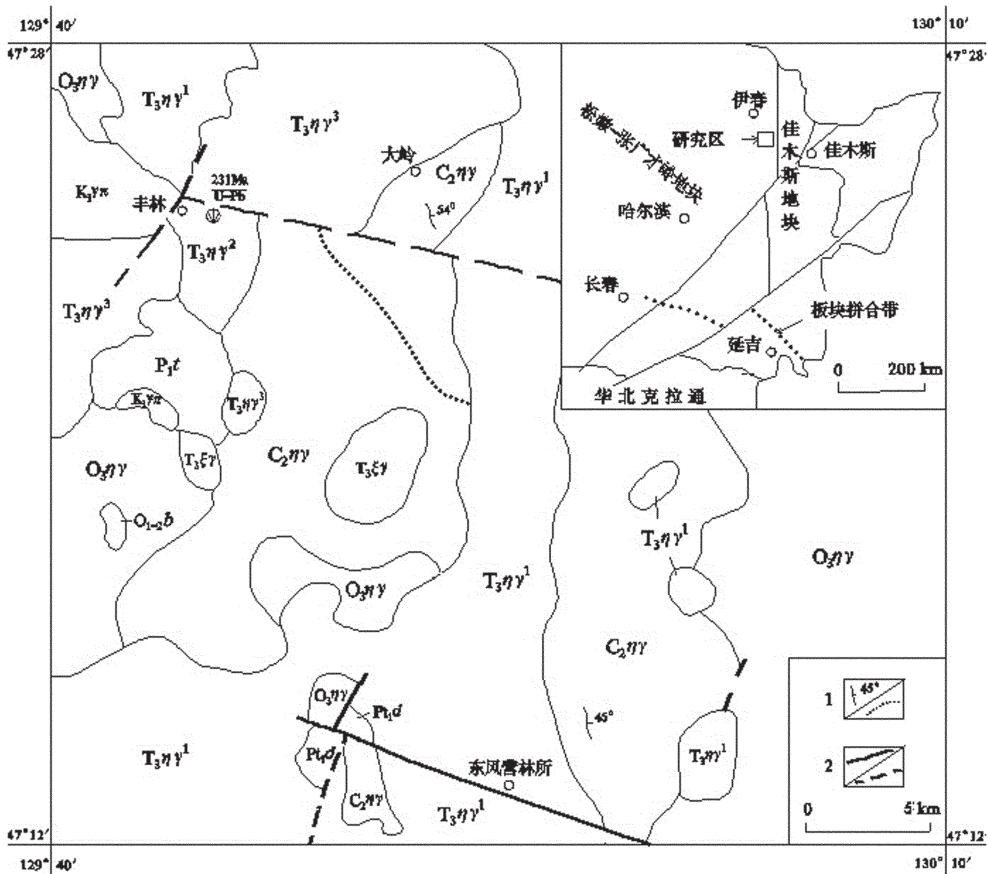


图1 伊春—鹤岗市交界大岭一带地质略图

$P_{1t}$ —下二叠统土门岭组微晶片岩、千枚岩夹变砂岩;  $O_{1-2b}$ —下—中奥陶统宝泉组变酸性火山岩;  $P_{t,d}$ —古元古界东风山岩群斜长角闪片麻岩、石英片岩、大理岩等;  $K_{1\gamma\pi}$ —早白垩世花岗岩斑岩;  $T_{3\xi\gamma}$ —晚三叠世细中粒正长花岗岩;  $T_{3\eta\gamma^3}$ —晚三叠世中细粒粗斑状二长花岗岩;  $T_{3\eta\gamma^2}$ —晚三叠世细中粒巨斑状二长花岗岩;  $T_{3\eta\gamma^1}$ —晚三叠世中粗粒似斑状二长花岗岩;  $C_{2\eta\gamma}$ —晚石炭世中粒似斑状(环斑)二长花岗岩;  $O_{3\eta\gamma}$ —晚奥陶世中细粒含粗斑晶二长花岗岩;  
1—片麻理/岩相界线; 2—实测及推测断层

Fig. 1 Geological sketch map of the Daling area between Hegang and Yichun cities

$P_{1t}$ —Microcrystalline schist and phyllite with metasandstone of the Lower Permian Tumenling Formation;  $O_{1-2b}$ —Meta-acid volcanic rocks of the Middle Ordovician Baoquan Formation;  $P_{t,d}$ —Plagioclase-hornblende gneiss, quartz schist and marble of the Paleoproterozoic Dongfengshan Group-complex;  $K_{1\gamma\pi}$ —Early Cretaceous Granite-porphyrty;  $T_{3\xi\gamma}$ —Late Triassic fine- and medium-grained syenogranite of;  $T_{3\eta\gamma^3}$ —Late Triassic medium- and fine-grained magnophyric monzogranite;  $T_{3\eta\gamma^2}$ —Late Triassic fine- and medium-grained megaphyric monzogranite;  $T_{3\eta\gamma^1}$ —Late Triassic medium- and coarse-grained porphyritic monzogranite;  $C_{2\eta\gamma}$ —Late Carboniferous medium-grained porphyritic (rapakivi) monzogranite;  $O_{3\eta\gamma}$ —Late Ordovician medium- and fine-grained magnophyric monzogranite;  
1—Boundary of gneissosity/lithofacies; 2—Measured and inferred faults

①黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 1:25万嘉荫县幅区域地质调查报告, 2005.

片麻状构造;似斑晶以条纹长石、微斜条纹长石为主,少为微斜长石,多呈半自形宽板状,少部分为圆形、半自形环斑结构钾长石,大小 15~35 mm,占 2%~5%;基质为碱性长石(为条纹长石、微斜条纹长石和微斜长石,常包含斜长石小晶体呈交代净边结构和交代蠕虫结构,粒径 2~7 mm,含量为 20%~30%)、斜长石(半自形宽板状,聚片双晶纹细密或宽窄不一,具弱环带结构, $Np' \wedge (010)$ 为 13~21°,An 为 27~38,为中—更长石,粒径 0.5~7 mm,以 1~4 mm 为主,含量为 25%~45%)和石英(他形粒状,粒径 0.5~8 mm,波状消光,含量为 20%~35%)及少量角闪石(粒径 0.5~2 mm,占 2%~5%,为钙质角闪石类低铁普通角闪石)、黑云母(粒径 0.1~2 mm,含量为 5%~10%,为富铁质黑云母)等组成。岩体副矿物以磁铁矿、磷灰石为主,少量锆石、榍石、褐帘石等。

岩体中发育由暗色矿物定向构成的流线构造,流线由岩体边部向中心逐渐变弱或无呈块状构造。流线走向多与岩体边界近一致,个别产状不协调。局部暗色微细粒闪长质包体、钾长石似斑晶也呈定向,产状为  $45^\circ \angle 86^\circ$ 、 $55^\circ \angle 80^\circ$ ,倾角较陡 50~85°。岩石虽发育流线构造,但晶内无变形或微弱,其花岗结构仍然清楚,岩浆结晶成因的具卡钠双晶的长石普遍存在;斜长石晶体发育完整,晶形良好;碱性长石和斜长石均发育交代蠕虫结构。上述特征表明流线构造是由岩浆流动所致。另外,岩体中花岗伟晶岩、花岗细晶岩脉较为发育,两者多为相伴,局部成群出现。脉宽几十厘米,延伸约几十米,多呈交叉状或平行状产出,与围岩界面多呈平直状。

## 2 环斑结构特征

岩体中环斑长石多呈自形晶宽板状或宽板柱状,部分为卵球状、球状,在岩体东北部较为集中,出露面积约十几平方千米,在岩体的南部渐变消失。环斑长石总体上较为新鲜干净,大小不一,为 1.5~3.5 cm,其中内核的碱性长石为微斜条纹长石,呈肉红色,具微格子状双晶,条纹结构,均为单晶组成。外壳斜长石形态与钾长石内核形态一致,外壳斜长石环绕钾长石内核生长,呈白色或浅灰白色(图 2-1),镜下具细密的聚片双晶,An 为 25 左右,为更长石,与基质中斜长石的 An 相比略偏低。外壳宽度较为稳定,1~2 mm,内、外核长石间的界线较为清楚,大多较为平直状,部分呈弯曲状,显示了其与基质中的矿

物同时结晶的特点,说明它们是岩浆作用形成。斜长石外壳仅见一层,是由一个斜长石颗粒或几个不同方向生长的细小斜长石颗粒集合体组成(图 2-2)。大多环斑长石的内、外核均具有微小较为自形的黑云母、斜长石、石英等包裹体(图 2-3),这也是环斑结构的特征,不同于基质中的他形粒状、较大颗粒状石英,可能说明了存在两个世代的石英。有些碱性长石巨晶不发育斜长石外壳,但其形态为卵球状、圆状(图 2-4),这也是环斑结构的特征,并与环斑长石相伴出露,且部分碱性长石巨斑晶周围被黑云母等暗色矿物围绕呈定向排列,像眼球状。在野外宏观上因其环斑长石的形态、结构上的特殊性,与岩体中的大量出现的无环斑结构的钾长石似斑晶之间易于区分。岩体中球状、环斑结构钾长石巨晶含量较少,总体上占岩体的 1%~2%,局部较为集中,达 5%~8%,占岩体中钾长石似斑晶的 5%左右。岩体中环斑长石与微细粒闪长质包体密切伴生(图 2-1),并呈正消长关系,包体越多而集中的部位,环斑长石含量也高。

## 3 微细粒闪长质包体

岩体中普遍发育暗色微细粒包体,成分为微细粒或微细粒斑状含角闪石黑云母闪长岩,呈灰黑、深灰色,比寄主岩石颜色深,具典型的岩浆结构、淬冷结构,以斜长石(自形—半自形针柱状,0.2~0.5 mm,60%~65%)、角闪石(多由辉石交代成因,自形针柱状,为钙质角闪石类低铁普通角闪石和钙镁闪石,0.2~0.3 mm,30%~40%)为主,少量铁质黑云母;副矿物以锆石、磁铁矿和磷灰石(自形长针柱状磷灰石)等(图 2-5);包体多呈长椭圆形、卵球状、水滴状等,部分呈拉长状,显示出明显的塑性流变和定向性的特点(图 2-6);多数包体呈零星分布,少数成群集中出现,总体上仅占岩体体积的 1%~2%。包体大小多在 1~15 cm,部分为 20~50 cm。岩体的局部见两条宽 1~2.5 m 的包体群(脉),与寄主岩呈较为明显的平直界面,具有同深成作用形成的岩墙破碎而成的特征(图 2-7),而远离同深成岩墙时,闪长质包体则零星弥散于花岗岩岩体中;包体与寄主岩之间常呈较为截然的接触关系,其界面多呈弯曲状、小港湾状或较为平直状,有时见钾长石斑晶横跨于两者界面(图 2-1);包体中出现不平衡矿物组合,如寄主岩钾长石捕虏晶的普遍发育且被熔蚀呈半自形—圆形,晶体大小为 1~1.5 cm,有时可见其边缘被黑云母等



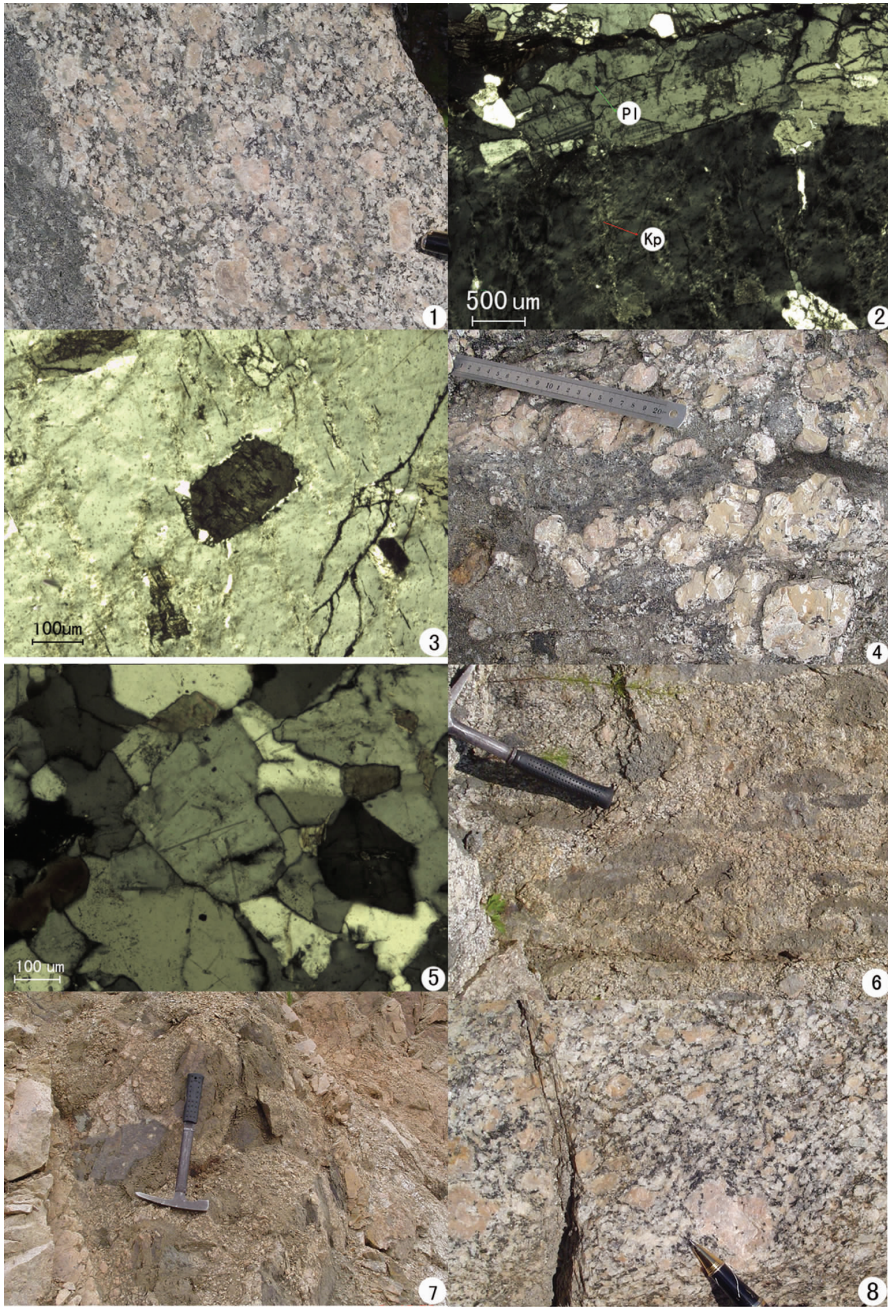


图 2 环斑结构长石及包体特征

1—不规则或半圆形环斑长石的斜长石外壳环绕钾长石内核形态,右下方见闪长质包体,在包体中见寄主岩的钾长石捕获晶,且见有横跨界面的钾长石斑晶,包体中有被熔蚀呈半圆形的寄主岩钾长石似斑晶;2—环斑长石的斜长石(Pl)外壳环绕钾长石(Kp)内核(单偏光);3—环斑钾长石内核中的斜长石、石英等包裹体(单偏光);4—圆球状钾长石巨晶,部分被细小黑云母等暗色矿物围绕;5—微细粒闪长质包体中的针状磷灰石(单偏光);6—水滴状包体的定向排列;7—宽约 1.5m 的包体群,为同深成岩墙破碎而成;8—岩体局部的暗色矿物不均匀分布现象,右上方暗色矿物更富集,岩性为花岗闪长质,左下方暗色矿物较少,呈花岗质

Fig. 2 Characters of rapakivi-textured feldspars and enclaves

1-K-feldspar core is surrounded by plagioclase mantle of tuberoso or hipidiomorphous rapakivi feldspars, dioritic enclaves can be seen in the lower right, and K-feldspar xenocrysts from host rocks can be seen in the enclaves and so are K-feldspar phenocrysts which stretch across the boundary. There are semicircular K-feldspar phenocrysts which are corroded from host rocks in the enclaves; 2-Plagioclase mantle surrounds the K-feldspar core of rapakivi feldspar (plane light); 3-Enclaves such as plagioclase and quartz of rapakivi K-feldspar core (plane light); 4-Dark-colored minerals such as biotite surround globoid K-feldspar megacrysts; 5-Acicular apatites in the microgranular dioritic enclaves (plane light);

6-Oriented arrangement of water droplet-shaped enclaves; 7-Enclave swarm about 1.5 m in width formed by break of plutonic dikes; 8-Phenomenon of local uneven distribution of dark-colored minerals in the pluton, and dark-colored minerals in the upper right are richer and the rock is granodioritic, while dark-colored minerals in the upper left are scarce and the rock is granitic

暗色矿物围绕呈“眼球状”(图 2-1);以上特征充分说明包体是镁铁质岩浆注入长英质岩浆并发生混合、流动搅拌后分散在寄主岩浆中的细小基性岩浆团固结而成,为岩浆混合成因的 MME 型包体<sup>[9-15]</sup>。包体的地球化学特征及成因已在另文中详细叙述<sup>[6]</sup>。

大岭岩体局部地段见由于闪长质包体或基性岩浆在半塑性状态下注入到酸性岩浆中时,由于较基性的包体被打碎、搅拌时造成的局部矿物成分不均匀现象,如暗色矿物黑云母、角闪石等近包体附近较为集中时,岩石成分则显示出花岗闪长岩(质),远离包体时为花岗岩(质)的现象(图版 2-8),说明了寄主花岗岩的基质是由部分“被打碎、搅拌了的包体”参与形成(邓晋福面告,2005),不仅是花岗质岩浆熔融结晶的产物,具有基性与酸性岩浆混合形成的特征。

#### 4 岩体岩石化学、地球化学特征

岩体的 SiO<sub>2</sub> 含量为 62.00%~69.42%, 平均为 65.47%(表 1), 在硅碱图 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 中落入靠近亚碱性岩区,在 AFM 三角图中落入钙碱性岩区<sup>①</sup>。岩石的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 15.12%~16.28%,MgO 含量为 0.81%~1.73%,K/Na 比值为 0.85~1.02, 总体上 Na>K,NK 含量为 7.20%~8.35%,FeO/FeO+MgO 比值为 0.73~0.82。岩石显示出略富碱,钠略富于钾、贫镁和相对富铁的特点。里特曼指数(σ)2.30~3.03,为钙

碱性岩石。铝饱和指数(ASI)A/CNK≈1,为准铝质岩石。

从岩体的矿物化学成分(表 2)中可知,钾长石(Or<sub>96-97</sub>Ab<sub>2-4</sub>)的 Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O<1,显示出钾大于钠、高钾、低铁的特征,而斜长石(An<sub>14-17</sub>Ab<sub>82-85</sub>Or<sub>1</sub>)的 Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O>1,与钾长石正相反,显示出钠明显高于钾、高钠、低铁的特征。角闪石的 Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O>1,Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)比值为 0.15,显示出相对富铁贫镁的特征;黑云母为富铁质黑云母,Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O<1,显示出相对富钾低钠、富铁的特征。从岩体中的包体矿物成分(表 2)中可知,与寄主岩相比,斜长石表现出略贫硅、铝,富钙、钾为特征,角闪石 FeO/FeO+MgO 比值为 0.70,K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O,显示出富铁、铝和低碱的特征,黑云母 Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O<1,FeO/FeO+MgO 比值为 0.67~0.89,显示出富铁的特征。

岩体稀土总量较高,∑REE 为 211.31×10<sup>-6</sup>~534.51×10<sup>-6</sup>(平均 253.38×10<sup>-6</sup>),LREE/HREE 比值为 3.64~4.88,La/Yb 比值为 13.75,显示轻稀土富集型;δEu 为 0.41~0.50,为铈中等负异常型。包体的稀土元素总量∑REE 为 155.79×10<sup>-6</sup>~302.69×10<sup>-6</sup>(平均 247.93×10<sup>-6</sup>),LREE 含量为 130.06×10<sup>-6</sup>~229.11×10<sup>-6</sup>(平均 187.01×10<sup>-6</sup>),HREE 含量为 25.73×10<sup>-6</sup>~83.44×10<sup>-6</sup>(平均为 60.92×10<sup>-6</sup>),∑LREE/∑HREE 比值为 2.42~5.06(平均 3.53),

表 1 大岭岩体岩石化学成分(%)  
Table 1 Petrochemical composition (%) of the Daling pluton

序号	样号	岩性	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOS	F/FM	K/Na
1	P <sub>2</sub> Gs101		66.26	0.50	16.28	1.25	3.74	0.08	0.81	2.48	4.47	3.88	0.15	0.38	0.82	0.87
2	P <sub>2</sub> Gs106	弱片麻状	65.68	0.35	15.93	1.89	3.38	0.08	0.83	2.28	4.48	3.81	0.15	0.96	0.80	0.85
3	P <sub>2</sub> Gs121	中粒环斑	69.42	0.40	14.51	1.14	2.88	0.09	1.00	2.59	4.00	3.80	0.15	0.24	0.74	0.95
4	P <sub>2</sub> Gs123	二长花岗岩	64.00	0.60	15.48	1.78	4.70	0.13	1.70	3.56	3.77	3.60	0.25	0.40	0.73	0.95
5	P <sub>2</sub> Gs0173		62.00	1.00	15.12	1.55	5.29	0.14	1.73	4.40	3.56	3.64	0.42	0.88	0.75	1.02
6	P <sub>2</sub> Gs108	微细粒	53.34	1.10	16.27	3.56	7.12	0.22	3.81	6.30	4.59	1.80	0.20	1.62	0.26	0.26
7	P <sub>2</sub> Gs122-1	闪长质包体	59.43	0.88	17.48	1.65	4.84	0.13	2.29	4.62	4.40	3.23	0.25	0.55	0.48	0.48
8	秦岭老君山、秦岭梁岩体		65.25	0.82	14.71	1.72	2.51	0.19	2.42	3.30	4.16	3.80	0.38		0.51	0.91
9	秦岭沙河湾岩体		66.17	0.67	14.78	1.18	2.44	0.11	2.14	2.91	4.22	4.28	0.29		0.53	1.01
10	华北地台密云沙厂		68.88	0.48	14.61	1.39	1.84	0.05	0.39	1.62	3.19	5.76	0.11		0.83	1.81
11	芬兰 Ahvenisto 地块		73.55	0.22	13.04	0.87	1.78	0.03	0.23	1.12	2.31	6.21	0.07		0.89	2.69

注:样品由黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院化验室测试,F/FM=FeO/(FeO+MgO)。

①黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 1:25 万嘉荫县幅区域地质调查报告, 2005.



表 2 大岭岩体单矿物电子探针分析

Table 2 Microprobe analysis of mineral separates from the Daling pluton

样号	岩性	矿物	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total	Or	Ab	An
P <sub>2</sub> DT101	环斑	钾长石	66.26	0.00	19.95	0.10	0.00	0.00	0.00	0.32	13.33	0.00	99.95	96.48	3.52	0.00
		斜长石	61.56	0.13	23.88	0.09	0.02	0.00	3.92	10.3	0.08	0.00	99.97	0.42	82.28	17.30
P <sub>2</sub> DT121	二长花岗岩	斜长石	62.70	0.08	23.52	0.00	0.06	0.00	3.00	10.41	0.19	0.00	99.97	1.03	85.38	13.60
		钾长石	66.96	0.00	19.91	0.19	0.04	0.00	0.00	0.15	12.7	0.00	99.96	98.24	1.76	0.00
P <sub>2</sub> DT101		角闪石	42.99	1.50	9.49	24.90	0.59	5.78	9.48	1.93	0.82	0.19	97.67	(F/FM: 0.81)		
		黑云母	35.81	3.77	14.77	25.80	0.38	7.10	0.00	0.03	7.30	0.00	94.97	(F/FM: 0.78)		
P <sub>2</sub> DT108	微细粒闪长质包体	斜长石	62.41	0.00	23.49	0.10	0.07	0.00	3.73	9.96	0.21	0.00	99.98	1.14	81.91	16.95
		角闪石	41.43	0.98	9.58	22.47	0.60	9.77	10.38	1.54	0.80	0.00	97.43	(F/FM: 0.70)		
		黑云母	37.55	2.47	14.50	22.15	0.17	10.69	0.00	0.04	7.41	0.00	94.99	(F/FM: 0.67)		
P <sub>2</sub> DT122-1		斜长石	61.33	0.00	24.71	0.00	0.13	0.00	4.24	9.41	0.16	0.00	99.99	0.89	79.35	19.76
		角闪石	45.99	1.17	9.23	20.61	0.50	8.76	10.10	0.52	0.84	0.06	97.78	(F/FM: 0.70)		
秦岭沙河湾环斑花岗岩		黑云母	39.79	3.91	16.47	23.50	0.33	2.87	0.00	0.00	8.08	0.00	94.95	(F/FM: 0.89)		
		黑云母	36.78	2.84	13.44	17.68	0.27	14.53	1.05	0.24	7.44	0.00	94.27	(F/FM: 0.34)		
		黑云母	37.01	3.95	12.47	17.29	0.95	12.95	0.06	0.00	9.50	0.00	94.18	(F/FM: 0.83)		
		钾长石	64.85	0.20	18.16	0.05	0.06	0.00	0.14	2.01	13.69	0.00	99.16	1.2	18.4	80.9
华北地台北京密云沙厂		斜长石	63.10	0.02	23.01	0.06	0.02	0.00	4.57	8.56	0.26	0.04	99.64	25.6	76.2	2.1
		角闪石	40.39	2.28	8.36	24.06	0.56	3.85	9.85	1.73	1.44	0.01	92.53	(F/FM: 0.86)		
样号	岩性	矿物系列分类命名		地质温度计		含镁系数等										
		类型	矿物名称	T/°C	Mf											
P <sub>2</sub> DT121	环斑二长花岗岩	钙质角闪石类	低铁—普通角闪石	754.25	0.32											
P <sub>2</sub> DT108	微细粒闪长质包体	钙质角闪石类	钙镁闪石	678.69	0.59											
P <sub>2</sub> DT122-1		钙质角闪石类	低铁—普通角闪石	702.49	0.49											

注:样品由吉林大学测试科学实验中心分析,氧化物含量均为重量百分比, F/FM = FeO/FeO+MgO。

La/Yb 比值为 14.53,为轻重稀土分馏明显,  $\delta$  Eu 为 0.44~0.75(平均 0.59),为中等负异常型(表 3)。包体与寄主岩石的稀土配分模式曲线形态基本上相一致,呈左高右低的不对称右倾“V”字型,尾部稍翘起,显示轻稀土富集型,铀显示亏损型(图 3),与吴利仁<sup>[9,17]</sup>的壳幔岩浆混合的特点具可比性。

岩体的微量元素与花岗岩维氏值相比较,亲铜元素 Cu、Zn、Cr、Sn 和亲石元素 Ba、Cs、Sc、Zr、Hf、Ga、U 等元素含量高,可能与岩体的富 Si、K 和低 Mg 有关;亲幔元素 Ni、大离子亲石元素 Rb、Sr、Th 和高场强元素 Nb、Ta 等元素含量低(表 3),后者可能与岩体高 K、低 Ti、Ca、Mg 相关。在微量元素蛛网图上包体与寄主岩石的曲线形态基本上相一致(图 3),具有富集大离子亲石元素(LILE)Ba 和高场强元素(HFSE)Zr、Hf、Th、Ce、Nb、Rb、Li、Sr、Cr 呈负异常, Th、Ce 正异常的特征。

岩石的氧同位素  $\delta^{18}\text{O}$  为 8.8‰~9.7‰,属略偏高  $\delta^{18}\text{O}$  花岗岩,岩石  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值为  $0.71512 \pm 0.00003 < 0.719$ (大陆壳值),属低铯花岗岩类,上述均反映其形成与地幔有关的特征<sup>[18-21]</sup>。

## 5 与非造山和造山带型环斑花岗岩间对比

岩相学对比:大岭岩体中的卵球状、球状碱性长石斑晶、半自形环斑结构钾长石巨晶特征与中国的秦岭老君山、秦岭梁等地的印支期造山带环斑花岗岩、芬兰的 Jaala—litti 和巴西 Itu 地区的环斑花岗岩相似<sup>[2]</sup>。岩体中有些碱性长石巨晶不发育斜长石外壳,但其形态为卵球状、圆状,这是环斑结构的主要特征,并与较自形环斑长石相伴出露,这种碱性长石巨晶呈卵球状是与非环斑花岗岩的局部出现具斜长石外壳的较自形碱性长石巨晶间的主要区别,也是

表 3 大岭岩体微量、稀土元素分析  
Table 3 Trace element and REE analysis of the Daling pluton

序号	样号	岩性	Ni	Li	Rb	Cs	Mo	Sr	Ba	Se	Nb	Ta	Zr	Hf	B	Ga
1	P <sub>2</sub> WL101	弱片麻状中粒 环斑二长花岗岩	3.70	41.6	104	7.50	1.10	311	1390	7.60	12.1	0.51	251	7.90	5.17	30.2
2	P <sub>2</sub> WL121		1.80	67.2	125	7.30	0.83	245	810	6.34	10.1	0.56	337	10.4	4.75	29.3
3	WL0173	微细粒闪长质包体	2.20		111	4.70	1.02	349	1110	15.3	21.3	3.41	727	17.6	21.3	27.3
4	P <sub>2</sub> WL108		3.30	77.4	107	11.1	1.57	259	261	24.3	18.2	1.54	151	5.29	17.1	34.9
5	P <sub>2</sub> WL122-1		5.70	80.9	164	12.0	0.54	467	1160	9.34	7.03	1.21	172	4.49	7.17	30.2
6	秦岭老君山、秦岭梁环斑花岗岩		30.70		106.0		108	637.9	1127	6.00	21.85	2.00	195.8	5.49		17.73
7	秦岭沙河湾环斑花岗岩		37.93	60.7	93		96	416.7	1223	7.00	12.47	0.93	203.3	6.90		11.67
8	华北地台密云沙厂环斑花岗岩			68.0	4.0		184			4.68	27.37	5.0				

序号	Sn	U	Th	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE	δEu
1	9.00	2.84	9.4	39.2	71.3	9.51	37.1	7.58	1.03	5.84	0.95	6.17	0.98	3.09	0.46	2.77	0.33	25.0	211.31	0.46
2	6.60	4.69	28.1	56.2	82.2	9.34	32.1	6.15	0.72	4.50	0.75	4.87	1.01	2.74	0.46	2.98	0.38	21.8	226.20	0.41
3	18.0	3.74	57.2	102	233	16.8	75.3	14.5	2.16	11.4	1.87	10.6	2.14	5.91	0.95	5.68	0.70	51.5	534.51	0.50
4	11.0	3.00	4.42	55.3	85.5	13.3	62.7	10.9	1.41	8.40	1.46	9.16	1.88	5.50	0.80	5.53	0.65	40.2	302.69	0.44
5	10.0	2.08	7.34	41.1	50.9	7.26	25.6	4.22	0.98	3.72	0.58	3.24	0.63	1.61	0.25	1.67	0.23	13.8	155.79	0.75
6			21.14	52.2	93.78	11.0	34.17	5.97	1.48	2.55	0.84	3.98	0.78	2.14	0.30	2.13	0.33	21	237	0.84
7			14.1	47.4	82.23	10.27	30.2	6.29	1.37	4.06						1.30	0.17	13.17	202.38	0.84
8				118.8	262.2		113.7	18.10	3.05	11.00						3.93	0.60	40.40		0.66

注:样品由国土资源部中南矿产资源监督检测中心分析,单位为 10<sup>-6</sup>。

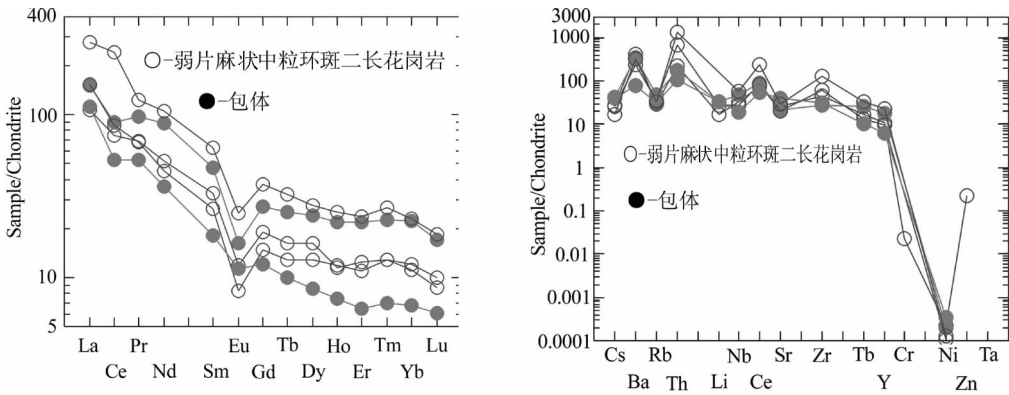


图 3 岩体稀土及微量元素图

Fig.3 Diagrams of rare earth and trace elements

确定环斑花岗岩的主要依据<sup>[2]</sup>。

岩体中半自形环斑长石的较多出现,也与 Stimac and Wark(1992)、Ramo and Haapala(1995)等<sup>[2]</sup>认为半自形环斑长石在一般环斑花岗岩中也是存在的意见相吻合,并与中国秦岭沙河湾的环斑花岗岩更接近。又岩体中环斑长石与微细粒闪长质包体密切伴生,并呈正消长关系,即包体越多的部位,环斑长石含量越高,这也与秦岭沙河湾环斑花岗岩的特

征相一致<sup>[1-7]</sup>,但不同于中国典型的前寒武纪北京密云环斑花岗岩的碱性长石巨晶的粒大、多为聚晶内核和部分暗色矿物内核的特征<sup>[2]</sup>。

野外宏观上岩体的球状、环斑结构钾长石巨晶含量较少,总体上占岩体的 1%,局部较为集中,达 2%~3%,且分布于岩体的边缘,其分布特征与秦岭沙河湾岩体、老君山岩体相似<sup>[9]</sup>,但环斑长石的含量明显低于秦岭环斑花岗岩<sup>[2]</sup>。这种分布范围小、含量低,可能

是与典型元古代非造山环斑花岗岩的主要差异。

岩石化学、地球化学:与世界及中国其他地区的环斑花岗岩相比较,大岭岩体的主要氧化物、 $K_2O/Na_2O$ 与秦岭印支期造山带型环斑二长花岗岩相似,仅  $FeO/(FeO+MgO)$  比值不同<sup>[1-12]</sup>,但与华北地台北京密云沙厂<sup>[2]</sup>、芬兰 Ahvenisto 地块等典型地区的前寒武纪非造山型环斑花岗岩相比<sup>[1-12]</sup>,其大多数主要氧化物特征明显不同, $SiO_2$ 、 $FeO/(FeO+MgO)$  低, $K_2O/Na_2O < 1$ ,也低于 A 型花岗岩、典型环斑花岗岩( $K_2O/Na_2O > 1$ ),但 NK 含量较高,与之相似。

在大岭岩体的基质单矿物钾长石、角闪石和黑云母电子探针分析(表 2)中可知,钾长石的  $Na_2O/K_2O < 1$ ,显示出高钾、铝和低铁的特征, $O_r$  为 96.48~98.24,接近秦岭沙河湾印支期造山带的环斑花岗岩<sup>[1-7]</sup>;角闪石为低铁普通角闪石, $Na_2O/K_2O > 1$ , $FeO/(FeO+MgO)$  比值为 0.81,黑云母为富铁质黑云母, $Na_2O/K_2O < 1$ , $FeO/(FeO+MgO)$  比值为 0.78,其黑云母、角闪石具富铁贫镁和  $FeO/(FeO+MgO)$  比值等特征,接近于秦岭印支期造山带的环斑花岗岩<sup>[1-7]</sup>,而与北京密云环斑花岗岩相比明显不同<sup>[2]</sup>。岩体的稀土元素特征与秦岭印支期造山带型环斑花岗岩相类似<sup>[1-7]</sup>,明显不同于华北地台北京密云沙厂的前寒武纪非造山型典型环斑花岗岩<sup>[2]</sup>(表 3,图 3)。

## 6 岩体的环斑结构成因及形成的构造背景

奥长环斑花岗岩最早由 Sederholm(1891)提出,是一种特殊的岩石类型,以其独特的结构及表征的构造环境历来受到关注。世界典型的环斑花岗岩的形成时代均为前寒武纪,且其成因类型为非造山的 A 型花岗岩,而这种非造山的特征也是长期以来作为环斑花岗岩的标志特征。而近年来世界上陆续发现了其他时代和不同构造背景下的环斑花岗岩<sup>[1-7]</sup>,并认为产在不同时代、不同构造环境的环斑花岗岩间存在地球化学上的差异<sup>[6]</sup>,也说明了对环斑花岗岩的产出背景已经突破了非造山环境的认识 and 定义。卢欣祥等<sup>[6]</sup>认为,环斑花岗岩应分两类:非造山和造山后,并分别代表稳定大陆伸展环境和造山带后期伸展期或由挤压向伸展转换的环境,两者的构造环境相类似,都是伸展或由挤压向伸展转换的环境。

环斑结构的成因一直是仍未解决好的问题。一

直以来国外学者<sup>[1-7]</sup>对环斑结构的成因也有不同意见,主要有交代成因说和岩浆成因说等不同认识<sup>[1-7]</sup>。另外,对环斑花岗岩的定义也有两种意见:结构命名和结构+岩石成因类型命名,但两种命名均是以宏观上更容易识别的岩相学依据为基础的。因此,从大岭岩体的环斑结构特征来看,将兴蒙造山带东端的鹤岗—伊春交界处的晚石炭世大岭花岗岩定为环斑花岗岩是有岩石学依据的。

大岭环斑花岗岩岩体中普遍发育岩浆混合成因的微细粒闪长质包体(MME),且岩体中发育角闪石类暗色矿物,副矿物以磁铁矿、磷灰石、榍石为主;岩石化学总体上表现为略富碱,富钠略贫钾、贫镁的钙碱性岩石特点。岩石铝饱和指数(ASI) $A/CNK \approx 1$ ,为准铝质岩石,在 CIPW 标准矿物出现透辉石(Di)和少量刚玉(C—norm)分子。岩石的  $^{87}Sr/^{86}Sr: 0.71512 \pm 0.00003$ (小于大陆壳值 0.719),且  $\epsilon_{Sr}$  值  $> 0$ ,反映出物质来源于壳幔混源区,属壳幔混源型花岗岩的特点。

在  $R_1-R_2$  构造环境判别图(图 4)中,包体多落入碰撞后抬升环境,而弱片麻状中粒似斑状环斑二长花岗岩分别落在造山后抬升区和造山晚期区,显示出部分的拉张环境,可能暗示了造山晚期基性岩浆的底侵作用下幔源与壳源岩浆的混合成因特征。在  $Rb-(Y+Nb)$  判别图解(图 4)中,样品大多位于火山弧花岗岩区,与秦岭环斑花岗岩的构造环境一致<sup>[1-7]</sup>。

## 7 结论及意义

(1)对小兴安岭东南大岭一带晚石炭世花岗岩的长石环斑、微细粒闪长质包体有了新的认识。由于发现岩浆混合的地质现象,为造山型环斑结构成因的解释、岩体成因探讨提供了较为充分的地质依据。岩体的环斑长石、微细粒闪长质包体及岩体地球化学等特征,充分说明了晚石炭世大岭岩体的环斑结构不同于典型的非造山环斑花岗岩,是由基性与酸性岩浆混合作用形成,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,使岩浆成分迅速向基性方向转化,斜长石环绕已形成的部分钾长石“质点”结晶,形成具斜长石薄外壳的环斑结构,而部分钾长石仅发生熔蚀,呈卵球状斑晶,因此环斑结构与岩浆混合具有密切的关系。是由于岩浆混合作用引起的岩浆演化及结晶过程中的温度或压力或组分等



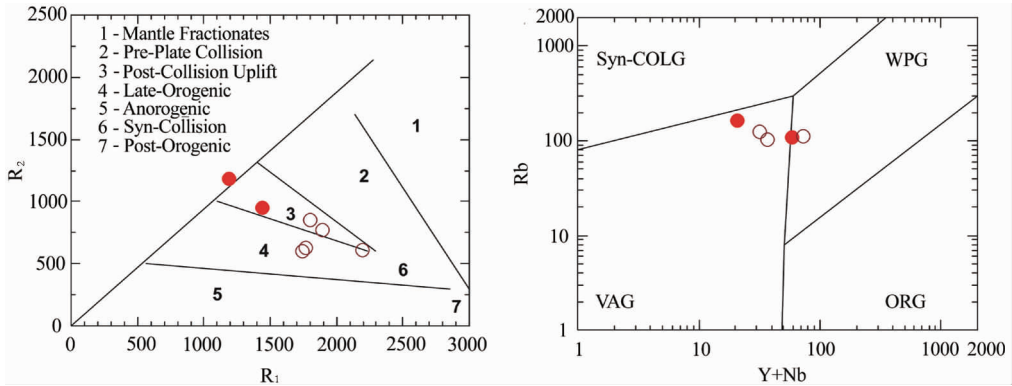


图 4  $R_1$ - $R_2$  和微量元素 Rb-(Yb+Nb)构造环境判别图

○-弱片麻状中粒环斑二长花岗岩;●-包体

Fig. 4 Tectonic setting discrimination diagrams using  $R_1$ - $R_2$  and the trace elements Rb-Y+Nb

○-Weakly gneissic medium-grained rapakivi monzogranite; ●- Enclaves

物理化学条件的改变导致了环斑结构的出现,因而也被看成是岩浆混合的标志之一<sup>[1-7]</sup>,而不直接反映环斑花岗岩的构造环境及岩浆的起源<sup>[6]</sup>,这对兴蒙造山带东端小兴安岭东南地区花岗岩成因及构造研究具有重要意义。

(2)产于造山晚期环境的晚石炭世大岭岩浆混合成因环斑花岗岩的确定,说明了晚石炭世兴蒙造山带东端的小兴安岭东南大岭地区,构造环境由古亚洲洋的闭合→碰撞造山→向陆内作用转化等有序变化。造山晚期在幔源岩浆底侵作用下,使下地壳发生部分熔融形成酸性岩浆,并在上侵过程中壳幔岩浆发生混合,形成了具壳幔岩浆混合成因的大岭岩体,表明了佳木斯—松嫩地块曾发生过壳幔物质的交换与再循环、地壳的垂向增生<sup>[23-24]</sup>。

(3)小兴安岭东南端的伊春地区有众多铁、多金属成床,均与不同时代的岩浆混合成因花岗岩关系密切,这可能与幔源岩浆富含 Cu、Mo、Pb、Zn、Fe 等成矿元素有关。岩浆混合作用的识别,对从壳幔岩浆混合作用的角度解释该地区成矿机理及找矿方向具有一定的意义,开阔了找矿思路。

**致谢:**笔者衷心感谢中国地质调查局严光生研究员热情帮助和对本文提出的宝贵建议与悉心指导。

**参考文献(References):**

[1] 王晓霞, 王涛, 卢欣祥. 等. 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, 21(8/9):523-529. Wang Xiaoxia, Wang Tao, Lu Xinxiang, et al. Petrographic evidence of hybridization of magmas of the Laojunshan and

Qinlingliang rapakivi-textured granites in the North Qinling and significance[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(4):523-529 (in Chinese with English abstract).  
 [2] 王晓霞, 王涛, 卢欣祥. 等. 北秦岭老君山和秦岭梁环斑结构花岗岩及构造环境——一种可能的造山带型环斑花岗岩[J]. 岩石学报, 2003, 19(4):650-660. Wang Xiaoxia, Wang Tao, Lu Xinxiang, et al. Laojunshan and Qinlingliang rapakivi-textured granitoids in North Qinling and their tectonic setting: A possible orogenic-type rapakivi granitoids[J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19 (4):650-660 (in Chinese with English abstract).  
 [3] 赵太平. 对秦岭奥长环斑花岗岩的质疑 [J]. 地质论评, 2001, 5: 487-491. Zhao Taiping. A query about so-called rapakivi granites in the Qinling orogen [J]. Geological Review, 2001, 5:487-491 (in Chinese with English abstract).  
 [4] 卢欣祥, 王晓霞, 肖庆辉, 等. 答“对秦岭奥长环斑花岗岩的质疑” [J]. 地质论评, 2003, 2:146-153. Lu Xinxiang, Wang Xiaoxia, Xiao Qinghui, et al. A Reply to “A Query on the So-called rapakivi granite in the Qinling orogen” [J]. Geological Review, 2003, 2:146-153 (in Chinese with English abstract).  
 [5] 王晓霞, 王涛, 卢欣祥. 北秦岭中生代沙河湾岩体环斑结构特征及有关问题的讨论[J]. 地球学报, 2002, 23(1):30-36. Wang Xiaoxia, Wang Tao, Lu Xinxiang. Characteristics of rapakivi texture in Mesozoic Shahewan granite of north Qinling mountains and some related problems [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(1): 30-36(in Chinese with English abstract).  
 [6] 王晓霞, 王涛, 卢欣祥. 环斑花岗岩研究及存在的问题[J]. 地质科技情报, 2001, 20(4):19-23. Wang Xiaoxia, Wang Tao, Lu Xinxiang. Studies and problems on rapakivi granites[J]. Geological Science and Technology Information,

- 2001, 20(4):19-23(in Chinese with English abstract).
- [7] 王晓霞, 卢欣祥. 北秦岭沙河湾环斑结构花岗岩的矿物学特征及其岩石学意义[J]. 矿物学报, 2003, 23(1):57-62.  
Wang Xiaoxia, Lu Xinxiang. Mineralogical characteristics of shaheswan rapakivi textured granite in North Qinling and their petrological significance [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2003. 23(1): 57-62(in Chinese with English abstract).
- [8] Neves S P, Vauchez A. Successive mixing and mingling of magmas in a plutonic complex of Northeast Brazil [J] Lithos, 1995, (34): 275-299.
- [9] 李昌年. 岩浆混合作用及其研究评述[J]. 地质科技情报, 2002, 21 (4):49-54.  
Li Changnian. Comment on the magma mixing and their research [J]. Geological Science and Technology Information, 2002, 21 (4): 49-54(in Chinese with English abstract).
- [10] 潘贵, 刘宝山, 李仰春. 伊春地区晚奥陶世花岗岩质岩石中闪长质包体的成因[J]. 中国地质, 2002, 29(4):364-368.  
Pan Gui, Liu Baoshan, Li Yangchun. Genesis of dioritic inclusions in Late Ordovician granitic rocks in the Yichun area[J]. Geology in China, 2002, 29(4):364-368(in Chinese with English abstract).
- [11] 湛宏伟, 罗照华, 莫宣学, 等. 东昆仑造山带三叠纪岩浆混合成因花岗岩的岩浆底侵作用机制[J]. 中国地质, 2005, 32(3):386-395.  
Chen Hongwei, Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, et al. Underplating mechanism of Triassic granite of magma mixing origin in the East Kunlun orogenic belt[J]. Geology in China, 2005, 32(3):386-395 (in Chinese with English abstract).
- [12] 成中梅, 路凤香, 李昌年, 等. 河北寿王坟花岗岩闪长岩暗色微粒岩石包体的成因[J]. 现代地质, 2003, 17(1):20-26.  
Cheng Zhongmei, Lu Fengxiang, Li Changnian, et al. Genesis of microgranular enclaves in Shouwangfen granodiorites, Hebei Province [J]. Geoscience, 2003, 17 (1):20-26 (in Chinese with English abstract).
- [13] 莫宣学, 罗照华, 肖庆辉, 等. 花岗岩类岩石中岩浆混合作用的认识与研究方法[C]//肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法. 北京:地质出版社, 2002, 53-70.  
Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Xiao Qinghui, et al. Evidence of magma mixing in granitoids plutons and the way of investigation in the way of investigation on granitoids [C]//. Xiao Qinghui, Den Jinfu, Ma Dashun, et al. (eds). Beijing: Geological Publishing House, 2002, 53 - 70(in Chinese).
- [14] 曲晓明, 王鹤年, 饶冰, 等. 郭家岭花岗岩闪长岩岩体中闪长质包体的成因研究[J]. 矿物学报, 1997, 17(3):302-309.  
Qu Xiaoming, Wang Henian, Rao Bing. A study on the genesis of dioritic enclaves in guojialing granite [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1997, 17(3):302-309(in Chinese with English abstract).
- [15] 李昌年, 薛重生, 廖群安, 等. 江西横峰县港边岩浆混合杂岩体岩石学研究及其成因探讨[J]. 地球科学, 1997, 22(3):261-266.  
Li Changnian, Xue Chongsheng, Liao Qunan, et al. Petrology of Gangbian magma -mixed complex body and their genesis, Henfengcounty, Jiangxi Province [J]. Earth Socerve -Journal of China University of Geosciences, 1997, 22(3):261-266(in Chinese with English abstract).
- [16] 刘志逊, 赵寒冬, 马丽玲, 等. 小兴安岭晚石炭世岩浆混合作用的岩相学证据及其地质意义[J]. 地质通报, 2007, 26(3):289-298.  
Liu Zhixun, Zhao Handong, Ma Liling, et al. Petrographic evidence of magma mixing of Late Carboniferous granite in the Xiao Hingan Mountains, China and its geological implications[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (3):289-298 (in Chinese with English abstract).
- [17] 伍光英, 潘仲芳, 李金冬. 湘南大义山花岗岩地质地球化学特征及其与成矿的关系[J]. 中国地质, 2005, 32(3):434-442.  
Wu Guangying, Pan Zhongfang, Li Jindong, et al. Geological and geochemical characteristics of the Dayishan granitoids in southern Hunan and their relations to mineralization [J]. Geology in China, 2005, 32(3):434-442(in Chinese with English abstract).
- [18] 肖成东, 张忠良, 赵利青. 东蒙地区燕山期花岗岩 Nd, Sr, Pb 同位素及其岩石成因[J]. 中国地质, 2004, 31(1):57-63.  
Xiao Chengdong, Zhang Zhongliang, Zhao Liqing. Nd, Sr and Pb isotope geochemistry of Yanshanian granitoids in eastern Inner Mongolia and their origins[J]. Geology in China, 2004, 31(1):57-63(in Chinese with English abstract).
- [19] 吴福元, 孙德有, 林强. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生[J]. 岩石学报, 1999, 5(2):181-189.  
Wu Fuyuan, Sun Deyou, Lin Qiang. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(2):181-189(in Chinese with English abstract).
- [20] 李之彤, 朱群. 吉黑东部花岗岩类的稳定同位素组成[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(3):353-359.  
Li Zhitong, Zhu Qun. Stable Isotope Composition of Granitoids in East Jilin and Heilongjiang Provinces [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2001, 20(3):353-359(in Chinese with English abstract).
- [21] 肖庆辉, 邱瑞照, 邓晋福, 等. 中国花岗岩与大陆地壳生长方式初步研究[J]. 中国地质, 2005, 32(3):343-352.  
Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, Deng Jinfu, et al. Granitoids and continental crustal growth modes in China [J]. Geology in China, 2005, 32(3):343-352(in Chinese with English abstract).
- [22] 解广轰. 大庙斜长岩和密云环斑花岗岩的岩石学和地球化学[M]. 北京:科学出版社, 2005(in Chinese).  
Xie Guanghong. Lithology and Geochemistry of Damiao Plagioclase and Miyun Rapakivi [M]. Beijing: Science Press, 2005 (in Chinese).
- [23] 孙德有, 吴福元, 林强, 等. 张广才岭燕山早期白石山岩体成因与壳幔相互作用[J]. 岩石学报, 2002, 17(2):227-235.  
Sun Deyou, Wu Fuyuan, Lin Qiang, et al. Petrogenesis and crust-mantle interaction of early Yanshanian Baishishan pluton in Zhangguangcai Range [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 17(2): 227-235(in Chinese with English abstract).
- [24] 路凤香, 郑建平, 侯青叶, 等. 中国东部壳幔、岩石圈、软流圈之

间的相互作用带;特征及转换时限[J].中国地质,2006,33(4):773-781.  
Lu Fengxiang, Zheng Jianping, Hou Qingye, et al. Zones of crust-

mantle and lithosphere-asthenosphere interaction in eastern China: Characteristics and of transformation [J]. Geology in China, 2006, 33(4):773-781(in Chinese with English abstract).

## Genesis of the Late Carboniferous Daling rapakivi granites at the southeastern end of the Xiao Hinggan Mountains

HAN Zhen-zhe<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Hai-ling<sup>1,2</sup>, LANG Hai-tao<sup>4</sup>, Wang Xian-de<sup>1,2</sup>

(1. State Key laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobng Techology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;3. Qiqihar Branch, Heilongjiang Institute of Geological Investigation and Research, Qiqihar 161005, Heilongjiang, China;

4. Anhui Institute of Exploration Technique, Bengbu 233000, Anhui, China;)

**Abstract:** Rapakivi-textured feldspars occur in Late Carboniferous weakly gneissic, medium-grained porphyaceous monzogranite in the Daling area between Hegang and Yichun cities at the southeastern end of the Xiao Hinggan Mountains. Most of them are idiomorphic and broad sheet-like or broad-prismatic in shape, and consist of an alkali feldspar core and a plagioclase mantle. Some are ovoid or globoid in shape without a plagioclase mantle and about 1.5-3.5 cm in size. Their petrographical features are comparable to those of the typical rapakivi granite. In addition, dark-colored microgranular dioritic enclaves are generally developed, and they have close relationship with rapakivi K-feldspars. The enclaves have typical textures of magma and acicular apatites and contain K-feldspar and quartz megacrysts of host rocks. The enclaves are mainly rounded in shape, showing pronounced plastic rheological characters. They usually have a clear-cut contact relationship with the host rocks and sometimes transition or foggy contacts could also be seen. The above-mentioned evidence fully shows that the enclaves are MME type enclaves. On the basis of the geological characteristics of the pluton, rapakivi-textured K-feldspar phenocrysts, dark-colored microgranular dioritic enclaves and petrochemistry and geochemistry, the Daling rapakivi granites were the product of magma mixing and formed in an orogenic environment, and their age and tectonic setting are different from those of typical rapakivi granites.

**Key words:** rapakivi-textured K-feldspar phenocryst; MME type enclave; magma mixing genesis; southeastern end of the Xiao Hinggan Mountains

**About the first author:** HAN Zhen-zhe, male, born in 1965, PhD and senior engineer, engages in regional geological survey and research; E-mail: hzhenz65@163.com.