

内蒙古东北部激流河花岗岩中包体的特征及成因

赵寒冬^{1,2}, 韩振哲², 赵海滨^{1,2}, 牛延宏², 马丽玲²

ZHAO Handong^{1,2}, HAN Zhenzhe², ZHAO Haibin^{1,2}, NIU Yanhong², MA Liling²

1. 中国地质大学, 北京 100083;

2. 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

1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Qiqihar Branch, Heilongjiang Institute of Geological Survey, Qiqihar 161005, Heilongjiang, China*

摘要:内蒙古东北部阿龙山地区,沿激流河两岸呈NE向分布的二长花岗岩、花岗闪长岩体中发育暗色微粒镁铁质包体。包体具典型的岩浆结构、淬火结构及针状磷灰石,部分包体中含寄主岩石的钾长石、石英巨晶。包体形态主要呈浑圆状,可见明显的塑性流变特点,与寄主岩石间常呈截然的接触关系,有时呈过渡状、雾迷状。寄主岩石富Si、K,并表现出岩浆演化的特点,包体富Mg、Fe、Ca,贫Si、Al, Na>K。寄主岩石和包体的稀土、微量元素曲线形态相近,均为左高右低的不对称右倾型、轻稀土富集型,包体Eu微弱亏损,寄主花岗岩的Eu中等—弱亏损。包体与寄主岩石在地球化学特征上既表现出了相似性,也表现出了明显的非同源性特点。这些特征表明早石炭世激流河花岗岩类中的暗色包体是岩浆混合的产物,部分代表了混合岩浆的基性端元。

关键词:激流河花岗岩;MME型微细粒闪长质包体;岩浆混合作用;内蒙古东北部

中图分类号:P588.12¹;P588.11³

文献标识码:A

文章编号:1671-2552(2005)09-0841-07

Zhao H D, Han Z Z, Zhao H B, Niu Y H, Ma L L. Features and origin of inclusions in the Jiliuhe granite, northeastern Inner Mongolia, China. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(9): 841-847

Abstract: Monzogranite and granodiorite are distributed in a NE direction along both banks of Jiliu River in the Along Mountains area, northeastern Inner Mongolia. Many dark-colored microgranular mafic inclusions occur in these rocks. The inclusions have typical magmatic and quench textures and contain acicular apatite, and some inclusions contain K-feldspar and quartz megacrysts of host rocks. The inclusions 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 are also seen. The host rocks are rich in Si and K and exhibit the characteristics of magmatic evolution. Inclusions are rich in Mg, Fe and Ca and poor in Si, Al, and Na with Na>K. The rare earth element (REE) and trace element patterns for the inclusions and their host rocks are similar and both show an asymmetric, right-inclined LREE-enriched shape. Inclusions exhibit weak Eu depletion, while host rocks moderate-weak Eu depletion. Inclusions and host rocks display similarities in respect to geochemistry as well as non-cognate characters. These features indicate that dark inclusions in the Early Carboniferous Jiliuhe granites are the product of magma mixing and partly represent the basic end-member of mixed magma.

Key words: Jiliuhe granites; microgranular dioritic inclusions of MME type; magma mixing; northeastern Inner Mongolia

I型花岗岩中普遍发育暗色微粒包体^[1-3]。这种包体能够提供花岗岩成因的直接信息,是了解岩浆混合作用方式^[4]、端元组分和壳幔相互作用的重要载体,备受人们重视。

兴蒙造山带位于西伯利亚与中朝—塔里木地台之间的巨

型中亚造山带的东端,其中广泛发育古生代—中生代花岗岩。前人对中生代花岗岩已做过大量的研究,但对内蒙古北部阿龙山地区出露的华力西中期激流河花岗岩岩体,仅进行了岩石学、岩石化学等方面的研究,对岩体内存在的暗色微

收稿日期:2005-01-25;修订日期:2005-06-22

地调项目:中国地质调查局基础地质调查项目《1:25万阿龙山镇幅区域地质调查》(0199115050)部分成果。

作者简介:赵寒冬(1963—),男,在读博士,高级工程师,从事区域地质调查和研究工作。E-mail:handonz@tom.com

细粒包体认为是析离体^①,缺少对包体的岩相学、地球化学等研究。本文通过系统研究包体和寄主岩石的宏观地质特征,结合显微结构和地球化学特征,认为包体是岩浆混合作用的产物。为探讨该区岩浆混合作用、壳-幔相互作用和中生代地壳垂向增生提供证据。

1 地质概况与岩体地质

激流河花岗岩岩体侵位于著名的德尔布干断裂带的北东段,呈NE向出露于激流河两岸的阿龙山—牛耳河—金河镇一带,面积几百平方公里,为复式岩体(图1)。岩石类型主要为二长花岗岩、花岗闪长岩,其中普遍发育暗色微粒包体。寄主岩石与包体时代相近,岩体的单颗粒锆石U-Pb同位素谐合年龄为312 Ma,包体年龄为331 Ma,表明其形成于石炭纪^②。岩体侵入于中元古界兴华渡口岩群(Pt_2xh)和震旦系—下寒武统倭勒根岩群[(Z— ϵ_1)w]变质地层,被广泛出露的燕山早期中基性—中酸性火山岩喷发覆盖。

激流河花岗岩中包体的寄主岩石为中粗粒花岗闪长岩、中细粒似斑状二长花岗岩和中粗粒二长花岗岩,它们多呈不规则状在空间上紧密伴生,具同源演化特征。前人研究认为其形成于同碰撞—岩浆弧构造环境,具I型花岗岩的特点^③。

宏观上各寄主岩石的岩性、结构、构造和成分相对均匀(表1、表2),具典型的花岗结构。微观上,各寄主岩石局部仍可见矿物异常共生,常呈显微混合不平衡的状态^④(图2)。其主要特征:①出现明显的世代性,造岩矿物长石、石英、黑云母、角闪石等均具世代性。2个世代的斜长石被角闪石包裹,并强绢云母化,与正长石相嵌的则较纯净;不同牌号的斜长石共生,表现为双晶缝宽窄明显不同(图2-b);具环带和不具环带的共生(图2-f)。同种岩石中分别出现2个世代的黑云母、角闪石(图2-d、g)。②矿物结晶顺序混乱,各种矿物相互包裹和穿插,如牌号相近的斜长石相互包裹,黑云母既穿插斜长石,又与其相嵌(图2-a);钾长石呈基底状包裹石英和斜长石(图2-c、e);角闪石包裹斜长石、黑云母,而被包裹的黑云母中又见包裹有角闪石(图2-h)。由此可见,激流河花岗岩具有岩浆混合的岩相学标志^⑤。

2 包体特征

早石炭世激流河花岗岩岩石中普遍发育微细粒闪长质包体,包体具典型的岩浆结构、淬火结构及针状磷灰石,部分包体中含寄主岩石的钾长石、石英巨晶。包体在不同的寄主岩石中虽岩性一致,但其粒度、形态、含量等有较大变化。

2.1 包体的岩相学特征

(1)包体的岩石学特征:各寄主岩石中包体成分均为细粒闪长岩,呈灰黑、深灰色,比寄主岩石颜色深,具微细粒—细粒半自形粒状结构或斑状结构,为典型的岩浆结构。包体

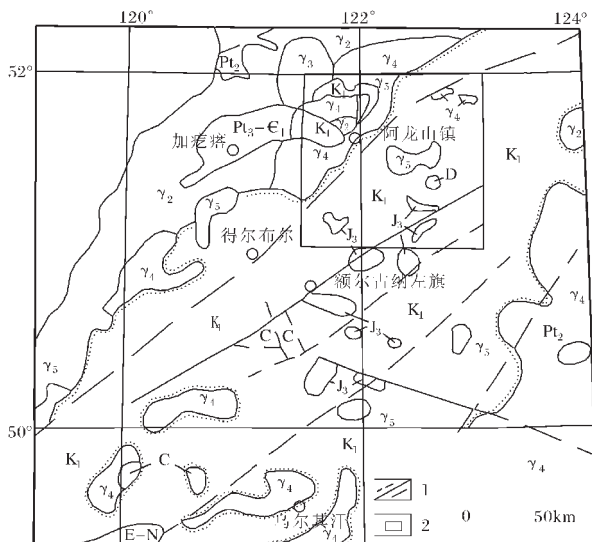


图1 阿龙山地区地质略图

Fig.1 Geological sketch map of the Along Mountains area
E-N—古近系—新近系;K₁—下白垩统;J₃—上侏罗统;C—石炭系;
D—泥盆系;Pt₂- ϵ_1 —新元古界—下寒武统;Pt₂—中元古界变质岩;
 γ_5 —燕山期侵入岩; γ_4 —华力西期侵入岩; γ_3 —加里东期侵入岩;
 γ_2 —晋宁期侵入岩;1—推测及实测断层;2—研究区位置

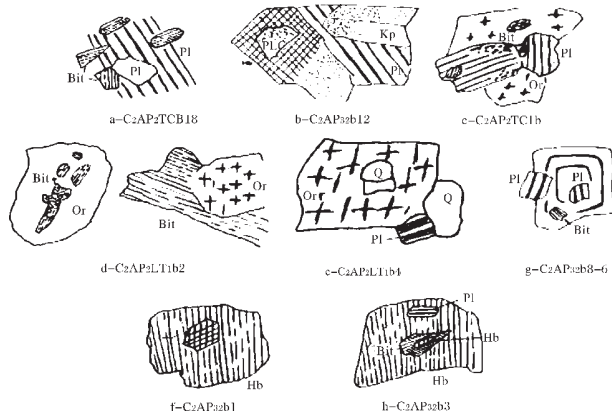


图2 激流河花岗岩中由混合作用造成的不平衡矿物结构

Fig.2 Mineral disequilibrium texture
resulting from mixing in the Jiliuhe granite
Or—正长石;Kp—钾长石;Pl—斜长石;
Bit—黑云母;Q—石英;Hb—角闪石

由斜长石(呈自形—半自形针柱状,粒度0.2~0.5 mm,60%~65%)、角闪石(多由辉石交代成因,30%~35%)、少量黑云母和磷灰石(呈自形长针柱状)等组成。副矿物为锆石+磁铁矿+磷灰石组合。锆石呈黄白色,金刚光泽,长双锥柱状体,延长系数3:1~6:1,含气体、黑色包裹体,以110、100、111晶面为主;磷

① 黑龙江省地质局第二区域地质调查大队.1:20万满归幅区域地质调查报告.1988.

② 黑龙江省地质调查研究院总院齐齐哈尔分院.1:25万阿龙山镇幅区域地质调查报告.2003.

表1 寄主岩石及包体主要地质特征

Table 1 Main geological characteristics of host rocks and inclusions

岩 性	岩 石 特 征			锆石 U-Pb 年龄	产出位置	包体	副矿物 组合	锆 石 特 征
	颜色	结构 构造	矿物成分					
中粗粒二长 花岗岩	褐黄、 浅肉 红色	中粗粒花 岗结构 块状构造	微斜长石、微斜条纹长石：半自形 宽板状，多包裹有细小石英和斜长 石等，30%~40%；更长石：半自 形板(柱)状，聚片双晶细密，与钾 长石接触处靠近斜长石边见交代蠕 虫结构，35%；石英：20%~30%； 黑云母：2%~5%		呈不规则岩 基状出露于 金河—牛耳 河一带	包体 较少	锆石+磁铁 矿+磷灰石 +褐铁矿	锆石呈浅黄白色、 浅褐色，长双锥柱 状，部分碎裂，气 体包体多于黑色包 体，长宽比多为 3:1~5:1
中细粒似斑 状二长花岗岩	浅黄褐 色、浅 肉红色	中细粒 似斑状结构 块状构造	微斜长石似斑晶：半自形-自形宽板 状，多包裹有细小石英和斜长石等， 1%~3%；基质：中细粒结构，1~3 mm；石英：无色他形粒状，25%~ 45%；更长石：见较宽聚片双晶和 弱环带，与钾长石接触处见交代蠕 虫结构，25%~35%；微斜长石： 30%~45%；黑云母：3%~7%		呈不规则岩 基状出露于 塔朗空—牛 耳河北一带	包体 较多	锆石+磁铁 矿+褐铁矿	锆石呈黄白色，长 双锥柱状，长宽比 多为3:1~6:1，气 体包体多于黑色包 体
中粗粒 花岗闪长岩	褐灰、 灰色	中粗粒 花岗结构 块状构造	微斜长石、微斜条纹长石：半自形 宽板状，与斜长石接触处靠近斜长 石边见交代蠕虫结构，5%~10%； 更长石：板柱状，55%~65%；石 英：无色他形粒状，25%~30%； 黑云母：5%~10%；角闪石：2%	312Ma	呈不规则状 出露于嘎拉 牙林场北	包体 较多	锆石+磁铁 矿+磷灰石 +褐铁矿	锆石呈黄白色，长 双锥柱状，长宽比 多为3:1~4:1，含 气体、黑色包体
微细粒 闪长岩包体	暗黑、 灰黑色	微细粒结构 淬火结构 块状构造	中、更长石：60%~65%；角闪 石：多由辉石交代而成，30%~ 35%；黑云母：1%~2%，矿物粒 度0.2~0.5mm	331Ma	零星分布于 金河镇—牛 耳河镇—塔 朗空一带		锆石+磁铁 矿+磷灰石	锆石呈黄白色，长 双锥柱状，长宽比 多为3:1~6:1，含 气体、黑色包体；磷 灰石呈自形针状

注：U-Pb单颗粒锆石同位素谐合年龄由中国地质调查局同位素地球化学开放研究实验室测定，2003

灰石呈自形针状(表1)。

(2)包体形态、大小和分布：包体形态多样，主要显示浑圆的外形，呈椭圆形、卵状、椭球状及不规则长条状、扁豆状、火焰状等，部分包体呈拉长状，局部可见棱角状外貌(图版 I -1、2)，局部见反向脉[□]，宽约1 cm(图版 I -2)。从其多数呈浑圆、椭球状来看，显示出明显的塑性流变特点。包体多呈零星分布，局部较集中出现，并显示出随寄主岩SiO₂的增高而减少的趋势，总体上仅占岩体体积的1%。包体大小多在1~12 cm之间，部分为20~50 cm，个别达1 m左右。在塔朗空东侧的野尔尼赤那亚河一带中细粒似斑状二长花岗岩和嘎拉牙一带的中粗粒花岗闪长岩中包体个体较大，粒度更细，与之相比金河一带的中粗粒二长花岗岩中包体最小，粒度相对较粗。

(3)与寄主岩石的接触关系：包体与寄主岩石之间常呈截然的接触关系，但其界面大多呈弯曲状，不是平直状(图版 I -1、2)；有时也见过渡关系，呈雾迷状(图版 I -3)；有的包体边缘发育紫红色淬火冷凝边，宽约1 cm，局部暗色针柱状斜长石、角闪石等矿物略微定向，其流动方向与包体边界平行。包体中多具有寄主岩石的钾长石捕虏晶(图版 I -4、5)，大小约1~1.5 cm，多呈熔蚀的半自形；有时也可见边缘被熔蚀呈眼球状、乳白色的寄主花岗岩的石英捕虏晶。

2.2 包体的岩石地球化学特征

包体与寄主岩石的岩石化学具有明显差异(表2)，寄主

岩石富SiO₂、K₂O，总体表现出岩浆演化的特点。包体富CaO、MgO、Fe₂O₃、FeO，而贫SiO₂、Al₂O₃、Na₂O>K₂O，反映了原始岩浆来源的差异；二者的Mg/Mg+Fe、Na/(Na+Ca)比值差异也较大，但在硅碱图和AFM图中均落入钙碱性岩区。

在标准化稀土模式曲线图中两者形态相近(表3、图3)，均显示了左高右低的不对称右倾型、轻稀土富集型，包体中Eu表现出微弱负异常，而寄主岩石则中等—弱亏损，包体稀土总量稍高于寄主岩。在微量元素蛛网图(图4)上，包体与寄主岩石的曲线形态相近，Ba、Th、Ce、Zr呈正异常，Rb、Pb、Sr、Ni呈负异常为特征。

3 包体成因探讨及意义

3.1 镁铁质微粒包体(MME)的类型

花岗岩中包体的成因类型较多，主要有围岩捕虏体、熔融残留体和混合包体3种类型。野外观察和室内研究表明，内蒙古东北部激流河花岗岩中的微细粒闪长质包体，符合Hibbard的岩浆混合机理和Didier等的岩浆混合成因的MME型包体类型划分[□]。主要依据如下。

(1)包体形态虽然各异，但多数显示浑圆的流线型外形，显示出明显的塑性流变特点，这可与围岩碎块的捕虏体相区别；部分包体虽呈拉长状，但包体内部未见任何变形，说明包体是在基性岩浆固结前注入酸性岩浆中之后发生流动、搅拌

表2 激流河花岗岩类岩石化学分析结果及有关参数

Table 2 Petrochemical analyses of the Jiliuhe granitoids and related parameters

样 品	岩性	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	LOS	δ	DI
P ₂ LTGS1 ^d	闪长质包体	51.24	1.10	15.42	2.08	8.44	0.17	5.42	8.76	3.51	1.61	0.26	1.14	3.18	39.22
P ₃₃ GS 28-1		52.36	2.36	13.83	3.89	8.52	0.15	3.54	6.63	4.09	1.06	0.50	2.10	2.83	46.12
P ₃₃ GS 126-1		53.26	1.14	16.00	3.45	7.04	0.15	5.06	7.22	4.04	1.03	0.23	0.70	2.51	42.39
P ₃₃ GS 26	中粗粒二长花岗岩	76.52	0.10	12.65	0.80	0.79	0.02	0.14	0.46	4.44	4.60	0.08	0.30	2.44	96.73
P ₃₃ GS 28		74.98	0.10	12.70	1.45	2.12	0.05	0.12	0.43	3.88	4.32	0.08	0.54	2.10	92.15
P ₃₃ GS 29		72.98	0.46	12.83	1.14	2.66	0.02	0.24	0.90	4.55	4.13	0.02	0.08	2.51	90.34
P ₃₃ GS 36-1		71.82	0.22	13.46	1.27	2.36	0.04	0.60	1.34	4.11	4.26	0.02	0.40	2.43	86.67
P ₃₃ GS 16-10		72.96	0.20	13.94	0.96	1.68	0.02	0.25	1.08	4.69	4.88	0.05	0.26	3.06	92.60
P ₃₂ GS 16		70.48	0.30	15.27	2.25	1.40	0.04	0.30	1.61	4.81	3.33	0.10	0.92	2.41	86.37
P ₁₀ GS 129		68.02	0.30	14.38	0.78	3.12	0.05	0.43	2.13	4.26	4.28	0.17	1.14	2.92	81.75
P ₁₀ GS 136		70.20	0.31	14.27	0.97	1.99	0.05	0.46	2.41	4.23	3.90	0.14	0.98	2.43	83.49
P ₃₁ GS 72		72.42	0.25	14.02	1.04	2.28	0.05	0.33	1.62	4.70	3.76	0.15	0.04	2.43	87.97
P ₃₁ GS 77		71.80	0.20	14.22	0.98	2.25	0.04	0.29	1.33	4.71	4.02	0.05	0.46	2.65	88.19
P ₃₁ GS 84	中细粒似斑状二长花岗岩	71.08	0.25	14.36	1.40	3.01	0.05	0.33	1.51	4.61	3.84	0.10	0.22	2.54	85.90
C ₂ AP ₃₁ GS 88		70.00	0.25	14.94	1.08	3.49	0.05	0.59	1.68	4.92	3.88	0.05	0.04	2.87	84.56
P ₃ GS1		71.58	0.23	13.77	0.80	1.98	0.02	0.86	0.96	3.79	3.73	0.10	1.97	1.98	76.05
P ₃₂ GS 38		67.94	0.20	15.24	0.71	3.72	0.06	0.79	1.79	4.69	3.66	0.15	0.20	2.80	80.59
P ₄ GS6		69.74	0.34	14.87	1.36	2.80	0.03	0.54	1.12	4.61	4.84	0.16	0.36	3.34	87.62
P ₄ GS 13		67.66	0.52	14.25	1.30	4.12	0.06	0.53	1.22	4.38	4.30	0.24	0.48	3.06	82.79
C ₂ AGS 599	中粗粒花岗岩闪长岩	68.92	0.27	15.56	1.61	1.94	0.07	0.76	2.39	4.46	2.92	0.06	0.62	2.10	79.83
C ₂ AGS 598		68.22	0.35	15.75	1.35	3.14	0.06	1.04	2.52	5.00	2.99	0.10	0.24	2.53	79.12
C ₂ AGS 598-1		68.48	0.40	15.66	1.09	3.42	0.05	0.80	2.33	5.06	3.23	0.10	0.16	2.70	80.58

注:样品由黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院实验室分析,2002;氧化物含量%

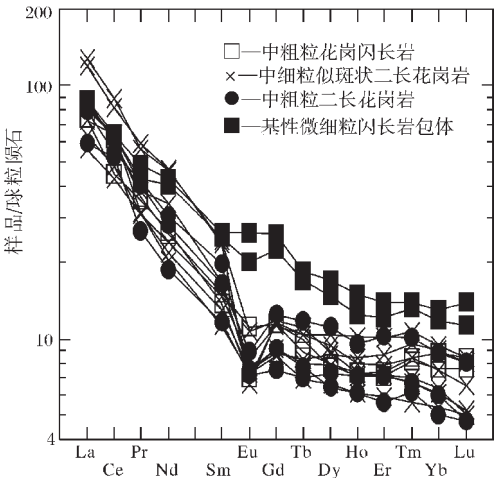


图3 稀土元素配分曲线

Fig.3 Chondrite-normalized REE distribution patterns

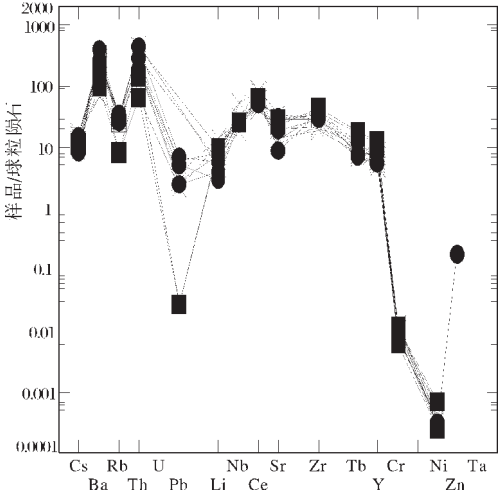


图4 微量元素蛛网图(图例同图3)

Fig.4 Trace element spidergram

形成的;局部的棱角状包体,说明系2种岩浆温差过大,混合时温度快速下降固结所致^[7-13]。包体与寄主岩石之间常呈截然的接触关系,但其界面大多呈弯曲状,不是平直状,说明寄主岩石还呈塑性状态;包体边缘有时具冷凝边,这是发生混合

的2种岩浆的温度、流变学性质不同所造成的;部分呈雾迷状的过渡关系,说明岩浆混合作用的不均一性且局部混合作用均一化程度较高^[14];包体中反向脉的出现也说明了不同岩浆混合阶段的存在^[13,14]。

图版 I Plate I



- 1. 包体形态多样, 主要呈块状、椭圆形, 部分呈尖棱状和拉长状, 局部可见棱角状外形
- 2. 包体边界呈弯曲状, 说明寄主岩石与基性岩浆为塑性状态下的混合, 并见定向细脉和寄主岩石针长石结晶
- 3. 包体与寄主岩石接触面为平滑状, 说明岩浆混合向较均匀方向发展
- 4, 5. 包体中普遍发育寄主岩石中针长石捕虏晶, 部分边缘被熔体呈眼球状包裹, 说明包体是熔体岩浆注入长英质岩并发生混合、流动搅拌后分散在寄主岩石中的细晶岩浆固结而成

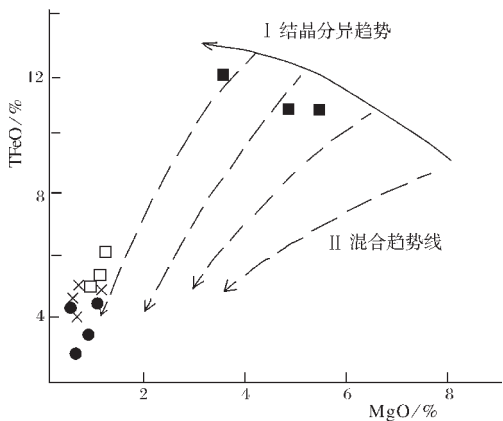


图5 TFeO-MgO图(据Zorpi,1989)(图例同图3)
Fig.5 Diagrams of TFeO-MgO

(2)包体具典型的岩浆型结构、淬火结构,有时见冷凝边,具针状鳞灰石,说明包体不是围岩捕虏体和部分熔融的残留体,而是基性岩浆注入酸性岩浆房的产物,针状鳞灰石

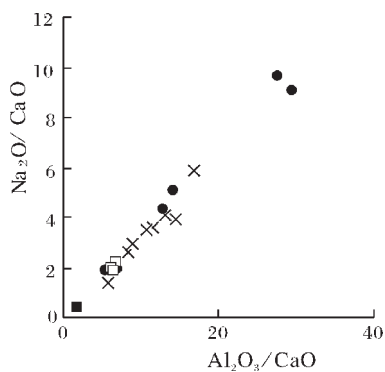


图6 Na₂O/CaO - Al₂O₃/CaO图(图例同图3)
Fig.6 Diagrams of Na₂O /CaO-Al₂O₃/CaO

和锆石延长系数较大,均说明岩浆快速冷却的特点^[7-17]。
(3)包体中出现不平衡矿物组合,如寄主岩石的钾长石捕虏晶的普遍发育和被熔蚀呈眼球状的石英捕虏晶,说明包

表3 早石炭世激流河花岗岩类微量和稀土元素分析结果

Table 3 Trace element and REE analyses of the Early Carboniferous Jiliuhe granitoids

样 号	岩 性	Pb	Li	Rb	Cs	Cr	Ni	Sr	Ba	V	Sc	Sn	Be	Nb	Ta	Zr	Hf	U	Th	La
P ₁₀ WL136	中粗粒 二长 花岗岩	25.0	13.5	122	2.68	31.7	5.1	380	920	23	4.6	2.2	2.7	10	1.8	180	4.4	2.2	19	29.2
P ₃₁ TC16-10		18.5	7.0	114	2.3	40.5	5.2	104	1335	14	4.6	2.9	2.0	9.0	0.84	210	6.2	\	12.3	29.4
P ₃₂ TC16		9.0	9.8	88.3	4.2	34.8	4.4	225	950	42	6.6	2.1	2.6	9.4	1.3	160	5.2	\	8.3	21.6
P ₃ WL1	中细粒 似斑状 二长 花岗岩	\	15.0	107	3.58	28.9	6.0	320	1000	14	2.7	1.9	0.79	9.8	1.4	200	5.2	1.5	12	31.9
WL524		\	23.8	115	4.68	40.9	9.6	420	720	53	8.4	4.1	2.0	12	1.6	150	5.5	2.5	19	46.6
WL529-3		\	11.4	109	4.58	50.4	8.0	160	230	26	5.6	4.9	2.0	20	2.4	190	7.4	1.2	20	43.7
P ₃₁ TC77		11.0	17.1	124	6.8	37.8	5.8	130	880	20	4.0	3.0	2.1	7.6	1.2	120	3.4	\	8.0	15.7
P ₃₁ TC84		14.0	34.9	123	4.3	50.2	6.0	170	840	27	4.7	2.7	2.4	10.0	0.99	110	4.1	\	11.2	23.3
P ₃₁ TC88		8.0	26.6	114	4.6	45.6	4.7	240	1000	34	4.6	3.2	2.1	9.8	1.3	120	4.0	\	2.9	20.6
P ₃₁ TC72		10.0	17.8	93.6	2.4	48.6	6.1	130	740	20	4.9	4.5	1.2	6.8	0.68	130	3.3	\	8.5	26.6
WL599	中粗粒花岗岩 闪长岩	17.0	459	24.5	4.3	15.0	11.8	2150	210	42	5.9	1.0	2.3	4.9	0.5	82	2.2	\	5.9	27.7
WL598		23.0	18.7	84.2	3.0	31.6	6.0	340	1100	49	6.9	1.7	2.3	9.2	1.0	160	4.9	\	8.0	30.9
P ₃₅ TC28-1	包 体	0.1	23.2	27.9	3.4	24.6	4.0	270	340	290	39	0.98	2.0	10	2.1	250	7.5	\	5.9	32.3
P ₃₅ TC126-1		0.1	21.9	27.1	3.0	47.6	11.6	360	660	220	41	0.82	2.6	9.6	1.9	210	5.8	\	2.7	30.5
样 号	岩 性	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE	δ Eu			
P ₁₀ WL136	中粗粒 二长 花岗岩	51.6	5.81	21.7	4.6	0.66	2.81	0.45	2.47	0.52	1.39	0.22	1.25	0.18	17.6	140.46	0.53			
P ₃₁ TC16-10		60.2	5.52	20.1	3.82	0.78	3.81	0.68	4.27	0.81	2.55	0.36	2.19	0.31	18.9	153.70	0.63			
P ₃₂ TC16		49.5	3.65	13.4	2.68	0.63	2.31	0.41	2.8	0.61	1.77	0.24	1.5	0.18	12.4	113.68	0.77			
P ₃ WL1	中细粒 似斑状 二长 花岗岩	57.2	5.21	24.4	3.86	0.64	2.82	0.46	2.98	0.61	1.8	0.24	1.52	0.2	12.5	146.34	0.57			
WL524		84.3	7.6	32.4	5.66	0.93	3.61	0.65	3.39	0.62	1.81	0.25	1.58	0.19	15.3	204.89	0.60			
WL529-3		78.2	8.14	33.2	5.45	0.58	3.57	0.6	3.57	0.68	1.95	0.3	1.88	0.25	14	196.08	0.38			
P ₃₁ TC77		46.2	2.4	8.33	1.87	0.59	1.9	0.34	2.19	0.49	1.48	0.25	1.6	0.24	11.1	94.68	0.96			
P ₃₁ TC84		45.6	4.33	15.5	2.99	0.66	2.69	0.48	3.29	0.72	2.17	0.34	2.25	0.31	16.7	121.33	0.71			
P ₃₁ TC88		41.2	4.25	17.2	3.43	0.73	3.44	0.6	3.95	0.87	2.53	0.38	2.34	0.32	18.5	120.34	0.65			
P ₃₁ TC72		61.5	4.30	14.5	2.62	0.64	2.60	0.40	2.54	0.52	1.48	0.2	1.34	0.19	11.1	130.53	0.75			
WL599	中粗粒花岗岩 闪长岩	42.6	4.84	18.8	3.19	0.61	3.49	0.58	2.97	0.63	1.78	0.29	1.9	0.29	20.8	130.47	0.56			
WL598		59.1	4.96	18.5	3.51	0.97	3.51	0.52	3.05	0.62	1.85	0.3	2.17	0.32	15.7	145.98	0.85			
P ₃₅ TC28-1	包 体	61.6	6.67	30.5	6.09	2.27	7.96	1.07	6.48	1.27	3.45	0.5	3.21	0.53	29.1	193.00	1.01			
P ₃₅ TC126-1		60.8	5.86	28.6	5.78	1.75	6.84	0.98	5.6	1.06	3.04	0.47	2.93	0.43	25.4	180.34	0.86			

注:样品由中国地质调查局宜昌地质矿产研究所分析,2002;微量和稀土元素含量10⁻⁶

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的^[7-10]。

3.2 包体混合成因岩石地球化学特征

在反映岩浆演化方式的TFeO—MgO图解(图5)中,各寄主岩石与包体沿壳幔混合趋势演化线断续分布^[5,6,11];在Na₂O/CaO—Al₂O₃/CaO图(图6)上也共同构成线性很好的混合线。包体和各寄主岩石的CaO、K₂O、Al₂O₃、FeO、Fe₂O₃、TiO₂与SiO₂呈良好的线性关系,也说明混合作用的存在^[8,10,11]。

包体与寄主岩石的稀土、微量元素标准化曲线形态相似(图3、图4),具轻稀土富集、Eu异常较弱—弱(δEu为0.56~1.01,平均0.70)的特点,与吴利仁的壳幔岩浆混合的特点具可比性^[10],且包体稀土总量高于寄主岩石,在稀土配分曲线图上位于寄主岩石的上方,表明微粒闪长质包体不是岩浆结晶分异的堆积体^[12]。在分异指数(DI)—δEu相关图(图7)中,包体与各寄主岩石均落入岩浆混合趋势线(MM)与分离结晶趋势线(FC)之间,说明岩浆混合和分异作用同时存在^[10],在相容

元素Hf—Zr、Ta—Nb协变图(图8)上,各寄主岩石与包体间存在较好的线性关系,也说明基性与酸性岩浆之间存在混合和分异作用^[5-13]。这也与寄主岩石从中粗粒花岗岩闪长岩→中细粒似斑状二长花岗岩→中粗粒二长花岗岩的变化相吻合。

可见,暗色微粒包体与寄主岩石之间不仅在岩相学上,而且在地球化学上均具有混合的痕迹,包体可能是混合岩浆的基性端元部分。

3.3 地质意义

激流河岩体形成于早石炭世同碰撞—岩浆弧构造环境,显示出I型花岗岩的特点^①,是古亚洲洋动力体制下造山作用的产物^[19,20]。赋存于岩体中的微细粒闪长质包体,岩相学、岩石化学特征表明为岩浆混合成因的MME型微粒包体。来源于地幔的基性岩浆和来源于深部地壳的中酸性岩浆在混合过程中既保留了各自源区的地球化学特点,又在岩浆混合均一化过程中表现出地球化学相似性。包体与寄主岩石同时表现出地球化学特征的相似性和明显的非同源性特点,反映

① 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院.1:25万阿龙山镇幅区域地质调查报告.2003.

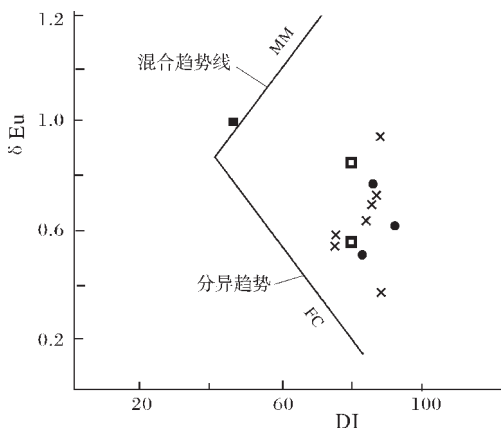


图7 分异指数(DI)- δEu 相关图(图例同图3)

Fig.7 Differentiation index (DI) vs. δEu diagrams

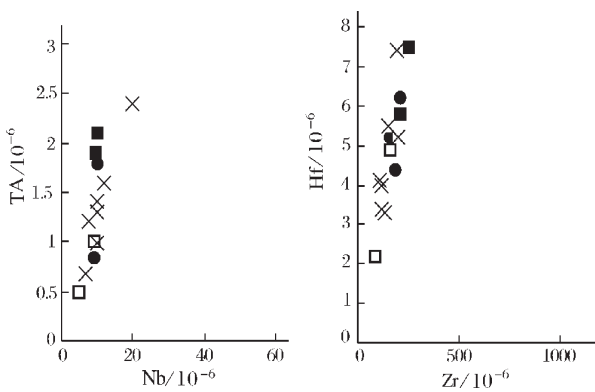


图8 微量元素Hf-Zr、Ta-Nb元素对协变图(图例同图3)

Fig.8 Covariant diagrams of the trace element pairs Hf-Zr and Ta-Nb

了2种不同源区岩浆混合的结果。在内蒙古阿龙山地区早石炭世激流河花岗岩中识别出岩浆混合成因的MME型包体,对于从深部壳-幔相互作用角度来分析本区晚古生代可能经历的大陆地壳垂向生长和演化具有重要意义^[20]。

参考文献:

[1]Didier J. Granites and their enclaves[M]. Elsevier,Amsterdam, 1973.393.
[2]Chappell B W, White A J R. Two contracting granite types[J]. Pacific Geol., 1974,8:173-174.
[3]Chappell B W, White,A J R. Restite enclaves and the restite model[A]. In: Didier J, Barbarin B eds. Enclaves and granite petrology[C]. Elsevier,Amsterdam,1991.375-381.
[4]Neves S P,Vauchez A.Successive mixing and mingling of magmas in a plutonic complex of Northeast Brazil[J]. Lithos,1995,34: 275-299.
[5]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,(5):261-266.
[6]Castro A, Moreno-Ventas I, DeLaRosa J D著.汤质华译.花岗岩类岩石中英云闪长岩包体的多阶段结晶作用:岩浆混合作用推论[J].国外花岗岩地质与成矿,1993,(4).
[7]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[A].见:肖庆辉,邓晋福,马大铨等著.花岗岩研究思维与方法[M].北京:地质出版社,2002.53-70.
[8]曲晓明,王鹤年.郭家岭岩体壳幔混合作用与侵位机制的动力学研究[J].地质科学,1997,(4):446-453.

[9]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,(2):161-166.
[10]江万,莫宣学,赵崇贺,等.青藏高原冈底斯中段花岗岩类及其中铁镁质微粒包体地球化学特征[J].岩石学报,1999,14(1):89-97.
[11]曲晓明,王鹤年,饶冰,等.郭家岭花岗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.
[12]成中梅,路凤香,李昌年,等.河北寿王坟花岗闪长岩暗色微粒岩石包体的成因[J].现代地质,2003(1):20-26.
[13]王德滋,周新民,等.中国东南部晚中生代花岗岩质火山-侵入杂岩成因与地壳演化[M].北京:科学出版社,2002.131-153.
[14]邵济安,韩庆军,张履桥,等.陆壳垂向增生的两种方式:以大兴安岭为例[J].岩石学报,1999(4):600-605.
[15]刘成东,张文秦,莫宣学,等.东昆仑约格鲁岩体暗色微粒包体特征及成因[J].地质通报,2002,21(11):739-744.
[16]王晓霞,王涛,卢欣祥,等.秦岭梁-老君山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.
[17]郝辉.花岗岩类中的闪长质微粒包体[J].沈阳黄金学院学报,1995,14(3):316-319.
[18]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.
[19]唐克东,邵济安,李景春,等.吉林延边缝合带的性质与东北亚构造[J].地质通报,2004,23(9-10):885-891.
[20]李锦轶.中国大陆地壳“镶嵌与叠覆”的结构特征及其演化[J].地质通报,2004,23(9-10):986-1004.
[21]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.