

# 吉林太古宙花岗岩类构造-岩浆演化<sup>①②</sup>

葛文春 孙德有 林强 吴福元

(长春地质学院地球科学系)

**提 要** 本文较为详细地研究了吉林太古宙花岗质岩石的地质,地球化学及构造特征,将花岗质岩石划分为三个岩浆演化系列,它们分别与不同的构造变形阶段相对应,即变形前-同变形壳源岩浆分异系列、晚变形深熔岩浆分凝系列和变形后壳源岩浆分异系列。通过上壳岩、花岗岩的变质作用、变形作用、岩浆活动的综合研究,讨论了麻粒岩变质作用与 TTG 岩浆形成于岛弧或活动大陆边缘的大地构造环境,剪切变形对深熔作用的影响,提出辉石花岗岩类的形成与造山带的伸展拆离作用有关。

**关键词** 花岗岩 岩浆系列 剪切生热 深熔作用 伸展拆离

花岗质岩石是构成太古宙高级区和花岗岩-绿岩带的重要组成部分,其岩浆作用与变质作用,构造变形之间的关系是目前花岗质岩石研究的前沿和热点问题之一,这一研究对探讨早前寒武纪时期的大地构造环境和地壳演化过程具有重要意义。本文通过对遭受多期变质,变形改造的吉林太古宙花岗岩的研究,对该区花岗质岩浆作用与变质作用,构造变形之间的成因联系及地壳演化进行了讨论。

## 1 变质上壳岩系

吉林南部太古宙变质上壳岩系主要分布于桦甸的夹皮沟-白山镇一带,呈几个大的残块存在于花岗质岩石之中(图 1),为一套基性-中酸性岩石组合。主要岩石类型有黑云二辉麻粒岩,角闪二辉麻粒岩、黑云紫苏麻粒岩、斜长角闪岩、石榴黑云斜长片麻岩、矽线石榴黑云斜长(二长)片麻岩、黑云变粒岩及磁铁石英岩等,此外尚有少量钙硅酸盐岩呈透镜状存在于石榴黑云斜长片麻岩中。原岩恢复表明,该变质上壳岩系为一套基性-中酸性火山-沉积岩系变质变形的产物<sup>[1,2]</sup>

① 国家自然科学基金资助项目(49070128)

② 收稿日期 1996.1.19 改回日期 1996.4.12



图 1 吉林早前寒武纪花岗质岩石分布图

Fig. 1 The distribution of the early pre-cambrian granitic rocks in Jilin province

根据变质上壳岩系中麻粒岩类、富铝片麻岩类及钙硅酸盐岩的矿物转化关系,将其麻粒岩相变质作用划分为三个变质阶段(表 1):早期角闪岩相变质阶段、峰期麻粒岩相变质阶段和晚期角闪岩相变质阶段。各变质阶段的温度、压力计算结果(表 1)表明,形成麻粒岩的变质作用 PTt 轨迹为逆时针形式,与 IBC 型 PTt 轨迹相似(图 2)<sup>[3]</sup>。上壳岩系发生强烈的变形作用,具有近 EW 向片麻理。镜下观察发现,峰期阶段的矿物组合显示强烈塑性变形特征,反映峰期阶段以塑性变形为主,其构造应力场以南北向挤压为特征。

表 1 麻粒岩相各变质阶段矿物共生、可能的变质反应及温、压条件

Table 1 Mineral assemblages, possible metamorphic reactions and P-T conditions of the different metamorphic stages of granulite facies

		基性麻粒岩类	富铝片麻岩类	钙硅酸盐岩	温度 (°C)	压力 (GPa)
早期阶段		Pl+Hp+Q±Bi	Ky+Bi+Pl+Q±Kf		575~600	0.59
峰期阶段	矿物共生	Hy+Di+Pl+Bi±Hb±Q±Kf	Sil+Gt+Pl+Q+Kf	Pl+Scp+Di	800-850	0.85
		Hy+Pl+Nb+Bi				
	Hy+Di+Pl+Hb+Bi+Gt	Gt+Bi+Pl+Q±Kf				
变质反应	Hb+Q→Hy+Di+Pl+H <sub>2</sub> O	Bi+Q+(Mus)→Gt+Sil+Kf				
	Hb+Q→Hy+Pl+H <sub>2</sub> O	+H <sub>2</sub> O				
	Hb+Bi+Q→Hy+Pl+Kf+H <sub>2</sub> O					
晚期阶段	矿物共生	Gt+Q±Kf	Kf+Pl+Kf+Q	Gt+Q	620	0.70
		Bi+Pl→Gt+Q+Kf+H <sub>2</sub> O				
	Di+Pl→Gt+Q	Sil→Ky	Di+Pl→Gt+Q			

## 2 变形前-同变形壳源岩浆分异系列-TTG 片麻岩类

TTG 片麻岩类是本区太古宙花岗岩质岩石的主体,据野外接触关系,构造特征及岩浆演化特点等,将其划分为两类。

### 2.1 英云闪长质片麻岩类

该类岩石主要分布于太古宙杂岩体的南北两侧及东部夹皮沟地区(图 1)由角闪石英闪长质、英云闪长质、花岗闪长质及奥长花岗质片麻岩组成,其中以前两种岩石为主。上述各岩石以中粒-中细粒粒状变晶结构为主,暗色矿物为角闪石,其次为黑云母和少量透辉石,具有侵入和渐变过渡的双重接触关系。地质学、岩石学及地球化学特征显示<sup>①</sup>起源于下地壳角闪质岩石部分熔融形成的英云闪长质岩浆在结晶过程中,由于辉石、角闪石和斜长石等矿物相的分离而形成奥长花岗岩演化趋势(图 3)。该类岩石的 Sm-Nd 同位素模式年龄为 2840Ma,代表英云闪长质岩浆的形成年龄。

由图 1 可以看出,英云闪长质片麻岩类存在三个方向片麻理:西部(白山镇以西)为 NEE 向,白山镇地区为 SN 向,而夹皮沟地区 NW 向片麻理为后期剪切变形改造的结果<sup>[3]</sup>。

在西部地区,若排除后期变形改造的影响,英云闪长质片麻岩类仍显示 NEE 向片麻理。白山镇地区,英云闪长质片麻岩类在后期变形并不发育的部位,其 SN 向片麻理仍很发育、并以变晶结构为主,粒间无细粒集合体,局部有岩浆结晶结构残留。在后期变形较弱的该类岩石中,斜长石、角闪石呈半自形-他形,以他形颗粒为主,颗粒边界较平直或呈曲线状,角闪石、斜长石、黑云母呈半定向排列,塑性变形特征不明显,说明该岩石的变形作用是以粒间滑移为主要

① 林强,等。吉林早前寒武纪花岗岩类构造岩浆演化体系(科研报告),1993

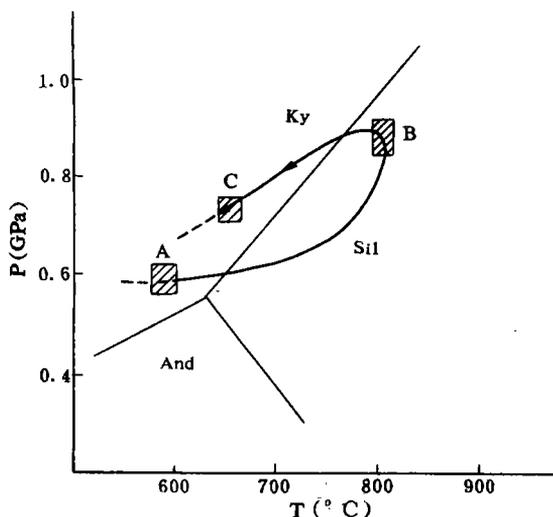


图2 麻粒岩变质作用的PTt轨迹  
Fig. 2 Metamorphic PTt path of granulites

形较弱的地段、花岗闪长质片麻岩的片麻理极不规则,在很小范围内变化极大,显示紊乱片麻理的特点。该类岩石中常见由黑云母定向排列构成的片麻理弯曲而呈现的不规则褶皱现象。镜下观察发现,具有上述构造特征的岩石均没有任何晶内变形,仍显示火成结构的特征,板状斜长石呈定向一半定向排列,与黑云母排列方向一致。矿物可以分出两个粒级,大颗粒斜长石、黑云母呈半自形,小颗粒集合体主要由石英组成,含有少量斜长石,与大颗粒斜长石之间界线清楚,反映细粒矿物不是大颗粒斜长石变形产物,而是岩浆结晶而成。上述现象是已经结晶并含有一定量熔体的花岗闪长质晶粥体在没有完全固结时,遭受区域变形作用的结果。

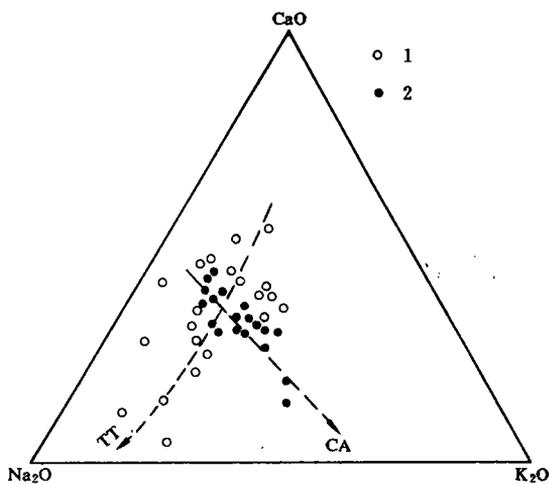
斑状花岗闪长质片麻岩的钾长石斑晶分布有两种形式:其一为不定向排列,

变形机制。该片麻理应属于高温固态变形叶理,反映英云闪长质片麻岩为该期变形前就位的侵入体。

## 2.2 花岗闪长质片麻岩类

该类岩石主要出露于白山镇及通化太平乡北部,由英云闪长质、花岗闪长质、斑状花岗闪长质-二长花岗质片麻岩组成,各类岩石多为渐变过渡关系,有时可见侵入接触关系。岩石以岩浆结晶结构清楚为特征,暗色矿物主要为黑云母,其次,出现少量角闪石。研究表明<sup>[4]</sup>,分异出英云闪长质片麻岩类的残余岩浆通过斜长石、黑云母的分离而形成钙碱性演化趋势(图3)

花岗闪长质片麻岩类具有不同于变形前英云闪长质片麻岩类的构造特征。在没有叠加后期变形或变



1. 英云闪长质片麻岩类 2. 花岗闪长质片麻岩类

图3 TTG片麻岩类CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O图解

Fig. 3 CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O diagram for TTG gneisses

斑晶长轴无优选定向,其间的暗色矿物也无定向特点;其二为定向排列,与黑云母一起构成岩石的片麻理,产状变化较大,局部呈漩涡状分布。斑状二长花岗质片麻岩侵入花岗闪长质片麻岩,呈现岩浆流动变形构造,反映该片麻理是在高岩浆比例下由区域变形作用形成的岩浆叶理。

上述 TTG 岩类虽未遭受麻粒岩相变质作用,但遭受了高角闪岩相变质作用。高角闪岩相变质作用在 TTG 岩类中有不同的表现:(1)岩浆结晶的斜长石和透辉石发生反应,生成角闪石和蠕虫状石英交生体,(2)岩浆结晶角闪石转变为透辉石。这种在同一期变质条件下矿物的不同转化关系,可能是由于变质作用过程中流体(水)的不均匀分布所致<sup>[3]</sup>。

### 3 晚变形深熔岩浆分凝系列—淡色块状花岗岩类

淡色块状花岗岩类呈脉状、不规则状及岩株状分布于花岗闪长质片麻岩类之中,总体上呈近 SN 向展布,主要由斑点状钾长花岗岩,淡色块状花岗岩,片麻状钾长花岗岩及少量钠长花岗岩组成。由花岗闪长质片麻岩类经深熔作用形成的深熔岩浆,由于分凝程度不同而形成钙碱性演化趋势。

露头尺度上,该岩类有三种产出形态,(1)在黑云母花岗闪长质片麻岩中呈褶皱状或沿着花岗闪长质片麻岩的片麻理分布,与主岩渐变过渡;(2)呈脉状沿剪切变形的 C 面分布,与片麻岩界线截然;(3)分布于褶皱的转折部位,这种情况比较少见。该类岩石的片麻理表现为继承原岩的片麻理或岩浆就位过程中的流动片麻理。相同的原岩(花岗闪长质片麻岩),在高角闪岩相变质作用条件下,淡色块状花岗岩类发育程度不同。在岩浆结晶的斜长石与透辉石反应生成角闪石和蠕虫状石英比较发育的地区,深熔作用相对比较发育,而在岩浆结晶角闪石转变为透辉石的地区,深熔作用则不发育,反映变质流体(水)对深熔作用的发生有重要的影响。在 SN 向剪切带发育部位,淡色块状花岗岩发育并沿 SN 向剪切带分布,而剪切变形不发育的部位,则淡色块状花岗岩不发育。由此可见,深熔作用的发育与 SN 向剪切变形,高角闪岩相变质作用密切相关。

### 4 变形后壳源岩浆分异系列—辉石花岗岩类

该类岩石主要呈南北向分布,其形成晚于淡色块状花岗岩类,但在空间上二者紧密伴生。主要由石英闪长岩、石英二长岩、二长花岗岩及钾长花岗岩组成,由来源于地壳深部的辉石花岗岩浆通过辉石、角闪石和斜长石的不同比例分离而形成钙碱性演化趋势。岩石以半自形粒状结构为主,有时可见包含结构、嵌晶含长结构及填间结构等典型岩浆结晶结构。该类岩石多以块状构造为主,局部见有岩浆流动或后期 NW 向变形构造,仅遭受了后期低角闪岩相和绿片岩相变质作用的改造。地质学、岩石学及地球化学特征表明,辉石花岗岩类不同于 TTG 岩类,不是 TTG 岩系的一部分,而是一套具有独立岩浆起源,演化特征的岩浆杂岩,其成岩年龄为

2440Ma。

## 5 岩浆作用与变质作用,构造变形的成因联系

### 5.1 麻粒岩相变质作用与英云闪长岩浆的形成

麻粒岩相变质作用的热源与形成时的大地构造环境是目前十分活跃的研究领域。近年来的研究已初步证实,单纯靠地壳自身放射性元素衰变难以产生麻粒岩相变质所需的热量<sup>[5]</sup>,因此深部携热岩浆或流体的上升是麻粒岩相变质作用发生必不可少的条件<sup>[6]</sup>。麻粒岩相变质作用形成的背景主要有两类:其一为挤压构造环境,与安第斯型大陆边缘相当<sup>[7]</sup>;另一类认为麻粒岩形成于引张环境,类似于美国的盆岭省<sup>[8、9]</sup>,二者都强调岩浆的上涌和垫托是麻粒岩相变质作用发生的重要条件,问题的焦点是这些岩浆反映的是岛弧型或大陆边缘型建造,还是伸展型建造。

本区麻粒岩相变质作用的  $PTt$  轨迹显示,早期升温升压,  $+\Delta T > +\Delta P$ , 随后温度、压力同时达最大值;发生峰期阶段麻粒岩相变质,晚期阶段的降温降压过程以温度的显著降低为特点,压力变化较小。峰期阶段矿物组合具有强烈塑性变形特征,其片麻理呈近 EW 向展布,反映该期变形以 SN 向挤压为主要变形机制。上壳岩系麻粒岩相变质作用发生于 2800~2900Ma,本区 TTG 岩类正是在这一时期或稍晚阶段(2840Ma)形成的,但未经受麻粒岩相变质作用。因此,笔者认为,麻粒岩相变质作用发生于挤压性构造环境,变质作用与 TTG 岩类岩浆都受控于深部热源的贡献,这样的挤压环境可能相当于俯冲带的岛弧或活动大陆边缘。

### 5.2 东西向变形与 TTG 岩浆的侵位

#### 5.2.1 英云闪长质岩类变形前侵位阶段

在俯冲大地背景下,由角闪质岩石部分熔融形成的英云闪长质岩浆上侵到 20Km 左右深度定位,通过结晶分异作用形成奥长花岗岩演化趋势。

岩体固结不久,且仍处于高温塑性状态时,由于后继岩浆的同变形侵位,形成本区英云闪长质片麻岩类的高温固态叶理。这种叶理在白山以西为 NEE 向,而白山及以东地区则为近 SN 向,但它们具有相同的特征和成因,反映岩浆就位后曾存在两种构造线方向。西部为南北向推覆挤压,东部由于紧邻陆缘,可能有一定的斜向或走滑变形,从而形成两个方向构造线的共存,但这两个方向的构造线仍受统一的应力场所控制。

#### 5.2.2 花岗闪长质岩类同变形侵位阶段

花岗闪长岩类岩石是 TTG 岩浆晶出英云闪长质岩类的残余岩浆进一步演化的产物<sup>[4]</sup>。该类岩石在侵位结晶时,变形作用十分强烈,从而使岩石发育大量的岩浆叶理构造或同变形侵位构造,如紊乱片麻理,不规则褶皱及钾长石斑晶的定向,涡流构造等,但岩浆结晶结构仍十分清楚。花岗闪长质岩浆存在多次脉动,其形成演化过程中,变形作用一直贯穿始终。也正是由于这次同变形侵位使刚固结的英云闪长质岩类发生侵位后的高温固态变形。

### 5.3 剪切生热与淡色块状花岗岩的形成

本区高角闪岩相变质作用的温压条件(660~670 C、0.6GPa)可以使 TTG 岩类发生初始

熔融,但不会形成大量淡色块状花岗岩。淡色块状花岗岩与剪切变形的关系表明剪切生热对淡色块状花岗岩的形成有着重要的影响。

剪切生热是指岩石遭受剪切变形时,其机械可能通过内部的粘性应力转变成热能,如果这种热能超过由于对流或热传导传出的热量,物质更加热甚至熔融,一系列理论计算和实验事实已经证明剪切生热对岩石的熔融有着重要的影响<sup>[10~12]</sup>。本区变形,深熔作用的研究表明,剪切变形作用可使岩石温度升高约 50~100℃。在剪切变形发育部位,岩石温度可达 700~750℃,这种温度条件可使 TTG 岩类发生大量熔融。而温度的升高会降低岩石的抗应变强度,使应变速率增加,这又将促使温度的进一步升高,最后导致岩石的熔融(热失稳, Thermal runaway),淡色块状花岗岩类与剪切变形带的密切伴生,说明剪切生热对深熔作用有着重要的影响。在熔融的早期,岩石仍具备未熔前的物理性质,持续的韧性剪切使剪切物理上的岩浆逐渐发生富集,

当岩浆比例达到临界流变比例(RCMP),岩石的物理性质发生重要变化——机械失稳(Mechanical runaway),此时岩浆发生分凝。因此,热失稳和机械失稳是岩浆产生和聚集的两个重要过程。由此看来,构造作用不仅可以促进岩石的熔融,而且还为熔体的迁移、富集和侵位提供了空间,构造作用与岩浆作用是互为反馈的循环体系。

#### 5.4 辉石花岗岩类的构造意义

辉石花岗岩类形成于 2440Ma,稍晚于淡色块状

花岗岩类(2457Ma)<sup>[13]</sup>,但在空间上与钾长花岗岩类密切伴生,均呈近 SN 向分布,反映二者可能形成于同一应力场控制下的构造环境,应属于太古宙末期。

近年来的研究表明,深熔钾长花岗岩类的形成主要与陆内调整有关,是克拉通化的标志<sup>[14,15]</sup>。与吉南相邻的辽北地区的研究暗示,本区太古宙晚期可能存在碰撞造山过程<sup>[16]</sup>,这种碰撞在很大程度上可能与“A”型俯冲相似。因此,辉石花岗岩类是陆内碰撞剪切深熔作用晚期陆壳进一步演化的产物。

辉石花岗岩类的化学成分在 SiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 图解上位于碱性-亚碱性系列过渡区范围内,基本相当于 Lameyre 等的造山二长岩系列。R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> 多离子图解(图 4)显示,该类岩石主要位于高钾钙碱性花岗岩区,部分点有所偏移,基本相当于欧洲加里东带的钙碱性花岗岩。这种花

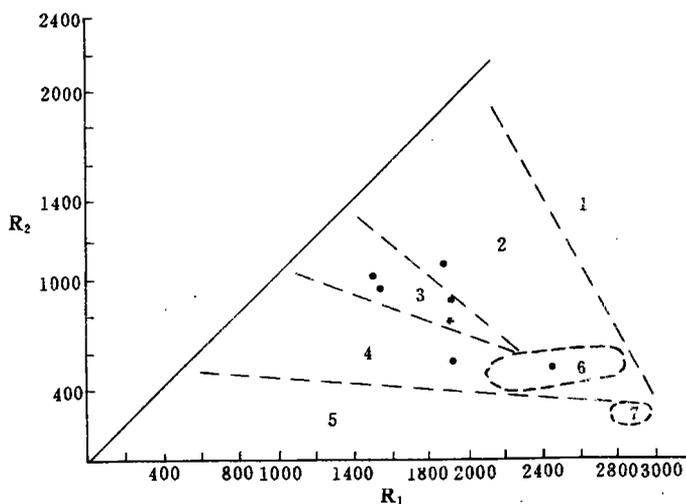


图 4 辉石花岗岩类岩石的 R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> 图解

Fig. 4 R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> diagram for pyroxene granites

岗岩在很大程度上与造山带伸展崩落作用有关<sup>[17]</sup>。

表 2 吉林太古宙花岗岩类构造—岩浆演化简表

Table 2 The tectonic and magmatic evolution sequences of the Archean granitic rocks in Jilin province

同位素年龄(Ma)	变质作用	岩浆作用	构造作用
2440		辉石花岗岩就位	南北向断裂
2457 } 2640	高角闪岩相	钾长花岗岩就位 英云闪长质片麻岩发生深熔作用	南北向剪切变形
2840 } 2900 (2950)	麻粒岩相 { 晚期 峰期 早期	英云闪长岩侵位、结晶 英云闪长岩浆形成	东西向褶皱作用上壳岩系强烈变形
>2900 (2950)		中基性火山—沉积岩的形成	

## 6 结论

综上所述,吉林南部太古宙花岗质岩石是地球早期岩石圈地壳不同演化阶段的产物,其岩浆作用与变质作用、构造变形密切相关(表 2)。麻粒岩相变质作用,英云闪长岩浆的形成与俯冲大地构造环境有关;深熔作用与高角闪岩相变质作用,剪切变形紧密伴生,构造作用与岩浆作用是互为反馈的循环体系;淡色块状花岗岩并不是太古宙克拉通化的唯一标志,辉石花岗岩类代表本区太古宙最后一次岩浆活动,与造山带的伸展拆离作用有关,可作为本区太古宙克拉通化的标志,这一认识对华北地台早前寒武纪地壳演化研究将具有一定的启示。

## 参考文献

- 1 刘建民,戴薪义,陈洪江. 吉林桦甸老金厂地区太古代麻粒岩相变质杂岩的岩石学特征及其时代讨论. 吉林地质, 1983, (1): 1~14
- 2 毕守业. 吉林桦甸县老金厂一带太古宙高级变质杂岩体地质特征. 前寒武纪地质(第 4 号), 北京: 地质出版社, 1989, 39~49
- 3 葛文春, 吴福元, 孙德有. 吉林夹皮沟地区变质作用与地壳演化. 长春地质学院学报, 1993, (3): 299~305
- 4 孙德有, 葛文春, 吴福元, 周永胜. 吉林太古宙花岗闪长质片麻岩类的成因讨论. 世界地质, 1995, (3): 17~20
- 5 Ashwal L D, Morgan P and Hoish T D. Tectonics and heat sources for granulite metamorphism of supra crustal beering terraines. Precambrian Res., 1992(55): 525~538

- 6 Bohlen S R. On the formation of granulites. *J. metamorphic Geol.*, 1991, (9): 223~229
- 7 Bohlen S R and Merger K. Origin of granulite terranes and the formation of lowermost continental crust. *Science*, 1989, (244): 326~329
- 8 Sandiford M A and Powell R. Deep crustal metamorphism during continental extension: ancient and modern examples. *Earth planet. Sci. Lett.*, 1986, (9)151~158
- 9 Sandiford M. Horizontal structures in granulite terrains: a record of mountain building or mountain collapse?. *Geology*, 1989, (17): 449~452.
- 10 吴福元. 花岗岩熔融的局部体系及熔融序列. 长春: 吉林科学技术出版社, 1994
- 11 蔡学林, 袁学诚. 推覆构造与花岗岩成因问题. *地质科技通报*, 1990, (5): 32~36
- 12 Nelson S A. The Possible role of thermal feedback in the eruption of Siliceous magmas. *J. Volcano Gethermal Res.*, 1981, (11): 127~137
- 13 刘大瞻, 刘跃天, 王晓动, 曲森, 马之国. 对吉林省太古宙的新认识. *长春地质学院学报(纪念吉林省地质学会成立30周年)*, 1992, 22: 45~51
- 14 Condie K C. *Archean greenstone belt*. Elsevier Amsterdam, 1981
- 15 林强, 吴福元, 刘树文, 葛文春, 孙景贵, 尹京柱. 华北地台东部太古宙花岗岩. 科学出版社, 1992
- 16 吴福元. 辽北太古宙岩石形成的构造背景与地壳演化. *辽宁地质*, 1991, (2): 148~157
- 17 Dewey J F. Extensional collapse of orogens. *Tectonics*, 1988, (7): 1123~1139

## TECTONIC AND MAGMAIC EVOLUTION OF THE ARCHEAN GRANITIC ROCKS IN JILIN PROVINCE

*Ge Wenchun Sun Deyou Lin Qiang Wu Fuyuan*

*(Dept. of Earth Sciences, Changchun University of Earth Sciences)*

### Abstract

The detail studies on the geology, geochemistry and structure of the Archean granitic rocks in Jilin province indicate that three magmatic evolution series, i. e. predeformational—syndeformational crustal sourced magma series, syndeformational anatexic magma series and postdeformational crustal sourced magma series, can be identified. Each of them corresponds to one of deformational stages. The synthetical studies on the metamorphism, deformation and magmatism of the supracrustal rocks and granitic rocks show that the granulite facies metamorphism and the formation of TTG magma occurred in tectonic settings of island arc or active continental border, that shear deformation had an important effect on the anatexis, and that the origin of pyroxene granites had relationship with the extension and collapse of the mountain—building belt.