

吉林南部地区老岭群变质作用特征研究

邢树文¹⁾, 李军²⁾, 马玉波¹⁾, 孙永杰²⁾, 李孝文³⁾, 李宏茂²⁾, 张增杰¹⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京, 100037;

2) 吉林省地质调查院, 吉林长春, 130061;

3) 吉林省通化地质矿产勘查开发研究院, 吉林通化, 134001

摘要: 吉林南部地区老岭群变质矿物较为发育, 本文通过对其中发育的变质矿物进行详细鉴定和大量探针分析, 将老岭群下亚群主要变质矿物划分为两个世代, 分别代表两期变质作用 M_1 和 M_2 。结合研究区老岭群变质矿物组合、分布特征以及变质相带的研究, 认为 M_1 为中-低温区域动力热流变质作用, 可以划分为低绿片岩相和高绿片岩相, 而 M_2 为局部热变质作用, 可以划分为低绿片岩相、高绿片岩相及低角闪岩相。综合研究认为吉南地区老岭群下亚群变质作用由早到晚, 范围逐渐缩小, 强度逐渐降低的特点, 反映出了该地区古元古代地壳由活动向稳定转化的趋势。

关键词: 老岭群; 变质作用特征; 吉林南部

中图分类号: P534.3; P588.34 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2011.03.02

A Study of Metamorphic Characteristics of Laoling Group in Southern Jilin Province

XING Shu-wen¹⁾, LI Jun²⁾, MA Yu-bo¹⁾, SUN Yong-jie²⁾, LI Xiao-wen³⁾,
LI Hong-mao²⁾, ZHANG Zeng-jie¹⁾

1) MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) Jilin Institute of Geological Exploration, Changchun, Jilin 130026;

3) Institute of Tonghua Geologic Exploration and Mineral Development, Tonghua, Jilin 134001

Abstract: Metamorphic minerals are widely developed in Laoling Group of southern Jilin Province. Based on a detailed analysis of the metamorphic minerals in rock samples, the authors hold that the main minerals in lower sub-group of Laoling Group can be divided into two generations: M_1 and M_2 , which represent two metamorphic stages. Researches on metamorphic assemblage, distribution characteristics and division of metamorphic facies show that M_1 is characterized by low-to-moderate temperature regional dynamic heat flow metamorphism which can be divided into two metamorphic facies: lower greenschist facies and high greenschist facies. By contrast, M_2 is represented by local thermal metamorphism which can be divided into three metamorphic facies: lower greenschist facies, high greenschist facies and lower amphibolitic facies. Comprehensive studies show that metamorphism of the sub-group of Laoling Group in southern Jilin Province is characterized by reduction of influencing area and decrease of intensity from early to late. This tendency suggests that the earth's crust became stable in Paleoproterozoic.

Key words: southern Jilin Province; Laoling Group; metamorphic characteristics

本文由中国地质调查局地质调查工作项目“中国东北部陆缘金、有色金属多期成矿作用和勘查选区研究”(编号: 1212010012006)资助。
收稿日期: 2011-04-08; 改回日期: 2011-04-22。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 邢树文, 男, 1963年生。研究员, 1983年毕业于长春地质学院地质系。主要从事地质矿产调查研究及管理工作。通信地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街26号。电话: 010-68320346。E-mail: xxx8844@163.com。

变质作用主要是在固体状态下，岩石中矿物种类与矿物成分、及(或)岩石显微构造发生变化的过程 (Smulikowski et al., 2007; 于振清等, 2009)。变质作用研究的重要性早就引起国内外地质学者的重视，尤其是 80 年代以后，对其研究进入了一个新的阶段 (England et al., 1984; 张寿广, 1987; 蒋少涌等, 1992; Peter, 1997; 简平, 1999; Ernst, 2001; 李鹏武等, 2007; Shigenori et al., 2010)。

吉林南部地区位于华北地台北缘东段，区内结晶基底主要由太古代 TTG 质片麻岩、变质表壳岩和古元古代集安群和老岭群变质岩组成(图 1)(张秋生等, 1987, 1988; 邢树文等, 1993; Yoshihide et al., 1985; Miao et al., 2005)，盖层为中上元古界、古生界、中生界和新生界沉积岩或火山沉积岩系，以古元古代变质岩系十分发育，与金、铅锌成矿最为密切；主要包括老岭群和集安群，并盖层为中上元古

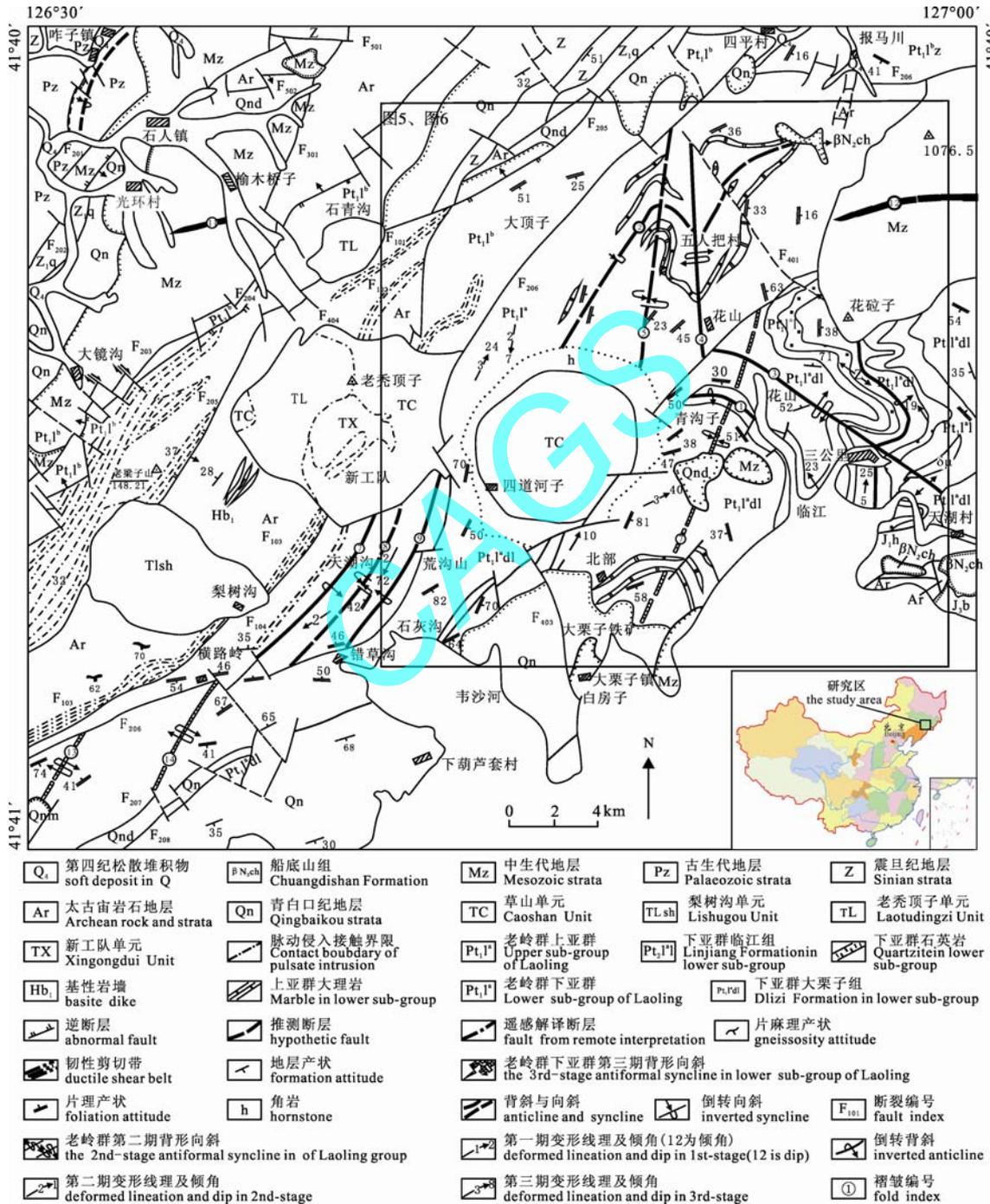


图 1 吉林南部地区构造纲要图(据邢树文等, 1993 修改)
Fig. 1 Structure outline of southern Jilin province (modify after XING Shu-wen, 1993)

界、古生界、中生界和新生界沉积岩或火山沉积岩系。除太古代、元古代变质变形作用外, 还叠加了中生代强烈的构造-岩浆作用, 使得对老岭群的变质作用认识争议较大(张秋生等, 1984)。自50年代以来, 很多研究者对该地区不同时代的变质作用进行了研究, 并取得了一系列重要成果(毕守业等, 1991; 葛文春等, 1993; 刘志宏等, 1995)。胡国巍(1990, 1994)对老岭群的变质变形史、构造演化以及叠加变质作用进行了研究; 贺高品和叶慧文(1998a, b)认为老岭群和集安群是两个变质地体的变质岩系在古元古代晚期经构造作用拼贴在一起的; 路孝平等(2004)认为辽吉花岗岩是辽吉地区古元古代地层沉积的基底岩石, 是地层沉积之前地壳拉张作用的结果。

鉴于此, 本文对老岭群变质矿物进行了系统矿物组合鉴定和成分分析, 从矿物世代和变质作用特征入手, 确立了其变质相带及叠加方式, 这些研究对该区的地质找矿有重要的科学指导作用。

1 吉林南部老岭群变质矿物和成分分析

1.1 老岭群下亚群变质矿物

老岭群下亚群主要岩石类型为二云片岩、千枚岩、绢云千枚岩、厚层大理岩及绢云千枚状大理岩互层, 千枚状片岩夹薄层大理岩、厚层石英岩夹二云片岩, 十字石二云片岩和绢云石英片岩等。

老岭群下亚群变质矿物主要有黑云母、石榴子石、十字石、绿泥石、绿帘石、绢云母及石英、方解石、白云石、长石等。其主要变质矿物特征和成分如下:

1、黑云母

老岭群下亚群黑云母可以划分出两个世代。

第一世代: 呈棕褐色, 多色性明显, Ng-棕红色, Nm-红褐色, Np-浅褐色。吸收性 Ng>Nm>Np, 多呈自形晶、半自形晶, 平行定向排列, 为区域性片理 S₁ 的主要构成矿物之一。该期黑云母属于富钛铁质黑云母, 且钴的含量高于第二世代(图 2)。

第二世代: 该世代黑云母自形程度较好, 多为深褐色, 绿褐色, 多色性也很明显, Ng-深绿色, Nm-绿色, Np-浅绿褐色。吸收性 Ng Nm>Np, 晶体片径可达 2 mm, 横切片理分布明显。晶体内部包含有大量定向排列的石英、绢云母微晶, 其排列方向同晶外片理 S₁ 一致, 表现为后期构造重结晶特征, 具有低钠富铁镁的铁质黑云母成分特征(图 2)。

2、石榴子石

老岭群下亚群石榴子石也可划分为两个世代。

第一世代: 晶体常呈半自形、它形粒状, 粒度一

般<1.0mm, 内部包含有大量定向排列的石英包体, 构成筛状变晶结构。该世代石榴子石属于铁铝榴石, 具有旋转结构, 具有较高的钙和锰含量, 它具有属于低角闪岩相以下变质作用形成的石榴子石矿物特征(图 3)。

第二世代: 单晶石榴子石自形程度较好, 筛状变晶构造不很发育, 晶体边界与片理 S₁ 相切, 反映片理之后生成的特点, 该世代石榴子石最典型的特征是在第一世代石榴子石边部形成环带。

根据电子探针剖面成分分析数据作出的石榴子石 MgO、MnO、FeO 成分剖面图显示(图 4), 中心部分 FeO、MgO、MnO 成分变化均不太明显, 而边缘

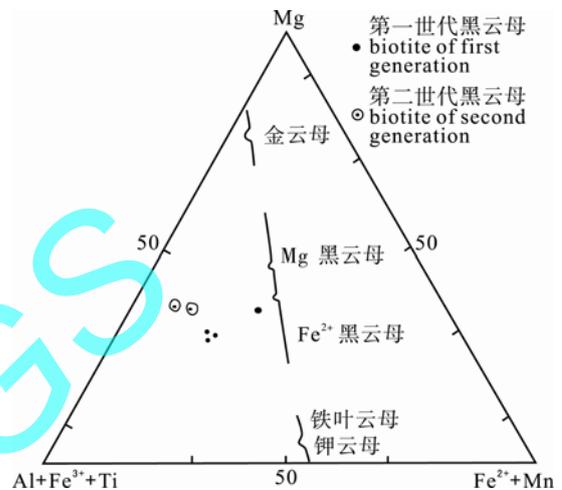


图 2 黑云母在 Mg-(Al+Fe³⁺+Ti)-(Fe²⁺+Mn)三角图上投影

Fig. 2 Projection of biotite on triangular diagram Mg-(Al+Fe³⁺+Ti)-(Fe²⁺+Mn)

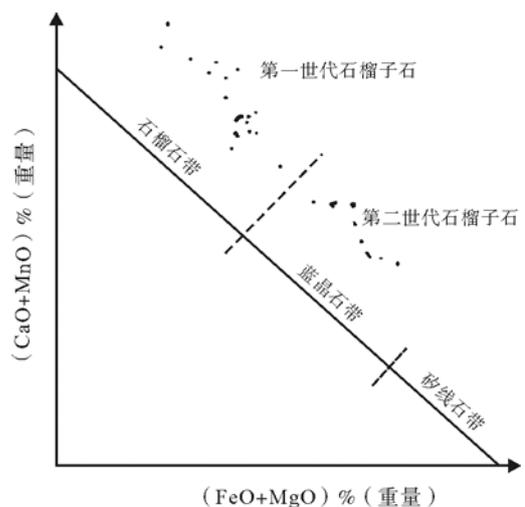


图 3 泥质变质岩中石榴子石化学成分与变质程度的关系图(据 Nandi, 1967 修改)

Fig. 3 Relationship between chemical composition and metamorphic grade of garnet in argillaceous metamorphic rock (modified after Nandi, 1967)

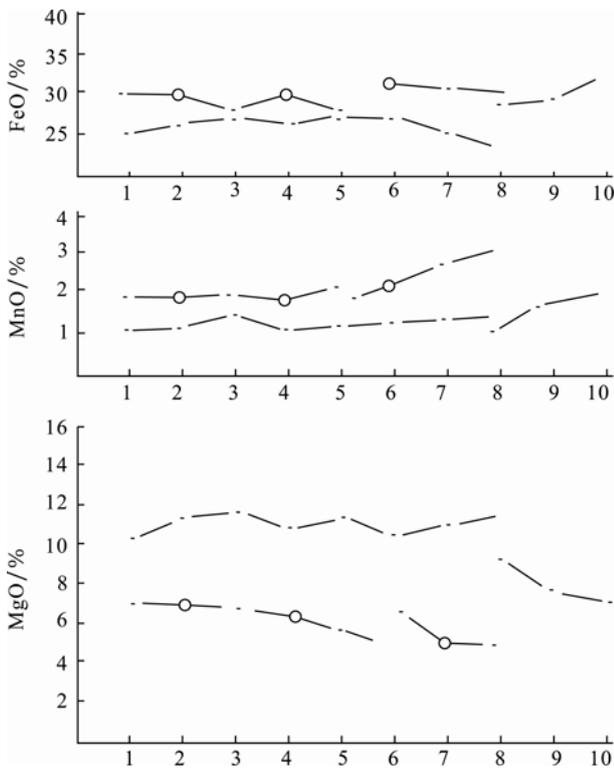


图4 石榴子石 MgO、MnO、FeO 成分剖面图

Fig. 4 Compositional profile of MgO, MnO, FeO in garnet

部分 FeO、MgO 含量明显增高, MnO 含量降低, 并形成断带, 这种特征表明第二次变质作用发生时温度明显高于第一次变质作用。

3、十字石

根据十字石共生矿物组合, 结晶习性可以明显地将其划分为两个世代:

第一世代十字石十字双晶特别发育, 长宽比也较大, 退变质作用强烈, 现已大部分被绢云母交代, 显示构造前生成特点。

第二世代十字石均未受明显的应力作用。根据其晶型特征及产出位置, 可以划分出四种类型:

A 型: 十字双晶极发育, 晶形较好, 基质是由极细粒的长英质矿物和绢云母等组成的绢云片岩。

B 型: 呈柱状, 短柱状, 十字双晶不甚发育, 表面呈褐色, 共存矿物主要为第一世代黑云母、石英等。绢云母化也比较强烈。

C 型: 单晶较小, 但双晶比较发育, 长宽比也较大, 一般为 3~4。占岩石 10%左右, 其晶内包裹大量第一世代黑云母、石英, 晶内外片理方向一致。

D 型: 晶体粗大, 无完整晶形, 筛状变晶结构发育, 内部包含有大量定向排列的第一世代黑云母和石英, 且内外片理方向完全一致。

上述四种类型的十字石实际上是反映了一个递进变质的过程, 从 A 型到 D 型, 其共生矿物和共存矿物由

绢云母、黑云母到石榴子石, 反映变质级的逐步升高。

4、绿泥石

根据绿泥石特征及共生矿物, 明显可以划分为两个世代。

第一世代绿泥石, 镜下见到细小片状定向性极好的绿泥石小片同绢云母、石英、长石微晶一同构成千枚理, 有时它也呈绿色小斑晶产出。

第二世代: 部分呈不定向的斑晶产出, 另一部分则以交代早期黑云母、十字石等形式产出。推测其成因为在早期变质作用过程中处于高级变质带的矿物, 在晚期变质作用过程中处于相对较低变质带中, 而发生退变质作用。

5、绿帘石

可划分为两个世代。

第一世代: 自形程度较好, 解理清楚, 粒度同长英质矿物粒度相仿, 常集中呈平行片理的条带, 呈同构造重结晶特征。

第二世代: 呈它形, 晶体粒度变化大, 呈无定向的颗粒状、团状, 解理不清, 较大粒度的多呈斑晶状, 属后期构造重结晶的产物。

1.2 老岭群上亚群变质矿物

老岭群上亚群主要岩石类型上部主要为炭质大理岩, 透闪石条带、炭质条带、硅质条带状白云质大理岩, 块状白云质大理岩。下部石英岩(含底砾岩), 中部大理岩、黑云变粒岩、黑云片岩, 上部炭质板岩。

老岭群上亚群变质矿物发育相对较少, 且很难将其进行世代的划分, 对其简述如下:

1、黑云母: 褐色, 细小片状, 多色性较明显, 略具定向排列。在岩石中一般含量 10%左右, 片度 0.1 mm × 0.6 mm, 属绿泥石转化产物。

2、石英: 粒状晶体, 表面较干净, 粒度 0.01 ~ 0.1 mm, 颗粒之间紧密相嵌。

3、斜长石: 它形粒状为主, 表面绢云母化, 粒度 0.1 mm, 主要出现在黑云变粒岩中。

4、方解石、白云石: 重结晶较好, 颗粒之间紧密相嵌, 镜下见到其内突起明显, 菱形解理清楚。

5、透闪石: 柱状、粒状、纤状, 晶体较大, 内有碳酸盐矿物包体, 排列无方向性。

2 吉林南部老岭群变质相带划分

2.1 老岭群下亚群特征变质矿物组合、分布特征及变质相带划分

以上论述可知, 老岭群下亚群大部分特征变质矿物都具有两个世代特征。其中: 第一世代的矿物和区域透入性片理 S_1 是同时生成的, 是 S_1 的主要显

示矿物; 而第二世代矿物的形成晚于区域性片理, 但没有沿 S_2 (折劈理)分布, 显示老岭群下亚群至少经历了两次变质作用(M_1 和 M_2)。前者发生于稳定的原始沉积碎屑、泥质岩的矿物组合中, 后者发生于经 M_1 之后。值得关注的是随着 M_2 的温压范围不同, 按照高于、等于、低于早期变质矿物的稳定区间, 其变质矿物可以发生 a、进变质, 形成新矿物; b、不变; c、发生退变质亦形成新矿物; 即发生叠加变质的岩

石常有大量早期变质矿物残留。鉴于第二世代的矿物产出无明显的优选方位, 显然早晚两期变质作用形成的矿物是共存关系, 而不是共生关系。

通过对两次变质矿物典型的矿物组合的分析以及变质带的划分依据, 将第一次变质作用划分为两个变质带, 将第二次变质作用划分为三个变质带以及变质相(图 5 和图 6), 显示这两期变质相在空间上具有明显的叠加(表 1)。

表 1 老岭群下亚群典型矿物组合、分布特征及变质相带划分

Table 1 Typical mineral assemblage, distribution and metamorphic zone division of lower sub-group of Laoling Group

变质作用	代表性地区	典型矿物组合	变质带	变质相	出现在“热轴”位置
第一次变质作用(M_1)	二道阳岔沟门	Ser+Q±Pl			
	当石沟	Cc+Do+Tr+Q	绿泥石带-(雏晶)黑云母带	低绿片岩相	“热轴” 边部
	二道阳岔北山	Ser+Chl+Bi(雏晶)+Q+Pl			
	四道阳岔	Bi+Mu+Q+Pl+Ep			
	老三队	Gt+Mu+Bi+Q+Pl	黑云母-石榴子石带	高绿片岩相	“热轴” 中心
	花山	Gt+Bi+Q+Mu+Pl+St			
第二次变质作用(M_2)	临江、三公里	Q+Bi+Pl+Mu(Ser)			
	当石沟	Chl+Bi(雏晶)+Q+Pl	绿泥石带	低绿片岩相	“热轴” 边部
	二道阳岔沟门	Bi+Mt+Ep+Pl	黑云母-石榴子石带	高绿片岩相	“热轴” 近边部
	四道阳岔	St+Bi+Q+Pl	十字石带	低角闪岩相	“热轴” 中心
	五道阳岔	St+Gt+Bi+Q+Pl			

注: Ser-绢云母; Chl-绿泥石; Q-石英; Pl-斜长石; Cc-方解石; Do-白云石; Tr-透闪石; Bi-黑云母; Mu-白云母; Ep-绿帘石; Gt-石榴子石; St-十字石; Mt-磁铁矿。

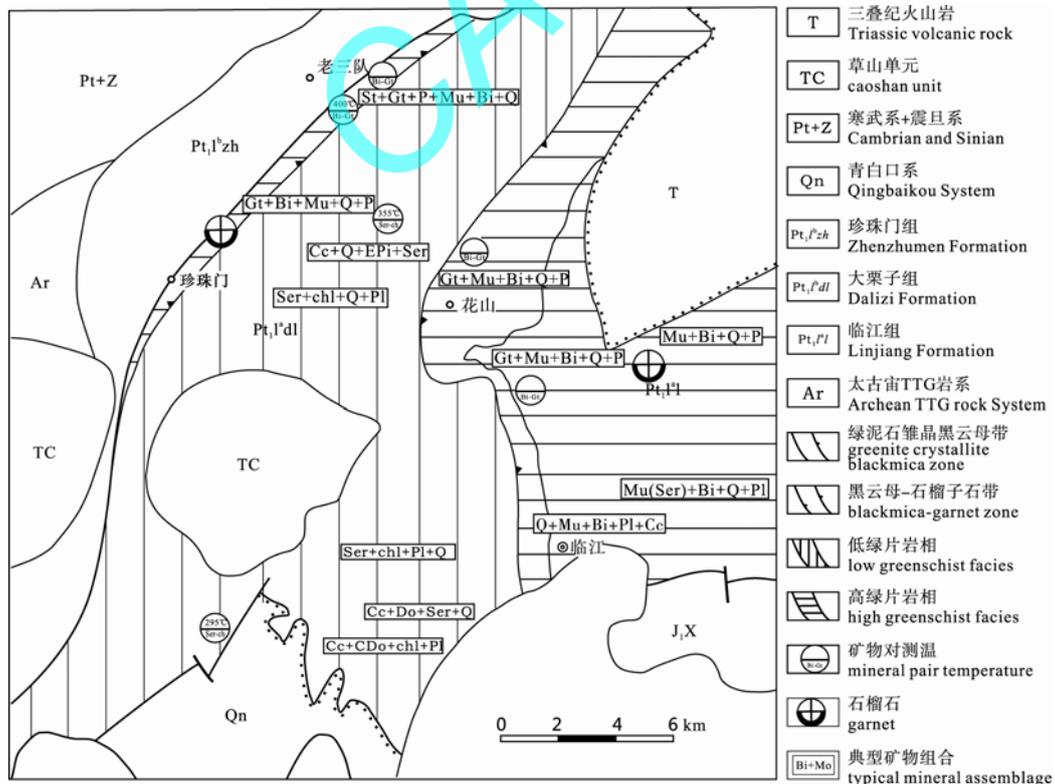


图 5 老岭群下亚群第一期变质示意图

Fig. 5 Sketch map showing the first metamorphic stage in lower sub-group of Laoling Group

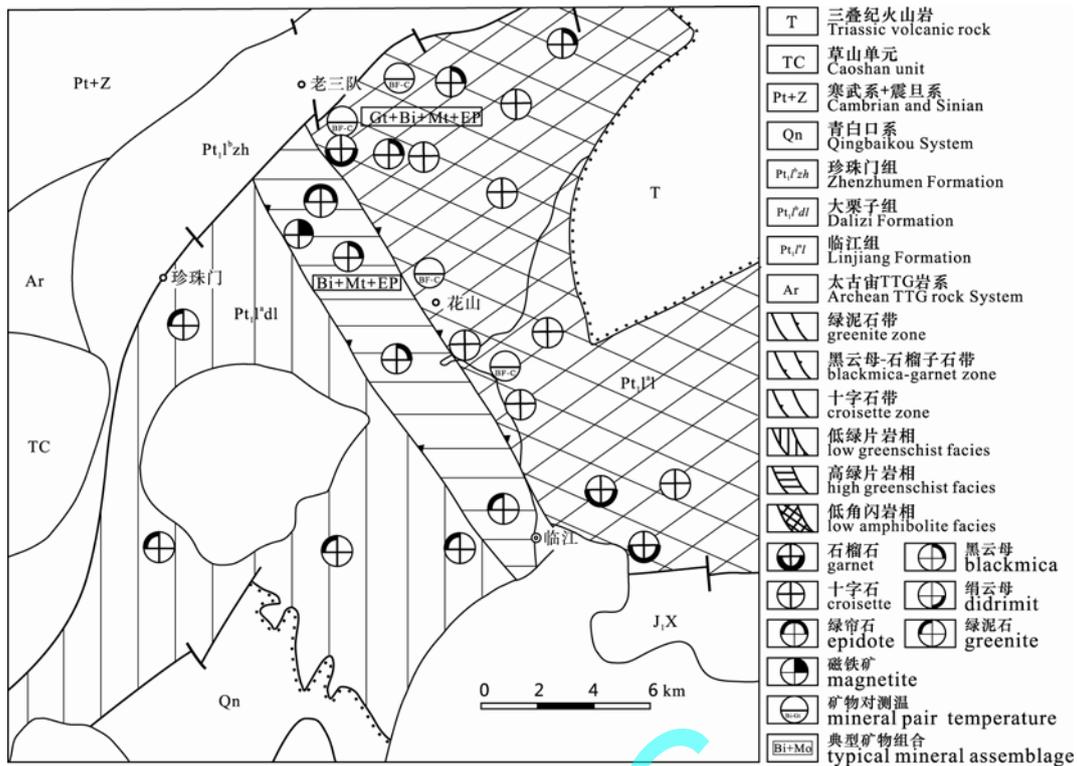


图 6 老岭群下亚群第二期变质示意图

Fig. 6 Sketch map showing the second metamorphic stage in lower sub-group of Laoling Group

2.2 老岭群上亚群变质相带划分

老岭群上亚群主要分布在研究区中部，由石青沟组和珍珠门组组成。主要变质矿物共生组合有：

石青沟组组合以 $Bi+Q+Pl \pm Mic$ 为典型组合，相当于绿片岩相黑云母带。其他变质矿物组合有： $Cal+Dol+Tr$, $Q+Bi+Pl$ 。

珍珠门组碳酸盐岩表现出不同的重结晶作用，当含有碳质、硅质时，重结晶作用差一些。主要矿物为透闪石、滑石、方柱石、金云母、绢云母、方解石、白云石等，典型矿物共生组合为 $Tc+Tr+Cal+Dol+Q$ ，将其划分为绿片岩相透闪石带。其它变质矿物组合有： $Tr+Cal+Dol+Q$, $Cc+Dol+Pl+Q$ 和 $Cal+Bi+Mus+Q \pm Pl$ 。

综上所述，老岭群上亚群变质程度为绿片岩相透闪石(黑云母)带。

3 吉林南部老岭群变质作用温压条件及类型

3.1 老岭群下亚群变质作用温压条件及类型

如前所述，老岭群下亚群经历了两次变质作用，早期为区域变质作用，可以划分为低绿片岩相和高绿片岩相，晚期为局部热变质作用，可以划分为低绿片岩相、高绿片岩相及低角闪岩相。下面重点分

析第一次变质作用。

低绿片岩相内典型矿物共生组合为 $Ser+Chl+Q \pm Pl$, Bi (雏晶)+ $Ser+Pl+Q$ ，低绿片岩相内 Ser 和 Chl 两个矿物的温度为 355 和 295 (图 7)。这一温度可能代表变质作用早期温度下限，温度稍微升高时，即发育雏晶黑云母，临界反应为： $Mus(Ser)+Chl=Bi+$

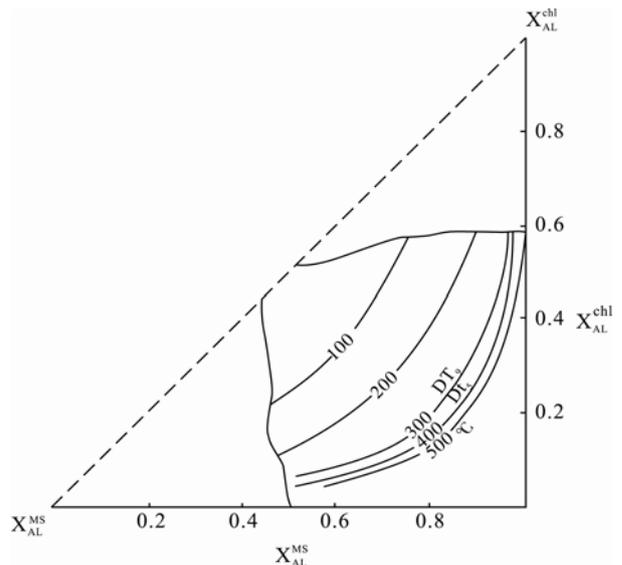


图 7 共存的绢云母-绿泥石 Al 分配等温线图 (据 KotoB, 1975)

Fig. 7 Allocation isothermal diagram of Al in coexisting sericite and chlorite (after KotoB, 1975)

富镁 $Chl+Q+H_2O$; 多硅 $Ser+Chl=Bi+Ser+H_2O+Q$ 。黑云母等变反应度范围较宽, 一般在温度低于 $500^{\circ}C$ 时即可生成, 但在较贫铝的岩石或原岩中富含铁和钾且 Fe^{2+}/Mg 比值较高时, 黑云母可以出现在较低温度下。

吉林南部地区低绿片岩相中黑云母、绿泥石与绢云母共生, 由图 8 可以看出, $Sti+Mus$ 消失且 $Bi+Mus$ 出现的临界条件为 $450 \pm 15^{\circ}C$, $500 \sim 800MPa$, $Chl+Mus$ 的稳定上限条件约为 $500^{\circ}C$, $600MPa$ 。黑云母出现以后, 直到矽线石带都能稳定存在, 但成分变化很大, 这主要和原岩成分、共生矿物及结晶时的 P-T 条件有关。

高绿片岩相典型矿物共生组合为: $Bi+Gt+Mus \pm Chl+Q$, $Bi+Gt+Pl+Q$, 泥质岩中常见铁铝榴石和黑云母交代绿泥石和绢云母, 可能的临界反应为: $Chl+Mus+Q=Gt+Bi+H_2O$ 。用上述反应合成石榴子石的温压条件为 $400MPa, 500^{\circ}C$ 及 $500MPa, 600^{\circ}C$ 。

综合分析, 本区早期低绿片岩相形成条件大致在 $350 \sim 450^{\circ}C$, 压力在 $300 \sim 800MPa$ 。高绿片岩相的形成温度大致在 $400 \sim 500^{\circ}C$, 压力在 $400 \sim 800MPa$ 之间。

以上研究表明研究区早期变质岩系有如下特点:

- 1、变质原岩主要为碎屑岩、泥质岩夹碳酸盐建造;
- 2、属于同一地质单元, 变质特点相似, 为同构造期变质, 并可以划分变质相带;
- 3、变质温压条件为 $300 \sim$

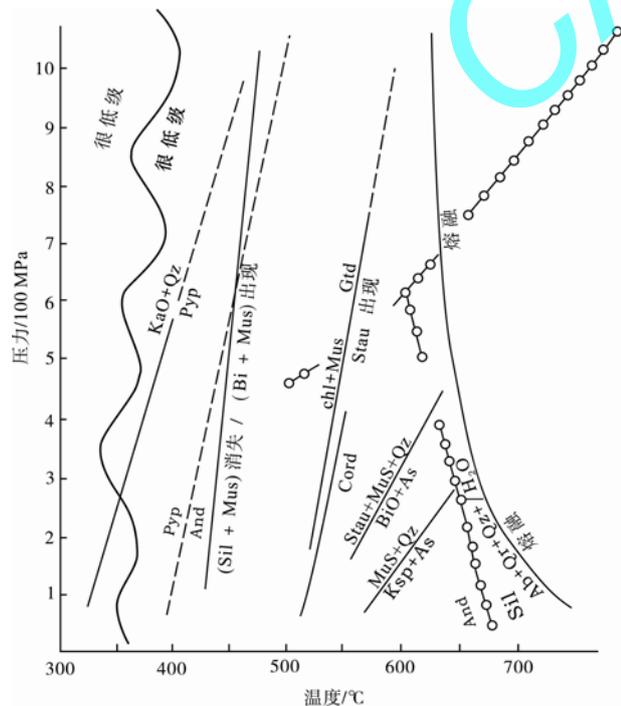


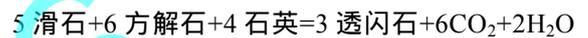
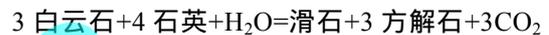
图 8 泥质岩石中变质反应(据温克勒, 1980 简化)
Fig. 8 Metamorphic reaction in argillaceous rocks (simplified after Winkler, 1980)

$600MPa, 300 \sim 500^{\circ}C$; 4、产生变质的原因主要是区域性热流的升高。由此推测早期变质作用为中-低温区域动力热流变质作用。

晚期变质作用叠加在早期变质形成的一套岩石组合之上, 从第二次变质作用形成的矿物形态、分布及未受第一次变质作用改造的情况分析, 第二次变质作用形成在第一次变质作用之后, 不具有区域性分布特征, 而具有热变质事件特征, 其变质相的空间分布所表现的热流分布形式, 表现出局部异常热流特征, 所以晚期变质作用应为局部热流变质作用。

3.2 老岭群上亚群变质作用类型

老岭群上亚群变质作用, 相当于绿片岩相黑云母(透闪石带)。下部石青沟组的石英片岩类、变粒岩类中片状矿物定向均不十分明显, 具有埋深变质的特点; 上部珍珠门组典型矿物共生组合为 $Tc+Tr+Cal+Dol+Q$ 变质反应如下:



这一反应和变质时 CO_2/H_2O 比值关系较大, CO_2/H_2O+CO_2 达 1 时, 才会出现透闪石, 且压力相应也会增大, 否则出现滑石而不出现透闪石。

鉴于本区珍珠门组透闪石多具动力变质成因特点, 所以老岭群上亚群变质作用为早期埋深, 后期动力剪切变质。

4 吉林南部老岭群变质作用演化

如前所述, 老岭群下亚群主要经历了两期区域变质作用。

早期变质作用在区内较均匀, 具有普遍意义, 是本区一次较重要的热事件。前人研究表明其时代一般大于 18 亿年, 该期热事件使老岭群下亚群普遍发生区域动力热流变质作用(王集源等, 1984)。伴随变质作用发生了强烈的变形作用, 形成了区内的主要构造片理。从矿物定向性及矿物之间的穿切关系表明, 变质作用为同构造热事件的产物。二者具有同时性, 属同一构造热事件的结果。

晚期变质作用叠加在早期变质形成的老岭群下亚群变质岩系之上。变质程度高于早期变质作用, 并具有递增变质带的特点, 由低绿片岩相、高绿片岩相到低角闪岩相, 变质时代应早于 17.68 亿年, 主要变质变形期应在 $17 \sim 19$ 亿年。在变质作用的中间阶段发生第二期变形, 之后出现了变质作用的高峰期。第二期变形作用在本区较弱, 没有形成区域性构造片理, 而仅有少量片柱状矿物轻微定向排列。

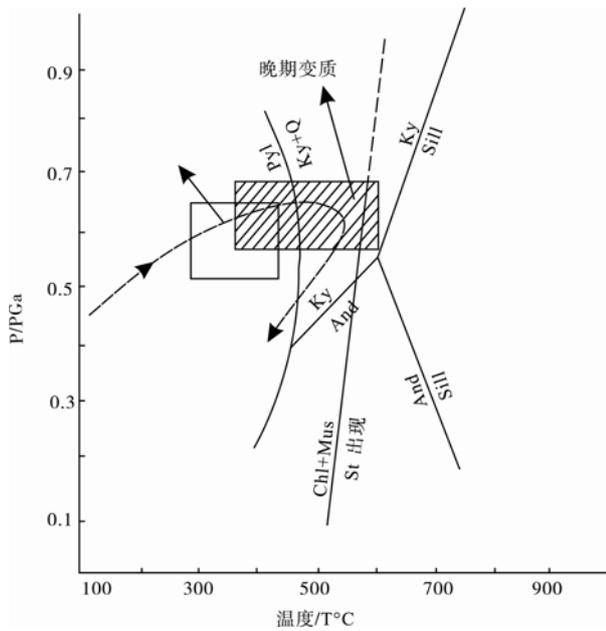


图9 吉林南部老岭群下亚群变质作用演化趋势图
Fig. 9 Metamorphic evolutionary trend of lower sub-group of Laoling Group

根据两期变质作用的特点和温压条件及其与构造变形的关系判断,两期变质作用的时间间隔较小,应属于相同大地构造环境。

因此,吉林南部地区老岭群下亚群变质作用呈现出由早到晚,范围逐渐缩小,强度逐渐降低的特点,也反映出该地区地壳活动性的逐渐降低。变质程度的局部增高,反映在地壳的活动性逐渐降低的过程中,仍有局部不稳定和能量的集中释放,导致晚期变质作用的局限性和热流分布的不均匀性。变质作用演化特点表明在早元古代本区具有活动带的性质,随着时间的推移,本区由活动向稳定转化,热动力条件随时间的演化也表明了这一演化趋势(图9)。

5 结论

1)吉林南部老岭群变质矿物较发育,老岭群下亚群主要变质矿物可划分为两个世代,两个时代分别代表两期变质作用。第一期变质作用可以划分为低绿片岩相和高绿片岩相两个变质相,变质温压条件为300~600 MPa, 300~500 °C,推测为中-低温区域动力热流变质作用;第二期为局部热变质作用,可以划分为低绿片岩相、高绿片岩相和低角闪岩相。

2)吉林南部地区老岭群下亚群变质作用由早到晚,影响范围逐渐缩小,变质强度逐渐降低,反映出该地区古元古代的地壳活动性逐渐降低,由活动向稳定转化。

参考文献:

- 毕守业,张殿发,杨豹. 1991. 吉林省南部太古宙花岗岩及其成因探讨[J]. 吉林地质, 3: 12-24.
- 葛文春,吴福元,孙德有. 1993. 吉林夹皮沟地区变质作用与地壳演化[J]. 长春地质学院学报, 23(3): 289-311.
- 贺高品,叶慧文. 1998a. 辽东-吉南早元古代变质地体的组成及主要特征[J]. 长春科技大学学报, 28(2): 121-126.
- 贺高品,叶慧文. 1998b. 辽东-吉林南部地区早元古代两种类型变质作用及其构造意义[J]. 岩石学报, 14(2): 152-162.
- 胡国巍. 1990. 老岭群的变质变形史及其构造演化[J]//北方前寒武纪地质及成矿论文选集. 北京: 地质出版社: 147-153.
- 胡国巍. 1994. 吉林临江地区早元古代老岭群叠加变形作用研究[J]. 长春地质学院学报, 24(1): 15-21.
- 简平. 1999. 大别山东部榴辉岩同位素体系和变质作用的关系[J]. 地球学报, 20(4): 341-348.
- 蒋少涌,丁梯平,万德芳,魏菊英. 1992. 青城子矿区黑云母和石榴石的地球化学及变质作用的 P-T 条件探讨[J]. 中国地质科学院院报, 25: 71-84.
- 李鹏武,高锐,管焯,李秋生. 2007. 华北与西伯利亚地块碰撞时代的古地磁分析——兼论苏鲁-大别山超高压变质作用的构造起因[J]. 地球学报, 28(3): 234-252.
- 刘志宏,姜继圣. 1995. 吉林大荒沟—板石沟地区早前寒武纪变质变形作用及地壳演化[J]. 中国区域地质, 3: 228-232.
- 路孝平,吴福元,张艳斌,赵成粥,郭春丽. 2004. 吉林南部通化地区古元古代辽吉花岗岩的侵位年代与形成构造背景[J]. 岩石学报, 20(3): 381-392.
- 王集源,吴家弘. 1984. 吉林省元古宙老岭群的同位素地质年代学研究[J]. 吉林地质, 1: 11-21.
- 温克勒. 1980. 变质岩成因[M]. 北京: 科学出版社.
- 邢树文,孙永杰,李军. 1993. 石山镇幅、花山幅、临江幅、苇沙河幅 1:5万区调报告[R]. 通化: 吉林省地质矿产局第四地质调查所.
- 于振清,李艳霞,肖玲玲. 2009. 多期变质作用、多相变质作用与变质作用 p-T-t 轨迹[J]. 矿物岩石地球化学通报, 28(2): 189-194.
- 张秋生,李守义,刘连登. 1984. 中国早前寒武纪地质及成矿作用[M]. 长春: 吉林人民出版社.
- 张秋生. 1987. 辽东半岛早元古宙地壳的演化[J]. 中国地质科学院院报, 16: 155-162.
- 张秋生. 1988. 辽东半岛早期地壳与矿床[M]. 北京: 地质出版社: 218-257, 574.
- 张寿广. 1987. 略论我国前寒武纪变质作用和地壳演化的某些特征[J]. 中国地质科学院院报, 16: 27-39.

References:

- BI Shou-ye, ZHANG Dian-fa, YANG Bao. 1989. A preliminary

- study archaean granitic rocks and its origin in the southern part of Jilin province[J]. *Jilin Geology*, 3: 12-24(in Chinese with English abstract).
- ENGLAND P C, THOMPSON A B. 1984. Pressure temperature time paths of regional metamorphism II. Their inference and interpretation using mineral assemblages in metamorphic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 25: 929-955.
- ERNST W G. 2001. Subduction, ultrahigh-pressure metamorphism, and regurgitation of buoyant crustal slices- implications for arcs and continental growth[J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 127: 253-275.
- GE Wen-chun, WU Fu-yuan, SUN De-you. 1993. The metamorphism and the crustal evolution of Jiapigou area Jilin province[J]. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 23(3): 289-311(in Chinese with English abstract).
- HE Gao-pin, YE Hui-wen. 1998a. Composition and main characteristics of early proterozoic metamorphic terranes in eastern Liaoning and southern Jilin areas[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 28(2): 121-126(in Chinese with English abstract).
- HE Gao-pin, YE Wen-hui. 1998b. Two types of early Proterozoic metamorphism and its tectonic significance in eastern Liaoning and Southern Jilin areas[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 14(2): 152-162(in Chinese with English abstract).
- HU Guo-wei. 1990. Metamorphism-deformation history and tectonic evolution of Laoling Group[J]//Selections of geologic and metallogenetic issues, IN *North Precambrian Geology*. Beijing: Geological Publishing House: 147-153(in Chinese with English abstract).
- HU Guo-wei. 1994. A study of the superimposed deformation of the early Proterozoic Laoling Group in Linjiang area Jilin province[J]. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 24(1): 15-21(in Chinese with English abstract).
- JIAN Ping. 1999. The relationship between isotopic systems and metamorphism of the eclogites from the eastern Dabie Mountains[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 20(4): 341-348(in Chinese with English abstract).
- JIANG Shao-yong, DING Ti-ping, WAN De-fang, WEI Ju-ying. 1992. Geochemistry of biotites and granets from metamorphic rocks and dissection on metamorphism P-T conditions in Qingchengzi mining district[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 25: 71-84(in Chinese with English abstract).
- KOTOB H B. 1975. My SKOBИT-X ЛOPИTОВЫЙ Пa ЛeOTePMOM eTP[J]. *ДOKЛ AН CCCP T*, (3): 222-227.
- LI Peng-wu, GAO Rui, GUAN Ye, LI Qiu-sheng. 2007. Paleomagnetic constraints on the collision of Siberian and North China blocks, with a discussion of the tectonic origin of the ultrahigh-pressure Metamorphism in the Sulu-Dabie region[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 28(3): 234-252(in Chinese with English abstract).
- LIU Zhi-hong, JIANG Ji-sheng. 1995. Early Precambrian metamorphism, deformation and crustal evolution in the Dahuang-gou-Banshigou area, Southern Jilin[J]. *Regional Geology of China*, 3: 228-232(in Chinese with English abstract).
- LU Xiao-ping, WU Fu-yuan, ZHANG Yan-bin, ZHAO Cheng-bi, GUO Chun-li. 2004. Emplacement age and tectonic setting of the Paleoproterozoic Liaoji granites in Tonghua area, southern Jilin province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 381-392(in Chinese with English abstract).
- MIAO Lai-cheng, QIU Yu-min, FAN Wei-ming, ZHANG Fu-qin, ZHAI Ming-guo. 2005. Geology, geochronology, and tectonic setting of the Jiapigou gold deposits, southern Jilin Province, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 26: 137-165.
- NANDI K. 1967. Garnets as indices of progressive regional metamorphism[J]. *Mineralogical Magazine*, 36: 89-93.
- PETER J T. 1997. Thermal controls on early-Tertiary, short-lived, rapid regional metamorphism in the NW Himalaya, Pakistan[J]. *Tectonophysics*, 273: 77-104.
- SHIGENORI M, MASAGO H, KATAYAMA I, IWASE Y, TORIUMI M, PMORI S O, AOKI K. 2010. A new perspective on metamorphism and metamorphic belts[J]. *Gondwana Research*, 18: 106-137.
- SMULIKOWSKI W, DESMONS J, HARTE B, SASSI F P, SCHMID R T. 2007. grade and facies of metamorphism[A]//Fettes D, Desmons J. *Metamorphic rocks: A classification and glossary of terms, recommendations of the international union of geological sciences subcommission on the systematic of metamorphic rocks*. New York: Cambridge University Press, 16-23.
- WANG Ji-yuan, WU Jia-hong. 1984. A preliminary study on isotope geochronology of the Precambrian Laoling group in Jilin province[J]. *Jilin Geology*, 1: 11-21(in Chinese with English abstract).
- WINKLER H G F. 1980. *The genesis of metamorphic rock*[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- XING Shu-wen, SUN Yong-jie, LI Jun. 1993. Regional geologic survey report(1:50000) of Shirenzhen, Huanshan, Linjiang and Weishahe[R]. Tonghua: The Fourth Geological Institute of Jilin Institute of Geological Exploration(in Chinese).
- YOSHIHIDE S, MICHAEL E L. 1985. Mobile trace element contents in Jilin chondrite[J]. *Earth and Planetary Letters*, 72: 299-303.

- YU Zhen-qing, LI Yan-xia, XIAO Ling-ling. 2009. Polymetamorphism, polyphase metamorphism and metamorphic p-T-t paths[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 28(2): 189-194(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Qiu-sheng, LI Shou-yi, LIU lian-deng. 1984. Metallogeny of the Precambrian in China[M]. Changchun: Jilin People Publish House(in Chinese).
- ZHANG Qiu-sheng. 1987. Early Proterozoic crustal evolution of the east Liaoning Peninsula[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 16: 155-162(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Qiu-sheng. 1988. Crust and mineral deposit of early stage in Liaodong peninsula[M]. Beijing: Geological Publishing House, 218-257, 574(in Chinese).
- ZHANG Shou-guang. 1987. Some characteristics of the Precambrian metamorphism and crustal evolution of China[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 16: 27-39(in Chinese with English abstract).

汪民在大陆科学钻探中国委员会成立 5 周年纪念会上提出 大陆科学钻要助力找矿突破战略行动

2011 年 3 月 18 日, 纪念国际大陆科学钻探中国委员会成立五周年暨 2011 年年会在北京举行。国土资源部党组成员、副部长、中国地质调查局局长汪民出席并致辞, 希望大陆科学钻进一步面向经济社会发展主战场, 助力找矿突破战略行动。

汪民高度评价国际大陆科学钻探中国委员会成立五年来的工作, 并对今后工作提出了四点看法。一是大陆科钻要进一步面向经济社会发展主战场, 发挥科学钻对解决重大资源环境问题的重要指导作用。科学钻工程对推进三维、综合立体地质调查, 开展深部找矿具有重要指导意义, 希望这项工作和现代地质调查、解决重大资源环境问题进一步紧密相连。二是充分发挥国际大陆科学钻探中国委员会的平台作用, 要着眼国际国内两个大局, 加强沟通协调, 明确目标, 形成合力。三是积极组织编制中国大陆科学钻探“十二五”规划, 要从抢占全球地学前沿和关键技术制高点的高度, 系统研究国际大陆科学钻探计划现状和发展趋势, 以我国地学科技中长期发展规划和大陆科学钻探需求为基础, 科学设定工作目标, 突出重点任务, 完善组织保障, 做好顶层设计。四是加强交流。

我国于 2001 年正式开展大陆科学钻探工程以来, 取得了重大科学进展。2008 年, 由许志琴院士任首席科学家的世界上回应大地震最快的科学钻探——汶川地震断裂科学钻探项目启动, 现已取得重要进展; 2010 年, 杨经绥研究员负责的中国大陆科学钻探实验项目实施, 计划围绕矿产资源问题, 实施 5~6 口科学钻探, 其中部署在罗布莎铬铁矿区的 2000 m 科学钻已经竣工。

本刊编辑部 采编