

doi:10.3799/dqkx.2014.141

吉林南部通化地区集安群的年代学

秦亚¹, 陈丹丹², 梁一鸿^{3*}, 邹存铭³, 张青伟¹, 白令安¹

1. 桂林理工大学广西隐伏金属矿产勘查重点实验室, 广西桂林 541004

2. 南京地质矿产研究所, 江苏南京 210016

3. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061

摘要: 对辽吉裂谷带吉林段集安群火山岩和碎屑沉积岩以及裂谷带内的花岗岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 的年代学研究。测年结果显示, 集安群火山岩形成于 2 156~2 189 Ma, 并于 1 870~1 881 Ma 接受区域变质作用改造。伴随集安群的火山沉积和变质作用, 有 2 期花岗岩侵入: 一期形成于裂陷期的 2 156~2 189 Ma; 另一期形成于造山期的 1 870~1 881 Ma。同时, 碎屑锆石和捕获锆石获得了 2 471~2 494 Ma 和 2 633~2 653 Ma 的岩浆成因锆石年龄, 代表结晶基底的 2 次岩浆事件。集安群的物质来源于太古宙基底和裂陷期的岩浆事件产物。

关键词: 通化地区; 集安群; 年代学; 锆石; LA-ICP-MS 定年。

中图分类号: P588.11

文章编号: 1000-2383(2014)11-1487-13

收稿日期: 2013-12-12

Geochronology of Ji'an Group in Tonghua Area, Southern Jilin Province

Qin Ya¹, Chen Dandan², Liang Yihong^{3*}, Zou Cunming³, Zhang Qingwei¹, Bai Ling'an¹

1. *Guangxi Key Laboratory of Hidden Metallic Ore Deposits Exploration, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China*

2. *Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, China*

3. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China*

Abstract: The chronology of volcanic and sedimentary rocks of Ji'an Group, and the granites of the Tonghua area of the Liaoji rift zone by the LA-ICP-MS zircon U-Pb dating are studied in the paper. The results show that the Ji'an Group formed in 2 156 to 2 189 Ma, and subsequently underwent regional metamorphism between 1 870 and 1 881 Ma. Accompanied by the volcanic-sedimentation and the metamorphism of the Ji'an Group, two periods of granitic intrusions occurred; one was at 2 156 to 2 189 Ma during the rifting stage, whereas the other at 1 870 to 1 881 Ma during the orogenic period. In addition, ages of magmatic zircons from the detrital zircons and the inherited zircons peaked at 2 471 to 2 494 Ma and 2 633 to 2 653 Ma, representing two magmatic events of the crystalline basement. Sedimentary provenance of the Ji'an Group was derived from the Archean basement and products of the magmatism during the rifting events.

Key words: Tonghua area; Ji'an Group; geochronology; zircon; LA-ICP-MS dating.

0 引言

研究区位于华北板块东部辽吉古元古代裂谷带东段。辽吉古元古代裂谷带内分布着两大岩石系列: 花岗岩系列和火山—沉积岩系列(张秋生和李守义, 1985; 张秋生, 1988)。花岗岩系列俗称辽吉花岗岩, 而火山—沉积岩系列在辽宁省部分称为辽河群, 分

为南辽河群和北辽河群; 在吉林省部分称为集安群和老岭群。有关花岗岩系列侵位时间与火山—沉积岩系列的沉积时限的关系存在较大的争议。最初的研究认为火山—沉积岩系列不整合沉积于太古宙基底, 而后被辽吉花岗岩(2.1 Ga)侵位(张秋生, 1988); 最新的年代学似乎并不支持这一观点(路孝平, 2004; 路孝平等, 2004a, 2004b; Luo et al.,

基金项目: 中国地质调查局项目(No. 1212011120329)。

作者简介: 秦亚(1986—), 男, 博士, 主要从事区域构造演化研究. E-mail: 331417106@qq.com

* 通讯作者: 梁一鸿, E-mail: liangyih@jlu.edu.cn

2004; Lu et al., 2006).

本文通过对辽吉古元古代裂谷带内吉林南部地区的辽吉花岗岩和集安群的系统取样,采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年方法,全面地讨论集安群的年代学特征。这对集安群的物质来源、沉积时限和变质作用时间起到重要的限制作用。本文结合前人的岩浆、构造和变质作用等数据,揭示辽吉裂谷的演化进程。

1 地质背景

研究区位于吉林省通化市南部、辽吉古元古裂谷带内(图 1)。辽吉古元古裂谷带呈向北凸出的弧形,北侧以辽阳—通化断裂为界与龙岗地块相接;南缘以鸭绿江断裂为界与朝鲜的狼林地块相邻。空间上,西起郯庐断裂,向东经盖州、宽甸、桓仁进入吉林南部的通化、集安、临江、长白,延续至安图两江。该带向南折入朝鲜清津、金策,终止于日本海。

研究区北部出露少量太古宙结晶基底的 TTG

变质杂岩,为英云闪长质—花岗闪长质—奥长花岗质片麻岩。研究区裂谷带范围内出露属于裂谷岩系的集安群和老岭群以及与裂谷演化有关的古元古代花岗岩。作为裂谷带和华北克拉通的盖层,发育新元古代青白口系马达岭组及寒武系的馒头组和张夏组。马达岭组为紫色、紫红色长石石英砂岩、长石砂岩和砾岩;馒头组为紫色粉砂岩、页岩夹竹叶状灰岩、条带状灰岩;张夏组主要为鲕状灰岩。中生代时,该区接受了侏罗、白垩纪沉积,并广泛发育中生代花岗岩。

集安群自下而上分为蚂蚁河组、荒岔沟组和大东岔组。蚂蚁河组为含硼的变质岩系,主要为变粒岩、浅粒岩、斜长角闪岩、片麻岩和大理岩,原岩为一套火山—沉积岩系;荒岔沟组为一套含墨的变质岩系,主要为片麻岩、斜长角闪岩、浅粒岩、变粒岩以及大理岩,原岩为火山—沉积岩系;大东岔组为一套富铝的副变质岩石,主要为片岩、片麻岩、石英岩、浅粒岩、变粒岩等(王福润,1991,1995;翟安民等,2005)。

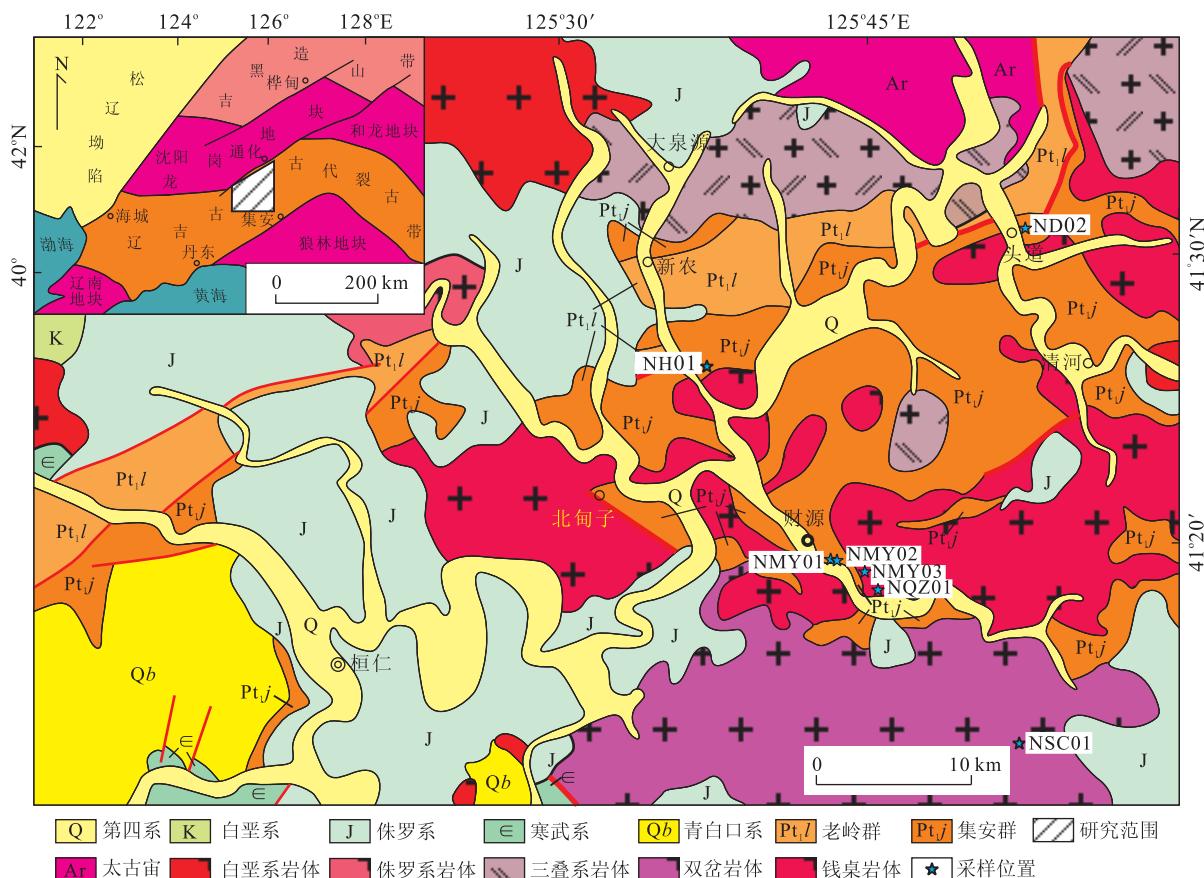


图 1 通化地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Tonghua area

2 样品描述

2.1 样品采集

在集安群自下而上采集了 4 件样品: NMY01 ($125^{\circ}46'9.35''E, 41^{\circ}18'16.13''N$), 蚂蚁河组斜长角闪岩; NMY02 ($125^{\circ}46'9.24''E, 41^{\circ}18'16.16''N$), 蚂蚁河组角闪斜长片麻岩; NH01 ($125^{\circ}38'33.72''E, 41^{\circ}26'6.42''N$), 荒岔沟组斜长角闪岩; ND02 ($125^{\circ}52'46.64''E, 41^{\circ}30'45.99''N$), 大东岔组黑云变粒岩。

对古元古代花岗岩分别采集了 2 个岩体的 3 件样品: NMY03 ($125^{\circ}43'52.79''E, 41^{\circ}19'24.83''N$), 钱桌岩体片麻状二长花岗岩; NQZ01 ($125^{\circ}45'44.00''E, 41^{\circ}18'11.27''N$), 钱桌岩体片麻状二长花岗岩; NSC01 ($125^{\circ}52'13.99''E, 41^{\circ}13'4.66''N$), 双岔岩体二长花岗岩。

2.2 样品描述

NMY01 采自蚂蚁河组, 岩性为斜长角闪岩。岩石呈灰黑色, 主要矿物为斜长石、角闪石。斜长石: 呈不规则粒状, 粒径为 $0.1\sim1.0\text{ mm}$, 含量在 40% 左右; 角闪石: 绿黑色, 柱状, 粒径为 $0.2\sim2.5\text{ mm}$, 含量在 65% 左右。岩石具有不等粒粒状变晶结构、弱片麻状构造(图 2a,2b)。

NMY02 采自蚂蚁河组, 岩性为角闪斜长片麻岩。主要矿物为斜长石、角闪石、石英和黑云母。角闪石: 柱状, 粒径为 $0.1\sim0.8\text{ mm}$, 含量在 15% 左右; 斜长石: 板状, 粒径为 $0.1\sim1.0\text{ mm}$, 含量在 60% 左右; 石英: 粒状, 粒径为 $0.1\sim0.7\text{ mm}$, 含量在 15% 左右; 另含小于 5% 的黑云母。岩石具有柱状粒状变晶结构、片麻状构造(图 3a,3b)。

NH01 采自荒岔沟组, 岩性为斜长角闪岩。岩石为灰黑色, 主要矿物为斜长石和角闪石。斜长石:

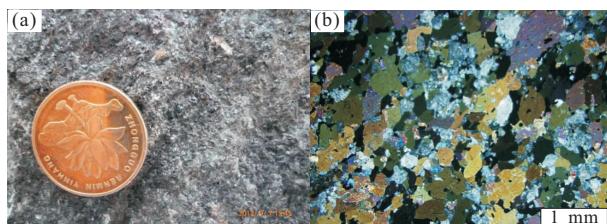


图 2 蚂蚁河组斜长角闪岩(NMY01)野外照片(a)和显微照片(b)

Fig. 2 Field photo (a) and photomicrograph (b) of sample NMY01 illustrating minerals of amphibolite rocks of Mayihe Formation

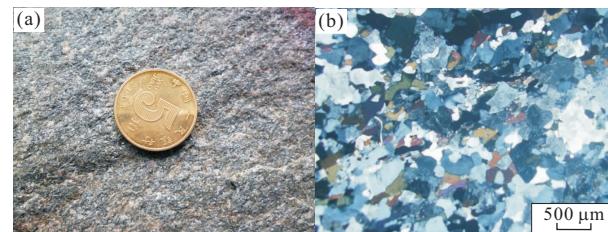


图 3 蚂蚁河组角闪斜长片麻岩(NMY02)野外照片(a)和显微照片(b)

Fig. 3 Field photo (a) and photomicrograph (b) of sample NMY02 illustrating minerals of amphibolite plagiogneiss of Mayihe Formation

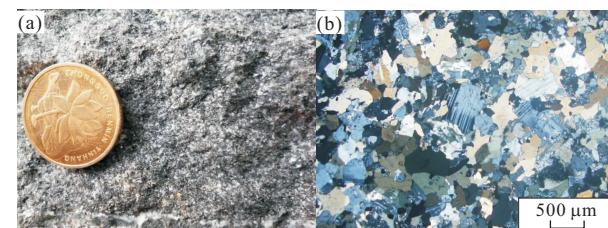


图 4 荒岔沟组斜长角闪岩(NH01)野外照片(a)和显微照片(b)

Fig. 4 Field photo (a) and photomicrograph (b) of sample NH01 illustrating minerals of amphibolite rocks of Huangchagou Formation

规则粒状, 粒径为 $0.1\sim0.8\text{ mm}$, 含量 40% 左右; 角闪石: 呈柱状, 粒径为 $0.1\sim1.0\text{ mm}$, 含量在 50% 左右。岩石具有粒状变晶结构、块状构造(图 4a,4b)。

ND02 采集自大东岔组, 为黑云变粒岩。岩石新鲜面呈灰白色。主要矿物为黑云母、斜长石、微斜长石和石英。黑云母: 片状, 粒径为 $0.1\sim1\text{ mm}$, 含量 10% 左右; 石英: 他形粒状, 粒径为 $0.1\sim0.4\text{ mm}$, 含量 45% 左右; 斜长石: 板条状, 粒径为 $0.1\sim0.6\text{ mm}$, 发育聚片双晶, 含量 15% 左右; 微斜长石: 厚板状, 粒径为 $0.05\sim0.40\text{ mm}$, 发育格子状双晶, 含量 25% 左右。岩石具有鳞片粒状变晶结构、块状构造(图 5a,5b)。

NMY03 和 NQZ01 均采自钱桌岩体, 为片麻状二长花岗岩。岩石呈浅肉红色, 主要矿物为石英、斜长石和条纹长石以及少量黑云母。石英: 他形粒状, 粒径为 $0.2\sim4.0\text{ mm}$, 具有波状消光, 含量在 35% 左右; 斜长石: 板条状, 粒径为 $0.2\sim3.0\text{ mm}$, 发育聚片双晶, 含量 25% 左右; 条纹长石: 厚板状, 粒径为 $0.3\sim3.0\text{ mm}$, 含量在 35% 左右; 黑云母: 片状, 粒径 $0.1\sim0.6\text{ mm}$, 含量小于 5%。岩石具有花岗结构、片麻状构造, 局部片麻理不明显呈块状构造。

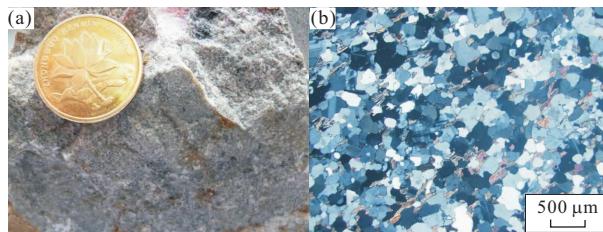


图 5 大东岔组黑云变粒岩(ND02)野外照片(a)和显微照片(b)

Fig. 5 Field photo (a) and photomicrograph (b) of sample ND02 illustrating minerals of biotite granulite of Dадongcha Formation

NSC01 采集自双岔岩体,为巨斑状黑云母二长花岗岩。岩石呈灰白色,斑晶矿物以微斜长石为主,粒径达 10~30 mm,含量约占 25%。基质为中细粒结构,主要矿物为斜长石、微斜长石、石英和黑云母。斜长石:板条状,粒径为 0.5~3.0 mm,发育聚片双晶,含量占基质的 30%左右;微斜长石:厚板状,粒径为 1~5 mm,发育格子状双晶,含量占基质的 20%左右;石英:他形粒状,粒径为 1~4 mm,含量占基质的 35%左右;黑云母:片状,粒径为 0.1~1.0 mm,含量占基质的 8%左右。岩石具有似斑状结构、块状构造。

3 分析方法

用激光剥蚀电感耦合等离子质谱仪(LA-ICP-MS)对所讨论的样品进行锆石 U-Pb 测年。年龄测试在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。ICP-MS 使用 Agilent 7500;U-Pb 定年采用 GeoLas2005 193 nm 激光发生器作为剥蚀系统;分析激光束斑直径均为 32 μm ;脉冲频率为 6 Hz。利用 ICPMSDataCal 7.9 对锆石 U-Pb 同位素进行分馏校正、积分信号区间调整和年龄比值测算。详细的仪器操作条件和数据处理方法参见 Liu *et al.* (2008, 2010)。普通铅校正采用 Andersen(2002)的计算方法,校正后的结果利用 Isoplot 3(Ludwig, 2001)进行年龄拟合计算及谐和图的绘制。

4 测试结果

测试数据列于表 1 中。样品 NMY01 为蚂蚁河组斜长角闪岩,本文对 19 粒锆石进行了测试(图 6)。在 CL 图像中,锆石呈现黑色;形态呈不规则状、

椭圆状;环带不清晰,个别锆石保留有继承的岩浆锆石的残留核,隐约可见不规则状、面状、斑杂状环带;Th/U 比值总体在 0.05~0.40 之间,个别大于 0.4,为变质成因锆石。在 U-Pb 谐和图中,19 粒锆石均落在谐和线上或其附近,给出的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄值为 1875 ± 17 Ma,为区域变质年龄。

样品 NMY02 为蚂蚁河组角闪斜长片麻岩,原岩为中性火山岩,本文对 18 粒锆石进行了测试(图 7),得出 2 组年龄值。第 1 组含 7 粒锆石:锆石呈长柱状、短柱状;多具有核边结构,核部可见岩浆韵律环带,为岩浆成因,边部为变质成因;锆石核部的 Th、U 含量分别为 $333 \times 10^{-6} \sim 552 \times 10^{-6}$ 和 $587 \times 10^{-6} \sim 1108 \times 10^{-6}$,Th/U 比值为 0.36~0.61,总体具有岩浆成因锆石的特征(吴元保和郑永飞,2004)。在 U-Pb 年龄谐和图解中,均位于谐和线附近,给出 2166 ± 22 Ma 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄。第 2 组含 11 粒锆石:锆石呈柱状、椭圆状;环带不清,隐约可见弱分带、斑杂状分带的特点;锆石的 Th、U 含量及 Th/U 比值分别为 $123 \times 10^{-6} \sim 294 \times 10^{-6}$ 、 $904 \times 10^{-6} \sim 1907 \times 10^{-6}$ 和 0.06~0.25,有 2 粒的 Th/U 比值较高,总体具有变质成因锆石的特征。在谐和图解中,11 粒锆石均位于谐和线附近,给出 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄值为 1876 ± 15 Ma。

样品 NH01 为荒岔沟组斜长角闪岩,本文对 20 粒锆石进行了测试,得出 2 组年龄值(图 8)。第 1 组含 18 粒锆石:锆石形态呈不规则状、椭圆状;CL 图像中,颜色较深,呈灰黑色、黑色;锆石无环带、弱环带;具有较高的 Th、U 含量,分别为 $132 \times 10^{-6} \sim 556 \times 10^{-6}$ 和 $217 \times 10^{-6} \sim 2624 \times 10^{-6}$;除一颗锆石的 Th/U 比值较大外,其余均小于 0.4,为变质成因锆石。18 粒锆石给出的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄值为 1879 ± 15 Ma,为区域变质作用的年龄。第 2 组含 2 粒锆石:锆石颜色较浅,具有明显的岩浆环带,具有较高的 Th/U 比值,为 0.61 和 1.12,为典型的岩浆成因锆石,2 粒锆石分别给出 2471 ± 25 Ma 和 2494 ± 31 Ma 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄,为斜长角闪岩原岩形成过程中捕获的太古宙结晶基底的锆石年龄。

样品 ND02 为大东岔组黑云变粒岩,本文对其中 18 粒锆石进行了测试,给出 4 组年龄值(图 9)。第 1 组含 2 颗锆石:呈不规则的椭圆状;CL 图像中,无明显环带;Th/U 比值分别为 0.1 和 0.43,为变质成因锆石。2 粒锆石分别给出的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 1881 ± 24 Ma 和 1870 ± 37 Ma,为区域变质作用的年龄。第 2 组含 2 粒锆石:呈不规则状,锆石颜色较

续表 1

| 样品 | ²³² Th (10 ⁻⁶) | U (10 ⁻⁶) | Th/U | ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb | | | ²⁰⁷ Pb/ ²³⁸ U | | | ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U | | | ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U | | |
|---------|--|--------------------------|------|--------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------|-----|--------|-------------------------------------|--------|-----|
| | | | | 比值 | ±1σ | 比值 | ±1σ | 比值 | ±1σ | 年龄(Ma) | ±1σ | 年龄(Ma) | ±1σ | 年龄(Ma) | ±1σ |
| NSC0101 | 850 | 1.130 | 0.75 | 0.1147 | 0.0025 | 5.3647 | 0.1200 | 0.3363 | 0.0031 | 1.874 | 27 | 1.879 | 19 | 1.869 | 15 |
| NSC0102 | 240 | 1.765 | 0.14 | 0.1150 | 0.0033 | 5.4466 | 0.1946 | 0.3402 | 0.0054 | 1.879 | 42 | 1.892 | 31 | 1.888 | 26 |
| NSC0103 | 200 | 1.417 | 0.14 | 0.1146 | 0.0034 | 5.3526 | 0.1564 | 0.3367 | 0.0062 | 1.874 | 28 | 1.877 | 25 | 1.871 | 30 |
| NSC0104 | 242 | 1.921 | 0.13 | 0.1138 | 0.0071 | 5.2506 | 0.2968 | 0.3322 | 0.0077 | 1.860 | 69 | 1.861 | 48 | 1.849 | 37 |
| NSC0105 | 294 | 1.519 | 0.19 | 0.1147 | 0.0027 | 5.4989 | 0.2299 | 0.3442 | 0.0081 | 1.875 | 43 | 1.900 | 36 | 1.907 | 39 |
| NSC0106 | 430 | 2.672 | 0.16 | 0.1141 | 0.0036 | 5.4210 | 0.1400 | 0.3416 | 0.0056 | 1.866 | 24 | 1.888 | 22 | 1.894 | 27 |
| NSC0107 | 636 | 1.619 | 0.39 | 0.1152 | 0.0049 | 5.4828 | 0.2551 | 0.3417 | 0.0057 | 1.882 | 60 | 1.898 | 40 | 1.895 | 27 |
| NSC0108 | 170 | 1.253 | 0.14 | 0.1146 | 0.0036 | 5.4756 | 0.1850 | 0.3432 | 0.0060 | 1.874 | 36 | 1.897 | 29 | 1.902 | 29 |
| NSC0109 | 360 | 1.034 | 0.35 | 0.1155 | 0.0038 | 5.3954 | 0.1799 | 0.3360 | 0.0060 | 1.887 | 35 | 1.884 | 29 | 1.867 | 29 |
| NSC0110 | 214 | 1.502 | 0.14 | 0.1145 | 0.0035 | 5.4886 | 0.1890 | 0.3446 | 0.0055 | 1.871 | 39 | 1.899 | 30 | 1.909 | 27 |
| NSC0111 | 125 | 926 | 0.13 | 0.1151 | 0.0028 | 5.4883 | 0.1304 | 0.3431 | 0.0038 | 1.882 | 27 | 1.899 | 20 | 1.901 | 18 |
| NSC0112 | 140 | 1.153 | 0.12 | 0.1153 | 0.0032 | 5.4884 | 0.1700 | 0.3423 | 0.0064 | 1.885 | 30 | 1.899 | 27 | 1.898 | 31 |
| NSC0113 | 122 | 1.023 | 0.12 | 0.1151 | 0.0129 | 5.4455 | 0.3257 | 0.3422 | 0.0190 | 1.881 | 48 | 1.892 | 51 | 1.897 | 91 |
| NSC0114 | 166 | 1.500 | 0.11 | 0.1152 | 0.0046 | 5.3154 | 0.1847 | 0.3324 | 0.0053 | 1.883 | 40 | 1.871 | 30 | 1.850 | 26 |
| NSC0115 | 190 | 1.507 | 0.13 | 0.1150 | 0.0030 | 5.3443 | 0.1421 | 0.3346 | 0.0043 | 1.880 | 29 | 1.876 | 23 | 1.861 | 21 |
| NSC0116 | 339 | 1.996 | 0.17 | 0.1152 | 0.0025 | 5.3364 | 0.1167 | 0.3332 | 0.0031 | 1.883 | 26 | 1.875 | 19 | 1.854 | 15 |
| NSC0117 | 279 | 1.804 | 0.15 | 0.1146 | 0.0026 | 5.3473 | 0.1157 | 0.3361 | 0.0036 | 1.874 | 24 | 1.876 | 19 | 1.868 | 17 |

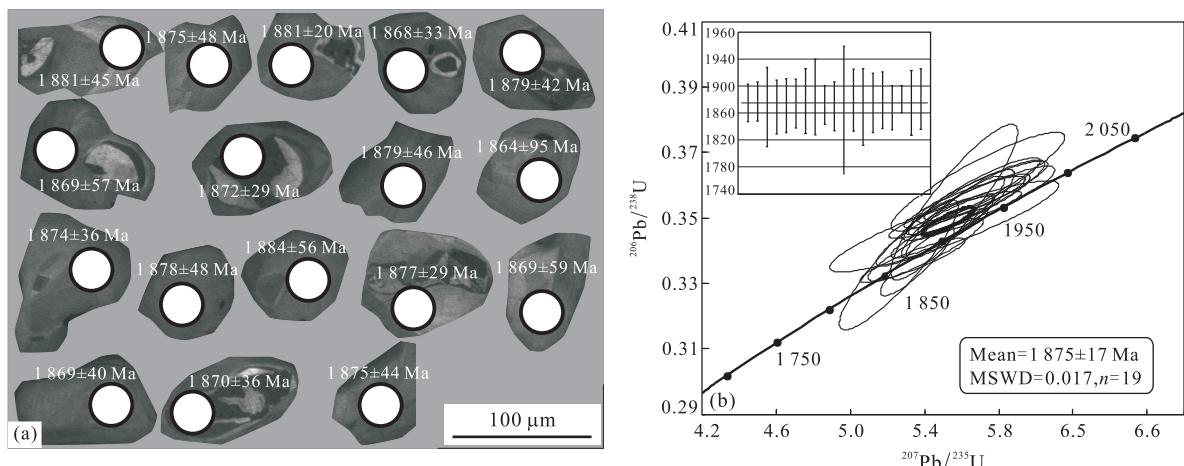


图6 蚂蚁河组(NMY01)锆石阴极发光图像及年龄谐和图

Fig. 6 Zircon CL images and concordia diagrams of Maiyih Formation (NMY01)

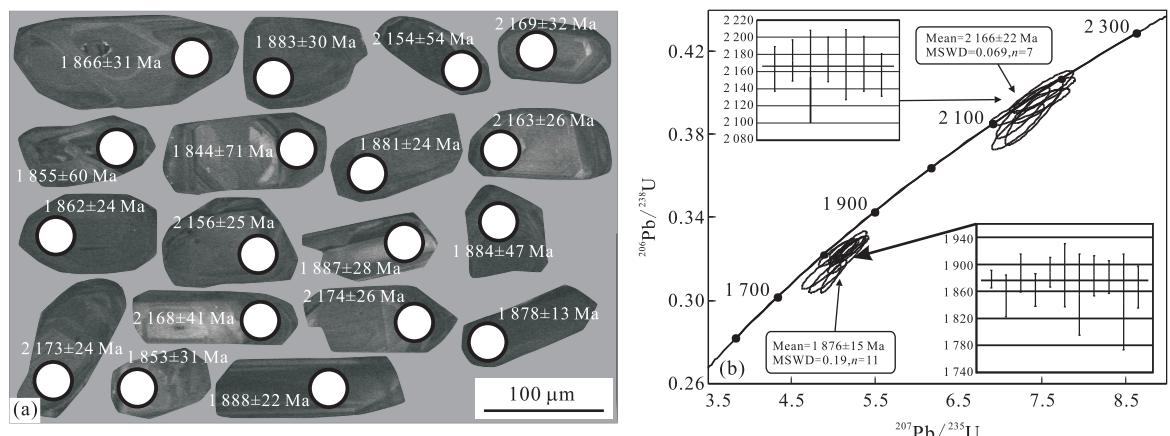


图7 蚂蚁河组(NMY02)锆石阴极发光图像及U-Pb年龄谐和图

Fig. 7 Zircon CL images and concordia diagrams of Maiyih Formation (NMY02)

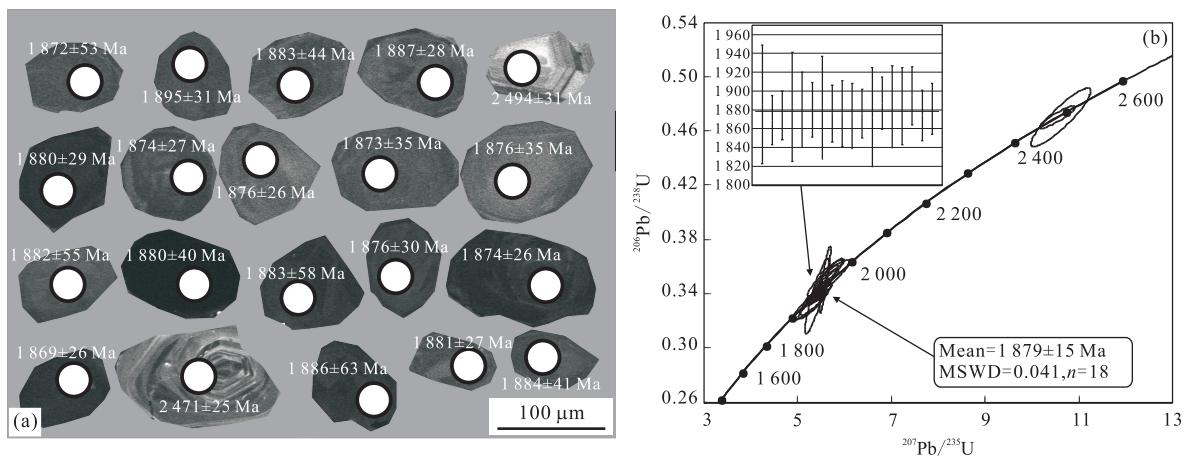


图8 荒岔沟组(NH01)锆石阴极发光图像及U-Pb年龄谐和图

Fig. 8 Zircon CL images and concordia diagrams of Huangchagou Formation (NH01)

深,具有核边结构,核部隐约可见岩浆振荡环带,边部为变质成因;具有较高的 Th/U 比值,分别为 0.39

和 0.56,为岩浆成因锆石。2 粒锆石分别给出的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄值为 $2189 \pm 37 \text{ Ma}$ 和 $2156 \pm 34 \text{ Ma}$,

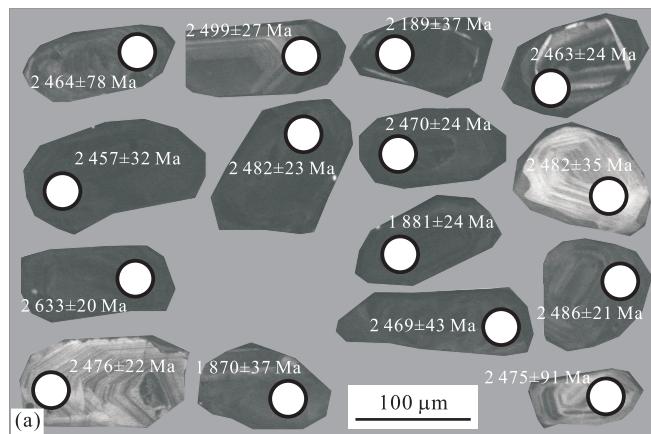


图9 大东岔组(ND02)锆石阴极发光图像及U-Pb年龄谐和图

Fig. 9 Zircon CL images and concordia diagrams of Dadongcha Formation (ND02)

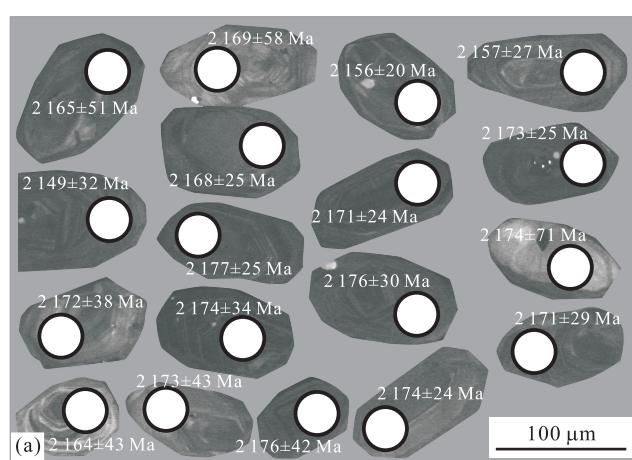


图10 钱桌岩体(NMY03)锆石阴极发光图像及U-Pb年龄谐和图

Fig. 10 Zircon CL images and concordia diagrams of Qianzhuo pluton (NMY03)

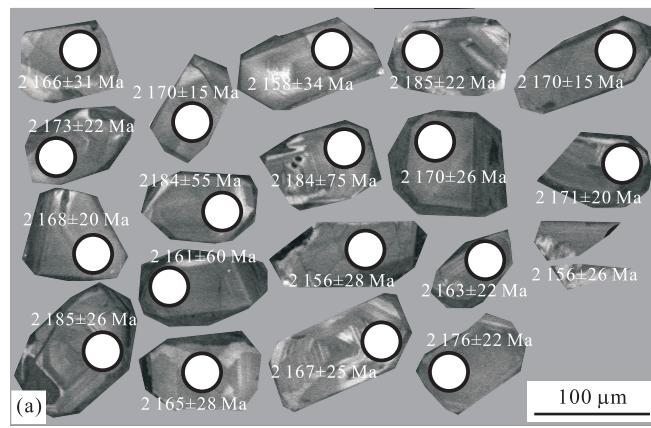


图11 钱桌岩体(NQZ01)锆石阴极发光图像及U-Pb年龄谐和图

Fig. 11 Zircon CL images and concordia diagrams of Qianzhuo pluton (NQZ01)

代表沉积作用前的一期岩浆作用年龄。第3组共有12粒锆石:锆石呈短柱状,不规则状;锆石核部具有

明显的岩浆振荡环带,而在边缘具有变质增生边;中心具有岩浆振荡环带部位具有较高的Th/U比值,除

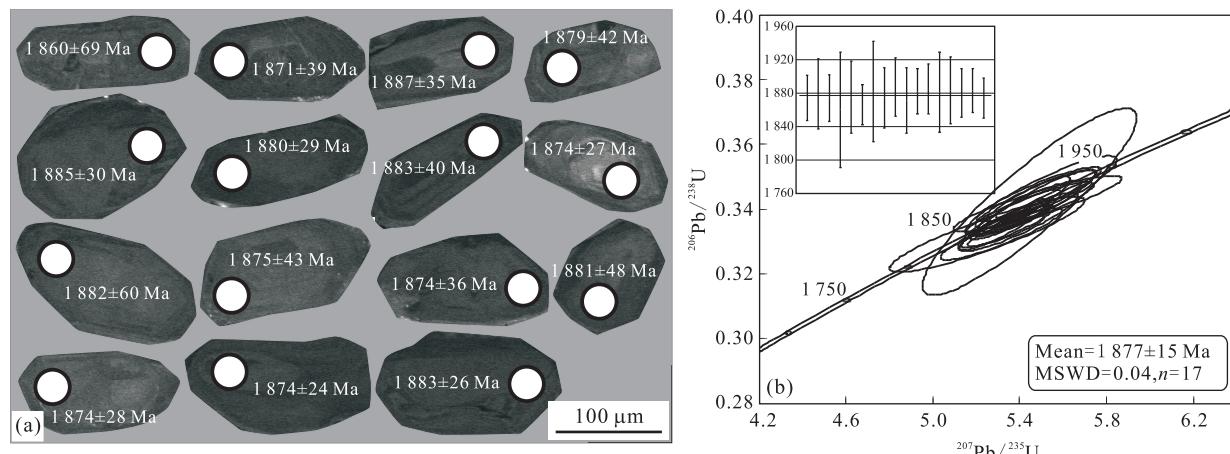


图 12 双岔岩体(NSC01)锆石阴极发光图像及 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 12 Zircon CL images and concordia diagrams of Shuangcha pluton (NSC01)

一颗为 0.37 外, 其余均大于 0.4. 12 粒锆石中心部位给出的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄值为 $2\ 477 \pm 17$ Ma, 为锆石形成时岩浆结晶年龄. 变质增生边的存在说明该组锆石形成后, 经历了后期的区域变质作用. 第 4 组也含 2 粒锆石: 锆石呈柱状; 其 Th/U 比值为 0.68 和 1.11, 均大于 0.4, 为岩浆成因锆石. 2 粒锆石分别给出的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄值为 $2\ 633 \pm 20$ Ma 和 $2\ 653 \pm 27$ Ma. 第 3 组和第 4 组锆石来源于太古宙结晶基底.

样品 NMY03 为钱桌岩体片麻状二长花岗岩, 本文对 18 粒锆石进行了测试. 在 CL 图像中, 锆石颜色较深; 形态呈短柱状; 隐约可见岩浆振荡环带; 锆石 Th/U 比值较大, 除一粒锆石为 0.38 外, 其余为 $0.46 \sim 1.09$, 均大于 0.4, 为岩浆成因锆石. 18 粒锆石给出了一致的谐和年龄值, 在 U-Pb 年龄谐和图解中, 所有样品均落在谐和线或其附近(图 10), $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄值为 $2\ 168 \pm 14$ Ma 的, 可以代表岩体形成年龄.

样品 NQZ01 为钱桌岩体片麻状二长花岗岩, 本文对 19 粒锆石进行了测试. 锆石形态呈短柱状和不规则状; 在 CL 图像中, 具有岩浆环带(图 11); 具有较大的 Th/U 含量, 分别为 $200 \times 10^{-6} \sim 894 \times 10^{-6}$ 、 $475 \times 10^{-6} \sim 1\ 097 \times 10^{-6}$; 较高的 Th/U 比值, Th/U 比值为 $0.42 \sim 0.81$, 为岩浆成因锆石. 在 U-Pb 年龄谐和图解中, 锆石均位于谐和线上或其附近, 给出了 $2\ 170 \pm 11$ Ma 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄, 与 NMY03 的年龄一致, 差值在误差范围内, 可以代表岩体形成年龄.

样品(NSC01)为双岔岩体的似斑状二长花岗岩, 本文对 17 粒锆石进行了测试(图 12). 锆石呈柱

状、不规则状; CL 图像中, 颜色较深, 呈黑色; 个别可见有继承锆石的残留核以及岩浆震荡环带; 具有较高的 Th、U 含量, 分别为 $122 \times 10^{-6} \sim 636 \times 10^{-6}$ 、 $926 \times 10^{-6} \sim 2\ 672 \times 10^{-6}$; Th/U 比值为 $0.11 \sim 0.75$, 为岩浆成因锆石. 在 U-Pb 年龄谐和图解中, 锆石均位于谐和线上, 给出了一致的谐和年龄值, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄值为 $1\ 877 \pm 15$ Ma, 代表双岔岩体的侵位时代.

5 讨论

集安群及辽吉花岗岩的锆石 U-Pb LA-ICP-MS 测年结果给出了 4 组年龄, 分别为 $2\ 633 \sim 2\ 653$ Ma、 $2\ 471 \sim 2\ 494$ Ma、 $2\ 156 \sim 2\ 189$ Ma、和 $1\ 870 \sim 1\ 881$ Ma(表 2).

在大东岔组黑云变粒岩碎屑锆石中, 含有 4 组年龄值, 呈现了丰富的物源信息. 其中, $2\ 633 \sim 2\ 653$ Ma 和 $2\ 471 \sim 2\ 494$ Ma 的年龄与裂谷带两侧的太古代片麻岩年龄一致(Liu *et al.*, 1992; Song *et al.*, 1996; 路孝平等, 2004a), 且在荒岔沟组斜长角闪岩中, 亦捕获有 $2\ 471 \sim 2\ 494$ Ma 的锆石, 两者共同显示其物质来源于两侧太古代基底岩石. 其具有 $2\ 156 \sim 2\ 189$ Ma 的锆石颗粒, 具有岩浆振荡环带和较大的 Th/U 值, 为岩浆成因的碎屑锆石. 其来源只能是裂谷带接受沉积之前已存的岩浆事件产物. 在蚂蚁河组角闪长片麻岩和辽吉花岗岩中, 辽东的虎皮峪花岗岩(路孝平等, 2004b)和吉林南部的钱桌岩体, 均具有该时期的年龄值. 因此认为 $2\ 156 \sim 2\ 189$ Ma 为裂谷带裂陷期早期火山岩及岩浆侵位年龄, 同时, 集安群自此开始接受沉积. 上述

表2 锆石年龄分布

Table 2 Distribution of the zircon age

| 样品编号 | 蚂蚁河组 | | 荒岔沟组 | | 大东岔组 | | 钱桌岩体 | | 双岔岩体 | | 地质意义 |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|---------------|---------------------|--|------|
| | NMY01 | NMY02 | NH01 | ND02 | NMY03 | NQZ01 | NSC01 | | | | |
| 岩性 | 斜长角闪岩 | 角闪斜长片麻岩 | 斜长角闪岩 | 黑云变粒岩 | 片麻状二长花岗岩 | | 二长花岗岩 | | | | |
| 1 870~1 881 Ma | * 1 875±17 Ma | * 1 876±15 Ma | * 1 879±15 Ma | # 1 870±37 Ma | | | | * 1 877±15 Ma | 区域变质作用年龄; | | |
| | | | | # 1 881±24 Ma | | | | # 1 874±27 Ma | 花岗岩体侵位年龄 | | |
| 2 156~2 189 Ma | | * 2 166±22 Ma | | # 2 189±37 Ma | * 2 168±14 Ma | * 2 170±11 Ma | | | 裂谷带裂陷期火山岩年龄;花岗岩侵位年龄 | | |
| | | | | # 2 156±34 Ma | | | | | | | |
| 2 471~2 494 Ma | | | # 2 471±25 Ma | * 2 477±17 Ma | | | | | 太古宙结晶基底岩浆事件年龄 | | |
| | | | # 2 494±31 Ma | | | | | | | | |
| 2 633~2 653 Ma | | | | # 2 633±20 Ma | | | | | 太古宙结晶基底岩浆事件年龄 | | |
| | | | | # 2 653±27 Ma | | | | | | | |

注: * 为加权平均年龄; # 为单颗粒锆石年龄。

可知,集安群物质来源于裂谷带两侧太古代基底、裂陷早期的火山岩和花岗质岩石。

1 870~1 881 Ma 为所测得的最年轻的年龄。来自斜长角闪岩和角闪斜长片麻岩中具有该年龄值的锆石多呈椭圆状、不规则状,具有较低的 Th/U 值,为变质锆石。该组年龄也广泛出现在蚂蚁河组和荒岔沟组的正变质岩、大东岔组副变质岩以及双岔岩体花岗岩中。同一地区不同成因类型、不同时期的地质体中存在相同年龄的锆石,并且这个年龄又较地质体形成年龄新,表明在地质体形成之后它们共同经历了某种相同的地质作用。翟明国和彭澎(2007)认为华北板块在约 1.85 Ga 经历了一次挤压构造事件,导致了裂陷盆地的闭合和焊接,形成了类似于现代陆陆碰撞型的造山带。在该区,造山作用形成的清河岩体、卧龙泉岩体和双岔岩体侵位于 1.87~1.86 Ga(路孝平等,2004b)。矿洞沟 A 型花岗岩于 1.85 Ga 的侵位,代表造山作用的结束(蔡剑辉等,2002)。而本文所得的 1 870~1 881 Ma 的年龄值与造山作用年龄相当,早于代表造山作用结束的 A 型花岗岩的年龄值,可能代表华北板块在约 1.85 Ga 经历的挤压构造事件而产生的区域变质作用的时间。

6 结论

(1) 集安群下部火山岩的岩浆成因锆石年龄为 2 156~2 189 Ma, 代表辽吉裂谷裂陷早期的年龄。

(2) 集安群沉积作用开始于 2.15 Ga 之后,结束于 1.88 Ga 之前,普遍经历了 1 870~1 881 Ma 的区域变质作用。其物质来源于太古宙基底和辽吉裂谷裂陷早期岩浆事件产物。

致谢:感谢中国地质大学(武汉)地质过程与矿

产资源国家重点实验室在锆石 LA-ICP-MS 测年过程中所给予的帮助。

References

- Andersen, T., 2002. Corrections of Common Lead in U-Pb Analyses that Do Not Report ^{204}Pb . *Chem. Geol.*, 59–79.
- Cai, J. H., Yan, G. H., Mu, B. L., et al., 2002. U-Pb and Sm-Nd Isotopic Ages of an Alkaline Syenite Complex Body in Liangtun-Kuangdonggou, Gai County, Liaoning Province, China and Their Geological Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 18(3): 349–354 (in Chinese with English abstract).
- Liu, D. Y., Nutman, A. P., Compston, W., et al., 1992. Remnants of $\geq 3\text{ }800\text{ Ma}$ Crust in the Chinese Part of the Sino-Korean Craton. *Geology*, 20: 339–342. doi: 10.1130/0091-7613 (1992) 020 < 0339: ROMCIT > 2.3. CO
- Liu, Y. S., Gao, S., Hu, Z. C., et al., 2010. Continental and Oceanic Crust Recycling-Induced Melt-Peridotite Interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons of Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1–2): 537–571. doi: 10.1093/petrology/egp082
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Gao, S., et al., 2008. In Situ Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, 257(1–2): 34–43. doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.08.004
- Lu, X. P., 2004. Paleoproterozoic Tectonic Magmatic Event in Tonghua Area (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Lu, X. P., Wu, F. Y., Guo, J. H., et al., 2006. Zircon U-Pb Geochronological Constraints on the Paleoproterozoic Crustal Evolution of the Eastern Block in the North China Craton. *Precambrian Research*, 146: 138–164.

doi:10.1016/j.precamres.2006.01.009

Lu, X. P., Wu, F. Y., Lin, J. Q., et al., 2004a. Geochronological Successions of the Early Precambrian Granitic Magmatism in Southern Liaodong Peninsula and Its Constraints on Tectonic Evolution of the North China Craton. *Chinese Journal of Geology*, 39(1): 123—138 (in Chinese with English abstract).

Lu, X. P., Wu, F. Y., Zhang, Y. B., et al., 2004b. Emplacement Age and Tectonic Setting of the Paleoproterozoic Liaoji Granites in Tonghua Area, Southern Jilin Province. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 381—392 (in Chinese with English abstract).

Ludwig, K. R., 2001. Users Mantle for Isoplot/Ex (Rev 2.49): A Geochrononlogical Toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochron. Cent. Spec. Pub.*, 1—55.

Luo, Y., Sun, M., Zhao, G. C., et al., 2004. LA-ICP-MS U-Pb Zircon Ages of the Liaohe Group in the Eastern Block of the North China Craton: Constraints on the Evolution of the Jiao-Liao-Ji Belt. *Precambrian Research*, 134: 349—371.

Song, B., Nutman, A. P., Liu, D. Y., et al., 1996. 3 800—2 500 Ma Crustal Evolution in the Anshan Area of Liaoning Province, North Eastern China. *Precambrian Research*, 78: 79—94. doi: 10.1016/0301—9268(95)00070—4

Wang, F. R., 1991. The Geological Features of the Lower Proterozoic Ji'an Group in Southern Jilin and the Palaeoenvironmental Analysis during the Deposition. *Jilin Geology*, (2): 31—41 (in Chinese with English abstract).

Wang, F. R., 1995. Subdivision and Correlation of an Early Proterozoic Metamorphic System in the Southern Jilin Province. *Jilin Geology*, 14(4): 1—15 (in Chinese with English abstract).

Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. A Study on the Minerageny and U-Pb Dating Explaination of Zircons. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589—1604 (in Chinese).

Zhai, A. M., Shen, B. F., Yang, C. L., et al., 2005. Geological Evolvement and Ore-Forming of the Liaoning-Jilin Paleoproterozoic Rift. *Geological Survey and Research*,

28(4): 213—220 (in Chinese with English abstract).

Zhai, M. G., Peng, P., 2007. Paleoproterozoic Events in the North China Craton. *Acta Petrologica Sinica*, 23(11): 2665—2682 (in Chinese with English abstract).

Zhang, Q. S., 1988. Early Crust and Mineral Deposits of Liaodong Peninsula, China. Geological Publishing House, Beijing, 574 (in Chinese).

Zhang, Q. S., Li, S. Y., 1985. The Liaojite Suite—A Special Eugeosyncline Facies of the Early Proterozoic. *Journal of Changchun College of Geology*, (1): 1—12 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡剑辉, 阎国翰, 牟保磊, 等, 2002. 辽宁盖县梁屯—矿洞沟碱性正长岩杂岩体的 U-Pb 和 Sm-Nd 年龄及其地质意义. *岩石学报*, 18(3): 349—354.
- 路孝平, 2004. 通化地区古元古代构造岩浆事件(博士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 路孝平, 吴福元, 林景仟, 等, 2004a. 辽东半岛南部早前寒武纪花岗质岩浆作用的年代学格架. *地质科学*, 39(1): 123—138.
- 路孝平, 吴福元, 张艳斌, 等, 2004b. 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. *岩石学报*, 20(3): 381—392.
- 王福润, 1991. 吉林省南部下元古界集安群地质特征与沉积期古环境分析. *吉林地质*, (2): 31—41.
- 王福润, 1995. 吉南地区早元古代变质岩系的划分和对比. *吉林地质*, 14(4): 1—15.
- 吴元保, 郑永飞, 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. *科学通报*, 49(16): 1589—1604.
- 翟安民, 沈保丰, 杨春亮, 等, 2005. 辽吉古裂谷地质演化与成矿. *地质调查与研究*, 28(4): 213—220.
- 翟明国, 彭澎, 2007. 华北克拉通古元古代构造事件. *岩石学报*, 23(11): 2665—2682.
- 张秋生, 1988. 辽东半岛早期地壳和矿床. 北京: 地质出版社, 574.
- 张秋生, 李守义, 1985. 辽吉岩套—早元古宙的一种特殊优地槽相杂岩. *长春地质学院学报*, (1): 1—12.