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 一沉积和变质作用,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

-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 mag-matic 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一沉积 岩系列的沉积时限的关系存在较大的争议.最初的 研究认为火山一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,北侧以辽阳一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,为英云闪长质一花岗闪长质一奥长花岗 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 套火山一沉积岩系;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,原岩为火山一沉积岩系;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°46′9.35″E,41°18′16.13″N),蚂蚁河组斜长角 闪岩;NMY02(125°46′9.24″E,41°18′16.16″N),蚂蚁河组角闪斜长片麻岩;NH01(125°38′33.72″E,41°26′6.42″N),荒岔沟组斜长角闪岩;ND02(125°52′46.64″E,41°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°43′52.79″E,41°19′24.83″N),钱 桌岩体片麻状二长花岗岩;NQZ01(125°45′44.00″ E,41°18′11.27″N),钱桌岩体片麻状二长花岗岩; NSC01(125°52′13.99″E,41°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 0.1~1.0 mm,含量在 40%左 右;角闪石:绿黑色,柱状,粒径为 0.2~2.5 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 0.1~0.8 mm,含量在 15%左右;斜长石:板状,粒径为 0.1~1.0 mm,含量在 60%左右;石英:粒状,粒径为 0.1~0.7 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:不



- 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 0.1~0.8 mm,含量 40%左右;角 闪石:呈柱状,粒径为 0.1~1.0 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 0.1~1 mm,含量 10%左右;石英:他形粒状,粒径为 0.1~0.4 mm,含 量 45% 左右;斜长石:板条状,粒径为 0.1~ 0.6 mm,发育聚片双晶,含量 15%左右;微斜长石: 厚板状,粒径为 0.05~0.40 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 0.2~4.0 mm,具有波状消光,含量在 35% 左右;斜长石:板条状,粒径为 0.2~3.0 mm,发育聚 片双晶,含量 25%左右;条纹长石:厚板状,粒径为 0.3~3.0 mm,含量在 35%左右;黑云母:片状,粒径 0.1~0.6 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 Dadongcha 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²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb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 333×10⁻⁶~552×10⁻⁶和 587× 10⁻⁶~1108×10⁻⁶, 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 Pb/206 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 123×10⁻⁶~ 294×10^{-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, ²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 加权平均年龄值为 1 876±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 132×10⁻⁶ ~ 556×10⁻⁶和 217×10⁻⁶~2 624×10⁻⁶;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 Pb/²⁰⁶ 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 2 471±25 Ma 和 2 494±31 Ma 的²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ 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 Pb/²⁰⁶ Pb 年龄为 1 881±24 Ma 和 1 870±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

| 世耕 | 4L | | | 207 Ph. | /206 Ph | 207 Ph | / 235 T T | 206 Dh | /238 T T | 207 Ph /2 | 206 Ph | 207 Ph /2 | 235 T T | 206 Ph /2 | 3811 |
|---------|---------------------|---------------------|---------|------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|------------------------------|
| NMY01 | (10-6) | (10 ⁻⁶) | Th/U | - 下 中 伊 | | 下 下 上 上 | | 上位 | | 在脸(Ma) | | 4 啦 (Ma) | | 在脸(Ma) | $\left \frac{\mu}{+}\right $ |
| 1010AMN | 107 | 8655 | 0 60 | 0 114 7 | 2 600 0 | 5 568 9 | 0 133 0 | 0 351 0 | 0.003 8 | 1 875 | 86 | 1 011 | 01 | 1 010 | 18 |
| NMV0102 | 03 | 967 | 0.00 | 0.114.8 | 0.002.5 | 5 554 9 | 0.183.9 | 0 350 9 | 0.000.0 | 1 877 | 07 | 1 909 | 12 | 1 936 | 40 |
| NMY0103 | 61 | 241 | 0.38 | 0.1143 | 0.007 0 | 5.687 0 | 0.3090 | 0.3611 | 0.009.9 | 1869 | 26 | 1 929 | 47 | 1 987 | 47 |
| NMY0104 | 142 | 402 | 0.35 | 0.1143 | 0.0053 | 5.4600 | 0.2104 | 0.3463 | 0.007 3 | 1869 | 40 | 1 894 | 33 | 1 917 | 35 |
| NMY0105 | 45 | 940 | 0.05 | 0.1144 | 0.0043 | 5.7108 | 0.2060 | 0.3588 | 0.0063 | 1871 | 40 | 1 933 | 31 | 1 977 | 30 |
| NMY0106 | 112 | 283 | 0.39 | 0.1146 | 0.0038 | 5.480 1 | 0.1724 | 0.3453 | 0.0049 | 1874 | 36 | 1 897 | 27 | 1 912 | 24 |
| NMY0107 | 134 | 289 | 0.47 | 0.1149 | 0.0046 | 5.7115 | 0.2332 | 0.3579 | 0.0062 | 1 878 | 48 | 1 933 | 35 | 1 972 | 30 |
| NMY0108 | 81 | 293 | 0.28 | 0.1153 | 0.0054 | 5.6894 | 0.2727 | 0.3545 | 0.007 5 | 1884 | 56 | 1 930 | 41 | 1 956 | 35 |
| NMY0109 | 9 7 69 | 1 350 | 7.24 | 0.1145 | 0.0029 | 5.5944 | 0.1913 | 0.3513 | 0.0089 | 1872 | 29 | 1 915 | 29 | 1 941 | 43 |
| NMY0110 | 1 180 | $1 \ 320$ | 0.89 | 0.1144 | 0.0036 | 5.5600 | 0.2261 | 0.3548 | 0.0157 | 1870 | 36 | 1 910 | 35 | 1 958 | 75 |
| 1110YMN | 148 | 338 | 0.44 | 0.114 | 0.0082 | 5.506.5 | 0.4071 | 0.3474 | 0.009 2 | 1864 | 95 | 1 902 | 64 | 1 922 | 44 |
| NMY0112 | 162 | 511 | 0.32 | 0.115 | 0.0046 | 5.6801 | 0.2419 | 0.3562 | 0.0076 | 1 879 | 46 | 1 928 | 37 | 1 964 | 36 |
| NMY0113 | 175 | 455 | 0.38 | 0.1143 | 0.0048 | 5.5657 | 0.2355 | 0.3510 | 0.0048 | 1869 | 57 | 1 911 | 36 | 1 939 | 23 |
| NMY0114 | 129 | 308 | 0.42 | 0.1147 | 0.0040 | 5.3368 | 0.1867 | 0.3370 | 0.004 5 | 1 875 | 44 | 1 875 | 30 | 1 872 | 22 |
| NMY0115 | 134 | 390 | 0.34 | 0.1149 | 0.0039 | 5.4063 | 0.2048 | 0.3404 | 0.0064 | 1 879 | 42 | 1 886 | 32 | 1 888 | 31 |
| NMY0116 | 349 | 1137 | 0.31 | 0.1143 | 0.0063 | 5.2624 | 0.2114 | 0.3357 | 0.013 1 | 1868 | 33 | 1863 | 34 | 1 866 | 63 |
| NMY0117 | 387 | 951 | 0.41 | 0.1151 | 0.0021 | 5.3621 | 0.1310 | 0.3367 | 0.0069 | 1 881 | 20 | 1 879 | 21 | 1 871 | 33 |
| NMY0118 | 122 | 289 | 0.42 | 0.1147 | 0.0043 | 5.6170 | 0.2164 | 0.3548 | 0.0053 | 1 875 | 48 | 1 919 | 33 | 1 957 | 25 |
| NMY0119 | 146 | 330 | 0.44 | 0.1151 | 0.0043 | 5.6365 | 0.2197 | 0.3540 | 0.006 2 | 1 881 | 45 | 1 922 | 34 | 1 954 | 29 |
| 样品 | Th | D | TT/ IC | $^{207}\mathrm{Pb}_{\prime}$ | $^{206}\mathrm{Pb}$ | 207 Pb, | / ²³⁵ U | $^{206} \mathrm{Pb}_{,}$ | / ²³⁸ U | $^{207}\mathrm{Pb}/^{2}$ | $^{206}\mathrm{Pb}$ | $^{207}\mathrm{Pb}/^{2}$ | 235 U | $^{206}\mathrm{Pb}/^{2}$ | 38 U |
| NMY02 | (10^{-6}) | (10^{-6}) | 1 II/ C | 比值 | $\pm 1_{\sigma}$ | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ |
| NMY0201 | 362 | 779 | 0.46 | 0.1349 | 0.0038 | 7.2155 | 0.2075 | 0.3835 | 0.007 2 | 2 163 | 26 | 2 138 | 26 | 2 093 | 34 |
| NMY0202 | 228 | 1 621 | 0.14 | 0.1149 | 0.0021 | 4.9738 | 0.0814 | 0.3104 | 0.004 5 | 1 878 | 13 | 1 815 | 14 | 1 742 | 22 |
| NMY0203 | 176 | 1 706 | 0.10 | 0.1133 | 0.0019 | 5.0700 | 0.0747 | 0.3246 | 0.0026 | 1853 | 31 | 1 831 | 12 | 1 812 | 13 |
| NMY0204 | 525 | 856 | 0.61 | 0.1357 | 0.0029 | 7.4060 | 0.2294 | 0.3907 | 0.0104 | 2 173 | 24 | 2 162 | 28 | 2 126 | 48 |
| NMY0205 | 552 | $1 \ 108$ | 0.50 | 0.1342 | 0.0058 | 7.3541 | 0.3143 | 0.3931 | 0.0058 | 2 154 | 54 | 2 155 | 38 | 2 137 | 27 |
| NMY0206 | 1282 | 939 | 1.37 | 0.1155 | 0.003 5 | 5.1627 | 0.1499 | 0.3217 | 0.0058 | 1 887 | 28 | 1 846 | 25 | 1 798 | 28 |
| NMY0207 | 333 | 934 | 0.36 | 0.1358 | 0.0031 | 7.4396 | 0.1902 | 0.3934 | 0.0054 | 2 174 | 26 | 2 166 | 23 | 2 139 | 25 |
| NMY0208 | 294 | 1764 | 0.17 | 0.1139 | 0.0024 | 5.1136 | 0.1112 | 0.3232 | 0.003 5 | 1862 | 24 | 1 838 | 18 | 1 805 | 17 |
| NMY0209 | 355 | 587 | 0.60 | 0.1353 | 0.0046 | 7.5055 | 0.2584 | 0.3991 | 0.0054 | 2 168 | 41 | 2 174 | 31 | 2 165 | 25 |
| NMY0210 | 356 | 651 | 0.55 | 0.1354 | 0.0045 | 7.5171 | 0.2387 | 0.4005 | 0.0067 | 2 169 | 32 | 2 175 | 28 | 2 171 | 31 |
| NMY0211 | 2813 | $1 \ 454$ | 1.93 | 0.1156 | 0.0027 | 5.2083 | 0.1164 | 0.3244 | 0.004 2 | 1 888 | 22 | 1 854 | 19 | 1 811 | 20 |
| NMY0212 | 123 | 1 907 | 0.06 | 0.1153 | 0.0029 | 5.1327 | 0.1154 | 0.3230 | 0.0039 | 1 884 | 47 | 1 842 | 19 | 1 804 | 19 |
| NMY0213 | 431 | 940 | 0.46 | 0.1344 | 0.0033 | 7.2758 | 0.2127 | 0.390 5 | 0.008 2 | 2 156 | 25 | 2 146 | 26 | 2 125 | 38 |
| NMY0214 | 229 | 904 | 0.25 | 0.1135 | 0.0037 | 5.0510 | 0.1503 | 0.3229 | 0.0043 | 1 855 | 60 | 1 828 | 25 | 1 804 | 21 |
| NMY0215 | 223 | 1511 | 0.15 | 0.1152 | 0.0028 | 5.2167 | 0.1358 | 0.3252 | 0.0038 | 1 883 | 30 | 1 855 | 22 | 1 815 | 18 |
| NMY0216 | 209 | 1568 | 0.13 | 0.1151 | 0.0028 | 5.2127 | 0.1270 | 0.3263 | 0.0047 | 1881 | 24 | 1 855 | 21 | 1 820 | 23 |
| NMY0217 | 293 | 1 443 | 0.20 | 0.1128 | 0.0043 | 4.8766 | 0.1653 | 0.3137 | 0.0054 | 1844 | 71 | 1 798 | 29 | 1 759 | 27 |
| NMV0218 | 136 | 1 220 | 0 11 | 0 114 1 | 0 003 1 | 4 939 4 | 0 148 8 | 0 311 6 | 0 005 9 | 1 866 | 31 | 1 809 | 9 L | 1 749 | 26 |

| 样品 | Th | D | Th, /11 | $^{207} \mathrm{Pb}_{\prime}$ | ^{/206} Pb | $^{207} \text{Pb}_{/}$ | /235 U | $^{206} Pb$ | / ²³⁸ U | $^{207} Pb/^{21}$ | ⁰⁶ Pb | $^{207}\mathrm{Pb}/^{2}$ | 35 U | $^{206}\mathrm{Pb}/^{2}$ | 38 U |
|--------|---------------------|-------------|---------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|---------------|
| 10HN | (10^{-6}) | (10^{-6}) | 111/ 0 | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ | 年龄(Ma) | $\pm 1\sigma$ | 年龄(Ma) | $\pm 1\sigma$ |
| NH0101 | 497 | 1 948 | 0.26 | 0.1154 | 0.0058 | 5.586.5 | 0.0803 | 0.3505 | 0.0163 | 1 886 | 63 | 1 914 | 12 | 1 937 | 78 |
| NH0102 | 336 | 849 | 0.40 | 0.1615 | 0.0037 | 10.5400 | 0.2510 | 0.4701 | 0.0054 | 2 471 | 25 | 2 483 | 22 | 2 484 | 23 |
| NH0103 | 556 | 2 058 | 0.27 | 0.1143 | 0.0026 | 5.4226 | 0.1226 | 0.3410 | 0.0034 | 1869 | 26 | 1 888 | 19 | 1 891 | 16 |
| NH0104 | 449 | 2 624 | 0.17 | 0.1146 | 0.0031 | 5.4757 | 0.1340 | 0.3430 | 0.0043 | 1 874 | 26 | 1 897 | 21 | 1 901 | 21 |
| NH0105 | 204 | 1 049 | 0.19 | 0.1152 | 0.0050 | 5.6642 | 0.2927 | 0.3517 | 0.0088 | 1883 | 58 | $1 \ 926$ | 45 | 1 943 | 42 |
| NH0106 | 132 | 217 | 0.61 | 0.1150 | 0.0048 | 5.3352 | 0.2074 | 0.3327 | 0.0073 | 1 880 | 40 | 1 875 | 33 | 1 851 | 35 |
| NH0107 | 177 | 1 148 | 0.15 | 0.1150 | 0.0033 | 5.7362 | 0.1688 | 0.3568 | 0.0062 | 1 880 | 29 | 1 937 | 25 | 1 967 | 29 |
| NH0108 | 483 | 2 180 | 0.22 | 0.1151 | 0.0072 | 5.4149 | 0.1660 | 0.3383 | 0.0184 | 1 882 | 55 | 1 887 | 26 | 1 878 | 89 |
| NH0109 | 229 | $1 \ 911$ | 0.12 | 0.1148 | 0.0052 | 5.5872 | 0.1831 | 0.3498 | 0.0077 | 1 876 | 30 | 1 914 | 28 | 1 934 | 37 |
| NH0110 | 172 | 1 413 | 0.12 | 0.1148 | 0.0041 | 5.3314 | 0.1751 | 0.3331 | 0.0057 | 1 876 | 35 | 1 874 | 28 | 1 853 | 28 |
| NH0111 | 270 | 1 813 | 0.15 | 0.1145 | 0.0032 | 5.7368 | 0.1630 | 0.3590 | 0.0041 | 1873 | 35 | 1 937 | 25 | 1 977 | 20 |
| NH0112 | 201 | 1 234 | 0.16 | 0.1147 | 0.0027 | 5.5036 | 0.1270 | 0.3448 | 0.0038 | 1 876 | 26 | 1 901 | 20 | 1 910 | 18 |
| NH0113 | 236 | 1739 | 0.14 | 0.1145 | 0.0061 | 5.2778 | 0.2504 | 0.3321 | 0.0076 | 1 872 | 53 | 1865 | 40 | 1 849 | 37 |
| NH0114 | 264 | 1 805 | 0.15 | 0.1155 | 0.0028 | 5.4113 | 0.1274 | 0.3374 | 0.0034 | 1 887 | 28 | 1 887 | 20 | 1 874 | 16 |
| NH0115 | 385 | 345 | 1.12 | 0.1637 | 0.0070 | 10.6200 | 0.4218 | 0.4700 | 0.0142 | 2 494 | 31 | 2 490 | 37 | 2 484 | 62 |
| NH0116 | 342 | 1793 | 0.19 | 0.1152 | 0.0042 | 5.4289 | 0.2061 | 0.3390 | 0.0058 | 1883 | 44 | 1 889 | 33 | 1 882 | 28 |
| NH0117 | 226 | 1 414 | 0.16 | 0.1153 | 0.0040 | 5.449 5 | 0.1767 | 0.3404 | 0.004 0 | 1884 | 41 | 1 893 | 28 | 1 888 | 19 |
| NH0118 | 233 | 1 293 | 0.18 | 0.1160 | 0.0031 | 5.6520 | 0.1493 | 0.3510 | 0.004 1 | 1 895 | 31 | 1 924 | 23 | 1 939 | 19 |
| NH0119 | 295 | 1748 | 0.17 | 0.1146 | 0.0026 | 5.3823 | 0.1233 | 0.3381 | 0.0033 | 1 874 | 27 | 1 882 | 20 | 1 877 | 16 |
| NH0120 | 379 | 1 658 | 0.23 | 0.1151 | 0.0027 | 5.3917 | 0.1223 | 0.3375 | 0.0032 | 1881 | 27 | 1884 | 19 | 1 875 | 15 |
| 样品 | Th | D | TPL /TT | $^{207}\mathrm{Pb}_{/}$ | ^{/206} Pb | $^{207}\mathrm{Pb}_{/}$ | / 235 U | $^{206} \mathrm{Pb}_{\prime}$ | / ²³⁸ U | $^{207}\mathrm{Pb}/^{21}$ | $^{06}\mathrm{Pb}$ | $^{207}\mathrm{Pb}/^2$ | 35 U | $^{206}\mathrm{Pb}/^2$ | 38 U |
| ND02 | (10^{-6}) | (10^{-6}) | 1 U/ C | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ | 年龄(Ma) | $\pm 1\sigma$ |
| ND0201 | 632 | 803 | 0.79 | 0.163 | 0.0035 | 10.3319 | 0.2402 | 0.4562 | 0.0063 | 2 486 | 21 | 2 465 | 22 | 2 423 | 28 |
| ND0202 | 636 | 766 | 0.83 | 0.1613 | 0.0054 | 10.0778 | 0.5064 | 0.4481 | 0.0152 | 2 469 | 43 | 2 442 | 46 | 2 387 | 68 |
| ND0203 | 337 | 802 | 0.42 | 0.1608 | 0.0101 | 9.9272 | 0.5762 | 0.4438 | 0.0066 | 2 464 | 78 | 2 428 | 54 | 2 368 | 29 |
| ND0204 | 854 | 1 256 | 0.68 | 0.1779 | 0.0037 | 12.2783 | 0.2701 | 0.4961 | 0.0065 | 2633 | 20 | 2 626 | 21 | 2 597 | 28 |
| ND0205 | 712 | 1 342 | 0.53 | 0.1607 | 0.0040 | 10.143 0 | 0.2498 | 0.4534 | 0.0059 | 2 463 | 24 | 2 448 | 23 | 2 410 | 26 |
| ND0206 | 1 046 | 2 423 | 0.43 | 0.1151 | 0.0044 | 5.3274 | 0.1594 | 0.3336 | 0.0091 | 1881 | 24 | 1873 | 26 | 1 856 | 44 |
| ND0207 | 368 | 442 | 0.83 | 0.1619 | 0.0059 | 10.2514 | 0.4627 | 0.4542 | 0.0092 | 2 475 | 49 | 2 458 | 42 | 2 414 | 41 |
| ND0208 | 618 | 859 | 0.72 | 0.1603 | 0.0096 | 10.2291 | 0.7221 | 0.4587 | 0.0062 | 2 458 | 102 | 2 456 | 65 | 2 434 | 27 |
| ND0209 | 435 | $1 \ 121$ | 0.39 | 0.1369 | 0.0044 | 7.1441 | 0.2410 | 0.3758 | 0.0059 | 2 189 | 37 | 2 130 | 30 | 2 056 | 28 |
| ND0210 | 710 | 1 259 | 0.56 | 0.1344 | 0.0065 | 7.1857 | 0.2630 | 0.3857 | 0.0087 | 2 156 | 34 | 2 135 | 33 | 2 103 | 41 |
| ND0211 | 585 | $1 \ 461$ | 0.40 | 0.1601 | 0.0029 | 10.0152 | 0.4292 | 0.4506 | 0.0175 | 2 457 | 32 | 2 436 | 40 | 2 398 | 78 |
| ND0212 | 746 | $1 \ 276$ | 0.58 | 0.1625 | 0.0033 | 10.3170 | 0.2132 | 0.4578 | 0.0040 | 2 482 | 23 | 2 464 | 19 | 2 430 | 17 |
| ND0213 | 824 | 1 473 | 0.56 | 0.1613 | 0.0042 | 10.4047 | 0.2607 | 0.4659 | 0.0064 | 2 470 | 24 | 2 471 | 23 | 2 465 | 28 |
| ND0214 | 441 | 568 | 0.78 | 0.1641 | 0.0043 | 10.3791 | 0.2963 | 0.4572 | 0.0076 | 2 499 | 27 | 2 469 | 26 | 2 427 | 34 |
| ND0215 | 507 | 457 | 1.11 | 0.1801 | 0.0050 | 12.3982 | 0.3695 | 0.4971 | 0.0086 | 2 653 | 27 | 2 635 | 28 | 2 602 | 37 |
| ND0216 | 120 | 1 178 | 0.10 | 0.1144 | 0.0033 | 5.3832 | 0.1682 | 0.3389 | 0.0046 | 1 870 | 37 | 1882 | 27 | 1 881 | 22 |
| ND0217 | 362 | 202 | 1.79 | 0.1626 | 0.0034 | 10.1970 | 0.2505 | 0.4522 | 0.0068 | 2 482 | 35 | 2 453 | 23 | 2 405 | 30 |
| ND0218 | 101.5 | 272 | 0.37 | 0.1620 | 0.0037 | 10.4123 | 0.2775 | 0.4649 | 0.0089 | 2 476 | 22 | 2 472 | 25 | 2 461 | 39 |

续表 1

| 样品 | Th | U | T1, /T1 | 207 Pb/ | $^{206}\mathrm{Pb}$ | $^{207} \mathrm{Pb}_{ m /}$ | / 235 U | $^{206} \mathrm{Pb}_{\prime}$ | /238 U | $^{207}\mathrm{Pb}/^2$ | $^{06}\mathrm{Pb}$ | $^{207}\mathrm{Pb}/^{2}$ | 335 U | $^{206}\mathrm{Pb}/^2$ | **U |
|---------|-------------|-------------|---------|----------------------|---------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|------------------------|---------------------|--------------------------|------------------|------------------------|------------------|
| NMY03 | (10^{-6}) | (10^{-6}) | 11/10 | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ |
| NMY0301 | 870 | 1 838 | 0.47 | 0.1355 | 0.0044 | 7.4344 | 0.2027 | 0.3965 | 0.0054 | 2 171 | 29 | 2 165 | 24 | 2 153 | 25 |
| NMY0302 | 624 | 1 258 | 0.5 | 0.1358 | 0.0038 | 7.3263 | 0.2034 | 0.3889 | 0.0076 | 2 174 | 24 | 2 152 | 25 | 2 118 | 35 |
| NMY0303 | 593 | 543 | 1.09 | 0.1350 | 0.0048 | 7.4041 | 0.2922 | 0.3945 | 0.0073 | 2 164 | 43 | 2 161 | 35 | 2 144 | 34 |
| NMY0304 | 466 | 769 | 0.61 | 0.1344 | 0.0035 | 7.4177 | 0.1952 | 0.3971 | 0.0055 | 2 157 | 27 | 2 163 | 24 | 2 156 | 25 |
| NMY0305 | 267 | 537 | 0.5 | 0.1357 | 0.0047 | 7.5915 | 0.3134 | 0.4007 | 0.0084 | 2 173 | 43 | 2 184 | 37 | 2 172 | 39 |
| NMY0306 | 1121 | 1739 | 0.64 | 0.1357 | 0.0032 | 7.3463 | 0.1759 | 0.3886 | 0.0047 | 2 173 | 25 | 2 154 | 21 | 2 116 | 22 |
| NMY0307 | 654 | 721 | 0.91 | 0.1344 | 0.0036 | 7.4297 | 0.1788 | 0.3986 | 0.0069 | 2 156 | 20 | 2 165 | 22 | 2 163 | 32 |
| NMY0308 | 956 | 2 530 | 0.38 | 0.1338 | 0.0032 | 7.2015 | 0.2401 | 0.385 5 | 0.0077 | 2 149 | 32 | 2 137 | 30 | 2 102 | 36 |
| NMY0309 | 492 | 762 | 0.65 | 0.1356 | 0.0046 | 7.2758 | 0.2295 | 0.3864 | 0.0048 | 2 172 | 38 | 2 146 | 28 | 2 106 | 22 |
| NMY0310 | 197 | 385 | 0.51 | 0.1358 | 0.0055 | 7.2297 | 0.3006 | 0.3831 | 0.0066 | 2 174 | 71 | 2 140 | 37 | 2 091 | 31 |
| NMY0311 | 1641 | 2012 | 0.82 | 0.1360 | 0.0033 | 7.6754 | 0.1906 | 0.4052 | 0.0039 | 2 176 | 30 | 2 194 | 22 | 2 193 | 18 |
| NMY0312 | 1025 | 1 651 | 0.62 | 0.1359 | 0.0039 | 7.7197 | 0.3385 | 0.4055 | 0.0103 | 2 176 | 42 | 2 199 | 39 | 2 194 | 47 |
| NMY0313 | 230 | 493 | 0.47 | 0.1353 | 0.0038 | 7.4285 | 0.2092 | 0.3962 | 0.0072 | 2 168 | 25 | 2 164 | 25 | 2 152 | 33 |
| NMY0314 | 596 | 277 | 0.61 | 0.1360 | 0.0046 | 7.6069 | 0.2188 | 0.4025 | 0.0076 | 2 177 | 25 | 2 186 | 26 | 2 180 | 35 |
| NMY0315 | 217 | 434 | 0.5 | 0.1354 | 0.0054 | 7.4586 | 0.3263 | 0.3942 | 0.0051 | 2169 | 58 | 2 168 | 39 | 2 142 | 23 |
| NMY0316 | 1234 | 2 162 | 0.57 | 0.1355 | 0.0032 | 7.2056 | 0.1709 | 0.3818 | 0.0050 | 2 171 | 24 | 2 137 | 21 | 2 085 | 23 |
| NMY0317 | 762 | 1 094 | 0.70 | 0.1351 | 0.0051 | 7.3863 | 0.3324 | 0.3922 | 0.0076 | 2 165 | 51 | 2 159 | 40 | 2 133 | 35 |
| NMY0318 | 658 | 1 430 | 0.46 | 0.1358 | 0.0039 | 7.2459 | 0.2006 | 0.3837 | 0.0040 | 2 174 | 34 | 2 142 | 25 | 2 093 | 19 |
| 样品 | Th | N | TT/ IT | $^{207}\mathrm{Pb}/$ | $^{206}\mathrm{Pb}$ | $^{207} \mathrm{Pb}_{\prime}$ | /235 U | $^{206} \mathrm{Pb}_{\prime}$ | /238 U | $^{207}\mathrm{Pb}/^2$ | $^{106}\mathrm{Pb}$ | $^{207}\mathrm{Pb}/^{2}$ | 235 U | $^{206}\mathrm{Pb}/^2$ | ³⁸ U |
| NQZ01 | (10^{-6}) | (10^{-6}) | 1 II/ C | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ |
| NQZ0101 | 400 | 667 | 0.60 | 0.1344 | 0.0030 | 7.3206 | 0.1624 | 0.3921 | 0.0034 | 2 156 | 26 | 2 151 | 20 | 2 132 | 16 |
| NQZ0102 | 551 | 805 | 0.68 | 0.1360 | 0.0028 | 7.4511 | 0.1659 | 0.3945 | 0.0050 | 2 176 | 22 | 2 167 | 20 | 2 144 | 23 |
| NQZ0103 | 270 | 520 | 0.52 | 0.1352 | 0.0031 | 7.5322 | 0.1768 | 0.4016 | 0.0047 | 2 167 | 25 | 2 177 | 21 | 2 176 | 22 |
| NQZ0104 | 386 | 656 | 0.59 | 0.1367 | 0.0033 | 7.3797 | 0.1766 | 0.3894 | 0.0044 | 2 185 | 26 | 2 159 | 21 | 2 120 | 21 |
| NQZ0105 | 294 | 559 | 0.53 | 0.1351 | 0.0033 | 7.5941 | 0.1896 | 0.4049 | 0.0045 | 2 165 | 28 | 2 184 | 22 | 2 192 | 21 |
| NQZ0106 | 378 | 612 | 0.62 | 0.1344 | 0.0034 | 7.3645 | 0.1876 | 0.3946 | 0.0048 | 2 156 | 28 | 2 157 | 23 | 2 144 | 22 |
| NQZ0107 | 397 | 707 | 0.56 | 0.1355 | 0.0033 | 7.3831 | 0.1094 | 0.3916 | 0.0089 | 2 171 | 20 | 2 159 | 13 | 2 130 | 41 |
| NQZ0108 | 200 | 475 | 0.42 | 0.1365 | 0.0072 | 7.7407 | 0.4842 | 0.4065 | 0.0098 | 2 184 | 75 | 2 201 | 56 | 2 199 | 45 |
| NQZ0109 | 392 | 671 | 0.58 | 0.1348 | 0.0064 | 7.7647 | 0.3997 | 0.4133 | 0.0089 | 2 161 | 60 | 2 204 | 46 | 2 230 | 41 |
| NQZ0110 | 422 | 707 | 0.60 | 0.1366 | 0.0047 | 7.7032 | 0.3238 | 0.4038 | 0.0053 | 2 184 | 55 | 2 197 | 38 | 2 186 | 24 |
| NQZ0111 | 894 | 1 097 | 0.81 | 0.1349 | 0.0069 | 7.4739 | 0.3919 | 0.3969 | 0.0050 | 2 163 | 74 | 2 170 | 47 | 2 155 | 23 |
| NQZ0112 | 566 | 901 | 0.63 | 0.1354 | 0.0030 | 7.2040 | 0.2301 | 0.3810 | 0.0096 | 2 170 | 26 | 2 137 | 28 | 2 081 | 45 |
| NQZ0113 | 416 | 711 | 0.59 | 0.1354 | 0.0015 | 7.6372 | 0.1098 | 0.4039 | 0.0031 | 2 170 | 15 | 2 189 | 13 | 2 187 | 14 |
| NQZ0114 | 259 | 528 | 0.49 | 0.1366 | 0.0039 | 7.4970 | 0.1795 | 0.3941 | 0.0060 | 2 185 | 22 | 2 173 | 21 | 2 142 | 28 |
| NQZ0115 | 556 | 848 | 0.66 | 0.1354 | 0.0031 | 7.6446 | 0.1722 | 0.4059 | 0.0060 | 2 168 | 20 | 2 190 | 20 | 2 196 | 28 |
| NQZ0116 | 548 | 858 | 0.64 | 0.1354 | 0.0027 | 7.5124 | 0.1337 | 0.3996 | 0.0050 | 2 170 | 15 | 2 174 | 16 | 2 167 | 23 |
| NQZ0117 | 541 | 800 | 0.68 | 0.1352 | 0.0031 | 7.5375 | 0.2492 | 0.4009 | 0.0082 | 2 166 | 31 | 2 177 | 30 | 2 173 | 38 |
| NQZ0118 | 347 | 593 | 0.59 | 0.1345 | 0.0031 | 7.6333 | 0.2451 | 0.4083 | 0.0064 | 2 158 | 34 | 2 189 | 29 | 2 207 | 29 |
| NQZ0119 | 518 | 801 | 0.65 | 0.1357 | 0.0028 | 7.6176 | 0.1588 | 0.4056 | 0.0042 | 2 173 | 22 | 2 187 | 19 | 2 195 | 19 |

续表 1

| NSC01 (10^{-6}) (10^{-6}) (10^{-6}) (10^{-6}) (11^{-6}) <t< th=""><th>样品</th><th>Th</th><th>n</th><th>TL /11</th><th>207 Pb/</th><th>^{/206} Pb</th><th>$^{207} \mathrm{Pb}/$</th><th>/ 235 U</th><th>$^{206} \mathrm{Pb}_{/}$</th><th>/238 U</th><th>$^{207}\mathrm{Pb}/^2$</th><th>⁰⁶ Pb</th><th>$^{207}\mathrm{Pb}/^2$</th><th>35 U</th><th>²⁰⁶ Pb//</th><th>238 U</th></t<> | 样品 | Th | n | TL /11 | 207 Pb/ | ^{/206} Pb | $^{207} \mathrm{Pb}/$ | / 235 U | $^{206} \mathrm{Pb}_{/}$ | /238 U | $^{207}\mathrm{Pb}/^2$ | ⁰⁶ Pb | $^{207}\mathrm{Pb}/^2$ | 35 U | ²⁰⁶ Pb// | 238 U |
|---|---------|--------|-------------|--------|--------------|--------------------|-----------------------|------------------|--------------------------|---------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------|---------------|
| NSC0101 850 1130 0.75 0.1147 0.0025 5.3647 0.1260 0.3363 0.0031 1874 27 1879 19 187 NSC0102 240 1755 0.114 0.1146 0.033 5.4466 0.1946 0.3367 0.0054 1879 42 1892 31 1887 NSC0103 200 1417 0.114 0.013 5.3466 0.3367 0.0077 1887 42 1887 31 187 NSC0104 247 1519 0.113 0.0114 0.027 5.438 0.3322 0.0071 1877 27 1887 27 187 NSC010 294 1519 0.114 0.0027 5.4326 0.33417 0.0057 1887 29 1887 29 1887 29 1887 NSC010 214 150 0.014 0.035 0.446 0.3417 0.065 | NSC01 | (10-6) | (10^{-6}) | 1 U/ C | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 比值 | $\pm 1_{\sigma}$ | 比值 | $\pm 1\sigma$ | 年龄(Ma) | $+1_{\sigma}$ | 年龄(Ma) | $\pm 1_{\sigma}$ | 年龄(Ma) | $\pm 1\sigma$ |
| NSCO102 240 1755 0.14 0.1150 0.0033 5.4466 0.1364 0.3367 0.0062 1874 28 1877 25 187 NSCO103 200 1417 0.14 0.1146 0.0034 5.3526 0.1564 0.3367 0.0062 1874 28 1877 25 187 NSCO104 242 1910 0.114 0.034 5.3526 0.1264 0.3322 0.0077 1860 69 1861 48 187 NSCO105 294 1519 0.114 0.0027 5.488 0.2329 0.3417 0.0057 1867 29 187 25 186 1990 36 1990 36 1990 36 1989 22 188 24 188 24 188 24 188 24 188 24 188 24 188 25 188 25 188 25 188 26 188 26 188 26 <td< th=""><th>NSC0101</th><th>850</th><th>1 130</th><th>0.75</th><th>0.1147</th><th>0.0025</th><th>5.3647</th><th>0.1200</th><th>0.3363</th><th>0.0031</th><th>1 874</th><th>27</th><th>1 879</th><th>19</th><th>1 869</th><th>15</th></td<> | 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 |
| NSC0103 200 1417 0,14 0,114 0,114 0,114 0,114 0,113 0,0071 5,352 0,135 0,005 1874 28 1877 25 187 NSC0104 242 1921 0,13 0,113 0,0071 5,2506 0,2958 0,332 0,0077 1860 69 1861 48 187 NSC0105 294 1519 0,119 0,1147 0,0077 5,4989 0,23416 0,0056 1875 43 1900 36 191 NSC0105 636 1619 0,114 0,0036 5,4210 0,1416 0,0356 5,4210 0,1417 0,0057 1887 23 188 22 18 NSC0105 165 0,1146 0,0036 5,4210 0,1490 0,344 0,0057 1887 23 18 23 18 23 18 23 18 29 18 29 18 29 18 29 18 < | NSC0102 | 240 | 1 765 | 0.14 | 0.1150 | 0.0033 | 5.446 6 | 0.1946 | 0.3402 | 0.0054 | 1 879 | 42 | 1 892 | 31 | 1 888 | 26 |
| NSC0104 242 1921 0.113 0.1138 0.0071 5.250 0.3322 0.0077 1860 69 1861 48 1931 NSC0105 294 1519 0.19 0.1147 0.027 5.4989 0.2299 0.3412 0.0081 1875 43 1900 36 192 NSC0105 536 1619 0.19 0.1141 0.0036 5.4210 0.1400 0.3416 0.0057 1882 43 1900 36 198 NSC0106 536 1619 0.39 0.1152 0.0036 5.4254 0.13417 0.0057 1882 40 188 22 18 NSC0108 170 1253 0.144 0.136 5.4284 0.1350 0.3412 1887 35 1897 29 18 NSC010 214 1502 0.145 0.0356 5.488 0.2351 0.3417 0.057 1887 40 18 NSC0110 214 | NSC0103 | 200 | $1 \ 417$ | 0.14 | 0.1146 | 0.0034 | 5.352 6 | 0.1564 | 0.3367 | 0.0062 | 1 874 | 28 | 1 877 | 25 | 1 871 | 30 |
| NSC0105 294 1519 0.119 0.114.7 0.002 5.436 0.344.2 0.0081 1875 43 1900 36 19 NSC0106 430 2672 0.16 0.114.1 0.0036 5.4210 0.1400 0.3416 0.0056 1866 24 1888 22 18 NSC0107 636 1619 0.39 0.1152 0.0049 5.428 0.2551 0.3417 0.0057 1882 60 1893 29 199 18 NSC0109 360 1034 0.1152 0.0049 5.488 0.1850 0.3417 0.0057 1874 36 1897 29 18 NSC010 214 1502 0.1155 0.0038 5.488 0.1380 0.3431 20 1874 36 1897 29 18 NSC0110 214 155 0.135 0.1890 0.1850 0.387 0.365 1877 39 1897 29 18 < | NSC0104 | 242 | 1 921 | 0.13 | 0.1138 | 0.0071 | 5.2506 | 0.2968 | 0.3322 | 0.0077 | 1860 | 69 | 1861 | 48 | 1 849 | 37 |
| NSC0106 430 2 672 0.16 0.1141 0.0036 5.4210 0.1400 0.3416 0.0056 1 866 24 1 838 22 1 83 NSC0107 636 1 619 0.39 0.1152 0.0049 5.4756 0.3417 0.0057 1 882 60 1 897 29 1 80 NSC0108 170 1 253 0.14 0.1145 0.0036 5.4756 0.1850 0.3432 0.0060 1 874 36 1 897 29 1 80 NSC0109 360 1 034 0.35 5.486 0.1890 0.3446 0.7060 1 887 35 1 897 29 1 80 20 1 90 | NSC0105 | 294 | 1519 | 0.19 | 0.1147 | 0.0027 | 5.4989 | 0.2299 | 0.3442 | 0.0081 | 1 875 | 43 | 1 900 | 36 | 1 907 | 39 |
| NSC0107 636 1619 0.39 0.115 2 0.004 9 5.482 8 0.255 1 0.341 7 0.005 7 1 882 60 1 893 40 1 8< | NSC0106 | 430 | 2 672 | 0.16 | 0.1141 | 0.0036 | 5.4210 | 0.1400 | 0.3416 | 0.0056 | 1866 | 24 | 1 888 | 22 | 1 894 | 27 |
| NSC0108 170 1253 0.14 0.1146 0.0036 5.4756 0.1870 0.3432 0.0060 1874 36 1897 29 197 NSC0109 360 1034 0.35 0.1155 0.0038 5.3954 0.1799 0.3360 0.0060 1887 35 1884 29 18 NSC0110 214 1502 0.145 0.0038 5.4886 0.1799 0.3446 0.0055 1877 39 1899 29 190 NSC0111 125 926 0.13 0.1151 0.0028 5.4884 0.1700 0.3413 0.0056 1877 39 1899 20 190 NSC0112 140 1153 0.115 0.0129 5.4884 0.1700 0.3422 0.0190 1881 48 1899 20 189 29 18 NSC0113 122 1153 0.1153 0.0025 5.4884 0.1700 0.3422 0.0190 1881 1892 <th>NSC0107</th> <th>636</th> <th>1 619</th> <th>0.39</th> <th>0.1152</th> <th>0.0049</th> <th>5.4828</th> <th>0.2551</th> <th>0.3417</th> <th>0.0057</th> <th>1 882</th> <th>60</th> <th>1898</th> <th>40</th> <th>1 895</th> <th>27</th> | NSC0107 | 636 | 1 619 | 0.39 | 0.1152 | 0.0049 | 5.4828 | 0.2551 | 0.3417 | 0.0057 | 1 882 | 60 | 1898 | 40 | 1 895 | 27 |
| NSC0109 360 1034 0.35 0.115 0.038 5.3954 0.179 0.3360 0.0060 1887 35 1884 29 138 NSC0110 214 1502 0.1145 0.0035 5.4886 0.1890 0.3446 0.0055 1871 39 1899 30 196 NSC0111 125 926 0.13 0.1151 0.0028 5.4883 0.1304 0.3445 0.3455 1871 39 1899 20 196 NSC0112 140 1153 0.1151 0.0028 5.4884 0.1700 0.3422 0.0196 1881 29 186 NSC0112 140 1153 0.1151 0.0129 5.4854 0.1700 0.3422 0.0196 1881 283 20 186 NSC0113 122 1023 0.1151 0.0129 5.4455 0.3257 0.3242 0.0190 1881 40 1871 30 188 NSC0114 166 </th <th>NSC0108</th> <th>170</th> <th>1 253</th> <th>0.14</th> <th>0.1146</th> <th>0.0036</th> <th>5.4756</th> <th>0.1850</th> <th>0.3432</th> <th>0.0060</th> <th>1 874</th> <th>36</th> <th>1 897</th> <th>29</th> <th>1 902</th> <th>29</th> | 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 |
| NSC0110 214 1502 0.114 0.1145 0.0035 5.488 0.1800 0.3446 0.0055 1871 39 1899 30 190 NSC0111 125 926 0.13 0.1151 0.0028 5.4883 0.1304 0.3431 0.0038 1882 27 1899 20 190 NSC0112 140 1153 0.12 0.1151 0.0032 5.4883 0.1700 0.3423 0.0064 1885 30 1899 27 180 NSC0113 122 1023 0.1151 0.0129 5.4855 0.3324 0.3324 1881 48 1892 27 180 NSC0114 166 1500 0.115 0.0129 5.4455 0.3324 0.3324 1881 48 1892 51 180 30 188 NSC0115 190 1507 0.115 0.0129 5.3443 0.1421 0.3324 0.0053 1871 30 188 187 | NSC0109 | 360 | 1 034 | 0.35 | 0.1155 | 0.0038 | 5.3954 | 0.1799 | 0.3360 | 0.006 0 | 1 887 | 35 | 1884 | 29 | 1 867 | 29 |
| NSC0111 125 926 0.13 0.1151 0.002 5.4883 0.1304 0.3431 0.003 27 1899 20 190 NSC0112 140 1153 0.1153 0.002 5.4884 0.1700 0.3423 0.006 1882 27 1899 20 18 NSC0113 122 1023 0.1151 0.0129 5.4854 0.1700 0.3423 0.006 4 1885 30 1899 27 18 NSC0113 122 1023 0.1151 0.0129 5.4854 0.1847 0.3324 0.0053 1881 48 1892 51 18 NSC0114 166 1500 0.11 0.1152 0.0046 5.3154 0.1847 0.3324 0.0053 1883 40 1871 30 18 NSC0115 190 1507 0.1152 0.0025 5.3443 0.1427 0.3332 0.0043 1870 29 18'//// 18'//// 18'///// | NSC0110 | 214 | 1502 | 0.14 | 0.1145 | 0.0035 | 5.488 6 | 0.1890 | 0.3446 | 0.005 5 | 1 871 | 39 | 1 899 | 30 | 1 909 | 27 |
| NSC0112 140 1153 0.12 0.1153 0.0032 5.4884 0.1700 0.3423 0.0064 1885 30 1899 27 185 NSC0113 122 1023 0.115 0.1151 0.0129 5.4455 0.3257 0.3422 0.0190 1881 48 1892 51 185 NSC0114 166 1500 0.11 0.1152 0.0129 5.4455 0.3257 0.3422 0.0190 1881 48 1892 51 185 NSC0115 190 1507 0.11 0.1152 0.0030 5.3443 0.1421 0.33346 0.0043 1880 29 1876 23 185 NSC0116 339 1996 0.17 0.1152 0.0025 5.3364 0.1167 0.3332 0.0031 1883 26 1875 187 NSC0116 339 1996 0.17 0.1152 0.0025 5.3364 0.1167 0.3332 0.0031 1873 | 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 |
| NSC0113 122 1 023 0.12 0.115 1 0.012 9 5.445 5 0.325 7 0.342 2 0.019 0 1 881 48 1 892 51 1 88 NSC0114 166 1 500 0.11 0.115 2 0.004 6 5.315 4 0.184 7 0.332 4 0.005 3 1 883 40 1 871 30 1 88 NSC0115 190 1 507 0.13 0.115 2 0.003 0 5.344 3 0.142 1 0.332 4 0.004 3 1 883 40 1 871 30 1 88 NSC0116 339 1 996 0.17 0.115 2 0.002 5 5.336 4 0.116 7 0.333 2 0.003 1 1 883 26 1 875 1 9 1 88 NSC0117 279 1 804 0.15 0.114 6 0.002 6 5.347 3 0.115 7 0.336 1 0.003 6 1 874 19 1 876 19 1 876 19 1 87 NSC0117 279 1 804 0.15 0.115 7 0.336 1 <t< th=""><th>NSC0112</th><th>140</th><th>$1 \ 153$</th><th>0.12</th><th>0.1153</th><th>0.0032</th><th>5.4884</th><th>0.1700</th><th>0.3423</th><th>0.0064</th><th>1 885</th><th>30</th><th>1 899</th><th>27</th><th>1 898</th><th>31</th></t<> | 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 |
| NSC0114 166 1500 0.11 0.1152 0.0046 5.3154 0.1847 0.3324 0.0053 1883 40 1871 30 185 NSC0115 190 1507 0.1150 0.0030 5.3443 0.1421 0.3346 0.0043 1876 23 1880 29 1876 23 186 NSC0116 339 1996 0.17 0.1152 0.0025 5.3364 0.1167 0.3332 0.0031 1883 26 1875 19 186 NSC0116 339 1996 0.17 0.1152 0.0025 5.3364 0.1167 0.3332 0.0031 1883 26 1875 19 186 NSC0117 279 1804 0.15 0.1146 0.0026 5.3473 0.1157 0.3361 0.0036 1874 24 1876 19 187 | NSC0113 | 122 | $1 \ 023$ | 0.12 | 0.1151 | 0.0129 | 5.445 5 | 0.3257 | 0.3422 | 0.0190 | 1 881 | 48 | 1 892 | 51 | 1 897 | 91 |
| NSC0115 190 1507 0.13 0.1150 0.0030 5.3443 0.1421 0.3346 0.0043 1880 29 1876 23 186 NSC0116 339 1996 0.17 0.1152 0.0025 5.3364 0.1167 0.3332 0.0031 1883 26 1875 19 187 NSC0117 279 1804 0.15 0.1026 5.3473 0.1157 0.3361 0.0036 1874 24 1876 19 187 | NSC0114 | 166 | 1500 | 0.11 | 0.1152 | 0.0046 | 5.3154 | 0.1847 | 0.3324 | 0.005 3 | 1 883 | 40 | 1871 | 30 | 1 850 | 26 |
| NSC0116 339 1 996 0.115 0.105 5.336.4 0.116.7 0.333.2 0.003.1 1 883 26 1 875 19 185 NSC0117 279 1 804 0.115 0.002.6 5.347.3 0.115.7 0.336.1 0.003.6 1 874 24 1 876 19 1 86 | NSC0115 | 190 | 1507 | 0.13 | 0.1150 | 0.0030 | 5.3443 | 0.1421 | 0.3346 | 0.004 3 | 1 880 | 29 | 1 876 | 23 | 1 861 | 21 |
| NSC0117 279 1804 0.15 0.1146 0.0026 5.347 3 0.1157 0.3361 0.0036 1874 24 1876 19 186 | NSC0116 | 339 | 1 996 | 0.17 | 0.1152 | 0.0025 | 5.3364 | 0.1167 | 0.3332 | 0.003 1 | 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 |

续表 1



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 Mayihe 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 Mayihe 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 Pb/²⁰⁶ Pb 年龄值为 2 189±37 Ma 和 2 156±34 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 Pb/²⁰⁶ Pb 加权平均年龄值为 2 477 ± 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 Pb/²⁰⁶ Pb 年龄值为 2 633 ± 20 Ma 和 2 653 ± 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 0.46~1.09, 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 Pb/²⁰⁶ Pb 加权平均年龄值为 2 168±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 200×10⁻⁶~894× 10⁻⁶、475×10⁻⁶~1 097×10⁻⁶;较高的 Th/U 比 值,Th/U比值为 0.42~0.81,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±11 Ma 的²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ 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× $10^{-6} \sim 2$ 672× 10^{-6} ;Th/U比值为0.11~0.75,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,²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb加权平均年龄值为1877±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 ~ 2 653 Ma、2 471~2 494 Ma、2 156~2 189 Ma、和 1 870~1 881 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,2633~ 2653 Ma和2471~2494 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2471~2494 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2156~2189 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.在蚂蚁河组角闪斜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 2156~2189 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

| | | | Table 2 | Distribution of | the zircoi | n age | | |
|----------------|-------------------|-------------------|--------------------------|--|-------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | 蚂! | 蚁河组 | 荒岔沟组 | 大东岔组 | 钱 | 泉岩体 | 双岔岩体 | |
| 样品编号 | NMY01 | NMY02 | NH01 | ND02 | NMY03 | NQZ01 | NSC01 | 地质意义 |
| 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 # 1 881±24 Ma | | | * 1 877±15 M # 1 874±27 M | la 区域变质作用年龄; la 花岗岩体侵位年龄 |
| 2 156~2 189 Ma | | * 2 166± 22 Ma | | [#] 2 189±37 Ma [#] 2 156±34 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 |
| 2 471~2 494 Ma | | # | 2 471±25 N 2 494±31 N | Ma *2477± Ma 17 Ma | | | | 太古宙结晶基底岩浆 事件年龄 |
| 2 633~2 653 Ma | | | | # 2 633±20 Ma # 2 653±27 Ma | | | | 太古宙结晶基底岩浆 事件年龄 |

表 2 锆石年龄分布

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.

1870~1881 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.

结论 6

(1)集安群下部火山岩的岩浆成因锆石年龄为 2156~2189 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 1870~1881 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 ≥3 800 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 Sci*ence 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 Liaojitite 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. 辽宁盖县梁屯一矿洞沟碱 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.