

胶北地体晚侏罗世花岗岩地球化学和 锆石年代学和同位素特征

屈 鑫, 毛先成, 钟慧婷, 段宇玺

中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2022年4月7日; 录用日期: 2022年5月13日; 发布日期: 2022年5月20日

摘要

华北克拉通(NCC)东部胶北地体在晚侏罗世发生了大规模的岩浆活动。前人对晚侏罗世花岗岩进行了大量研究,但在花岗岩具体的岩浆物质来源方面一直存在争议。本研究对胶西北地层的两期晚侏罗世花岗岩(玲珑和栾家河)进行了岩石学和全岩地球化学、锆石U-Pb定年、O同位素研究。LA-ICP-MS锆石U-Pb测年表明,玲珑花岗岩的形成比栾家河花岗岩早约6 Myr(分别为158 Ma和152 Ma),与两者侵入关系一致。全岩地球化学特征表明,玲珑和栾家河花岗岩,同属亚碱性岩石,具有高Sr, Sr/Y值,低Y的埃达克质岩石特征。花岗岩高 $\delta^{18}\text{O}$ 值和继承锆石年龄频谱,表明玲珑和栾家河花岗岩是由NCC和扬子克拉通的古代加厚的下部大陆地壳部分熔化形成的。

关键词

胶北地体, 全岩地球化学, 锆石U-Pb定年, O同位素

Bulk Geochemistry, Zircon Chronology and Isotope Characteristics of Late Jurassic Granites in Jiaobei Terrane

Xin Qu, Xiancheng Mao, Huiting Zhong, Yuxi Duan

School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha Hunan

Received: Apr. 7th, 2022; accepted: May 13th, 2022; published: May 20th, 2022

Abstract

Large-scale magmatism occurred in the Late Jurassic in Jiaobei Terrane, east of the North China

文章引用: 屈鑫, 毛先成, 钟慧婷, 段宇玺. 胶北地体晚侏罗世花岗岩地球化学和锆石年代学和同位素特征[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(5): 591-606. DOI: 10.12677/ag.2022.125060

Craton (NCC). Previous studies on Late Jurassic granites have been carried out, but the magma source of granites has been controversial. In this study, petrological and bulk geochemistry, zircon U-Pb dating, and O isotope studies were carried out on two phases of Late Jurassic granites (Linglong and Luanjiahe) in northwest Jiaojiang. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating indicates that the Linglong granite formed about 6 Myr earlier than the Luanjiahe granite (158 Ma and 152 Ma, respectively), consistent with an intrusive relationship between them. The bulk geochemical data show that Linglong and Luanjiahe granites, both subalkaline rocks, are characterised by high Sr, Sr/Y and low Y adakitic rocks. The high $\delta^{18}\text{O}$ values and inherited zircon age statistics suggest that the Linglong and Luanjiahe granites were formed by partial melting of the ancient thickened lower continental crust of the NCC and Yangtze Craton.

Keywords

Jiaobei Terrene, Bulk Geochemistry, Zircon U-Pb Dating, O Isotopes

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

华北克拉通(NCC)东部胶北地体在晚侏罗世发生了大规模的岩浆活动，地壳中发育大量花岗岩侵入体[1]。但晚侏罗世花岗岩具体的岩浆物质来源一直是目前争论的焦点。一些研究认为岩浆来源于华北克拉通新太古代下地壳的部分熔融[2]，一些研究认为花岗岩主要来源于俯冲扬子板块的部分熔融[3]。

胶东半岛位于华北克拉通东南边缘，其西北部的胶北地体发育了丰富的晚侏罗世 - 白垩世花岗岩和大量金矿床(图 1(a)) [4]，区内主要赋矿的岩石为玲珑和栾家河单元(图 1) [3]。花岗岩是大陆壳的重要组成，可以保留有关大陆岩石圈甚至推测软流圈深部岩浆过程的大量信息[5]。锆石是花岗岩中常见的副矿物，因为其对 U、Th、Pb 元素具有良好的保存性，多用于 U-Pb 定年[6]。前人研究认为晚侏罗世玲珑和栾家河单元多为属钙碱性 - 碱钙性的酸性岩类[2]，明显富集大离子亲石元素，富钠、高 Sr 低 Yb 及强烈亏损重稀土元素的特征[2] [3]，锆石 U-Pb 定年表明其形成时间多集中于 160~150 Ma [3]。

本研究对胶西北地区晚侏罗世花岗岩开展了岩石学、全岩地球化学、锆石 U-Pb 年龄和 O 同位素研究，有望为晚侏罗世玲珑和栾家河花岗岩的岩浆来源和演化以及花岗岩成因提供了新的约束。

2. 区域地质背景

胶西北地区地处华北克拉通东南缘胶北地体，北临渤海、西靠郯庐断裂带，属多构造单元复合部位[7]。胶北地体以五莲 - 烟台断层为界与杨子克拉通苏鲁造山带相隔(图 1(a)) [4] [8]。前寒武纪变质岩构成了胶北地体的基底，包括太古宙胶东群(斜长角闪岩、黑云变粒岩、片麻岩 - 闪长岩(TTG))、古元古界荆山群/粉子山群和新元古界蓬莱群[9]。胶东群的原岩是由一系列岩浆事件中形成的，包括约 2.9 和 2.7 Ga 的地壳增厚事件和约 2.5 Ga 的俯冲事件[10]。上覆的荆山群和粉子山群与胶东群有不一致的接触，主要岩性包括片岩、片麻岩、大理岩和闪长岩，其年龄为 1.8~2.5 Ga [11]。蓬莱组的主要岩性包括大理岩、板岩、石英岩、辉绿岩和页岩等低级变质岩。

中生代岩浆作用主要形成了晚侏罗世(160~146 Ma) [3] 和早白垩世花岗岩(130~120 Ma) [12]。晚三叠世花岗岩(225~205 Ma) [11] 仅出现在胶东半岛东部，而晚侏罗世和早白垩世花岗岩则发育较为广泛(图

1(a))。苏鲁造山带的晚三叠世同生花岗岩和造山后的高碱性正长岩是在 NCC 与长江克拉通南北向的碰撞中形成的[13]。晚侏罗世岩浆作用是胶东半岛最广泛的事件，包括玲珑和栾家河花岗岩[2] [11]。这些晚侏罗世花岗岩侵入了胶北地层和苏禄造山带的变质基岩[11]。玲珑花岗岩和栾家河花岗岩以带状形式出现在胶东半岛西北部的 NE 向断裂上(图 1(a))，被早白垩世郭家岭型和艾山型花岗岩侵入[2]。早白垩世的郭家岭和伟德山花岗岩(130~120 Ma) [12]则被认为是由来自地壳和地幔混合的岩浆结晶形成的，该时期胶东半岛发育许多 NNE-NE 走向的基性岩脉[4] [14]。

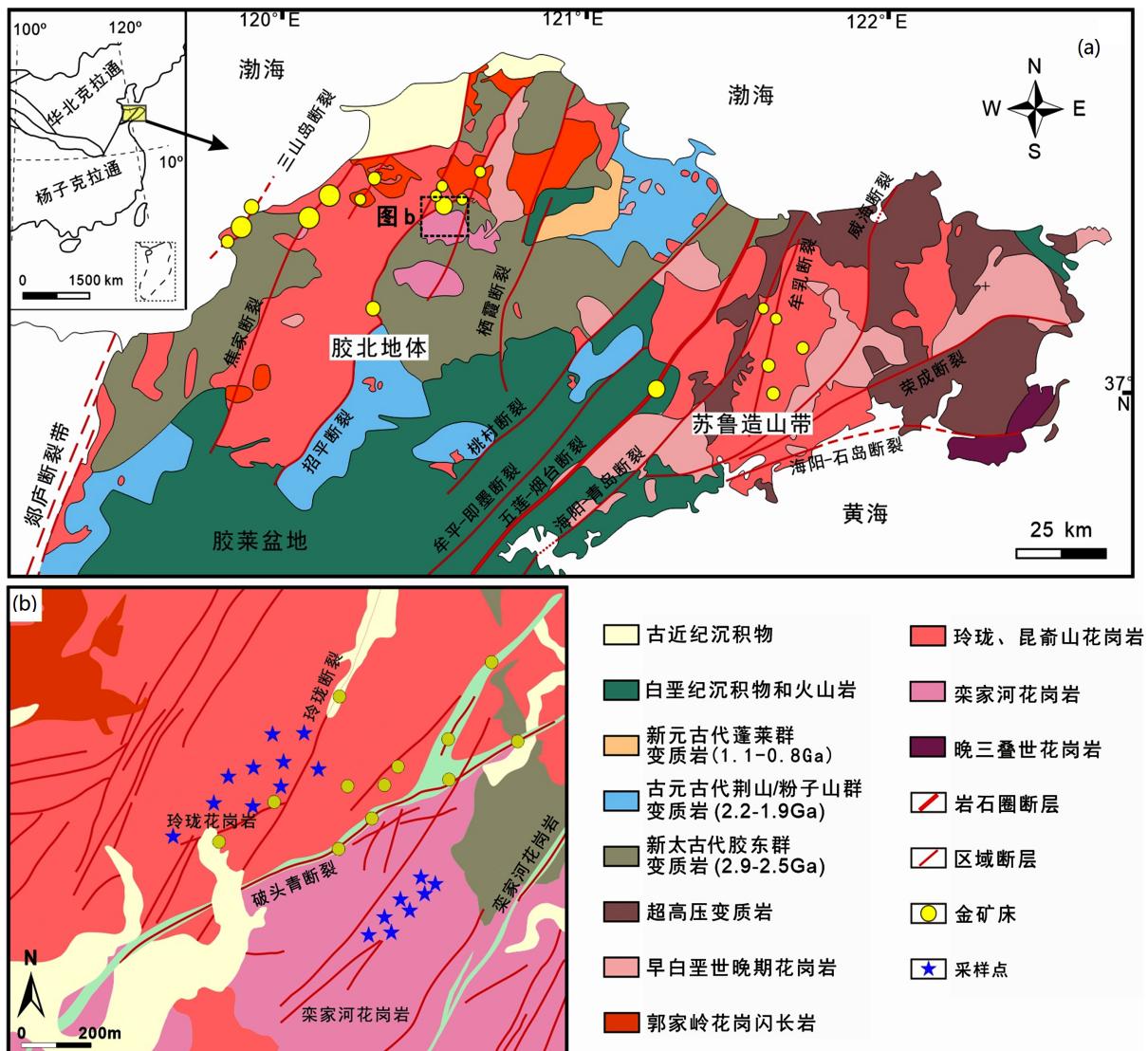


Figure 1. (a) Simplified geological map of the Jiaodong Peninsula, modified from literature [11] [14]; (b) geological map of the Linglong ore district and sampling locations

图 1. (a) 胶东半岛区域地质图，据文献[11] [14]；(b) 玲珑矿区的地质图以及采样位置

3. 采样与分析测试

本文作者在胶西北地区采集了 10 个玲珑花岗岩样品和 8 个栾家河花岗岩样品，采样位置如图 1(b) 所示。

3.1. 全岩主量和微量元素分析

对岩石的全岩地球化学分析分别采用 XRF (X 射线荧光光谱仪) 分析主量元素, 采用 ICP-MS (电感耦合等离子体质谱仪) 分析微量元素, 检验单位为澳实分析检测(广州)有限公司。岩石样品在低温条件下被粉碎至 200 目。用硼酸锂和硝酸锂溶解后, 在 XRF 下测定主量元素的组成。在硼酸锂溶解后, 用 ICP-MS 检测微量元素成分。标准物质 OREAS-120 和 OREAS-100a 被用作为标定物。就分析精度而言, 主量元素一般优于 3%, 而微量元素则优于 10%。

3.2. 锆石 U-Pb 定年

锆石 U-Pb 定年分析采用 Teledyne Photon Machines Analyte He Excimer 193 nm 激光烧蚀系统测量, 该系统与 Analytik Jena Plasma Quant MS Elite 等离子质谱仪相连, 测试单位为湖南省长沙市中南大学有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室。样品被放入激光器的 HelEx II 倒角中, 后被放置在一个密封的烧蚀池中, 受高纯度氩、氦气混合物冲洗。测试环境光斑为 50 μm , 激光频率为 5 Hz。U、Th 和 Pb 浓度通过使用 ^{29}Si 和 NIST SRM610 作为内标和外标进行校准。年龄校准使用标准锆石 91500 作为外标。使用 GLITTER 软件[15]对数据处理, 使用 Isoplot [16]软件计算和绘制协和图和加权平均图。

3.3. 锆石氧同位素分析

锆石的氧同位素分析是在广州地球化学研究所的同位素地球化学实验室使用 CAMECA IMS 1280-HR SIMS (二次离子质谱仪) 进行的。测试方法参照文献[17]。采用的主离子流是 ^{133}Cs , 强度约为 2 nA, 经 10 Kv 的加速电压打击直径约 10 μm 大小光斑。二次离子信号是通过在样品表面以光栅扫描模式扫描一个大约 20 μm 直径大小的区域来收集的。蓬莱锆石标准($\delta^{18}\text{O} = 5.31\text{\textperthousand} \pm 0.10\text{\textperthousand}$) [18] 被用来校准仪器的质量分数。测量的 $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比率使用维也纳标准平均海洋水(VSMOW)成分($\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 0.0020052$)进行调整, 误差为 2σ 。

4. 结果分析

4.1. 岩石学特征

栾家河岩体侵入胶东群变质岩和玲珑岩体, 在野外可以观察到玲珑和栾家河柱状体之间明显的侵入接触关系(图 2(a))。玲珑花岗岩主要为细粒花岗结构, 局部可见片麻构造, 手标本为灰白色(图 2(b))。玲珑花岗岩的主要矿物组合包括石英(20%~30%)、钾长石(30%~40%)、斜长石(25%~30%)、黑云母(6%~10%)和角闪石(3%~5%), 还有少量的锆石、榍石、石榴石和磷灰石(图 2(d)~(f))。栾家河花岗岩具有中等至粗粒的质地, 手标本呈肉红色(图 2(c))。栾家河花岗岩的主要矿物组合包括石英(25%~40%)、钾长石(35%~45%)和斜长石(30%~45%), 还有少量的锆石、石榴石和磷灰石(图 2(g)~(i))。与玲珑花岗岩相比, 栾家河花岗岩含有更多的石英和斜长石, 黑云母较少(约 2%)且不发育角闪石。

4.2. 年代学特征

本研究选择了来自玲珑岩体的 199ZK1-10 样品和栾家河岩体的 LJHZK1-01 样品, 用 LA-ICP-MS 测试方法进行锆石 U-Pb 测定。CL (阴极发光) 图像可以有效显示锆石内部结构特征(图 3), 锆石的 U-Pb 定年数据列于附表 1 中。

从玲珑花岗岩和栾家河花岗岩中分离出来的锆石是白灰色透明的, 半自形或它形晶体, 大多数晶粒呈短柱状和浑圆状的, 长度约为 50~200 μm , 长宽比为 3:1~3:2 (图 3), 但少数晶粒可以有较大的尺寸(>300~400 μm)。

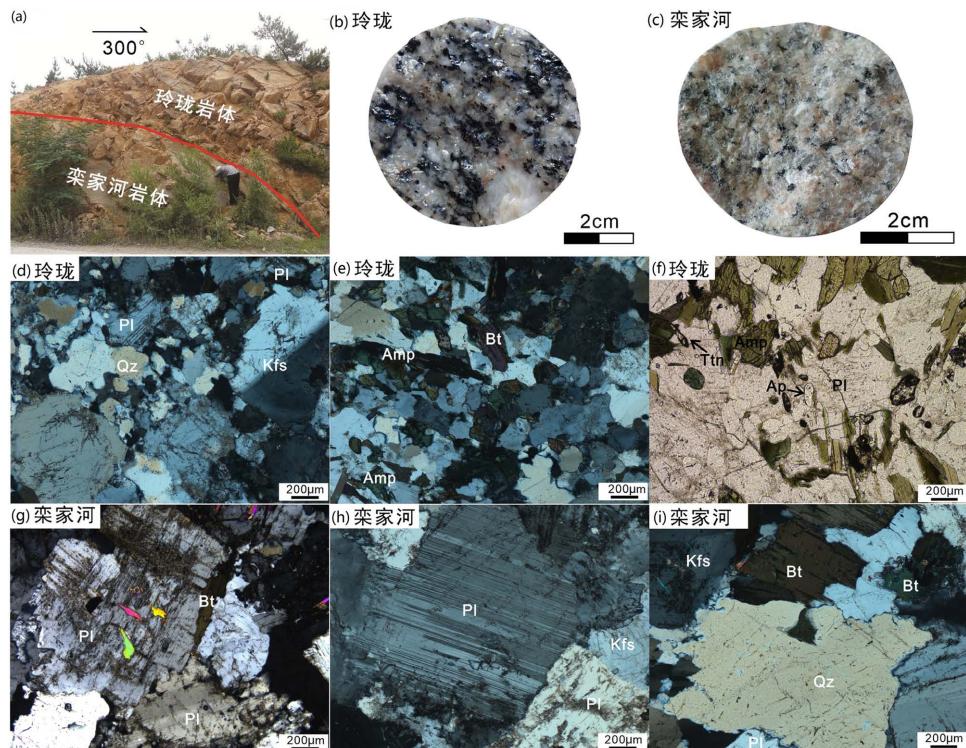


Figure 2. Field photograph, hand-specimen photographs, and thin-section microphotographs of the Linglong and Luanjiahe granites (a) the Luanjiahe pluton intrude into Linglong pluton, from literature [19]; (b) hand-specimen of Linglong fine-grained biotite granite; (c) hand-specimen of Luanjiahe medium- to coarse-grained granite; (d) Quartz, K-feldspar, plagioclase, and biotite assemblages, K-feldspar minerals show the carlsbad twin law; (e) biotiteis polychromatic Amphibole, biotite, and titanite occurrence in the Linglong granite; (f) hornblende and biotite are euhedral, titanite and apatite are also occur; (g) weak sericitization develop on plagioclase surface; (h) feldspar minerals up to 1 cm in diameter; (i) Quartz, K-feldspar and plagioclase assemblages. Abbreviations: Amp—amphibole; Ap—apatite; Bt—biotite; Kfs—K-feldspar; Pl—plagioclase; Qz—quartz; Ttn—titanite

图 2. 玲珑花岗岩和栾家河花岗岩的野外、手标本和薄片显微照片(a) 栾家河岩体侵入玲珑岩体, 来自文献[19]; (b) 玲珑细粒黑云母花岗岩; (c) 栾家河中粗粒花岗岩; (d) 石英、K-长石、斜长石矿物组合, 钾长石可见卡式双晶发育; (e) 可见黑云母多色性; (f) 角闪石和黑云石呈自形(单偏光), 发育榍石、磷灰石副矿物; (g) 斜长石表面弱的绢云母化; (h) 长石类矿物直径可达 1 cm; (i) 石英、K-长石、斜长石矿物组合, 矿物达中 - 粗粒度。缩写: Amp—闪石; Ap—磷灰石; Bt—生物石; Kfs—K-长石; Pl—斜长石; Qz—石英; Ttn—榍石

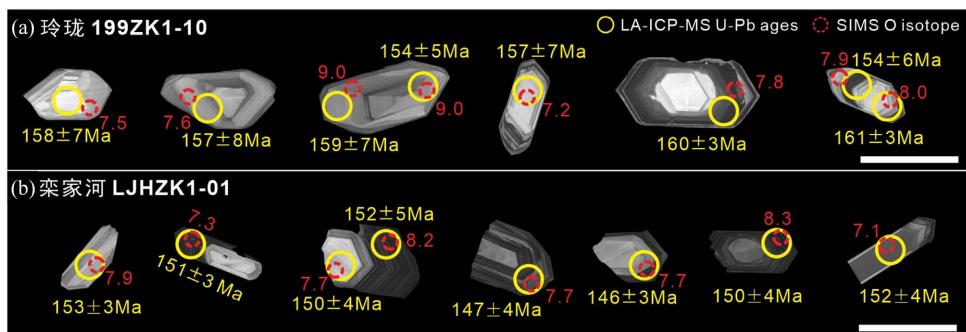


Figure 3. Cathodoluminescence (CL) images of representative zircons from Linglong (a) and Luanjiahe (b) granites, with the ages and $\delta^{18}\text{O}$ values given nearby. The scale bar is 200 μm

图 3. 玲珑(a)和栾家河(b)花岗岩代表性锆石阴极发光(CL)图像, 标注出 U-Pb 定年和 O 同位素值。图中比例尺为 200 μm

对玲珑 199ZK1-10 样品 14 个测点进行了分析, 年龄值($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}(\text{Ma})$)介于 181~152 Ma 之间, 其中确定的最小年龄组(即成岩年龄): 计算出的协和年龄为 $157.5 \pm 3.5 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.36, n = 11$)、加权平均年龄为 $158.2 \pm 3.2 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.35$; 图 4(a))。在 LHZK1-01 样品的晶粒上分析了 15 个斑点, 年龄值介于 181~145 Ma 之间, 确定了一个最小年龄组(即成岩年龄)为: $151.7 \pm 3.0 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.56, n = 13$), 加权平均年龄为 $150.2 \pm 2.4 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.50$; 图 4(b))。

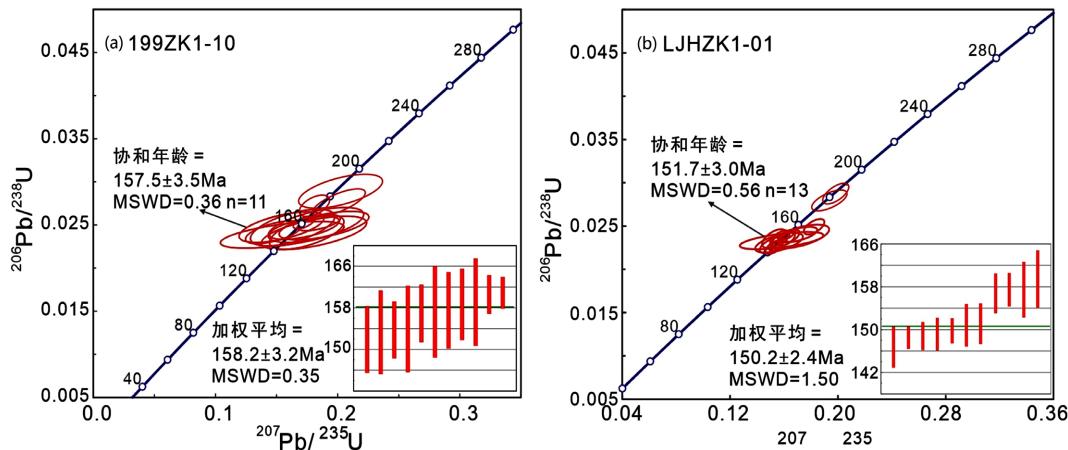


Figure 4. Zircon U-Pb concordia diagrams for the Linglong (a) and Luanjiahe (b) granites
图 4. 玲珑(a)和栾家河(b)花岗岩中锆石 U-Pb 年龄协和图

4.3. 全岩地球化学特征

玲珑花岗岩和栾家河花岗岩的主量和微量元素数据列于附表 2。

玲珑花岗岩样品的 SiO_2 含量为 61.65~73.66 wt%, Al_2O_3 含量为 14.57~15.07 wt%, MgO 含量为 0.16~3.53 wt%, 总碱($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)浓度为 5.66~8.32 wt%。 Na_2O 含量相对较高, 为 3.27~5.11 wt%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比率为 0.84~2.80。在化学性质上属于 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/(\text{SiO}_2)$ (TAS) 图中的亚碱性系列(图 5(a))。它们的 Mg# ($\text{Mg\#} = 100\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+})$) 值较低, 在 18~59 之间(ave. 37)。玲珑花岗岩是偏铝性到弱过铝性, 铝的饱和指数为 0.95~1.05 (图 5(b))。在原始地幔归一化的微量元素蜘蛛图上, 所有样品都显示出大离子亲岩元素(LILE; 如 Rb、Th、K 和 U)的富集和高场强元素(HFSE; 如 Nb、Ta、Zr 和 Ti)的亏损(图 6(a))。玲珑花岗岩较高的 Ba (1013~3920 ug/g)、Sr (707~1380 ug/g) 含量在蜘蛛图上显出明显的富集(图 6(a))。玲珑花岗岩的 REE 含量变化很大(42~892 ug/g, ave. 214 ug/g), 在球粒陨石标准化 REE 图中, 显示出 LREE 的富集和 HREE 的相对亏损($(\text{La/Yb})_N = 22.8 \sim 260.3$), 并表现出轻微的负到正 Eu 异常($\text{Eu/Eu}^* = \text{Eu}_N/(\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N)^{0.5}$; $\text{Eu/Eu}^* = 0.53 \sim 1.70$; 图 6(b))。

栾家河花岗岩样品的 SiO_2 含量为 72.16~74.89 wt%, Al_2O_3 含量为 13.68~14.74 wt%, MgO 含量为 0.11~0.24 wt%。相对较高的碱含量($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7.98 \sim 8.29 \text{ wt\%}$), TAS 图解表现为亚碱性系列(图 5(a))。栾家河花岗岩 Mg# 值很低, 在 14~22 之间(ave. 37), 且为弱过铝性的, 铝饱和指数为 1.04~1.09 (图 5(b))。栾家河花岗岩在原始地幔归一化的微量元素蜘蛛图上显示出 Rb、Th、K 和 U 等大离子亲石元素的富集和 Nb、Ta、Zr、Hf 和 Ti 等高场强元素的亏损(图 6(a))。相较于同属形成于晚侏罗世的玲珑花岗岩, 栾家河花岗岩具有相对较低的 Sr (479~665 ug/g) 和 Ba (1150~2150 ug/g) 含量。栾家河花岗岩的 REE 浓度较低 ($\Sigma\text{REE} = 90 \sim 156 \text{ ug/g}$, ave. 130 ug/g), 在球粒陨石标准化 REE 图中, 表现出 LREE 的富集和 HREE 的相对亏损($(\text{La/Yb})_N = 28.9 \sim 76.3$), 也表现出轻微的负 Eu 异常($\text{Eu/Eu}^* = 0.62 \sim 1.03$; 图 6(b))。

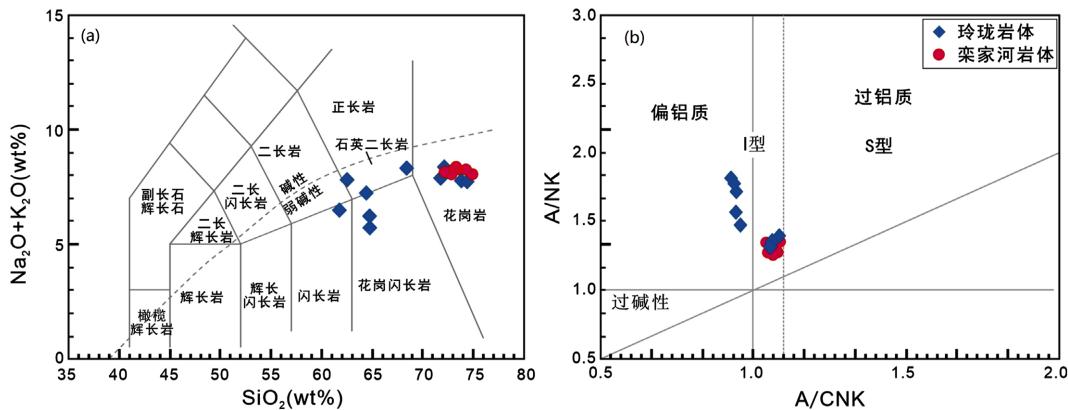


Figure 5. Major element diagrams of Linglong and Luanjiahe granites
图 5. 玲珑、栾家河花岗岩主量元素图解

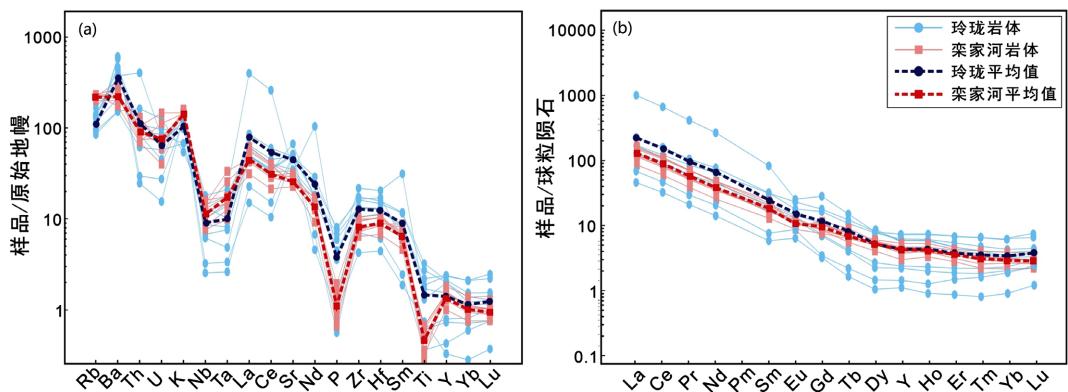


Figure 6. Primitive mantle-normalized trace element spidergrams (a) and chondrite-normalized REE pattern of zircon (b) from Linglong and Luanjiahe granites (normalization values after literature [20])

图 6. (a) 玲珑和栾家河花岗岩原始地幔标准化微量元素蛛网图和(b)球粒陨石标准化稀土元素配分图。标准化值据文献[20]

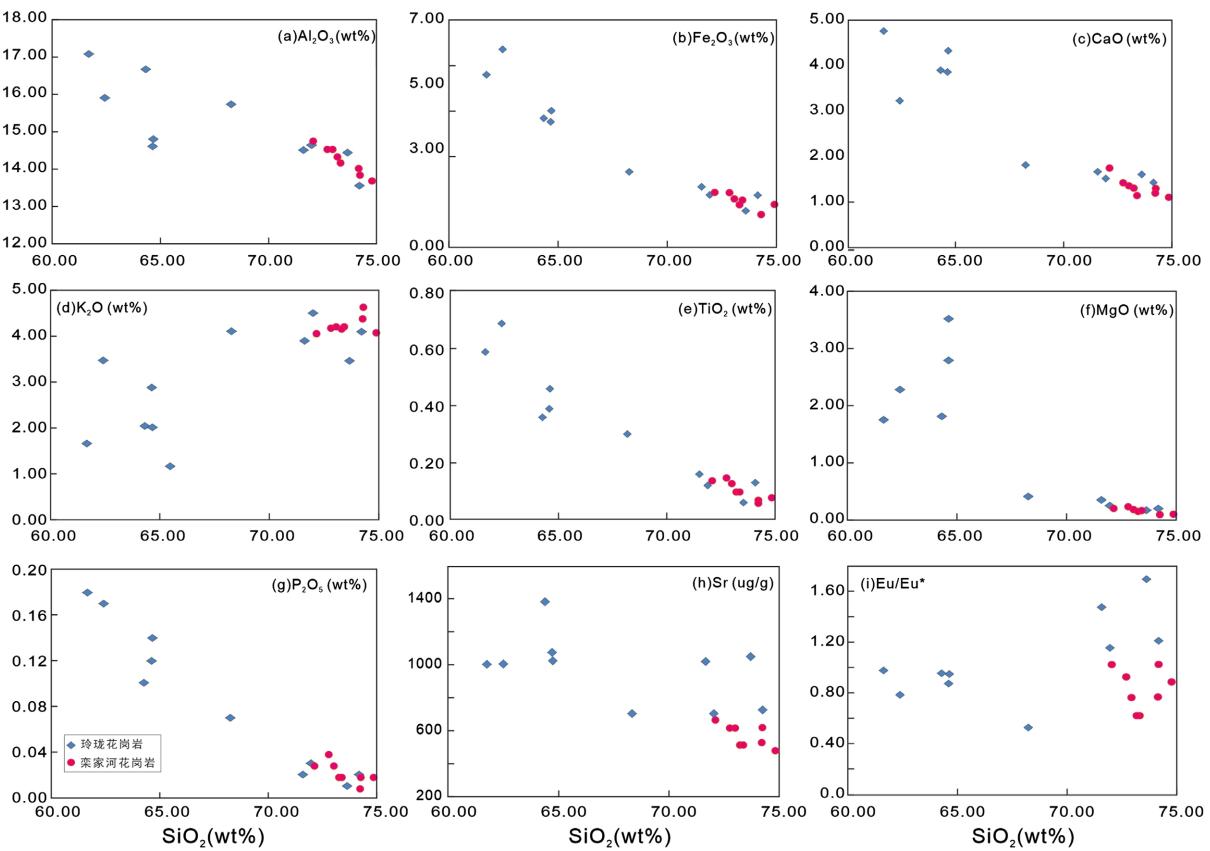
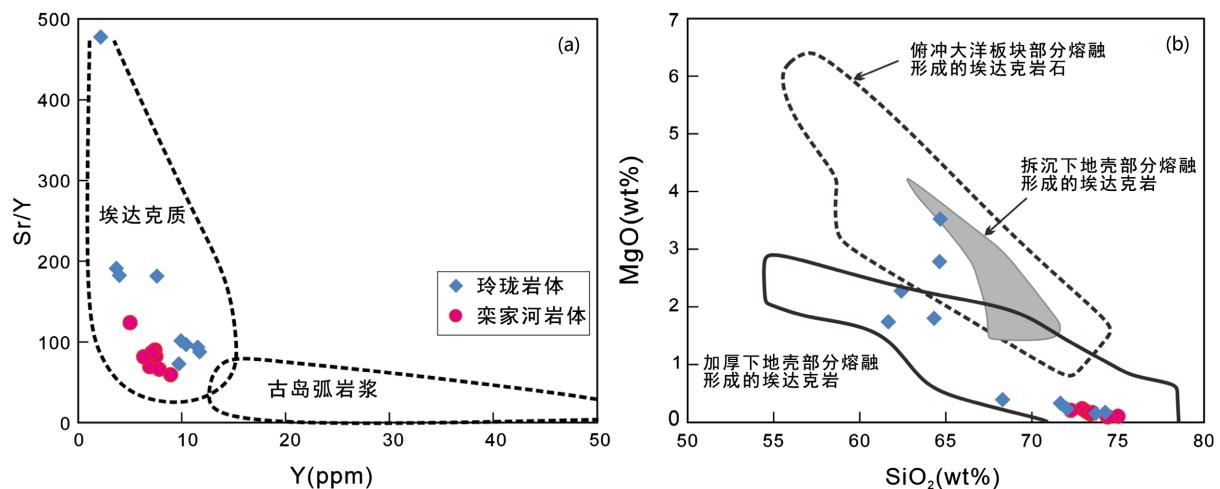
4.4. 锆石 O 同位素特征

锆石 O 同位素数据列于附表 3。晚侏罗世玲珑样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 7.23‰~9.06‰ 之间(附表 3)，加权平均值为 $8.01\text{\textperthousand} \pm 0.22\text{\textperthousand}$ (2σ ; $n = 14$)。同时代栾家河的样品 $\delta^{18}\text{O}$ 值范围为 6.96‰~8.80‰ (附表 3)，加权平均值为 $7.65\text{\textperthousand} \pm 0.24\text{\textperthousand}$ (2σ ; $n = 15$)。

5. 岩石成因探讨

如 Harker 图解所示，玲珑和栾家河花岗岩中 P_2O_5 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 随 SiO_2 的增加而明显减少(图 7)，说明岩浆演化过程中有磷灰石、钛铁矿或榍石等富磷和富钛矿物的分离结晶。花岗岩的 SiO_2 与 CaO 、 Sr 具有一定的负相关(图 7)，在 SiO_2 与 Eu/Eu^* 上玲珑表现出一定的正相关，而栾家河则相关性不明显(图 7)，这表明岩浆演化过程中斜长石的分离结晶对玲珑岩浆的影响较大，对栾家河岩浆的影响较小。此外，整体来说栾家河的 SiO_2 较高，加之其矿物粒度较大，这可能表明栾家河花岗岩具较高岩浆演化程度。

全岩地球化学特征表明晚侏罗世玲珑和栾家河花岗岩花岗岩皆具有高 SiO_2 含量，高 Sr/Y ，低 Y 含量、 $\text{Mg}^\#$ 、 Rb/Sr 值、高 $(\text{La}/\text{Yb})_\text{N}$ 和 Sr/Y 比率、缺乏明显的 Eu 异常、偏铝质到轻度过铝质等特征(图 5(b))，与常见的埃达克质岩石的特征相似(图 8(a)) [21]。两者高 SiO_2 、低 MgO 的特征(图 9(a))在 SiO_2 - MgO 图解表明花岗岩岩浆可能来自于加厚下地壳部分熔融(图 8(b))。

**Figure 7.** Harker diagrams of Linglong and Luanjiahe granites**图 7. 玲珑和栾家河花岗岩 Harker 图解****Figure 8.** Plots of Y vs. Sr/Y (a, base map after literature [22]) and $\text{SiO}_2\text{-MgO}$ (b, base map after literature [23]) for Linglong and Luanjiahe granites**图 8. (a) 玲珑和栾家河花岗岩的 Y-Sr/Y 图解(底图修改自文献[22])和(b) $\text{SiO}_2\text{-MgO}$ 图解(底图修改自文献[23])**

$\varepsilon_{\text{Hf}}(\text{t})$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值的特征表明(Hf 同位素数据来自文献[3]), 玲珑花岗岩和栾家河花岗岩的岩浆是由古大陆地壳熔化形成的(图 9)。玲珑、栾家河花岗岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较高, 反映出岩浆源中含有来自 NCC 的下地壳成分 (4.7‰~8.9‰) [25]。晚侏罗世玲珑和栾家河花岗岩富集 Sr, 亏损 Y 元素(<15 ug/g), 表现出埃达克质岩的

特征(图9(a)), 加之玲珑与栾家河岩体中石榴石矿物的存在, 而石榴石稳定深度(压力)一般在70~100 km(高压), 共同表明胶东地区晚侏罗世花岗岩是古老的太古宙加厚下地壳的熔融形成。综上所述, 晚侏罗世岩浆是由古老的下层大陆地壳部分熔化形成的, 在形成过程中没有明显的地幔衍生物质的参与, 这也解释了其埃达克质岩石特征的成因[26]。

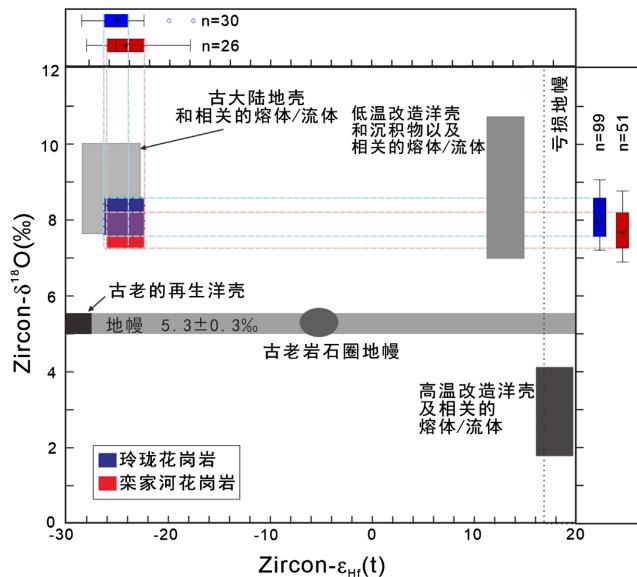


Figure 9. Zircon $\epsilon_{\text{Hf}}(\text{t})$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ diagram and related box diagrams for the Linglong and Luanjiahe granites (base map after literature [24]). The Hf isotopic data are from literature [3]
图9. 玲珑和栾家河花岗岩的锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(\text{t})$ - $\delta^{18}\text{O}$ 图解及相关箱图。Hf 同位素数据来自文献[3]。
 底图据文献[24]

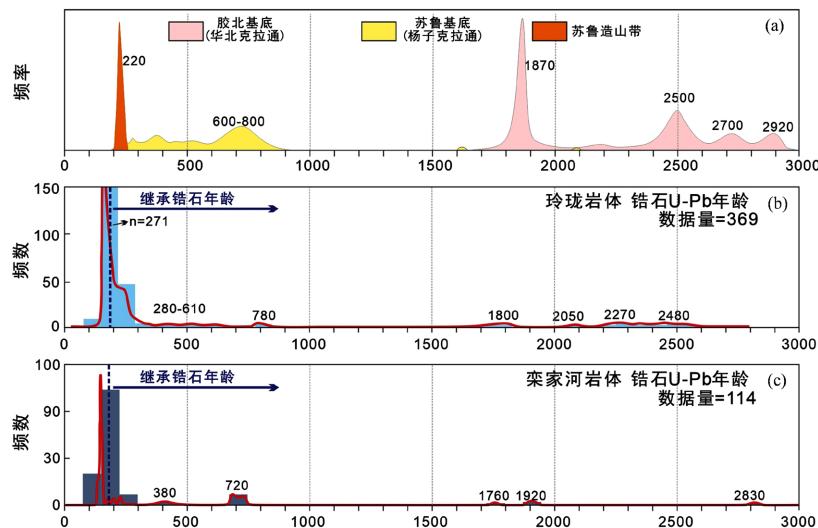


Figure 10. (a) Histogram of magmatic/metamorphic zircon ages of Sulu basement, Jiaobei basement and HP/UHP metamorphic ages, data from the literature [27]; (b) the U-Pb ages of zircon from the Linglong granites, data from this study, literature [12] [28]; (c) the U-Pb ages of zircon from the Luanjiahe granites, data from this study, literature [12] [29]
图10. (a) 胶北基底、苏鲁基底和苏鲁造山带的岩浆/变质锆石年龄的统计直方图, 数据来自文献[27]; (b) 玲珑花岗岩锆石的U-Pb年龄。数据来自本研究、文献[12] [28]; (c) 栾家河花岗岩的锆石的U-Pb年龄。数据来自本研究、文献[12] [29]

锆石的继承年龄可以用来进一步确定岩浆来源。通过收集前人发表的继承锆石 U-Pb 测年数据所绘制的统计直方图显示, 玲珑和栾家河的新古代和古近代继承锆石的年龄(例如~1800 Ma, ~1920 Ma, ~2270 Ma, ~2480 Ma)与胶北基底继承锆石的年龄(即华北克拉通; ~1.9 Ga、~2.5 Ga、2.7~2.9 Ga; 图 10) [12] [27]、杨子克拉通继承锆石的年龄(例如 280~610 Ma, ~780 Ma)与苏禄造山带的变质年龄(~200 Ma; 图 10) [27] 相吻合。这些证据揭示了 NCC 对玲珑和栾家河岩浆源的贡献, 并证实了在岩浆上升过程中有对苏鲁高压/超高压变质带中三叠纪岩石的混染作用。新远古代继承锆石的发现(600~800 Ma)可以识别出杨子克拉通对晚侏罗世岩浆源的贡献。

综上所述, 胶西北的晚侏罗世花岗岩岩浆来自于加厚的古老下地壳的部分熔融, 并识别出华北克拉通下地壳和杨子克拉通板块的岩浆物质来源。

6. 结论

- 1) 前人多认为晚侏罗世玲珑花岗岩和栾家河花岗岩为同期形成, 但本研究表明玲珑花岗岩锆石 U-Pb 定年为 157.5 ± 3.5 Ma, 栾家河花岗岩锆石 U-Pb 定年为 151.7 ± 3.0 Ma, 且与栾家河岩体侵入玲珑花岗岩体的野外接触特征一致。
- 2) 玲珑相较于栾家河花岗岩具有较多的暗色矿物(如黑云母、角闪石), 但栾家河花岗岩暗色矿物较少且矿物粒度较大, 加之其较高的 SiO₂, 反映其岩浆演化程度较高。全岩地球化学特征表明, 玲珑和栾家河花岗岩, 同属亚碱性岩石, 具有高 Sr, Sr/Y 值, 低 Y 的埃达克质岩石特征。
- 3) $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值的特征表明, 玲珑花岗岩和栾家河花岗岩的岩浆是由古大陆地壳熔化形成的。玲珑、栾家河花岗岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较高(约 7‰~9‰), 反映出岩浆源中含有来自 NCC 的下地壳成分。
- 4) 通过锆石的继承年龄对比, 查明了玲珑和栾家河花岗岩岩浆主要为华北克拉通下地壳和杨子下地壳部分熔融, 解答了前人关于源区物质来源的争议。

基金项目

本研究受中南大学科研创新项目(编号: 2020zzts644)、湖南省研究生科研创新项目(编号: CX20200112)和国家重点研发计划课题(编号: 2017YFC0601503)的共同资助。

参考文献

- [1] 翟明国. 华北克拉通的形成演化与成矿作用[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 24-36.
- [2] Hou, M.L., Jiang, Y.H., Jiang, S.Y., Ling, H.F. and Zhao, K.D. (2007) Contrasting Origins of Late Mesozoic Adakitic Granitoids from the Northwestern Jiaodong Peninsula, East China: Implications for Crustal Thickening to Delamination. *Geological Magazine*, **144**, 619-631. <https://doi.org/10.1017/S0016756807003494>
- [3] Yang, K.F., Fan, H.R., Santosh, M., Hu, F.F., Wilde, S.A., Lan, T.G., Lu, L.N. and Liu, Y.S. (2012) Reactivation of the Archean Lower Crust: Implications for Zircon Geochronology, Elemental and Sr-Nd-Hf Isotopic Geochemistry of Late Mesozoic Granitoids from Northwestern Jiaodong Terrain, the North China Craton. *Lithos*, **146-147**, 112-127. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.04.035>
- [4] Tan, J., Wei, J.H., Audétat, A. and Pettke, T. (2012) Source of Metals in the Guocheng Gold Deposit, Jiaodong Peninsula, North China Craton: Link to Early Cretaceous Mafic Magmatism Originating from Paleoproterozoic Metasomatized Lithospheric Mantle. *Ore Geology Reviews*, **48**, 70-87. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2012.02.008>
- [5] Wu, F.Y., Lin, J.Q., Wilde, S.A., Zhang, X.O. and Yang, J.H. (2005) Early Cretaceous Giant Igneous Event in Eastern China: Evidence from Liaodong Peninsula in NE China. *Earth and Planetary Science Letters*, **233**, 103-119. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.02.019>
- [6] Ballard, J.R., Palin, M.J. and Campbell, I.H. (2002) Relative Oxidation States of Magmas Inferred from Ce^{IV}/Ce^{III} in Zircon: Application to Porphyry Copper Deposits of Northern Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **144**, 347-364. <https://doi.org/10.1007/s00410-002-0402-5>
- [7] 宋明春, 徐军祥, 王沛成, 山东省大地构造格局和地质构造演化[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 36-37.

- [8] 陈衍景, Pirajno, F., 赖勇, 李超. 胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境[J]. 岩石学报, 2004, 20(4): 907-922.
- [9] Jiang, N., Guo, J.H., Zhai, M.G., and Zhang, S.Q. (2010) 2.7 Ga Crust Growth in the North China Craton. *Precambrian Research*, **179**, 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2010.02.010>
- [10] Liu, Z., Hollings, P., Mao, X., Lawley, C.J.M., Yang, B. and Tang, L. (2021) Metal Remobilization from Country Rocks into the Jiaodong-Type Orogenic Gold Systems, Eastern China: New Constraints from Scheelite and Galena Isotope Results at the Xiadian and Majiayao Gold Deposits. *Ore Geology Reviews*, **134**, Article ID: 104126. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104126>
- [11] Ma, L., Jiang, S.Y., Dai, B.Z., Jiang, Y.H., Hou, M.L., Pu, W. and Xu, B. (2013) Multiple Sources for the Origin of Late Jurassic Linglong Adakitic Granite in the Shandong Peninsula, Eastern China: Zircon U-Pb Geochronological, Geochemical and Sr-Nd-Hf Isotopic Evidence. *Lithos*, **162-163**, 251-263. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.01.009>
- [12] Tang, H., Zheng, J., Yu, C., Ping, X. and Ren, H. (2014) Multistage Crust-Mantle Interactions during the Destruction of the North China Craton: Age and Composition of the Early Cretaceous Intrusions in the Jiaodong Peninsula. *Lithos*, **190-191**, 52-70. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.12.002>
- [13] Zhai, M.G., Cong, B., Guo, J.H., Liu, W.J., Li, Y.G. and Wang, Q.C. (2000) Sm-Nd Geochronology and Petrography of Garnet Pyroxene Granulites in the Northern Sulu Region of China and Their Geotectonic Implication. *Lithos*, **52**, 23-33. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(99\)00082-1](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(99)00082-1)
- [14] Song, M., Zhou, J., Song, Y., Wang, B., Li, S.Y., Li, J. and Wang, S.S. (2020) Mesozoic Weidesshan Granitoid Suite and Its Relationship to Large-Scale Gold Mineralization in the Jiaodong Peninsula, China. *Geological Journal*, **55**, 5703-5724. <https://doi.org/10.1002/gj.3607>
- [15] Griffin, W.L., Powell, W.J., Pearson, N.J. and O'Reilly, S.Y. (2008) GLITTER: Data Reduction Software for Laser Ablation ICP-MS. In: Sylvester, P., Ed., *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues*, Mineralogical Association of Canada, Québec, 307-311.
- [16] Ludwig, K.R. (2012) Isoplot/Ex, V. 3.75. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 5.
- [17] Li, X.H., Li, W.X., Wang, X.C., Li, Q.L., Liu, Y. and Tang, G.Q. (2009) Role of Mantle-Derived Magma in Genesis of Early Yanshanian Granites in the Nanling Range, South China: *In Situ* Zircon Hf-O Isotopic Constraints. *Science in China Series D: Earth Sciences*, **52**, 1262-1278. <https://doi.org/10.1007/s11430-009-0117-9>
- [18] Li, X.H., Tang, G., Gong, B., Yang, Y., Hou, K., Hu, Z., Li, Q., Liu, Y. and Li, W. (2013) Qinghu Zircon: A Working Reference for Microbeam Analysis of U-Pb Age and Hf and O Isotopes. *Chinese Science Bulletin*, **58**, 4647-4654. <https://doi.org/10.1007/s11434-013-5932-x>
- [19] 任剑成. 胶东西北部栾家河型中粗粒等粒二长花岗岩构造岩相特征研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- [20] Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, **42**, 313-345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- [21] Castillo, P.R. (2006) An Overview of Adakite Petrogenesis. *Chinese Science Bulletin*, **51**, 257-268. <https://doi.org/10.1007/s11434-006-0257-7>
- [22] Defant, M.J. and Drummond, M.S. (1990) Derivation of Some Modern Arc Magmas by Melting of Young Subducted Lithosphere. *Nature*, **347**, 662-665. <https://doi.org/10.1038/347662a0>
- [23] Lai, S.C. and Qin, J.F. (2013) Adakitic Rocks Derived from the Partial Melting of Subducted Continental Crust: Evidence from the Eocene Volcanic Rocks in the Northern Qiangtang Block. *Gondwana Research*, **23**, 812-824. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.06.003>
- [24] Zhu, Y.S., Yang, J.H., Sun, J.F. and Wang, H. (2017) Zircon Hf-O Isotope Evidence for Recycled Oceanic and Continental Crust in the Sources of Alkaline Rocks. *Geology*, **45**, 407-410. <https://doi.org/10.1130/G38872.1>
- [25] Zhang, H.F. (2014) Neoarchean Recycling of ^{18}O -Enriched Supracrustal Materials into the Lower Crust: Zircon Record from the North China Craton. *Precambrian Research*, **284**, 60-71. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.04.012>
- [26] Tang, G.J., Wang, Q., Wyman, D.A., Chung, S.L., Chen, H.Y. and Zhao, Z.H. (2017) Genesis of Pristine Adakitic Magmas by Lower Crustal Melting: A Perspective from Amphibole Composition. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **122**, 1934-1948. <https://doi.org/10.1002/2016JB013678>
- [27] Zhao, R., Wang, Q., Liu, X., Wang, W. and Pan, R. (2016) Architecture of the Sulu Crustal Suture between the North China Craton and Yangtze Craton: Constraints from Mesozoic Granitoids. *Lithos*, **266-267**, 348-361. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.10.018>
- [28] Li, H., Sun, H.S. and Evans, N.J. (2019) Geochemistry and Geochronology of Zircons from Granite-Hosted Gold Mineralization in the Jiaodong Peninsula, North China: Implications for Ore Genesis. *Ore Geology Reviews*, **115**, Article

ID: 103188. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103188>

- [29] 陈俊, 孙丰月, 王力, 王硕, 李睿华. 胶东招掖地区滦家河花岗岩锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学及其地质意义 [J]. 世界地质, 2015, 34(2): 283-295.

附录 A

Supplementary Table 1. LA-ICP-MS zircon U-Pb data of the Linglong and Luanjiahe granites
附表 1. 玲珑和栾家河花岗岩锆石 U-Pb 定年数据

编号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	1σ
199ZK1-10								
1	0.05739	0.00743	0.16318	0.02279	0.02469	0.00140	157.25	8.79
2	0.05152	0.00802	0.15412	0.02297	0.02474	0.00117	157.56	7.33
3	0.05468	0.00594	0.17280	0.01888	0.02465	0.00088	156.97	5.55
4	0.05893	0.00829	0.18223	0.02584	0.02499	0.00134	159.15	8.41
5	0.04949	0.00152	0.17253	0.00583	0.02528	0.00048	160.93	3.05
6	0.05318	0.00309	0.18465	0.01170	0.02523	0.00059	160.61	3.71
7	0.04892	0.01007	0.15468	0.03344	0.02385	0.00102	151.95	6.43
8	0.05924	0.00712	0.17470	0.02013	0.02417	0.00132	153.96	8.31
9	0.05700	0.00807	0.18071	0.02843	0.02407	0.00128	153.33	8.06
10	0.04477	0.00459	0.14769	0.01527	0.02414	0.00087	153.79	5.47
11	0.05821	0.00818	0.18888	0.02427	0.02492	0.00109	158.70	6.85
12	0.05050	0.00523	0.20155	0.02236	0.02852	0.00137	181.27	8.60
13	0.05413	0.00369	0.19803	0.01429	0.02729	0.00096	173.58	6.00
14	0.04847	0.00196	0.17956	0.00855	0.02685	0.00085	170.80	5.34
LJHZK1-01								
1	0.05281	0.00132	0.18300	0.00542	0.02514	0.00058	160.07	3.67
2	0.04704	0.00215	0.15089	0.00629	0.02378	0.00071	151.51	4.44
3	0.04733	0.00128	0.15560	0.00515	0.02381	0.00060	151.67	3.75
4	0.04929	0.00436	0.15495	0.01260	0.02331	0.00075	148.53	4.71
5	0.04655	0.00458	0.15707	0.02212	0.02355	0.00066	150.04	4.13
6	0.05070	0.00264	0.16981	0.01035	0.02423	0.00059	154.33	3.71
7	0.04912	0.00089	0.16095	0.00447	0.02372	0.00050	151.14	3.17
8	0.04787	0.00117	0.15105	0.00460	0.02280	0.00051	145.34	3.22
9	0.04992	0.00054	0.16599	0.00353	0.02407	0.00044	153.32	2.79
10	0.05276	0.00445	0.17184	0.01530	0.02400	0.00090	152.91	5.67
11	0.04829	0.00097	0.16149	0.00384	0.02423	0.00036	154.30	2.26
12	0.04809	0.00080	0.15237	0.00333	0.02290	0.00037	145.99	2.31
13	0.04725	0.00175	0.14901	0.00626	0.02301	0.00060	146.63	3.75
14	0.05096	0.00198	0.19487	0.00890	0.02783	0.00081	176.93	5.05
15	0.05085	0.00136	0.19991	0.00689	0.02858	0.00078	181.66	4.89

Supplementary Table 2. Major (wt%) and trace elements (ug/g) of the Linglong and Luanjiahe granites
附表 2. 玲珑和栾家河花岗岩主量(wt%)与微量(ug/g)数据

编号	岩体	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI	Total
199ZK2-01	LL	73.66	14.44	1.12	0.16	1.61	4.24	3.48	0.07	0.01	0.04	0.61	100.03
199ZK2-02A	LL	64.65	14.80	4.20	3.53	4.33	3.62	2.04	0.47	0.14	0.10	1.23	99.49
199ZK2-02B	LL	71.61	14.51	1.86	0.34	1.67	3.92	3.91	0.17	0.02	0.06	0.81	99.44
199ZK2-03	LL	64.62	14.61	3.86	2.79	3.86	3.27	2.90	0.40	0.12	0.09	2.71	99.86
199ZK1-07	LL	71.99	14.64	1.61	0.24	1.52	3.81	4.51	0.13	0.03	0.06	0.74	99.99
199ZK1-10	LL	68.26	15.73	2.32	0.40	1.80	4.15	4.12	0.31	0.07	0.06	1.88	100.20
199ZK1-12	LL	74.21	13.56	1.60	0.18	1.43	3.57	4.11	0.14	0.02	0.06	0.73	100.19
199ZK1-13	LL	62.40	15.90	6.09	2.28	3.23	4.27	3.49	0.70	0.17	0.11	0.96	100.05
199ZK1-14	LL	61.65	17.07	5.31	1.75	4.76	4.74	1.69	0.60	0.18	0.11	1.30	99.50
199ZK1-16	LL	64.30	16.66	3.97	1.81	3.90	5.11	2.07	0.37	0.10	0.09	1.02	99.78
LJHZK1-01	LJH	74.89	13.68	1.32	0.11	1.10	3.90	4.08	0.08	0.02	0.03	0.34	99.78
LJHZK1-02	LJH	72.16	14.74	1.69	0.21	1.74	4.01	4.06	0.14	0.03	0.03	0.44	99.56
LJHZK1-03	LJH	74.27	14.00	1.01	0.10	1.19	3.80	4.38	0.06	0.01	0.02	0.51	99.63
LJHZK1-04	LJH	72.82	14.52	1.68	0.24	1.42	3.80	4.18	0.15	0.04	0.03	0.87	100.09
LJHZK1-05	LJH	73.06	14.52	1.49	0.19	1.36	3.98	4.21	0.13	0.03	0.03	0.51	99.81
LJHZK1-06	LJH	73.29	14.32	1.31	0.15	1.30	4.14	4.15	0.10	0.02	0.03	0.33	99.43
LJHZK1-07	LJH	73.43	14.16	1.45	0.17	1.14	3.98	4.21	0.10	0.02	0.03	0.48	99.44
LJHZK1-08	LJH	74.30	13.84	1.00	0.10	1.29	3.54	4.63	0.07	0.02	0.02	0.64	99.81

编号	岩体	Rb	Sr	Ba	Th	U	Zr	Hf	Ta	Y	Nb	La
199ZK2-01	LL	1050	3920	58.80	2.49	0.59	82.00	1.90	0.11	2.20	1.90	15.70
199ZK2-02A	LL	1025	1390	70.90	7.43	1.77	153.00	4.00	0.56	11.70	7.30	33.40
199ZK2-02B	LL	1020	3700	59.40	2.09	0.34	50.00	1.40	0.14	1.70	2.40	10.50
199ZK2-03	LL	1075	3025	79.10	8.86	2.00	150.00	3.90	0.60	11.50	8.30	33.90
199ZK1-07	LL	707	2335	82.20	6.84	0.96	120.00	3.50	0.20	3.70	4.50	33.10
199ZK1-10	LL	707	2430	86.20	31.60	1.69	244.00	6.20	0.83	9.70	12.80	254.00
199ZK1-12	LL	729	2840	79.60	7.42	1.37	186.00	5.20	0.31	4.00	4.90	41.20
199ZK1-13	LL	1005	2085	101.50	9.32	1.47	197.00	4.80	0.41	10.40	9.60	57.20
199ZK1-14	LL	1003	1020	56.60	13.05	2.60	183.00	4.50	0.71	9.90	10.10	43.50
199ZK1-16	LL	1380	1013	52.20	5.08	1.21	146.00	4.00	0.33	7.60	6.30	33.10
LJHZK1-01	LJH	479	1150	137.00	5.71	0.85	74.00	2.10	0.60	6.90	7.20	21.40
LJHZK1-02	LJH	665	1475	132.00	5.77	2.31	109.00	3.20	1.30	7.40	10.40	30.90
LJHZK1-03	LJH	528	1375	135.50	7.85	1.51	83.00	2.60	0.50	8.90	6.00	28.60
LJHZK1-04	LJH	616	1755	139.50	6.12	1.59	119.00	3.40	0.70	7.50	11.30	30.90

Continued

LJHZK1-05	LJH	616	1565	136.50	8.42	2.99	107.00	3.20	1.00	7.10	9.60	29.90
LJHZK1-06	LJH	515	1315	120.00	10.60	1.25	88.00	2.80	0.60	7.80	8.60	37.20
LJHZK1-07	LJH	513	1420	138.00	10.35	1.45	87.00	2.70	0.70	6.30	9.20	38.70
LJHZK1-08	LJH	619	2150	130.50	7.68	1.34	114.00	3.10	0.40	5.00	5.50	41.50

编号	岩体	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
199ZK2-01	LL	27.40	2.71	9.30	1.13	0.49	0.69	0.08	0.36	0.07	0.24	0.04	0.31	0.06
199ZK2-02A	LL	61.80	6.65	24.40	3.82	1.07	3.12	0.39	2.05	0.41	1.12	0.17	1.05	0.17
199ZK2-02B	LL	19.10	1.94	6.40	0.87	0.36	0.64	0.06	0.26	0.05	0.14	0.02	0.15	0.03
199ZK2-03	LL	62.60	6.91	24.50	3.73	0.95	2.97	0.42	2.18	0.43	1.12	0.17	1.06	0.19
199ZK1-07	LL	58.30	5.94	19.70	2.61	0.75	1.51	0.16	0.61	0.12	0.33	0.05	0.37	0.06
199ZK1-10	LL	433.00	41.90	133.00	13.45	1.57	6.20	0.60	2.19	0.36	0.83	0.11	0.70	0.11
199ZK1-12	LL	71.60	7.10	23.90	2.68	0.82	1.60	0.17	0.73	0.14	0.39	0.06	0.42	0.08
199ZK1-13	LL	104.00	10.65	38.40	5.20	1.11	3.60	0.43	2.10	0.37	0.96	0.13	0.78	0.12
199ZK1-14	LL	78.90	8.69	31.80	5.11	1.43	3.92	0.49	2.20	0.35	0.82	0.11	0.62	0.10
199ZK1-16	LL	59.60	6.13	22.10	3.42	0.89	2.38	0.30	1.42	0.28	0.74	0.10	0.59	0.09
LJHZK1-01	LJH	38.20	3.85	12.60	2.09	0.54	1.65	0.25	1.36	0.23	0.62	0.08	0.51	0.07
LJHZK1-02	LJH	53.10	5.18	17.90	2.63	0.76	1.95	0.26	1.53	0.26	0.67	0.09	0.57	0.08
LJHZK1-03	LJH	50.40	5.07	17.00	2.80	0.63	2.23	0.31	1.63	0.32	0.76	0.11	0.71	0.10
LJHZK1-04	LJH	53.70	5.38	17.60	2.79	0.69	1.85	0.26	1.45	0.27	0.64	0.09	0.55	0.08
LJHZK1-05	LJH	52.90	5.35	18.00	3.02	0.65	2.23	0.30	1.38	0.24	0.62	0.08	0.53	0.08
LJHZK1-06	LJH	67.20	6.91	23.40	3.56	0.61	2.53	0.36	1.56	0.28	0.73	0.09	0.57	0.08
LJHZK1-07	LJH	69.70	7.07	23.50	3.89	0.62	2.38	0.27	1.39	0.24	0.55	0.07	0.48	0.07
LJHZK1-08	LJH	71.40	7.08	22.40	3.22	0.82	1.85	0.22	1.10	0.20	0.49	0.06	0.39	0.06

Supplementary Table 3. In situ SMIS O isotope (‰) of zircon from the Linglong and Luanjiahe granites
附表 3. 玲珑和栾家河锆石原位 SMIS O 同位素(‰)数据

编号	岩体	$\delta^{18}\text{O}$ c	2se	编号	岩体	$\delta^{18}\text{O}$ c	2se
199ZK1-10				LJHZK1-01			
1	LL	7.52	0.16	1	LJH	7.33	0.18
2	LL	7.60	0.15	2	LJH	7.88	0.14
3	LL	9.04	0.15	3	LJH	7.05	0.23
4	LL	9.06	0.18	4	LJH	7.77	0.15
5	LL	7.23	0.27	5	LJH	8.18	0.16
6	LL	7.38	0.15	6	LJH	8.80	0.21
7	LL	8.26	0.21	7	LJH	7.70	0.20

Continued

8	LL	8.27	0.28	8	LJH	8.17	0.26
9	LL	8.48	0.22	9	LJH	6.96	0.16
10	LL	8.85	0.18	10	LJH	7.25	0.19
11	LL	7.95	0.19	11	LJH	7.37	0.15
12	LL	8.07	0.19	12	LJH	7.70	0.12
13	LL	7.75	0.17	13	LJH	8.34	0.25
14	LL	7.88	0.16	14	LJH	7.13	0.14
				15	LJH	7.24	0.21