

# 额尔古纳地块新元古代花岗岩榴石原位微区 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义

赵硕<sup>1)</sup>, 张进<sup>1)</sup>, 李锦轶<sup>1)</sup>, 许文良<sup>2)</sup>, 曲军峰<sup>1)</sup>, 刘建峰<sup>1)</sup>, 郑荣国<sup>1)</sup>, 葛茂卉<sup>1)</sup>

1) 自然资源部深地动力学重点实验室, 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037;

2) 吉林大学地球科学学院, 长春, 130061

**内容提要:**本文首次报道了额尔古纳地块新元古代花岗岩榴石原位微区 LA-ICP-MS U-Pb 定年数据, 以明确其形成时代, 进而为准确厘定额尔古纳地块新元古代岩浆作用期次提供新的证据, 并进一步揭示其地质意义。研究区内分别采自满归岩体和莫尔道嘎岩体的 2 个代表性样品中的榴石呈菱形自形一半自形晶, 不具有变质榴石特有的杏仁孔或孔洞特征, 暗示其为岩浆成因。对原生榴石的定年结果显示, 满归岩体和莫尔道嘎岩体数据点的线性拟合性均较好, 拟合线下交点年龄分别为  $873 \pm 22$  Ma 和  $783 \pm 31$  Ma, 均与  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄 ( $872 \pm 18$  Ma 和  $789 \pm 17$  Ma) 相一致。同时结合已有研究成果表明, 原定为额尔古纳地块新元古代最早期岩浆作用产物的满归岩体实际形成于  $\sim 850$  Ma, 而非前人认为的 957~927 Ma; 莫尔道嘎岩体形成于  $\sim 790$  Ma, 也并非前人认为的  $\sim 762$  Ma。综合校正后的岩体年龄以及近年来前人研究成果, 现阶段额尔古纳地块新元古代岩浆作用期次可大致分为五个阶段, 即 915~905 Ma、 $\sim 847$  Ma、818~808 Ma、 $\sim 792$  Ma 和  $\sim 738$  Ma。

**关键词:**额尔古纳地块; 新元古代; 岩浆作用; 榴石 U-Pb 年龄

额尔古纳地块位于中亚造山带的东端, 是组成我国东北地区重要的微陆块之一(图 1a)(Wu et al., 2002, 2007; Li, 2006; Xu et al., 2009, 2013)。长期以来, 对于该块体的构造属性一直是学者们研究和争论的焦点问题。目前, 对于该块体的构造属性主要存在两种不同的认识: 一种观点认为额尔古纳地块是早古生代早期增生到西伯利亚克拉通上的造山带拼贴体, 属大陆边缘增生建造, 只是其中含有少量较老的块体或物质而已(Ge et al., 2005; Zhou Jianbo et al., 2012); 而另一种观点认为额尔古纳地块是具有大规模早前寒武纪结晶基底的古老块体, 传统上其主要依据是基底岩石的变形和变质程度, 而相对缺乏精确的同位素年代学证据(IMBGM, 1991; HBGMR, 1993)。近年来随着新的定年技术的应用, 尤其是锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年技术日臻成熟, 前人围绕上述问题做了大

量工作, 在额尔古纳地块上陆续识别出了古元古代末期—新元古代的地质体(图 1b)(Wu et al., 2011; She Hongquan et al., 2012; Sun Lixin et al., 2012, 2013; Gou et al., 2013; Tang et al., 2013; Zhang Li et al., 2013; Bian Hongye et al., 2014; Ge et al., 2015; Guo Yufei et al., 2016; Zhao Shuo et al., 2016a, 2016b; Yang Huaben et al., 2017)。其中, 笔者曾对新元古代岩浆作用做过较为系统的研究, 初步认为额尔古纳地块上至少存在  $\sim 929$  Ma、 $\sim 887$  Ma、 $\sim 850$  Ma、 $\sim 819$  Ma、 $\sim 792$  Ma、 $\sim 764$  Ma 和  $\sim 738$  Ma 七期岩浆事件(Zhao Shuo et al., 2016a)。然而, 笔者在搜集和整理地质体定年数据时发现, 同一岩体不同作者获得的定年结果出入较大, 尤其是可能代表了额尔古纳地块新元古代最早期岩浆活动的满归岩体: ① Wu et al. (2011) 最早报道该岩体形成于  $927 \pm 13$  Ma,

注: 本文为国家重点研究开发计划项目(编号 2017YFC0601301)、中国地质科学院基本科研业务费专项经费(编号 J1907)、国家自然科学基金青年科学基金项目(编号 41802068)和中国地质调查项目(编号 DD20190004)联合资助的成果。

收稿日期: 2019-08-17; 改回日期: 2019-10-02; 网络发表日期: 2019-12-14; 责任编辑: 张招崇; 责任编辑: 周健。

作者简介: 赵硕, 男, 1987 年生。博士, 助理研究员。岩石学专业。Email: zhaoshuo@cags.ac.cn。

**引用本文:** 赵硕, 张进, 李锦轶, 许文良, 曲军峰, 刘建峰, 郑荣国, 葛茂卉. 2020. 额尔古纳地块新元古代花岗岩榴石原位微区 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义. 地质学报, 94(3): 757~767, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020116.  
Zhao Shuo, Zhang Jin, Li Jinyi, Xu Wenliang, Qu Junfeng, Liu Jianfeng, Zheng Rongguo, Ge Maohui. 2020. Titanite LA-ICP-MS U-Pb dating of the Neoproterozoic granites in the Erguna massif and their geological significance. Acta Geologica Sinica, 94(3): 757~767.

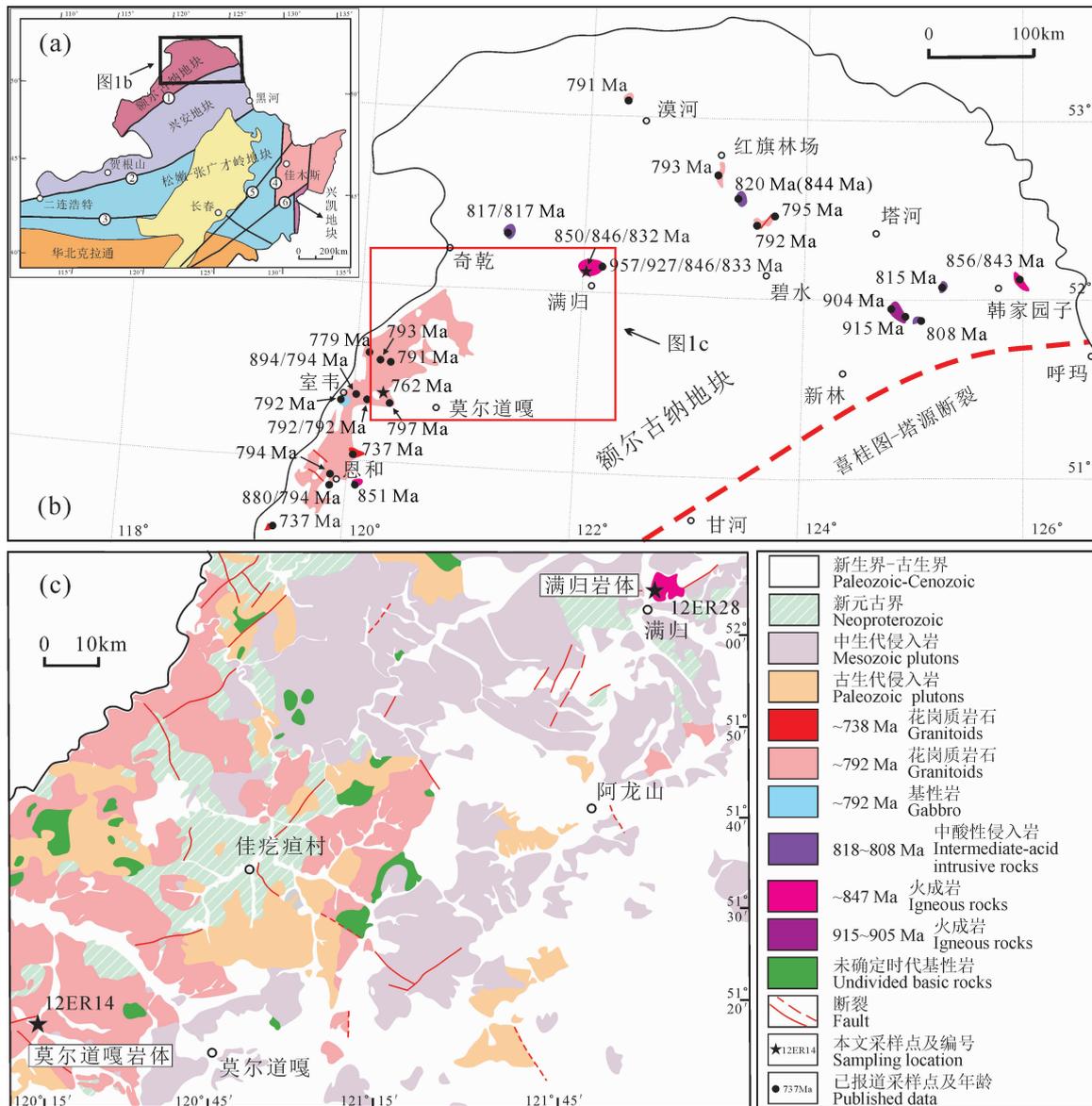


图1 中国东北地区构造简图(a, 据 Wu et al., 2007)、额尔古纳地块新元古代岩体分布简图(b, 据内蒙古自治区地质矿产局, 1991 修改)和研究区地质简图(c, 据黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院, 2002<sup>①</sup>, 2004<sup>②</sup>; 内蒙古自治区地质调查院, 2003a<sup>③</sup>, 2003b<sup>④</sup>修改)

Fig.1 Tectonic sketch map of NE China (a, after Wu et al., 2007), distribution diagram of Neoproterozoic plutons in the Erguna massif (b, modified after IMBGM, 1991) and geological sketch map of study area (c, modified from QBHIGSR, 2002<sup>①</sup>, 2004<sup>②</sup>; IMIGS, 2003a<sup>③</sup>, 2003b<sup>④</sup>)

- ①—喜桂图-塔源断裂; ②—贺根山-黑河断裂; ③—索伦-西拉木伦-长春缝合带; ④—嘉荫-牡丹江断裂;
- ⑤—伊通-依兰断裂; ⑥—敦化-密山断裂

- ①—Xiguitu-Tayuan fault; ②—Hegenshan-Heihe fault; ③—Solonker-Xra Moron-Changchun fault; ④—Jiayin-Mudanjiang fault;
- ⑤—Yitong-Yilan fault; ⑥—Dunhua-Mishan fault

但遗憾的是其并未公开锆石 U-Pb 定年数据; ② Ge et al. (2015)在同一采样点获得了  $957 \pm 29$  Ma 的定年结果,但对定年数据中位于谐和线上的年轻年龄(930 Ma、860 Ma 和 835 Ma 等)未给出合理的解释; ③ 笔者曾先后两次对该岩体做了锆石 U-Pb 定年工作,定年结果较为接近,均相对较为年轻,为

$\sim 833 \pm 5$  Ma 和  $\sim 846 \pm 5$  Ma(图 1b)(Zhao Shuo et al., 2016a, 2016b)。再者,笔者注意到代表额尔古纳地块  $\sim 764$  Ma 岩浆事件的莫尔道嘎岩体出露规模非常有限,且目前为止尚未发现其他同期岩体的产出(图 1b)(Tang et al., 2013),区域调查报告先后将其时代划为白垩纪和二叠纪,而其围岩时代分

别为石炭纪和新元古代<sup>①②</sup>。然而,新的定年资料证实其周围花岗岩仅形成于晚三叠世(Tang et al., 2015),但与该岩体接触关系不明。另外,值得注意的是前人对莫尔道嘎岩体的锆石 U-Pb 定年谐和图中,最年轻一组的七个年龄大部分不在谐和线上,而它们的加权平均年龄的 MSWD 值也仅为 0.088(Tang et al., 2013),这不得不重新考量数据调试过程中人为主观因素的干扰,而由此得出的岩体形成年龄很有必要进一步加以证实或证伪。那么,额尔古纳地块满归岩体和莫尔道嘎岩体的形成时代到底如何?这也进一步制约了我们对额尔古纳地块新元古代岩浆事件的认识。

锆石 U-Pb 定年方法的普及应用固然有其不可否认的优势所在,但也有一些特别需要注意的地方,如锆石晶体内部存在多期性和多世代性,或者出现蜕晶化作用等,只有选择意义明确的测定区域,才能对所获得的数据作出合理的解释(Zhong Yufang and Ma Changqian, 2006)。因此,不同的测定区域可能会导致最终结果的偏差,甚至错误。显然,在对古老地质体的定年工作中,由于其经历了漫长的地质时期,锆石内部常具有复杂的分区,以上问题显得尤为突出,尤其是给同位素所记录信息的合理解释带来了不小的困扰。实践经验也告诉我们,对于较早期(古老)锆石,常因 Pb 丢失程度较高而难以获得高精度的初始结晶年龄。鉴于以上情况,为了不重复无效的工作,提高工作效率,切实解决额尔古纳地块满归岩体和莫尔道嘎岩体的形成时代问题,迫切需要寻求另一种行而有效的定年方法对其加以限定。

榴石是广泛形成于火成岩中的一种含 U 副矿物,其作为火成岩的计时器已经有比较长的历史。近年来随着分析技术的长足进步,具有高灵敏度和空间分辨率的新型仪器(如 SIMS、LA-(MC)-ICP-MS 等)的出现使原位微区同位素分析成为可能,而 LA-ICP-MS 因设备成本低,对样品的制备要求低,分析测试速度快,而成为进行榴石原位微区 U-Pb 同位素分析的首选平台(Storey et al., 2006, 2007; Sun Jinfeng and Yang Jinhui, 2009; Li et al., 2010; Gao et al., 2012)。而且,在火成岩年代学研究中,榴石原位微区 U-Pb 定年的优点在于,火成岩中较少含有继承或捕获成因的古老榴石(Corfu, 1996; Pidgeon et al., 1996),而且减免了粉碎样品、筛选制靶的步骤,进一步杜绝了混样等客观因素对实验结果的干扰,亦可很好地揭示初始岩浆的冷

却时代。

鉴于以上科学问题和测试技术优势,本文对额尔古纳地块新元古代满归岩体和莫尔道嘎岩体进行了榴石原位微区 LA-ICP-MS U-Pb 定年工作,从而力求准确限定它们的侵位时代,这对准确厘定额尔古纳地块新元古代岩浆作用期次以及揭示其块体属性都是至关重要的,而且可为限定块体的基底时限提供新的科学依据。

## 1 地质背景及样品描述

额尔古纳地块是组成兴蒙造山带的重要构造单元之一,北西与中生代蒙古-鄂霍茨克构造带相邻(Sengör et al., 1993),南东以塔源-喜桂图断裂为界与兴安地块相接(图 1a)(Li Ruishan, 1991; Ge et al., 2005; Sui Zhenmin, 2007; Zhang Li et al., 2013)。研究区内原定的前寒武纪变质表壳岩多成残留体分布于侵入岩之中,部分为断块状地层体(图 1b)(IMBGMR, 1991)。近年来的研究证实这些古老基底角闪岩相-绿片岩相副变质岩的形成时代不早于新元古代(Miao et al., 2007; Zhou et al., 2011; Wu et al., 2012; Zhang et al., 2014; Ge et al., 2015; Zhao et al., 2016c)。区内显生宙侵入岩和中生代火山岩极其发育,而对于新元古代侵入岩而言,主要分布于恩和至室韦一带,岩性以花岗岩为主,并且主要为~792 Ma 岩浆作用的产物,其他地区新元古代岩体均呈小规模星散分布(图 1b)(Wu et al., 2011; She Hongquan et al., 2012; Sun Lixin et al., 2012; Gou et al., 2013; Tang et al., 2013; Zhang Li et al., 2013; Ge et al., 2015; Zhao Shuo et al., 2016a, b)。总体来看,新元古代岩体多表现出不同程度的片理化现象,但由于覆盖严重,岩体边界无法确定,对其出露规模及与周围地质体接触关系不明。

本文研究的满归岩体和莫尔道嘎岩体分别位于满归镇北部和莫尔道嘎镇西部(图 1b),满归岩体与白垩纪地层呈断层接触关系,而莫尔道嘎岩体与中生代花岗质围岩的接触关系不详<sup>③④</sup>(Tang et al., 2015)。样品采集露头良好,岩石普遍发生片理化变形(图 2a, b),岩性均为黑云母二长花岗岩,其中副矿物榴石呈褐色,自形程度较好,部分呈现出典型的“信封”状特征(图 2c, d)。满归岩体代表性样品 12ER28-5 新鲜面为肉红色,风化面呈灰褐色,似斑状结构,片麻状构造,主要组成矿物包括石英(~28%)、斜长石(~25%)、碱性长石(~35%)、黑



图2 额尔古纳地块满归岩体(12ER28)和莫尔道嘎岩体(12ER14)露头 and 代表性榍石显微照片  
Fig. 2 Photographs and microphotographs showing outcrops and typical titanites of Mangui (12ER28) and Moerdaoga (12ER14) plutons in the Erguna massif

Bi—黑云母; Ttn—榍石

Bi—Biotite; Ttn—titanite

云母(~10%)及少量副矿物(~2%,包括锆石、磷灰石、榍石、磁铁矿等)(图 2a, c);莫尔道嘎岩体代表性样品 12ER14-5 新鲜面为灰白色,风化面呈灰褐色,似斑状结构,片麻状构造,主要组成矿物包括石英(~30%)、斜长石(~25%)、碱性长石(~35%)、黑云母(~8%)及少量副矿物(~2%,包括锆石、榍石、磁铁矿等)(图 2b, d)。

## 2 分析方法

榍石原位微区 U-Pb 年龄测定工作在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室完成。采用 Agilent 7500a 型四极杆电感耦合等离子体质谱仪(Q-ICPMS)和 GeoLas Pro 型 193 nm 准分子激光剥蚀系统联机完成测试。使用跳峰模式进行数据采集,分析<sup>29</sup>Si、<sup>43</sup>Ca、<sup>232</sup>Th 和 <sup>238</sup>U 的积分时间为 10 ms,<sup>204</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb 和 <sup>208</sup>Pb 为 15 ms,<sup>207</sup>Pb 为 30 ms。测试样品和标样交替分析,选用的榍石标样为 BLR-1 和 OLT-1,标准物质 NIST610 作为外部标样。每测定 8 个样品点测试一组年龄标样,包括 2 个 BLR-1、1 个 OLT-1 和 1 个 NIST610(Sun Jinfeng et al., 2012)。每个样品点的分析时间包括 30 s 背景信号收集、60 s 样品信号收集和 60 s 清洗

管道及样品池,共计 150 s。分析采用的激光束斑直径为 44 μm,剥蚀频率为 6 Hz。榍石样品 U、Th 和 Pb 元素含量采用<sup>43</sup>Ca 和 NIST610 分别作为内外标计算得到,以榍石标样 BLR-1 对数据结果进行 U-Pb 分馏校正。对于所有分析点的年龄数据,采用 GLITTER 4.0 软件进行同位素比值的分馏校正及结果的计算(Griffin et al., 2008)。本文采用 Tera-Wasserburg 谐和图解法计算榍石的形成年龄(Tera and Wasserburg, 1972),以便减少榍石样品中本身较高含量普通 Pb 的干扰。实测数据作出的线性拟合的上交点为样品的普通 Pb 组成,下交点则近似为样品的形成年龄。分析测试样品年龄谐和图和加权平均年龄的计算均采用 ISOPLOT 宏程序完成(Ludwig, 2003)。详细的实验原理及步骤参照 Sun Jinfeng et al. (2012)。

## 3 分析结果

本文用于测年的榍石呈自形一半自形菱形晶,晶体大小约为 100~200 μm × 400~600 μm(图 3),不具有变质榍石特有的杏仁孔或孔洞特征(图 2c, d),表明其为岩浆成因,其年龄可以代表岩浆的结晶年龄。单个颗粒多数设 1~2 个分析点,共获得

20 个有效数据点, 本文样品的锆石 U-Pb 定年结果列于表 1。

(1) 满归岩体 (12ER28-5): 满归岩体样品 12ER28-5 共获得 10 个有效数据点, 年龄介于 836 ± 21 Ma 和 907 ± 23 Ma 之间(图 3a)。定年结果谐

和图显示, 数据点的线性拟合性较好, 拟合线与谐和线下交点年龄为 873 ± 22 Ma, 初始 Pb 同位素经  $^{207}\text{Pb}$  校正后, 得到该样品的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为 872 ± 18 Ma (MSWD=4.60, n=10), 与下交点年龄吻合(图 4a), 应代表了此岩体的形成时代。

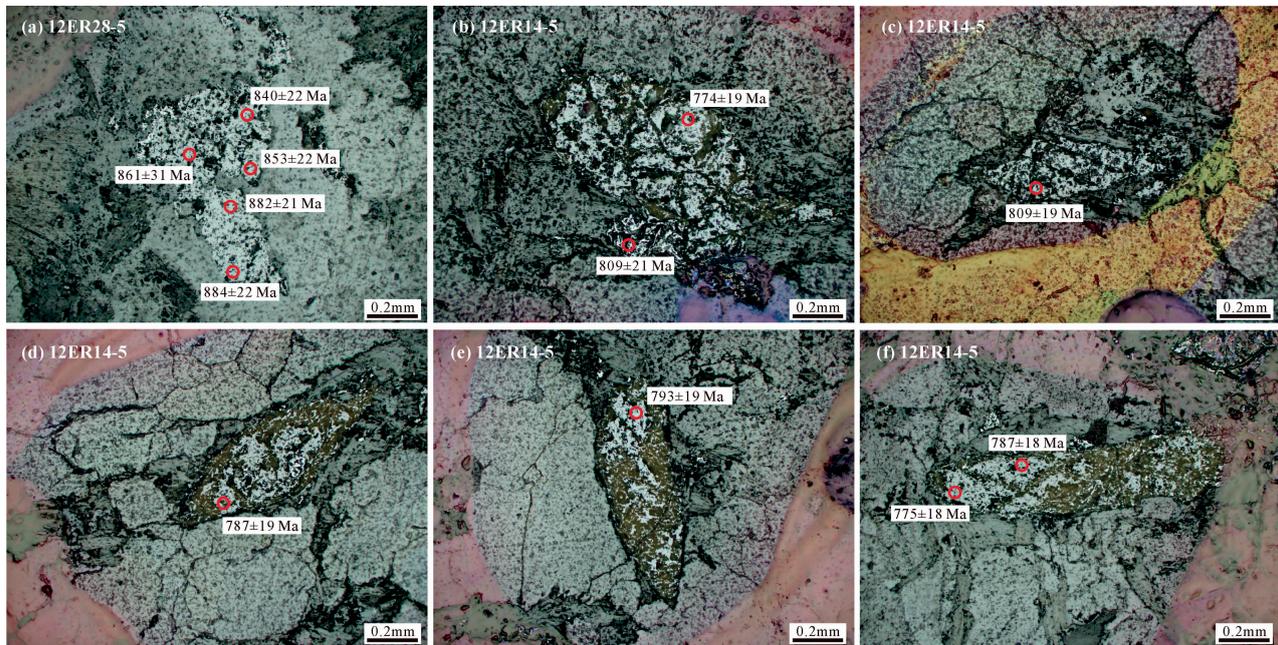


图 3 额尔古纳地块新元古代花岗岩代表性锆石反射光图像及部分 U-Pb 定年结果

Fig. 3 Reflection images and U-Pb ages of typical titanites from the Neoproterozoic granites in the Erguna massif

表 1 额尔古纳地块新元古代花岗岩锆石 U-Pb 定年结果

Table 1 Titanite U-Pb dating results for the Neoproterozoic granites in the Erguna massif

样品	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}$ -校正年龄 (Ma)	
	比值	1s	比值	1s	比值	1s	比值	1s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s
12ER28-5										
01	0.10175	0.00215	2.18688	0.04405	0.15578	0.00397	0.20577	0.00798	907	23
02	0.09871	0.00203	2.06059	0.04059	0.15127	0.00382	0.17849	0.00682	884	22
03	0.09471	0.00162	1.97864	0.03361	0.15134	0.00368	0.17114	0.00587	888	21
04	0.08870	0.00151	1.83044	0.03107	0.14945	0.00362	0.13434	0.00442	882	21
05	0.21009	0.00344	4.92385	0.07669	0.16969	0.00424	0.74480	0.02175	886	36
06	0.10581	0.00183	2.09934	0.03556	0.14361	0.00351	0.28230	0.00966	836	21
07	0.10159	0.00207	2.05208	0.03976	0.14616	0.00368	0.28908	0.01149	853	22
08	0.11643	0.00198	2.34938	0.03893	0.14595	0.00357	0.22576	0.00703	840	22
09	0.11830	0.00200	2.54164	0.04184	0.15536	0.00380	0.30468	0.00961	891	23
10	0.18976	0.00273	4.23345	0.05997	0.16127	0.00389	0.38630	0.00987	861	31
12ER14-5										
01	0.17204	0.00279	3.52963	0.05550	0.14881	0.00366	0.07415	0.00180	774	19
02	0.28489	0.00346	7.41144	0.09533	0.18870	0.00446	0.16821	0.00385	809	21
03	0.60019	0.00630	39.94375	0.48217	0.48272	0.01128	3.78929	0.08715	842	62
04	0.09254	0.00136	1.76918	0.02681	0.13868	0.00330	0.05017	0.00118	809	19
05	0.60974	0.00626	44.23220	0.52913	0.52622	0.01232	0.85511	0.01864	877	68
06	0.55999	0.00780	25.90087	0.36022	0.33552	0.00844	0.22974	0.00517	698	44
07	0.11647	0.00191	2.23581	0.03634	0.13926	0.00341	0.06171	0.00143	787	19
08	0.11812	0.00193	2.29191	0.03709	0.14076	0.00345	0.05918	0.00141	793	19
09	0.14500	0.00196	2.85769	0.04002	0.14298	0.00343	0.06142	0.00138	775	18
10	0.11634	0.00159	2.23444	0.03184	0.13934	0.00333	0.05396	0.00121	787	18

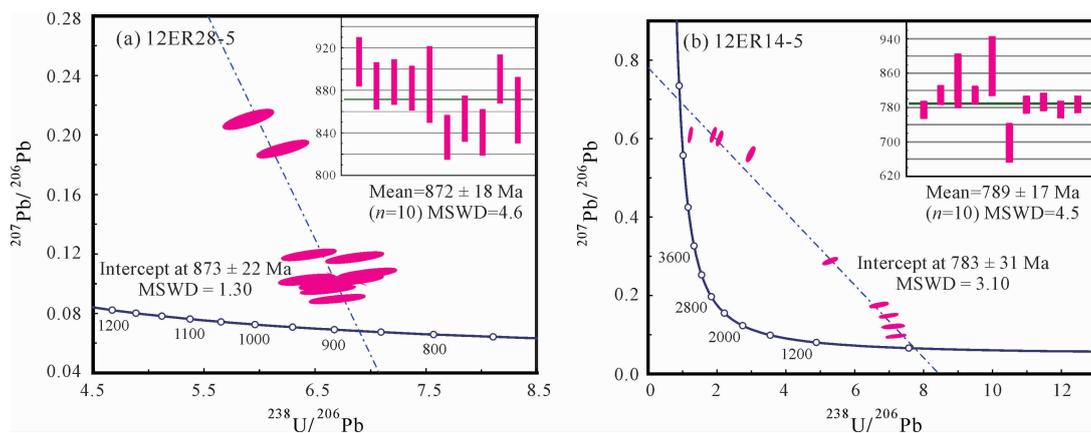


图4 额尔古纳地块新元古代花岗岩榍石 U-Pb 年龄谱和图

Fig. 4 Titanite U-Pb concordia diagram of the Neoproterozoic granites in the Erguna massif

(2)莫尔道嘎岩体(12ER14-5):莫尔道嘎岩体样品 12ER14-5 测年结果显示,10 个有效数据点的年龄介于  $698 \pm 44$  Ma 和  $877 \pm 68$  Ma 之间(图 3b~f),数据拟合线与谐和线下交点年龄为  $783 \pm 31$  Ma,初始 Pb 同位素经  $^{207}\text{Pb}$  校正后,得到该样品的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $789 \pm 17$  Ma(MSWD = 4.50,  $n=10$ ),与下交点年龄吻合(图 4b),应代表了该岩体的形成时代。

## 4 讨论

### 4.1 满归岩体和莫尔道嘎岩体的形成时代

如上文所述,通常对于较早期的锆石,常因 Pb 丢失程度较高和复杂的内部结构,而难以获得可信度较高的初始结晶年龄,加之植被覆盖严重,露头较差,也难以从野外接触关系来限定研究对象与围岩的相对时代关系,从而使得对于满归岩体和莫尔道嘎岩体的形成时代难以获得统一的认识。鉴于此,本文采用 LA-ICP-MS 榍石 U-Pb 定年法对二者进行了年代学研究,榍石 U-Pb 同位素体系的封闭温度约为  $650 \sim 700^\circ\text{C}$  (Sun Jinfeng et al., 2012),所记录的同位素年龄更接近于岩浆的冷却时间,能更好地限定岩体的形成时代。

满归岩体曾代表了额尔古纳地块新元古代最早期岩浆活动的产物,最早前人基于锆石测得了  $927 \pm 13$  Ma 的形成年龄(Wu et al., 2011),甚至更老的年龄( $957 \pm 29$  Ma; Ge et al., 2015)。前者并未公开定年数据,所以其数据质量无从考证,而后者将不一致线的上截点年龄作为了满归岩体的结晶年龄,而定年结果中确实存在  $\sim 930$  Ma、 $\sim 860$  Ma 和  $\sim 835$  Ma 等一些较为年轻的谐和年龄,虽然接近于前人定年结果,但理论上这样的结果势必会偏大。

本文榍石 U-Pb 测年结果表明,拟合线与谐和线下交点年龄为  $873 \pm 22$  Ma,与  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄( $872 \pm 18$  Ma)一致(图 4a)。我们知道榍石 U-Pb 同位素体系的封闭温度略低于锆石,那么满归岩体的形成时代起码不会早于该定年结果。而该定年结果也与笔者通过锆石 U-Pb 定年所得到的相对年轻的岩体结晶年龄( $850 \sim 832$  Ma)较为相近(Zhao Shuo et al., 2016a, 2016b)。同时,区内前人在恩和村东发现了同时期岩浆作用的产物( $851$  Ma 正长花岗岩),且二者在岩貌和矿物组合上具有相似之处(Tang et al., 2013)。再者,韩家园子变酸性火山岩以及红旗林场石英闪长岩包体均被证实形成于  $\sim 850$  Ma(Wu et al., 2011; Ge et al., 2015)。综上,结合不同定年矿物的测试结果以及区内已报道新元古代岩浆活动资料,我们推断满归岩体与前述地质体应为同时期岩浆作用的产物,形成于  $\sim 850$  Ma,而并非前人认为的  $957 \sim 927$  Ma。

莫尔道嘎岩体同样曾代表了额尔古纳地块  $\sim 762$  Ma 岩浆作用的唯一产物(Tang et al., 2013)。该岩体出露规模较小,前人依据相对偏小的 K-Ar 年龄推断其为后期侵入体,呈岩株产出<sup>①</sup>。新的定年资料证实该“岩株”周围花岗岩仅形成于晚三叠世(Tang et al., 2015),那么莫尔道嘎岩体的形成时代要更晚才合理,但由于覆盖严重,二者野外接触关系未见。本文榍石 U-Pb 测年结果表明,拟合线与谐和线下交点年龄为  $783 \pm 31$  Ma,与  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄( $789 \pm 17$  Ma)一致(图 4b)。同时考虑到对  $\sim 762$  Ma 的锆石 U-Pb 年龄数据的处理和对最年轻不谐和年龄解释的合理性(Tang et al., 2013),以及邻区大规模的  $\sim 790$  Ma 岩浆作用普遍发育的事实(图 1b),我们认为莫尔道嘎岩体同为  $\sim 790$  Ma 岩

浆作用的产物更为合理,而非前人认为的形成于~762 Ma,推测其与围岩应为构造接触关系。

### 4.2 额尔古纳地块新元古代岩浆作用期次及地质意义

近年来,依据 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年法在额尔古纳地块上已获得了一批相当可观数量的新元古代火成岩地质体(表 2)。但本文定年结果表明,部分岩体定年结果的可靠性值得商榷,因此,笔者对

额尔古纳地块新元古代岩浆事件重新做了系统的梳理工作,以期准确厘定额尔古纳地块新元古代岩浆作用期次。

前人资料显示额尔古纳地块新元古代岩浆作用可划分为以下七期:~929 Ma、~887 Ma、~847 Ma、~819 Ma、~792 Ma、~764 Ma 和~738 Ma (Wu et al., 2011; She Hongquan et al., 2012; Sun Lixin et al., 2012, 2013; Gou et al., 2013;

表 2 额尔古纳地块新元古代火成岩测年结果汇总简表

Table 2 Summary of geochronological data for Neoproterozoic igneous rocks from the Erguna massif

序号	样品号	纬度	经度	采样位置	岩性	岩浆期次	年龄 (Ma)	定年方法	定年矿物	资料来源
1	SPM4TC07	51°50.034'	124°56.083'	玻乌勒山	片麻状花岗岩	915~	915±3	LA-ICP-MS	锆石	杨华本等(2017)
2	HQG	51°52.936'	124°51.364'	红旗沟	斜长角闪岩(玄武岩)	905 Ma	904±4	LA-ICP-MS	锆石	杨华本等(2017)
3	GW03286	52°03'27.0"	122°05'32.6"	满归	正长花岗岩	~847 Ma	957±29?	LA-ICP-MS	锆石	Ge et al. (2015)
	碱长花岗岩				927±13?		LA-ICP-MS	锆石	Wu et al. (2011)	
4	13ER13-1				碱长花岗岩		846±5	LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016a)
	黑云母正长花岗岩				833±5		LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016b)	
5	12ER28-1	52°04'20.0"	122°04'18.3"		黑云母二长花岗岩	850±9	LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016a)	
	12ER28-5					872±18	LA-ICP-MS	榴石	本文	
6	13ER12-1					846±5	LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016a)	
						832±5	LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016b)	
7	ER7-1	50°47'24.0"	120°05'53.0"	恩和	正长花岗岩		851±6	LA-ICP-MS	锆石	Tang et al. (2013)
8	GW03042	52°07'47.0"	125°59'01.0"	韩家园子	片麻岩		843±6	LA-ICP-MS	锆石	Wu et al. (2011)
					黑云斜长片麻岩(酸性火山岩)		856±27	LA-ICP-MS	锆石	Ge et al. (2015)
9	10GW140	52°41'01.1"	123°10'40.1"	红旗林场	片麻状石英闪长岩(包体)		844±23	LA-ICP-MS	锆石	Ge et al. (2015)
	10GW139				片麻状二长花岗岩		820±7	LA-ICP-MS	锆石	Ge et al. (2015)
10	GW04067	52°19'49.0"	121°17'17.0"	奇乾	二长花岗岩	818~808 Ma	817±6	LA-ICP-MS	锆石	Wu et al. (2011)
							817±6	LA-ICP-MS	锆石	Ge et al. (2015)
11	Pm1-1Tc121	瓦拉里村北东 25km		富西里	二长闪长岩		815±6	LA-ICP-MS	锆石	边红业等(2014)
12	FHS-01	瓦拉里村北西 20km		凤凰山	英云闪长岩		808±2	LA-ICP-MS	锆石	郭宇飞等(2016)
13	Mor-11	51°30'45.0"	120°10'41.0"	太平川	正长花岗岩		793±8	LA-ICP-MS	锆石	余宏全等(2012)
14	21TW65	51°30'09.5"	120°16'14.0"		正长花岗岩		791±2	LA-ICP-MS	锆石	余宏全等(2012)
15	386SW-1	51°30'52.0"	120°09'15.1"		花岗质片麻岩		779±20	LA-ICP-MS	锆石	张丽等(2013)
16	M256-1	51°17'42.0"	119°58'37.0"	室韦	二长花岗岩		894±12?	LA-ICP-MS	锆石	Gou et al. (2013)
17	13ER41-1	51°17'46.2"	119°58'32.6"		花岗闪长岩		794±4	LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016b)
18	11ER23-1	51°17'19.0"	120°08'33.0"		正长花岗岩		792±7	LA-ICP-MS	锆石	Tang et al. (2013)
	ER24-1					792±4	LA-ICP-MS	锆石	Tang et al. (2013)	
19	ER27-1	51°18'09.0"	119°53'02.0"		辉长岩		792±3	LA-ICP-MS	锆石	Tang et al. (2013)
20	M241-1	50°47'50.0"	119°52'40.0"	恩和	二长花岗岩		880±10?	LA-ICP-MS	锆石	Gou et al. (2013)
21	13ER44-1	50°47'48.9"	119°52'44.1"		正长花岗岩		794±4	LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016b)
22	13ER43-1	50°49'32.7"	119°53'44.3"		正长花岗岩		794±4	LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016b)
23	14ER17-1	53°04'47.0"	122°21'32.5"	漠河	黑云母二长花岗岩		791±5	LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016a)
24	14ER13-1	52°41'08.2"	123°10'26.8"	红旗林场	花岗闪长岩		793±4	LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016a)
25	14ER11-1	52°26'39.6"	123°39'57.6"	碧水	碱长花岗岩		795±4	LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016a)
26	GW03129	52°26'40.0"	123°39'57.0"		碱长花岗岩		795±13	LA-ICP-MS	锆石	Wu et al. (2011)
					正长花岗岩		794±14	LA-ICP-MS	锆石	Ge et al. (2015)
27	GW03133	52°25'13.0"	123°36'55.0"		花岗闪长岩		792±5	LA-ICP-MS	锆石	Wu et al. (2011)
							786±10	LA-ICP-MS	锆石	Ge et al. (2015)
28	Mor-24	51°18'39.0"	120°15'41.0"	莫尔道嘎	正长花岗岩		797±8	LA-ICP-MS	锆石	余宏全等(2012)
29	12ER14-5	51°18'41.2"	120°15'37.6"		黑云母二长花岗岩		789±17	LA-ICP-MS	榴石	本文
	11ER24-1				花岗闪长岩		762±6?	LA-ICP-MS	锆石	Tang et al. (2013)
30	ER13-1	50°58'44.0"	120°02'22.0"	恩和	正长花岗岩	~738 Ma	737±5	LA-ICP-MS	锆石	Tang et al. (2013)
31	12ER7-1	50°29'30.7"	119°15'12.5"	五卡	碱长花岗岩		737±7	LA-ICP-MS	锆石	赵硕等(2016b)

Tang et al., 2013; Zhang Li et al., 2013; Ge et al., 2015; Zhao Shuo et al., 2016a, b)。首先,本文测年结果表明,代表额尔古纳地块新元古代“最早”岩浆活动产物的满归岩体被证实形成于~850 Ma,而非前人认为的~929 Ma;而唯一代表~764 Ma 岩浆作用产物的莫尔道嘎岩体实际形成于~790 Ma。其次,值得注意的是,Gou et al. (2013)报道的~894 Ma 室韦岩体和~880 Ma 恩和岩体被证实均形成于~790 Ma(图 1b)(Zhao Shuo et al., 2016b),所以~887 Ma 岩浆作用是否存在值得商榷,起码现有资料并不支持该期岩浆事件的存在;再者,笔者发现近年来额尔古纳地块又有新的新元古代地质的报道,这包括额尔古纳地块东部玻乌勒山红旗沟的  $915 \pm 3$  Ma 片麻状花岗岩和  $904 \pm 4$  Ma 斜长角闪岩、富西里的  $815 \pm 6$  Ma 二长闪长岩和凤凰山的  $808 \pm 2$  Ma 英云闪长岩(图 1b,表 2)(Bian Hongye et al., 2014; Guo Yufei et al., 2016; Yang Huaben et al., 2017)。综上所述,依据笔者校正后的岩体年龄,同时综合已报道的新元古代岩浆事件,额尔古纳地块新元古代岩浆作用现阶段可以大致划分为五个阶段:915~905 Ma、~847 Ma、818~808 Ma、~792 Ma 和~738 Ma(图 5,表 2)。

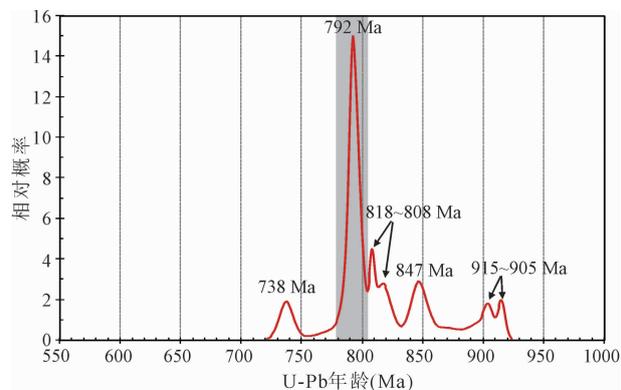


图 5 额尔古纳地块新元古代火成岩定年结果统计图

Fig. 5 Relative-probability-age diagram summarizing the U-Pb data of Neoproterozoic igneous rocks in the Erguna massif

本文通过锆石 U-Pb 定年确定岩体的形成时代,是对古老岩体定年工作中一次新的有益尝试。依据现有资料重新厘定额尔古纳地块新元古代岩浆作用期次后发现,各时期的岩石组合并非像之前认为的那么单一。915~905 Ma 岩浆作用的产物包括花岗岩以及玄武岩等基性火山岩;~847 Ma 岩浆作用的产物包括花岗质岩石、石英闪长岩和酸性火山岩;818~808 Ma 岩浆作用的产物包括二长花岗岩、

英云闪长岩和二长闪长岩;代表额尔古纳地块新元古代最强烈一期(~792 Ma)岩浆作用的产物为花岗质岩石和辉长岩;而~738 Ma 岩浆作用的产物以典型的 A-型花岗岩为特征(表 2)。综上所述,可以看出,不同期次的岩石组合所形成的构造背景不能一概而论,笼统地将额尔古纳地块新元古代岩浆作用与 Rodinia 超大陆演化相对应是不够科学严谨的,其应经历了更为具体的地质过程。因此,额尔古纳地块新元古代各期次岩浆作用的规模、形成的构造环境以及该时期的块体属性值得重新审视和进一步深入研究,这对揭示研究区新元古代构造属性是至关重要的。

## 5 结论

基于对额尔古纳地块新元古代花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学的研究,同时结合研究区已有的研究成果,得出如下结论:

(1) 满归岩体和莫尔道嘎岩体分别形成于~850 Ma 和~790 Ma,而并非前人认为的 957~927 Ma 和~762 Ma。

(2) 重新厘定的额尔古纳地块新元古代岩浆作用期次目前可划分为五个阶段,即 915~905 Ma、~847 Ma、818~808 Ma、~792 Ma 和~738 Ma。

**致谢:**感谢项目组成员在工作以及论文撰写过程中给予的帮助,样品分析得到了中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室的大力支持,审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并表示衷心地感谢。

## 注 释

- ① 内蒙古自治区第一区域地质调查队. 1985. 1:20 万区域地质调查报告上护林幅。
- ② 内蒙古自治区地质调查院. 2003a. 1:25 万区域地质调查报告莫尔道嘎镇幅。
- ③ 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 2002. 1:25 万区域地质调查报告漠河县幅。
- ④ 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 2004. 1:25 万区域地质调查报告阿龙山镇幅。
- ⑤ 内蒙古自治区地质调查院. 2003b. 1:25 万区域地质调查报告齐乾幅。
- ⑥ 黑龙江省地质矿产局第二区域地质调查大队. 1989. 1:20 万区域地质调查报告满归幅。

## References

- Bian Hongye, Ji Feng, Biao Shanghu. 2014. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of sanuklite-(quartz) monzodiorite in Fuxili area, Daxing'anling and its geological significance. *Global Geology*, 33(4): 768~779 (in Chinese with English abstract).
- Corfu F. 1996. Multistage zircon and titanite growth and inheritance in Archean gneiss complex, Winnipeg River Subprovince, Ontario. *Earth and Planetary Science Letters*, 141: 175~186.

- Gao Xiaoying, Zheng Yongfei, Chen Yixiang, Guo Jingliang. 2012. Geochemical and U-Pb age constraints on the occurrence of polygenetic titanites in UHP metagranite in the Dabie orogen. *Lithos*, 136~139; 93~108.
- Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Zhou Changyong, Abdel Rahman A A. 2005. Emplacement age of the Tahe granite and its constraints on the tectonic nature of the Ergun block in the northern part of the Da Hinggan Range. *Chinese Science Bulletin*, 50(18): 2097~2105.
- Ge Wenchun, Chen Jingsheng, Yang Hao, Zhao Guochun, Zhang Yanlong, Tian Dexin. 2015. Tectonic implications of new zircon U-Pb ages for the Xinghuadukou complex, Erguna massif, northern Great Xing'an Range, NE China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 106: 169~185.
- Gou Jun, Sun Deyou, Ren Yunsheng, Liu Yongjiang, Zhang Shuyi, Fu Changliang, Wang Tianhao, Wu Pengfei, Liu Xiaoming. 2013. Petrogenesis and geodynamic setting of Neoproterozoic and Late Paleozoic magmatism in the Manzhouli-Erguna area of Inner Mongolia, China: geochronological, geochemical and Hf isotopic evidence. *Journal of Asian Earth Sciences*, 67: 114~137.
- Griffin W L, Powell W J, Pearson N J, 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 Short Course, 40: 308~311.
- Guo Yufei, Yang Yanchen, Han Shijiong, Tan Yan, Bo Junwei. 2016. Geochemistry and zircon U-Pb dating of the tonalite from Fenghuangshan area in Daxing'anling. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 46(5): 1406~1417 (in Chinese with English abstract).
- HBGMR (Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources). 1993. *Regional Geology of Heilongjiang Province*. Beijing: Geological Publishing House, (in Chinese with English abstract).
- IMBGM (Inner Mongolian Bureau of Geology and Mineral Resources). 1991. *Regional Geology of Inner Mongolian Autonomous Region*. Beijing: Geological Publishing House, (in Chinese with English abstract).
- Li Jianwei, Deng Xiaodong, Zhou Meifu, Liu Yongsheng, Zhao Xinfu, Guo Jingliang. 2010. Laser ablation ICP-MS titanite U-Th-Pb dating of hydrothermal ore deposits: a case study of the Tonglushan Cu-Fe-Au skarn deposit, SE Hubei Province, China. *Chemical Geology*, 270: 56~67.
- Li Jinyi. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific plate. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(3-4): 207~224.
- Li Rishan. 1991. Xinlin ophiolite. *Heilongjiang Geology*, 2(1): 19~32.
- Ludwig K R. 2003. *ISOPLOT 3: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronology Centre Special Publication, 1~74.
- Miao Laicheng, Liu Dunyi, Zhang Fuqin, Fan Weiming, Shi Yuruo, Xie Hangqiang. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb ages of the "Xinghuadukou Group" in Hanjiayuanzi and Xinlin areas and the "Zhalantun Group" in Inner Mongolia, Great Xing'an Range. *Chinese Science Bulletin*, 52(8): 112~1124.
- Pidgeon R T, Bosch D, Bruguier O. 1996. Inherited zircon and titanite U-Pb systems in an Archaean syenite from southwestern Australia: implications for U-Pb stability of titanite. *Earth and Planetary Science Letters*, 141: 187~198.
- Sengör A M C, Natal'in B A, Burtman V S. 1993. Evolution of the Altai tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364: 299~307.
- She Hongquan, Li Jinwen, Xiang Anping, Guan Jidong, Yang Yuncheng, Zhang Dequan, Tan Gang, Zhang Bin. 2012. U-Pb ages of the zircons from primary rocks in middle-northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 28(02): 571~594 (in Chinese with English abstract).
- Storey C D, Jeffries T E, Smith M. 2006. Common lead-corrected laser ablation ICP-MS U-Pb systematics and geochronology of titanite. *Chemical Geology*, 227: 37~52.
- Storey C D, Smith M P, Jeffries T E. 2007. In situ LA-ICPMS U-Pb dating of metavolcanics of Norrbotten Sweden: records of extended geological histories in complex titanite grains. *Chemical Geology*, 240: 163~181.
- Sui Zhenmin. 2007. Zircon U-Pb ages, petrogenesis and crustal evolution of the granites in northeastern part of the Great Xing'an Range. Doctoral dissertation of Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Sun Jinfeng, Yang Jinhui. 2009. A review of in-situ U-Pb dating methods for the accessory U-bearing minerals. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 39: 630~649 (in Chinese with English abstract).
- Sun Jinfeng, Yang Jinhui, Wu Fuyuan, Xie Liewen, Yang Yueheng, Liu Zhichao, Li Xianhua. 2012. In situ U-Pb dating of titanite by LA-ICPMS. *Chinese Science Bulletin*, 18: 1603~1615 (in Chinese with English abstract).
- Sun Lixin, Ren Bangfang, Zhao Fengqing, Peng Lina. 2012. Zircon U-Pb ages and Hf isotope characteristics of Taipingchuan large porphyritic granite pluton of Erguna massif in the Great Xing'an Range. *Earth Science Frontiers*, 19(5): 114~122 (in Chinese with English abstract).
- Sun Lixin, Ren Bangfang, Zhao Fengqing, Ji Shiping, Geng Jianzhen. 2013. Late Paleoproterozoic magmatic records in the Erguna massif: Evidences from the zircon U-Pb dating of granitic gneisses. *Geological Bulletin of China*, 32(2): 341~352 (in Chinese with English abstract).
- Tang Jie, Xu Wenliang, Wang Feng, Wang Wei, Xu Meijun, Zhang Yihan. 2013. Geochronology and geochemistry of Neoproterozoic magmatism in the Erguna massif, NE China: petrogenesis and implications for the breakup of the Rodinia supercontinent. *Precambrian Research*, 224: 597~611.
- Tang Jie, Xu Wenliang, Wang Feng, Zhao Shuo, Li Yu. 2015. Geochronology, geochemistry, and deformation history of Late Jurassic-Early Cretaceous intrusive rocks in the Erguna massif, NE China: Constraints on the late Mesozoic tectonic evolution of the Mongol-Okhotsk orogenic belt. *Tectonophysics*, 658: 91~110.
- Tera F, Wasserburg G J. 1972. U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 14: 281~304.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Li Huimin, Jahn Bor-ming, Wilde S A. 2002. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis. *Chemical Geology*, 187: 143~173.
- Wu Fuyuan, Yang Jinhui, Lo Ching-hua, Wilde S A, Sun Deyou, Jahn Bor-ming. 2007. The Heilongjiang Group: a Jurassic accretionary complex in the Jiamusi Massif at the western Pacific margin of northeastern China. *Island Arc*, 16: 156~172.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Ge Wenchun, Zhang Yanbin, Grant M L, Wilde S A, Jahn Bor-ming. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(1): 1~30.
- Wu Guang, Chen Yuchuan, Chen Yanjing, Zeng Qingtao. 2012. Zircon U-Pb ages of the metamorphic supracrustal rocks of the Xinghuadukou Group and granitic complexes in the Argun massif of the northern Great Hinggan Range, NE China, and their tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 49: 214~233.
- Xu Wenliang, Ji Weiqiang, Pei Fuping, Meng En, Yu Yang, Yang Debin, Zhang Xingzhou. 2009. Triassic volcanism in eastern Heilongjiang and Jilin Provinces, NE China: chronology, geochemistry, and tectonic implications. *Journal of Asian Earth*

Sciences, 34: 392~402.

- Xu Wenliang, PeiFuping, Wang Feng, Meng En, Ji Weiqiang, Yang Debin, Wang Wei. 2013. Spatial-temporal relationships of Mesozoic volcanic rocks in NE China; Constraints on tectonic overprinting and transformations between multiple tectonic regimes. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74(18): 167~193.
- Yang Huaben, Liu Yu, Zheng Jilin, Liang Zhongkai, Wang Xiaoyong, Tang Xuefeng, Su Yanping. 2017. Petrogenesis and geological significance of Neoproterozoic amphibolite and granite in Bowuleshan area, Erguna massif, Northeast China. *Geological Bulletin of China*, 36(2/3): 342~356 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Li, Liu Yongjiang, Li Weimin, Han Guoqing, Zhang Jindai, Guo Qingyin, Li Changhua. 2013. Discussion on the basement properties and east boundary of the Erguna massif. *Chinese Journal of Geology*, 48(1): 227~244 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yihan, Xu Wenliang, Tang Jie, Wang Feng, Xu Meijun, Wang Wei. 2014. Age and provenance of the Ergunahe Group and the Wubinaobao Formation, northeastern Inner Mongolia, NE China; implications for tectonic setting of the Erguna massif. *International Geology Review*, 56: 653~671.
- Zhao Shuo, Xu Wenliang, Tang Jie, Li Yu, Guo Peng. 2016a. Neoproterozoic magmatic events and tectonic attribution of the Erguna massif: constraints from geochronological, geochemical and Hf isotopic data of intrusive rocks. *Earth Science*, 41(11): 1803~1829 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Shuo, Xu Wenliang, Wang Feng, Wang Wei, Tang Jie, Zhang Yihan. 2016b. Neoproterozoic magmatism in the Erguna massif, NE China; evidence from zircon U-Pb geochronology. *Geotectonica et Metallogenia*, 40(3): 559~573 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Shuo, Xu Wenliang, Tang Jie, Li Yu, Guo Peng. 2016c. Timing of formation and tectonic nature of the purportedly Neoproterozoic Jiageda formation of the Erguna massif, NE China; constraints from field geology and U-Pb geochronology of detrital and magmatic zircons. *Precambrian Research*, 281: 585~601.
- Zhong Yufang, Ma Changqian. 2006. A review of geochronology of U-bearing accessory minerals. *Advances in Earth Science*, 21(4): 372~382 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jianbo, Wilde S A, Zhang Xingzhou, Ren Shoumai, Zheng Changqing. 2011. Early Paleozoic metamorphic rocks of the Erguna block in the Great Xing'an Range, NE China; Evidence for the timing of magmatic and metamorphic events and their tectonic implications. *Tectonophysics*, 499: 105~117.
- Zhou Jianbo, Zeng Weishun, Cao Jialin, Han Jie, Guo Xiaodan. 2012. The tectonic framework and evolution of the NE China; from ~500 Ma to ~180 Ma. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(5): 1298~1329 (in Chinese with English abstract).

## 参 考 文 献

- 边红业, 吉峰, 表尚虎. 2014. 大兴安岭富西里地区赞岐岩-(石英)二长闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义. *世界地质*, 33(4): 768~779.
- 郭宇飞, 杨言辰, 韩世炯, 谈艳, 薄军委. 2016. 大兴安岭北部凤凰山地区英云闪长岩地球化学特征与锆石 U-Pb 定年. *吉林大学学报(地球科学版)*, 46(5): 1406~1417.
- 黑龙江省地质矿产局. 1993. 黑龙江省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 李瑞山. 1991. 新林蛇绿岩. *黑龙江地质*, 2(1): 19~32.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 余宏全, 李进文, 向安平, 关继东, 杨郦城, 张德全, 谭刚, 张斌. 2012. 大兴安岭中北段原岩锆石 U-Pb 测年及其与区域构造演化关系. *岩石学报*, 28(02): 571~594.
- 隋振民. 2007. 大兴安岭东北部花岗岩类锆石 U-Pb 年龄、岩石成因及地壳演化. 吉林大学博士学位论文.
- 孙金凤, 杨进辉. 2009. 含 U 副矿物的原位微区 U-Pb 定年方法. *吉林大学学报(地球科学版)*, 39: 630~649.
- 孙金凤, 杨进辉, 吴福元, 谢烈文, 杨岳衡, 刘志超, 李献华. 2012. 榴石原位微区 LA-ICPMS U-Pb 年龄测定. *科学通报*, 18: 1603~1615.
- 孙立新, 任邦方, 赵凤清, 彭丽娜. 2012. 额尔古纳地块太平川巨斑状花岗岩的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征. *地学前缘*, 19(5): 114~122.
- 孙立新, 任邦方, 赵凤清, 冀世平, 耿建珍. 2013. 内蒙古额尔古纳地块元古代末期的岩浆记录——来自花岗岩片麻岩的锆石 U-Pb 年龄证据. *地质通报*, 32(2): 341~352.
- 杨华本, 刘玉, 郑吉林, 梁中恺, 王晓勇, 唐雪峰, 苏燕平. 2017. 额尔古纳地块玻乌勒山地区新元古代斜长角闪岩-片麻状花岗岩的成因及其地质意义. *地质通报*, 36(2/3): 342~356.
- 张丽, 刘永江, 李伟民, 韩国卿, 张金带, 郭庆银, 李长华. 2013. 关于额尔古纳地块基底性质和东界的讨论. *地质科学*, 48(1): 227~244.
- 赵硕, 许文良, 唐杰, 李宇, 郭鹏. 2016a. 额尔古纳地块新元古代岩浆作用与微陆块构造属性: 来自侵入岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Hf 同位素的制约. *地球科学*, 41(11): 1803~1829.
- 赵硕, 许文良, 王枫, 王伟, 唐杰, 张一涵. 2016b. 额尔古纳地块新元古代岩浆作用: 锆石 U-Pb 年代学证据. *大地构造与成矿学*, 40(3): 559~573.
- 钟玉芳, 马昌前. 2006. 含 U 副矿物的地质年代学研究综述. *地球科学进展*, 21(4): 372~382.
- 周建波, 曾维顺, 曹嘉麟, 韩杰, 郭晓丹. 2012. 中国东北地区的构造格局与演化: 从 500 Ma 到 180 Ma. *吉林大学学报(地球科学版)*, 42(5): 1298~1329.

## Titanite LA-ICP-MS U-Pb dating of the Neoproterozoic granites in the Erguna massif and their geological significance

ZHAO Shuo<sup>\*1)</sup>, ZHANG Jin<sup>1)</sup>, LI Jinyi<sup>1)</sup>, XU Wenliang<sup>2)</sup>, QU Junfeng<sup>1)</sup>,  
LIU Jianfeng<sup>1)</sup>, ZHENG Rongguo<sup>1)</sup>, GE Maohui<sup>1)</sup>

1) *Key Laboratory of Deep-Earth Dynamics of Ministry of Natural Resources, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

2) *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, 130061*

*\* Corresponding author: zhaoshuo@cags.ac.cn*

### Abstract

This paper first presents the LA-ICP-MS titanite in situ U-Pb dating results for the Neoproterozoic granites in the Erguna massif with the aim of constraining their chronology and providing new evidence for determining the ages of the Neoproterozoic magmatic events and their geological significance. Titanite grains from two representative samples of the Mangui and Moerdaoga plutons are euhedral-subhedral diamond in shape, and do not display the specific almond hole of metamorphic titanite in microphotographs, implying a magmatic origin. Titanite U-Pb dating results demonstrate that the analyses of both the plutons plot along a fine discordia line with lower intercept ages of  $873 \pm 22$  Ma and  $783 \pm 31$  Ma, which correspond to  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  weighted mean ages of  $872 \pm 18$  Ma and  $789 \pm 17$  Ma respectively. Combined with the published data, it is concluded that Mangui pluton, the original earliest product of the Neoproterozoic magmatism in the Erguna massif, actually formed at  $\sim 850$  Ma, not  $957 \sim 927$  Ma as previously believed, whereas Moerdaoga pluton actually formed at  $\sim 790$  Ma, rather than  $\sim 762$  Ma as was previously suggested. At present, the modified and previously published ages demonstrate that the Neoproterozoic magmatism in the Erguna massif can be subdivided into five stages:  $915 \sim 905$  Ma,  $\sim 847$  Ma,  $818 \sim 808$  Ma,  $\sim 792$  Ma and  $\sim 738$  Ma.

**Key words:** Erguna massif; Neoproterozoic; magmatism; titanite U-Pb geochronology