

内蒙古狼山巴音前达门地区黑云斜长片麻岩年代学研究及板块归属

初航¹⁾, 王惠初¹⁾, 魏春景²⁾, 常青松¹⁾, 相振群¹⁾, 张晋瑞²⁾

1) 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津, 300170; 2) 北京大学地球与空间科学学院, 北京, 100871

内容提要:内蒙古西部狼山地区的构造归属争议较大, 一直以来没有直接证据证明狼山地区属于华北陆块。本文对内蒙古狼山巴音前达门地区(含石榴子石)黑云斜长片麻岩进行了年代学研究, 利用 LA-ICP-MS 方法进行 U-Pb 同位素测年, 所测试锆石均为岩浆锆石, 锆石年龄为 1946 ± 9 Ma 和 1940 ± 12 Ma, 代表其原岩的形成年龄, 说明狼山地区存在古元古代晚期岩浆作用。从锆石 Hf 同位素来看, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 从 $-1.3 \sim 6.4$, 其 Hf 同位素源区既有当时华北克拉通基底物质, 又有地幔的贡献, 2442Ma 的模式年龄指示源岩来源于早元古代地壳增生事件, 可能与华北克拉通基底的形成有关。这进一步表明狼山地区同华北陆块中部地区一样, 该地区存在有早元古代岩体。对宝音图群碎屑锆石的研究同样说明了狼山地区宝音图群与华北克拉通更具亲缘性, 狼山地区在构造属性上可能属于华北陆块一部分。

关键词:黑云斜长片麻岩; 宝音图群; 狼山; 华北陆块

内蒙古狼山地区在大地构造位置上处于华北陆块北缘西段和兴蒙造山带中段之间, 西部为阿拉善地块, 南部为色尔腾山山前断裂与河套裂谷盆地相接, 东部为白云鄂博裂谷。作为华北克拉通与中亚造山带的交界地带, 该地区经历了从华北克拉通新太古代结晶基底形成、中元古代被动大陆边缘裂解 (Zhai Mingguo et al., 2000; Zhao Guochun et al., 2001, 2002; Tian Rongsong et al., 2017; Dang Zhicai et al.; Zhang Yuqing et al., 2017) 到新元古代晚期开始的活动陆缘, 从古生代以来陆壳增生再到晚古生代造山的漫长演化过程, 记录了西伯利亚板块与华北板块分合的历史, 包括古亚洲洋扩张、消亡以及华北古大陆边缘西段增生、汇聚和造山等重要信息。

作为前寒武纪重要岩石单元, 花岗质岩石是前寒武纪保存数量最多的地质体, 这些花岗质岩石为华北克拉通构造演化提供了众多的线索。最近我们在狼山巴音前达门地区发现了一套近东西向分布的强变形变质闪长岩和石英闪长岩, 它们和太古宙 TTG 花岗岩有一定联系, 本文对其进行了岩石学、地球化学和年代学研究, 对其形成环境和地质意义

进行了探讨, 试图说明狼山地区的构造属性。

1 区域地质背景

狼山地区主要由太古宙乌拉山岩群、元古宙渣尔泰山群、宝音图群、白垩系地层、第四系地层以及中生代岩体组成, 另含少量元古宙、加里东期和燕山期侵入岩, 各岩石单元总体呈北东向分布。

在研究区出现的最早的岩石类型为太古代乌拉山群, 该群主要为一套中深变质岩系, 其内部存在着具有标志特征的磁铁矿层和石墨矿层。主要岩石类型为斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩、石墨片麻岩、透辉石大理岩、矽线石石英岩等。在中-蒙边界附近广泛出露奥陶纪乌宾敖包组, 代表了一套浅海相的沉积, 主要由板岩夹少量粉砂岩及灰岩透镜体组成。在宝音图群分布区西侧, 出露有石炭纪的阿木山组地层, 主要由灰岩夹页岩组成, 并有石英砂岩夹灰岩透镜体, 代表了海相碳酸盐岩沉积。此外出露少量石炭一二叠纪宝力高庙组的陆相中酸性火山熔岩、火山碎屑岩和沉积碎屑岩。

渣尔泰群, 主要由绿片岩相变质的碎屑岩、碳酸盐岩和基性一中酸性火山岩组成, 记录一个海退序

注: 本文为国家自然科学基金项目 (No. 41572046) “冀北赤城地区高级变质岩的变质演化研究及构造意义” 和中国地质调查局地质调查项目 (No. 1212011121077) “华北地区古生代变质作用和动力学” 联合资助的成果。

收稿日期: 2015-07-15; 改回日期: 2018-04-24; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 初航, 男, 1982 年生, 高级工程师, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 从事前寒武纪地质学和变质地质学研究。Email: chuhangjal@sina.com。

列(Shen Cunli et al., 2004),认为属于华北克拉通西北缘元古代最早的盖层。Peng Runmin et al. (2010)在渣尔泰群酸性火山岩中获得 SHRIMP U-Pb 年龄为 816.9 ± 4.5 Ma,认为渣尔泰群代表新元古代活动裂谷盆地环境。在大多数文献中,习惯上把渣尔泰群和宝音图群的之间的界线作为华北克拉通与中亚造山带之间的分界线。

宝音图群主要分布在内蒙古中西部狼山、宝音图、图古日格和达茂旗等地,由角闪岩相变质地层组成。岩石组合主要为(石榴子石)斜长角闪岩、(石榴子石、蓝晶石、红柱石、十字石等)云母片岩、石英片岩、石英岩和大理岩等。对于宝音图群的归属,根据内蒙古地质志,前人将其划分到内蒙古草原地层分区,并认为其形成于古元古代,属于中亚造山带的结晶基底。Xu Bei et al. (2000)在图古日格地区宝音图群中的斜长角闪岩中获得全岩 Sm-Nd 等时线的年龄 2485 ± 128 Ma,形成于古元古代,认为宝音图群属于华北克拉通北缘。近年来,也有学者认为宝音图群是华北克拉通的一部分。Sun Lixin et al. (2013)在宝音图群石英岩中获得其碎屑锆石的下限年龄为 1426 Ma,说明宝音图群原岩形成时代晚于 1426 Ma,属于中元古代,其碎屑锆石的年龄谱与华北克拉通的年龄谱基本一致,认为狼山地区应属于华北克拉通的一部分。宝音图群变质作用 *P-T* 轨迹为顺时针型,峰期的变质条件反映的地温梯度为 $18 \sim 21^\circ\text{C}/\text{km}$,属于典型中压变质相系,代表与地壳加厚有关的碰撞造山背景,由此推测古亚洲洋的闭合应该发生在早古生代以前(Chen Yaping et al., 2015),宝音图群作为华北克拉通的一部分被卷入到碰撞造山带中。

研究区内岩浆岩十分发育,出露面积很大,分布在两个中生代沉积盆地之间。元古宙的侵入岩体主要为中酸性侵入岩,包括花岗岩、花岗闪长岩和闪长岩。海西期侵入岩较多且均匀分布于整个工作区,从酸性岩到基性岩均有出露。

2 样品特征与岩相学分析

本文研究对象为狼山北部巴音前达门地区的宝音图群及巴音前达门南杭盖戈壁附近的古元古代黑云斜长片麻岩,具体采样位置如图 1 所示。

本文研究样品分为两类:第一类为黑云斜长片麻岩,发育明显的片麻理(图 2a),鳞片粒状变晶结构,由斜长石(60%)、黑云母(15%)、石英(20%)和少量钾长石组成(图 2b)。斜长石以它形粒状为主,

少量为半自形板状($0.1 \sim 1.0\text{mm}$),多定向分布,偶见轻绢云母化、绿帘石化等,局部见被钾长石交代。黑云母呈鳞片状,红褐色,片径一般小于 1.0mm ,少量 $1 \sim 1.5\text{mm}$,定向分布,部分集合体聚集似条纹、条痕状,局部绿泥石化、绿帘石化。第二类样品为含榴黑云斜长片麻岩,主要由斜长石、石英、黑云母和石榴子石组成(图 2c),岩石呈鳞片粒状变晶结构,片麻状构造。石榴子石浑圆状($0.1 \sim 0.3\text{mm}$),星散状分布。斜长石它形粒状为主,部分近半自形板状($0.2 \sim 0.5\text{mm}$),大颗粒斜长石($1 \sim 1.5\text{mm}$),偶见环带,局部略显绢云母、方解石化。黑云母呈片状,长轴直径多为 $2 \sim 3\text{mm}$,定向分布,呈集合体似条痕、条纹状定向分布。石英它形粒状($0.3 \sim 0.7\text{mm}$),常见波状消光。

3 同位素年代学与 Hf 同位素研究

3.1 实验方法

锆石分选工作在河北省廊坊区域地质调查所实验室完成,测年样品靶、阴极荧光(CL)图像照相、激光烧蚀多接收器电感耦合等离子体质谱(LA-MC-ICPMS)的测试在中国地质调查局天津地质调查中心实验室测试完成。

通过人工重砂法从新鲜的样品中分选出锆石,在玻璃板上用环氧树脂固定、抛光,然后进行反射光和透射光照相,并进行 CL 图像分析以检查锆石内部的结构。锆石 U-Pb 同位素分析用激光烧蚀多接收器电感耦合等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)进行了微区原位 U-Pb 同位素测定(Li Huaikun et al., 2009)。在测试过程中尽量避开裂纹,以免对测试结果造成影响。之后采用 GJ-1 作为外部锆石年龄标准进行 U、Pb 同位素分馏校正。数据处理采用中国地质大学刘勇胜博士研发的 ICPMSDataCal 程序(Liu Yongsheng, 2008)和 Ludwig (2003)的 Isoplot 程序,部分样品采用²⁰⁸Pb 校正法对普通铅进行校正。利用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。Hf 同位素组成测试利用多接收器等离子体质谱仪(MC-ICPMS)和 193nm 准分子激光器联用技术,并通过指数方法进行同质异位素干扰校正,详见 Geng Jianzhen et al. (2011)。

LA-MC-ICPMS 年龄测定实验条件和关键参数为:激光波长 193nm,斑束直径为 $50\mu\text{m}$,激光能量密度为 $13 \sim 14\text{J}/\text{cm}^2$,频率为 $8 \sim 10\text{Hz}$,冷却气体 $16\text{L}/\text{min}$,辅助气体 $0.75\text{L}/\text{min}$,Ar 载气 $0.97\text{L}/\text{min}$,He

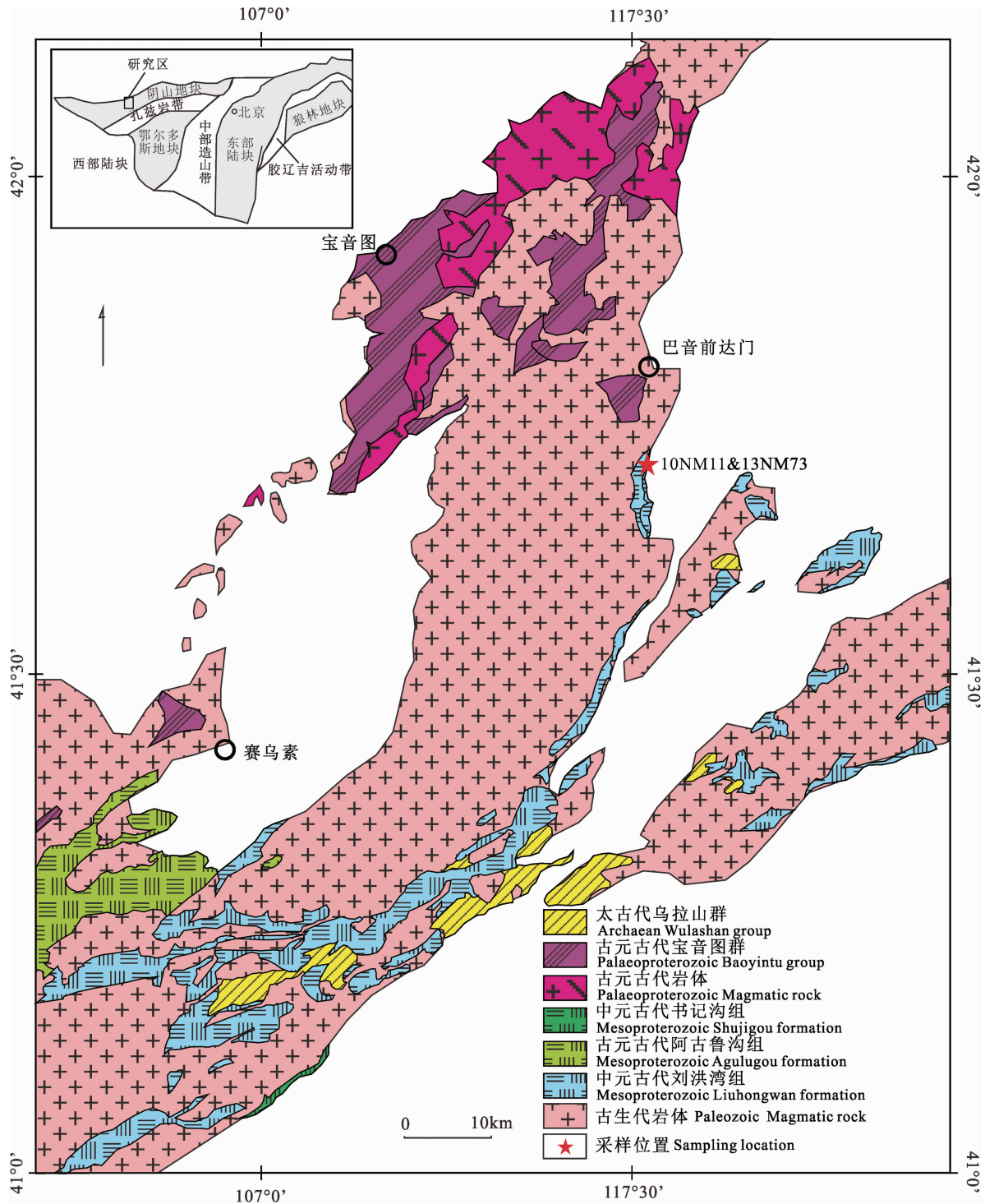


图 1 内蒙古狼山造山带构造位置图和狼山地区地质简图(据 1 : 20 万区域地质图修改)
Fig. 1 Tectonic location of the Langshan Orogen and the geological map of the Bayinqiandamen area
(according to the 1 : 200000 regional geological map modification)

载气 0.86 L/min, RF 功率 1251 W, 积分时间 0.13s, 样品信号采集时间 60s(其中 20 秒为空白的测定)。

3.2 U-Pb 同位素年代学测试结果

本文对采自巴音前达门南部的黑云斜长片麻岩(样品 10NM11)和含石榴黑云斜长片麻岩(样品

13LS73)进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究。两个样品中所含锆石特征类似, 自形程度较差(图 3), 长轴直径多为 200 ~ 300μm, 短轴为 80 ~ 150μm, 锆石 CL 图像显示明显的岩浆震荡环带, 部分锆石具有典型的核边结构, 核部呈弱的荧光, 应为

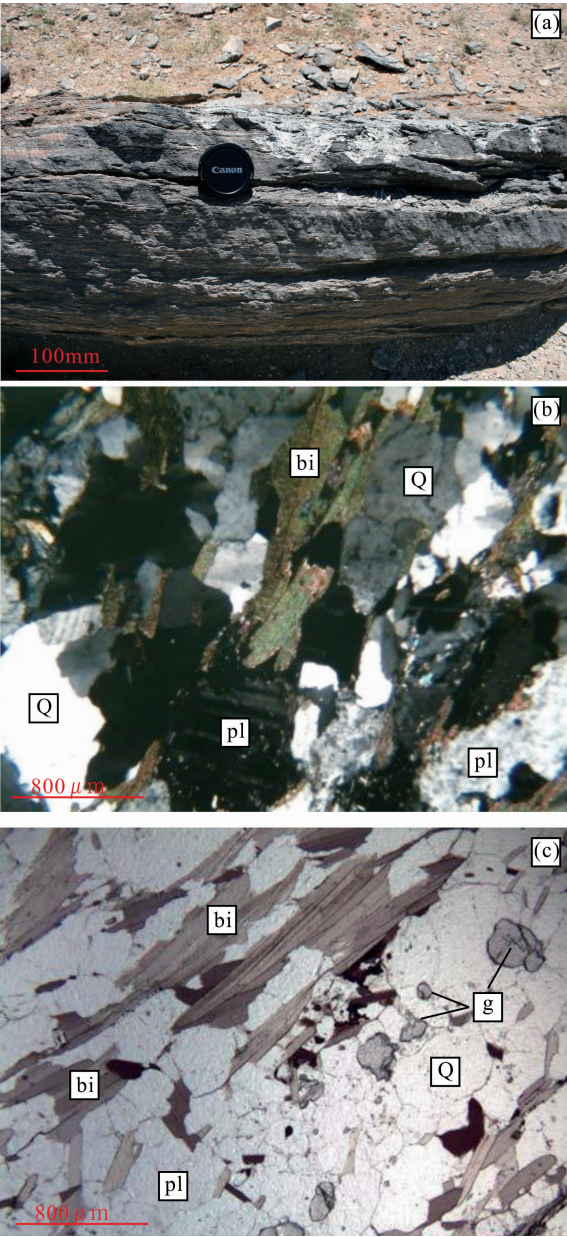


图 2 巴音前达门(石榴)黑云斜长片麻岩岩相学特征:
Fig. 2 Petrographic characteristics of (garnet) biotite plagiogneiss in Bayinqiandamen area
(a)—野外照片;(b)—显微照片(10NM11)(正交偏光);
(c)—显微照片(13LS73)(单偏光); Q—石英;pl—斜长石;
g—石榴子石;bi—黑云母

(a)—Photographs showing an outcrop; (b)—micro-textures (sample 10NM11, perpendicular polarized); (c)—micro-textures (sample 13LS73, plane polarized); Q—quartz; pl—plagioclase; g—garnet; bi—biotite

原岩捕获的残留锆石。大部分锆石的外圈有浅色增生边,但是其宽度均小于 $5\mu\text{m}$,可能为后期变质阶段生长。对以上两个样品分别进行激光剥蚀 U-Pb 同位素定年,测试结果如表 1 所示。

黑云斜长片麻岩样品 10NM11 共测定了 25 颗

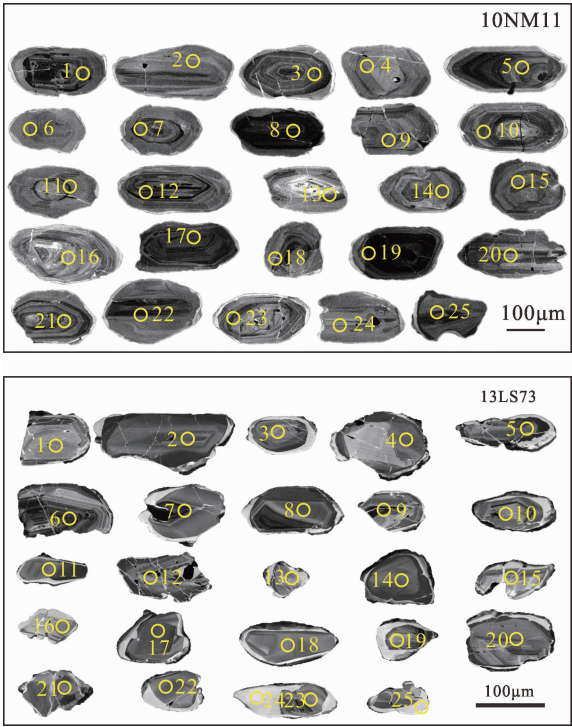


图 3 内蒙古狼山巴音前达门黑云斜长片麻岩样品 10NM11 和 13LS73 锆石 CL 图像
Fig. 3 CL images of zircons of the biotite plagiogneiss 10NM11 and 13LS73 in Bayinqiandamen area, Langshan, Inner Mongolia

锆石,其中有 4 颗锆石显示其年龄较老,其余 21 颗锆石测试结果位于一条不一致线上(图 4),给出的上交点年龄为 $1946\pm9\text{ Ma}$,这说明黑云斜长片麻岩的原岩年龄为 $1946\pm9\text{ Ma}$ 。含石榴子石黑云斜长片麻岩样品 13LS73 同样测定了 25 颗锆石,这些锆石测试结果也在一条不一致线上(图 4),给出的上交点年龄为 $1940\pm12\text{ Ma}$ 。

3.3 Hf 同位素测试结果

本文在锆石 U-Pb 年龄测试的基础上,对锆石相同位置进行了 Hf 同位素分析,分析结果见表 2,图 5。

黑云斜长片麻岩样品 10NM11 中所有测试点的 $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$ 比值为 $0.0148\sim0.0668$, $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值为 $0.0004\sim0.0019$, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值介于 $0.2815\sim0.2818$ 之间。 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 变化于 $-1.3\sim6.4$,两阶段模式年龄 $T_{\text{DM2}}=2181\sim2654\text{Ma}$,平均值为 2442 Ma 。

含石榴黑云斜长片麻岩(13LS73)中所有测试点的 $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$ 比值为 $0.0023\sim0.0415$, $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值为 $0.0001\sim0.0013$, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值介于 $0.281522\sim0.281767$ 之间。 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 变化于

表 1 内蒙古狼山地区巴音前达门黑云斜长片麻岩样品 10NM11 锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 Zircon U-Pb isotopic analysis result of 10NM11 from the biotite plagiogneiss
in Bayinqiandamen area, Langshan, Inner Mongolia

样品号	含量($\times 10^{-6}$)		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
	Pb	U		比值	err%	比值	err%	比值	err%	年龄 (Ma)	1 σ	年龄 (Ma)	1 σ	年龄 (Ma)	1 σ
10NM11.1	92	340	0.23	0.1194	0.79	4.3269	1.08	0.2627	0.66	1699	18	1504	10	1948	14
10NM11.1	92	340	4.31	0.1194	0.83	4.3269	1.11	0.2627	0.67	1948	16	1699	19	1504	10
10NM11.2	53	146	5.227	0.1215	0.86	5.9836	0.92	0.3571	0.34	1979	17	1973	18	1968	7
10NM11.3	220	624	11.16	0.1206	0.80	5.9262	0.88	0.3563	0.39	1966	16	1965	17	1964	8
10NM11.4	144	266	1.046	0.1694	0.81	10.3532	0.89	0.4433	0.40	2552	21	2467	22	2365	10
10NM11.5	165	504	9.459	0.1193	0.80	5.4498	0.92	0.3311	0.46	1946	16	1893	17	1844	8
10NM11.6	90	268	7.867	0.1195	0.80	5.5421	0.93	0.3365	0.49	1948	16	1907	18	1870	9
10NM11.7	101	304	8.025	0.1192	0.81	5.5105	1.02	0.3351	0.61	1945	16	1902	19	1863	11
10NM11.8	468	1602	15.23	0.1168	0.80	4.8086	0.85	0.2986	0.32	1908	15	1786	15	1684	5
10NM11.9	97	276	2.484	0.1195	0.81	5.4922	0.91	0.3333	0.44	1949	16	1899	17	1854	8
10NM11.10	156	518	12.93	0.1184	0.80	4.9977	0.87	0.3063	0.35	1931	15	1819	16	1722	6
10NM11.11	96	295	5.515	0.1204	0.81	5.3280	0.96	0.3210	0.55	1962	16	1873	18	1795	10
10NM11.12	154	470	4.704	0.1192	0.80	5.2962	0.93	0.3222	0.47	1944	16	1868	17	1801	9
10NM11.13	116	357	5.135	0.1190	0.81	5.2664	0.91	0.3211	0.45	1941	16	1863	17	1795	8
10NM11.14	47	118	1.631	0.1247	0.88	6.3187	0.93	0.3674	0.32	2025	18	2021	19	2017	6
10NM11.15	84	248	4.811	0.1194	0.81	5.4858	0.88	0.3333	0.37	1947	16	1898	17	1855	7
10NM11.16	83	254	4.933	0.1194	0.81	5.3141	0.91	0.3228	0.41	1947	16	1871	17	1804	7
10NM11.17	105	319	3.038	0.1200	0.81	5.3024	0.86	0.3204	0.32	1957	16	1869	16	1792	6
10NM11.18	124	379	7.748	0.1188	0.80	5.3702	0.86	0.3278	0.32	1938	16	1880	16	1828	6
10NM11.19	350	1154	14.16	0.1180	0.80	5.0203	0.94	0.3086	0.50	1926	15	1823	17	1734	9
10NM11.20	49	136	1.625	0.1190	0.85	5.2956	0.91	0.3228	0.36	1941	16	1868	17	1803	7
10NM11.21	122	387	8.405	0.1191	0.80	5.2086	0.90	0.3170	0.43	1943	16	1854	17	1775	8
10NM11.22	157	499	5.397	0.1187	0.80	5.0833	0.89	0.3106	0.40	1937	15	1833	16	1743	7
10NM11.23	94	297	6.101	0.1201	0.81	5.1838	0.97	0.3131	0.54	1957	16	1850	18	1756	10
10NM11.24	69	208	3.364	0.1197	0.81	5.2539	0.89	0.3182	0.39	1952	16	1861	17	1781	7
10NM11.25	133	357	1.711	0.1189	0.80	5.5853	0.92	0.3406	0.45	1940	16	1914	18	1889	8
13LS73.1	79	118	4.855	0.1190	0.93	5.3063	1.00	0.3235	0.21	1941	18	1870	19	1807	4
13LS73.2	101	232	11.27	0.1153	0.89	4.5570	0.97	0.2868	0.25	1884	17	1741	17	1626	4
13LS73.3	78	151	5.174	0.1144	0.90	4.2773	0.97	0.2713	0.22	1870	17	1689	16	1548	3
13LS73.4	87	142	5.215	0.1171	0.89	4.9619	0.96	0.3073	0.21	1913	17	1813	17	1727	4
13LS73.5	93	223	10.43	0.1157	0.88	4.1845	1.14	0.2622	0.58	1891	17	1671	19	1501	9
13LS73.6	178	342	8.775	0.1175	0.88	5.1697	0.95	0.3191	0.21	1919	17	1848	17	1785	4
13LS73.7	169	396	15.49	0.1164	0.89	4.8459	1.02	0.3019	0.39	1902	17	1793	18	1701	7
13LS73.8	175	360	15.93	0.1183	0.91	5.5783	0.99	0.3421	0.24	1931	18	1913	19	1897	5
13LS73.9	211	410	11.22	0.1181	0.91	5.4672	1.02	0.3359	0.32	1927	18	1895	19	1867	6
13LS73.10	122	195	4.221	0.1175	0.91	5.0246	1.19	0.3099	0.63	1919	17	1823	22	1740	11
13LS73.11	102	186	7.079	0.1168	0.90	4.8488	0.99	0.3012	0.28	1908	17	1793	18	1697	5
13LS73.12	173	266	5.633	0.1192	0.87	5.2663	0.95	0.3205	0.27	1945	17	1863	18	1792	5
13LS73.13	80	134	6.771	0.1175	0.90	5.1241	0.97	0.3164	0.23	1919	17	1840	18	1772	4
13LS73.14	107	181	7.297	0.1176	0.88	5.3584	0.95	0.3305	0.21	1920	17	1878	18	1841	4
13LS73.15	96	158	5.369	0.1170	0.90	4.4214	1.27	0.2740	0.77	1911	17	1716	22	1561	12
13LS73.16	110	188	8.886	0.1196	0.90	5.7493	0.97	0.3488	0.22	1950	18	1939	19	1929	4
13LS73.17	124	210	8.551	0.1177	0.90	5.4758	1.05	0.3375	0.41	1921	17	1897	20	1875	8
13LS73.18	81	133	6.879	0.1179	0.91	5.4611	0.98	0.3360	0.22	1925	17	1895	19	1867	4
13LS73.19	109	183	4.939	0.1171	0.89	4.9067	0.98	0.3039	0.28	1913	17	1803	18	1711	5
13LS73.20	101	153	3.874	0.1185	0.88	5.0856	0.95	0.3114	0.22	1934	17	1834	17	1748	4
13LS73.21	157	205	3.641	0.1189	0.87	5.5368	0.95	0.3378	0.27	1940	17	1906	18	1876	5
13LS73.22	121	209	6.539	0.1192	0.87	5.6448	0.97	0.3436	0.30	1944	17	1923	19	1904	6
13LS73.23	209	374	6.431	0.1180	0.87	5.4636	0.94	0.3359	0.21	1926	17	1895	18	1867	4

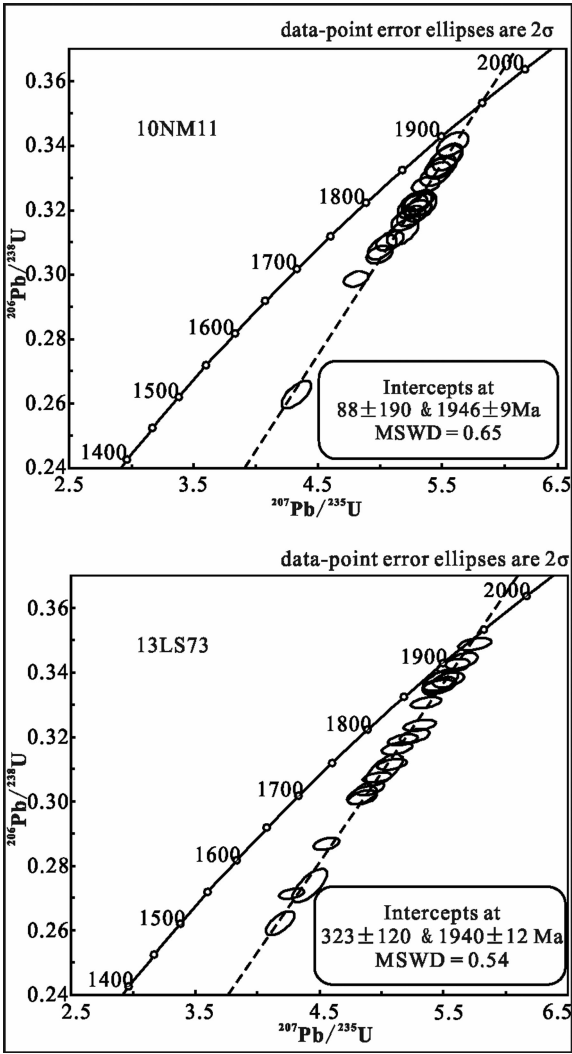


图 4 内蒙古狼山地区巴音前达门南部的(含石榴子石)黑云斜长片麻岩样品 10NM11 和 13LS73 的 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Dating results and concordia diagram of the (garnet) biotite plagiogneiss 10NM11 and 13LS73

—2.0~6.1, 两阶段模式年龄 $T_{DM2} = 2195 \sim 2697$ Ma, 平均值为 2453 Ma。两个样品的结果基本相同。

4 讨论

(1)在地块的归属上前人普遍认为狼山地区宝音图群是兴蒙造山带中的微地块(Li Shujing et al., 1995; Zhang Yuqing et al., 2002, 2004), 近年也有人认为属于华北克拉通的一部分(Shen Cunli et al., 2004)。Sun Lixin et al. (2013)通过研究宝音图群碎屑锆石特点, 认为宝音图群和华北克拉通具有亲缘性, 认为狼山地区宝音图群应该属于华北克

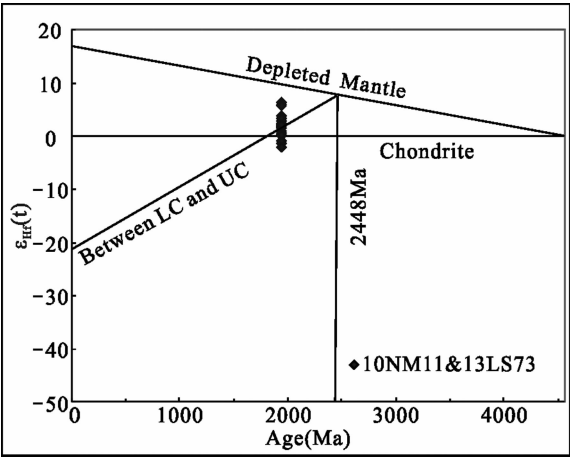


图 5 内蒙古狼山地区巴音前达门黑云斜长片麻岩样品 10NM11 和 13LS73 的 Hf 同位素组成和锆石年龄关系
Fig. 5 Hf isotopic composition of the (garnet) biotite plagiogneiss 10NM11 and 13LS73

拉通的一部分。

(2)本文所说的黑云斜长片麻岩位置在前人的 1:20 万图上叫刘洪湾组, 归于震旦纪, 但实际上从野外的观察来看, 与周围古生代岩体有很大不同(将另文叙述)。其年龄结果说明黑云斜长片麻岩形成于 1946.4 ± 8.9 Ma。从锆石 Hf 同位素来看, $\epsilon_{Hf}(t)$ 从 -1.3~6.4, 其 Hf 同位素源区既有当时华北克拉通基底物质, 又有地幔的贡献, 2442Ma 的模式年龄指示源岩来源于早元古代地壳增生事件, 可能与华北克拉通基底的形成有关。这样一来, 狼山地区黑云斜长片麻岩应该属于古元古代 TTG, 按照区域地质背景特点, 可能属于乌拉山岩群的上亚群。这表明狼山巴音前达门南部地区的黑云斜长片麻岩应该属于古元古代基底, 证实了狼山地区应该属于华北克拉通的一部分。

(3)笔者近年的研究也发现宝音图地块存在中元古代早期岩浆活动(二长花岗岩上交点年龄 1751 ± 19 Ma, 内部资料, 未发表), 这与 Sun Lixin et al. (2013)的研究得出同样的结论。这一岩浆事件与华北克拉通北部中元古代密云环斑花岗岩及其相关岩石, 以及长城系团山子组和大红峪组富钾火山岩(Lu Songnian et al., 1991; Li Huaikun et al., 1995), 以渣尔泰群、白云鄂博群为代表的裂谷沉积及其中元古代早期岩浆事件所指示华北克拉通内部的中元古代早期大陆裂解的非造山事件群(Lu Songnian et al., 2002a, 2002b; Shao Jian et al., 2002; Zhai Mingguo et al., 2004, 2005, 2007)在时间上具有相似性。另外, 笔者在对附近宝音图群中

表 2 内蒙古狼山巴音前达门地区(含石榴子石)黑云斜长片麻岩锆石 Hf 同位素分析结果

Table 2 Zircon Hf isotope analysis result of the (garnet) biotite plagiogneiss 10NM11 and 13LS73

样品点号	<i>t</i> (Ma)	¹⁷⁶ Yb/ ¹⁷⁷ Hf	¹⁷⁶ Lu/ ¹⁷⁷ Hf	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf	2s	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf _i	ε _{Hf} (0)	Ƴ _{Hf} (<i>t</i>)	<i>T</i> _{DM} (Ma)	<i>T</i> _{DMC} (Ma)	<i>f</i> _{Lu/Hf}
13LS73.1	1940	0.0301	0.0009	0.281588	0.000021	0.281588	−41.9	−0.3	2327	2573	−0.97
13LS73.2	1940	0.0272	0.0008	0.281641	0.000020	0.281641	−40.0	1.7	2248	2449	−0.98
13LS73.3	1940	0.0401	0.0013	0.281767	0.000019	0.281767	−35.5	5.6	2101	2208	−0.96
13LS73.4	1940	0.0149	0.0005	0.281613	0.000018	0.281613	−41.0	1.1	2267	2483	−0.99
13LS73.5	1940	0.0315	0.0010	0.281656	0.000019	0.281656	−39.5	2.0	2238	2429	−0.97
13LS73.6	1940	0.0141	0.0004	0.281617	0.000016	0.281617	−40.9	1.4	2256	2467	−0.99
13LS73.7	1940	0.0060	0.0002	0.281566	0.000017	0.281566	−42.7	−0.1	2311	2561	−1.00
13LS73.8	1940	0.0218	0.0006	0.281657	0.000018	0.281657	−39.4	2.5	2216	2399	−0.98
13LS73.9	1940	0.0262	0.0008	0.281688	0.000019	0.281688	−38.3	3.4	2183	2343	−0.98
13LS73.10	1940	0.0287	0.0008	0.281625	0.000020	0.281625	−40.6	1.1	2272	2486	−0.97
13LS73.11	1940	0.0159	0.0004	0.281543	0.000020	0.281543	−43.5	−1.3	2358	2632	−0.99
13LS73.12	1940	0.0415	0.0012	0.281616	0.000021	0.281616	−40.9	0.3	2307	2536	−0.96
13LS73.14	1940	0.0068	0.0002	0.281651	0.000020	0.281651	−39.6	2.9	2198	2375	−0.99
13LS73.15	1940	0.0256	0.0007	0.281582	0.000020	0.281582	−42.1	−0.3	2323	2570	−0.98
13LS73.16	1940	0.0338	0.0010	0.281752	0.000021	0.281752	−36.1	5.4	2109	2222	−0.97
13LS73.17	1940	0.0313	0.0008	0.281522	0.000020	0.281522	−44.2	−2.5	2412	2710	−0.97
13LS73.18	1940	0.0023	0.0001	0.281590	0.000020	0.281590	−41.8	0.9	2272	2498	−1.00
13LS73.19	1940	0.0286	0.0009	0.281637	0.000018	0.281637	−40.1	1.5	2257	2462	−0.97
13LS73.20	1940	0.0265	0.0008	0.281637	0.000020	0.281637	−40.1	1.6	2252	2454	−0.98
10NM11.1	1946	0.0339	0.0010	0.281761	0.000020	0.281761	−35.8	6.4	2093	2180	−0.97
10NM11.2	1946	0.0668	0.0019	0.281646	0.000020	0.281646	−39.8	1.1	2305	2506	−0.94
10NM11.3	1946	0.0304	0.0009	0.281642	0.000015	0.281642	−40.0	2.3	2249	2432	−0.97
10NM11.5	1946	0.0325	0.0009	0.281641	0.000017	0.281641	−40.0	2.2	2255	2441	−0.97
10NM11.6	1946	0.0417	0.0012	0.281674	0.000020	0.281674	−38.8	3.0	2224	2389	−0.96
10NM11.7	1946	0.0349	0.0011	0.281549	0.000017	0.281549	−43.2	−1.3	2390	2654	−0.97
10NM11.8	1946	0.0376	0.0009	0.281611	0.000015	0.281611	−41.1	1.1	2296	2506	−0.97
10NM11.9	1946	0.0200	0.0006	0.281583	0.000016	0.281583	−42.1	0.5	2316	2543	−0.98
10NM11.10	1946	0.0399	0.0012	0.281642	0.000016	0.281642	−40.0	1.9	2269	2460	−0.96
10NM11.11	1946	0.0174	0.0005	0.281604	0.000016	0.281604	−41.3	1.4	2280	2486	−0.98
10NM11.12	1946	0.0314	0.0009	0.281604	0.000018	0.281604	−41.3	0.9	2306	2522	−0.97
10NM11.13	1946	0.0386	0.0012	0.281746	0.000020	0.281746	−36.3	5.6	2122	2226	−0.97
10NM11.14	1946	0.0355	0.0011	0.281633	0.000022	0.281633	−40.3	1.7	2274	2469	−0.97
10NM11.15	1946	0.0479	0.0014	0.281654	0.000021	0.281654	−39.5	2.0	2266	2451	−0.96
10NM11.16	1946	0.0400	0.0012	0.281605	0.000019	0.281605	−41.3	0.5	2322	2543	−0.96
10NM11.17	1946	0.0460	0.0014	0.281626	0.000019	0.281626	−40.5	1.1	2302	2509	−0.96
10NM11.18	1946	0.0439	0.0013	0.281651	0.000020	0.281651	−39.6	2.1	2263	2448	−0.96
10NM11.19	1946	0.0148	0.0004	0.281626	0.000017	0.281626	−40.5	2.4	2244	2429	−0.99
10NM11.20	1946	0.0522	0.0016	0.281772	0.000024	0.281772	−35.4	6.0	2112	2207	−0.95

含石榴黑云石英片岩的碎屑锆石的研究(最年轻的碎屑锆石年龄 1479 Ma,存在多个 1600 Ma、1800 Ma、2500 Ma 等峰值)中也发现了同 Sun Lixin et al. (2013)中石英岩中碎屑锆石相同的特点,这也说明了宝音图群不属于中亚造山带,而属于华北陆块的一部分。之后作为被动大陆边缘,在中新元古代沉积了宝音图群、渣尔泰山群等,随后在古生代经历了非常强烈的地质事件影响,最终与阿拉善地块拼合。

(4)近年来的研究认为阿拉善地块构造属性不属于华北克拉通(Geng Yuansheng et al. ,2007),结合本文的研究成果,笔者认为华北陆块的界限应该

划在狼山以西,阿拉善以东的地区,宝音图群变质程度较深也正说明狼山隆起可能是华北克拉通与阿拉善地块在早古生代拼合形成的造山带。

5 结论

(1)巴音前达门地区的宝音图群中黑云斜长片麻岩原岩年龄为 1946 Ma、1940 Ma 左右,表明其形成于古元古代。华北克拉通西部古元古代岩浆事件的存在表明在古元古代晚期狼山地区与华北北缘一样经历了 19 亿年的裂解事件。

(2)巴音前达门地区的古元古代黑云斜长片麻岩的发现,确定了狼山地区同华北北缘其他地区一

样存在华北克拉通古元古代基底,说明狼山地区应该为华北克拉通的一部分。

致谢:天津地质调查中心耿建珍高级工程师、张永清高级工程师、张健工程师等对锆石测年、Hf 同位素测试和数据处理工作给予了大力支持,河北省廊坊区域地质矿产调查研究所实验室在单矿物分选、薄片磨制、薄片鉴定工作中给予了大力支持,作者在此一并致以诚挚的谢意。

References

Chen Yaping, Wei Chunjing, Zhang Jinrui, Chu Hang. Metamorphism and zircon U-Pb dating of garnet amphibolite in the Baoyintu Group, Inner Mongolia. 2015. Chinese Science Bulletin. 60 (19):1698~1707.

Dang Zhicai, Li Junjian, Fu Chao, Tang Wenlong, Liu Yue, Zhao Zelin, Wu Xingyuan, Sun Hongwei. 2018. Geochronological, Mineralogical and Lithogeochemical Studies of the Kebu Mafic-ultramafic Intrusion in Urad Middle Banner, Inner Mongolia. Acta Geologica Sinica, 92 (2): 278 ~ 297. (in Chinese with English abstract)

Geng Jianzhen, Li Huaikun, Zhang Jian, Zhou Hongying, Li Huimin. 2011. Zircon Hf isotope analysis by means of LA-MC-ICP-MS. Geological Bulletin of China, 30(10):1508~1513. (in Chinese with English abstract)

Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, Wu Chunming. 2007. Chronology of the Precambrian metamorphic series in the Alxa area, Inner Mongolia. Geology in China, 34(2): 251~261. (in Chinese with English abstract)

Li Huaikun, Geng Jianzhen, Hao Shuang, Zhang Yongqing, Li Huimin. 2009. The study of determination of zircon ages using LA-MC-ICP-MS. Bulletin of Mineralogy[J]. Acta Mineralogica Sinica, 29(S1): 600~601 (in Chinese with English abstract). (in Chinese with English abstract)

Li Huaikun, Li Huimin, Lu Songnian. 1995. Grain Zircon U-Pb Ages For Volcanic Rocks From Tuanshanzi Formation Of Changcheng System And Their Geological Implications. Geochimica, 24(1):43~48. (in Chinese with English abstract)

Li Shujing, Gao Dezhen. 1995. New Discoveries Of Geological Structures In Sonid Zuoqi Of Inner Mongolia And Discussion On Tectonic Features. Geoscience-Journal Of Graduate School, China University Of Geosciences, 9(2):130~141. (in Chinese with English abstract)

Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Günther D, Xu Juan, Gao Changgui, Chen Haihong. 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.

Lu Songnian, Li Huimin. 1991. A Precise U-Pb Single Zircon Age Determination For The Volcanics Of Dahongyu Formation Changheng System In Jixian. Bulletin Of The Chinese Academy

Of Geological Sciences ,22:137~146. (in Chinese with English abstract)

Lu Songnian, Yang Chunliang, Li Huaikun, Chen Zhihong. 2002b. North China Continent And Columbia Supercontinent. Earth Science Frontiers, 9(4):225~233.

Lu Songnian, Yang Chunliang, Li Huaikun, Li Huimin. 2002a. A group of rifting events in the terninal Paleoproterozoic in theNorth China Craton. Gondwana Resenrch, 5:123~131.

Ludwig K R. 2003. User’s manual for Isoplot/Ex, version 3. 00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, N0. 4:1~70.

Peng Ruiming, Zhai Yusheng, Wang Jianping, Chen Xifeng, Liu Qiang, Lü Junyang, Shi Yongxing, Wang Gang, Li Shenbin, Wang Ligong, Ma Yutao, Zhang Peng. 2010. Discovery of Neoproterozoic acid volcanic rock in the south-western section of Langshan, Inner Mongolia. Chinese Science Bulletin, 55(26): 2611~2620. (in Chinese with English abstract)

Shao Jian, Zhang Luqiao, Li Daming. 2002. Three Proterozoic Extensional Events In North China Craton. Acta Petrologica Sinica, 18(2):152~160. (in Chinese with English abstract)

Shen Cunli, Chen Zhiyong, Chang Zhongyao. 2004. The Caledonian Foldbelt or the North China Platform does the Buyant Uplift in Inner Mongolia Belong to ?. Geological Survey and Research, 27(1):18~23. (in Chinese with English abstract)

Sun Lixin, Zhao Fengqing, Wang Huichu, Ren Bangfang, Peng Shuhua, Teng Fei. 2013. Zircon U-Pb Geochronology Of Metabase Rocks From The Baoyintu Block In The Langshan Area, Inner Mongolia, And Its Tectonic Significanc. Acta Geologica Sinica, 87(2):197~207.. (in Chinese with English abstract)

Tian Rongsong, Xie Guoai, Zhang Jin, Qu Junfeng, Aakin Amirdin, Li Fahao, Zhang Beihang, Zhao Heng. 2017. Deformation Characteristics of the Neoproterozoic Langshan Group in Langshan Region and Their Tectonic Implications. Geological Review, 63(5):1180~1192. (in Chinese with English abstract)

Xu Bei, Liu Shuwen, Wang Changqiu, Zheng Haifei, Tian Feng. 2000. Sm-Nd, Rb-Sr Geochronology Of The Baoyintu Group In Northwestern Inner Mongolia. Geological Review, 43(1):101~105. (in Chinese with English abstract)

Zhai Mingguo, Bian Aiguo. 2000. Late Neoarchean supercontinent merging and Paleoproterozoic mid Proterozoic pyrolysis in North China Craton. Science In China (Series D), 30 (Supplement): 129 ~ 137. (in Chinese without English abstract)

Zhai Mingguo, Guo Jinghui, Liu Wenjun. 2005. Neoarchean toPaleoproterozoic continental evolution and tectonic history of the North China Craton. Journal of Asian Earth sciences, 24 (5):547~561.

Zhai Mingguo, Peng Peng. 2007. Paleoproterozoic Events In The North China Craton. Acta Petrologica Sinica, 23(11):2665~2682. (in Chinese with English abstract)

Zhai Mingguo. 2004. 2. 1~1. 7 Ga Geological Event Group And Its

- Geotectonic Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 20(6):1343~1354. (in Chinese with English abstract)
- Zhang Yuqing, Su Hongwei. 2002. U-Pb Single Zircon Ages of Metamorphic Basic Volcanic Rocks of Baoyintu Rock Group in Inner Mongolia. *Progress In Precambrian Research*, 25(3~4):199~204. (in Chinese with English abstract)
- Zhang Yuqing, Zhang Ting, Bao Yin Wu Liji, Yin Hai, Zeng Qingrong. 2017. SHRIMP U-Pb Dating of Erdaowa Rock Group Biotite Hornblende Schist in the North Hohhot, Inner Mongolia. *Geological Review* 63(5):1328~1336. (in Chinese with English abstract)
- Zhang Yuqing. 2004. Ages, Tectonic Environment and Geological Significance of Metabasic Volcanic Rocks of The Buyant Group-Complex In The North of Bayan Obo, Inner Mongolia. *Regional Geology of China*, 23(2):177~183. (in Chinese with English abstract)
- Zhao Guochun, Aun Min, S. A. Wilde. 2002. Characteristics of basement tectonic units of North China Craton and early Proterozoic combination. *Science In China (Series D)*, 32(7):538~549. (in Chinese without English abstract)
- Zhao Guochun, Wilde S A, Cawood P A, Sun Min. 2001. Archaean blocks and their boundaries in the North China Craton: Lithological, geochemical, structural and P-T path constraints and tectonic evolution. *Precambrian Research*, 107:45~73.
- 党智财, 李俊建, 付超, 唐文龙, 刘跃, 赵泽霖, 吴兴源, 孙宏伟. 2018. 内蒙古乌拉特中旗克布镁铁质-超镁铁质岩体年代学、矿物学和岩石地球化学. *地质学报*, 92(2):278~297.
- 耿建珍, 李怀坤, 张健, 周红英, 李惠民. 2011. 锆石 Hf 同位素组成的 LA-MC-ICP-MS 测定. *地质通报*, 30(10):1508~1513.
- 耿元生, 王新社, 沈其韩, 吴春明. 2007. 内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质岩系形成时代的初步研究. *中国地质*, 34(2):251~261.
- 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 张永清, 李惠民. 2009. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪 (LA-MC-ICPMS) 测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究. *矿物岩石地球化学通报*, 28(增刊):77.
- 李怀坤, 李惠民, 陆松年. 1995. 长城系团山子组火山岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *地球化学*, 24(1):43~48.
- 李述靖, 高德臻. 1995. 内蒙古苏尼特左旗地区若干地质构造新发现及其构造属性的初步探讨. *现代地质*, 9(2):130~141.
- 陆松年, 李惠民. 1991. 蓟县长城系大红峪组火山岩的单颗粒锆石 U-Pb 法准确定年. *中国地质科学院院报*, 22:137~146.
- 彭润民, 翟裕生, 王建平. 2010. 内蒙狼山新元古代酸性火山岩的发现及其地质意义. *科学通报*, 55(26):2611~2620.
- 邵济安, 张履桥, 李大明. 2002. 华北克拉通元古代的三次伸展事件. *岩石学报*, 18(2):152~160.
- 沈存利, 陈志勇, 常忠耀. 2004. 内蒙古“宝音图隆起”的归属讨论. *地质调查与研究*, 27(1):18~23.
- 孙立新, 赵凤清, 王惠初, 任邦方, 彭树华, 滕飞. 2013. 内蒙古狼山地区宝音图地块变质基底的锆石 U-Pb 年龄及构造意义. *地质学报*, 87(2):197~207.
- 田荣松, 解国爱, 张进, 曲军峰, 艾米尔丁·艾尔肯, 李法浩, 张北航, 赵衡. 2017. 内蒙古狼山地区新元古代狼山群变形特征及区域构造意义. *地质论评* 63(5):1180~1192.
- 徐备, 刘树文, 王长秋, 郑海飞, 田峰. 2000. 内蒙古西北部宝音图群 Sm-Nd 和 Rb-Sr 地质年代学. *地质论评*, 43(1):101~105.
- 翟明国, 卞爱国. 2000. 华北克拉通新太古代末超大陆拼合及古元古代末-中远古代裂解. *中国科学(D辑)*, 30(增刊):129~137.
- 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.
- 翟明国. 2004. 华北克拉通 2.1~2.7 Ga 地质事件群的分解和构造意义探讨. *岩石学报*, 20(6):1343~1354.
- 张玉清, 苏宏伟. 2002. 内蒙古宝音图岩群变质基性火山岩锆石 U-Pb 年龄及意义. *前寒武纪研究进展*, 25(3~4):199~204.
- 张玉清, 张婷, 宝音乌力吉, 银海, 曾庆荣. 2017. 内蒙古呼和浩特北二道凹岩群黑云角闪片岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年. *地质论评* 63(5):1328~1336.
- 张玉清. 2004. 内蒙古白云鄂博北部宝音图岩群变质基性火山岩的年龄-构造背景及地质意义. *地质通报*, 23(2):177~183.
- 赵国春, 孙敏. 2002. 华北克拉通基底构造单元特征及早元古代拼合. *中国科学(D辑)*, 32(7):538~549.

**Chronology and Plate Attribution of Biotite Plagiogneiss in
Bayinqiandamen Area, Langshan, Inner Mongolia**

CHU Hang¹⁾, WANG Huichu¹⁾, WEI Chunjing²⁾, CHANG Qingsong¹⁾,
XIANG Zhenqun¹⁾, ZHANG Jinrui²⁾

1) *Tianjin Center, China Geological Survey (Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources), Tianjin, 300170;*
2) *School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing, 100871*

Abstract

Different perspectives exist in the structural attribution of Langshan, western Inner Mongolia. No direct evidence pointing this region belonged to North China Craton has been found. In this paper, detailed chronology study is applied to Biotite Plagiogneiss (garnet-contain) from Bayinqiandamen, Langshan, Inner Mongolia. According to the result derived from LA-ICP-MS U-Pb isotope dating, all samples were magmatic zircon, $1946 \pm 9\text{Ma}$ and $1918 \pm 11\text{Ma}$ indicating the crystallization age of protolith. This result proved magmatism occurred in Langshan in the late stage of Paleoproterozoic era. According zircon Hf isotope, epsilon Hf(*t*) ranges from -1.3 to 6.4 . The Hf isotope source area contains both North China Craton's basement material and contribution from mantle. The model age of 2442Ma indicates that the source rock originated from the early Proterozoic crustal accretion event, which may be related to the formation of North China craton basement. Therefore, similar to central North China Craton, this region also contained Magmatic from early Proterozoic. The study of detrital zircon in Baoyintu Group as well implied the affinity between Baoyintu Group in Langshan and North China Craton, suggesting Langshan structure should belong to North China Craton.

Key words: zircon; Biotite Plagiogneiss; Baoyintu Group; Langshan