

doi: 10.12029/gc20160603

谢士稳 颀颀强 刘守偈, 等. 华北克拉通南缘鲁山太古宙基底的形成和演化[J]. 中国地质, 2016, 43(6): 1884–1893.

Xie Shiwen, Xie Hangqiang, Liu Shoujie, et al. Archean crustal formation and evolution of the Lushan area in the southern margin of the North China Craton[J]. Geology in China, 2016, 43(6): 1884–1893(in Chinese with English abstract).

华北克拉通南缘鲁山太古宙基底的形成和演化

谢士稳 颀颀强 刘守偈 董春艳

(中国地质科学院地质研究所, 北京离子探针中心, 北京 100037)

摘要:鲁山地区保存和出露很好的太古宙基底岩石。文章报道了 2 件魏庄片麻岩的原岩年龄分别为 (2867 ± 5) Ma 和 (2768 ± 5) Ma, 变质作用时代分别为 (2775 ± 6) Ma 和 (2775 ± 56) Ma。结合已发表数据, 魏庄片麻岩原岩形成时代可大致分为 2867–2928 Ma 和 2765–2768 Ma 两个阶段; 榆树庄片麻岩原岩形成于 2829–2897 Ma、2752–2778 Ma 和 2723 Ma; 斜长角闪岩原岩形成于 2838–2845 Ma、2747–2794 Ma 和 2730 Ma。尽管三者岩性上存在差异, 但原岩形成的期次和时代相当, 指示它们在成因上可能存在联系。鲁山多地陆续发现 2.8–2.9 Ga 的岩石, 表明该地区存在一定规模的中太古代基底。通过与胶东、霍邱等地对比, 笔者认为华北克拉通南缘可能存在中太古代的古大陆块, 其重要的初生地壳生长事件发生在 2.9–3.0 Ga。

关键词:鲁山; 锆石定年; 中太古代; 华北南缘; 古老陆块

中图分类号: P534.2

文献标志码: A

文章编号: 1000–3657(2016)06–1884–10

Archean crustal formation and evolution of the Lushan area in the southern margin of the North China Craton

XIE Shi-wen, XIE Hang-qiang, LIU Shou-jie, DONG Chun-yan

(Beijing SHRIMP Center, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Archean basement rocks are well preserved in the Lushan area. In this study, zircon SHRIMP U–Pb dating results suggest that two samples, collected from the Weizhuang gneiss in Lushan, record magmatic age of 2867 ± 5 Ma and 2768 ± 5 Ma, respectively. They underwent metamorphism at 2775 ± 6 Ma and 2775 ± 56 Ma, respectively. Together with data available, the protoliths of the Weizhuang Gneiss formed at two stages, i.e., 2867–2928 Ma and 2765–2768 Ma, while protoliths of the Yushuzhuang Gneiss and amphibolite formed at three stages (2829–2897 Ma, 2752–2778 Ma and 2723 Ma versus 2838–2845 Ma, 2747–2794 Ma and 2730 Ma). Although the three types of rocks are different in lithology, they record similar magmatism phases, indicating the existence of genetic connections among them. Recently, 2.8–2.9 Ga rocks were identified in many areas, indicating the existence of Mesoarchean basement on a certain scale in Lushan. Compared with the Precambrian evolution of Jiaodong and Huoqiu, it is concluded that a Mesoarchean block, which underwent a significant crustal growth event at 2.9–3.0 Ga, may be present along the

收稿日期: 2016–10–10; 改回日期: 2016–10–27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41402167)、中国地质科学院地质研究所基本科研业务经费(J1506)、中国地质调查局重点项目(12120114021301, 12120113013700, 1212010811033)和国家 973 项目(2012CB416600)联合资助。

作者简介: 谢士稳, 男, 1983 年生, 助理研究员, 地球化学专业; E-mail: swxie210@163.com。

southern margin of the North China Craton.

Key words: Lushan; zircon dating; Mesoarchean; southern margin of the North China Craton; ancient block

About the first author: XIE Shi-wen, male, born in 1983, assistant researcher, engages in the study of geochemistry and Precambrian geology; E-mail: swxie210@163.com.

Fund support: Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41402167), Basic Scientific Research Foundations of the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences (No. J1506), the Key Program of Ministry of Land and Resources of China (No.12120114021301, 12120113013700, 1212010811033) and the Major State Basic Research Program of the People's Republic of China (No. 2012CB416600).

早前寒武纪演化和基底微陆块的划分是华北克拉通的重点研究内容。尽管研究人员认同华北克拉通是由不同的微陆块拼合而成,但微陆块的划分仍存在很大的争议^[1-5]。古老陆核的发现和识别对微陆块的划分具有重要的意义。新太古代晚期(约2.5 Ga)是华北克拉通岩浆作用最强烈的时期,华北克拉通广泛分布该时期的岩浆岩。近年来,新太古代早期(约2.7 Ga)的岩浆岩也陆续在华北多个地区被识别出来^[6]。更古老的岩石出露十分有限,目前仅在华北克拉通的北部(鞍山、冀东)和南缘有

所报道(胶东、鲁山和小秦岭)。鞍山和冀东是华北克拉通最古老岩石出露的地区,最古老岩石形成年龄可达3.8 Ga左右^[7-10]。与北缘相比,华北克拉通南缘保存的最古老岩石相对年轻,主要出露在胶东地区,其形成时代为约2.9 Ga^[11-16]。

鲁山是华北克拉通南缘另一处中太古代岩石出露区(图1),该地区太古宙基底岩石主要由魏庄片麻岩(ArWog)、榆树庄片麻岩(ArYog)和荡泽河组表壳岩系组成^[17],在3个岩石单元内均有中太古代年龄报道^[18-25]。围绕这些太古宙基底岩石的形成时

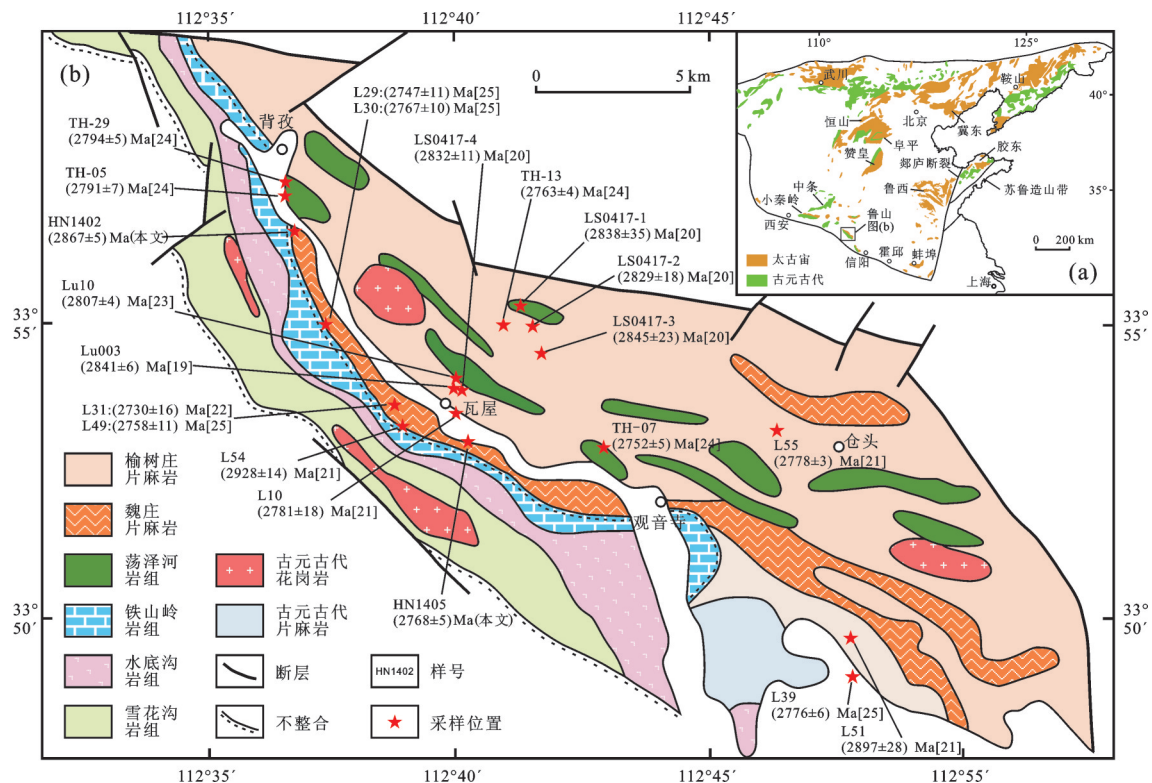


图1 华北克拉通早前寒武纪基底分布图(a)及鲁山地区早前寒武纪地质简图(b)(据文献[17]修改)
 Fig. 1 Distribution of the early Precambrian metamorphic terranes in the North China Craton (a), simplified geological map of the Lushan area (b) (modified after reference [17])

代, 前人已获得一些重要的年代学结果, 这些结果是建立鲁山太古宙基底的时代学格架、与华北其他地区对比的基础。此外, 前人测年对象主要为榆树庄片麻岩及分布在其中的斜长角闪岩, 魏庄片麻岩的年代学结果较少, 形成时代尚未确定。本文在魏庄片麻岩岩石单元中采集了2件角闪斜长片麻岩进行锆石 SHRIMP U-Pb 测年, 同时结合前人已发表数据, 讨论魏庄片麻岩的形成时代和鲁山地区的太古宙地质演化, 以期为华北克拉通南缘的早前寒武纪演化提供一些新的认识。

1 地质概况与样品采集

鲁山位于华北克拉通中部带南缘, 沿鲁山县城西北背孜一瓦屋一董村一带, 呈 NW-SE 出露很好的中—新太古代基底岩石和古元古代表壳岩系(图1)。中—新太古代岩石主要出露在荡泽河北侧, 由侵入岩系魏庄片麻岩(ArWog)、榆树庄片麻岩

(ArYog) 和零星分布的表壳岩系荡泽河组组成^[17]。榆树庄片麻岩是鲁山太古宙侵入岩系的主体岩石单元, 主要由黑云斜长片麻岩组成; 魏庄片麻岩主要由角闪斜长片麻岩组成。二者接触界线总体上表现为构造上的协调一致, 其附近可见榆树庄片麻岩到魏庄片麻岩暗色矿物成分变少, 粒径变粗^[26]。荡泽河组呈孤岛状或包体形式出现在侵入岩系之中, 主要岩性为斜长角闪岩, 夹黑云斜长片麻岩、硅线蓝晶片麻岩、大理岩等。古元古代表壳岩系主要由富铝质副片麻岩、斜长角闪岩、大理岩、石英岩、磁铁石英岩等组成, 分布于荡泽河南侧, 呈 NW-SE 展布, 不整合覆盖在太古宙侵入岩系之上。太古宙岩石和古元古代表壳岩系变质程度普遍达角闪岩相, 局部达麻粒岩相, 混合岩化作用发育^[27, 28]。

本文采集了2件魏庄片麻岩样品, HN1402为角闪斜长片麻岩(图2-a), 采自背孜南约2 km 荡泽河南岸(GPS: E112°36'44.54", N33°56'14.69"), 露头主

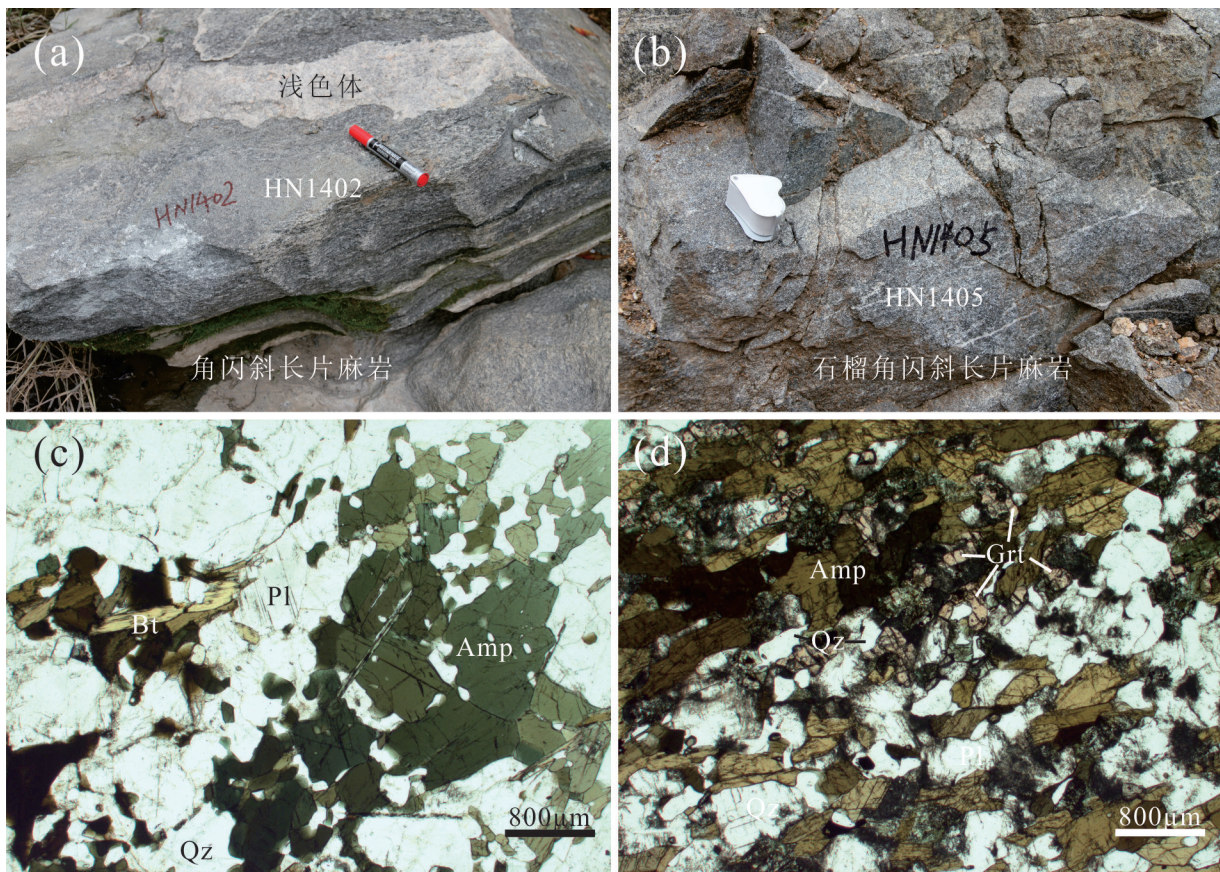


图2 鲁山魏庄片麻岩野外照片(a, b)和显微镜下照片(c, d为单偏光)

Qz—石英; Pl—斜长石; Amp—角闪石; Bi—黑云母; Grt—石榴石

Fig. 2 Field photographs (a, b) and microphotographs (c, d—plainlight) of the Weizhuang Gneiss from the Lushan area

Q—Quartz; Pl—Plagioclase; Amp—Amphibole; Bi—Biotite; Grt—Garnet

体岩石为角闪斜长片麻岩,可见浅色体侵入(图2-a),并与主体岩石一起发生变形,它们具有相同的拉伸线理,HN1402主要由斜长石(45%~50%)、石英(15%~20%)、角闪石(10%~20%)、黑云母(约5%)组成(图2-c),副矿物可见锆石、磷灰石等。HN1405为石榴角闪斜长片麻岩(图2-b),采自瓦屋东南省道S242公路旁(GPS:E112°40'14.17",N33°53'2.36"),露头主体岩石为含石榴角闪斜长片麻岩(HN1405),与不含石榴石的斜长角闪片麻岩互层。露头中可见已平行化的浅色条带穿插在主体岩石中。主要矿物组成为斜长石(40%~50%)、石英(10%~20%)、角闪石(15%~25%)、石榴石(约5%),副矿物为锆石、榍石等(图2-d)。

2 锆石SHRIMP测年方法

锆石U-Pb定年在北京离子探针中心SHRIMP II上完成。详细分析方法见文献[29]。测试时一次流 O^{-2} 强度为3~4 nA,束斑直径为25~30 μm 。标样M257($U = 840 \times 10^{-6} \text{Ma}^{[30]}$)和TEM(年龄为417 $\text{Ma}^{[31]}$)分别用于锆石U含量和年龄校正。每分析3~4个未知样品数据,分析1次标准锆石TEM。每个分析点采用5组扫描。数据处理采用SQUID和ISOPLOT程序^[32]。根据实测 ^{204}Pb 含量进行普通铅校正,采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为锆石年龄,同位素比值和单点年龄

误差均为 1σ 。加权平均年龄误差为95%置信度。

3 结果

3.1 角闪斜长片麻岩(HN1402)

样品中锆石多呈椭球状或等轴状,粒度粗大,粒径大多在300 μm 以上。CL图像显示,这些锆石内部结构较为简单,多呈灰色弱分带结构,部分锆石保留较宽的板状环带或模糊的振荡环带(图3-a),少量锆石发育暗色的边部(图3-a中颗粒5)或呈港湾状分布的暗色区域(图3-a中颗粒6)。对样品中20颗锆石进行了21次U-Pb年龄测试,18个测试点分析在灰色弱分带或发育环带的区域,U含量为 $65 \times 10^{-6} \sim 220 \times 10^{-6}$,Th/U比值为0.77~1.57,除3个测试点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 较年轻外(2772~2778 Ma),其他15个测试点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄分布在2826~2877 Ma(表1),在谐和图中11个相对集中的测试点给出的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为(2867 \pm 5)Ma(MSWD=0.61,图4-a)。锆石暗色区域具有高U($405 \times 10^{-6} \sim 2029 \times 10^{-6}$)、低Th/U(0.02~0.14)的特征,除点5.1(U含量为 405×10^{-6} , $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为(2773 \pm 5)Ma)位于谐和线附近外,其他两个高U的测试点(点1.1,4.1)均发生强烈Pb丢失。与分析在灰色弱分带区域的3个相对年轻测试点与点5.1的年龄一致,它们的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为(2775 \pm 6)Ma(MSWD=0.26,图4-a)。

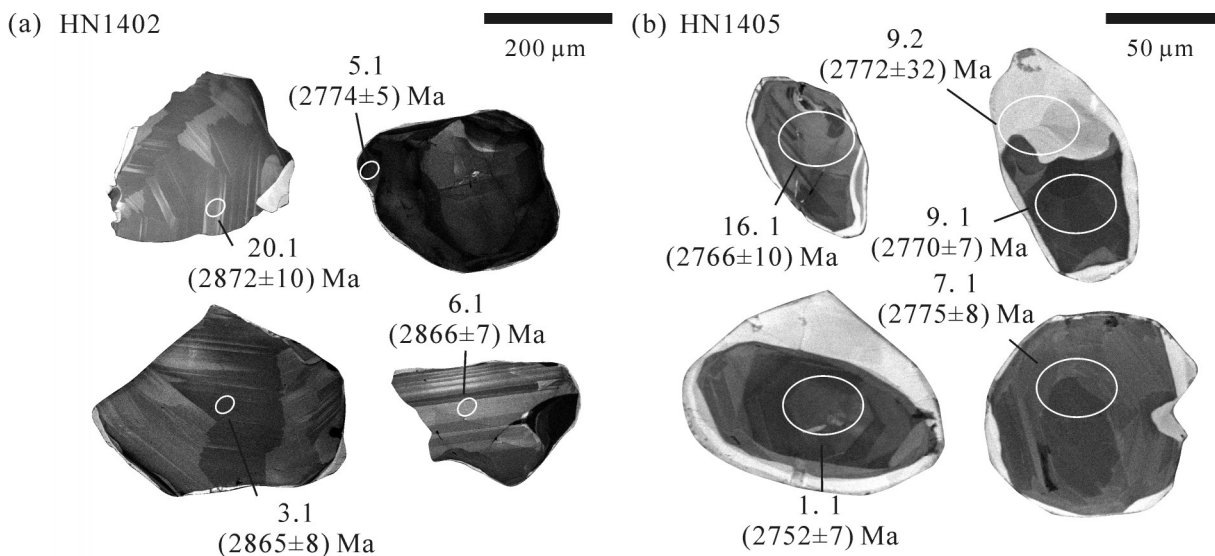


图3 魏庄片麻岩中锆石阴极发光图像

Fig.3 Cathodoluminescence (CL) images of zircons from Weizhuang gneiss

表1 鲁山魏庄片麻岩中锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果

Table 1 SHRIMP U-Pb data for zircons from the Weizhuang Gneiss in the Lushan area, North China Craton

Spot	$^{206}\text{Pb}_c$ /%	U / 10^{-6}	Th / 10^{-6}	^{232}Th / ^{238}U	$^{206}\text{Pb}^*$ / 10^{-6}	$^{207}\text{Pb}^*$ / $^{206}\text{Pb}^*$	1σ /%	$^{207}\text{Pb}^*$ / ^{235}U	1σ /%	$^{206}\text{Pb}^*$ / ^{238}U	1σ /%	err corr	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ Age / Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Age / Ma	Disc. /%
HN1402 角闪斜长片麻岩															
HN1402-1.1	--	2029	283	0.14	497	0.16088	0.22	6.327	0.88	0.2852	0.85	0.969	1618 ±12	2465 ±4	34
HN1402-1.2	--	145	116	0.83	65.9	0.2001	0.59	14.63	1.3	0.5306	1.1	0.883	2744 ±25	2827 ±10	3
HN1402-2.1	0.13	81	66	0.84	38.9	0.2058	1.5	15.89	2.4	0.560	1.9	0.770	2867 ±43	2873 ±25	0
HN1402-3.1	0.04	112	164	1.51	52.9	0.2049	0.49	15.48	1.3	0.5480	1.2	0.920	2817 ±26	2865 ±8	2
HN1402-4.1	--	1844	240	0.13	657	0.18558	0.20	10.619	0.88	0.4150	0.85	0.973	2238 ±16	2703 ±3	17
HN1402-5.1	0.03	405	8	0.02	181	0.19366	0.28	13.92	1.0	0.5211	0.97	0.961	2704 ±21	2774 ±5	3
HN1402-6.1	0.02	146	192	1.36	70.1	0.20498	0.43	15.81	1.5	0.5594	1.4	0.954	2864 ±32	2866 ±7	0
HN1402-7.1	0.02	114	157	1.42	55.7	0.2055	0.50	16.08	1.3	0.5676	1.2	0.925	2898 ±28	2871 ±8	-1
HN1402-8.1	--	144	181	1.30	65.2	0.20002	0.46	14.55	1.2	0.5274	1.1	0.923	2731 ±24	2826 ±8	3
HN1402-9.1	0.13	111	116	1.08	52.4	0.2063	0.52	15.58	1.3	0.5479	1.2	0.914	2816 ±27	2877 ±9	2
HN1402-10.1	0.10	208	202	1.00	94.1	0.19431	0.40	14.08	1.2	0.5256	1.2	0.944	2723 ±26	2779 ±7	2
HN1402-11.1	--	65	54	0.85	29.2	0.2036	0.74	14.72	1.5	0.5244	1.4	0.878	2718 ±30	2855 ±12	5
HN1402-12.1	0.07	171	174	1.05	81.3	0.20591	0.43	15.71	1.1	0.5533	1.1	0.927	2839 ±24	2874 ±7	1
HN1402-13.1	--	110	157	1.47	51.6	0.2042	0.52	15.36	1.3	0.5454	1.2	0.921	2806 ±28	2860 ±9	2
HN1402-14.1	--	72	61	0.87	34.1	0.2039	0.74	15.53	2.2	0.552	2.1	0.942	2835 ±48	2858 ±12	1
HN1402-15.1	0.00	220	176	0.83	98.4	0.19345	0.50	13.9	0.85	0.5211	0.69	0.810	2704 ±15	2772 ±8	2
HN1402-16.1	--	112	168	1.54	52.7	0.2035	0.52	15.34	0.97	0.5466	0.82	0.844	2811 ±19	2855 ±9	2
HN1402-17.1	--	127	193	1.57	60.0	0.20539	0.45	15.62	0.9	0.5514	0.77	0.861	2831 ±18	2870 ±7	1
HN1402-18.1	--	103	146	1.47	47.3	0.2046	0.55	15.06	1.1	0.5339	0.95	0.868	2758 ±21	2863 ±9	4
HN1402-19.1	0.15	117	87	0.77	51.9	0.1942	0.54	13.83	0.97	0.5163	0.80	0.828	2683 ±18	2779 ±9	3
HN1402-20.1	--	85	82	1.00	41.2	0.2057	0.60	15.93	1.2	0.5618	1.0	0.868	2874 ±24	2872 ±10	0
HN1405 石榴角闪斜长片麻岩															
HN1405-1.1	--	239	45	0.20	108	0.19108	0.43	13.86	1.3	0.5259	1.3	0.946	2724 ±28	2752 ±7	1
HN1405-2.1	0.04	6	1	0.17	2.73	0.1948	3.8	15.40	5.9	0.573	4.5	0.762	2922 ±110	2783 ±63	-5
HN1405-2.2	--	98	38	0.40	44.7	0.1923	0.68	14.05	2.0	0.530	1.9	0.942	2742 ±42	2762 ±11	1
HN1405-3.1	--	92	36	0.40	42.8	0.1925	0.68	14.42	1.6	0.5433	1.5	0.907	2797 ±33	2764 ±11	-1
HN1405-4.1	0.14	87	29	0.34	42.0	0.1935	0.75	14.90	2.8	0.558	2.7	0.963	2860 ±61	2772 ±12	-3
HN1405-5.1	0.05	148	64	0.45	69.5	0.1931	0.54	14.53	1.5	0.5458	1.3	0.927	2808 ±31	2768 ±9	-1
HN1405-6.1	0.04	136	71	0.54	59.0	0.1927	0.56	13.42	1.5	0.5050	1.4	0.923	2635 ±29	2766 ±9	5
HN1405-7.1	0.09	177	91	0.53	80.4	0.19385	0.50	14.16	1.6	0.5296	1.5	0.948	2740 ±34	2775 ±8	1
HN1405-8.1	0.13	125	39	0.32	60.3	0.1934	0.6	14.98	2.0	0.562	1.9	0.955	2873 ±45	2772 ±10	-4
HN1405-9.1	0.03	231	124	0.55	107	0.19327	0.44	14.32	1.4	0.5374	1.3	0.946	2772 ±29	2770 ±7	0
HN1405-9.2	--	17	2	0.15	6.87	0.1935	1.9	12.82	3.7	0.480	3.2	0.854	2529 ±67	2772 ±32	9
HN1405-10.1	0.05	129	54	0.43	59.9	0.1935	0.60	14.37	1.6	0.5384	1.5	0.925	2777 ±33	2772 ±10	0
HN1405-12.1	0.00	52	20	0.39	23.5	0.1929	1.5	14.10	2.7	0.530	2.2	0.826	2742 ±50	2767 ±25	1
HN1405-13.1	0.10	173	84	0.50	81.8	0.1935	0.74	14.69	1.6	0.5507	1.4	0.888	2828 ±33	2772 ±12	-2
HN1405-14.1	0.11	144	65	0.47	68.1	0.1934	0.57	14.63	1.5	0.5485	1.4	0.928	2819 ±33	2771 ±9	-2
HN1405-15.1	0.06	300	80	0.28	136	0.19401	0.41	14.09	1.3	0.5268	1.3	0.951	2728 ±28	2776 ±7	2
HN1405-16.1	0.00	128	46	0.37	58.8	0.1928	0.58	14.20	1.5	0.5342	1.4	0.925	2759 ±32	2766 ±10	0

注： $^{206}\text{Pb}_c$ 表示 ^{206}Pb 中普通 ^{206}Pb 的比例，*表示放射成因Pb，单点年龄误差为 1σ 。Disc.(%)=($1-(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄) / ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄))×100。

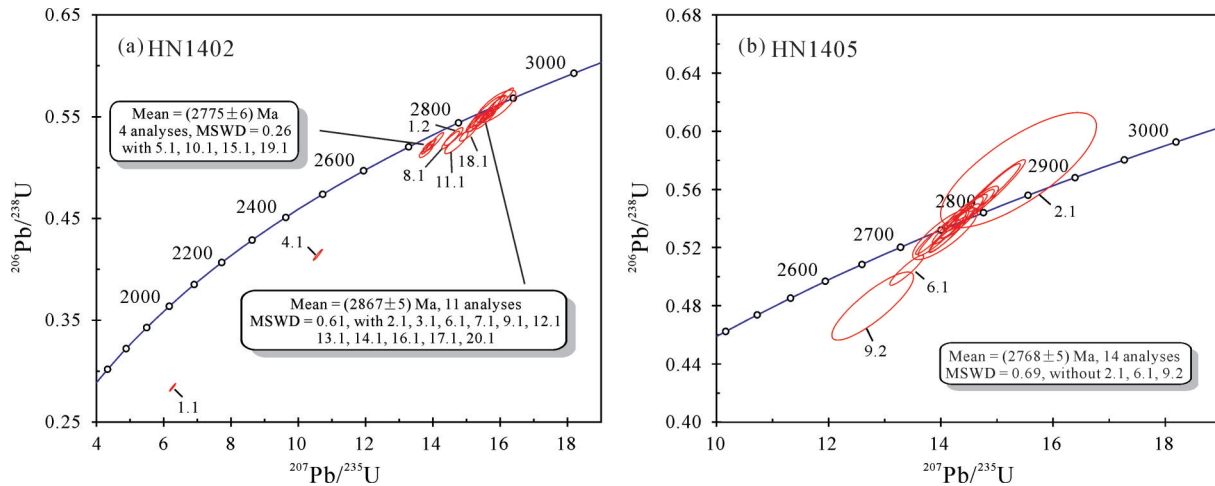


图4 魏庄片麻岩中锆石U-Pb年龄谐和图
Fig.4 Concordia diagrams for zircon from the Weizhuang Gneiss

3.2 石榴角闪斜长片麻岩(HN1405)

分选自该样品的锆石大多呈椭球状,粒度偏小,长轴为50~120 μm 。在CL图像中,这些锆石具有核-边结构,核部锆石呈灰色,具有弱分带、扇形分带和面状分带等结构,锆石边部发光较强,均匀、无分带(图3-b)。本次对锆石核部进行15次U-Pb年龄分析,其U含量为 $52 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$,Th/U比值为0.20~0.55, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄分布在2751~2776 Ma(表1),除去1个Pb丢失的数据点(点6.1),其余测试点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为(2768 \pm 5) Ma (MSWD = 0.69,图4-a)。2个测试点(点2.1,点9.2)分析在强发光的边部,它们具有低的U含量($6 \times 10^{-6} \sim 17 \times 10^{-6}$)和Th/U比值(0.15~0.17), $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为2772~2783 Ma,加权平均年龄为(2775 \pm 56) Ma (MSWD = 0.02,图4-b),这两个测试点误差较大,表现出反向不一致或Pb丢失(图4-b)。

4 讨论

4.1 魏庄片麻岩形成时代

魏庄片麻岩是鲁山太古宙基底的重要组成部分,确定其形成时代,对整体认识该地区的地质演化具有重要意义。Lu et al.^[21]在瓦屋东采集一件魏庄片麻岩样品(L54,图1),获得原岩形成年龄为(2928 \pm 14)Ma。Huang et al.^[18]报道了鲁山似TTG岩石和TTG岩石的原岩年龄分别为(2765 \pm 13)Ma和(2723 \pm 9)Ma。Huang et al.^[18]未给出测年样品的具体采样位置和归属的岩石单元,但两种岩石矿物组

合明显不同,似TTG岩石具有高的角闪石含量(10%~30%),而TTG的黑云母含量较高(10%~15%),两种岩石的矿物组成特征分别与魏庄片麻岩和榆树庄片麻岩相对应。本文用于测年的样品采自瓦屋东南侧呈NW-SE带状分布的魏庄片麻岩岩石单元;样品HN1402中锆石粗大,部分保留岩浆锆石的结构特征,笔者认为该样品(2867 \pm 5)Ma的加权平均年龄应代表原岩的形成年龄。点5.1分析在暗色边部,具有低的Th/U比值(0.02),指示变质成因。三个分析在弱分带区域的测试年龄与点5.1一致,指示它们可能遭受变质重结晶影响,U-Th-Pb体系发生重置。点5.1与这三个测试点的加权平均年龄为(2775 \pm 6)Ma,应代表该岩石遭受变质作用的时期。样品HN1405中一些锆石的核部可见扇形分带和面状分带等结构,Th/U比值为0.20~0.55,其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为(2768 \pm 5)Ma,该年龄解释为原岩的侵位年龄。锆石边部发光较强,两个测试点给出的加权平均年龄为(2775 \pm 56)Ma,该年龄与HN1402记录的变质年龄相同,尽管这两个数据点表现出反向不一致或Pb丢失,但在一定程度上也能反映该样品经历了约2.77 Ga的变质作用。根据以上结果,我们发现魏庄片麻岩原岩形成时代复杂,由中太古代—新太古代早期(2765~2928 Ma)多期岩浆岩组成(表2),并经历了2775 Ma的变质作用。

4.2 鲁山地区太古宙演化

除以上魏庄片麻岩的年代学结果外,研究人员对榆树庄片麻岩和分布在其中的斜长角闪岩开展

表2 鲁山地区太古宙基底岩石中锆石U-Pb年龄总结

Table 2 Summary of zircon U-Pb ages of Archean basement rocks in the Lushan area, North China Craton

序号	样号	岩性	岩石单元	分析方法	捕获锆石年龄/ Ma	原岩形成年龄/ Ma	变质年龄/ Ma	数据来源
1	L54	TTG 片麻岩	魏庄片麻岩	CAMECA		2928±14	1934±7	[21]
2	HN1402	角闪斜长片麻岩	魏庄片麻岩	SHRIMP		2867±5	2775±6	本文
3	HN1405	石榴角闪斜长片麻岩	魏庄片麻岩	SHRIMP		2768±5	2775±56	本文
4	TH05-2	似 TTG 片麻岩	魏庄片麻岩(?)	SHRIMP		2765±13		[18]
5	L51	TTG 片麻岩	榆树庄片麻岩	CAMECA		2897±28	1915±14 (1 颗)	[21]
6	Lu003	英云闪长质片麻岩	榆树庄片麻岩	单颗粒蒸发法		2841±6	2806±7	[19]
7	LS0417-4	英云闪长质片麻岩	榆树庄片麻岩	SHRIMP		2832±11	2772±17, 2638±61	[20]
8	LS0417-2	英云闪长质片麻岩	榆树庄片麻岩	SHRIMP		2829±18	2772±22	[20]
9	Lu10	英云闪长质片麻岩	榆树庄片麻岩	单颗粒蒸发法		2807±4		[23]
10	L55	TTG 片麻岩	榆树庄片麻岩	CAMECA		2778±3.4	1940±15 (1 颗), 1922±11 (1 颗)	[21]
11	TH-13	英云闪长质片麻岩	榆树庄片麻岩	LA-ICP MS	2827±17 (1 颗), 2850±16 (1 颗)	2763±4		[24]
12	TH-07	奥长花岗岩质片麻岩	榆树庄片麻岩	LA-ICP MS	2821±11 (1 颗), 2845±11 (1 颗)	2752±5		[24]
13	TH05-21	TTG 片麻岩	榆树庄片麻岩(?)	SHRIMP	2946±14 (1 颗), 2925±6 (1 颗)	2723±9		[18]
14	LS0417-3	斜长角闪岩		SHRIMP		2845±23	2776±20, 2671±25	[20]
15	LS0417-1	斜长角闪岩	荡泽河组	SHRIMP		2838±35	2792±12, 2651±13	[20]
16	TH-29	斜长角闪岩	荡泽河组	LA-ICP MS	2883~2924, 3092±20 (1 颗)	2794±5		[24]
17	TH-05	斜长角闪岩	荡泽河组	LA-ICP MS	2885~2889	2791±7		[24]
18	L10	石榴斜长角闪岩		CAMECA		2781±18	1927±6.5, 1858±32	[21]
19	L39	斜长角闪岩		CAMECA		2776±6	1915±34 (1 颗)	[25]
20	L30	斜长角闪岩		CAMECA		2767±10	1930±55 (1 颗)	[25]
21	L49	斜长角闪岩		CAMECA		2758±11	1926±6	[25]
22	L29	斜长角闪岩		CAMECA		2747±11	1865±64 (1 颗)	[25]
23	L31	斜长角闪岩		CAMECA		2730±16	1920±12	[22]

了一些重要的测年工作(表2)。早期,前人应用单颗粒锆石蒸发法对瓦屋东北的英云闪长质片麻岩和奥长花岗质片麻岩进行测年,获得的原岩年龄分别为(2841±16)Ma^[19]和(2807±4)Ma^[23]。而后,通过SHRIMP锆石测年,Liu et al.^[20]在同一岩系的英云闪长片麻岩中获得(2829±18)Ma和(2832±11)Ma的原岩侵位年龄,同时获得(2772±22)Ma和(2638±61)Ma的变质年龄。分布在其中的两件斜长角闪岩的原岩年龄为2838~2845 Ma,变质作用的年代为2776~2792 Ma和2651~2671 Ma^[20]。同样,第五春荣等^[24]对鲁山TTG片麻岩和斜长角闪岩进行测年,获得了相对年轻的原岩形成年龄,2件TTG片麻岩原岩形成年龄为2752~2763 Ma,斜长角闪岩原岩形成于2791~2794 Ma。尽管这几件样品原岩

形成时代较晚,但普遍含有中太古代捕获锆石(2821~3092 Ma)。Lu et al.^[21]在鲁山地区报道的TTG片麻岩原岩侵位年龄分别为(2897±28)Ma和(2778±3.4)Ma。此外,相对年轻的TTG岩石((2723±9)Ma)在该地区也有报道^[18]。除一件斜长角闪岩给出(2730±16)Ma的原岩形成年龄外^[22],最近发表的斜长角闪岩的原岩年龄主要分布在2747~2781 Ma^[21,22,25],与第五春荣等^[24]获得斜长角闪岩年龄相当。

综合以上结果,除2个单颗粒蒸发法年龄外,我们可以发现榆树庄片麻岩年龄大体上可以分为2829~2897 Ma、2752~2778 Ma和2723 Ma 3个阶段,并在2772 Ma和2638 Ma遭受变质作用影响。包括Huang et al.^[18]的似TTG岩石,魏庄片麻岩原岩形成

年龄可分为2867~2928 Ma和2765~2768 Ma 2个阶段,它们记录了2775 Ma的变质作用,魏庄片麻岩中是否存在更年轻的岩浆事件尚不清楚。与这些中酸性片麻岩相似,分布在其中的斜长角闪岩的原岩年龄也大致可以分为3个阶段:2838~2845 Ma、2747~2794 Ma和2730 Ma,中太古代的斜长角闪岩经历新太古代早期的变质作用^[20],其他斜长角闪岩大多记录了古元古代晚期的变质作用^[21,22,25]。由此可见,尽管榆树庄片麻岩、魏庄片麻岩以及斜长角闪岩在岩性上存在差异^[17,26],但三者记录的岩浆作用的时期和期次可对比,指示它们在成因上可能存在联系。多处发现2.8~2.9 Ga的岩石(最古老岩石年龄为 (2928 ± 14) Ma),指示鲁山地区存在一定规模的中太古代的基底。2747~2794 Ma的样品最多,且分布最广(表2,图1),可能代表鲁山地区强烈的岩浆作用时期。此外,该时期岩浆作用伴随着同时期的变质作用,这个现象与华北广泛分布的新太古代晚期岩浆-变质事件相似,其地质意义尚不清楚。2723~2730 Ma的岩浆年龄报道有限^[18,22],指示鲁山地区可能也发育2.7 Ga左右的岩浆岩。

鲁山地区锆石Hf同位素数据较少,未见约2.9 Ga的岩石中锆石Hf同位素报道,少量约2.9 Ga的捕获锆石具有与同期亏损地幔相近的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值,且Hf模式年龄与锆石年龄接近^[18,24]。中太古代晚期岩石(2829~2849 Ma)中岩浆锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值大多集中在-0.8~+5.0,模式年龄大多集中在3.0 Ga左右,与约2.9 Ga捕获锆石Hf模式年龄相当^[20]。2747~2794 Ma岩浆岩中锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值变化范围较大(-5.8~+7.0),其最大值接近同期亏损地幔演化值^[24]。一件2723 Ma的TTG片麻岩 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 $0.6 \sim +1.9$ ^[18],落在中太古代捕获锆石的地壳演化线上(图5)。由此可见,中太古代(2.9~3.0 Ga)是鲁山地区初生地壳生长的重要时期,2747~2794 Ma也有初生地壳的加入,同时伴随着古老地壳的重熔,而2829~2849 Ma和2723 Ma岩浆事件代表了中太古代初生地壳物质的重熔。

4.3 地质意义

华北克拉通早前寒武纪基底微陆块划分一直存在争议。近年来,随着年代学工作的深入,华北克拉通南缘前寒武纪基底出露区的年代学格架的逐渐清晰,这为不同地区之间对比提供依据。如前文所述,鲁山多处识别出2.8~2.9 Ga的岩石,多件新

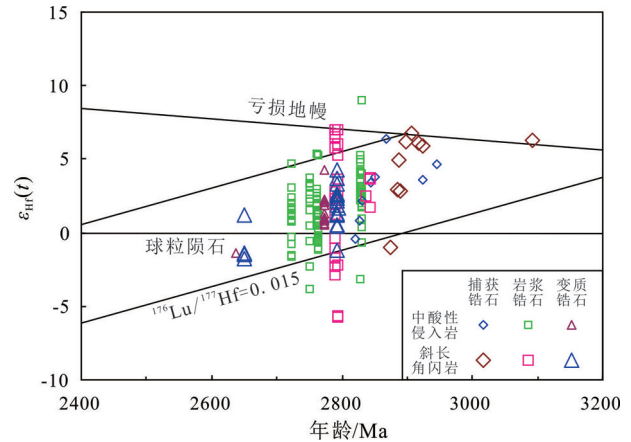


图5 鲁山太古宙岩石中锆石年龄- $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值关系图
(数据引自文献[18, 20, 24])

Fig.5 Age versus $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ diagram for zircons from Archean basement rocks in the Lushan area (data after references [18, 20, 24])

太古代样品中发现约2.9 Ga的捕获锆石,表明鲁山存在中太古代基底,并具有一定的规模。胶东位于华北克拉通东南缘,同样保存和出露很好的2.86~2.93 Ga的中太古代岩石^[11-14,16]。鲁山2.9 Ga左右的捕获锆石和胶东中太古代岩石约2.9 Ga的岩浆锆石均具有高的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值,Hf模式年龄接近锆石的形成年龄,指示2.9 Ga左右是两地初生地壳生长的重要时期^[11-13,15,18,24,33]。霍邱位于鲁山和胶东之间,霍邱太古宙基底被后期盖层覆盖严重,目前未发现中太古代岩石,但灰色片麻岩和表壳岩中分别含有2.90~2.93 Ga的捕获锆石^[34]和约3.0 Ga的碎屑锆石^[35,36],表明该地区可能存在中太古代的基底岩石。这些古老的锆石具有高正的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值,同样指示中太古代是霍邱地区初生地壳生长时期^[34,35]。此外,鲁山、霍邱和胶东约2.7 Ga的岩石均具有演化的锆石Hf同位素特征,指示由中太古代初生地壳物质部分熔融形成^[6,12,15,33]。由此,可以发现鲁山、霍邱、胶东地区存在相似的中太古代基底和地壳生长过程。笔者认为华北克拉通南缘存在近EW走向呈带状分布的中太古代陆块^[37],该陆块重要的初生地壳生长事件发生在2.9~3.0 Ga,明显早于华北其它地区(2.7~2.8 Ga)。最近,小秦岭地区发现约2.8 Ga花岗闪长质片麻岩,样品中还含有一颗 (2895 ± 12) Ma的捕获锆石^[38],中太古代陆块向西是否延伸至小秦岭仍需更多工作。

5 结 论

本次笔者采集了2件魏庄片麻岩样品进行测年,结果显示它们的原岩形成于(2867±5)Ma和(2768±5)Ma,并遭受了约2.77 Ga变质作用的改造。结合前人研究成果,笔者认为魏庄片麻岩原岩形成于2867~2928 Ma和2765~2768 Ma;榆树庄片麻岩原岩形成于2829~2897 Ma、2752~2778 Ma和2723 Ma;斜长角闪岩的原岩时代可分为2838~2845 Ma、2747~2794 Ma和2730 Ma 3个阶段。在2.9~3.0 Ga,华北克拉通南缘发生重要的初生地壳生长事件,形成近EW走向呈带状分布的中太古代陆块。

致谢:感谢西北大学地质系第五春荣副教授在野外工作中给予的帮助;感谢北京离子探针中心杨淳、张玉海、刘建辉等在锆石制靶、测试过程中给予的帮助。

参考文献(References):

- [1] Wan Y S, Liu D Y, Dong C Y, et al. Formation and Evolution of Archean Continental Crust of the North China Craton, in Precambrian Geology of China[M]. Zhai Mingguo, Editor 2015, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg: 59-136.
- [2] Zhai M G, Santosh M. The early Precambrian odyssey of the North China Craton: A synoptic overview[J]. Gondwana Research, 2011, 20: 6-25.
- [3] Zhao G C, Sun M, Wilde S A, et al. Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton: Key issues revisited[J]. Precambrian Research, 2005, 136(2): 177-202.
- [4] 伍家善, 耿元生, 沈其韩, 等. 中朝古大陆太古宙地质特征及构造演化[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
Wu Jiashan, Geng Yuansheng, Shen Qihan, et al. Archean Geological Characteristics and Tectonic Evolution of China-Korea Paleo-Continent[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998 (in Chinese).
- [5] 张福勤, 刘建忠, 欧阳自远. 华北克拉通基底绿岩的岩石大地构造学研究[J]. 地球物理学报, 1998, 41(增刊): 99-107.
Zhang Fuqin, Liu Jianzhong, Ouyang Ziyuan. Tectonic framework of greenstones in the basement of the North China Craton[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1998. 41: 99-107(in Chinese with English abstract).
- [6] Wan Y S, Xie S W, Yang C H, et al. Early Neoproterozoic tectono-thermal events in the North China Craton: A synthesis[J]. Precambrian Research, 2014, 247: 45-63.
- [7] Liu D Y, Nutman A P, Compston W, et al. Remnants of ≥ 3800 Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton[J]. Geology, 1992, 20: 339-342.
- [8] Song B, Nutman A P, Liu D Y, et al. 3800 to 2500 Ma crustal evolution in the Anshan area of Liaoning Province, northeastern China[J]. Precambrian Research, 1996, 78: 79-94.
- [9] Wan Y S, Liu D Y, Nutman A, et al. Multiple 3.8-3.1 Ga tectono-magmatic events in a newly discovered area of ancient rocks (the Shengouxi Complex), Anshan, North China Craton[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 54-55: 18-30.
- [10] Wan Y S, Liu D Y, Song B, et al. Geochemical and Nd isotopic compositions of 3.8 Ga meta-quartz dioritic and trondhjemitic rocks from the Anshan area and their geological significance[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2005, 24: 563-575.
- [11] Wang W, Zhai M G, Li T S, et al. Archean-Paleoproterozoic crustal evolution in the eastern North China Craton: Zircon U-Th-Pb and Lu-Hf evidence from the Jiaobei terrane[J]. Precambrian Research, 2014, 241: 146-160.
- [12] Wu M L, Zhao G C, Sun M, et al. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes of major lithologies from the Jiaodong Terrane: Implications for the crustal evolution of the Eastern Block of the North China Craton[J]. Lithos, 2014, 190-191: 71-84.
- [13] Xie S W, Xie H Q, Wang S J, et al. Ca. 2.9 Ga granitoid magmatism in eastern Shandong, North China Craton: Zircon dating, Hf-in-zircon isotopic analysis and whole-rock geochemistry[J]. Precambrian Research, 2014, 255: 538-562.
- [14] 刘建辉, 刘福来, 刘平华, 等. 胶北早前寒武纪变质基底多期岩浆-变质热事件: 来自TTG片麻岩和花岗质片麻岩中锆石U-Pb定年的证据[J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 943-960.
Liu Jianhui, Liu Fulai, Liu Pinghua, et al. Polyphase magmatic and metamorphic events from Early Precambrian metamorphic basement in Jiaobei area: Evidences from the zircon U-Pb dating of TTG and granitic gneisses[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011. 27 (4): 943-960(in Chinese with English abstract).
- [15] 谢士稳. 胶莱盆地及基底锆石年代学和地球化学特征[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉)博士论文, 2012.
Xie Shiwen. Zircon Chronology and Geochemical Characteristics of Jiaolai Basin and Its Basement[D]. Ph.D Thesis, China University of Geosciences (Wuhan), 2012(in Chinese with English abstract).
- [16] Jahn B M, Liu D Y, Wan Y S, et al. Archean crustal evolution of the Jiaodong Peninsula, China, as revealed by zircon SHRIMP geochronology, elemental and Nd-isotope geochemistry[J]. American Journal of Science, 2008, 308(3): 232-269.
- [17] 杨长秀. 河南鲁山地区早前寒武纪变质岩系的锆石SHRIMP U-Pb年龄、地球化学特征及环境演化[J]. 地质通报, 2008, 27 (4): 517-533.
Yang Changxiu. Zircon SHRIMP U-Pb ages, geochemical characteristics and environmental evolution of the Early Precambrian metamorphic series in the Lushan area, Henan, China[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(4): 517-533(in Chinese with English abstract).
- [18] Huang X L, Niu Y L, Xu Y G, et al. Geochemistry of TTG and TTG-like gneisses from Lushan-Taihua complex in the southern North China Craton: Implications for late Archean crustal accretion[J]. Precambrian Research, 2010, 182: 43-56.

- [19] Kröner A, Compston W, Zhang G W, et al. Age and tectonic setting of Late Archean greenstone–gneiss terrain in Henan Province, China, as revealed by single–grain zircon dating[J]. *Geology*, 1988, 16(3): 211–215.
- [20] Liu D Y, Wilde S A, Wan Y S, et al. Combined U–Pb, hafnium and oxygen isotope analysis of zircons from meta–igneous rocks in the southern North China Craton reveal multiple events in the Late Mesoarchean–Early Neoproterozoic[J]. *Chemical Geology*, 2009, 261: 140–154.
- [21] Lu J S, Wang G D, Wang H, et al. Zircon SIMS U–Pb geochronology of the Lushan terrane: dating metamorphism of the southwestern terminal of the Palaeoproterozoic Trans–North China Orogen[J]. *Geological Magazine*, 2015, 152(2): 367–377.
- [22] Lu J S, Wang G D, Wang H, et al. Metamorphic P–T–t paths retrieved from the amphibolites, Lushan terrane, Henan Province and reappraisal of the Paleoproterozoic tectonic evolution of the Trans–North China Orogen[J]. *Precambrian Research*, 2013, 238: 61–77.
- [23] Sun Y, Yu Z P, Kröner A. Geochemistry and single zircon geochronology of Archean TTG gneisses in the Taihua high–grade terrain, Lushan area, central China[J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1994, 10(3): 227–233.
- [24] 第五春荣, 孙勇, 林慈鑫, 等. 河南鲁山地区太华杂岩 LA–(MC)–ICPMS 锆石 U–Pb 年代学及 Hf 同位素组成[J]. *科学通报*, 2010, 55(21): 2112–2123.
Diwu Chunrong, Sun Yong, Lin Ciluan, et al. LA–(MC)–ICPMS U–Pb zircon geochronology and Lu–Hf isotope compositions of the Taihua Complex on the southern margin of the North China Craton[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(21): 2112–2123(in Chinese).
- [25] 卢俊生, 王国栋, 王浩, 等. 河南鲁山太华变质杂岩前寒武纪变质作用[J]. *岩石学报*, 2014, 30(10): 3062–3074.
Lu Junsheng, Wang Guodong, Wang Hao, et al. Metamorphic evolution of the Lushan terrane in the Precambrian Taihua complex, Henan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(10): 3062–3074(in Chinese with English abstract).
- [26] 杨长秀, 王世炎, 刘振宏, 等. 河南鲁山地区中–新太古代灰色片麻岩[J]. *地质论评*, 2008, 54(3): 327–334.
Yang Changxiu, Wang Shiyan, Liu Zhenhong, et al. Mesoarchean–Neoproterozoic grey gneiss in the Lushan area, Henan province[J]. *Geological Review*, 2008, 54(3): 327–334(in Chinese with English abstract).
- [27] 孙勇. 河南鲁山太华群的麻粒岩相变质岩[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 1983, (1): 89–95.
Sun Yong. Rocks in the granulite facies of the Taihua group at Lushan, Henan[J]. *Journal of Northwest University*, 1983, (1): 89–95 (in Chinese with English abstract).
- [28] Zhang G W, Bai Y B, Sun Y, et al. Composition and evolution of the Archean crust in central Henan, China[J]. *Precambrian Research*, 1985, 27(1): 7–35.
- [29] Williams I S. U–Th–Pb Geochronology by Ion Microprobe, in Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes[M]. McKibben M A, Shanks WC III, Ridley W I, Editors. 1998, *Reviews in Economic Geology*.
- [30] Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, et al. Zircon M257—a Homogeneous Natural Reference Material for the Ion Microprobe U–Pb Analysis of Zircon[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2008, 32(3): 247–265.
- [31] Black L P, Kamo S L, Allen C M, et al. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U–Pb geochronology[J]. *Chemical Geology*, 2003, 200(1–2): 155–170.
- [32] Ludwig K R. *Squid 1.02: a User's Manual* 2001, Berkeley: Berkeley Geochronology Centre Special Publication. 1–19.
- [33] Liu J H, Liu F L, Ding Z J, et al. The growth, reworking and metamorphism of early Precambrian crust in the Jiaobei terrane, the North China Craton: Constraints from U–Th–Pb and Lu–Hf isotopic systematics, and REE concentrations of zircon from Archean granitoid gneisses[J]. *Precambrian Research*, 2013, 224: 287–303.
- [34] Liu Y, Yang X, Santosh M, et al. Neoproterozoic to Paleoproterozoic continental growth in the southeastern margin of the North China Craton: Geochemical, zircon U–Pb and Hf isotope evidence from the Huoqiu complex[J]. *Gondwana Research*, 2015, 28(3): 1002–1018.
- [35] Wang Q Y, Zheng J P, Pan Y M, et al. Archean crustal evolution in the southeastern North China Craton: New data from the Huoqiu Complex[J]. *Precambrian Research*, 2014, 255: 294–315.
- [36] Wan Y S, Dong C Y, Wang W, et al. Archean Basement and a Paleoproterozoic Collision Orogen in the Huoqiu Area at the Southeastern Margin of North China Craton: Evidence from Sensitive High Resolution Ion Micro–Probe U–Pb Zircon Geochronology[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(1): 91–104.
- [37] 谢士稳, 王世进, 颜炳强, 等. 华北克拉通胶东地区~2.7 Ga TTG 岩石的成因及地质意义[J]. *岩石学报*, 2015, 31(10): 2974–2990.
Xie SW, Wang S J, Xie H Q, et al. Petrogenesis of ca. 2.7 Ga TTG rocks in Jiaodong terrane, North China craton and its geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(10): 2974–2990 (in Chinese with English abstract).
- [38] Jia X L, Zhu X Y, Zhai M G, et al. Late Mesoarchean crust growth event: evidence from the ca. 2.8 Ga granodioritic gneisses of the Xiaoqinling area, southern North China Craton[J]. *Science Bulletin*, 2016, 61(12): 974–990.