

鲁西蒙山新太古代末闪长岩体的区域构造意义 ——SHRIMP锆石U-Pb年代学证据

侯贵廷, 王传成, 王延欣, 肖芳锋, 李 乐

(北京大学 地球与空间科学学院; 教育部重点实验室造山带与地壳演化实验室, 北京 100871)

摘要: 华北克拉通东部陆块的鲁西地区, 太古宙结晶基底主要分两个单元: 西部的TTG (tonalitic英云闪长质-trondhjemitic奥长花岗质-granodioritic花岗闪长质) 岩石单元和东部的片麻状二长花岗岩单元。鲁西的两个岩石单元沿北北西向古构造带拼贴, 沿古构造带侵位一些深成闪长岩体。在该古构造带的南部发育的深成闪长岩体的SHRIMP锆石 U-Pb定年结果给出了上交点年龄 $2534 \pm 77\text{Ma}$, 近谐和点年龄为 $2536 \pm 26\text{Ma}$, 代表在晚太古代末 (~2.5Ga) 沿古构造带拼贴过程中的深成岩浆活动, 是鲁西地区前寒武纪完成克拉通化的陆壳固结作用。从地质年代学和区域地质上, 本文确定了沿北西走向的泰山-蒙山古构造带分布的南部蒙山闪长岩体与北部的泰山闪长岩体处于同一条深成岩浆活动带, 这表明鲁西地区新太古代末TTG岩区与二长花岗岩区两个单元沿古构造带拼贴是华北克拉通东部陆块在新太古代末发生的重要大地构造事件。

关键词: TTG 单元和二长花岗岩单元, 闪长岩体, 古构造带, U-Pb法锆石SHRIMP年代学

中图分类号: P588.3; P597.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493 (2008) -01-0022-07

SHRIMP Zircon U-Pb Chronology and Tectonic Significance of the Latest Neoarchean Mengshan Diorite, Western Shandong Province

HOU Gui-ting, WANG Chuan-cheng, WANG Yan-xin, XIAO Fang-feng, LI Le

(The Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution,
Earth and Space Sciences School, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The TTG (tonalite-trondhjemitic-granodiorite) in the western area and gneissoid adamellite unit in the eastern area of the Western Shandong Province were identified in the eastern block of the North China Craton. These two areas were amalgamated together at the latest Neoarchean along the NNW-trending paleo-structural belt with intrusion of some plutonic diorite bodies. The U-Pb SHRIMP results of zircons from the Mengshan diorite pluton in the southern segment of the paleo-structural belt give the upper interception age of $2534 \pm 77\text{Ma}$ based on the fine discordant line and give the close concordia age of $2536 \pm 26\text{Ma}$ that represents the age of diorite pluton emplacement. The diorites along the NNW-trending paleo-structural belt represent the plutonic magmatic activity and the cratonization during the juxtaposition of two Archean microblocks in the Western Shandong.

Key words: TTG unit and adamellite unit; diorite pluton; paleo-structural zone; SHRIMP zircon U-Pb geochronology

近年来, 华北克拉通的前寒武纪地质研究取得了许多重要成果, 尤其在华北克拉通的大地构造单元划分方面。华北克拉通可以划分为三个大地构造单元: 东部地块、西部地块和中部造山带 (赵国春和孙敏, 2002; Kuskey and Li, 2003)。

目前, 华北克拉通三个构造单元内部的进一步划分是华北克拉通前寒武纪地质研究的热点。其中, 东部地块的主要部分鲁西地区是我国太古代花岗-绿岩带的典型地区 (徐惠芬等, 1992; 曹国权, 1995, 1996), 也是华北克拉通构造演化

收稿日期: 07-09-16; 修回日期: 07-11-03

基金项目: 国家自然科学基金 (40772121; 40172066; 40314141), 国家863项目 (2006AA06Z233) 的资助

作者简介: 侯贵廷, 43岁, 博士, 副教授, 从事前寒武纪及区域地质学的科研教学工作; E-mail: gthou@pku.edu.cn

研究的重要地区。对鲁西太古代基底构造单元的进一步划分和陆块拼贴增生时代的确定是目前的研究热点。

前人对鲁西泰山地区早前寒武纪地质的研究比较系统,但对其他地区的研究相对薄弱(曹国权,1996;庄育勋等,1995,1997)。鲁西地区前寒武纪主要大地构造特征是新太古代花岗—绿岩带占结晶基底的95%,其中花岗岩区包括:TTG岩石和片麻状二长花岗岩两个单元。这两个单元在新太古代末沿一条北西向古构造带拼合焊接(图1)。该古构造带主要包括右旋韧性剪切带和古断裂带(庄育勋等,1995,1997;王世进,1993;王新社等,1999)。从北至南沿古构造带分布一些闪长岩类的深成岩体,而这些深成岩体又被古元古代二长花岗岩脉和中元古代基性岩墙群侵位(侯贵廷等,2004;Hou et al, 2006a, 2006b, 2006c)。目前对鲁西沿北西向构造带分布的深成闪长岩体的形成时代认识不同,王世进(1990,1991,1993)认为这些闪长岩体形成于新太古代晚期(2 550~2 600 Ma),庄育勋等(1995,1997)和王新社等(1999)认为这些闪长岩体形成于新太古代末和古元古代初(2 519~2 490 Ma)。目前尚未有鲁西南部深成闪长岩体SHRIMP锆石U-Pb年代学的报道。

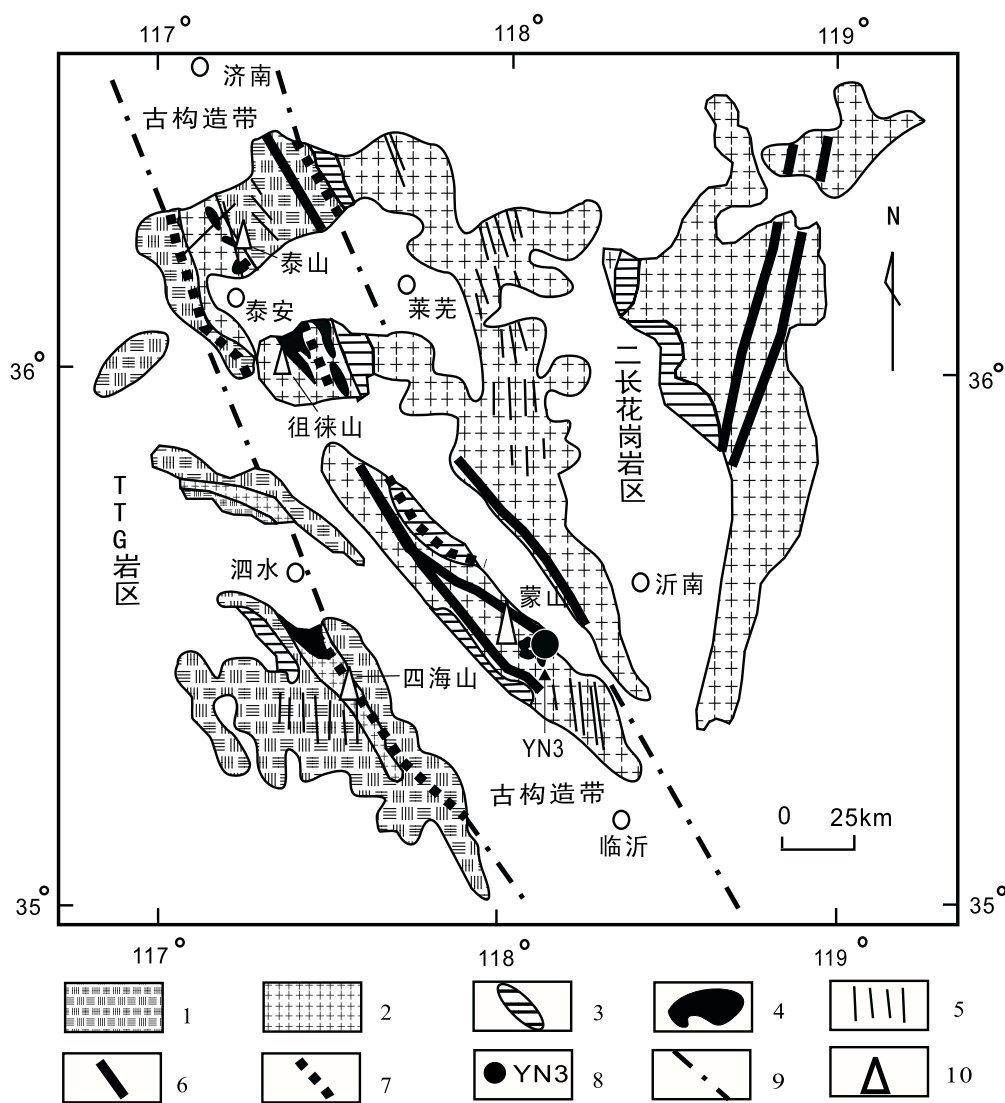
1 地质概况及样品特征

鲁西新太古代花岗岩区主要包括TTG类岩石和片麻状二长花岗岩,占前寒武纪结晶基底出露面积的80%以上。其中,TTG岩石约占基底面积的三分之一,主要分布在鲁西的西部和西南部,大多数U-Pb年龄介于2 800~2 650 Ma之间(庄育勋等,1995,1997);片麻状二长花岗岩是鲁西分布最广的侵入岩,约占鲁西基岩面积的一半,主要分布在鲁西的中部和东部,多数U-Pb年龄介于2 650~2 600 Ma之间(庄育勋等,1995,1997)。鲁西地区早前寒武纪一个重要的构造特征是在TTG岩区和片麻状二长花岗岩区两个单元之间发育一条北北西向的古构造带,宽约50 km、长约200 km,带内有片麻状二长花岗岩穿插到TTG岩石内,而在古构造带以外为岩性均一的岩石单元。该构造带由三条构造线构成,主构造线发育

在泰山—蒙山一线,并在该线东西两侧各发育一条构造线,带内发育韧性剪切带和古断裂带,截切所有新太古代单元,并被古元古代酸性岩脉和中元古代基性岩墙群穿插,这可能是一条新太古代末TTG区和片麻状二长花岗岩区两单元拼贴的古构造带(图1)(王世进,1993;王新社等,1999)。沿古构造带从北至南定向排列一些呈岩株状侵位的深成中性侵入岩体,如:泰山的闪长岩体、徂徕山闪长岩体、四海山闪长岩体和蒙山闪长岩体。其中,该古构造带北部发育的泰山闪长岩体的单颗粒锆石双带源逐层蒸发法Pb-Pb年龄为 $2\,515 \pm 3$ Ma(庄育勋等,1997)。该闪长岩体截切所有新太古代的变质岩,并被古元古代的酸性岩脉和中元古代的基性岩墙群侵位,表明该岩体形成于新太古代末~2 500 Ma。本文通过该古构造带南部发育的蒙山闪长岩体的SHRIMP锆石U-Pb年代学研究,探讨该古构造带内发育的深成闪长岩体是否为同一时期的深成岩浆活动,这对于确定该古构造带的发育历史,进而分析鲁西新太古代陆块的拼贴增生历史具有重要的理论意义。

蒙山深成闪长岩体位于古构造带南部蒙山自然保护区望海楼东6 km处,呈岩株状侵位于片麻状二长花岗岩围岩内,面积约30 km²,岩石为灰黑色,块状构造,由于黑云母容易被风化掉,露头表面呈“麻脸”状,球状风化明显。岩性为黑云母辉石闪长岩,半自形粒状结构,主要由中长石、透辉石、角闪石和黑云母组成,并有少量的钾长石和磁铁矿。中长石环带构造发育,有的边缘为钾长石交代,透辉石呈柱粒状,部分被角闪石交代,黑云母发育成宽大的片状,一般直径1~2 cm,是深成侵入岩的特征。

为了获得未被混染的闪长岩岩浆成因的锆石,采样点尽量远离围岩,在岩体中部结晶粗大的部位采样,距岩体的边缘约2.5 km。在采石场采集的闪长岩年龄样品重约10 kg,坚硬新鲜,无风化。在河北省区调研究所实验室样品经过严格的粉碎、重液分离和磁选(宋彪等,2002),在双目镜下挑纯,获得20粒锆石,颗粒较小。锆石透明、纯净、无色或淡黄色,自形或半自形。将所有的锆石制作在一个样品靶上,方法见文献(宋彪等,2002)。在进行SHRIMP U-Pb分析之前,进行反射



1 T T G单元区; 2 片麻状二长花岗岩单元区; 3 绿岩带; 4 闪长岩体; 5 基性岩墙群;
6 古断裂带; 7 韧性剪切带; 8 样品号和采样位置; 9 构造界线; 10 山峰
1 T T G unit; 2 gneissoid adamellite unit; 3 greenstone belt; 4 diorite; 5 mafic dyke swarms;
6 paleo-fault zone; 7 ductile shear zone; 8 sample number and location; 9 tectonic boundary; 10 mountain peak

图1 鲁西地区地质简图和蒙山闪长岩体采样位置

Fig. 1 The sketch geological map of the western Shandong Province and location of sample

光和透射光照相, 然后进行阴极发光和背散射电子照相 (BSE), 以确定锆石颗粒的内部结构和成因类型, 圈定SHRIMP测点的最佳部位 (图2)。

2 分析方法与结果

锆石的U, Th和Pb同位素组成分析在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心的SHRIMP II上进行, 详细分析流程和原理参考文献 (宋彪等, 2002; Compston et al, 1984; Williams, 1992, 1996)。应用RSES参考锆石TEM

(417 Ma) 进行元素分馏校正, 应用SL13 (年龄572 Ma; U含量238 $\mu\text{g/g}$) 标定样品的U, Th和Pb含量, 并应用ISOPLOT软件处理数据。应用实测 ^{204}Pb 校正锆石中的普通铅, 表1所列的单个数据点的误差均用 1σ 表示, 采用年龄为 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄, 其加权平均值为95%的置信度。

观察蒙山闪长岩体的锆石, 显微镜下锆石颗粒外形特征主要为短柱状, 少数为长柱状, 极少数浑圆状, 无色或淡黄色、粒径10~200 μm , 因锆石颗粒很小, 20粒锆石中仅10粒锆石的粒径达到

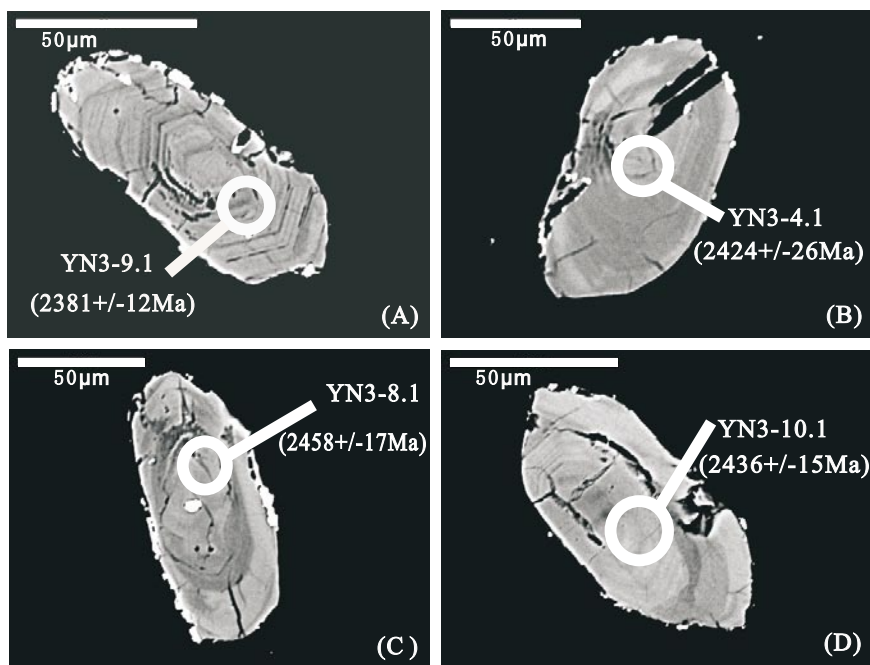


图2 蒙山闪长岩YN3样品锆石的背散射影像特征

Fig. 2 BSE images of zircons from Mengshan diorite sample YN3

测量要求。为了精确测定，尽量选择裂缝少比较平滑的颗粒较大的锆石，共10个测点，Th、U和Pb同位素组成分析结果见表1。

由于锆石的颗粒太小，不能获得清晰的阴极发光图像，而得到的背散射影像可以分析锆石的内部结构（图2的A、B、C、D）。一般认为岩浆成因锆石具有振荡环带结构，而且Th/U比值通常变化于0.1~1.0之间，而变质成因的锆石一般具有清晰的核和面状增生结构，Th/U比值小于0.1（Vavra et al, 1996, 1999; Rubatto, 2002; Belousova et al, 2002）。从锆石的背散射影像特征分析，该闪长岩体的多数锆石只发育岩浆振荡环带结构，少数锆石具有面状增生，但其核部也具有岩浆振荡环带结构。这里我们全部测点落在具有岩浆振荡环带的部位，Th/U比值在0.08~1.30之间，绝大多数介于0.1~1.0之间（表1）。因此，由这些测点得到的U-Pb年龄可以代表深成闪长岩体的侵位时代。测点的普通Pb含量一般在0.24%~1.40%之间，多数小于1%，因此普通铅含量不高，结果比较可靠。

蒙山闪长岩体的SHRIMP法锆石U-Pb测年结果（10个锆石，10个测点）给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于895~2 436 Ma之间，大部分锆石由于普遍存在铅

的丢失而远离谐和线，多数为不谐和年龄，只有一个年龄接近谐和线，其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $2\,536 \pm 26$ Ma。其他不谐和年龄点与这个谐和年龄点得到一条拟合很好的不一致线（图3）。该不一致线与谐和线的交点年龄为 $2\,534 \pm 77$ Ma（MSWD=14）（图3）。这些测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄比较集中，介于2 381~2 617 Ma之间，除了YN3-9.1测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄 $2\,381 \pm 12$ Ma与谐和年龄差距较大外，其他测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $2\,497 \pm 35$ Ma（MSWD=10.9，9个测点）（图4）。由于多数测点存在铅丢失，加权平均年龄不可靠，仅供参考。相对而言，近谐和年龄 $2\,536 \pm 26$ Ma和一致线上交点年龄 $2\,534 \pm 77$ Ma代表了蒙山闪长岩体的岩浆结晶时代（约在~2.5 Ga）。

3 区域构造意义

本文给出了鲁西新太古代末古构造带南部的蒙山深成闪长岩体的SHRIMP锆石U-Pb年龄（上交点年龄为 $2\,534 \pm 77$ Ma，近谐和点年龄为 $2\,536 \pm 26$ Ma），从地质年代学上确定了沿北西走向的泰山—蒙山古构造带分布的南部蒙山闪长岩体与北部的泰山闪长岩体处于同一条深成岩浆活动带，可能是新太古代末TTG岩区与二长花岗岩区两个单

表1 蒙山闪长岩YN3锆石样品的SHRIMP分析结果
Table 1 The zircon SHRIMP analysis results of sample YN3 from the Mengshan diorite

测 点	$f_{206}(\%)$	U × 10 ⁻⁶	Th × 10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* × 10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb*/ ²⁰⁴ Pb* ± %	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb* ± %	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U ± %	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U ± %	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U ± %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年齡(Ma)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年齡(Ma)					
YN3-1.1	0.50	331	165	0.52	101	2778	14	0.1649	0.71	7.99	2.6	0.3516	2.5	1,934	± 45	2,506	± 12
YN3-2.1	0.66	317	30	0.10	61.7	2128	13	0.1602	0.86	4.97	2.7	0.2251	2.5	1,297	± 31	2,458	± 14
YN3-3.1	1.11	181	127	0.72	65.6	1250	13	0.1763	1.1	10.07	2.8	0.415	2.6	2,188	± 55	2,617	± 18
YN3-4.1	0.90	938	123	0.14	125	1587	15	0.1571	1.5	3.312	2.9	0.1529	2.5	895	± 22	2,424	± 26
YN3-5.1	1.37	69	87	1.31	28.2	1020	16	0.1679	1.6	10.87	3.0	0.470	2.6	2,436	± 67	2,536	± 26
YN3-6.1	0.24	245	67	0.28	93.3	5882	18	0.16645	0.60	10.15	2.6	0.442	2.5	2,347	± 51	2,522	± 10
YN3-7.1	0.30	478	472	1.02	103	4762	17	0.16331	0.54	5.65	2.5	0.2507	2.5	1,441	± 37	2,490	± 9
YN3-8.1	0.89	698	52	0.08	137	1587	11	0.1603	0.99	5.00	2.7	0.2265	2.5	1,306	± 30	2,458	± 17
YN3-9.1	0.28	596	453	0.79	133	5000	14	0.1531	0.69	5.46	2.6	0.2588	2.5	1,497	± 36	2,381	± 12
YN3-10.1	1.40	349	63	0.19	95.8	1020	8	0.1582	0.94	6.85	2.7	0.3139	2.5	1,815	± 40	2,436	± 15

$f_{206}(\%)$ 为非放射成因铅在总的 ^{206}Pb 中所占的百分比, * 代表放射成因同位素。以上同位素分析数据由北京离子探针中心测定。

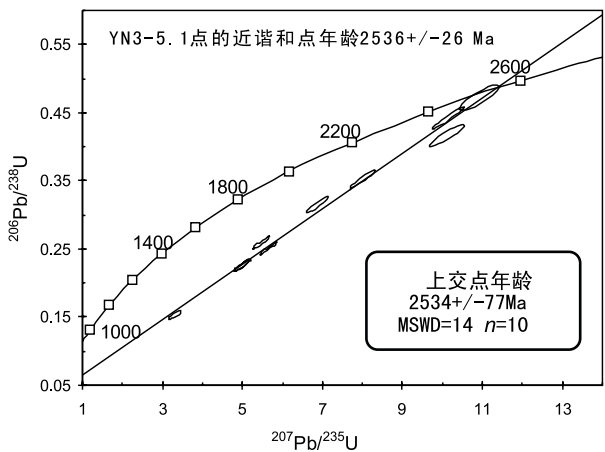


图3 蒙山闪长岩YN3的锆石SHRIMP U-Pb年龄谐和图
Fig. 3 Zircon U-Pb concordia diagram for the Mengshan diorite sample YN3

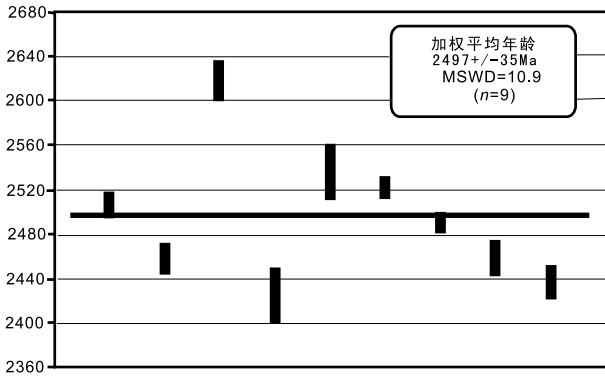


图4 YN3样品的锆石年龄分布图
Fig. 4 Diagram of zircon ages for sample YN3

元沿古构造带拼贴深部岩浆活动的产物。

深成闪长岩体沿北北西向古构造带内的脆性断裂呈岩株状定向分布,但尚未发现这些闪长岩体被韧性剪切带切过,而这些闪长岩体和韧性剪切带均被古元古代的酸性岩脉和中元古代的基性岩墙群截切,这充分说明这些闪长岩体可能是新太古代末TTG岩区与二长花岗岩区两个单元拼贴后从韧性变形转化为脆性变形后的构造—岩浆事件。发生强烈韧性变形的片麻状二长花岗岩的锆石U-Pb 年龄为2 560 Ma (Jahn et al, 1988)。泰山地区北西向韧性剪切作用发生在构造体制从韧性变形向脆性变形转化的在新太古代末,属于中高温变形环境条件下的剪切变形。剪切带中岩石组构解析和岩石化学分析表明,韧性剪切变形在地壳演化中具有加厚陆壳的作用,是鲁西地区新太古代末陆壳克拉通化的标志性构造事件(侯贵廷等, 2004; 王新社等, 2005)。根据古构造带内韧性剪切带的运动学研究,糜棱面理很发育,近直立,说明沿韧性剪切带存在侧向缩短(王新社等, 1999),两个岩石单元沿该带发生了拼贴作用。深成闪长岩体是两个岩石单元拼贴和陆壳加厚作用的产物。

鲁西地区处于中、新太古代华北克拉通东部地块的核心,主要发育新太古代末TTG类岩石、绿岩带和二长花岗岩。新太古代早期在鲁西地区的西部形成广泛的TTG岩石,在此基底上发育裂

谷型海槽, 形成新太古代晚期绿岩建造(曹国权, 1995, 1996; 吕发堂等, 1998)。新太古代末和古元古代初, 鲁西地区进入了重要时期, 即陆壳增生和克拉通化阶段, 以鲁西地区东部发育大规模的二长花岗岩侵位为特征, 代表陆壳伸展构造环境下幔源物质上涌并与陆壳物质混合的岩石组合(庄育勋等, 1995, 1997), 与TTG岩和绿岩带构成了鲁西地区花岗—绿岩带的前寒武纪基本地质特征。同全球一样, 新太古代末25亿年前左右是鲁西地区陆壳拼贴增生的重要时期(吕发堂等, 1998; Condie, 2000; 耿元生等, 2002; 侯贵廷等, 2004)。新太古代末, 鲁西地区的构造变形从韧性变形向脆性变形转化, 鲁西的两大岩区(东部二长花岗岩区和西部的TTG岩区)沿韧性剪切带拼贴焊接, 随后古构造带转为脆性, 在构造带的薄弱部位发育古断裂带, 在整个转化时期, 以深成闪长岩体为代表的幔壳混合岩浆沿古构造带侵位使鲁西古陆的东西两部分焊接固结, 形成一个完整的古陆块(侯贵廷等, 2004)。进入古元古代和中元古代, 华北克拉通东部地块的鲁西古陆块完全克拉通化, 并发生广泛的脆性伸展作用, 发育古元古代—中元古代的酸性岩脉和基性岩墙群(庄育勋等, 1997; 王新社等, 1999; 侯贵廷等, 2004; Hou et al., 2006b)。因此, 沿古构造带侵位的深成闪长岩体是鲁西古陆块在新太古代末拼贴和陆壳加厚实现完全克拉通化的标志。

致谢: 锆石测定工作得到北京离子探针中心宋彪、万渝生和王彦斌等人的帮助, 宋彪教授为本文提出了有益的修改建议。锆石影像分析得到中国地质科学院陈振宇的帮助。山东科技大学地球科学学院的金爱文、北京大学地球与空间科学学院的杨默涵和华金玉参加了野外工作。特别感谢中国地质科学研究所的王新社研究员提供研究区的地质图, 并以此文纪念这位同行老朋友。

References:

- Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y, et al. 2002. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 143: 602–622.
- Cao Guoquan. 1995. Revisit of the early Precambrian crustal evolution of the western Shandong [J]. *Shandong Geology*. 11 (2): 1–13. (in Chinese)
- Chao Guoquan. 1996. Early Precambrian Geology of the Western Shandong [M]. Beijing: Geological Publishing House, 78–89. (in Chinese)
- Compston W, Williams I S, Meyer C. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe [J]. *Journal of Geophysical Research*, 89: 525–534.
- Condie K C. 2000. Episodic continental growth model: after thoughts and extensions [J]. *Tectonophysics*, 322: 153–162.
- Geng Yuansheng, Wan Yusheng, Shen Qihan. 2002. Early Precambrian mafic volcanics and crustal growth of the North China craton [J]. *Acta Geologica Sinica*. 76 (2): 199–208. (in Chinese with English abstract)
- Hou G T, Li J H, Qian X L. 2006c. The late Paleoproterozoic extension events: aulacogens and dyke swarms [J]. *Progress in Natural Sciences*, 16 (2): 48–63.
- Hou G, Wang C, Li J, et al. 2006b. The Paleoproterozoic extension and reconstruction of paleostress field of the North China Craton [J]. *Tectonophysics*, 422: 87–98.
- Hou Guitang, Li Jianghai, Jin Aiwen, et al. 2004. New Comment on the Early Precambrian tectono-magmatic subdivision and evolution in the Western Shandong block [J]. *Geological Journal of China Universities*, 10 (2): 239–249. (in Chinese with English abstract)
- Hou G, Liu Y, Li J, et al. 2006a. The evidence of ~1.8 Ga extension of NCC from the U-Pb SHRIMP dating of mafic dyke in the Shandong Province [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27: 392–401.
- Jahn B M. 1988. Archean crustal evolution in China: the Taishan Complex and evidence for juvenile crustal addition from long-term depleted mantle [J]. *Precambrian Res.*, 38: 381–403.
- Kusky T M, Li J H. 2003. Paleoproterozoic tectonic evolution of the North China Craton [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*. 22: 383–397.
- Lu Fatang and Gao Shaoqiang. 1998. Geological characteristics and rare elements evolution of the Neoarchean “Frame Intrusion” in the Taishan [J]. *Regional Geology of China*. 17 (1): 9–15. (in Chinese with English abstract)
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism [J]. *Chemical Geology*, 184: 123–138.
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. 2002. Sampling dating and discussion of the zircon SHRIMP [J]. *Geological Review*, 48 (sp): 26–30. (in Chinese with English abstract)
- Vavra G, Gebauer D, Schmid R, et al. 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): An ion microprobe (SHRIMP) study [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 122: 337–358.
- Vavra G, Schmid R, Gebauer D. 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: Geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps) [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134: 380–404.
- Wang Shijin. 1990. Precambrian intrusion in the western Shandong [J]. *Shandong Geology*, 6 (1): 59–80. (in Chinese)
- Wang Shijin. 1991. Division and basic characteristics of the Precambrian intrusions in the western Shandong [J]. *Regional Geology of China*, 4: 298–307.
- Wang Shijin. 1993. Early Precambrian geological tectonics of the western Shandong [J]. *Regional Geology of China*, 3: 216–222. (in Chinese with English abstract)

- Wang Xinshe, Zhang Shangkun, Zhang Fuzhong, et al. 2005. Kinetic vorticity and shearing types of the Qingyi ductile shear zone in the western Shandong [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 26 (5): 425–428. (in Chinese with English abstract)
- Wang Xinshe, Zhuang Yuxun, Xu Huifen, et al. 1999. The crustal evolution significance of the Neoarchean ductile shearing in the Taishan area [J]. *Regional Geology of China*, 18 (2): 168–174. (in Chinese with English abstract)
- Williams I S, Buick I S, Cartwright I. 1996. An extended episode of early Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynolds Range, central Australia [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 14: 29–47.
- Williams I S. 1992. Some observations on the use of zircon U-Pb geochronology in the study of granitic rocks [J]. *Trans. R. Soc. Edinburgh—Earth Sci.*, 83: 447–458.
- Wu Jiashan, Geng Yuansheng, Shen Qihan. 1991. Important Geological Events in the Early Precambrian North China Block [M]. Beijing: Geological Press, 1–115. (in Chinese with English abstract)
- Xu Huifen, Dong Yijie, Shi Ronghen. 1992. Granite-Greenstone Belt in the Western Shandong [M]. Beijing: Geological Press. 56–67. (in Chinese with English abstract)
- Zhao Guochun, Sun Ming. 2002. Characteristics of the basement units of the North China Craton and their Paleoproterozoic assembly [J]. *Science in China (Series D)*, 32 (7): 538–549. (in Chinese with English abstract)
- Zhuang Yuxun, Wang Xinshe, Xu Honglin, et al. 1995. New advance in research of the Neoarchean and Paleoproterozoic crustal evolution in the Taishan [J]. *Regional Geology of China*, 4: 360–367 (in Chinese with English abstract)
- Zhuang Yuxun, Wang Xinshe, Xu Honglin, et al. 1997. Major Precambrian geological events and crustal evolution in the Taishan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 13 (3): 313–366. (in Chinese with English abstract)
- 参考文献:**
- 曹国权. 1995. 鲁西地区早前寒武纪地壳演化再探讨[J]. *山东地质*, 11 (2): 1–13.
- 曹国权. 1996. 鲁西早前寒武纪地质[M]. 北京: 地质出版社. 78–89.
- 耿元生, 万渝生, 沈其韩. 2002. 华北克拉通早前寒武纪基性火山作用与地壳增生[J]. *地质学报*, 76 (2): 199–208.
- 侯贵廷, 李江海, 金爱文, 等. 2004. 鲁西早前寒武纪构造-岩浆活动区划和演化的新认识[J]. *高校地质学报* 10 (2), 239–249.
- 吕发堂, 高绍强. 1998. 泰山地区晚太古代“框架侵入岩”的地质特征及稀土地球化学演化[J]. *中国区域地质*, 17 (1): 9–15.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 2002. 锆石SHRIMP样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. *地质论评*. 48 (增刊): 26–30.
- 王世进. 1990. 鲁西地区前寒武纪侵入岩[J]. *山东地质*. 6 (1): 59–80.
- 王世进. 1991. 鲁西地区前寒武纪侵入岩期次划分及基本特征[J]. *中国区域地质*. 4: 298–307.
- 王世进. 1993. 鲁西地区早前寒武纪地质构造[J]. *中国区域地质*. 3: 216–222.
- 王新社, 庄育勋, 徐慧芬, 等. 1999. 泰山地区太古宙末韧性剪切作用在陆壳演化中的意义[J]. *中国区域地质*. 18 (2): 168–174.
- 王新社, 张尚坤, 张富中, 等. 2005. 鲁西青邑韧性剪切带运动学涡度及剪切作用类型[J]. *地球学报*, 26 (5): 423–428.
- 伍家善, 耿元生, 沈其韩. 1991. 华北陆台早前寒武纪重大地质事件[M]. 北京: 地质出版社. 1–115.
- 徐慧芬, 董一杰, 施允亨. 1992. 鲁西花岗岩—绿岩带[M]. 北京: 地质出版社. 56–67.
- 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[J]. *中国科学 (D辑)*. 32 (7): 538–549.
- 庄育勋, 王新社, 徐洪林, 等. 1995. 泰山地区新太古代—古元古代地壳演化研究的新进展[J]. *中国区域地质*. 4: 360–367.
- 庄育勋, 王新社, 徐洪林, 等. 1997. 泰山地区早前寒武纪主要地质事件与陆壳演化[J]. *岩石学报*. 13 (3): 313–366.