

关于基性岩墙群的 U_Pb SHRIMP 地质年代学的探讨 ——以鲁西莱芜辉绿岩岩墙为例

侯贵廷¹, 刘玉琳¹, 李江海¹, 金爱文²

(1. 北京大学 地球与空间科学学院, 教育部造山带与地壳演化重点实验室, 北京 100871;

2. 山东科技大学 地球科学学院, 山东 青岛 266500)

摘要: 锆石成因研究是判断锆石年龄意义的基础。本文以鲁西隆起区莱芜辉绿岩岩墙的锆石 U_Pb SHRIMP 年代学研究为例, 从锆石成因入手探讨基性岩墙群的锆石地质年代学分析中出现的一些问题。本区基性岩墙内存在两类锆石, 一种是从围岩捕获的残余锆石, 其谐和年龄为 $2\,537 \pm 16$ Ma; 另一种为岩墙原生的岩浆锆石, 谐和年龄为 $1\,139 \pm 25$ Ma 和 $1\,157 \pm 18$ Ma, 说明岩墙侵位时代约为中元古代。基性岩墙内原生岩浆锆石很少, 因此, 要谨慎分析锆石的成因类型和年龄谱系, 不能简单地以大多数数据的平均年龄为准, 而应该以地层接触关系和岩岩交切关系为基本证据, 结合各种同位素绝对年龄的分析来确定基性岩墙的侵位时代。

关键词: 基性岩墙; 残余锆石; 岩浆锆石; U_Pb SHRIMP 年代学

中图分类号: P597+.3; P588.12+4

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2005)03-0179-07

The SHRIMP U_Pb chronology of mafic dyke swarms: A case study of Laiwu diabase dykes in western Shandong

HOU Gui_ting¹, LIU Yu_lin¹, LI Jiang_hai¹ and JIN Ai_wen²

(1. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. School of Earth Science, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266500, China)

Abstract: Based on a study of SHRIMP U_Pb chronology of zircons from diabase dykes in Laiwu area of western Shandong, this paper deals with zircon chronology of mafic dyke swarms. Two types of zircons are distinguished: zircons entrapped from the host rock with the concordia age of $2\,537 \pm 16$ Ma, and original igneous zircons with the concordia ages of $1\,139 \pm 25$ Ma and $1\,157 \pm 18$ Ma. The data suggest that the mafic dyke swarms in Laiwu area were emplaced during Mesoproterozoic. Few original zircons are developed in mafic dykes, so the origin and age populations of zircons should be analyzed with care. It is not proper to regard the average of most values as the real age of dyke emplacement. The field relationship between overlying strata and dyke swarms and the intersecting relations of the intrusions should be studied in detail.

Key words: mafic dyke; relict zircons; original zircons; U_Pb SHRIMP chronology

克拉通内广泛发育的基性岩墙群是伸展构造产物, 记录了重要的裂解地质事件, 是超大陆再造的良好标志(Halls, 1982, 1987), 对世界上各古陆的对比和古陆块的抬升及旋转研究都有重要意义(Halls,

2003)。元古宙华北克拉通内广泛发育未变形变质的基性岩墙群, 是华北克拉通前寒武纪非造山岩浆-伸展构造事件的年代学标志。华北克拉通山西地块的太古宙变质岩区基性岩墙群K_{Ar}年龄为1.2~1.6

收稿日期: 2004-08-16; 修订日期: 2005-01-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40172066, 4031414)

作者简介: 侯贵廷(1964-), 男, 博士, 副教授, 从事前寒武纪地质和构造地质学研究, E-mail: gthou@pku.edu.cn。

Ga(陈孝德等, 1983, 1992, 1994; Qian Xianglin *et al.*, 1987; 侯贵廷等, 2001), 但由于普遍存在 Ar 丢失, 该数据可能比实际年龄偏小(侯贵廷等, 1994)。李江海等(2001)利用单颗粒锆石获得的山西恒山北北西向基性岩墙的 U_Pb 年龄为 $1\ 769.1 \pm 2.5$ Ma, 该年龄是山西地块内变形未变质基性岩墙的最老年龄(李江海等, 2001)。华北克拉通东部的另一个地块——山东地块内的新太古代变质岩区也广泛发育变形未变质的北北西向基性岩墙群, 有一些被新元古代土门群石英岩和早寒武世五山组(灰岩、泥岩和砂岩组成)地层覆盖, 因此初步推测这些基性岩墙群可能形成于元古宙(王世进, 1990, 1991)。目前山东地块内基性岩墙群仅有一些 K_Ar 年龄, 其中, 莱芜东部霞峰辉绿岩墙群 K_Ar 年龄为 1 149 Ma 和 1 503 Ma, Sm_Nd 年龄为 1 328 Ma 和 1 718 Ma(王世进, 1991), 大致形成于元古宙, 但时代跨度太大, 不精确。山东地块内的基性岩墙群尚无精确的锆石同位素年龄。山东基性岩墙群的精确定年对于研究山东地块前寒武纪构造-岩浆活动和伸展构造事件, 对比山东地块与山西地块和华北克拉通前寒武纪的裂解事件具有重要意义。

1 地质背景

鲁西地块是华北克拉通的重要组成部分, 是中国发育新太古代花岗-绿岩带的典型地区(曹国权, 1996), 也是研究华北克拉通构造演化的关键地区。前人曾对鲁西地区太古宙花岗-绿岩带有过研究, 而关于元古宙地质的研究很少, 鲁西前寒武纪地质研究中存在空白(曹国权, 1996)。鲁西莱芜地区出露新太古代的各种岩石单元, 主要由大面积的花岗岩类、闪长岩类和局部小面积的绿岩组成, 整体呈北西向展布(王世进, 1990, 1991)。莱芜新太古代花岗岩类岩石主要为片麻状二长花岗岩, 闪长岩呈北西向岩株零星分布在片麻状二长花岗岩内。莱芜基性岩墙群呈北北西向切割所有新太古代岩石单元, 其中片麻状二长花岗岩为主要围岩(图 1)(庄育勋等, 1995, 1997; 吕发堂等, 1998), 其中锆石 U_Pb 年龄为 $2\ 560 \pm 11$ Ma(Jahn *et al.*, 1988)。

鲁西莱芜地区发育大规模的北北西向基性岩墙群。本文对鲁西莱芜地区的基性岩墙群利用 K_Ar 法做了初步的定年分析, 结果显示岩墙大致形成于 1 045~1 050 Ma 之间, 是中元古代的非造山岩浆构

造事件的产物(表 1)。由于基性岩墙内大部分锆石是捕获围岩的残余锆石, 岩墙的岩浆成因锆石很少, 用传统的锆石 U_Pb 方法很难区别两类锆石, 得到的年龄很可能是混合年龄(Hanes, 1987), 因此本文利用锆石的 U_Pb SHRIMP 精确定年方法, 结合阴极发光和背散射方法, 识别出从围岩捕获的残余锆石和岩墙岩浆成因原生锆石, 结合岩墙侵位的地层证据, 确定岩墙侵位的真实年龄。

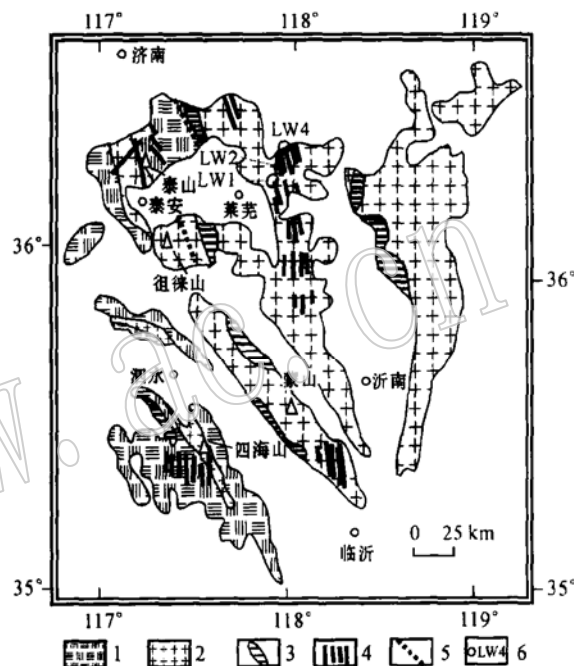


图 1 鲁西地质简图和采样位置

Fig. 1 Geological sketch map of western Shandong, showing sampling locations

- 1—TTG 岩石; 2—片麻状二长花岗岩; 3—绿岩; 4—基性岩墙群; 5—韧性剪切带; 6—采样位置
1—TTG rocks; 2—gneissic adamellite; 3—greenstone; 4—mafic dike swarms; 5—ductile shear zone; 6—sampling location

2 锆石特征

莱芜基性岩墙群走向 346° , 倾角 80° , 宽约 10~20 m, 长 5 km 左右, 未变形变质, 发育冷凝边。为挑选到原生锆石, 在莱芜东部选择一条宽 20 m、长 5 km 的北北西向辉绿岩墙采集样品。该岩墙侵位于新太古代片麻状二长花岗岩内, 岩墙北端被近水平的元古代土门群石英岩覆盖, 表明该岩墙侵位时代大致为古元古代和中元古代(图 2)。岩墙岩石主要由斜长石和普通辉石组成, 斜长石约占 50%~

表 1 鲁西地区莱芜基性岩墙群的 K-Ar 表观年龄
Table 1 K-Ar apparent ages of mafic dyke swarms in western Shandong

样品编号	岩性	K 含量 (%)	样品质量 (g)	放射成因 ⁴⁰ Ar		³⁸ Ar × 10 ⁻¹¹	⁴⁰ Ar/ ³⁸ Ar	³⁸ Ar/ ³⁶ Ar	表观年龄(Ma)
				10 ⁻⁹ mol/g	%				
LW1	辉绿岩	2.90	0.097 8	7.170	96.66	2.400 6	30.201 0 ± 0.178 0	288.2 ± 15.1	1 050.5 ± 15.1
LW2	辉绿岩	2.90	0.024 0	7.123	98.29	2.400 2	7.245 7 ± 0.049 1	2 138.8 ± 76.2	1 045.3 ± 15.5

由北京大学教育部造山带与地壳演化重点实验室利用 K-Ar 稀释法测定, 衰变常数 λ = 5.543 × 10⁻¹⁰/a, ⁴⁰K/K = 1.167 × 10⁻⁴。



图 2 莱芜基性岩墙与上覆新元古代地层的接触关系
Fig. 2 The field relation between the mafic dyke and the overlying Neoproterozoic strata

60%, 辉石约占 20%~30%, 辉绿结构, 板状斜长石格架间充填粒状钛辉石、磁铁矿和绿泥石, 有轻微蚀变。

锆石同位素定年样品(LW4)采自该岩墙的中部(图 1), 样品重约 20 kg, 坚硬新鲜, 无风化。为了避免交叉污染, 样品在河北区域地质调查所实验室经过严格的粉碎、重液分离和磁选, 在双目镜下挑纯, 获得 48 粒锆石, 颗粒粒度差别较大, 在 50~200 μm 之间。锆石透明、纯净、无色或淡黄色, 自形、半自形或他形。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, 进行反射光和透射光照相, 然后进行阴极发光(CL)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, 并确定 SHRIMP 测点的位置(图 3)。

3 分析方法和结果

锆石 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(Williams

et al., 1992; Williams, 1998; 宋彪, 2002)。应用锆石 TEMORA(年龄 417 Ma)进行元素分馏校正, 应用锆石 SL13(年龄 572 Ma; U 含量 238 μg/g)标定样品的 U、Th 和 Pb 含量。应用 SQUID 和 ISOPLLOT 软件处理数据。应用实测²⁰⁴Pb 作普通铅, 单个数据点的误差均为 1σ, 采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 加权平均年龄, 置信度为 95%。

对粒度较大的 16 粒锆石测定了 16 个测点(表 2)。因为样品的锆石颗粒很小, 为了精确测定, 尽量选择裂缝少且较平滑的较大颗粒。影像分析显示, 锆石颗粒外形特征主要为短柱状, 极少数为长柱状, 可分为两类(I 类和 II 类): I 类锆石(如: LW4_6.1)无色或淡黄色, 形态不规则, 裂缝发育, 自形程度差, 粒度差别较大, 一般 50~150 μm, 阴极发光较弱, 岩浆振荡环不完整, 晶体不完整, 这类锆石占 95%(图 3a、b 和 d); II 类锆石(如: LW4_7.1)无色透明纯净, 自形程度好, 裂缝较少, 较浑圆, 一般 100~200 μm, 阴极发光较强, 具有岩浆振荡环结构, 晶体规则完整, 但数目极少, 占锆石总数目的 5%(图 3a 和 c)。I 类锆石的普通 Pb 含量比较高, 一般在 0.40%~7.72% 之间, U 含量 54~728(×10⁻⁶), 一般低于 200(×10⁻⁶), Th/U 值多数为 0.10~1.54; II 类锆石的普通 Pb 含量比较低, 均小于 0.40%, U 含量 303~1 715(×10⁻⁶), Th/U 值为 0.22~0.65(表 2)。

莱芜辉绿岩墙的 SHRIMP 法锆石 U-Pb 测年结果表明, 两类锆石具有不同的年龄, 即²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄大于 1 800 Ma 和小于 1 800 Ma 两组数据(表 2)。I 类锆石(14 颗锆石, 14 个测点)给出的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄介于 1 053~2 537 Ma 之间, 均位于一条不一致线上, 其中 8 个锆石测点均位于谐和线及附近, LW4_13.1 测点给出的谐和年龄为 2 537 ± 16 Ma。这 8 个测点的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄集中介于 2 431~2 537 Ma 之间, 给出的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 加权平均年龄为 2 507 ± 17 Ma(MSWD=1.7), 代表 I 类锆石的形成时代为新太古代末 2.5 Ga 左右(图 4)。

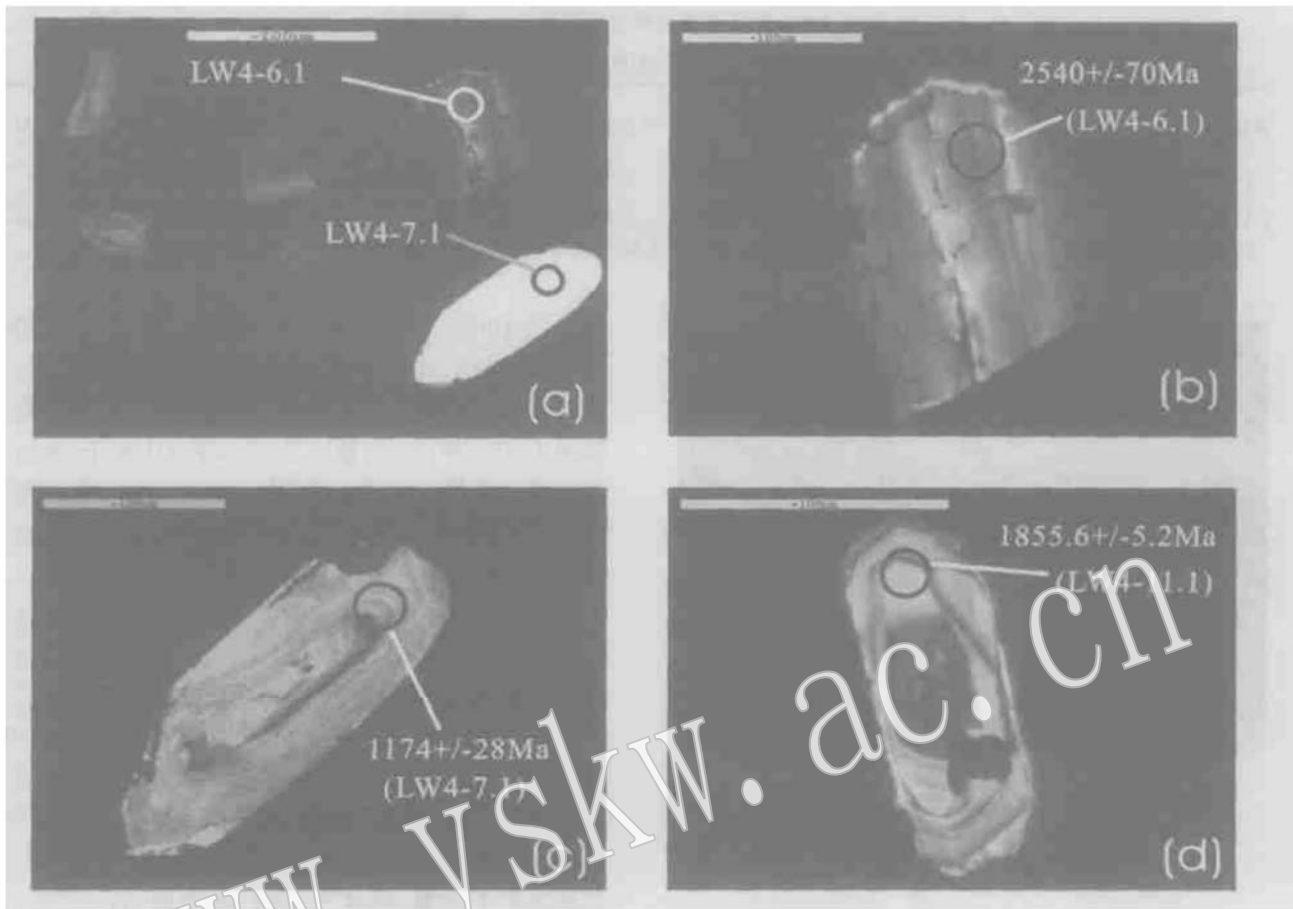


图3 Lw4样品锆石的阴极发光影像特征

Fig. 3 CL images of zircons from sample LW4

表2 莱芜辉绿岩墙LW样品的锆石SHRIMP U-Pb年龄分析结果

Table 2 The SHRIMP U-Pb ages of zircons from sample LW4 of diabase dyke in Laiwu

测点	$^{206}\text{Pb}_e$ / %	U $w_B/10^{-6}$	Th	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*$ / 10^{-6}	同位素比值						年龄/ Ma	
						$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
LW4_1.1	0.39	303	189	0.65	50.6	5.17	2.5	0.077 69	1.3	2.072	2.8	1 140 \pm 27	1 139 \pm 25
LW4_2.1	2.37	54	44	0.85	22.1	2.15	2.7	0.167 0	1.9	10.64	3.2	2 446 \pm 69	2 527 \pm 31
LW4_3.1	1.36	728	523	0.74	131	4.83	2.5	0.139 7	1.3	3.98	2.8	1 131 \pm 27	2 224 \pm 22
LW4_4.1	6.06	63	63	1.03	4.19	0.195	1.6	2.306	3.6	0.085 9	3.2	443 \pm 14	1 053 \pm 410
LW4_5.1	0.38	145	215	1.54	59.6	2.09	2.6	0.162 4	1.3	10.68	2.9	2 527 \pm 70	2 481 \pm 22
LW4_6.1	0.60	115	166	1.49	48.0	2.08	2.5	0.165 1	0.87	10.94	2.7	2 540 \pm 70	2 509 \pm 15
LW4_7.1	0.28	580	356	0.63	99.7	5.01	2.5	0.078 42	0.90	2.157	2.6	1 174 \pm 28	1 157 \pm 18
LW4_8.1	4.07	56	55	1.01	21.7	2.30	2.7	0.157 7	2.8	9.35	3.9	2 300 \pm 63	2 431 \pm 47
LW4_9.1	0.42	75	67	0.92	26.8	2.42	2.6	0.166 0	1.0	9.47	2.8	2 168 \pm 57	2 517 \pm 17
LW4_10.1	0.49	432	28	0.07	114	3.26	2.5	0.155 0	0.69	6.54	2.6	1 627 \pm 39	2 402 \pm 12
LW4_11.1	0.06	1 715	361	0.22	500	2.95	2.5	0.113 46	0.29	5.31	2.5	1 887 \pm 46	1 855.6 \pm 5.2
LW4_12.1	2.10	51	25	0.51	18.0	2.50	2.8	0.161 5	2.3	8.86	3.6	2 103 \pm 60	2 472 \pm 38
LW4_13.1	1.31	162	178	1.13	68.6	2.06	2.5	0.168 0	0.99	11.19	2.7	2 552 \pm 70	2 537 \pm 16
LW4_14.1	1.48	168	90	0.55	36.2	4.05	2.5	0.160 2	1.3	5.45	2.8	1 309 \pm 32	2 459 \pm 21
LW4_15.1	1.32	117	47	0.42	38.6	2.63	2.5	0.165 0	1.2	8.62	2.8	1 990 \pm 50	2 508 \pm 19
LW4_16.1	7.72	156	48	0.32	41.4	3.51	2.6	0.157 3	3.3	6.12	4.1	1 510 \pm 37	2 432 \pm 54

表中数据点 LW4_1.1 和 LW4_7.1 属 II 类锆石, 其余各点均为 I 类锆石; $^{206}\text{Pb}_e$ / % 为非放射成因铅在总的 ^{206}Pb 中所占的百分比; * 代表放射性成因铅。

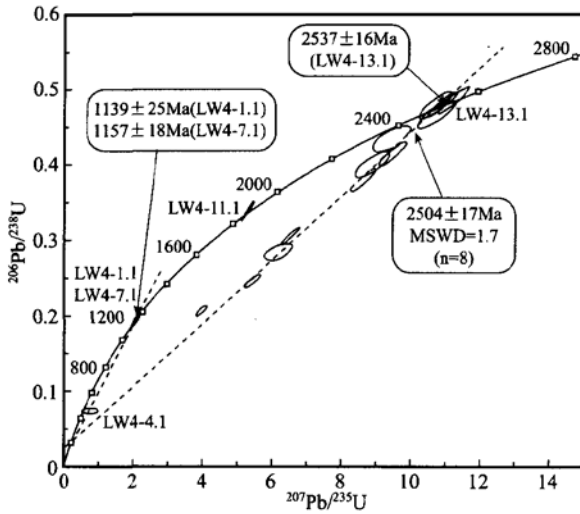


图 4 莱芜辉绿岩岩墙 LW4 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram for the diabase dyke (LW4) in Laiwu area

II 类锆石 (2 颗锆石, 2 个测点) LW4.1.1 和 LW4.7.1 给出的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄分别为 1139 ± 25 Ma 和 1157 ± 18 Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 1140 ± 27 Ma 和 1174 ± 28 Ma, 均落在谐和线上, 为谐和年龄, 相互十分吻合, 比较可靠 (图 4), 并与该岩墙的 K-Ar 表观年龄比较一致 (表 1), 可代表莱芜基性岩墙群的侵位年龄。岩墙的 K-Ar 表观年龄比 II 类锆石的年龄略小, 可能受后期中生代岩浆活动的影响, 存在 Ar 的丢失。

该岩墙的围岩为新太古代的二长花岗岩, 其锆石 U-Pb 一致线年龄为 2560 ± 11 Ma (Jahn *et al.*, 1988), 可见与 I 类锆石的形成时代比较接近, 结合前面对锆石的成因分析, I 类锆石 (13 个) 可能是在岩墙侵位时从围岩二长花岗岩岩体内捕获的。II 类锆石的 CL 图像和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄与 I 类锆石明显不同, 形成较晚, 约在中元古代的 1.1 Ga 左右。虽然 II 类锆石很少, 但这两个锆石的年龄均为谐和年龄, 而且十分接近, 与 K-Ar 同位素定年结果相互印证, 因此可以作为鲁西莱芜基性岩墙群的侵位年龄。

鲁西地区自中元古代岩浆活动以后, 整个古生代为比较稳定的浅海相, 没有强烈的岩浆活动, 直到中生代才再次发育强烈的岩浆活动 (王世进, 1991)。本区发育燕山期岩浆岩, 以花岗岩为主, 时代为 180 ~ 160 Ma (山东省地质矿产局, 1982)。可能是该期岩浆活动导致 2.5 Ga 的锆石发生 Pb^* 丢失。LW4

4.1 测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 443 ± 14 Ma, 可能是岩墙的原生锆石受中生代岩浆事件影响发生 Pb^* 丢失所致。另外, LW4.11.1 锆石具有明显的核幔结构, 可能也属于残余锆石 (图 3d), 幔部测点给出的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 1855.6 ± 5.2 Ma, 可能是重结晶年龄。

4 讨论

基性岩墙同位素年代学一直是一个难点问题。利用 K-Ar 定年方法, 由于放射成因氩的丢失, 致使获得的年龄比实际年龄偏小, 因此, K-Ar 年龄仅可作为一种参考年龄 (侯贵廷等, 1994; 刘玉琳等, 1999)。由于岩墙成分均一, 利用全岩 Rb-Sr 等时线和 Sm-Nd 等时线法很难获得精确的年龄数据, 并且矿物普遍存在蚀变现象, 利用岩墙的矿物 Rb-Sr 等时线和 Sm-Nd 等时线法也很难获得可信的年龄数据。由于锆石比较稳定, 不易蚀变, 受后期热事件影响较小, 锆石 U-Pb 法成为前寒武纪地质年代学的重要方法 (Hanes, 1987)。

锆石一般富集在酸性岩石中, 基性岩墙的原生锆石很少, 为基性岩墙群的精确定年带来困难。前人曾利用单颗粒锆石法测定基性岩墙群的年龄, 由于该方法很难辨别锆石的来源, 获得的年龄可能是混合年龄 (Hanes, 1987), 因此需要更有效的方法来测定基性岩墙群的绝对年龄。斜锆石一般是基性岩浆原生的, 所以若能在基性岩墙内挑到斜锆石, 利用斜锆石的 U-Pb 法获得的年龄基本可以肯定为基性岩墙的侵位年龄, 但基性岩墙内的斜锆石极少 (李江海等, 2001)。

锆石 SHRIMP U-Pb 法是目前前寒武纪地质年代学最有效的测年方法, 但不能盲目地直接使用测年结果, 一定要利用反射光、透射光、阴极发光和背散射等图像分析识别不同类型的锆石和不同成因, 尤其对于基性岩墙, 由于绝大多数锆石是从围岩捕获来的, 只有少数是基性岩浆原生的, 只有这部分少数的原生锆石的年龄才是基性岩墙的侵位年龄, 因此不要简单地以多数年龄数据的平均年龄来确定基性岩墙的侵位时代。本文在鲁西莱芜地区选取的辉绿岩墙, 通过阴极发光等图像分析方法, 区分出两类锆石, 即捕获锆石和原生锆石。鉴别出原生锆石的年龄才是基性岩墙的侵位年龄, 即 1139~1157 Ma, 该年龄比该岩墙群的 K-Ar 年龄 (1045~1050 Ma)

略大一些,是合理的。由于基性岩墙的原生岩浆锆石极少,绝大多数是从围岩捕获的残余锆石,因此在进行基性岩墙群的 U_Pb SHRIMP 年代学研究时,应该以锆石的成因分析为基础,谨慎划分锆石的成因类型和年龄谱系,找到岩墙原生的岩浆锆石年龄。另外,利用多种同位素定年方法来厘定基性岩墙群的侵位时代也是很必要的。

岩墙群等岩体由于常受后期岩浆活动的影响,因此岩墙群与其他岩体的交切关系以及与其他具有可靠年龄数据的岩体的关系也是确定岩墙群侵位时代和相对时代的一种有效方法。基性岩墙群侵位时代的确定需要从岩墙与围岩或其他侵入体的交切关系以及与上覆地层的关系等地质证据加以佐证,全面分析基性岩墙群的年龄数据的合理性。

致谢: 锆石测定工作得到北京离子探针中心宋彪研究员、王彦斌博士和万渝生研究员等的悉心指导,北京大学地球与空间科学学院的杨默涵和华金玉同学参加了野外工作,本工作受国家自然科学基金(批准号:40172066和40314141)的资助,在此一并致谢。

References

- Cao Guoquan. 1996. Early Precambrian Geology in the Western Shandong [M]. Beijing: Geological Publishing House, 78~ 89 (in Chinese).
- Chen Xiaode and Shi Lanbin. 1983. Initial study of diabase dyke swarms in Wutai-Taihang area[J]. Chinese Science Bulletin, 16: 1002~ 1005 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xiaode and Shi Lanbin. 1994. Basic dyke swarms in extensional structures[A]. Qian Xianglin. Study on Extensional Structures[C]. Beijing: Geological Publishing House, 71~ 74 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xiaode, Shi Lanbin and Jia Sanfa. 1992. Study on the Proterozoic dyke swarm in North China[J]. Seismology and Geology, 14(4): 351~ 357(in Chinese with English abstract).
- Geological Bureau of Shandong. 1982. The Regional Geology of Shandong Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 250~ 252 (in Chinese).
- Halls H C. 1982. The importance and potential of mafic dyke swarms in studies of geodynamic processes[J]. Geoscience Canada, 9(3): 145~ 154.
- Halls H C. 1987. Dyke swarms and continental rifting: some concluding remarks[A]. Halls H C and Fahrig W F. Mafic Dyke Swarms[C]. Geological Association of Canada Special Paper 34: 5~ 24.
- Halls H C and Zhang B. 2003. Crustal uplift in the southern Superior Province, Canada, revealed by paleomagnetism [J]. Tectonophysics, 362(1~ 4): 123~ 136.
- Hanes J A. 1987. Dating of Precambrian mafic dyke swarms by the Rb-Sr, K-Ar and Sm-Nd methods[A]. Halls H C and Fahrig W F. Mafic Dyke Swarms[C]. Geological Association of Canada Special Paper, 34: 137~ 146.
- Hou Guiting, Li Jianghai and Qian Xianglin. 2001. Geochemical characteristics and tectonic setting of Mesoproterozoic dyke swarms in northern Shanxi[J]. Acta Petrologica Sinica, 17(3): 352~ 357(in Chinese with English abstract).
- Hou Guiting and Mu Zhiguo. 1994. K-Ar ages and their geological significance of late Precambrian mafic dyke swarms in North China Craton[J]. Journal of Geology and Mineral Resources of North China, 9(3): 309~ 314 (in Chinese with English abstract).
- Jahn B M, Auvray B, Shen Q H, et al. 1988. Archean crustal evolution in China: The Taishan complex, and evidence for Juvenile crustal addition from long term depleted mantle[J]. Precambrian Research, 38: 381~ 403.
- Li Jianghai, Hou Guiting, Qian Xianglin, et al. 2001. Single Zircon U-Pb age of the initial Mesoproterozoic basic dyke swarms in Hengshan mountains and its implication for the tectonic evolution of the North China Craton[J]. Geological Review, 47 (3): 234~ 238 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yulin, Zhang Zhicheng, Guo Zhaojie, et al. 1999. K-Ar isochron dating of Kuluktag mafic dykes, Xinjiang autonomous region, and discussion on some related questions[J]. Geological Journal of China Universities, 5 (1): 54~ 58 (in Chinese with English abstract).
- Lü Fatang and Gao Shaoqiang. 1998. Geological features and REE geochemical evolution of Late Archean "Framework intrusive rocks" in the Mount Taishan area[J]. Regional Geology in China, 17(1): 9~ 15(in Chinese with English abstract).
- Qian Xianglin and Chen Yaping. 1987. Late Precambrian mafic dyke swarms of the North China Craton[A]. Halls H C and Fahrig W F. Mafic dyke swarms[C]. Geological Association of Canada Special Paper 34: 385~ 392.
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating [J]. Geological Review, 48 (supp.): 26~ 30 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shijin. 1990. The Precambrian intrusive rocks in the western Shandong, China[J]. Geology in Shandong, 6(1): 59~ 80 (in Chinese).
- Wang Shijin. 1991. Stage and phase division and basic features of Precambrian intrusive rocks in the western Shandong area[J]. Regional Geology in China, 4: 298~ 307(in Chinese with English abstract).
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe[A]. McKibben M A, Shanks III W C and Ridley W I. Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes, Reviews in Economic Geology[C], 7: 1~ 35.
- Williams I S, Buick I S and Cartwright I. 1992. An extended episode of early Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynolds Range, central Australia[J]. Journal of Metamorphic Geology, 14: 29~ 47.

Zhuang Yuxun, Wang Xinshe, Xu Honglin, *et al.* 1995. New advances in the study of Neoproterozoic- Paleoproterozoic crustal evolution in the Taishan area[J]. *Regional Geology in China*, 4: 360~ 367(in Chinese with English abstract).

Zhuang Yuxun, Wang Xinshe, Xu Honglin, *et al.* 1997. Main geological events and crustal evolution in Early Precambrian of Taishan region[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 13(3): 313~ 366(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

曹国权. 1996. 鲁西早前寒武纪地质[M]. 北京: 地质出版社, 78~ 89.

陈孝德, 史兰斌. 1983. 五台-太行辉绿岩岩墙群的初步研究[J]. *科学通报*, 16: 1002~ 1005.

陈孝德, 史兰斌. 1994. 伸展构造中的基性岩墙群[A]. 钱祥麟. 伸展构造研究[C]. 北京: 地质出版社, 71~ 74.

陈孝德, 史兰斌, 贾三发. 1992. 华北元古代基性岩墙群研究[J]. *地震地质*, 14(4): 351~ 357.

侯贵廷, 李江海, 钱祥麟. 2001. 晋北地区中元古代岩墙群的地球化学特征和大地构造背景[J]. *岩石学报*, 17(3): 352~ 357.

侯贵廷, 穆治国. 1994. 华北克拉通晚前寒武纪镁铁质岩墙群 K₂Ar

年龄及其地质意义[J]. *华北地质矿产杂志*, 9(3): 267~ 270.

李江海, 侯贵廷, 钱祥麟, 等. 2001. 恒山中元古代早期基性岩墙群的单颗粒锆石 U₂₃₈Pb 年龄及其克拉通构造演化意义[J]. *地质论评*, 47(3): 234~ 237.

刘玉琳, 张志诚, 郭召杰, 等. 1999. 库鲁克塔格基性岩墙群 K₂Ar 等时年龄测定及其有关问题讨论[J]. *高校地质学报*, 5(1): 54~ 58.

吕发堂, 高绍强. 1998. 莱芜地区晚太古代“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.

山东省地质矿产局. 1982. 山东省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 250~ 252.

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.

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: 369~ 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.

第八届全国同位素地质年代学和同位素地球化学学术研讨会 将于 2005 年 10 月在南京召开

自第七届全国同位素地质年代学和同位素地球化学学术讨论会召开以来, 已经过去四年。在这期间, 我国同位素地质年代学和同位素地球化学研究取得了许多新的重要进展, 获得了一系列重要成果, 特别是 SHRIMP_II 锆石微区定年技术和 LA_MC_ICP_MS 分析技术为我国同位素地质年代学和同位素地球化学研究开辟了一片新天地。为了促进同行交流与展示最新研究成果, 促进学科交叉和方法借鉴, 推动我国同位素地质年代学和同位素地球化学研究的快速健康发展, 中国地质学会同位素地质专业委员会、中国矿物岩石地球化学学会同位素地球化学专业委员会联合发起, 决定于 2005 年 10 月中下旬在南京大学召开“第八届全国同位素地质年代学和同位素地球化学学术研讨会”。

此次会议由中国地质学会同位素地质专业委员会、中国矿物岩石地球化学学会同位素地球化学专业委员会、国土资源部同位素地质重点实验室、内生金属成矿机制研究国家重点实验室(南京大学)、南京大学地球科学系主办, 内生金属成矿机制研究国家重点实验室(南京大学)、国土资源部同位素地质重点实验室承办, 会议讨论内容有: 同位素新理论、新技术、新方法及其应用, 地球全球变化与近现代环境(海洋、大气、河湖、岩溶、土壤), 大陆动力学与造山带演化及其成矿作用, 矿产资源、能源和水资源及太阳系与地球演化等。会议将安排大会发言、分组报告和论文展示, 并将根据情况组织专题讨论, 并在会后组织地质考察。欢迎各位专家届时踊跃参会, 有意参会者, 请直接与会议筹备组联系, 联系人: 刘辉, 地址: 北京百万庄大街 26 号中国地质科学院地质研究所, 邮编: 100037, 电话: (010) 68999764, 传真: (010) 68997803, E_mail: lhnet@163.net; lyh@mx.cei.gov.cn。