

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

恒山中元古代早期基性岩墙群的单颗粒锆石 U-Pb 年龄及其克拉通构造演化意义

李江海¹⁾ 候贵廷¹⁾ 钱祥麟¹⁾ H. C. HALLS²⁾ Don DAVIS³⁾

1) 北京大学地质学系, 100871

2) Dept. Geology, University of Toronto at Mississauga, Mississauga, Ont. Canada L5L 1C6

3) Jack Satterly Geochronological Laboratory, Royal Ontario Museum, Toronto, Ont. Canada M5S 2C6

内容提要 华北克拉通中北部变质基底发育大规模的前寒武纪基性岩墙群, 由于基性岩墙同位素定年技术存在问题, 因此一直未获得岩墙群的确切年龄数据。本文利用单颗粒锆石 U-Pb 化学法, 首次获得恒山地区北西向基性岩墙群的 U-Pb 年龄为 1769.1 ± 2.5 Ma, 并证明它代表基性岩墙群的侵位年龄, 这一年龄数据也是华北克拉通大规模分布的未变质基性岩墙群已知的最古老年龄。综合分析同期岩浆活动的同位素年龄记录, 本文提出中元古代早期华北的岩浆侵位发生于伸展构造背景下。

关键词 基性岩墙群 中元古代 华北 同位素年龄 伸展作用

在太行山—五台山—吕梁山—恒山及晋北—内蒙古交界区的太古宙变质岩区, 广泛分布着中元古代基性岩墙群, 它们记录了重要的裂解地质事件 (Qian et al., 1987)。长久以来, 对华北中元古代基性岩墙群时代的研究主要依据于 K-Ar 年龄, 无确切的锆石 U-Pb 同位素年龄, 已获得的晋北基性岩墙群的 K-Ar 等时线年龄为 1.43 Ga, 并认为它们的侵位高峰为 1.2~1.6 Ga(侯贵廷等, 1994)。由于所获得的 K-Ar 年龄范围较宽, 难以对岩墙群进行区域构造对比。基性岩墙群为指示超大陆再造的良好构造标志(李江海等, 1997; 李江海, 1998), 查明其确切的侵位时代具有重要意义。笔者利用单颗粒锆石 U-Pb 化学法, 首次获得恒山北北西向基性岩墙群的同位素地质年龄为 1769.1 ± 2.5 Ma, 为华北目前已知最古老的未变质基性岩墙群的年代。本文对此年龄进行报道, 并探讨其构造演化意义。

1 地质背景

华北中元古代基性岩墙群主要分布于晋冀蒙高级变质岩区(图 1), 中元古代早期坳拉谷系向克拉通中部交汇的构造部位, 这些岩墙群的成分主要为

大陆拉斑玄武岩, 围岩为麻粒岩相—高角闪岩相的太古宙高级变质基底, 在五台山花岗岩—绿岩区基性岩墙群明显减少, 反映地壳层次变化对岩墙群出露的影响。至少可以识别出 3 期基性岩墙群, 从野外构造切割关系判断, 由早到晚依次为 NW—NNW 向(北太行山—恒山)、WNW—近 EW 向(吕梁山)及 NE 向基性岩墙群(大同北部—恒山南部), 以 NW—NNW 向的太行—恒山基性岩墙群规模最大。太行—恒山基性岩墙群从太行山南段的赞皇区、太行山北段的阜平区, 经晋北恒山—阳高, 以及内蒙丰镇, 向北西可追索至武川高级变质区, 类似的 NW—NNW 向基性岩墙群向东南可以追索至鲁西高级变质岩区。因此, 华北克拉通 NW 向的基性岩墙群延伸长度达上千千米, 几乎横穿了整个华北克拉通腹地。在整个区域内(涞源县东部、五台山东部、繁峙县东北部、阜平县西北部), NW—NNW 向基性岩墙群主要被长城系高于庄组底部地层不整合覆盖(超覆于太古宙变质基底上)。在阳原县东北部、恒山中部—东部太古宙变质基底内侵入的 NW—NNW 向的岩墙群, 未侵入高于庄组一大红峪组地层。因此, 从野外关系判断, 太行—恒山基性岩墙群

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 49832030, 49772143, 49572140)的成果。

收稿日期: 2000-09-11; 改回日期: 2001-02-21; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 李江海, 男, 1965 年生。1986 年毕业于北京大学地质学系, 1989 年及 1992 年先后在北京大学地质学系获理学硕士和博士学位。1992~1994 年在中国科学院地质研究所进行博士后研究。1997 年、1999 年、2000 年先后赴加拿大多伦多大学和德国美因茨大学开展合作科学研究, 现为北京大学地质学系副教授, 主要从事区域构造学及前寒武纪地质学的研究与教学。通讯地址: 100871, 北京大学地质学系; 电话: 010—62751153; Email: jhli@pku.edu.cn。

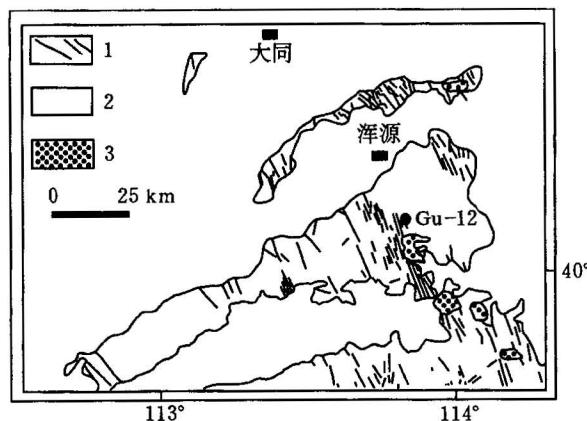


图1 恒山基性岩墙群同位素定年采样位置图

Fig. 1 Geological sketch map showing the location of age dating samples of mafic dyke swarm, Hengshan metamorphic terrain, North China Craton

1—中元古代基性岩墙群;2—太古宙变质基底;3—中生代花岗岩体;Gu-12—基性岩墙定年样品

1—Mesoproterozoic mafic dyke swarm; 2—Archean metamorphic basement; 3—Mesozoic granite; Gu-12—age dating sample of mafic dyke

应形成于中元古代早期。

恒山—五台—太行山变质岩区的中元古代基性岩墙群主要为NW—NNW向,主要出现于恒山东部和北部、太行山北段的西北部,围岩以新太古代高角闪岩相—麻粒岩相深成片麻岩为主,基性岩墙的岩浆侵位主要受张剪性裂隙控制(侯贵廷等,1999)。这些基性岩墙群产状直立,边界规则,延伸较远,单个岩墙可达数千米长(图1)。在恒山地区岩墙群出现于长城系上部地层所超覆的新太古代灰色片麻岩—花岗片麻岩变质基底,岩墙群的东北部为燕辽坳拉谷的东西向及西南向分支的交汇部位。

基性岩墙的年代学测试样品(编号Gu-12)系利用小型汽油钻机采自恒山东部浑源县中庄铺村西的采石场山顶(见图1),岩石露头新鲜完整。所采样的基性岩墙群NNW向展布,围岩为新太古代TTG—花岗质片麻杂岩(锆石SHRIMP U-Pb及单颗粒锆石Pb-Pb年龄主要集中于2.50 Ga左右(Li Jianghai et al., 2000))。所采样的岩墙宽度约100 m,长度大于8 km,岩墙群未变质,为辉绿岩。主要矿物为单斜辉石、斜长石,极少量黑云母、角闪石和石英;副矿物为磷灰石,未见橄榄石。单斜辉石自形较好,表明结晶较早。石英出现于蠕英石内,并且粒度较大。磷灰

石呈针状矿物出现。少量单斜辉石显示绿色角闪石边缘,记录了后期的轻微蚀变作用。斜长石具有云雾状特征(clouded feldspar),这种结构表明岩墙群侵位时地壳层次较深(Halls et al., 1995)。

2 岩石样品处理方法

本项研究中岩石样品的处理及其同位素测定全部在加拿大安大略皇家博物馆Jack Satterly同位素地质年代学实验室进行。在数十件岩心薄片研究的基础上,选出测年样品(编号Gu-12)。单个岩心重约100 g,共选用同一岩墙的3件岩心进行锆石类矿物分选。先利用颚式破碎机和盘磨机将样品粉碎,再利用重液和Frantz磁选机,仔细分离出约50粒锆石。它们多为裂隙发育无色晶体碎粒,从中再选并几粒无裂隙的新鲜晶体进行磨蚀,具体方法见Krogh(1982)。将这些晶体分别加入²⁰⁵Pb-²³⁵U混合稀释剂,用HF在聚四氟乙烯容器内溶解,实验程序见Krogh(1973)。将这些样品烘干,再次用盐酸溶解,然后再次烘干,并且用硅凝胶和磷酸沉淀在质谱仪灯丝上。利用配备有Daly检测器的VG354质谱仪进行同位素成分分析。尽管未对样品中的Zr进行分离,但质谱仪上的离子发射在2~3 h以上保持强烈而稳定的状态。

表1给出了分析结果(误差以 1σ 给出),并进行了投图(图2)(误差椭球以 2σ 投影)。利用Davis(1982)编制的程序进行了回归分析,年龄误差依据95%置信度计算。4个锆石样品的Th/U值高于含长英质岩石锆石的Th/U值(Ahrens et al., 1967)。由于镁铁质岩浆中结晶的锆石常显示较高的Th/U值(Heaman et al., 1990),可以认为上述同位素分析结果支持这些锆石并非捕虏晶的解释。第5个锆石类矿物晶体的Th/U值明显偏低,它被认为是在矿物分选过程中形成的矿物碎片,也是所分析锆石类中的唯一的棕色颗粒。根据其Th/U值较低及其颜色,它可能是斜锆石,也是镁铁质岩墙中偶见的副矿物(Heaman et al., 1993)。这一斜锆石的年龄和一个锆石年龄接近。对全部的5个数据点回归给出了上交点年龄为1769.1±2.5 Ma(图2),其拟合概率为26%。这一拟合概率主要是由最不一致的数据点降低的,后者也是较不精确的点。由于出现较一致的斜锆石和锆石的U-Pb年龄,而斜锆石不可能为捕虏体,因此这一年龄应该解释为基性岩墙的侵位年龄。

表 1 基性岩墙锆石的 U-Pb 同位素成分测定结果

Table 1 Analytical results of single zircon U-Pb for mafic dyke

样品编号	样品描述	重量 (mg)	U 浓度 ($\times 10^{-6}$)	Th/U	普通 Pb 含量 (pg)	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄 (Ma)
1	粉红色磨蚀锆石	0.0002	1425	1.03	0.7	892.6	0.31494(0.00035)	4.6959(0.0063)	1768.3(1.1)
2	棕色磨蚀锆石	0.0005	256	0.09	0.5	565.3	0.31360(0.00040)	4.6793(0.0150)	1769.6(4.7)
3	无色磨蚀锆石	0.0010	773	3.07	0.4	4712.8	0.30326(0.00032)	4.5060(0.0057)	1762.0(0.9)
4	无色扁平磨蚀锆石	0.0003	1125	0.68	1.1	681.2	0.30236(0.00032)	4.4897(0.0060)	1760.8(1.2)
5	无色长柱状磨蚀锆石	0.0003	1906	1.84	13.8	99.9	0.29757(0.00041)	4.3855(0.0175)	1747.0(6.0)

注:括弧内数值为误差(1σ)。

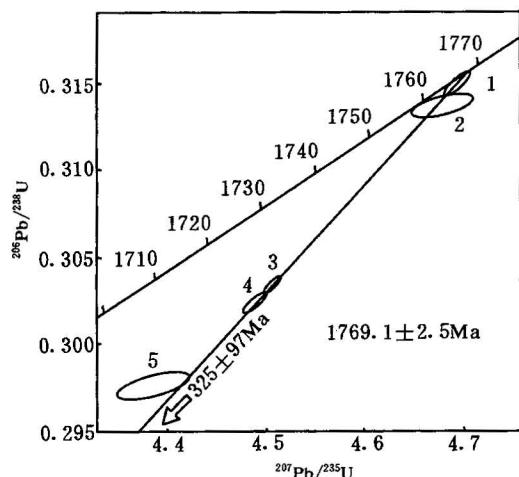


图 2 恒山地区 NNW 向基性岩墙群的锆石 U-Pb 同位素年龄一致线

Fig. 2 Concordia diagram showing U-Pb data points from analyses of zircon

3 恒山基性岩墙群同位素年龄的地质意义

华北克拉通中元古代早期($1.85 \sim 1.70$ Ga)的主要构造单元为:坳拉谷系、基性岩墙群、非造山深成岩(环斑花岗岩、斜长岩、石英正长岩等)带以及隆升的高级变质基底。本文报道的恒山基性岩墙群的同位素地质年龄代表华北最老的不变质基性岩墙群年龄。由于这一岩墙群为华北最大规模的岩墙群,其岩浆侵位年龄的准确测定对于区域大地构造格局具有重要意义。即在该岩墙群侵位期间华北克拉通在大范围内以伸展构造体制为特点,并由此引发了对“吕梁运动”造山性质基本概念的质疑。

综合古元古代—中元古代之交代表性岩浆岩同位素年龄资料(郁建华等,1990;胡世玲等,1990;王凯怡,1991;陆松年等,1991;白瑾等,1992;宋彪,1993;孙大中等,1993;李怀坤等,1995;王汝铮等,1996;胡小蝶等,1997;李惠民等,1997;梁华英等,

1998),初步可以判断,恒山及邻区发生了以下岩浆活动序列:① >1.90 Ga, 内蒙古南部孔兹岩系重熔及 S型花岗岩侵位;② $1.86 \sim 1.85$ Ga, 冀北及晋南花岗岩侵位,地表形成同期的坳拉谷并伴随火山喷发;③ $1.80 \sim 1.77$ Ga, 变质基底发生花岗岩、紫苏花岗岩及岩脉侵位,在晋-冀-蒙区 NW—NNW 向基性岩墙群及花岗岩侵位;④ 1.70 Ga, 张宣碱性杂岩—密云环斑花岗岩—怀柔正长岩侵位,随后在地表发生团山子一大红峪组火山活动($1.68 \sim 1.63$ Ga)。

古元古代—中元古代之交华北克拉通明显以伸展体制为特征,克拉通南北边缘出现坳拉谷(中条、燕辽、白云鄂博、渣尔泰)并向克拉通内部发展,其中的沉积演化为华北克拉通未变质沉积盖层。伸展初期以非造山岩浆活动为特点,包括双峰式深成岩(如奥长环斑花岗岩、斜长岩—辉长岩杂岩, 1.70 Ga)—火山岩及火山沉积岩(熊耳群、西洋河群、团山子组一大红峪组、白云鄂博群),以及大量基性岩墙群的形成和侵位。

参加部分野外工作的还有何文渊博士、张宝兴博士、杨庄丽先生及叶良新硕士。在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 白瑾,王汝铮,郭进京. 1992. 五台山早前寒武纪重大地质事件及其年代. 北京: 地质出版社, 34~53.
- 侯贵廷,穆志国. 1994. 华北克拉通晚期寒武纪镁铁质岩墙群 K-Ar 年龄及地质意义. 华北地质矿产杂志, 9(3): 267~270.
- 侯贵廷,张臣,钱祥麟. 1999. 华北克拉通中元古代基性岩墙群形成机制及构造应力场. 地质论评, 44(3): 309~314.
- 胡世玲,王松山,桑海清等. 1990. 大庙斜长岩同位素地质年龄、稀土地球化学及其地质意义. 地质科学, (4): 332~343.
- 胡小蝶,陈志宏,赵彦明等. 1997. 河北小营盘金矿成矿时代——单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄新证据. 前寒武纪研究进展, 20(2): 22~28.
- 李惠民,王汝铮. 1997. 单颗粒锆石 U-Pb 法判定的凤凰山花岗岩的年龄. 前寒武纪研究进展, 20(3): 56~62.
- 李江海,何文渊,钱祥麟. 1997. 基性岩墙群的成因机制及其古板块再造意义. 高校地质学报, 3(3): 271~281.
- 李江海. 1998. 超大陆旋回及早前寒武纪板块构造演化. 地学前缘,

- 5(增刊): 141~151.
- 李怀坤, 李惠民, 陆松年. 1995. 长城系团山子火山岩颗粒锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地球化学, 24(1): 43~48.
- 梁华英, 莫测辉, 王秀璋. 1998. 张家口水泉沟碱性杂岩体单颗粒锆石 ^{207}Pb - ^{206}Pb 年龄分析. 地球化学, 27(1): 59~65.
- 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 法准确年. 中国地质科学院院报, (22): 137~146.
- 宋彪. 1993. 密云环斑花岗岩的同位素地质年代学, 稀土地球化学和成因讨论. 中国地质科学院地质研究所所刊, (25): 137~157.
- 孙大中, 胡维兴. 1993. 中条山前寒武纪年代构造格架和年代地壳结构. 北京: 地质出版社, 79~117.
- 王汝铮, 颜耀阳, 李惠民等. 1996. 山西五台山地区早前寒武纪年代构造格架. 见: 中国地质学会编. “八五”地质科技重要成果学术交流会议论文选集. 北京: 冶金出版社, 194~197.
- 王凯怡. 1991. 山西早元古代芦芽山石英二长岩的初步研究. 科学通报, 36: 685~687.
- 郁建华. 1990. 元古代北京裂谷槽中环斑花岗岩的地球化学. 地质学报, 64(2): 322~335.

References

- Ahrens L H, Cherry R D, Erlank A J. 1967. Observations on the Th-U relationship in zircons from granitic rocks and from kimberlites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31: 2379~2387.
- Bai Jin, Wang Ruzheng, Guo Jinjing. 1992. The major geological events of early Precambrian and their age dating in Wutai Region. Beijing: Geological Publishing House, 34~53 (in Chinese with English abstract).
- Davis D W. 1982. Optimum linear regression and error estimation applied to U-Pb data. *Canadian Journal of Earth Science*, 19: 2141~2149.
- Halls H C, Zhang B. 1995. Tectonic implications of clouded feldspar in Proterozoic mafic dyke swarms. *Geol. Soc. India, Memoir*, 33: 65~80.
- Heaman L M, Brown R, Crocket J. 1990. The chemical composition of igneous zircon suites: implications from geochemical tracer studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54: 1597~1607.
- Heaman L M, Le Cheminant A N. 1993. Paragenesis and U-Pb systematics of baddeleyite(ZrO_2). *Chemical Geology*, 110: 95~126.
- Hou Guiting, Mu Zhiguo. 1994. K-Ar ages and their geological significance of late Precambrian mafic dyke swarms in North China Craton (in Chinese). *Shanxi Geology*, 9(3): 267~270. (in Chinese with English abstract).
- Hou Guiting, Zhang Chen, Qian Xianglin. 1999. The genetic mechanism and structural stress field for the Mesoproterozoic mafic dyke swarm of North China Craton. *Geological Review*, 44(3): 309~314 (in Chinese with English abstract).
- Hu Shiling, Wang Songshan, Sang Haiqing, et al. 1990. The isotopic age dating, rare earth element geochemistry of Damiao anorthosite, and their geological implication. *Scientia Geologica Sinica*, (4): 332~343. (in Chinese with English abstract).
- Hu Xiaodie, Chen Zihong, Zhao Yanming, et al. 1997. The single grain zircon U-Pb isotopic age dating for the Xiaoyingpan gold deposit, Hebei. *Research Progress of Precambrian Geology*, 20(2): 22~28 (in Chinese with English abstract).
- Krogh T E. 1973. A low contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37: 485~494.
- Krogh T E. 1982. Improved accuracy of U-Pb ages by the creation of more concordant systems using an air abrasion technique. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46: 637~649.
- Li Huimin, Wang Ruzheng. 1997. The single-grain zircon U-Pb age dating of Fenghuangshan granite. *Progress of Precambrian Research*, 20(3): 56~62 (in Chinese with English abstract).
- Li Jianghai, He Wenyun, Qian Xianglin. 1997. On the genetic mechanism of mafic dyke swarm and their implication of reconstruction of paleoplato. *Geological Bulletin of Universities*, 3(3): 271~281 (in Chinese with English abstract).
- Li Jianghai. 1998. The early Precambrian supercontinent cycles and pale tectonic evolution. *Earth Science Front*, 5 (Special volumes): 141~151 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Li Huimin, Lu Songnian. 1995. Single grain zircon U-Pb ages for volcanics from Tuanshanzi Formation of Changcheng System and their geological implications. *Geochimica*, 24(1): 43~48 (in Chinese with English abstract).
- Liang Huaying, Mo Cehui, Wang Xiuzhang. 1998. The single-grained zircon ^{207}Pb - ^{206}Pb age dating with Shuiquangou alkaline complex, Zhangjiakou. *Geochimie*, 27(1): 59~65 (in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Li Huimin. 1991. Single grain zircon U-Pb ages for volcanics from Dahongyu Formation of Jixian System. *Bulletin of Chinese Academy of Geological Sciences*, (22): 137~146 (in Chinese with English abstract).
- Qian Xianglin, Chen Yaping. 1987. Late Precambrian mafic swarms of the North China craton. In: Halls H C, et al. ed. *Mafic Dyke Swarms*. Geological Association of Canada Special Papers, 34: 385~391.
- Song Biao. 1993. The isochronological age dating and rare earth element geochemistry of Miyun rapakivi granite, its implication for origin. *The Bulletin of Geological Institute, China Academy of Geological Science*, 25: 137~157 (in Chinese with English abstract).
- Sun Dazhong, Hu Weixing. 1993. Precambrian chronotectonic framework and chronological crustal structure of Zhongtiao Mt. Beijing: Geological Publishing House, 79~117 (in Chinese with English abstract).
- Wang Kaiyi. 1991. The preliminary study of Luyashang Paleoproterozoic quartz-monzonite, Shanxi. *Bulletin of Science*, 36: 685~687 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ruzheng, Yan Yaoyang, Li Huimin, et al. 1996. The early Precambrian chronological framework of Wutai metamorphic terrain, Shanxi. In: Geological Society of China. ed. *Proceeding of Symposium on Progress of Geological Science and Technology during the period from 1990 to 1995*. Beijing: Metallurgical Publishing House, 194~197 (in Chinese with English abstract).
- Yu Jianhua. 1990. The geochemistry of rapakivi granite from Beijing Proterozoic aulacogen. *Acta geologica Sinica*, 64(4): 322~335 (in Chinese with English abstract).

Single-Zircon U-Pb Age of the Initial Mesoproterozoic Basic Dike Swarms in Hengshan Mountain and Its Implication for the Tectonic Evolution of the North China Craton

LI Jianghai¹⁾, HOU Guiting¹⁾, QIAN Xianglin¹⁾, H. C. HALLS²⁾, Don DAVIS³⁾

1) Department of Geology, Peking University, Beijing, 100871, China

2) Department of Geology, University of Toronto at Mississauga, Mississauga, Ont. L5L 1C6, Canada

3) Jack Satterly Geochronological Laboratory, Royal Ontario Museum, Toronto, Ont. M5S 2C6, Canada

Abstract

Precambrian basic dike swarms are developed extensively in the north-central part of the North China craton, but no precise age data have been obtained owing to the problem of the isotope dating technique of basic dikes. The authors used the single-zircon U-Pb chemical method to date the NW-trending basic dike swarm in the Hengshan Mountain area and for the first time obtained a single-zircon U-Pb age of 1769.1 ± 2.5 Ma. They have proved that this age represents the emplacement age of the basic dike swarm and is also the known oldest age of unmetamorphosed basic dike swarms distributed extensively in the North China craton. This age combined with the isotope age records of the contemporaneous magmatism suggests that the initial Mesoproterozoic magma series in the North China craton occurred in the extensional tectonic setting.

Key words: mafic dyke swarm; Mesoproterozoic; North China; isotopic age dating; extensional tectonics