

文章编号: 1000-6524(2004)02-0141-06

# 北京云蒙山片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义

刘 翠<sup>1</sup>, 邓晋福<sup>1</sup>, 苏尚国<sup>1</sup>, 肖庆辉<sup>2</sup>, 罗照华<sup>1</sup>, 王启航<sup>1</sup>, 许立权<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 国土资源部 信息中心, 北京 100812)

**摘 要:** 应用锆石 SHRIMP 定年方法对云蒙山片麻状花岗岩进行年代学研究, 得到 4 组年龄: 144 ± 4 Ma, 160~ 163 Ma, 193~ 218 Ma 和 2 416 Ma。其中 144 ± 4 Ma 代表了云蒙山岩体的侵位时间, 160~ 163 Ma 和 193~ 218 Ma 两组年龄可能是岩浆侵位过程中捕获锆石的年龄。2 416 Ma 与 Davis 等的锆石 U-Pb 法上交点年龄(1 900~ 2 400 Ma)一致, 可能反映了原岩的时代, 说明该花岗岩来源于晚太古代片麻岩的局部熔融或者是岩浆侵位过程中捕获了晚太古代的锆石。

**关键词:** 云蒙山; 片麻状花岗岩; 锆石 SHRIMP 定年; 侵位时代

中图分类号: P588.12<sup>+</sup> 1; P597

文献标识码: A

## Zircon SHRIMP dating of Yunmengshan gneissic granite and its geological significance

LIU Cui<sup>1</sup>, DENG Jin\_fu<sup>1</sup>, SU Shang\_guo<sup>1</sup>, XIAO Qing\_hui<sup>2</sup>, LUO Zhao\_hua<sup>1</sup>,  
WANG Qi\_hang<sup>1</sup> and XU Li\_quan<sup>1</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Information Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China)

**Abstract:** Zircon SHRIMP dating was performed to study Yunmengshan gneissic granite and, as a result, four groups of zircon ages were obtained, namely, 144 ± 4 Ma, 160~ 163 Ma, 193~ 218 Ma and 2 416 Ma. The age of 144 ± 4 Ma represents the emplacement age of Yunmengshan gneissic granites, and can serve as new important evidence for the emplacement of Yunmengshan gneissic granite. The two age groups of 160~ 163 Ma and 193~ 218 Ma probably represent the ages of zircon captured during the emplacement of magma. The age of the inherited zircon is about 2 416 Ma, identical with the zircon U-Pb upper-intercept ages by Davis (1996). This suggests that Yunmengshan gneissic granite was probably derived from partial melting of late Archean gneiss or that late Archean zircon was captured during magmatic intrusion.

**Key words:** Yunmengshan; gneissic granite; zircon SHRIMP dating; emplacement age

云蒙山位于北京的北东方向, 横亘于新生代华北盆地北部边缘, 是燕山山脉西段的一部分。燕山地区在中、新生代经历了复杂的构造运动和岩浆作用, 云蒙山岩体是其中的一部分。该岩体的年代学

研究, 对于燕山地区中新世构造演化具有重要意义。有关云蒙山岩体的研究成果较多(刘树文, 1991; 北京市地质矿产局, 1991; Davis *et al.*, 1994, 1996; 郁建华等, 1994; 张建新等, 1997; 朱大岗等,

收稿日期: 2003-10-17; 修订日期: 2004-01-13

基金项目: 中国地质调查局资助项目(200113900018); 国家自然科学基金重点资助项目(40234048)

作者简介: 刘 翠(1973-), 女, 在读博士, 岩石学专业, 电话: 010-82322002, E-Mail: liucui@cugb.edu.cn。

2000; 鲍亦冈等, 2001), 但由于该岩体具有片麻状构造, 对其侵入时代尚有不同认识(北京市地质矿产局, 1991)。采用黑云母 K\_Ar 法定年得到的年龄都集中在 114~120Ma 之间, 如中国科学院地球化学研究所(1962)测得的 115.9 Ma、中国科学院地质所(1985)测得的 119.3 ± 1.4 Ma、114 ± 1.6 Ma、117.9 ± 1.4 Ma(转引自北京市地质矿产局, 1991; 郁建华等, 1994; 鲍亦冈等, 2001)。郁建华等(1994)根据上述数据将该岩体归入燕山晚期。鲍亦冈等(2001)将其划归早白垩世, 认为其形成年龄在 139~125 Ma 之间。北京市地质矿产局(1991)将北京地区的燕山期岩浆侵入活动分为 3 个阶段: 燕山早期(195~160 Ma)、燕山中期(160~137 Ma)、燕山晚期(137~80 Ma), 并根据黑云母 K\_Ar 法定年数据(114~120 Ma)及野外地层与岩体、岩体与岩体的相互穿切关系, 认为云蒙山花岗岩体形成于侵入活动最强烈的第 3 阶段, 是燕山晚期的侵入产物。Davis 等(1996)

对北京市地质矿产局提出的 135Ma 的年龄意义提出质疑, 认为北京市岩浆岩图中所示的大多数黑云母 K\_Ar 年龄为冷却年龄, 而不是侵位年龄, 并通过野外关系和锆石 U\_Pb 年龄测定认为云蒙山岩体形成于 141 ± 2 Ma、143 ± 3 Ma。为确定云蒙山岩体的侵位年龄, 笔者对岩体进行了精确的锆石 SHRIMP 定年研究, 取得了较理想的结果。

## 1 区域地质概况及样品岩石学特征

云蒙山岩体呈岩基状分布于密云与怀柔两县交界处的云蒙山—石门山一带, 出露面积共 270 km<sup>2</sup>(图 1)。岩基侵位于云蒙山短轴背斜的核部, 呈北北东向展布。背斜由一套可能属于中元古代的浅变质岩及四合堂群变质岩组成, 总体北北东向倾斜, 倾角在近岩体处较缓, 向外变陡, 转折端在四合堂附近, 地层产状随岩体边界的转折而成弧形分布(北京

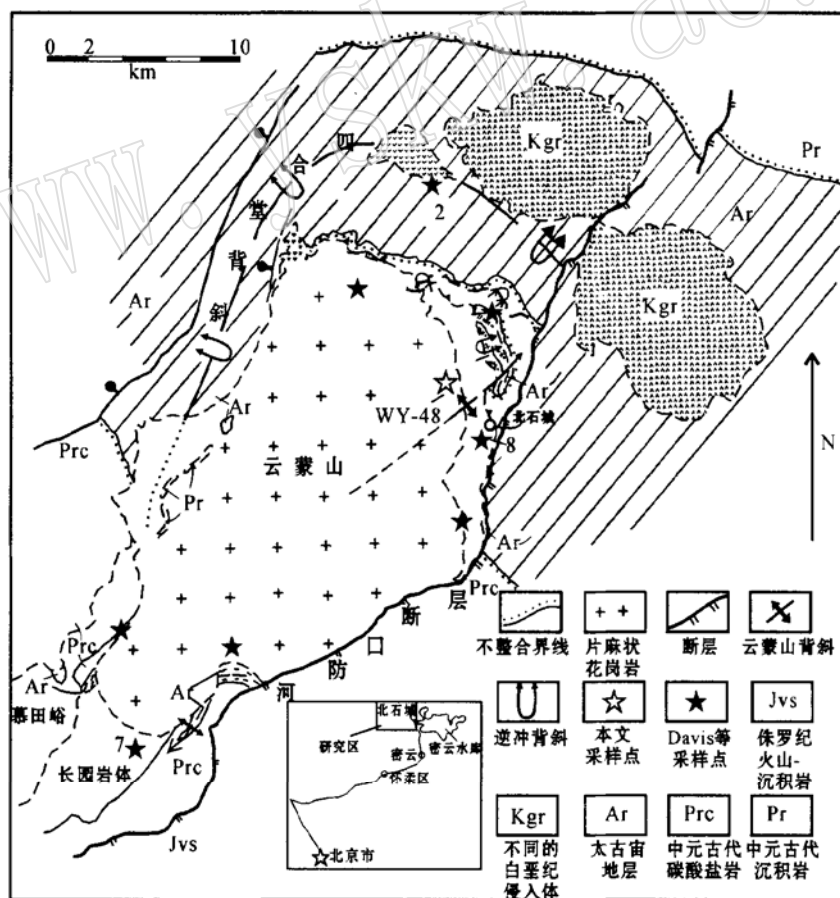


图 1 区域地质简图(据 Davis 等, 1996)

Fig. 1 Regional geological map showing sampling locations (after Davis *et al.*, 1996)

市地质矿产局, 1991)。岩体以河防口低角度正断层为南东边界。该断层沿河防口一大水峪一线展布, 形成时代尚不清楚, 根据该断层错断的最新地层为侏罗系, 且断裂带中富伊利石断层泥的  $K_{Ar}$  年龄为  $89 \pm 4 \sim 72 \pm 2$  Ma 推断该断层的运动末期或重新活动的时期为晚白垩世 (Davis *et al.*, 1994, 1996; 朱大岗等, 2000)。岩体东面和北面为水峪-四合堂韧性剪切带, 形成时代是早白垩世 (Davis *et al.*, 1994, 1996; 朱大岗等, 2000)。岩体普遍具有片麻状构造, 且产状与短轴背斜相协调, 由边部至中心片麻状构造渐趋不明显, 倾角也渐平缓, 具有同构造花岗岩的特点 (北京市地质矿产局, 1991; Davis *et al.*, 1996)。岩体中的钾长石斑晶 (或碎斑) 发育, 平均粒径为 1 cm。局部发育眼球状构造, 眼球在 1 cm 左右, 局部具有糜棱岩化及碎裂结构。此外, 岩体中还有长英质脉。

本文用于测年的样品 (样号 WY\_48) 采于云蒙峡内云蒙河边 (北石城北边), 采样点位置为:  $N 40^{\circ} 31.47'$ ,  $E 116^{\circ} 47.62'$  (图 1)。岩石具似斑状结构, 矿物组成有黑云母 (5%)、石英 (23%)、钾长石 (35%)、斜长石 (34%) 及其他矿物 (3%)。长石斑晶 (或碎斑) 较大, 约 0.8 cm。石英变形拉长成带状, 暗色矿物以黑云母为主。钾长石斑晶 (或碎斑) 发育卡式双晶, 斜长石聚片双晶发育, 具环带结构。样品的全岩化学分析结果 ( $w_B/\%$ ) 为:  $SiO_2$  71.45,  $TiO_2$  0.14,  $Al_2O_3$  15.60,  $Fe_2O_3$  0.64,  $FeO$  0.75,  $MgO$  0.26,  $MnO$  0.04,  $CaO$  1.43,  $Na_2O$  4.8,  $K_2O$  4.1,  $P_2O_5$  0.06,  $LOI$  0.32,  $Total$  99.59 (由西北大学地质系大陆动力学教育部重点实验室采用 ICP-MS 测定)。根据有关的分类命名方案 (Middlemost, 1994; Streckeisen, 1979), 并结合岩相学特征, 该样品被定名为二长花岗岩。

## 2 样品的锆石特征

锆石按常规方法分选, 在双目镜下挑纯。将其与数粒标样 TEM (澳大利亚国立大学地球科学研究所提供) 置于环氧树脂中, 磨至约一半, 使锆石内部暴露, 用于阴极发光研究及随后的 SHRIMP U-Pb 测年分析。阴极发光测试在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室完成, SHRIMP 分析由北京离子探针中心完成。

样品中的大部分锆石无色透明, 呈长柱状, 具有

完好的晶形, 锥面和柱面较发育 (图 2a), 部分锆石有裂纹 (如点 4.1 和 5.1)。在阴极发光照片中, 大多数锆石都具有环带结构 (如点 2.1、3.1、5.1、8.1 和 11.1 等) (图 2b), 表明它们是岩浆结晶形成的 (Vavra, 1990; Paterson *et al.*, 1992; 肖庆辉等, 2002; 柳永清, 2003), 8.1 样品呈椭圆形, 中央有核。另外, 样品 3.1、9.1 和 12.1 均含有核 (图 2b), 但各自反映的意义可能不同。

## 3 分析结果

锆石 SHRIMP U-Pb 分析流程和原理参考 Compston 等及 Williams 等 (转引自简平等, 2003)。分析时, 采用跳峰扫描, 记录  $Zr_2O^+$ 、 $^{204}Pb^+$ 、背景值、 $^{206}Pb^+$ 、 $^{207}Pb^+$ 、 $^{208}Pb^+$ 、 $U^+$ 、 $Th^+$ 、 $ThO^+$  和  $UO^+$  9 个离子束峰, 每 7 次扫描记录一次平均值。一次离子束为约 4.5 nA、10 kV 的  $O_2^+$ , 离子束直径约 25~30  $\mu m$ , 质量分辨率约 5000 (1% 峰高)。应用标样 TEM (417 Ma) 进行元素间的分馏校正, Pb/U 校正公式采用  $Pb/U = A(UO/U)^2$ 。应用另一标样 SL13 (572 Ma, U 含量  $238 \times 10^{-6}$ ) 标定所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量, 再应用澳大利亚国立大学 PRAWN 程序进行数据处理。表 1 为该样品锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果, 单个数据点的误差均为  $1\sigma$ 。采用  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄, 其加权平均值的误差为  $2\sigma$ 。一般认为, 岩浆成因锆石的 Th/U 值大于 0.5, 变质重结晶锆石的 Th/U 值小于 0.1 (Hoskin *et al.*, 2000)。表 1 中大部分锆石的 Th/U 值介于 0.5~1 之间, 结合图 2 中所反映的锆石特征说明本次测试的大部分锆石属于岩浆锆石, 因此, 测定的年龄代表了锆石的结晶年龄。而介于 0.1~0.5 之间的 Th/U 值反映的是受后期流体的影响还是同构造环境形成的锆石的特点, 还有待于进一步研究。表 1 中点 7.1 的 Th/U 值小于 0.1 (0.07), 颜色较深, 晶形和晶面不规则 (图 2a b), 可能属于变质重结晶的锆石。

图 3 为云蒙山片麻状花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果的谐和图。锆石 15 个点的分析中, 点 8.1 给出的  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄是 2416 Ma (图 3a), 在排除锆石挑选过程中混入其他锆石以及实验过程中其他可能因素影响的情况下, 该年龄反映的应是源岩或者是捕获的继承性锆石信息。其中 9 个点给出狭小的  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄范围为 138~149 Ma (表 1), 数据点集中分布于一致曲线附近 (图 3b), 加权平均年

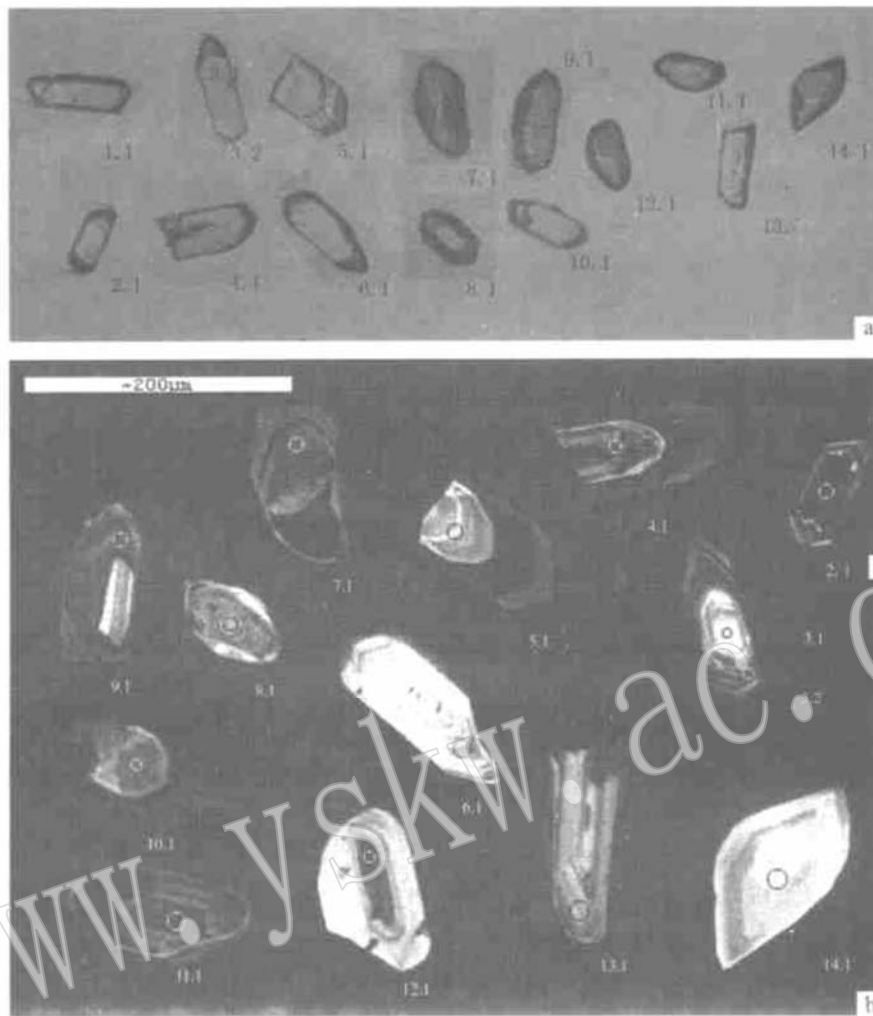


图2 WY\_48样品的锆石特征

Fig. 2 Characteristics of zircon in WY\_48 sample

a—透射照片; b—阴极发光照片

a—perspective photos; b—cathodoluminescence photos

表1 WY\_48样品的锆石 SHRIMP U-Pb 测年数据  
Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb age data of WY\_48 sample

点号	U Th Pb*			Th/U	$^{206}\text{Pb}_e$ w <sub>B</sub> /%	同位素比值						年龄/Ma					
	w <sub>B</sub> /10 <sup>-6</sup>					$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\pm$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
1.1	171	19	4	0.11	0.01	0.023 1	0.000 8	0.155	0.018	0.048 8	0.005 3	147	5	147	16	139	235
2.1	1025	1026	30	1.00	0.00	0.025 2	0.000 8	0.168	0.009	0.048 5	0.002 2	160	5	158	8	122	106
3.1	318	81	8	0.26	0.01	0.025 5	0.000 7	0.149	0.020	0.042 4	0.005 4	163	5	141	18	0	0
4.1	1459	443	34	0.30	0.00	0.023 4	0.001 0	0.154	0.008	0.047 9	0.001 2	149	6	146	7	93	62
5.1	106	68	3	0.64	0.02	0.023 1	0.001 1	0.160	0.039	0.050 3	0.011 8	147	7	151	35	210	661
3.2	715	81	21	0.11	0.00	0.032 0	0.001 0	0.213	0.010	0.048 1	0.001 7	203	6	196	9	106	84
6.1	58	29	1	0.50	0.02	0.021 6	0.001 5	0.158	0.081	0.053 1	0.026 5	138	10	149	74	332	1880
7.1	514	34	11	0.07	0.00	0.022 3	0.000 8	0.163	0.009	0.052 9	0.002 0	142	5	153	8	324	88
8.1	332	230	175	0.69	0.00	0.454 7	0.017 6	10.046	0.407	0.160 2	0.001 3	2416	79	2439	38	2458	13
11.1	417	129	14	0.31	0.01	0.034 3	0.001 0	0.223	0.016	0.047 1	0.003 1	218	6	205	14	56	148
9.1	474	72	10	0.15	0.01	0.022 3	0.000 7	0.117	0.012	0.037 9	0.003 6	142	5	112	11	0	0
10.1	729	210	15	0.29	0.01	0.022 0	0.001 1	0.136	0.015	0.045 1	0.004 3	140	7	130	14	0	0
12.1	209	176	7	0.84	0.01	0.030 4	0.001 1	0.207	0.018	0.049 3	0.003 8	193	7	191	16	161	170
13.1	48	30	1	0.63	0.03	0.022 6	0.001 2	0.229	0.076	0.073 5	0.023 6	144	7	210	65	1028	835
14.1	21	12	0	0.58	0.09	0.022 0	0.001 7	0.101	0.121	0.033 3	0.039 3	140	11	98	106	0	0

注: Pb\* 为放射性成因铅;  $^{206}\text{Pb}_e$  指普通铅中的  $^{206}\text{Pb}$  占全铅  $^{206}\text{Pb}$  的质量分数; 应用实测  $^{204}\text{Pb}$  校正普通铅。

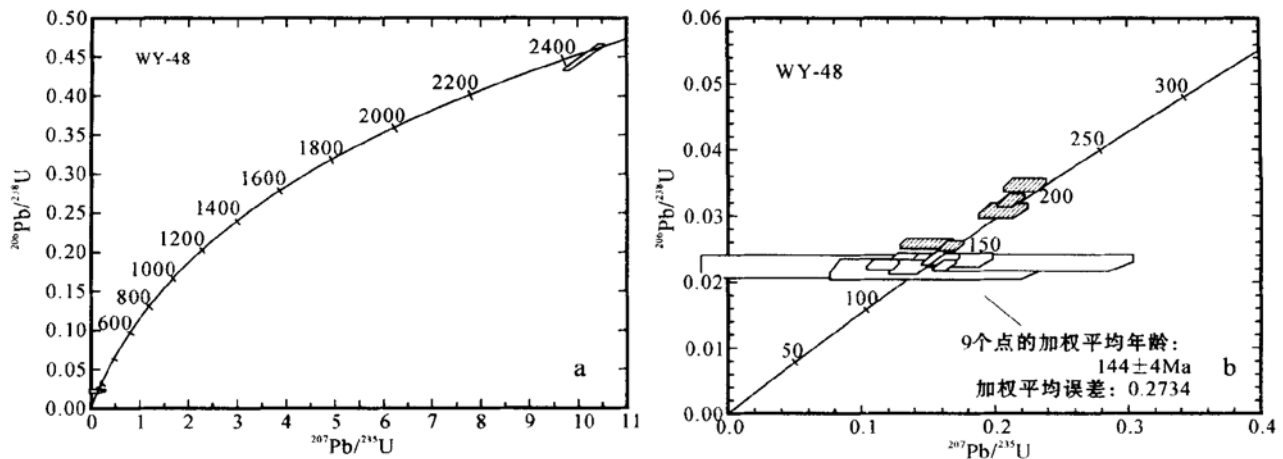


图 3 云蒙山片麻状花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年谱和图

Fig. 3 Concordancy diagram of zircon SHRIMP U-Pb ages of WY\_48 sample

龄为  $144 \pm 4$  Ma, 它应是云蒙山岩体的侵位年龄。2.1 和 3.1 两个点给出 160 Ma、163 Ma 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄, 11.1 和 12.1 两个点给出 193~203 Ma 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄可能是岩浆侵位过程中捕获锆石的年龄。样品 3 的边部年龄(点 3.2) 203 Ma 大于核部年龄(点 3.1) 163 Ma, 可能是样品受到了后期流体的影响, 从而使边部的 U 和 Pb 含量明显高于核部, 但两者 Th 含量无变化, Th/U 值为 0.11, 介于 0.5~0.1 之间(表 1), 因此可能是后期流体作用导致了外来放射性 Pb 的加入, 使得锆石边部的年龄偏大(Hoskin *et al.*, 2000)。

#### 4 讨论及意义

应用锆石 SHRIMP U-Pb 测年方法对云蒙山片麻状花岗岩进行年代学研究, 共得到 4 组年龄:  $144 \pm 4$  Ma、160 Ma~163 Ma、193 Ma~218 Ma 以及 2416 Ma。

如上文所述, 云蒙山岩体的侵位年龄一直都存在争论。Davis 等(1996)在该区进行了详细的野外工作和锆石 U-Pb 年龄测定, 提出的云蒙山岩体的侵位年龄(141~143 Ma)已逐渐被人们所接受(张建新等, 1997; 朱大岗等, 2002), 并认为云蒙山岩体是与四合堂逆冲推覆同构造的岩体, 原因如下: ① 岩体普遍具有片麻状构造, 且产状与短轴背斜相协调, 由边部至中心片麻状构造渐趋不明显, 倾角也渐平缓, 地层产状随岩体边界的转折而成弧形分布; ② 四合堂韧性剪切带的剪切方向与岩体和四合堂逆冲推覆方向一致, 云蒙山岩体侵入到四合堂逆冲推覆体的

密云变闪长岩中( $159 \pm 2$  Ma, Davis *et al.*, 1996) (图 1 中的点 8), 而位于河防口断层下盘的西南部的长园岩体( $151 \pm 2$  Ma, Davis *et al.*, 1996) (图 1 中的点 7) 也要早于云蒙山岩体, 在四合堂逆冲推覆体上还有后期侵入的岩体(图 1 中的点 2, 127 Ma)。因此, 云蒙山岩体的侵位时间应该介于 151~127 Ma 之间。141~143 Ma 的年龄数据与上述证据相吻合, 所以 Davis 认为云蒙山岩体的侵位时间为 141~143 Ma, 黑云母 K-Ar 法年龄 135 Ma 应视为冷却年龄(北京市地质矿产局, 1991)。本文给出的云蒙山花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄与 Davis 等锆石 U-Pb 测定的年龄(141~143 Ma)基本一致, 也与野外观察结果相吻合, 进一步确证了云蒙山岩体的侵位时代属晚侏罗世。

本次测得的 2416 Ma 的锆石年龄与 Davis 等(1996) 锆石 U-Pb 定年的上交点年龄(1900~2400 Ma)一致, 可能反映了原岩的时代, 说明该花岗岩来源于晚太古代片麻岩的局部熔融或者是岩浆侵位的过程中捕获了晚太古代的锆石。而另外 2 个年龄段的锆石(160~163 Ma、193~218 Ma)可能是岩浆侵位过程中捕获的锆石。

**致谢:** 在野外工作和室内研究过程中, 笔者得到北京地质矿产研究所的姬广义工程师、廊坊区调队、中国地质科学院北京离子探针中心简平研究员、矿产资源研究所电子探针研究室和 Davis 教授的指导和帮助, 在此一并致谢!

## References

- Bao Yigang, Liu Zhenfeng, Wang Shifa, *et al.* 2001. Reviews of Geology in Beijing for Century [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~ 274 (in Chinese).
- Beijing Bureau of Geology and Mineral Resources. 1991. Regional Geology of Beijing [M]. Beijing: Geological Publishing House, 597 (in Chinese).
- Davis G A, Qian Xianglin, Zheng Yadong, *et al.* 1996. Mesozoic deformation and plutonism in the Yunmeng Shan: a metamorphic core complex north of Beijing, China [A]. Yin An and Harrison M. Rubey Volume "The Tectonic Evolution of Asia" [C]. Cambridge Univ. Press, 253~ 280.
- Davis G A, Yu Hao, Qian Xianglin, *et al.* 1994. The metamorphic core complex of China—the brief geological introduction of Beijing Yunmeng Shan and the guide for geological travel [A]. Qian Xianglin. Extend Structure Research [C]. Beijing: Geol. Pub. House, 154~ 166 (in Chinese).
- Hoskin P W O and Black L P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 18: 423~ 439.
- Jian Ping, Liu Dunyi and Sun Xiaomeng. 2003. SHRIMP Dating of Baimaxueshan and Ludian granitoid batholiths, Northwestern Yunnan Province, and its geological implication [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 24 (4): 337~ 342 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shuwen. 1991. The geological character and the cause of formation of Yunmengshan gneiss granitic diorite rock, Beijing [A]. Li Zhitong. The Theses of North China Granite and Metallization [C]. Beijing: Geol. Pub. House, 132~ 138 (in Chinese).
- Liu Yongqing, Li Peixian and Tian Shugang. 2003. SHRIMP U\_Pb zircon age of late Mesozoic tuff (lava) in Luanping basin, northern Hebei, and its implications [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22 (3): 237~ 244 (in Chinese with English abstract).
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. *Earth-Science Reviews*, 37: 215~ 224.
- Paterson B A, Stephens W E, Rogers G, *et al.* 1992. The nature of zircon inheritance in two granite plutons [J]. *Earth Science*, 83: 459~ 471.
- Streckeisen A. 1979. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melilitic rocks: Recommendations and suggestions of the IUGS Subcommittee on the systematics of Igneous rocks. *geology* II. The Geological Society of America. 7: 331~ 335.
- Vavra G. 1990. On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: A cathodoluminescence study [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 106: 90~ 99.
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, *et al.* 2002. The ways of investigation on Granitoids [M]. Beijing: Geological Publishing House, 106~ 108 (in Chinese).
- Yu Jianhua, Zhang Fenglan, Fu Huiqin, *et al.* 1994. The Plutonism of Beijing Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 196 (in Chinese).
- Zhang Jianxin, Zeng Lingsen and Qiu Xiaoping. 1997. Granite dome and extensional tectonics in the Yunmengshan Mountains, Beijing [J]. *Geological Review*, 43(3): 232~ 240 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Dagang, Cui Shengqin, Wu Zhenhan, *et al.* 2000. Tectonic features of the compressional-extensional system and dynamic analysis of rock fabric in Yunmengshan area, Beijing [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 21(4): 337~ 344 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 鲍亦冈, 刘振锋, 王世发, 等. 2001. 北京地区地质百年研究——北京地区基础地质研究的历史与最新成果 [M]. 北京: 地质出版社, 1~ 274.
- 北京市地质矿产局. 1991. 北京市区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 597.
- Davis G A, 于浩, 钱祥麟, 等. 1994. 中国变质核杂岩——北京云蒙山地质简介及地质旅行指南 [A]. 钱祥麟. 伸展构造研究 [C], 154~ 166.
- 简平, 刘敦一, 孙晓猛. 2003. 滇西北白马雪山和鲁甸花岗岩基 SHRIMP U\_Pb 年龄及其地质意义 [J]. *地球学报*, 24(4): 337~ 342.
- 刘树文. 1991. 北京云蒙山片麻状花岗闪长岩体的地质特征及成因 [A]. 李之彤. 中国北方花岗岩及其成矿作用论文集 [C]. 北京: 地质出版社, 132~ 138.
- 柳永清, 李佩贤, 田树刚. 2003. 冀北滦平晚中生代火山碎屑(熔)岩中锆石 SHRIMP U\_Pb 年龄及其意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 22 (3): 237~ 245.
- 郁建华, 张凤兰, 付会芹, 等. 1994. 北京地区岩浆深成作用 [M]. 北京: 地质出版社, 196.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 2002. 花岗岩研究思维与方法 [M]. 北京: 地质出版社, 106~ 108.
- 张建新, 曾令森, 邱小平. 1997. 北京云蒙山地区花岗岩穹隆及伸展构造的探讨 [J]. *地质论评*, 43(3): 232~ 240.
- 朱大岗, 崔盛芹, 吴珍汉, 等. 2000. 北京云蒙山地区挤压-伸展体系构造特征及其岩石组构的动力学分析 [J]. *地球学报*, 21(4): 337~ 344.