

# 冀北闪长质岩石的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄： 晚古生代岩浆弧的地质记录\*

王惠初<sup>1</sup> 赵凤清<sup>1</sup> 李惠民<sup>1</sup> 孙立新<sup>1</sup> 苗来成<sup>2</sup> 冀世平<sup>1</sup>

WANG HuiChu<sup>1</sup>, ZHAO FengQing<sup>1</sup>, LI HuiMin<sup>1</sup>, SUN LiXin<sup>1</sup>, MIAO LaiCheng<sup>2</sup> and JI ShiPing<sup>1</sup>

1. 天津地质矿产研究所, 天津 300170

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

1. Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Tianjin 300170, China

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China

2006-08-17 收稿, 2007-02-10 改回.

**Wang HC, Zhao FQ, Li HM, Sun LX, Miao LC and Ji SP. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb age of the dioritic rocks from northern Hebei: the geological records of late Paleozoic magmatic arc. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3):597-604**

**Abstract** A lot of gneissic diorite, quartz-diorite and granodiorite occurred on the northern part of Hebei Province (northern Hebei), the northern margin of North China Craton, which was once regarded as intruding at early Proterozoic. Recently, chronological data reveal that many of the dioritic plutons intruded in late Paleozoic. The zircon SHRIMP U-Pb age of Labagoumen diorite from the northern part of Huairou county, Beijing, is  $(288.0 \pm 4.8)$  Ma (95% conf., MSWD = 1.12), and the one of Tianqiao quartz-bearing diorite from Fengning county, Hebei province, is  $(279.5 \pm 5.6)$  Ma (95% conf., MSWD = 0.57). These calc-alkali intrusive rocks occurred on the northern margin of North China craton indicate a tectonic setting of Andean active continental margin. Based on the emplaced ages and structural characteristic of late Paleozoic intrusive rocks in conjunction with the age information of deformation and metamorphism occurred on northern Hebei, we conclude that Paleo-Asian ocean to the north of North China Craton closed at the terminal of Lopingian Epoch (late Permian), subsequently, the evolution of Central Asian Orogenic Belt turned into the relaxed tectonic stage following the peak of orogenesis.

**Key words** Northern Hebei, Late Paleozoic, Dioritic plutons, SHRIMP U-Pb age

**摘要** 华北克拉通北缘的丰宁-承德地区分布着许多被认为是古元古代的片麻状闪长质-石英闪长质-花岗闪长质侵入体,新的年代学资料揭示这些侵入体中许多是晚古生代的产物。本次工作从京北喇叭沟门闪长岩体和丰宁天桥舍石英闪长岩体中分别获得了  $(288.0 \pm 4.8)$  Ma 和  $(279.5 \pm 5.6)$  Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄。这些钙碱性岩石的存在表明华北克拉通北缘在早二叠世是一条安第斯型的活动大陆边缘。综合分析冀北地区晚古生代侵入岩的侵位时代和变形特点,结合该地区晚古生代发生变形变质作用的年龄信息,推测华北克拉通北侧的古亚洲洋在晚二叠世末封闭,随后进入了主造山期之后的构造松弛阶段。

**关键词** 冀北; 晚古生代; 闪长质侵入体; SHRIMP U-Pb 年龄

**中图法分类号** P588.122; P597.3

中亚造山带是一条古生代形成的复合造山带 (Sengör *et al.*, 1993; Sengör and Natal'in, 1996; Jahn *et al.*, 2000; Badarch *et al.*, 2002; Xiao *et al.*, 2003), 许多研究者认为华

北北部古亚洲洋的最终封闭是通过古亚洲洋板块向华北板块(包括华北克拉通及其北侧的早古生代增生带)之下消减来实现 (Zhang and Tang, 1989; Tang, 1990; 邵济安, 1991;

\* 中国地质调查局华北重要经济区基础地质综合研究项目(1212010510512)和国家自然科学基金项目(40373032)资助。

第一作者简介: 王惠初, 男, 1963 年生, 博士, 研究员, 主要从事前寒武纪地质和岩石大地构造研究, E-mail: tjwhuichu@cgs.gov.cn

程裕淇等,1994; Sengör *et al.*, 1996; Davis *et al.*, 2001; Badarch *et al.*, 2002; Xiao *et al.*, 2003); 即华北板块北缘是中亚造山带在晚古生代造山过程中的活动大陆边缘。前人对该活动大陆边缘的研究多集中在华北克拉通北缘断裂(白云鄂博-赤峰断裂)以北至缝合带之间的区域(Tang, 1990; 邵济安,1991; 徐备等,1997; Chen *et al.*,2000; 洪大卫等,2000; Hong *et al.*, 2001, 2004; Jahn *et al.*,2000),华北克拉通北缘(原内蒙地轴)对中亚造山作用的响应并未引起广泛关注。Davis *et al.* (2001)和 Xiao *et al.* (2003)曾依据区域地质资料推测华北克拉通北缘在晚古生代可能是安第斯型大陆边缘,最近张栓宏等从冀北地区识别出一些石炭纪的花岗质侵入体,揭示出华北克拉通北缘基底隆起区是一深位剥露的安第斯型古大陆边缘弧(张栓宏等,2004; Zhang *et al.*, 2007)。

作者等最近两年对华北克拉通北缘的研究工作中,着重关注对古生代岩浆作用的筛分,从冀北早前寒武纪地质体中也识别出大量晚古生代中基性-酸性侵入体,并对这些岩体开展了同位素年代学和变形变质作用的初步研究,获得了一批锆石 SHRIMP 年龄数据,这些岩浆作用和变形变质作用的同位素年代学信息是对中亚造山作用过程的重要约束条件,有助于我们了解中亚造山带的演化过程、重新认识晚古生代岩浆作用对华北克拉通北缘成矿作用的影响。

## 1 区域地质背景

华北克拉通(陆块)北缘中段的冀北地区广泛出露有新太古代-古元古代的变质杂岩(变质表壳岩和 TTG 片麻岩),已获得的同位素年代学资料揭示出新太古代末和古元古代末两次重要的构造-岩浆热事件。新太古代以广泛的 TTG 侵位为特征,2496 ± 12Ma(未刊资料)的正长花岗片麻岩(碱性花岗岩)侵位标志着新太古代末构造热事件进入尾声。古元古代发育红旗营子岩群变质表壳岩组合,并有大量古元古代晚期的花岗岩质岩石侵位。近几年由于承德附近古元古代高压麻粒岩的发现(毛德宝等,1999),冀北赤城-承德一带被认为是古元古代华北克拉通中部造山带(Trans-North China Orogen)的一部分(Zhao *et al.*,2000; Zhao,2001)。中元古代初期,华北克拉通北缘发生了一次重要的裂解事件,形成了一套以大庙斜长岩-兰营正长岩-密云环斑花岗岩-大红峪组高钾火山岩为代表的非造山岩浆组合;中元古代裂陷盆地沉积建造主要分布在赤城-宽城断裂以南,在丰宁-隆化断裂带内也有少量长城系地层呈断片分布。中生代构造活动和岩浆作用剧烈,发育 J—K 断陷盆地。

本次工作研究区位于华北克拉通北缘中段的怀柔北部-滦平地区(图 1),构造上挟持在赤城-隆化断裂和赤城-巴克什营断裂之间。区内分布着大量闪长质-石英闪长质-花岗闪长质深成侵入岩,由于它们程度不同地发育片麻理构造,并有一些古元古代的年龄信息,这些深成侵入体多被归属于

古一中元古代甚至新太古代<sup>①②</sup>,张栓宏等(2004,2007)已证实其中的一些中酸性侵入体形成于石炭纪。

研究样品分别采自怀柔县喇叭沟门和丰宁县天桥镇。样品 05J05 为含石英闪长岩,采自天桥镇至黑山嘴镇公路边,地理坐标为:北纬 40°59.595',东经 116°58.645';该岩体在 1:25 万隆化县幅地质图上标注为古元古代晚期变质石英闪长岩,与其共生的还有闪长岩和花岗闪长岩;在石人沟-波罗诺一带见一些角闪石岩(辉石角闪石岩)产出。样品 05A06 为闪长岩,采自怀柔北喇叭沟门乡东南公路边,地理坐标为:40°53.355',116°37.136';该岩体曾被认为是新太古代基性侵入杂岩体(郁建华等,1994),称为下窝铺辉长岩-闪长岩岩石组合,主要由辉长苏长岩、辉长闪长岩和角闪闪长岩组成,侵入太古宙片麻岩中,内部也见一些角闪辉石岩团块;该岩体在 1:25 万延庆县幅地质图上已标注为古生代岩体,但无可靠的年代学依据。

## 2 样品的岩石特征

### 2.1 天桥含石英闪长岩(05J05)

岩性为含石英黑云角闪闪长岩,岩石呈深灰色-灰黑色,中粒不等粒结构,弱片麻状-块状构造。岩石主要矿物组合为:角闪石+斜长石+黑云母+石英±钾长石;副矿物见磷灰石、钛铁矿、锆石和榍石等,并见少量蚀变矿物绿泥石和绿帘石。

角闪石为粒状或柱状,粒度 0.5~3mm,含量≈35%,蓝绿色—浅黄绿色多色性明显,解理发育,见菱形节理断面,部分角闪石颗粒中见简单双晶。依据电子探针分析数据,按国际角闪石专业委员会推荐的命名方法(Leake *et al.*,1997),岩石中的角闪石属镁角闪石, $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ 值介于 0.596~0.627 之间。

斜长石为柱状,粒度 0.5~8mm,以 1~4mm 居多,含量 50%,聚片双晶发育,偶见双晶弯曲,有轻微蚀变。电子探针分析显示 An 值在 31~36 之间。

黑云母为磷片状,粒度 0.5~3mm,含量 8%~10%,黄色—浅黄色多色性,往往叠加在角闪石之上,其结晶明显晚于角闪石,部分黑云母已绿泥石化。 $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ 值为 0.52~0.54。

石英为不规则细小粒状,分布在斜长石等矿物之间,含量 4%~5%。磷灰石为细小粒状或柱状,含量达 1%,分布在角闪石内部或暗色矿物之间。

钛铁矿为粒状,粒度不均,最大可达 2mm,含量 1%~2%,分布在暗色矿物集合体中。

① 河北省地质调查院. 2000. 1:25 万承德市幅区域地质调查报告

② 河北省地质调查院. 2002. 1:25 万隆化县幅区域地质调查报告

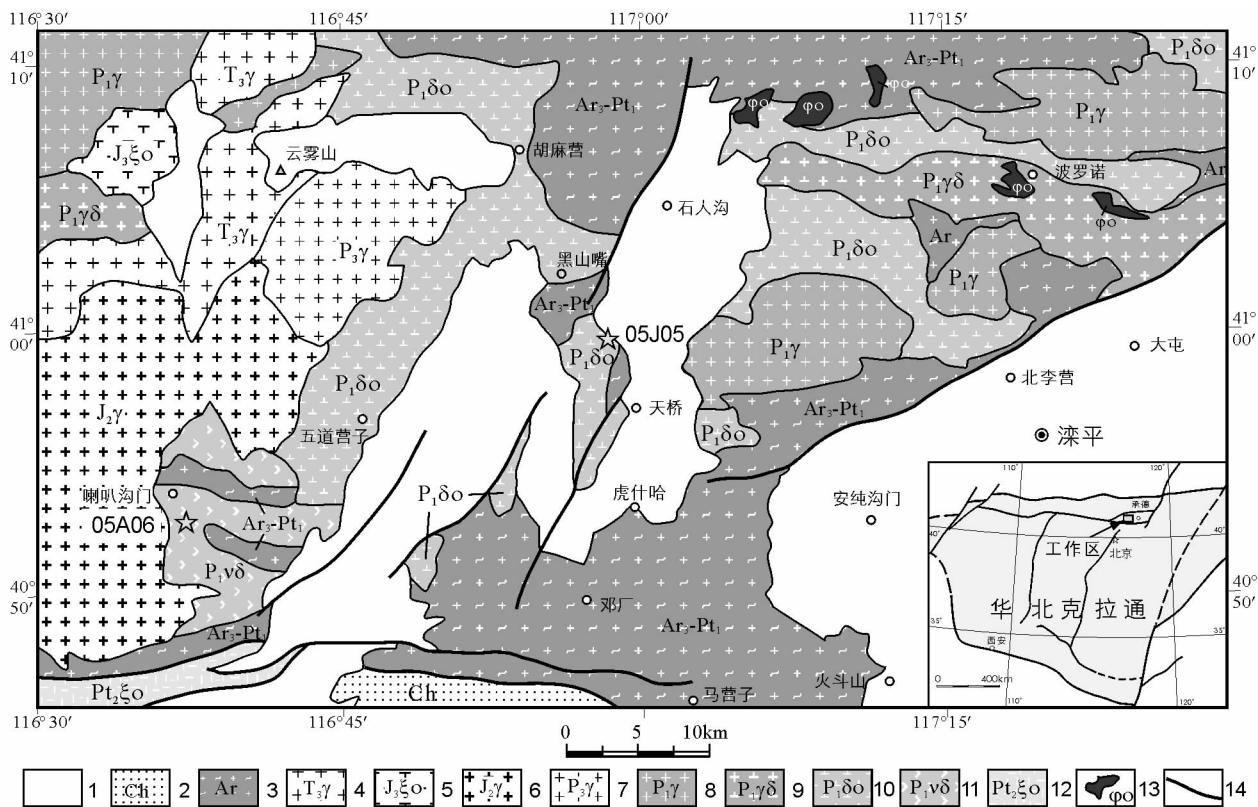


图1 怀柔北部-滦平地区地质图

1-中一新生代沉积; 2-中元古代长城系; 3-早前寒武纪变质基底; 4-晚三叠世二长花岗岩; 5-晚侏罗世石英正长岩; 6-中侏罗世花岗岩; 7-晚二叠世二长花岗岩; 8-早二叠世花岗岩; 9-早二叠世花岗闪长岩; 10-早二叠世石英闪长岩; 11-早二叠世辉长闪长岩; 12-中元古代石英正长岩; 13-超基性岩(角闪石岩/辉石角闪石岩); 14-断层

Fig. 1 Geological map of the northern part of Huairou and Luanping area

## 2.2 喇叭沟门闪长岩(05A06)

岩性为角闪闪长岩,岩石呈灰黑色,中细粒结构,片麻状构造。岩石主要矿物成分为角闪石(58%)和斜长石(40%),少量钛铁矿(1%~2%)、黑云母(<1%)、绿帘石(<1%)、绿泥石和磷灰石。

角闪石:粒状或柱状,粒度0.5~4mm,个别达5mm,蓝绿色—浅黄绿色多色性,岩浆结晶的简单双晶(平行柱面或菱形断面的对角线方向)较常见,并见不规则片状的机械双晶(变形双晶),部分较大颗粒中见细小的铁质包体发育,角闪石集合体具明显定向。电子探针分析显示角闪石属镁绿钙闪石, $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ 值介于0.618~0.648之间。

斜长石为粒状或柱状,粒度明显可分为两个粒级,细小粒状颗粒粒度为0.1~0.3mm,柱状大颗粒粒度1~4mm,聚片双晶发育,常见双晶弯曲或断裂,亚颗粒化明显,斜长石颗粒定向明显,部分蚀变较强。电子探针分析显示An值在45~55之间。

角闪石和斜长石的变形特点显示岩石遭受了较强烈的变形作用。

## 3 样品的锆石特征和年龄测定

### 3.1 锆石特征

在综合分析区域地质背景和野外路线调查的基础上,从基岩露头上采样,两个年龄样品各采集了约25kg,送至廊坊河北省区调研究所进行锆石分选,从中分选出锆石数量多,颗粒较大,粒度均匀,非常有利于年龄测定。锆石经李惠民初步观察后送至北京离子探针中心制靶,并在北京离子探针中心进行了镜下显微观察和照像,用反射光观察锆石表面光洁度,同时用透射光观察锆石内部包体及裂纹等。随后在北京大学电子系扫描电镜上进行了阴极发光图像研究和照像。

两个样品的锆石具有类似特征,无色—淡黄色,透明,金刚光泽,短柱状晶形,晶棱清晰,部分为锆石碎块,锆石柱面不发育,锥面相对发育,粒度一般在200 $\mu m$ ,长宽比为1:1.2~1:2,锆石内部包体较少,裂纹少见,样品05A06的锆石表面部分有溶蚀现象(图2、3);阴极发光图像显示两个样品的锆石均具岩浆结晶的不完整振荡生长环带,且振荡环带与斑块状影像并存,明显不同于花岗质岩石振荡环带,是较典型

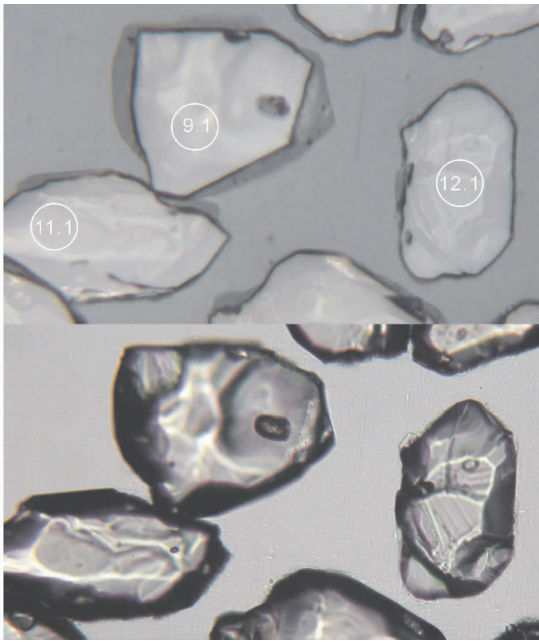


图2 天桥含石英闪长岩锆石的显微照片

上图为反射光; 下图为透射光, 比例尺参见 CL 图像

Fig. 2 Photomicrograph of Zircon from Tianqiao quartz-bearing diorite

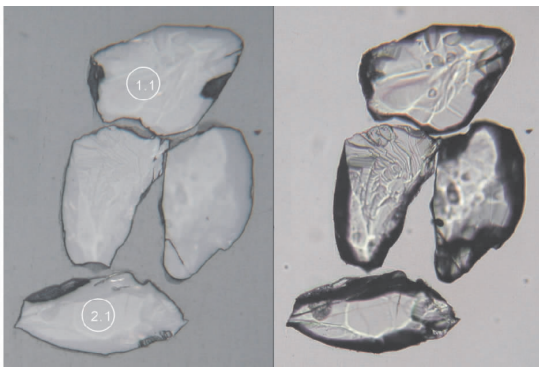


图3 喇叭沟门闪长岩锆石的显微照片

左图为反射光; 右图为透射光, 比例尺参见 CL 图像

Fig. 3 Photomicrograph of Zircon from Labagoumen diorite

的中性岩浆岩的锆石特点, 样品 05A06 锆石的图像斑块反差明显大于样品 05J05 (图 4、5), 锆石中未见古老锆石残核。

### 3.2 分析方法和精度

锆石 SHRIMP U-Pb 测年分析在北京离子探针中心的 SHRIMP II 型离子探针仪器上进行。测点位置先在阴极发光图像、显微反射光照片和透射光照片上反复比较后优选, 尽量避免裂纹和包裹体, 以免影响分析质量; 同时根据以往经验, 尽量选取锆石阴极发光图像上 Th、U 含量相对较高的深色斑块部位, 以保证测试精度。然后用高灵敏度二次离子

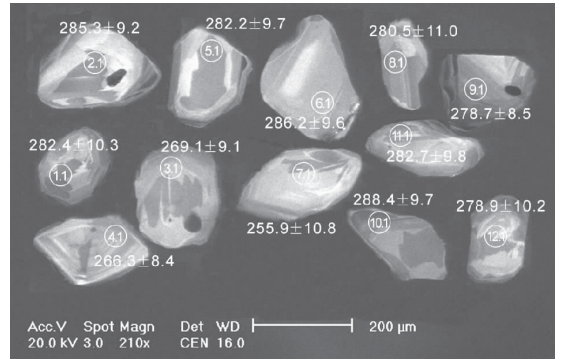


图4 天桥含石英闪长岩(05J05)锆石的阴极发光图像及 SHRIMP 测点位置

Fig. 4 CL image and dating spots of Zircons from Tianqiao Quartz-bearing diorite

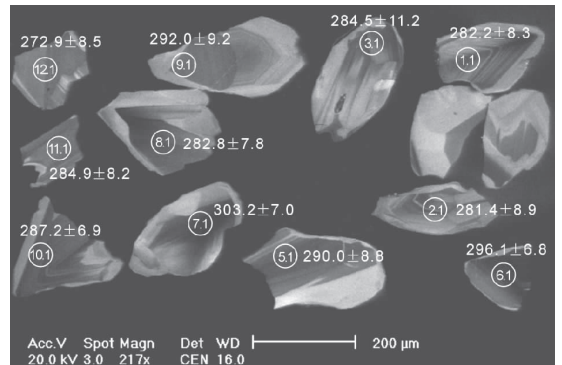


图5 喇叭沟门闪长岩(05A06)锆石的阴极发光图像及 SHRIMP 测点位置

Fig. 5 CL image and dating spots of Zircons from Labagoumen diorite

探针对所选点位进行分析。实验流程和原理参见宋彪等(2002)。应用标准锆石 TEM(417Ma)进行元素间的分馏校正, 应用另一标准锆石 SL13(年龄为 572Ma、U 含量为  $238 \times 10^{-6}$ ) 标定所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量。数据处理采用澳大利亚国立大学 PRAWN 程序。普通铅根据实测  $^{204}\text{Pb}$  校正。单个数据点的误差均为  $1\sigma$ , 采用年龄为  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄, 其加权平均年龄值为 95% 的置信度。

### 3.3 测试结果

天桥含石英闪长岩(05J05)测试了 12 个点, 测试数据(表 1)显示锆石中的 Th、U 含量较低, 但 Th/U 比值较大, 介于 0.55 ~ 1.21 之间, 显示了岩浆结晶锆石的特点。12 个测点中除 7 号点普通铅过大影响了测试结果的精度外, 其余 11 个数据点显示了较好一致性,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄为  $(266.3 \pm 8.4) \text{ Ma} \sim (288.3 \pm 9.7) \text{ Ma}$ , 加权平均值为  $(279.5 \pm 5.6) \text{ Ma}$  (95% conf., MSWD = 0.57, probability = 0.84) (图 6), 该年龄值可以代表天桥含石英闪长岩的结晶年龄。

表 1 天桥含石英闪长岩 (05J05) 锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果

Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb dating results from Tianqiao quartz-bearing diorite

Spot	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U ( $\times 10^{-6}$ )	Th ( $\times 10^{-6}$ )	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	err (%)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	err (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	err (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 (Ma)
1.1	0.5168	148	153	1.07	0.0547	7.5	0.34	8.4	0.0448	3.7	282.4 $\pm$ 10.3
2.1	2.2747	56.1	65.9	1.21	0.0495	7.6	0.31	8.3	0.0452	3.3	285.2 $\pm$ 9.2
3.1	2.2530	47.4	47.1	1.03	0.0535	16.9	0.31	17.3	0.0426	3.5	269.1 $\pm$ 9.1
4.1	0.6609	58.5	31.3	0.55	0.0500	6.9	0.29	7.6	0.0422	3.2	266.3 $\pm$ 8.4
5.1	2.9128	46.1	51.9	1.16	0.0460	16.8	0.28	17.2	0.0447	3.5	282.1 $\pm$ 9.7
6.1	1.3716	63.3	42.7	0.70	0.0655	9.6	0.41	10.2	0.0454	3.4	286.2 $\pm$ 9.6
7.1	6.3796	46.5	35.4	0.79	0.0378	51.0	0.21	51.2	0.0405	4.3	255.7 $\pm$ 10.9
8.1	0.8441	62.4	66.5	1.10	0.0650	5.9	0.40	7.1	0.0445	4.0	280.4 $\pm$ 11.0
9.1	0.7818	159	81.2	0.53	0.0558	5.2	0.34	6.0	0.0442	3.1	278.6 $\pm$ 8.5
10.1	3.6192	87.5	49.8	0.59	0.0380	27.3	0.24	27.5	0.0457	3.4	288.3 $\pm$ 9.7
11.1	2.8599	62.7	41.5	0.68	0.0469	20.5	0.29	20.8	0.0448	3.6	282.6 $\pm$ 9.8
12.1	3.5766	53.4	57.1	1.10	0.0652	12.0	0.40	12.6	0.0442	3.7	278.8 $\pm$ 10.2

注: 表内年龄值为  $1\sigma$  绝对误差, 同位素比值为  $1\sigma$  相对误差;  $^{206}\text{Pb}_c$  (%) 表示普通铅百分含量, 应用实测的  $^{204}\text{Pb}$  校正普通铅。

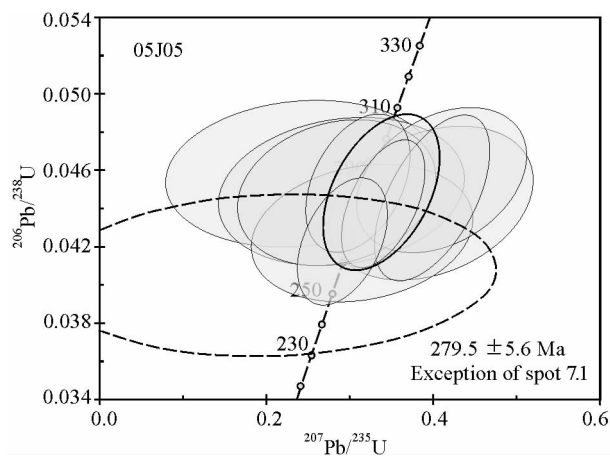


图 6 样品 (05J05) 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谱和图

Fig. 6 SHRIMP U-Pb concordia diagram for the Zircon in the Sample 05J05

喇叭沟门闪长岩 (05A06) 也测试了 12 个点。测试数据见表 2。样品中锆石的 Th、U 含量明显高于天桥含石英闪长岩样品, Th/U 比值更大, 为 0.85 ~ 2.36。12 个测试数据中有一个点偏差较大, 可能是后期构造热事件的影响, 其余 11 个测点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄的加权平均值为 (288.0  $\pm$  4.8) Ma (95% 置信度, MSWD = 1.12, 概率 = 0.34) (图 7), 应是闪长岩的结晶年龄。

## 4 结论和讨论

(1) 两个样品的锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年龄测定结

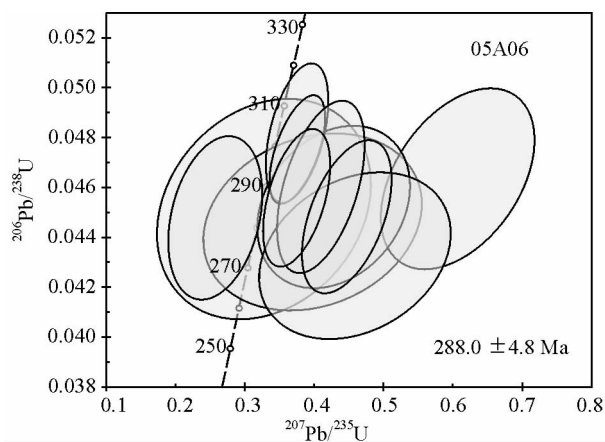


图 7 样品 (05A06) 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谱和图

Fig. 7 SHRIMP U-Pb concordia diagram for the Zircon in the Sample 05A06

果表明, 天桥含石英闪长岩与喇叭沟门闪长岩形成于早二叠世。喇叭沟门闪长岩的年龄值 (288.0  $\pm$  4.8) Ma 与天桥含石英闪长岩的年龄 (279.5  $\pm$  5.6) Ma 比较, 两者相差约 8 Ma, 但在误差范围内接近一致。两个样品中, 天桥含石英闪长岩中的角闪石  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  值介于 0.596 ~ 0.627 之间, 斜长石  $\text{An} = 31 \sim 36$ ; 喇叭沟门闪长岩中的角闪石  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  值介于 0.618 ~ 0.648 之间, 斜长石  $\text{An} = 45 \sim 55$ , 两者比较天桥含石英闪长岩中角闪石  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  值略有降低, 而斜长石的 An 值明显降低, 显示出岩浆结晶分异的特点; 结合锆石 U-Pb 年龄和矿物化学成分变化特点, 可以推断基性的喇叭沟门辉长闪长岩-角闪闪长岩岩体形成相对较早, 而偏中性的天桥含石英闪长岩杂岩体形成相对较晚, 两

表2 喇叭沟门闪长岩(O5A06)锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果

Table 2 Zircon SHRIMP U-Pb dating results from Labagoumen diorite

Spot	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U ( $\times 10^{-6}$ )	Th ( $\times 10^{-6}$ )	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	err (%)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	err (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	err (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 (Ma)
1.1	2.32	134.9	133.2	1.02	0.0416	10.51	0.257	10.92	0.0448	3.00	282.2 $\pm$ 8.3
2.1	1.64	103.2	85.2	0.85	0.0645	15.96	0.397	16.28	0.0446	3.24	281.4 $\pm$ 8.9
3.1	2.00	87.2	77.7	0.92	0.0527	18.71	0.328	19.13	0.0451	4.01	284.5 $\pm$ 11.2
4.1	2.58	72.5	111.7	1.59	0.1552	15.10	0.492	16.08	0.0230	5.53	146.5 $\pm$ 8.0
5.1	0.00	119.1	272.3	2.36	0.0646	5.46	0.410	6.27	0.0460	3.09	290.0 $\pm$ 8.8
6.1	0.00	239.3	426.1	1.84	0.0581	4.11	0.376	4.73	0.0470	2.35	296.1 $\pm$ 6.8
7.1	0.00	296.7	413.6	1.44	0.0565	4.36	0.375	4.96	0.0482	2.37	303.2 $\pm$ 7.0
8.1	0.00	159.9	247.7	1.60	0.0723	5.25	0.447	5.95	0.0448	2.81	282.8 $\pm$ 7.8
9.1	0.00	53.6	84.5	1.63	0.0951	6.73	0.608	7.46	0.0463	3.21	292.0 $\pm$ 9.2
10.1	0.00	176.9	199.8	1.17	0.0597	4.64	0.375	5.26	0.0456	2.47	287.2 $\pm$ 6.9
11.1	0.98	78.8	97.5	1.28	0.0687	10.19	0.428	10.61	0.0452	2.95	284.9 $\pm$ 8.2
12.1	1.35	67.2	108.2	1.66	0.0769	11.89	0.459	12.31	0.0432	3.20	272.9 $\pm$ 8.5

者是同一次构造-岩浆热事件的产物。应用 Holland *et al.* (1994) 的角闪石-斜长石温度计, 计算喇叭沟门闪长岩的结晶温度约 770°C, 天桥含石英闪长岩的结晶温度约 750°C; 由天桥含石英闪长岩角闪石化学成分应用全铝压力计 (Schmidt, 1992; Anderson *et al.*, 1995) 计算的岩石形成压力在 0.38 ~ 0.45GPa 之间, 相当于 12 ~ 15km 深度。在研究区可见的范围内, 该中基性杂岩体延伸长度达 80km 以上, 表明晚古生代的岩浆活动异常强烈。

此前, 马芳等(2004a) 曾从滦平北李营一个小型球状闪长岩体 (面积仅 0.003 km<sup>2</sup>) 的球体中获得了 (284  $\pm$  8) Ma 单颗粒锆石 U-Pb 年龄, 球体间基质角闪石 (291  $\pm$  4) Ma 的 K-Ar 年龄和不含球体的细粒石英闪长岩中角闪石 (279  $\pm$  4) Ma 的 K-Ar 年龄, 与本文所获得的锆石 SHRIMP 年龄相印证。

从现有岩石化学资料 (郁建华等, 1994; 檀国平, 1994; 以及 1:25 万隆化县幅和承德市幅资料) 分析, 这些中基性岩石均属钙碱性系列, 在构造环境判别的  $R_1$ - $R_2$  图解上均落在板块碰撞前区域, 稀土曲线均为轻稀土富集型, 钨无异常或正钨异常, 显示岩石来源于洋壳俯冲脱水诱导的地幔楔部分熔融或玄武质岩浆底侵下地壳部分熔融, 形成于岛弧构造环境。马芳等(2004b) 对北李营球状闪长岩的研究认为球状闪长岩及边缘细粒闪长岩可以与埃达克岩对比, 岩石的形成与古亚洲洋板块向华北克拉通北缘俯冲作用有关。

(2) 研究区及其附近除上述中基性岩浆活动外, 从原来的古元古代岩石中还分辨出一些晚古生代的中酸性侵入岩 (张栓宏等, 2004; Zhang *et al.*, 2007), 岩石地球化学和同位素年代学研究工作显示, 这些花岗质岩石属钙碱性-高钾钙碱性系列, 具有岩浆弧深成岩甚至埃达克质岩石的地球化学特点; 锆石 SHRIMP 年龄介于 (324  $\pm$  6) Ma ~ (302  $\pm$  4) Ma

之间 (张栓宏等, 2004; Zhang *et al.*, 2007), 其中位于本文研究区内的波罗诺石英闪长岩和虎什哈花岗闪长岩的年龄分别为 (302  $\pm$  4) Ma 和 (310  $\pm$  5) Ma。作者等也从波罗诺南隧道附近的黑云角闪石英闪长岩中获得了 (299  $\pm$  6) Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄, 与 Zhang *et al.* (2007) 获得的 (302  $\pm$  4) Ma 的锆石 SHRIMP 年龄在误差范围内一致; 这表明冀北丰宁-承德一带还存在一次比上述中基性岩浆作用稍早的中酸性岩浆活动, 形成时代在 325 ~ 300Ma 之间。有趣的是这些中酸性侵入体中的锆石往往含有一些古老锆石残核, 如张栓宏等(2004) 报道的隆化片麻状花岗闪长岩中锆石残核的年龄为 (1809  $\pm$  21) Ma, 我们从波罗诺石英闪长岩锆石中获得的古老锆石残核的年龄为 (2450  $\pm$  22) Ma (6 个  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  表面年龄数据点的加权平均值)。较多古元古代-新太古代古老锆石的残核的存在, 意味着这些中酸性侵入体可能来源于由早前寒武纪岩石构成的陆壳物质的部分熔融或是遭受了古老陆壳物质的强烈混染; 同时也反映华北克拉通北缘冀北地区的早前寒武纪基底主要由新太古代末 (古元古代初) 和古元古代末的物质组成。

本文研究的闪长质岩石中没有发现古老锆石残核, 这很可能意味着它们来源于岩石圈地幔或下地壳的部分熔融。

(3) 区域地质资料 (1:25 万隆化县幅、张北县幅) 显示, 在尚义-赤城-隆化断裂带以北, 还发育大量的花岗闪长岩-二长花岗岩-正长花岗岩侵入体, 时代归属中一晚二叠世, 区调填图中获取的单颗粒锆石 U-Pb 年龄多介于 270 ~ 250Ma 之间, 我们从丰宁长岗北西中粗粒二长 (正长) 花岗岩中获得的 SHRIMP 锆石年龄为 (248  $\pm$  10) Ma。这些中酸性岩体无变形变质现象, 与上述丰宁-承德地区的石炭纪一早二叠世具片麻理构造的岩体明显不同, 后者具有不同程度的变形变质现



象。考虑到区调工作中单颗粒锆石测年因锆石结构复杂以及测点数据较少可能造成的误差,结合胡玲等(2002)报道的晚古生代变形年龄( $263 \pm 2$ ) Ma,以及作者等最近从赤城北具白眼圈构造的石榴斜长角闪岩中获得的( $263.3 \pm 7.5$ ) Ma 的变质年龄(SHRIMP 年龄,待刊资料),我们认为华北北缘在晚二叠世( $260 \sim 250$ Ma)是一个重要的转折阶段,由强烈挤压的构造背景开始向后造山转换,晚二叠世末—三叠纪初已进入了主造山期之后的构造松弛阶段。这一结论与许多研究中亚造山带的学者得出的古亚洲洋在晚二叠世封闭的结论相印证(Wang *et al.*, 1986; Sengör *et al.*, 1996; Robinson *et al.*, 1999; Badarch *et al.*, 2002; Xiao *et al.*, 2003; Li, 2006; Shen *et al.*, 2006)。因此可以推测,古亚洲洋板块晚古生代向华北克拉通北缘的俯冲作用在晚二叠世末基本结束,这也就是古亚洲洋封闭的上限。

综上所述,冀北地区许多原归属于早前寒武纪的中基性侵入体被重新厘定为早二叠世,岩体形成时代在 279 ~ 290Ma 之间;冀北地区大量晚古生代的钙碱性侵入岩的存在,表明华北克拉通北缘在晚古生代时期是一条类似于安第斯型的活动大陆边缘。这些岩体的变形变质特点结合其它变质作用的年代依据,推测古亚洲洋的封闭不晚于二叠纪末,随后进入了主造山期之后的松弛阶段,形成了大量的造山型和后造山花岗岩,三叠纪碱性岩的发育(阎国翰等, 2000)标志着中亚造山作用的终结。晚古生代强烈岩浆作用的确定将促使我们重新认识中亚造山作用对华北克拉通北缘的改造以及对成矿作用的影响。

**致谢** 成文过程中得到了赵越研究员和张栓宏博士的热情帮助,评审员对文稿提出了宝贵的修改意见,在此深表谢忱。

## References

Anderson JL and Smith DR. 1995. The effects of temperature and  $f O_2$  on the Al-in-hornblende barometer. *American Mineralogist*, 80: 549 - 559

Badarch G, Cunningham WD and Windley BF. 2002. A new terrane subdivision for Mongolia; Implications for the Phanerozoic crustal growth of central Asia. *J. Asian Earth Sci.*, 21: 87 - 110

Chen B, Jahn BM, Wilde S and Xu B. 2000. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications. *Tectonophysics*, 328: 157 - 182

Cheng YQ. 1994. Outline of regional geology of China. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 517 (in Chinese with English abstract)

Davis GA, Zheng Y, Wang C, Darby BJ, Zhang C and Gehrels G. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China. In: Hendrix MS and Davis GA (eds). *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central and Eastern Asia*. *Mem. Geol. Soc. Am.*, 194: 171 - 197

Holland T and Blundy J. 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry.

*Contributions to Mineralogy and Petrology*, 116: 433 - 447

Hong D, Wang S, Xie X *et al.* 2000. Genesis of positive  $\epsilon$  (Nd, t) granitoids in the Da Hinggan Mts.-Mongolia orogenic belt and growth continental crustal. *Earth Science Frontiers*, 7(2): 441 - 456 (in Chinese with English abstract)

Hong D, Wang S, Xie X and Zhang J. 2001. The Phanerozoic continental growth in Central Asia and the evolution of Laurasia supercontinent. *Gondwana Res.* 4: 632 - 633

Hong D, Zhang JS, Wang T *et al.* 2004. Continental crustal growth and the supercontinental cycle: evidence from the Central Asian Orogenic Belt. *J. Asian Earth Sciences*, 23: 799 - 813

Hu L, Song HL, Yan DP *et al.* 2002.  $^{40}Ar/^{39}Ar$  dating of mylonites from Shangyi-Chicheng fault zones and its geological significance. *Science in China (Series D)*, 32(11): 908 - 913 (in Chinese with English abstract)

Jahn BM, Wu FY and Chen B. 2000. Granitoids of the Central Asian Orogenic Belt and continental growth in the Phanerozoic. *Transactions Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 91, 181 - 193

Leake BE and 21 others. 1997. Nomenclature of amphiboles, report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Mineral. Mag.*, 61: 295 - 321

Li JY. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: Closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate. *Journal of Asian Earth Sciences*, (in press)

Ma F, Mu ZG and Liu L. 2004a. Geochronology and the geological significance of the orvicular dioritic rocks in Luanping, Hebei Province. *Geol. Rev.*, 50(4): 360 - 364 (in Chinese with English abstract)

Ma F, Mu ZG, Liu L and Fleck RJ. 2004b. Geochemistry and source nature of the orbicular dioritic rocks in Luanping, Hebei Province. *Geochemica*, 33(6): 593 - 601 (in Chinese with English abstract)

Mao DB, Zhong CT, Chen ZH *et al.* 1999. Isotopic ages and geological implications of high-pressure mafic granulites in the northern Chengde area, Hebei Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 15: 524 - 531 (in Chinese with English abstract)

Robinson PT, Zhou MF, Hu XF, Reynolds P and Bai WJ. 1999. Geochemical constraints on the origin of the Hegenshan Ophiolite, Inner Mongolia, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17: 423 - 442

Schmidt MW. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure, an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110: 304 - 310

Sengör AMC, Natal' in BA. 1996. Paleotectonics of Asia: Fragments of a synthesis. In: Yin A and Harrison TM (eds). *The tectonic evolution of Asia*, Cambridge University Press, New York, 486 - 640

Sengör AMC, Natal' in BA and Burtman VS. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia, *Nature*, 364: 299 - 307

Shao JA. 1991. Crustal Evolution in the Middle Part of the Northern Margin of the Sino-Korean Plate, Beijing: Peking Univ. Publ. House, 1 - 136 (in Chinese with English abstract)

Shen SZ, Zhang H, Shang QH and Li WZ. 2006. Permian stratigraphy and correlation of Northeast China: A review. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006(in press)

Song B, Zhang YH, Wan YS *et al.* 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48(supp.): 26 - 30 (in Chinese with English abstract)

Tan GP. 1994. Geochemical characteristics of diorite and evaluation of its ore-bearing property in Yanshan Region. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 9(2): 18 - 27 (in Chinese with English abstract)

- Tang K. 1990. Tectonic development of Paleozoic fold belts at the north margin of the Sino-Korean craton, *Tectonics*, 9: 249 – 260
- Wang Q and Liu XY. 1986. Paleoplate tectonics between Cathaysia and Angaraland in Inner Mongolia of China, *Tectonics*, 5: 1073 – 1088
- Xiao WJ, Windley BF, Hao J and Zhai MG. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt. *Tectonics*, 22(6): 8.1 – 8.20
- Xu B, Chen B. 1997. The structure and evolution of a Middle Paleozoic orogenic belt between the North China and Siberian Blocks, northern Inner Mongolia, China. *Science in China (Series D)*, 27(3): 227 – 232 (in Chinese)
- Yan GH, Mu BL, Xu BL *et al.* 1999. Triassic alkaline intrusives in the Yanliao-Yinshan area: their chronology, Sr, Nd and Pb isotopic characteristics and their implication. *Science in China (Series D)*, 42(6): 582 – 587
- Yu JH, Fu HQ, Zhang FL and Guan MS. 1994. The plutonism of Beijing area. Beijing: Geol. Publ. House, 1 – 196
- Zhang SH, Zhao Y, Song B and Wu H. 2004. The late Paleozoic gneissic granodiorite pluton in early Pre-cambrian high-grade metamorphic terrains near Longhua county in northern Hebei province, north China; result from zircon SHRIMP U-Pb dating and its tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 621 – 626
- Zhang SH, Zhao Y, Song B *et al.* 2007. Carboniferous granitic plutons from the northern margin of the North China block: Implications for a late Paleozoic active continental margin. *Journal of the Geological Society*, 164: 451 – 463
- Zhang YP and Tang KD. 1989. Pre-Jurassic tectonic evolution of intercontinental region and the suture zone between the North China and Siberian platforms. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 3(1 – 4): 47 – 55
- Zhao GC, Cawood PA, Wilde SA *et al.* 2000. Metamorphism of basement rocks in the central zone of the North China Craton: implications for Palaeoproterozoic tectonic evolution. *Precambrian Res.*, 103: 55 – 88
- Zhao GC. 2001. Paleoproterozoic assembly of the North China Craton. *Geological Magazine*, 138: 87 – 91
- 附中文参考文献**
- 程裕淇(主编). 1994. 中国区域地质概论北京: 地质出版社. 1 – 517
- 洪大卫, 王式洸, 谢锡林等. 2000. 兴蒙造山带正  $\epsilon(\text{Nd}, t)$  值花岗岩的成因和大陆地壳生长. *地学前缘*, 7(2): 441 – 456
- 胡玲, 宋鸿林, 颜丹平等. 2002. 尚义-赤城断裂带中糜棱岩  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄记录及其地质意义. *中国科学(D辑)*, 32(11): 908 – 913
- 马芳, 穆治国, 刘玉琳. 2004. 河北滦平球状闪长岩年代学及其地质意义. *地质论评*, 50(4): 360 – 364
- 马芳, 穆治国, 刘玉琳, Fleck R J. 2004. 河北滦平球状闪长岩岩石地球化学特征与源区性质探讨. *地球化学*, 33(6): 593 – 601
- 毛德宝, 钟长汀, 陈志宏等. 1999. 承德北部高压基性麻粒岩的同位素年龄及其地质意义. *岩石学报*, 15(4): 524 – 531
- 邵济安. 1991. 中朝板块北缘中段地壳演化. 北京: 北京大学出版社, 1 – 136
- 宋彪, 张玉海, 万渝生. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. *地质论评*, 48(增刊): 26 – 30
- 檀国平. 1994. 燕山地区含矿闪长岩类的地球化学标志. *地质找矿论丛*, 9(2): 18 – 27
- 徐备, 陈斌. 1997. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中生代造山带的结构和演化. *中国科学(D辑)*, 27(3): 227 – 232
- 阎国翰, 牟保磊, 许保良等. 2000. 燕辽—阴山三叠纪碱性侵入岩年代学和 Sr、Nd、Pb 同位素特征及其意义. *中国科学(D辑)*, 30(4): 383 – 387
- 郁建华, 付会芹, 张凤兰, 管梅生. 1994. 北京地区岩浆深成作用. 地质出版社, 1 – 196
- 张拴宏, 赵越, 宋彪等. 2004. 冀北隆化早前寒武纪高级变质区内的晚中生代片麻状花岗岩闪长岩—锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义. *岩石学报*, 20(3): 621 – 626