

# 大兴安岭西南坡成矿带晚古生代中期未变质 岩浆岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学

薛怀民<sup>1</sup> 郭利军<sup>2</sup> 侯增谦<sup>1</sup> 童 英<sup>1</sup> 潘晓菲<sup>1</sup> 周喜文<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 内蒙古地矿局地矿处研究中心, 内蒙古呼和浩特 010200)

**摘 要:** 大兴安岭西南坡晚古生代中、晚期未变质的岩浆岩广泛分布, 它们的侵位时间虽不尽相同, 但都晚于中亚-蒙古造山区(带)东部峰期造山的时间, 且大多与主缝合带拼合后的拉张构造环境有关, 岩石性质也多具有偏碱性或双峰式的特点。本文测定了内蒙古东南部二连浩特-贺根山缝合带与索伦山-西拉木伦缝合带之间的维拉斯托石英闪长岩和闪长岩、拜仁达坝花岗岩闪长岩以及道伦达坝英安质晶屑凝灰岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄, 它们分别为  $310 \pm 2$ 、 $311 \pm 2$ 、 $319 \pm 3$  和  $300 \pm 5$  Ma, 时代均为晚石炭世。这些岩浆岩的形成时间比(峰期造山形成的)锡林郭勒杂岩的变质年龄( $337 \pm 6$  Ma)晚约 20~40 Ma, 未受到变形和变质作用的影响, 推测其属于晚造山/后造山的岩浆岩。认为西伯利亚板块与华北板块之间主缝合带的闭合时间应在晚石炭世前, 主缝合带的位置应在二连浩特-贺根山一线。

**关键词:** 后造山, 晚石炭世, SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 中亚造山区, 内蒙古

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>1; P597

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)06-0811-13

## SHRIMP zircon U-Pb ages of the middle Neopaleozoic unmetamorphosed magmatic rocks in the southwestern slope of the Da Hinggan Mountains, Inner Mongolia

XUE Huai-min<sup>1</sup>, GUO Li-jun<sup>2</sup>, HOU Zeng-qian<sup>1</sup>, TONG Ying<sup>1</sup>, PAN Xiao-fei<sup>1</sup> and ZHOU Xi-wen<sup>1</sup>

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Research Center, Department of Geology and Mineral Resources, Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources, Hohhot 012000, China)

**Abstract:** Located in the compound part of the EW-trending Paleozoic Central Asia-Mongolia orogenic belt and the eastern margin of the NNE-trending Asian continent orogenic belt of littoral West Pacific, the southwestern slope of the Da Hinggan Mountains in Inner Mongolia is a newly discovered nonferrous metallogenic belt with ideal mineralization potential. The unmetamorphosed magmatic rocks emplaced at the middle-late stage of Neopaleozoic are widely distributed in this area, and the lithologic association includes not only intermediate-acidic to alkaline rocks but also bimodal volcanic rocks. Although there exists great difference in their emplacement ages, they were all formed later than the metamorphic time of the Xilin Gol complex and the peak orogenic stage of the eastern segment of the Central Asia-Mongolia orogenic belt. Spatially, most of these magmatic rocks, with A-type or bimodal properties in geochemistry, are related to the extensional tectonic setting after the closure of the main suture. In this study, the authors acquired zircon SHRIMP U-Pb data of late Variscan magmatic rocks outcropped in southeastern Inner Mongolia, tectonically situated at the area between Erlian-Hegen

收稿日期: 2010-06-02; 修订日期: 2010-09-02

基金项目: 中国地质调查项目(1212010611817, 1212010711814); 内蒙古地质矿产局矿业公司资助项目

作者简介: 薛怀民(1962-), 男, 研究员, 主要从事岩石学与地球化学研究工作, E-mail: huaiminx@sina.com。

suture and Solon-Xarmoron suture, with the purpose of making constraint on the closure time of the main suture between the Siberian plate and the Sino-Korean plate. Zircon SHRIMP U-Pb analyses yield emplacement ages of  $310 \pm 2$  and  $311 \pm 2$  Ma for quartz-diorite and diorite from the Weilasituo silver-polymetallic deposit,  $319 \pm 3$  Ma for granodiorite from the Bairendaba deposit, and  $300 \pm 5$  Ma for dacitic tuff from the Daolundaba deposit, indicating that they all belong to late Carboniferous. The emplacement ages of these magmatic rocks are about 20~40 Ma later than the metamorphic age ( $337 \pm 6$  Ma) of the Xilin Gol complex formed at the peak stage of orogeny. These magmatic rocks were not affected by deformation and metamorphism, implying that they belong to late-/post-orogenic magmatic rocks. The authors hold that, although the Central Asia-Mongolia orogenic belt is characterized by poly-island arc accretions and poly-sutures, the orogenic process must have undergone many times of collision and convergence between palaeo-ocean crust and palaeocontinent, island arc and island arc, island arc and continent, palaeo-ocean crust and micro-continental block, micro-continental block and micro-continental block, and micro-continental block and palaeocontinent, and the main suture between the Siberian plate and the Sino-Korean plate is situated near the Erenhot-Hegenshan belt.

**Key words:** post-orogen; late Carboniferous; SHRIMP U-Pb dating; Central Asian orogenic region, Inner Mongolia

大兴安岭西南坡地处古生代近东西向的中亚-蒙古造山带和中生代北北东向的滨太平洋造山带的叠加复合部位,不仅集中保存了大量与两次造山事件有关的构造和岩浆岩记录,是研究中亚-蒙古造山带东段的造山过程、演化及后期造山作用叠加、复合和改造的理想地区,还因近几年相继发现了拜仁达坝银铅锌矿、维拉斯托铅锌银矿、道伦达坝铜铅锌矿、花熬包特银铅锌矿等一批大-中型的有色金属矿床而闻名,在大兴安岭的西南坡新勾画出了一条长约 300 km、宽百余公里的北东向的有色金属成矿带(刘建明等,2004)。本文分别测定了该成矿带内维拉斯托铅锌银矿的赋矿围岩——石英闪长岩及闪长岩、拜仁达坝银铅锌矿附近的花岗闪长岩以及道伦达坝矿区二叠纪林西组蚀变英安质晶屑凝灰岩夹层的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄,试图通过对这些未变形变质的(可能形成于晚造山或后造山阶段)晚古生代岩浆岩的年代学研究,讨论研究区晚古生代花岗岩浆演化,并为限定中亚-蒙古造山带东段造山峰期的上限年龄提供证据。

## 1 地质概况

位于西伯利亚板块与塔里木-华北板块之间的中亚-蒙古造山区(带)具有多岛弧增生和多缝合的特点(如 Sengör *et al.*, 1993; Sengör and Natal'in, 1996; 任纪舜等, 1999; 张旗等, 2001)。研究区处于该造山区(带)东南部最主要的两条缝合带,即二连

浩特-贺根山缝合带和索伦山-西拉木伦河缝合带之间(图 1a),区内出露的最老地层单元是锡林郭勒变质杂岩。对于该变质杂岩的构造属性目前尚存在不同的认识,早先曾被当作前寒武纪的古老陆块(或微陆块)时代从早元古代到新元古代的观点都有(内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 徐备等, 1996; 郝旭等, 1997)。施光海等(2003)通过对该杂岩内副片麻岩(黑云斜长片麻岩)中碎屑岩浆锆石的 SHRIMP 法定年,认为锡林郭勒杂岩是一套经历过强变形与变质作用的古生代弧前浊积岩建造。最近笔者用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法测得该变质杂岩的变质年龄为  $337 \pm 6$  Ma,副片麻岩中碎屑锆石的年龄主要集中在  $406 \pm 7$  Ma,花岗片麻岩原岩的年龄为  $382 \pm 2$  Ma(薛怀民等, 2009),进而认为区内的锡林郭勒杂岩并非古老地块,而是早华力西期(晚古生代早期)造山作用的产物,其中的变质年龄( $337 \pm 6$  Ma)应代表造山作用的峰期时间。在锡林郭勒变质杂岩之上依次发育晚石炭世至二叠纪的本巴图组、阿木山组、大石寨组、哲斯组以及林西组等晚古生代地层,它们又被中新生代的火山-沉积地层不整合覆盖。

区内晚古生代中、后期的岩浆岩广泛出露,既有中酸性到偏碱性的侵入岩,也有双峰式的火山岩。它们的一个共同特点是均没有受到过明显变形和变质作用的影响(除火山岩有轻微的蚀变外),说明它们的形成应晚于主要造山作用和构造变动的的时间。这些晚古生代中、后期侵入岩以石英闪长质为主,其次为花岗闪长质、二长花岗质、碱长花岗质及少量的

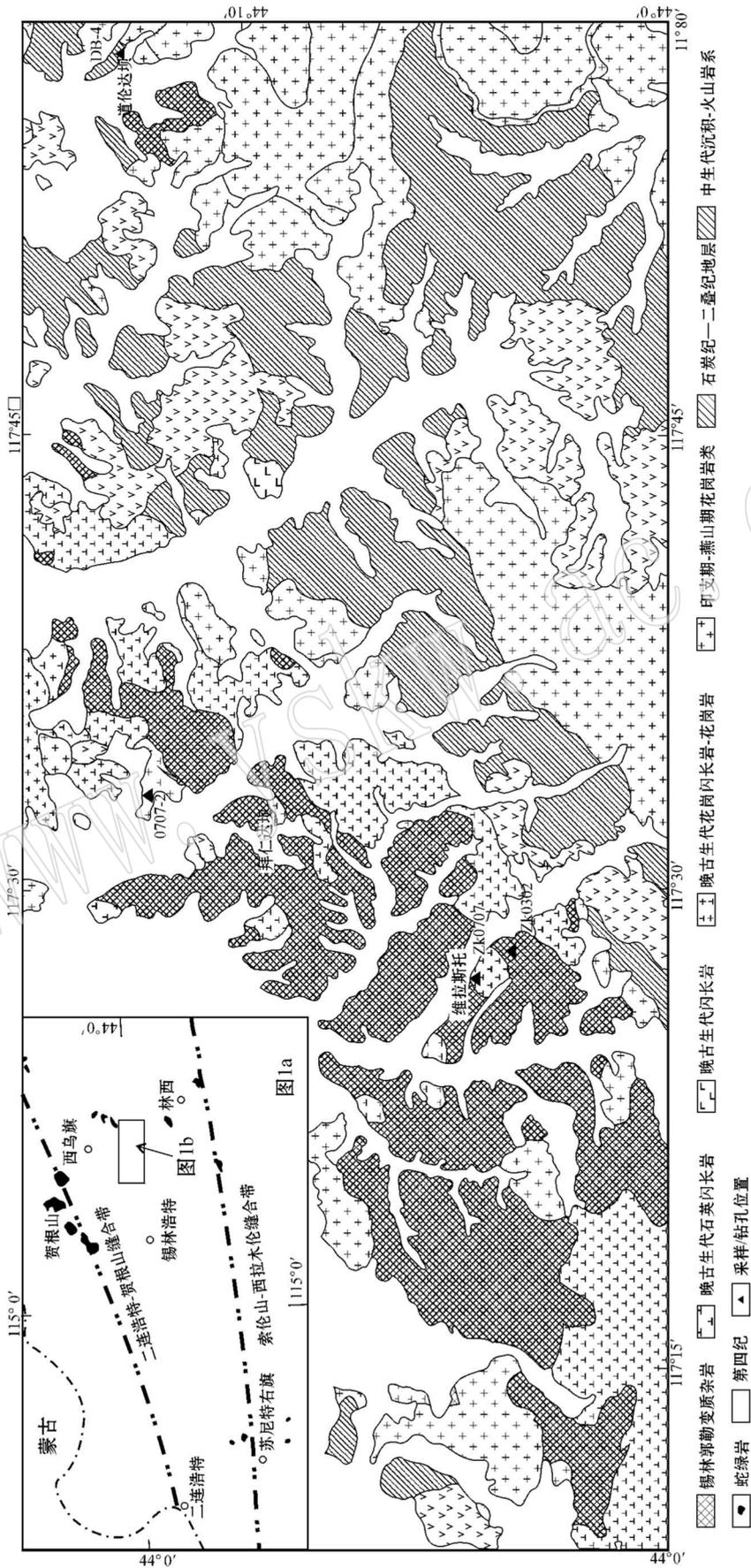


图 1 中亚-蒙古造山带内蒙古东南部地质简图  
 Fig. 1 Geological sketch map of the southeastern part of Inner Mongolia in central Asia-Mongolia orogenic belt

闪长质,它们多以小岩株的形式侵入到锡林郭勒变质杂岩内及晚石炭世的地层中,又被二叠纪和中、新生代的火山-沉积地层覆盖。这些岩体的空间分布总体呈北东东向排列,大致平行于古生代区域构造线的走向。

拜仁达坝银铅锌矿和维拉斯托铅锌银矿均产于锡林郭勒变质杂岩与石英闪长岩接触带附近的岩体内,矿体受 NW 向及近 EW 向的断裂控制。而道伦达坝铜多金属矿区处于锡林郭勒变质杂岩边缘的二叠系林西组内,矿体的分布具有明显的规律性,一是沿断裂破碎带充填成矿,二是集中在围岩与花岗闪长岩接触带附近。其中林西组主要为一套浅变质的泥岩和粉砂岩(现已变质为板岩),夹数层厚度不等的变玄武岩-英安质凝灰岩。

## 2 样品与分析方法

闪长岩(ZK0302-1),采自维拉斯托铅锌银矿区 ZK0302 钻孔的 331 m 深处。该岩体在地表没有出露,钻孔中侵入到黑云变粒岩(属锡林郭勒变质杂岩)中。岩石呈中粒等粒结构,主要矿物为斜长石(约 60%)、钾长石(约 20%)和角闪石(约 15%),次要矿物为石英(<5%)。岩石中未见到明显的蚀变和矿化现象。

石英闪长岩(ZK0707-2),采自维拉斯托铅锌银矿区 ZK0707 钻孔的 31 m 深处。岩石为中粒似斑状结构,其中斜长石呈半自形板状似斑晶,含量约 70%。基质中钾长石呈他形不规则状充填在斜长石似斑晶的间隙中或围绕斜长石边缘生长,含量约 15%。石英呈他形粒状-不规则状,普遍具波状消光现象,含量约 10%。暗色矿物为黑云母,含量不足 5%。岩石中绿泥石化、黄铁矿化较强,并见有细脉-浸染状的方铅矿、闪锌矿及黄铜矿化。

花岗闪长岩(7079-2),采自拜仁达坝银铅锌矿区东约 2 km 采石场。岩石为中粒等粒结构-似斑状结构,主要矿物为斜长石(约 40%)、钾长石(约 30%)和石英(约 20%),次要矿物为黑云母(含量 <5%)。另外岩石中还含少量角闪石。岩石有一定的蚀变,其中斜长石表面多蚀变为高岭土。

变英安质晶屑凝灰岩(DB-4),采自道伦达坝矿区铜矿区钻孔岩芯。岩石已遭水化蚀变,但原岩的凝灰结构仍隐约可辨。晶屑含量约 15%,表面多蚀变为绢云母,但部分晶屑仍可见卡斯巴双晶或卡钠

复合双晶,说明原岩中的晶屑主要是斜长石。基质都已重结晶,颗粒细小,主要有细小的长石(约占基质的 70%)和石英(约占基质的 20%),其次是黑云母(约占基质的 10%)。岩石中黑云母具明显的定向性。

SHRIMP 锆石 U-Pb 定年是在中国地质科学院北京离子探针中心虚拟网络实验室利用澳大利亚 Curtin 理工大学的 SHRIMP II 离子探针仪完成的。其中锆石按常规方法分选,并在双目镜下仔细挑纯。将锆石与一片 RSES 参考样 SL13 及数粒 TEM 置于环氧树脂中,然后磨至约一半,使锆石内部暴露,再镀上黄金膜。仪器条件和数据采集参见 Williams (1998)的有关描述。靶径约 25~30  $\mu\text{m}$ ,数据通过 5 个循环收集。测试是在二次离子流强度约为 4.5 nA 和 10 kV 进行的,质量分辨率约 5 000(1%峰高)。应用 RSES 参考锆石 TEM(417 Ma)进行元素间的分馏校正,Pb-U 校正公式采用  $\text{Pb}/\text{U} = A(\text{UO}/\text{U})_2$  (Claoue-Long *et al.*, 1995),应用另一 RSES 参考样 SL13(年龄为 572 Ma, U 含量为  $238 \times 10^{-6}$ )标定所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量。数据处理分别应用 Ludwig (2001)的 Isoplot 程序。表 1 中测试数据的误差均为  $1\sigma$ , $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值的误差为  $2\sigma$ 。

## 3 分析结果

闪长岩(ZK0302-1)中的锆石晶形分两类,部分呈自形柱状,但与柱面相比,锥面总体不发育。另一部分锆石颗粒呈半自形-他形板柱状。CL 照片显示这些锆石晶体内部环带普遍不发育,部分发育有稀疏的直纹环带(图 2)。本次研究共对 13 个锆石颗粒进行了年龄测定,这些分析点在  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  -  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和图上均位于一致线上或其附近。它们的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄也比较集中,除分析点 10.1 略偏低(300.1 Ma)外,其他 12 个分析点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄介于 304.2~314.0 Ma 之间,加权平均年龄为  $310 \pm 2$  Ma(图 3a),代表该岩体的侵位年龄。

石英闪长岩(ZK0707-2)中的锆石呈自形柱状,长宽比约为 2/1。CL 照片显示很多锆石颗粒的内部含有继承或捕获锆石核,周边岩浆成因形成的震荡生长环带清楚(图 2)。本次研究共对 20 个锆石颗粒的 22 个点进行了年龄测定,其中分析点 2.1、5.1、6.1、7.1、8.1、10.1 和 16.1 提供的是核部继承或捕获锆石的年龄值,它们的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄主要为早华力西期(如分析点 2.1、8.1 和 16.1 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表

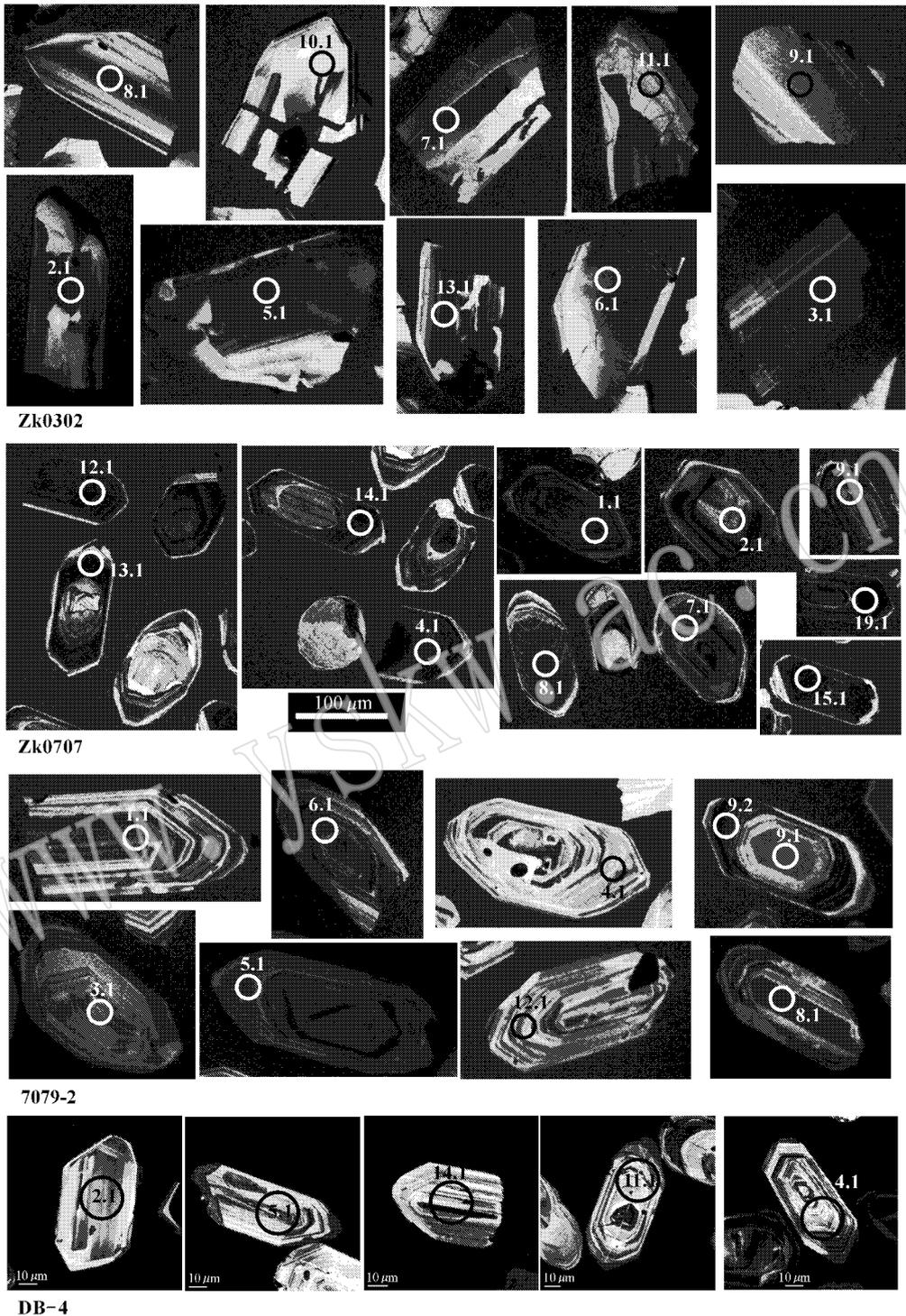


图 2 中亚-蒙古造山带内蒙古东南部部分晚古生代未变质岩浆岩中锆石的阴极发光照片

Fig. 2 CL images of dated zircon crystals from the late Paleozoic unmetamorphosed magmatic rocks outcropped in southeastern Inner Mongolia of central Asia-Mongolia orogenic belt

面年龄分别为  $354.0 \pm 4$  Ma、 $427.2 \pm 4.8$  Ma 及  $421.0 \pm 4.6$  Ma) 和晚元古代早期(如分析点 6.1、7.1 和 10.1 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄分别为  $900.0 \pm$

$11.0$  Ma、 $921 \pm 10.0$  Ma 和  $1\ 041 \pm 48.0$  Ma), 个别可能为加里东期的(如分析点 5.1 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄为  $467.9 \pm 5.5$  Ma)。另外, 分析点 15.1 明显不

表 1 中亚-蒙古造山带内蒙古东南部部分晚古生代未变质岩浆岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果  
 Table 1 SHRIMP analytical results for zircons from the late Paleozoic magmatic rocks outcropped in southeastern Inner Mongolia of central Asian-Mongolia orogenic belt

	$^{206}\text{Pb}_c$ /%	$\omega_B/10^{-6}$			Th/U	年龄(±1σ)					比值			
		U	Th	$^{206}\text{Pb}^*$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	±%	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	±%	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	±%
闪长岩(ZK0302-1)														
1.1	0.52	202	418	8.44	2.14	304.2±3.9	361±86	296.4±5.5	0.053 8	3.8	0.358 0	4.0	0.048 33	1.3
2.1	0.46	413	628	17.5	1.57	308.5±3.6	234±67	286.8±4.7	0.050 8	2.9	0.344 0	3.1	0.049 03	1.2
3.1	0.39	65	21	2.76	0.33	309.4±5.3	257±210	309.0±36	0.051 4	9.1	0.348 0	9.2	0.049 17	1.8
4.1	0.02	343	326	14.7	0.98	314.0±3.7	378±65	314.5±5.7	0.054 2	2.9	0.373 0	3.1	0.049 91	1.2
5.1	—	361	481	15.3	1.38	310.5±3.7	380±41	306.6±4.9	0.054 21	1.8	0.368 8	2.2	0.049 35	1.2
6.1	0.26	229	340	9.84	1.53	313.3±5.2	552±73	302.0±6.8	0.058 6	3.3	0.402 0	3.7	0.049 80	1.7
7.1	—	324	200	13.6	0.64	309.4±3.7	490±54	308.8±7.8	0.057 0	2.4	0.386 0	2.7	0.049 17	1.2
8.1	0.29	233	200	9.88	0.89	309.2±3.9	303±52	295.8±8.1	0.052 4	2.3	0.355 0	2.6	0.049 13	1.3
9.1	—	175	222	7.31	1.31	306.0±4.0	334±50	298.6±5.9	0.053 1	2.2	0.356 2	2.6	0.048 61	1.3
10.1	1.84	44	7	1.82	0.17	300.1±6.9	180±460	246.0±140	0.049 7	20.0	0.327 0	20	0.047 70	2.4
11.1	0.31	139	145	5.93	1.08	312.4±4.6	472±120	317.0±10	0.056 5	5.6	0.387 0	5.8	0.049 65	1.5
12.1	0.81	152	168	6.40	1.15	307.0±4.2	191±140	285.0±8.7	0.049 9	6.0	0.336 0	6.2	0.048 78	1.4
13.1	0.15	391	403	16.6	1.06	310.6±3.7	261±53	292.9±5.2	0.051 5	2.3	0.350 2	2.6	0.049 36	1.2
石英闪长岩(ZK0707-2)														
1.1	—	739	236	31.7	0.33	314.2±3.5	330±28	311.6±6.5	0.053 04	1.3	0.365 2	1.7	0.049 94	1.1
2.1	0.05	736	107	35.7	0.15	354.0±4.0	375±27	337.0±10.0	0.054 09	1.2	0.421 1	1.7	0.056 46	1.2
3.1	0.14	914	613	40.1	0.69	320.6±3.6	362±29	303.6±5.4	0.053 77	1.3	0.378 0	1.7	0.050 99	1.1
4.1	0.01	923	384	39.8	0.43	315.8±3.5	294±27	310.2±5.2	0.052 20	1.2	0.361 4	1.6	0.050 21	1.1
5.1	—	303	301	19.6	1.03	467.9±5.5	481±36	458.6±7.5	0.056 72	1.6	0.589 0	2.0	0.075 28	1.2
6.1	0.15	174	84	22.4	0.50	900.0±11.0	888±29	878.0±19.0	0.068 63	1.4	1.418 0	1.9	0.149 90	1.3
7.1	—	382	43	50.5	0.12	921±10.0	917±15	905±19.0	0.069 61	0.7	1.474 0	1.4	0.153 6	1.2
7.2	0.55	845	427	38.2	0.52	329.1±3.7	355±44	304.1±6.8	0.053 60	2.0	0.387 1	2.3	0.052 38	1.2
8.1	—	512	359	30.1	0.72	427.2±4.8	513±36	429.3±7.6	0.057 56	1.6	0.544 0	2.0	0.068 51	1.2
9.1	—	1146	390	50.9	0.35	325.3±3.6	367±24	328.0±5.7	0.053 90	1.1	0.384 6	1.5	0.051 76	1.1
9.2	0.04	732	358	31.5	0.51	314.9±3.5	340±30	319.5±5.4	0.053 25	1.3	0.367 6	1.8	0.050 07	1.1
10.1	—	420	87	63.2	0.21	1041±48.0	1003±92	1057±65.0	0.072 6	4.5	1.750 0	6.7	0.175 2	5.0
11.1	0.01	291	51	12.1	0.18	304.9±3.7	368±45	328±13.0	0.053 9	2.0	0.360 1	2.4	0.048 43	1.2
12.1	—	934	611	38.9	0.68	305.7±3.4	324±21	305.1±4.3	0.052 88	0.9	0.354 1	1.5	0.048 57	1.1
13.1	0.03	1866	759	80.4	0.42	315.4±3.4	367±16	317.2±4.3	0.053 90	0.7	0.372 6	1.3	0.050 14	1.1
14.1	0.05	1619	1489	68.8	0.95	311.0±3.4	375±20	302.1±3.8	0.054 09	0.9	0.368 6	1.4	0.049 43	1.1
15.1	1.46	2165	2305	92.8	1.10	309.4±3.4	553±45	301.9±5.1	0.058 6	2.1	0.397 4	2.4	0.049 17	1.1
16.1	0.03	900	438	52.2	0.50	421.0±4.6	440±21	429.0±6.3	0.055 69	1.0	0.518 2	1.5	0.067 48	1.1
17.1	—	1510	1417	64.4	0.97	312.2±3.4	319±18	301.7±3.8	0.052 77	0.8	0.361 0	1.4	0.049 62	1.1
18.1	0.03	1630	1666	69.6	1.06	312.4±3.4	333±18	296.8±3.7	0.053 09	0.8	0.363 4	1.4	0.049 65	1.1
19.1	0.16	1629	1815	68.8	1.15	308.7±3.4	371±25	310.8±3.9	0.053 99	1.1	0.365 2	1.6	0.049 06	1.1
20.1	—	1659	1676	69.0	1.04	304.9±3.3	360±17	298.0±3.7	0.053 73	0.7	0.358 8	1.3	0.048 44	1.1
花岗闪长岩(7079-2)														
1.1	—	274	142	11.9	0.54	317.0±3.9	362±47	317.8±7.4	0.053 8	2.1	0.373 7	2.4	0.050 40	1.2
2.1	0.17	124	62	5.44	0.51	319.8±4.4	282±72	308.0±10.0	0.051 9	3.1	0.364 0	3.4	0.050 87	1.4
3.1	1.01	91	46	4.01	0.52	318.8±4.8	-71±180	284.0±18.0	0.044 7	7.2	0.313 0	7.4	0.050 70	1.5
4.1	0.20	147	70	6.46	0.49	320.3±4.3	296±77	314.0±11.0	0.052 2	3.4	0.367 0	3.7	0.050 94	1.4
5.1	0.11	187	109	8.07	0.60	315.8±4.1	266±55	300.7±8.2	0.051 6	2.4	0.357 0	2.7	0.050 21	1.3
6.1	1.75	243	127	10.4	0.54	308.0±4.0	571±130	297.0±19.0	0.059 1	6.0	0.399 0	6.2	0.048 95	1.3
7.1	0.69	130	69	5.69	0.55	317.7±4.4	276±140	314.0±16.0	0.051 8	6.1	0.361 0	6.2	0.050 51	1.4
8.1	—	173	143	7.53	0.85	319.2±4.3	390±46	320.8±7.0	0.054 5	2.1	0.381 3	2.5	0.050 77	1.4
9.1	0.54	166	97	7.87	0.60	344.2±4.6	155±92	316.0±11.0	0.049 2	3.9	0.372 0	4.1	0.054 85	1.4
9.2	0.51	947	344	41.8	0.38	321.3±3.6	517±38	333.8±9.3	0.057 7	1.7	0.406 3	2.1	0.051 11	1.1
10.1	0.20	253	161	11.1	0.66	320.0±3.9	367±44	303.3±6.4	0.053 9	1.9	0.378 2	2.3	0.050 89	1.3
11.1	—	148	83	6.42	0.58	319.0±4.6	345±110	319.0±13.0	0.053 4	4.8	0.373 0	5.1	0.050 72	1.5
12.1	0.64	163	98	7.15	0.62	318.8±4.3	103±130	295.0±12.0	0.048 1	5.4	0.336 0	5.6	0.050 69	1.4

续表 1  
Continued Table 1

	$^{206}\text{Pb}_c$ /%	$\omega_B/10^{-6}$		$\text{Th}/\text{U}$	年龄 ( $\pm 1\sigma$ )				比值					
		U	Th		$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm \%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm \%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm \%$
英安质晶屑凝灰岩 (DB-4)														
1.1	0.01	207	110	54.80	0.55	1 735.0 $\pm$ 40.0	1 779 $\pm$ 10	1694.0 $\pm$ 47.0	0.108 79	0.56	4.630	2.7	0.308 8	2.6
2.1	0.20	208	244	8.59	1.21	301.7 $\pm$ 7.7	299 $\pm$ 44	280.5 $\pm$ 8.2	0.052 30	1.9	0.346	3.3	0.047 9	2.6
3.1	0.12	895	360	86.20	0.42	685.0 $\pm$ 17.0	755 $\pm$ 14	620.0 $\pm$ 28.0	0.064 41	0.7	0.995	2.7	0.112 1	2.6
4.1	0.26	293	163	12.50	0.57	311.6 $\pm$ 8.1	203 $\pm$ 74	293.6 $\pm$ 9.4	0.050 20	3.2	0.343	4.1	0.049 5	2.7
5.1	0.46	239	120	9.54	0.52	290.9 $\pm$ 7.5	263 $\pm$ 76	272.0 $\pm$ 11.0	0.051 50	3.3	0.328	4.2	0.046 2	2.6
6.1	0.67	86	89	3.55	1.07	300.5 $\pm$ 8.0	247 $\pm$ 95	281.0 $\pm$ 10.0	0.051 10	4.1	0.336	4.9	0.047 7	2.7
7.1	0.25	230	362	9.25	1.63	294.8 $\pm$ 7.5	267 $\pm$ 59	281.7 $\pm$ 8.1	0.051 60	2.6	0.333	3.7	0.046 8	2.6
8.1	2.00	54	53	2.24	1.01	295.7 $\pm$ 8.2	100 $\pm$ 260	267.0 $\pm$ 14.0	0.046 20	11.0	0.299	11.0	0.046 9	2.8
9.1	0.43	67	56	3.05	0.87	334.1 $\pm$ 8.9	400 $\pm$ 87	322.0 $\pm$ 12.0	0.054 70	3.9	0.401	4.8	0.053 2	2.7
10.1	0.14	336	87	29.60	0.27	629.0 $\pm$ 16.0	733 $\pm$ 22	775.0 $\pm$ 24.0	0.063 73	1.1	0.900	2.8	0.102 4	2.6
11.1	0.29	273	269	11.50	1.02	307.0 $\pm$ 7.8	267 $\pm$ 54	321.7 $\pm$ 9.9	0.051 60	2.3	0.347	3.5	0.048 8	2.6
12.1	0.39	204	187	10.40	0.95	369.9 $\pm$ 9.4	346 $\pm$ 63	360.0 $\pm$ 11.0	0.053 40	2.8	0.435	3.8	0.059 1	2.6
13.1	0.10	624	340	38.10	0.56	442.0 $\pm$ 11.0	410 $\pm$ 23	426.0 $\pm$ 12.0	0.054 94	1.0	0.538	2.8	0.071 0	2.6
14.1	—	371	262	23.50	0.73	458.0 $\pm$ 12.0	516 $\pm$ 24	442.0 $\pm$ 12.0	0.057 63	1.1	0.585	2.9	0.073 6	2.6
15.1	0.63	149	164	6.10	1.14	298.2 $\pm$ 7.8	328 $\pm$ 66	286.0 $\pm$ 9.4	0.053 00	2.9	0.346	4.0	0.047 4	2.7
16.1	1.24	73	68	3.07	0.97	305.2 $\pm$ 8.5	88 $\pm$ 330	293.0 $\pm$ 19.0	0.047 80	14.0	0.319	14.0	0.048 5	2.8
17.1	0.23	152	102	9.95	0.69	471.0 $\pm$ 12.0	473 $\pm$ 56	472.0 $\pm$ 15.0	0.056 50	2.5	0.591	3.7	0.075 9	2.6

注 Pb\* 为放射性成因 Pb,  $^{206}\text{Pb}_c$ /% 为普通 Pb 在  $^{206}\text{Pb}$  中所占百分比。

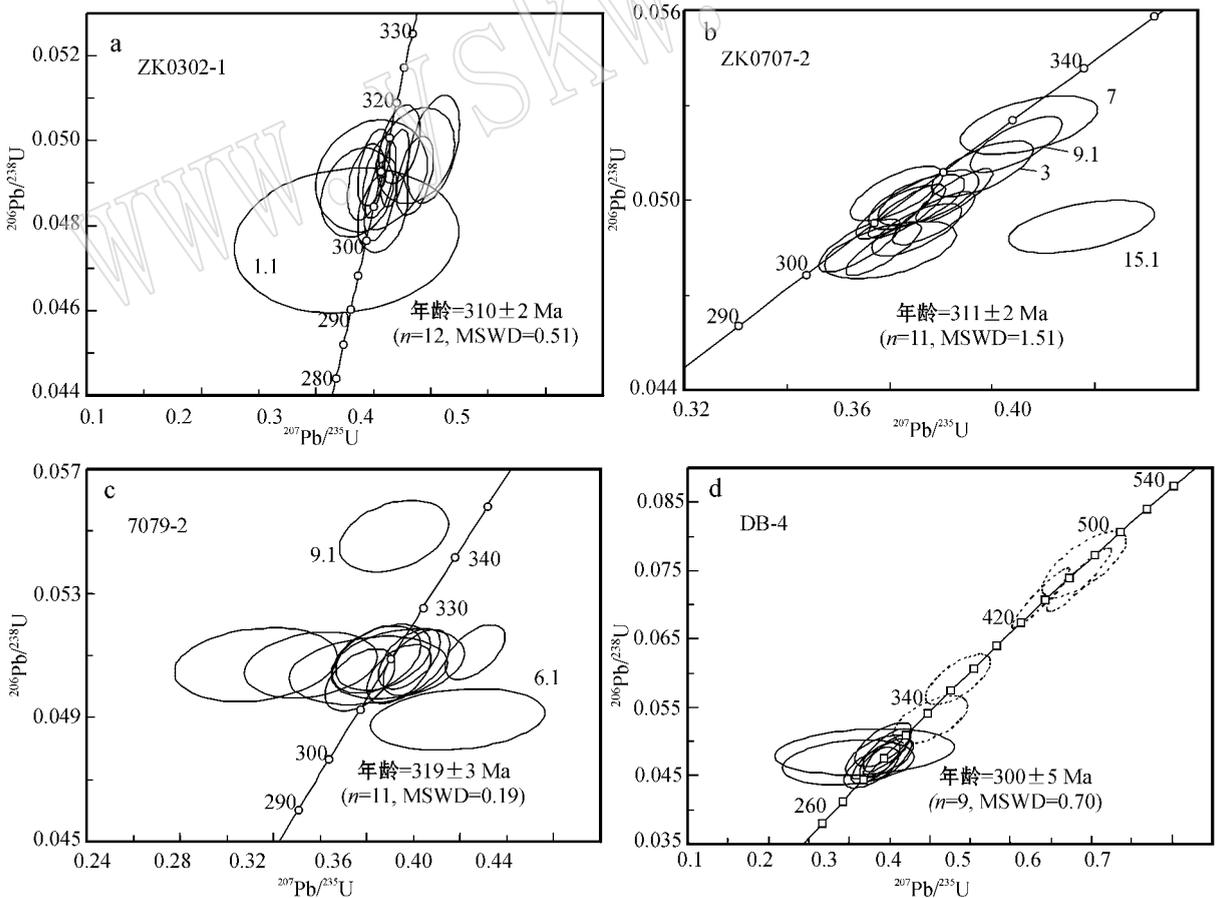


图 3 中亚-蒙古造山带内蒙古东南部晚古生代未变质岩浆岩的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  -  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和图

Fig. 3 Concordia diagrams showing SHRIMP analytical points for zircons from the late Paleozoic unmetamorphosed magmatic rocks outcropped in southeastern Inner Mongolia of central Asia-Mongolia orogenic belt

谐和,分析点 3.1、7.2 和 9.1 的年龄明显老于其他分析点(图 3b)。其余 11 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄比较集中,介于 304.9~315.4 Ma 之间,它们的加权平均年龄为  $311 \pm 2$  Ma,与闪长岩的侵位年龄几乎一致。

花岗闪长岩(7079-2)中的锆石呈自形柱状,长宽比介于 1/1~2/1。CL 照片显示这些锆石颗粒的内部震荡生长环带发育(图 2),个别颗粒的核部还含有早期岩浆成因锆石(如分析点 9.1)。本次研究共对 12 个锆石颗粒的 13 个点进行了年龄测定,其中分析点 9.1 为捕获的早期岩浆成因锆石核,分析点 6.1 明显不谐和,其余 11 个分析点位于 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和线上或其附近(图 3c),且它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄非常集中,介于 315.8~321.3 Ma 之间,它们的加权平均年龄为  $319 \pm 3$  Ma,代表区内花岗岩类的侵位年龄。

变英安质晶屑凝灰岩(DB-4)中的锆石呈自形柱状,长宽比介于 1/1~2/1。CL 照片显示这些锆石颗粒的内部环带较发育,个别锆石颗粒内部有继承或捕获锆石核(图 2)。本次研究共对 17 个锆石颗粒进行了年龄测定,其中分析点 1.1、3.1、10.1、13.1、14.1 和 17.1 提供的是继承或捕获锆石的年龄值,它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄既有早元古代的(如分析点 1.1 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄达  $1735.0 \pm 40.0$  Ma)和晚元古代早期(如分析点 3.1 和 10.1 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄分别为  $685.0 \pm 17.0$  Ma 和  $629.0 \pm 16.0$  Ma),还有较多的加里东期的(如分析点 13.1、14.1 和 17.1 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄分别为  $442.0 \pm 11.0$  Ma、 $458.0 \pm 12.0$  Ma 和  $471.0 \pm 12.0$  Ma)和早华力西期的锆石(如分析点 12.1 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄分别为  $369.9 \pm 9.4$  Ma)。另外,分析点 9.1 的年龄明显老于其他分析点(图 3d)。其余 9 个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄比较集中,介于 290.9~311.6 Ma 之间,它们的加权平均年龄为  $300 \pm 5$  Ma,该年龄可代表区内后造山(拉张)环境下双峰式火山活动的时间。

此外,部分岩体中虽然含有个别新元古代的继承锆石或捕获锆石,但所含的也主要为早古生代(加里东期),尤其是晚古生代早期(早华力西期)的继承锆石,说明这些后造山的岩浆岩主要是由新生地壳部分熔融形成的。

## 4 讨论

中亚-蒙古造山区(带)是全球显生宙大陆地壳

增生最显著的地区(Sengör *et al.*, 1993; 吴福元等, 1999; Jahn *et al.*, 2000; Wu *et al.*, 2000; Badarch *et al.*, 2002; 洪大卫等, 2003; Jahn, 2004)。造山作用表现为古亚洲洋壳分别向南、北两侧的古大陆块体(华北板块-塔里木板块和西伯利亚板块)俯冲而相向增生。造山过程经历过古洋壳与古大陆块、弧与弧、弧与陆、古洋壳与微陆块、微陆块与微陆块、微陆块与古大陆块体之间多期次碰撞和对接,其中主缝合带的碰撞拼合可看作造山作用的峰期。虽然在造山带演化的不同阶段、与不同缝合带的拼合-伸展作用相联系,都有相应的岩浆事件发生,但由于中亚-蒙古造山作用总体具有软碰撞的特点(任纪舜等, 1999),除主缝合带的碰撞拼合外,其他类型的拼合并不一定都会引起广泛的变质事件。对于这些形成于造山带演化的不同阶段、与不同缝合带的拼合-伸展作用有关、时间跨度大、数量众多、类型复杂的岩浆岩,只有将它们置于造山带演化的特定时空框架内,并与特定的造山作用事件相联系,才有可能根据这些岩浆岩的形成时代和地球化学性质再造山作用的过程。但根据它们侵位的时间与主缝合带碰撞拼合的先后,可粗略地分为前碰撞(拼合)的岩浆岩和晚/后碰撞(拼合)的岩浆岩两类。

无疑,区内较多分布的、与俯冲作用有关、具有埃达克质地球化学特征的岩体应属于前碰撞的岩浆岩,这些岩体的侵位时代大多数介于 467~429 Ma 之间(Chen *et al.*, 2000; 刘敦一等, 2003; 石玉若等, 2004, 2005; 陶继雄等, 2005),可以当作中亚-蒙古造山带东南段造山作用峰期的下限年龄。唯一例外的是在华北北缘,这里发育了一条规模巨大的岩浆岩带,侵位时间从晚奥陶世一直持续到早二叠世晚期(如马芳等, 2004; 张拴宏等, 2004; 李锦轶等, 2007; 王惠初等, 2007; 张臣等, 2007; 张维等, 2008; 曾俊杰等, 2008),且很多岩体形成时代晚于锡林郭勒变质杂岩的变质年龄(晚石炭世),其成因可能与古洋壳沿西拉木伦缝合带的消减有关(陈斌等, 2001)。这也从一个角度说明,西拉木伦缝合带虽然可能是古亚洲洋最终闭合的位置,但其闭合并未造成广泛的变质事件,可能不属主缝合带。

区内后碰撞(拼合)阶段形成的岩浆岩分布广泛,其中的绝大多数都与主缝合带(二连浩特-贺根山缝合带)拼合后的拉张构造环境有关,岩石性质也多具有偏碱性或双峰式的特点。其中二连浩特-贺根山缝合带北侧后碰撞(拼合)阶段的岩浆岩以碱性

花岗岩最具代表性。洪大卫等(2000)曾在这里识别出了两条碱性花岗岩带,其中北带从蒙古到俄罗斯外贝加尔东,以正长岩占主导,时代为早二叠世;南带从新疆北部经南蒙古直至内蒙古,形成时代从晚石炭世到早三叠世。近年来,张玉清等(2009)用单颗粒锆石 U-Pb 同位素稀释法测得内蒙古东乌珠穆沁旗京格斯台碱性花岗岩年龄为  $284.8 \pm 1.1$  Ma,张万益等(2008)测得内蒙古查干敖包石英闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $237 \pm 6$  Ma,证明该区碰撞后拉张构造环境下形成的岩浆岩时代从早二叠世一直延续到中三叠世初期。另外,张玉清(2009)采用单颗粒锆石 U-Pb 同位素稀释法测得苏尼特左旗巴音乌拉埃达克质花岗闪长岩的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄为  $256.1 \pm 0.9$  Ma,认为该花岗岩是在缝合带闭合后,由残余洋壳部分熔融形成的。Miao 等(2008)测得侵入到贺根山蛇绿岩内的朝克山辉绿岩墙的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $295 \pm 9$  Ma,该岩墙也可看作是后造山拉张构造环境下岩浆作用的产物。

二连浩特-贺根山缝合带与索伦山-西拉木伦缝合带之间后碰撞(拼合)阶段岩浆岩的时代主要集中在 270~325 Ma 范围内的早石炭世晚期—早二叠世。如刘建峰等(2009)用 LA-ICP-MS 法测得西乌旗达其浑迪和金星石英闪长岩的锆石 U-Pb 年龄分别为  $325 \pm 3$  Ma 和  $322 \pm 3$  Ma。鲍庆中(2007a, 2007b)测得西乌旗前进场二长花岗岩、白音高勒地区梅林达巴石英闪长岩、乌兰沟石英闪长岩和白音高勒石英闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为  $280.8 \pm 3.6$  Ma、 $313 \pm 5$  Ma、 $315 \pm 4$  Ma 和  $323 \pm 4$  Ma。但对于岩体形成的环境有不同的解释,刘建峰等(2009)认为其成因与古亚洲洋板片的向北俯冲有关,而鲍庆中(2007a, 2007b)则认为这些岩体都形成于张性构造环境,属于陆内裂谷演化阶段的产物。聂凤军等(2009)测得二连浩特苏-查萤石矿底、顶板流纹岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为  $276 \pm 10$  Ma 和  $271 \pm 8$  Ma,这些酸性岩浆的喷发略晚于花岗岩类的侵位,是区内古生代构造-岩浆活动终结的标志(聂凤军等,2009)。本次研究测得西乌旗拜仁达坝-维拉斯托矿区闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为  $310 \pm 2$  Ma、 $311 \pm 2$  Ma 和  $319 \pm 3$  Ma,道伦达坝矿区英安质晶屑凝灰岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $300 \pm 5$  Ma。这些岩浆岩在空间上都与锡林郭勒变质杂岩紧密共生,但都没有发生过变形和变质作用,说明它们的侵

位时间应晚于区内峰期造山的时间。因此,约 300 Ma 的石炭纪末期可看作是中亚-蒙古造山带东段造山峰期的上限年龄。

至于中亚-蒙古造山区(带)主缝合带的具体位置及确切的造山作用峰期时间,基于不同的研究对象,不同学者往往得出迥异的认识,至今尚莫衷一是。主要认识包括:①最终闭合于二连浩特-贺根山缝合带的观点(曹从周等,1986;Sengor *et al.*, 1993, Nozaka & Liu, 2002; Miao *et al.*, 2008),闭合时间有中泥盆世(如 Tang, 1990;徐备等,1997)、晚泥盆世到早石炭世(如邵济安,1991;王荃等,1991;洪大卫等,1994;Chen *et al.*, 2000)和晚二叠世(如 Sengör *et al.*, 1993;Sengör and Natal'in, 1996; Xiao *et al.*, 2003;陶继雄等,2003;张连昌等,2008)之分;②最后沿索伦山-西拉木伦河碰撞拼合的观点(任纪舜等,1980;Wang & Liu, 1986;孙德有等,2004;李锦轶等,2007),闭合时间又有早二叠世末(如任纪舜等,1980)、晚二叠世到早三叠世(如孙德有等,2004, 2005)及中三叠世(如李锦轶等,2007)之分。此外,还有学者认为,古亚洲洋在中古生代就已经闭合,石炭—二叠纪区域上广泛发育的是裂谷岩浆活动(如唐克东,1989)。周新华等(2009)认为,索伦-西拉木伦-长春-延吉构造带和蒙古-鄂霍茨克带是区内最重要的两条缝合带,前者是在晚二叠世—早三叠世中间地块群与华北板块碰撞形成的,后者形成于晚三叠世—早白垩世,标志着与中间地块群拼合后的华北板块与西伯利亚板块的最终拼合。

锡林郭勒变质杂岩是中亚-蒙古造山区(带)东南部出露的唯一具有造山带构造变形特征的地质单元,理应对造山作用具特殊的指示意义。在排除了它们为古老陆块(微陆块)的基础上,我们认为其形成与中朝板块和西伯利亚板块沿主缝合带碰撞(拼合)的峰期造山有关,其变质年龄( $337 \pm 6$  Ma)可代表造山作用的峰期时间,时代为中石炭世中期(维宪阶)。前人对苏尼特左旗蓝闪石片岩的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年代学研究和对晚泥盆世—早石炭世短暂发育的磨拉石建造及花岗岩的锆石 U-Pb 年代学研究也表明,华北板块与西伯利亚板块之间主缝合带的“焊接”时间为 320 Ma 左右(王荃等,1991;邵济安等,2002)。此外,周志广等(2010)在贺根山缝合带北东侧的内蒙古东乌珠穆沁旗满都胡宝拉格地区发现丰富的早中二叠世华夏植物群,也证明两大板块之间主缝合带的闭合时间应在早二叠世之前。据此可以推测,锡

林郭勒变质杂岩是由早先岛弧环境下形成的岩浆岩和沉积岩随着洋盆的闭合和陆-陆碰撞(主缝合带应在二连浩特-贺根山一线),被俯冲的洋壳拖曳到地下深处(部分达到了形成蓝片岩的压力条件),随后折返上来形成的。

## 5 结论

侵入到锡林郭勒变质杂岩中、未变质的维拉斯托石英闪长岩和闪长岩、拜仁达坝花岗闪长岩以及道伦达坝英安质晶屑凝灰岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄集中在 300 Ma 左右,指示中亚-蒙古造山带东段造山峰期不晚于晚石炭世。

致谢 北京科技大学的谢玉玲教授参加了部分野外工作,评审人对文章提出了有益的修改意见,在此一并致谢!

## References

- Badarch C, Cunningham W D and Windley B F. 2002. A new terrane subdivision for Mongolia: Implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21: 87~110.
- Bao Qingzhong, Zhang Changjie, Wu Zhili, *et al.* 2007a. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of a Carboniferous quartz diorite in Baiyingaole area, Inner Mongolia and its implications [J]. *Journal of Jilin University*, 37(1): 15~23 (in Chinese with English abstract).
- Bao Qingzhong, Zhang Changjie, Wu Zhili, *et al.* 2007b. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granitoids in a Late Paleozoic rift area, southeastern Inner Mongolia, and its implications [J]. *Geology in China*, 34(5): 790~798 (in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Nei Mongol Autonomous Region. 1991. *Regional Geology of Nei Mongol Autonomous Region* [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Cao Congzhou, Yang Fanglin, Tian Changlie, *et al.* 1986. The ophiolite in Hegenshan district, Nei Mongol and the position of suture line between Sino-Korean and Siberian Plate [A]. CPPTNC Editorial Committee. *Contributions to the Project of Plate Tectonics in Northern China*: No. 1 [C]. Beijing: Geological Publishing House, 164~186 (in Chinese).
- Chen Bin, Jahn B M, Wilde S, *et al.* 2000. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications [J]. *Tectonophysics*, 328: 157~182.
- Chen Bin, Zhao Guochun and Simon W. 2001. Subduction and collision-related granitoids from southern Sonidzuoqi, Inner Mongolia: Isotopic ages and tectonic implications [J]. *Geological Review*, 47(4): 361~367 (in Chinese with English abstract).
- Cloué-Long J C, Compston W and Roberts J. 1995. Two Carboniferous ages: a comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analysis [A]. Berggren W A, Kent D V, Aubry M P, *et al.* *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation*, SEPM Special Publication [C], 5: 3~31.
- Hao Xu and Xu Bei. 1997. Sm-Nd, Rb-Sr isotopic geochronology of the Xilingol complex, inner Mongolia, China [J]. *Geological Review*, 43(1): 101~105 (in Chinese with English abstract).
- Hong Dawei, Huang Huaizeng, Xiao Yijun, *et al.* 1994. The Permian alkaline granites in central Inner Mongolia and their geodynamic significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 68(3): 219~230 (in Chinese with English abstract).
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, *et al.* 2000. Genesis of positive  $\epsilon(\text{Nd}_t)$  granitoids in the Daxingan Mts-Mongolia orogenic belt and growth continental crust [J]. *Earth Science Frontiers*, 7(2): 441~456 (in Chinese with English abstract).
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, *et al.* 2003. Correlation between continental crustal growth and the supercontinental cycle: Evidence from the granites with positive  $\epsilon(\text{Nd})$  in the Central Asian orogenic belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 203~209 (in Chinese with English abstract).
- Jahn B M. 2004. The Central Asian orogenic belt and growth of the continental crust in the Phanerozoic [A]. *Geological Society, London, Special Publication* [C], 226(1): 73~100.
- Jahn B M, Wu F Y and Chen B. 2000. Massive granitoid generation in Central Asia: Nd isotope evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic [J]. *Episodes*, 23: 82~92.
- Li Jinyi, Gao Liming, Sun Guihua, *et al.* 2007. Shuangjingzi middle Triassic syn-collisional crust-derived granite in the east Inner Mongolia and its constraint on the timing of collision between Siberian and Sino-Korean paleo-plates [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3): 565~582 (in Chinese with English abstract).
- Liu Dunyi, Jian Ping, Zhang Qi, *et al.* 2003. SHRIMP dating of adakites in the Tulingkai ophiolite, inner Mongolia: evidence for the early Paleozoic subduction [J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(3): 317~327 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jianfeng, Chi Xiaoguo, Zhang Xingzhou, *et al.* 2009. Geochemical characteristic of Carboniferous quartz-diorite in the southern Xiwuqi area, Inner Mongolia and its tectonic significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(3): 365~376 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jianming, Zhang Rui and Zhang Qingzhou. 2004. The regional metallogeny of Daxinganling, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 269~277 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2001. *Users Manual for Isoplot/Ex (rev. 2.49): A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel* [A]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication [C]. No. 1a: 1~55.
- Ma Fang, Mu Zhiguo and Liu Yulin. 2004. Geochronology and Geologic Significance of the orbicular dioritic rocks in Luanping, Hebei Province [J]. *Geological Review*, 50(4): 360~364 (in Chinese

- with English abstract ).
- Miao L C, Fan W M, Liu D Y, *et al.* 2008. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implication for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling Orogenic Belt, China[ J ]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 348~370.
- Nie Fengjun, Xu Dongqing, Jiang Sihong, *et al.* 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating on rhyolite samples from the Xilimiao Group occurring in the Su-Cha (Sumoqagan Obo) fluorite district, Inner Mongolia[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 83(4): 496~504( in Chinese with English abstract ).
- Nozaka T and Liu Y. 2002. Petrology of the Hegenshan ophiolite and its implication for the tectonic evolution of northern China[ J ]. *Earth and Planetary Science Letters*, 202: 89~104.
- Ren Jishun, Jiang Chunfa, Zhang Zhengkun, *et al.* 1980. The Tectonic and It's Evolution of China—The Introduction of 1:4000000 Tectonic Map of China[ M ]. Beijing: Science Press, 89~104( in Chinese with English abstract ).
- Ren Jishun, Niu Baogui and Liu Zhigang. 1999. Soft collision, superposition orogeny and polycyclic suturing[ J ]. *Earth Science Frontiers*, 6(3): 85~93( in Chinese with English abstract ).
- Sengör A M C and Natal'in B A. 1996. Paleotectonics of Asia: Fragments of a syntesis[ A ]. Yin A and Harrison M. *The Tectonic Evolution of Asia*[ C ]. Cambridge: Cambridge University Press, 486~640.
- Sengör A M C, Natal'in B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia[ J ]. *Nature*, 363: 299~307.
- Shao Ji'an. 1991. Crustal Evolution in the Middle Part of the Northern Margin of the Sino-Korean Plate[ M ]. Beijing: Peking University Press, 136( in Chinese ).
- Shao Ji'an, Hong Dawei and Zhang Lüqiao. 2002. Genesis of Sr-Nd isotopic characteristics of igneous rocks in Inner Mongolia[ J ]. *Regional Geology of China*, 21(12): 817~822( in Chinese with English abstract ).
- Shi Guanghai, Liu Dunyi, Zhang Fuqin, *et al.* 2003. Zircon SHRIMP U-Pb ages of the Xilingele complex in the Inner Mongolia, China and its significance[ J ]. *Chinese Sci. Bulletin*, 48(20): 2187~2192( in Chinese ).
- Shi Yuruo, Liu Dunyi, Zhang Qi, *et al.* 2004. SHRIMP Dating of Diorites and Granites in Southern Suzuoqi, Inner Mongolia[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 78(6): 789~799( in Chinese with English abstract ).
- Shi Yuruo, Liu Dunyi, Jian Ping, *et al.* 2005. Zircon SHRIMP dating of K-rich granites in Sonid Zuoqi, central Inner Mongolia[ J ]. *Geologica Bulletin of China*, 24(5): 424~428( in Chinese with English abstract ).
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, *et al.* 2004. The final closing time of the west Lamulun River-Changechun-Yanji plate suture zone—Evidence from the Dayushan granitic pluton, Jilin Province[ J ]. *Journal of Jilin University*, 34(2): 174~181( in Chinese with English abstract ).
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Gao Shan, *et al.* 2005. Confirmation of two episodes of A-type granite emplacement during Late Triassic and Early Jurassic in the central Jilin Province, and their constraints on the structural pattern of Eastern Jilin-Heilongjiang area, China[ J ]. *Earth Science Frontiers*, 12(2): 263~275( in Chinese with English abstract ).
- Tang Kedong. 1989. On tectonic development of the fold belts in the north margin of Sino-Korean platform[ J ]. *Geoscience*, 3(2): 195~204( in Chinese with English abstract ).
- Tang K D. 1990. Tectonic development of Paleozoic foldbelts at the north margin of the Sino-Korean craton[ J ]. *Tectonics*, 9(2): 249~260.
- Tao Jixiong, Bai Libing, Bao J W L J, *et al.* 2003. Rock record of Permian subducting orogenic process in Mandula, Inner Mongolia[ J ]. *Geological Survey and Research*, 26(4): 241~249( in Chinese with English abstract ).
- Tao Jixiong, Xu Liquan, He Feng, *et al.* 2005. Petrological evidence for subduction of the Early Paleozoic oceanic crust in Bart-Obo, Inner Mongolia[ J ]. *Geological Survey and Research*, 28(1): 1~8( in Chinese with English abstract ).
- Wang Huichu, Zhao Fengqing, Li Huimin, *et al.* 2007. Zircon SHRIMP U-Pb age of the dioritic rocks from northern Hebei: the geological records of late Paleozoic magmatic arc[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3): 597~604( in Chinese with English abstract ).
- Wang Q and Liu X Y. 1986. Paleoplate tectonics between Cathaysia and Angaraland in Inner Mongolia of China[ J ]. *Tectonics*, 5(7): 1073~1088.
- Wang Quan, Liu Xueya and Li Jinyi. 1991. Paleoplate tectonics in Nei Monggol of China[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 65(1): 1~15( in Chinese with English abstract ).
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe[ A ]. Mickibben M A, Shanks III W C and Ridley W I. *Applications of Micro Analytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*[ C ]. *Reviews of Economic Geology*, 7: 1~35.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou and Lin Qiang. 1999. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 181~189( in Chinese with English abstract ).
- Wu F Y, Jahn B M, Wilde S A, *et al.* 2000. Phanerozoic crustal growth: U-Pb and Sr-Nd isotopic evidence from the granites in northeastern China[ J ]. *Tectonophysics*, (328): 89~113( in Chinese with English abstract ).
- Xiao W J, Windley B F, Hao J, *et al.* 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt[ J ]. *Tectonics*, 1069: 1~21.
- Xu Bei and Chen Bin. 1997. Framework and evolution of the middle Paleozoic orogenic belt between Siberian and North China plate in northern inner Mongolia[ J ]. *Science in China (Series D)*, 27(3): 227~232( in Chinese with English abstract ).

- Xu Bei, Chen Bin and Shao Ji'an. 1996. Sm-Nd, Rb-Sr isotope chronological research on the Xilingele complex in inner Mongolia [J]. Chinese Science Bulletin, 41(2): 153~155 (in Chinese with English abstract).
- Xue Huaimin, Guo Lijun, Hou Zengqian, et al. 2009. The Xilingele complex from the eastern part of the Central Asian-Mongolia Orogenic Belt, China: Products of early Variscan orogeny other than ancient block—evidence from zircon SHRIMP U-Pb ages [J]. Acta Petrologica Sinica, 25(8): 2001~2010 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Junjie, Zheng Youye, Qi Jianhong, et al. 2008. Foundation and geological significance of adakitic granite at Guyang of Inner Mongolia [J]. Earth Science, 33(6): 755~763 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chen, Liu Shuwen, Han Baofu, et al. 2007. SHRIMP U-Pb dating of Dashigou biotite-K-feldspar granites in Shangdu, Inner Mongolia, and its significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 23(3): 591~596 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Ying Jifeng, Chen Zhiguang, et al. 2008. Age and tectonic setting of Triassic basic volcanic rocks in southern Daxingan Rang [J]. Acta Petrologica Sinica, 24(4): 911~920 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi and Zhou Guoqing. 2001. Ophiolite of China [M]. Beijing: Science Press, 1~182 (in Chinese).
- Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Song Biao, et al. 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 [J]. Acta Petrologica Sinica, 20(3): 621~626 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wanyi, Nie Fengjun, Jiang Sihong, et al. 2008. Zircon SHRIMP U-Pb age of quartz diorite in Qagan Obo of Inner Mongolia and its geological significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 27(3): 177~184 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wei and Jian Ping. 2008. SHRIMP dating of early Paleozoic granites from north Damaoqi, Inner Mongolia [J]. Acta Geologica Sinica, 82(6): 778~787.
- Zhang Yuqing. 2009. Geochemical characteristics of Permian adakitic granodiorite in Bayinwula of Sonid Left Banner, Inner Mongolia [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 28(4): 329~338 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuqing, Xu Liqun, Kang Xiaolong, et al. 2009. Age dating of alkali granite in Jingsitai area of Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia, and its significance [J]. Geology in China, 36(5): 988~995 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xinhua, Ying Jifeng, Zhang Lianchang, et al. 2009. The petrogenesis of late Mesozoic volcanic rock and the contributions from Ancient micro-continents: constraints from the zircon U-Pb dating and Sr-Nd-Pb-Hf isotopic systematic [J]. Earth Science, 34(1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Zhiguang, Gu Yongchang, Liu Changfeng, et al. 2010. Discovery of early-middle Permian cathaysian flora in Manduhubaolage area, Dong Ujimqin Qi, Inner Mongolia, China and its geological significance [J]. Geological Bulletin of China, 29(1): 21~25 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 鲍庆中, 张长捷, 吴之理, 等. 2007a. 内蒙古白音高勒地区石炭纪石英闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及其意义 [J]. 吉林大学学报, 37(1): 15~23.
- 鲍庆中, 张长捷, 吴之理, 等. 2007b. 内蒙古东南部晚古生代裂谷区花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义 [J]. 中国地质, 34(5): 790~798.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社.
- 曹从周, 杨芳林, 田昌裂, 等. 1986. 内蒙古贺根山地区蛇绿岩和中朝板块和西伯利亚板块之间的缝合带位置 [A]. 中国北方板块构造论文集 [C], 第 1 集. 北京: 地质出版社, 64~86.
- 陈斌, 赵国春, Simon W. 2001. 内蒙苏尼特左旗南两类花岗岩的同位素年代学及其构造意义 [J]. 地质论评, 47(4): 361~367.
- 郝旭, 徐备. 1997. 内蒙锡林浩特锡林格勒杂岩的原岩年龄和变质年代 [J]. 地质论评, 43: 101~105.
- 洪大卫, 黄怀曾, 肖宜君, 等. 1994. 内蒙古中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义 [J]. 地质学报, 68(3): 219~230.
- 洪大卫, 王式洗, 谢锡林, 等. 2000. 兴安造山带正  $\epsilon(\text{Nd}_t)$  值花岗岩的成因和大陆地壳生长 [J]. 地学前缘, 7(2): 441~456.
- 洪大卫, 王式洗, 谢锡林, 等. 2003. 从中亚正  $\epsilon(\text{Nd}_t)$  值花岗岩看起大陆演化和大陆地壳生长的关系 [J]. 地质学报, 77(2): 203~209.
- 李锦轶, 高立明, 孙桂华, 等. 2007. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束 [J]. 岩石学报, 23(3): 565~582.
- 刘敦一, 简平, 张旗, 等. 2003. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消减的证据 [J]. 地质学报, 77(3): 317~327.
- 刘建峰, 迟效国, 张兴洲, 等. 2009. 内蒙古西乌旗南部石炭纪石英闪长岩地球化学特征及其构造意义 [J]. 地质学报, 83(3): 365~376.
- 刘建明, 张锐, 张庆洲. 2004. 大兴安岭地区的区域成矿特征 [J]. 地学前缘, 11: 269~277.
- 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 [J]. 地质论评, 50(4): 360~364.
- 聂凤军, 许东青, 江思宏, 等. 2009. 内蒙古苏莫查干敖包萤石矿区流纹岩锆石 SHRIMP 定年及地质意义 [J]. 地质学报, 83(4): 496~504.
- 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 1980. 中国大地构造和演化——1:400 万中国大地构造图简要说明 [M]. 北京: 科学出版社, 89~104.
- 任纪舜, 牛宝贵, 刘志刚. 1999. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用 [J]. 地学前缘, 6(3): 85~93.
- 邵济安. 1991. 中朝板块北缘中段地壳演化 [M]. 北京: 北京大学出版社.

- 邵济安,洪大卫,张履桥. 2002. 内蒙古火成岩 Sr-Nd 同位素特征及成因[J]. 地质通报, 21(12): 817~822.
- 施光海,刘敦一,张福勤,等. 2003. 中国内蒙古锡林郭勒杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及意义[J]. 科学通报, 48(20): 2187~2192.
- 石玉若,刘敦一,简平,等. 2005. 内蒙古中部苏尼特左旗富钾花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 24(5): 424~428.
- 石玉若,刘敦一,张旗,等. 2004. 内蒙古苏左旗地区闪长-花岗岩类 SHRIMP 年代学[J]. 地质学报, 78(6): 789~799.
- 孙德有,吴福元,高山,等. 2005. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约[J]. 地质学前沿, 12(2): 263~275.
- 孙德有,吴福元,张艳斌,等. 2004. 西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据[J]. 吉林大学学报, 34(2): 174~181.
- 唐克东. 1989. 中朝陆台北侧褶皱带构造发展的几个问题[J]. 现代地质, 3(2): 195~204.
- 陶继雄,白立兵,宝音乌力吉,等. 2003. 内蒙古满都拉地区二叠纪俯冲造山过程的岩石记录[J]. 地质调查与研究, 26(4): 241~249.
- 陶继雄,许立权,贺锋,等. 2005. 内蒙古巴特敖包地区早古生代洋壳消减的岩石证据[J]. 地质调查与研究, 28(1): 1~8.
- 王惠初,赵凤清,李惠民,等. 2007. 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[J]. 岩石学报, 23(3): 597~604.
- 王荃,刘雪亚,李锦轶. 1991. 中国内蒙古中部的古板块构造[J]. 地质学报, 65(1): 1~15.
- 吴福元,孙德有,林强. 1999. 东北地区显生宙花岗岩成因与地壳增生[J]. 岩石学报, 15(2): 181~189.
- 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[J]. 中国科学(D辑), 27(3): 227~232.
- 徐备,陈斌,邵济安. 1996. 内蒙古锡林郭勒杂岩 Sm-Nd, Rb-Sr 同位素年代研究[J]. 科学通报, 41(2): 153~155.
- 薛怀民,郭利军,侯增谦,等. 2009. 中亚-蒙古造山带东段的锡林郭勒杂岩:早华力西期造山作用的产物而非古老陆块?——锆石 SHRIMP U-Pb 年代学证据[J]. 岩石学报, 25(8): 2001~2010.
- 曾俊杰,郑有业,齐建宏,等. 2008. 内蒙古固阳地区埃达克质花岗岩的发现及其地质意义[J]. 地球科学, 33(6): 755~763.
- 张臣,刘树文,韩宝福,等. 2007. 内蒙古商都大石沟花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义[J]. 岩石学报, 23(3): 591~596.
- 张连昌,英基丰,陈志广,等. 2008. 大兴安岭南段三叠纪基性火山岩时代与构造环境[J]. 岩石学报, 24(4): 911~920.
- 张旗,周国庆. 2001. 中国蛇绿岩[M]. 北京:科学出版社, 1~182.
- 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古生代片麻状花岗岩闪长岩——锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 岩石学报, 20(3): 621~626.
- 张万益,聂凤军,江思宏,等. 2008. 内蒙古查干敖包石英闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 27(3): 177~184.
- 张维,简平. 2008. 内蒙古达茂旗北部早古生代花岗岩类 SHRIMP U-Pb 年代学[J]. 地质学报, 82(6): 778~787.
- 张玉清. 2009. 内蒙古苏尼特左旗巴音乌拉二叠纪埃达克质花岗岩闪长岩类地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 28(4): 329~338.
- 张玉清,许立权,康小龙,等. 2009. 内蒙古东乌珠穆沁旗京格斯台碱性花岗岩年龄及意义[J]. 中国地质, 36(5): 988~995.
- 周新华,英基丰,张连昌,等. 2009. 大兴安岭晚中生代火山岩成因与古老地块物质贡献 锆石 U-Pb 年龄及多元同位素制约[J]. 地球科学, 34(1): 1~10.
- 周志广,谷永昌,柳长峰,等. 2010. 内蒙古东乌珠穆沁旗满都胡宝拉格地区早-中二叠世华夏植物群的发现及地质意义[J]. 地质通报, 29(1): 21~25.