

郝增元, 牛永峰, 陈萌超, 等. 内蒙古石哈河地区黑云母二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 72-80.

Hao Zengyuan, Niu Yongfeng, Chen Mengchao, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the biotite monzonitic granite from Shihaha area in Inner Mongolia and its geological significance[J]. Geology in China, 2016, 43(1): 72-80(in Chinese with English abstract).

内蒙古石哈河地区黑云母二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

郝增元¹ 牛永峰² 陈萌超¹ 高勇¹ 陈海东¹ 牛雪妮³

(1. 内蒙古地质矿产勘查院, 内蒙古 呼和浩特 010010;

2. 内蒙古自治区有色地质勘查局综合普查队, 内蒙古 呼和浩特 010010; 3. 昆明理工大学, 云南 昆明 650093)

摘要:通过对乌拉特中旗石哈河地区黑云母二长花岗岩的锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学的系统研究,探讨了其形成时代及构造环境。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄加权平均值为(275.0±0.7) Ma, 代表了其成岩年龄。岩石的 A/CNK 值为 0.93~1.10, 属于偏铝质-弱过铝质 I 型花岗岩, σ 值为 2.01~2.88, 属于钙碱性系列。岩石 Σ REE 偏低, 轻稀土富集而重稀土亏损, LREE/HREE 为 9.86~15.63, 轻重稀土分异程度较高, Eu 异常不明显或呈弱的负异常。原始地幔标准化蛛网图上富集大离子亲石元素 Rb、K 等, 而亏损高场强元素 Nb, 蛛网图特征与正常弧花岗岩岩石基本一致。根据石哈河地区黑云母二长花岗岩所处大地构造位置、侵位时代及岩石地球化学特征, 推断其形成于活动大陆边缘构造环境, 这也标志着研究区由洋壳俯冲阶段转入陆-陆碰撞构造演化阶段的时间上限应晚于早二叠世晚期。

关键词: 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; I 型花岗岩; 活动大陆边缘; 乌拉特中旗

中图分类号: P597; P588.12¹

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2016)01-0072-09

LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the biotite monzonitic granite from Shihaha area in Inner Mongolia and its geological significance

HAO Zeng-yuan¹, NIU Yong-feng², CHEN Meng-chao¹,
GAO Yong¹, CHEN Hai-dong¹, NIU Xue-ni³

(1. Inner Mongolia Institute of Geological Survey and Mineral Exploration, Hohhot 010010, Inner Mongolia, China;

2. Comprehensive Survey Party, Inner Mongolia Bureau of Nonferrous Geological Exploration, Hohhot 010010,

Inner Mongolia, China; 3. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093 Yunnan, China)

Abstract: Zircon U-Pb chronology and geochemistry of the biotite monzonitic granite from Shihaha area of Urad Middle Banner were studied systematically to investigate its formation age and tectonic background. The weighted average age obtained by zircon LA-ICP-MS U-Pb method is (274.99±0.71)Ma, which represents its formation age. The biotite monzonitic granite belongs to sub-aluminous-weakly peraluminous I-type and calc-alkaline series, with its A/CNK being 0.93-1.10 and σ being 2.01-2.88. The

收稿日期: 2014-12-26; 改回日期: 2015-03-04

基金项目: 中国地质调查局 1:25 万区域地质调查修测项目(1212011120707)资助。

作者简介: 郝增元, 男, 1987 年生, 助理工程师, 从事区域地质、矿产地质调查工作; E-mail: 714044937@qq.com。

total REE (Σ REE) is lower, LREE values are higher and HREE is lower, with LREE/HREE ratio varying from 9.86 to 15.63, indicating that LREE and HREE differentiated intensely. Eu has insignificant anomalies or weakly negative anomalies. In the primitive mantle normalized trace elements spider diagram, the biotite monzogranite is enriched in large ion lithophile elements Rb and K while depleted in high field strength element Nb, similar to features of normal arc granitic rock. According to tectonic setting as well as emplacement time and characteristics of geochemistry of the biotite monzogranite from Shihaha area, it is inferred that the rocks were formed in an active continental margin environment, and the upper limit of conversion from ocean crust subduction to continent collision was later than late Early Permian.

Key words: zircon U-Pb age; geochemistry; I-type granite; active continental margin; Urad Middle Banner

About the first author: HAO Zeng-yuan, male, born in 1987, assistant engineer, engages in regional and mineral geological survey; E-mail: 714044937@qq.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. 1212011120707).

华北板块与西伯利亚板块汇聚、碰撞缝合过程中, 伴随有强烈的多期、次岩浆活动^[1]。晚古生代以来, 岩浆岩呈近东西走向的带状沿华北板块北缘展布在内蒙古隆起之上, 在这些广泛分布的多期次岩浆岩中尤以早石炭世晚期—中二叠世岩浆活动最为强烈^[2]。近年来, 前人对该岩浆岩带的成因及其地质意义做了大量的研究: 许立权^[3]认为白云鄂博—满都拉地区南带早中二叠世花岗岩可能形成于俯冲作用下的大陆弧环境; 张拴宏^[2]认为华北板块北缘早石炭世晚期—中二叠世岩浆岩位于安第斯型活动大陆边缘弧, 其形成可能与古亚洲洋向华北地块的俯冲作用有关; 张青伟^[4]对乌拉特中旗乌兰地区含石榴石花岗岩进行研究后, 将其判别为造山期后碰撞构造环境的产物; 王挽琼^[5]认为乌拉特中旗海西期黑云母二长花岗岩形成于活动大陆边缘碰撞前环境, 与古亚洲洋的俯冲有关。由此可见, 对华北板块北缘岩浆岩带的认识还存在着一定的分歧, 要取得共识仍需要更加深入全面的研究, 同时也离不开更多基础资料的支撑。

本文在研究区 1:25 万区域地质调查工作的基础上, 通过对石哈河地区黑云母二长花岗岩的同位素年代学、岩石学及地球化学资料的系统研究, 探讨其成因、构造环境及地质意义, 以期为区域构造演化提供新的证据。

1 区域地质概况

内蒙古乌拉特中旗石哈河地区位于华北克拉通北缘中段狼山—白云鄂博台缘凹陷内, 地跨狼山—白云鄂博裂谷与色尔腾山—太仆侍旗岩浆弧两

个三级构造分区(图 1)。区内发育的地层有新太古界东五分子岩组阳起黑云片岩、黑云斜长片岩及黑云二长片岩等, 该套岩石韧性剪切、褶皱变形十分强烈, 构成疏密不等的糜棱岩带、糜棱岩化带及一系列紧闭或宽缓的背向斜构造, 表现为组内无序总体有序的层状构造岩石地层单位, 构成了本区太古宇陆核的结晶基底。与东五分子岩组相伴而生的为新太古代变质深成侵入体, 后者将前者分割的支离破碎, 变质深成侵入体进一步划分为花岗质与闪长质^①两种类型; 覆盖其上的为中—新元界白云鄂博裂谷及渣尔泰山裂隙槽沉积, 构成了本区结晶基底之上的非二元结构盖层的过渡类型陆源碎屑沉积^[6]; 中新生界发育的泥岩、砂砾岩、零星的火山岩及砂砾石层不整合覆盖于上述古老地层之上。区内构造—岩浆活动十分强烈, 以 NW 向脆韧性逆断层为主, NE 向脆韧性平移断层为辅; 岩浆活动以海西期岩浆活动为主, 分布于石哈河乡—新忽热苏木一带, 呈不同形态的岩株近 NWW 向或 EW 向展布, 展布方向与本区总体构造线方向基本吻合, 出露岩浆岩主要有闪长岩、石英闪长岩、英云闪长岩及黑云母二长花岗岩。黑云母二长花岗岩单个侵入体呈岩株状或不规则状侵入于新太古界、中—新元古界, 以及五台期变质深成侵入体与早二叠世石英闪长岩、英云闪长岩之中, 而被印支期二长花岗岩侵入。

2 岩石学特征

黑云母二长花岗岩呈浅灰红色、浅灰色、黄色, 中—中细粒结构, 似斑状结构, 块状构造。以中细粒—细粒似斑状结构为主, 斑晶(5~8 mm)为钾长石,

①内蒙古自治区地质调查院. 1:25 万五原县幅区域地质调查报告. 2014.

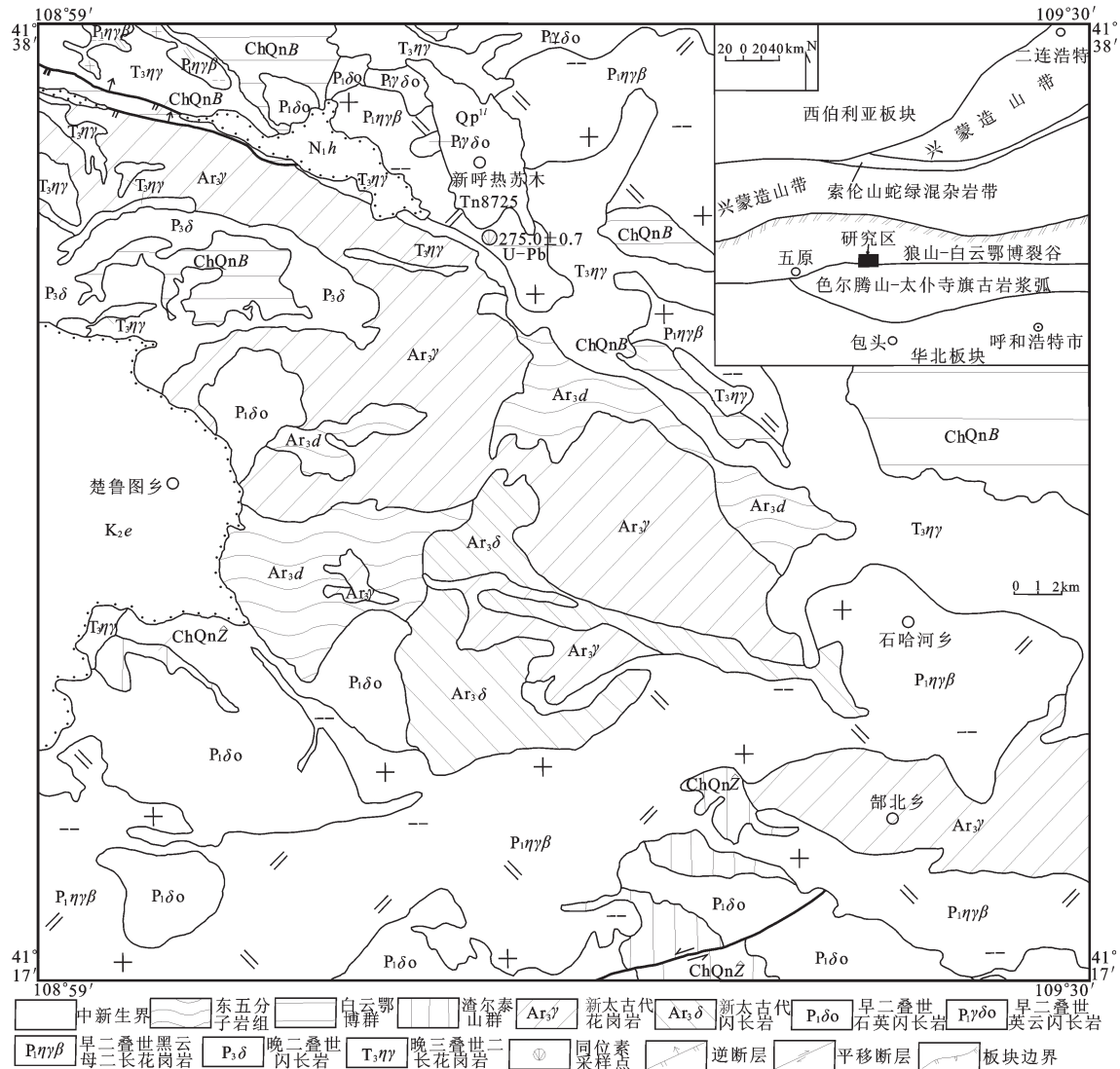


图1 石哈河地区地质简图
Fig.1 Geological sketch map of the Shihaha area

含量 < 15%；基质为中细粒-细粒结构，主要成分为钾长石(35%~40%)、斜长石(25%)、石英(20%~30%)及黑云母(5%~15%)，岩石呈现轻微变质。局部为中细粒结构、中粒结构，矿物成分主要由钾长石(30%~45%)、斜长石(20%~30%)、石英(20%~30%)及黑云母(< 15%)组成。钾长石(条纹长石、微斜长石)呈半自形板状-他形粒状，具弱高岭土化。斜长石(更-中长石)形态及分布特征同钾长石，不同程度绿帘石化、高岭土化。石英呈变晶粒状、不规则状等形态定向分布于长石矿物颗粒间。黑云母呈鳞片状、叶片状或集合体状，不同程度绿泥石化。副矿物主要为榍石、绿帘石及磁铁矿。

3 样品分析测试

本次在黑云母二长花岗岩岩体的不同部位共采集5件新鲜岩石样品进行岩石地球化学分析，选取其中的1件样品(Tn8725)进行锆石U-Pb测年。主量元素、微量及稀土元素的测定均由内蒙古自治区矿产实验研究所完成。主量元素采用全谱直读等离子体发射光谱仪(IRIS Intrepid II/ DG-02)测定(DZG93-01, DZG20.01-1991)，相对标准偏差为2%~5%。微量及稀土元素采用电感耦合等离子体质谱仪(Xseries2/ DG-03)测定(DD2005-01)，相对标准偏差小于10%。

测年样品中锆石的挑选由河北省廊坊区域地质调查研究所完成。样品质量约为 5 kg,经机械粉碎至 80~100 目,用浮选、电磁选方法进行分离,然后在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒用于年龄测定。锆石制靶^[7]和阴极发光图像在中国地质科学院矿产资源研究所北京离子探针中心进行。锆石 U-Pb 同位素分析在天津地质调查中心实验测试室激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICP-MS)上完成。利用 193 nm FX 激光器对锆石进行剥蚀,激光斑束直径为 35 μm ,频率为 10 Hz,采用 He 作为激光剥蚀物质的载气,送入 Neptune (MC-ICPMS),利用动态变焦扩大色散使质量数相差很大的 U-Pb 同位素可以同时接收,从而进行锆石 U-Pb 同位素测定。锆石标样采用 TEM(417 Ma)标准锆石,数据处理采用中国地质大学刘勇胜研发的 ICPMS DataCal 程序,加权平均年龄计算及谐和图的绘制采用 ISPLIT 3.0 程序^[8]。采用 ²⁰⁸Pb 对普通铅进行校正,利用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。具体测试方法与详细分析步骤见文献[7]。采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄的加权平均值作为黑云母二长花岗岩的结晶年龄,数据误差 1 σ ,可信度 95%。

4 同位素年代学

本次工作中对黑云母二长花岗岩进行了同位素测年,对由样品 Tn8725 中挑选出的 25 颗锆石采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析,分析结果见表 1。

岩石中锆石表面光滑,自形程度较好,呈自形-半自形,绝大部分晶粒完整。锆石形态以长柱状为主、短柱状为辅。锆石阴极发光图像(图 2)显示,大部分锆石具有明显的岩浆结晶环带。 $w(\text{Th})=(28\sim 456)\times 10^{-6}$, $w(\text{U})=(293\sim 1178)\times 10^{-6}$, $\text{Th}/\text{U}=0.32\sim 0.73$,平均值为 0.47,进一步反映锆石为岩浆成因^[9-10]。

测年结果显示:锆石表面年龄(采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U)集中于 274~276 Ma,在一致曲线图中成群分布(图 3),²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为 (275.0 \pm 0.7) Ma,MSWD=0.116,代表了岩浆侵位结晶年龄。

5 地球化学特征

5.1 主量元素

岩石中 SiO₂ 含量为 69.06%~75.16%,平均为

72.82%。随着 SiO₂ 含量的增加,TFeO、CaO、MgO 等均呈规律减小,K₂O 呈增加趋势,Na₂O 规律不明显(表 2);Al₂O₃ 含量为 12.99%~15.13%,平均为 13.92%;K₂O 含量为 3.78%~4.53%,平均为 4.39%;Na₂O 含量为 3.28%~4.88%,平均为 3.87%;TFeO 含量为 0.99%~2.69%,平均为 1.85%。(K₂O+Na₂O)含量较高,为 7.90%~8.66%,平均为 8.26%;K₂O 一般高于 Na₂O,K₂O/Na₂O 为 0.77~1.54,平均为 1.17; σ 值 2.01~2.88,属于钙性-钙碱性岩,在 SiO₂-(Na₂O+K₂O)图上岩石成分点投入亚碱性系列区(图 4),在 AFM 图解上显示钙碱性系列的特征(图略);A/CNK 为 0.93~1.10,A/NK 为 1.15~1.32,在 A/CNK-A/NK 图解(图 4)中,除 Tn8735 样品稍有偏差外,其余所有岩石成分点均落入过铝质区域和 S-I 型花岗岩分界线附近靠近 I 型的一侧,属于偏铝质-弱过铝质 I 型花岗岩^[11];在 SiO₂-K₂O 图解(图略)中所有点均落入了高钾钙碱性系列区内。

5.2 稀土元素与微量元素

岩石稀土元素含量偏低(表 2), $\Sigma\text{REE}=41.22\times 10^{-6}\sim 101.88\times 10^{-6}$, $\Sigma\text{LREE}=37.42\times 10^{-6}\sim 91.00\times 10^{-6}$, $\Sigma\text{HREE}=3.80\times 10^{-6}\sim 6.98\times 10^{-6}$,其中 LREE/HREE 为 9.86~15.63,反映了岩石轻重稀土分异程度较高。轻稀土配分曲线明显右倾(图 5-a),(La/Sm)_n=3.18~8.52,反映轻稀土分馏程度较高;重稀土配分曲线呈近水平,(Gd/Yb)_n=1.87~2.59,反映重稀土分馏程度较低。 $\delta\text{Eu}=0.55\sim 1.26$,平均为 0.98,Eu 异常不明显或呈弱的负异常,暗示经历了不太明显的斜长石分离结晶作用^[12]。稀土元素配分模式曲线为右倾型,属轻稀土富集型^[11,13]。

在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 5-b)上,曲线总体偏低,表明不相容元素富集程度整体不高。曲线明显右倾,富集大离子亲石元素 Rb、K 等,相对而言高场强元素 Nb 亏损严重,反映了原岩中有陆壳物质的混入^[14]。蛛网图特征与正常弧花岗质岩石基本一致,暗示岩石的成因与岩浆弧环境有关。

6 岩石成因及构造环境

黑云母二长花岗岩中主量元素以富 Si、Al、K,贫 Ti、Ca、Mg 为特征,A/CNK 为 0.93~1.10,属于偏铝质-弱过铝质,表明为 I 型花岗岩;微量元素富 Rb,反映了岩浆岩区有泥质成分的混入;轻稀土元素富

表1 黑云母二长花岗岩LA-ICP-MS 锆石U-Pb 同位素测年数据
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic data of biotite monzonitic granites

测点	含量/10 ⁻⁶			同位素比值						表面年龄/ Ma						
	Pb	U	Th	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ
1	25	539	270	0.50	0.0435±0.61	0.0003	0.3120±2.05	0.0064	0.0520±1.99	0.0010	275	2	276	6	284	45
2	22	499	187	0.37	0.0435±0.62	0.0003	0.3116±2.08	0.0065	0.0519±2.00	0.0010	275	2	275	6	282	46
3	21	424	309	0.73	0.0435±0.61	0.0003	0.3121±1.08	0.0034	0.0520±1.02	0.0005	275	2	276	3	285	23
4	53	1178	456	0.39	0.0436±0.89	0.0004	0.3119±7.30	0.0228	0.0519±6.39	0.0033	275	2	276	20	281	146
5	20	421	216	0.51	0.0434±0.66	0.0003	0.3120±2.38	0.0074	0.0522±2.30	0.0012	274	2	276	7	293	52
6	16	334	188	0.56	0.0437±0.61	0.0003	0.3101±1.54	0.0048	0.0514±1.49	0.0008	276	2	274	4	259	34
7	30	662	264	0.40	0.0436±0.77	0.0003	0.3129±4.39	0.0137	0.0521±4.31	0.0022	275	2	276	12	289	98
8	29	606	289	0.48	0.0436±0.63	0.0003	0.3122±1.06	0.0033	0.0519±0.97	0.0005	275	2	276	3	282	22
9	19	399	197	0.49	0.0435±0.65	0.0003	0.3121±3.11	0.0097	0.0520±3.04	0.0016	275	2	276	9	285	70
10	14	305	147	0.48	0.0435±1.37	0.0006	0.3121±3.37	0.0105	0.0520±3.02	0.0016	275	4	276	9	287	69
11	15	338	109	0.32	0.0436±0.74	0.0003	0.3120±6.26	0.0195	0.0520±6.16	0.0032	275	2	276	17	283	141
12	23	479	300	0.63	0.0436±0.63	0.0003	0.3127±2.41	0.0075	0.0520±2.32	0.0012	275	2	276	7	286	53
13	22	501	185	0.37	0.0436±0.61	0.0003	0.3102±1.60	0.0050	0.0515±1.51	0.0008	275	2	274	4	265	35
14	26	586	191	0.33	0.0437±0.62	0.0003	0.3116±1.81	0.0056	0.0517±1.90	0.0010	276	2	275	5	271	44
15	20	425	242	0.57	0.0435±0.64	0.0003	0.3118±3.38	0.0105	0.0519±3.31	0.0017	275	2	276	9	283	76
16	15	326	186	0.57	0.0437±0.62	0.0003	0.3125±1.14	0.0035	0.0519±1.06	0.0005	276	2	276	3	281	24
17	25	533	277	0.52	0.0435±0.65	0.0003	0.3114±3.31	0.0103	0.0519±3.25	0.0017	275	2	275	9	281	74
18	13	293	178	0.61	0.0436±0.63	0.0003	0.3135±2.05	0.0064	0.0521±1.95	0.0010	275	2	277	6	290	45
19	18	443	28	0.06	0.0435±0.65	0.0003	0.3097±2.60	0.0081	0.0516±2.48	0.0013	274	2	274	7	270	57
20	15	317	159	0.50	0.0437±0.67	0.0003	0.3108±3.42	0.0106	0.0516±3.25	0.0017	275	2	275	9	270	74
21	22	471	236	0.50	0.0434±0.61	0.0003	0.3122±1.91	0.0060	0.0522±1.87	0.0010	274	2	276	5	293	43
22	34	766	309	0.40	0.0436±0.64	0.0003	0.3117±3.17	0.0099	0.0519±3.11	0.0016	275	2	276	9	280	71
23	18	397	157	0.40	0.0438±0.71	0.0003	0.3091±7.69	0.0238	0.0512±7.59	0.0039	276	2	273	21	251	175
24	17	363	193	0.53	0.0437±0.64	0.0003	0.3099±3.55	0.0110	0.0515±3.46	0.0018	276	2	274	10	262	80
25	16	354	175	0.49	0.0435±0.66	0.0003	0.3102±1.09	0.0034	0.0517±0.98	0.0005	274	2	274	3	273	23

注: 天津地质调查中心实验室测试(2013), 表中所列误差均为1σ误差。

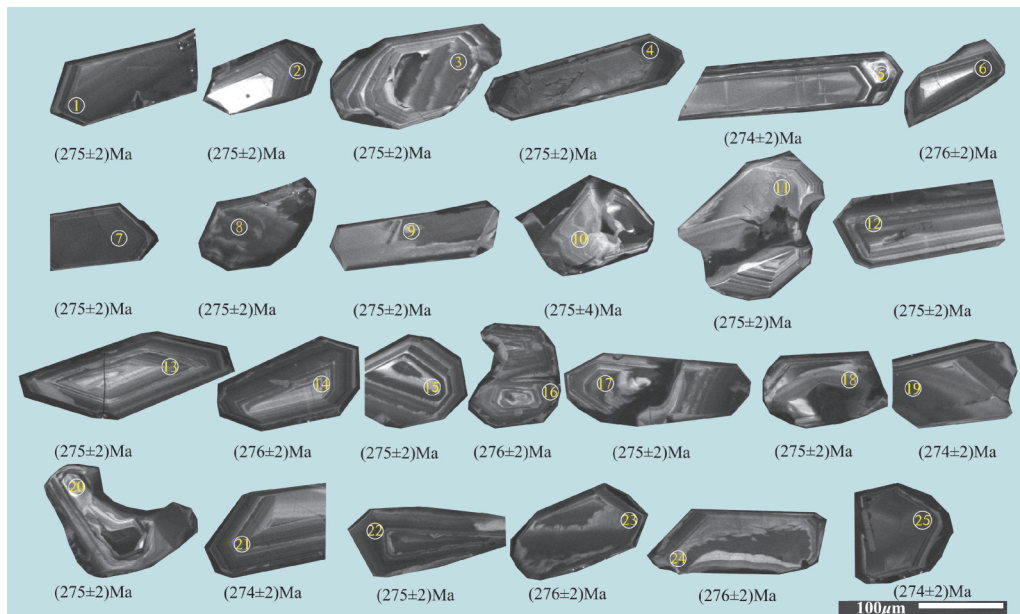


图2 黑云母二长花岗岩(Tn8725)中锆石的阴极发光图

Fig.2 CL images of representative zircons of biotite monzonitic granites (Tn8725)

集,重稀土元素亏损, Eu异常不明显,显示壳幔混合型花岗岩的特征。

构造运动控制着岩浆活动,而岩浆活动是构造运动的一种表现形式,不同的岩石组合与岩石成分

对构造环境有着明显的指示作用。随着地球化学分析测试技术的不断发展,在大地构造研究中越来越多地引入了地球化学的研究方法、手段和成果,特别是火成岩的特征微量元素组合特点进行构造

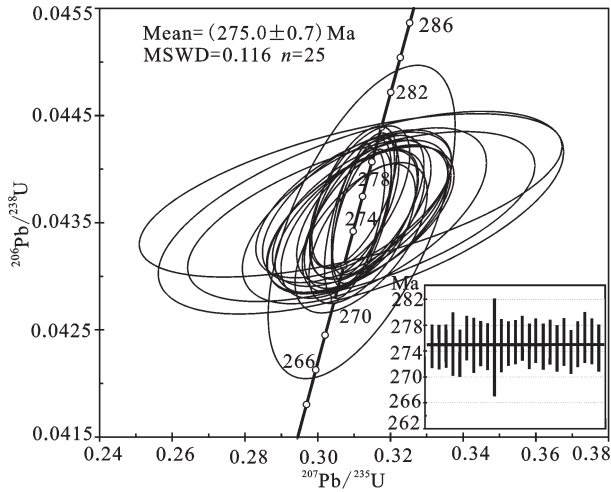


图3 黑云母二长花岗岩(Tn8725)锆石U-Pb同位素谐和图
Fig.3 U-Pb isotopic concordia diagram for zircons of biotite monzonitic granites (Tn8725)

环境判别研究占有特殊地位^[15]。在华北板块北缘分布的岩浆带中,近年来取得了大量的新资料,通过岩浆岩岩石地球化学数据、同位素年龄数据反演其成岩过程及判别其构造环境,为深入认识古亚洲洋壳的俯冲、消减以及华北板块与西伯利亚板块的碰

撞拼合时限提供了全新的信息支撑:邵济安等^[16]认为华北板块北缘经过长期裂解的孕育阶段,于晚古生代初通过仰冲、洋内消减乃至小洋盆充填的多种方式导致洋盆的闭合;张栓宏等^[2]通过对华北陆块北缘近年来获得的晚古生代—早中生代岩浆岩锆石U-Pb年龄及³⁹Ar-⁴⁰Ar年龄分析,认为本区该时段至少经历了3期明显的岩浆作用过程,其中早石炭世晚期—中二叠世岩浆活动的形成与古亚洲洋向华北地块的俯冲作用有关,而二叠纪末—三叠纪的岩浆活动与板块拼合后的伸展及岩石圈的拆沉作用有关;赵磊等^[18]在乌拉特中旗北橄榄辉长岩中取得的SHRIMP锆石U-Pb年龄为(269±8) Ma,认为华北板块北缘中段在此时已经进入大陆板内构造演化阶段;王挽琼^[5]在乌拉特中旗东北部黑云母二长花岗岩中获得(279±3) Ma、(266±3) Ma两组锆石U-Pb年龄,认为岩石形成于与俯冲有关的活动大陆边缘碰撞前环境,从而说明早、中二叠世古亚洲洋在本区并未消失,仍在持续向华北板块北缘俯冲;陶继雄^[17]在满都拉地区复合侵入体内获得了285~280 Ma的单颗粒锆石U-Pb年龄,通过岩石地球化学分析,认为侵入体具有大洋岛弧岩浆岩的特

表2 黑云母二长花岗岩主量元素(%)和微量元素(10⁻⁶)组成
Table 2 Major (%) and trace element (10⁻⁶) values of biotite monzonitic granites

样品编号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	烧失量	Total	A/CNK	A/NK	K ₂ O/Na ₂ O	σ	
Tn8725	69.06	0.31	15.13	1.16	1.53	0.077	0.63	2.25	4.88	3.78	0.098	0.48	0.60	99.99	0.93	1.25	0.77	2.88	
D9124_3_XT3	74.08	0.22	13.81	0.97	0.88	0.057	0.44	1.45	3.38	4.52	0.056	-	0.72	100.58	1.06	1.32	1.34	2.01	
W11566	73.28	0.19	13.31	0.97	0.77	0.026	0.33	1.25	3.28	5.06	0.046	0.69	1.02	100.22	1.01	1.22	1.54	2.29	
XT0712	75.16	0.27	12.99	0.47	0.52	0.048	0.14	0.86	3.87	4.53	0.051	-	0.57	99.48	1.01	1.15	1.17	2.19	
D9305_0_XT1	72.33	0.16	14.35	1.33	0.63	0.083	0.41	1.22	3.94	4.05	0.056	-	0.66	99.44	1.10	1.32	1.03	2.16	
样品编号	Rb	Sr	Nb	Ta	Zr	Hf	Th	V	Cr	Ni	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
Tn8725	56.40	416.00	6.50	2.70	111.00	3.36	22.3	46.2	15.90	23.00	8.06	25.34	45.39	4.07	14.9	1.95	0.83	2.44	0.29
D9124_3_XT3	120.00	250.00	10.00	2.00	190.00	3.00	9.00	11.00	50.00	4.00	8.12	19.18	49.64	4.46	13.4	1.98	0.68	2.26	0.30
W11566	147.00	191.00	10.80	1.40	167.00	4.74	5.62	15.20	8.24	3.58	7.23	25.84	48.34	4.48	14.6	1.88	0.62	2.28	0.30
XT0712	150.00	50.00	5.00	1.00	36.46	4.00	9.00	1.00	20.00	2.00	4.59	8.72	17.28	2.08	7.29	1.77	0.28	1.26	0.20
D9305_0_XT1	110.00	200.00	8.00	0.50	95.00	3.00	6.00	8.00	50.00	4.00	9.04	24.78	44.40	4.18	14.1	2.38	1.00	2.43	0.33
样品编号	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	LREE/HREE	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N	δEu					
Tn8725	0.29	1.37	0.29	0.99	0.15	0.74	0.14	97.03	90.82	6.21	14.62	6.25	2.54	0.98					
D9124_3_XT3	0.30	1.40	0.30	0.94	0.13	1.03	0.16	97.71	91.00	6.71	13.55	8.41	1.97	1.16					
W11566	0.30	1.35	0.28	0.92	0.13	0.73	0.14	101.88	95.75	6.13	15.63	8.52	2.59	0.97					
XT0712	0.20	0.93	0.14	0.53	0.07	0.56	0.10	41.22	37.42	3.80	9.86	3.18	1.87	0.55					
D9305_0_XT1	0.33	1.53	0.29	1.02	0.15	1.04	0.18	97.78	90.80	6.98	13.01	6.72	1.93	1.26					

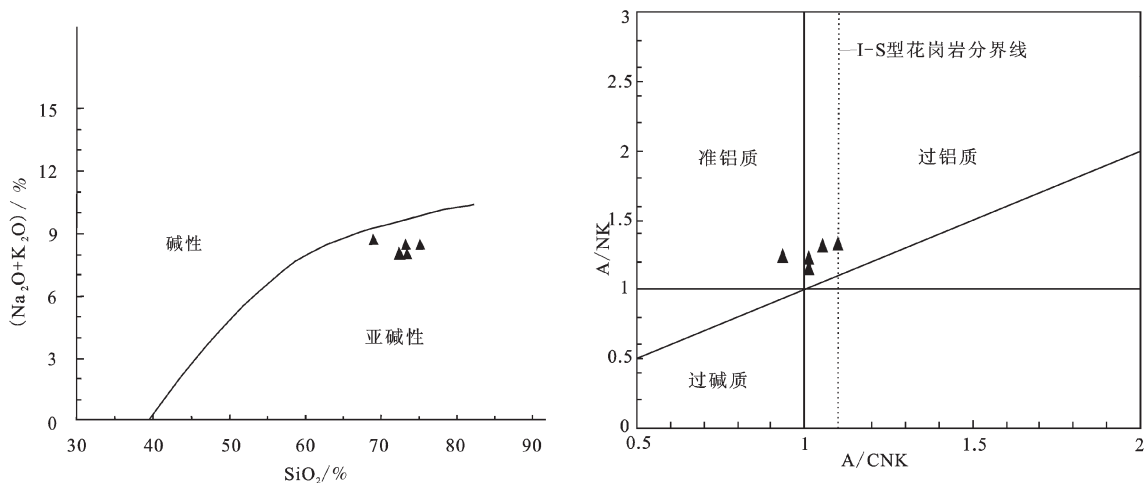


图4 $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 和 $\text{A}/\text{CNK} - \text{A}/\text{NK}$ 图解
Fig.4 $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ and $\text{A}/\text{CNK} - \text{A}/\text{NK}$ diagrams

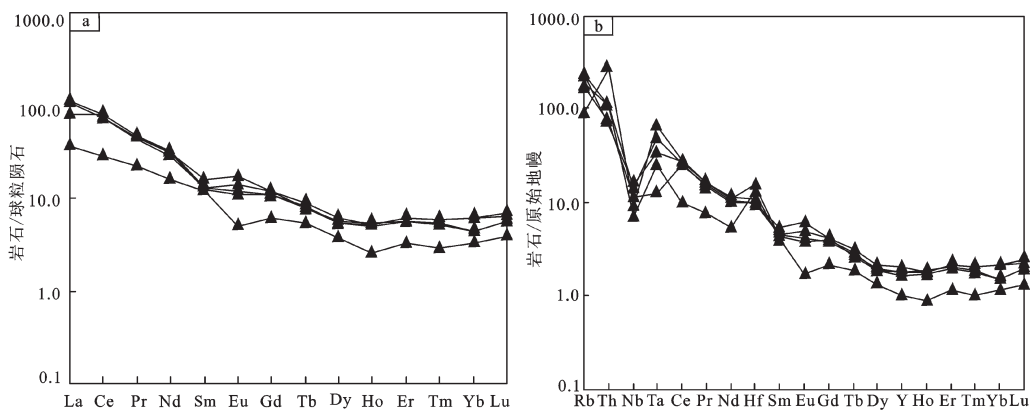


图5 黑云母二长花岗岩的稀土元素球粒陨石标准化配分型式(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)
Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle normalized trace elements spider diagram (b) of biotite monzonitic granites

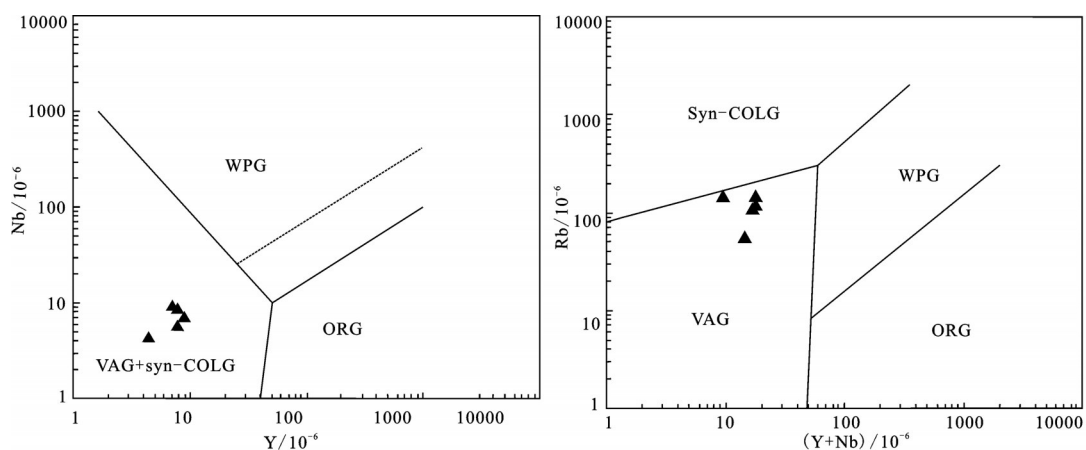


图6 黑云母二长花岗岩的构造环境判别图解
Fig.6 Tectonic setting discrimination diagrams of biotite monzonitic granites

点,是俯冲造山过程的岩石记录,表明了该区板块缝合时间至少应在早二叠世之后;柳长峰^[19]以索伦—西拉木伦缝合带为界,将内蒙古中部地区岩浆岩划分为南北两条带,认为早二叠世在南北两带内均发育具有火山弧性质的侵入体,其形成于板块碰撞之前,侵位与古亚洲洋向两侧板块俯冲、消减有关,最终将碰撞拼合时间限定在 281~256 Ma。

石哈河地区黑云母二长花岗岩的岩石地球化学显示其以富 Si、Al、K, 贫 Ti、Ca, 富集大离子亲石元素与轻稀土元素, 而亏损高场强元素和重稀土元素为特征, 显示出岛弧和活动大陆边缘花岗岩的特征。在 Pearce 等 (1984) 花岗岩 Y-Nb 判别图解中 (图 6), 样品落入火山弧与同碰撞花岗岩区。在 (Y+Nb)-Rb 判别图解中 (图 6), 所有样品均落入火山弧花岗岩区, 且岩石属于高钾钙碱性系列, 未出现低钾系列, 表明岩石产于活动大陆边缘环境^[20]; 综上所述, 笔者认为研究区内黑云母二长花岗岩形成于活动大陆边缘构造环境, 与洋壳的俯冲、消减有关。原始岩浆于地幔向上运移过程中经历了地壳物质的熔融与混入, 于 (275.0±0.7) Ma 侵位形成了具有壳幔混合特征的 I 型花岗岩, 即本区由洋壳俯冲阶段转入陆-陆碰撞构造演化阶段的时间上限应晚于 (275.0±0.7) Ma。这与前人所得结论虽稍有差异, 但基本吻合, 同时也辅证了两大板块缝合时限的时空规律——西早东晚, 由乌拉特中期北部的 (269±8) Ma 到北东部的 (279±3) Ma 及本区的 (275.0±0.7) Ma, 向东到满都拉地区的 285~280 Ma 以及四子王旗地区的 281~256 Ma。

7 结 论

基于对乌拉特中旗石哈河地区黑云母二长花岗岩的岩石学、岩石地球化学及锆石 U-Pb 年代学特征的系统研究, 初步得出如下几点结论:

- (1) 黑云母二长花岗岩属于偏铝质-弱过铝质 I 型花岗岩, 为钙碱性系列。岩石 Σ REE 偏低, 富集轻稀土元素而亏损重稀土元素, 轻重稀土分异程度较高, Eu 异常不明显或呈弱的负异常; 岩石富集大离子亲石元素 Rb、K 等, 而亏损高场强元素 Nb。
- (2) 黑云母二长花岗岩形成于早二叠世晚期, 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的年龄加权平均值为 (275.0±0.7) Ma。
- (3) 石哈河地区黑云母二长花岗岩形成于活动

大陆边缘构造环境, 与洋壳的俯冲、消减有关, 推测研究区内由洋壳俯冲阶段转入陆-陆碰撞构造演化阶段的时间上限应晚于早二叠世晚期。

致谢: 感谢审稿专家和编辑部李亚萍老师对本文提出的宝贵修改意见!

参考文献 (References):

- [1] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 351-352.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. Regional geology of Inner Mongolia Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publish House, 1991: 351-352(in Chinese).
- [2] 张拴宏, 赵越, 刘建民, 等. 华北地块北缘晚古生代—早中生代岩浆活动期次、特征及构造背景[J]. 岩石矿物学杂志, 2010, 29(6): 824-836.
Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Liu Jianmin, et al. Geochronology, geochemistry and tectonic setting of the Late Paleozoic—Early Mesozoic magmatism in the northern margin of the North China Block: A preliminary review [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2010, 29(6): 824-836 (in Chinese with English abstract).
- [3] 许立权. 内蒙古白云鄂博—满都拉地区加里东期—华力西期—印支期岩浆岩特征与大地构造演化探讨[D]. 北京: 中国地质大学, 2005: 71-81.
Xu Liqun. The characteristics of magmatic rocks and discussion of geotectonics evolution from Caledonian through Hercynian to Indosinian stage in the Baiyun' ebo—Mandula region, Inner Mongolia [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2005: 71-86(in Chinese with English abstract).
- [4] 张青伟, 刘正宏, 徐学纯, 等. 内蒙古乌拉特中期乌兰地区含石榴石花岗岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(3): 745-751.
Zhang Qingwei, Liu Zhenghong, Xu Xuechun, et al. Zircon U-Pb dating of the garnet-bearing granite from Wulan area of Urud Zhongqi in Inner Mongolia and its geological significance [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2011, 41(3): 745-751(in Chinese with English abstract).
- [5] 王挽琼, 刘正宏, 王兴安, 等. 内蒙古乌拉特中旗海西期黑云母二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(6): 1771-1780.
Wang Wanqiong, Liu Zhenghong, Wang Xing'an, et al. SHRIMP U-Pb dating of the zircon from the Hercynian biotite monzonitic granites in Urud Zhongqi, Inner Mongolia, and its geological significance [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(6): 1771-1780 (in Chinese with English abstract).
- [6] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 4-5.

- Bureau Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. Lithostratic of Inner Mongolia Autonomous Region [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996: 4-5(in Chinese).
- [7] 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石U-Pb同位素年龄的研究[J]. 矿物学报, 2009, 29(增刊): 600-601.
- Li Huaikun, Geng Jianzhen, Hao Shuang, et al. Research on the dating zircon U-Pb age by LA-MC-ICPMS [J]. Journal of Mineralogy, 2009, 29(Sup.): 600-601(in Chinese with English abstract).
- [8] Ludwig K R. Squid 1.02: A user's manual[J]. Berkeley Geochronology Centre, Special Publication, 2001(2): 15-25.
- [9] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 46(16): 1589-1604.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genetic mineralogy of zircons and its constraints to the age of U-Pb geochronology[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 46(16): 1589-1604 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李志昌, 路远发, 黄圭成. 放射性同位素地质学方法与进展[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2004: 160-164.
- Liu Zhichang, Lu Yuanfa, Huang Guicheng. Methodology and Progress in Radioactivity Isotope Geology[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2004: 160-164(in Chinese).
- [11] 桑隆康, 马昌前. 岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 72-78, 181-197.
- Shang Longkang, Ma Changqian. Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012: 72-78, 181-197(in Chinese).
- [12] 柏道远, 陈必河, 孟德保, 等. 中昆仑耸石山地区万古时代花岗岩地球化学特征、成岩作用与构造环境研究[J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1236-1245.
- Bai Daoyuan, Chen Bihe, Meng Debao, et al. Geochemical characteristics, rock forming processes and tectonic setting of Later Paleozoic granites in the Songshishan area, Central Kunlun mountains[J]. Geology in China, 2006, 33(6): 1236-1245(in Chinese with English abstract).
- [13] Hugh R. Rollison. 岩石地球化学[M]. 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜, 译. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000: 106-117, 155-157.
- Rollison H R. Petrological Geochemistry[M]. Yang Xueming, Yang Xiaoyong, Chen Shuangxi(translators). Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2000: 106-117, 155-157(in Chinese).
- [14] 赵庆英, 刘正宏, 吴新伟, 等. 内蒙古大青山哈拉和少岩体特征和成因[J]. 岩石矿物, 2007, 27(1): 46-51.
- Zhao Qingying, Liu Zhenghong, Wu Xinwei, et al. Characteristics and origin of Haleheshao pluton in Daqingshan region, Inner Mongolia[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2007, 27(1): 46-51(in Chinese with English abstract).
- [15] 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 92-103.
- Zhao Zhenhua. How to use the trace element diagrams to discriminate tectonic setting[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(1): 92-103(in Chinese with English abstract).
- [16] 邵济安, 唐克东. 蛇绿岩与蒙古洋的演化[C]//张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 1996: 117-119.
- Shao Ji'an, Tang Kedong. Ophiolite and the evolution of Mongolia Ocean[C]//Zhang Qi (ed.). Study on Ophiolites and Geodynamics. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 117-119(in Chinese with English abstract).
- [17] 赵磊, 吴泰然, 罗红玲. 内蒙古乌拉特中旗北七哥陶辉长岩 SHRIMP 锆石U-Pb年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(10): 3071-3082.
- Zhao Lei, Wu Tairan, Luo Hongling. SHRIMP U-Pb dating, geochemistry and tectonic implications of Beiqigetao gabbros in Urad Zhongqi area, Inner Mongolia [J]. 2011, 27(10): 3071-3082 (in Chinese with English abstract).
- [18] 陶继雄, 白立斌, 宝音乌力吉, 等. 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, 2003, 26(4): 241-249.
- Tao Jixiong, Bai Libing, Bao Yinwuliji, et al. Rock record of Permian subducting orogenic process in Mandula, Innermongolia[J]. Geological Survey and Research, 2003, 26(4): 241-249(in Chinese with English abstract).
- [19] 柳长峰. 内蒙古四子王旗地区古生代—早中生代岩浆岩带及其构造意义[D]. 北京: 中国地质大学, 2010: 71-86.
- Liu Changfeng. Paleozoic—Early Mesozoic magmatic belts tectonic significance in Siziwangqi area, Inner Mongolia [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2010: 71-86(in Chinese with English abstract).
- [20] 陆凤香, 桑隆康. 岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 373-380.
- Lu Fengxiang, Sang Longkang. Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 373-380(in Chinese).