

内蒙古敖汉旗斜长角闪岩锆石 U-Pb 年龄 及地球化学特征

李斌, 陈井胜, 刘淼, 李伟, 吴振, 杨帆

(中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034)

摘要: 内蒙古赤峰市敖汉旗出露一套岩性为斜长角闪岩、大理岩、变粒岩等为主的中级变质岩系, 笔者对斜长角闪岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年和岩石地球化学测试。根据岩石学及地球化学特征, 可知该变质岩系原岩为一套钙碱性系列基性火山岩及沉积岩组合; 斜长角闪岩原岩是伸展构造背景下形成的受到地壳或岩石圈污染的板内玄武岩。在斜长角闪岩中获得 4 组年龄, 其中 $(498 \pm 13) \text{Ma}$ 、 $(434 \pm 16) \text{Ma}$ 、 $(390.4 \pm 6.8) \text{Ma}$ 为捕获锆石年龄; $(351.2 \pm 5.2) \text{Ma}$ 应代表了该基性火山岩的形成年龄, 为早石炭世早期。

关键词: 斜长角闪岩; 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学特征; 敖汉旗

中图分类号: P588.12

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2017)01-0227-12

Zircon U-Pb Ages and Geochemical Characteristics of the Plagioclase Amphibolite in the Aohan Banner, Inner Mongolia

LI Bin, CHEN Jingsheng, LIU Miao, LI Wei, WU Zhen, YANG Fan

(Shenyang Center of Geology Survey, CGS, Shenyang 110034, Liaoning, China)

Abstract: A series of intermediate metamorphic rocks, discovered in Aohan Banner, Chifeng City, Inner Mongolia, was characterized by plagioclase amphibolite, marble and granulite. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and petrographic tests on the plagioclase amphibolites have been completed in this paper. According to petrological and geochemical characteristics, the metamorphic rock series has been classified as a set of basic calc-alkaline volcanic rocks and sedimentary rocks. The source rock of plagioclase amphibolite is similar to intraplate basalt, which was formed by the crustal or lithospheric contamination in extensional environment. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the plagioclase amphibolites yielded four groups of weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages. In which, the ages of $(498 \pm 13) \text{Ma}$, $(434 \pm 16) \text{Ma}$ and $(390.4 \pm 6.8) \text{Ma}$ stand for the age of trapped zircon, while the age of $(351.2 \pm 5.2) \text{Ma}$ for magmatic zircon represents the crystallization time of the volcanic rocks, belonging to early stage of Early Carboniferous Epoch.

Keywords: plagioclase amphibolite; zircon U-Pb dating; geochemical characteristics; Aohan

收稿日期: 2016-10-8; **修回日期:** 2016-11-20

基金项目: 中国地质调查局“内蒙古 1:5 万敖汉旗、揭格朗营子、新地、铁匠营子幅区域地质矿产调查”(1212011120662), “内蒙古敖汉旗大黄花地区矿产地质调查”(12120114055501), “大兴安岭成矿带突泉—翁牛特地区地质矿产调查”(DD20160201), “辽宁 1:5 万台吉、他拉皋、七道岭、十二台营子幅区域地质调查”(DD20160201-05)

作者简介: 李斌(1986-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事区域地质调查工作。E-mail: 717121767@qq.com

华北板块北缘出露一系列东西向火山-沉积岩、侵入岩等,其岩石组合、形成时代、地球化学特征等对反映华北板块北缘及古亚洲洋构造演化具有重要意义(邵济安,1991;张栓宏等,2010)。关于华北板块北缘中段大陆边缘的增生机制及中亚造山带中段的形成,存在多板块碰撞增生(李锦轶等,2009)、单一火山弧走滑拼贴(STAMPFLI et al., 2002)、岛弧、洋岛及微陆块拼合(XIAO et al., 2003; WINDLEY et al., 2007)等不同认识。前人通过对白乃庙群奥陶纪火山岩系和徐尼乌苏组志留纪沉积岩系的研究(ZHANG et al., 2014),建立了早古生代的沟-弧-盆体系。泥盆纪时期,在华北板块北缘出露的以碱性岩和基性-超基性杂岩的岩石组合,表明其形成于碰撞后的伸展环境(罗镇宽等,2001;ZHANG et al., 2007;SHI et al., 2010;赵越等,2010;党智财等,2015)。早石炭世晚期一中二叠世华北克拉通北缘显示出了活动大陆边缘岩浆弧的特征(张栓宏等,2004;ZHANG et al., 2007, 2009;王惠初等,2007;刘治博等,2014)。

上述研究多集中在华北板块北缘中段中西端,而在东端的研究相对较弱。陈井胜等(2015)在赤峰地区西大营子和热水一带厘定出一套中级变质岩系,岩石类型主要为片岩、大理岩、变粒岩和斜长角闪岩,并在斜长角闪岩样品中获得 1 860Ma 锆石年龄,将其定为古元古代宝音图群。在其西侧敖汉旗出露了一套岩石组合、构造特征可以与上述地层进行对比的中级变质岩系。因此笔者对敖汉地区出露的斜长角闪岩进行了锆石 U-Pb 测年和岩石地球化学分析,以确定其形成时代,并进行原岩恢复和构造环境判别。

1 地质概况

研究区位于赤峰市敖汉旗,大地构造位置属于华北板块北缘中段东端(图 1)。区内出露的沉积地层主要有下石炭统朝吐沟组、中石炭统石咀子组和家道沟组和中二叠统于家北沟组,被大面积出露的中生代满克头鄂博组和义县组火山岩角度不整合

覆盖。

在进行内蒙古 1:5 万敖汉旗等四幅区调过程中,根据岩石组合和变质程度,在邢家窝铺东西两侧原酒局子组中(1:20 万区调),厘定出一套中级变质岩系(图 1),出露面积约 5.4km²。该变质岩系被早三叠世花岗闪长岩、早白垩世二长花岗岩侵入,与中三叠世花岗闪长岩断层接触,其上被早白垩世义县组火山岩角度不整合覆盖;在三叠纪岩体内可见斜长角闪岩、变粒岩等包体。该变质岩系岩石主要经历了角闪岩相区域变质作用,其岩性由斜长角闪岩、黑云斜长角闪岩、绿泥方解大理岩、斜长透辉大理岩、黑云方解大理岩、透辉二长变粒岩、黑云(角闪)二长变粒岩、角闪斜长变粒岩、二云母二长变粒岩和黑云角闪斜长片岩等组成。受赤峰-开原断裂影响,岩石发育北东、北北东向韧性变形,其内可见层间褶皱及矿物拉伸线理等,部分岩石形成初糜棱岩、糜棱岩。

2 样品及岩石学特征

选取了典型露头进行了剖面测制(图 2),岩石类型主要为斜长角闪岩、大理岩、变粒岩等(图 3)。虽然各岩石类型呈层状或似层状共生,但由于岩石经历了多期变质-变形作用改造,并不代表原始层序。笔者对斜长角闪岩进行了锆石 U-Pb 测年和岩石地球化学分析。斜长角闪岩锆石 U-Pb 测年样品(TK2)采样坐标为北纬 42°11'16",东经 119°52'49"(图 1)。

斜长角闪岩:呈深灰色,柱粒状变晶结构,块状构造或片麻状构造,主要由角闪石及斜长石组成。普通角闪石:黄绿-淡黄色,柱状,中正突起,斜消光,具闪石式解理,角闪石长轴方向略具定向排列,粒度为 0.2~1.2mm,约含 45%。

斜长石:柱粒状,聚片双晶发育,聚片双晶带较宽,弱环带,少见钠长-肖钠复合式双晶,局部重结晶三边曲线镶嵌,粒径为 0.2~1.2mm,约含 50%。含少量黑云母、金属矿物等。变质矿物组合为角闪石+斜长石。

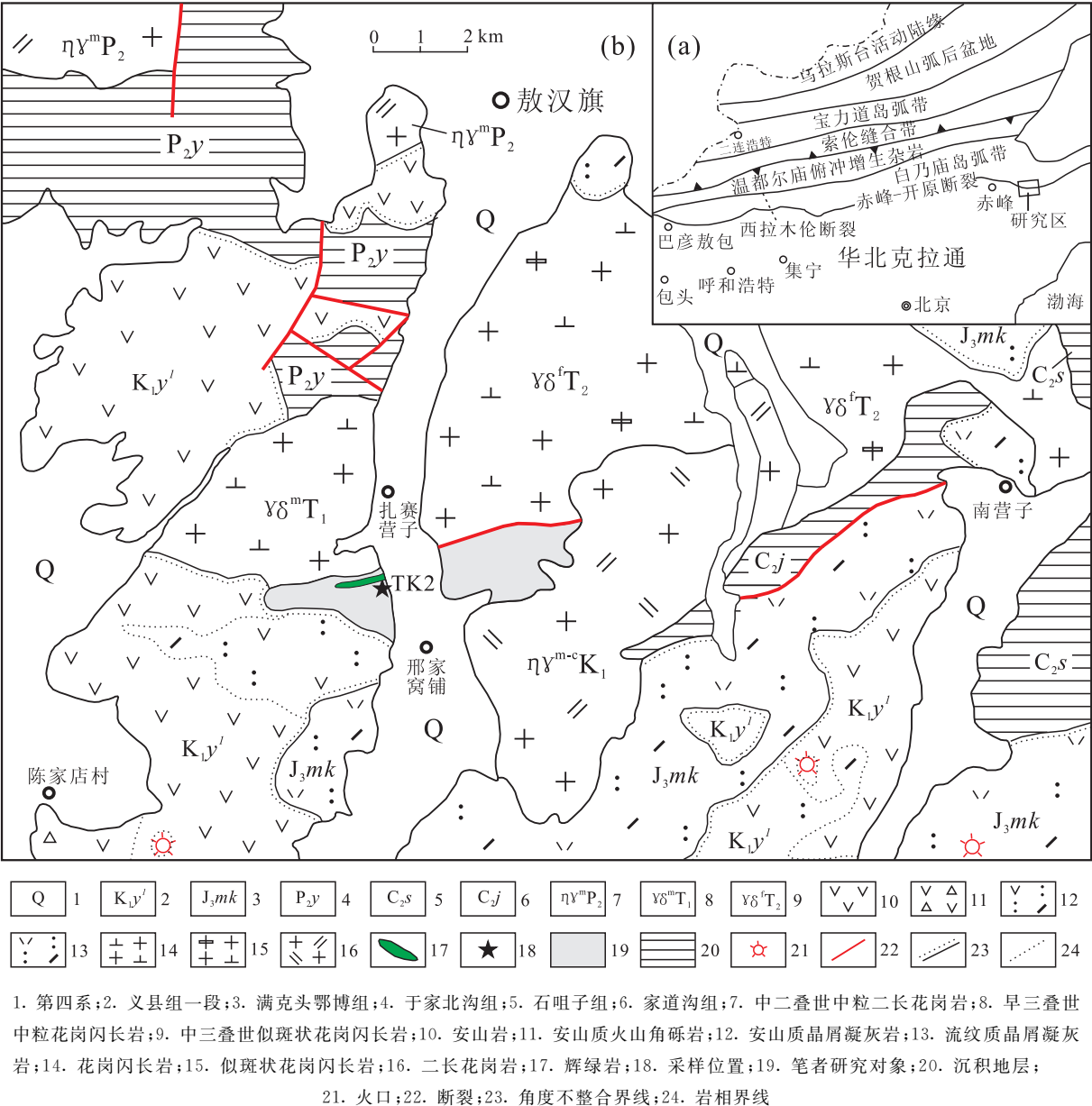


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Simplified geological of research area

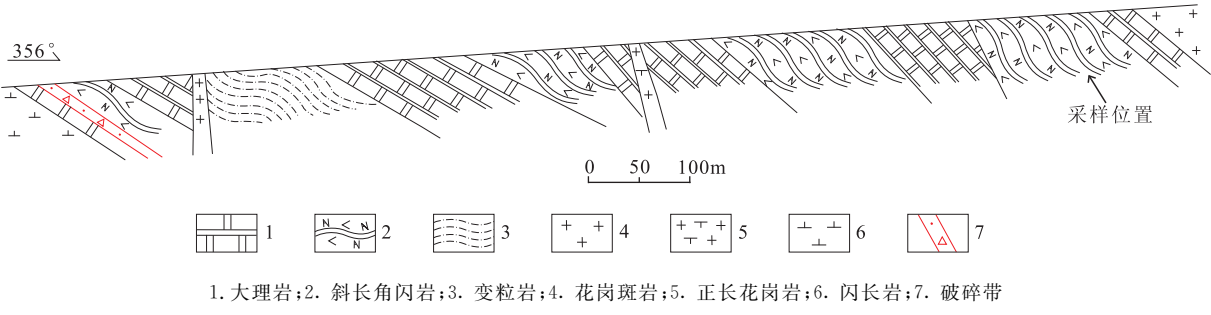
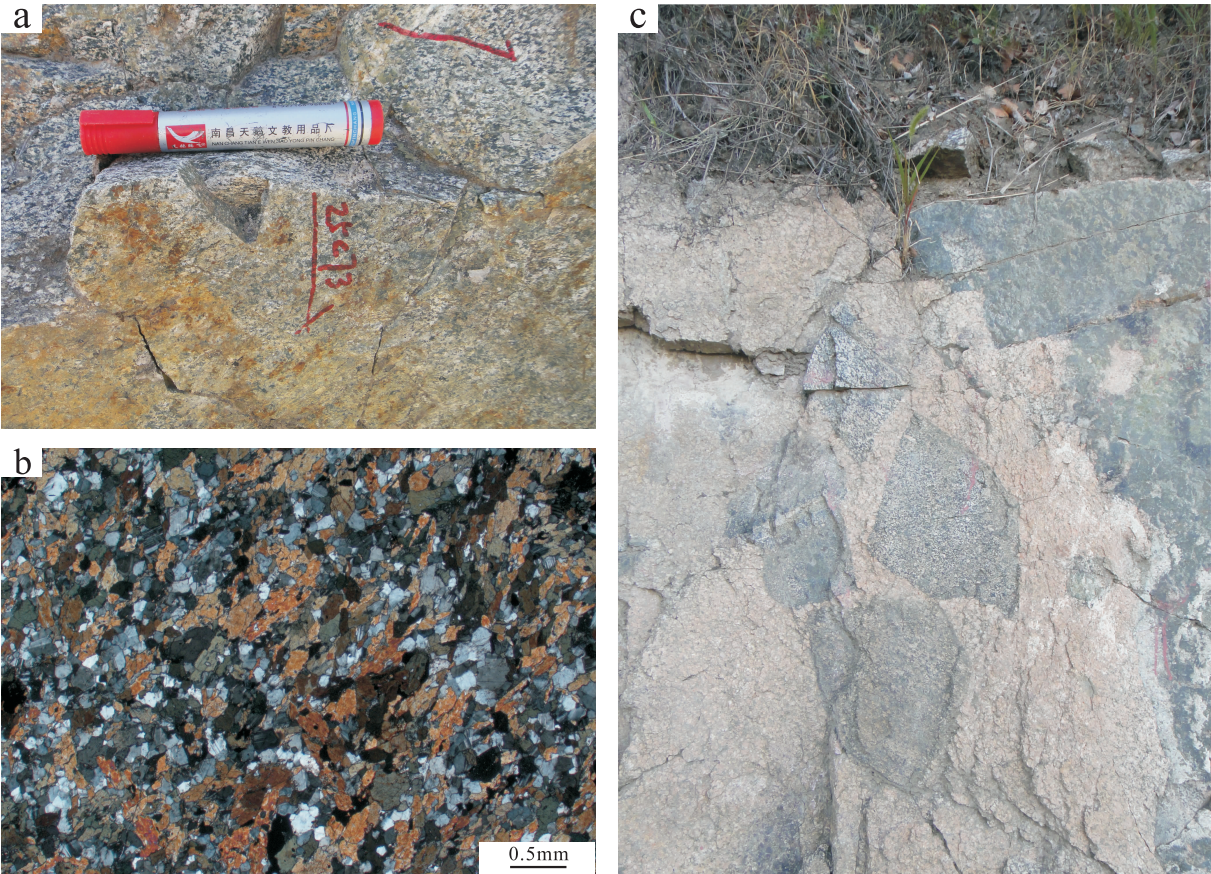


图 2 实测地质剖面图

Fig. 2 Measured geological section



a. 斜长角闪岩;b. 斜长角闪岩镜下照片(正交偏光);c. 正长花岗岩侵入包裹斜长角闪岩

图 3 斜长角闪岩野外和镜下照片

Fig. 3 Field photograph of theplagioclase amphibolite and marble

3 分析方法

样品的破碎和锆石的挑选工作由河北省区域地质调查大队地质实验室完成。镀碳后进行阴极发光扫描电镜显微照相(CL)。在武汉地质调查中心国土资源部中南矿产监督检测中心完成锆石的阴极发光(CL)图像(图 4)采集及测试工作。主量元素、微量元素测试在国土资源部沈阳地质调查中心检测分析中心完成。

采用锆石激光剥蚀等离子体质谱(LA-ICP-MS)U-Pb 同位素对锆石进行数据采集,同时采集锆石微量元素含量。激光剥蚀系统为 GeoLas2005, ICP-MS 为 Agilent 7500a。激光剥蚀过程中采用氦气作为载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加入了少量氮气,以提高仪

器灵敏度、降低检出限和改善分析精密度。采用软件 ICPMSDataCal 对分析数据的离线处理。U-Pb 同位素定年中采用锆石标准 91500 作外标进行同位素分馏校正,每分析 5 个样品点,分析 2 次 91500。锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据 WIEDENBECK et al.,1995。锆石样品的 U-Pb 年龄谱和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ver3 完成。

4 年代学

从锆石 CL 图像上可以看出,锆石多呈半自形柱状、次浑圆柱粒状、断柱状,部分锆石具有核边结构,内部发育振荡环带(图 4);所有锆石具有薄的不规则状溶蚀边,应为后期变质作用的改造。锆石长度多在 100~200 μ m 之间,长宽比 1:1~3:1。U、Th 含量分别为 53~465、488~27 175,Th/U 值为 4.48~71.40。

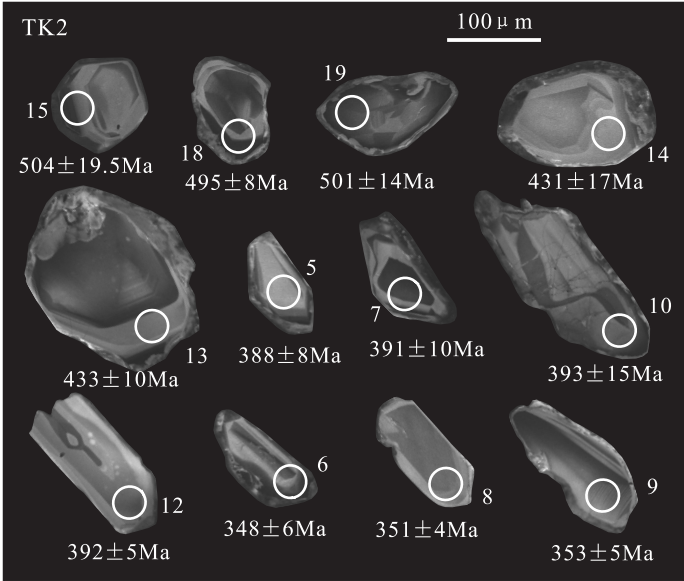


图 4 斜长角闪岩锆石阴极发光 (CL) 图像

Fig. 4 Representative Cathodoluminescence (CL) images for zircons from the plagioclase amphibolite

选取 TK2 样品中 19 颗锆石进行了 19 个分析, 测试结果见表 1。除 03、17 点谐和度比较低外(已剔除), 其余 17 个数据位于谐和线上及其附近(图 5)。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄可分为 4 组: 第一组有 3 颗锆石, 锆石呈次浑圆粒状, 发育弱振荡环带, 为岩浆成因锆石, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄(498 ± 13) Ma; 第二组有 3 颗锆石, 锆石具核边结构, 锆石打点位于变质增生边上, 应为变质年龄, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄(434 ± 16) Ma; 第三组有 7 颗锆石, 锆石呈半自形柱粒状、断柱状, 无环带结构, 边部遭受不同

程度的溶蚀, 应为变质成因锆石, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄(390.4 ± 6.8) Ma; 第四组有 3 颗锆石, 锆石呈半自形柱状, 发育弱振荡环带, 应为岩浆成因锆石, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄(351.2 ± 5.2) Ma。

从锆石 CL 图像上可以看出, 斜长角闪岩中第四组锆石具有岩浆成因特征; 虽然第四组锆石数据点较少, 但是在谐和图上均位于谐和线上(图 5)。因为斜长角闪岩原岩为火成岩(见下文), 所以 (351.2 ± 5.2) Ma 应代表了该基性火成岩的形成年龄, 为早石炭世早期。(498 ± 13) Ma、(434 ± 16) Ma、

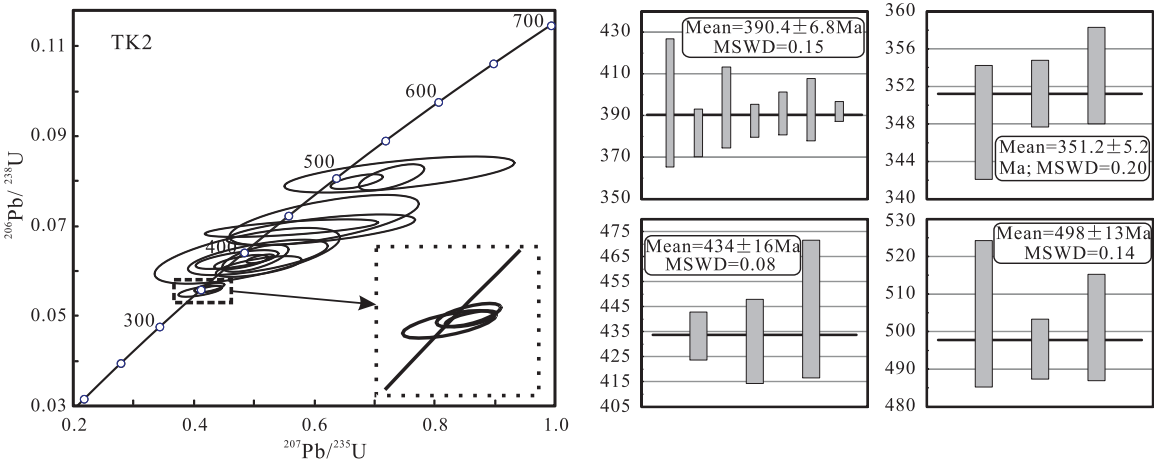


图 5 斜长角闪岩(TK2)锆石 U-Pb 年龄谐和图和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 分布图

Fig. 5 Concordia diagram showing results of Zircons U-Pb dating and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age distribution of plagioclase amphibolite(TK2)

表 1 斜长角闪岩(TK2)锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果
Tab. 1 The LA-ICP-MS zircon U-Pb data of plagioclase amphibolite(TK2)

样品号	含量(10 ⁻⁶)			Th/U	同位素比值			年龄(Ma)		谐和度 (%)	
	Pb	Th	U		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ			
TK2-01	48.25	487.69	108.81	4.48	0.488 69	0.125 73	0.063 39	0.005 07	396	31	98
TK2-02	226.20	2 506.66	298.23	8.41	0.507 69	0.058 23	0.061 01	0.001 88	382	11	91
TK2-03 *	43.01	174.72	56.37	3.10	0.982 22	0.114 64	0.052 54	0.003 09	330	19	28
TK2-04	62.36	598.88	70.98	8.44	0.506 25	0.094 79	0.063 04	0.003 21	394	19	94
TK2-05	352.75	3 536.00	258.30	13.69	0.478 41	0.036 51	0.061 98	0.001 31	388	8	97
TK2-06	195.58	2 078.90	155.14	13.40	0.410 52	0.029 55	0.055 50	0.000 99	348	6	99
TK2-07	226.04	2 240.38	142.85	15.68	0.471 73	0.056 23	0.062 56	0.001 70	391	10	99
TK2-08	507.15	6 110.78	248.95	24.55	0.427 35	0.016 14	0.056 00	0.000 58	351	4	97
TK2-09	235.09	2 676.18	165.23	16.20	0.425 64	0.020 48	0.056 32	0.000 84	353	5	98
TK2-10	177.98	2 084.08	123.50	16.88	0.502 00	0.045 07	0.062 84	0.002 46	393	15	94
TK2-12	2 527.00	27 174.64	465.47	58.38	0.510 26	0.018 79	0.062 72	0.000 79	392	5	93
TK2-13	326.70	3 730.84	111.55	33.44	0.561 93	0.117 53	0.069 54	0.001 59	433	10	95
TK2-14	478.65	4 848.13	118.66	40.86	0.610 70	0.127 76	0.069 18	0.002 78	431	17	88
TK2-15	522.32	4 077.13	214.62	19.00	0.740 96	0.156 01	0.081 46	0.003 27	505	20	89
TK2-16	117.93	1 166.97	52.55	22.21	0.616 10	0.128 42	0.071 33	0.004 58	444	28	90
TK2-17 *	120.35	1 115.19	42.05	26.52	0.960 77	0.110 91	0.078 12	0.002 62	485	16	65
TK2-18	2 124.13	23 333.36	326.81	71.40	0.670 17	0.035 54	0.079 89	0.001 34	495	8	95
TK2-19	541.69	542 0.66	200.01	27.10	0.727 91	0.044 36	0.080 84	0.002 38	501	14	89

注：* 为谐和度太低剔除点。

(390.4 ± 6.8) Ma 3 组年龄应代表捕获锆石年龄。后期侵入的辉绿岩岩脉形成时代为(167.4 ± 3) Ma (陈井胜等,2009),镜下可见辉绿岩中辉石退变质为角闪石的现象,说明该期角闪岩相变质作用的时间较晚。

以往的研究主要集中于华北板块北缘中段西侧,在赤峰地区未见早古生代岛弧岩浆活动。据已报道测年结果,白乃庙岛弧岩带火山岩及侵入岩主要形成于 520~420Ma(ZHANG et al.,2014;许立权等,2003;赵越等,2010;JIAN Ping et al.,2008)。笔者在赤峰市敖汉旗斜长角闪岩中获得的 498~434Ma 的捕获锆石,可能来自于该早古生代岛弧带,暗示赤峰地区和白乃庙地区具有相似的早古生代演化史。390Ma 锆石可能捕获自华北板块北缘广泛分布的泥盆纪岩浆岩(罗镇宽等,2001;ZHANG et al.,2007;SHI et al.,2010;赵越等,2010)。

5 岩石地球化学特征

斜长角闪岩地球化学分析结果见表 2。斜长角闪岩样品的 SiO₂ 含量为 48.04%~52.05%,属于基性岩类;TiO₂ 含量为 1.42%~1.74%;Al₂O₃ 含量较高,介于 17.10%~17.87%之间;CaO 为 6.77%~7.96%;MgO 含量较低(4.01%~5.46%);K₂O(1.67%~2.4%)、Na₂O(3.01%~3.60%)含量较高,Na₂O/K₂O=1.28%~1.94%;TF_{e2}O₃ 含量较高(10.66%~11.90%)。在(al+fm)-(c+alk)-Si 图解(图 6)上,斜长角闪岩样品均落入火成岩区;在 MgO-CaO-FeO 图解(图 7)上,斜长角闪岩样品均落入正变质岩区。

在 SiO₂-Nb/Y 图解(图 8)上,斜长角闪岩样品都位于亚碱性玄武岩区;在 AFM 图解上(图 9),显示钙碱性系列特征。斜长角闪岩原岩应为钙碱性系列的基性火山岩。笔者通过对岩矿鉴定,可见变粒岩的变余砂状结构,说明其原岩为沉积岩。斜长角闪岩、大理岩和变粒岩等的岩石组合,表明该变质岩系原岩为一套基性火山岩及沉积岩组合。

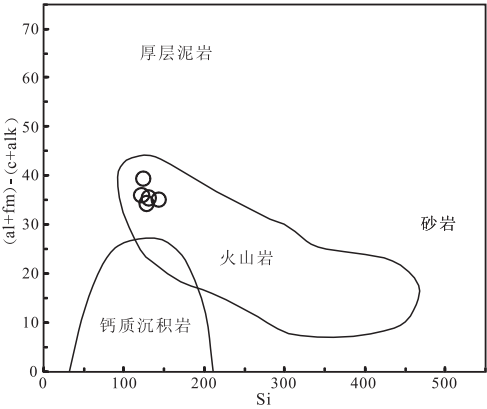


图 6 (al+fm)-(c+alk)-Si 图解(据 SYMONER,1953)
Fig. 6 (al+fm)-(c+alk)-Si diagrams of plagioclase amphibolites

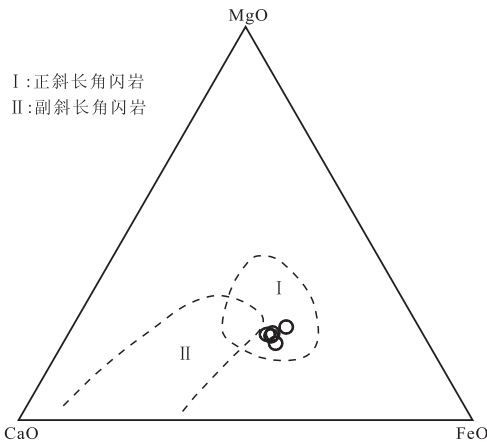


图 7 MgO-CaO-FeO 图解(据 WALKER,1960)
Fig. 7 MgO-CaO-FeO diagrams of plagioclase amphibolites

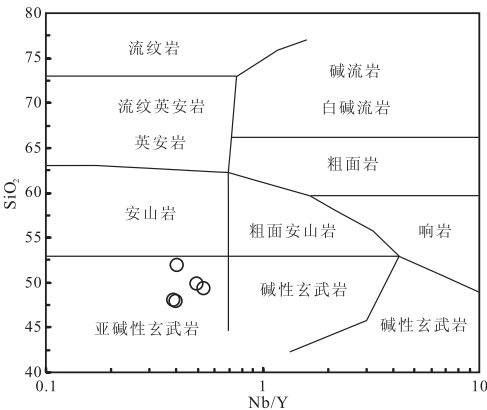


图 8 SiO₂-Nb/Y 图解
Fig. 8 SiO₂-Nb/Y diagrams of plagioclase amphibolites

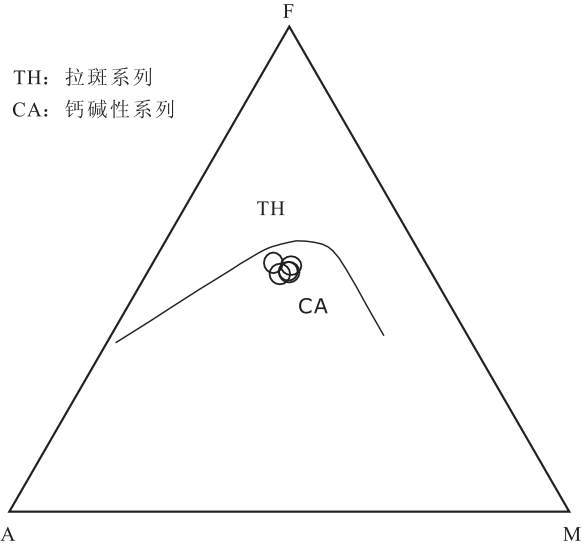


图 9 AFM 图解

Fig. 9 AFM diagrams of plagioclase amphibolites

斜长角闪岩的稀土总量为 $103.52 \times 10^{-6} \sim 154.28 \times 10^{-6}$, $LREE/HREE = 5.77 \sim 7.18$, $(La/Yb)_N = 5.43 \sim 6.15$, 具弱的正 Eu 异常 ($\delta Eu = 1.10 \sim 1.60$), 弱的负 Ce 异常 ($\delta Ce = 0.83 \sim 0.95$)。在球粒陨石标准化稀土元素配分图解中可以看出, 除样品 PM108-49-1 的 Ho、Tm、Lu 具有异常的高值, 其余元素的特点基本一致; 总体表现为 LREE 富集、HREE 亏损、轻重稀土分馏明显的右倾型稀

土配分型式(图 10a)。
在微量元素原始地幔标准化蛛网图解上(图 10b), 表现出富集 Rb、Ba、K 等大离子亲石元素, 亏损高场强元素 Nb、Ta 和 Th、U 等, 具 Sr、Sm 的弱正异常, 显示岛弧或活动大陆边缘玄武岩的特征; 但受到地壳或岩石圈混染的大陆玄武岩同样会具有上述特征(ERNST et al., 2005; 夏林圻等, 2007)。样品 Zr 含量较高($105 \times 10^{-6} \sim 263 \times 10^{-6}$, 平均值为 150.96×10^{-6}), $Zr/Y = 4.99 \sim 11.85$, 具有板内玄武岩的特征。在 $Zr/Y - Zr$ 图解(图 11)和 $Ti/100 - Zr - 3Y$ 图解(图 12)上, 样品主要落入板内玄武岩区。

泥盆纪时期, 华北板块北缘以碱性岩和基性-超基性杂岩为主的岩石组合, 表明泥盆纪岩浆活动形成于与弧-陆碰撞后的伸展背景。孙立新等(2015)在赤峰市敖汉旗地区朝吐沟组变玄武岩和变流纹岩中分别获得 $(359.4 \pm 1.4) Ma$ 和 $(360.3 \pm 1.4) Ma$ 锆石 U - Pb 年龄, 并认为其属于双峰式火山岩, 说明本区晚泥盆世处于伸展构造背景。直到早石炭世晚期($\sim 320 Ma$), 华北板块北缘开始显示出活动大陆边缘岩浆弧的特征。

综合以上所述, 笔者认为斜长角闪岩原岩应是伸展构造背景下形成的受到地壳或岩石圈混染的板内玄武岩。

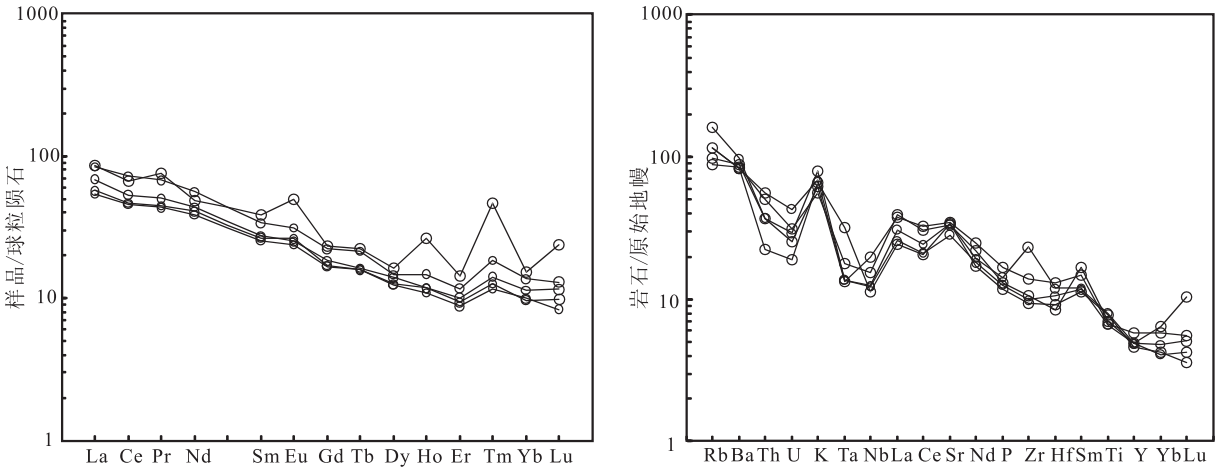


图 10 (a)斜长角闪岩稀土元素球粒陨石标准化配分曲线及(b)微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 10 (a)Chondrite-normalized REE patterns and(b)primitive mantle-normalized trace elements spidergrams of the plagioclase amphibolite

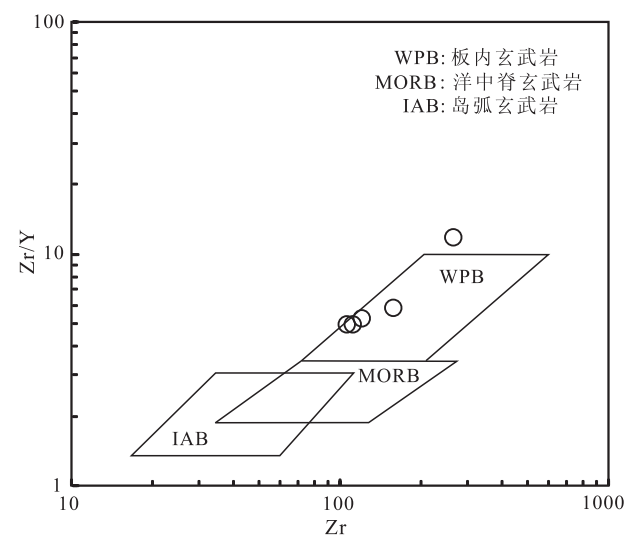


图 11 Zr/Y - Zr 图解

Fig. 11 Zr/Y - Zr diagrams of plagioclase amphibolites

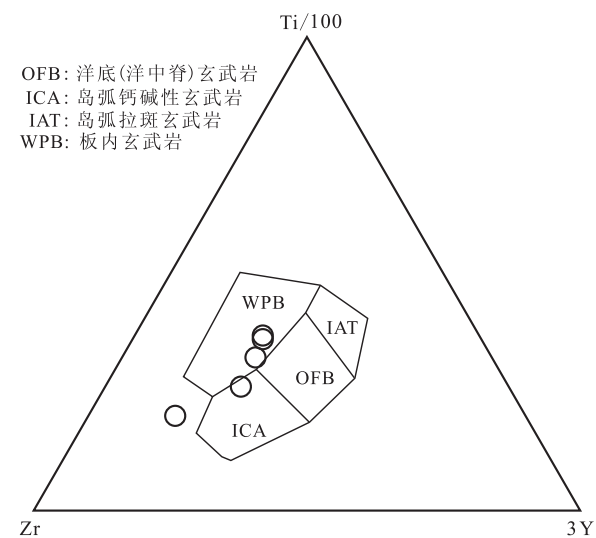


图 12 Ti/100 - Zr - 3Y 图解

Fig. 12 Ti/100 - Zr - 3Y diagrams of plagioclase amphibolites

表 2 斜长角闪岩主量元素(%)、稀土元素及微量元素(10⁻⁶)分析结果表

Tab. 2 Major elements(%), rare element and trace element(10⁻⁶) composition of plagioclase amphibolite

样号	PM108 - 49 - 1	PM108 - 49 - 2	PM108 - 49 - 3	PM108 - 49 - 4	PM108 - 49 - 5
SiO ₂	49. 98	49. 46	48. 04	52. 05	48. 18
TiO ₂	1. 53	1. 45	1. 74	1. 42	1. 67
Al ₂ O ₃	17. 85	17. 87	17. 10	17. 33	17. 42
TFe ₂ O ₃	10. 74	10. 99	11. 90	10. 66	11. 84
FeO	7. 01	7. 01	7. 73	6. 69	7. 68
MnO	0. 15	0. 14	0. 14	0. 13	0. 14
MgO	4. 86	4. 77	5. 46	4. 01	5. 23
CaO	7. 65	7. 57	6. 77	6. 98	7. 96
Na ₂ O	3. 24	3. 60	3. 08	3. 01	3. 06
K ₂ O	1. 67	1. 87	2. 40	2. 06	1. 99
P ₂ O ₅	0. 28	0. 37	0. 28	0. 31	0. 26
LOI	2. 49	2. 39	3. 59	2. 46	2. 81
Total	100. 43	100. 48	100. 50	100. 43	100. 55
La	26. 9	26. 1	17. 7	21. 3	16. 8
Ce	54. 3	58. 4	37. 6	43. 2	37. 0
Pr	9. 31	8. 27	5. 48	6. 14	5. 31
Nd	29. 5	33. 7	24. 5	26. 3	23. 2
Sm	7. 48	6. 59	5. 17	5. 33	4. 99
Eu	3. 64	2. 29	1. 93	1. 85	1. 75
Gd	6. 10	5. 73	4. 41	4. 76	4. 33

续表 1

样号	PM108-49-1	PM108-49-2	PM108-49-3	PM108-49-4	PM108-49-5
Tb	1.05	1.01	0.76	0.77	0.75
Dy	5.23	4.73	4.05	4.48	3.98
Ho	1.91	1.06	0.85	0.84	0.79
Er	3.00	2.46	1.96	2.12	1.85
Tm	1.51	0.60	0.41	0.46	0.38
Yb	3.17	2.86	2.02	2.38	2.09
Lu	0.77	0.42	0.31	0.38	0.27
Y	22.5	26.5	22.3	22.2	20.8
ΣREE	153.91	154.28	107.24	120.20	103.52
LREE/HREE	5.77	7.18	6.26	6.42	6.18
La/Yb _N	5.72	6.15	5.92	6.02	5.43
δEu	1.60	1.12	1.21	1.10	1.12
δCe	0.83	0.95	0.91	0.90	0.94
Sc	20.0	18.0	23.1	16.4	21.8
V	242	214	274	212	274
Cr	14.9	19.2	14.5	<10	10.4
Co	37.5	33.2	38.8	30.3	37.2
Ni	9.88	10.9	7.67	<2	6.42
Be	1.36	1.41	1.50	1.14	0.98
Rb	55.7	62.7	103	73.9	73.6
Sr	706	737	598	716	714
Ba	591	624	682	577	584
Li	29.8	29.4	40.2	24.6	28.1
Zr	119	157	111	263	105
Nb	11.1	14.0	8.75	8.88	7.99
Hf	2.59	4.04	3.25	3.68	2.82
Ta	0.74	0.55	0.56	0.56	1.32
Th	4.28	3.15	3.16	4.74	1.92
U	0.66	0.53	0.62	0.91	0.40
Ga	23.4	23.4	22.5	21.5	22.8

6 结论

(1)从锆石 CL 图像上可以看出,斜长角闪岩中第 3 组锆石具有岩浆成因特征,因此笔者认为(351.2±5.2)Ma 应代表了该基性火成岩的形成年

龄,为早石炭世早期。(498±13)Ma、(434±16)Ma、(390.4±6.8)Ma 3 组年龄为捕获锆石年龄。侵入该变质岩系的辉绿岩形成于(167.4±3)Ma,在镜下可见辉石退变质为角闪石的现象,说明该期角闪岩相变质作用的时间较晚。

(2)根据岩石学及地球化学特征,该变质岩系原

岩为一套钙碱性系列基性火山岩及沉积岩组合。通过岩石地球化学分析,结合构造环境判别图解和区域地质背景,笔者认为斜长角闪岩原岩是伸展构造背景下形成的受到地壳或岩石圈混染的板内玄武岩。

参考文献(References):

- 陈井胜,李斌,邢德和,等. 赤峰东部宝音图群斜长角闪岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地质调查与研究, 2015, 38(2): 81-88.
- CHEN Jingsheng, LI Bin, XING Dehe, et al. Zircon U-Pb Ages and Geological Significance of the Plagioclase Amphibolite in the Baoyintu Group Eastern of Chifeng[J]. Geological Survey and Research, 2015, 38(2): 81-88.
- 陈井胜,卢崇海,李斌,等. 内蒙古敖汉旗辉绿岩脉体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学—对赤峰-开原深断裂活动的指示[J]. 地质与资源, 2015, 24(6): 521-525.
- CHEN Jingsheng, LU Chonghai, LI Bin, et al. ZIRCON LA-ICP-MS U-Pb Geochronology of the diabase dikes in Aohanqi, Inner Mongolia: Indication for the Activity of Chifeng-Kaiyuan Deep Fault [J]. Geology and Resources, 2015, 24(6): 521-525.
- 党智财,李俊建,赵泽霖,等. 华北板块北缘中段含铜镍铂镁铁-超镁铁岩地球化学特征[J]. 西北地质, 2015, 48(2): 73-83.
- DANG Zhicai, LI Junjian, ZHAO Zelin, et al. Geochemistry of Cu-Ni (PGE) Sulfide-bearing Mafic-ultramafic Rocks on the Middle Segment of the North Chian Plate [J]. Northwestern Geology, 2015, 48(2): 73-83.
- 李锦轶,张进,杨天南,等. 北亚造山区南部及其毗邻地区地壳构造分区与构造演化[J]. 吉林大学学报, 2009, 39(4): 584-605.
- LI Jinyi, ZHANG Jin, YANG Tiannan, et al. Crustal Tectonic Division and Evolution of the Southern Part of the North Asian Orogenic Region and Its Adjacent Areas [J]. Journal of Jilin University, 2009, 39(4): 584-605.
- 刘建峰,李锦轶,迟效国,等. 华北克拉通北缘与弧-陆碰撞相关的早泥盆世长英质火山岩-锆石 U-Pb 定年及地球化学证据[J]. 地质通报, 2013, 32(2/3): 267-278.
- LIU Jianfeng, LI Jinyi, CHI Xiaoguo, et al. Early Devonian felsic volcanic rocks related to the arc-continent collision on the northern margin of North China craton-evidences of zircon U-Pb dating and geochemical characteristics [J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(2/3): 267-278.
- 刘治博,张维杰. 内蒙古阿拉善右旗杭嘎勒晚二叠世闪长岩地球化学特征和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年[J]. 西北地质, 2014, 47(1): 84-95.
- LIU Zhibo, ZHANG Weijie. Geochemical Characteristics and LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of the Late Permian diorite in Hanggale, Alax Right Banner, Inner Mongolia [J]. Northwestern Geology, 2014, 47(1): 84-95.
- 罗镇宽,苗来成,关康,等. 河北张家口水泉沟岩体 SHRIMP 年代学研究及其意义[J]. 地球化学, 2001, 30(2): 116-122.
- LUO Zhenkuan, MIAO Laicheng, GUAN Kang, et al. SHRIMP chronological study of Shuiquangou intrusive body in Zhangjiakou Area, Hebei Province and its geochemical significance [J]. Geochimica, 2001, 30(2): 116-122.
- 邵济安. 中朝板块北缘中段地壳演化[M]. 北京: 北京大学出版社, 1991.
- SHAO Ji'an. The Crustal Revolution in Middle segment of Northern Margin of Sino-Korean Plate [M]. Beijing: Peking University Press, 1991.
- 王惠初,赵凤清,李惠民,等. 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, 2007, 23(3): 597-604.
- WANG Huichu, ZHAO Fengqing, LI Huimin, et al. Zircon SHRIMP U-Pb age of the dioritic rocks from northern Hebei: the geological records of late Paleozoic magmatic arc [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(3): 597-604.
- 徐备,赵盼,鲍庆中,等. 兴蒙造山带前中生代构造单元划分初探[J]. 岩石学报, 2014, 30(7): 1841-1857.
- XU Bei, ZHAO Pan, BAO Qingzhong, et al. Preliminary study on the pre-Mesozoic tectonic unit division of the Xing-Meng Orogenic Belt (XMOB) [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(7): 1841-1857.
- 许立权,邓晋福,陈志勇,等. 内蒙古达茂旗北部奥陶纪埃达克岩类的识别及其意义[J]. 现代地质, 2003, 17(4): 428-434.
- XU Liquan, DENG Jinfu, CHEN Zhiyong, et al. The identification of Ordovician adakites and its signification in northern Damao, Inner Mongolia [J]. Geoscience, 2003, 17(4): 428-434.
- 赵越,陈斌,张栓宏,等. 华北克拉通北缘及邻区前燕山期主要地质事件[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 900-915.
- ZHAO Yue, CHEN Bin, ZHANG Shuanhong, et al. Pre-

- Yanshanian geological events in the northern margin of the North China Craton and its adjacent areas[J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 900-915.
- 张拴宏, 赵越, 宋彪, 等. 冀北隆化早前寒武纪高级变质区内的晚古生代片麻状闪长岩—锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2004, 20(3): 621-626.
- ZHANG Shuanhong, ZHAO Yue, SONG Biao, et al. The late Paleozoic gneissic granodiorite pluton in early Precambrian 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*, 2004, 20(3): 621-626.
- 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): 824-842.
- 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): 824-842.
- FITTON J G, JAMES D, KEMPTON P D, et al. The role of lithospheric mantle in the generation of Late Cenozoic basic magmas in the western United States[J]. *Journal of Petrology*, 1988, 82(1): 331-349.
- GILL J B. *Orogenic andesites and plate tectonics*[M]. New York: Springer Verlag, 1981.
- STAMPFLI G M, BOREL G D. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 196(1-2): 17-33.
- JIANG P, LIU D, KRÖNER A, et al. Time scale of an early to mid-Paleozoic orogenic cycle of the long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for continental growth[J]. *Lithos*, 2008, 101(3-4): 233-259.
- SHI Y R, LIU D Y, MIAO L C, et al. Devonian A-type granitic magmatism on the northern margin of the North China Craton: SHRIMP U-Pb zircon dating and Hf isotopes of the Hongshan granite at Chifeng, Inner Mongolia, China[J]. *Gondwana Research*, 2010, 17(4): 632-641.
- WINDLEY B F, ALEXEIEV D, XIAO W J, et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Journal of the Geological Society*, 2006, 164(12): 31-47.
- XIAO W J, WINDLEY B F, HAO J, et al. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt[J]. *Tectonics*, 2003, 22(6): 8-1.
- ZHANG S H, ZHAO Y, SONG B, et al. Carboniferous granitic plutons from the northern margin of the North China block: implications for a late Paleozoic active continental margin. *J Geol Soc Lond*[J]. *Journal of the Geological Society*, 2007, 164(2): 451-463.
- ZHANG S H, ZHAO Y, SONG B, et al. Petrogenesis of the Middle Devonian Gushan diorite pluton on the northern margin of the North China block and its tectonic implications[J]. *Geological Magazine*, 2007, 144(144): 16-24.
- ZHANG S H, ZHAO Y, KRÖNER A, et al. Early Permian plutons from the northern North China Block: constraints on continental arc evolution and convergent margin magmatism related to the Central Asian Orogenic Belt[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2008, 98(6): 1441-1467.
- ZHANG S H, ZHAO Y, SONG B, et al. Contrasting Late Carboniferous and Late Permian-Middle Triassic intrusive suites from the northern margin of the North China craton: Geochronology, petrogenesis, and tectonic implications[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2009, 121(121): 181-200.
- ZHANG S H, ZHAO Y, YE H, et al. Origin and evolution of the Bainaimiao arc belt: Implications for crustal growth in the southern Central Asian orogenic belt[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2014, 126(9-10): 1275-1300.
- WIEDENBECK M, ALLE P, CORFU F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 1995, 19(1): 1-23.