

北山交叉沟石英闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及构造意义

赵志雄¹⁾, 贾元琴¹⁾, 许海¹⁾, 王金荣²⁾, 王新亮¹⁾, 刘强¹⁾

1) 内蒙古地质矿产勘查院, 呼和浩特, 010010;

2) 兰州大学, 兰州, 730000

内容提要:北山地区位于华北板块、塔里木板块和哈萨克斯坦板块的交汇地带, 构造-岩浆活动强烈。本文对交叉沟石英闪长岩进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年, 获得的加权平均年龄为 306.3 ± 1.2 Ma, 结果表明岩体形成于晚石炭世。岩石地球化学分析结果显示, SiO_2 含量为 $58.67\% \sim 63.31\%$, 属于中酸性岩系列, Al_2O_3 含量高 ($15.20\% \sim 17.56\%$), $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 $0.42 \sim 0.67$, 显示了相对富钠、低钾的特征, 岩石里特曼指数 (σ) 为 $1.13 \sim 1.53$, $\text{A/NCK} = 0.88 \sim 0.96$, 属于准铝质中钾钙碱性系列; 稀土总量较低 (平均为 81.01×10^{-6}), 具有相对平缓的富集轻稀土元素的配分形式和弱的负 Eu 异常 (δEu 为 $0.80 \sim 0.93$); 在微量元素原始地幔标准化蛛网图上, 相对富集 Rb、Sr、K 等大离子亲石元素, 亏损 Nb、Ta、P 和 Ti 等高场强元素。结合区域地质背景, 认为交叉沟石英闪长岩形成的构造背景为陆缘弧, 进而认为交叉沟地区在晚石炭世存在洋-陆俯冲作用, 而且红石山-百合山-蓬勃山洋完全闭合时限晚于晚石炭世。

关键词: 石英闪长岩; 锆石 U-Pb 年龄; 构造意义; 交叉沟; 北山

北山地处中亚造山带中段南缘, 位于华北板块、塔里木板块和哈萨克斯坦板块的交汇地带, 西邻东天山, 东接阿拉善, 以阿尔金和星星峡两大走滑断裂为界, 位于一个构造楔形区内 (左国朝等, 1990; 聂凤军等, 2002; 龚全胜等, 2002, 2003; 徐学义等, 2008; 卢进才等, 2013)。区内构造-岩浆活动强烈, 是近年来的研究热点, 但在大地构造单元划分方面争议较大, 有学者认为以红石山-百合山-蓬勃山缝合带为界, 北侧为哈萨克斯坦板块, 南侧为塔里木板块 (何世平等, 2002), 而聂凤军等 (2003) 认为以骆驼山-红石山-黑鹰山和柳园-大奇山为界, 从北向南依次为西伯利亚板块、哈萨克斯坦板块和塔里木板块, 杨合群等 (2008) 认为以红柳河-牛圈子-洗肠井蛇绿岩带为界, 其北侧为哈萨克斯坦板块, 南侧为塔里木板块。但多数学者认为志留纪末北山地区结束了古生代板块构造体制, 进入板内构造演化阶段, 统一大陆于早石炭世沿红石山-百合山-蓬勃山一带发生裂解, 重新出现板块构造格局 (李景春等, 1996; 左国朝等, 2003; 何世平等, 2005)。北山地区古生代经历了

陆块分裂、大洋扩张、俯冲、碰撞造山和裂谷发育过程, 岩浆活动一直非常强烈, 花岗岩类在内蒙古北山地区的出露面积几乎占到了基岩分布面积的三分之一 (左国朝等, 1990, 1995, 1996, 2003; 龚全胜等, 2002; 何世平等, 2002, 2005; 江思宏等, 2006; 杨合群等, 2008; 杨岳清等, 2013), 主要经历了早古生代 ($460 \sim 370$ Ma)、晚古生代 ($330 \sim 260$ Ma)、早中生代 ($250 \sim 200$ Ma) 3 期构造岩浆事件 (李舫等, 2009), 尤以华力西期为主, 约占 81% (杨合群等, 2009)。本文通过对北山地区交叉沟分布的石英闪长岩的岩石学、地球化学、锆石 U-Pb 年代学等方面的研究, 分析岩石成因, 揭示其形成的构造背景, 为该区晚古生代构造演化提供约束。

1 地质概况及岩石学特征

研究区位于内蒙古额济纳旗西部地区, 是旱山陆块的一部分, 大地构造位置处于南部明水-石板井-小黄山蛇绿岩带与北部红石山-蓬勃山蛇绿岩带之间 (图 1a), 构造单元划分属于石炭纪明水岩浆弧

注: 本文为中国地质调查局区域地质矿产调查项目 (编号 1212011220462) 资助的成果。

收稿日期: 2014-11-22; 改回日期: 2014-12-19; 责任编辑: 周健。

作者简介: 赵志雄, 男, 1984 年生。工程师, 2011 年获构造地质学硕士学位, 从事岩石学与区域地质矿产调查工作。通讯地址: 010010, 内蒙古地质矿产勘查院; Email: 443844234@qq.com。

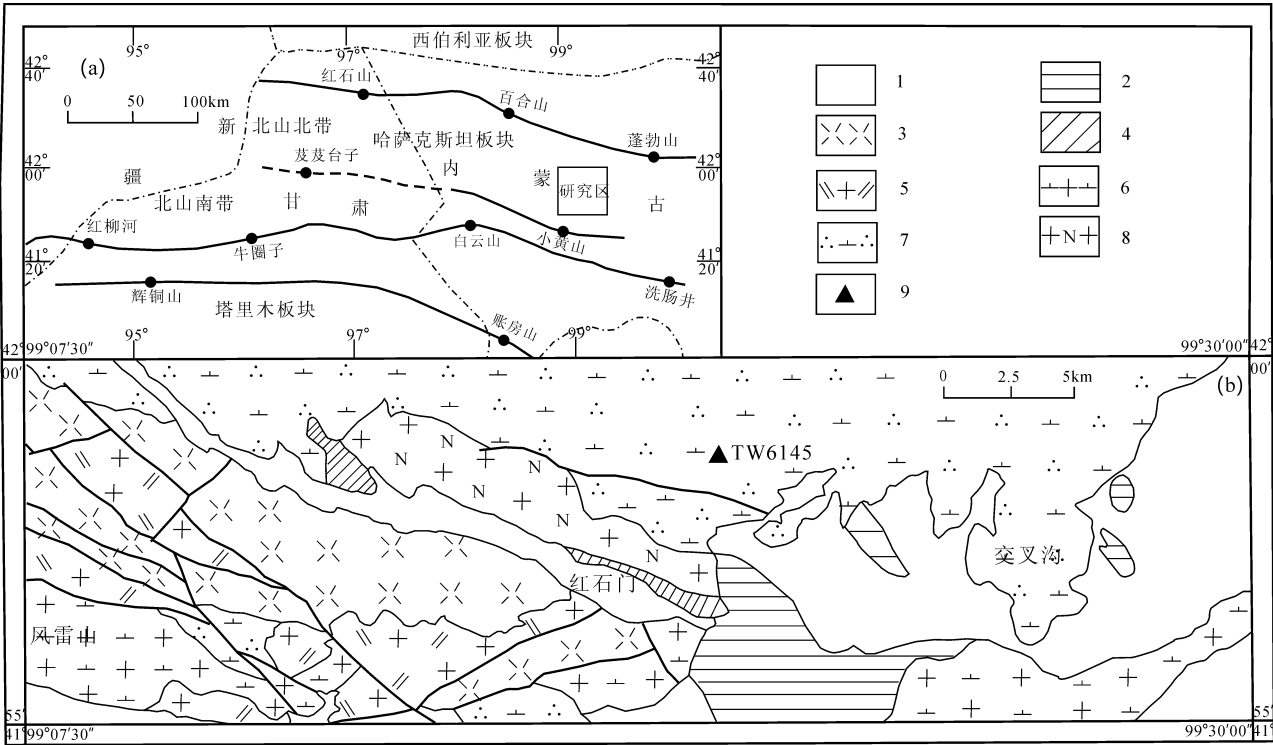


图 1 交叉沟地区所处大地构造位置(a)(据李向民等,2012 修改)及采样地质图(b)

Fig. 1 Sketch tectonic map (a) (after Li et al., 2012) and geologic map of the Jiaochagou area showing the sampling location (b)

1—新生代地层;2—中生代地层;3—晚古生代地层;4—古元古代地层;5—晚古生代二长花岗岩;6—晚古生代花岗闪长岩;
7—晚古生代石英闪长岩;8—早古生代英云闪长岩;9—采样点

1—Cenozoic strata; 2—Mesozoic strata; 3—Late Paleozoic strata; 4—Palaeoproterozoic strata; 5—Late Paleozoic monzonitic granite;
6—Late Paleozoic granodiorite; 7—Late Paleozoic quartz-diorite; 8—Early Paleozoic tonalite; 9—sample location

(Ⅲ级)(潘桂棠等,2009)。区内出露最老地层为古元古界北山岩群,该套岩石 1:20 万区调时划归下石炭统白山组^①,依据岩石地层清理结果,将其从白山组分解出来,岩性以中高级变质岩系为主,将其归并为北山岩群(内蒙古自治区地质矿产局,1996);其次为上石炭统白山组,由中酸性、酸性火山熔岩、火山碎屑岩组成,流纹岩中获得锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和年龄为 318.5 ± 1.2 Ma (MSWD=0.95)(另文刊载),另有学者在红石山白山组安山质角砾晶屑凝灰熔岩中获得锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 314.9 ± 3.3 Ma (卢进才等,2013),上述地层被中生代地层覆盖。区内岩浆侵入作用强烈,活动频繁,发育古生代侵入岩和火山岩。根据野外实地调查,红石门一带出露英云闪长岩,风雷山一带出露石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩,交叉沟一带出露石英闪长岩(图 1b)。

本文研究工作针对交叉沟石英闪长岩开展,该岩体 1:5 万国际分幅属于风雷山、额默勒乌拉幅,在本次项目图幅中出露面积约 100 km²,北侧图幅中亦有

出露,岩性稳定,产出状态为岩基。侵入古元古界北山岩群片岩、上石炭统白山组火山岩和中泥盆世英云闪长岩,被中生代地层覆盖,总体呈近东西向展布,岩石中闪长质暗色包体发育。石英闪长岩为半自形粒状结构,块状构造。主要由斜长石、角闪石、石英及少量钾长石、黑云母等组成。显微镜下观察,斜长石呈半自形板状—半自形粒状,粒径 1~3 mm,不均匀绢云母化,含量 60%~70%;角闪石柱状,粒径 0.5~3 mm 不等,含量 10%~20%;钾长石呈半自形粒状,为微斜长石、条纹长石,发育格子双晶,条纹构造,粒径 0.5~1 mm,含量 5%左右;石英呈他形粒状,粒径 0.5~2 mm,含量 10%左右;黑云母呈鳞片状,粒径 0.5~1 mm,含量 5%~10%。此外岩石中常见有磁铁矿、榍石、磷灰石以及锆石等副矿物。岩石中暗色包体具有斑状结构,基质细柱粒结构,块状构造,由斑晶和基质组成,斑晶主要为斜长石和角闪石。其镜下特征,斑晶中斜长石呈 1 mm 左右宽板状,绢云母化发育,具不明显环带构造,含量为 15%左右,角闪石呈 0.5~1 mm 长柱状,含量为 10%左右;基质由 0.2~

0.3 mm 板状斜长石(45%左右),柱状角闪石(30%左右)及少量石英组成。

2 样品分析方法

经显微镜下鉴定后,选择新鲜样品进行地球化学分析。首先将岩石样品在破碎机上进行粗碎,然后在玛瑙钵体和柱头的研磨机上研磨至 200 目以下,样品加工过程均在无污染设备中进行。样品主量元素和微量元素分析由河北省区域地质矿产研究所实验室完成。主量元素用 X 射线荧光光谱仪(Axiosmax)分析;微量元素用等离子体质谱仪(X-serise2)分析,分析精度优于 5%。

用于锆石 U-Pb 年代学测定的样品,在河北省区域地质矿产研究所实验室利用标准技术对锆石进行分选。将完整的典型锆石置于 DEVCON 环氧树脂中,待固结后抛磨,使锆石内部充分暴露,然后进行锆石的显微照相(反射光和透射光)和锆石的阴极发光(CL)照相,锆石的透射光、反射光和阴极发光照相在北京锆年领航科技有限公司完成。锆石 U-Pb 同位素分析在天津地质矿产研究所同位素实验室完成,使用仪器为 Neptune 多接收电感耦合等离子体质谱仪和 193 nm 激光取样系统(LA-MC-ICP-MS)。激光剥蚀的斑束为 35 μm,能量密度为 13~14 J/cm²,频率为 8~10 Hz,激光剥蚀物质以 He 为载体送入 Neptune(MC-ICP-MS)。锆石标样采用 TEMORA 标准锆石。数据处理采用中国地质大学 Liu 等(Liu et al.,2008)编写的 ICPMSDataCal 程序和 Ludwing(Ludwing et al.,1999)的 Isoplot 程

序进行作图,采用²⁰⁸Pb 对普通铅进行校正,利用 NIST 作为外标计算锆石样品的 Pb、Th、U 含量。

3 测年结果

石英闪长岩样品采自额济纳旗西交叉沟。地理坐标:东经 99°20′12″,北纬 41°58′42″。石英闪长岩(样品 TW6145)中的锆石呈无色—浅黄色,短柱状—长柱状,长宽比多介于 1:2~1:3 之间,个别为 1:1,典型阴极发光 CL 图像(图 2)显示出多数锆石内部具典型的明暗相间的环带结构,表明其属于岩浆结晶的产物(Andersen et al.,2002),少量锆石的中心存在浑圆状核。锆石 U-Pb 测年结果见表 1,25 个点的测试结果显示锆石的 Th/U 比值介于 0.26~0.63 之间,大部分大于 0.4,U、Th 相关性较好,也说明了锆石属于典型岩浆成因范围(Hoskin et al.,2000;Randall et al.,2003;Trevor et al.,2003;Jan Kosler et al.,2003;Christopher et al.,2003;张智宇等,2011)。在锆石 U-Pb 年龄²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵U 谐和图中(图 3),所有分析数据均分布在谐和线上附近,²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 306.3±1.2 Ma(*n*=25,MSWD=1.11)。

4 地球化学特征

4.1 主量元素

表 2 列出了石英闪长岩全岩分析结果,从表中可以看出 SiO₂ 含量为 58.67%~63.31%,属于中酸性岩系列,Al₂O₃=15.20%~17.56%,K₂O/Na₂O 为 0.42~0.67,显示了相对富钠、低钾的特征,MgO

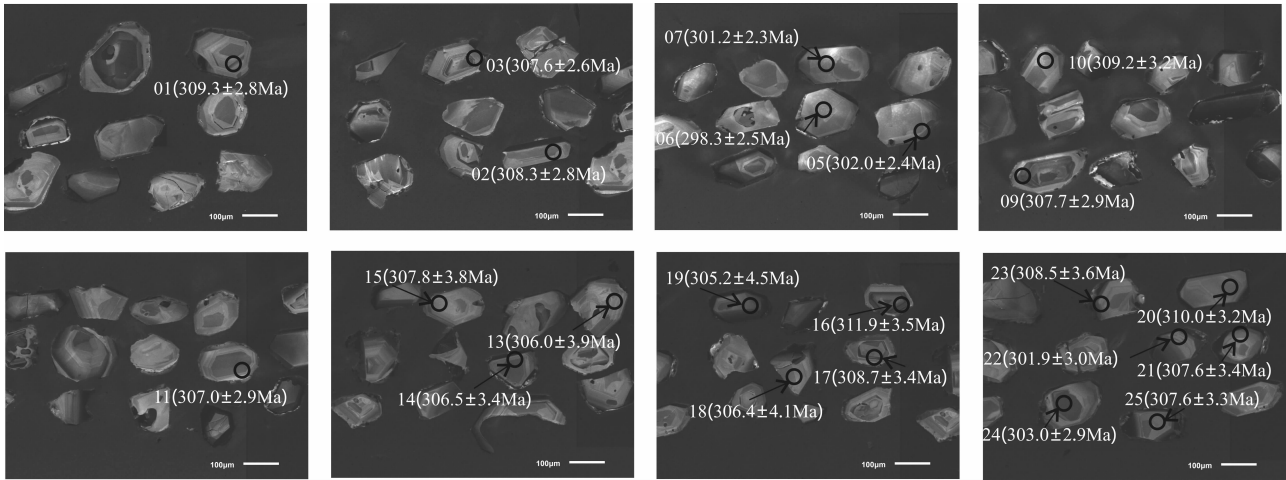


图 2 交叉沟石英闪长岩样品 TW6145 代表性锆石的 CL 图像及分析点和年龄
Fig. 2 CL images of the representative zircons from the sample TW6145
in Jiaochagou area showing the analyzed spots and their ages

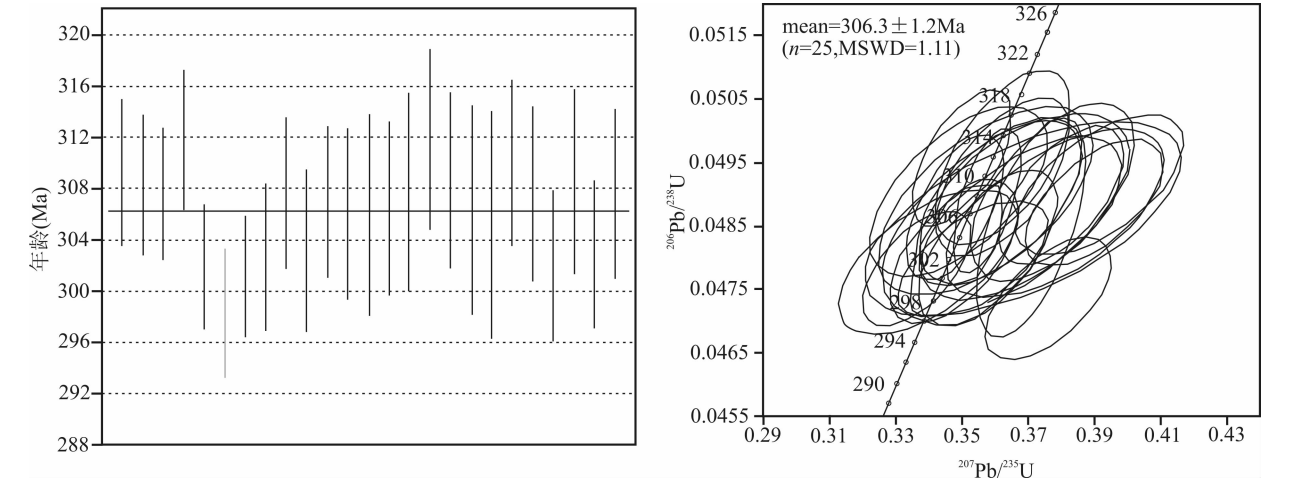


图 3 交叉沟石英闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram for the Jiaochagou quartz diorite

含量为 2.63%~3.51%, $Mg^\# = 46.55 \sim 49.40$, 岩石里特曼指数 σ 为 1.13~1.53, $A/NCK = 0.88 \sim 0.96 (<1)$, $A/NK = 2.23 \sim 2.50 (>2)$, 显示出偏铝质岩浆的特征, 样品投影到中钾钙碱性系列和偏铝质系列中(图 4)。

4.2 稀土元素和微量元素

从表 2 看出, 石英闪长岩 6 个样品稀土总量较低(平均为 81.01×10^{-6}), 变化范围较大(变化于 $56.46 \times 10^{-6} \sim 101.55 \times 10^{-6}$), 轻稀土总量($\Sigma LREE$ 平均为 68.23×10^{-6})明显高于重稀土

表 1 交叉沟石英闪长岩(TW6145)锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data for zircons from Jiaochagou quartz diorite

点号	含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	U-Pb 同位素比值								同位素年龄(Ma)							
	Pb	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	6	40	107	0.38	0.0491	0.0005	0.3916	0.0104	0.0578	0.0015	309.3	2.8	335.5	8.9	521.5	56.6				
2	9	82	159	0.51	0.0490	0.0004	0.3801	0.0077	0.0563	0.0012	308.3	2.8	327.1	6.6	463.6	46.8				
3	8	64	148	0.43	0.0489	0.0004	0.3900	0.0085	0.0579	0.0012	307.6	2.6	334.4	7.3	525.2	45.3				
4	10	66	189	0.35	0.0496	0.0004	0.3502	0.0061	0.0513	0.0008	311.8	2.8	304.9	5.3	252.3	34.4				
5	6	42	112	0.37	0.0480	0.0004	0.3535	0.0092	0.0535	0.0014	302.0	2.4	307.3	8.0	348.2	58.1				
6	7	78	140	0.56	0.0474	0.0004	0.3761	0.0078	0.0576	0.0012	298.3	2.5	324.2	6.7	514.9	43.9				
7	8	59	170	0.35	0.0478	0.0004	0.3364	0.0067	0.0510	0.0010	301.2	2.3	294.5	5.9	241.7	43.8				
8	8	67	156	0.43	0.0481	0.0005	0.3478	0.0080	0.0525	0.0012	302.7	2.9	303.1	6.9	306.3	50.4				
9	19	167	363	0.46	0.0489	0.0005	0.3576	0.0042	0.0530	0.0004	307.7	2.9	310.4	3.7	330.7	16.0				
10	7	72	138	0.52	0.0482	0.0005	0.3581	0.0085	0.0539	0.0011	303.2	3.2	310.8	7.4	368.0	47.0				
11	11	119	202	0.59	0.0488	0.0005	0.3482	0.0059	0.0518	0.0008	307.0	2.9	303.3	5.2	275.0	33.6				
12	7	41	143	0.28	0.0486	0.0005	0.3681	0.0123	0.0549	0.0018	306.1	3.3	318.3	10.6	408.5	72.9				
13	5	32	85	0.38	0.0486	0.0006	0.3686	0.0195	0.0550	0.0028	306.0	3.9	318.6	16.9	411.8	115.9				
14	7	57	132	0.43	0.0487	0.0005	0.3781	0.0136	0.0563	0.0018	306.5	3.4	325.6	11.7	464.6	69.9				
15	5	36	101	0.36	0.0489	0.0006	0.3572	0.0133	0.0530	0.0020	307.8	3.8	310.1	11.5	327.8	83.6				
16	10	72	193	0.37	0.0496	0.0006	0.3625	0.0083	0.0530	0.0011	311.9	3.5	314.1	7.2	330.0	45.3				
17	8	57	146	0.39	0.0490	0.0005	0.3492	0.0110	0.0516	0.0016	308.7	3.4	304.1	9.5	269.3	70.0				
18	8	40	152	0.26	0.0487	0.0007	0.3632	0.0153	0.0541	0.0021	306.4	4.1	314.6	13.2	376.1	86.3				
19	12	65	237	0.27	0.0485	0.0007	0.3710	0.0067	0.0555	0.0008	305.2	4.5	320.4	5.8	432.3	31.7				
20	6	43	123	0.35	0.0493	0.0005	0.3623	0.0082	0.0533	0.0011	310.0	3.2	313.9	7.1	342.7	46.2				
21	6	42	116	0.36	0.0489	0.0005	0.3613	0.0104	0.0536	0.0015	307.6	3.4	313.2	9.0	354.5	64.0				
22	6	52	121	0.43	0.0479	0.0005	0.3397	0.0109	0.0514	0.0016	301.9	3.0	297.0	9.5	258.5	72.0				
23	7	51	144	0.35	0.0490	0.0006	0.3773	0.0102	0.0558	0.0013	308.5	3.6	325.1	8.8	445.3	52.3				
24	12	137	217	0.63	0.0481	0.0005	0.3484	0.0056	0.0525	0.0007	303.0	2.9	303.5	4.9	307.9	29.9				
25	8	63	158	0.40	0.0489	0.0005	0.3619	0.0100	0.0537	0.0013	307.6	3.3	313.7	8.6	359.2	56.0				

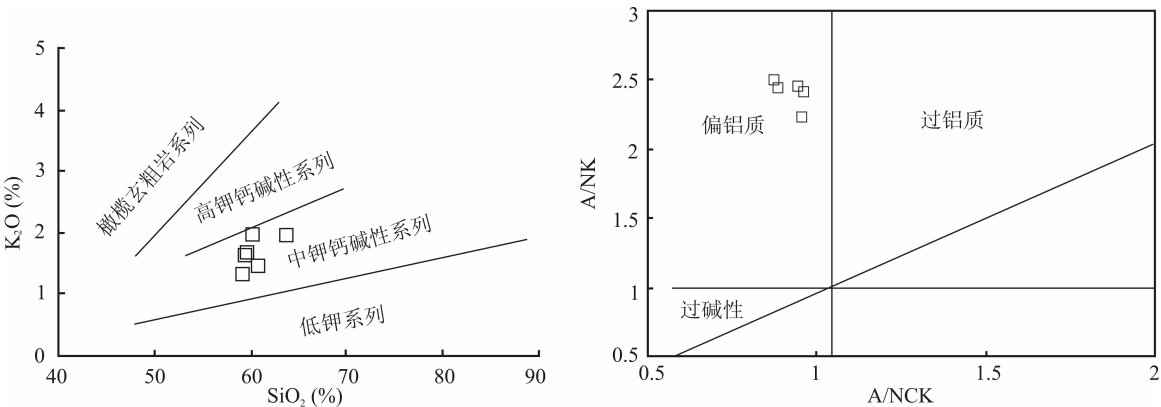


图 4 交叉沟石英闪长岩 SiO₂-K₂O 图解和 A/NCK- A/NK 图解
Fig. 4 SiO₂-K₂O diagram and A/NCK- A/NK diagram of Jiaochagou quartz diorite

(ΣHREE 平均为 13.82×10^{-6})。结合稀土元素的配分曲线(图 5a), 可以看到轻重稀土分馏较为明显, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 变化于 3.40~4.77 之间, 平均为 4.06; $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 变化于 1.88~2.57 之间, 平均为 2.24; $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 变化于 1.16~1.32 之间, 平均为 1.26。除样品 GS6145 具弱的正 Eu 异常(δEu 为 1.04)外, 其他 5 个样品都具有弱的负 Eu 异常(δEu 为 0.80~0.93, 平均为 0.88)。所有样品都具有相似的轻稀土富集而重稀土平缓的右倾型 REE 配分模式, 具有弧岩浆的特征(杨永军等, 2012)。

在原始地幔标准化的微量元素配分图(图 5b)中可以看出岩体微量元素含量一般都高出原始地幔十倍到一百多倍。原始地幔标准化蛛网图解整体呈现右倾形态, 富集左侧大离子亲石元素, 亏损高场强元素及重稀土元素。岩石明显富集了强不相容元素

Rb、Th, 相对富集了易溶于水的、来自于富集型交代地幔楔的大离子亲石元素(LILE)Sr、K 和来自俯冲板块的 Ce, 而强烈亏损较难溶于水的高场强元素(HFSE)Nb、Ta、P、Ti。与造山带弧岩浆作用形成的钙碱性系列岩石特征相似(Rollinson, 1993; 刘建峰等, 2009; 杨永军等, 2012), 呈现 Rb、Th 峰和 Nb、Ta 谷, 可能为地幔橄榄岩部分熔融形成的, 并受到上地壳的混染(李再会等, 2012)。

5 讨论

5.1 交叉沟石英闪长岩的侵位时代及构造环境

前人资料^①显示交叉沟岩体 K-Ar 年龄为 262 Ma, 属于中二叠世。本文对交叉沟石英闪长岩锆石 U-Pb 定年获得加权平均年龄为 306.3 ± 1.2 Ma, 代表岩浆结晶侵位年龄, 岩体应形成于晚石炭世。

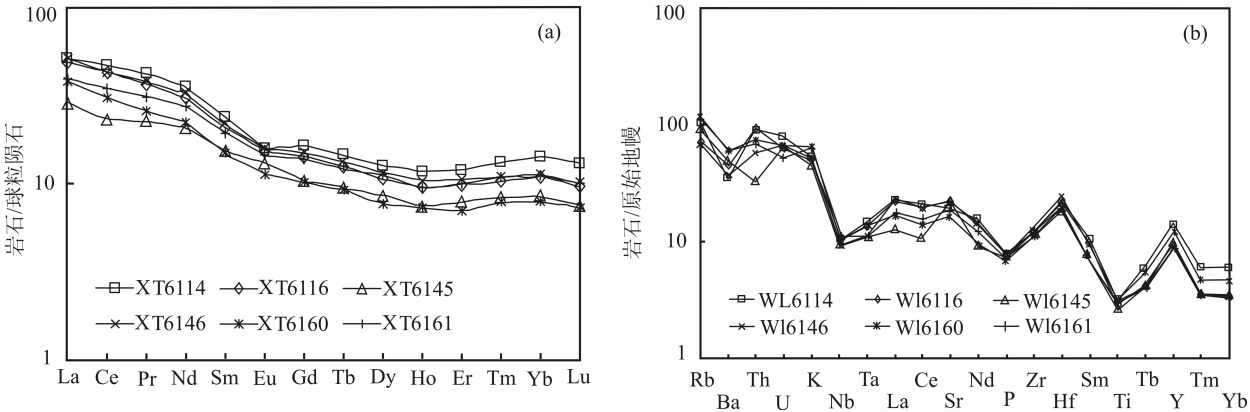


图 5 交叉沟石英闪长岩球粒陨石标准化稀土配分图(a)(标准化值来源于 Boynton, 1984)和原始地幔标准化微量元素配分图(b)(标准化值来源于 McDonough 等, 1992)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (a) (chondrite normalized value after Boynton, 1984) and primitive mantle-normalized trace element spider diagrams (b) (the values of primitive mantle after McDonough et al. , 1992) of Jiaochagou quartz diorite

表 2 交叉沟石英闪长岩的主量元素(%)、微量元素($\times 10^{-6}$)、稀土元素($\times 10^{-6}$)含量

Table 2 Major (%), trace ($\times 10^{-6}$) and rare earth element ($\times 10^{-6}$) contents of Jiaochagou quartz diorite

样号	GS6114	GS6116	GS6145	GS6146	GS6160	GS6161
SiO ₂	59.12	60.21	58.71	58.67	63.31	59.67
TiO ₂	0.64	0.63	0.55	0.64	0.64	0.69
Al ₂ O ₃	15.98	16.64	17.56	16.36	15.20	16.48
Fe ₂ O ₃	3.01	2.71	2.37	2.87	2.28	2.80
FeO	3.76	3.19	3.12	3.79	3.26	3.72
MnO	0.13	0.12	0.10	0.13	0.10	0.12
MgO	3.51	2.85	2.63	3.31	2.70	3.02
CaO	6.28	5.71	6.23	6.63	4.96	5.98
Na ₂ O	2.90	3.26	3.31	3.12	2.87	3.00
K ₂ O	1.65	1.43	1.59	1.31	1.93	1.94
P ₂ O ₅	0.14	0.17	0.16	0.17	0.14	0.17
H ₂ O ⁺	1.36	1.71	1.91	1.36	1.20	0.96
LOI	1.77	1.95	2.26	1.84	1.48	1.27
Total	100.24	100.59	100.48	100.19	100.07	99.82
K ₂ O/Na ₂ O	0.57	0.44	0.48	0.42	0.67	0.65
σ	1.28	1.28	1.53	1.25	1.13	1.47
A/NK	2.44	2.41	2.45	2.50	2.23	2.34
A/NCK	0.89	0.96	0.95	0.88	0.96	0.92
Mg [#]	49.40	47.69	47.40	48.35	47.75	46.55
Cs	6.86	2.37	3.39	4.59	7.16	6.68
Rb	68.3	44.9	59.5	45.5	72.8	78.0
Ba	237.0	306.7	349.7	261.1	424.9	412.8
Th	7.70	8.11	2.78	4.87	6.35	5.88
U	1.70	1.30	1.40	1.38	1.39	1.09
K	13795.17	12008.92	13399.74	11003.28	16183.63	16290.96
Nb	7.23	6.98	6.34	6.61	7.89	7.23
Ta	0.62	0.58	0.45	0.41	0.55	0.46
Sr	404.8	466.1	467.8	476.4	348.7	405.3
P	626	733	696	753	611	733
Zr	122.8	131.2	117.2	135.7	150.7	155.5
Hf	6.24	7.06	5.65	6.98	7.79	7.95
Ti	3866	3823	3328	3852	3850	4156
Y	23.40	19.08	15.43	20.88	14.32	20.03
La	15.73	14.89	8.82	15.87	11.63	12.19
Ce	37.85	34.24	18.48	34.60	24.57	27.60
Pr	5.15	4.43	2.73	4.57	3.12	3.80
Nd	20.96	18.37	12.28	19.17	13.32	16.52
Sm	4.61	3.98	2.96	4.16	2.84	3.71
Eu	1.16	1.11	0.95	1.15	0.83	1.06
Gd	4.23	3.69	2.64	3.87	2.60	3.52
Tb	0.68	0.59	0.45	0.62	0.43	0.57
Dy	4.04	3.35	2.71	3.66	2.46	3.54
Ho	0.83	0.68	0.52	0.74	0.52	0.68

交叉沟石英闪长岩矿物组合为斜长石+钾长石+石英+角闪石+黑云母+磁铁矿+磷灰石,闪长质暗色包体发育,主量元素特征显示岩石属于准铝质中钾钙碱性系列,A/NCK=0.88~0.96<1,具有I型花岗岩的特征(肖庆辉等,2002)。研究表明,钙碱性系列岩石与大洋板块的俯冲作用是密切相关的

(Wyllie,1991;Wyllie et al.,2000),较高的Th/Ta值也可以反映俯冲带岩浆作用(刘峰等,2010),交叉沟石英闪长岩Th/Ta值较高,为6.18~13.98,Barbarin(1999)曾提出含角闪石的钙碱花岗岩(低钾高钙)与俯冲作用有关的结论,上述均暗示交叉沟石英闪长岩的形成与俯冲带有关。强烈富集大离子亲石元素,亏损高场强元素(如Nb、Ta和Ti等),以及轻稀土富集,重稀土分异程度较轻的稀土配分模式也显示出较为明显的俯冲带弧岩浆作用的特点(刘翼飞等,2012;杨永军等,2012),有学者认为I型花岗岩类与岛弧和活动大陆边缘有关(王德滋,1999)。在Ta-Yb和Rb-Yb+Ta判别图(图6)中,样品均落入火山弧区域内,与上述特征显示结果一致,反映岩体形成的构造环境为火山弧。李昌年等(1992)认为大陆弧背景下造山花岗岩均具有P、Ti等元素的亏损,而Nb的负异常更能反映花岗岩具有大陆壳的特征,综合上述特征我们认为交叉沟石英闪长岩为陆缘弧岩浆作用的产物。这与龚全胜等(2003)认为早石炭世红石山大洋向南俯冲于明水-旱山陆块之下,在其大陆边缘形成陆缘岩浆弧的认识相吻合。

5.2 构造意义探讨

北山地区的构造演化主要受塔里木、哈萨克斯坦板块、西伯利亚古板块以及其间古洋壳运动的制约,总体上经历了前寒武纪古陆壳基底形成阶段、加里东期岛弧及裂陷-闭合阶段、华力西期岛弧期后构造-岩浆活动及陆壳再次裂陷-闭合阶段。震旦纪泛大陆岩石圈发生裂离,呈现出多岛洋格局,洋盆位于小黄山-石板井一带(左国朝等,1996,2003;龚全胜等,2003;何世平等,2005)。志留纪洋盆发生南北双向俯冲,形成沟弧盆体系。志留纪末北山及邻区结束了早古生代板块构造体制,进入板内构造演化阶段(左国朝等,2003;何世平等,2005)。

早石炭世初期,在早古生代岛弧带发展的基础上,重新焊接形成的大陆沿红石山-百合山-蓬勃山一带发生强烈扩张形成洋盆(李景春等,1996;何世平等,2005)。早石炭世中晚期,随着洋壳双向俯冲作用的加剧,活动陆缘区发展成以中酸性、中性火山喷发活动为主,也出现少量中基性火山喷发,并伴随华力西中期大量花岗岩类侵入,大约在晚石炭世,红石山-百合山-蓬勃山大洋经双向俯冲后逐渐萎缩,哈萨克斯坦板块和塔里木板块互相靠拢,以弧-弧碰撞的方式发生拼贴,结束了板块构造格局(何世平等,2005)。本文研究结果显示,交叉沟石英闪长

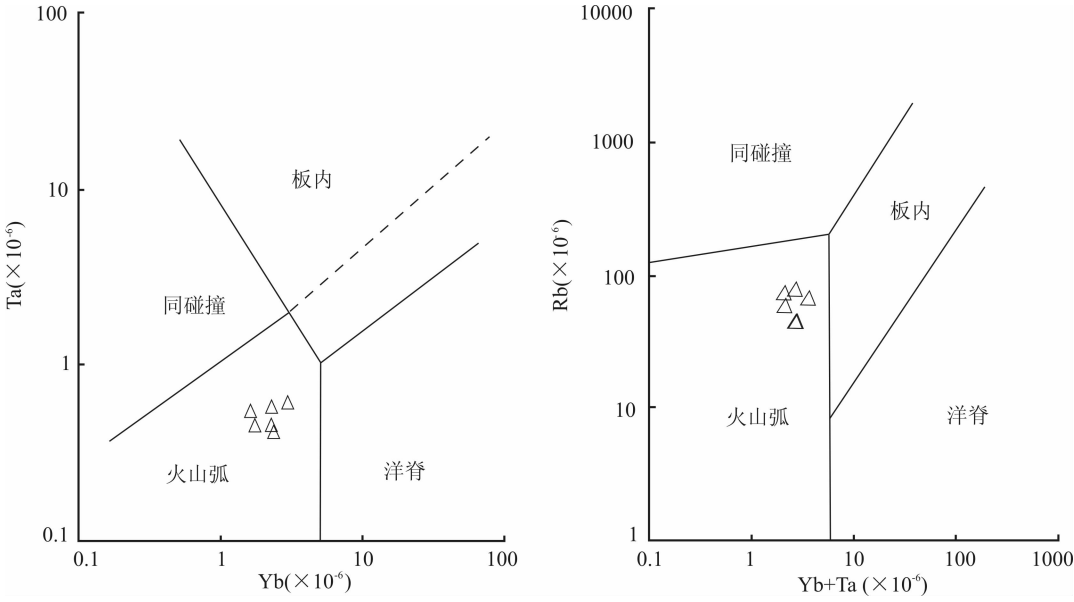


图 6 交叉沟石英闪长岩构造判别图(据 Pearce 等,1984 修改)
Fig. 6 Tectonic discrimination diagrams of Jiaochagou quartz diorite (after Pearce et al., 1984)

岩侵位于晚石炭世,构造背景为陆缘弧,故笔者认为交叉沟地区在 306.3 ± 1.2 Ma 时存在洋-陆俯冲作用,红石山-百合山-蓬勃山洋完全闭合时限晚于晚石炭世。同时黄增宝等(2006)通过蛇绿混杂岩研究得出约中二叠世最终导致两侧大陆块体发生碰撞,Ao 等(2010)在红石山橄榄辉长岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 281.8 ± 2.6 Ma,并认为大洋闭合晚于早二叠世,上述结论表明石炭纪北山地区仍处于板块演化的阶段,这一认识为该区晚古生代构造演化的研究提供了新的资料。

6 结论

- (1)交叉沟石英闪长岩矿物组成、主量元素特征显示具有 I 型花岗岩的特征;具有弱的负 Eu 异常,相对富集 Rb、Sr、K 和 Ce,而亏损 Nb、Ta、P 和 Ti,镁值较高(46.55~49.40),为陆缘弧岩浆作用的产物。
 - (2)锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学表明,交叉沟石英闪长岩形成于 306.3 ± 1.2 Ma,属于晚石炭世,与红石山洋向南俯冲有关。
 - (3)北山交叉沟地区在晚石炭世存在洋-陆俯冲作用,而且红石山-百合山-蓬勃山洋完全闭合时限晚于晚石炭世。
- 致谢:参加野外工作的还有陈海东、高勇、郝增元、邱锦雄、鲁宁、王建斌等;天津地质矿产研究所周红英教授在锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试中给

予了技术帮助;匿名审稿人认真审阅全文并提出了建设性意见。在此一并致以诚挚谢意。

注 释

① 甘肃省地质局地质力学区测队. 1977. 区域地质调查报告, K-47-22(路井)幅。

参考文献

龚全胜,刘明强,李海林,梁明宏,代文军. 2002. 甘肃北山造山带类型及基本特征. 西北地质, 35(3): 28~34.

龚全胜,刘明强,梁明宏,李海林. 2003. 北山造山带大地构造相及构造演化. 西北地质, 36(1): 11~17.

何世平,任秉琛,姚文光,付力浦. 2002. 甘肃内蒙古北山地区构造单元划分. 西北地质, 35(4): 30~40.

何世平,周会武,任秉琛,姚文光,付力浦. 2005. 甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化. 西北地质, 38(3): 6~15.

黄增保,金霞. 2006. 甘肃红石山蛇绿岩地球化学特征及构造环境. 地质科学, 41(4): 601~611.

江思宏,聂凤军. 2006. 北山地区花岗岩类成因的 Nd 同位素制约. 地质学报, 80(6): 826~842.

李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学. 武汉: 中国地质大学出版社, 97~109.

李景春,赵安生,崔惠文. 1996. 北山北带地质构造特征. 贵金属地质, 5(1): 59~68.

李舫,王涛,童英,洪大卫,欧阳志侠. 2009. 北山柳园地区双峰山早泥盆世 A 型花岗岩的确定及其构造演化意义. 岩石矿物学杂志, 28(5): 407~422.

李向民,余吉远,王国强,武鹏. 2012. 甘肃北山地区芨芨台子蛇绿岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义. 地质通报, 31(12): 2025~2031.

李再会,林仕良,丛峰,邹光富,谢韬. 2010. 滇西腾冲—梁河地块石英闪长岩—二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义. *地质学报*, 86(7): 1047~1062.

刘峰,杨富全,李延河,郭正林,柴凤梅,耿新霞,张志欣. 2010. 新疆阿尔泰南缘萨尔布拉克铁矿区花岗岩年代学及地球化学研究. *地质学报*, 84(2): 195~205.

刘建峰,迟效国,张兴洲,马志红,赵芝,王铁夫,胡兆初,赵秀羽. 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. *地质学报*, 82(3): 365~376.

刘翼飞,聂风军,江思宏,席忠,张志刚,肖伟,张可,刘勇. 2012. 内蒙古查干花钼矿区成矿花岗岩地球化学、年代学及成岩作用. *岩石学报*, 28(2): 409~420.

卢进才,牛亚卓,魏仙样,陈高潮,李玉宏. 2013. 北山红石山地区晚古生代火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及构造意义. *岩石学报*, 29(8): 2685~2694.

内蒙古自治区地质矿产局. 1996. 内蒙古自治区岩石地层. 北京: 中国地质大学出版社, 42~45.

聂风军,江思宏,白大明. 2002. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向. 北京: 地质出版社, 1~408.

聂风军,江思宏,白大明,刘妍,张义,赵月明,安存杰,王新亮,苏新旭. 2003. 蒙甘新相邻(北山)地区金铜矿床时空分布特征及成矿作用. *矿床地质*, 22(3): 234~245.

潘桂棠,肖庆辉,陆松年,邓晋福,冯益民,张克信,张智勇,王方国,邢光福,郝国杰,冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分. *中国地质*, 36(1): 1~28.

王德滋. 1999. 壳幔作用与花岗岩成因——以中国东南沿海为例. *高校地质学报*, 5(3): 241~250.

夏林圻. 2001. 造山带火山岩浆作用. *西北地质*, 34(3): 1~8.

肖庆辉,邓晋福,马大铨. 2002. 花岗岩研究思维与方法. 北京: 地质出版社, 265~275.

徐学义,何世平,王洪亮. 2008. 中国西北部地质概论——秦岭、祁连、天山地区. 北京: 科学出版社.

杨合群,李英,李文明,杨建国,赵国斌,孙南一,王小红,谭文娟. 2008. 北山成矿构造背景概论. *西北地质*, 41(1): 22~28.

杨合群,李英,李文明,杨建国,赵国斌,王小红. 2009. 北山花岗岩 S 型/I 型空间变化规律及含矿性. *地球学报*, 30(5): 627~633.

杨永军,杨高学,李鸿,金朝,葛海影,林列全. 2012. 新疆伊宁地块晚泥盆世火山岩的确认及其地质意义. *岩石学报*, 28(4): 1225~1237.

杨岳清,吕博,孟贵祥,严加永,赵金华,王守光,贾玲珑,韩建刚. 2013. 内蒙古东七—山花岗岩地球化学、锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及岩体形成环境探讨. *地球学报*, 34(2): 163~175.

张智宇,杜杨松,张静,庞振山. 2011. 安徽贵池铜山岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学与岩石地球化学特征研究. *地质论评*, 57(3): 366~378.

左国朝,何国琦. 1990. 北山板块构造及成矿规律. 北京: 北京大学出版社, 1~226.

左国朝,刘春燕,白万成,冯永忠. 1995. 北山泥盆纪碰撞造山火山—磨拉石地质构造及地球化学特征. *甘肃地质学报*, 4(1): 35~44.

左国朝,李茂松. 1996. 甘蒙北山地区早古生代岩石圈形成和演化. 兰州: 甘肃科学技术出版社.

左国朝,刘义科,刘春燕. 2003. 甘新蒙北山地区构造格局及演化. *甘肃地质学报*, 1(12): 1~15.

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb. *Chemical Geology*, 192(1~2): 59~79.

Ao S J, Xiao W J, Han C M, Mao Q G, Zhang J E. 2010. Geochronology and geochemistry of early Permian mafic-ultramafic complexes in the Beishan area, Xinjiang, NW China: implications for late Paleozoic tectonic evolution of the southern Altaids. *Gondwana Research*, 18: 466~478.

Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 46: 605~626.

Boynton W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P. ed. *Rare Earth Elements Geochemistry*. Elsevier, 63~114.

Christopher M F, Keith N S, Robert H R. 2003. Detrital zircon analysis of the sedimentary record. *Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 277~303.

Hoskin P W O, Black L P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Journal of Metamorphic Geology*, 18(4): 423~439.

Jan K, Paul J S. 2003. Present trends and the future of zircon in geochronology: laser ablation ICPMS. *Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 243~275.

Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-CIP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, 257: 34~43.

Ludwing K R. 1999. Using Isoplot /Ex Version 2, a geochronological toolkit for Microsoft excel. Berkeley: Berkeley Geochronological Centre Special Publications, 1~47.

McDonough W F, Sun S R, Ringwood A E, Jagoutz E, Hoffmann A W. 1992. K, Rb and Cs in the earth and moon and the evolution of the earth's mantle. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 56: 1001~1012.

Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Petrol.*, 25: 956~983.

Randall R P, Stephen R N. 2003. Zircon U-Th-Pb Geochronology by isotope dilution-Thermal Ionization Mass Spectrometry. *Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 183~213.

Rollinson H R. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. New York: Longman Publishing Group, 174~206.

Trevor R I, Ian S W. 2003. Considerations in zircon geochronology by SIMS. *Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 215~241.

Wyllie P J. 1991. Plate tectonics and magma genesis. *Geologische Rundschau Baud*, 70: 128~150.

Wyllie P J, Ryabchikov I D. 2000. Volatile components, magmas and critical fluids in upwelling mantle. *Journal of Petrology*, 41(7): 1195~1206.

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age of Quartz Diorite from the Jiaochagou Area
in Beishan Orogenic Belt, Inner Mongolia, and Its Tectonic Significance

ZHAO Zhixiong¹⁾, JIA Yuanqin¹⁾, XU Hai¹⁾, WANG Jinrong²⁾, WANG Xinliang¹⁾, LIU Qiang¹⁾

1) *Geology and Mineral Exploration Institute of Inner Mongolia, Hohhot, 010010;*

2) *Lanzhou University, Lanzhou, 730000*

Abstract

Located in the convergence area of North China, Tarim and Kazakhstan plates, the Beishan area has strongly tectonic-magmatic activities. This paper reports a weighted average age of 306.3 ± 1.2Ma using LA-ICP-MS U-Pb dating for zircons from the quartz diorite in Beishan Mountain, Inner Mongolia. The data show that the pluton was emplaced at late Carboniferous. Lithological and geochemical analysis show that the Jiaochagou quartz diorite belongs to cal-alkaline series ($\sigma = 1.13 \sim 1.53$) with metaluminous characteristics ($A/NCK = 0.88 \sim 0.96$), within higher Al_2O_3 (15.20% ~ 17.56%), $Mg^\#$ (46.55 ~ 49.40) while lower K_2O ($K_2O/Na_2O = 0.42 \sim 0.67$). They have a low total REE amount (ave. 81.01×10^{-6}) with relatively flat distribution between LREE and HREE and weak negative Eu anomalies ($\delta Eu = 0.80 \sim 0.93$) in the chondrite-normalized REE patterns. Trace elements analysis shows depletion of Nb, Ta, P, Ti and enrichment of Rb, Sr and K. Based on the regional geology, the above characteristics reflect that the Jiaochgou quartz diorite was formed under the tectonic setting of continental arc in late Carboniferous. Combining with regional geological settings, this study suggests that quartz diorite in the Jiaochgou area formed in the continental oceanic arc, which indicates the existence of ocean-continent subduction during late Carboniferous. The closure time of the ocean basin represented by the Hongshishan-Baiheshan-Pengboshan ophiolite mlangen belt was later than late Carboniferous.

Key words: quartz diorite; zircon U-Pb age; tectonic significance; Jiaochagou; Beishan