



黑龙江省多宝山地区中奥陶世侵入岩锆石 U-Pb 年龄及构造环境

于喜洵, 石国明, 符安宗, 李新鹏, 孙江军, 尹国良, 林泽付

黑龙江省自然资源调查院, 黑龙江 哈尔滨 150036

摘要: 多宝山地区位于兴蒙造山带东段扎兰屯-多宝山岛弧构造带, 早古生代地质体发育, 且与区域成矿作用关系密切。通过对多宝山地区中奥陶世侵入岩的岩相学、岩石地球化学、同位素年代学特征的研究, 对其形成时代、构造环境及成矿作用进行了探讨。定年结果显示花岗闪长岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 488 ± 3 Ma, 形成时代为中奥陶世; 岩浆物质来源以幔源为主, 同熔了部分壳源物质, 伴随强烈的构造热事件和岩浆侵入喷发活动, 大量深源流体带来 Au、Cu 等成矿元素, 在有利成矿条件和扩容空间下, 形成多宝山铜(钼)矿床。研究显示, 中奥陶世花岗闪长岩形成于与板块俯冲有关的岛弧环境。

关键词: 花岗闪长岩; 锆石 U-Pb 年龄; 构造环境; 中奥陶世; 铜(钼)矿床; 黑龙江省

ZIRCON U-Pb AGE AND TECTONIC SETTING OF THE MIDDLE ORDOVICIAN INTRUSIVE ROCKS IN DUOBAOSHAN AREA, HEILONGJIANG PROVINCE

YU Xi-huan, SHI Guo-ming, FU An-zong, LI Xin-peng, SUN Jiang-jun, YIN Guo-liang, LIN Ze-fu

Natural Resources Survey Institute of Heilongjiang Province, Harbin 150036, China

Abstract: The Duobaoshan area is located in Zhalantun-Duobaoshan island arc tectonic belt in the eastern section of Xing'an-Mongolian orogenic belt, with the Early Paleozoic geological bodies developed and closely related to regional mineralization. The formation age, tectonic setting and mineralization are discussed based on the study of petrography, lithogeochemistry and isotopic chronology of the Middle Ordovician intrusive rocks in Duobaoshan area. The LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb age of granodiorites is 488 ± 3 Ma, indicating that the granodiorites were formed in the Middle Ordovician. The magma source is mainly mantle origin with some crust-derived materials. With intensive tectonic thermal events and magmatic intrusion-eruption activities, a large number of deep fluids bring metallogenic elements such as Au and Cu to form Duobaoshan Cu-Mo deposit under favorable mineralogical conditions and expanded space.

Key words: granodiorite; zircon U-Pb age; tectonic setting; Middle Ordovician; Cu-Mo deposit; Heilongjiang Province

0 引言

黑龙江多宝山地区是中国东北地区重要的铜矿产区, 区域上矿产资源丰富, 主要矿床有多宝山铜钼矿

床、争光金矿床及二道坎银矿床。研究区经历了长期构造-岩浆演化, 前人对多宝山铜钼矿床成矿时代、成矿模式与找矿模型研究较多, 并取得了一定的成果^[1-23]。

收稿日期: 2021-06-02; 修回日期: 2021-07-12。编辑: 张哲。

基金项目: 中国地质调查局“大兴安岭成矿带漠河-扎兰屯地区地质矿产调查”项目(DD20160047-07)。

作者简介: 于喜洵(1972—), 男, 高级工程师, 从事区域地质调查及地质矿产勘查工作, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市香坊区新乡里街 9 号, E-mail//278053757@qq.com

通信作者: 石国明(1986—), 男, 高级工程师, 从事区域地质调查工作, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市香坊区新乡里街 9 号, E-mail//5142052@qq.com

其中部分测年数据将区内发育的花岗闪长(斑)岩形成时代定为华力西中晚期—印支期^[2-6],其主要根据为 K-Ar 或 Rb-Sr 法同位素年龄(293~310 Ma),争议较大.为此,笔者依据近年来开展的 1:5 万区调工作^①,以清水河村南产出的花岗闪长岩为研究对象,从岩相学、岩石地球化学、同位素年代学、构造环境及成矿作用等方面进行探讨研究,力求为多宝山地区早古生代侵入岩形成时代、构造属性及与成矿作用的关系等方面提供新的资料.

1 区域地质概况

多宝山地区的大地构造位置处于兴蒙造山带东段扎兰屯—多宝山岛弧构造带,其北侧为海拉尔—呼玛弧后盆地,南侧为贺根山—黑河蛇绿混杂带及孙吴上叠构造盆地的西北段^[1](图 1).研究区内出露的地质体有中奥陶统铜山组、多宝山组,下白垩统九峰山组、甘河组以及中奥陶世中细粒花岗闪长(斑)岩侵入体和晚

三叠世清水河火山岩.

2 岩相学特征

中奥陶世侵入岩主要包括花岗闪长岩及花岗闪长斑岩.

花岗闪长岩(图 2a):中细粒花岗结构,块状构造,主要由斜长石(45%~55%)、石英(20%~30%)及钾长石(10%~20%)组成,粒径 0.5~3.0 mm.斜长石呈半自形板状,可见聚片双晶和卡钠复合双晶;石英呈他形粒状,具波状消光,充填于斜长石之间;钾长石呈他形粒状,局部高岭土化.暗色矿物为黑云母,黑色片状,含量 10%~15%.

花岗闪长斑岩(图 2b):斑状结构,块状构造,基质为微粒结构.斑晶为斜长石(20%~30%)、石英(20%)及黑云母(3%~5%),岩体内斑晶含量分布不均,中心部位斑晶含量较多,局部达 70%,粒径 1~6 mm.斜长石呈半自形粒状,绢云母化普遍,多碎裂;石英呈烟灰

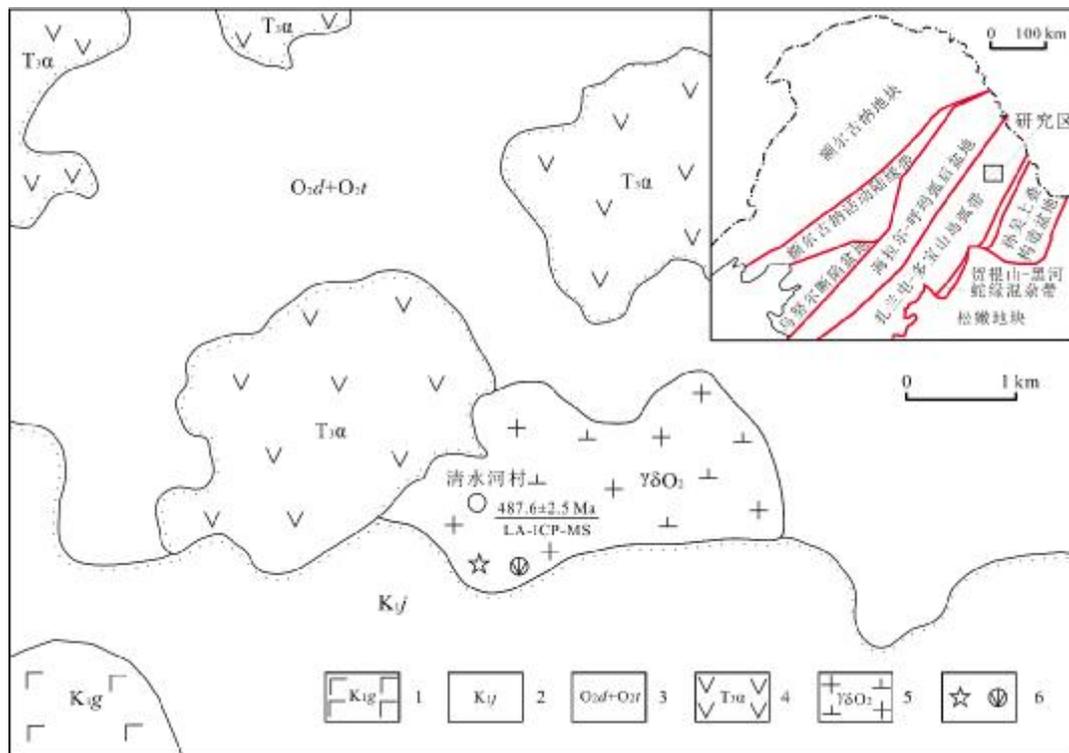


图 1 研究区大地构造及地质简图

Fig. 1 Tectonic and geological sketch maps of the study area

1—甘河组(Ganhe fm.); 2—九峰山组(Jiufengshan fm.); 3—多宝山组、铜山组(Duobaoshan fm. & Tongshan fm.); 4—清水河火山岩(Qingshuihe volcanic rock); 5—中细粒花岗闪长岩(fine-medium-grained granodiorite); 6—采样位置及同位素年龄(sampling location and isotopic age)

①黑龙江省地质调查研究总院. 黑龙江 1:5 万三矿沟等六幅区域地质调查报告. 2019.

色, 他形粒状; 黑云母呈黑色片状. 基质为微细粒石英、长石组成.

3 同位素测年

测年样品 (D7046) 采自研究区内清水河村南 600 m 处中细粒花岗闪长岩岩体内, 取样位置: 125° 53' 05" E, 50° 09' 32" N, 采集的样品新鲜、无蚀变, 符合锆石测年条件. 对样品 24 个锆石颗粒进行了 LA-MC-ICP-MS U-Pb 定年, 在阴极发光电子图像 (图 3) 上可见锆石多为自形一半自形, 晶形完好度一般, 晶棱与晶面相对清晰, 可见自形生长纹及生长环带, 大小多为

50~100 μm, 长宽比为 1:1~1:2, 为典型岩浆锆石. 从谐和图 (图 4) 及锆石分析结果 (表 1) 可见该组样品年龄主要集中在 488±3 Ma, 代表了本期侵入岩结晶年龄, 时代为中奥陶世.

4 岩石地球化学特征

4.1 主量元素

花岗闪长岩主量元素分析结果见表 2. SiO₂ 含量 64.64%~67.26%, 为酸性岩类; Al₂O₃ 含量 15.55%~16.61%, 全碱 (Na₂O+K₂O) 含量 5.72%~7.3%, 碱度率适中; Na₂O/K₂O>1, 相对富钠贫钾; 里特曼指数 (σ) 1.49~

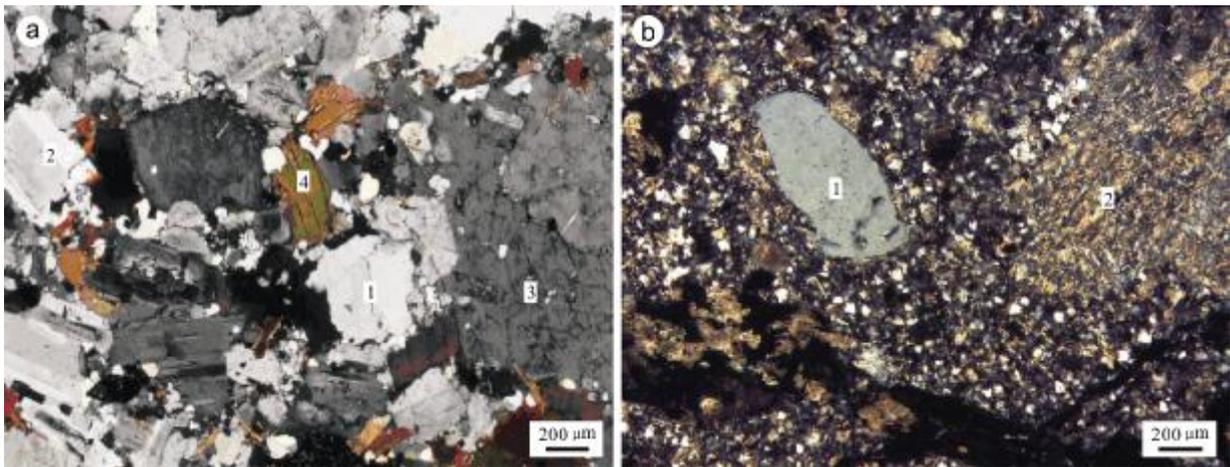


图 2 中奥陶世侵入岩显微照片

Fig. 2 Microphotographs of Middle Ordovician intrusive rocks

a—花岗闪长岩 (granodiorite); b—花岗闪长斑岩 (granodiorite porphyry); 1—石英 (quartz); 2—斜长石 (plagioclase); 3—钾长石 (K-feldspar); 4—黑云母 (biotite)

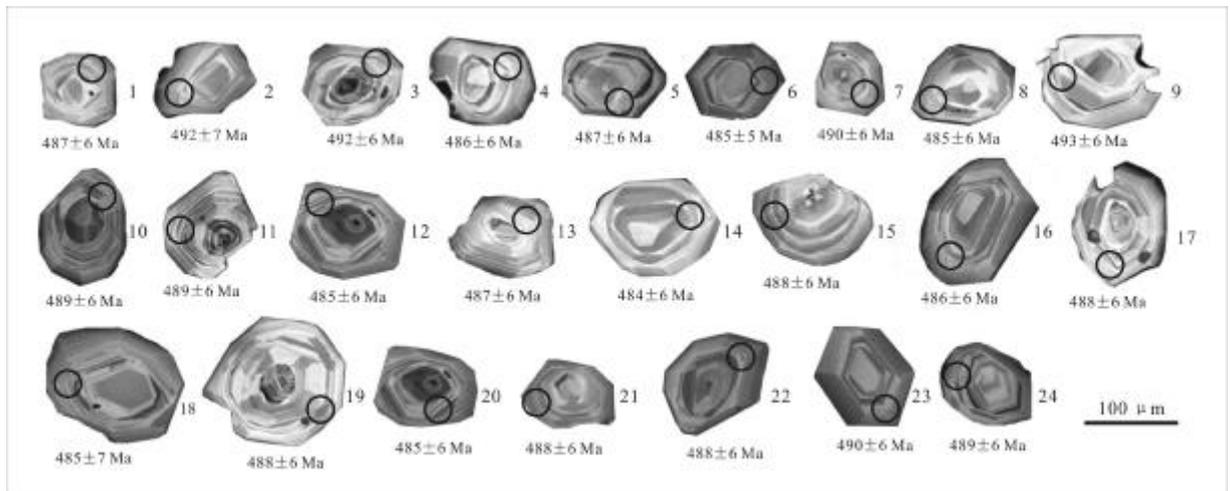


图 3 样品 D7046 锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL images of zircons from sample D7046

表 1 样品 D7046 锆石 U-Pb 同位素测年数据表
Table 1 U-Pb isotopic dating data of zircons in sample D7046

测点	元素含量/ 10^{-6}			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	Pb	U	Th	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄/Ma	1σ
1	9.11	113.82	40.82	0.0785	0.0010	0.6208	0.0133	0.0574	0.0011	0.0262	0.0007	0.3586	0.002	487	6
2	9.84	121.77	43.20	0.0793	0.0011	0.6133	0.0139	0.0561	0.0012	0.0268	0.0007	0.3548	0.002	492	7
3	9.55	117.64	45.91	0.0793	0.0009	0.6157	0.0138	0.0563	0.0011	0.0255	0.0006	0.3903	0.002	492	6
4	7.57	94.33	35.92	0.0783	0.0010	0.6211	0.0152	0.0575	0.0013	0.0257	0.0007	0.3808	0.005	486	6
5	7.89	101.58	29.17	0.0785	0.0010	0.6193	0.0145	0.0572	0.0013	0.0233	0.0006	0.2872	0.002	487	6
6	7.18	91.88	29.59	0.0782	0.0009	0.6199	0.0136	0.0575	0.0012	0.0233	0.0006	0.3221	0.001	485	5
7	8.48	107.52	37.21	0.0789	0.0010	0.6197	0.0152	0.0570	0.0013	0.0220	0.0006	0.3461	0.002	490	6
8	10.41	128.73	55.60	0.0781	0.0010	0.6181	0.0136	0.0574	0.0011	0.0248	0.0006	0.4320	0.004	485	6
9	6.15	77.32	26.30	0.0794	0.0010	0.6200	0.0203	0.0566	0.0019	0.0233	0.0008	0.3402	0.005	493	6
10	11.14	135.43	64.57	0.0788	0.0010	0.6186	0.0136	0.0569	0.0011	0.0242	0.0006	0.4768	0.003	489	6
11	12.14	144.69	72.38	0.0788	0.0009	0.6291	0.0136	0.0579	0.0012	0.0268	0.0006	0.5003	0.009	489	6
12	8.16	104.27	35.98	0.0781	0.0009	0.6177	0.0128	0.0574	0.0011	0.0224	0.0005	0.3451	0.004	485	6
13	8.22	103.55	33.87	0.0785	0.0010	0.6199	0.0169	0.0573	0.0015	0.0263	0.0008	0.3271	0.003	487	6
14	14.65	180.79	84.46	0.0780	0.0010	0.6213	0.0130	0.0577	0.0010	0.0234	0.0005	0.4672	0.003	484	6
15	12.06	149.57	59.21	0.0787	0.0010	0.6235	0.0123	0.0575	0.0010	0.0248	0.0006	0.3959	0.003	488	6
16	6.59	83.82	26.97	0.0783	0.0010	0.6140	0.0151	0.0569	0.0013	0.0250	0.0007	0.3217	0.002	486	6
17	7.74	96.77	35.55	0.0787	0.0010	0.6241	0.0165	0.0575	0.0014	0.0246	0.0006	0.3673	0.002	488	6
18	10.60	127.03	70.27	0.0781	0.0012	0.6153	0.0169	0.0571	0.0012	0.0247	0.0010	0.5532	0.003	485	7
19	9.70	121.57	44.55	0.0786	0.0010	0.6090	0.0145	0.0562	0.0012	0.0248	0.0006	0.3664	0.004	488	6
20	7.89	100.01	32.93	0.0781	0.0010	0.6217	0.0147	0.0577	0.0012	0.0256	0.0006	0.3292	0.001	485	6
21	8.40	104.94	39.16	0.0786	0.0009	0.6105	0.0128	0.0563	0.0011	0.0248	0.0006	0.3731	0.004	488	6
22	13.55	163.73	80.29	0.0786	0.0010	0.6248	0.0136	0.0577	0.0012	0.0252	0.0006	0.4904	0.005	488	6
23	10.79	132.55	57.12	0.0789	0.0010	0.6161	0.0132	0.0566	0.0011	0.0244	0.0007	0.4309	0.005	490	6
24	9.25	114.65	44.12	0.0788	0.0010	0.6175	0.0133	0.0568	0.0011	0.0253	0.0007	0.3849	0.003	489	6

测试单位:中国地质调查局天津地质调查中心.

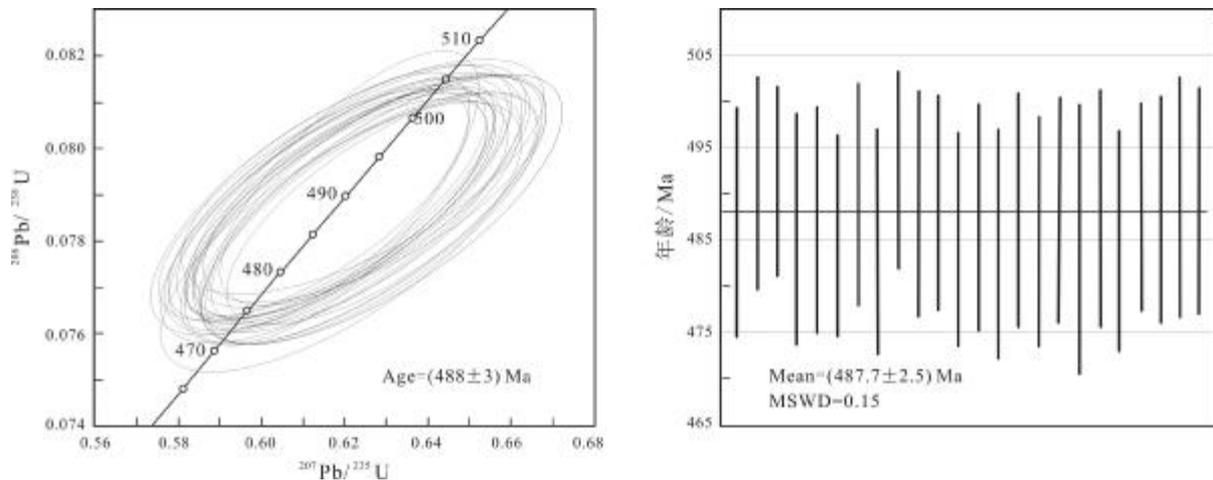


图 4 样品 D7046 U-Pb 锆石 LA-MC-ICP-MS 同位素年龄及谐和曲线图

Fig. 4 LA-MC-ICP-MS isotopic ages and harmonic curves of zircons in sample D7046

2.27, $A/CNK=1.65\sim 2.55 > 1.1$, 为钙碱性、过铝质花岗岩类岩石(图 5a); K_2O-SiO_2 图解(图 5b)中投影点落于钙碱性系列区; 分异指数(DI)71.98~80.4, 表明岩浆分异结晶程度较高; 固结指数(SI)9.79~13.17, 相对偏高。

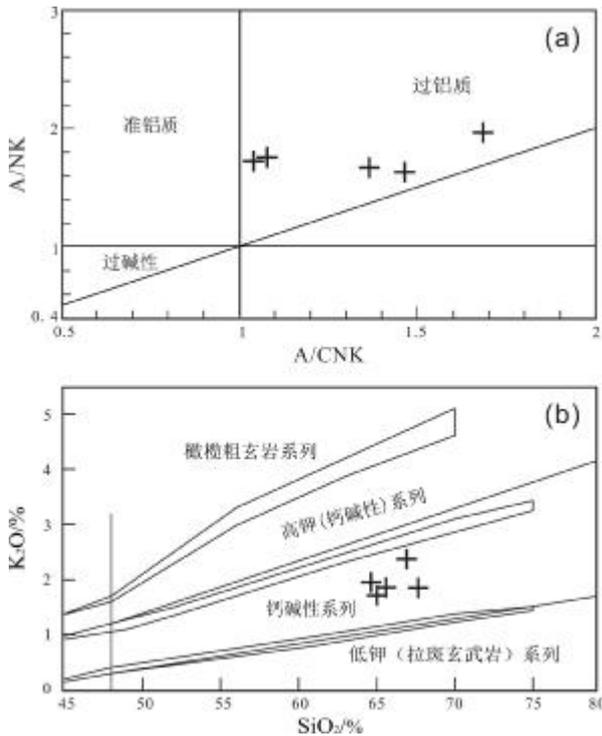


图5 花岗岩分类判别图解
(据文献[24-25])

Fig. 5 The discrimination diagrams of granite
(After References [24-25])

4.2 稀土和微量元素

分析结果见表 2, 稀土元素总量(ΣREE)含量为 $64.42 \times 10^{-6} \sim 90.01 \times 10^{-6}$, 平均值 75.86×10^{-6} ; 反映轻重稀土元素分馏程度的 $LREE/HREE$ 为 4.91~8.71, 平均值 6.35; 经球粒陨石标准化后的稀土元素配分模式为弱—中等右倾型曲线(图 6)。(La/Yb)_N 比值介于 1.03~8.62 之间, (Ce/Yb)_N 比值介于 3.63~7.45 之间, 属轻稀土富集、重稀土元素亏损型。

大离子亲石元素(LILE)相对富集, 高场强元素(HFSE)相对于大离子亲石元素亏损, 说明岩浆可能来源于富集地幔型源区。原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 7)整体表现为右倾, 具有明显的 Nb、Ta、Th、Ti 负异常。

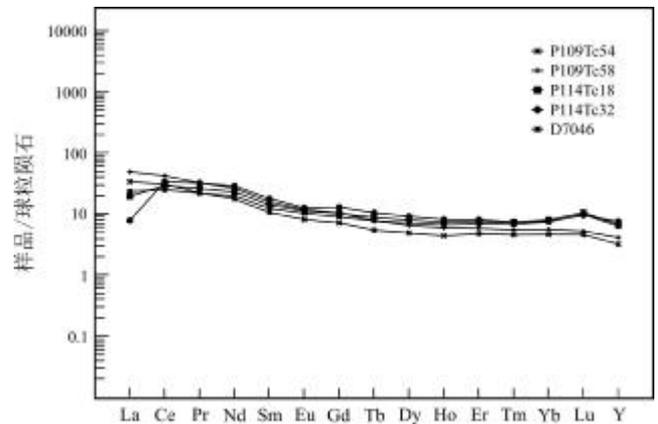


图6 稀土配分曲线图

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of granodiorites
标准化数据(Normalized data): Boynton, 1984

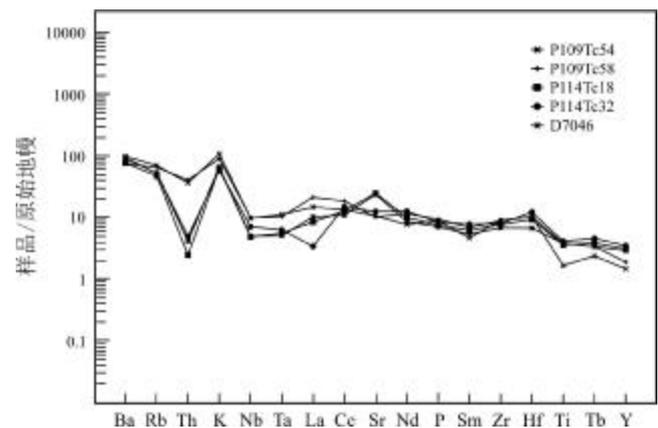


图7 微量元素蛛网图

Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams
of granodiorites
标准化数据(Normalized data): McDonough, 1992

5 讨论

5.1 花岗闪长岩的形成时代

近年在多宝山铜铅矿床中获得与成矿相关的花岗闪长(斑)岩体锆石 U-Pb 年龄多集中在 470~480 Ma。崔根等^[10]获得多宝山铜矿床矿体寄主岩石花岗闪长岩锆石 SHRIMP 年龄为 479.5 ± 4.6 Ma; 向安平等^[12]获得成矿母岩花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄为 474.8 ± 4.7 Ma, 矿体寄主岩石花岗闪长岩年龄为 478.1 ± 4.1 Ma、 483.9 ± 4.5 Ma; 赵焕利等^[13]获得多宝山铜矿床花岗闪长岩年龄为 453.2~486.9 Ma。本次研究在清水河村南花岗闪长岩岩体中获取 U-Pb 锆石 LA-MC-ICP-MS 年龄为 488 ± 3 Ma。根据区域地质背景、接触关系, 结合

表 2 花岗闪长岩主量、稀土和微量元素分析结果表

Table 2 Contents of major, rare earth and trace elements in granodiorites

样品号	P109 Tc54	P109 Tc58	P114 Tc18	P114 Tc32	D7046	样品号	P109 Tc54	P109 Tc58	P114 Tc18	P114 Tc32	D7046
SiO ₂	66.52	67.26	65.6	65.02	64.64	Dy	1.59	2.1	2.59	2.96	2.29
TiO ₂	0.38	0.37	0.35	0.4	0.37	Ho	0.32	0.43	0.53	0.59	0.48
Al ₂ O ₃	16.61	15.88	15.55	16.53	16.25	Er	1.01	1.23	1.6	1.71	1.45
Fe ₂ O ₃	1.16	1.5	3.22	3.47	3.13	Tm	0.15	0.18	0.24	0.24	0.22
FeO	3.31	2.79	1.74	1.87	1.69	Yb	0.98	1.18	1.68	1.6	1.56
MnO	0.055	0.059	0.13	0.12	0.13	Lu	0.15	0.17	0.34	0.31	0.32
MgO	1.64	1.67	1.48	1.2	1.66	Y	6.8	8.74	14.3	16	13.3
CaO	0.63	1.15	3.26	0.76	3.2	δEu	0.91	0.9	0.92	0.82	0.96
Na ₂ O	4.13	4.07	4.29	4.01	4.37	ΣREE	64.42	90.01	74.62	82.65	67.59
K ₂ O	3.17	2.65	1.86	1.71	1.95	LREE	51.3	72.9	50.26	55.38	45.26
P ₂ O ₅	0.19	0.2	0.16	0.18	0.15	HREE	6.32	8.37	10.06	11.27	9.03
Los	2.06	2.26	1.8	4.4	2.04	LR/HR	8.12	8.71	5	4.91	5.01
Total	97.795	97.599	97.64	95.27	97.54	La/Yb	10.71	12.8	3.61	1.53	4.68
A/CNK	2.09	2.02	1.65	2.55	1.71	(La/Yb) _N	7.22	8.62	2.43	1.03	3.16
A/NK	2.28	2.36	2.53	2.89	2.57	Eu/Sm	0.29	0.28	0.3	0.27	0.31
MF	73.16	71.98	77.02	81.65	74.38	Sm/Nd	0.2	0.19	0.2	0.2	0.2
K ₂ O+Na ₂ O	7.3	6.72	6.15	5.72	6.32	Ce/Yb	25.31	28.81	14.05	17.06	12.95
Na ₂ O/K ₂ O	1.3	1.54	2.31	2.35	2.24	Rb	44	41	30	33	33
σ	2.27	1.86	1.67	1.49	1.85	Sr	226	217	524	265	500
AR	2.47	2.3	1.97	1.99	1.96	Ba	687	528	532	650	628
DI	80.4	79.48	72.63	78.69	71.98	Nb	7	7.1	3.5	5.1	3.6
SI	12.23	13.17	11.76	9.79	12.97	Ta	0.46	0.43	0.23	0.26	0.21
La	10.5	15.1	6.06	2.44	7.3	Zr	102	101	87	90	77
Ce	24.8	34	23.6	27.3	20.2	Hf	3.2	3.2	2.9	3.8	2.1
Pr	2.72	3.94	3.2	3.92	2.68	Th	3.06	3.41	0.21	0.42	0.35
Nd	10.6	15.9	13.8	17.3	11.9	Cr	31.4	24.9	8.97	16.3	11.9
Sm	2.08	3.09	2.77	3.49	2.42	Sc	9.79	9.54	9.49	10.7	10.5
Eu	0.6	0.87	0.83	0.93	0.76	U	1.03	1.15	2.44	2.73	2.68
Gd	1.86	2.71	2.66	3.36	2.34	Rb/Sr	2.14	13	1.03	2.09	1.44
Tb	0.26	0.37	0.42	0.5	0.37	Nb/Ta	21.56	19.71	9.32	7.89	11.9

测试单位:国土资源部哈尔滨矿产资源监督检测中心. 含量单位:主量元素为%,稀土和微量元素为 10⁻⁶.

前人同位素测年成果, 确定该期侵入岩时代为中奥陶世.

5.2 花岗闪长(斑)岩与成矿的关系

在多宝山矿区, 中奥陶世的岩浆侵入活动先形成了出露面积 9 km² 的中深成相花岗闪长岩体, 与其有

关的热液活动仅在岩体内、外接触带形成了青磐岩化及微弱的铜矿化, 并未形成工业矿体. 岩浆演化晚期形成了侵入到花岗闪长岩中的浅成相花岗闪长斑岩小岩体, 出露面积仅 0.17 km², 与其有关的热液活动引发了大规模的成矿作用, 使铜钼(金)矿体和各种蚀变带

围绕花岗闪长斑岩小岩体分布,形成了大型矿床^[1].

研究区内中奥陶世花岗闪长(斑)岩中 SiO_2 含量介于 64.64%~72.3% 之间, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 1$, A/CNK 值 > 1.1 , $\delta^{18}\text{O}$ 值为 9.9‰和 9.5‰; 多宝山矿床的成矿岩体(花岗闪长斑岩)的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值为 0.7054, $\delta^{18}\text{O}$ 值为 10.59‰^[1], 反映出岩浆物质来源以幔源为主, 同熔了部分壳源物质, 为同熔系列的产物^[10]. 岩浆具有幔源与壳源过渡的特征, 即岩浆在上升和演化过程中, 幔源岩浆中加入了硅铝壳物质(围岩)的成分^[26], 伴随强烈的构造热事件和岩浆喷发活动, 深部幔源物质不断上涌, 并发生壳幔相互作用和物质交换与循环, 大量深源流体带来 Au、Cu 等成矿元素, 在有利成矿条件和扩容空间下, 形成多宝山铜(钼)矿床^[27].

5.3 构造环境分析

晚石炭世早期以前, 多宝山地区曾存在一个具有洋壳性质的海盆, 应是古亚洲洋北向的一个分支洋, 有的学者也称其为“嫩江洋”^[28]. 晚寒武世或之前, “嫩江洋”开始俯冲-增生, 在本区形成了早古生代的贺根山-黑河构造混杂岩带, 最终“嫩江洋”于早石炭世晚期-晚石炭世早期沿贺根山-嫩江-黑河一线闭合, 额尔古纳-兴安地块与松嫩地块完成拼贴^[28].

研究区早奥陶世处于挤压松弛阶段, 在伸展机制

下, 铜山组海相沉积建造形成, 多宝山海盆开始发育; 中奥陶世, 在挤压-俯冲作用下, 南东部大洋板块向北西部俯冲, 在多宝山一带形成近北东向展布的多宝山岛弧带, 带内岩石以多宝山组钙碱性火山岩为主. 研究区花岗闪长(斑)岩侵入铜山组和多宝山组安山岩, 其形成与大量的岛弧型奥陶纪安山岩有关, 成因类型为“I”型^①, 而多宝山组火山岩形成于岛弧-陆源弧环境, 两者形成的构造环境相似. 稀土元素 δEu 在 0.82~0.96 之间, 弱负异常, 表明源区残留相没有斜长石存在; 微量元素具有明显的 Nb、Ta、Ti 负异常, 显示具有岛弧钙碱性岩浆特征, 其岩浆形成深度在 80~100 km 的榴辉岩部分熔融区^[13]. 在构造环境判别 $\text{Rb}-(\text{Y}+\text{Nb})$ 和 $\text{Rb}-(\text{Yb}+\text{Ta})$ 图解(图 8)中, 样品点均落入火山弧花岗岩区^[29].

综上, 研究区中奥陶世花岗闪长岩其岩石化学、地球化学特征显示为岛弧型钙碱性花岗岩, 岩浆来源为板块俯冲的脱水熔融, 形成于与板块俯冲有关的岛弧环境.

6 结论

(1) 多宝山地区花岗闪长岩 U-Pb 锆石 LA-MC-ICP-MS 年龄为 488 ± 3 Ma, 形成时代为中奥陶世.

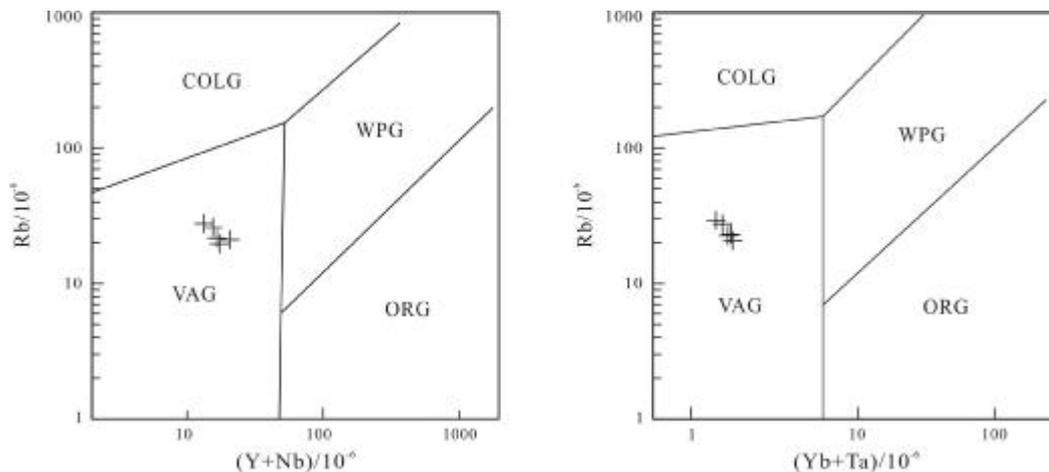


图 8 岩浆岩构造环境判别图解

(据文献[29])

Fig. 8 Tectonic discrimination diagram of magmatites

(After Reference [29])

COLG—同碰撞花岗岩(syn-collisional granite); VAG—火山弧花岗岩(volcanic arc granite); WPG—板内花岗岩(within-plate granite); ORG—洋脊花岗岩(ocean ridge granite)

①黑龙江省地质调查研究总院. 2019. 黑龙江 1:5 万三矿沟等六幅(三矿沟、三峰山、一六九幅、多宝山铜矿幅、星火公社幅、一五三幅)区域地质调查报告.

(2)岩浆物质源区以幔源为主,同熔了部分壳源物质,岩浆具有幔源与壳源过渡的特征。

(3)花岗闪长(斑)岩与铜矿化的关系密切,是多宝山铜矿的成矿母岩。

(4)构造环境判别图解显示,多宝山地区中奥陶世花岗闪长岩形成于与板块俯冲有关的岛弧环境。

致谢:审稿专家对本文提出十分宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢!

参考文献(References):

- [1]赵忠海,郑卫政,曲晖,等.黑龙江多宝山地区铜金成矿作用及成矿规律[J].矿床地质,2012,31(3):601-614.
Zhao Z H, Zheng W Z, Qu H, et al. Cu-Au mineralization and metallogenic regularity of Duobaoshan area, Heilongjiang Province[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(3): 601-614.
- [2]杜琦,赵玉明,卢秉刚,等.多宝山斑岩铜矿床[M].北京:地质出版社,1988:62-74.
Du Q, Zhao Y M, Lu B G, et al. Porphyry copper deposit in Duobaoshan [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 62-74. (in Chinese)
- [3]赵一鸣,毕承思,邹晓秋,等.黑龙江多宝山、铜山大型斑岩铜(钼)矿床中辉钼矿的铼-钨同位素年龄[J].地球学报——中国地质科学院院报,1997,18(1):61-67.
Zhao Y M, Bi C S, Zou X Q, et al. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Duobaoshan and Tongshan porphyry copper (molybdenum) deposits[J]. Acta Geoscientia Sinica — Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1997, 18(1): 61-67.
- [4]尹冰川,冉清昌.多宝山超大型铜矿床的成矿构造环境[J].矿物学报,1997,17(2):220-224.
Yin B C, Ran Q C. The tectonic environments of metallogenesis of Duobaoshan superlarge copper deposit[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1997, 17(2): 220-224.
- [5]韩振新,徐衍强,郑庆道.黑龙江省重要金属和非金属矿产的成矿系列及其演化[M].哈尔滨:黑龙江人民出版社,2004:69-76.
Han Z X, Xu Y Q, Zheng Q D. Metallogenic series and evolution of significant metallic and non-metallic minerals in Heilongjiang Province [M]. Harbin: Heilongjiang People's Publishing House, 2004: 69-76. (in Chinese)
- [6]杜琦,马晓阳,韩成满,等.斑岩铜矿成因探讨[M].北京:地质出版社,2008:15-22.
Du Q, Ma X Y, Han C M, et al. Discussion on the genesis of porphyry copper deposit[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008: 15-22. (in Chinese)
- [7]王宝权.黑龙江省争光岩金矿床地质特征及找矿标志[J].地质与资源,2016,25(3):244-249,253.
Wang B Q. Geological characteristics and prospecting indicators of the Zhengguang gold deposit in Heilongjiang Province [J]. Geology and Resources, 2016, 25(3): 244-249, 253.
- [8]李成禄,曲晖,赵忠海,等.黑龙江省霍龙门地区成矿地质特征及潜力分析[J].地质与资源,2013,22(4):273-278,329.
Li C L, Qu H, Zhao Z H, et al. Metallogenic characteristics and potential of Huolongmen area in Heilongjiang Province[J]. Geology and Resources, 2013, 22(4): 273-278, 329.
- [9]杨福深,李成禄,石国明,等.试论黑龙江省多宝山-霍龙门地区早古生代NW向造山带的存在及其控岩控矿意义[J].矿产与地质,2019,33(2):191-202.
Yang F S, Li C L, Shi G M, et al. Existence of early Paleozoic NW-trending orogenic belt and its geo-significance in Duobaoshan-Huolongmen area, Heilongjiang [J]. Mineral Resources and Geology, 2019, 33(2): 191-202.
- [10]崔根,王金益,张景仙,等.黑龙江多宝山花岗闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J].世界地质,2008,27(4):387-394.
Cui G, Wang J Y, Zhang J X, et al. U-Pb SHRIMP dating of zircons from Duobaoshan granodiorite in Heilongjiang and its geological significance[J]. Global Geology, 2008, 27(4): 387-394.
- [11]曲晖,赵忠海,李成禄,等.黑龙江永新金矿地质特征及成因[J].地质与资源,2014,23(6):520-524.
Qu H, Zhao Z H, Li C L, et al. Geology and genesis of the Yongxin gold deposit in Heilongjiang Province [J]. Geology and Resources, 2014, 23(6): 520-524.
- [12]向安平,杨郅城,李贵涛,等.黑龙江多宝山斑岩 Cu-Mo 矿床成矿时代研究[J].矿床地质,2012,31(6):1237-1248.
Xiang A P, Yang Y C, Li G T, et al. Diagenetic and metallogenic ages of Duobaoshan porphyry Cu-Mo deposit in Heilongjiang Province [J]. Mineral Deposits, 2012, 31(6): 1237-1248.
- [13]赵焕利,朱春艳,刘海洋,等.黑龙江多宝山铜矿床中花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其构造意义[J].地质与资源,2012,21(5):421-424.
Zhao H L, Zhu C Y, Liu H Y, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its tectonic implications of the granodiorite in Duobaoshan copper deposit, Heilongjiang Province [J]. Geology and Resources, 2012, 21(5): 421-424.
- [14]刘军,周振华,何哲峰,等.黑龙江省铜山铜矿床英云闪长岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J].矿床地质,2015,34(2):289-308.
Liu J, Zhou Z H, He Z F, et al. Zircon U-Pb dating and geochemistry of ore-bearing tonalite in Tongshan copper deposit, Heilongjiang Province [J]. Mineral Deposits, 2015, 34(2): 289-308.
- [15]张璟,邵军,杨宏智,等.东北扎兰屯奥陶纪碱性辉长岩锆石 U-Pb 年代学证据[J].中国地质,2017,44(3):616-617.
Zhang J, Shao J, Yang H Z, et al. U-Pb chronological evidence from zircons of Ordovician essexite in Zhalantun area, Northeast China

- [J]. *Geology in China*, 2017, 44(3): 616–617.
- [16] 汪岩, 杨晓平, 那福超, 等. 嫩江-黑河构造带中花岗质糜棱岩的确定及地质意义[J]. *地质与资源*, 2013, 22(6): 452–459.
- Wang Y, Yang X P, Na F C, et al. Determination and geological implication of the granitic mylonite in Nenjiang-Heihe tectonic belt [J]. *Geology and Resources*, 2013, 22(6): 452–459.
- [17] 刘宝山, 杨晓平, 李成禄. 黑龙江省嫩江三合屯韧性剪切带与金矿化[J]. *矿产与地质*, 2017, 31(3): 503–506, 513.
- Liu B S, Yang X P, Li C L. Ductile shear zone and gold mineralization of Sanhetun gold deposit in Nenjiang, Heilongjiang Province [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2017, 31(3): 503–506, 513.
- [18] 郝士龙, 李成禄, 胡忠贤. 黑龙江省嫩江市播根里地区地球化学异常特征及找矿潜力[J]. *地质与资源*, 2020, 29(5): 419–428, 410.
- Hao S L, Li C L, Hu Z X. Geochemical anomaly characteristics and prospecting potential in Bogenli area of Nenjiang City, Heilongjiang Province [J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(5): 419–428, 410.
- [19] 宋国学, 秦克章, 王乐, 等. 黑龙江多宝山矿田争光金矿床类型、U-Pb年代学及古火山机构[J]. *岩石学报*, 2015, 31(8): 2402–2416.
- Song G X, Qin K Z, Wang L, et al. Type, zircon U-Pb age and paleovolcano edifice of Zhengguang gold deposit in Duobaoshan orefield in Heilongjiang Province, NE-China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(8): 2402–2416.
- [20] 杨晓平, 汪岩, 那福超, 等. 嫩江-黑河晚古生代碰撞过程的岩石构造建造学响应[J]. *世界地质*, 2017, 36(4): 1064–1071.
- Yang X P, Wang Y, Na F C, et al. Petrologic-tectonic formation response of Late Paleozoic collision process in Nenjiang-Heihe area [J]. *Global Geology*, 2017, 36(4): 1064–1071.
- [21] 杨泽黎, 王树庆, 胡晓佳. 1:2 500 000 华北侵入岩地质图空间数据库[J]. *中国地质*, 2020, 47(S1): 1–10.
- Yang Z L, Wang S Q, Hu X J. Spatial Database of 1:2 500 000 Geologic Map of the Intrusions in North China [J]. *Geology in China*, 2020, 47(S1): 1–10.
- [22] 张国宾, 韩超, 杨言辰, 等. 完达山地块跃进山矽卡岩型铜金矿区酸性侵入岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因[J]. *中国地质*, 2018, 45(5): 977–991.
- Zhang G B, Han C, Yang Y C, et al. Zircon U-Pb age, geochemistry and genesis of acid intrusive rocks in the Yuejinshan skarn type copper-gold deposit, Wandashan block [J]. *Geology in China*, 2018, 45(5): 977–991.
- [23] 于喜洹, 李新鹏, 陈旭峰, 等. 大兴安岭潮满林场地区新元古代花岗质片麻岩——锆石 U-Pb 测年、地球化学特征及构造环境探讨[J]. *地质与资源*, 2022, 31(2): 123–130.
- Yu X H, Li X P, Chen X F, et al. The Neoproterozoic granitic gneiss in Chaoman Forest Farm area of Daxinganling Mountains: Zircon U-Pb dating, geochemistry and tectonic environment [J]. *Geology and Resources*, 2022, 31(2): 123–130.
- [24] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1989, 101(5): 635–643.
- [25] Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements [J]. *Lithos*, 1989, 22(4): 247–263.
- [26] 韩振新, 郝正平, 侯敏, 等. 黑龙江省主要成矿带矿床成矿系列 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1996: 97–106, 151.
- Han Z X, Hao Z P, Hou M, et al. Metallogenic series of main metallogenic belts in Heilongjiang Province [M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 1996: 97–106, 151. (in Chinese)
- [27] 刘宝山, 程招勋, 张春鹏. 构造演化对嫩江多宝山矿集区的叠加与改造作用初探[J]. *矿产与地质*, 2019, 33(1): 54–62.
- Liu B S, Cheng Z X, Zhang C P. Preliminary discussion on the effect of tectonic evolution on the superposition and transformation of the ore concentration area in Duobaoshan, Nenjiang [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2019, 33(1): 54–62.
- [28] 刘永江, 冯志强, 蒋立伟, 等. 中国东北地区蛇绿岩[J]. *岩石学报*, 2019, 35(10): 3017–3047.
- Liu Y J, Feng Z Q, Jiang L W, et al. Ophiolite in the eastern Central Asian Orogenic Belt, NE China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2019, 35(10): 3017–3047.
- [29] Pearce J A, Harris N B W, Andrew G T. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25(4): 959–983.