



大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩的成因

——锆石 U-Pb 年龄、地球化学和 Sr-Nd 同位素特征

贺晓天^{1,2)}, 黄海涛^{1,2)}, 俎新许^{1,2)}, 张焕^{1,2)}, 何鹏^{1,2)},
刘朝阳^{1,2)}, 赵亚南^{1,2)}, 李福斌^{1,2)}

1) 河南省自然资源科技创新中心(深部调查与评价技术方法研究), 郑州, 450000;

2) 河南省地质矿产勘查开发局第二地质勘查院, 郑州, 450000

内容提要:笔者等通过岩石学、锆石 U-Pb 年代学和地球化学等研究,对大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩的成因、物质来源和构造背景进行了探讨。通过锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年法,得到天险沟石英二长斑岩的年龄为 124.4 ± 1.0 Ma,时代为早白垩世早期。天险沟石英二长斑岩属碱性、准铝质岩,里特曼指数 σ 为 $3.86 \sim 5.10$, $K_2O + Na_2O = 9.14\% \sim 10.35\%$, 钾钠比为 $0.93 \sim 1.0$, $A/CNK = 0.76 \sim 0.93$,成因类型为 I 型花岗岩。岩石富集 La、Ba、Ce、U 等大离子亲石元素,相对亏损 Hf、Zr 等高场强元素; $(La/Yb)_N = 11.72 \sim 13.90$, 分馏明显,轻稀土富集,而重稀土亏损, Nb、Ta 负异常,具岛弧花岗岩的地球化学特征。 $\delta Eu = 1.00 \sim 1.59$ 。 $[n(^{87}Sr)/n(^{86}Sr)]_i = 0.705065$, $\epsilon_{Nd}(t) = 1.93$, 源区可能为上地幔。结合大兴安岭地区中生代地壳演化背景,认为天险沟石英二长斑岩形成于与洋壳俯冲有关的火山弧环境,区域应力场由挤压向伸展转换,岩浆源区为上地幔。

关键词: 锆石 U-Pb 年龄; Sr-Nd 同位素; I 型花岗岩; 天险沟石英二长斑岩; 大兴安岭中段

研究区地处兴蒙造山带东段,大兴安岭弧盆系,东临松辽断陷盆地,南接锡林浩特岩浆弧(图 1a)。区内经过多层次、多阶段的地质演化,形成了复杂的构造体系,在古生代隶属于扎兰屯—多宝山岛弧构造带,中生代则位于大兴安岭火山岩带(李林川, 2017; 梁琛岳等, 2018)。区内形成的一系列内生多金属矿产均与早白垩世剧烈的岩浆侵位活动密切相关。为此,一些学者近年来围绕大兴安岭地区岩浆活动,特别是早白垩世岩浆侵位活动开展了大量的研究工作(吴新伟等, 2017),为前期开展的区域矿产调查工作及本次研究工作提供了丰富的理论支撑,同时又具有重要的指导意义。然而,对于其形成的动力学背景到底是受控于蒙古—鄂霍茨克洋的闭合作用,还是受古太平洋板块斜向俯冲作用的影响,仍存在较多争议。以往在区内相继开展过区域地质调查、矿产地质调查等工作,但是对早白垩世花岗岩缺乏系统的研究。针对以上问题,笔者等着重对区内出露的早白垩世石英二长斑岩进行系统的岩石地球化学分析、U-Pb 同位素测年,并探讨岩石成因、物

质来源及其构造背景等。

1 地质背景及岩石学特征

研究区古生代地处西伯利亚板块东南缘,受控于古亚洲洋板块的构造演化,中生代则受滨太平洋构造域作用(刘金龙等, 2019)。早白垩世,东北亚大陆受古太平洋板块斜向俯冲作用的影响,活动大陆边缘应力场方向发生改变,进而导致 NE—SW 向和 NW—SE 向深大断裂发生张扭性拉张,诱发深源玄武质岩浆上侵,重熔地壳物质后产生了研究区内的石英二长质—花岗质岩浆,其沿 NW 和 NE 向断裂带呈岩株状被动侵位于中侏罗世花岗岩及晚侏罗统火山岩地层中,出露岩石以大面积分布的石英二长斑岩为主(图 1b)。

石英二长斑岩,整体呈北东向展布,风化面呈灰白色,新鲜面多呈浅灰黄色,斑状结构,块状构造。岩石由斑晶和基质组成,斑晶约占 50%,成分以斜长石(20%~25%)、钾长石(15%~20%)和石英(5%~8%)为主。斜长石,0.8~3.0 mm,多呈半自形板

注:本文为内蒙古自治区地质勘查基金项目“呼伦贝尔市沃力嘎沟等四幅 1:5 万区域矿产地质调查”(编号:NMKD2014-22)的成果。

收稿日期:2021-12-21;改回日期:2022-05-30;网络首发:2022-06-20;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.06.045

作者简介:贺晓天,男,1990 年生,工程师,资源勘查工程专业,主要从事区域地质、地质矿产工作;Email: xiaotianh1990@163.com。

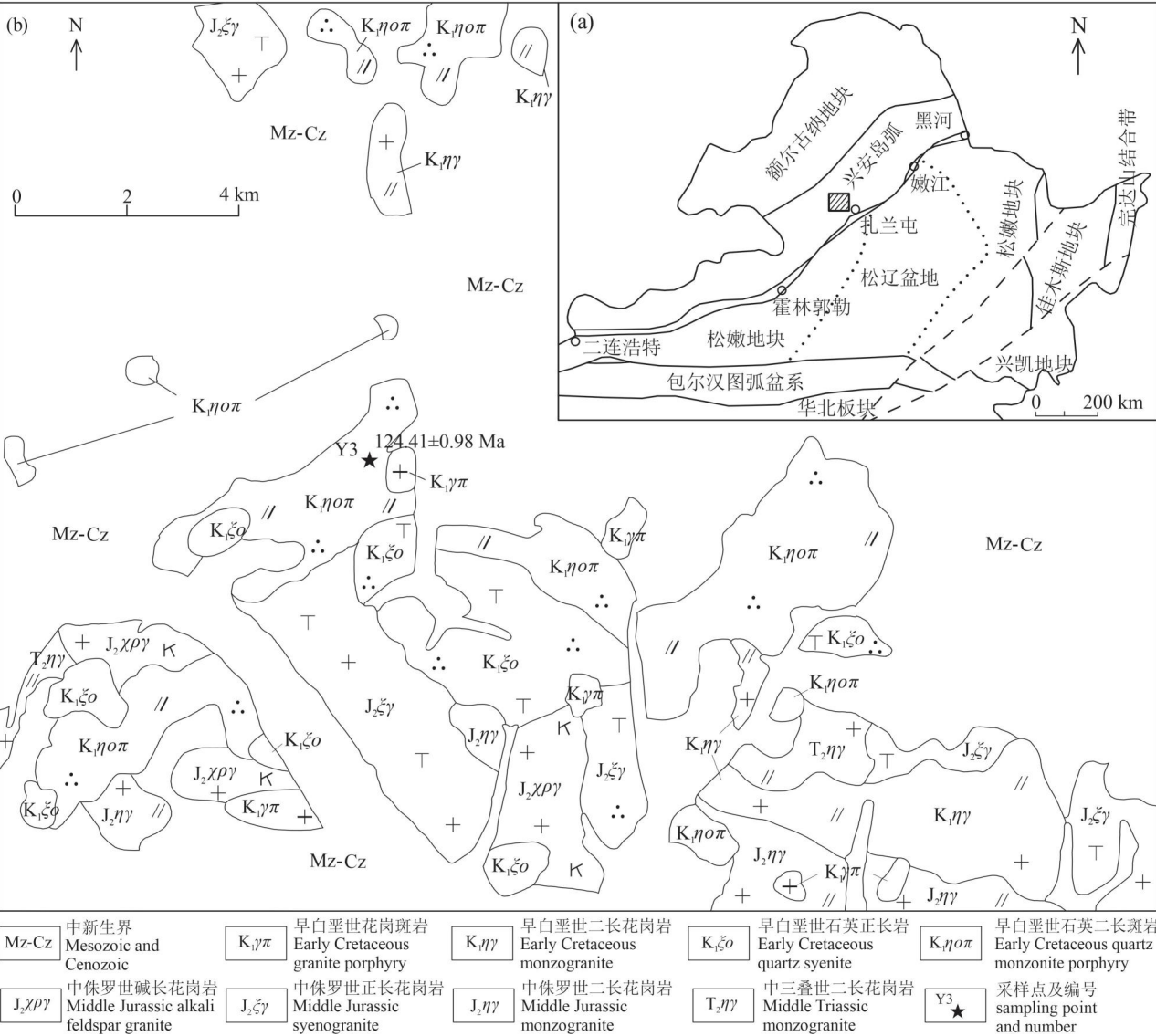


图 1 大兴安岭中段天险沟地区大地构造位置图(a,据钱程等,2017)和地质简图(b)

Fig. 1 Geotectonic location map (a,after Qian cheng et al. , 2017&) and geological sketch map of Tianxiangou area in central section of Great Hinggan Mountains

状、他形粒状,可见发育有环带和聚片双晶;钾长石,大小 0.8~3.2 mm,他形板状、粒状;石英,0.5~0.25 mm,他形粒状(图 2)。

2 测试分析方法

区域矿产地质调查工作选取天险沟石英二长斑岩新鲜样品 1 件进行 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素测年,编号 Y3,采样位置 48°04'28"N, 121°50'24"E。锆石挑选在河北省区域矿产地质调查研究所实验室进行,样品制作、照相和定年在中国地质调查局天津地质调查中心实验测试室完成。首先通过磁选和重液分离对样品进行分选,然后在双目镜下挑选锆石

单矿物颗粒,所选锆石晶体大小较均匀、透明,且纯净。U-Pb 同位素年龄测定采用激光剥蚀等离子体质谱仪(LA-ICPMS),测试中采用直径 32 μm 的激光束斑。同位素比值选用国际标准锆石 91500 进行外部标准校正(范晨子等,2012),谐和图绘制采用 Isoplot 完成。测试结果见表 1。

主量和微量元素分别使用 X 射线荧光光谱仪(Axios^{max}型)、X Serise 2 电感耦合等离子体质谱仪进行测试,测试分析工作均在河北省区域矿产地质调查研究所实验室进行,大多数元素分析数据相对误差在 5%以内。元素分析结果见表 2。

锶、钕同位素测试先采用离子交换法进行同位

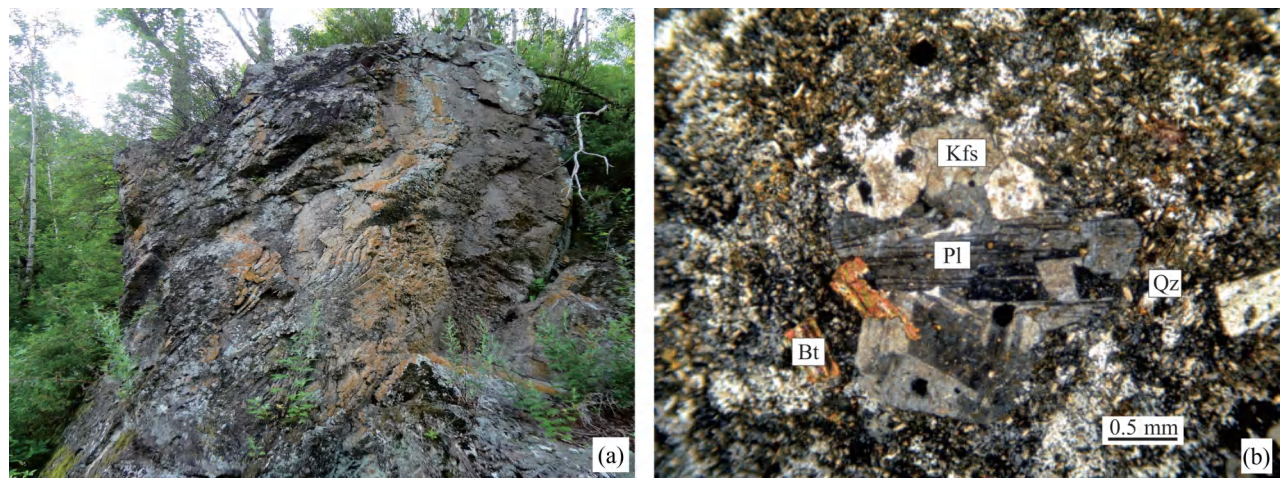


图 2 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩野外露头照片和显微照片

Fig. 2 The outcrop photo and micrograph of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains

Bt—黑云母;Pl—斜长石;Kfs—钾长石;Qz—石英

Bt—biotite; Pl—plagioclase; Kfs—potassium feldspar; Q—quartz

表 1 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩锆石 U-Pb 同位素测定结果

Table 1 Results of zircon U-Pb dating of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains

测点号	元素含量 ($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄 (Ma)							
	Pb	Th	U		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		谐和度 (%)	
					测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ		
1	7	227	284	0.80	0.0494	1.60	0.1336	1.45	0.0196	0.62	177	3	120	2	125	1	98	
2	3	146	95	1.54	0.0540	2.14	0.1424	3.14	0.0191	0.67	361	8	128	4	122	1	103	
3	4	154	190	0.81	0.0545	4.69	0.1459	3.52	0.0194	0.70	396	19	130	5	124	1	103	
4	2	55	67	0.82	0.0509	5.58	0.1358	4.39	0.0194	0.72	227	13	122	5	124	1	99	
5	2	102	107	0.95	0.0554	6.07	0.1453	3.08	0.0190	0.68	419	25	130	4	122	1	103	
6	3	73	126	0.58	0.0542	3.08	0.1422	3.07	0.0190	0.64	374	12	126	4	122	1	102	
7	2	94	89	1.06	0.0491	7.57	0.1294	5.57	0.0191	0.73	156	12	115	6	122	1	97	
8	2	63	96	0.66	0.0508	6.56	0.1365	4.52	0.0195	0.64	230	15	122	6	124	1	99	
9	2	112	101	1.11	0.0516	4.20	0.1396	4.21	0.0196	0.65	266	11	125	5	125	1	100	
10	2	80	69	1.16	0.0477	5.58	0.1295	5.57	0.0197	0.72	165	9	116	6	126	1	96	
11	2	87	91	0.96	0.0582	6.92	0.1537	6.92	0.0191	0.71	461	32	137	9	122	1	106	
12	3	164	110	1.49	0.0585	3.18	0.1537	3.17	0.0190	0.62	466	15	139	4	122	1	107	
13	2	53	65	0.82	0.0492	4.83	0.1310	4.79	0.0193	0.70	156	8	117	6	123	1	98	
14	6	151	129	1.17	0.0492	2.77	0.1336	2.78	0.0197	0.76	157	4	119	3	126	1	97	
15	1	30	39	0.77	0.0556	8.38	0.1499	5.01	0.0196	0.89	421	35	133	7	125	1	103	
16	3	157	94	1.67	0.0538	4.08	0.1465	4.14	0.0197	0.67	354	14	131	5	126	1	102	
17	1	22	28	0.79	0.0510	8.41	0.1391	5.84	0.0198	1.17	228	19	125	7	126	2	100	
18	5	251	201	1.25	0.0489	2.31	0.1357	2.27	0.0201	0.63	154	4	121	3	129	1	97	
19	1	39	42	0.93	0.0521	8.62	0.1372	4.21	0.0191	0.80	277	24	123	5	122	1	100	
20	2	81	97	0.84	0.0502	3.80	0.1367	3.79	0.0197	0.67	222	8	122	5	126	1	98	
21	1	58	62	0.94	0.0511	4.85	0.1385	4.78	0.0197	0.70	229	11	123	6	125	1	99	
22	1	19	32	0.59	0.0486	9.23	0.1368	2.55	0.0204	1.05	171	16	122	3	130	1	97	
23	2	88	95	0.93	0.0503	4.04	0.1393	4.23	0.0201	0.68	222	9	124	5	128	1	98	
24	1	28	38	0.74	0.0510	10.23	0.1355	4.05	0.0193	0.94	229	23	120	5	123	1	99	

注:中国地质调查局天津地质调查中心实验测试室,2017。

表 2 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩主量元素(%)、微量和稀土元素($\times 10^{-6}$)分析结果
Table 2 Major elements(%), trace elements($\times 10^{-6}$) and rare earth elements($\times 10^{-6}$) results date
of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains

	Y1	Y2	Y3	Y4		Y1	Y2	Y3	Y4		Y1	Y2	Y3	Y4
SiO ₂	64.62	63.90	63.84	64.00	A/NK	1.24	1.21	1.18	1.12	Sm	6.78	7.88	8.48	8.38
TiO ₂	1.08	0.82	0.84	0.79	A/CNK	0.93	0.83	0.81	0.76	Eu	1.97	3.75	3.89	3.34
Al ₂ O ₃	15.54	16.46	16.26	15.85	A/MF	1.55	2.41	2.29	2.18	Gd	5.00	6.24	6.96	6.75
Fe ₂ O ₃	3.07	2.65	2.40	2.23	C/MF	0.43	0.89	0.90	0.90	Tb	1.38	0.87	0.97	0.95
FeO	1.94	1.12	1.50	1.58	Rb	112.2	62.10	85.70	83.70	Dy	6.93	4.56	5.18	5.02
MnO	0.12	0.07	0.07	0.11	Ba	1020	4880	4130	3460	Ho	1.53	0.85	0.98	0.94
MgO	1.31	0.73	0.75	0.86	Th	12.60	8.13	9.83	10.60	Er	3.63	2.28	2.63	2.52
CaO	2.29	3.34	3.51	3.61	U	3.09	2.30	2.47	2.28	Tm	0.78	0.38	0.44	0.42
Na ₂ O	4.74	5.14	5.03	5.23	Ta	1.54	1.03	1.11	1.18	Y	30.40	22.90	25.70	24.90
K ₂ O	4.40	4.77	5.04	5.12	Sr	274.6	344.3	340.9	261.1	Yb	3.71	2.46	2.80	2.65
P ₂ O ₅	0.44	0.12	0.14	0.12	Nd	58.10	45.10	49.60	48.20	Lu	0.68	0.35	0.40	0.37
总和	99.55	99.12	99.38	99.50	Zr	367.4	217.0	288.3	265.4	δEu	0.81	1.59	1.52	1.33
σ	3.86	4.70	4.87	5.10	Hf	8.95	5.51	6.89	6.66	ΣREE	334.9	236.0	265.4	257.1
AR	6.56	9.26	11.13	15.77	La	71.90	40.20	48.00	45.20	LREE	10.30	10.85	10.77	10.84
SI	8.46	5.07	5.10	5.73	Ce	119.0	86.50	96.40	94.80	HREE				
R1	1596	1320	1291	1212	Pr	15.30	11.70	13.00	12.70	(La/Yb) _N	13.90	11.72	12.30	12.23
R2	615.6	717.1	732.4	740.6	Nd	19.00	10.60	11.90	11.90					

注:河北省区域矿产地质调查研究所实验室,2016。表中各参数的计算公式同邓晋福等(2015b): $\sigma = \frac{[100\omega(\text{K}_2\text{O}) + 100\omega(\text{Na}_2\text{O})]^2}{[100\omega(\text{SiO}_2)] - 43}$;
 $AR = \frac{\omega(\text{Al}_2\text{O}_3) + \omega(\text{CaO}) + \omega(\text{Na}_2\text{O}) + \omega(\text{K}_2\text{O})}{\omega(\text{Al}_2\text{O}_3) - \omega(\text{CaO}) - \omega(\text{Na}_2\text{O}) - \omega(\text{K}_2\text{O})}$; $SI = \frac{100\omega(\text{MgO})}{\omega(\text{MgO}) + \omega(\text{FeO}) + \omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) + \omega(\text{Na}_2\text{O}) + \omega(\text{K}_2\text{O})}$; $R1 = 4n(\text{Si}) - 11[n(\text{Na}) + n(\text{K})] - 2[n(\text{Fe}) + n(\text{Ti})]$; $R2 = 6n(\text{Ca}) + 2n(\text{Mg}) + n(\text{Al})$; $A/NK = \frac{n(\text{Al}_2\text{O}_3)}{n(\text{Na}_2\text{O}) + n(\text{K}_2\text{O})}$; $A/CNK = \frac{n(\text{Al}_2\text{O}_3)}{n(\text{CaO}) + n(\text{Na}_2\text{O}) + n(\text{K}_2\text{O})}$;
 $A/MF = \frac{n(\text{Al}_2\text{O}_3)}{n(\text{MgO}) + n(\text{TFeO})}$; $C/MF = \frac{n(\text{Al}_2\text{O}_3)}{n(\text{MgO}) + n(\text{TFeO})}$ 。

素分离、纯化,再利用 MAT-262 型热电离质谱仪进行含量测试,具体测试工作在国土资源部中南矿产资源监督检测中心完成,详细分析流程见文献(Chen Funkun et al., 2000)。Sr—Nd 同位素分析结果见表 3。

3 分析结果

3.1 年代学

天险沟石英二长斑岩样品的锆石颗粒粒度多在 100~300 μm 之间,长宽比 1:1~3:1,锆石颗粒大多呈现无色、透明,晶形多为长柱状、双锥状。从阴极发光图像可以看出(图 3),大部分锆石具有较为

清晰的振荡结晶环带,呈现出典型岩浆锆石的特征。本次挑选 24 颗锆石共 24 个测点进行分析、定年,样品的 Th/U 值为 0.58~1.67,平均 0.97,为岩浆锆石特征。样品各测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 值较为接近,在谐和图中可见明显的集中分布,表面年龄值在 122~130 Ma 之间,加权平均值 124.41±0.98 Ma (MSWD = 3.3)(图 3)。

3.2 地球化学

3.2.1 主量元素

天险沟石英二长斑岩 SiO₂ 含量为 63.84%~64.62%,平均 64.09%,属中性岩类;K₂O+Na₂O = 9.14%~10.35%,平均 9.87%,富碱;K₂O/Na₂O 值

表 3 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩 Sr—Nd 同位素分析结果
Table 3 Sr—Nd isotopic analysis results of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section
of Great Hinggan Mountains

样品编号	<i>t</i> (Ma)	$\frac{n(^{87}\text{Rb})}{n(^{86}\text{Sr})}$	$\frac{n(^{87}\text{Sr})}{n(^{86}\text{Sr})}$	$\left[\frac{n(^{87}\text{Sr})}{n(^{86}\text{Sr})}\right]_i$	$\frac{n(^{147}\text{Sm})}{n(^{144}\text{Nd})}$	$\frac{n(^{143}\text{Nd})}{n(^{144}\text{Nd})}$	$\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$	<i>T</i> _{DM} (Ma)	<i>f</i> _{Sm/Nd}
Y3	124	0.9786	0.70679	0.705065	0.1018	0.512660	1.93	669	-0.48

注:国土资源部中南矿产资源监督检测中心,2017。

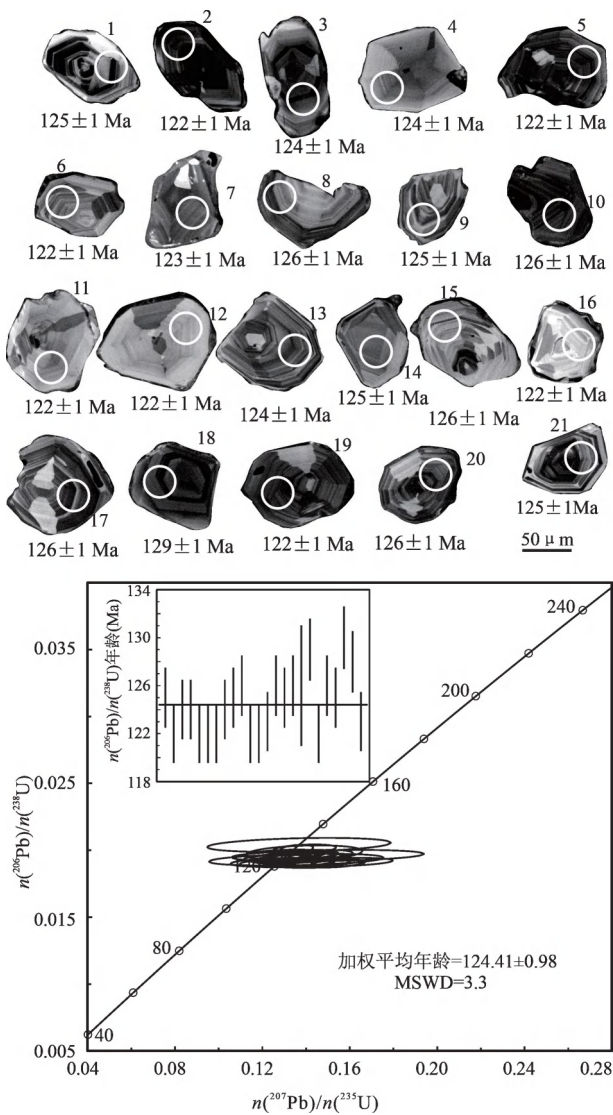


图 3 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩样品典型锆石 CL 图像(圆圈及数字分别代表分析点和点号)和 U-Pb 年龄谱和图

Fig. 3 Typical CL images of zircons and U-Pb ages concordant diagrams of zircons for quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains

小于 1.0,在 0.93~1.0 之间;里特曼指数 σ 在 3.86~5.1 之间,在 TAS 图解中(图 4),样品点落入石英二长岩和正长岩边界附近,碱性岩区。从 SiO_2 — K_2O 岩石系列判别图解中可以看出,天险沟石英二长斑岩属钾玄岩系列(图 5a)。 Al_2O_3 含量为 15.54%~16.46%,平均 16.03%,富铝; $\text{A}/\text{NK}=1.12\sim1.24$, $\text{A}/\text{CNK}=0.76\sim0.93$,在 A/CNK — A/NK 铝饱和程度判别图解中,样品点全部位于准铝质区(图 5b)。 MgO 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ 含量分别为 0.73%~

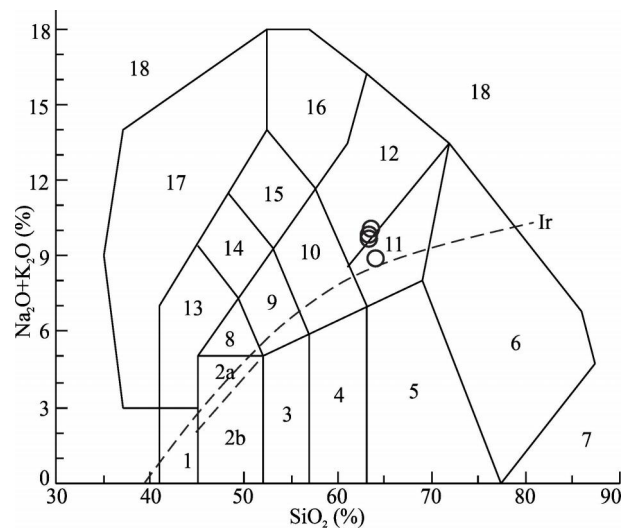


图 4 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩 TAS 分类图解(底图据 Middlemost, 1994 修改)

Fig. 4 TAS classification diagram of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains(after Middlemost, 1994)

11—石英二长岩;12—正长岩;Ir—分界线,上方为碱性,下方为亚碱性

11—quartz monzonite;12—syenite;Ir—boundary of alkali series (above) and sub-alkali series(below)

1.31%、3.50%~4.70%。岩石固结指数 SI 、分异指数 DI 分别为 5.07~8.46、74.06~92.05,表明天险沟石英二长斑岩分异演化程度较高,酸性程度也较高。

3.2.2 稀土和微量元素

天险沟石英二长斑岩稀土元素总量 $\Sigma\text{REE}=236.02\sim334.91\times10^{-6}$,平均 273.38×10^{-6} ;相对富集轻稀土,轻重稀土含量比 LREE/HREE 在 10.30~10.85 之间; $\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}=11.72\sim13.9$,说明天险沟石英二长斑岩中 LREE 和 HREE 分异程度较高。 δEu 值为 1.0~1.59,除 1 件样品无明显 δEu 异常,其余 3 件均为正 δEu 异常,指示岩石源区具有一定深度,且该区内斜长石不稳定;稀土元素配分图呈典型的轻稀土富集型模式,为向右陡倾型(图 6a)。微量元素蛛网图中各曲线变化特征近乎一致,且表现为多峰、多谷模式(图 6b); La 、 Ba 、 Ce 、 U 这些大离子亲石元素明显富集,而高场强元素 Hf 、 Zr 等则表现为相对亏损; Rb 、 Sr 、 Nb 、 Ta 负异常明显, Zr 弱负异常与 Th 、 La 、 Nd 正异常。

3.2.3 全岩 Sr—Nd 同位素

天险沟石英二长斑岩样品中 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 值为 0.705065, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 1.93,具有低

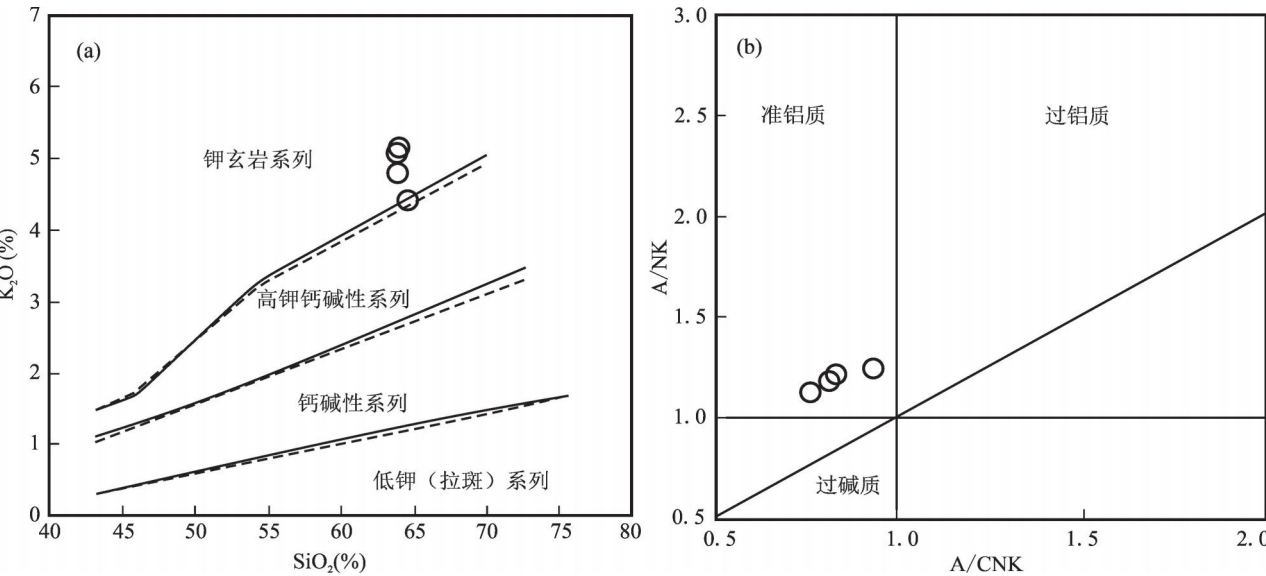


图 5 (a) 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩 SiO₂—K₂O 图解(底图据 Peccerillo and Taylor, 1976) 及
(b) A/CNK—A/NK 图解(底图据 Maniar and Piccolli, 1989)

Fig. 5(a) SiO₂—K₂O (after Peccerillo and Taylor, 1976) and (b) A/CNK—A/NK diagrams (after Maniar and Piccolli, 1989) of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains

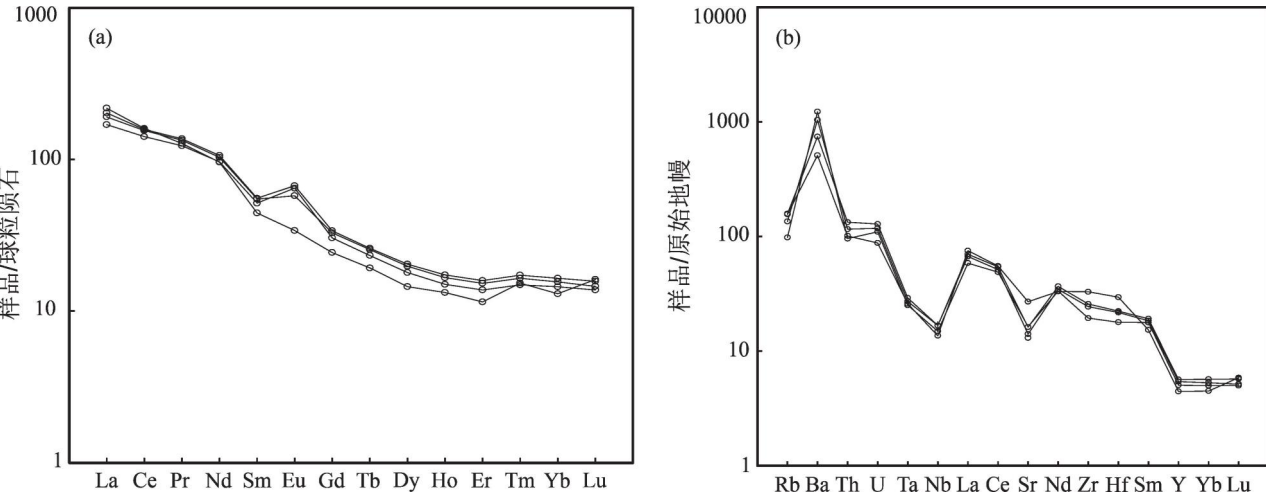


图 6 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩稀土元素配分图(a)和微量元素
蛛网图(b) (标准化数据自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 6 Rare earth element distribution patterns(a) and spidergrams(b) of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains (normalization values are from Sun and McDonough, 1989)

锶、 ϵ_{Nd} 弱亏损的特征。 $n(^{147}\text{Sm})/n(^{144}\text{Nd})$ 值为 0.1018, 分馏因子 $f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$ 为 -0.48, 表明可用单阶段模式年龄来计算岩体的模式年龄 T_{DM} , 计算所得 T_{DM} 为 669 Ma (表 3)。

4 讨论

4.1 时代和成因

通过对天险沟石英二长斑岩锆石矿物颗粒的研

究表明, 所测样品的 Th/U 值为 0.58~1.67, 均大于 0.5, 且具有较为清晰的振荡结晶环带, 显示为岩浆锆石特征, 所测结果可以作为天险沟石英二长斑岩的结晶年龄。本次挑选 24 颗锆石共 24 个测点进行测定, 所有测点定年结果集中、有序地散落在谐和线上, 加权平均值为 124.4 ± 1.0 Ma。因而, 笔者等认为研究区天险沟石英二长斑岩的岩浆侵位时代应在早白垩世早期。

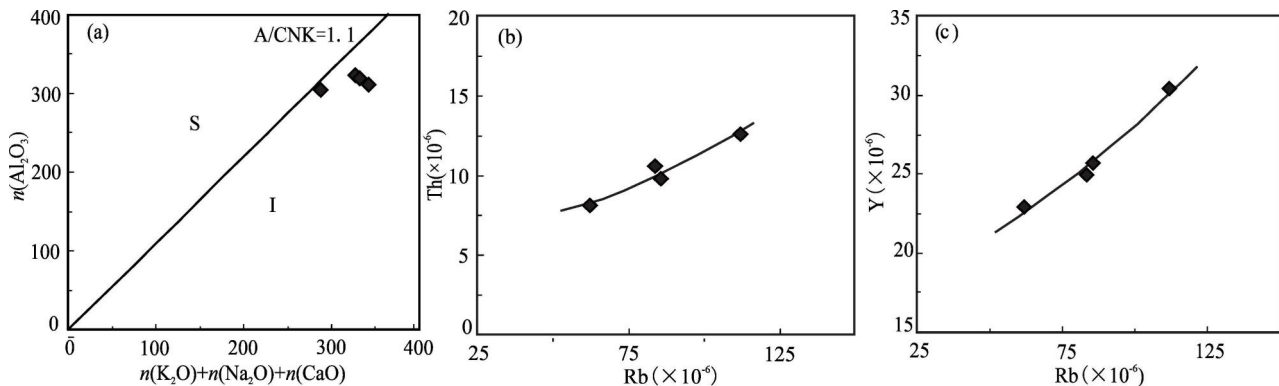


图 7 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩判别图解

Fig. 7 Discrimination diagram of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains

(a) 底图据王文俊,2009;(b)、(c) 据底图李献华等,2007

(a) after Wang Wenjun,2009&;(b)、(c) after Li Xianhua et al,2007&)

天险沟石英二长斑岩富硅、铝,全碱($K_2O + Na_2O$)值偏高;铝饱和指数(A/CNK)为 0.76~0.93,小于 1.1; K_2O/Na_2O 值在 0.93~1.0 之间,小于 1.0,符合 I 型花岗岩的地球化学特征。在 $K+Na+Ca/2-Al$ 图解中,样品落入 I 型花岗岩区内(图 7a)。微量元素方面,稀土元素分异程度较高,重稀土亏损而轻稀土相对富集;大离子亲石元素富集,同时高场强元素相对亏损,Nb、Ta 具负异常,指示天险沟石英二长斑岩具有与岛弧花岗岩相似的特征(何鹏等,2021)。有研究表明,S 型花岗岩中 Y 和 Th 的含量偏低,与 Rb 呈负相关;而在 I 型花岗岩中正好相反,二者的含量不仅较高,且与 Rb 呈正相关

(Chappell,1999)。天险沟石英二长斑岩中 Rb 与 Th、Y 正相关的特征十分明显(图 7b、7c)。以上特征表明,天险沟石英二长斑岩的成因类型应为 I 型。

4.2 物质来源

天险沟石英二长斑岩的 δEu 值在 1.0~1.59 之间,富集轻稀土却亏损重稀土,且 Nb、Ta、Zr、Sr 等呈现负异常,这些元素的异常特征暗示天险沟石英二长斑岩可能来源于下地壳,并伴有少量幔源物质参与其中。在 $A/MF-C/MF$ 图解中,样品落入变质砂岩和基性岩部分熔融的重叠区域(图 8)。在花岗岩 $(La/Yb)_N-\delta Eu$ 图解(图 9)中,样品落入壳幔混源型花岗岩区域内。另外,相关研究表明,由于铈、钕同位素的可继承性,在一定程度上能够反映其源区

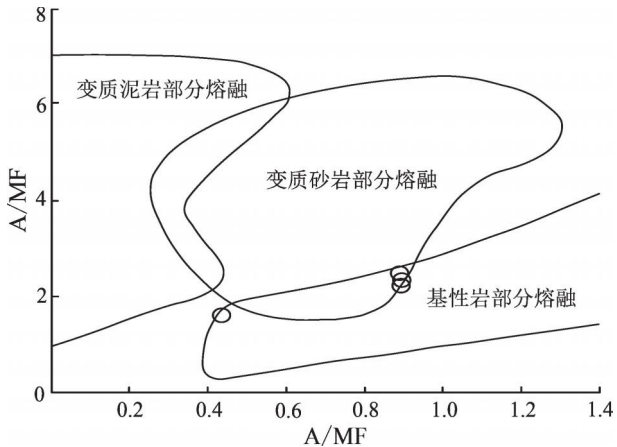


图 8 大兴安岭中段石英二长斑岩 $A/MF-C/MF$ 图解

(底图据 Altherr et al.,2000 修改)

Fig. 8 $A/MF-C/MF$ diagram of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains (after Altherr et al.,2000)

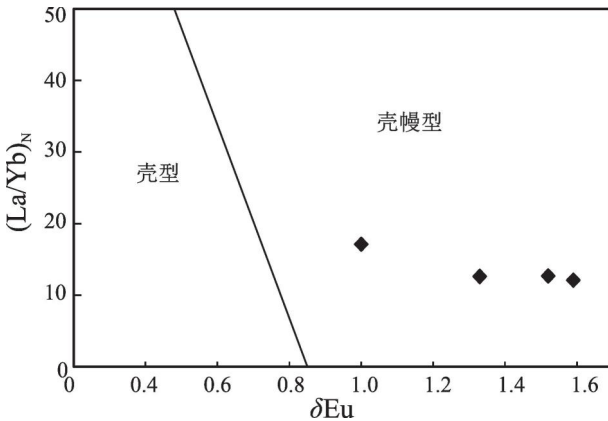


图 9 大兴安岭中段石英二长斑岩 $(La/Yb)_N-\delta Eu$

分类图解(底图据王振强等,2011)

Fig. 9 $(La/Yb)_N-\delta Eu$ diagram of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains(after Wang Zhenqiang et al,2011&)

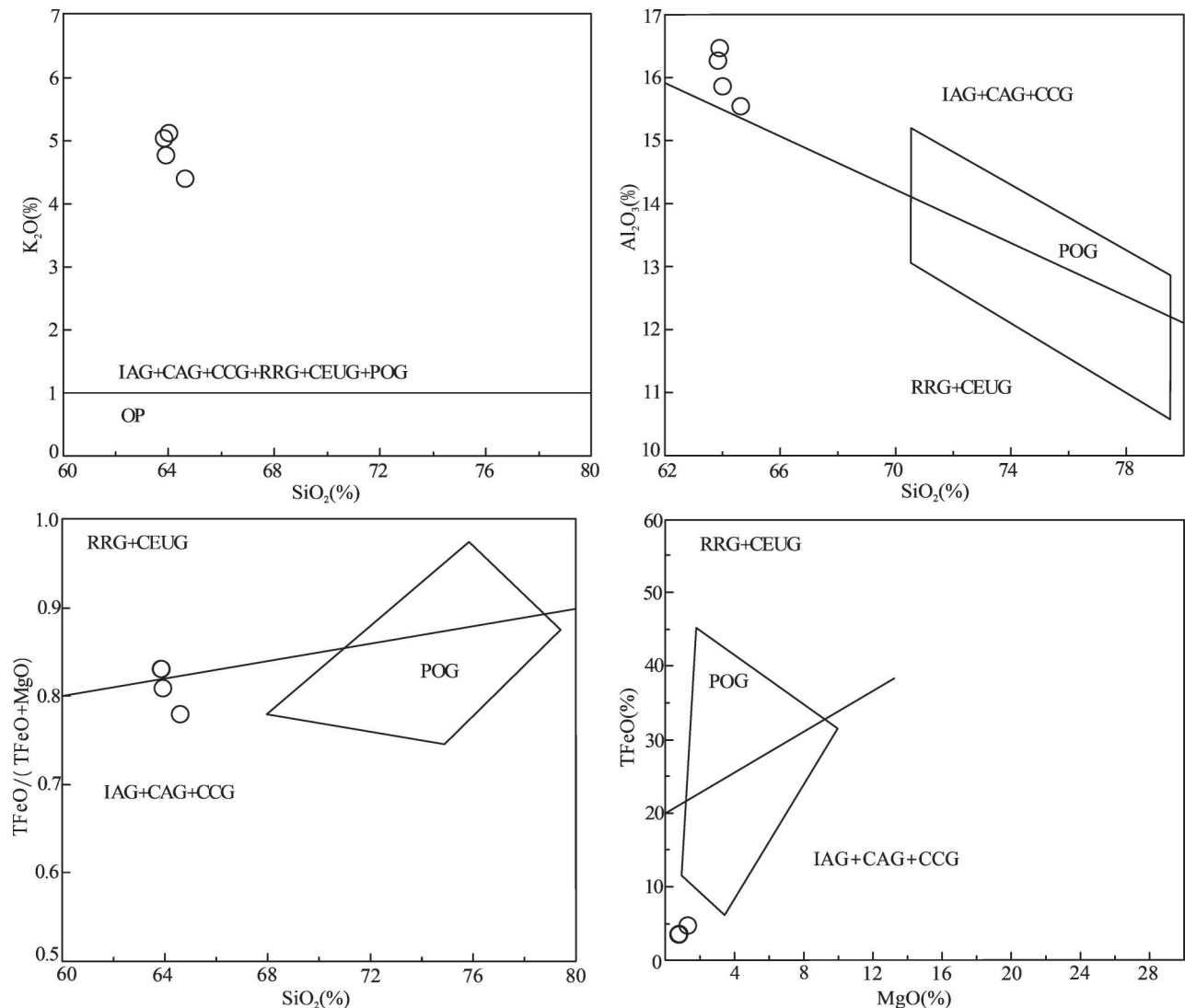


图 10 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩构造环境判别图解(底图据肖庆辉等,2002)

Fig. 10 Discrimination diagrams of tectonic environment of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains(after Xiao Qinghui et al. , 2002)

IAG—岛弧花岗岩;CAG—陆弧花岗岩;CCG—大陆碰撞花岗岩;POG—造山后花岗岩;RRG—裂谷花岗岩;CEUG—大陆造陆隆起花岗岩
IAG— island arc granite; CAG—continental arc granite; CCG—continental collision granite; POG—post orogenic granite;
RRG—rift granite; CEUG—continental uplift granite

的同位素特征(蔡剑辉等,2005),因而常被用来探讨岩石物质来源(杨祝良等,2002)。而天险沟石英二长斑岩的 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 值为 0.705065,接近上地幔的比值, $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值为 1.93,具有低铽、 ε_{Nd} 弱亏损的特征, T_{DM} 模式年龄为 669 Ma,远大于岩石的形成年龄。因而,笔者等认为天险沟早白垩世花岗岩的源区可能为上地幔。

4.3 构造环境

天险沟石英二长斑岩总体富钠,属碱性、准铝质花岗岩,稀土元素分异明显,富集轻稀土元素和大离

子亲石元素,重稀土和高场强元素相对亏损,具明显 Nb、Ta 负异常特征,显示出岛弧花岗岩的特征。在构造环境判别图解中(图 10),投影点落入 IAG+CAG+CCG 花岗岩区(邓晋福等,2015a),而其铝饱和指数 A/CNK 又小于 1.05,结合研究区所处大地构造环境及其空间位置,笔者等认为天险沟石英二长斑岩应属岛弧花岗岩(IAG)。同样,从 (Yb+Nb)—Rb 和 Rb—Hf—Ta 图解可以看出(赵克强等,2020),样品投影点均位于火山弧花岗岩区域内,且靠近板内花岗岩(图 11),预示着板内构造演化即将

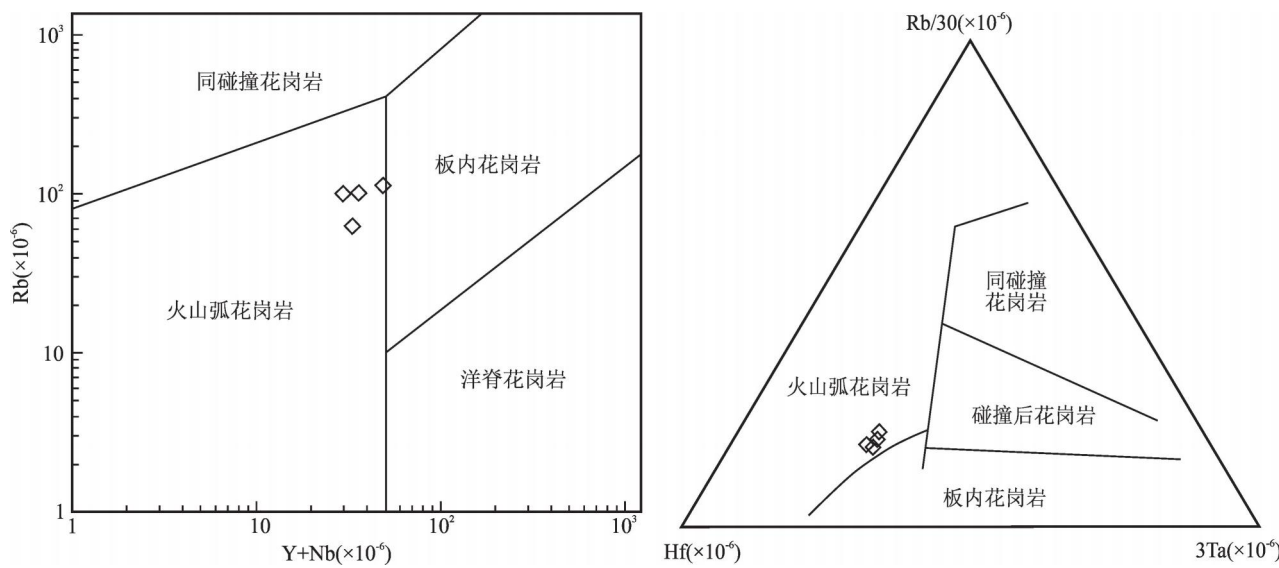


图 11 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩 (Y+Nb)—Rb 图解 (底图据 Pearce, 1996) 和 Rb—Hf—Ta 图解 (底图据 Harris 等, 1986)

Fig. 11 (Y+Nb)—Rb (after Pearce, 1996) and Rb—Hf—Ta (after Harris et al, 1986) diagrams of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains

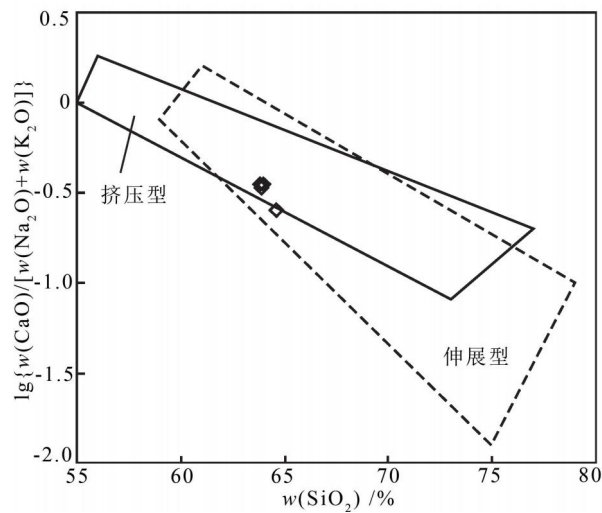


图 12 大兴安岭中段天险沟石英二长斑岩 $\lg \frac{w(\text{CaO})}{w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})}$ — SiO_2 图解 (底图据 Brown, 1982)

Fig. 12 $\frac{w(\text{CaO})}{w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})}$ — SiO_2 diagram of quartz monzonite porphyry in Tianxiangou, central section of Great Hinggan Mountains (after Brown, 1982)

开始。在 SiO_2 — $\lg \frac{\omega(\text{CaO})}{\omega(\text{K}_2\text{O}) + \omega(\text{Na}_2\text{O})}$ 构造应力判别图解中,样品点位于伸展型与挤压型构造环境的边界附近(图 12),表明区域应力场正处于由挤压向

伸展转换的阶段。

一直以来,有关大兴安岭地区早白垩世构造岩浆的演化历史一直存在着一定的争议,刘勃然等(2014)认为大兴安岭地区由于受鄂霍茨克造山运动影响,区内地壳加厚并发生崩塌,进而导致区域性伸展作用,李锦轶等(2007)研究认为蒙古—鄂霍茨克洋盆关闭于二叠纪,其远程作用效应持续至晚侏罗世结束,而区内在早白垩世则已进入环太平洋动力演化阶段。周建波等(2016)针对东北地块群进行了细致的研究,重塑了东北地区的构造演化历史,提出那丹哈达迪体是受古太平洋板块的俯冲作用而成,形成时限在晚三叠世—早白垩世。同时,梁琛岳等(2018)在研究大兴安岭北段伸展隆升样式时认为,在早白垩世由于受太平洋板块斜向俯冲作用的影响,改变了东北亚活动大陆边缘的应力场方向,导致 NW—SE 向和 NE—SW 向深大断裂发生张扭性拉张。由于长距离俯冲作用,太平洋板块发生断离,造成部分地幔物质上涌。刘阁等(2014)对嫩江地区中生代双峰式火山岩进行了研究,显示该区双峰式火山形成于 127.5 Ma,属早白垩世晚期,其形成于与太平洋板块向亚欧大陆俯冲有关的陆内拉张环境。杨文采(2022)在对中—新生代东北和华北的洋陆转换作用开展研究时,指出东北地区侏罗纪受伊佐奈崎洋和蒙古—鄂霍茨克洋双重影响,而在白垩纪,蒙古—鄂霍茨克洋已闭合,太平洋板块发生顺

时针旋转,东北地区岩石圈处于拉张状态,导致大兴安岭地区发生更加强烈的岩浆火山活动。

综上所述,天险沟石英二长斑岩形成于太平洋板块向亚欧大陆俯冲后造山背景下火山弧环境,区域应力环境由挤压向伸展转变,之后岩石圈进入伸展环境,进而引发岩浆作用。

5 结 论

(1)通过 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素测年,天险沟石英二长斑岩结晶年龄为 124.4 ± 1.0 Ma,为早白垩世早期。

(2)天险沟石英二长斑岩表现为高硅、高铝和富钠,贫铁、镁,相对亏损高场强元素 Hf、Zr 和富集大离子亲石元素 La、Ba、Ce、U 等。岩石 $3.3 < \sigma < 9$, $A/CNK < 1.0$,为碱性准铝质花岗岩,具有岛弧花岗岩的地球化学特征,属 I 型花岗岩。 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 值为 0.705065, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 1.93,岩体模式年龄为 669 Ma。综合表明区内天险沟石英二长斑岩源区为上地幔。

(3)天险沟石英二长斑岩形成于与洋壳俯冲有关的火山弧环境,区域应力场由挤压向伸展转换。其正是太平洋板块向亚欧大陆俯冲有关的岩浆响应,俯冲时限可追溯至早白垩世早期。

致谢:向审稿专家对本文的审阅和指导表示由衷的敬意和感谢,同时对沃力嘎沟矿调项目组的全体野外工作人员表示感谢。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

蔡剑辉, 阎国翰, 牟保磊, 任康绪, 宋彪, 李凤棠. 2005. 北京房山岩体锆石 U-Pb 年龄和 Sr, Nd, Pb 同位素与微量元素特征及成因探讨. 岩石学报, 21(3): 776~788.

邓晋福, 冯艳芳, 狄永军, 刘翠, 肖庆辉, 苏尚国, 赵国春, 孟斐, 马帅, 姚图. 2015a. 岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换. 地质论评, 61(3): 473~484.

邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 肖庆辉, 狄永军, 苏尚国, 赵国春, 段培新, 戴蒙. 2015b. 关于火成岩常用图解的正确使用: 讨论与建议. 地质论评, 61(4): 717~734.

范晨子, 胡明月, 赵令浩, 孙冬阳, 詹秀春. 2012. 锆石铀-铅定年激光剥蚀—电感耦合等离子体质谱原位微区分析进展. 岩矿测试, 31(1): 29~46.

何鹏, 杨睿娜, 陈培伟, 张焕, 芦西战, 贺晓天, 翁红波, 裴玉华, 杨毅明. 2021. 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄, 地球化学特征及其地质意义. 地质论评, 67(3): 803~815.

李锦铁, 高立明, 孙桂华, 李亚萍, 王彦斌. 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. 岩石学报, 23(3): 565~582.

李林川. 2017. 内蒙古扎兰屯西部早白垩世侵入岩年代学、岩石地球化学及构造背景. 导师: 郑常青. 长春: 吉林大学硕士学位论文文.

李献华, 李武显, 李正祥. 2007. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义. 科学通报, 52(9): 981~991.

梁琛岳, 刘永江, 李伟, 刘勃然, 李伟民, 张夺, 刘同君. 2018. 大兴安岭北段伸展隆升样式: 来自科洛—嘎拉山韧性变形带的证据. 岩石学报, 34(10): 2873~2900.

刘勃然, 李伟, 贾杰, 李伟民, 梁琛岳, 温泉波. 2014. 大兴安岭北段嘎拉山伸展滑脱构造. 吉林大学学报(地球科学版), 44(4): 1142~1152.

刘阁, 吕新彪, 陈超, 杨永胜, 王庆军, 孙耀锋. 2014. 大兴安岭嫩江地区中生代双峰式火山岩锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 33(3): 458~470.

刘金龙, 周永恒, 吴琼, 柴璐, 吴大天, 吴涛涛, 刘凯. 2019. 内蒙古扎兰屯北部地区早白垩世酸性火山岩锆石 U-Pb 年代学和地球化学研究. 地质学报, 93(12): 3111~3124.

钱程, 陆露, 秦涛, 李林川, 陈会军, 崔天日, 江斌, 那福超, 孙巍, 汪岩, 吴新伟, 马永非. 2018. 大兴安岭北段扎兰屯地区晚古生代早期花岗质岩浆作用. 地质学报, 92(11): 2190~2214.

王文俊. 2009. 安徽石台地区中生代花岗岩类特征, 成因及成矿专属性. 导师: 徐晓春. 合肥: 合肥工业大学硕士学位论文文.

王振强, 徐建昌, 冯建之, 祁冬梅, 杨钢, 孙卫志. 2011. 华北陆块南缘燕山期花岗岩带岩浆演化: 以小秦岭—外方山地区为例. 现代地质, 25(6): 1032~1046.

吴新伟, 李世超, 郭威, 江斌, 张渝金. 2017. 内蒙古扎兰屯西部晶洞花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地质论评, 63(增刊): 285~286.

肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 2002. 花岗岩研究思维与方法. 北京: 地质出版社: 1~294.

杨文采. 2022. 中—新生代东北和华北的洋陆转换作用. 地质论评, 68(3): 769~780.

杨祝良, 沈加林, 沈渭洲, 谢方贵, 陶奎元. 2002. 大别山北缘中生代火山—侵入岩锆—钍同位素组成特征及其物质来源. 岩石矿物学杂志, 21(3): 223~230.

赵克强, 马生明, 席明杰, 杨剑洲, 蔡永文, 龚晶晶. 2020. 内蒙古北山石板井地区晚古生代中酸性侵入杂岩 LA ICP MS 年龄和地球化学特征及其地质意义. 地质论评, 66(1): 69~86.

周建波, 石爱国, 景妍. 2016. 东北地块群: 构造演化与古大陆重建. 吉林大学学报(地球科学版), 46(4): 1042~1055.

Altherr R, Holl A, Hegner E, Langer C, Kreuzer H. 2000. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany). Lithos, 50(1): 51~73.

Brown G C. 1982. Calcalkaline intrusive rocks: Their diversity, evolution and relation to volcanic arcs. In: Thorpe R S. Andesites. New York: John Wiley & Sons: 437~461.

Chappell B W. 1999. Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites. Lithos, 46(3): 535~551.

Chen Fukun, Hegner E, Todt W. 2000. Zircon ages and Nd isotopic and chemical compositions of orthogneisses from the Black Fores, Germany: evidence for a Cambrian magmatic arc. International Journal of Earth Sciences, 88(4): 791~802.

Cai Jianhui, Yan Guohan, Mu Baolei, Ren Kangxu, Song Biao, Li Fengtang. 2005&. Zircon U-Pb age, Sr—Nd—Pb isotopic and trace element of Fangshan complex in Beijing and their petrogenesis

- significance. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 776~788.
- Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Zhao Guochun, Meng Fei, Ma Shuai, Yao Tu. 2015a&. Magmatic arc and ocean—continent transition; discussion. *Geological Review*, 61(3): 473~484.
- Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Di Yongjun, Su Shangguo, Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015b&. On the correct application in the common igneous petrological diagrams; Discussion and suggestion. *Geological Review*, 61(4): 717~734.
- Fan Chenzi, Hu Mingyue, Zhao Linghao, Sun Dongyang, Zhan Xiuchun. 2012&. Advances in in-situ microanalysis of U-Pb zircon geochronology using Laser Ablation-Inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Rock and Mineral Analysis*, 31(1): 29~46.
- Harris N B W, Pearce J A and Tindle A G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *Geological Society, London, Special Publications*, 19(1): 67~81.
- He Peng, Yang Ruina, Chen Peiwei, Zhang Huan, Lu Xizhan, He Xiaotian, Weng Hongbo, Pei Yuhua, Yang Yiming. 2021&. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages, geochemical features and their geological implications of Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh. *Geological Review*, 67(3): 803~815.
- Li Jinyi, Gao liming, sun Guihua, Li Yaping, Wang Yanbin. 2007&. Determination of Middle Triassic syn - collisional crust derived granite in Shuangjingzi, Eastern Inner Mongolia and its constraints on the collision time limit of Siberia and China Korea Paleoplates. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3): 565~582.
- Li Xianhua, Li Wuxian, Li Zhengxiang. 2007&. Types of petrogenesis of early Yanshanian Period in Nanling area and its tectonic significance. *Chinese Science Bulletin*, 52(9): 981~991.
- Liu Boran, Li Wei, Jia Jie, Li Weimin, Liang Chenyue, wenquanbo. 2014&. Extension detachment structure of Galashan Mountain in the north section of Daxinganling. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 44(4): 1142~1152.
- Liu Ge, Lü Xinbiao, Chen Chao, Yang Yongsheng, Wang Qingjun, sun Yaofeng. 2014&. Zircon U-Pb dating, geochemical characteristics and geological significance of Mesozoic bimodal volcanic rocks in Nenjiang area, Daxing'anling. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(3): 458~470.
- Li Linchuan. 2017&. Chronology, rock geochemistry and tectonic background of Early Cretaceous intrusive rocks in western Zhalantun, Inner Mongolia. Tutor: Zheng Changqing. Changchun: Master dissertation of Jilin University.
- Liang Chenyue, Liu Yongjiang, Li Wei, Liu Boran, Li Weimin, Zhang duo, Liu Tongjun. 2018&. Extensional uplift pattern of the northern Daxinganling: Evidence from the Kolo Galashan ductile deformation zone. *Acta Petrologica Sinica*, 34(10): 2873~2900.
- Liu Jinlong, Zhou Yongheng, Wu Qiong, Chai Lu, Wu Datian, Wu Taotao, Liu Kai. 2019&. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of Early Cretaceous acidic volcanic rocks in northern Zhalantun, Inner Mongolia. *Acta Geologica Sinica*, 93(12): 3111~3124.
- Qian Cheng, Lu Lu, Qin Tao, Li Linchuan, Chen Huijun, Cui Tianri, Jiang Bin, Na Fuchao, Sun Wei, Wang Yan, Wu Xinwei, Ma Yongfei. 2018&. The Early Late- Paleozoic granitic magmatism in the Zhalantun region, northern Great Xing'an Range, NE China: Constraints on the timing of amalgamation of Erguna—Xing'an and Songnen Blocks. *Acta Geologica Sinica*, 92(11): 2190~2214.
- Maniar P D and Piccolli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Bull.*, 101(5): 635~643.
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma / igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37(3/4): 215~224.
- Peccerillo A, Taylor S R. 1976. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy & Petrology*, 58(1): 63~81.
- Pearce J A. 1996. Sources and setting of granitic rocks. *Episodes*, 19(4): 120~125.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J. Eds. *Magmatism in Ocean Basins*. London: Geological Society of Special Publication: 313~345.
- Wang Wenjun. 2009&. Characteristics, genesis and metallogenic specificity of Mesozoic granitoids in Shitai area, Anhui. Tutor: Xu Xiaochun. Hefei: Master dissertation of Hefei University of Technology.
- Wang Zhenqiang, Xu Jianchang, Feng Jianzhi, Qi Dongmei, Yang Gang, sun Weizhi. 2011&. Magmatic evolution of Yanshanian granite belt in the southern margin of North China Block: A case study of Xiaoqingling Waifangshan area. *Geoscience*, 25(6): 1032~1046.
- Wu Xinwei, Li Shichao, Guo Wei, Jiang Bin, Zhang Yujin. 2017&. Zircon U-Pb ages and tectonic significance of miarolitic granites in the east of Zhalantun area of Inner Mongolia. *Geological Review*, 63(supp.): 285~286.
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, et al. 2002&. *The Ways of Investigation on Granitoids*. Beijing: Geological Publishing House: 1~294.
- Yang Zhuliang, Shen Jialin, Shen Weizhou, Xie Fanggui, Tao Kuiyuan. 2002&. Sr and Nd isotopic composition and material sources of Mesozoic volcano—intrusive rocks in the northern margin of Dabie Mountains. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(3): 223~230.
- Yang Wencai. 2022&. Ocean—continent transition process reveled by worldwide comparison of crust and upper mantle structures. *Geological Review*, 68(3): 769~780.
- Zhou Jianbo, Shi Aiguo, Jing Yan. 2016&. Northeast block group: Tectonic evolution and paleocontinent reconstruction. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 46(4): 1042~1055.
- Zhao Keqiang, Ma Shengming, Xi Mingjie, Yang Jianzhou, Cai Yongwen, Gong Jingjing. 2020&. The LA-ICP-MS Zircon U-Pb ages and geochemical characteristics of Late Paleozoic intermediate—acidic intrusive complexes in Shibanjing area, Beishan Mountains, Inner Mongolia, and their geological significance. *Geological Review*, 66(1): 69~86.

Petrogenesis of the quartz monzonite porphyry in Tianxiangou,
central Great Hinggan Mountains

——Constraints from zircon U-Pb dating, geochemical and Sr—Nd isotopic characteristics

HE Xiaotian^{1, 2)}, HUANG Haitao^{1, 2)}, ZU Xinxu^{1, 2)}, ZHANG Huan^{1, 2)}, HE Peng^{1, 2)},
LIU Chaoyang^{1, 2)}, ZHAO Yanan^{1, 2)}, LI Fubin^{1, 2)}

- 1) Science and Technology Innovation Centre of Nature Resources of Henan Provinces/ Research on Technique and Method of Deep Investigation and Evaluation, Zhengzhou, 450000;
- 2) The Second Geo-exploration Institute of Mineral Prospecting and Development, Bureau of Henan Province, Zhengzhou, 450000

Abstract: Based on petrology, zircon U-Pb chronology and geochemistry, this article discusses the genesis, material source and tectonic background of tianxiangou quartz monzonite porphyry in central section of Great Hinggan Mountains. According to zircon LA-ICPMS U-Pb dating method, the age of Tianxiangou quartz monzonite porphyry is 124.4 ± 1.0 Ma and the age is Early Cretaceous. Tianxiangou quartz monzonite porphyry belongs to alkaline and quasi aluminous rocks with Rittman index $\sigma = 3.86 \sim 5.1$, total alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) = 9.14% ~ 10.35%, $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O} = 0.93 \sim 1.0$, $\text{A/CNK} = 0.76 \sim 0.93$, and the genetic type is I-type granite. The rocks are rich in large ion lithophile elements such as La, Ba, Ce and U, and relatively deficient in high field strength elements such as Hf and Zr; $(\text{La/Yb})_{\text{N}} = 11.72 \sim 13.90$, with obvious fractionation, enrichment of light rare earths, loss of heavy rare earths, negative Nb and Ta anomalies, showing the geochemical characteristics of island arc granites. $\delta \text{Eu} = 1.00 \sim 1.59$. $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_{\text{i}} = 0.705065$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = 1.93$, the source area may be the upper mantle. Combined with the Mesozoic crustal evolution background in the Great Hinggan Mountains, it is considered that the Tianxiangou quartz monzonite porphyry was formed in a volcanic arc environment related to the subduction of the oceanic crust, the regional stress field was transformed from compression to extension, and the magma source was the upper mantle.

Keywords: zircon U-Pb age; Sr—Nd isotopes; I-type granites; quartz monzonite porphyry in Tianxiangou; Central Great Hinggan Mountains

Acknowledgements: This paper is a result of the project of Geological Exploration Fund of Inner Mongolia Autonomous Region “Four 1 : 50000 Regional Mineral Geological Survey in Woligagou, Hulunbuir City” (No. NMKD2014-22)

First author: HE Xiaotian, male, born in 1990, engineer, is mainly engaged in regional geology, geology and mineral resources; Email: xiaotianh1990@163. com

Manuscript received on: 2021-12-21; Accepted on: 2022-05-30; Network published on: 2022-06-20
Doi: 10. 16509/j. georeview. 2022. 06. 045 **Edited by:** ZHANG Yuxu