

大兴安岭绿林林场一带兴华渡口岩群 原岩恢复及大地构造环境探讨

贾立民, 刘洪章, 鞠佳星, 李 丰

(河北省区域地质矿产调查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: 兴华渡口岩群作为额尔古纳地块的基底, 其变质年龄、原岩类型及大地构造背景一直是地质学家关注的热点。以大兴安岭北段绿林林场一带兴华渡口岩群作为研究对象, 利用锆石 U-Pb 同位素测年限定了原岩的变质时代, 结合岩相学与地球化学综合分析方法开展原岩恢复, 并进一步讨论了其形成的大地构造背景。研究认为兴华渡口岩群主要由斜长角闪岩类、浅粒岩类、变粒岩类和石英岩类组成; 斜长角闪岩类原岩为基性火山岩, 浅粒岩类原岩为英安质凝灰岩, 石英岩和变粒岩原岩为泥质粉砂岩; 斜长角闪岩类亏损非活动性微量元素 Ta、Nd、P, 大地构造环境属岛弧环境; 浅粒岩类主要亏损 Ta、Nd、P、Sr、Ti 等元素, 形成于大陆边缘造山带环境。绿林林场一带兴华渡口岩群的变质年龄下限为 774.1 ± 3.8 Ma。

关键词: 大兴安岭; 兴华渡口岩群; 变质时代; 原岩恢复; 大地构造

中图分类号: P588.3

文献标识码: A

PROTOLITH RECONSTRUCTION AND GEOTECTONIC ENVIRONMENTAL RESEARCH OF XINGHUADUKOU ROCK GROUP IN LVLIN FORESTRY CENTER, DAXING'ANLING

JIA Limin, LIU Hongzhang, JU Jiaying, LI Feng

(Hebei Institute of Regional Geological survey, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: Xinghuadukou Rock Group, as the basement of Ergun massif, its metamorphic age, protolith types and geotectonic setting has always been a hot spot for geologists. With Xinghuadukou Rock Group in Lvlin forestry center, north part of Daxing'anling, as the research object, zircons U-Pb isotopic dating was used to define the metamorphic age of protolith. Protolith reconstruction was carried out combining with the comprehensive analysis methods of petrography and geochemistry, and its geotectonic setting was further discussed. The research suggests that Xinghuadukou Rock Group is mainly composed of amphibolite, leptite, granulite and quartzite. The protolith of these four kinds respectively are basic volcanic rock, dacite tuff, pelitic siltstone and pelitic siltstone. Amphibolite is lack of non-active trace elements Ta, Nd, P, and it belongs to the island-arc geotectonic environment. Leptite mainly lacks Ta, Nd, P, Sr, Ti and other elements, and it is formed in the orogenic belt environment of continental margin. The lower limit of metamorphic age of Xinghuadukou Rock Group in Lvlin forestry center is 774.1 ± 3.8 Ma.

Key words: Daxing'anling; Xinghuadukou Rock Group; metamorphic age; protolith reconstruction; geotectonics

大兴安岭北部的额尔古纳地块是兴蒙造山带中重要的微陆块之一^[1-3]。兴华渡口岩群作为额尔古纳地块的基底^[4-6], 其形成时代、原岩类型以及大地构造背景一直是地质学家关注的热点^[7-8]。已有资料表明研究区西北缘阿木尔绿林林场一带兴华渡口岩群中二云母石英片岩—泥砂质沉积岩类的沉积时代下限为 $892 \pm 20 \text{ Ma}$ ^[4]; 韩家园子东南部兴华渡口岩群中斜长角闪片岩—中基性火山岩类成岩年龄为 $816 \pm 27 \text{ Ma}$ ^[9]; 韩家园子达拉罕新元古代片麻杂岩—花岗质岩石(与研究区风水山片麻杂岩相当)锆石 U-Pb 年龄为 $981.0 \pm 6 \sim 820 \pm 3 \text{ Ma}$ ^[10-11]。区域上兴华渡口群解体出的风水山片麻杂岩的晚期侵入年龄^[12-13]与兴华渡口岩群变质表壳岩的成岩下限年龄基本相近, 两者共同经历了区域变质作用^[14], 变质相为中级变质作用的低角闪岩相^[8,14], 而这期区域变质作用所发生的年代, 较少有资料进行提及。区域地质调查发现, 研究区内风水山片麻杂岩中存在一期浅变质的低绿片岩相细粒斑状含黑云二长花岗岩, 对这期浅变质的岩体进行锆石 U-Pb 测年, 能够有效的限制低角闪岩相变质作用所发生的时间, 结合原岩恢复, 可以更加深入的了解兴华渡口岩群的岩石类型及大地构造环境。

1 区域地质背景与岩石学特征

1.1 区域地质背景

研究区一级构造单元属阿尔泰—兴蒙造山系(I), 二级构造单元为额尔古纳地块(I-1), 三级构造单元属莫尔道嘎岩浆弧盆系(I-1-2)^[15]。

研究区内兴华渡口岩群呈孤岛状、透镜状残留于新元古代风水山片麻杂岩之中^[8]。风水山片麻杂岩与兴华渡口岩群呈侵入接触关系, 并同被中寒武世侵入体所侵入(见图1)。兴华渡口岩群主要由斜长角闪岩类、石英岩类、变粒岩类和浅粒岩类组成。风水山片麻杂岩由片麻状花岗岩类、片麻状闪长岩类和变质闪长岩、变质辉长岩以及浅变质黑云二长花岗岩所组成。中寒武世侵入体岩性为中细粒到中粗粒黑云母二长花岗岩。

1.2 岩石学特征

兴华渡口岩群主要由斜长角闪岩类、石英岩类、变粒岩类和浅粒岩类组成。

斜长角闪岩: 灰黑色, 鳞片粒状变晶结构, 块状构造, 主要矿物成分为斜长石(30%+)、角闪石(55%-), 黑云母(10%+), 石英(5%-)组成。斜长石呈半自形板状, 粒度一般为0.2~2 mm, 少数粒度为2~3 mm, 杂乱分布。角闪石呈它形到半自形柱状, 粒度一般为0.2~3 mm, 在薄片多色性明显, Ng←暗褐色, Np←浅褐色, 局部被黑云母交代。黑云母呈片状, 粒度一般为0.2~1 mm, 星散分布。石英呈它形粒状, 粒度一般为0.2~2 mm, 少数粒度为2~3 mm, 充填于斜长石粒间。

二长浅粒岩: 岩石呈浅灰—灰白色, 细粒变晶结构, 块状—弱片麻状构造。岩石由钾长石(35%~40%)、斜长石(25%±)、石英(35%~40%)、黑云母等组成。钾长石: 多呈它形粒状, 偶见近半自形板状, 粒径0.1~1 mm不等, 杂乱分布, 为微斜长石, 表面可见裂纹, 具高岭土化, 少量粒内具细小板条状斜长石、石英包体。斜长石: 多呈它形粒状, 偶见近半自形板状, 粒径0.1~0.75 mm不等, 杂乱分布, 可见聚片双晶, 具较强绢云母化、粘土化。石英: 呈它形粒状, 粒径0.05~0.7 mm不等, 粒间呈不规则镶嵌状, 部分粒内可见波状消光。黑云母: 呈片状, 片径<0.2 mm, 零星分布, 具绿泥石化。

黑云斜长变粒岩: 岩石呈黄绿色, 鳞片粒状变晶结构, 块状构造, 主要由石英(45%±)、斜长石(40%~45%)、钾长石(2%±)、黑云母(10%~15%)组成。石英: 呈它形粒状, 粒径0.05~0.7 mm不等, 杂乱分布。斜长石: 多呈它形粒状, 少量呈近半自形板状, 部分呈半自形粒状, 粒径0.1~0.7 mm不等。钾长石: 多呈它形粒状, 少量呈近半自形板状, 粒径0.3~0.5 mm, 零星分布, 可见卡式双晶。黑云母: 呈鳞片状, 片径0.05~0.5 mm, 长轴略显定向排列, 局部聚集似线痕状、带状分布, 多具铁染现象, 部分具绿泥石化、白云母化。

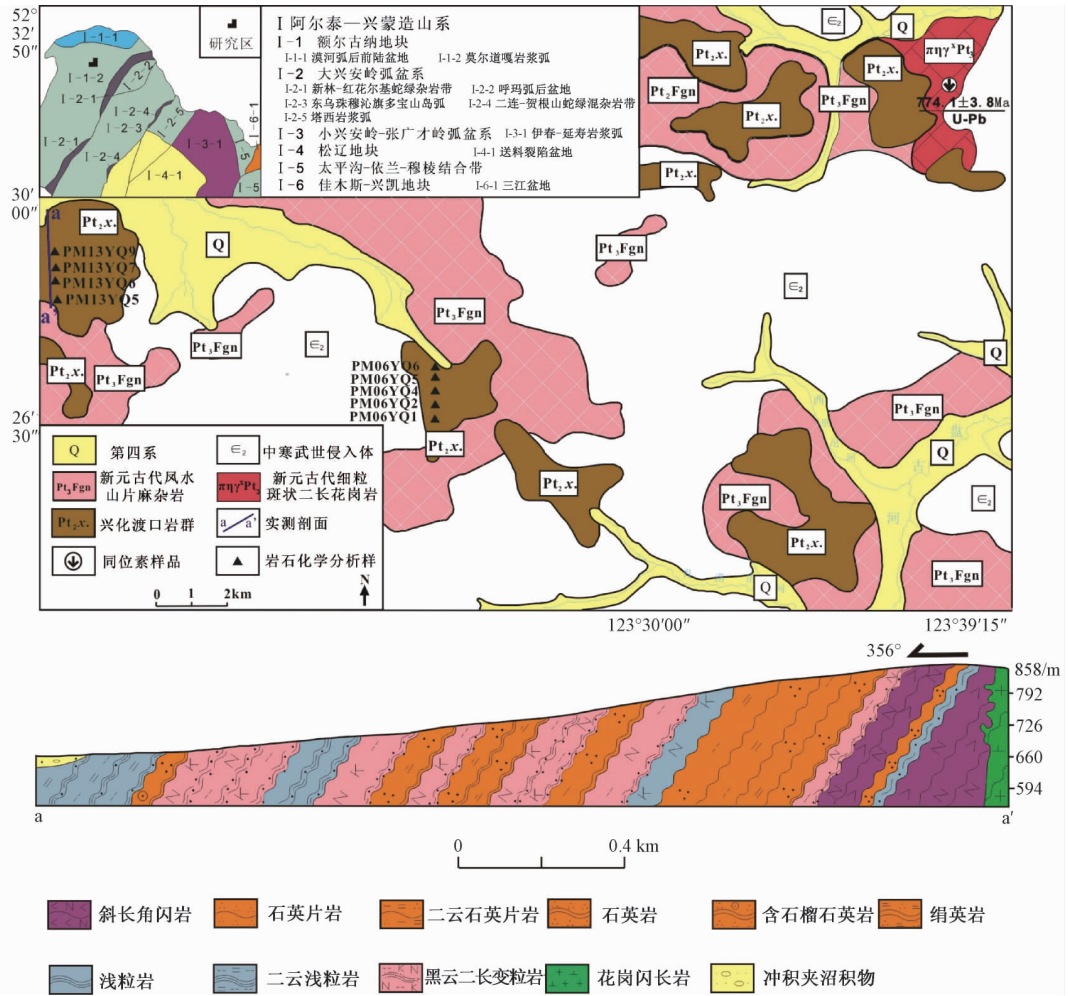


图1 研究区地质简图

Fig. 1 Generalized geologic map of the study area

石英岩：岩石呈浅灰白色，粒状变晶结构，块状构造。岩石由石英（90%+）、黑云母（5%-）、石榴子石（少量）组成。石英呈它形粒状，粒度一般为0.2~1 mm，少数粒度为1~3 mm，镶嵌状分布，粒内可见波状消光。黑云母呈片状，粒度一般为0.2~1 mm，镶嵌状分布。石榴子石呈它形粒状，粒度一般为0.5~1 mm，零星分布。在正交偏光下全消光，显均质性，局部黑云母—绿泥石化。

风水山片麻杂岩中的细粒斑状含黑云二长花岗岩变质相属低绿片岩相，与低角闪岩相兴化渡口岩群呈侵入接触关系。文中仅针对细粒斑状含黑云二长花岗岩的岩石学特征进行简单介绍。

细粒斑状含黑云二长花岗岩由钾长石（35%~40%）、斜长石（25%±）、石英（30%~35%）、黑云母（5%±）组成。钾长石：呈半自形宽板状，为微斜长石、条纹长石，构成两个粒级，粒径3~8 mm，构成变斑晶，0.5~2 mm者构成基质

成分。斜长石：呈半自形板状，构成两个粒级，个别粒度约3 mm构成变斑晶，0.3~2 mm者构成基质成分，部分可见聚片双晶。石英：呈它形粒状，粒径0.1~2.5 mm不等，填隙状分布，局部聚集呈堆状分布，粒间呈不规则镶嵌状，构成基质成分。黑云母：呈片状、鳞片状，粒径0.2~2.5 mm不等，零星分布，局部聚集状分布，构成基质成分。

2 样品采集与测试方法

2.1 分选锆石及分析方法

测年样品采集于风水山片麻杂岩中浅变质的细粒斑状含黑云二长花岗岩，样品位于研究区东北部（见图1），采集重量约为2 kg。样品经过淘洗、磁选和重液分选，在双目镜下选取单颗粒锆石，然后进行制靶和阴极发光图像分析^[16]，于中

国地质科学院矿产资源研究所 MC-ICP-MS 实验室进行 LA-MC-ICP-MS 测年。锆石定年分析所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP213 激光剥蚀系统, 对锆石标准的定年精度和准确度在 1% (2S) 左右。LA-MC-ICP-MS 激光剥蚀采用单点剥蚀的方法, 锆石 U-Pb 定年以锆石 GJ-1 为外标, U、Th 含量以锆石 M127 (U: 923×10^{-6} ; Th: 439×10^{-6} ; Th/U: 0.475)^[17] 为外标进行校准。数据处理采用 ICPMSDataCal 程序, 锆石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序获得^[18]。

2.2 主量、微量元素的测试方法

研究区内共采集兴华渡口岩群不同岩石类型样品 9 件, 其中斜长角闪岩类 1 件, 浅粒岩类 3 件, 变粒岩类 3 件, 石英岩类 2 件, 均进行主量、微量元素测试。样品分析由河北省区域地质矿产调查研

究所实验室完成测试, 其中主量元素采用 Axios^{max} (X 荧光光谱仪) 方法测定, 测定精度为 5%。微量元素和稀土元素采用 X serise 2 (电感耦合等离子质谱仪) 进行分析, 含量大于 10×10^{-6} 的元素测试精度为 5%, 小于 10×10^{-6} 的元素精度为 10%。

3 测试结果

3.1 锆石 U-Pb 同位素测试

根据所挑选锆石的内部结构和外形特征可归为两类^[18]: 第一类锆石, 晶形较好, 部分机械破碎, 呈自形柱状, 长宽比约 1~2, 内部具有清晰的震荡环带, 属岩浆锆石。第二类锆石晶体内部有继承的锆石残留, 或边部有明显的变质增生边 (见图 2)。

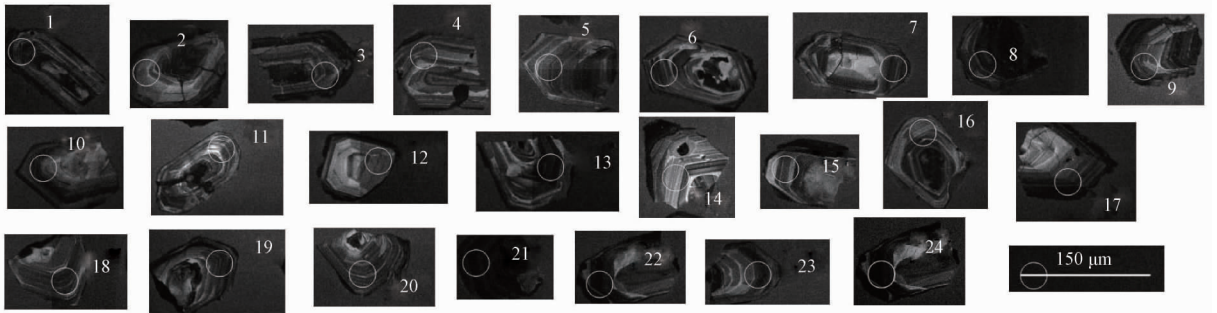


图 2 细粒斑状含黑云二长花岗岩锆石 CL 图像特征 (白色实线圈为年龄测点位置)

Fig. 2 CL image features of zircons in fine-grained biotite adamellite (White solid coils are the age measuring positions)

对锆石进行了 24 个测点分析 (见表 1), 得出 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄在 768.39 ~ 777.60 Ma 之间, 舍弃谐和度较差的测点, 15 个测点得出 774.1 ± 3.8 Ma (n = 15, MSWD = 0.22) 的加权平均年龄 (见图 3)。15、16 测点 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄 820.66

~837.12 Ma 之间, 推测岩浆捕掳或继承了早期风水山片麻杂岩中的锆石所致; 3、8、13、14、17、21、22, 7 个测点为 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 593.04 ~ 705.78 Ma, 推测其原因为受裂隙引起的 Pb 元素含量亏损所导致。

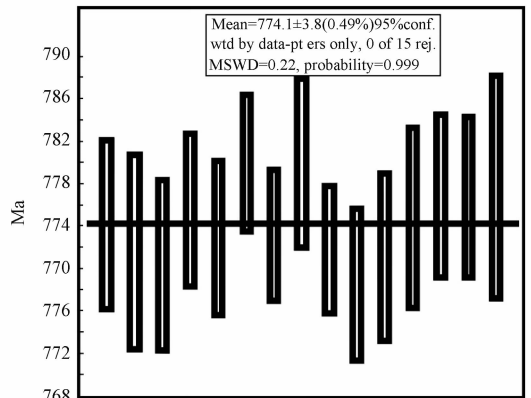
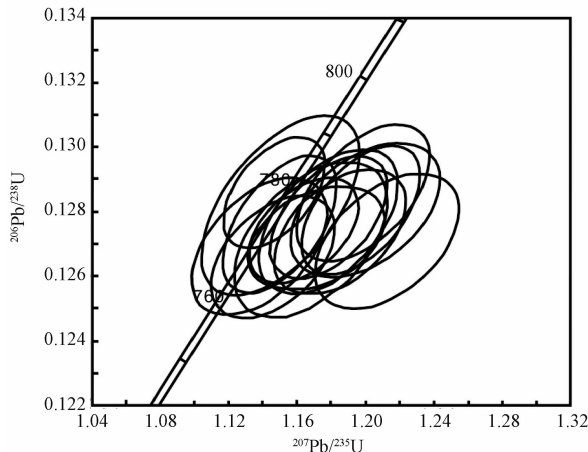


图 3 细粒斑状含黑云二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 Concordia plot of zircon U-Pb age in fine-grained biotite adamellite

表1 细粒斑状含黑云二长花岗岩锆石 LA-ICP-MS 分析结果

Table 1 The zircon LA-ICP-MS analysis results of fine-grained biotite adamellite

测点	Pb U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) / (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) /$		
	$\times 10^{-6}$					Ma	Ma	Ma
1	98	673	0.1276	1.1506	0.0654	774.03	777.51	787.04
2	41	276	0.1271	1.1679	0.0668	771.47	785.67	831.48
3	139	1283	0.0964	0.8602	0.0646	593.04	630.24	761.12
4	54	364	0.1269	1.1380	0.0648	770.24	771.54	768.52
5	63	422	0.1278	1.1787	0.0669	775.42	790.71	835.18
6	68	449	0.1274	1.1852	0.0674	772.79	793.71	851.54
7	82	544	0.1286	1.1468	0.0647	779.80	775.73	764.82
8	138	1146	0.1038	0.9648	0.0675	636.53	685.78	853.70
9	99	668	0.1274	1.1638	0.0662	773.04	783.72	812.96
10	78	553	0.1286	1.1988	0.0676	779.75	800.03	857.40
11	94	593	0.1272	1.1714	0.0668	771.70	787.29	831.48
12	81	542	0.1266	1.1461	0.0657	768.39	775.38	795.99
13	104	697	0.1154	1.0192	0.0641	704.18	713.53	744.14
14	49	368	0.1157	1.0979	0.0687	705.78	752.31	888.58
15	74	473	0.1358	1.3157	0.0697	820.66	852.63	920.37
16	86	538	0.1387	1.2450	0.0653	837.12	821.15	783.34
17	129	1201	0.0976	0.8581	0.0638	600.29	629.11	744.45
18	62	407	0.1270	1.2126	0.0691	771.01	806.39	901.85
19	77	499	0.1277	1.1784	0.0667	774.70	790.56	827.78
20	70	469	0.1280	1.2004	0.0677	776.73	800.76	861.11
21	181	1409	0.1127	1.0357	0.0662	688.14	721.77	812.96
22	131	1040	0.1131	1.0353	0.0660	690.93	721.60	805.56
23	92	614	0.1280	1.1972	0.0675	776.63	799.31	853.70
24	53	352	0.1282	1.1511	0.0650	777.60	777.74	772.23

3.2 岩石主量元素特征

斜长角闪岩类 (PM13YQ5): SiO_2 含量为 51.72%, 属基性岩类; 岩石类型为偏铝质岩石, 即 $\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$; 斜长角闪岩里特曼指数 $\sigma = 1.43$, 属钙碱性岩类 (见表 2)。

浅粒岩类 (PM06YQ1、PM06YQ2、PM06YQ6): SiO_2 含量为 64.74% ~ 72.83%, 均值为 69.9%,

属中酸性岩类。岩石类型为过铝质岩石, 即 $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$; 里特曼指数除 PM06YQ1 的 $\sigma = 6.07$ 属碱性岩, 其余两件样品里特曼指数 σ 为 1.93 ~ 2.27, 属钙碱性岩类。

变粒岩类 (PM06YQ4、PM06YQ5、PM13YQ7): SiO_2 含量为 60.85% ~ 68.39%, 均值为 63.4%, 属中酸性岩类。岩石类型为过铝质岩石, 即 $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 。

表2 兴华渡口岩群岩石主量元素特征数据表

Table 2 Characteristic data table of major elements in rocks of Xinghuadukou Rock group

序号	时代	岩性	样号	氧化物含量/%												
				SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	烧失量	Σ
1		斜长角闪岩	PM13YQ5	51.72	1.01	10.51	1.47	7.08	0.14	12.97	8.47	2.39	1.14	0.18	2.69	99.79
2		石英岩	PM13YQ6	93.46	0.09	1.30	2.88	0.87	0.11	0.11	0.06	0.03	0.29	0.023	0.77	99.99
3		黑云石英岩	PM13YQ9	87.32	0.30	4.61	2.03	1.88	0.036	0.87	0.08	0.14	0.80	0.045	1.85	99.96
4	中元古代	二长浅粒岩	PM06YQ1	64.74	0.70	17.36	1.68	1.12	0.091	0.66	1.24	5.27	6.23	0.18	0.55	99.82
5		二长浅粒岩	PM06YQ2	72.84	0.29	13.71	1.27	1.42	0.048	0.27	0.91	3.56	4.03	0.15	1.20	99.70
6		二长浅粒岩	PM06YQ6	72.13	0.32	13.38	1.08	2.12	0.086	0.49	0.71	2.97	5.15	0.10	1.12	99.66
		均值		69.90	0.44	14.82	1.35	1.55	0.070	0.47	0.95	3.93	5.14	0.14	0.96	99.73
7		黑云斜长变粒岩	PM06YQ4	68.39	1.22	15.33	0.98	4.05	0.089	1.63	0.53	0.55	4.50	0.086	2.48	99.84
8		变粒岩	PM06YQ5	60.97	0.97	20.73	1.95	4.75	0.062	1.21	0.11	0.29	4.68	0.11	4.01	99.84
9		变粒岩	PM13YQ7	60.85	1.05	17.82	1.37	4.83	0.10	2.53	3.19	3.09	2.86	0.17	1.87	99.74
		均值		63.40	1.08	17.96	1.44	4.54	0.08	1.79	1.27	1.31	4.02	0.12	2.79	99.81

石英岩类 (PM13YQ6、PM13YQ9): SiO₂ 含量为 87.3% ~ 93.4%, 属酸性岩类。岩石类型为过铝质岩石, 即 Al₂O₃ > CaO + K₂O + Na₂O。

3.3 稀土、微量元素特征

兴华渡口岩群稀土元素分析结果显示, 稀土元素总量 (ΣREE) 相差较大, 其中石英岩类稀土总量较小, 含量为 56.61 × 10⁻⁶ ~ 83.23 × 10⁻⁶。斜长角闪岩类—变粒岩类—浅粒岩类稀土总量总体呈现逐渐增多的趋势 (见表 3)。斜长角闪岩类

(ΣREE) = 134.37 × 10⁻⁶; 变粒岩类均值 (ΣREE) = 278.78 × 10⁻⁶; 浅粒岩类均值 (ΣREE) = 349.62 × 10⁻⁶。斜长角闪岩类—浅粒岩类—变粒岩类的轻重稀土总量比值呈逐渐增多的趋势, 各类稀土元素蛛网图总体呈左高右低轻缓右倾的曲线模式 (见图 4)。斜长角闪岩类 LR/HR = 9.59; 浅粒岩类 LR/HR = 10.77; 变粒岩类 LR/HR = 11.18。斜长角闪岩类未见 δEu 元素的明显亏损, 浅粒岩类到变粒岩类 δEu 元素亏损逐渐增强。

表 3 研究区兴华渡口岩群稀土元素含量及特征参数表

Table 3 The content of rare earth elements and the characteristic parameters of Xinghuadukou Rock group in the study area

序号	样号	稀土元素含量 / × 10 ⁻⁶														特征参数值									
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	LR/HR	δEu	δCe	(La/Yb) _N	(Ce/Yb) _N	(Sm/Eu) _N
1	PM13YQ5	24.3	45.6	6.31	26.0	4.99	1.51	3.91	0.59	3.13	0.53	1.48	0.21	1.28	0.20	14.4	134.37	108.63	11.33	9.59	1.01	0.87	12.82	9.24	1.25
	基性(维)	27	4.5	4	20	5	1	5	0.8			1	2	0.2	2	0.6	20								
2	PM13YQ6	9.23	23.0	2.38	9.59	1.77	0.29	1.46	0.23	1.28	0.23	0.66	0.10	0.63	0.10	5.64	56.61	46.3	4.68	9.9	0.54	1.16	9.92	9.51	2.28
3	PM13YQ9	15.0	28.4	3.42	12.9	2.66	0.46	2.41	0.41	2.47	0.44	1.22	0.19	1.20	0.19	11.9	83.23	62.86	8.52	7.38	0.55	0.92	8.46	6.13	2.18
4	PM06YQ1	84.2	163	18.9	70.0	10.1	2.05	8.61	1.04	4.55	0.80	2.27	0.31	2.01	0.34	22.4	390.27	347.93	19.93	17.46	0.66	0.94	28.26	20.95	1.86
5	PM06YQ2	44.3	90.3	8.32	32.7	6.43	2.06	6.13	1.08	6.85	1.43	4.15	0.71	4.61	0.75	40.6	250.47	184.1	25.72	7.16	0.99	1.06	6.47	5.07	1.18
6	PM06YQ6	75.2	137	17.4	70.4	13.3	3.04	12.1	1.97	11.0	2.21	6.20	0.95	5.78	0.97	50.8	408.12	316.13	41.18	7.68	0.72	0.88	8.77	6.12	1.64
	均值	67.9	129	14.9	57.7	9.9	2.4	9.0	1.4	7.5	1.5	4.2	0.7	4.1	0.7	38.0	349.62	282.72	28.94	10.77	0.79	0.96	14.50	10.71	1.56
	酸性(维)	60	100	12	46	9	1.5	9	2.5		2	4	0.3	4	1	34									
7	PM06YQ4	50.4	103	12.4	48.6	8.91	1.13	7.77	1.20	6.37	1.21	3.26	0.48	3.00	0.50	35.3	283.91	224.79	23.78	9.45	0.41	0.97	11.31	8.91	2.98
8	PM06YQ5	64.2	130	15.6	60.3	10.9	1.60	9.05	1.36	6.57	1.17	3.14	0.46	2.83	0.46	31.8	339.88	283.07	25.03	11.31	0.48	0.96	15.28	11.91	2.58
9	PM13YQ7	40.0	83.3	10.7	39.3	6.48	1.90	5.14	0.71	3.59	0.63	1.83	0.27	1.75	0.29	16.7	212.54	181.64	14.21	12.78	0.98	0.95	15.42	12.33	1.28
	均值	51.5	105	12.9	49.4	8.78	1.54	7.32	1.09	5.51	1.00	2.74	0.40	2.53	0.42	27.9	278.78	229.83	21.01	11.18	0.62	0.96	14.00	11.05	2.28
	页岩+粘土岩(维)	40	50	5	23	6.5	1	6.5	0.9	-	1	2.5	0.25	3	0.7	30									

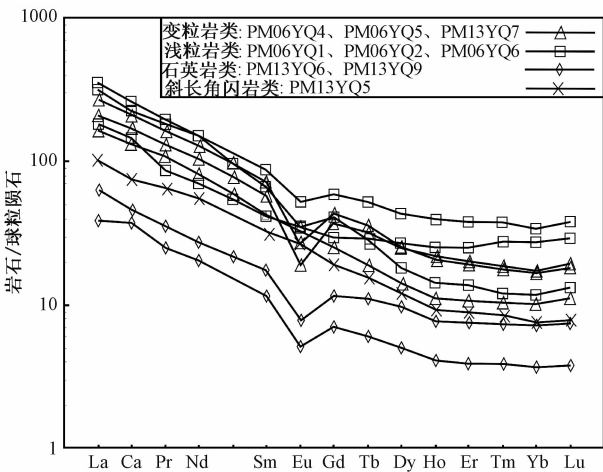


图 4 稀土元素/球粒陨石标准化分布形式图
Fig. 4 standardized distribution pattern of rare earth elements and chondrites

兴华渡口岩群各类岩石稀土元素与维氏数据进行对比 (见表 3), 斜长角闪岩类除 Ce 元素含量与基性玄武岩类 (维氏) 差别较大外, 其余各元素含量基本相近。浅粒岩类稀土元素含量与花岗岩类 (维氏) 数据基本相近。变粒岩类除 Ce、Pr、

Nd 元素与页岩 + 粘土岩 (维氏) 略有差别外, 其余元素基本与其含量相近。

兴华渡口岩群微量元素分析结果显示, 斜长角闪岩类微量元素蛛网曲线图较浅粒岩类和变粒岩类总体平缓 (见图 5), 轻微亏损非活动性元素 Ta、Nd、P 元素, 与火山弧玄武岩具有相似的特征。浅粒岩类蛛网曲线多呈较陡“W”型, 主要亏损非活动性元素 Ta、Nd、P 元素和 Sr、Ti 元素, 与造山带花岗岩中的正常大陆弧花岗岩具有相似的特征, 正常大陆弧花岗岩主要亏损 Sr、P、Ti 和 Nb 元素。变粒岩类和石英岩类蛛网曲线较陡, 主要亏损非活动性元素 Ta、Nd、P 元素和 Sr、Ba、Ti 元素。

兴华渡口岩群各岩类微量元素与维氏数据进行对比分析 (见表 4)。斜长角闪岩类与基性玄武岩 (维氏) 除 Ba、K、Nb、Ti、Cr 元素略有差别外, 其它各元素基本相近。浅粒岩类与酸性花岗岩 (维氏) 进行对比, 除 Ba、Th、Ti、Cr、Co、Ni、V 元素略有差别外, 其它元素与其基本相近。变粒岩类与页岩 + 粘土岩 (维氏) 数据进行对比,

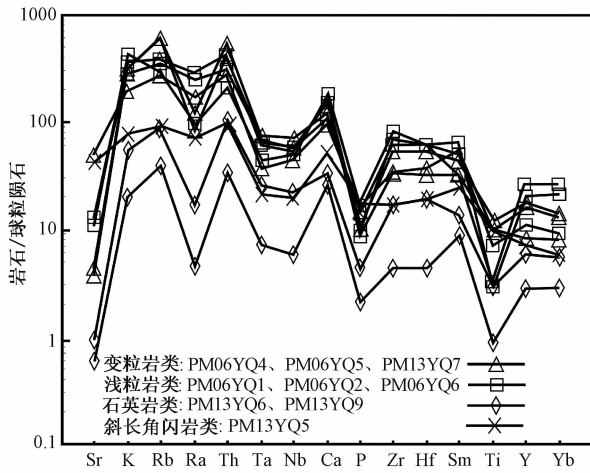


图5 微量元素/球粒陨石标准化蛛网图

Fig. 5 Standardized spider diagram of trace elements and chondrite

除 Rb、K、Ta、Sr、Ti、Ni 元素略有差别外，其它元素与之基本相近。

4 讨论

4.1 变质时代

研究区风水山片麻杂岩中的片麻状花岗岩类、片麻状闪长岩类与兴华渡口岩群具有相同的野外产状特征，共同经历了低角闪岩相区域变质作用^[14]，结合已有资料可知，兴华渡口岩群的成岩下限年龄为 $892 \pm 20 \sim 816 \pm 27 \text{ Ma}$ ^[4,9]。

研究区新发现的风水山片麻杂岩中的细粒斑状含黑云二长花岗岩，变质相属低绿片岩相，其锆石 U-Pb 年龄为 $774.1 \pm 3.8 \text{ Ma}$ 。该年龄代表这期浅变质岩体的侵入年龄，其侵入年龄晚于兴华

表4 研究区兴华渡口岩群微量元素含量及特征参数表

Table 4 The content of trace elements and characteristic parameters of Xinghuadukou Rock group in the study area

序号	样号	微量元素含量/ $\times 10^{-6}$													特征参数值					
		Ba	Rb	Th	K	Nb	Ta	Sr	Zr	Hf	Ti	Cr	Co	Ni	V	U	Rb/Sr	Zr/Hf	K/Rb	Nb/Ta
1	PM13YQ5	495	32.5	4.03	9481	6.75	0.42	500	114	3.76	6034	500	53.2	159	164	0.78	0.07	30.5	290	15.7
	基性(维)	300	45	3	8300	20	0.48	440	100	1	9000	200	45	160	200	0.5	0.10	100	184	41.7
2	PM13YQ6	30.5	13.9	1.42	2377	1.98	0.14	6.99	29.7	0.881	541	18.9	7.69	9.89	9.80	0.75	1.99	338	170	13.8
3	PM13YQ9	117	31.7	4.58	6619	7.54	0.49	10.9	114	3.78	1775	30.9	9.50	21.8	19.8	1.38	2.91	30.3	208	15.1
4	PM06YQ1	677	102	8.84	51720	16.9	0.87	125	569	12.2	4203	3.33	1.59	1.81	24.5	1.68	0.82	46.6	505	19.3
5	PM06YQ2	1693	120	13.1	33493	20.1	1.30	149	428	12.1	1754	5.78	1.15	1.98	8.18	3.23	0.80	35.3	278	15.4
6	PM06YQ6	1974	132	17.9	42781	18.2	1.17	148	452	12.2	1936	6.42	1.65	1.03	14.0	3.27	0.89	37.0	322	15.5
	均值	14488	118	13.3	42664	18.4	1.12	141	483	12.2	2631	5.18	1.46	1.61	15.6	2.73	0.84	39.6	360	16.5
	酸性(维)	830	200	18	33400	20	3.5	300	200	1	2300	25	5	8	40	3.5	0.67	200	167	5.71
7	PM06YQ4	547	214	17.2	37372	24.6	1.52	42.9	356	10.6	7316	94.1	18.2	33.1	137	1.84	5.01	33.4	173	16.2
8	PM06YQ5	806	200	23.1	38868	19.6	1.39	49.6	233	7.31	5840	90.0	6.10	28.9	129	3.56	4.04	31.9	193	14.1
9	PM13YQ7	1177	93.8	11.8	23755	15.8	0.72	567	226	6.36	6303	65.6	17.4	23.0	118	1.33	0.17	35.4	253	21.7
	均值	843	169	17.3	33331	20.0	1.21	219	272	8.11	6486	83.2	13.9	28.33	128	2.25	0.77	33.5	196	16.5
	页岩+粘土岩(维)	800	200	11	22800	20	3.5	450	200	6	4500	100	20	95	130	3.2	0.44	33.3	114	5.71

渡口岩群低角闪岩相变质作用所发生的时限，故可知中元古界兴华渡口岩群低角闪岩相变质作用所发生的时间下限为 $774.1 \pm 3.8 \text{ Ma}$ 。

4.2 原岩恢复

兴华渡口岩群变质岩系变质程度较高，原岩的结构、构造多已分辨不清，仅有少数岩石保留部分岩相学特征。采用岩石化学、地球化学等综合方法对兴华渡口岩群各类变质岩进行原岩恢复。

对兴华渡口岩群各类变质岩，依次进行 ACF 图和 A'KF 图、周世泰的 K-A 图解和变质岩 Mg-K 图解进行投图分析。

(1) 五大化学类型变质岩和主要造岩矿物在

ACF 图和 A'KF 图上的位置投图^[19]结果显示(见图 6): 斜长角闪岩类投于 4 号基性岩区; 浅粒岩类属钾过饱和型, 投于 2 号长英质和泥质区; 变粒岩类属钾不饱和型, 投于 1 号泥质区; 石英岩类投于 1 号泥岩区。

(2) 根据周世泰 1984 年提出的区分正副变质岩的函数判别式^[20](见图 7), 显示斜长角闪岩类和浅粒岩类位于火成岩区; 石英岩类和变粒岩类位于泥质粉砂岩区。

(3) 根据长春地质学院变质岩的 Mg-K 图解^[21](见图 8), 显示斜长角闪岩类位于玄武岩区; 浅粒岩类位于英安质凝灰岩区; 变粒岩和石

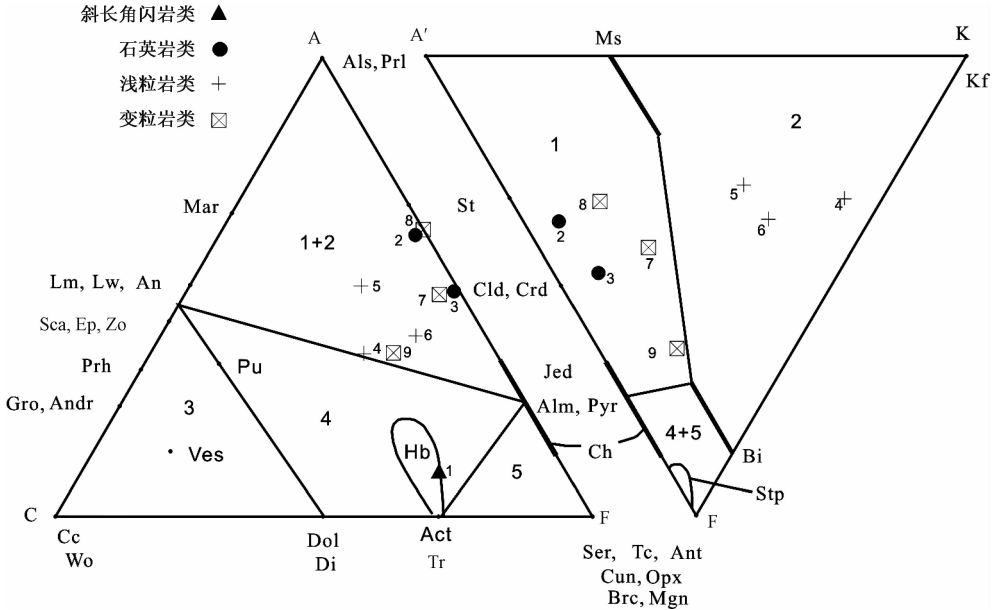
英岩类主要位于粘土岩区。

综合上述投图结果和各类变质岩数据与维氏数据的对比结果, 综合分析认为: 斜长角闪岩类原岩为基性火山岩; 浅粒岩类原岩为英安质凝灰

岩; 石英岩类和变粒岩类原岩为泥质粉砂岩。

4.3 大地构造背景

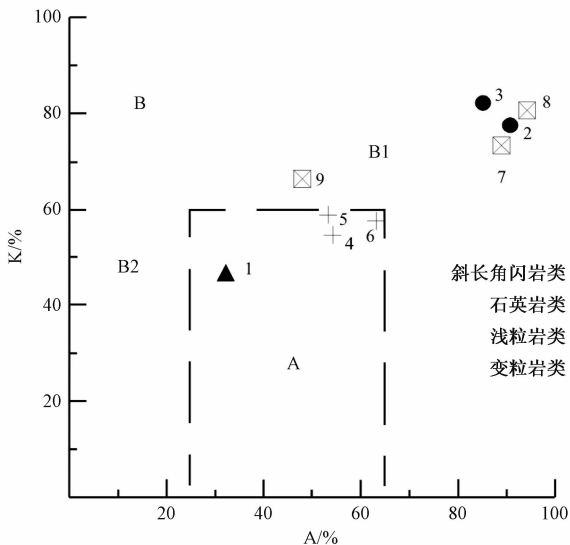
根据兴华渡口岩群原岩恢复结果, 斜长角闪岩类原岩为玄武岩。经与典型基性火山岩的微量元素



1—泥质 (Al₂O₃ 过剩); 2—长英质和泥质 (K₂O 过剩); 3—钙质; 4—基性; 5—镁质; Act—阳起石; Andr—钙铁榴石; Jed—铅直闪石; Lm—浊沸石; Lw—硬柱石; Mar—珍珠云母; Mgn—菱镁矿; Opx—斜方辉石; Prh—葡萄石; Prl—叶蜡石; Pu—绿帘石; Pyr—镁铝榴石; Sca—方柱石; Ves—符山石; Zo—黝帘石; Ms—白云母; Bi—黑云母; Cc—方解石; Wo—硅灰石; Dol—白云石; Di—透辉石; Tr—透闪石; Ser—绢云母; Tc—滑石; Ant—直闪石; Cum—镁铁闪石; Brc—水镁石; Alm—铁铝榴石; Ch—绿泥石; Cld—硬绿泥石; Crd—堇青石; St—十字石; Als—Al₂SiO₅ 矿物; An—钙长石; Stp—黑硬绿泥石; Kf—钾长石; Ep—绿帘石; Gro—钙铝榴石

图 6 五大化学类型变质岩和主要造岩矿物在 ACF 图和 A'KF 图上的位置^[19]

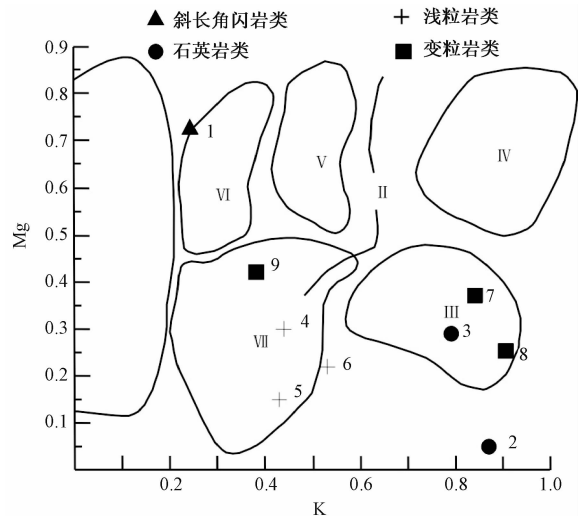
Fig. 6 Positions of five major metamorphic rocks of chemical types and the main rock-forming minerals in Pictures ACF and A'KF^[19]



A—火成岩区; B—沉积岩区; B1—泥质粉砂岩区; B2—碳酸盐亚区

图 7 周世泰的 K-A 图解^[20]

Fig. 7 Zhou Shitai K-A diagram^[20]

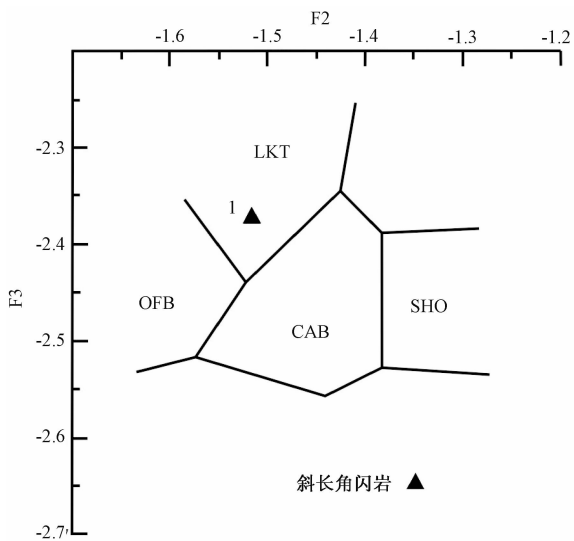


I—细碧岩-角斑岩区; II—白云泥灰岩区; III—粘土岩区; IV—富钾火山岩区; V—未定区; VI—玄武岩区; VII—英安质凝灰岩区

图 8 变质岩的 Mg-K 图解^[21]

Fig. 8 Mg-K diagram of metamorphic rocks^[21]

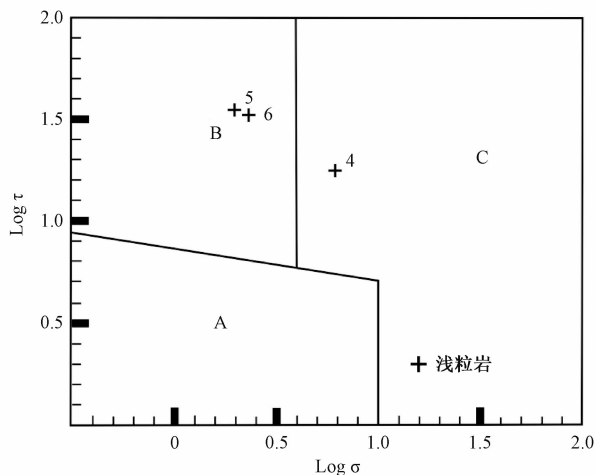
进行对比发现,斜长角闪岩类微量元素蛛网曲线具有火山弧玄武岩的典型特征,主要亏损非活动性 Ta、Nd、P 等元素;结合 F3 - F2 图解分析结果(见图 9),斜长角闪岩类落于岛弧拉斑玄武岩区。浅粒岩类原岩恢复结果为英安质凝灰岩,将浅粒岩样品进行里特曼—戈蒂里图解投图,两件落于造山带火山岩区,一件落于派生的碱性、偏碱性火山岩区(见图 10)。综合分析认为,研究区内兴华渡口岩群斜长角闪岩类形成的大地构造环境属岛弧环境,浅粒岩类形成于大陆边缘造山带环境。



OFB—大洋底玄武岩; LKT—岛弧拉斑玄武岩; CAB—钙碱质玄武岩; SHO—钾玄岩

图 9 F3—F2 图解^[21]

Fig. 9 F3-F2 diagrams^[21]



A—非造山带火山岩; B—造山带火山岩;
C—A、B 区派生的碱性、偏碱性火山岩

图 10 里特曼—戈蒂里图解^[21]

Fig. 10 Rittman-Dagger diagram^[21]

中—新元古代,区域上属于 Rodinia 超大陆的形成与裂解阶段^[22],兴华渡口岩群作为额尔古纳地块的基底,其岩石组合和大地构造环境与 Rodinia 超大陆的演化过程具有很强的响应关系,这也从另一个方面证明了额尔古纳地块参与了 Rodinia 超大陆的形成与裂解过程。

5 结论

(1) 大兴安岭北端绿林林场一带兴华渡口岩群的成岩下限年龄为 $892 \pm 20 \sim 816 \pm 27$ Ma; 变质年龄下限为 774.1 ± 3.8 Ma。

(2) 大兴安岭北端绿林林场一带兴华渡口岩群,由斜长角闪岩类、浅粒岩类、变粒岩类和石英岩类组成。斜长角闪岩类原岩为基性火山岩;浅粒岩类原岩为英安质凝灰岩;石英岩类和变粒岩类原岩为泥质粉砂岩。

(3) 大兴安岭北端绿林林场一带兴华渡口岩群,斜长角闪岩类形成的大地构造环境属岛弧环境,浅粒岩类形成于大陆边缘造山带环境。兴华渡口岩群的岩石组合和大地构造环境与 Rodinia 超大陆的演化过程具有很强的响应关系,这对 Rodinia 超大陆东北部的演化过程研究,具有重要意义。

参考文献/References

- [1] 表尚虎,李仰春,何晓华,等. 黑龙江省塔河绿林林场一带兴华渡口群岩石地球化学特征 [J]. 中国区域地质, 1999, 18 (1): 28 ~ 33.
BIAO Shanghu, LI Yangchun, HE Xiaohua, et al. The geochemical characteristics of the Xinghuadukou group in the Lulin forestry center, Tahe, Heilongjiang Province [J]. Regional Geology of China, 1999, 18 (1): 28 ~ 33. (in Chinese with English abstract)
- [2] 孙广瑞,李仰春,张昱. 额尔古纳地块基底地质构造 [J]. 地质与资源, 2002, 11 (3): 129 ~ 139.
SUN Guangrui, LI Yangchun, ZHANG Yu. The basement tectonics of Ergun massif [J]. Geology and Resources, 2002, 11 (3): 129 ~ 139. (in Chinese with English abstract)
- [3] 葛文春,隋振民,吴福元,等. 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (2): 423 ~ 440.
GE Wenchun, SUI Zhenmin, WU fuyuan, et al. Zircon U-Pb ages, Hf isotopic characteristics and their implications of the early Paleozoic granites in the northeastern Da Hinggan Mts., northeastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23

- (2): 423~440. (in Chinese with English abstract)
- [4] 武广. 大兴安岭北部区域成矿背景与有色、贵金属矿床成矿作用 [D]. 长春: 吉林大学, 2006, 31~36.
WU Guang. Metallogenic setting and metallogenesis of nonferrous-precious metals in northern Da Hinggan Mountain [D]. Changchun: Jilin University, 2006, 31~36. (in Chinese with English abstract)
- [5] 表尚虎, 赵海滨, 傅俊彧. 黑龙江黑河变质地层微古植物化石的发现 [J]. 中国区域地质, 2000, 19 (4): 445~447.
BIAO Shanghu, ZHAO Haibin, FU Junyu. Discovery of microflora fossils in metamorphic strata at Heihe, Heilongjiang [J]. Regional Geology of China, 2000, 19 (4): 445~447. (in Chinese with English abstract)
- [6] 赵硕, 许文良, 王枫, 等. 额尔古纳地块新元古代岩浆作用: 锆石 U-Pb 年代学证据 [J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40 (3): 573~587.
ZHAO Shuo, XU Wenliang, WANG Feng, et al. Neoproterozoic magmatism in the Erguna massif, NE China: Evidence from Zircon U-Pb geochronology [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2016, 40 (3): 573~587. (in Chinese with English abstract)
- [7] 表尚虎, 郑卫政, 周兴福. 大兴安岭北部锆石 U-Pb 年龄对额尔古纳地块构造归属的制约 [J]. 地质学报, 2012, 86 (8): 1262~1272.
BIAO Shanghu, ZHENG Weizheng, ZHOU Xingfu. Zircon U-Pb age of the north Da Hinggan Mts., NE China and its constraint to attribute of the Ergun block [J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86 (8): 1262~1272. (in Chinese with English abstract)
- [8] 李仰春, 周兴福, 李永秀, 等. 大兴安岭北段兴华渡口岩群多期褶皱解析及变质变形关系 [J]. 前寒武纪研究进展, 2000, 23 (1): 44~45.
LI Yangchun, ZHOU Xingfu, LI Yongxiu, et al. The relationship between the Metamorphism and Deformation of Xinghuadukou Rock group in north part Daxiang'anling [J]. Progress in Precambrian Research, 2000, 23 (1): 44~45. (in Chinese with English abstract)
- [9] 苗来成, 刘敦一, 张福勤, 等. 大兴安岭韩家园子和新林地区兴华渡口群和扎兰屯群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 [J]. 科学通报, 2007, 52 (5): 591~601.
MIAO Laicheng, LIU Dunyi, ZHANG Fuqin, et al. Zircon SHRIMP U-Pb ages of the "Xinghuadukou Group" in Hanjiayuanzi and Xinlin areas and the "Zhalantun Group" in Inner Mongolia, Da Hinggan Mountains [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52 (8): 1112~1124.
- [10] 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 大兴安岭北部塔河花岗岩体的时代及对额尔古纳地块构造归属的制约 [J]. 科学通报, 2005, 50 (12): 1239~1247.
GE Wenchun, WU Fuyuan, ZHOU Changyong, et al. Emplacement age of the Tahe granite and its constraints on the tectonic nature of the Ergun block in the northern part of the Da Hinggan Range [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50 (18): 2097~2105.
- [11] 赵超. 十六站幅 N51E024023 1/5 区域地质调查报告 [R]. 黑龙江地质调查总院, 2010.
ZHAO Chao. 1: 50000 regional geological survey report in Shiliuzhan [R]. General Institute of Geological Survey of Heilongjiang, 2010. (in Chinese)
- [12] 孙广瑞, 李庆业, 张天柱, 等. 东方红林场幅 N-51-(34) 1/20 万区域地质调查报告 [R]. 黑龙江地矿局第二区调大队, 1989.
SUN Guangrui, LI Qingye, ZHANG Tianzhu, et al. 1: 200000 regional geological survey report in Dongfanghonglinchang [R]. Heilongjiang Geological and Mining Bureau Second Zone Adjustment Brigade, 1989. (in Chinese)
- [13] 周兴福, 李仰春, 杨晓平, 等. 呼中镇幅 N51C004003 1/25 万区域地质调查报告 [R]. 黑龙江省地质调查总院齐齐哈尔分院第四地质队, 2000.
ZHOU Xingfu, LI Yangchun, YANG Xiaoping, et al. 1: 250000 regional geological survey report in Huzhongzhen [R]. The Fourth Geological Team of Qiqihar Branch of Heilongjiang General Survey Institute of Geology, 2000. (in Chinese)
- [14] 王洪波, 杨晓平. 大兴安岭北段新一轮国土资源大调查以来的主要基础地质成果与进展 [J]. 地质通报, 2013, 32 (2~3): 525~532.
WANG Hongbo, YANG Xiaoping. Main geological achievements and progress of the new round of national land and resources survey in north Daxinganling [J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32 (2~3): 525~532. (in Chinese with English abstract)
- [15] 潘桂堂, 肖庆辉. 中国大地构造图 (1: 2500000) [M]. 北京: 地质出版社, 2015, 36~37.
PAN Guitang, XIAO Qinghui. Explanatory note to the tectonic map of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015, 36~37. (in Chinese)
- [16] 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪 (LA-MC-ICPMS) 测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究 [J]. 矿物学报, 2009, 29 (S1): 600~601.
LI Huaikun, GENG Jianzhen, HAO Shuang, et al. Laser ablation multiple receiver plasma mass spectrometer (LA-MC-ICP-MS) determination of the isotope age of U-Pb in Zircon [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2009, 29 (S1): 600~601. (in Chinese)
- [17] Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, et al. Zircon M257-A homogeneous natural reference material for the ion microprobe U-Pb analysis of zircon [J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2008, 32 (3): 247~265.
- [18] 柳长峰, 刘文灿, 王慧平, 等. 华北克拉通北缘白乃庙组变质火山岩锆石定年与岩石地球化学特征 [J]. 地质学报, 2014, 88 (7): 1273~1287.
LIU Changfeng, LIU Wencan, WANG Huiping, et al. Geochronology and geochemistry of the bainaimiao metavolcanic rocks in the northern margin of North China Craton [J]. Acta

- Geologica Sinica, 2014, 88 (7): 1237 ~ 1287. (in Chinese with English abstract)
- [19] 路凤香, 桑隆康. 岩石学 [M]. 北京: 地质出版社, 2002, 319 ~ 320.
LU Fengxiang, SANG Longkang. Petrology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002, 319 ~ 320. (in Chinese)
- [20] 周世泰. 对 17 种恢复变质岩原岩的岩石化学方法的检验结果 [J]. 地质论评, 1984, 30 (1): 81 ~ 84.
ZHOU Shitai. Examination of 17 petrochemical methods of restoring protoliths of metamorphic rocks [J]. Geological Review, 1984, 30 (1): 81 ~ 84. (in Chinese with English abstract)
- [21] 王仁民, 贺高品, 陈珍珍, 等. 变质岩原岩图解判别法 [M]. 北京: 地质出版社, 1986.
WANG Renmin, HE Gaopin, CHEN Zhenzhen, et al. Diagrammatic identification of metamorphic rocks [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986. (in Chinese)
- [22] Zhou J B, Wilde S A. The crustal accretion history and tectonic evolution of the NE China segment of the Central Asian Orogenic Belt [J]. Gondwana Research, 2013, 23 (4): 1365 ~ 1377.