

# 佳木斯地块北部晚寒武世花岗闪长岩 U - Pb 年代学、 地球化学及其构造意义

王冠<sup>1,2</sup>, 王键<sup>1,2</sup>, 许成瀚<sup>1,2</sup>, 范兴竹<sup>1,2</sup>

(1 黑龙江科技大学矿业工程学院, 哈尔滨 150022;

2 黑龙江省昂昂溪实物地质资料野外科学观测研究站, 齐齐哈尔 161031)

**摘要:**研究目的:厘定岩石形成时代,探讨岩浆源区和岩石形成的构造环境。研究方法:锆石 U - Pb 年代学和岩石地球化学分析。研究结果:卫国村似斑状花岗闪长岩呈岩株状产出。年代学研究表明似斑状花岗闪长岩中锆石 LA - ICP - MS U - Pb 加权平均年龄为  $500.9 \pm 1.5$  Ma, MSWD = 0.42, 属晚寒武世。岩石地球化学研究显示其主量元素  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{MgO}$  含量分别为 61.28% ~ 67.28%、14.06% ~ 16.42% 和 2.40% ~ 3.60%, 全碱含量为 6.09% ~ 6.95%, 属准铝质高钾钙碱性系列花岗岩。似斑状花岗闪长岩样品富集大离子亲石元素 (Rb、K、Th), 相对亏损高场强元素 (Nb、Ta、P、Sr、Ti) 和重稀土元素,  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  为 4.12 ~ 9.59, 具有弱的 Eu 负异常 ( $\delta\text{Eu} = 0.56 \sim 0.91$ )。综合分析认为, 研究区似斑状花岗闪长岩样品岩浆源区为下地壳的镁铁质岩石, 可能有不同程度的新生地壳物质的加入。结合区域构造演化和构造判别, 本文为岩石形成于碰撞后伸展的构造环境, 为加厚的镁铁质地壳部分熔融的产物。

**关键词:**花岗闪长岩; 晚寒武世; 锆石 U - Pb 年龄; 地球化学; 构造环境; 佳木斯地块

**中图分类号:** P597      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672 - 2736(2024)01 - 0038 - 9

## 0 引言

黑龙江省东部的佳木斯地块大地构造位置位于中亚造山带东段, 主要出露面积不等的兴东群、麻山群和黑龙江群。前人对该区广泛出露的麻山群和黑龙江群变质岩系进行了详细的年代学研究并取得了长足进展。其中以佳木斯地块麻山群早古生代变质年龄的报道和黑龙江杂岩的提出为代表<sup>[1,2]</sup>, 同时取得了地块的主体形成于寒武纪的泛非事件的认识<sup>[3,4]</sup>。此外, 对于兴东群、麻山群关系密切的早古生代花岗质岩石的研究主要集中在佳木斯地块南部西麻山、柳毛等地, 而对其北部桦南隆起带附近出露的早古生代花岗岩的研究相对薄弱。本文对佳木斯地块北部双鸭山地区侵位于兴东群的早古生代似斑状

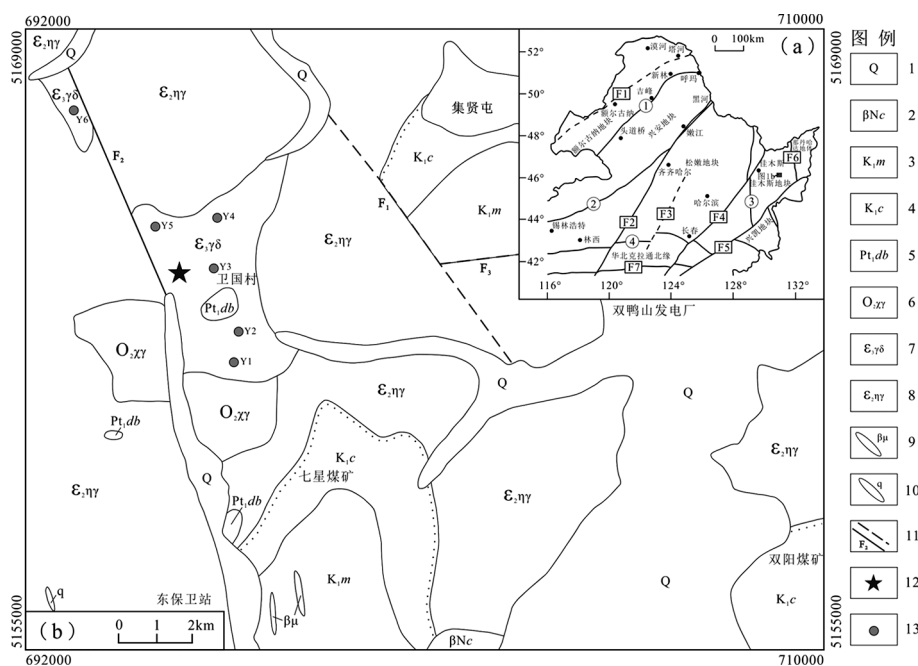
花岗闪长岩进行了年代学及地球化学方面的研究, 厘定了岩石形成时代, 探讨了岩浆源区和岩石形成的构造环境。本次工作不仅可为佳木斯地块早古生代构造 - 岩浆演化的研究提供新的资料, 而且对黑龙江东部地质历史的重建和古构造格局的恢复有重要的意义。

## 1 地质背景

佳木斯地块位于黑龙江省东部, 是我国东北地区的一个重要大地构造单元, 其西为松嫩地块, 东面与完达山地体相连, 向北延入布列亚地块, 南部为延边杂岩带及兴凯地块, 周边以断层为界, 主要由位于鸡西、牡丹江、桦南和萝北等地区出露面积不等的黑龙江杂岩、兴东群和麻山群组成(图 1a)。研究区位于佳木斯地块北部的桦

收稿日期: 2024 - 02 - 09      修稿日期: 2024 - 02 - 27

项目资助: 本文受黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划(UNPYSCT - 2020030)资助



1 - 第四系; 2 - 新近系船底山组玄武岩; 3 - 白垩系下统穆棱组砂岩、含砾砂岩; 4 - 白垩系下统城子河组砂岩、含砾砂岩; 5 - 下元古界兴东岩群大盘道岩组; 6 - 中奥陶世碱长花岗岩; 7 - 晚寒武世似斑状花岗闪长岩; 8 - 中寒武世二长花岗岩; 9 - 闪长玢岩; 10 - 石英脉; 11 - 实测及推测断层; 12 - 年代学样品取样位置; 13 - 岩石地球化学样品取样位置; F1 - 德尔布干断裂; F2 - 嫩江 - 八里山断裂; F3 - 松辽盆地中央断裂; F4 - 佳木斯 - 依兰断裂; F5 - 敦化 - 密山断裂; F6 - 玉金山断裂; F7 - 赤峰 - 开元断裂; ① - 新林 - 喜桂图缝合带; ② - 黑河 - 贺根山缝合带; ③ - 牡丹江 - 依兰缝合带; ④ - 索伦 - 西拉木伦 - 长春 - 延吉缝合带。

图 1 研究区地质简图

南隆起带西侧, 主体由花岗质侵入体组成, 古元古界兴东群大盘道组以残留体形式分布在岩体中(图 1b)。区内花岗岩可分为两类: 其一为寒武纪似斑状花岗闪长岩、二长花岗岩, 具有不同程度的片麻理; 另一类为中奥陶世碱长花岗岩, Rb - Sr 年龄为 415.5Ma。本区变质基底为兴东群, 岩性为一套变质程度相当于低角闪岩相, 局部高角闪岩相的变质岩组合, 岩性主要为大理岩、变粒岩、混合岩、石英岩、片岩等变质岩。兴东群由一套以大理岩、片岩、片麻岩、变粒岩等为主的变质岩组成, 该套变质岩以角闪岩相变质为主, 其高、低角闪岩相变质温度分别为 650℃、500 ~ 550℃, 变质压力为 0.6 ~ 0.7GPa, 并在变质峰期阶段保持稳定。

## 2 岩相学特征及样品描述

本次锆石 U - Pb 测年样品和岩石地球化学

样品均取自双鸭山卫国村西侧的似斑状花岗闪长岩, 其中锆石 U - Pb 测年样品 1 件(东经 131° 33' 54", 北纬 46° 24' 03"), 岩石地球化学样品 6 件。似斑状花岗闪长岩具似斑状结构, 弱片麻状构造, 岩石由斑晶(5%)和基质(95%)组成。斑晶为斜长石, 粒径在 5mm ~ 8mm; 基质由斜长石、石英、黑云母、角闪石和少量碱性长石组成。主要矿物特点为: 斜长石(55% ~ 60%), 自形 - 半自形板柱状, 聚片双晶发育, 可见卡 - 钠复合双晶, 粒径在 0.2mm ~ 3mm。石英(20% ~ 25%), 它形成不规则状充填于板状斜长石等矿物之间, 粒径为 0.1mm ~ 3mm。黑云母(10% ~ 15%), 半自形 - 它形片状, 棕褐色, 具多色性, 局部可见绿泥石化和绿帘石化, 粒径为 0.05mm ~ 1mm。角闪石含量约 5%, 半自形柱状, 具淡黄色 - 绿色的多色性, 粒径为 0.2mm ~ 1mm。副矿物主要为锆石、磷灰石和磁铁矿等。

表1 卫国村似斑状花岗岩闪长岩中锆石 U-Pb 同位素 LA-MC-ICP-MS 方法定年分析结果

Analysis	Pb	Th ( $\times 10^{-6}$ )	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
					Ratio	1 $\sigma$	Ratio	1 $\sigma$	Ratio	1 $\sigma$	Age(Ma)	1 $\sigma$	Age(Ma)	1 $\sigma$	Age(Ma)	1 $\sigma$
EBU-N2-1	108	554	1324	0.42	0.0574	0.0001	0.6342	0.0031	0.0802	0.0006	506	4	499	2	497	3
EBU-N2-2	83	457	1003	0.46	0.0574	0.0001	0.6330	0.0031	0.0800	0.0006	505	4	498	2	496	4
EBU-N2-3	66	340	801	0.43	0.0574	0.0001	0.6358	0.0033	0.0803	0.0006	509	4	500	3	498	4
EBU-N2-4	34	187	403	0.46	0.0580	0.0002	0.6442	0.0041	0.0806	0.0007	528	7	505	3	500	4
EBU-N2-5	94	569	1120	0.51	0.0576	0.0001	0.6398	0.0034	0.0806	0.0006	514	4	502	3	500	4
EBU-N2-6	57	298	690	0.43	0.0581	0.0001	0.6417	0.0042	0.0802	0.0007	532	5	503	3	497	4
EBU-N2-7	120	684	1440	0.47	0.0581	0.0002	0.6459	0.0029	0.0806	0.0006	534	6	506	2	500	4
EBU-N2-8	89	578	1031	0.56	0.0584	0.0001	0.6505	0.0040	0.0808	0.0007	545	5	509	3	501	4
EBU-N2-9	133	737	1592	0.46	0.0573	0.0001	0.6410	0.0042	0.0811	0.0007	504	4	503	3	503	4
EBU-N2-10	88	497	1038	0.48	0.0576	0.0001	0.6446	0.0038	0.0811	0.0007	515	5	505	3	503	4
EBU-N2-11	76	504	886	0.57	0.0576	0.0001	0.6439	0.0053	0.0811	0.0008	514	5	505	4	503	5
EBU-N2-12	65	357	784	0.45	0.0581	0.0001	0.6462	0.0045	0.0806	0.0007	535	6	506	3	500	4
EBU-N2-13	88	641	1011	0.63	0.0582	0.0001	0.6489	0.0050	0.0809	0.0008	536	5	508	4	502	5
EBU-N2-14	83	463	990	0.47	0.0582	0.0002	0.6471	0.0048	0.0806	0.0007	537	6	507	4	500	4
EBU-N2-15	93	1188	1044	1.14	0.0580	0.0001	0.6410	0.0047	0.0801	0.0007	531	5	503	4	497	5
EBU-N2-16	64	377	765	0.49	0.0572	0.0002	0.6373	0.0042	0.0809	0.0006	497	6	501	3	501	4
EBU-N2-17	87	584	1008	0.58	0.0572	0.0001	0.6388	0.0035	0.0811	0.0006	498	4	502	3	502	4
EBU-N2-18	58	345	679	0.51	0.0574	0.0002	0.6420	0.0062	0.0811	0.0009	507	7	504	5	503	6
EBU-N2-19	101	616	1170	0.53	0.0577	0.0001	0.6507	0.0063	0.0818	0.0009	518	5	509	5	507	6
EBU-N2-20	95	678	1183	0.57	0.0579	0.0001	0.6525	0.0031	0.0817	0.0006	527	4	510	2	506	4
EBU-N2-21	130	774	1523	0.51	0.0578	0.0001	0.6484	0.0045	0.0814	0.0007	522	4	507	4	504	4
EBU-N2-22	70	423	820	0.52	0.0582	0.0001	0.6500	0.0042	0.0810	0.0006	537	5	508	3	502	4
EBU-N2-23	45	318	603	0.53	0.0573	0.0001	0.6383	0.0036	0.0808	0.0006	503	5	501	3	501	4
EBU-N2-24	68	394	824	0.48	0.0577	0.0001	0.6463	0.0034	0.0812	0.0006	519	5	506	3	503	4
EBU-N2-25	60	330	711	0.46	0.0588	0.0002	0.6545	0.0046	0.0808	0.0007	558	6	511	4	501	4
EBU-N2-26	127	625	1562	0.40	0.0575	0.0001	0.6435	0.0039	0.0811	0.0007	512	4	504	3	503	4
EBU-N2-27	85	612	993	0.62	0.0581	0.0001	0.6482	0.0040	0.0810	0.0006	532	5	507	3	502	4
EBU-N2-28	85	525	1003	0.52	0.0577	0.0001	0.6423	0.0039	0.0808	0.0006	518	4	504	3	501	4

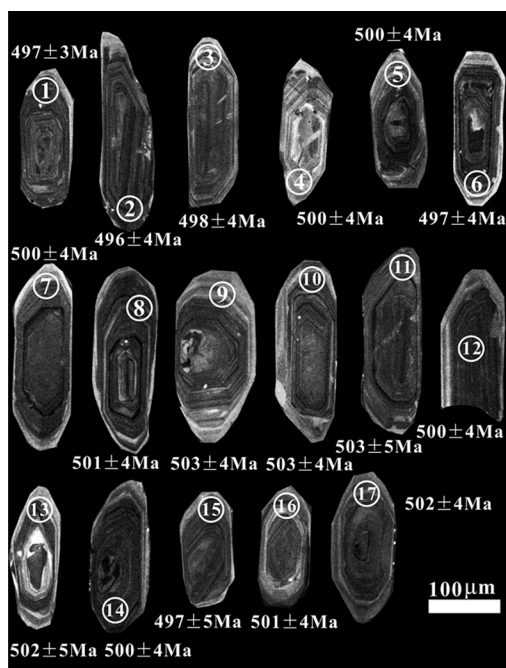


图2 似斑状花岗闪长岩锆石阴极发光 (CL) 图像 (圆圈数字代表 U - Pb 分析点, 编号同表 1)

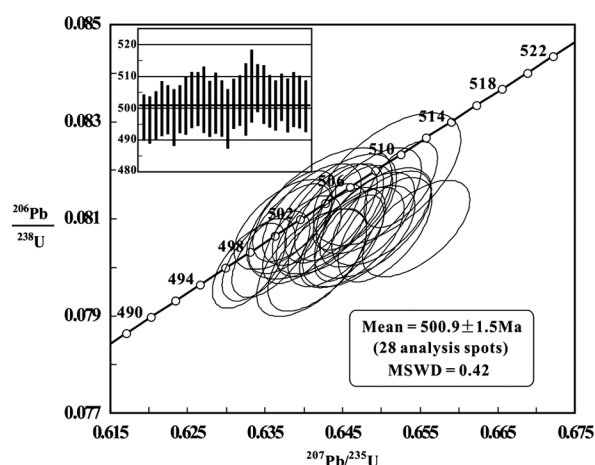


图3 似斑状花岗闪长岩中锆石的 U - Pb 年龄谐和图

### 3 测试结果

#### 3.1 锆石 LA - ICP - MS 年代学

似斑状花岗闪长岩中锆石为无色到浅褐色, 颗粒柱面晶型较好, 多为长柱状或短柱状, 长宽比介于 2:1 - 3:1 之间。部分锆石的阴极发光 (CL) 图像及分析点位见图 2, 大部分锆石具有清晰的韵律环带, 具有岩浆结晶锆石特征。本次对似斑状花岗闪长岩样品 (EBU - N2) 中 28 颗锆石分析了 28 个点, 分析结果见表 1。样品中锆石 U 质量分数为  $(403 - 1592) \times 10^{-6}$ , Th 质量分数为  $(187 - 1188) \times 10^{-6}$ , 28 个锆石分析点的 Th/U 比值介于 0.40 - 1.14 之间, 反映出岩浆成因的特征。28 个锆石分析点的测试数据较集中, 全部落在谐和线上及其附近 (图 3), 其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  的加权平均年龄为  $500.9 \pm 1.5\text{Ma}$  (MSWD = 0.42, n = 28)。该年龄应代表岩浆的结晶年龄, 属晚寒武世。

#### 3.2 地球化学特征

##### 3.2.1 主量元素

卫国村似斑状花岗闪长岩体的主量元素分

析结果列于表 2。样品  $\text{SiO}_2$  含量变化范围为 61.28% ~ 67.28%, 平均为 63.03%, 属中酸性岩石;  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 6.09\% \sim 6.95\%$ , 平均为 6.57%;  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0.61 \sim 1.03$ , 平均为 0.78; MgO 含量介于 2.40% ~ 3.60%, 平均为 3.06%; CaO 含量介于 4.00% ~ 5.40%, 平均为 4.91%。样品在  $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  岩石分类图解 (图 4a) 上主要落在闪长岩和花岗闪长岩区域。在  $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$  图解 (图 4b) 上, 样品均落入高钾钙碱性区域。岩石样品  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量介于 14.06% ~ 16.42%, 平均为 15.58%, 铝饱和指数  $(\text{A}/\text{CNK}) = 0.84 \sim 0.90$ , 显示准铝质花岗岩特征。综上可知, 研究区中酸性侵入岩具有准铝质高钾钙碱性系列花岗岩的主量元素特征。

##### 3.2.2 稀土微量元素

本区似斑状花岗闪长岩样品的  $\Sigma\text{REE}$  含量介于  $196.53 \times 10^{-6} \sim 269.04 \times 10^{-6}$  之间, 平均值  $229.13 \times 10^{-6}$ ; LREE/HREE 值介于 5.48 ~ 9.39, 平均值 7.72;  $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$  值介于 4.12 ~ 9.59, 平均值 7.06;  $\delta\text{Eu}$  变化范围为 0.56 ~ 0.91, 平均值 0.66, 具弱的 Eu 负异常。样品在球粒陨石标准化稀土元素配分图中 (图 5a), 均显示出轻稀

土元素富集的右倾配分模式。在原始地幔标准化微量元素蛛网图上(图 5b),花岗闪长岩样品富集大离子亲石元素(Rb、K、Th),相对亏损高

场强元素(Nb、Ta、P、Sr、Ti)。Nb、Ta 的相对亏损显示出壳源岩石的成分特征或与俯冲组分的影响有关。

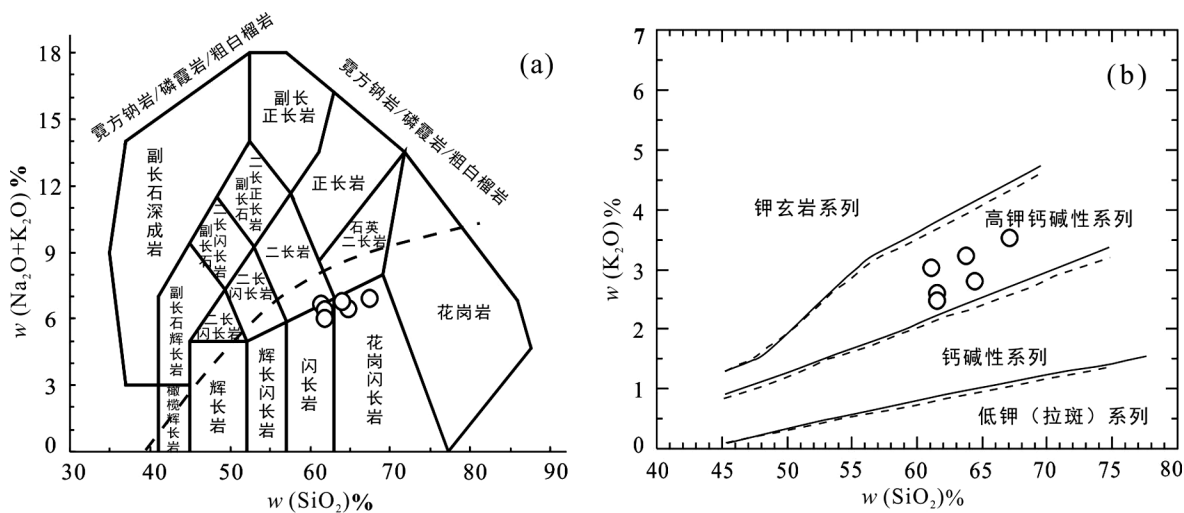


图 4 卫国村似斑状花岗闪长岩分类图解

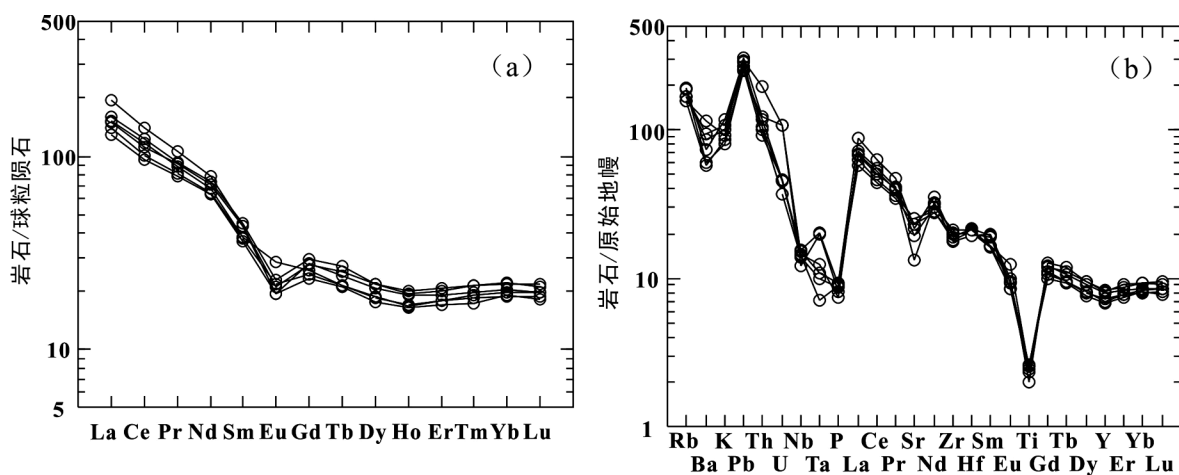


图 5 卫国村似斑状花岗闪长岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)

表 2 卫国村似斑状花岗闪长岩的主量元素、稀土元素和微量元素含量及有关参数

样品号	WGCG - Y1	WGCG - Y2	WGCG - Y3	WGCG - Y4	WGCG - Y5	WGCG - Y6
SiO <sub>2</sub>	61.70	61.66	61.28	61.70	67.28	64.58
TiO <sub>2</sub>	0.67	0.77	0.71	0.80	0.61	0.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.42	16.30	16.17	15.69	14.06	14.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.79	1.05	0.19	1.14	1.39	1.64
FeO	3.87	3.82	4.63	3.88	2.74	3.28
MnO	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
MgO	3.10	3.32	3.44	3.60	2.40	2.51
CaO	5.40	5.32	5.32	5.40	4.00	4.04

续表

样品号	WGCG - Y1	WGCG - Y2	WGCG - Y3	WGCG - Y4	WGCG - Y5	WGCG - Y6
Na <sub>2</sub> O	3.92	4.00	3.72	3.51	3.43	3.69
K <sub>2</sub> O	2.82	2.45	3.00	2.58	3.52	2.78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.18	0.18	0.20	0.12	0.17
LOI	0.50	0.64	0.80	1.48	0.40	0.78
Total	99.47	99.60	99.54	100.08	100.05	99.15
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.72	0.61	0.81	0.74	1.03	0.75
Mg#	54.67	55.40	56.09	56.67	51.74	48.47
A/CNK	0.85	0.86	0.85	0.85	0.84	0.90
La	35.84	46.57	60.17	39.91	49.92	47.58
Ce	77.37	89.97	112.40	78.16	98.65	94.22
Pr	10.51	11.07	13.03	9.55	11.40	10.85
Nd	44.77	43.06	47.59	37.85	44.04	41.00
Sm	9.61	8.47	8.53	7.13	8.72	7.40
Eu	1.68	1.56	1.43	1.43	1.67	2.09
Gd	8.61	7.10	7.22	5.98	7.58	6.61
Tb	1.42	1.20	1.14	1.00	1.28	1.02
Dy	8.41	6.97	6.67	5.62	7.00	6.03
Ho	1.68	1.40	1.37	1.18	1.44	1.21
Er	5.08	4.20	3.99	3.59	4.32	3.72
Tm	0.86	0.69	0.64	0.56	0.69	0.62
Yb	5.86	4.58	4.23	3.99	4.62	4.13
Lu	0.87	0.70	0.63	0.58	0.68	0.63
ΣREE	212.57	227.54	269.04	196.53	242.01	227.11
LREE/HREE	5.48	7.48	9.39	7.73	7.77	8.47
(La/Yb) <sub>N</sub>	4.12	6.86	9.59	6.74	7.28	7.77
δEu	0.56	0.62	0.56	0.67	0.63	0.91
Rb	119	119	106	101	122	100
Sr	540	487	455	492	278	405
Ba	424	420	604	406	516	806
Ga	26.12	23.81	22.28	24.03	19.43	20.11
Y	46.11	37.64	36.25	31.15	37.41	31.85
Zr	282	228	212	220	199	235
Nb	12.29	10.07	10.70	11.09	10.34	8.75
Ta	0.67	0.29	0.45	0.83	0.51	0.82
Hf	8.10	6.10	6.70	6.20	6.00	6.60
Th	7.23	9.96	8.86	7.83	16.57	10.50
U	1.35	0.97	0.95	0.96	2.25	2.24
Cr	32.40	36.10	29.30	23.30	33.60	13.10
V	75.60	63.70	60.90	62.00	65.60	64.60
Nb/Ta	18.34	34.72	23.78	13.36	20.27	10.67
Rb/Sr	0.22	0.24	0.23	0.20	0.44	0.25

注: A/CNK = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / (CaO + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O), 分子比; K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 重量比。

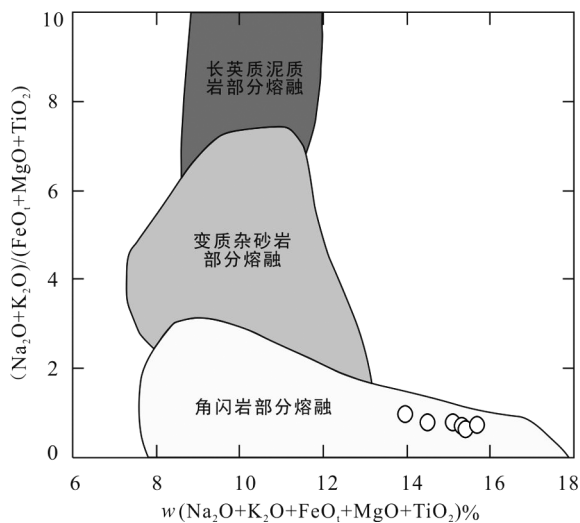


图 6 卫国村似斑状花岗闪长岩岩石源区判别图

## 4 讨论

### 4.1 岩浆源区

本区似斑状花岗闪长岩样品具有中等的  $\text{SiO}_2$  含量 (61.28% ~ 67.28%) 和全碱含量 (6.09% ~ 6.95%), 富集大离子亲石元素, 相对亏损高场强元素, 显示出壳源岩浆的成分特征。在岩石源区判别图解(图 6)中, 样品均落入角闪岩部分熔融区域, 反映出其岩浆源区应为下地壳的镁铁质岩石。此外, 样品具有较高  $\text{Mg\#}$  值 (48.47 ~ 53.84) 和  $\text{Cr}$  含量 (平均值  $27.97 \times 10^{-6}$ ), 岩石样品的  $\text{Nb/Ta}$  比值为 10.67 ~ 34.72, 平均值 20.19, 略高于地幔平均值 (约 15.5 ~ 19.5), 又指示出幔源岩浆的贡献。已有研究显示, 佳木斯地块寒武纪花岗质岩石锆石  $\text{Hf}$  同位素具有相对低的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  值 (0.282247 ~ 0.282599) 和相对较古老的  $\text{Hf}$  同位素二阶段模式年龄 (1173Ma ~ 2280Ma), 而且绝大多数锆石具有正的  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值 (+0.2 ~ +4.8), 锆石  $\text{Hf}$  同位素特征暗示区域上花岗质岩石源区为古元古代 - 中元古代地壳, 可能有不同程度的新生地壳物质的加入<sup>[5]</sup>。综合分析认为, 本区似斑状花岗闪长岩样品岩浆源区为下地壳的镁铁质岩石, 可能有不同程度的新生地壳物质的加入。

### 4.2 构造环境及地质意义

本区似斑状花岗闪长岩样品在  $\text{Rb} - (\text{Y} +$

$\text{Nb})$  构造环境判别图解 (图 7) 中落入后碰撞花岗岩区域, 显示本区花岗岩的形成与碰撞作用有关。已有研究显示佳木斯地块早古生代岩浆岩类型主要为正长花岗岩、石英正长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩。Bi et al. (2014) 报道了佳木斯地块东部花岗质岩石锆石  $\text{U} - \text{Pb}$  年龄为 530Ma ~ 484Ma, 认为该期花岗质岩石形成于碰撞后伸展的构造环境<sup>[6]</sup>。Yang et al. (2014) 在佳木斯地块识别出泛非事件晚期 3 个阶段的岩浆活动, 分别为正长花岗岩 (约 540Ma)、石英正长岩 (约 515Ma) 和二长花岗岩 (约 500Ma), 认为佳木斯地块 541Ma ~ 498Ma 花岗质侵入岩形成于碰撞后或造山后伸展的构造环境, 该期岩浆活动与泛非造山事件晚期的垮塌作用有关<sup>[5]</sup>。Wang et al. (2016) 在佳木斯地块西侧的松嫩 - 张广才岭地块识别出 4 期早古生代岩浆活动, 其中形成于中寒武世的二长花岗岩 (约 505Ma) 和晚寒武世的石英二长岩、二长花岗岩 (约 490Ma) 与佳木斯地块早古生代花岗质岩石形成于相似的构造环境<sup>[7]</sup>。研究区位佳木斯地块北部, 本区似斑状花岗闪长岩锆石  $\text{U} - \text{Pb}$  年龄为  $500.9 \pm 1.5\text{Ma}$ , 属晚寒武世, 结合区域构造演化, 本文认为岩石形成于碰撞后伸展的构造环境, 为加厚的镁铁质下地壳部分熔融的产物。

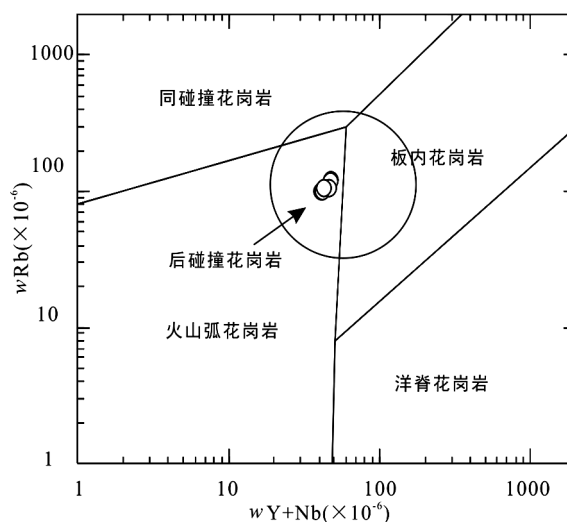


图 7 卫国村似斑状花岗闪长岩构造环境判别图

## 5 结论

(1) 卫国村似斑状花岗闪长岩的锆石 LA - ICP - MS U - Pb 加权平均年龄为  $500.9 \pm 1.5$  Ma, MSWD = 0.42, 属晚寒武世。

(2) 卫国村似斑状花岗闪长岩具有中等的二氧化硅和全碱含量, 岩石富集大离子亲石元素 (Rb、K、Th) 和轻稀土元素, 相对亏损高场强元素 (Nb、Ta、P、Sr、Ti) 和重稀土元素, 具有弱的铀负异常, 属准铝质高钾钙碱性系列花岗岩。

(3) 卫国村似斑状花岗闪长岩样品岩浆源区为下地壳的镁铁质岩石, 可能有不同程度的新生地壳物质的加入, 岩石形成于碰撞后伸展的构造环境, 为加厚的镁铁质下地壳部分熔融的产物。

### 参考文献 (References):

- [1] Wilde S A, Zhang X Z, and Wu F Y. Extension of a newly identified 500Ma metamorphic terrane in North East China: Further U - Pb SHRIMP dating of the Mashan Complex, Heilongjiang Province, China[J]. Tectonophysics, 2000, 328(1 - 2): 115 - 130.
- [2] 温泉波, 刘永江, 李伟民等. 佳木斯地块花岗质片麻岩的独居石年龄及其地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38(2): 187 - 193.
- [3] 吴福元, Wilde S A, 孙德有. 佳木斯地块片麻状花岗岩的锆石离子探针 U - Pb 年龄[J]. 岩石学报, 2001, 17(3): 443 - 452.
- [4] Zhou J B, Wilde S A, Zhang X Z, et al. A > 1300km Late Pan - African metamorphic belt in NE China: New evidence from the Xing'an block and its tectonic implications [J]. Tectonophysics, 2011, 509(3 - 4): 280 - 292.
- [5] Yang H, Ge W C, Zhao G C, et al. Geochronology and geochemistry of Late Pan - African intrusive rocks in the Jiamusi - Khanka Block, NE China: petrogenesis and geodynamic implications[J]. Lithos 2014, 208 - 209: 220 - 236.
- [6] Bi J H, Ge W C, Yang H, et al. Petrogenesis and tectonic implications of early Paleozoic granitic magmatism in the Jiamusi Massif, NE China: geochronological, geochemical and Hf isotopic evidence[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 96(15): 308 - 331.
- [7] Wang Z W, Xu W L, Pei F P, et al. Geochronology and geochemistry of early Paleozoic igneous rocks of the Lesser Xing'an Range, NE China: Implications for the tectonic evolution of the eastern Central Asian Orogenic Belt[J]. Lithos 2016, 261: 144 - 163.

### 作者简介:

第一作者/通讯作者: 王冠, 1984年生, 男, 黑龙江佳木斯人, 博士, 高级工程师, 黑龙江科技大学, 金属矿床成矿作用与区域成矿规律研究, E-mail: red\_moon2002@163.com

## Geochronology, Geochemistry and Tectonic Implication of Late Cambrian Granodiorite in the Northern Jiamusi Block

WANG Guan<sup>1,2</sup>, WANG Jian<sup>1,2</sup>, XU Chenghan<sup>1,2</sup>, FAN Xingzhu<sup>1,2</sup>

(1 School of Mining Engineering, Heilongjiang University of Science & Technology, Harbin, 150022, China;

2 Ang'angxi Physical Geological Data Field Observation and  
Research Station of Heilongjiang Province, Qiqihar, 161031, China)

**Abstract:** The purposes of this paper are to determine the zircon U – Pb age, explore the magmatic origin and the tectonic setting. The research methods include geochronology analysis as well as geochemistry analysis. Zircon U – Pb dating demonstrates that the weighted mean  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age for the zircons from the porphyric granodiorite is  $500.9 \pm 1.5$  Ma (MSWD = 0.42), i. e., the Late Cambrian. The geochemical data indicate that the contents of  $\text{SiO}_2$  (61.28% ~ 67.28%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2.40% ~ 3.60%),  $\text{MgO}$  (2.40% ~ 3.60%),  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  (6.09% ~ 6.95%). The rocks belong to the metaluminous high – K calc – alkaline series. The porphyric granodiorites are enriched in large ion lithophile elements (Rb, K, Th), and relatively depleted in Nb, Ta, P, Sr, Ti and HREEs with high  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  ratios (4.12 ~ 9.59) and negative Eu anomaly ( $\delta\text{Eu}$  0.56 ~ 0.91). Element data demonstrate that the intrusion was produced by the partial melting of thickened mafic lower crust with possible different degrees of addition of juvenile materials. Combined with regional tectonic evolution and discrimination of tectonic setting, we suggest that the porphyric granodiorite was formed in the post – collision setting, which was probably related to the partial melting of a thickened mafic lower crust.

**Key words:** granodiorite; late cambrian; zircon U – Pb age; geochemistry; tectonic setting; Jiamusi block