

# 江西萍乡富铷花岗细晶岩脉的 地质特征及成因分析

岳红娇<sup>1\*</sup>, 李雪<sup>1</sup>, 谢玉江<sup>1</sup>, 尹锋<sup>2</sup>, 胡祥猛<sup>1</sup>

(1.江西省地质局 第四地质大队,江西 萍乡 337000;2.湖南科技大学 地球科学与空间信息工程学院,湖南 湘潭 411201)

**摘要:**江西萍乡地区出露的花岗细晶岩富含铷,相关研究较少.为了解铷矿床的地质特征及其成因,在野外调查的基础上,采用偏光显微镜、XRF、LA-ICPMS 等测试手段,对矿区的花岗细晶岩和二云母花岗岩的主微量元素、锆石年龄等进行综合分析研究.经研究表明:矿区的花岗细晶岩以岩脉的形式产出,宽几米到几十米,长数百米到数千米;花岗细晶岩主要由长石、云母和石英组成,具有富硅( $\text{SiO}_2$  平均质量分数 74.71%)的特征,里特曼指数为 1.21,铝饱和指数为 2.15,属于过铝质钙碱性花岗岩;花岗细晶岩中铷的平均质量分数为  $543 \times 10^{-6}$ ,Zr/Hf 较高 (25.36~35.31),Nb/Ta 较低 (3.13~4.18),显示出高分异花岗岩的特点.综上所述,萍乡地区花岗细晶岩中的 Rb 和 Sr 的含量呈互补关系,Zr/Hf<36.70,Nb/Ta<5.00,且矿区附近出露的二云母花岗岩同样具有较高的铷含量(平均质量分数为  $319.6 \times 10^{-6}$ ),高分异的花岗岩可能造成铷等不相容元素的富集.

**关键词:**铷矿床;花岗细晶岩;成因分析;地质特征;萍乡地区

中图分类号:P56 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2024)01-0041-09

## Geological Characteristics and Genesis of Rb Rich Granitic Aplite in the Pingxiang Area, Jiangxi Province

YUE Hongjiao<sup>1</sup>, LI Xue<sup>1</sup>, XIE Yujiao<sup>1</sup>, YIN Feng<sup>2</sup>, HU Xiangmeng<sup>1</sup>

(1. The Forth Geological Brigade, Jiangxi Geological Bureau, Pingxiang 337000, China;

2. School of Earth Science and Geomatics Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** Granitic aplite in the Pingxiang area, Jiangxi Province is enriched in rubidium (Rb), but no studies have been reported. In order to understand the geological characteristics and genesis of rubidium deposit, this paper studies the major and trace elements and zircon U-Pb dating of the granitic aplite and mica granite in the mining area by polarizing microscope, XRF, and LA-ICPMS after field investigation. The granitic aplite rocks occur as dikes ranging from several meters to tens of meters in width and hundreds of meters to thousands of meters in length. They are mainly composed of feldspar, mica, and quartz, and are rich in  $\text{SiO}_2$  (average 74.71%), with  $\delta = 1.21$  and  $A/CNK = 2.15$ , belonging to peraluminous calc-alkaline granite. The average concentration of Rb is  $543 \times 10^{-6}$ , and the Zr/Hf ratio is higher (25.36~35.31), while the Nb/Ta ratio is lower (3.13~4.18), indicating the characteristics of highly differentiated granite. The contents of Rb and Sr in the granitic fine-grained rocks in Pingxiang area are complementary, Zr/Hf<36.70 and Nb/Ta<5.00. The bimica granites exposed near the mining area also have high rubidium content (average  $319.6 \times 10^{-6}$ ), indicating that the highly differentiated granites may cause the enrichment of rubidium and other incompatible elements.

**Keywords:** rubidium deposit; granitic aplite; cause analysis; geological characteristics; Pingxiang area

铷是一种碱金属元素,位于元素周期表的第IA主族.铷具有良好的导电性、导热性、光电特性及强烈的化学活性,是电子和航天等高精尖领域不可或缺的重要金属原料,被美国、日本和中国列为战略性关键金属<sup>[1-3]</sup>.因此,寻找铷等战略性金属矿产,满足它们的持续安全供给,对国计民生和国家安全至关重要<sup>[4]</sup>.铷资源主要赋存于花岗伟晶岩、卤水和钾盐矿中,其中花岗伟晶岩是开采主力<sup>[5]</sup>.我国铷矿被分为花岗岩型矿床、伟晶岩型矿床、热液型矿床、盐湖卤水型矿床及油气田水型矿床等5类;国外的铷矿主要有伟晶岩型矿床、光卤石-钾盐矿床、盐湖卤水型矿床、油气田水型矿床、矿泉水型矿床、海水型矿床等6类<sup>[5]</sup>.我国花岗岩型铷矿多形成于中生代<sup>[5]</sup>,特别在燕山期有广泛的断裂运动和大规模岩浆活动,造成大面积岩浆岩分布.铷是稀有分散金属,在自然界很难形成独立矿物<sup>[6]</sup>,常以类质同象的形式置换钾而存在于钾长石、云母、铯榴石等矿物中.根据赋存矿物,铷资源可分为云母型和长石型,我国以长石型为主<sup>[7]</sup>.富铷的花岗岩出露面积较小,常呈岩株、岩枝、岩脉等形式产出.近年来,我国陆续发现一批含铷多金属矿,例如甘肃国宝山铷多金属矿<sup>[7]</sup>、广东天堂山锡钨铷多金属矿<sup>[8]</sup>、内蒙古石灰窑铷多金属矿<sup>[9]</sup>等,但这些基本上是伴生矿产,铷矿资源先天不足的格局尚未有实质性改变.我国铷精矿产量较小,不能满足国内市场需求,而国内发现的铷矿普遍存在品位低( $Rb_2O$ 质量分数为0.1%~0.2%)、选冶困难(绝大多数赋存在天河石中)等情况<sup>[10]</sup>,目前无法回收利用.

江西是我国铷资源的主要产地<sup>[5]</sup>,其境内的萍乡地区出露有花岗细晶岩脉,早期作为瓷石矿被开采,最近的地质调查发现该地区富集铷.为了解萍乡地区铷矿床的地质特征及其成因,本文在野外调查的基础上,采用偏光显微镜、XRF、LA-ICPMS等测试手段,对矿区的花岗细晶岩和二云母花岗岩的主微量元素、锆石年龄等进行初步研究.

## 1 地质背景

萍乡地区位于扬子板块与华夏板块两大构造单元的结合部,其结合带即为钦杭成矿带的“萍乡—绍兴缝合断裂带”的西段.

萍乡地区的花岗细晶岩以岩脉的形式产出,主要分布在芦溪县境内的南坑镇和长丰镇,另外芦溪县宣风镇和莲花县坊楼镇也有少量分布,整体上呈北东-南西及北-南向展布.矿区地层主要有青白口系浅变质岩(千枚岩、变质砂岩),泥盆系砂岩、泥岩、灰岩,以及二叠系砂岩、灰岩、白云岩,三者矿区广泛出露,占矿区面积三分之二以上,花岗细晶岩脉出露在上述三个时代的地层中.矿区断裂构造发育,走向以北东-南西及北-南为主,是多个时代的地层界线,青白口系与上覆地层均为断层接触.矿区地质分布如图1所示.

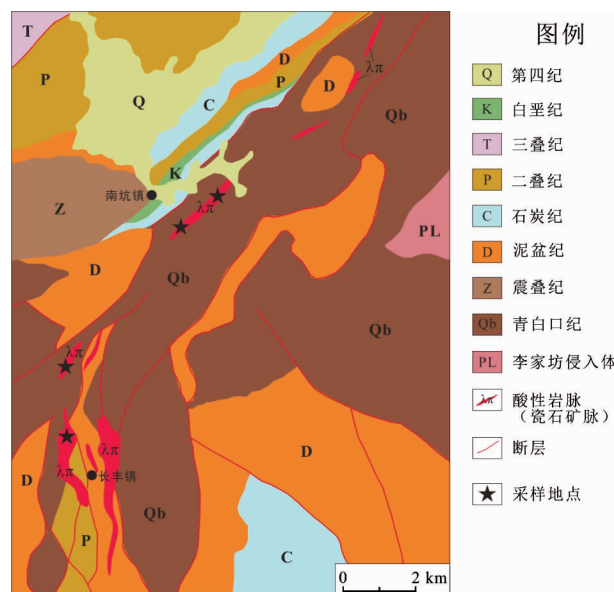


图1 矿区地质分布

## 2 样品与分析方法

在本次研究中,对不同地点的 4 个岩脉进行采样,总计采集 11 件样品,均为花岗细晶岩.作为对比研究,本次还采集了该区域出露的志留纪二云母花岗岩,总计 5 件样品.采样地点见图 1,样品详情见表 1.

表 1 采样情况

地点	岩性	样品编号
南坑团群	花岗细晶岩	JX-030, JX-031
南坑芦溪	花岗细晶岩	JX-040, JX-041, JX-042
南坑半山	花岗细晶岩	JX-050, JX-051, JX-052
芦溪宗里	花岗细晶岩	JX-060, JX-061, JX-062
马塘村	二云母花岗岩	JX-070, JX-071, JX-072, JX-073, JX-074

岩石主微量元素分析和锆石测年在江西金源有色地质测试有限公司完成.主量元素含量采用熔片法在 Rigaku100e 型 X 射线荧光光谱仪(XRF)上分析获得,分析误差小于 5%.微量元素含量采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定,其中稀土元素分析误差小于 5%,其他微量元素分析误差小于 10%.锆石挑选利用重矿物分离技术完成,再经过双目镜挑选表面平整光洁且具有不同长宽比和柱锥面特征的锆石颗粒,最后将这些锆石用环氧树脂固定并抛光.锆石 U-Pb 同位素组成由激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)测定,激光剥蚀采用 Resolution SE 型 193 nm 深紫外激光剥蚀进样系统,质谱仪采用 Agilent 7900 型 ICP-MS,激光束斑直径为 30  $\mu\text{m}$ ,剥蚀频率为 5 Hz,能量密度为 2 J/cm<sup>2</sup>.锆石加权平均年龄的计算及谐和图的绘制采用 Isoplot 3.0 软件完成<sup>[11]</sup>.

## 3 矿石特征

### 3.1 花岗细晶岩

该矿区花岗细晶岩的形成时代为三叠纪印支期.矿区出露花岗细晶岩有 10 余处,宽几米到几十米,长数百米到数千米(图 2a).花岗细晶岩样品呈灰白色,微晶结构,块状构造(图 2b).矿物结晶颗粒很小,粒径不超过 50  $\mu\text{m}$ ,主要由长石、云母和石英组成,可见少量磁铁矿,基本未见暗色矿物(图 2c~图 2f).偏光显微镜下,石英呈粒状,表面较光滑,一级黄白干涉色;长石也是粒状,干涉色一级灰白,大部分已经蚀变为绢云母;云母呈鳞片状,干涉色较高,达到二级蓝.样品中还能见到少量(<10%)较大的斑晶矿物,其成分主要有钾长石,也有少量石英(图 2c);钾长石斑晶粒径小于 2 mm,多数已经完全蚀变为细小的绢云母,仅残留部分外形特征;有些斑晶周围可见一圈褐色的铁质环绕.偶见石英脉,其中的石英呈粒状,粒径大于 100  $\mu\text{m}$ ,表面较光滑,一级黄白干涉色(图 2f).

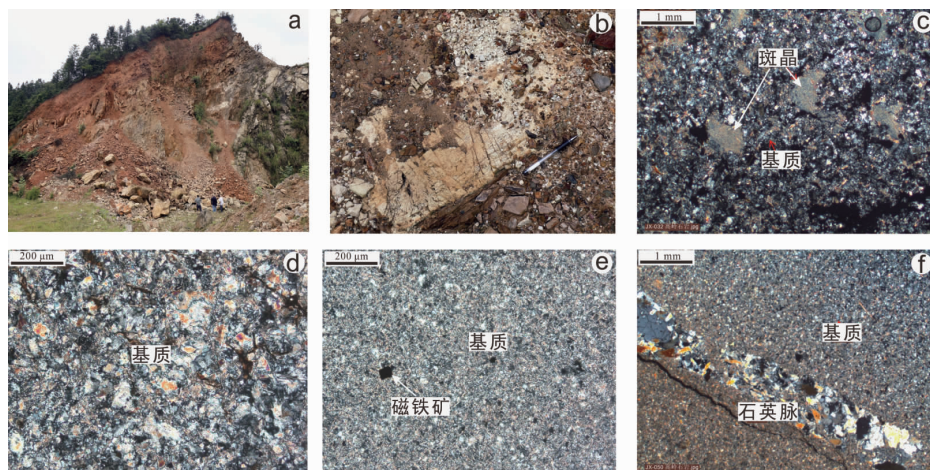


图 2 花岗细晶岩野外露头及镜下特征(图 c~图 f 均为正交偏光)

### 3.2 马塘村二云母花岗岩

马塘村二云母花岗岩样品呈灰黑色,中细粒花岗结构,块状构造,主要由石英(50%~60%)、钾长石(10%~25%)、斜长石(10%~15%)、黑云母(<10%)、白云母(<10%)组成(图3)。石英呈他形粒状,粒径0.5~1.5 mm,干涉色一级黄白,可见波状消光和定向排列;斜长石呈半自形板状,粒径0.5~1.5 mm,具弱绢云母化(图3a);钾长石呈半自形板状,粒径1.0~2.5 mm,多为条纹长石,局部可见文象状(图3);黑云母呈片状,片径0.5~1.2 mm,局部可见膨胀现象,可见白云母化,见包裹少量细小锆石及磷灰石,粒径0.1 mm左右;白云母呈细粒片状,片径0.2~0.5 mm,长轴定向排列(图3b)。

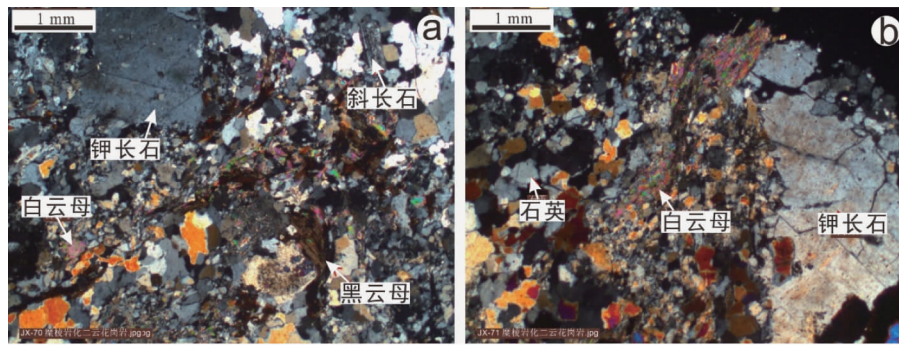


图3 马塘村二云母花岗岩镜下特征(均为正交偏光)

## 4 测试结果

### 4.1 花岗细晶岩

对11件花岗细晶岩样品进行主量元素和微量元素分析,结果如表2所示。其主量元素化学成分较为均一(见表2)。SiO<sub>2</sub>和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量很高,前者质量分数为72.25%~77.21%,后者质量分数为14.79%~17.09%。根据主量化学成分加权平均后的质量分数计算得出:花岗细晶岩的平均全碱含量(ALK)为6.03,里特曼指数( $\delta$ )为1.21,小于3.3,属于钙碱性岩石;铝饱和指数(A/CNK)为2.15,大于1.1,说明铝过饱和,属于过铝质岩石。

微量元素分析结果显示,花岗细晶岩显著富集Rb,质量分数为 $444 \times 10^{-6}$ ~ $677 \times 10^{-6}$ ,平均为 $543 \times 10^{-6}$ ;Zr含量也较高,平均质量分数达到 $273 \times 10^{-6}$ 。样品的Zr/Hf较高(25.36~35.31),Nb/Ta较低(3.13~4.18),呈现高分异花岗岩的特点。在原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图4)上,整个曲线明显右倾,富集不相容元素,而亏损相容元素;Ba和Sr出现明显亏损,说明有斜长石的熔融残留相或结晶分离相存在。花岗细晶岩的稀土元素(Rare Earth Element, REE)总量低,质量分数为 $15.6 \times 10^{-6}$ ~ $58.46 \times 10^{-6}$ ,平均为 $25.35 \times 10^{-6}$ (表2)。其中,LREE/HREE(Light Rare Earth Element/ Heavy Rare Earth Element,轻稀土元素/重稀土元素)平均值为2.24,轻稀土多于重稀土。 $\delta_{Eu}$ 平均值为0.29,具有Eu负异常。REE配分模式近似平坦型,轻、重稀土分馏不明显,Eu明显负异常,具有一定的四分组效应(图5)。

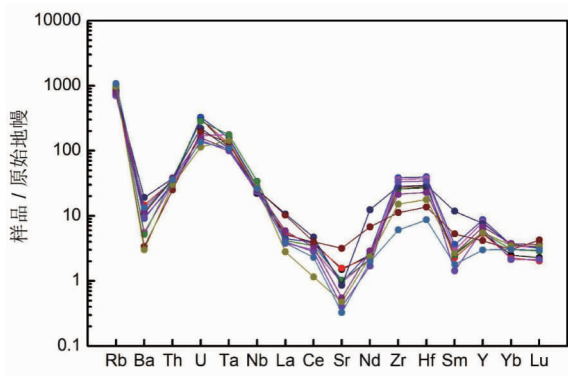


图4 花岗细晶岩的原始地幔标准化微量元素蛛网图(原始地幔数据来自Sun & McDonough<sup>[12]</sup>)

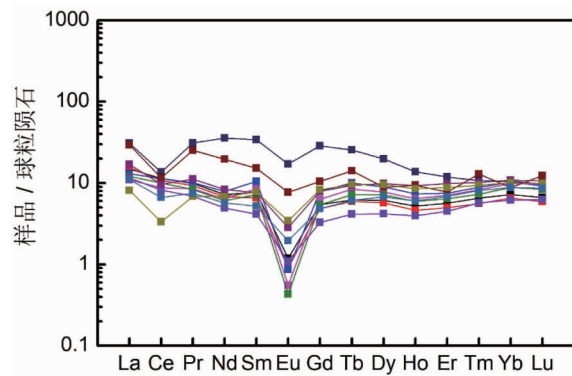


图5 花岗细晶岩的球粒陨石标准化REE配分模式(球粒陨石数据来自Sun & McDonough<sup>[12]</sup>)

表 2 花岗细晶岩脉体的主量元素 (%) 和微量元素 ( $\times 10^{-6}$ ) 分析结果

元素	JX-030	JX-031	JX-040	JX-041	JX-042	JX-050	JX-051	JX-052	JX-060	JX-061	JX-062	平均值
SiO <sub>2</sub>	72.37	74.08	75.33	75.25	75.41	75.64	77.21	76.34	74.65	73.15	72.35	74.71
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05	0.07	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.06	14.89	14.79	15.16	15.22	15.75	14.84	15.23	14.95	15.68	17.09	15.33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.83	1.17	0.68	0.56	0.55	0.91	0.88	0.83	0.83	0.81	0.95	0.91
MnO	0.06	0.07	0.10	0.06	0.05	0.05	0.08	0.05	0.04	0.04	0.01	0.06
MgO	0.35	0.26	0.21	0.17	0.14	0.57	0.44	0.53	1.04	1.79	1.43	0.63
CaO	0.41	0.25	0.24	0.15	0.14	0.12	0.12	0.11	0.31	0.18	0.11	0.19
Na <sub>2</sub> O	2.73	2.82	3.45	3.52	3.62	0.26	0.16	0.27	1.35	0.22	0.20	1.69
K <sub>2</sub> O	4.50	4.34	3.97	4.10	4.04	4.68	4.29	4.44	4.01	3.84	5.52	4.34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.03	0.07	0.01	0.02	0.01	<0.01	<0.01	0.13	0.02	<0.01	<0.03
Total	97.43	97.97	98.89	99.03	99.24	98.06	<98.10	<97.88	97.36	95.78	<97.74	<97.95
$\delta$	1.78	1.65	1.70	1.80	1.81	0.75	0.58	0.67	0.91	0.55	1.12	1.21
A/CNK	1.49	1.52	1.42	1.44	1.44	2.76	2.89	2.78	2.09	3.24	2.62	2.15
Sc	2.99	2.53	2.80	2.61	1.79	4.15	4.45	4.29	1.94	2.70	4.24	3.14
V	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00
Cr	3.12	12.30	6.10	3.60	1.91	1.46	2.09	7.49	2.38	15.95	11.59	6.18
Co	0.31	0.37	0.23	<0.20	<0.20	0.29	0.62	0.44	<0.20	0.26	0.30	<0.31
Ni	1.43	7.30	3.93	1.66	<1.00	<1.00	7.32	4.85	4.34	16.10	6.16	<5.01
Ga	22.00	21.50	23.10	25.20	25.40	26.50	23.30	25.10	22.90	25.10	29.10	24.47
Rb	474.00	484.00	480.00	574.00	627.00	521.00	444.00	487.00	597.00	608.00	677.00	543.00
Sr	31.60	33.00	20.70	20.00	21.70	18.10	8.50	11.60	66.80	10.00	6.91	22.63
Y	24.60	24.40	39.70	36.60	25.20	34.70	28.30	30.80	18.90	25.20	13.60	27.45
Zr	289.00	303.00	430.00	404.00	287.00	316.00	373.00	239.00	126.00	169.00	67.90	273.08
Nb	15.70	16.60	20.10	24.20	24.00	18.00	16.60	17.90	18.10	19.50	18.60	19.03
Ba	76.50	102.00	63.50	38.90	36.00	133.00	66.30	82.00	23.50	21.20	93.00	66.90
La	3.55	3.67	3.08	2.61	2.87	7.32	2.75	4.01	7.01	1.91	2.62	3.76
Ce	6.95	6.56	6.92	5.35	6.15	8.31	4.99	5.89	7.05	2.05	4.08	5.85
Pr	0.94	0.89	0.96	0.80	0.79	2.95	0.65	1.06	2.39	0.65	0.71	1.16
Nd	3.38	3.16	3.68	2.97	2.85	16.70	2.30	3.89	9.16	3.19	2.66	4.90
Sm	1.17	1.01	1.60	1.30	1.11	5.22	0.63	1.17	2.33	1.19	0.79	1.59
Eu	0.07	0.05	0.05	0.03	0.02	0.99	0.06	0.16	0.45	0.20	0.11	0.20
Gd	1.11	0.99	1.64	1.29	1.10	5.90	0.67	1.63	2.14	1.71	0.99	1.74
Tb	0.23	0.22	0.37	0.31	0.27	0.95	0.16	0.35	0.53	0.36	0.23	0.36
Dy	1.55	1.44	2.27	1.97	1.81	5.03	1.06	2.50	2.26	2.42	1.72	2.18
Ho	0.29	0.26	0.42	0.36	0.34	0.78	0.22	0.53	0.53	0.48	0.34	0.41
Er	0.94	0.82	1.24	1.17	1.07	1.97	0.75	1.62	1.28	1.45	1.13	1.22
Tm	0.17	0.14	0.23	0.21	0.18	0.27	0.15	0.26	0.33	0.24	0.21	0.22
Yb	1.22	1.11	1.75	1.69	1.49	1.79	1.05	1.84	1.49	1.72	1.50	1.51
Lu	0.17	0.15	0.23	0.24	0.21	0.25	0.16	0.27	0.31	0.25	0.22	0.22
Hf	8.38	9.04	12.20	11.60	8.81	9.12	10.60	7.08	4.20	5.47	2.68	8.11
Ta	4.54	5.25	6.42	7.21	7.17	4.43	4.07	4.31	5.41	5.88	4.45	5.38
Pb	16.20	18.60	14.00	10.70	9.84	10.80	10.60	13.00	11.20	4.18	5.83	11.36
Th	3.06	2.94	2.71	2.63	3.22	3.17	2.49	3.19	2.12	2.54	3.01	2.83
U	6.53	6.40	6.86	3.59	5.96	4.65	3.01	3.31	4.09	2.39	2.84	4.51
Nb/Ta	3.46	3.17	3.13	3.35	3.35	4.06	4.07	4.15	3.34	3.32	4.18	3.60
Rb/Sr	15.01	14.65	23.23	28.67	28.95	28.69	52.28	41.94	8.93	60.77	98.03	36.47
Zr/Hf	34.47	33.54	35.25	34.86	32.53	34.64	35.31	33.80	29.90	30.95	25.36	32.78
Th/U	0.47	0.46	0.40	0.73	0.54	0.68	0.83	0.96	0.52	1.06	1.06	0.70
$\Sigma$ REE	21.75	20.48	24.45	20.31	20.26	58.46	15.60	25.19	37.26	17.82	17.32	25.35
LREE/HREE	2.83	2.98	2.00	1.80	2.13	2.45	2.70	1.80	3.20	1.06	1.73	2.24
$\delta_{Eu}$	0.18	0.16	0.09	0.07	0.07	0.54	0.29	0.37	0.60	0.43	0.39	0.29

#### 4.2 马塘村二云母花岗岩

地球化学方面,本文对马塘村二云母花岗岩的 5 件样品进行主量元素和微量元素分析(见表 3).结果表明,

样品成分均一, SiO<sub>2</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量很高, 前者质量分数为 72.83%~74.19%, 后者质量分数在 14.26%~14.42%。根据主量化学成分加权平均后的质量分数计算得出: 该二云母花岗岩的 ALK 为 7.83, δ 为 2.02, 小于 3.3, 属于钙碱性岩石; A/CNK 为 1.21, 大于 1.1, 说明铝轻微过饱和, 属于过铝质岩石。与花岗细晶岩相比, 该二云母花岗岩中 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较高, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量略低, Na<sub>2</sub>O 含量较高, 这与岩相学中暗色矿物含量更多的结果相符合。

马塘村二云母花岗岩比较富集 Rb, 平均质量分数为 319.6×10<sup>-6</sup>, 没有花岗细晶岩的 Rb 含量高。此外, Zr 和 Ba 含量也较高, 质量分数分别达到 340.4×10<sup>-6</sup> 和 232.0×10<sup>-6</sup>。样品的 Zr/Hf 较高, 平均为 33.07; Nb/Ta 为 8.46, 显示出高分异花岗岩的特点。在原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图 6)上, 整个曲线右倾, 富集不相容元素, 而亏损相容元素, 其中 Ba, Nb, Ta, Sr 出现明显亏损。马塘村二云母花岗岩的 REE 质量分数平均值为 145.9×10<sup>-6</sup>, 其中 LREE/HREE 平均值为 11.83, 轻稀土含量多于重稀土, 存在轻重稀土分馏现象。δ<sub>Eu</sub> 平均值为 0.25, 具有 Eu 负异常。REE 配分模式(图 7)左高右低, 显著富集轻稀土, Eu 负异常明显, 整体具有四分组效应。

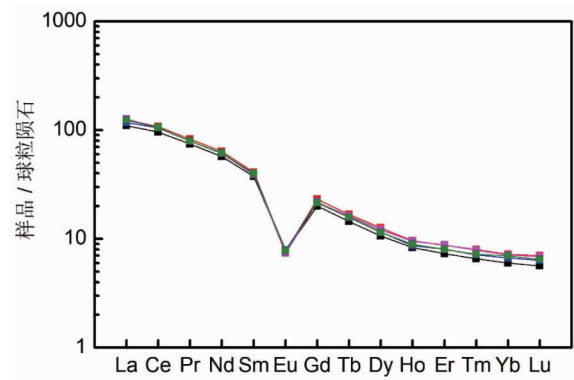
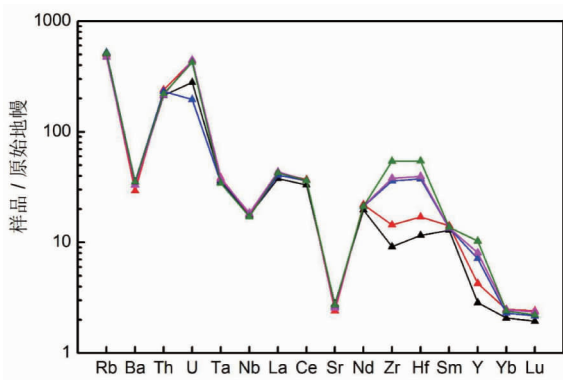


图 6 马塘村二云母花岗岩的原始地幔标准化微量元素蛛网图(原始地幔数据来自 Sun & McDonough<sup>[12]</sup>)

图 7 马塘村二云母花岗岩的球粒陨石标准化 REE 配分模式(球粒陨石数据来自 Sun & McDonough<sup>[12]</sup>)

表 3 马塘村二云母花岗岩的主量元素(%)和微量元素(×10<sup>-6</sup>)分析结果

元素	JX-070	JX-071	JX-072	JX-073	JX-074	平均值
SiO <sub>2</sub>	72.83	73.66	72.87	73.54	74.19	73.42
TiO <sub>2</sub>	0.23	0.23	0.22	0.23	0.22	0.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.33	14.26	14.42	14.37	14.28	14.33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.36	1.51	1.53	1.54	1.45	1.68
MnO	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
MgO	0.53	0.52	0.48	0.51	0.48	0.50
CaO	1.02	0.97	0.99	1.01	0.99	1.00
Na <sub>2</sub> O	2.73	2.72	2.82	2.83	2.79	2.78
K <sub>2</sub> O	5.04	4.95	5.17	5.01	5.09	5.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13
Sc	2.50	3.46	4.38	4.81	4.92	4.01
V	13.20	11.90	11.50	12.30	11.40	12.06
Cr	16.25	7.15	8.40	7.55	10.62	9.99
Co	2.53	1.94	1.97	1.95	2.10	2.10
Ni	5.14	2.10	2.34	2.32	3.87	3.15
Ga	19.90	20.20	21.00	20.50	20.80	20.48
Rb	327.00	316.00	329.00	301.00	325.00	319.60
Sr	58.60	51.00	55.70	54.10	57.50	55.38
Y	13.00	19.40	32.50	36.60	46.80	29.66
Zr	103.00	161.00	404.00	426.00	608.00	340.40
Nb	12.60	12.80	12.30	13.10	12.20	12.60
Ba	232.00	205.00	247.00	231.00	245.00	232.00

续表 3

元素	JX-070	JX-071	JX-072	JX-073	JX-074	平均值
La	26.00	29.40	27.90	29.80	29.30	28.48
Ce	58.70	65.80	64.30	64.60	64.50	63.58
Pr	7.06	7.84	7.52	7.53	7.53	7.50
Nd	26.70	29.70	28.60	28.80	28.70	28.50
Sm	5.73	6.28	5.98	6.00	6.08	6.01
Eu	0.45	0.44	0.46	0.43	0.45	0.45
Gd	4.13	4.75	4.48	4.45	4.42	4.45
Tb	0.54	0.63	0.59	0.61	0.59	0.59
Dy	2.70	3.21	2.93	3.08	2.92	2.97
Ho	0.47	0.54	0.49	0.54	0.50	0.51
Er	1.21	1.45	1.33	1.45	1.32	1.35
Tm	0.17	0.20	0.18	0.20	0.18	0.19
Yb	1.02	1.23	1.14	1.21	1.19	1.16
Lu	0.14	0.18	0.16	0.17	0.16	0.16
Hf	3.58	5.25	11.60	12.20	16.80	9.89
Ta	1.49	1.57	1.44	1.54	1.41	1.49
Pb	36.80	29.60	32.10	28.50	30.20	31.44
Th	18.10	20.40	19.70	18.20	18.70	19.02
U	5.88	9.20	4.11	9.35	8.91	7.49

对马塘村二云母花岗岩进行锆石年龄分析. 锆石颗粒形态为长 50~150  $\mu\text{m}$ 、宽 40~80  $\mu\text{m}$  的长柱状或短柱状, 可见明显的震荡环带, 指示岩浆锆石的特征(见图 8a). 锆石中 U, Th, Pb 的含量较高, 质量分数平均值分别为  $1.682 \times 10^{-6}$ ,  $655 \times 10^{-6}$ ,  $137 \times 10^{-6}$ ; 所有锆石的 Th/U 为 0.07~2.35(平均值为 0.40), 介于标准岩浆锆石范围( $>0.4$ )内. 本次测得 30 颗锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄是  $(488 \pm 96)$  Ma (MSWD = 0.31), 能够代表二云母花岗岩的形成时间(见图 8b).

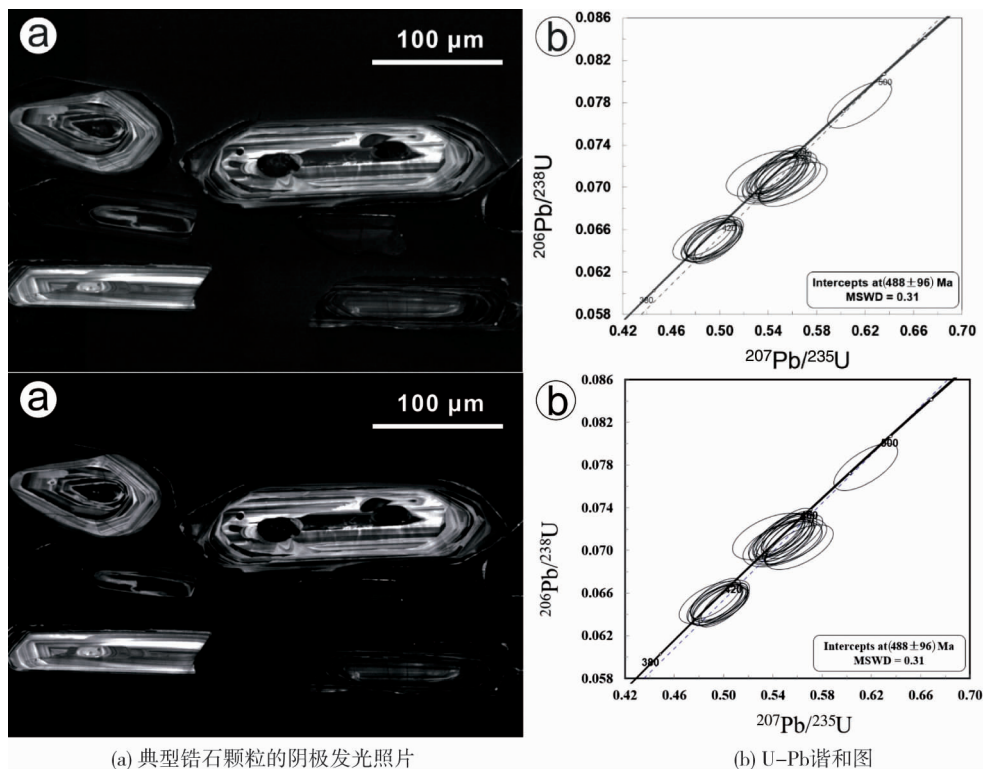


图 8 二云母花岗岩中的锆石及其年龄

## 5 讨论

### 5.1 岩浆岩类型及成因

根据区域地质图和锆石年龄,二云母花岗岩属于志留纪早期,而花岗细晶岩的年龄属于三叠纪,两者在时间上相差约 200 Ma.在元素协变图解中(图 9),二云母花岗岩和花岗细晶岩的化学组成存在一定的差异,两者没有共同的变化趋势.另外,两者的强不相容元素 Rb 和 Ba 与中等不相容元素 Sr 和 Ta 的含量差异都较大,而且呈互补关系.上述特征都表明两者是不同岩浆演化的产物.

岩浆岩的成因类型可以划分为 I, S, M, A 型,其中 A 型花岗岩具有富 Si、富 K、富 Ga 等高场强元素的特点<sup>[13]</sup>.本研究的花岗细晶岩富 Si(平均质量分数为 74.71%),属于过铝质钙碱性花岗岩.同时,其微量元素具有较低的 LREE/HREE 和  $\delta_{Eu}$ ,富集 Rb, U, Ta 而亏损 Ba, Sr 等特点,这些特征与 A 型花岗岩相似<sup>[13]</sup>.在矿物组成上,花岗细晶岩中未发现代表 I 型花岗岩的角闪石,也未发现代表 S 型的堇青石和石榴石.本研究的花岗细晶岩的 Nb/Ta 为 3.13~4.18(平均为 3.60),明显低于下地壳的 Nb/Ta 平均值 8.30; Zr/Hf 为 25.36~35.31(平均为 32.78),低于地幔的 Zr/Hf 平均值 36.70; Th/U 为 0.40~1.06(平均为 0.70),低于地壳的 Th/U 平均值 2.80,也低于原始地幔的 Th/U 平均值 4.00.上述特征表明没有幔源物质参与成岩作用,揭示其为地壳重熔型花岗岩.

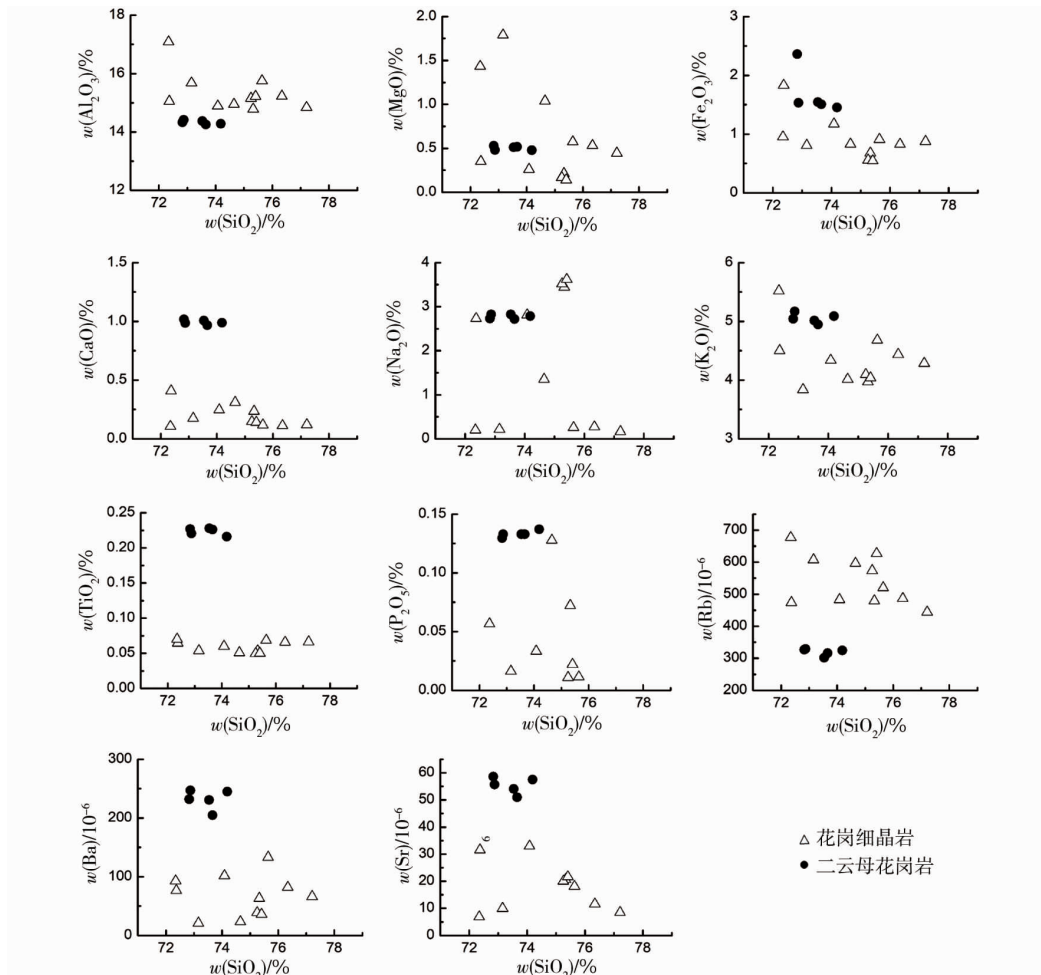


图9 花岗细晶岩和二云母花岗岩的主微量元素与  $\text{SiO}_2$  协变

### 5.2 Rb 富集的原因

目前国内已发现的铷矿床中没有独立矿床,均是以伴生金属形式出现的多金属矿,如广东天堂山锡铷铷多金属矿<sup>[14]</sup>、安徽西坞口铷矿<sup>[15]</sup>、湖南正冲铷多金属矿<sup>[16]</sup>等.Rb 和 K 属于同一主族,均为碱金属元素,在地质过程中,两者均是以+1 价的阳离子出现,而且离子半径相似(Rb 离子半径为 13.3 nm, K 离子



半径为 14.9 nm),因此 Rb 可以替代 K,以类质同像的形式赋存在含 K 的矿物中.在酸性岩中,常见的含 K 矿物是钾长石和云母,因此,这两种矿物也是常见的 Rb 载体矿物,钾长花岗岩和碱长花岗岩常含有较高的稀有金属元素.花岗细晶岩由石英、长石和云母组成,说明 Rb 主要赋存于长石和云母中.此外,Rb 还是一种强不相容元素,容易在高演化的花岗岩中富集.本研究中的含矿岩体为花岗细晶岩,主要由石英、长石、云母组成,矿物颗粒细小,是一种浅成侵入岩的结构.花岗细晶岩属于过铝质类型,形成于加厚陆壳或伸展环境.结合萍乡地区还有辉绿岩脉出露的情况,认为该区花岗细晶岩形成于伸展(拉伸)环境.这种环境形成的长英质岩石,一般为细晶岩-伟晶岩-云英岩型,并赋存 Sn-W-Mo-Cu 和 Li-Be-B 等多金属矿<sup>[5]</sup>.萍乡地区花岗细晶岩 Rb 的质量分数基本稳定在  $444 \times 10^{-6} \sim 677 \times 10^{-6}$ ,马塘村的二云母花岗岩也具有较高的 Rb 含量,质量分数平均为  $319.6 \times 10^{-6}$ .结合 Ba,Rb,Sr 的特征可以看出,该区域的花岗岩类都具有高 Rb 背景值的特点.高 Rb 背景值也是国内其他铷矿的典型特征<sup>[7]</sup>.Rb 和 Sr 都是以取代 K 的形式存在于矿物中,因此二云母花岗岩和花岗细晶岩中的 Rb 和 Sr 含量呈现互补关系(图 9).花岗细晶岩的  $Zr/Hf < 36.70$  和  $Nb/Ta < 5.00$ ,均显示出高分异花岗岩的特征.综合上述分析,我们认为细晶岩富集 Rb 的原因是高分异的花岗岩造成不相容元素富集.

## 6 结论

1) 萍乡地区的花岗细晶岩具有富硅、过铝及高分异演化的岩石地球化学特征,岩石成因类型为高分异的 A 型花岗岩,为地壳重熔的产物.

2) 萍乡地区高分异的花岗岩造成铷等不相容元素的富集,花岗细晶岩的高 Rb 背景值对于该区铷矿资源的寻找具有重要的指示意义.

## 参考文献:

- [1] 王登红.关键矿产的研究意义、矿种厘定、资源属性、找矿进展、存在问题及主攻方向[J].地质学报,2019,93(6):1189-1209.
- [2] 翟明国,吴福元,胡瑞忠,等.战略性关键金属矿产资源:现状与问题[J].中国科学基金,2019,33(2):106-111.
- [3] 李文昌,李建威,谢桂青,等.中国关键矿产现状、研究内容与资源战略分析[J].地学前缘,2022,29(1):1-13.
- [4] 赵振华,陈华勇,韩金生.关于铷的独立矿物[J].地球化学,2020,49(6):690-693.
- [5] 贾志磊.甘肃南祁连—北山铌钽铷等稀有金属成矿地质特征与成矿规律的研究[D].兰州:兰州大学,2016.
- [6] 孙艳.我国铷典型矿床及其成矿构造背景研究[D].北京:中国地质大学(北京),2013.
- [7] 孙艳,王登红,王成辉,等.我国铷成矿规律、新进展和找矿方向[J].地质学报,2019,93(6):1231-1244.
- [8] JIA H X, PANG, Z S, CHEN, R Y, et al. Genesis and hydrothermal evolution of the Tiantangshan tin-polymetallic deposit, south-eastern Nanling Range, South China[J]. Geological Journal, 2019, 54(6): 3958-3979.
- [9] 孙艳,王瑞江,李建康,等.锡林浩特石灰窑铷多金属矿床白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年代及找矿前景分析[J].地质论评,2015,61(2):463-468.
- [10] 毛景文,袁顺达,谢桂青,等.21 世纪以来中国关键金属矿产找矿勘查与研究新进展[J].矿床地质,2019,38(5):935-969.
- [11] 翟明国,胡波.矿产资源国家安全、国际争夺与国家战略之思考[J].地球科学与环境学报,2021,43(1):1-11.
- [12] SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42: 313-345.
- [13] 李小伟,莫宣学,赵志丹,等.关于 A 型花岗岩判别过程中若干问题的讨论[J].地质通报,2010,29(2/3):278-285.
- [14] HAN J S, CHEN H Y, HOLLINGS P, et al. Efficient enrichment of Rb during the magmatic-hydrothermal transition in a highly evolved granitic system: implications from mica chemistry of the Tiantangshan Rb-Sn-W deposit [J]. Chemical Geology, 2021, 560: 120020.
- [15] 陈雪锋,范裕,庾江华,等.江南隆起带(安徽段)西坞口铷矿床岩浆岩锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素特征研究[J].岩石学报,2019,35(12):3797-3810.
- [16] 文春华,罗小亚,李胜苗.湖南道县正冲稀有金属矿床云英岩地球化学特征及对成矿的约束[J].桂林理工大学学报,2016,36(1):90-98.