徐翠,李林庆,张洁,等.X 射线荧光光谱-电子探针在中酸性火山岩鉴定中的应用[J]. 岩矿测试,2016,35(6):626-633. XU Cui, LI Lin-qing, ZHANG Jie, et al. Application of X-ray Fluorescence Spectrometry and Electron Microprobe in the Identification of Intermediate-Felsic Volcanic Rocks[J]. Rock and Mineral Analysis,2016,35(6):626-633. 【DOI: 10.15898/j. cnki.11-2131/td.2016.06.009】

# X 射线荧光光谱 - 电子探针在中酸性火山岩鉴定中的应用

徐 翠,李林庆,张 洁,何 丽,张桂凤,王艳龙 (河北省区域地质矿产调查研究所,河北 廊坊 065000)

摘要:中酸性火山岩多具斑状结构,基质可见微晶状结构、隐晶状结构、玻璃质结构等,由于基质矿物颗粒多 细小,常用的偏光显微镜受放大倍数的限制,很难准确鉴定矿物种属及含量,这类岩石仅依靠偏光显微镜分 类命名会存在误差。本文采用X射线荧光光谱(XRF)、电子探针(EMPA)和偏光显微镜下观察相结合的方 法,对中酸性火山岩进行鉴定。结果表明:对于基质呈隐晶质、显微晶质的中酸性火山岩,基质特征相似, 偏光显微镜下无法确定长石、石英的含量,因此无法对岩石准确命名;再通过XRF进行主量元素分析,并对 分析结果进行标准矿物QAPF双三角图解分类、TAS图解分类及李氏火山岩定量分类,对比结果显示三种分 类命名方法存在差异;通过电子探针对矿物进行校验显示,QAPF及李氏火山岩定量分类图解与显微镜下鉴 定相符,TAS图解与其他分析结果存在一定偏差。因此,对于中酸性火山岩准确命名,应采用多种分析方法 相结合的方式,避免测试单一引起的误差。

关键词:中酸性火山岩;矿物鉴定;偏光显微镜;X射线荧光光谱;电子探针

中图分类号: P575.1; P575.5 文献标识码: A

中性火山岩包括安山岩类和粗面岩类,主要矿 物有斜长石、碱性长石、石英、角闪石和黑云母等,次 要矿物有辉石和橄榄石,在 QAPF(Q=石英、鳞石英 和方石英,A=碱性长石,P=斜长石,F=副长石类) 分类图中,位于 QAP 三角图 Q'为 20 线以下至 AP 线(Q'=0)的岩石类型,属 SiO<sub>2</sub>饱和或弱过饱和的 岩石,其 SiO<sub>2</sub>质量分数为 52% ~63%,安山岩类的 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 质量分数为 5% ~6%,而粗面岩类的 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 质量分数略高约为 9%。酸性火山岩包 括流纹岩类和英安岩类,主要矿物有斜长石、碱性长 石、石英,次要矿物有黑云母等,在 QAPF 分类图中, 位于 QAP 三角图 Q'为 20 线以上至 60 线范围,属 SiO<sub>2</sub>过饱和的岩石,其 SiO<sub>2</sub>质量分数≥63%,流纹岩 类的 SiO<sub>2</sub>质量分数在 70% 以上, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 质量分 数约 8%<sup>[1]</sup>。

中酸性火山岩的分类定名通常采用偏光显微镜 下鉴定,利用矿物的光性特征判断矿物的种类、含量 及相互关系等,是一种直观、实用、简便和快速的地 质分析研究手段。但由于中酸性火山岩的基质常呈 显微晶质、隐晶质、玻璃质等,颗粒细小,受偏光显微 镜放大倍数及切面方位等影响,显微镜下很难确定 基质矿物种类及含量。在这种情况下,需要借助其 他岩矿测试手段,为岩石准确定名提供更多的有用 信息。近二十年来随着物理测试方法的发展,X射 线荧光光谱(XRF)、电子探针(EMPA)等岩矿测试 技术已经朝着多种仪器综合研究的方向发展<sup>[2]</sup>。 例如,黄雄飞等<sup>[3]</sup>对西秦岭宕昌地区晚三叠世流纹 岩、英安岩的研究中,应用偏光显微镜无法准确识别 基质中隐(微)晶质矿物的种属及含量,采用 XRF 分 析对岩石定名给予了验证;董月霞等<sup>[4]</sup>通过 XRF 测 定主量元素化学成分对广东省三水盆地火山岩分类 命名,并对岩石中主要造岩矿物展开了 EMPA 分 析,对火山岩的岩相学及矿物学特征、地球化学特征 进行充分研究,为双峰式火山岩的演化及形成过程

收稿日期: 2016-08-02;修回日期: 2016-10-15;接受日期: 2016-11-16

基金项目:中国地质调查局地质调查工作项目(12120114011301)

作者简介:徐翠,工程师,从事岩矿鉴定和电子探针分析工作。E-mail: 46138261@ qq. com。

提供了有力依据;谢元和等<sup>[5]</sup>对藏北南羌塘陆块北 缘毕洛错地区古近纪纳丁错组火山岩研究中提出, 由于岩石受气孔充填物的影响,致使岩石化学定名 偏中性,故采用镜下定名。以上多种测试方法的综 合运用,充分发挥各自的优势,弥补了局限性,解决 了隐(微)晶质矿物在偏光显微镜下鉴定困难的问 题,对于提高岩石定名的准确性具有重要意义。

本研究针对实际工作中遇到的少量中酸性火山 岩,将传统鉴定方法与现代先进实验设备相结合,进 行岩石鉴定、命名研究,为类似岩石的准确定名提供 指导方法。首先采用偏光显微镜对样品鉴定,判别 岩石的结构、构造和矿物成分,进而采用 XRF 对其 化学成分进行分析,研究元素地球化学特征,并采用 EMPA 测定微细矿物,进一步准确矿物种属,给予岩 石较为准确的定名。

# 1 实验部分

以下各项实验均在河北省区域地质矿产调查研 究所完成。

### 1.1 偏光显微镜鉴定

将岩石按照规范要求制作成 35 mm × 25 mm, 厚 0.03 mm 的薄片,用 OLYMPUS BX51 偏光显微镜 通过光的特性对薄片进行单偏光及正交偏光下观 察,运用晶体光学、岩石学内容,确定岩石的矿物组 成、结构构造、蚀变及变质特征等<sup>[6]</sup>。

## 1.2 X射线荧光光谱分析

称取试料 4 g(200 目),放入模具内,拨平,用低 压聚乙烯镶边垫底,在 35 t 压力下压制成试样直径 为 32 mm,镶边外径为 40 mm 的试样片。压制完成 的试料片在非测量面贴上标签或编写样号,并放入 干燥器内保存。用 Axios4.0型X射线荧光光谱仪 (荷兰帕纳科公司)对样品分析,利用初级X射线光 子或其他微观离子激发待测物质中的原子,使之产 生荧光(次级X射线)而进行物质成分分析和化学 态研究。测量条件为<sup>[7]</sup>:Na、Mg、K、Al、Si、P采用电 压 30 kV,电流 120 mA;Mn、Fe采用电压60 kV,电流 60 kV;Ca采用电压 30 kV,电流 100 mA;Ti采用电 压 40 kV,电流 90 mA。

## 1.3 电子探针分析

将岩石按照规范要求制作成 35 mm × 25 mm, 厚 0.04 mm 的探针片,仔细抛光后在显微镜下用红 笔标记选好分析部位和区域,以便分析时可以准确、 快速地找到需要分析的位置。用 JEOL JEE - 420 镀 碳仪将探针片镀碳,使探针片具导电性。用 JEOL JXA - 8230 电子探针显微分析仪对样品进行微区分 析,根据莫塞莱定律,测定激发源轰击样品产生的特 征 X 射线的波长及强度,即可确定样品中含有的元 素种类及含量,对矿物做定性分析或定量分析。测 试条件为:电压 15 kV,电流 20 nA,温度 23℃,湿度 55%~60%,束斑直径 5 μm,ZAF 校正。

## 2 结果与讨论

## 2.1 偏光显微镜下鉴定结果

2.1.1 样品一镜下鉴定

岩石新鲜面为灰紫色,具块状构造,经偏光显微 镜下观察,岩石具斑状结构,基质隐微晶状结构。

斑晶包括斜长石(40%)、石英(1%~5%)、黑云母(10%)。斜长石呈半自形板状,杂乱分布,粒度一般为0.5~2.8 mm,少部分0.15~0.5 mm,表面干净,环带发育,粒内聚片双晶发育,用⊥(010)晶带最大消光角法测定其牌号为An = 29 的更长石。石英呈他形粒状,杂乱分布,粒度为0.5~2.5 mm,粒内轻波状消光。黑云母呈片状,多色性明显: Ng' = 深褐色,Np' = 淡黄色,杂乱分布,粒度一般为0.1~0.3 mm,少数为0.3~1.5 mm,多见暗化现象。

基质由长石、石英组成,主要呈隐晶状,粒度一般<0.005 mm,另见一些0.01~0.05 mm的微晶状 长石似交织状定向分布,少量0.01~0.02 mm的微 粒状石英呈填隙状分布于长石颗粒间。

## 2.1.2 样品二镜下鉴定

岩石新鲜面为灰色,具块状构造,经偏光显微镜 下观察,岩石具斑状结构,基质包含嵌晶结构。

斑晶包括斜长石(35%)、角闪石(10%)、黑云 母(1%~5%)。斜长石呈半自形板状,杂乱分布, 粒度一般为0.5~3.3 mm,少数0.2~0.5 mm,表面 干净,少数隐约可见环带,粒内聚片双晶发育,用 ⊥(010)晶带最大消光角法测定其牌号为 An = 41 的中长石。角闪石呈半自形柱状或近菱形六边形自 形 - 半自形晶,杂乱分布,粒度为0.15~2 mm,暗化 明显。黑云母呈片状,暗化明显,杂乱分布,粒度为 0.15~1 mm。

基质由长石、石英组成。石英呈他形粒状,粒度 为0.2~0.6 mm,粒内包嵌细小板条状长石,构成包 含嵌晶结构。长石呈半自形细小板条状,被包裹于 石英内,集合体似交织状定向,粒度一般 < 0.05 mm,少数为0.05~0.1 mm,表面干净,颗粒细小,种 属无法分辨。

## 2.1.3 样品三镜下鉴定

岩石新鲜面为灰紫色,具块状构造,经偏光显微 镜下观察,岩石具斑状结构,基质包含霏细-包含嵌 晶结构。

斑晶包括斜长石(15%)、暗色矿物假象(1% ~ 5%),杂乱分布,粒度一般为0.5~3.5 mm,少数为0.15~0.5 mm。斜长石呈半自形板状,轻高岭土化、绢云母化,粒内聚片双晶发育,用⊥(010)晶带最大消光角法测其牌号为An=29的更长石。暗色矿物呈半自形柱状,已全部被绿泥石、绿帘石交代呈假象。

基质由长石、石英组成。长石呈霏细状 - 微晶状,粒度 <0.05 mm,被包嵌于石英内,颗粒细小,种属无法分辨。石英呈他形粒状,粒度为 0.2 ~ 1 mm,杂乱分布,粒内包嵌霏细状 - 微晶状长石,构成包含霏细 - 包含嵌晶结构。

2.1.4 镜下鉴定结果与讨论

综合上述鉴定结果得出,三个样品均具有斑状结构,基质具有隐微晶状结构或包含霏细、包含嵌晶结构,黑云母、角闪石可见暗化现象,这些均为火山岩特征,结合斑晶矿物种属及含量,可以断定岩石为中酸性喷出岩<sup>[8-10]</sup>,但由于基质颗粒细小,种属及含量无法准确判断,只能对岩石进行半定性分类(图1)。

## 2.2 X射线荧光光谱分析结果

# 2.2.1 岩石化学特征分类

酸性火山岩的 SiO<sub>2</sub>质量分数  $\geq$  63%;流纹岩的 SiO<sub>2</sub>质量分数  $\geq$  70%, Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 质量分数在 8% 左右。中性火山岩的 SiO<sub>2</sub>质量分数为 52% ~63%, 安山岩类的 Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 质量分数为 5% ~6%, 而 粗面岩的 Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 质量分数略高, 约 9%。表1 为样品一、二、三采用 Le Maitre(1976)法<sup>[11]</sup>,即根据 岩石氧化率及 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和 SiO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O 之间关系对 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和 FeO 进行调整后的数据。数据表明样品一 的 SiO<sub>2</sub>质量分数  $\geq$  70%, Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 质量分数为 7.89%, 为流纹岩。样品二的 SiO<sub>2</sub>质量分数在 52% ~63% 范围内, Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 质量分数为8.75%, 为 中性火山岩,成分接近粗面岩类。样品三的 SiO<sub>2</sub>质量分数 为9.04%, 为酸性火山岩,成分接近流纹岩<sup>[12-13]</sup>。

2.2.2 标准矿物 QAPF 分类

火山岩 QAPF 双三角图解实际上是将矿物含量 与化学成分相结合对岩石进行分类命名,火山岩具 有结晶程度差、实际矿物成分和含量难以精确测定、 斑晶与基质部分不平衡、矿物有序度和岩性变化大 等特点,必须采用岩石化学数据,通过较准确的"标 准矿物"换算进行分类命名。CIPW 标准矿物运



样品1-1 斑状结构,基质隐微晶状结构



样品2-1 斑状结构,基质包含嵌晶结构

样品1-2 斜长石聚斑状结构、环带结构



样品2-2角闪石暗化现象明显

样品1-3 黑云母暗化现象



样品3-1 斑状结构,基质 包含電细-包含嵌晶结构

## 图1 偏光显微镜照片

Fig. 1 Polarizing microscope photos

算<sup>[14]</sup>是常用的运算方法。将表 1 数据去掉烧失量 后重新换算归一为 100% 并进行 CIPW 标准矿物计 算,结果见表 2。从表 2 中的数据可以看出,长石是 以钾长石(Or)、钠长石(Ab)和钙长石(An)三种纯 矿物化学式的形式表示,而 QAPF 标准矿物投图是 采用碱性长石(A)和斜长石(P)的含量,本文采用 Le Maitre(1976)方法对 Ab 进行分配,并根据 QAPF 分类得出样品一的 Q = 30%, A = 47.48%, P=18.38%,为流纹岩;样品二的 Q = 11.39%, A = 49.65%, P = 29.05%, 为石英粗安岩;样品三的 Q = 25.33%, A = 62.69%, P = 6.19%, 为流纹岩<sup>[15-17]</sup>。

#### 表 1 X 射线荧光光谱分析结果

Table 1 Analytical results of X-ray fluorescence spectrometry

样品		元素含量(%)											
编号	$\mathrm{SiO}_2$	$Al_2O_3$	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> 0 <sub>3</sub>	Fe0	CaO	MgO	$K_{2}0$	Na <sub>2</sub> 0	MnO	$P_{2}O_{5}$	烧失量	总和
样品一	71.89	14.49	0.43	1.07	0.89	2.07	0.16	3.98	3.91	0.012	0.178	0.68	99.76
样品二	61.80	17.93	0.92	2.27	2.04	3.12	1.38	3.60	5.15	0.075	0.327	0.96	99.57
样品三	69.88	14.04	0.44	2.40	1.86	0.70	0.38	4.99	4.05	0.064	0.084	0.84	99.73

#### 表 2 CIPW 标准矿物含量

Table 2 CIPW standard mineral contents

样品 编号		- 矿物含量(%)										
	石英	钙长石	钠长石	正长石	刚玉	透辉石	紫苏辉石	钛铁矿	磁铁矿	磷灰石	ム社	
	(Q)	(An)	(Ab)	( 0r)	(C)	(Di)	( Hy )	(II)	(Mt)	(Ap)	日月	
样品一	30.00	9.19	33.4	23.74	0.42	未检出	0.46	0.82	1.55	0.42	100	
样品二	11.39	12.63	44.22	21.59	未检出	0.72	3.63	1.77	3.29	0.77	100	
样品三	25.33	2.95	34.64	29.85	0.92	未检出	1.79	0.84	3.48	0.20	100	

# 2.2.3 TAS 图解分类及火山岩定量分类

(a) TAS图解

对于无法判别矿物组成及含量的岩石,岩石化 学性质比其他物质参数更能反映岩浆熔体成分特



# 2.3 电子探针分析结果

偏光显微镜对于微细矿物很难准确鉴定,而电 子探针能以1μm<sup>3</sup>左右的空间分辨率对矿物观察, 同时进行分析以准确测定矿物的化学成分从而确定 矿物分子式以此确定矿物组成,分析过程中不破坏 样品,使其成为最有效和最常用的矿物鉴定手 段<sup>[23]</sup>。

从 XRF 分析结果可知,样品二的 TAS 图解与李 氏火山岩分类命名图解及 QAPF 分类存在差异,三 种划分方法岩石均为中性火山岩,主要差异在干碱 性长石与斜长石的比例,从偏光显微镜鉴定结果可 知,斑晶长石为斜长石,基质中长石颗粒细小,偏光 显微镜很难识别长石种属。为了确定基质长石种 属,本研究对样品二进行 EMPA 分析<sup>[24]</sup>,测试结果 见表3。表3中前5组数据为斑晶长石,通过计算 斑晶长石为中-更长石<sup>[25]</sup>,最大斜长石牌号 An = 41.71,与显微镜下测定斑晶斜长石牌号 An = 41 相 同;后5组数据为基质长石,基质长石为碱性长石。 图 3 为基质的背散射图像及面扫描图像,从图 3 中 可以得出基质中长石 K、Al 富集, 为碱性长石, 在碱 性长石间,见Si元素富集的石英充填,这与石英粗 安岩的特征相符,综合上述分析,样品二应为石英粗 安岩。

(b) 李氏火山岩分类命名图解



图 2 TAS 图解(据 Le Bas<sup>[19]</sup>)及李氏火山岩分类命名图解(参照文献[20])

Fig. 2 TAS diagram (after Le Bas  $^{[19]}$ ) and Lee's volcanic rock classification diagram (after Reference  $[\,20\,]$ )

2

## 表 3 样品二的电子探针分析结果

Table 3	Analytical	results	of	EMPA	for	Sample	No.

测试														
点号	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$\operatorname{Cr}_2\operatorname{O}_3$	MnO	FeO	NiO	合计		
1	0.192	8.233	未检出	6.233	0.018	26.79	56.724	未检出	0.007	0.197	未检出	98.394		
2	0.154	5.643	未检出	7.815	未检出	24.872	59.855	未检出	0.02	0.044	0.046	98.449		
3	0.103	8.445	未检出	6.926	未检出	26.807	57.858	未检出	0.018	0.048	0.002	100.207		
4	0.084	6.698	未检出	7.142	未检出	25.147	59.022	未检出	0.005	0.099	0.029	98.226		
5	0.114	6.989	0.007	7.061	0.012	25.842	58.251	0.002	未检出	0.094	未检出	98.372		
6	16.236	0.01	0.046	0.633	未检出	18.499	64.703	未检出	未检出	0.019	未检出	100.15		
7	16.753	未检出	未检出	0.239	0.021	18.396	65.124	0.018	0.025	0.154	未检出	100.712		
8	16.831	0.006	0.021	0.357	未检出	17.817	64.353	0.02	未检出	0.055	0.038	99.498		
9	16.22	0.028	0.011	0.772	未检出	17.899	64.025	0.009	未检出	0.065	0.012	99.041		
10	16.011	0.006	0.006	0.917	未检出	17.646	63.761	未检出	0.002	0.066	未检出	98.415		



#### 图 3 样品三基质的背散射图像及面扫描图像

Fig. 3 Backscattered electron images and map-scanning analysis images for matrix in Sample No. 3

# 3 结论

本文通过对常见的中酸性火山岩进行偏光显微 镜下鉴定、X 射线荧光光谱(XRF)和电子探针 (EMPA)分析研究表明:传统偏光显微镜鉴定的优 势在于能够快速直观地观察岩石的矿物组成及结构 等特征,排除蚀变、杏仁体充填物、裂隙充填物等对 岩石地球化学成分的影响,但对鉴定基质为显微晶 质、隐晶质、玻璃质类的岩石存在一定的困难;XRF 鉴定优点在于能够准确测定岩石化学元素组成,不 受矿物颗粒大小的影响,并通过地球化学图解法快 速确定岩石定名,但易受蚀变、杏仁体充填物等因素 影响;而 EMPA 优点在于能对微小矿物进行准确鉴 定,从而确定矿物类型,为岩石定名提供佐证。这种 传统显微镜鉴定方法与现代先进实验设备相结合的 分析方法,提高了岩石定名的准确性。

通过研究岩石地球化学特征发现,对岩石化学

元素进行 CIPW 标准矿物运算,并进行标准矿物 QAPF 三角图解分类能够较准确地对岩石进行分类 定名。对岩石进行 SiO<sub>2</sub> - (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)图解分析 时发现,TAS 和李氏火山岩分类命名两种图解对岩 石命名存在差异,在实际应用中,应采用多种分类方 案,对岩石做充分的研究。

本研究采用传统岩矿鉴定与多种现代仪器相结 合的分析方法,避免了由于鉴定单一、研究不够深入 造成的错误认识,可在相关岩类鉴定工作中推广。

## 4 参考文献

- [1] 常丽华,曹林,高福红编著.火成岩鉴定手册[M]. 北京:地质出版社,2006:76-85.
  Chang L H, Cao L, Gao F H. Igneous Identification Guide
  [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 76-85.
- [2] 许乃岑,沈加林,张静.X射线衍射-X射线荧光光谱
   -电子探针等分析测试技术在玄武岩矿物鉴定中的应用[J].岩矿测试,2015,34(1):75-81.

Xu N C, Shen J L, Zhang J. Application of X-ray Diffraction, X-ray Fluorescence Spectrometry and Electron Microprobe in the Identification of Basalt[J]. Rock and Mineral Analysis,2015,34(1):75-81.

- [3] 黄雄飞,莫宣学,喻学惠,等. 西秦岭宕昌地区晚三叠 世酸性火山岩的锆石 U – Pb 年代学、地球化学及其 地质意义[J]. 岩石学报,2013,29(11):3968 – 3980.
  Huang X F, Mo X X, Yu X H, et al. Zircon U-Pb Chronology, Geochemistry of the Late Triassic Acid Volcanic Rocks in Tanchang Area, West Qinling and Their Geological Significance [J]. Acta Petrologica Sinica,2013,29(11):3968 – 3980.
- [4] 董月霞,肖龙,周海民,等.广东三水盆地双峰式火山 岩:空间展布、岩石学特征及其盆地动力学意义[J]. 大地构造与成矿学,2006,30(1):82-92.

Dong Y X, Xiao L, Zhou H M, et al. Spatial Distribution and Petrological Characteristics of the Bimodal Volcanic Rocks from Sanshui Basin, Guangdong Province: Implication for Basin Dynamics [J]. Geotectonicaet Metallogenia, 2006, 30(1):82-92.

[5] 谢元和,王永胜,郑春子,等.藏北南羌塘陆块北缘毕 洛错地区古近纪纳丁错组火山岩的特征及构造环境 [J].地质通报,2008,27(3):356-363.

> Xie Y H, Wang Y S, Zheng C Z, et al. Characteristics and Tectonic Setting of Volcanic Rocks of the Paleogene Nading Co Formation in the Biluo Co Area on the Northern Margin of the Southern Qiangtang Block, Northern Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(3):356 – 363.

- [6] 张洁,李林庆编著. 岩矿鉴定实用手册[M]. 北京: 地质出版社,2016:1-69.
  Zhang J, Li L Q. Mineral and Rock Identification Guide [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016: 1-69.
- [7] 张勤,李国会,樊守忠,等.X射线荧光光谱法测定土 壤和水系沉积物等样品中碳、氮、氟、氯、硫、溴等42 种主次和痕量元素[J].分析试验室,2008,27(11): 51-57.

Zhang Q, Li G H, Fan S Z, et al. Study on Determination of 42 Major, Minor and Trace Elements in Soil and Stream Sediment Samples [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2008, 27(11):51 – 57.

[8] 高景刚,李文渊,周义,等. 新疆博格达东缘色皮口地 区柳树沟组流纹岩地球化学、LA - MC - ICP - MS 锆 石 U - Pb 年代学及地质意义[J]. 地质与勘探,2013, 49(4):665-675.
Gao J G, Li W Y, Zhou Y, et al. Geochemistry, Zircon U-Pb Ages and Geological Significance of the Liushugou Formation Rhyolite in the Sepikou Region, Eastern

> Bogda, Xinjiang [J]. Geology and Exploration, 2013, 49 (4):665-675.

[9] 冯民,黄杰,涂勇,等.新疆于田阿什库勒火山群若干新的野外地质证据[J].岩石学报,2014,30(12):3512-3520.

Feng M, Huang J, Tu Y, et al. New Field Evidence from the Ashikule Volcano Field in Yutian, Xinjiang, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30 (12): 3512 - 3520.

[10] 李涤,何登发,樊春,等.东淮噶尔早二叠世后碰撞岩浆活动:蕴都卡拉流纹岩 SHRIMP U - Pb 年代学、地球化学和 Hf 同位素的制约[J].岩石学报,2013,29 (1):317-337.

Li D, He D F, Fan C, et al. Early Permian Postcollisional Magmatic Events, East Junggar Constraints from Zircon SHRIMP U-Pb Age, Geochemistry and Hf Isotope of Rhyolite in the Yundukala Area [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(1):317 - 337.

- [11] Le Maitre R W. Some Problems of the Projection of Chemical Data into Mineralogical Classication [J].
   Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 56(2): 181 – 189.
- [12] Peng G, Wen L X, Jie J Y, et al. Geochronology and Geochemistry of Late Triassic Bimodal Igneous Rocks at the Eastern Margin of the Songnen Zhangguangcai Range Massif, Northeast China: Petrogenesis and Tectonic Implications[J]. International Geology Review, 2016, 58 (2):196-215.

- Zhi H C, Guang F X, Xi L Z. Palaeoproterozoic A-type Magmatism in Northern Wuyishan Terrane, Southeast China: Petrogenesis and Tectonic Implications [J]. International Geology Review, 2016, 58(6):773-786.
- [14] 刘宝良. CIPW 标准矿物计算法应用时存在问题的探讨[J]. 地质与资源,2001,10(3):180-183.
  Liu B L. Discussion on Some Problems about CIPW Method in Application [J]. Geology and Resources, 2001,10(3):180-183.
- [15] 陈国成,田晓平,王培春,等.基于岩性定量判别的潜山演化模式与储层发育机理[J].海洋地质前沿, 2015,31(10):34-40.

Chen G C, Tian X P, Wang P C, et al. Buried Hill Evolution Model and Reservoir Forming Mechanism Based on Quantirative Lithological Studies [J]. Marine Geology Frontiers, 2015, 31(10):34 - 40.

- [16] 李欢,奚小双,吴城明,等.青海玉树赵卡隆铁铜多金 属矿床安山岩地球化学特征及其成因[J].中南大学 学报(自然科学版),2012,43(9):3524-3534.
  Li H,Xi X S,Wu C M, et al. Geochemistry and Genesis of Andesite from Zhaokalong Fe-Cu Polymetallic Deposit, Yushu, Qinghai [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2012, 43 (9):
- 3524-3534. [17] 韩琳,张建民,邢艳娟,等.元素俘获谱测井(ECS)结 合 QAPF 法识别火成岩岩性[J].测井技术,2010,34 (1):47-50.

Han L, Zhang J M, Xing Y J, et al. Identification of Igneous Rock Lithology Using ECS Logging and QAPF [J]. Well Logging Technology, 2010, 34(1):47-50.

[18] 邓晋福,刘翠,冯艳芳,等.关于火成岩常用图解的 正确使用:讨论与建议[J].地质论评,2015,61(4): 717-734.

> Deng J F, Liu C, Feng Y F, et al. On the Correct Application in the Common Igneous Petrological Diagrams: Discussion and Suggestion [J]. Geological Review, 2015, 61(4):717-734.

- [19] Le Bas M J. A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram [J]. Journal of Petrology, 1986, 27(3):745-750.
- [20] 中国地质学会岩石专业委员会火山岩分类命名小 组.火山岩的分类和命名(熔岩部分)国内推荐方案

[J]. 岩石矿物及测试, 1984, 3(4): 289-300.

The Group on the Systematics of Volcanic Rocks of the Commission on Petrology of Geological Society of China. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks [J]. Acta Petrologica Mineralogica et Analytics, 1984, 3(4): 289 – 300.

- [21] 张峰,陈建平,徐涛,等.东准噶尔晚古生代依旧存在 俯冲消减作用——来自石炭纪火山岩岩石学、地球 化学及年代学证据[J].大地构造与成矿学,2014,38 (1):140-156.
  Zhang F, Chen J P, Xu T, et al. Late Paleozoic Subduction in the Eastern Junggar: Evidence from the Petrology, Geochemistry and Geochronology of Carboniferous Volcanic Rocks [J]. Geotectonica et Metallogenia,2014,38(1):140-156.
- [22] 蒋宗胜,张作衡,侯可军,等.西天山查岗诺尔和智博 铁矿区火山岩地球化学特征、锆石 U - Pb 年龄及地 质意义[J].岩石学报,2012,28(7):2074-2088.
  Jiang Z S,Zhang Z H,Hou K J,et al. Geochemistry and Zircon U-Pb Age of Volcanic Rocks from the Chagangnuoer and Zhibo Iron Deposits, Western Tianshan, and Their Geological Significance [J]. Acta Petrologica Sinica,2012,28(7): 2074-2088.
- [23] 何丽,徐翠,修迪,等.将X粉晶衍射法、电子探针分析与岩矿鉴定法应用于矿物分析[J].中国锰业,2016,34(3):159-160.
  He L,Xu C,Xiu D, et al. Discuss How to Apply the X-ray Powder Diffraction, the Electron Microprobe Analysis and the Rock Ore Appraisal to the Rock and Mineral Analysis Reasonably[J]. China's Manganese Industry, 2016,34(3):159-160.
- [24] Morgavi D, Arzilli F, Pritchard C, et al. The Grizzly Lake Complex (Yellowstone Volcano, USA): Mixing between Basalt and Rhyolite Unravelled by Microanalysis and X-ray Microtomography [J]. Lithos, 2016, 260 (1): 457-474.
- [25] 覃锋,徐晓霞,罗照华.北京房山岩体形成过程中的 岩浆混合作用证据[J]. 岩石矿物,2006,22(12): 2957-2970.

Qin F, Xu X X, Luo Z H. Mixing and Mingling in Petrogenesis of the Fangshan Intrusion, Beijing[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(12):2957 – 2970.

# **Application of X-ray Fluorescence Spectrometry and Electron Microprobe in the Identification of Intermediate-Felsic Volcanic Rocks**

XU Cui, LI Lin-qing, ZHANG Jie, HE Li, ZHANG Gui-feng, WANG Yan-long (Hebei Institute of Geology and Mineral Resources Survey, Langfang 065000, China)

## Highlights:

- Identification of the rock is characterized by using XRF, EMPA and the Polarizing Microscope comprehensively.
- The methods of QAPF, TAS and petrochemistry quantitative classification are used to analyze petrochemistry characteristics.
- The research of intermediate-felsic volcanic rock needs to use a variety of analytical methods.

Abstract: Intermediate-felsic volcanic rock has porphyritic texture and the matrix is characterized by microlitic. cryptocrystalline and vitreous textures. There will be errors when identifying and classifying the rocks using only a polarizing microscope because it is difficult to accurately identify the mineral species and content due to the small grains of matrix limited mineral species and the magnification of the standard polarizing microscope. Identification of the intermediate-felsic volcanic rock by using combined X-rav Fluorescence Spectrometry, Electron Microprobe and the Polarizing Microscope is introduced in this article. Results show that the method cannot be used to accurately identify the



microlitic and microcrystalline intermediate-felsic volcanic rocks which have similar matrix features because the Polarizing Microscope cannot accurately identify the contents of feldspar and quartz. X-ray Fluorescence Spectrometry was used to analyze the major elements of the rocks. The rocks were identified by standard minerals QAPF double triangle graphic classification, TAS diagram classification and Li ´s volcanic rock quantitative classification. There are errors among these three methods. Minerals were checked by Electron Microprobe. The results show that the QAPF double triangle graphic classification and the Liś volcanic rock quantitative classification give the same results as identification analysis under the microscope, but the TAS graphic classification results are different from the others. Therefore, multiple classification methods should be used when identifying intermediate-felsic volcanic rock, avoiding the errors caused by the single test method.

Key words: intermediate-felsic volcanic rock; mineral structure; Polarizing Microscope; X-ray Fluorescence Spectrometry; Electron Microprobe