

文章编号: 0254-5357(2015)01-0075-07

DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.2015.01.010

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

许乃岑^{1,2}, 沈加林^{1,2*}, 张 静^{1,2}

- (1. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016;
2. 国土资源部华东矿产资源监督检测中心, 江苏 南京 210016)

摘要:玄武岩的鉴定通常采用显微镜镜下判定, 鉴定结果容易受到鉴定人员的专业水平和主观因素、切片方位的影响, 光性特征有差异, 再者颗粒细小的矿物还受到光学显微镜本身放大倍数的限制也很难准确鉴定。当前的鉴定方法已由传统的显微镜向现代分析仪器(X 射线衍射仪、电子探针、X 射线荧光光谱仪等) 综合研究方向发展。本文采用 X 射线粉晶衍射(XRD) 和显微镜镜下观测相结合的方法, 对安徽女山玄武岩(未经蚀变) 和团山玄武岩(经过蚀变) 进行鉴定, 并采用 X 射线荧光光谱仪(XRF) 和电子探针对于鉴定结果进行验证。结果表明: 女山玄武岩(未经蚀变) 用显微镜鉴定主要由基质(74%, 斜长石 44% + 辉石 30%) 和斑晶(13%) 组成, 还含有少量金属矿物(8%) 及较大颗粒石英捕掳晶(5%); 其中, 基质部分的斜长石经 XRD 分析可进一步确定为拉长石, 辉石主要为普通辉石(单斜辉石), 少量金属矿物为钛铁矿。团山玄武岩(经过蚀变) 用显微镜鉴定主要由基质(75%, 斜长石 50% + 辉石 25%) 和斑晶(9%) 组成, 还含有少量绿泥石充填的杏仁体; 其中, 基质部分的斜长石经 XRD 分析可进一步确定为微斜长石, 蚀变矿物为蒙脱石而非薄片鉴定中的绿泥石。综合 XRD 和相关技术鉴定结果可确定, 女山玄武岩主要矿物为拉长石、辉石、钛铁矿; 团山玄武岩主要矿物为微斜长石、辉石、蒙脱石。研究显示, 单独的显微鉴定技术在含蚀变矿物的玄武岩鉴定中会产生较大偏差, 而结合 XRD 等多种分析测定技术可以快速鉴定出矿物种类, 尤其对颗粒较小的矿物鉴定的准确度更高。

关键词: 玄武岩; 矿物鉴定; 岩石薄片显微镜鉴定; X 射线粉晶衍射法; X 射线荧光光谱法; 电子探针
中图分类号: P588.145; P575.5; P575.1 **文献标识码:** A

玄武岩是基性喷出岩的代表性岩石, 主要由辉石和基性斜长石组成, 有些种属含有丰富的橄榄石; 次要矿物是钛铁氧化物(磁铁矿、钛铁矿、赤铁矿等)、正长石、石英或似长石、沸石。玄武岩类分别位于 QAPF 图解中的 $Q' = 20$ 线以下至 $F' = 10$, $P' > 65$ 的范围内和 TAS 图解(火山岩全碱 - 二氧化硅) 中的 B、S₁ 区, 为基性火山岩。化学成分特征是: SiO₂ (不饱和 - 饱和, 45% ~ 52%), 贫碱 (K₂O + Na₂O < 5%), 富钙、铝、铁和镁 (CaO 6% ~ 10%, Al₂O₃ 13% ~ 18%, ΣFeO 8% ~ 14%, MgO 4% ~ 11%)。玄武岩的典型矿物组合为基性斜长石和辉石以及橄榄石; 次要矿物有角闪石或黑云母、碱性长石、石英; 副矿物有磁铁矿、磷灰石和钛铁矿等。

玄武岩的定名通常采用显微镜镜下判定, 利用光波透过不同介质(薄片) 时, 介质(薄片) 在单偏光、正交偏光下呈现的光性特征来鉴定矿物。利用矿物的光性特征鉴定矿物的步骤较多, 过程复杂, 且受到光学显微镜本身的放大倍数的影响, 对颗粒细小的矿物很难鉴定。

随着岩矿鉴定工作的不断深入, 玄武岩岩石矿物鉴定已由传统的显微镜鉴定向多种仪器(扫描电镜、X 射线衍射仪、电子探针、X 射线荧光光谱仪等) 综合研究方向发展, 这些技术很好地弥补了显微镜鉴定的不足。扫描电镜可以对矿物的微观形貌进行

收稿日期: 2014-05-06; 修回日期: 2014-12-30; 接受日期: 2015-01-14
基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项“火成岩岩石矿物鉴定检测技术方法研究”项目(201011029-2)
作者简介: 许乃岑, 硕士, 工程师, 从事 X 射线衍射和红外光谱分析工作。E-mail: xncsynge@163.com。
通讯作者: 沈加林, 高级工程师, 从事地球化学分析测试技术及应用研究。E-mail: sjlilu@163.com。

测试。王志兵等^[1]利用扫描电镜分析了头寨滑坡岩体玄武岩的矿物学特征,风化前锋附近矿物呈现物理裂隙沿着解理面更易出现,核心石区域表现为未风化的致密形貌,粒状矿物晶体紧密接触,无可见空隙。易立文等^[2]通过对中甸峨眉山玄武岩中超基性-基性岩包体的扫描电镜分析,发现在电子显微镜下表现为硅酸盐和尖晶石族氧化物为主的超显微隐晶-非晶质集合体。

X射线衍射(XRD)对矿物的实际衍射图谱拟合,可以相对完整、准确、系统地确定样品的矿物组成、晶体结构、晶胞参数、晶体缺陷,分析方法快速且结果较为准确,可以弥补显微镜下无法辨别、无法快速直接进行矿物定量分析的缺憾。侯明才等^[3]对峨眉山高钛玄武岩进行XRD分析,得出其中主要的赋钛矿物为榍石,衍射图谱中特征的 d 值(单位均为 $\text{\AA}$)为4.93、3.24、2.98、2.6、2.06对应峰值5、10、7、9、6,与榍石X射线标准峰值对比完全吻合。王振波等^[4]利用X射线荧光光谱法(XRF)对取自超慢速扩张的西南印度洋脊的玄武岩样品进行元素地球化学特征分析研究,得出与亏损型洋中脊玄武岩相比,研究区玄武岩样品的主量元素组成显示偏碱性。电子探针可对玄武岩试样进行微小区域成分分析,例如孙志华等^[5]将电子探针分析技术应用于检测玄武岩玻璃中的Si、Ca、Al、Fe、Mg、K、Ti、NaO、P,样品所含元素较多,且原子序数差别较大,采用PRZ修正方法进行修正。

本研究区位于中国东部新华夏系第二隆起带与第二凹陷带的接触部位,并与秦岭纬向构造带重叠复合形成的苏北凹陷西部边缘;南邻淮阳山字形构造东翼反射弧外缘。在火山碱性岩石系列中,上地幔岩包体出露多,岩石学特征独特,故在火山玄武岩类型及成因上具有极高的科研价值。本研究采用传统的光学显微镜鉴定方法对安徽明光女山玄武岩(未经蚀变)、团山玄武岩(经过蚀变)两种样品进行分析,判别矿物成分和结构构造;进而采用X射线粉晶衍射法确定岩石样品的矿物物相,并与光学显微镜下所确定的矿物相对比;采用XRF法对样品的化学成分进行分析;采用电子探针易疏漏的微小矿物进行鉴定及观察,尝试利用现代实验设备建立适合玄武岩矿物的鉴定检测方法。

1 实验部分

各项实验在中国地质调查局南京地质调查中心完成。

1.1 光学显微镜鉴定

将岩石切割磨制成一定厚度的薄片,用Zeiss偏光显微镜(Axioskop 40型,德国卡尔·蔡司公司)在偏光显微镜下观察其组成岩石的内部结构、形态。所有试样先对标本进行肉眼观察和描述分析,再对其薄片在单偏光和正交偏光观察后,根据光性特征综合鉴定其中的矿物成分,确定岩性、蚀变现象。

1.2 X射线衍射分析

试样研磨成 $10\text{ }\mu\text{m}$ 左右的细粉末,填入Rigaku D/Max-2500型X射线衍射仪(日本理学公司)样品台的凹槽中,用载玻片压平,在设定条件下,采集样品X射线粉晶衍射图谱。采用MDI jade5.0软件通过对岩石样品的X射线衍射图谱和X射线衍射标准卡片进行对比,来判断岩石的主要物相组成。实验条件为:Cu K α 靶,辐射 $\lambda=1.540538\text{ }\text{\AA}$ 。工作电压40 kV,工作电流200 mA,采样步宽 0.02° 。扫描速度 0.5 秒/步 。DS(发射狭缝) $=1^\circ$,SS(防散射狭缝) $=1^\circ$,RS(接收狭缝) $=0.3\text{ mm}$,扫描范围为 $5^\circ\sim 80^\circ$ 。

1.3 X射线荧光光谱分析

称取 4.00 g 样品(300目),用低压聚乙烯镶边衬底,用BP-1型粉末压样机(丹东北方科学仪器有限公司)在32 MPa压力下保压30 s压制成为 40 mm 直径为 32 mm 的圆片,标样标记编号,置于干燥器中,备用Axios4.0型X射线荧光光谱仪(荷兰帕纳科公司)分析其化学成分。实验条件为:功率4 kW,工作电压60 kV,工作电流120 mA,铑靶X光管。

1.4 电子探针分析

将岩石样品制备成长小于 44 mm ,宽小于 30 mm ,厚度小于 20 mm 的光片,样品表面仔细抛光,抛光后用蒸馏水擦洗干净,测试前在光学显微镜下仔细观察,选好分析部位和区域,用蓝色水笔做好标志,以便分析时很快找到分析部位。用JEOL JXA-8100型电子探针(日本电子公司)分析样品微区化学成分。实验条件为:电压15 kV,电流 $1\times 10^{-8}\text{ A}$ 。

2 结果与讨论

2.1 薄片光学显微镜鉴定结果

2.1.1 女山玄武岩(未经蚀变)

图1为女山11AHMNS号玄武岩薄片鉴定照片,岩石为块状构造,斑状结构,基质呈间粒结构。实验室定名:辉石玄武岩。矿物组成为:斑晶(辉石)13%;基质(74%,其中斜长石44%,辉石30%);金属矿物

8%;石英捕虏晶 5%。岩石主要由斑晶、基质两部分组成,少量金属矿物及较大颗粒石英捕虏晶。

(1)斑晶:主要成分为辉石,包括斜方辉石、单斜辉石 2 种。辉石形态少部分呈短柱状,大部分边缘被熔蚀,呈规则状(图 1A);斜方辉石较单斜辉石少,最高干涉色一级黄(图 1B);单斜辉石干涉色较鲜艳,达到二级蓝绿(图 1C);辉石斑晶大小不等,在 0.18 mm×0.2 mm~0.6 mm×1.3 mm 之间。

(2)基质:由斜长石、辉石组成。斜长石多呈细小板状,颗粒分布均匀,大小在 0.01 mm×0.09 mm 左右;辉石呈细小粒状,颗粒一般小于 0.01 mm×0.01 mm。细小板状长石搭成三角架状,且辉石小

颗粒充填于空隙中,构成了基质的辉绿结构和间粒结构(图 1D)^[6-7]。

(3)较大颗粒石英捕虏晶:岩石中有一处 4.7 mm×3.7 mm 的石英捕虏晶(图 1E),有反应边,这是由于玄武质岩浆贫硅,因而可与石英捕虏晶发生化学反应,在石英周缘生成细小的辉石等晶体。该石英捕虏晶可能来源于地壳深部或围岩。破碎的石英间隙中有绿泥石的充填,绿泥石呈靛蓝色异常干涉色,具一组完全解理。

另外岩石中有少量金属矿物,多呈粒状或不规则状,部分呈立方体晶形(图 1F),颗粒大小在 0.01 mm×0.03 mm~0.3 mm×0.5 mm 之间。

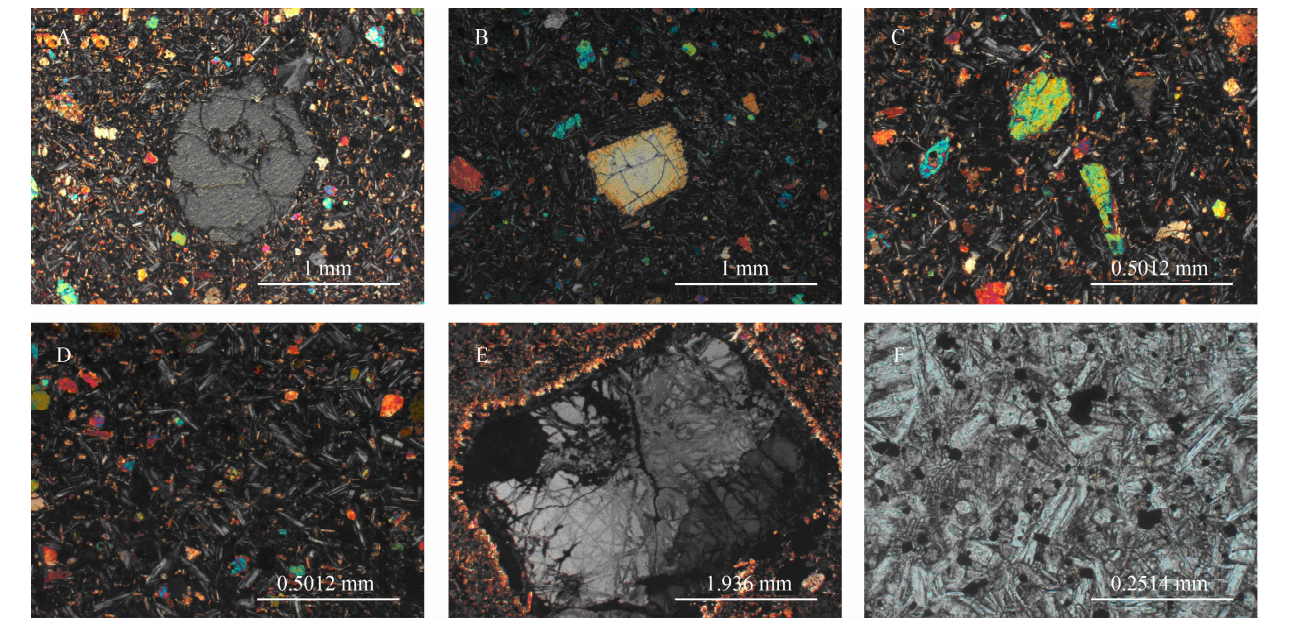


图 1 女山玄武岩薄片鉴定的显微照片
Fig. 1 Microphotographs of Nüshan basalt

2.1.2 团山山玄武岩(经过蚀变)

图 2 为团山 11AHMG 号玄武岩薄片鉴定照片,岩石为杏仁状构造,斑状结构,基质呈间粒结构。实验室定名:伊丁石化杏仁状橄榄玄武岩。矿物组成为:杏仁体 13%;斑晶(伊丁石) 9%;橄榄石捕虏晶 3%;基质(75%,其中斜长石 50%,辉石 25%)。岩石主要由斑晶、基质两部分组成,存在绿泥石充填的杏仁体。

(1)斑晶:成分主要为橄榄石,其次是少量的辉石。橄榄石部分蚀变成红褐色伊丁石。橄榄石捕虏晶大小在 0.1 mm×0.1 mm~0.5 mm×0.7 mm 之间(图 2G)。另外橄榄石多具斜方辉石反应边,反应边后期被绿泥石交代,致使显现伊丁石外圈被绿

泥石包裹的现象(图 2H)。辉石少量,干涉色呈二级蓝绿,可见半自形短柱状晶形(图 2I)^[8-9]。

(2)基质:主要由斜长石、辉石组成。斜长石多呈细小板条状不规则排列,在其构成不规则的格架中充填有颗粒细小的辉石,构成间粒结构(图 2J)。斜长石颗粒大小较均匀,长轴长度一般小于 1 mm;辉石有斜方辉石与单斜辉石两类,颗粒细小,粒径一般小于 0.05 mm×0.05 mm。

另外岩石中有少量杏仁体出现,杏仁体呈圆形、椭圆形(图 2K),不规则形(图 2L、M)等,大小在 0.5 mm×0.5 mm~1 mm×0.3 mm 之间,多由绿泥石充填形成,且呈杏仁体的圈层构造(图 2N)。

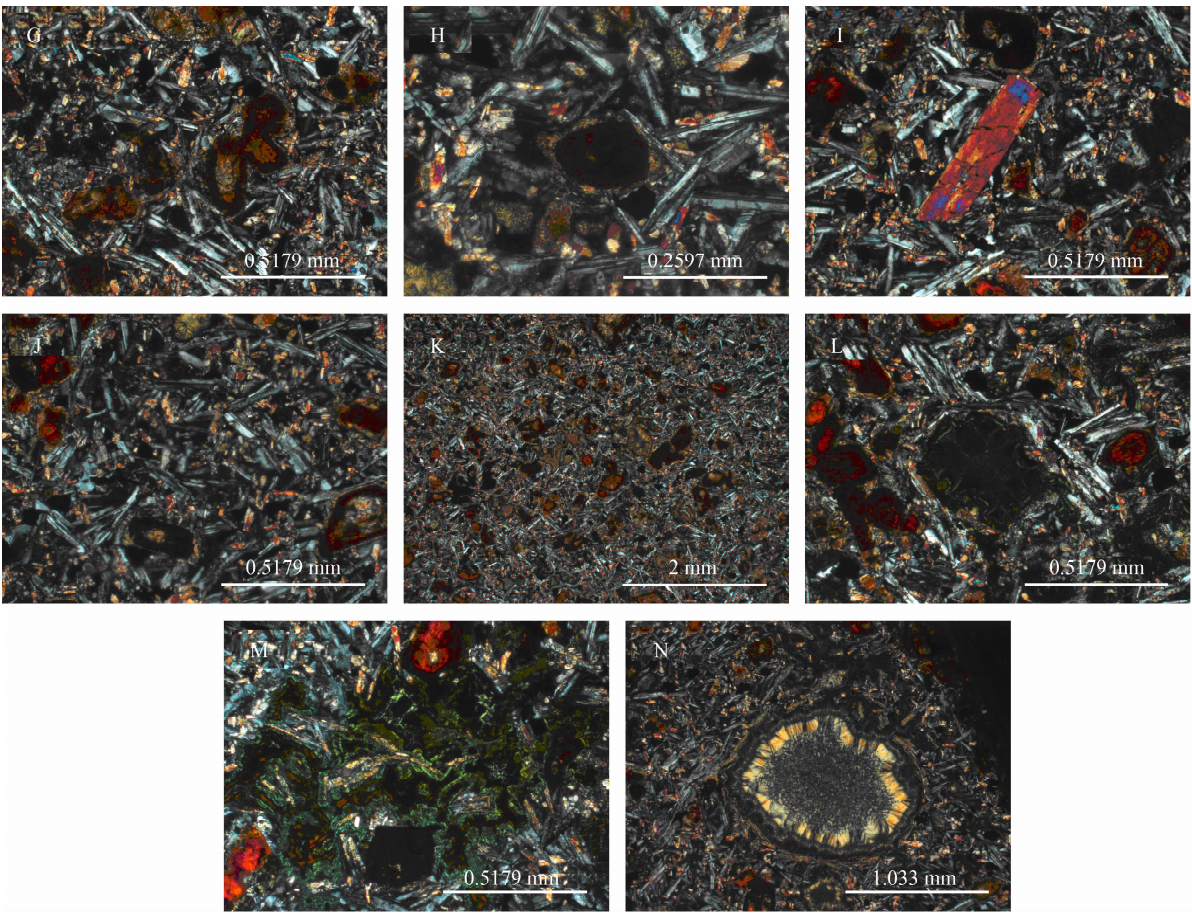


图2 团山玄武岩薄片鉴定的显微照片
Fig.2 Microphotographs of Tuanshan basalt

2.2 X 射线粉晶衍射分析结果

2.2.1 矿物组成分析

任何一种晶态物质都有其独特的 X 射线衍射图谱,不会因为与其他物质混在一起而产生变化。当未知样品为多相混合物时,其中的各组分都将在衍射图上贡献出自己特有的一组衍射峰。每张衍射图的 d 值和相对强度 I/I_1 值,是鉴定各种矿物组成的证据。粉末衍射标准数据卡片,就是将纯的单相物质进行测定,并将其 d 值和相对强度 I/I_1 值记录在卡片上。目前,内容最丰富、规模最大的数据集是 JCPDS 编的《粉末衍射卡片集(PDF)》。将测得的样品衍射图的 d 值和相对强度 I/I_1 与卡片比较,以此逐次鉴定样品中所含组分^[10]。

(1) 女山玄武岩(未经蚀变)
对女山 11AHMNS 号玄武岩矿物组成进行分析。从图 3a 可看出:主要物相为拉长石($d=0.326\text{ nm}$, $d=0.318\text{ nm}$, $d=0.404\text{ nm}$)、辉石($d=0.299\text{ nm}$, $d=0.325\text{ nm}$, $d=0.142\text{ nm}$)、石英($d=0.426\text{ nm}$, $d=0.334\text{ nm}$, $d=0.182\text{ nm}$)、钛铁矿($d=0.275\text{ nm}$, $d=0.254\text{ nm}$, $d=0.173\text{ nm}$)。与显微镜下观测结果

进行比较,薄片鉴定中基质部分的斜长石经过 XRD 分析可进一步确定为拉长石,符合钙碱性玄武岩中斜长石一般为拉长石和倍长石的特点。薄片鉴定中少量金属矿物,经过 XRD 分析可确定为钛铁矿。XRD 分析还可确定玄武岩中的辉石主要为普通辉石(单斜辉石)。

(2) 团山玄武岩(经过蚀变)
对团山 11AHMG 号玄武岩样品矿物组成进行分析。从图 3b 谱图可以看出:主要物相为蒙脱石($d=1.540$, $d=0.456$, $d=0.152$)、辉石($d=0.299$, $d=0.323$, $d=0.295$)、微斜长石($d=0.324$, $d=0.329$, $d=0.216$)。与显微镜下观测结果进行比较,薄片鉴定中基质部分的斜长石经过 XRD 分析应该为微斜长石,而不是斜长石。另外 XRD 分析检出蚀变矿物应该为蒙脱石,而非薄片鉴定中的绿泥石。由于伊丁石是橄榄石蚀变的各种可能产物的复合体,没有固定的结构,更倾向于同一种光学性质,所以伊丁石无法在 XRD 中被检出。由于黏土矿物颗粒较细,在显微镜下辨别比较困难,通过 XRD 分析可以看出显微镜下的绿泥石实际上为蒙脱石。

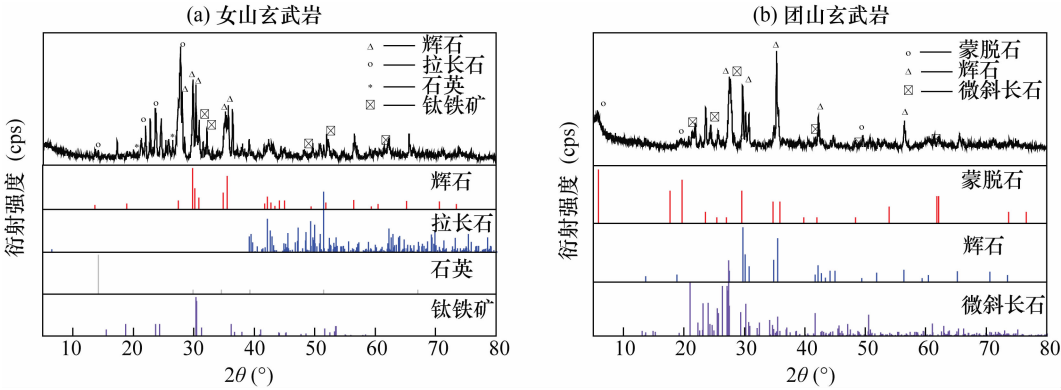


图 3 女山和团山玄武岩样品的 X 射线衍射谱图

Fig. 3 XRD patterns of basalt samples from Nüshan and Tuanshan

2.2.2 矿物定量分析

采用 *K* 值法 (基体清洗法) 对玄武岩矿物进行定量分析^[11-13]。得出女山 11AHMNS 号玄武岩为 4 相: 辉石 (46%)、长石 (41%)、石英 (5%)、钛铁矿 (8%)。团山 11AHMG 号玄武岩为 3 相: 辉石 (61%)、长石 (34%)、蒙脱石 (5%)。

2.3 X 射线荧光光谱分析结果

基性岩 SiO₂ 含量为 45% ~ 52%, 女山、团山玄武岩的主元素分析结果见表 1, 其 SiO₂ 含量皆低于 53%。按 TAS 图解分类来看^[14-16]: 女山样品属于玄武岩, 团山样品属于粗面玄武岩 (图 4)。

表 1 女山和团山玄武岩的化学成分

Table 1 Chemical compositions of basalt samples from Nüshan and Tuanshan

元素	测定含量 (%)		元素	测定含量 (%)	
	女山玄武岩	团山玄武岩		女山玄武岩	团山玄武岩
SiO ₂	48.14	48.98	MgO	9.53	7.70
TiO ₂	2.22	2.35	CaO	7.01	8.44
Al ₂ O ₃	14.34	13.64	Na ₂ O	2.97	1.93
Fe ₂ O ₃	6.95	6.40	K ₂ O	2.68	1.73
FeO	4.86	5.33	P ₂ O ₅	0.51	0.56
MnO	0.15	0.15	H ₂ O	—	—

2.4 电子探针分析结果

女山和团山玄武岩电子探针分析结果列于表 2。女山玄武岩的主要矿物为: 拉长石、辉石、钛铁矿, 与 XRD 分析结果相一致。显微镜下很难判断的金属矿物经过电子探针可以确定为钛铁矿^[17]。团山玄武岩的主要矿物为: 微斜长石、辉石、蒙脱石, 与 XRD 分析结果相一致。

表 2 女山和团山玄武岩探针分析结果

Table 2 Analytical results of basalt samples from Nüshan and Tuanshan by EPMA

元素	女山玄武岩矿物中 元素的含量 (%)			团山玄武岩矿物中 元素的含量 (%)		
	拉长石	辉石	钛铁矿	微斜长石	辉石	蒙脱石
Na ₂ O	6.035	0.890	0.087	10.17	0.497	0.43
SiO ₂	60.121	48.590	—	65.71	48.696	73.94
TiO ₂	0.278	2.518	31.407	—	2.238	1.00
K ₂ O	0.930	0.467	—	0.21	0.055	2.10
MgO	0.054	12.990	3.588	—	13.563	1.44
Cr ₂ O ₃	—	0.061	0.079	—	0.003	—
CaO	6.485	20.456	0.053	2.71	21.898	—
Al ₂ O ₃	24.710	4.435	0.945	21.00	3.928	14.78
MnO	0.038	0.214	0.601	0.05	0.148	—
FeO	0.657	9.677	63.193	0.05	8.653	5.28
总计	99.308	100.298	99.953	99.90	99.679	—

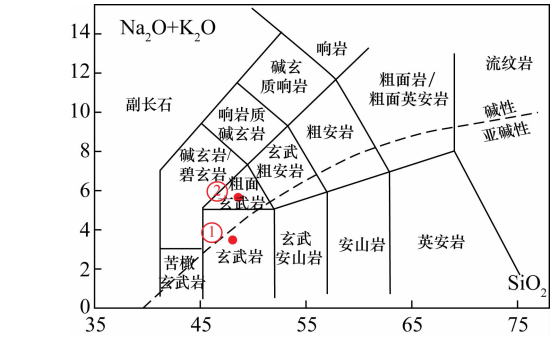


图 4 两种玄武岩样品的 TAS 图解

Fig. 4 TAS diagrams of two kinds of basalt samples

3 结语

本文对安徽明光未经蚀变和经过蚀变的 2 种玄武岩进行显微镜镜下鉴定和 XRD、XRF 和电子探针分析。通过分析可以得出: 女山未经蚀变玄武岩样品的显微镜分析和 XRD 分析鉴定结果一致, 而团山蚀变玄武岩有所差异。

显微镜下鉴定的优势在于能够准确地鉴定出岩石构造 (如块状构造、杏仁状构造) 和结构 (如斑状结构、间粒结构), 但对于含有蚀变矿物的玄武岩定

名,仅仅依靠显微镜鉴定,往往会出现蚀变矿物辨别不清的情况,在传统岩矿鉴定中已成为一个难题。XRD 鉴定的优势在于更准确地鉴定出岩石造岩矿物和蚀变矿物名称与含量,还可以给出矿物晶体结构数据,在玄武岩鉴定中发挥了关键作用,不仅能准确区分细小的蚀变矿物种类,又能检出辉石、长石矿物种类及其在岩石中的相对含量,使得玄武岩岩石鉴定更加准确。而通过 XRF 分析并采用 TAS 图解法可以进一步验证岩石为玄武岩,通过电子探针分析可以确定样品中的金属矿物为钛铁矿。XRF 分析和电子探针分析的结合,进一步为玄武岩鉴定提供了很好的佐证。

本文研究采用的多种现代仪器分析方法为玄武岩鉴定提供了新的手段,并可在相关岩类矿物鉴定工作中推广应用。

4 参考文献

- [1] 王志兵,徐则民. 头寨滑坡玄武岩腐岩的岩石化学和矿物学特征[J]. 矿物学报,2008,28(4):447-454.
Wang Z B, Xu Z M. Petrochemistry and Mineralogy of Basalt Saprolite in Touzhai Landslide [J]. Acta Mineralogica Sinica,2008,28(4):447-454.
- [2] 易立文,刘显凡,邓江红,等. 云南中甸峨眉山玄武岩中超基性——基性岩包体的地幔流体微观踪迹及其熔离成矿意义[J]. 现代地质,2012,26(3):421-432.
Yi L W, Liu X F, Deng J H, et al. The Microcosmic Traces of Mantle Fluid and the Implications for Liquation Metallogenesis from Ultrabasic-basic Xenoliths in Emeishan Basalt, Zhongdian, Yunnan[J]. Geoscience, 2012,26(3):421-432.
- [3] 侯明才,邓敏,张本健,等. 峨眉山高钛玄武岩中主要的赋钛矿物——榍石的产状、特征及成因[J]. 岩石学报,2011,27(8):2487-2499.
Hou M C, Deng M, Zhang B J, et al. A Major Ti-bearing Mineral in Emeishan Basalts: The Occurrence, Characters and Genesis of Sphene[J]. Acta Petrologica Sinica,2011,27(8):2487-2499.
- [4] 王振波,武光海,韩沉花. 西南印度洋脊 49.6°E 热液区热液产物和玄武岩地球化学特征[J]. 海洋学研究,2014,32(1):64-73.
Wang Z B, Wu G H, Han C H. Geochemical Characteristics of Hydrothermal Deposits and Basalts at 49.6°E on the Southwest Indian Ridge[J]. Journal of Marine Sciences, 2014, 32(1):64-73.
- [5] 孙志华,刘开平,刘民武. 玄武岩玻璃的电子探针分析[J]. 岩矿测试,2011,30(4):446-450.
Su Z H, Liu K P, Liu M W. Analysis of Basalt Glass by Electron Probe Micro Analyzer[J]. Rock and Mineral Analysis,2011,30(4):446-450.
- [6] Andreas P, Hafida E B, Richard E. Periodicities in the Emplacement of Large Igneous Provinces through the Phanerozoic: Relations to Ocean Chemistry and Marine Biodiversity Evolution[J]. Geoscience Frontiers, 2013, 4:263-276.
- [7] Li H K, Zhang C L, Yao C Y, et al. U-Pb Zircon Age and Hf Isotope Compositions of Mesoproterozoic Sedimentary Strata on the Western Margin of the Yangtze Massif[J]. Science China (Earth Sciences), 2013, 56(4):628-639.
- [8] Bao P S, Su L, Wang J, et al. Study on the Tectonic Setting for the Ophiolites in Xigaze, Tibet [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition),2013,87(2):392-425.
- [9] Liu X M, Xu L R. Asbestos Tailings as Aggregates for Asphalt Mixture [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Materials Science Edition), 2011,26(2):336-339.
- [10] 沈春玉,储刚. X 射线衍射定量相分析新方法[J]. 分析测试学报,2003,22(6):80-82.
Shen C Y, Chu G. A New Method for Quantitative X-ray Diffraction Phase Analysis [J]. Journal of Instrumental Analysis,2003,22(6):80-82.
- [11] 孙以谏. X 射线晶体学对造岩矿物研究的应用[J]. 资源调查与环境,2002,23(3):172-178.
Sun Y J. Application of X-ray Crystallography on Studying Rock-forming Mineral [J]. Resources Survey & Environment, 2002,23(3):172-178.
- [12] 房俊卓,张霞,徐崇福. 实验条件对 X 射线衍射物相定量分析结果的影响[J]. 岩矿测试,2008,27(1):60-62.
Fang J Z, Zhang X, Xu C F. Effect of Experimental Conditions on X-ray Diffractometric Quantitative Phase Analysis[J]. Rock and Mineral Analysis,2008,27(1):60-62.
- [13] 何泽能,李振山,斯永敏. 微量相 X 射线衍射定量分析的一种简便方法[J]. 岩矿测试,2005,24(2):81-86.
He Z N, Li Z S, Si Y M. A Simple Method of Quantitative Analysis by X-ray Diffraction for Small Amount Phase [J]. Rock and Mineral Analysis,2005, 24(2):81-86.
- [14] 陈希节,舒良树,马绪宣. 新疆尾亚蛇绿混杂岩与镁铁质麻粒岩地球化学特征及构造意义[J]. 高校地质学报,2012,18(4):667-675.
Chen X J, Shu L S, Ma X X. Geochemical Features and Tectonic Significances of Weiya Ophiolitic Melange and Mafic Granulite, Xinjiang [J]. Geological Journal of China Universities,2012,18(4):667-675.
- [15] 刘翠,邓晋福,刘俊来,等. 哀牢山构造岩带晚二叠世-早三叠世火山岩特征及其构造环境[J]. 岩石学

报,2011,27(12):3590-3602.

Liu C, Deng J F, Liu J L, et al. Characteristics of Volcanic Rocks from Late Permian to Early Traissic in Ailaoshan Tectono-magmatic Belt and Implications for Tectonic Settings[J]. Acta Petrologica Sinica,2011,27(12):3590-3602.

[16] 孔维琼,刘翠,邓晋福,等. 内蒙古二连浩特地区乌花敖包钼矿区火成岩特征和 LA-ICP-MS 锆石年代学研究[J]. 地学前缘,2012,19(5):123-135.

Kong W Q, Liu C, Deng J F, et al. The Charateristics of Igneous Rock and LA-ICP-MS Zircon Dating in Wuhaoaobao Mo Deposit, Erlianhot Area of Inner Mongolia[J]. Earth Science Frontiers,2012,19(5):123-135.

[17] 张正伟,周玲棣,朱炳泉,等. 东秦岭北部富碱侵入岩的主要矿物组成[J]. 矿物学报,2002,22(1):67-74.

Zhang Z W, Zhou L D, Zhu B Q, et al. The Composition of Primary Minerals from Alkali-rich in Trusive Rocks in The Northern Part of East Qinling, China [J]. Acta Mineralogica Sinica,2002,22(1):67-74.

Application of X-ray Diffraction, X-ray Fluorescence Spectrometry and Electron Microprobe in the Identification of Basalt

XU Nai-cen^{1,2}, SHEN Jia-lin^{1,2*}, ZHANG Jing^{1,2}

- (1. Nanjing Geological Survey Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China;
2. Supervision and Testing Center of Mineral Resources of East China, Ministry of Land and Resources, Nanjing 210016, China)

Abstract: Basalt identification is usually performed by microscope, so the appraisal results are easily influenced by personal professional level and subjective factors. Influenced by slice orientation, there are differences between the optical characteristics. Moreover, tiny mineral is also limited by optical microscope magnification itself. It is difficult to accurately identify basalt. Basalt rock mineral identification has been developed from traditional microscope identification to a variety of instrument determination, such as X-ray Diffraction (XRD), Electron Probe and X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF), etc. XRD and the method of observation under microscope lens were used to identify two kinds of basalt, nvshan basalt (without alteration) and tuanshan basalt (with alteration). XRF and Electron Probe are used to validate the results of the appraisal. The Microscope identification analysis results show that the nvshan basalt (without alteration) is mainly composed of 74% matrix (inclusive of 44% plagioclase and 30% pyroxene) and 13% phenocryst, and also contains a small amount of 8% metal minerals and larger particles quartz crystal capture (5%). Microscopic identification of the matrix of plagioclase, by XRD can be further identified as labradorite, pyroxene mainly for ordinary pyroxene (monoclinic pyroxene), a small amount of metal minerals can be determined as ilmenite. Tuanshan basalt (after alteration) microscope identification is mainly composed of 75% matrix (inclusive of 50% plagioclase and 25% pyroxene) and 9% phenocryst, and also contains a small amount of chlorite filling the amygdale. Among them, the microscopic identification matrix of plagioclase can be further identified as microcline by XRD analysis, the alteration minerals montmorillonite instead of thin section identification of chlorite. The comprehensive appraisal result of XRD and related technologies show that nvshan basalt can be composed of minerals such as feldspar, pyroxene, ilmenite and the main minerals of Tuanshan basalt can be designated as microcline, pyroxene and montmorillonite. Research shows that single microscopic identification technology in the alteration mineral basalt will produce a large deviation. The introduction of the XRD technique can identify mineral species quickly and accurately, especially for smaller mineral particles.

Key words: basalt; mineral identification; rock thin section microscopic identification; X-ray Diffraction; X-ray Fluorescence Spectrometry; Electron Probe