

## 花岗石矿相的扫描电镜-X射线能谱分析

许承晃 陈恺怡

(材料物理化学研究所)

**摘要** 为了合理利用具有经济价值的各不同类别花岗石并提高其加工效果,必须采用各种检测方法尽量了解其矿相组成和相组织状态。本文通过剖析实例,阐明利用扫描电镜与X射线能谱仪相结合的方法对花岗石进行矿相显微分析是可行而有效的,所获信息为花岗石的评价、利用和加工提供了科学依据。

**关键词** 微分析,花岗石,扫描电镜

品料能突 3.1

品料能突 3.1

## 0 引言

华南地区花岗岩类岩石分布广、贮量大,具有较高的应用价值,与花岗岩类有关的金属矿产也非常丰富。因此,对花岗岩进行快速有效的评价和研究,以期充分地开发和利用它,是科技工作者的重要课题之一。花岗石由具有一定组成和结构的矿物颗粒集合而成,各矿物相的组成、相组织关系及元素的赋存状态等等,决定了花岗石力学和化学的性质。这些性质又决定了它的加工质量和用途。因此,对花岗石的矿相及元素赋存状态进行研究,特别是深入研究其微观结构、相组织和微区成分对了解、评价其应用价值、包括化学稳定性、机械性能及加工难易程度都具有重要意义<sup>[1]</sup>。另一方面,由于华南花岗岩类的形成具有多时代、多成因的特点,而花岗岩类中微量元素的分布特征是花岗岩的物质来源和形成过程的反映。因此,对花岗岩中矿物相分布及元素存在状态的研究也将成为花岗岩类成岩和矿化研究的依据。

本文报道了采用配备有广角背散射电子探头<sup>[2]</sup>的扫描电镜(SEM)与X射线能谱仪(EDS)联机,对花岗石进行矿物相研究的方法和结果。

## 1 实验方法及设备

## 1.1 实验设备

KYKY-AMRAY1000B型扫描电镜(二次电子像分辨率为60 Å), Robinson 背散射电子探头(空间分辨率为80 Å,原子序数鉴别力优于0.003Z), TN-5500X射线能谱仪(分辨率

本文1990-02-19收到。

为146eV)。

## 1.2 实验样品

选取东海花岗石为样品进行实验。

## 1.3 实验方法

利用扫描电镜的二次电子图像进行花岗石中矿物相微观形貌的观察研究；利用背散射电子图像对各矿物相成分分布进行初步观察；配合X射线能谱仪进行微区成分的定性及半定量分析。为进行背散射电子像观测及X射线能谱分析，试样预先作了抛光处理，以尽量减少背散射电子像中的形貌衬度和定量分析误差；当进行二次电子像观察时，则可保留石样的原始断面进行观测研究。为了进一步对构成花岗石的各物相进行鉴定，采用了人工解离方法，通过机械及化学处理获得准单一矿相样品。分离所得的各准单矿相再分别进行SEM-EDS实验，并结合对比X射线粉末法分析结果，确定该花岗石样各组成矿相的种类。

近年来，微分析测试手段在矿物学和岩石学研究方面得到了越来越多的应用<sup>[3-4]</sup>。但直接采用扫描电镜和X射线能谱作为研究和鉴定花岗石的手段，迄今尚很少看到有关报道。

## 2 结果与讨论

### 2.1 东海花岗石试样剖析

依照上述实验方法，选取东海花岗石样品进行范例剖析，主要矿相的显微照片及典型的X射线能谱图见图版I，II，能谱图1—6。

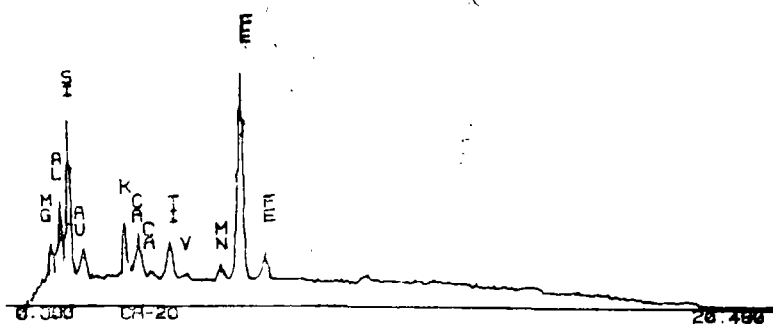


图 1

混合矿相的能谱图

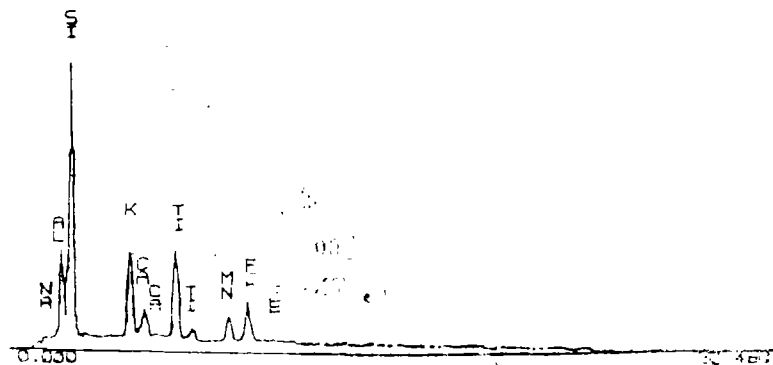


图 2

混合长石相的能谱图



图3 钾长石能谱图

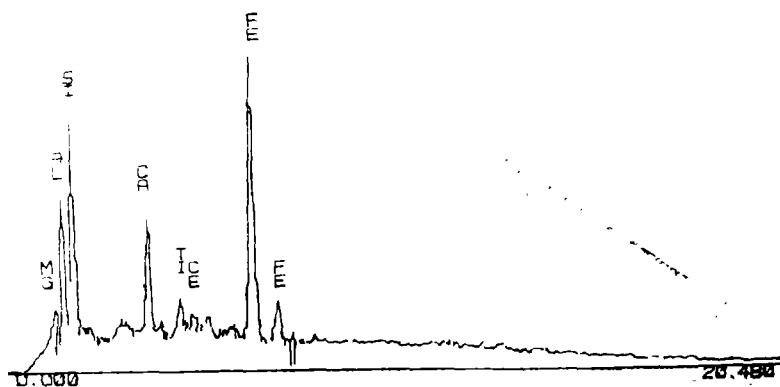


图4 黑云母相能谱图

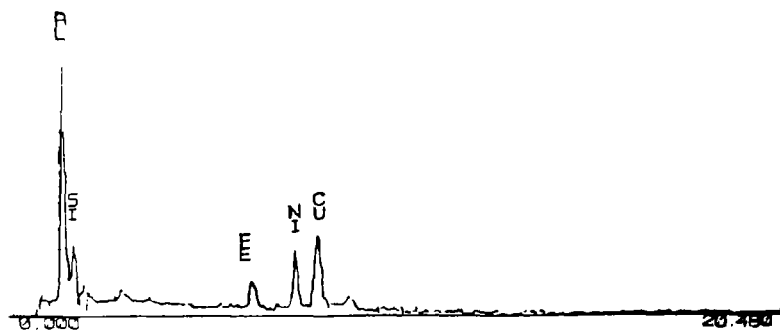


图5 高Al、Ni、Cu夹杂相的能谱图

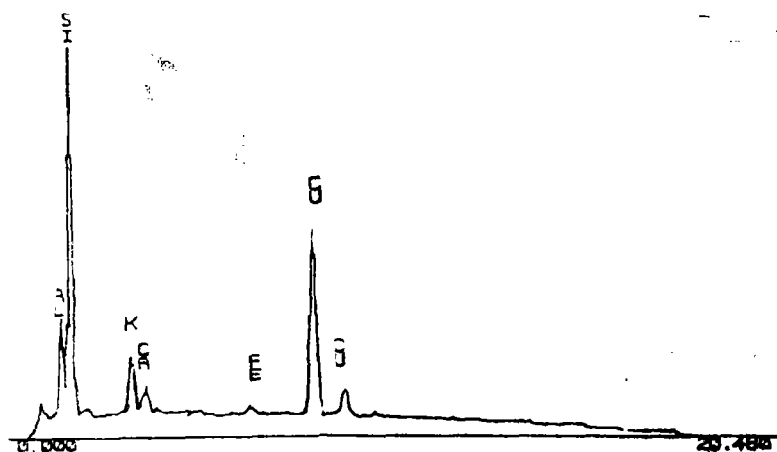


图6 高Cu夹杂相的能谱图

2.1.1 类型 以二长花岗石为主体的片麻状中粒黑云母淡色花岗石(典型相区的显微形貌见图版I 1)。

2.1.2 主要矿相的物质组成和显微组织分布 (1)长石。整体含量约占60%左右,但区域分布不均匀,含量起伏范围在45—75%之间。长石的品类按巴尔特长石成分图解<sup>[5]</sup>判别,以更长石和钾质更长石为主,中长石次之,钠长石中等数量间隙部分钠质正长石和拉长石。而钾长石分子(Or)和钙长石分子(An)不互溶,Or和钠长石(Ab)大部分互溶。各类长石的典型微观形貌见图版I 2—6。(2)云母:以黑褐色黑云母为主,呈假六方板片状和鳞片状存在,含 $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{V}^{5+}$ 和少量稀有元素。云母以片状不均匀分布(片径0.1—3mm),总量虽小于10%,但在断口面的分布却往往高达20—30%。显然,云母的这种组织分布状态,对整体结构的力学性质产生很大的影响。典型的云母微区形貌见图版I 7, II 1—2。(3)石英石:独立的 $\text{SiO}_2$ 以柱状颗粒(可达数mm)存在。微晶粒分散于其它矿相中,难于进行含量的统计。(4)铁石:以粒状 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\text{FeO}$ 的形式存在,独立铁矿粒较大(mm级),但数量很少。

2.1.3 夹层矿相 在粉红色的长石相中,存在着数量很可观的夹层矿相(如图版II 3所示),其中,图版II 3a显示了高Al、Fe夹层,Al、Fe的含量均超过30%;图版II 3b、c显示了高Al、Ni、Cu夹层,Al含量大于50%;Cu和Ni均达15—20%;图版II 3d显示了高Al、Ag的夹层矿物,Ag和Al的含量均超过20%。在这些夹层相中,还不同程度存在着稀有金属和稀土元素,部分含量达到10%左右。显然,这些赋存稀有元素和有色金属的夹层的存在,对研究该地区的岩石化学和矿物分布情况具有很大的参考和应用价值。

## 2.2 讨论

如上报道了一个利用SEM-EDS方法研究花岗石矿相的范例。虽然所提供的信息和依据尚未臻完善和精确,但是从这个典型石样剖析实验方法和结果,可以认为本方法具有很大的特点和实用价值。

(1)方法快捷,制样简单,且可以提供其它鉴别方法所难以同时获得的丰富信息。

(2) 利用X射线能谱仪进行矿相中赋存元素的定性及半定量分析, 具有元素分析范围宽 ( $\text{Na}^{11}$ — $\text{U}^{92}$ ), 信息处理效率高等显著的优点。特别是背散射电子探头的配合使用使各矿相中微成分差异显得更为直观, 为能谱仪的定性、定量分析起了先导作用。

(3) 据 J. Malik 的研究, 矿物相中颗粒形状的不规则及晶粒边界的再结晶作用等, 对岩石都具有强化和阻碍其解离的作用<sup>[1]</sup>。因此, 各矿相的组织与岩石的机械特性和加工特性密切相关。通过 SEM-EDS 方法, 可直接采取自然断面进行颗粒形状、粒度及相互结合情况的观测研究。同时, 可检测杂质相的种类和存在方式并探讨其作用。这对于了解各个矿相的组织及其对力学性质的影响, 以评价其应用价值和提高加工效果具有重要的意义。

(4) 花岗石的化学稳定性直接关系到其应用价值。而其矿相的化学不稳定, 诸如在一定条件下, 某些组分可能发生的选择溶解、选择熔蚀或氧化还原反应等, 不仅与组成矿物相的元素本身的性质有关, 而且与元素在各矿相中的含量及晶体结构有关。采用 SEM-EDS 方法研究花岗石矿相, 可提供有关赋存元素的种类、含量及晶体结构的大量信息, 以利于了解其化学稳定性及最适宜的使用环境, 并得到最合理的利用。

(5) 利用本方法所进行的研究, 能提供孪生矿物和包裹体的有关信息, 助益于对探矿和稀、贵金属矿物的开发。另一方面, 所获得的有关元素赋存状态的信息, 对花岗岩的成岩和矿化的研究, 可提供有力的依据。

SEM-EDS 方法应用于花岗石矿相研究, 潜力很大。随着仪器功能的进一步开发以及仪器精度和操作、使用水平的进一步提高, 该方法必将显示出更大的价值。当然, 本实验方法尚不完善, 很多工作有待进一步进行。若能利用 SEM-EDS 方法与应用研究相结合, 对一具体地区的系列花岗石进行较系统的对比研究, 定能提供一套深入而又有较大应用价值的系统资料, 使潜在价值转化为经济效益, 为该地区的矿产资源利用和综合开发作出积极的贡献。

### 3 结语

采用配置背散射电子探头的扫描电镜与X射线能谱仪联机对花岗石矿相的微结构及微区成分进行分析, 揭示了花岗石中各矿相的组织、成分、元素赋存状态及夹杂相的种类和存在方式。结果表明, 该方法应用于花岗石矿相的研究是可行而有效的, 它以较快速度获得了丰富而又有价值的信息, 对研究、评价和合理利用花岗石具有重要意义。

### 参 考 文 献

- [1] Malik J. (王宗明译), 岩石和矿物的矿物学结构与研磨特性之间的关系, 矿产综合利用, 3 (1989), 22.
- [2] Robinson, V. N. E., *J. of Physics E: Scientific Instruments*, 7, (1974), 650;  
*Scanning Electron Microscopy*, 51, (1975).
- [3] 毛水和、李广文, 电子探针分析在矿产综合利用研究中的应用, 矿产综合利用, 6(1989), 37.
- [4] 李慎熙、杜宏, 用X射线能谱仪测定长石类矿物中Na, K组分时存在的若干问题, 电子显微学报, 5, 3(1986), 232.
- [5] 北京大学地质学系岩矿教研室编, 光性矿物学, 北京地质出版社, (1979), 180—234.

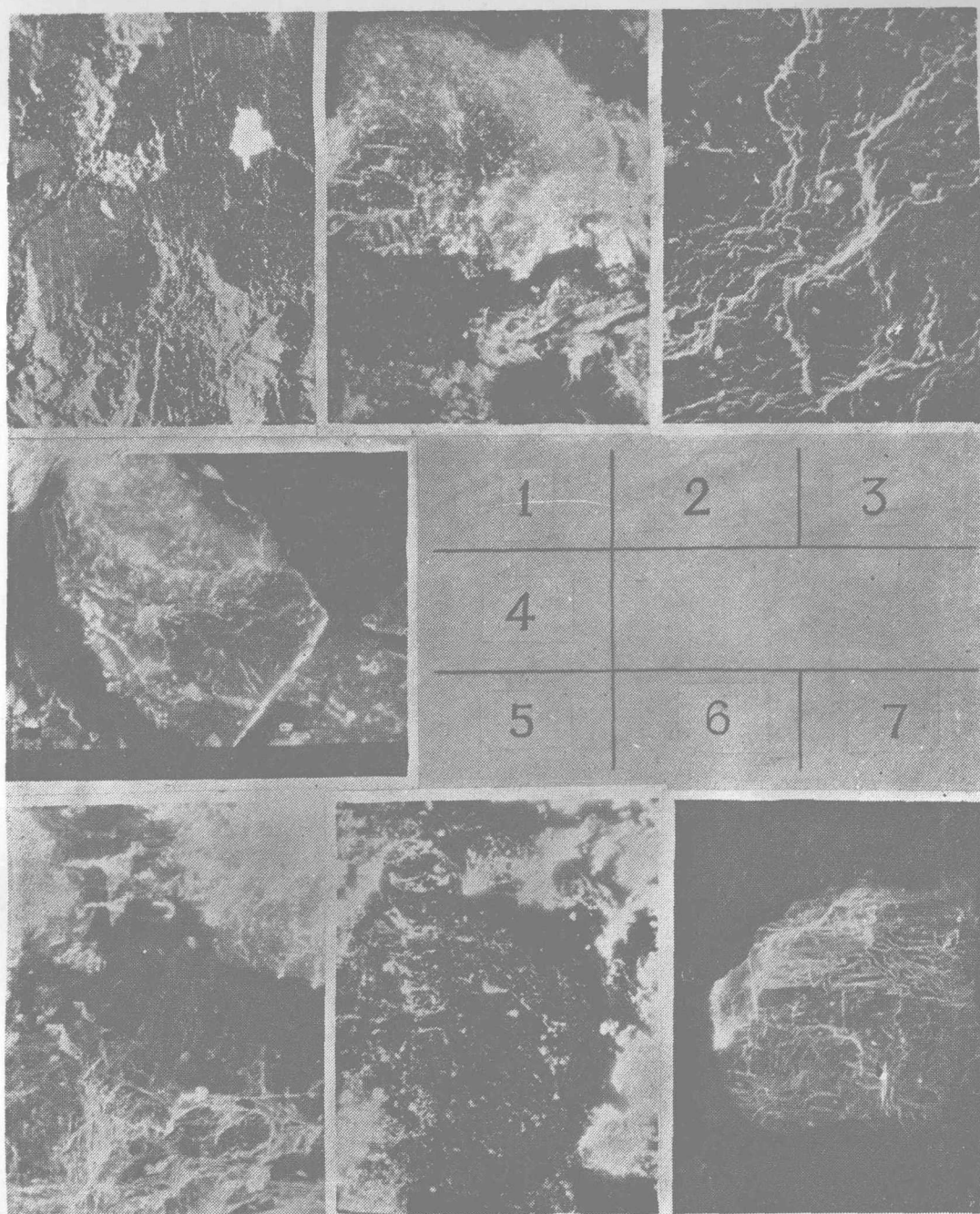
## SEM-EDS Analysis of Mineral Facies of Granites

Xu Chenghuang      Chen Kaiyi

(*Institute of Material Physical Chemistry*)

**Abstract** Granite is a mineral of great economic importance. In order to utilize appropriately various kinds of granites and to promote their processing effect, it is imperative to know well their mineral facies composition and phase state by various detecting methods. Through a case analysis, this paper shows that it is feasible and effective to do a micro-analysis on granites by combining scanning electron microscopy with X-ray energy dispersive spectrometry. The results may serve as a scientific basis for the evaluation of granites as well as for their processing and utilization.

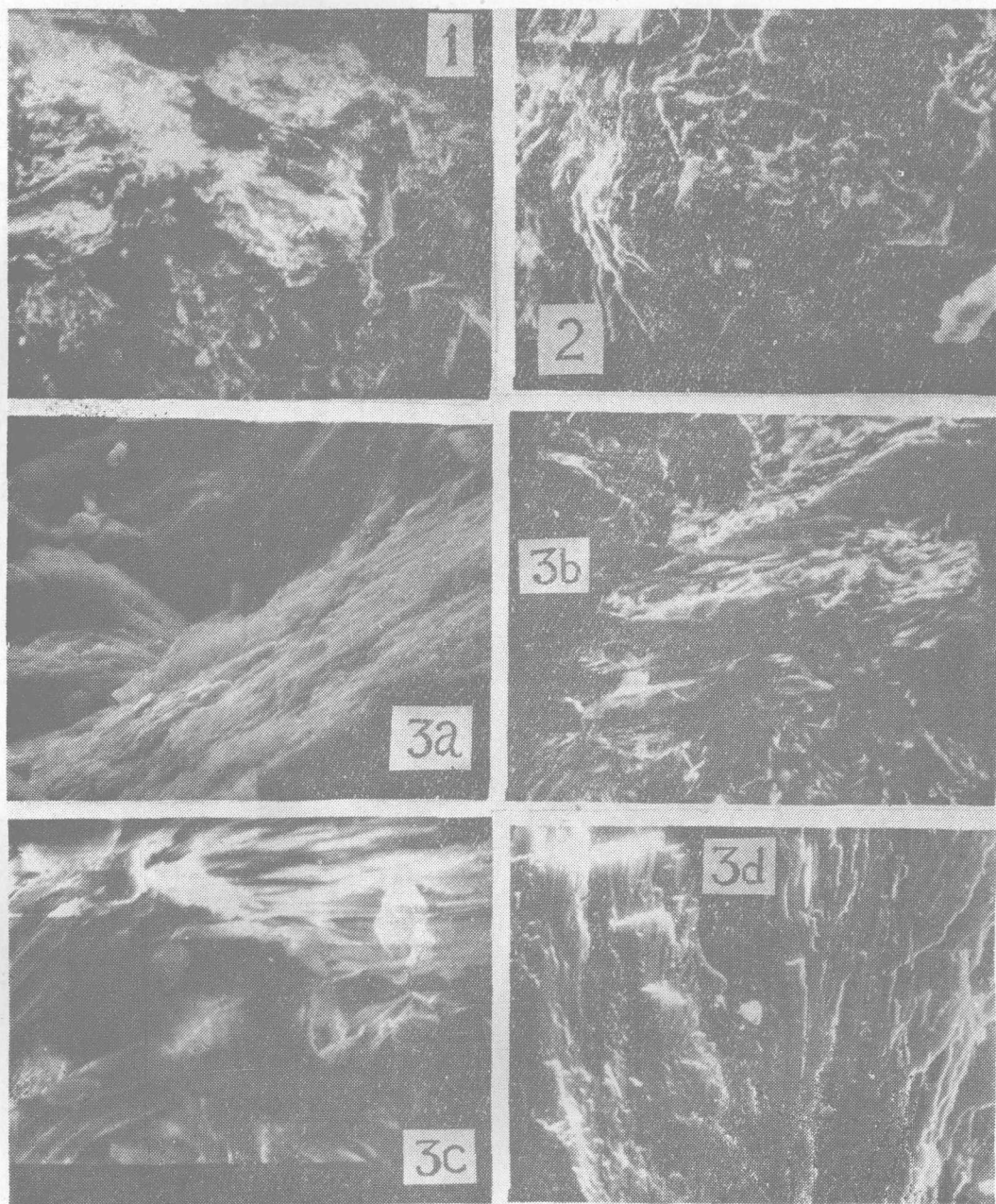
**Key words** micro-analysis, granite, scanning electron microscopy, X-ray energy dispersive spectrometry



图版 I 说明

- |                 |                              |
|-----------------|------------------------------|
| 1. 典型矿相全貌图;     | 2. 拉长石与更长石的典型显微形貌;           |
| 3. 钠长石显微组织;     | 4. 典型正长石夹杂钾长石颗粒;             |
| 5. 钾长石钾钠长石混杂区域; | 6. 大颗粒 $\text{SiO}_2$ 和长石共生; |
| 7. 典型的黑云母分离颗粒;  |                              |





图版 II 说明

- |                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| 1. 云母与长石混杂相;     | 2. 云母相中夹杂 $\text{SiO}_2$ 颗粒; |
| 3a. 高Al、Fe夹杂矿相;  | 3b. 高Al (Ni、Cu) 夹层矿相;        |
| 3c. 高Al、Cu的夹层矿相; | 3d. 高Al、Ag的夹杂矿相.             |