

方法介绍

# 阴极发光仪在变质岩和花岗岩类岩石中的应用

徐惠芬 陈涛

(中国地质科学院地质研究所)

**主题词:** 阴极发光仪; 变质岩; 花岗岩; 变余构造; 变形

**提 要:** 利用阴极发光仪对一些前寒武纪变质岩(河北, 内蒙等地)和西藏及其它地区的后寒武变质岩, 以及不同时代和成因的花岗岩类岩石的样品进行了观察。阴极发光与某些过渡元素的含量有关, 可以揭示岩石的构造, 间接地反映矿物化学成分的特点。本文介绍了阴极发光在变质岩和花岗岩类岩石的以下几个方面的应用: 1) 间接地确定变质级; 2) 揭示原岩的变余构造; 3) 鉴别细粒和发光矿物; 4) 研究矿物之间的反应; 5) 重建变形构造。

1879年, Crookes首先介绍了固态晶体在快速电子束轰击下的发光现象。直到1965年, Smith等人将阴极发光仪和显微镜观察结合起来, 才开始了阴极发光在地质学领域中的应用。

笔者使用美国Nuclide公司的Elm-2EX型阴极发光仪, 初次尝试用于变质岩(主要为区域变质岩)和花岗岩类岩石的研究, 本文简略介绍一下我们工作的一些初步结果。

## 一、样品的制备及照相条件

用于阴极发光观察的样品可以是光薄片, 矿物碎屑, 也可以是岩石标本。最好事先对光薄片进行观察, 这样可以与岩相学研究及电子探针分析进行对比。岩石光薄片的制备应注意以下几个问题: 1) 底胶的选择: 要求底胶是不发光的, 一般502胶较好, 环氧树脂胶(如国产618号等)也可以使用。熔点低、具发光性的树胶(如加拿大树胶)不宜采用; 2) 薄片厚度: 一般厚 $30\mu$ 左右即可, 但是, 对于泥岩样品, 含有机质样品等应稍厚些, 最好 $40\mu$ , 以防击穿; 3) 光薄片磨好后, 应干燥2~3天, 避免水气进入样品室; 4) 样品表面应保持干净, 因样品表面残留下来的磨料将会干扰对薄片矿物的辨认和确定。

按前人的经验, 阴极发光下的照相最好是用27定(400A)彩色胶卷。经我们试验, 23定(160A)效果也可以, 在稳定的电流、电压条件下, 一般曝光40秒钟左右。另外, 只要掌握好光度、工作条件和曝光速度(约60~80秒)20定(100A)彩色胶卷对多数样品也可使用。

## 二、应 用

阴极发光是物质的一种表面物理现象。固体样品的表面在快速电子束的轰击下发光, 一般涉及物质深度不超过 $10\text{ \AA}$ 。其发光机理属于电子波谱的一段。目前所知, 发光的过程和因

素较复杂。主要受到以下三个因素的控制：1. 激活剂：由某些化学元素作为激活剂导致发光，如过渡金属离子 ( $Mn^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$  和  $Ti^{4+}$  等) 和某些镧系元素 ( $Eu^{2+}$ 、 $Eu^{3+}$ 、 $Sm^{3+}$ 、 $Dy^{3+}$  和  $Tb^{3+}$  等)；2. 结构缺陷 (或称自激活)：指晶体结构缺陷，如晶体空间群的对称性遭到破坏、阴阳离子的空位、原子和分子填隙的空位、无序分布的原子、空位和杂质的聚集体等都可能引起发光；3. 猝灭剂：某些元素 (如  $Fe^{2+}$ 、 $Co$ 、 $Ni$  等) 抑制物质发光，以使物质的阴极发光复杂化。因而，阴极发光可以间接反映矿物内在的成分和结构变化特征，提供更多的岩石结构、构造信息。这次我们观察与研究了华北前寒武纪区域变质岩、西藏等地的后寒武纪部分变质岩，以及不同时代、不同成因的部分花岗岩类岩石。有关的矿物阴极发光特征及工作条件见表1。

表 1 变质岩和花岗岩类岩石中主要矿物的阴极发光

Table 1 The cathodoluminescence of the major minerals from metamorphic and granitic rocks

矿物名称	阴极发光颜色	激发方式		可能原因	母岩及产区
		电压 (kV)	电流 (Au)		
石英	棕色—褐红色蓝色	10—12	0.4—0.5	晶格缺陷	紫苏花岗岩、麻粒岩、角闪岩、石英片岩
斜长石	草绿色—褐绿色	10—8	0.5	$Ca^{2+}$	麻粒岩、角闪岩、花岗岩等
钠长石	绿褐色—粉红色	10	0.5		花岗岩、片麻岩 (内蒙、河北)
钾长石	蓝色—天蓝色	8	0.5	Rb、Sr 等	花岗岩 (西藏、江西)、变质岩 (河北)
绿帘石	蓝色、绿色、金黄色	9	0.5	$Ca^{2+}$ 为主	角闪岩、花岗岩 (河北)
钙质辉石	深绿色 (透辉石)	12	0.6—0.4		麻粒岩 (内蒙、冀东)
紫苏辉石	暗玫瑰色	12	0.4		麻粒岩、紫苏花岗岩 (冀东)
矽线石	血红色、暗蓝色*	8	0.5		片麻岩 (内蒙、河北)
蓝晶石	鲜红色、紫色	8	0.5		片麻岩 (冀东)
锆石	黄色、绿黄色蓝色*	10	0.5	晶格缺陷、Dy 等元素	各种变质岩、花岗岩 (内蒙、山东等地)
磷灰石	金黄色、黄色蓝色	8	0.5	$Mn^{2+}$	麻粒岩、花岗岩 (北方各省)
				$Eu^{2+}$ , $Eu^{3+}$ *	大理岩 (河北)
白云石	深红色	8	0.6	$Mn^{2+}$	大理岩 (河北等)
方解石	橙红色—黄橙色	8	0.6	$Mn^{2+}$ (0.02—0.03)*	大理岩 (河北等)
菱镁矿	紫红色	8	0.5		菱镁石大理岩 (辽宁)
萤石膏	浅黄色	8	0.5		片麻岩 (冀东)

\* 据 Nickel, E. 1978<sup>[1]</sup>

### (一) 判断变质程序

在内蒙、河北、山东等地的前寒武纪麻粒岩相、角闪岩相及部分绿片岩相变质岩中，主要的贯通矿物石英、斜长石、钠长石及钾长石都显示较好的阴极发光颜色。如：石英为棕红色—棕褐色，斜长石呈褐绿—草绿色，钾长石为蓝色，钠长石可以发绿褐色，也可以为浅棕色。首先利用它们不同的发光颜色能很快鉴别出它们在岩石中的含量和结晶状态。有意义的是，同一种矿物在不同变质相岩石中显示不同色调的阴极发光。如，石英在麻粒岩相和角闪岩相变质岩中都显示均匀的棕红—棕褐色，但是多数麻粒岩相岩石的石英更偏棕红色，而角闪岩相的岩石中石英则偏棕褐色—暗褐色，绿片岩相岩石尤其是低绿片岩相的岩石中石英除呈暗淡的褐色外，尚见部分为蓝色。例如，西藏三叠纪的石英片岩中，石英呈碎屑颗粒状，

轮廓清楚,多数为褐色,部分却为蓝色,后者显示了残余的碎屑石英特征<sup>[2]</sup>。因此,利用石英不同的发光特征可以初步判断一种岩石的变质程度。第二是斜长石,从岩相学研究获知,本区麻粒岩相岩石中的斜长石较新鲜,以拉长石为主,角闪岩相岩石中的斜长石经常蚀变,以奥—中长石为主。阴极发光观察前者呈均一的草绿色,后者常常为不均匀的绿褐—褐绿色,而且前者常常显示中—细粒的粒状变晶结构,而后者经常为粗粒的镶嵌变晶结构。如冀东的麻粒岩和角闪岩就有以上的明显差别。在绿片岩相部分岩石中斜长石除了呈褐绿为主的阴极发光颜色外,部分斜长石不发光,可能证明这些斜长石是残余的沉积自生长石<sup>[2]</sup>。可见,斜长石的阴极发光特征除了能初步判断钙长石(An)含量外,尚能提供岩石的变质程度。

## (二) 恢复原岩的结构构造

变质岩的原岩恢复是变质岩岩石学经常遇到的一大难题。有些岩石经受变质作用后,原岩面貌皆非,有些岩石尚能保留一些残余的结构构造。根据这些残余痕迹来恢复原岩的性质有时比其它方法更可靠和有效。阴极发光观察表明,在偏光显微镜下被变质和蚀变矿物模糊了的原岩结构构造却在这里显示出来。如西藏的喜山期变质花岗岩,遭受了绿片岩相的变质作用,利用偏光显微镜观察,只见绿帘石等矿物密布,原来的矿物组分和结构构造难以辨认,但是在阴极发光下斜长石、钾长石、石英显示了不同的发光颜色,颗粒界线十分清楚。同时显示很好的花岗二长结构。据这些特征,很快可确定这种岩石的原岩应为钾长二长岩,说明此岩石遭受变质不很强烈,原来的矿物成分仍然保存,其化学元素迁移只限于单个矿物内部,所以阴极发光能再现这些矿物的轮廓。又如,福建省近东山岛的海边古生代变质酸性火山岩,显微镜下只见细粒的长英质矿物,原岩的结构构造已经模糊不清,很难确定是熔岩还是凝灰岩。但是,阴极发光清楚地显示出原岩的凝灰岩结构,可见到草绿色的细网脉状流纹构造,其间散布着各种形态、大小悬殊的晶屑、岩屑,其中草绿色细脉是斜长石等细粒矿物,比周围矿物相对含钙高。另一例,冀东青龙县西汉沟的绿片岩相变质岩,从岩石露头上可见残余的枕状构造,但是枕状体和胶结物都已变质成细粒、致密的阳起石聚合物,显微镜下只见到大量的阳起石交叉分布。原岩的结构不易辨别。由于阳起石不发光,而斜长石为清楚的草绿色,因此用阴极发光观察岩石的枕状体,能看到残留的玄武质熔岩基质的间粒—间隐结构,而胶结体显示明显的基性凝灰结构、流动构造及气孔构造。以上例子表明,阴极发光仪对变质岩的原岩恢复与显微镜下观察相比,可以提供更多的信息和佐证。

## (三) 变质反应及后成合晶的研究

变质作用是一系列变质反应的综合过程。变质反应的产物及后成合晶可以通过岩相显微镜进行观察,但是往往由于矿物颗粒过细或者矿物某些光性相似等原因,模糊了不同矿物颗粒间的界线和相互关系,因而许多现象的观察受到很大的限制。阴极发光的应用弥补了这一点。例如,冀东黄柏峪一带的蛇纹石化大理岩,岩相显微镜研究只能观察到蛇纹石和碳酸盐矿物,矿物的反应关系很不清楚。但在阴极发光下,方解石为橙黄色,白云石呈深红色,因此首先能确定这种大理岩的成分以白云石为主,方解石只是呈细网脉穿切白云石或呈蛇纹石的镶边。蛇纹石集合体具橄榄石假象。从而,确定大理岩的矿物生成顺序为橄榄石+白云石→蛇纹石→方解石。同一地区的蓝晶石矽线石片麻岩,阴极发光研究显示了如下几个矿物组合:

石榴石+石英+黑云母;

矽线石+黑云母+石英;

蓝晶石+钾长石+钠长石±矽线石。

这里矽线石显示血红色阴极发光,蓝晶石呈漂亮的浅玫瑰色,钾长石为天蓝色,钠长石则为绿褐色。因此能够容易地确定矿物之间的反应关系,结合地质背景资料可以确定:石榴石+石英+黑云母属早期高级变质产物,矽线石+黑云母为第二期角闪岩相变质产物,而蓝晶石+矽线石+钾长石+钠长石则为第二期角闪岩相变质作用再次达到高角闪岩相时的产物。又如内蒙集宁群上部的矽线石钾长片麻岩,钾长石和钠长石在偏光显微镜下无法区分,用阴极发光观察,钾长石发蓝色光,钠长石发绿褐色光,见钠长石总是分布在石榴石、矽线石集合体的边缘,呈镶边结构(照片1a、1b)。明显地看到矿物生成顺序为钾长石→石榴石+矽线石→钠长石。同时也证明了后期的钠质活动。

后成合晶的矿物颗粒往往细小而难以辨认。如冀东曹庄一带的矽线黑云片麻岩中,矽线石+黑云母+钾长石组成了具有石榴石假象的后成合晶,在阴极发光仪下能清楚地辨认出这三种矿物并确定其相对含量。

#### (四) 变质岩中有机质残余的发现

据前人资料<sup>[1]</sup>,如加拿大安大略省冈弗林特地区前寒武纪变质燧石层中的植物化石阴极发光初始显示蓝色,然后碳质发生燃烧。笔者观察了西藏三叠纪的变质粉砂泥岩中的残余生物化石碎片也见到与上述相同的发光特征。所以,可望今后用阴极发光仪在变质岩中发现更多的有机植物和生物化石残余。

#### (五) 揭示副矿物环带、探讨其成因

我们重点观察了变质岩、花岗岩类岩石中的锆石、磷灰石等副矿物。发现锆石和磷灰石不管它们是原生的还是变质的,绝大多数显示很好的阴极发光,而且同种矿物发光的颜色变化很大,这与某些元素(如 $Mn^{2+}$ 等)含量的变化密切相关<sup>[1]</sup>。在麻粒岩相变质岩中的磷灰石一般为金黄色阴极光,粒径可达 $>0.1mm$ ,比较均匀而且环带较少。而角闪岩相的岩石如斜长角闪岩、某些片麻岩中磷灰石为黄色,有时显示很好的条带状分布。磷灰石单个颗粒具环带状光环。在绿片岩相变质沉积岩中磷灰石有时具明显的环带,核部为圆—椭圆形,阴极发光颜色为亮绿黄色,外环则为暗金黄色,呈自形晶体轮廓。在某些碳酸盐岩中磷灰石阴极发光色为蓝色和深蓝色(它与 $Eu^{2+}$ ,  $Eu^{3+}$ 含量有关<sup>[1]</sup>)。花岗岩中的磷灰石以黄—金黄色阴极发光为主,混合花岗岩中的磷灰石常见多环带状光环。这些现象表明,通过磷灰石阴极发光颜色的变化,反映在不同成因的岩石中磷灰石发光颜色不尽相同。磷灰石发光环带提供了其形成时成分的可能变化及成因环境的变迁。因此,磷灰石阴极发光研究有着广阔的前途。

锆石,正如前人<sup>[1]</sup>报导的那样,锆石的发光颜色变化很大,发光的原因也较复杂,除了其本身发光外还与某些元素(如Dy的含量)有关。但是我们发现锆石的发光除以上原因外还和成因有一定的联系,如在河北阜平群的变质岩中的碎屑锆石不发光或呈暗黄色,变质锆石普遍具有环带发光,多见核部黄色带蓝色色调,边缘亮黄色。在山东新泰地区前寒武纪黑云变粒岩中锆石阴极发光颜色为浅灰黄色略带红色色调。但是以其为围岩的准山混合花岗岩中锆石阴极发光有三种颜色,其中以浅紫色为主,少数为浅黄红色及水红色,并且普遍具有环带状发光,多见边缘为亮环。这些发光特征与黑云变粒岩中锆石截然不同。可能反映了不同成因特点。锆石的以上阴极发光特征,对研究变质作用过程,岩石的成因模式提供了副矿

物的证据。此外,对作为U-Pb同位素年龄测定的主要单矿物—锆石的精选也将有很大的帮助。

#### (六) 构造形变的再现

对于长英质片麻岩、片岩以及大理岩等变质岩,在阴极发光仪下观察,能更好地再现构造形变的特征。如河北阜平群的大理岩,在一般显微镜下及手标本上构造形变的特征不明显,但是阴极发光观察显示出明显的两组构造形变方向,前期由白云石组成,后期由方解石组成,磷灰石的条带状分布方向很可能代表了原生层理方向。又如同一地区的二长片麻岩阴极发光显示了斜长石、钾长石沿片麻理方向呈间隔的条带状分布,同时见到钠长石梳状生长的现象(照片2a、2b)。又如冀东太古宙迁西群的含辉斜长角闪岩,在阴极发光下清晰地显示条带状构造,斜长石沿条带方向拉长,同时由于紫苏辉石呈棕红色,使角闪石围着紫苏辉石生长的界线更加清楚。

#### (七) 花岗岩类岩石的鉴定、矿物含量估测、结构构造特征、交代蚀变特征及成因探讨

如前所述,花岗岩类岩石的主要造岩矿物:石英、斜长石、钾长石、云母等。除云母外其它的阴极发光颜色都具有鉴别特征,所以阴极发光能有效地估测矿物相对含量,显示显微结构、交代结构等。例如西藏喜山期花岗岩,斜长石为绿色发光,钾长石鲜蓝色,石英棕褐色,黑云母暗灰色,磷灰石亮黄色,它们的形态和含量在阴极发光仪下一目了然。最精采的是两种长石均显示“补丁”构造。“补丁”的发光颜色基本同主晶,但略亮一些。证明这种“补丁”和主晶属同一类长石,只是端元组分有变化,可能说明这种“补丁”构造的成因是长石本身出溶的结果(照片3a、3b)。

又如,福建省石狮的燕山期二长混合花岗岩,阴极发光显示了明显的钾、钠交代现象,而且看到钾、钠长石的先后关系。斜长石在偏光显微镜下环带构造不明显,但是在阴极发光下呈现复杂的多环环带。

再如,冀东黄柏峪附近的花岗岩类岩石,阴极发光证明它们具有多期活动的特点,发光仪下见到许多斜长石被钾长石交代的现像,同时被交代的残余斜长石呈极好的定向排列,显示了两种长石形成的模式。

### 三、小 结

在变质岩和花岗岩类岩石的研究中,一些显微镜下难以确定的岩相学问题,利用阴极发光仪能得到解决。尽管在应用上还存在局限性,如对某些镁铁质矿物效果不明显,但它仍是目前地质构造、岩石学研究中值得推荐的仪器。我们相信不久的将来将会得到更多的效益。

工作中得到本单位磨片师傅的大力协助,地质所五室的同志提供了很多珍贵的样品,这里一并表示感谢。

### 参 考 文 献

[1] Nickel, E, 1978, The Present Status of Cathode Luminescence as a Tool in Sedimentology, Minerals Sci. Engineering, Vol. 10, 73~100.

[2] Zinkernagel, Ulf, 1978, Cathodoluminescence of Quartz and its Application to Sandstone Petrology, Contr. to Sed., No. 8, Stuttgart, Germany, 1~69.

## Application of Cathodoluminescence to Metamorphic and Granitic Rocks

Xu Huifen    Chen Tao

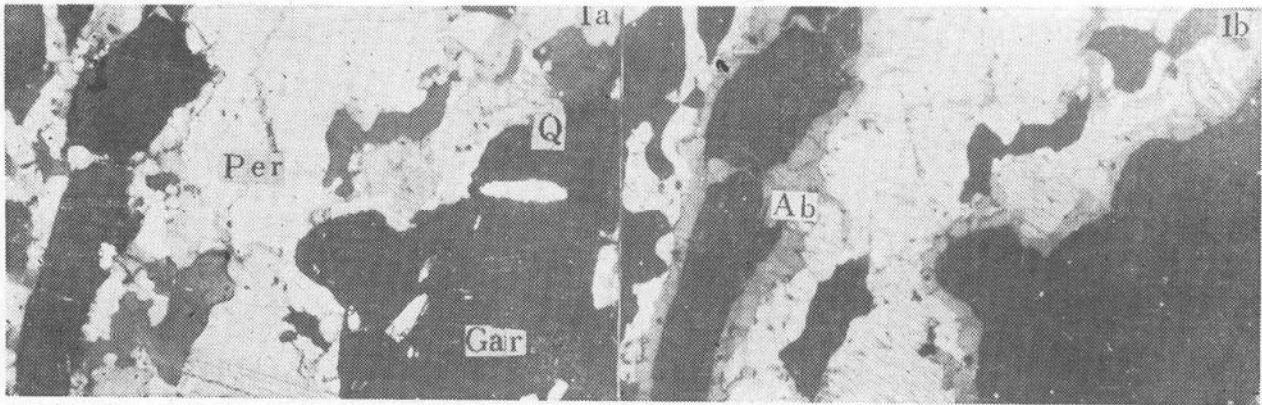
(Institute of Geology, CAGS)

**Key words:** Cathodoluminescence; Metamorphic rock; Granite; Palimpsest structures; Deformation.

### Abstract

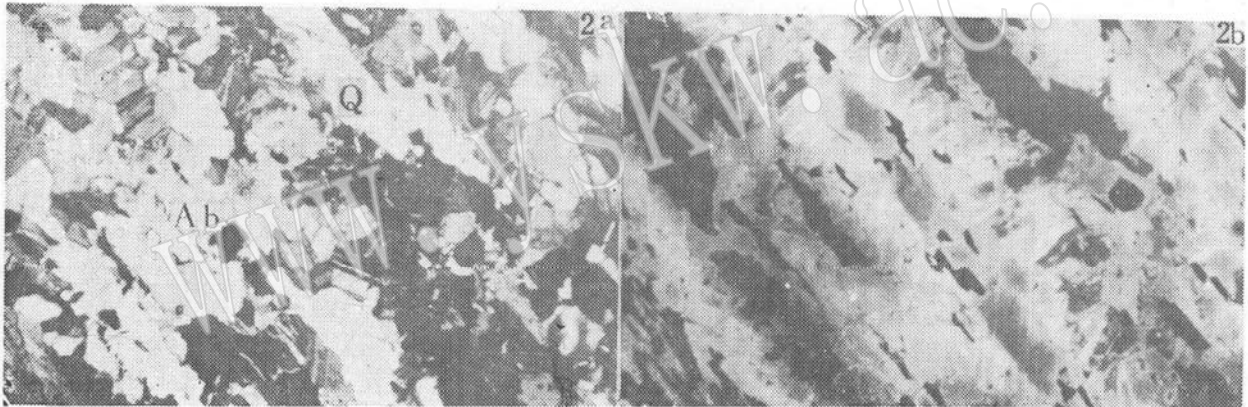
Certain samples, which are of pre-cambrian metamorphic rocks in China (Hebei Province and Inner Mongolia etc.), post-cambrian metamorphic rocks in Tibet and other areas, as well as granitic rocks with different ages and genesis, have been observed by means of CL (cathodoluminescence). CL related to certain concentrations of the transition elements, may reveal textures in rocks and show indirectly the characteristics of chemical composition of minerals. This paper deals with the application of CL to the studying of metamorphic and granitic rocks as follows; 1) determining metamorphic grade indirectly, 2) revealing the palimpsest structures of primary rocks, 3) identifying finegrained and luminescent mineral, 4) studying mineral reactions, 5) reconstructing deformationstructures.

徐惠芬、陈涛：阴极发光仪在变质岩和花岗岩类岩石中的应用



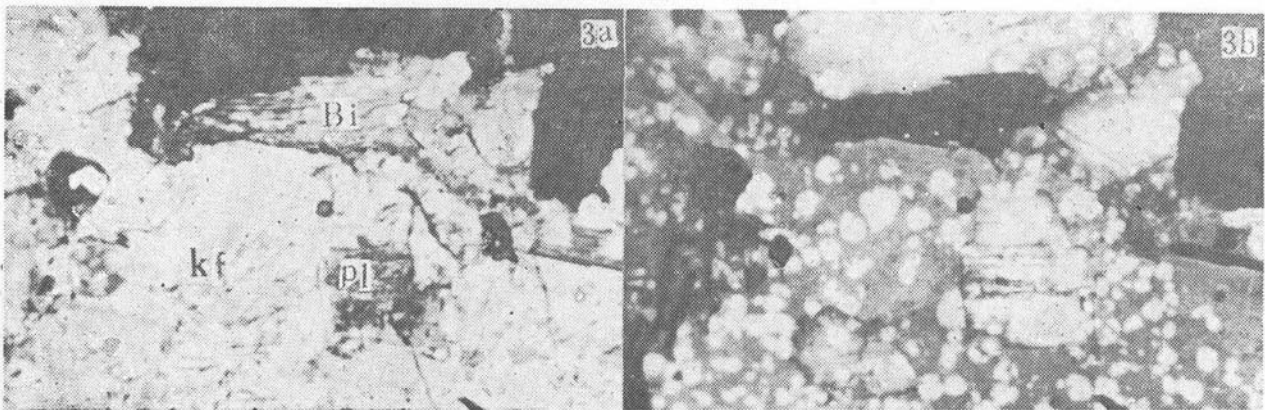
照片1a 砂线石钾长石片麻岩。Gar—石榴石，Per—条纹长石，Ab—钠长石，Q—石英。内蒙兴和，太古宙集宁群 (Nm84-25, + 偏光, ×25), (沈其韩、张荫芳提供)

照片1b 阴极发光照片，钠长石（阴极发光绿褐色）呈石榴石镶边，白色中分布灰色条纹者为条纹长石（阴极发光蓝色带绿色条纹），放大倍数同1a



照片2a 二长片麻岩。河北阜平，太古宙阜平群，(787511, + ×25偏光, ), (伍家善提供)

照片2b 阴极发光照片，黑色为石英（棕色），深灰色为钠长石（粉红色），灰色斜长石（灰绿色），亮白色—浅灰色钾长石（蓝）。放大倍数同2a



照片3a 花岗岩。西藏古措，喜山期 (XB-1, + 偏光, ×25), (王富宝提供)

照片3b 阴极发光照片，灰色斜长石（草绿色），亮白色斑点为斜长石“补丁”（浅绿色），放大倍数同3a