

# 关于石英的阴极发光特征及其 在砂岩研究中的应用

李 汉 瑜

(成都地质学院)

阴极发光现象,远在一百年前即由Crooks(1879)描述过。1968年, Sippel曾首次用阴极发光法成功地研究了砂岩,区分了碎屑石英与自生石英。1970年,他与Spencer将此方法用于研究阿波罗11号太空船从月球采回的结晶岩和角砾岩。十年后,德国的Ul Zinkernagel因研究古生代石英砂岩遇到困难,遂援用Sippel的方法,得以详细地区分砂岩中不同来源的碎屑石英颗粒,获得了较好的成果。有关阴极发光的原理与所用设备。在一些专著中均有介绍, Zinkernagel的报告中对于所用设备也有较详说明,可供参考。

## 一、石英的阴极发光特征

在碎屑沉积物中,石英的阴极发光可显示出三种不同的类型,即(1)具有“紫色”阴极发光,(2)具棕色阴极发光,(3)不具有阴极发光。由于蓝色或红色的发光强度可有较大地变化,所以“紫色”阴极发光可有较宽的色谱。据研究,碎屑沉积物中石英的阴极发光类型不仅与母岩类型有关,也反映了母岩形成时所经历的特定温度条件。目前认为“紫色”阴极发光系出现于深成岩、火山岩及一些接触变质岩的在高温条件下结晶出的 $\beta$ -石英,这种石英目前已处于低温石英的稳定域内。具棕色阴极发光的石英主要见于低级变质岩内,形成温度较低,在高区域变质岩内也可出现。温度虽高,但其冷却过程较长。至于不显示阴极发光的石英,系成岩作用期间所形成,它显然只限于沉积岩,并且在后来的地质历程中也未经历过 $300^{\circ}\text{C}$ 以上的温度。上述特征可概括于表1中。

使用阴极发光法研究砂岩主要是基于砂岩中石英颗粒的阴极发光特征可以和母岩中石英的阴极发光进行对照。据Winkler(1970)、Richter与Zinkernagel(1975)等人的研究,岩浆岩内的石英虽均呈“紫色”阴极发光类型,但在色调和发光的强度上可有相当大的变化范围,如图1所示。

显示高温石英的阴极发光,蓝色发光较强。而深成岩中的石英则以红色发光较强为特征。但根据在欧洲一些地区的研究,也有例外。此外,伟晶岩中石英的阴极发光可以由淡蓝色、红色以至棕色,反映了稳定的冷却过程及形成时间的早迟。

关于沉积物经受变质作用后对石英阴极发光的影响。在芬兰的研究表明当接触变质叠加于区域变质上时,强烈的回火作用可使侵入体的盖层中的石英达到高温石英稳定域

表 1 石英的阴极发光类型与有关的石英类型及其形成时的温度条件

Table 1 Types of quartz cathodoluminescence, types of related rocks and the temperature condition of their formation

阴极发光类型	温度条件	出现情况		
(1) “紫色”的, (蓝紫色—红紫色)	超过573℃ “快速”冷却	火山岩	深成岩	接触变质岩
(2)棕色的	超过573℃ “缓慢”冷却	高级区域变质岩	变质的火成岩	
			变质的沉积岩	
	可达300℃至 573℃	低级变质岩	接触变质岩	区域变质岩
(3)不具阴极发光的	低于300℃	沉积物中的自生石英		

而呈现蓝-紫色阴极发光。在距接触界线渐远处,由于红色发光渐增强而呈棕-紫色。这也表明重结晶作用由强变弱以至消失。Flick与Weissenbach(1978)在莱茵地块的石英角斑岩中发现自形石英晶体的核心呈蓝色发光,而周缘却呈棕色;反映了温度的变化过程。推测可能由于氟的存在使熔融体的固相点降低,从而形成这种菱面体晶形。总的看来,大部分变质岩中的石英均呈棕色发光。

Muyco(1972)与Kinkel等,(1956)曾发现在显微镜下未显蚀变的石英玢岩内,其石英斑晶呈棕色发光。

据研究,从“紫色”到棕色的阴极发光光谱呈一系列的变化,由蓝色、蓝-紫色、紫色、红-紫色、棕-红色、直至棕色,色调取决于回火作用、结晶温度及冷却速度,因而应从地质历程中了解岩石所经受的各种作用。在沉积岩中,成岩期所形成的石英,只要未受变质作用,即不具阴极发光现象。德国北部的六千米深井下的上石炭统砂岩内,石英胶结物也未具发光。因此,用阴极发光法鉴别成岩期形成的石英是较为可靠的。

目前对于热液条件下形成石英的阴极发光特征研究尚少。据试验,开始激发时,以呈玻璃瓶样的绿色发光为特征,当延长电子轰击时间后,即出现棕色及赭石色。很强的分带作用也是热液石英的发光特征。

总的来看,除了少数例外,各种成因的石英可呈现出各自的阴极发光色彩,因而将阴极发光方法应用于砂岩的岩石学研究,也不失为一种有效的方法。

## 二、阴极发光法在砂岩岩石学中的应用

自Sippel将阴极发光法用于岩石学的研究以来,已有许多人作过这方面的研究,目前认为对于研究砂岩,石英的阴极发光可以解决:1.判断母岩的类型及古地理环境。2.认识与辨别石英岩质的岩屑。3.对成岩交代作用进行定量评价。4.研究石英形成温度并推断沉积后的地质历程。

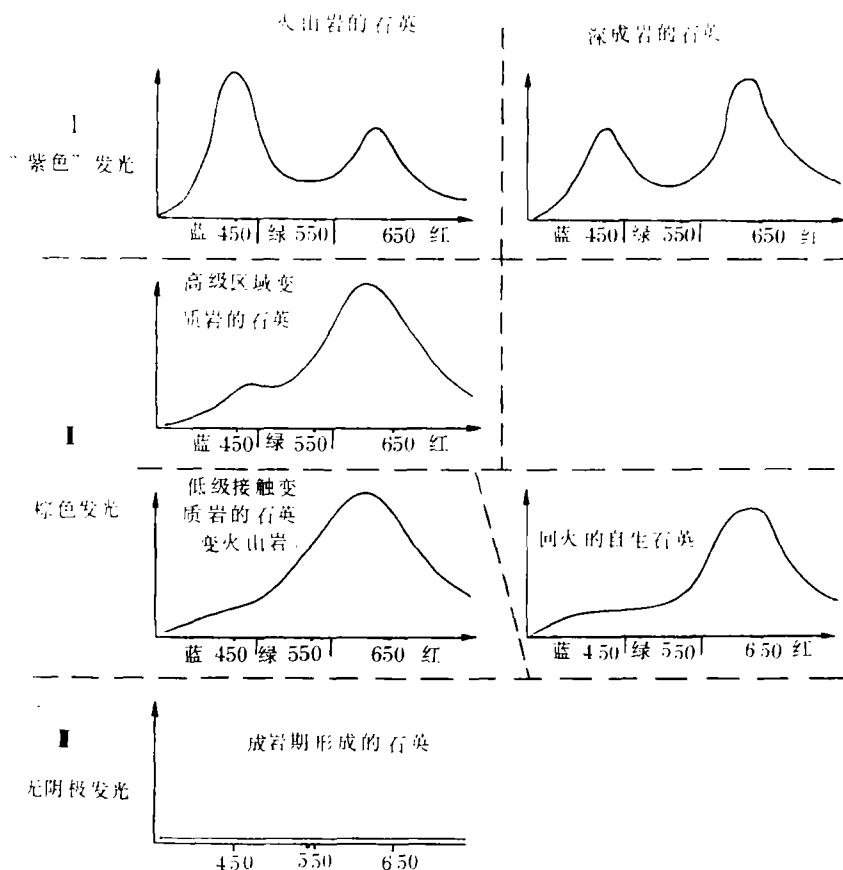


图1 按照表1的分类, 三种类型的石英阴极发光的光谱特征, 未代表所有可能的地质情况

Figure 1 Spectrum characteristics of the three types of quartz cathodoluminescence (does not representing all the possible geological conditions)

近年研究砂岩阴极发光比较成功的是Zinkernagel在德国所作的工作。他在Scherp (1963)和Füchtbauer(1963)对缪斯特兰1号探井内古生代砂岩所作的岩石学研究的基礎上,以阴极发光法检验了井深2000米至5956米的三十多个岩样。研究中将岩心标本作垂直层理面的切片,磨光后不加盖片。对每一切片在等距垂直层理的六处至十处测定平均粒度,再用两个放大镜,对每一切片均点计700至1200点。在对石英的阴极发光作定性和定量的评价时可间接使用色谱仪以计量“紫色”和棕色发光的石英碎屑。由于深部岩石的石英胶结物也显棕色发光,因而要用发光强度来区分出碎屑石英。据认为,此剖面中的上石炭统砂岩内绢云母基质中的微晶石英可能为成岩期产物;而砂岩内的火成石英碎屑均显“紫色”发光。以前希普氏曾识出砂岩内均含一些碳酸盐矿物,其中铁白云石为分布广泛的胶结物,常交代长石和石英,并因此消除了大量的原始沉积组构。这样,就很像是“杂砂岩”,且石英岩质颗粒与“浮在基质上的石英颗粒都由于溶解或交代而

呈现溶蚀状。碎屑石英的圆化在阴极发光下能见有较清楚轮廓，此种颗粒在剖面的顶部和底部均曾见及。至于缪斯特兰1号井下的上石炭统砂岩内的斑岩石英及一些斑岩石基的岩屑，因已大部分解，所以即使应用阴极发光法也难以辨识。

已知石英的三种阴极发光类型均可在砂级的石英组分内出现。通常，碎屑石英以显棕色发光者占优势，其次为“紫色”。在上述剖面中，上部地层内的石英胶结物在可见光谱范围内未显阴极发光，到超过5000米的深部，石英胶结物即显棕色发光，需依发光强度方可与碎屑石英相区别。由于石英的“紫色”发光范围内包含若干亚型，逐渐变化，观察时只凭肉眼不够精确。若逐一测定许多颗粒的阴极发光光谱，则时间上颇不经济。对此方面，尚需要再作研究。

研究中曾将“紫色”发光与棕色发光的碎屑石英百分含量分别计出，求出二者的比值，称为发光商数(luminescence quotient)，以代表二者的体积百分比。这样即可了解在井下不同深度上碎屑石英组分的变化，并可看出发光商数和平均粒级之间有明显的相关。

在较粗的粒级中，呈“紫色”发光的石英含量增多，表明母岩中系以火成岩为主要来源。Schluger(1976)也曾观察到在砂质红层中有来源于火成岩的蓝色和蓝-紫色发光的石英。但还不能够认为凡属“紫色”发光者均直接来自于火成岩，因为这种石英也有可能来自石英岩。缪斯特兰1号井下深部的石英胶结物显示棕色阴极发光，可以用石炭纪时的地温梯度增高来解释。这种解释可以由Teichmüller(1963)对煤级的研究得到印证，他认为到4650米深处，平均镜煤反射率约为5.3%，推测此剖面深部在石炭纪时曾达到300℃。但地温梯度因地而异，德国北部的深井中，同属石炭纪砂岩，6000米深处的石英胶结物仍未显发光，到6180米时，镜煤反射率也仅3.5%，表明该区地温梯度较低。

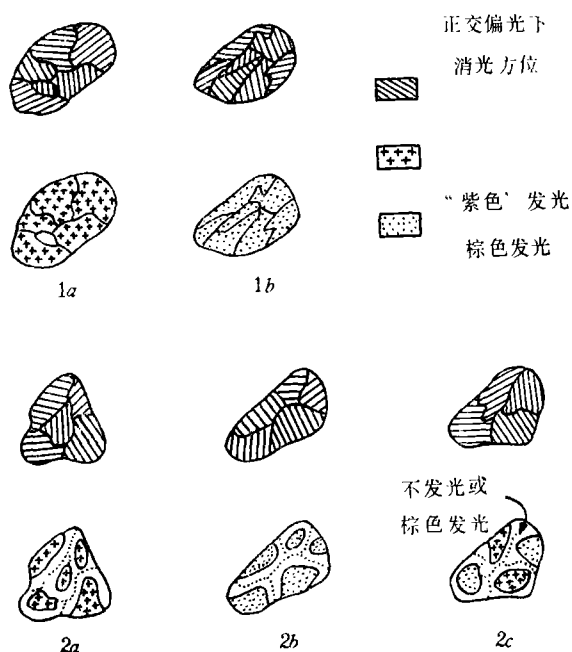
研究表明：砂岩内的岩屑以石英岩质者最常见，其次为片岩岩屑。在缪斯特兰1号井下，上石炭统砂岩所含岩屑多为1a至2c型(图2)，而泥盆系砂岩内却缺乏2型岩屑，少数情况下，有1型和2型配合出现。这表明至少有一部分上石炭统的石英碎屑系来自于再改造的沉积物。

对于成岩交代的砂岩内石英的平衡问题，尚待进一步研究，因为成岩期所溶解的石英数量是无法计量的。石英的胶结、溶解和迁移对砂岩组构均有影响，后来的成岩作用可以掩盖先前作用的效果，因而确定成岩事件的顺序有时是很难的。

Zinkernagel运用阴极发光方法，认识到缪斯特兰1号井内古生代砂岩的成岩过程，若不计及基质内的石英，可综述其特点如下：

未曾出现广泛的压溶作用，在埋藏深度约1000—2000米范围内成岩期石英胶结了砂岩，并具希尔德-汤姆森效应(Heald-Thomson effect——即在粘土矿物与石英接触处，石英有被溶现象)。当埋藏深度增至3000米以上时，处于绢云母化作用期间，铁白云石交代使石英溶解量增多，然后，铁白云石继续胶结以致填满剩余的孔隙空间而使溶液搬运停止。

除此外，当然也还有许多实例，可以表明使用阴极发光法能得到相当好的可信程度。这对于研究砂岩岩石学是很有意义的。



1. 为源于结晶岩的岩屑 (1a为岩浆岩, 1b为变质岩)

2. 为源于沉积岩的岩屑 (2a为岩浆岩组分, 2b为变质岩组分, 2c则为岩浆岩与变质岩两种组分)。

图2 石英岩质岩屑的类型 (缪斯特兰1号井)

Figure 2 Types of quartzitic rock fragments

## 二、结 语

在沉积岩研究中应用阴极发光法的历史比较短,从Sippel研究砂岩起至今只有十多年。人们的经验和资料的积累均有所缺欠,特别是由于辨识光谱的困难及阴极发光现象可以有多种解释,从而使这种方法仍不免带有一定的局限性。这是今后有待进一步研究的。但从国外使用此法的情况看,他们还是得到了相当好的成果。阴极发光法对于人们认识碎屑石英的来源、辨识岩屑、了解成岩过程、推断温度影响及沉积时的古地理条件与沉积后的地质历程,都是很有帮助的。它是一种值得使用的新方法,将来肯定会成为沉积岩研究中的一种重要方法。国内在研究方法和实验设备方面,也需要有所改观。

(收稿日期: 1982年5月26日)

## 参 考 文 献

- [1] Füchtbauer, H., (1967) Influence of Different Types of Diagenesis on Sandstone porosity, Proc. 7th World Petrol. Congr. Mexico, Panel Disc. 3
- [2] Füchtbauer, H., (1974) *Sedimentary Petrology I: Sediments and Sedimentary Rocks*, Stuttgart
- [3] Sippel, R. F., (1968) Sandstone Petrology, Evidence From Luminescence Petrography, *Jour. Sedim. Petrol.*, V. 38 Tulsa

- [4] Zinkernagel, U., (1978) Cathodoluminescence of Quartz and its Application to Sandstone Petrology, Stuttgart

## ON THE CHARACTERISTICS OF CATHODOLUMINESCENCE OF QUARTZ AND ITS APPLICATION TO SANDSTONE PETROLOGY

Li Hanyu

(*Chengdu College of Geology*)

### Abstract

This paper deals with the nature of cathodoluminescence investigations of quartz-bearing rocks. There are three types of luminescence quartz: "violet", brown and non-luminescent, representing the characteristics of rocks with distinct temperature history i. e. "violet" luminescent quartz in igneous rocks, brown luminescent quartz in regional metamorphic rocks, and non-luminescent quartz formed diagenetically in sediments.

Cathodoluminescence is petrologically used as a tool to demonstrate the sandstones of the Paleozoic age for Europe, as well as a suite of sandstones from other localities. The proof of compositions of "violet" and brown luminescent quartz detritus depends on the mean grain size of sandstones. Therefore it is concluded that quartz cementation in sandstone is the main pore-reducing factor.