

长石矿物的三维热释光谱图研究

龚革联, 刘顺生

(中国科学院 长沙大地构造研究所, 湖南 长沙 410013)

摘 要:通过最新研制的三维热释光光谱测量仪器,对长石热释光光谱的分析,可以寻找其各个波段热释光信号的响应灵敏度差异。测试结果表明,长石矿物不同波长段的热释光量随辐照剂量的增加,呈现不同的增长特性;同时,长石热释光谱图显示出热释光信号光谱的红光/红外光波段的能量释放比相应蓝/紫光波段的能量的释放,提前大约 10³ 产生,但是各自能量释放的峰值几乎发生在同一温度处。样品发出的热释光中红光部分的峰峰值与紫光部分的峰峰值相比较,有明显的差别,三维谱图显示出该样品分布在从绿光波段直到红光/远红外光波段(500 ~ 850 nm)的热释光量,明显比分布在紫光波段附近的相应热释光量要大的多。

关 键 词:热释光谱图;长石矿物;电荷耦合探测器

中图分类号:P575.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2802(2002)02-0117-04

磷光的光谱测量,特别是热释光(TL)谱图的探测可以深入了解长石类矿物释光中心的发光特性。众所周知,长石对辐照剂量的释光灵敏度比石英大几个数量级^[1];并且长石类矿物受红外光激发,能发出可探测的释光信号,即长石的红外光释光(IROSL)现象,而石英矿物却没有此特性^[2]。基于这两点,人们愈来愈倾向于使用长石类矿物的 TL 分析与 IROSL 进行断代研究。然而,尽管人们对长石的释光特性倾注了较多的精力,见诸报导的长石的释光特性系统研究却并不多见。系统地研究长石类矿物的释光特征需要借助于两方面,一方面需要深入探讨该矿物释光的成因机制,尤其是释光中心与晶体内陷阱参数影响发光的动力学机制;另一方面,各种长石类矿物受热或光激发所发出微弱光信号的能量分布谱图(或者在频率域的能量分布图)。本文对长石类矿物中某几类矿物的热释光谱图特性所进行的报道,就是希望对上述两方面研究工作的开展有所裨益。至少,在现有传统二维热释光断代研究工作中,本研究工作对如何选择合适滤光特性的滤光片,来确定某一特定波长的长石热释光为研究对象是十分有益的。

1 实验方法

样品制备:选择合适的野外采集的岩石标本,经破碎、粗选后,得到包含长石、石英等比重偏轻的粉末状的混合样。采用重铬酸钠溶液的重液法以及使用双目镜下的单矿物挑选方法两者结合的方法,最终可以得到相当纯净的长石与石英的粉末样。选择直径在 80 ~ 200 μm 的长石颗粒样,使用硅油将长石颗粒均匀粘附在直径为 10 mm 的圆铝盘内。每一样品制备 8 片平行样。样品制备过程中,必须在控制下的实验室照明光源下进行。

测试仪器与方法:热释光谱图的测试采用热释光-光释/光连用光谱读出仪,该仪器的核心部件是多色光谱分离仪(spectrograph)及探测器——电荷耦合探测器(charge coupled detector),可以检测波长 200 ~ 1 000 nm 的微弱光信号。其简要原理如图 1 所示。先将粉末状样品置于样品室内加热载物台的托盘中,将样品室抽真空后灌入保护高纯氮气,由电气线路控制线性加热升温,样品受热激发发出热释光信号。原理图中示出了样品受激发而发出的热释光在样品室内经过球面镜或者透镜组合之后,进入光谱仪的简图。详细内容参见文献[3]。

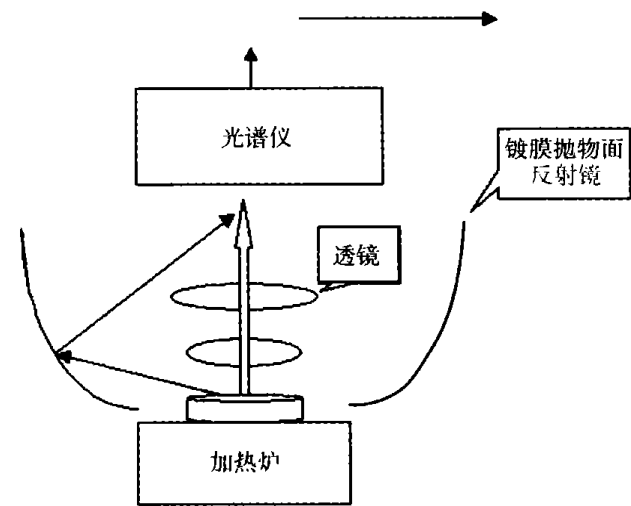


图 1 热释光谱图测试原理图

Fig. 1 Schematic principle of measuring thermoluminescence spectra

测试条件:加热升温速率为 10 /s;CCD 器件每次探测时间为 5 ms;样品的升温范围为 60 ~ 350 ;热释光读出过程中,没有加入任何滤光片;所有样品均接受⁹⁰ Sr 的 β 粒子的照射。照射时间及相应剂量大小如表 1 所示。

所有样品在接受 β 辐照源照射之后,均在恒定温度(68)下放置 24 h,再进行热释光谱图的测量。测量结果经过数据处理软件的处理之后,以三维热释光谱图及等值线图两种形式给出。

2 实验结果与讨论

样品的热释光谱图中温度坐标限制在常温至 350 范围内,基本上能够涵盖通常被认为

表 1 部分长石样品接受 β 辐照源照射时间及剂量

Table 1 Records of BETA irradiation of partitions of feldspar sample

样品编码	剂量/min	剂量/Gy	谱图结果	红外释光	另加测试/Gy
GONG10	N + B ,200	N + B ,888	Gong1. spe	Gong. txt ,	4032 , ggl5
GONG11	N + B ,200	N + B ,888	Gong2. spe		
GONG12	N + B ,200	N + B ,888	Gong3. spe		
GONG13	N + B ,200	N + B ,888	Gong4. spe		
GONG14	N + B ,200	N + B ,888	Gong5. spe		4032 , ggl6
GONG15	N + B ,200	N + B ,888	Gong6. spe		
GONG16	N + B ,200	N + B ,888	Gong7. spe		
GONG17	N + B ,200	N + B ,888	Gong8. spe		4032 , ggl7

对断代研究有意义的高温峰。而信号的波长以 200 ~ 1 000 nm 为佳。从分析所获得的长石热释光谱图,可以获得以下认识。

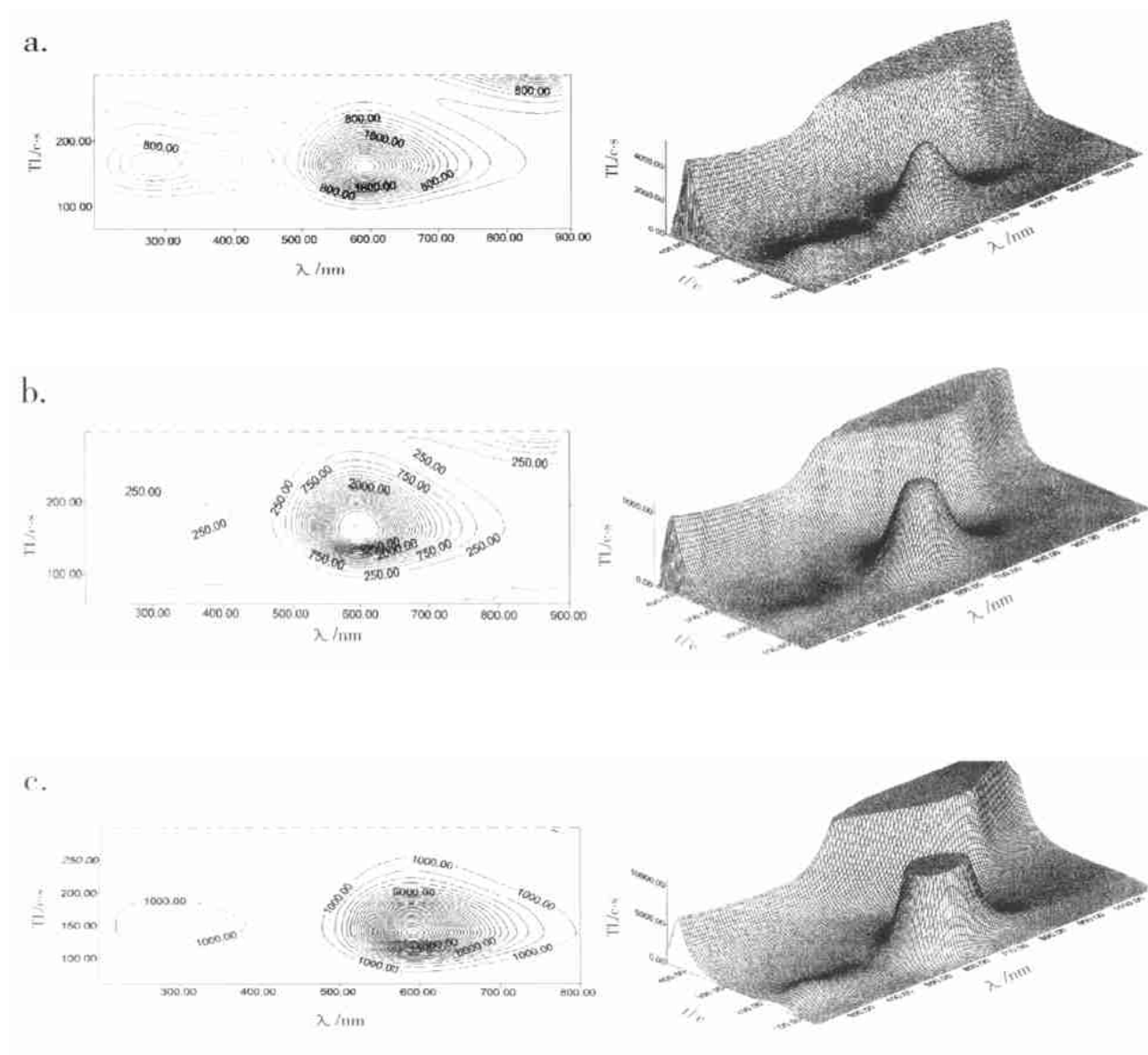
(1) 从热释光谱图在波长方向上的分布看,图 2 (a) 中第 7 号样品的三维曲面谱图与等值线图上。三维谱图显示出两个谱峰,说明样品发光的能量主要分布在 290 与 600 nm 波长处,且红光成分(600 nm 波长)明显占主要地位,它们的峰值比例关系由等值线图可以计算出:

$$\text{Peak}_{600\text{nm}}/\text{Peak}_{290\text{nm}} = 4\ 200/1\ 000 = 4.2$$

其中 Peak_{600nm} 与 Peak_{290nm} 分别表示 600 与 290 nm 波长处峰值。可见,样品发出的热释光中红光部分与紫光部分的峰峰值,有明显的差别,前者比后者高出 3 倍。另外,红光波长覆盖范围的上限为近红外波段 850 nm 处,三维谱图显示出该样品分布在从绿光波段直到红光/远红外光波段(500 ~ 850 nm)的热

释光量明显比分布在紫光波段附近的相应热释光量要大得多。

从样品热释光谱图在激发温度看,热释光谱图显示出长石热释光信号的红光/红外光波段的能量释放比相应蓝/紫光波段的能量释放要提前大约 10 出现,但是各自能量释放的峰值几乎发生在同一温度处。另一方面,通常所认为的高于 350 的高温热释光峰已趋向饱和^[4]。这与两个因素密切相关:一是由实验仪器装置的结构所决定。实验装置中,样品室的升温控制沿用英国牛津 LITTLEMORE 仪器公司生产的 7185 加热炉升温系统,而热释光弱光信号的测量采用了另一套独立的光谱测量系统。在目前情况下,两套系统尚未完全做到检测同步,实际测量中所获得的谱图中起始温度点实质上为 60 左右,并不是图中所示的 0 。因此,图 2 (a) 与 (b) 样品的三维曲面谱图与等值线的峰峰值实际上



(a) 长石来源于沉积岩,7号样品接受888 β 辐照剂量;(b)长石来源于岩浆岩,5号样品接受888 β 辐照剂量;
(c)长石来源同图(b),5号样品接受4038 β 辐照剂量

图2 长石的热释光谱图

Fig. 2 Feldspar thermoluminescence spectra

发生在210左右,而不是图上所示的150位置。装置中采用的CCD探测器需要稳定工作在-70左右的低温环境,样品室的高温加热所产生的热辐射容易导致探测器趋向饱和特性,从而使相对于热辐射仍很微弱的高温热释光峰被淹没了。其二,样品通常接受了1000左右的辐照剂量,样品晶体内相应高温热释光峰的较深陷阱早已饱和。

(2)从图2(b)、(c)第5号样品接受不同 β 辐照剂量的热释光谱图中,热释光对辐照剂量的响应可以计算如下(公式中热释光量大小均采用峰峰值):

$$S_{300\text{nm}} = (1\,000 - 250) / (4\,032 - 888) = 0.24$$

(光子数/Gy)

$$S_{600\text{nm}} = (32\,400 - 5\,750) / (4\,032 - 888) = 8.48$$

(光子数/Gy)

式中, $S_{300\text{nm}}$ 、 $S_{600\text{nm}}$ 分别表示波长为 300 和 600 nm 处长石样品的热释光对 β 辐照剂量的响应灵敏度。可见, 长石矿物不同波长段的热释光随辐照剂量的增加呈现不同的增长特性^[5,6]。或者说, 样品随自然界辐照剂量累加而积存的热释光依波长不同而呈现不同的增长特性。

3 结 论

长石类矿物虽然成分较复杂, 成因不同, 并且经受不同的地质过程, 但其热释光谱图中有显著可探测到的光子波长集中在有限的几个波段内, 其中必有一个占主要的波段, 且彼此间有显著差异。不同波长段的热释光峰与样品中杂质有关, 因而对辐照剂量的热释光响应灵敏度也有差异。这样, 在利用热释光分析进行断代研究时, 通过在测试装置中加入特定波长的滤光片来选择某一波长的热释光信号作为研究对象是合乎逻辑的。否则, 任意选择多个波段的热释光信号累加和作为研究对象去探讨热释光断代规律, 至少在目前情况下, 应该十分谨慎。

致谢: 本次研究得到了德国马谱学会核物理研究所 G. A. Wagner 教授为首的研究小组的热情支持, 在此一并致谢!

参考文献:

- [1] Ann G W. Luminescence dating: laboratory procedures and protocols [J]. Radiation Measurement, 1997, 27(5/6): 769 - 817.
- [2] Wagner M, Altherr R, Van den Haute P. Apatite fission-track analysis of Kenyan basement rocks: constraints on the thermotectonic evolution of the Kenya dome. A reconnaissance study [J]. Tectonophysics, 1992, 204: 93 - 110.
- [3] Rieser U, Krbetschek M R. CCD camera based high sensitive TL/OSL spectrometer [J]. Radiat. Meas., 1994, 23: 523 - 528.
- [4] Botter-Jensen Lars, Poolton N R J, Markey B G, et al. Combined OSL (Infrared) and TL studie of feldspar [J]. Nucl. Tracks Radiat. Meas., 1991, 18(1/2): 257 - 263.
- [5] Aiken M J, Xie J. Optical dating using infrared diodes: young samples [J]. Quaternary Science Reviews, 1992, 11: 147 - 152.
- [6] Duller G A T, Botter-Jensen L. Luminescence from potassium feldspar stimulated by infrared and green light [J]. Radiation Protection Dosimetry, 1993, 47: 683 - 688.

Preliminary Study of Characteristics of Thermoluminescent Spectra of Feldspar

GONG Ge-lian, LIU Shun-sheng

(Changsha Institute of Geotectonics, Chinese Academy of Sciences, Hunan, Changsha 410013, China)

Abstract: The thermoluminescent characteristic of feldspar has been studied ever since. A new study method for thermoluminescence spectra of feldspar, based on characteristics of thermoluminescence spectra of some typical feldspar samples, is presented in this paper. It is also pointed out that it will play an important role in feldspar dating research while selecting one reasonable thermoluminescence peak at appropriate wavelength, due to the different features of thermoluminescence peaks at different wavelength, especially of thermoluminescence sensitivity to radiation doses,

Key words: thermoluminescence; spectra; feldspar mineral