

# 湖光岩砂石的释光剂量研究

熊正焯<sup>1</sup> 马卫江<sup>2</sup> 朱金汉<sup>2</sup> 陈劲民<sup>1</sup> 丁萍<sup>1</sup> 师文庆<sup>1</sup>

1 (广东海洋大学理学院 湛江 524088)

2 (中山大学理工学院 广州 510275)

**摘要** 采集湖光岩玛尔湖周围部分岩洞内的岩样及岩壁下和湖岸边的砂土样品,用粗颗粒法测量它们的热释光和光释光;用复合作用剂量响应模型分析热释光和光释光剂量响应,并计算对应的热释光和光释光古剂量。结果表明:相同采样点的样品,热释光和光释光古剂量间都存在一些差异;不同采样点样品的释光剂量相差很大;热释光古剂量测量值较准确的样品,光释光古剂量测量值与热释光测量值无显著的数量级差别。此测量分析对第四纪火山考古有一定参考意义。

**关键词** 热释光,光释光,湖光玛尔湖,石英

**中图分类号** O483, TL99, K854

热释光(Thermoluminescence, TL)年代测定应用始于 20 世纪 50 年代初<sup>[1,2]</sup>,是测定古代陶器、砖瓦等烧制年龄的有效手段,20 多年前扩展至黄土年龄的测定研究<sup>[3,4]</sup>。在地学领域,TL 断代法可测定有确定受热史或有明确计时起点的年轻地质样品的年龄,第四纪火山岩就属于这一类。光释光(Optical Stimulated Luminescence, OSL)在地质年代测量、文物鉴定及剂量学其它领域有重要应用,近年来研究异常活跃。1985 年 Huntley 等<sup>[5]</sup>提出用 OSL 对地质沉积物的年代进行测量,后来 Murray 等<sup>[6]</sup>改进单片再生剂量法(SAR)技术,使测量方法更完善。关于光释光机制研究,绝大多数模型都采用类似于 TL 方法来描述 OSL 的发光。OSL 过程中,光激发引起电荷从俘获能级传输到复合中心<sup>[7]</sup>。不少材料中光释光陷阱与热释光陷阱关系密切,甚至可能是相同缺陷<sup>[8,9]</sup>,只是分类方法不同,具体释光过程有待进一步深入研究。地质样品中石英和长石是较好的释光材料,本文选择我国著名的第四纪火山玛尔湖湖光岩<sup>[10,11]</sup>采样加工,进行释光测量研究,以研究两种释光间的关系。

## 1 材料与方 法

湖光岩(21° 9' N, 110° 17' E)位于广东湛江,在其周边选取三类采样点。一是火山壁上的岩洞,岩洞内底部有层厚厚的火山岩风化后形成的火山灰;二是火山岩壁下的沙土;三是离湖水不远的平坦的

岸边沙土。每一类都选取三个采样点,共 9 个(编号 A-I)。采集距表层~30 cm 的火山灰样或沙土,用黑色塑料袋和布袋包装,注意避光和保持样品原始湿度。将样品粉碎、过筛(180~250 目),用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 除去有机质,用 HCl 除去碳酸盐,用 HF 剥除石英外表面,用丙酮和水洗净,烘干,得到半透明状的小晶粒粉。每个采集点取 8 份样品(~2 mg),样品处理过程在暗室中进行。

样品热释光、光释光和辐照在 Risø TL/OSL DA-15 测量仪上完成。热释光测量步骤为:5℃/s 升温至 450℃测量热释光,450℃保温 20 s 退火;<sup>90</sup>Sr 放射源以 0.116 Gy/s 的剂量率辐照 100 s、1000 s、2500 s、4000 s 后测量热释光并退火;再辐照 100 s 后测量热释光、退火,此步骤用于灵敏度校正。

光释光测量步骤为:5℃/s 升温至 260℃,保温 10 s,在 125℃下用蓝光激发测量光释光;冷却至常温后,用<sup>90</sup>Sr 放射源以 0.116 Gy/s 剂量率辐照 50 s、200 s、500 s、1000 s、1500 s 后,5℃/s 升温至 160℃,保温 10 s 在 125℃下用蓝光激发测量光释光;再辐照 50 s 后测量光释光,用于灵敏度校正。

## 2 结果与讨论

### 2.1 光释光剂量响应

样品 E<sub>5</sub> 辐照 50 s 后测量的 OSL 结果如图 1。测量结果用二次指数衰减模型<sup>[12]</sup>拟合,拟合优度

国家自然科学基金(10505033)、湛江市科技攻关项目、中山大学基地基金(J0630320, J0730313)、中山大学二期“9852 工程”本科教育“博学工程”项目、中山大学实验室开放资金项目资助

第一作者:熊正焯,男,1972 年出生,2006 年于中山大学获博士学位,副教授,研究方向为固体剂量学

收稿日期:2009-12-16

$R^2=0.9998$ 。将拟合得到的  $n_1 \times t_1 + n_2 \times t_2$  作光释光的响应。灵敏度修正后, 得到三类样品的 OSL 剂量响应曲线如图 2。图中实线是复合作用剂量响应模型<sup>[13]</sup>拟合所得的曲线, 曲线方程为:

$$Res(D) = Res_0 [1 - \exp(-D/D_0) - (1-L)(D/D_0)\exp(-D/D_0)] \quad (1)$$

式中,  $Res$  为光释光响应,  $Res_0$  为拟合系数,  $D$  为辐照剂量,  $D_0$  为特征剂量,  $L$  为一次作用因子。

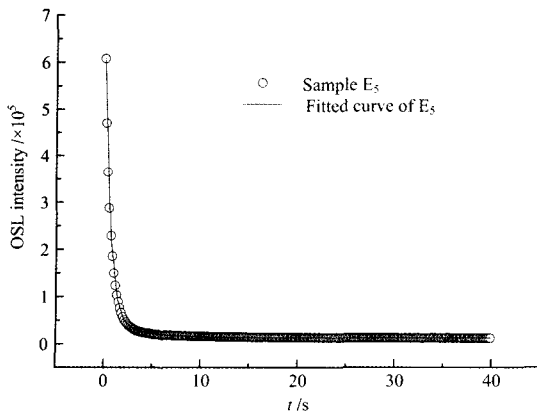


图 1  $E_5$  光释光曲线及其拟合分析  
Fig.1 OSL and fitted curves of Sample  $E_5$ .

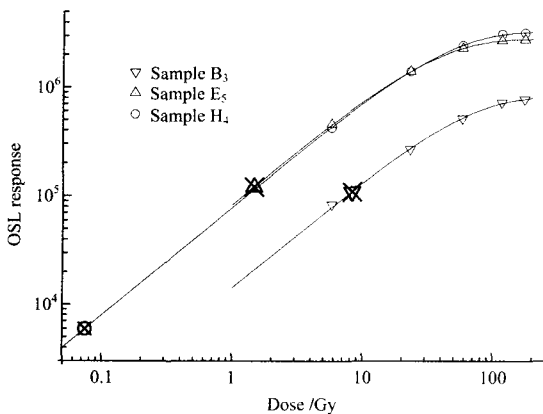


图 2 样品的光释光剂量响应及其拟合曲线  
Fig.2 OSL dose response and fitted curves of the samples.

### 2.2 热释光测量及剂量响应

样品  $B_2$  辐照 100 s 后测量的 TL 结果如图 3。因为未用低于  $250^\circ\text{C}$  的热释光计算 TL 剂量, 也方便与 OSL 比较, 图 3 只给出高于  $260^\circ\text{C}$  的热释光。热释光曲线可用一般级动力学方程很好拟合<sup>[12]</sup>:

$$I(t) = n_0 S \exp(-E / KT) \left[ \frac{(b-1)(s / \beta)}{\int_{T_0}^T \exp(-E / KT') dT' + 1} \right]^{-b/(b+1)} \quad (2)$$

式中,  $I$  为热释光强,  $\beta=5^\circ\text{C/s}$  为升温速率,  $E$  为激活能,  $T$  为温度,  $S$  为频率因子,  $k$  为波尔兹曼常数,  $n_0$  为被俘获电子的浓度,  $b$  为动力学级数。图 3 给出一般级动力学热释光峰和拟合曲线。其它热释光曲线也可类似用多个一般级动力学热释光峰拟合。

将热释光峰面积之和作为热释光的剂量响应, 做出三类样品的热释光剂量响应曲线(图 4)。图中实线是用复合作用剂量响应模型拟合的曲线。我们也做过以热释光峰高作为热释光剂量响应的曲线<sup>[14]</sup>, 拟合结果基本相似。

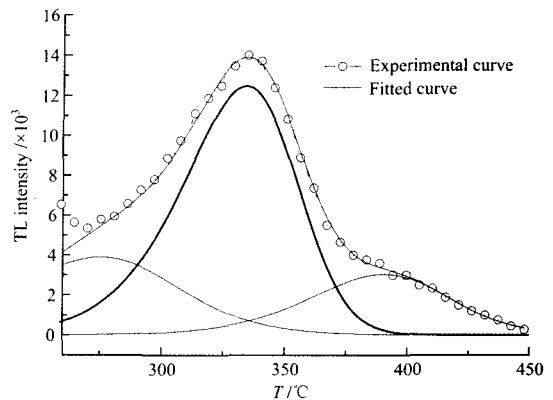


图 3 样品  $B_2$  热释光曲线及其拟合  
Fig.3 TL and fitted curves of Sample  $B_2$ .

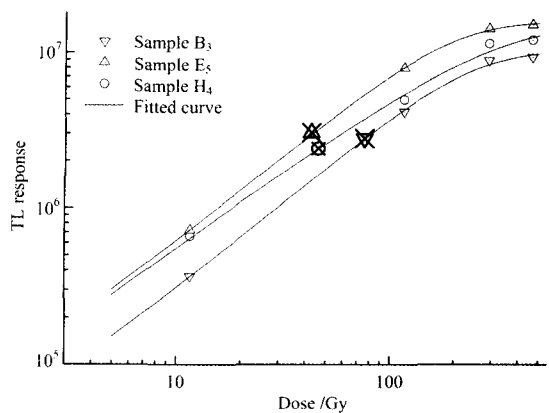


图 4 热释光剂量响应及其拟合曲线  
Fig.4 TL dose response and fitted curves.

### 2.3 古剂量计算和讨论

将未辐照样品测量的光释光曲线拟合得到光释光响应代入拟合曲线表达式(1), 求出 OSL 古剂量, 对应的数据点如图 2 中“×”点所示。同样将未辐照样品测量的热释光曲线高于 260℃ 的热释光拟合得到热释光峰面积代入拟合曲线表达式(2), 求出 TL 古剂量, 对应的数据点如图 4 中“×”点所示。古剂量测量值见表 1。

湖光岩玛尔湖在 14–16 万年前火山爆发后形成, 火山石之前的辐照剂量在火山爆发时被清空, 火山石冷却后累积辐照剂量。该湖封闭无外流<sup>[1]</sup>, 三类采集地样品的累积剂量比较接近。湖滩处开阔地带, 砂砾可能受到较多宇宙辐射, 累积剂量会略高。实际测量到的 TL 古剂量数量级相同, 但结果有较大差别; OSL 古剂量甚至还存在较大数量级差别。根据参考文献[13]和其它测量, 判断 TL 测量的取自岩洞内样品的剂量值 75.3 Gy 更接近真实的古剂量, 这类样品的 OSL 和 TL 测量结果也没有显著的数量级差别。对比表 1 数据, 用粗颗粒法测量火山样品的古剂量值时, TL 比 OSL 方法准确; 如果 OSL 和 TL 测量结果有显著数量级差别, 则相对准确的 TL 古剂量测量值也不太准确, OSL 和 TL 测量结果无显著数量级差别时, TL 古剂量测量值认为可靠。

表 1 两种方法测量的古剂量值

Table 1 Ancient dose value measured with OSL and TL.

取样点 Sampling place	样品编号 Sample's No.	TL 剂量 TL dose /Gy	OSL 剂量 OSL dose /Gy
岩洞内 In caves	A	75.3±4.8	19.6±2.9
	B	76.3±5.4	8.3±1.7
	C	74.4±4.8	8.2±1.4
岩壁下 At the cliffs	D	40.7±3.2	1.45±0.22
	E	42.4±3.1	1.47±0.18
湖滩边 Along the beach	F	43.6±3.3	1.50±0.21
	G	44.3±2.9	0.102±0.013
	H	45.7±3.8	0.075±0.007
	I	35.9±2.8	0.081±0.012

石英和长石是释光测量地质样品的主要成分。相同光照条件, 受到一定剂量辐照后, 石英样品的热释光晒退在光释光衰退至最初强度的 0.01 趋于显著; 而长石样品的热释光晒退在光释光衰退至最初强度的 0.1 趋于明显<sup>[15]</sup>。用粗颗粒 TL 法对地质样品断代时, 测量样品的剩余 OSL 古剂量, 判断地质演变和采样测量等过程是否会晒退热释光曝光, 从而判断 TL 古剂量测量值的准确性。如果 OSL 古剂量测量值不小于 TL 的 0.1 倍, 说明 TL 在测量前基

本没有晒退, TL 古剂量测量值可能是准确的。

### 3 结论

用粗颗粒法测量湖光岩玛尔湖周围地质样品的 TL 和 OSL, 计算样品 TL 古剂量测量值和 OSL 古剂量测量值。对同样样品, 两种古剂量间存在一些差异; 不同采样点样品的释光剂量相差很大; TL 古剂量测量值准确的样品对应两种释光古剂量值无明显数量级差别。对火山地质样品断代时, 如果 OSL 古剂量测量值不小于 TL 的 0.1 倍, 认为 TL 在测量前基本没有晒退, TL 古剂量测量值可能是准确的。这一结果对粗颗粒 TL 法对第四纪中晚期火山断代有一定参考意义。

### 参考文献

- Daniels F, Boyd C A, Saunders D F. *Science*, 1953, **117**: 343–349
- Wang W D, Xia J D. *Ancient TL*, 1989, **7**(3): 47
- 李虎侯. *科学通报*, 1986, **31**(5): 372–375  
LI Huhou. *Chin Sci Bull*, 1986, **31**(22): 1560–1563
- Huang B L, Lu L C. *Chin J Geochem*, 1991, **10**(3): 257–265
- Huntley D J, Godfrey-Smith D I, Thewalt M L W. *Nature*, 1985, **313**: 105–107
- Murray A S, Roberts R G, Wintle A G. *Radiat Meas*, 1997, **27**(2): 171–184
- McKeever S W S. *Radiat Prot Dosim*, 2002, **100**(1–4): 27–32
- 熊正焯, 唐强, 张纯祥. *中山大学学报(自然科学版)*, 2005, **44**(7): 33–36  
XIONG Zhengye, TANG Qiang, ZHANG Chunxiang. *Acta Sci Nat Univ Sunyatseni*, 2005, **44**(7): 33–36
- 熊正焯, 张纯祥, 唐强. *核技术*, 2005, **28**(10): 804–808  
XIONG Zhengye, ZHANG Chunxiang, TANG Qiang. *Nucl Tech*, 2005, **28**(10): 804–808
- 王淑云, 吕厚远, 刘嘉麒. *科学通报*, 2007, **52**(11): 1285–1291  
WANG Shuyun, LV Houyuan, LIU Jiaqi. *Chin Sci Bull*, 2007, **52**(20): 2829–2836
- Zhou H Y, Guan H Z, Chi B Q. *Nature*, 2007, **450**: E10–E11
- McKeever S W S. *Nucl Instrum Methods in Phys Res B*, 2001, **184**: 29–54
- Luo D L, Yu K N, Zhang C X, *et al.* *J Phys D: Appl Phys*, 1999, **32**: 3068–3074

- 14 熊正焯, 唐 强, 陈劲民. 核技术, 2009, 32(4): 277-280  
XIONG Zhengye, TANG Qiang, CHEN Jinmin. Nucl  
Tech, 2009, 32(4): 277-280
- 15 Godfrey-Smith D I, Huntly D J, Chen W H. Quat Sci Rev,  
1988, 7: 373-380

### Luminescence dose of sand by the Huguangyan Maar Lake

XIONG Zhengye<sup>1</sup> MA Weijiang<sup>2</sup> ZHU Jinhan<sup>2</sup> CHEN Jinmin<sup>1</sup> DING Ping<sup>1</sup> SHI Wenqing<sup>1</sup>

1 (Science college, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

2 (School of Science and Physics Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract** Sand samples were collected at different locations from the Huguangyan Maar Lake region in Zhanjiang, Guangdong province in south China. Thermoluminescence (TL) and optical stimulated luminescence (OSL) were measured with coarse grain technique. The TL and OSL dose response were analyzed and their ancient doses were calculated. The result shows that ancient doses measured with TL technique differ from those measured with OSL technique for the same sample, whereas for the samples whose TL ancient dose is close to the veraciousness, there were no evident degree of difference between the ancient doses by OSL and TL. The experiments and analyses can be used for reference in Quaternary period volcano dating.

**Key words** Thermoluminescence (TL), Optical Stimulated Luminescence (OSL), Huguangyan Maar Lake, Quartz  
CLC O483, TL99, K854