

湖光岩玛尔湖的热释光断代

熊正烨¹ 唐 强² 陈劲民¹ 郑碧华¹ 梁学敏¹ 马卫江²

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 根据热释光测量结果,用敏化修正法计算湖光岩玛尔湖周围岩洞内的岩样古剂量。用热释光剂量片测量岩洞内 78 d 累积剂量来推算年剂量率,进而推算出湖光岩火山爆发在 (15.8 ± 2.9) 万年前与公认结果一致。这表明用粗颗粒热释光法测量第四纪岩样的古剂量时,须考虑石英的敏化效应,此方法可用于第四纪火山岩样的断代。

关键词 热释光,湖光岩玛尔湖,石英敏化效应,考古
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^[1,2],现已成为测定古代陶器、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^[3,4]。在地质领域,TL 断代法可测定有确定受热史或明确计时起点的年轻地质样品年龄,第四纪火山岩就属于这一类。火山喷发物冷却后,其“热释光时钟”开始计时,其 TL 年龄便是火山喷发的年代。但是,TL 法火山岩断代的报导尚不多^[5,6],其原因可能是未注意某些技术细节而导致的断代结果偏差。

湖光岩玛尔湖(21°9' N、110°17' E)位于广东省湛江市西南方约 18 km 处,是雷琼新生代火山区中一个典型的玛尔湖。该湖封闭无外流,分东西两部分(可能是两次火山喷发形成),湖盆周围是相对高程 10~20 m 的火山角砾岩、集块岩、凝灰岩组成的火山垣,最大海拔高度 87.6 m。作为我国唯一的火山玛尔湖,它在地质和考古等研究中具有重要地位^[7,8],全亚荣等^[9]用 TL 法对湖光岩进行断代,所得结果与公认结果有所差异。本文用一种简单易行的 TL 断代法对湖光岩玛尔湖断代。

1 材料与方法

样品采自湖光岩周边山的三个火山岩岩洞,岩洞内底部有层厚厚的火山灰。采集距表层约 30 cm 的火山灰样,用黑色塑料袋和布袋包装,注意避光和保持样品原始湿度。并在取样点掩埋用塑料膜包扎的热释光剂量片 $\text{LiF:Mg,Ti}^{[10]}$ 和 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Cu, Ag}$,

$\text{P}^{[11]}$,以测量取样点辐射年剂量率(掩埋 78 d 后取出测量)。将样品粉碎、过筛(180~250 目),用 H_2O_2 除去有机质,用 HCl 除去碳酸盐,用 HF 剥除石英外表层,用丙酮和水洗净,烘干,得到半透明状的小晶粒粉。每个洞穴取 8 个样品(约 2 mg),样品处理过程在暗室中进行。

样品和剂量片的测量在 Risø TL/OSL DA-15 测量仪上完成。每个样品均经过如下测量步骤:5℃/s 升温至 450℃测量热释光,450℃保温 20 s 退火; ^{90}Sr 放射源(北京核仪器厂)以 0.116 Gy/s 的剂量率辐照 100、1000、2500、4000 s 后测量热释光并退火,再辐照 100 s 后测量热释光、退火。

剂量片测量步骤为:5℃/s 升温至 450℃测量热释光,450℃保温 20 s 退火;用 ^{137}Cs 放射源(北京核仪器厂)以 0.958 mGy/min 的剂量率辐照 5、10、20、50 s 后测量热释光并退火。

2 结果与讨论

2.1 古剂量

典型的 TL 曲线如图 1(样品 A_3 为洞穴 A 的 3# 样品,该样品的测量结果较接近平均值)。取 330℃ 左右的 TL 峰值作为 TL 的响应。

图 2 中圆圈为样品热释光剂量响应曲线点。将这些点用最小二乘法线性拟合得到一条拟合度很好的直线。由未经额外辐射样品的热释光响应求出样品 A_3 的古剂量为 66.24 Gy。所有样品的测量结果见表 1,与文献[6]一致。

表 1 古剂量直接测量结果
Table 1 Ancient doses without correction

取样点 Samples	测量数据 Dose measured /Gy								均值 Average /Gy
岩洞 A Cave A	63.33	71.36	66.24	61.72	68.46	65.11	63.84	70.16	66.3±3.4
岩洞 B Cave B	64.43	69.75	65.63	61.86	71.51	67.62	70.75	62.05	66.7±3.8
岩洞 C Cave C	63.77	68.53	64.84	61.47	70.11	66.62	69.42	61.64	65.8±3.4

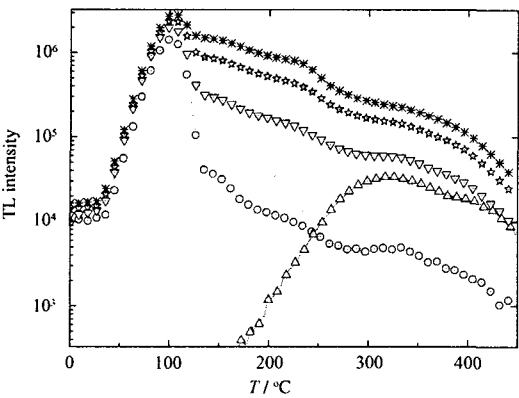


图 1 样品 A₃ 辐照前(△)以及 ⁹⁰Sr (0.116 Gy/s)辐照 100 s (○)、1000 s (▽)、2500 s (☆)、4000 s (※)的 TL 曲线
Fig.1 TL curves of Sample A₃ (No.3 sample from Cave A) without irradiation (△) and irradiated at 0.116 Gy/s with a ⁹⁰Sr source for 100 s (○), 1000 s (▽), 2500 s (☆) and 4000 s (※).

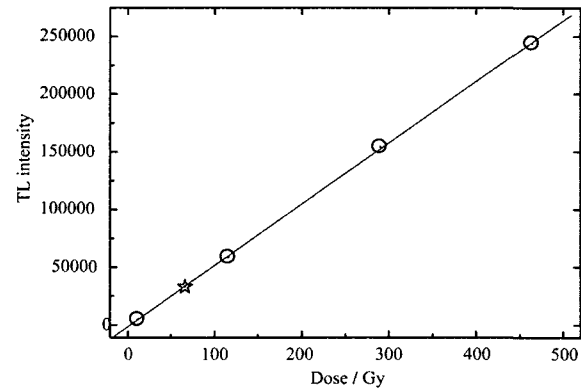


图 2 样品 A₃ 热释光剂量响应曲线
Fig.2 TL dose response of Sample A₃.
○ TL response; ☆ non-irradiated

2.2 古剂量测量的修正

石英的 TL 响应在经受一定剂量后产生一定规律的敏化。由于石英的低温热释光峰相对较强，敏化效应特别明显，也研究得比较透彻，发展为前剂量法断代^[12]。对 330℃左右的热释光峰，也存在敏化效应，2.1 中将热释光响应与辐射剂量直接线性拟合，所得结果不准确。前面提到，在每次测量较大剂量 TL 后，测量了一个辐照 100 s 的 TL。同样辐照 100 s，其热释光响应明显不同，样品 A₃ 测量 1、

2、3 和 4 次时，TL 相应分别为 4796、5927、7039 和 9561。

图 3 为修正后的热释光剂量响应曲线。修正的具体做法是：以第一次的响应为基准，去除相邻两次 TL 响应的平均值，所得一个不小于 1 的修正因子(相当于辐照敏化因子)，用该因子除图 3 中的 TL 响应，例如第 2 个数据点除以(4796+5927)/(4796×2)。

图 3 中圆圈点表示经修正后的剂量响应点。它们用剂量响应曲线^[13]拟合：

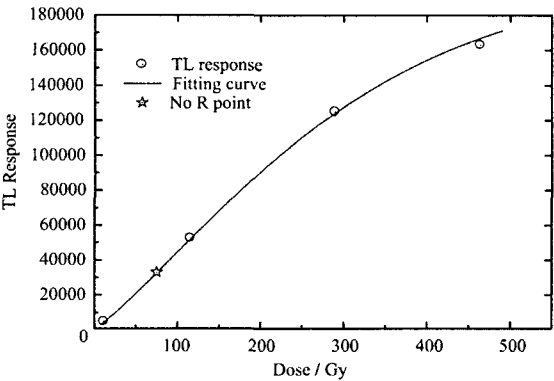


图 3 修正后的热释光剂量响应曲线
Fig.3 Corrected TL dose response of the samples.

$$F(D) = 1 - \exp(-D/D_0)[1 - (1-R)(D/D_0)] \quad (1)$$

拟合得到 $R=0.284$ ， $D_0=165$ Gy，响应有一定的超线性，这说明了修正结果的合理性。

根据这条拟合曲线，由未经额外辐射样品的热释光响应(图 3 中“☆”点)求出样品 A₃ 的古剂量为 75.31 Gy。所有样品的测量数据见表 2。

2.3 年剂量率的测定

$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Cu}$, Ag, $\text{P}^{[11]}$ 没有敏化效应， LiF:Mg,Ti 是选用的经敏化处理的剂量片，用 2.1 方法直接确定剂量片受到的岩洞中的环境辐射剂量(不过将辐照器换成照射量较小的 ^{137}Cs 源辐照器)。将测得的剂量值乘 365/78，得到年剂量值。处理得到结果如表 3。

表 2 修正后的古剂量测量结果
Table 2 Corrected ancient doses

取样点 Samples	测量数据 Doses measured /Gy								均值 Average /Gy
岩洞 A Cave A	70.97	80.87	75.31	68.22	76.80	73.25	74.34	82.64	75.3±4.8
岩洞 B CaveB	78.21	81.82	79.62	67.38	78.16	74.84	80.81	68.76	76.3±5.4
岩洞 C Cave C	74.46	77.01	72.96	66.05	73.71	81.39	78.77	70.68	74.4±4.8

表 3 两种剂量片所测的岩洞的年剂量
Table 3 Annual dose data in the caves measured by different TL dosimeters

取样点 Samples	剂量片 Dosimeter	年剂量测量值 Annual dose data /mGy						结果 Result /mGy
岩洞 A Cave A	LBO	0.4146	0.4250	0.5307	0.4557	0.4292	0.3991	0.471±0.082
		0.4216	0.6025	0.6525	0.3972	0.4572	0.4620	
	LiF	0.4459	0.4671	0.5300	0.4009	0.4334	0.5004	0.476±0.050
		0.5340	0.4420	0.4076	0.5490	0.5016	0.5014	
岩洞 B Cave B	LBO	0.6484	0.4922	0.5097	0.6168	0.5038	0.3978	0.481±0.096
		0.4002	0.3613	0.4330	0.5802	0.4662	0.3620	
	LiF	0.5514	0.4868	0.5387	0.3945	0.5088	0.4649	0.479±0.057
		0.4665	0.4157	0.3925	0.5629	0.4758	0.4879	
岩洞 C Cave C	LBO	0.5517	0.4665	0.4742	0.3181	0.5037	0.5576	0.462±0.080
		0.3510	0.4224	0.5279	0.4768	0.5269	0.3720	
	LiF	0.4169	0.4341	0.4783	0.4357	0.4386	0.3892	0.467±0.054
		0.4786	0.5692	0.4365	0.5297	0.4583	0.5409	

从表 3，两种剂量片测量结果一致性较好，有两位有效数字相同。LiF:Mg,Ti 是比较成熟的热释光剂量片，测量误差较小，且其有效原子序数相对更接近石英，所以在这里以 LiF:Mg,Ti 的测量值为准。

2.4 火山爆发年代的确定

用古剂量值除以年剂量率得到三个岩洞火山灰的热释光年龄分别为(158±29)、(159±22)和(158±21) ka 前。保守起见，认为形成玛尔湖的其中一个火山爆发在(158±29) ka 前，与目前公认的说法^[9]一致。

3 结论

测定地质样品年龄常用 ¹⁴C 法和 K-Ar 法。前者比较成熟和准确，但样品必须是含碳物质，由于其半衰期比较短，对年龄超过 5 万年的样品准确度有限，限制了它的应用；后者在测定老年龄方面很有效，但 ⁴⁰Ar 衰变常数很小，对几十万年内的样品年龄测定误差较大，尤其是对只有几万年的年轻样品的年龄测定比较困难。TL 测年方法正好弥补了它们

的不足，且它利用的材料是石英、长石等地球表层最常见的矿物，方法简便，可作为前面两种方法的补充，很有发展前景。

用粗颗粒 TL 测年技术测定湖光岩岩洞的火山岩样品，并用两种剂量片测量岩洞内环境辐射年剂量率，充足的数据表明形成湖光岩湖的火山爆发在(15.8±2.9)万年前。用 TL 方法对第四纪断代时，要考虑石英的敏化效应，并可根据检测剂量确定敏化因子，对剂量响应曲线作出修正，从而得出石英样品的正确古剂量。

粗颗粒 TL 对湖光岩火山石的断代结果准确，误差较小，显示出这种方法在该时段年龄测年方面具有独特优越性。随着深入的研究，TL 测年技术将作为考古、第四纪地质、地貌、新构造等方面研究的有力工具。

参考文献

1 Daniels F, Boyd C A, SaundersD F. Science, 1953, 117: 343-349
2 Wang W D, Xia J D. Ancient TL, 1989, 7(3): 47

- 3 李虎侯. 科学通报, 1986, **31**(5): 372–375
LI Huhou. Sci Bull, 1986, **31**(22): 1560–1563
- 4 Huang B L, Lu L C. Chin J Geochem, 1991, **10**(3): 257–265
- 5 卢演侔, 张景昭, 赵华. 核技术, 1991, **14**(2): 109–113
LU Yanchou, ZHANG Jingzhao, ZHAO Hua. Nucl Tech, 1991, **14**(2): 109–113
- 6 全亚荣. 中山大学学报(自然科学版), 1998, **37**(S2): 112–117
QUAN Yarong. Acta Sci Nat Univ Sunyatseni, 1998, **37**(S2): 112–117
- 7 王淑云, 吕厚远, 刘嘉麒. 科学通报, 2007, **52**: 1285–1291
WANG Shuyun, LV Houyuan, LIU Jiaqi. Chin Sci Bull, 2007, **52**(20): 2829–2836
- 8 张才学, 孙省利, 谢少英. 水生生物学报, 2008, **32**: 620–630
ZHANG Caixue, SUN Xingli, XIE Shaoying. Acta Hydrobiol Sin, 2008, **32**(5): 620–630
- 9 刘嘉麒, Negendank J F W, 王文远, 等. 第四纪研究, 2000, **20**(1): 78–86
LIU Jiaqi, Negendank J F W, WANG Wenyuan, *et al.* Quaternary Sci, 2000, **20**(1): 78–86
- 10 李强, 王桂玲, 卫增泉, 等. 核技术, 1999, **22**(10): 636–639
LI Qiang, WANG Guiling, WEI Zengquan, *et al.* Nucl Tech, 1999, **22**(10): 636–639
- 11 熊正烨, 张纯祥, 唐强. 科学通报, 2007, **52**: 384–387
XIONG Zhengye, ZHANG Chunxiang, TANG Qiang. Chin Sci Bull, 2007, **52**: 1776–1779
- 12 梁宝璠, 王维达, 周智新. 核技术, 1995, **18**: 463–466
LIANG Baoli, WANG Weida, ZHOU Zhixin. Nucl Tech, 1995, **18**: 463–466
- 13 唐强, 张纯祥, 罗达玲. 核技术, 2005, **28**: 395–398
TANG Qiang, ZHANG Chunxiang, LUO Daling. Nucl Tech, 2005, **28**: 395–398

Thermoluminescence dating of Huguangyan Maar Lake

XIONG Zhengye¹ TANG Qiang² CHEN Jingmin¹ ZHENG Bihua¹ LIANG Xuemin¹ MA Weijiang²

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

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

Abstract Based on the thermoluminescence (TL) data, the ancient dose in volcanic rocks near Huguangyan Maar Lake was calculated with sensitized revise technique. The cumulate dose for 78 d in TL dosimeters placed in grottos was measured, and the annual dose in volcanic rocks was reckoned. Based on the results of the ancient dose and the annual dose, the time of the volcano eruption to form Huguangyan Maar Lake is estimated before about (158±29) ka, and this is consistent with the acknowledged result. The results indicate that the Coarse-grain TL technique can be used for Quaternary period dating if the sensitized effect of quartz is taken into account.

Key words Thermoluminescence (TL), Huguangyan Maar Lake, Sensitized effect of Quartz, Dating

CLC O483, TL99, K854