

# 广东沿海河流阶地沉积物热释光年龄测定研究

梁致荣 刘彝筠 黎烈均 全亚荣

(地质学系)

## 摘要

根据广东沿海河流阶地沉积物形成的复杂性,研究了沉积物的热释光零化作用机理,提出了确定沉积物开始时的热释光剩余值的新方法。对较老沉积物的热释光量常接近饱和状态或沉积物的 TL 信号与辐射剂量之间处于非线性状态时,如何求得天然热释光的等效剂量等问题进行了探讨。

**关键词** 模拟阳光晒退,热释光零化作用,热释光剩余值,等效剂量,反演图解

## 1 引言

近十多年来,人们普遍应用 $^{14}\text{C}$ 测年方法测定河流一级阶地的形成年龄,获得较好的效果。然而,该法测定的年限一般在4~5万年以内,且对样品要求含有有机碳物质,这常常又不易获得。除一级阶地外,华南地区还广泛发育二、三、四、五……级的河流阶地, $^{14}\text{C}$ 法对测定其形成年龄则无能为力。虽然,不平衡铀系法可以测定数十万年的时间区间,但常常很难在河流阶地找到适合测量的样品。古地磁方法只能给出一个很宽的年代范围,不能给出一个较精细的年代数据。因此,研究适用于较老河流阶地形成年龄的新技术,对第四纪地质学、地貌学以及新构造运动学等都有十分重要的意义。近年来,我们应用热释光测定河流阶地沉积物的年龄,在理论和技术方法上取得一些进展。这种方法的优点在于它的测定对象是阶地沉积物中的石英细粒,在野外很容易取得测试样品,同时,它的测定年限从千年到百万年之内,这正是年代学的一个空白点。由于阶地沉积物的沉积机理比较复杂,应用热释光测定其年龄,其理论依据和技术方法,与测定黄土及海底沉积物沉积年龄有所不同,本文着重研究热释光应用于测定河流阶地沉积物年龄的理论依据和某些技术方法。

## 2 河流阶地沉积物热释光年龄测定的理论依据

目前,国内外应用热释光测年法测定海底沉积物和黄土的形成年代时,主要的理论依据是:沉积物中的石英细砂在搬运沉积过程中受到太阳光的长时间照射,石英颗粒原

本文1990年11月17日收到

来积累的热释光量可以减退到一个很小的值, 石英颗粒沉积以后受到本身及其周围环境的放射性同位素的辐射, 石英晶体中缺陷重新累积热释光量, 据此, 可以测定其沉积年龄。根据这一理论, 一些研究者通常通过阳光晒退模拟实验, 求得沉积物开始时石英剩余热释光量值(底数), 用以计算海底沉积物年龄或黄土沉积年龄<sup>[2,5,6]</sup>。

根据阳光晒退理论用于解决广东沿海河流阶地的热释光年龄问题却常遇到困难。我们发现一些地区的河流现代沉积物的热释光剩余值常常高于太阳曝晒后的剩余值。图 1 表明, 河流上游现代沉积物石英细砂热释光量与太阳曝晒剩余值存在明显差别。一些溶洞地下河流现代沉积物这种现象亦很明显。实际调查表明, 河流沉积物并不都是被太阳

光充分曝晒过的。在古地质、地理和植物生态环境下, 森林覆盖地区, 河流沉积的背阳坡地带、岩溶地下河流的沉积地带等, 河流沉积物接受阳光照射的程度是比较低的, 有的可能甚至完全不受阳光的照射。这些因素都会造成沉积物的热释光底数相对于受过太阳光充分曝晒后的底数变化很大, 有的沉积物热释光底数比较高。这时, 通过阳光模拟晒退方法求底数就不合适了, 但是, 怎样准确测定这个底数, 是需要研究的问题。进一步的研究发现, 即使完全不受太阳光照射的河流沉积物, 其热释光也大部分衰减了。这种情况是什么机制形成的呢? 经研究证明, 河流沉积物的热释光零化作用机制是一个复杂的过程, 其过程是: 岩石在风化作用过程中, 岩石不断破碎, 其中矿物(主要是石英)的热释光不断丢失, 机械破碎及其搬运过程中, 河床砾石之间的相互撞击, 相互粉碎和相互研磨, 石英颗粒丢失其大部分的热释光量。在有太阳光曝晒的地方, 石英的热释光进一步丢失, 直至减弱到一个低值。

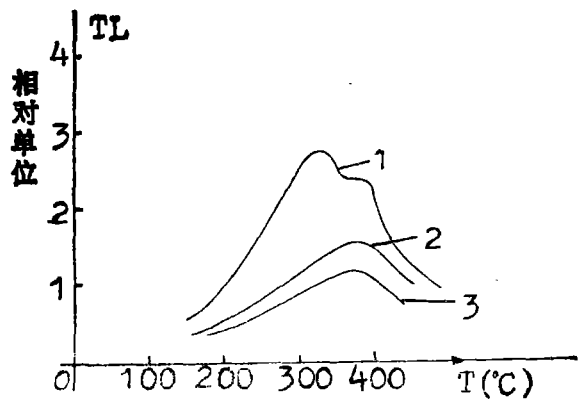


图 1 广东一河流上游现代沉积物中石英细粒热释光量与模拟阳光晒退曲线

1. 试样 2. 现代沉积物 3. 模拟阳光晒退 24 小时

Fig.1 Diagram of thermoluminescent intensity of fine-grained quartz in modern sediments of upper reaches of a river in Guangdong province and decay curve when exposed to simulated sun shine

这种热释光的零化机理, 可从下列几点现象得到证实:

这种热释光的零化机理, 可从下列几点现象得到证实:

(1) 发现原岩在无太阳光照射条件下, 现代风化残积物热释光量很低。

(2) 在森林覆盖地区, 河流上游无太阳光照射地段的现代河床沉积物热释光量有一个低值, 但与太阳曝晒后的低值不一致。

(3) 实验证明, 石英矿物在机械破碎后, 存在矿物颗粒度效应, 图 2 是天然石英晶体经过机械破碎后, 其热释光丢失程度与颗粒度大小量近似线性下降关系, 当程度减少到 10~40 $\mu$ m 时, 最大丢失量可以减少到原来的 20%。

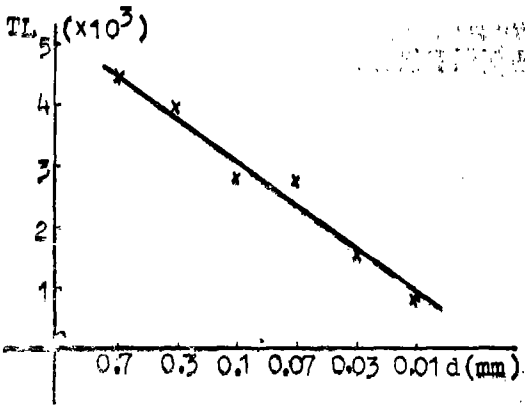


图2 石英矿物机械破碎后热释光强度与颗粒度关系曲线

Fig.2 Relation of thermoluminescent intensity and grain size of quartz mechanically crushed

这种热释光零化机制的意义是：在没有经过太阳曝晒的沉积物，仍然有可能应用矿物热释光来测定其沉积年龄。如地下河流沉积物，森林覆盖很好的河流沉积物等等。但不能单纯应用模拟太阳晒退求得矿物热释光底数，而应综合各种因素的影响，找出确定热释光底数的新方法。

综上所述，阶地沉积物的热释光年龄测定原理，可归结为沉积物在沉积之前，经过风化机械破碎、搬运过程以及太阳光曝晒等因素，都可引起热释光的减弱，但其减弱的程度，因不同的地理、地质环境及太阳曝晒的程度而有所不同。在沉积开始时、沉积物存在一个热释光的残余值，这一残余值并不一定与太阳光充分曝晒后的残余值相等，要求准确测出这个底数，并以此作为计算年代的起点。在沉积物形成后，受到试样本身及其周围环境的天然放射性同位素的照射，矿物重新累积热释光能量。以此可用下式计算沉积物年龄：

$$A = (I_s - I_0) / I_y \tag{1}$$

式中， $I_s$ 为沉积物天然热释光量； $I_0$ 为沉积物的残余热释光； $I_y$ 为沉积物每年累积热释光量

以放射性剂量形式则表示为：

$$A = [D(I_s) - D(I_0)] / D(I_y) \tag{2}$$

式中， $D(I_s)$ 、 $D(I_0)$ 、 $D(I_y)$ 相应于累积热释光量 $I_s$ 、 $I_0$ 、 $I_y$ 所接受的辐射剂量， $D(I_y)$ 为年剂量率。

### 3 测量的技术方法问题

#### 3.1 热释光底数的确定

如前所述，河流阶地沉积物的热释光零化机制比较复杂，不是单纯由太阳光曝晒一种因素所决定，沉积开始时热释光剩余值（以下简称底数）变化较大，这个底数能否准确，直接影响到测量的结果，从图(1)中可以看出，如果采用模拟太阳曝晒24小时的试样热释光剩余值作为计算年龄的起点，就会产生较大的误差。作者采用对待测试样进行模拟太阳晒退24小时所测得的热释光剩余值 $I_0$ 作为一个基本参量，然后，引入一个校正系数 $n$ 来修正 $I_0$ 就可较准确的得到试样的热释光底数。

$$\text{即} \quad I_g = I_o + n \cdot I_o \quad (3)$$

$$n = (I_p - I_{p0}) / I_{p0} \quad (4)$$

式中 $I_g$ 为试样在沉积物开始时真实的热释光剩余值,即热释光底数, $n$ 为校正系数, $I_p$ 为河流现代沉积物天然热释光量, $I_{p0}$ 为河流现代沉积物经模拟太阳晒退后剩余热释光量, $I_o$ 为试样经模拟太阳光晒退后的热释光剩余值。

这种校正方法是假设试样在古代沉积时,其热释光零化机制与现代沉积的零化机制相同为前提的。用这种校正方法可以估计采用底数的可靠程度。实践表明,这一方法可以取得良好的结果。

### 3.2 等效剂量测定

**3.2.1 NTL + ATL图解法** 这种方法的实质是沉积物(通常选取其中的石英颗粒)积存的天然热释光量NTL反映了石英自沉积以来接受其本身及周围环境放射性同位素辐射的总剂量,这个总剂量的确定,还要用人工同位素(用 $^{60}\text{Co}\gamma$ 源或 $^{90}\text{Sr}\beta$ 源)照射待测样品,测出样品天然热释光量NTL加人工激发的热释光量ATL的总量,并用图解法求出样品接受辐射的总剂量值,这个值称为等效剂量值(图3),用以计算沉积物的年龄。这种方法,目前得到普遍采用,但是,它只适用于较年轻的沉积物,即其热释光强度与照射剂量之间的响应处于线性状态下,才能得到良好结果<sup>[1,2]</sup>。对于二、三、四、五……级河流阶地沉积物,通常年龄都较老,其矿物积存天然热释光量常接近饱和状态,此时,用NTL + ATL图解法,采用最小二乘法拟合出的直线,并外延求出的等效剂量值与真值产生很大的误差,其原因是当矿物累积天然热释光能量接近饱和时,矿物对辐照的灵敏度已变得很不敏感,尽管可拟合出直线,但与矿物过往累积时的真实情况相差甚远,如图3所示。

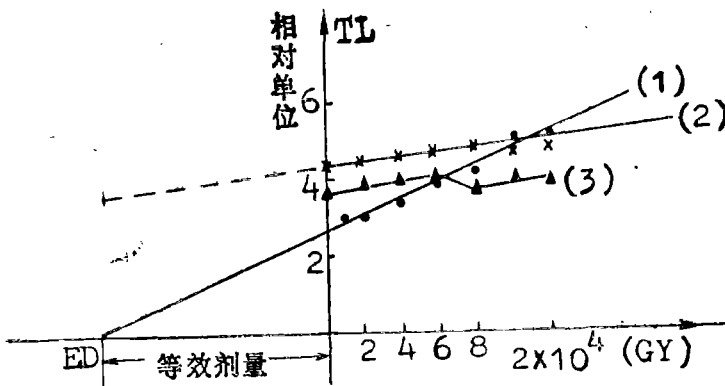


图3 NTL + ATL图解曲线

Fig.3 Diagram of NTL + ATL

1. 某沉积石英细粒TL信号与辐射剂量线性响应曲线
2. 某沉积石英细粒天然热释光量接近饱和曲线
3. 某沉积石英细粒TL信号与辐射剂量呈下降趋势曲线

**3.2.2 反演图解法** 地质样品比较复杂,实验数据常属离散型,对于一些矿物热释光量接近饱和段的曲线,许多情况下,用对数拟合方法也得不到好的结果,针对这些问

题,采用反演图解法,可顺利求出等效剂量值。本法的实质是把待测样品分成三组,一组用于测定天然热释光量。另一组用于 $400^{\circ}\text{C}$ 下退火,去除样品的天然热释光,再用 $^{60}\text{Co}\gamma$ 源或 $^{90}\text{Sr}\beta$ 源分别给予不同大小剂量的照射,然后,测量其人工激发的热释光量,便可得到一条人工热释光量与辐照剂量之关系曲线(图4)。第三组样品,采用附加照射,即NTL+ATL法,亦获得一条热释光量与辐照剂量之关系曲线,如图4中MP曲线。

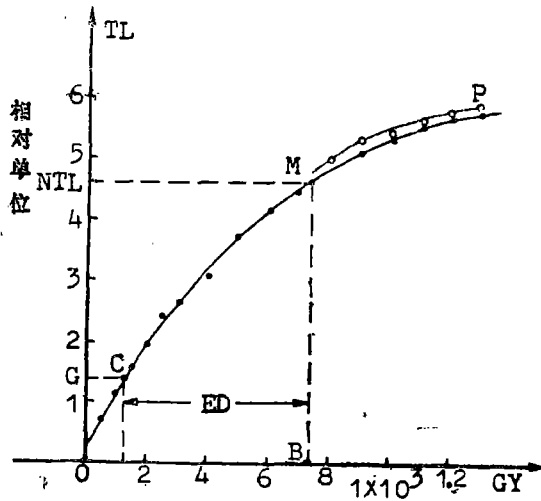


图4 石英退火后人工辐照的热释光累积曲线及其反演图解

Fig.4 Thermoluminescent accumulated curve of annealed quartz by artificial radiation and its reversal deduction diagram

根据天然热释光量NTL值作一平行于横座标的直线相交于M点,通过M点作一垂线与横座标交于B点。再根据底数G值与曲线交于C点,则ED便是所求的样品的天然热释光的等效剂量值(图4)。

为了检验退火后,矿物对辐照的灵敏度可能引起的变化,仍然采用NTL+ATL法,照射若干剂量值,得出MP曲线。根据MP曲线的偏离程度来校正所引起的误差。实验表明,大多数的天然石英矿物经过退火后,其辐照灵敏度基本不变。如果发生变化,可作误差修正。实践表明,对于高阶地沉积物中采用石英矿物进行热释光测年,效果是很好的。

### 3.3 年剂量率的测定

年剂量率的测定,是应用热释光测定沉积物年龄的主要环节。通过准确分析试样本身及其周围环境的放射性同位素 $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$ 及 $^{87}\text{Rb}$ 的含量来求得。假设铀、钍放射系列处于放射性平衡条件下,各放射性系列对试样照射提供的年剂量率,可按表一的资料进行计算。如果样品在地表5m内取样时,应考虑宇宙射线对年剂量率的贡献,其数值以 $0.15\text{mGy/a}$ 考虑是合适的。在测定样品接受的年剂量率中,需要突出考虑的问题是样品及其周围环境中铀、钍及其子体核素的放射性平衡常常遭到破坏,呈严重不平衡,造成不平衡的原因主要有二点:①沉积物在水系搬运沉积过程中,由于铀、钍及其

子体的化学性质的不同, 在水中的溶解, 迁移能力有很大差别, 铀系列中铀组同位素溶于水性能较好, 迁移能力强, 因此, 沉积物中铀、钍系常呈不平衡状态。沉积以后, 由于地下水的活动, 铀、钍及其子体发生迁移、富集或贫化。②沉积物中氦气逃逸, 亦使铀系列不平衡。表1表明, 铀系对年剂量率贡献最多, 铀系的不平衡引起的误差, 常常是很严重的。根据铀系各核素发射的 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 射线在整个系列中占的比例。铀系中镭核素对年剂量率的贡献占了11.1%而氦及其子体则占58.97%。因此, 应非常注意研究上述因素的影响并进行校正。作者通过测定铀系列中铀与镭之间的平衡系数及氦逃逸的射气系数进行了适当的校正, 取得了良好的结果。表2列举的某些样品的年龄计算结果是采用本文的测量技术及经过平衡系数, 射气系数校正后取得的, 提供的阶地年龄与实地考察较符合, 一些样品年龄与 $^{14}\text{C}$ 法, 铀系不平衡法以及氨基酸法测得的结果亦比较符合。

表1 天然放射性元素对陶瓷和土壤提供的年剂量  
Tab.1 Component dose-rate for typical pottery and soil

核素	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	总和	有效值总计
$^{238}\text{U}$ 系列	2.798	0.1464	0.1268	3.0712	0.6929
$^{232}\text{Th}$ 系列	0.740	0.029	0.0655	0.8345	0.2055
$^{40}\text{K}$	0	0.715	0.216	0.931	0.931
$^{87}\text{Rb}$		0.048			0.048

注: 表中值为1ppmU·Th, 1% $^{40}\text{K}$ (用 $\text{K}_2\text{O}$ 表示)及100ppm $^{87}\text{Rb}$ 给出的年剂量

表2 某些样品的热释光年龄  
Tab.2 TL Ages of some samples

实验室编号	野外编号	样品名称	样品性质	热释光年龄 $\times 10^4$ (年)	取样地点
ZSUT-10	Q-1	粉泥砂土	一级阶地	$2.47 \pm 0.10$	龙门天堂山增江上游
ZSUT-11	Q-2	砾石泥砂土	一级阶地	$4.36 \pm 0.30$	龙门天堂山增江上游
ZSUT-13	YC5	泥砂土	一级阶地	$3.40 \pm 0.34$	阳春漠阳江大结塘
ZSUT-12	YC4	粉砂质粘土	溶洞二级阶地	$10.50 \pm 0.86$	凌霄岩二级溶洞阶地
ZSUT-15	YC7	粉砂质粘土	河流四级阶地	$27.00 \pm 2.70$	阳春春湾矿站南400M处
ZSUT-16	YC8	粉砂粘土	河流四级阶地	$24.00 \pm 2.4$	阳春春湾矿站南400M处
ZSUT-113	Rd-9-1	亚砂土	河流二级阶地	$12.10 \pm 1.06$	恩平东唐洲洞
ZSUT-112	Rd-9-3	亚砂土	河流二级阶地	$15.30 \pm 1.01$	恩平东唐洲洞
ZSUT-114	Rd24-1	亚砂土	河流二级阶地	$16.57 \pm 1.54$	恩平胜堂镇西河边
ZSUT-146	Rd26-1	亚砂土	河流二级阶地	$18.70 \pm 1.60$	恩平胜堂镇西河边
ZSUT-115	Rd28-2	砂砾土	河流一级阶地	$2.2 \pm 0.19$	台山县金鸡镇水仔口
ZSUT-116	Rd4-1	砂砾土	河流一级阶地	$3.83 \pm 0.36$	恩平北西南安里
ZSUT-192	SH-1	泥砂土	河流一级阶地	$3.63 \pm 0.31$	汕头朝阳河向阳镇
ZSUT-96	WG-2	泥砂土	河流五级阶地	$74.16 \pm 5.63$	
ZSUT-97	WG-3	粉砂土	河流三级阶地	$29.76 \pm 2.02$	

## 4 小 结

(1) 对广东沿海各种较老的河流阶地的形成年龄的研究,过去由于缺少有效的测年手段,一直较为薄弱,实践表明,热释光方法有可能成为解决这一问题的有效手段。

(2) 广东沿海河流阶地沉积物的形成较复杂,沉积物的热释光“零化作用”机理比较复杂,不是太阳曝晒一个因素的结果。本文提出的热释光“零化作用”机理,并据此提出的确定沉积物热释光剩余值(底数)的方法,经过实践检验,取得了初步结果,今后需进一步应用和完善。

(3) 对于较老沉积物的天然热释光量接近饱和状态下或沉积物的TL信号与辐射剂量之间呈非线性时,应用本文提出的反演图解法能较好地求得其自然热释光的等效剂量值,用以计算热释光年龄是行之有效的。

(4) 沉积物中的铀系列放射性平衡性是一个不可忽视的问题,应进一步研究沉积物在沉积过程中和沉积以后,放射性同位素的地球化学运移规律,本文提出用测定铀、镭放射性平衡系数及氡射气系数来进行校正测量结果是一个不可忽视的环节。

### 参 考 文 献

- 1 Aitken M J *et al.* Thermoluminescent Dating. Physics and Archaeology, 1971
- 2 Wintle A G and Huntley D J. Thermoluminescent Dating of Sediments, Quaternary Science Review, 1982; 1(1): 31~53
- 3 Wintle A G and Huntley D J. 海洋沉积物的热释光测年. 国外第四纪地质, 1984: 1
- 4 卢滨涛. 国外地质, 1984, 2
- 5 李虎侯. 科学通报, 1986, 5
- 6 李继亮. 科学通报, 1977, 11

## An Investigation on Thermoluminescence Dating of the Step Terrace Sediments of Guangdong Coastal Rivers

Liang Zhirong\* Liu Yijun Li Liejun Quan Yarong

### Abstract

The mechanism of Thermoluminescence of the sediments reduced to a residual level has been investigated on the basis of complex nature of step terrace sediments forming of Guangdong coastal rivers. A new method determining thermoluminescence surplus value of the earliest sediments has been put forward. When thermoluminescence dose of the older sediments is close to saturation state or the state between thermoluminescence dose and radiation dose is non-linear, how to obtain the equivalent dose of natural thermoluminescence has been studied, the research work shows that the results is significant and satisfactory.

**Keywords** exposed to simulated sun shine, thermoluminescence, action of reduced to a residual level, surplus value, equivalent dose, reverse deduction diagram.

\* Department of Geology