

深海沉积岩芯的热发光年代测定

A. G. 温特尔 D. J. 亨特利

近十年中热发光对考古材料的应用，特别是对在古代曾被加热过的陶器的应用已取得进展。热发光是物质受热时所发射出来的光，它是由于以前的放射性剂量所产生的。在最简单的情况下，光的强度与放射性剂量成正比。因此，可用测定未知的剂量，并结合其它测量方法求出剂量率，这样热发光就能用来计算出年代。对陶器来说，所测的年代是指物质在高温（通常为 500°C ）时最后受热以来的年代。

热发光用来测定大洋沉积物的年代，除缺少受热的事件外，在主要原理上与陶器的情况相似。本文的实验证据表明，某些事件产生相同的结果，如在太阳光下曝露就可能是这种事件。最后要指出的是，对一个大洋沉积物岩芯所测年代与其它方法得到的年代是一致的。

本文是对深海岩芯 RC8-39 的分析结果。样品的粒度为 $4-11$ 微米。该岩芯采自南极海的 Crozet 台地（东经 $42^{\circ}21'$ ，南纬 $42^{\circ}53'$ ，水深 4330 米）。样品的制备和测量技术是依据 Zimmerman 的方法。

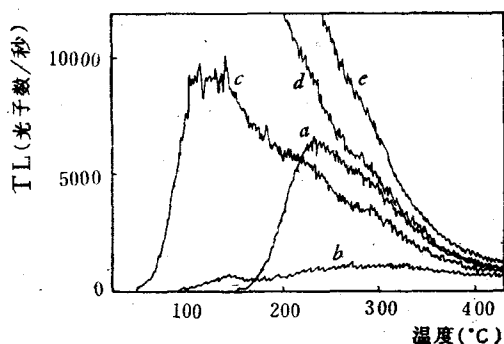


图1 RC8-39岩芯580厘米处测得的热发光辉光曲线

a是天然的；b是太阳灯下曝露40分钟后的天然样品；c—e同b，但分别增加了7.4，14.8和22.2（千拉德） γ 剂量。

图1 (a) 的典型辉光曲线是离岩芯顶部580厘米处的样品获得的。其它样品所得到的典型辉光曲线的形态也都相似，但随着岩芯深度的增加，其热发光强度也相应增强。一种适用的热发光强度的量度是用能产生相同热发光的 γ 放射性剂量D，我们可以利用增加剂量测定该值，即把样品的天然热发光与在实验室受到不同放射性剂量照射所得的热发光进行比较。图2

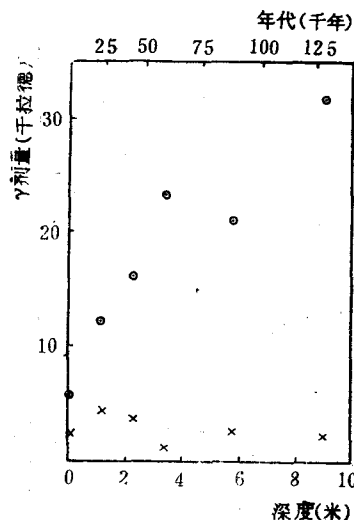


图2 在温度为 300°C 的辉光曲线上TL强度与岩芯RC8-39深度的关系

D是能产生与天然样品同样TL强度的 γ 剂量，它是由增加剂量的程序获得的； $\times$ 表示同样的样品的 D_0 值。

光曲线温度为 300°C 时所得到的D值，该值随着岩芯深度的增加而增大。

Huntley 和 Johnson 以前曾对两个北太平洋的岩芯报导过热发光随深度有类似增长的情况。他们认为TL是来自分解的硅质介壳，然而我们发现它主要是来自附着在硅质介壳上的无机沉积物。在所研究的三个岩芯中，靠近顶部样品的TL均比时代为 10^5 年的样品的TL显著的小。在我们研究过的另外四个岩芯顶部的样品中，也发现了具有低TL强度的相似情况。因此，我们推断新的沉积物的TL是小的，而且正像人们对陆源物质所认为的那样是不饱和的。

苏联和中国第四纪沉积TL的研究，为新沉积物具有低的TL值提供了进一步的证据。在这

里同样观察到TL随深度而增加的情况。起初, Morozov和Shelkopyas曾指出太阳光和风化期间碾磨作用的影响是造成新的沉积物TL低的原因。因而我们测定了太阳光对样品TL的影响, 并发现该影响是非常灵敏的, 即曝露20分钟就足够使天然TL减半。

为了验证光曝露是使得天然TL趋于零的一种可能的机理, 我们对一组相同的样品给予一个大的 γ 剂量(400×10^3 拉德)促使它近于饱和, 然后测定作为光曝露函数的TL。为了能得到重复曝露, 这种实验是用一种相当于四倍太阳光效能的Sylvania太阳灯来完成的。图3的结果表明, 相当于太阳光直射大约十天的曝露就能将TL减少到岩芯顶部样品的TL水平。因此, 我们认为早先获得的地质TL在沉积于海底之前, 由于太阳光的照射而被释放掉。然而我们没有进行任何详细的矿物分离, 而且在风化和沉积期间化学的和机械的改造也同样可能起着明显的影响。不管新的沉积物低TL的原因如何, 下面的论证仍然可能是适用的。

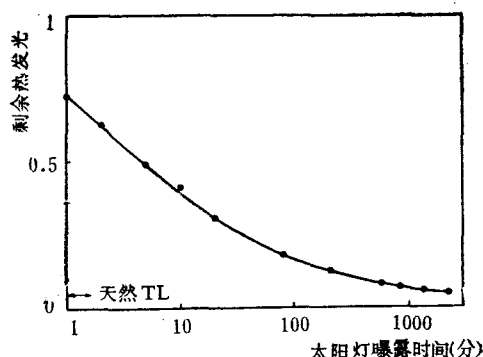


图3 在温度为300℃的辉光曲线上样品经太阳灯照射后所剩的TL强度与照射时间的关系

*该实验是对一组样品进行的, 每个样品都给予400千拉德的实验室剂量, 以模拟其风化前的条件。

正如图3所表明的一样, 甚至在长时间的光照射之后, 仍然存在一个有限的TL信号(这可能是由于存在着不能很容易地被释放掉的TL信号或者是由于一种非放射性诱导的信号)。因此, 我们把沉积物样品的天然TL描述

为:

$$I_{nat} = I_o + I_a \quad (1)$$

式中 I_o 是沉积时的TL; I_a 是沉积以来由于放射性剂量引起的TL。在理想的情况下, 岩芯顶部的样品应产生TL信号 I_o , 然而实际上它的TL同样出现一个小的代表物质实际年代的 I_a , 这是由于取芯时大部分现代沉积物损失或由于生物的扰动使沉积物混合所致。

依据 γ 剂量能产生相同的TL强度, 我们将方程式(1)改写为:

$$D = D_o + ED \quad (2)$$

式中ED称为等效剂量。它是实验的 γ 剂量, 其产生的TL强度与沉积样品所经受的放射性剂量是相同的。

为了测定ED, 我们改进了图1所表示的程序。所有的测定是在分离的同一个样品取得的。曲线(a)是天然样品的TL; 曲线(b)是相同的样品在太阳灯下曝露40分钟的TL; 曲线(c)——(e)是样品曝露于太阳灯下, 然后给予各种不同的 γ 剂量而得到的TL值。图1表明大约 13×10^3 拉德的 γ 剂量可得到的TL与在250℃的天然样品所得到的TL相似, 这个剂量可称为G。图3表明, 在太阳灯下曝露40分钟不能充分地消除天然TL中所有的 I_a , 我们可称该剩余部分为f, 那末公式可表示如下:

$$ED = G / (1 - f) \quad (3)$$

我们测量f是分步进行实验的, 首先把样品长时间地在太阳灯下曝露; γ 射线照射; 然后再进行40分钟的太阳灯下曝露。典型的f值为0.2, 它是不依赖于 γ 剂量或岩芯的样品的。

为了得到ED, 我们是按上述的程序实验的。用该程序去测定样品的剂量, 这些样品在太阳灯下充分曝露后再给予已知的实验室剂量。在另外的实验中, 我们取了几组119厘米的样品, 除了天然的剂量外, 另给它们一个已知的 γ 剂量 Γ , 然后用上面的程序去测量每一组样品的G, 用G对 Γ 作图, 两者呈线性。当外推 $G = 0$ 时, 得到 $\Gamma = -ED$ 的值, 该值与250℃的温度无关, 并与以前的方法得到的值是一致的。该实验得到的误差范围为 $\pm 5\%$ 。

用方程式(3)测定了岩芯RC8-39的六个样品,我们得到的等效剂量列入表中。图2表明强度随深度的增加而增强。 D_0 值由差减法($D_0=D-ED$)得到,在300°C时的 D_0 值见于图2,这些值表明随深度呈不规则的变化,因此与模式是一致的。

表 岩芯RC8-39的剂量、放射性分析、
TL年代C. davisiana年龄*

深度 (厘米)	等效剂量(10^3 拉德)	K的百 分含量	被测量的 α 计数率(ks 厘米 2) $^{-1}$	TL年 龄(10^3 年)	C. davisia- na年龄 (10^3 年)
9	3.0	0.33	1.83 ± 0.03	9	6—10
118	7.2	0.82	1.25 ± 0.02	30	22—25
230	10.6	0.55	0.98 ± 0.02	51	40—46
342	19.1	0.71	1.02 ± 0.03	≥ 76	58—66
580	15.7	0.42	0.77 ± 0.01	85	85—90
902	25.6	0.52	0.56 ± 0.01	140	125—135

* C. davisiana年龄是参照Hays等的图2、3和5中C. davisiana的变化估算出来的。在TL年代上,本实验的不可靠性约为18%,主要是由于不定的含水量所引起的。342厘米处样品的TL年龄是下限,这是因为它表现出异常的衰减。其它的均无这种现象。

基于表中的等效剂量,利用进行考古材料热发光测年的标准技术所测出的放射性剂量率即可计算热发光年代。我们用的年代方程是:

$$ED = (R_k + R_u + R_{Th})T + R_1 t \{ \exp(T/t) - 1 \} \quad (4)$$

式中T是年代;R值是由K-40、U-238、Th-232分别衰变所产生的有效放射剂量率,其中包括 α 、 β 和 γ 所产生的。最后一项是起支配作用的一项,是由过量Th-230的存在引起的,过量的Th-230不断地从海洋中沉淀下来。其半衰期t是 108×10^3 年,这样就有必要把剂量率随时间的变化包括在内。方程的每一项均包括水的衰减因子,该因子是按水的含量为 $57 \pm 5\%$ 来计算的,而每个 α 剂量-速率项包括一个测定热发光的有效因子。U-238, Th-232和Th-230的含量是用 α 闪烁计数来测量的,剂量率转换因

子是根据Bell的方法,这样计算出来的年代列入表,表中的年代并与Cycladophora davisiana的年龄和Hays等的氧同位素变化曲线上所推算的年代作了比较。我们考虑到两组年代之间的相关性,因此充分地说明该方法基本上是合理的。

官晨钟译自 Nature Vol.

279 No5715, P.

710—712 赵一阳校

(上接第38页)

显示出比担轮幼虫和D型幼虫对海水比重有更大的适应性。

三、小 结

1. 海水温度对文蛤受精卵孵化、幼虫生长发育和变态影响是比较显著的。当自然温度在日平均水温23.2—27°C试验条件下,文蛤受精卵孵化、幼虫生长发育、变态至幼苗所需的时间随水温的升高而加快。试验期间最高水温曾达31.8°C,最低为22.1°C,文蛤均能正常孵化、生长发育和变态。这说明文蛤幼虫能在较高和较广泛的温度范围内生长发育和变态。该实验为在自然温度条件下,选择较高水温进行文蛤人工育苗,以缩短育苗周期提供了一些依据。实验由于条件所限,未能找出文蛤幼虫生长发育和变态的适温范围和上下限,而这方面的研究对文蛤的人工育苗也是比较重要的。

2. 文蛤受精卵孵化、生长发育至幼苗的海水适宜比重范围在1.010—1.025左右,最适宜比重应在1.015—1.025。在上述比重范围内,文蛤的受精卵都能正常孵化、生长发育和变态为幼苗。但当比重低于或超过上述适宜比重范围时,都将影响胚胎和幼虫的正常生长发育,产生滞育或畸形,甚至死亡。实验结果还表明,文蛤幼虫正常生长发育的海水比重上限应在1.025—1.030之间,而下限则在1.005—1.010范围内。文蛤幼虫生长发育的最适海水比重比正常海水偏低的这一特性,可能与文蛤栖息在海水盐度较低的河口附近有关。