

绿光释光测年中基于单片技术的再生/附加法

赖忠平 周杰 卢演侑 A.K.Singhvi

摘要：单片技术是90年代以来光释光测年的最新手段。运用再生法进行单片技术测年所面临的主要问题是感量变化。将再生法与附加剂量法联合运用则可克服感量变化的问题。本文运用基于单片技术的再生/附加法对黄土沙漠边界带风成沉积的全新世样品进行石英绿光释光等效剂量测定。结果表明，基于单片技术的再生/附加法是石英绿光释光测年的理想方法。

关键词：光释光测年；单片技术；再生/附加法

中图分类号：P533

文献标识码：A

SINGLE ALIQUOT REGENERATIVE/ADDITIVE METHOD IN GLSL DATING OF QUARTZ

LAI Zhong-ping¹, ZHOU Jie¹, LU Yan-chou¹, A K Singhvi²

(1.State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology,Chinese Academy of Sciences,
Xi'an Shaanxi 710054;

2.Earth Science Division,Physical Research Laboratory,Ahmedabad 380009,India.)

Abstract: The most recent development in OSL dating is the single-aliquot method. It has a big advantage over the conventional multiple-aliquot technique. The sensitivity change in the repeated luminescence measurements is the crucial problem for this protocol. The single-aliquot regenerative/additive (SARA) method, using the regeneration and additive dose method together, can allow for the sensitivity change in the repeated luminescence measurements. In the present study, the SARA method was applied to the GLSL dating on quartz extracted from the aeolian samples from loess/desert transitional zone in China. The SARA results were in agreement with the results of the single-aliquot regenerative-dose (SAR) method and the conventional multi-aliquot additive dose method.

Key words: OSL dating; the single-aliquot; regenerative/additive method

0 引言

从1985年Huntley等首次提出光释光测年中应用附加剂量法进行单片技术测年的可能性^[1]，到1991年Duller发表了开创性的研究成果^[2]，单片技术测年才成为现实。运用再生法和附加剂量法，Duller进行了钾长石红外释光的单片技术测年研究。结果表

明,附加剂量法的单片技术是红外释光测年的理想手段,而再生法的单片技术则由于感量变化而被他否定。为消除感量变化的影响,Mejdahl and Botter-Jenson提出了再生法与附加剂量法联合运用的再生/附加法^[3]。运用这一技术,他们进行的红外释光测年取得了理想的结果。Murray将这一方法运用于沉积物石英的绿光释光测年^[4]。Murray and Roberts对再生绿光释光信号与110 峰热释光信号的关系进行了深入的研究^[5]。结果发现,110 峰热释光信号可以用来校正再生释光信号的感量变化。基于这一结论,他们提出了真正的单片技术——只用一个样片或一个石英颗粒就可以测得等效剂量。

单片技术自1991年提出以来发展很快,正逐步取代传统方法而成为标准的光释光测年方法。运用单片技术测年只需一个样片就可得到一个年代值,而传统的释光测年方法则要求制备30~40个样片,才能得到一个年代值。单片技术较传统的技术有许多优点:(1)精确度大大提高。所有的测量都在一个样片上进行,因而不需要进行归一化,且矿物发光特性的复杂性也因其样品量的减少而大为降低。(2)实验过程大为简化,因而所花费的精力及仪器设备的占用时间也相应减少。单片技术对仪器的自动化程度要求很高。样片制好后所有等效剂量测量都可在仪器内进行,这就减少了人为因素的干扰。(3)样片量大大减少。用一个样片,甚至只用一个矿物颗粒就可以得到等效剂量。(4)可克服在低剂量区释光信号增长的超线性。(5)可对一个样品重复测得很多的等效剂量。这一方面可进行重复性检验,并通过取均值进一步提高测年精确度;另一方面为快速沉积的沉积物的年代测定提供了可能性(如洪积物、冰积物等不均匀晒退的沉积物)。通过测定许多单颗粒矿物的等效剂量,可从样品的不均匀晒退的矿物颗粒中检测出完全晒退的矿物颗粒,从而准确测定其沉积年代。

本文运用基于单片技术的再生/附加法对黄土沙漠边界带风成沉积全新世沙样进行了绿光释光等效剂量的测定。

1 释光测年方法

释光测年方法有热释光和光释光两种,而光释光测年包括绿光释光测年和红外释光测年。当从自然界或实验室中接受了一定放射性剂量的石英和长石等矿物受到热或光的激发时,就会将已接受的放射性能量以光子的形式释放出来,这就是释光信号。因热激发而产生的释光信号称为热释光信号,因光激发而产生的释光信号则称为光释光信号。矿物上一次的热事件(大于450)或曝光事件把释光信号降低到零或接近于零的水平,然后埋藏在地层中重新累积释光信号。因而释光年代就是矿物自上次热事件或曝光事件后埋藏至今所经历的时间。对于沉积物,曝光事件很难将热释光信号回零,即有一定的残留值,因而必须在实验室中通过实验估计出残留值,从而使热释光年代值产生不确定性。但曝光事件很容易将矿物的光释光信号降低到零点,即残留值为0。这就是光释光优于热释光的一个主要方面。矿物在自然界中所接受的放射性能量主要来自铀、钍和钾等放射性元素,因而释光测年包括两方面的测量:一是测量埋藏阶段样品累积的释光信号总量(A);二是测量埋藏环境的放射性能量强度,即单位时间内所能产生的释光信号(B)。于是,年代的计算由下式表示:

$$\text{年代值} = A/B$$

在实际应用中，由于核辐射包括 α 粒子、 β 射线、 γ 射线和宇宙射线，而 α 粒子产生释光信号的效率不如 β 和宇宙射线，因而计算公式远比上式复杂：

$$\text{年代值} = ED / (aD_1 + D_2 + D_3 + D_c)$$

式中ED是等效剂量，即产生相当于样品天然释光信号水平所需的实验室剂量，a是系数，即 α 粒子相对于 β 产生释光信号的效率，D是不同核辐射的年剂量率。

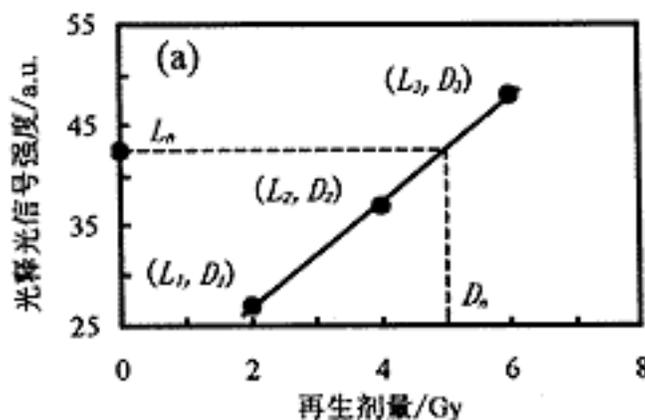
2 样品及实验条件

6个全新世风成沙样采自沙漠黄土边界带的太平川剖面。剖面位于吉林省长林县太平川镇(123°10'E, 44°45'N)。有关其沉积环境及传统的绿光释光(附加剂量法)测年过程及结果参见文献[6]。样品前处理[7]主要步骤如下：过筛(125~150 μm)、磁选(除去重矿物)、多钨酸钠重液分离(密度为2.65g/cm³)、浓度为40%的氢氟酸浸泡(80 min, 以除去石英颗粒约10 μm 接受剂量的表层)。这样就得到单矿物石英颗粒，其纯度通过红外光源进行检测[8]。

所有的释光测量都在RISO TL/OSL-DA-15仪器上进行。绿光释光信号通过EMI9635QA光电倍增管检测，滤光片为BG 39和U 340组合。激发光源的波长为420 nm~550 nm。测量绿光释光信号时的激发时间为100s。

3 再生/附加法测量等效剂量

Mejdahl and Botter-Jenson认为[3]，只要在测量过程中发生的感量变化与剂量无关，那么，再生法与附加剂量法联合运用的再生/附加法就可克服感量变化而得到正确的等效剂量。其测量过程如图1所示。从理论上而言，这一方法只需两个样片就可得到等效剂量。



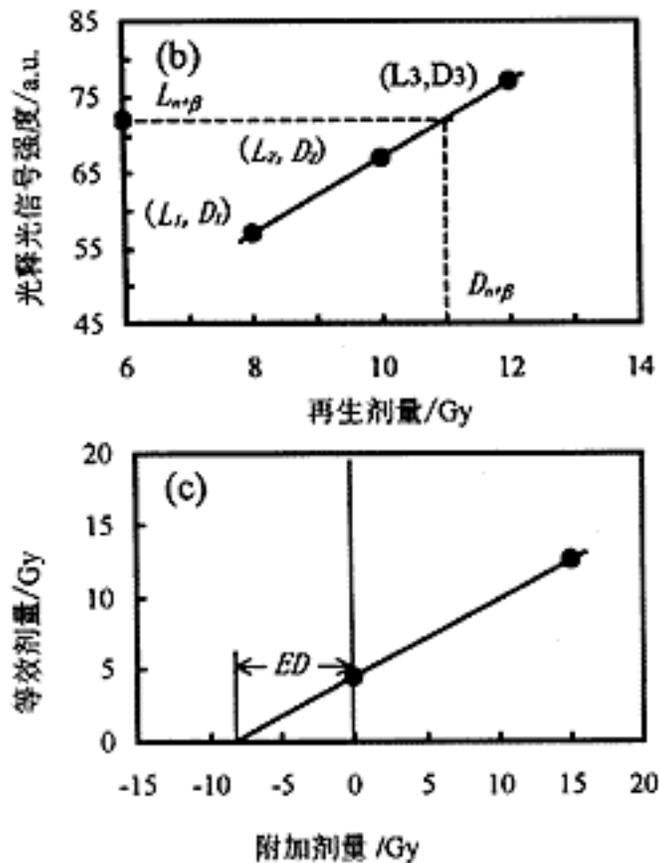


图1 再生/附加法测量等效剂量示意图(据文献 [3])
Fig.1 The sketch diagram of the single-aliquot regenerative/additive (SARA) method

(a)天然样片运用再生法内插求得 D_n ；(b)附加一定剂量的天然样片运用再生法内插求得 D_{n+} ；(c)通过对 D_n 、 D_{n+} 和剂量进行拟合外推求得真实的等效剂量ED。图中 L_n 是天然样片的释光信号水平； L_{n+} 是附加一定剂量的天然样片的释光信号水平； D_1 ， D_2 ， D_3 是三个再生剂量； L_1 ， L_2 ， L_3 是相应再生剂量的释光信号水平

制备两个天然样片(片1和片2)，对其中一个天然样片(片2)先辐照一定的剂量。对这两个样片先预热(Mejdahl and Botter-Jenson的预热为260、40s)，然后测量释光信号(片1为图1a中的 L_n ，片2为图1b中的 L_{n+})。接着给这两个样片辐照一定的剂量、预热、释光信号测量。这种辐照、预热、测量的步骤再重复两次，对每个样片可测得三个再生释光信号(L_1 ， L_2 ， L_3)，并且使 L_n 和 L_{n+} 处于这三个再生释光信号水平之间。这样运用内插法就可对每个样片求得等效剂量 D_n 和 D_{n+} (图1a和b)。由于感量变化 D_n 并不一定等于该样品真实的等效剂量ED。但将 D_n 和 D_{n+} 与所辐照的剂量值作图进行拟合，则可得到真实的等效剂量ED(图1c)。

这一方法对于埋藏前加热过的考古样品可得到准确的年代[3]，并且可以克服低剂量区信号的非线性增长[9]。

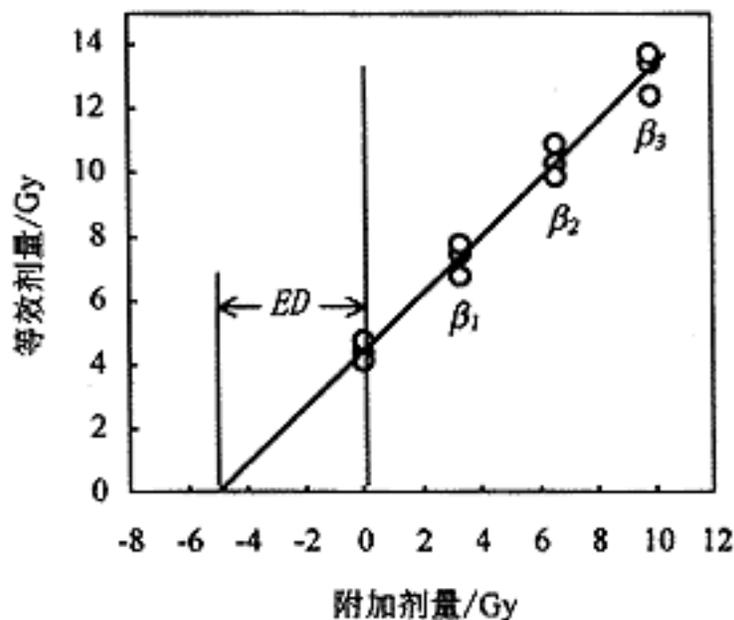


图2 样品CHN5Q等效剂量ED的求取

Fig.2 The determination of true ED of sample CHN5Q

将每个样片应用再生法求取的等效剂量与所辐照的剂量值作图，进行拟合外推，可得到真实的等效剂量ED

4 结果及讨论

在理论上只用两个样片就可以求得样品的等效剂量，在测量释光信号前分别附加的剂量为0和 β_1 (两个剂量点)。在本实验中为了提高精度，对每个样品采用了四个剂量点(0, β_1 , β_2 , β_3)，并且每个附加剂量点各用三个样片，共用了12个样片。然后将这12个样片所求得的12个等效剂量与相应的附加剂量值作图，进行拟合外推求得真实的等效剂量ED。图2所示是样品CHN5Q通过拟合外推求得真实的等效剂量ED。光释光信号都用发光曲线中1~10 s积分减去91~100 s积分。这可消除仪器本底信号和光敏性不强的陷阱信号贡献的影响^[10]。测量结果及与其它方法所得结果的比较见表1。

表1 再生/附加法与再生法单片技术^[11]和常规附加剂量法^[6]ED测量结果比较

Table 1 The comparison of EDs of single-aliquot regenerative/additive(SARA) method with the EDs of single aliquot regenerative protocol(SAR)^[11] and the EDs of conventional multi-aliquot additive dose method^[6]

实验室 样品编号	再生/附加法的ED /Gy	单片技术的ED* /Gy	常规方法的ED /Gy
CHN1Q	3.5 ± 0.24	3.4 ± 0.04	3.0 ± 0.13
CHN2Q	4.5 ± 0.31	4.2 ± 0.08	3.9 ± 0.31

CHN3Q	4.6 ± 0.27	4.8 ± 0.07	4.4 ± 0.18
CHN4Q	25.1 ± 2.12	25.9 ± 0.56	24.5 ± 3.40
CHN5Q	5.1 ± 0.21	4.9 ± 0.08	4.4 ± 0.27
CHN6Q	13.8 ± 1.04	13.1 ± 0.26	11.9 ± 0.30

*指再生法单片技术，再生过程中的感量变化通过试验剂量的释光信号进行校正 [11]。

从表1中可知，再生/附加法的等效剂量与再生法单片技术 [11] 和常规附加剂量法 [6] 的等效剂量有很好的—致性。说明基于单片技术的再生/附加法对于中国沙漠黄土边界带风成沉积样品石英的绿光释光测年可克服感量变化的影响，得到可靠的等效剂量，进而测得可靠的沉积年代。

感谢第三世界科学院的支持及印度物理研究所提供仪器设备。

基金项目：中国科学院资源与生态环境研究重大项目(KZ951-A1-402)及国家基金重大项目(4989417)

作者简介：赖忠平(1969—)，男，1997年获中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室硕士学位，主要从事第四纪年代学研究。

作者单位：赖忠平 周杰 卢演侑 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室，陕西西安 710054； A.K.Singhvi Earth Science Division, Physical Research Laboratory, Ahmedabad 380009, India.

参考文献

- [1] Huntley D J, Godfrey-Smith D I and Thewalt M L W. Optical dating of sediments [J] . Nature, 1985, 313, 105 ~ 107.
- [2] Duller G A T. Equivalent dose determination using single aliquots [J] . Nuclear Tracks and Radiation Measurements, 1991, 18: 371 ~ 378.
- [3] Mejdahl V, Botter-Jenson L. Luminescence dating of archaeological materials using a new technique based on single aliquot measurements [J] . Quaternary Science Reviews, 1994, 13: 551 ~ 554.
- [4] Murray A S. Developments in optical stimulated luminescence and photo-transferred thermoluminescence dating of young sediments: application to 2,000-year sequence of flood deposits [J] . Geochimica et Cosmochimica Acta, 1996, 60: 565 ~ 576.
- [5] Murray A S, Roberts R G. Measurement of equivalent dose in quartz using regenerative-dose single-aliquot protocol [J] . Radiation Measurements, 1998, 29: 503 ~ 515.
- [6] Lai Zhong-ping, Singhvi A K, Chen Hui-zhong, etc. Luminescence chronology of sediments from loess and desert transitional zone, China, and its implications [J] . Man and Environment, 1999, (In press).
- [7] Aitken M J. Thermoluminescence dating [M] . London, Academic Press, 1985. 182.

- [8] Short M A,Huntley D J.Infrared stimulation of quartz [J] .Ancient TL,1992,10:19 ~ 21.
- [9] Murray A S.Imcomplete shine-down and its effect on the regenerated signal,with particular reference to young quartz sediments [J] .Radiation Measurements,1995,26:221 ~ 231.
- [10] Aitken M J,Xie J.Optical dating using infrared diodes:young samples [J] .Quaternary Science Reviews,1992,11:147 ~ 152.
- [11] 赖忠平,周 杰,卢演侑,等.风成沉积石英绿光释光测年的单片技术 [J] .中国沙漠,1999, [出版中] .

收稿日期：1998-08-26