

石英释光测年：从原理到应用

兰溪释光检测有限公司 / 地质与考古年代学实验室

本文案例选自公开发表的学术文献，
旨在帮助读者理解释光测年的原理及实际应用场景。

第一章 释光测年基本原理及物理机制

释光测年（Luminescence Dating）作为第四纪地质学、考古学和古环境研究中的关键定年技术，在过去几十年中取得了显著进展。该技术基于矿物晶体（主要为石英和长石）在自然辐射作用下储存能量，并在受热或受光激发时以光子的形式释放能量的物理现象。

一、释光现象与能量存储机制

释光测年的物理基础源于某些天然矿物（如石英、长石）的晶体缺陷。当这些矿物暴露于环境中的自然辐射时（主要来自 ^{238}U 、 ^{232}Th 和 ^{40}K 的放射性同位素），辐射能量会使晶体中的电子从价带激发到导带。部分电子随后被晶体缺陷（即“陷阱”）捕获并储存起来。这些陷阱在能量图上位于导带下方，其深度决定了电子被捕获的稳定性：陷阱越深，电子在常温下逃逸所需的时间越长，稳定性越高。

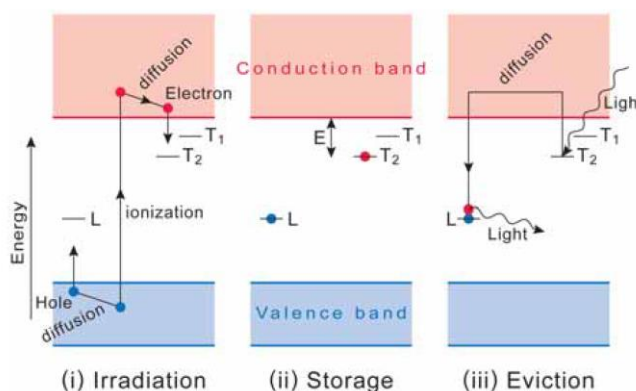


图1：能量图示意释光过程 (i) 辐射与晶体相互作用（电离），将电子推入导带，在价带留下“空穴”；(ii) 电子在缺陷位点（ T_1 , T_2 等）被捕获并停留一段时间（陷阱越深，电子越稳定）；(iii) 晶体受到热或光激发，释放电子，电子与发光中心（L）的空穴复合，发射光子（改编自 Aitken 1990）。

随着时间的推移，埋藏矿物接受环境辐射，被捕获的电子不断累积，储存的能量与所受辐射剂量成正比。这一过程类似于电池的充电过程：矿物颗粒在沉积埋藏前或受热事件后"电池"被清空，随后在自然辐射场中缓慢"充电"。

二、常规释光信号激发类型：TL、OSL 与 IRSL

释光信号激发方式主要有以下三种：

1. 热释光 (Thermoluminescence, TL)

通过以固定速率加热样品（通常从室温升至 450–700°C）来释放被捕获的电子。产生的 TL 信号是测量温度的函数。高温区（如约 325°C）的 TL 峰通常来自深陷阱，电子稳定性高，适用于测年；而低温区（如约 110°C）的 TL 峰来自浅陷阱，电子在室温下寿命短（约 20 小时），不适用于测年。

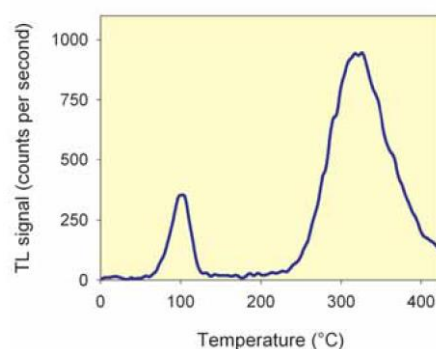


图2：典型热释光 (TL) 信号 石英样品从室温以 5°C/秒速率加热至 450°C 时的典型热释光信号。样品在测量前经实验室放射源辐照，所以有约 110°C 的峰：该峰在室温下仅稳定数小时，因此在测量自然样品时不会出现。约 325°C 的宽峰和更高温度的肩峰可稳定数百万年，用于测年。

2. 光释光 (Optically Stimulated Luminescence, OSL)

通过用特定波长的光（通常为蓝光，波长~470 nm）照射样品来释放电子。OSL 信号在激发光源开启时立即产生，并随测量时间延长而衰减。与 TL 相比，OSL 信号被日光晒退（bleaching）的速度快得多：实验室模拟显示，石英颗粒暴露于日光下仅 100 秒，其 OSL 信号即可降至初始值的 0.1% 以下，而 TL 信号在相同条件下仍保留 85% 以上。这使得 OSL 特别适用于沉积物测年，因为沉积物在搬运和沉积过程中可能仅经历短暂的光照。

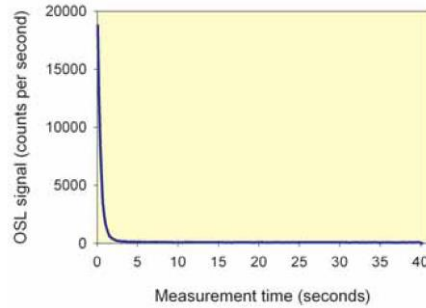


图3：典型光释光（OSL）信号 石英样品的典型 OSL 信号：随着石英中被捕获的电子耗尽以产生释光信号，OSL 信号迅速下降。

3. 红外释光（Infrared Stimulated Luminescence, IRSL）

使用红外光（通常中心波长 880 nm）激发样品获得释光信号。IRSL 仅见于长石，石英在室温下不产生 IRSL 信号。这一特性可用于评估石英样品中长石杂质的存在。

三、测年原理与年龄公式

释光测年的核心在于确定两个关键参数：**等效剂量**（Equivalent Dose, De）和**环境剂量率**（Dose Rate, Dr）。

等效剂量（De）：指样品自最后一次信号归零事件（受热或曝光）以来，从环境中吸收的总辐射剂量，以戈瑞（Gray, Gy）为单位。在实验室中，通过测量样品的自然释光信号强度，并与已知实验室剂量产生的信号进行对比，来确定 De。

剂量率（Dr）：指样品每年从周围环境中吸收的辐射剂量，单位一般为 Gy/ka。环境辐射主要来自样品本身及其周围沉积物中的 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 放射性同位素衰变产生的 α 、 β 、 γ 射线，以及宇宙射线。

$$\text{释光年代} = \text{等效剂量 (De)} / \text{剂量率 (Dr)}$$

因此，释光年龄直接给出了自最后一次信号归零事件以来所经历的日历年龄，无需像放射性碳测年那样进行校准。

四、信号归零机制与测年事件

释光测年所定的事件是矿物颗粒中释光信号最后一次被"归零"的时刻，即其陷阱中的电子被清空的时刻。归零主要通过两种方式实现：

- **加热归零**：当样品被加热至约 300°C 以上时，陷阱中的电子被热激发释

放。这适用于考古材料如陶器、燧石、砖瓦等，其最后一次受热事件（如烧制、用火）将信号归零。

- **曝光归零：** 当矿物颗粒暴露于日光下时，光激发使电子从陷阱中释放。这适用于沉积物，其最后一次暴露于日光下（即在沉积前经历搬运和沉积过程）将信号归零。

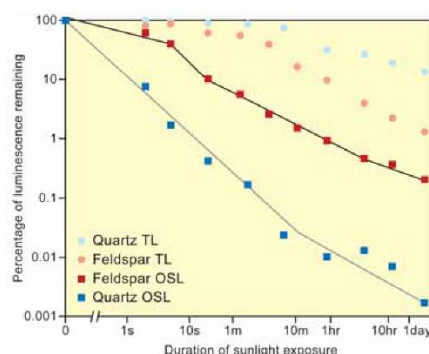


图4：TL 和 OSL 信号晒退对比 石英和长石的 TL 和 OSL 信号随光照暴露而减少（根据 Godfrey-Smith 等 1988 重绘）。两个轴均为对数刻度。显示石英颗粒暴露于日光下仅 100 秒，其 OSL 信号即可降至初始值的 0.1% 以下，而 TL 信号在相同条件下仍保留 85% 以上。

五、矿物选择：石英与长石

石英和长石是释光测年最常用的矿物。石英因其 OSL 信号晒退快、信号相对简单且通常不存在异常衰减（anomalous fading）问题，成为当前沉积物测年的首选材料。长石虽然释光信号较强，但普遍存在异常衰减现象（即信号在实验室储存期间非预期地减弱），需进行校正或选择特定信号等手段以规避此问题。

六、小结

释光测年基于坚实的物理原理，通过测量矿物晶体在埋藏期间积累的辐射能量，为过去数十万年至数百年的地质和考古事件提供直接日历年龄。理解其基本原理——能量存储机制、信号激发方式、信号归零过程及年龄计算——是正确应用和合理解释释光年龄的前提。

第二章 等效剂量（De）的精确测量：SAR 法与质量控制

在释光测年技术中，等效剂量（De）的准确测定是获得可靠年龄的关键。自 2000 年 Murray 和 Wintle 提出单片再生剂量法（Single Aliquot Regenerative-dose, SAR）以来，该方法已成为石英光释光（OSL）测年的标准流程。

一、SAR 方法的基本原理

SAR 方法的核心思想是在单个测片（aliquot）上完成完整的剂量响应曲线构建，同时通过实验剂量（test dose）校正灵敏度变化。SAR 测量包含一系列循环：

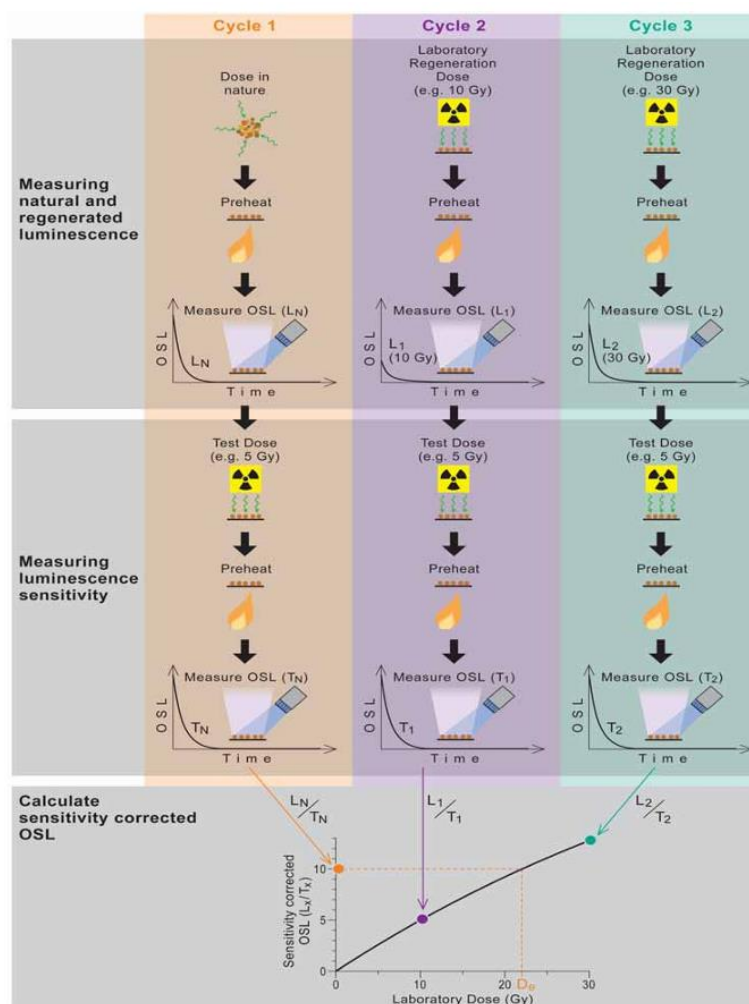


图 5：SAR 程序示意图 应用于石英的单片再生剂量法（SAR）流程：通过给予一系列不同大小的实验室剂量并测量产生的 OSL 信号来表征信号随剂量的增长。每次测量后，通过给予固定实验剂量来测量释光灵敏度。灵敏度校正后的 OSL (L_x/T_x) 作为实验室剂量的函数图可用于计算该单片的 D_e 。

自然信号测量： 首先测量样品的自然 OSL 信号 (L_n)，随后给予一个固定实验剂量并测量其响应 (T_n)，用于灵敏度校正。

再生剂量测量： 将样品晒退后，给予一系列已知的实验室再生剂量（如 10 Gy、30 Gy、60 Gy 等），分别测量对应的 OSL 信号 (L_1 、 L_2 、 $L_3...$) 及其实验剂量响应 (T_1 、 T_2 、 $T_3...$)。

灵敏度校正： 计算灵敏度校正后的 OSL 值 (L_x/T_x)，构建剂量响应曲线。

De 计算： 将自然信号的校正值 (L_n/T_n) 投影到剂量响应曲线上，插值得到 De 值。

SAR 协议的最大优势在于能够校正测量过程中可能发生的灵敏度变化，这些变化可能由预热温度、测量温度、样品历史等因素引起。

二、关键质量控制检验

为确保 SAR 法的有效性和 De 测量的可靠性，必须进行一系列质量控制检验：

1. 循环比测试 (Recycling Test)： 在完成剂量响应曲线构建后，重复测量其中一个再生剂量。如果 SAR 法正确校正了灵敏度变化，两次测量值应一致。循环比的理想值为 1.0，可接受范围为 0.9–1.1。

2. 预热坪测试 (Preheat Plateau)： 预热过程（通常在 160–300°C 加热 10 秒）用于移除不稳定浅陷阱中的电子。通过在不同预热温度下测量 De，确定 De 值稳定的“坪区”。对于年轻样品，过高的预热温度可能导致热转移，使 De 值偏高。

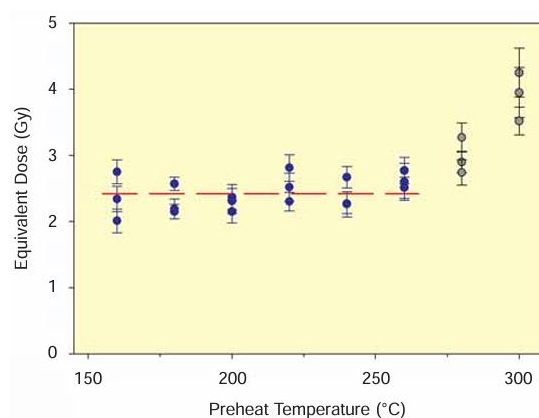


图 6：预热坪结果 一个沙滩样品的 De 在 160°C 至 260°C 预热温度下稳定，形成坪区，平均值用于计算样品年龄 (3850 ± 180 a)。在更高预热温度下 De 增加，由热转移引起 (Roberts 和 Plater 2005; 2007)。

3. 剂量恢复测试 (Dose Recovery Test): 将自然样品晒退后, 给予一个已知实验室剂量, 然后使用 SAR 法测量该值。测试结果与给予剂量的比值应接近 1.0。这是验证 SAR 法适用性的最有力测试。

4. 零剂量测试 (Recuperation): 测量一个零再生剂量的循环, 检查是否存在信号恢复。显著的恢复可能表明存在热转移或其他问题。

三、测片大小与单颗粒测试

测片中包含的颗粒数量对 De 测量的精度和解释有重要影响: 大测片 (约 1000 颗粒) 信号较强, 测量精度较高, 但可能掩盖颗粒间差异; 小测片 (约 20 颗粒) 和单颗粒能够揭示颗粒间的 De 差异, 特别适用于不完全晒退或混合沉积的研究。

研究表明, 石英颗粒的 OSL 亮度差异很大, 约 95% 的光信号来自不到 5% 的颗粒。这意味着即使是大测片, 其 OSL 信号也可能主要来自少数明亮颗粒。

四、De 分布的数据展示

径向图 (Radial Plot) 是展示 De 分布的重要工具, 可同时显示 De 值及其相对误差。数据点形成的"带"指向特定 De 值, 便于识别不同年龄组分的混合。

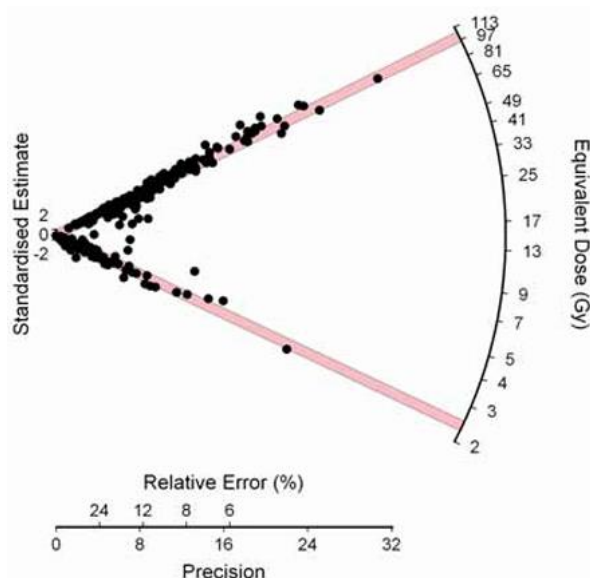


图 7: 径向图展示单颗粒数据 南非 Sibudu Cave 的 289 个单颗粒石英的 De 值径向图。数据形成两组: 一组平均值为 101 Gy, 得出 35 ± 2 ka 的释光年龄; 另一组为 2.4 Gy, 得出 0.93 ± 0.04 ka 的年龄 (Jacobs 等 2008)。单颗粒分析揭示了两个地层的混合。

五、不完全晒退的识别与处理

不完全晒退是沉积物释光测年的主要挑战之一。识别方法包括：**De** 分布分析（范围宽、右偏）、现代样品对比、大小测片实验（减小颗粒数揭示被掩盖的差异）。统计模型（如有限混合模型、中心年龄模型）可用于从不完全晒退样品中提取可靠年龄信息。

六、小结

SAR 法通过系统化的测量流程和严格的质量控制，显著提高了石英 OSL 测年的准确性和可靠性。对于复杂样品，需要结合测片大小、统计分析和地质背景综合判断。

第三章 环境剂量率的精确测定：从元素分析到原位测量

环境剂量率（Dr）的准确测定与等效剂量的测量同等重要。其不确定性常是释光年龄误差的主要来源。

一、环境辐射的来源与特性

环境辐射主要包括四种类型：

- α 粒子：来自 U、Th 衰变链，穿透力弱，在沉积物中仅传播几十微米。
- β 粒子：来自 ^{40}K 及 U、Th 衰变链，穿透力中等，传播距离约几毫米。
- γ 射线：来自 ^{40}K 及 U、Th 衰变链，穿透力强，传播距离可达 0.3 米。
- 宇宙射线：来自外太空，受纬度、海拔和上覆地层厚度影响。

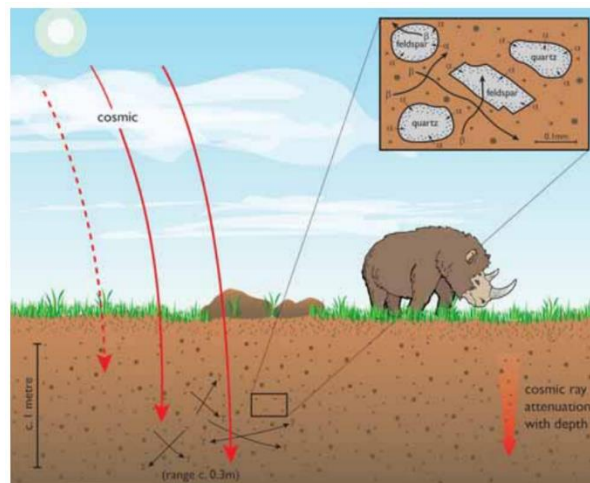


图8：环境辐射源显示 α 、 β 和 γ 辐射的范围以及宇宙射线随地下深度增加而减少。

二、剂量率测量方法

1. 化学分析法：通过 ICP-OES/ICP-MS 测定 U、Th、K 浓度，利用 Adamiec 和 Aitken（1998）转换因子计算剂量率。需确保 U、Th 衰变链处于长期平衡状态，避免在有机质丰富、铁染或钙质沉淀明显的环境中采样。
2. 发射计数法：包括 α 计数（厚源 α 计数或 α 能谱法）、 β 计数（盖革-米勒计数器等）和 γ 能谱法（高纯锗或碘化钠探测器）。

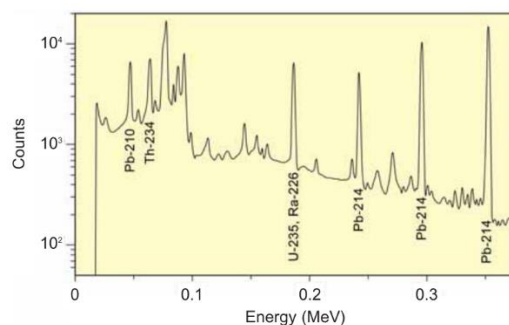


图9：伽马能谱部分谱图 特定同位素发射的 γ 射线具有固定能量，图中显示了较易识别的同位素（改编自 Aitken 1985）。

3. 原位测量：当沉积物不均匀或 γ 场复杂时，使用便携式 γ 能谱仪（NaI 探测器）现场测量，或埋藏剂量计（如氟化钙、氧化铝）数月或一年后再回收测量。

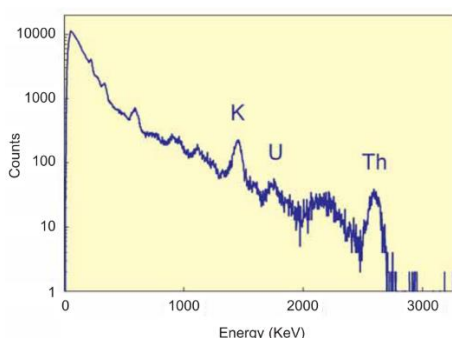


图10：便携式伽马谱仪测量 一小时测量产生的能谱图，用于估计K、U 和Th 浓度的峰已标记。

三、关键影响因素

水含量：水填充颗粒间隙，吸收部分辐射，降低矿物吸收的剂量。水含量每增加 1%，年龄约增加 1%。水含量不确定性常是剂量率误差的主要来源。

宇宙射线贡献：通常占总剂量率的 5–10%，在低放射性沉积物中可达 20%以上。受纬度、海拔和覆盖层厚度影响（0.3 米深处约 0.2 Gy/ka，10 米深处约 0.07 Gy/ka）。

内部剂量率：来自矿物颗粒内部的放射性元素（如钾长石中的 K）。 α 粒子因电离密度高，产生释光的效率低于 β 、 γ ，通常用 HF 蚀刻去除 α 层或用 a 值（0.04–0.08）校正。

四、不平衡问题

U、Th 衰变链中某些核素（特别是 ^{222}Rn ）可能迁移，导致不平衡。可通过高分辨率 γ 能谱直接测量各核素比活度或 α 能谱分析 U、Th 系列比例来识别。应避免在地下水活动强烈、有机质丰富区域采样。

五、剂量率计算

$$\text{总剂量率} = \alpha \text{ 剂量率} + \beta \text{ 剂量率} + \gamma \text{ 剂量率} + \text{宇宙射线剂量率}$$

主要不确定性来源：水含量（最大）、元素分析误差（低浓度时较大）、转换因子（约 2–3%）、宇宙射线（覆盖层厚度变化）。

最佳实践：均匀沉积物中，化学分析结合原位 γ 测量；复杂环境中，建议原位测量；详细记录水含量估计依据。

六、不同材料的剂量率考虑

- **陶器：** 需分析陶片本身和周围土壤，去除外表 2 毫米。
- **燧石：** 放射性低，主要依赖周围土壤 γ 剂量率，去除外表 2 毫米。
- **砖：** 建议原位 γ 测量。
- **沉积物：** 根据均匀性选择实验室分析或原位测量。

七、小结

环境剂量率的准确测定需要综合考虑辐射类型、沉积物性质、环境条件等多重因素。完整的剂量率报告应包括测量方法、假设条件和不确定性分析。

第四章 释光测年的采样策略与样品采集

释光测年的成功应用，始于采样策略的科学设计。

一、采样策略设计：以科学问题为导向

1.1 样品适宜性

目标类型： 释光测年可应用于两大类材料——受热材料（陶器、燧石、砖瓦等，测年事件为最后一次受热，通常需达到 300–400°C）和沉积物（测年事件为最后一次曝露于日光，其中风成沙和黄土最为理想，河流相和坡积物需谨慎评估晒退程度）。

年龄范围： 在理想条件下，释光测年可覆盖数十年至数十万年。石英释光信号的饱和剂量通常为 150–300 Gy，当样品接近饱和极限时年龄可靠性显著降低。对于年轻样品（<1000 年），低信号水平可能导致精度下降。

沉积环境： 风成环境晒退最充分，海/湖滩环境良好，河流环境可能存在部分晒退，坡积和冰碛物晒退程度最低。有机质丰富的环境容易出现 U、Th 放射性不平衡。

1.2 采样数量与位置

单一释光年龄的价值极为有限。多个样品可以验证结果一致性、建立年代序列、通过贝叶斯分析整合地层关系和先验信息。对于一个考古遗址，建议最少采集 3–5 个相关层位的样品。样品应远离地层边界至少 0.3 米，以避免 γ 剂量率环境的空间不均匀性。

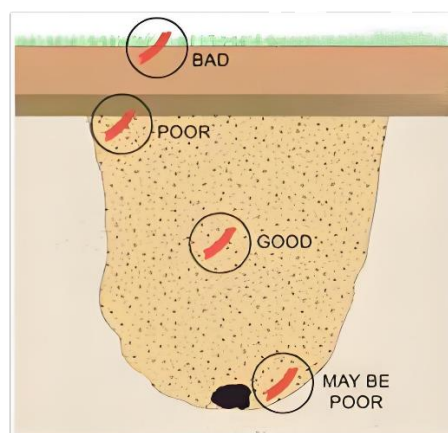


图 11：采样位置选择示意图 最佳位置来自沉积中心，样品周围材料均匀。坑底部的岩石可能具有与其周围不同的放射性核素浓度，计算靠近它采集的样品的 γ 剂量率也很困难（根据 Aitken 1990 重绘）。

1.3 预研究

在正式大规模采样前，建议对关键层位进行预采样，评估石英含量和 OSL 信号亮度、晒退程度和剂量率特征，在项目早期识别潜在问题。

二、样品采集操作规范

2.1 受热材料

- **陶器：** 要求厚度 ≥ 10 mm、尺寸 ≥ 30 mm。实验室中去除外表 2 mm。每个层位采集多个陶片，同时采集周围土壤样品（100–300 g）。
- **燧石：** 初始样品需约 10 g 以获得最终 1 g 的纯净样品。通过 TL 测试验证古代受热是否充分。
- **砖：** 使用金刚石钻头取芯（直径 20 mm，深度 50 mm），去除外表 1–2 mm 后分析。建议进行原位 γ 能谱测量。

2.2 沉积物（未受热样品）

沉积物采样最关键的原则是：**避免样品暴露于日光。**

主要方法包括：不透明金属管法（直径约 5–70 cm，长 10–20 cm）、块状样品法（约 10×10×5 cm，用避光材料包裹）、黑布遮挡法（搭建临时暗室）。



图12：河流沉积物采样现场 在 Yorkshire Ripon 附近采样河流砾石：使用黑色塑料防水布排除光线，样品收集在厚黑色塑料袋中（摄影：G.A.T. Duller）。

关键注意事项： 避免 X 射线照射（如手持 XRF 设备），因 X 射线会额外增加陷阱中的电子数量，使样品年龄偏大。

三、小结

采样策略的设计是释光测年成功的第一步。项目早期即与释光实验室建立联系，参与采样方案设计，可以显著提高测年的准确率。

第五章 应用案例

以下案例整理自公开发表的学术文献，展示释光测年在不同场景中的实际应用。

案例一：壕沟填充序列的释光年代学重建

研究背景

Wat's Dyke 是威尔士与英格兰北部边境地区的重要历史防御工事，壕沟宽达 8 米、深 4 米，总长约 65 公里。学界普遍认为该防线建于后罗马时期，但确切建造年代一直缺乏定论。

采样策略

填充沉积物中有机质含量极低，不适宜放射性碳测年。研究团队在项目早期即与牛津大学 RLAHA 实验室取得联系，共采集 8 个释光样品：1 个来自壕底部的地质底层，7 个来自两个探槽的填充序列。所有采样点均选择在有证据显示缓慢填充的层位。

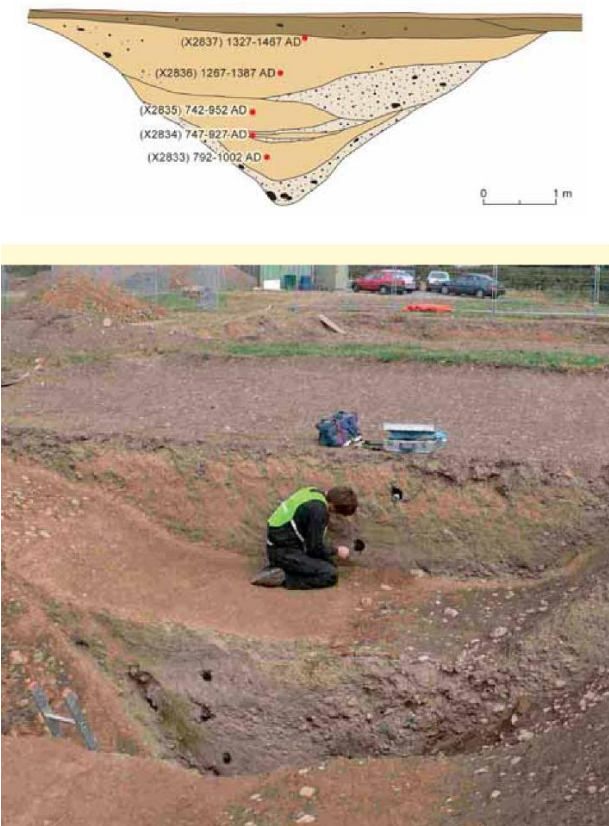


图 13: Wat's Dyke 剖面图与采样位置（上图）剖面图显示五个样品的位置、实验室代码和获得的年龄（ 1σ ）。（下图）在 Wat's Dyke, Gobowen 进行 γ 能谱原位测量。

测量与质量控制

提取 180–255 μm 石英砂颗粒，制备直径 4–5 mm 的测片（每测片约 100 颗粒）。采用 SAR 协议测定 D_e ，循环比为 1.00 ± 0.02 。

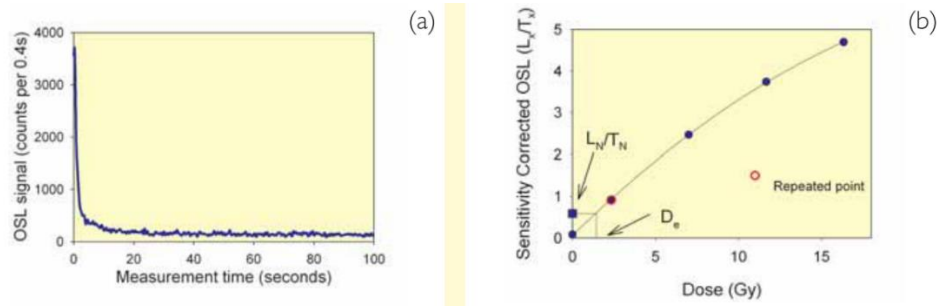


图14: Wat's Dyke 样品 X2836 的石英 OSL 性质 (a) 蓝光 LED 测量的 OSL 衰减曲线; (b) 其中一个测片的剂量响应曲线, $D_e = 1.45 \pm 0.07$ Gy, 循环比 1.00 ± 0.02 。

结果

壕沟底部两个样品年龄分别为 1240 ± 85 a (AD 682–852) 和 1110 ± 105 a (AD 792–1002)。垂向序列从底部到顶部依次为约 AD 800 至 14 世纪，与地层关系完全一致。相邻埋藏土壤中发现的 13–14 世纪釉陶碎片进一步支持了该年代框架。Malim 和 Hayes 据此提出 Wat's Dyke 在该段的建造可能发生在 Cenwulf 和 Ceolwulf (AD 723–796) 或 Wiglaf (830s) 统治时期。

启示

释光测年成功解决了放射性碳测年无法应对的材料问题；多样品垂向序列的地层一致性验证了晒退充分性；项目早期的实验室介入是设计有效采样策略的关键。

本案例整理自 Duller (2008)，原始研究见 Malim & Hayes。

案例二：海岸平原演化的释光年代学研究

研究背景

Dungeness Foreland 是英国第三大海岸低地，拥有从青铜时代至今丰富的考古记录。该地貌由一系列砾石脊组成，此前推测其从南向北增长，但详细的沉积模式和年代序列尚未建立。



图15: Dungeness Foreland 的砾石脊（面向东北方向）。

采样策略

共钻取 12 个振动岩芯钻孔，沿东西和南北两条测线布置。释光定年用于测定下伏砂体的沉积年龄，放射性碳定年用于测定上覆有机沉积物。共采集 37 个砂样品，另加 2 个现代海滩砂样品评估晒退程度。样品位置距离边界至少 0.3 米。

测量与质量控制

提取 150–180 μm 石英颗粒，使用蓝光 LED 测量 OSL 信号。多数样品使用约 200 颗颗粒的测片，每个样品至少 21 个测片。各样品 D_e 值分布范围较集中，指示充分晒退。两个现代海滩砂样品给出 40 ± 40 a 和 15 ± 15 a 的年龄，证实完全晒退。

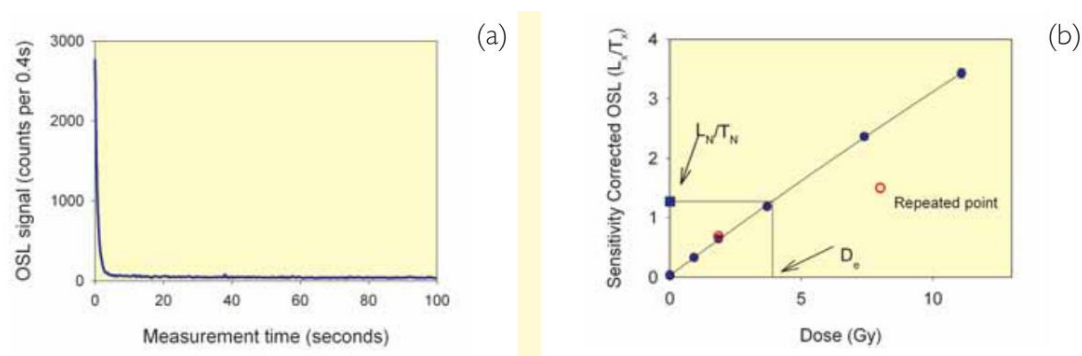


图16: Dungeness 样品 Aber73/BH1-1 的石英 OSL 数据 (a) 蓝光 LED 测量的 OSL 衰减曲线; (b) 剂量响应曲线, $D_e = 3.9 \pm 0.3$ Gy, 循环比 1.06 ± 0.04 。

结果

35 个 OSL 年龄范围为 430 ± 20 a 至 5120 ± 220 a。贝叶斯分析结合两条测线，建立了三维演化模型：青铜时代以向南增长为主，后罗马时期偏东向，撒克逊时期以来转为向北增长。

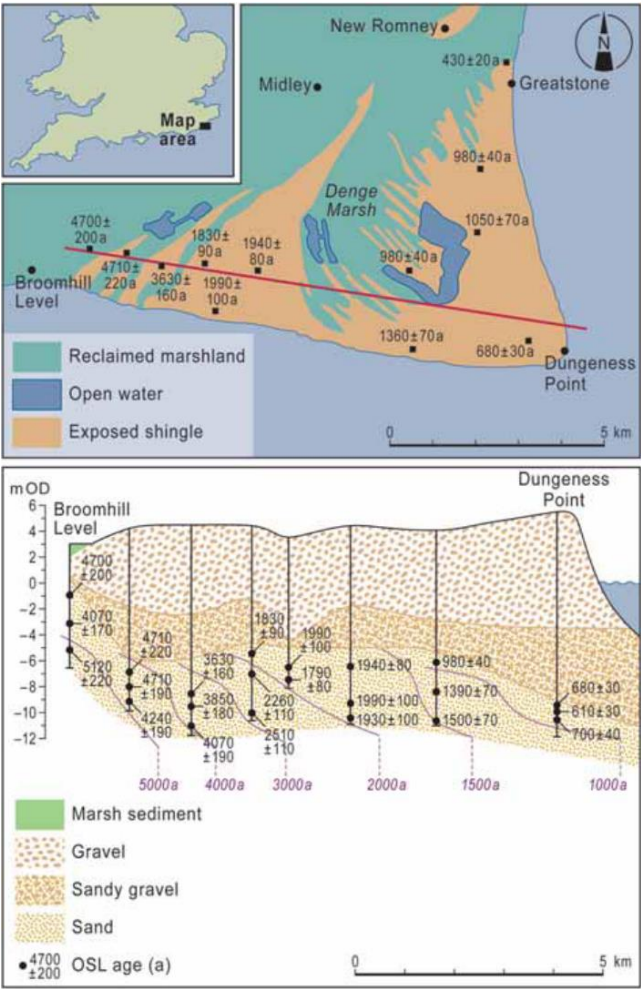


图17: Dungeness Foreland 表层砂体年龄分布 (上图) 横跨 Dungeness Foreland 钻孔获得的表层砂年龄分布。(下图) 西-东剖面的 OSL 年龄。

启示

系统网格化采样结合多种定年方法可重建复杂地貌演化；每个钻孔多个样品的策略提供内部一致性检验；现代类比样品有效验证了晒退程度。

本案例整理自 Duller (2008)，原始研究见 Roberts & Plater (2007)。

案例三：中更新世旧石器遗址释光年代学研究

研究背景

Broom 地区的 Axe 河阶地自 19 世纪以来即因发现旧石器工具而闻名，已知手斧超过 1800 件，是英国最丰富的旧石器时代遗址之一。沉积序列分为下部砾石层、中部砂层和上部砾石层，石器在整个序列中均有分布，但年代长期不确定。



图18：研究遗址采样现场及出土石斧样本（左）在中部砂层与上部砾石层交界处采集 OSL 样品；（右）Broom 遗址砾石层中出土的阿舍利手斧。

采样策略与挑战

研究团队采集了 9 个样品，提取石英颗粒用 SAR 程序测定 D_e 。上部砾石层和中部砂层样品的 D_e 值在约 300–550 Gy 之间。OSL 信号增长至 600 Gy 以上仍未完全饱和，但自然信号已非常接近饱和——这是典型的“接近饱和极限样品”， D_e 值虽可计算，但可靠性需高度审慎。

得益于大量样品，通过跨样品一致性检验和贝叶斯分析约束年龄范围：中部砂层约 282–324 ka，上部砾石层约 205–292 ka。

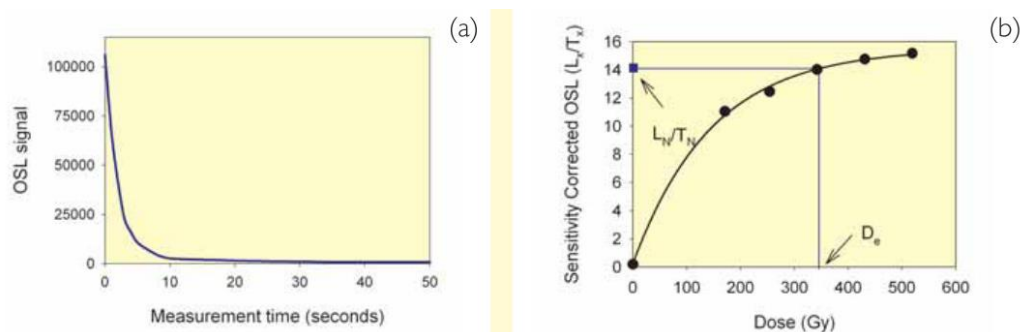


图19：Broom 遗址样品 GL03008 的石英 OSL 数据 (a) 石英 OSL 衰减曲线，信号明亮；(b) 剂量响应曲线，天然信号已接近饱和。

启示

接近饱和的样品需高度审慎；大量样品为贝叶斯分析提供了数据基础；OSL 为少数可应用于中更新世沉积物的定年技术之一。

本案例整理自 *Duller (2008)*。

案例四：中世纪古砖释光测年准确性的系统验证

研究背景

为系统评估光释光对古砖测年的准确性和精度，Bailiff（2007）从英格兰数座已知年代的建筑中采集了古砖样品，涵盖 AD 1390 至 AD 1737。

采样与测量

使用金刚石钻头对原位砖取芯（直径 50 mm，深度 100 mm）。伽马剂量率采用两种原位方法：NaI 伽马能谱仪直接测量和氧化铝剂量片埋藏。 β 剂量率使用 β -TLD 技术直接测量。



图 20：使用金刚石钻头对砖进行采样

提取约 0.1 mm 直径的石英颗粒。不同样品 OSL 信号亮度差异显著。

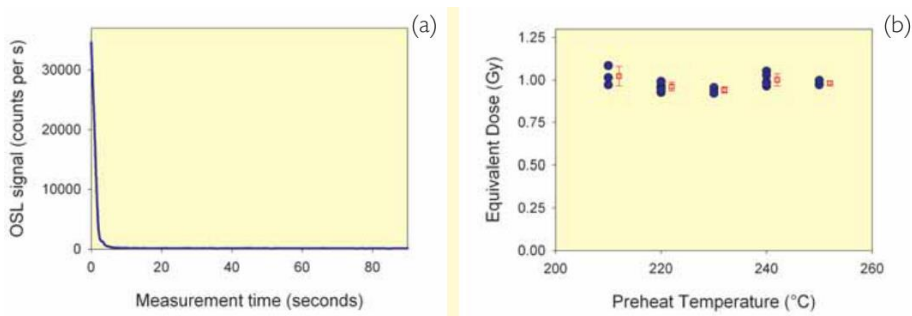


图 21：古砖样品的 OSL 数据与预热坪测试 (a) Fydell House 古砖中分离的石英颗粒的 OSL 衰减曲线；(b) 同一样品 De 值随预热温度的变化 (Bailiff 2007)。

结果

OSL 年龄与文献年龄的对比结果极为理想，典型误差仅为 25 年（含系统误差），两者的平均差异为 5 ± 10 年。

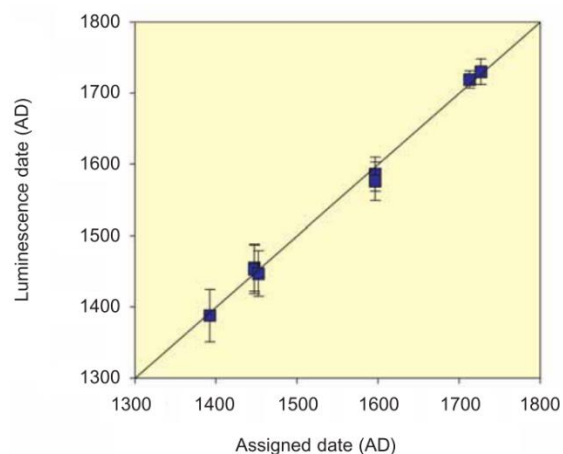


图 22：古砖 OSL 测年年龄与独立年龄对比 OSL 年龄与基于建筑官方文字记录年龄的散点对比图 (Bailiff 2007)。数据点沿 1:1 线紧密分布。

一个值得注意的例外：Alford Manor 样品的 OSL 年龄比建筑文献记录早了约 55 年。后续查阅发现，采样部分曾经历重建，使用了更早时期的旧砖——揭示了 OSL 测年检测砖块再利用现象的独特应用。

启示

OSL 对古砖测年精度较高，与历史记录偏差仅 5–10 年；可识别建筑材料的再利用现象；原位伽马剂量率测量对建筑古砖测年至关重要。

本案例整理自 Duller (2008)，原始研究见 Bailiff (2007)。

结语

释光测年技术在过去几十年中，从实验室中的物理现象发展为地质与考古年代学中不可或缺的定年工具。其核心优势在于：**直接测定目标事件（受热或曝光）的日历年龄**，无需校准曲线；可测定**数十万年级别的时间尺度**，远超放射性碳测年的范围；适用于**陶器、燧石、砖瓦、各类沉积物**等多种材料。

理解释光测年的基本原理——从能量存储机制到 SAR 法 De 测量、从环境剂量率测定到采样策略设计——是正确应用和合理解释释光年龄的前提。随着单颗粒测年、非常规释光信号开发、贝叶斯年龄建模等技术的发展，释光测年的应用范围和可靠性仍在不断拓展。

学术合作： 欢迎国内外研究团队就样品分析、方法开发或数据验证开展合作。

联系方式：info@osllab.cn

电话（微信）：18072737272

主页：<https://www.osllab.cn/>

参考文献

1. Aitken M J. *Thermoluminescence Dating*[M]. London: Academic Press INC., 1985.
2. Aitken M J. *Science-based Dating in Archaeology*[M]. London: Routledge, 1990.
3. Adamiec G, Aitken M J. Dose-rate conversion factors: update[J]. *Ancient TL*, 1998, 16(2): 37–50.
4. Bailiff I K. Methodological developments in the luminescence dating of brick from English late-medieval and post-medieval buildings[J]. *Archaeometry*, 2007, 49: 827–851.
5. Duller G A T. *Luminescence Dating: Guidelines on using luminescence dating in archaeology*[M]. Swindon: English Heritage, 2008.
6. Godfrey-Smith D I, Huntley D J, Chen W H. Optical dating studies of quartz and feldspar sediment extracts[J]. *Quaternary Science Reviews*, 1988, 7: 373–380.
7. Jacobs Z, et al. Ages for the Middle Stone Age of southern Africa: implications for human behavior and dispersal[J]. *Science*, 2008, 322: 733–735.
8. Murray A S, Wintle A G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol[J]. *Radiation Measurements*, 2000, 32(1): 57–73.
9. Rhodes E J. Optically Stimulated Luminescence Dating of Sediments over the Past 200,000 Years[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2011, 39(1): 461–488.
10. Roberts H M, Plater A J. Reconstruction of Holocene foreland progradation using OSL dating: an example from Dungeness, UK[J]. *The Holocene*, 2007, 17: 495–505.
11. Wintle A G, Murray A S. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols[J]. *Radiation Measurements*, 2006, 41(4): 369–391.