黄河中游河谷地区三种粒径石英的 光释光测年对比

顾洪亮,周亚利,黄春长,王恒松,庞奖励,查小春 (陕西师范大学旅游与环境学院,西安710062)

摘 要:利用光释光测年(OSL)技术当中的单片再生剂量法(SAR),测定了黄河中游泾河和洛 河河谷含特大古洪水滞流沉积物夹层的全新世黄土-古土壤沉积物的年龄。通过对前处理分离 提纯三种不同粒径石英样品的测定研究,发现利用氟硅酸和氢氟酸两者结合溶蚀该研究区域的 中一粗颗粒石英的方法,提纯石英颗粒样品的效果比较好,且分离获得的40~63 µm 石英颗粒量 最多。相对90~125 µm 和 4~11 µm,40~63 µm 石英的等效剂量相对标准偏差(RSD)最小,为 2.7%~9%,De值比较集中。对于同一样品,4~11 µm 石英的光释光年龄偏大,90~125 µm 的偏小, 而 40~63 µm 石英年龄与考古年龄等最为接近,说明 40~63 µm 粒径石英可用于该区域的黄土古土 壤的年龄断代,从而为其古洪水事件的年龄断代提供更多可靠的数据和方法。

关键词:全新世;黄土;古土壤;光释光测年;石英

中图分类号: P53 文献标志码: A 文章编号: 1674-9901(2011)01-0291-10

Comparative study of OSL dating on different particle-size of quartz in the middle Yellow River valley region

GU Hong-liang, ZHOU Ya-li, HUANG Chun-chang, WANG Heng-song,

PANG Jiang-li, ZHA Xiao-chun

(College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: The sediment samples from the Holocene loess-soil profiles which had slackwater deposition of overbank flooding in the Jinghe and Luohe Rivers were OSL dated by using the single aliquot regenerative-dose (SAR) protocol. Purified quartz grains of $4\sim11 \ \mu\text{m}$, $40\sim63 \ \mu\text{m}$ and $90\sim125 \ \mu\text{m}$ fractions were studied comparatively. The results showed that silt-size and sand-size quartz grains can be purified with the treatment using fluorosilicic acid and hydrofluoric acid. With this method, the quartz grains of $40\sim63 \ \mu\text{m}$ were obtained much more. The relative standard deviation (RSD) of equivalent dose varied between $2.7\%\sim 9\%$ for the quartz grains of $40\sim63 \ \mu\text{m}$. This is smaller than that from the quartz grains of $4\sim11 \ \mu\text{m}$ and $90\sim125 \ \mu\text{m}$ fraction. The De values show a normal distribution for the $40\sim63 \ \mu\text{m}$ fraction. The OSL ages measured from $4\sim11 \ \mu\text{m}$ fraction are often older, and from $90\sim125 \ \mu\text{m}$ fraction are smaller. The OSL ages measured from $40\sim63 \ \mu\text{m}$ fraction are very close to the archaeological ages for the sample from a same level. The experiment shows that level of natural OSL of the sample normalized by the test dose is relatively concentrated. Thus, quartz grains in the $40\sim63 \ \mu\text{m}$ fraction from the loess-soil in the middle reaches of the Yellow River is suitable for OSL dating by using the single aliquot regenerative-dose (SAR) protocol, so as to provide more reliable data for the Palaeofloods events.

Key words: Holocene; loess; palaeosol; OSL dating; quartz

收稿日期: 2010-11-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (41030637, 40930103) 和面上项目 (40771018); 中央高校基本科研业务费专项基金 (GK200902020)

通讯作者: 黄春长, E-mail: cchuang@snnu.edu.cn

黄土高原的黄土-古土壤是来自于亚洲内陆的 粉尘物质在其下风向遇阻而形成的沉积序列,记 录了东亚季风控制区的气候环境演变过程(刘东 生,1985; An et al, 2001)。近年来,释光测年技 术被广泛应用于测定第四纪黄土-古土壤序列的 年代(Aitken, 1998; Watanuki et al, 2003; Lu et al, 2004; 贾耀峰,2005),解决了黄土地区千年时间 尺度气候和环境变化的瓶颈一地层年龄问题。在黄 土高原的河谷地区,常有新石器时代以来的古遗址 分布,黄土-古土壤序列中往往保存有不同时期的 文化层,也给全新世黄土-古土壤序列的断代提供 了重要依据(Huang et al, 2010),二者可以相互印 证,使得年龄数据更加准确可靠。

在黄河流域,常有河流特大古洪水事件所形成 的滞流沉积物夹层保存在河谷旁的黄土-古土壤序 列中。释光测年技术与考古断代结合, 就为这些河 谷古洪水事件断代和黄土一古土壤序列的断代提供 了可靠的依据(葛本伟等, 2010)。根据光释光测 年的基本原理(Aitken, 1998),沉积物在沉积前 须经过完全的晒退或其残余信号可忽略不计时,才 能准确测定其年龄(Huntley et al, 1985; Agersnap et al, 2000)。黄土在沉积之前经过了高空远距离的 搬运,其释光信号已被完全晒退或达到可忽略的水 平。而黄土一古土壤沉积序列中所夹的洪水滞流沉 积物,因水流动力搬运的突发性和水体混浊度的限 制,之前的释光信号不能充分晒退,往往使得等效 剂量 (De) 的测量值偏大, 影响了对古洪水发生时 间的准确测定。但是,我们可以通过对古洪水沉积 物上下层位的黄土一古土壤的光释光年龄测定,来 确定古洪水事件发生的年代区间,通过考古年龄验 证,也可保证古洪水事件断代的可靠性。

目前,释光测年的技术方法多种多样,其中 再生剂量法(SAR)适用于不同沉积物,故其应 用较为广泛,测年技术也相对成熟,年龄数据比 较准确可靠(Berger, 1995; Murray and Roberts, 1998; Murray and Wintle, 2000)。通常,选择粒 径在 4~11 um 的 细 颗 粒 (Aitken, 1998; Roberts and Wintle, 2001; 王旭龙等, 2005; Armitage and Bailey, 2005; Watanuki et al, 2005; 康树刚等, 2009), 90~125 µm 或大于 125 µm 的粗颗粒 (Murray and Roberts, 1997; Aitken, 1998; Murray and Wintle, 2000)进行测年研究。前人研究表明, 4~11 µm 和 40~63 µm 粒级颗粒在黄土高原地区普遍存在,石 英和黄土-古土壤全样的粒级分布主要集中在 10~63 µm 之间(孙有斌等, 2000; Huang et al, 2006),其石英含量高达48%~65%(图1),且在 自然条件下晒退均充分。Armitage and Bailey (2005) 通过比较由相同剂量的 β、γ辐射产生的 OSL 信 号的研究表明,对于 50~250 μm 粗颗粒样品,β 剂 量率的大小是不依赖于样品粒度的,对于小于 40 μm 粒径的样品,实验 β 剂量率的大小明显依赖 于样品粒度, 4~11 μm 粒级剂量率比 50~250 μm 小 约12%,可能会引起 De 值的偏大。另外,当铝片 上的 4~11 µm 粒级样品超过 0.1~1.5 mg 时,其剂量 率才表现为不明显依赖于样品量,且不易保证测片 上是单层的颗粒,从而使得颗粒不易接受均一的辐 照(Lai, 2010)。而 90~125 µm 粒级的样品在黄土 古土壤中含量很少,往往无法满足测年的需要。因 此许多学者用中颗粒粒级(38(40)~63 µm)进行 了释光测年研究(Roberts et al, 2003; Armitage and Bailey, 2005; Lai and Wintle, 2006; Roberts, 2006, 2007; Buylaert et al, 2007, 2008; Lai, 2006, 2008, 2010; Stevens et al, 2007; Lai et al, 2008) 取得了较 好的研究成果。Lai(2010)利用 SAR 法对洛川 黄土的 45~63 μm 粒径石英进行光释光测年,提出 粗粉砂颗粒石英(如45~63 μm)矿物比4~11 μm





石英或混合矿物可能更适合黄土年龄断代。有学者 认为, De 值的测量需要选择易获得且适宜的样品 粒级,有一种或两种粒径可能更适合于该样品的 年龄断代(Berger et al, 1980; Aitken, 1998)。 黄土一古土壤的粒级分布主要集中在16~63 µm (Huang et al, 2006)。通过粒度分析发现(图 2a), 40~63 um 粒径石英在本研究剖面实验样品 中所占比例的平均值为20.14%, 4~11 µm 为 11.31%, 63~90 µm 为 9.53%, 90~125 µm 为 3.17%。那么, 40~63 µm 粒径石英颗粒是否适合于 黄土高原河谷地区含有古洪水滞留沉积层,受古洪 水扰动的全新世黄土古土壤的年龄断代?本文通过 对比 4~11 µm、40~63 µm 和 90~125 µm 三种粒径矿 物的粒度分析结果(图2)和测年结果,以探讨适 用于黄河流域河谷地区释光断代的矿物颗粒粒级成 分,从而为古洪水水文学的研究提供更可靠的年龄 数据。

1 研究剖面描述和样品采集

1.1 研究剖面

通过野外考察,本文选择了两个剖面进行深入 研究,一个位于泾河下游陕西省境内高陵县杨官寨 村(YGZ)第一级阶地前沿,另一剖面位于洛河 中游铜川市宜君县蔡河站附近第一级阶地前沿。这 两个剖面在全新世黄土一古土壤序列中夹有古洪水 滞流沉积物(SWD)层。这些古洪水 SWD 层沿河 纵向呈现水平或者波状层,并向谷坡上方侧向尖灭

(Yang et al, 2000)

泾河高陵杨官寨(YGZ)的剖面的基本地 层结构为: 0~45 cm,表土层; 45~80 cm,黄土 层; 80~100 cm,古洪水滞流沉积层(SWD3); 100~120 cm,古土壤上部; 120~230 cm,古洪水滞 流沉积层(SWD2); 230~300 cm,古土壤层下部, 含有仰韶文化时期的文化层(6000~5000 a BP); 300~320 cm, 黄土质过渡层(L_t); 320 cm 以下为 黄土层, 其中 340~360 cm 夹有古洪水滞流沉积层 (SWD1), 在 360~380 cm 为一个弱成壤层。

宜君蔡河火车站(CHZ)剖面的地层结构为: 0~50 cm,表土层(MS);50~80 cm,黄土层; 80~270 cm,古土壤(S₀),其中在110~115 cm、 135~180 cm 和215~240 cm 夹有三个古洪水滞流沉 积层;270~295 cm,黄土质过渡层(L_t);295 cm 以下,黄土层。

在野外详细观察和地层划分的基础上,利用直径 5 cm 的不锈钢管分别在 YGZ 剖面和 CHZ 剖面的不同层位采集 6 个样品,密闭遮光保存,作为光释光测年样品。

2 样品前处理和实验设备

在暗室中,去掉不锈钢管两端 2 cm 厚的曝光 部分样品,用于测含水量和 U, Th, K 等放射性元素 的含量。钢管内部未曝光部分用 10% 的盐酸、30% 的 H₂O₂ 分别去除碳酸盐和有机质,洗至中性,加 入 10%的六偏磷酸钠,用超声波振荡五分钟使其充 分分散,分别用沉降法分离出 4~11 μm 的细颗粒和 筛分法对 >40 μm 的较粗颗粒的分级。

用氟硅酸浸泡 4~11 μm 的样品 3 天(王旭龙 等,2005)之后再用含有 10 mL 10% 六偏磷酸钠的 清水进行浮选提取石英颗粒(Armitage and Bailey, 2005),最后用清水洗至中性放入烘箱中常温烘 干。用标准筛过筛得到的 40~90 μm、90~125 μm 的 样品,分为两组,一组加入 35% 的氟硅酸溶液, 溶蚀 7 天左右(Armitage and Bailey, 2005),再 用 37% 的氢氟酸溶液溶蚀 45 min 左右(Berger et al, 1980; Murray and Roberts, 1997; Wallinga et al, 2001);另一组中 40~90 μm 的样品用 35% 氟硅酸 溶蚀两周(Lai, 2006),而 90~125 μm 用 37% 的氢 氟酸溶液溶蚀 45 分钟左右,以除去长石矿物。然



图 2 YGZ 剖面中不同粒径的实验样品占全样的百分比(a)、CHZ 剖面粒度三角图(b)

Fig.2 The percentage of different particle sizes of the experiential sample from the YGZ profile and the triangle diagram of the grain size distribution in the CHZ profile

后加入10%的盐酸以除去酸可溶态的氟化物,清水洗致中性常温烘干,最后用湿筛将40~63 μm 和 90~125 μm 粒级的石英分离出来,以备测试。

本文的光释光年龄(OSL)数据的测定是在 全自动 Risø TL/OSL DA-15 仪器上进行的, 蓝光 激发光源波长为 (470±30) nm, 红外激发光源波 长为 (880±80) nm, 光信号通过 9523QB15 光电倍 增管进行检测,并用 3 mm 厚的 Hoya U-340 滤光 片(Bøtter-Jensen et al, 1999)。人工 β 辐射源为 ⁹⁰Sr/⁹⁰Y 源, 活度 1.48 Gq。

3 不同粒级石英提纯状况分析

目前,释光断代利用的主要矿物是石英和长 石,相对于长石来说,石英无明显的异常衰退而 被广泛应用,但石英晶体中往往有长石等其他矿 物的存在,如石英中的长石包裹体或单微粒长石 晶体。研究表明(Zhou and Shackleton, 2000), 混合矿物复杂性产生的释光信号较低的重现性和 过早的饱和性会影响测年上限,另外,由于长石 的异常衰退影响,石英中长石的存在会增加 De 值 的不确定性(Huntley and Lamothe, 2001; Li and Li, 2006)。由此,在测定 De 值前,通常要进行 矿物分离,获得纯石英或者钾长石。常温下,钾 长石具有红外释光(IRSL)的特性(Spooner and Questiaux, 1989; Short and Huntley, 1992),因此, 可用红外释光来检测石英中的长石污染。

将三个粒级石英样品进行红外释光测试,以检 测石英的纯度(Duller, 2003)(图 3)。对 4~11 μm 粒径石英样品的红外(IR)测试结果不是很理想, 大多数样品的红外释光强度与蓝光释光强度之比

(IRSL/BLSL)大于 10%。表明石英中有较多的长 石污染,其原因是细颗粒粒径较小且具有较大的表 面能,在提取过程中细颗粒不能有效分离,经常出 现颗粒间的结合现象(王旭龙等,2005)。且长石

的存在会影响到晶体的感量及其释光增长曲线的 形态 (Bøtter-Jensen et al, 1995; Zhou and Brückner, 2008)。另外, α 粒子的穿透能力(25 μm)很低 (Aitken, 1985), 4~11 um 细颗粒物质的年剂量率 受土壤结构的影响比较大(赖忠平,2008),与 4~11 μm 粒径石英样品相比较,用氟硅酸和氢氟酸 结合溶蚀 40~63 µm 和 90~125 µm 粒径石英样品的 IR 测试结果较好(图 3a), IRSL/BLSL 的值在 3% 以下, 表明这些粒级石英提纯较好。而酸溶蚀之后 再过筛得到 40~63 μm、90~125 μm 粒径的样品。有 学者认为,在任何情况下,选择接近沉积物粒度分 布的中值粒径,用于释光测年是最合适的(Baneriee et al, 2001; Roberts and Wintle, 2001), 对于黄土 古土壤的释光断代样品,选取 40~63 µm 中颗粒粒 径可能更为合适,通过前处理也比较容易获得足够 的纯净石英样品。

4 释光曲线和年龄的比较

4.1 实验条件的选择

对制备好的三种粒径的石英用单片再生剂量法 (SAR) (Murray and Wintle, 2000)进行等效剂量值 的测量,每个测片都经过六次辐照再生剂量(*I*_o=0)、 预热、OSL 测定、检验剂量、Cut-heat、检验剂量 的OSL 测定循环程序测量。由于等效剂量的实质 是利用天然 OSL 信号强度和已知剂量的人工辐照 条件下产生的 OSL 信号强度比较得出的,但自然 界和实验室的辐射条件不同,从而导致在自然界中 被排空的 110℃陷阱在实验室辐射条件下充满了光 敏电子,否则这些电子会被更深的 OSL 陷阱所捕获 (Jain et al, 2003)。所以在测量过程中需要排出这 些热不稳定陷阱电子,使得人工辐射场和天然辐射 场具有相同的陷阱电子排布条件,即在 OSL 测量 之前,进行预热处理。因预热又会导致电子的热迁



图 3 IR 检测 40~63 μm (实心菱形)、90~125 μm (空心圆圈)粒径石英分别用氟硅酸和 氢氟酸结合溶蚀长石 (a)、只用一种酸溶蚀(b)的效果

Fig.3 This reduced feldspar contamination for the quartz of grains 40~63 μm (filled diamond) and 90~125 μm (open circle), which were etched with fluorosilicic acid and hydrofluoric acid (a) and the others were only etched with fluorosilicic acid (b) as identified by further IR short shines and IR depletion ratio test

移,所以在测等效剂量之前,必须先进行预热坪区、 剂量恢复和热转移实验,以便选出适宜的测试条件。

根据 Murray and Roberts (1997, 1998) 对 160~300℃/10s的预热条件进行研究的成果和方法, 本文选取剖面中年龄适中的典型风成黄土和古土壤 样品 YGZ-2、CHZ-2 进行实验。YGZ-2 辐照 6.29 Gy 的剂量,然后以20℃为间隔对160~300℃进行预热 坪区检验、热转移测试和剂量恢复检验,结果如图 4 所示,发现 YGZ-2 在 160~300℃的预热温度下, SAR 法测出的等效剂量不明显依赖于预热温度的变 化,且热转移的剂量值在0.01~0.61 Gy,在实验室 辐照剂量的 10% 以内 (Murray and Wintle, 2000; Steffen et al, 2009), 通过图4能判断出, 样品的重 复剂量校正后的释光强度与第一个再生剂量校正后 释光强度的比值(Recvcling ratio)为0.95~1.04, 说明测量程序中的感量变化得到了很好的校正(Roberts. 2006)。260℃的热转移剂量值为 0.26 Gy, 处于允许的 范围内,且其剂量恢复率(Given/Measure)为1.0, 综合分析得出该剖面样品的预热温度选择 260℃。 同理,在160~300℃的预热温度下对CHZ-2样品 辐照 8.38 Gy 的剂量,测出的等效剂量也明显不依 赖于预热温度的变化,热转移值在 0.13~0.37 Gy, 约为辐照剂量(8.38 Gy)的5%,通过图4看出, CHZ 剖面样品选择 260℃温度作为该剖面样品的最 适宜预热温度。另外,从剂量恢复实验的结果来看, 两个样品已知的实验室辐照剂量在160~300℃预热 温度范围内都得到很好的恢复,从而进一步说明了 该测试条件是合适的(Roberts, 2006)。

4.2 等效剂量的测量

在特定的预热温度下利用单片再生剂量法分别 对样品的三个粒径石英进行最终的 De 测量。通常 用双程序单片再生剂量法(Double SAR)和单片再 生剂量法(SAR)两种测年方法,其中 Double SAR 用于经多次溶蚀仍有长石污染的石英(石英中含有 长石包裹体)样品测试,SAR 用于纯石英样品的测 试。 4~11 um 粒径的样片用 Double SAR 测量其 De 值, 40~63 um 和 90~125 um 粒级的样品用 SAR 进 行 De 值测量,其释光晒褪曲线、生长曲线(YGZ-2, CHZ-2) 如图 5 所示。从自然生长曲线可以看 出,不管是哪种粒径的样品,校正后的释光信号呈 线性增长趋势,未达到饱和。从释光衰退曲线形状 可以看出, 40~63 μm 和 90~125 μm 粒径石英随激 发时间的增加, 衰退很快。自然释光信号和等效剂 量的离散度可以用相对标准偏差 RSD 表示(An et al, 1991; 周亚利等, 2005), RSD 越小, 离散性 越小,其分散性体现了经试验剂量标准化后天然释 光信号水平的分散性即剂量分布的异质性(Alastair and Gemmell, 1999; Zhang et al, 2003)。从De 值 的频率分布图来看(图 6), 4~11 μm 和 40~63 μm 的 De 值相对较集中, 4~11 µm 的 RSD 为 26.1%, 40~63 µm 的 RSD 为 6.3%, 而 90~125 µm 的 RSD 为 52.7%。

4.3 样品感量变化的校正

地质沉积物中不同的石英颗粒因其不同的形成 和埋藏条件,往往具有不同的陷阱分布和释光效率, 具备不同释光特性。在利用再生剂量法测试石英



图 4 泾河 YGZ 和洛河 CHZ 剖面预热温度坪区及热转移剂量和剂量恢复检验

Fig.4 Experiments of preheat temperature, dose recovery (given/measure), thermal transfer and recycling ratio at different preheat temperatures for samples from the YGZ profile and CHZ profile.







De 值的过程中,多次的预热、激发和辐照可引起石 英释光敏感度的变化,即感量变化,对等效剂量的 测量会产生一定的影响,需要对感量变化进行校正, 以确保数据的可靠(Murray and Wintle, 2000)。本 研究通过在 SAR 测量程序中以一个较低的检验剂 量(其大小为等效计量的 10%~20%)来校正感量 变化对等效剂量测试的影响。所有用于计算等效剂 量的恢复系数(recycling ritio)都在1±10%范围内, 说明感量变化校正比较好。

4.4 De(t) 坪区检验

样品在最后一次被埋藏之前其释光信号是否经过彻底的晒退,直接关系年龄数据的可靠性,因此 有必要对其晒退程度进行检验。Huntley在1985年 提出用 De(t) 图来检验样品是否完全晒退归零,目





前已被大多数学者采用,并结合 SAR 法,能有效 辨别部分晒退的沉积物(Bailey, 2003; Singaraver et al, 2005; Li and Li, 2006; Steffen et al, 2009) . 本文采用 De(t) 坪区图技术对 CHZ-2、YGZ-2 进行检 验,为了获得 De(t) 图,积分区间选 0~0.3 s, 0.3~0.8 s, 0.8~1.6 s, 1.6~2.7 s, 2.7~4.2 s, 结果如图7所示, 从图中可以看出, 4~11 µm 和 90~125 µm 粒径石英的 De 值随激发时间表现出增长的趋势,其中 4~11 um 的 De 值增长特别明显,在激发1s 后开始上升,增 幅约 10 Gy, 其相对标准偏差(RSD)为 2%~27%。 90~125 µm 的 De 值在 1.5 s 之前几乎恒定不变, 之后 迅速增加,在2s时达到最大,增幅为5Gv,之后 逐渐减小,其RSD在15%~23%变动。而40~63 µm 粒径石英随激发时间, De 值几乎不变, RSD 在 7% 左右。由此说明 40~63 μm 粒径的石英可能晒退比 较彻底,而其他两个粒级的石英可能受土壤结构、 区域物源的影响, 晒退程度可能会受到影响。研 究表明, <63 µm 的粉尘物质才可能被远距离传输 (Wright, 2001; Tsoar and Pye, 1987), 黄 土中的大部分粒级处于这个范围(孙有斌等, 2000), 而>63 µm 的粒径大部分可能来自于区 域物源的供应, 搬运距离受到限制, 或者受搬运动 力的影响(非风力搬运,可能为局部的面状或线状水 流的影响),致使其晒退不彻底。因此选用40~63 µm 粒级的石英来做样品释光年龄测试比较合适。

4.5 环境剂量率

晶体矿物在埋藏期间,会接受周围环境中的放射性核素提供的α、β、γ辐射剂量以及宇宙射线辐射剂量,从而在晶体中积累这些辐射能以至产生释光现象,单位时间积累的辐射能就是环境剂量率。 决定剂量率的因素主要有:U、Th、K元素含量;

宇宙射线的辐射及样品平均含水量等。本文样品中 的铀、钍、钾含量利用中子活化法在北京原子能研 究院测定,来确定矿物晶体的环境剂量率。在计算 剂量率时,由于样品自沉积之后,随着气候变化其 含水量在不断的变化,很难得到绝对精确的含水量 值,因此,本文据Lai(2010)、杜娟和赵景波(2007)、 黄明斌等(2001)、赵景波等(2005)的实验结果, 黄土层样品的含水量通常在(10±5)%,古土壤样品 大约在(15±5)%,采用在实验室测得含水率基础上 加15%作为样品在地质历史时期的平均含水量。 Baneriee et al (2001) 研究认为, 用上述前处理方 法获得的粗石英颗粒, 消除了测量 α 剂量的影响, 使得α辐射的贡献几乎为零;而细颗粒(4~11 μm) 的 α 剂量贡献多达 40%。因此在计算 4~11 μm 等效 剂量时, α 效率系数(Alpha Efficiency (AE))取 0.04 (Rees-Jones, 1995)。另外, 依据 Rees-Jones (1995) 计算 AE 的方法, Rhoberts et al (2003) 以及 Stevens et al (2007) 对中颗粒的 AE 都选取 的是 0.040±0.02, 再根据 Lai et al (2008) 对黄土 40~63 μm 的 AE 的研究成果,本文中 40~63 μm 的 AE 选取 0.04±0.02。

5 年代测量结果比较

样品的年龄数据计算采用 AGE (2003) 计算 软件,得到以下年龄结果(表1)。从表1可以看 出,应用三种不同粒径的样品测定的等效剂量值和 年龄值存在一定的差异,4~11 μm 的 OSL 年龄值总 体偏大,90~125 μm 总体偏小。40~63 μm 粒径石 英的年龄比较接近于预估年龄值(文化遗存的考古 年龄)。例如 YGZ 地点为仰韶文化重要遗址,其 文化层考古年龄为 6000~5000 a BP。我们采自位于 文化层底界之下的 YGZ-7,对 40~63 μm 粒径石英





地球环境学报

Table 1 OSL dating results of some samples from the YGZ and CHZ sites									
样品编号	深度	U	Th	K	含水量	剂量率	粒径	等效剂量	实测年龄
	(cm)	$(mg \cdot kg^{-1})$	$(mg \cdot kg^{-1})$	(%)	(%)	$(Gy \cdot ka^{-1})$	(µm)	(Gy)	(ka BP)
YGZ-2	72.5	2.81 ± 0.1	11.2±0.35	1.72 ± 0.06	19.3	$3.34{\pm}0.24$	4~11	28.6±1.49	8.57±0.76
						2.87 ± 0.07	40~63	8.47±0.11	2.96 ± 0.08
						2.76 ± 0.06	90~125	7.81±0.58	2.83±0.24
YGZ-7	257.5	2.62 ± 0.1	11.4±0.35	$1.84{\pm}0.06$	23.4	$2.79{\pm}0.06$	40~63	16.92±0.66	6.07±0.27
YGZ-10	352.5	2.45 ± 0.1	8.34 ± 0.26	1.74 ± 0.06	21.1	2.91±0.19	4~11	57.56±0.96	19.80±1.34
						$2.53{\pm}0.06$	40~63	27.18±2.44	10.75 ± 1.00
						$2.44{\pm}0.05$	90~125	32.72±2.27	13.40±0.97
CHZ-1	92.5	2.48 ± 0.1	10.8±0.33	1.67 ± 0.05	16.4	2.67 ± 0.05	40~63	8.39±0.99	3.11±0.37
CHZ-2	117.5	2.62 ± 0.1	10.2±0.32	1.76 ± 0.06	17.3	3.28 ± 0.23	4~11	20.57±0.30	5.24±0.31
						$2.73{\pm}0.06$	40~63	11.72±0.28	4.29±0.14
						$2.74{\pm}0.06$	90~125	7.37±0.59	2.69±0.22
CHZ-6	312.5	2.2 ± 0.09	9.67±0.3	1.81±0.06	19.4	3.64 ± 0.20	4~11	42.7±1.65	11.72±0.79
						$2.58{\pm}0.06$	40~63	27.57±0.46	10.69±0.29
						2.58±0.05	90~125	16.92±1.44	6.55±0.46

表1 泾河 YGZ 剖面和洛河 CHZ 剖面部分样品的 OSL 测年结果

的 OSL 测年结果为 (6410±540) a BP, 与考古年龄 很吻合。对于 YGZ-10 黄土样品, 40~63 μm 粒径 石英的 OSL 测年结果分别为 (10750±1000) BP, 90~125 μm 的 OSL 年龄为 (13400±970) BP, 两者 比较接近,再结合张玉柱提供的该剖面的磁化率和 粒度分析数据,以及相同流域内剖面地层对比(刘 东生,1985),证实了样品所在层位为典型马兰黄 土层。这些说明 40~63 μm 粒径石英的 OSL 测年是 可行的。

6 讨论与结论

结合上面的分析结果,可以得出如下结论:

(1) 在对黄土高原黄土-古土壤序列 OSL 测年 当中,由于很难将 4~11 µm 粒径样品的石英和长 石分离开来(Roberts and Wintle, 2001; Watanuki et al. 2003),造成了4~11 µm 样品矿物的混合度较 高,由此测量出的 BLSL 信号混杂了长石信号,使 释光信号的衰退较慢。并且长石的存在使得 IR 测 试时释光信号强度偏大(Jain et al, 2003),测得 的 De 值较高,再加上 β 剂量率比 50~250 μm 的小 约12%,可能会造成年龄值的计算偏大,有的情况 下无法提取足够的石英满足测年的需要(Watanuki et al, 2003)。况且,在黄土一古土壤序列中,由于 沉积后的成壤过程中淋移和淀积作用的影响,其中 4~11 um 粒径物质不一定与黄土沉积前的光晒退事 件有关(赖忠平, 2008; Lu et al, 1988)。相对而言, 较粗颗粒物质组分当中所含无释光信号的粘土物质 成分很少(Questiaux, 1991),所以就更能代表沉 积前的光晒退事件。

(2)关于黄土一古土壤粒度成分的大量研究表 明,在黄土一古土壤序列中,粒度分布主要集中在 16~63 μm,90~125 μm 粒径的颗粒含量较少,前 处理分离提纯得到的样品量常常不能满足测年的需 要。对于黄土一古土壤序列 40~63 μm 粒径的样品, 其释光年龄最为接近考古年龄,与90~125 μm 的 OSL 年龄较接近。其等效剂量值的离散程度即相对 标准偏差(RSD)比较小,为2.7%~9%,等效剂量 值比较集中且随激发时间增加,De 值几乎恒定不 变,说明在沉积前经过了很好的晒退过程(赖忠平 等,2001)。而90~125 μm 颗粒的 RSD 相对较大, 其 De 值相对较分散。相对而言,40~63 μm 的中颗 粒粒径石英适合于黄土高原河谷地区含古洪水滞流 沉积层的全新世剖面的光释光测年研究。

致谢: 对张玉柱、王夏青提供的粒度分析数据和原 子能科学研究院提供的铀、钍、钾测试数据表示 感谢。

参考文献

- 杜 娟,赵景波.2007.西安高陵人工林地土壤干层与含水量 季节变化研究 [J]. 地理科学, 27(1): 98-103.
- 葛本伟,黄春长,周亚利,等.2010.龙山文化末期泾河特大 洪水事件光释光测年研究 [J]. *第四纪研究*, 30(2):422-429.
- 黄明斌,杨新民,李玉山.2001.黄土区渭北旱塬苹果基地对 区域水循环的影响[J]. 地理学报,56(1):7-13.

贾耀峰.2005.释光测年在应用研究方面的新进展[J]. 陕西师

范大学学报(自然科学版), 33(4): 115-121.

- 康树刚, 卢演俦, 王旭龙, 等. 2009. 黄土细颗粒石英光释光 测年中预热温度选取的简易办法 [J]. *地震地质*, 31(3): 544-550.
- 赖忠平, 苗晓东, 周 杰, 等. 2001. 沙漠黄土边界风成沙再 生法单片技术等效剂量分布 [J]. 核技术, 24(12): 1022-1023.
- 赖忠平.2008. 基于光释光测年的中国黄土中氧同位素阶 段 2/1 和 3/2 界限位置及年代的确定 [J]. 第四纪研究, 28(5): 883-891.
- 刘东生.1985.黄土与环境变迁 [M]// 刘东生.黄土与环境. 北京:科学出版社,303-400.
- 孙有斌, 鹿化煜, 安芷生. 2000. 黄土古土壤中石英颗粒的粒度分布 [J]. 科学通报, 45(19): 2094-2097.
- 王旭龙, 卢演俦, 李晓妮. 2005. 黄土细颗粒单测片再生法光 释光测年的进展 [J]. *核技术*, 28(5): 383-388.
- 赵景波,杜 娟,周 旗,等.2005.陕西咸阳人工林地土壤 干层研究 [J]. *地理科学*, 25(3): 322-328.
- 周亚利, 鹿化煜, 张家富, 等. 2005. 高精度光释光测年揭示 的晚第四纪毛乌素和浑善达克沙地沙丘的固定与活化过 程[J]. *中国沙漠*. 25(3): 342-350.
- Agersnap Larsen N, Bulur E, Bùtter-Jensen L, McKeever S W S. 2000. Use of the LM-OSL technique for the detection of partial bleaching in quartz[J]. *Radiation Measurements*, 32: 419-425.
- Aitken M J. 1985. Thermoluminescence Dating[M]. London: Academic Press.
- Aitken M J. 1998. Intrinsic indications about zeroing-analysis of shine-down curve[M]// Martin Jim.An Introduction to Optical Dating: the Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-Stimulated Luminescence. London: Oxford University Press, 155-163.
- Alastair M D, Gemmell. 1999. IRSL from fine-grained glacifluvial sediment[J]. *Quaternary Geochronology*, 18: 207-215.
- An Z S, Kukla G, Porter S C, et al. 1991. Late Quaternary dust flow on the Chinese Loess Plateau[J].*Catena*, 18(2): 125-132.
- Armitage S J, Bailey R M. 2005. The measured dependence of laboratory beta dose rates on sample grain size[J]. *Radiation Measurements*, 39: 123-127.
- Bailey R M. 2003. The use of measurement-time dependent single-aliquot equivalent-dose estimates from quartz in the identification of incomplete signal resetting[J]. *Radiation Measurements*, 37: 673-683.
- Banerjee D, Murray A S, Bøtter-Jensen L, et al. 2001. Equivalent dose estimation using a single aliquot of polymineral fine grains[J]. *Radiation Measurements*, 33: 73-94.
- Berger G W, Mulhern P J, Huntley D J. 1980. Isolation of siltsized quartz from sediments[J]. *Ancient TL*, 11: 147-152.
- Berger G W. 1995. Progress in luminescence dating methods for

Quaternary sediments[M]// Berger G W, Rutter N W, Catto N. In Dating methods for Quaternary deposits. Canada: Geological Association of Canada, GEO test 2: 81-104.

- Bøtter-Jensen L, Agersnap L N, Mejdahl V, et al. 1995. Luminescence sensitivity changes in quartz as a result of annealing[J]. *Radiation Measurements*, 24: 535-541.
- Bùtter-Jensen L, Banerjee D, Duller, et al. 1999. Blue light emitting diodes for optical stimulation ofquartz in retrospective dosimetry and dating[J]. *Radiation Protection Dosimetry*, 84: 335-340.
- Buylaert J P, Murray A S, Vandenberghe D, et al. 2008. Optical dating of Chinese loess using sand-sized quartz: establishing a time frame for Late Pleistocene climate changes in the western part of the Chinese Loess Plateau[J]. *Quaternary Geochronology*, 3: 99–113.
- Buylaert J P, Vandenberghe D, Murray A S, et al. 2007. Luminescence dating of old (>70 ka) Chinese loess: a comparison of single-aliquot OSL and IRSL techniques[J]. *Quaternary Geochronology*, 5: 9-14.
- Duller. 2003. Distinguishing quartz and feldspar in single grain luminescence measurements[J]. *Radiation Measurements*, 37: 161-165.
- Huang C C, Jia Y F, Pang J L, et al. 2006. Holocene colluviation and its implications for tracing human-induced soil erosion and redeposition on the piedmont loess lands of the Qinling Mountains, northern China[J]. *Geoderma*, 136: 838-851.
- Huang C C, Pang J L, Zha X C, et al. 2010. Extraordinary floods of 4100~4000 a BP recorded at the late Neolithic ruins in the Jinghe River gorges, middle reach of the Yellow River, China[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatoplogy, Palaeoecology*, 289(1-4): 1-9.
- Huntley D J, Godfrey-Smith D I, Thewalt M L W. 1985. Optical dating of sediments[J]. *Nature*, 313: 105-107.
- Huntley D J, Lamothe M. 2001. Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars and the measurement and correction for it optical dating[J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 38: 1093-1106.
- Jain M, Murray A S, Bøtter-Jensen L. 2003. Characterisation of blue-light stimulated luminescence components in different quartz samples: implications for dose measurement[J]. *Radiation Measurements*, 37: 441-449.
- Lai Z P, Wintle A G. 2006. Locating the boundary between the Pleistocene and the Holocene in Chinese loess using luminescence[J]. *The Holocene*, 16(6): 893-899.
- Lai Z P, Zöller L, Fuchsb M, et al. 2008. Alpha efficiency determination for OSL of quartz extracted from Chinese loess[J]. *Radiation Measurements*, 43: 767-770.
- Lai Z P. 2008. Effects of feldspar contamination on equivalent dose and the shape of growth curve for OSL of silt-sized quartz extracted from Chinese loess[J]. *Geochronometria*, 30: 49-53.

- Lai Z P. 2010. Chronology and the upper dating limit for loess samples from Luochuan section in the Chinese Loess Plateau using quartz OSL SAR protocol[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37: 176-185.
- Lai Z P. 2006. Testing the use of an OSL standardised growth curve (SGC) for*D*e determination on quartz from the Chinese Loess Plateau[J]. *Radiation Measurements*, 41: 9-16.
- Li S H, Li B. 2006. Dose measurement using the fast component of the fast component of LM-OSL signals from quartz[J]. *Radiation Measurement*, 41: 534-541.
- Lu H Y, Wang X Y, Ma H Z, et al. 2004. The Plateau Monsoon variation during the past 130 kyr revealed by loess deposit at northeast Qinghai-Tibet (China)[J]. *Global and Planetary Change*, 41: 207-214.
- Lu Y C, Zhang J Z, Xie J. 1988. Thermoluminescence dating of loess and palaeosols from the Lantian section, Shanxi Province, China[J]. *Quaternary Science Reviews*, 7(3-4): 245-250.
- Murray A S, Roberts R G. 1998. Measurement of the equivalent dose in quartz using a regenerative-dose single-aliquot protocol[J]. *Radiation Measurements*, 29(5): 503-515.
- Murray A S, Roberts, R G. 1997. Determining the burial time of single grains of quartz using optically stimulated luminescence[J]. *Earth Planetary Science Letters*, 152: 163-180.
- Murray A S, Wintle A G. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol[J]. *Radiation Measurement*, 32: 57-73.
- Questiaux D G. 1991. Optical dating of loess: Comparisons between different grain size fractions for infrared and green excitation wavelengths[J]. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 18: 133-139.
- Rees-Jones J. 1995. Optical dating of young sediments using fine-grain quartz[J]. *Ancient TL*, 13: 9-14.
- Roberts H M, Muhs D R, Wintle A G, et al. 2003. Unprecedented last-glacial mass accumulation rates determined by luminescence dating of loess from western Nebraska[J]. *Quaternary Research*, 59: 411-419.
- Roberts H M, Wintle A G. 2001. Equivalent dose determinations for polymineralic fine-grains using the SAR protocol: Application to a Holocene sequence of the Chinese Loess Plateau[J]. *Quaternary Science Reviews*, 20: 5-9.
- Roberts H M. 2006. Optical dating of coarse-silt sized quartz from loess: Evaluation of equivalent dose determinations and SAR procedural checks[J]. *Radiation Measurements*, 41: 923-929.
- Roberts H M. 2007. Assessing the effectiveness of the double-SAR protocol in isolating a luminescence signal dominated by quartz[J]. *Radiation Measurements*, 42: 1627-1636.

- Short M A, Huntley D J. 1992. Infrared stimulation of quartz[J]. *Ancient TL*, 10: 19-21.
- Singarayer J S, Bailey R M, et al. 2005. Assessing the completeness of optical resetting of quartz OSL in the natural environment[J]. *Radiation Measurements*, 40: 13-25.
- Spooner N A, Questiaux D G. 1989. Optical dating-Achenheim beyond the Eemian using green and infra-red stimulations[M]// Spooner N A. Long and Short Range Limits in Luminescence Dating. London: Occassional publication, Vol.9.
- Steffen D, Preusser F, Schlunegger F. 2009. OSL quartz age underestimation due to unstable signal components[J]. *Quaternary Geochronology*, 4: 353-362.
- Stevens T, Armitage S J, Lu H Y, et al. 2007. Examining the potential of high sampling resolution OSL dating of Chinese loess[J]. *Quaternary Geochronology*, 2: 15-22.
- Tsoar H, Pye K . 1987. Dust transport and the question of desert loess formation[J]. *Sedimentology*, 34: 139-153.
- Wallinga J, Murray A S, Duller G A T, et al. 2001. Testing optically stimulated luminescence dating of sand-sized quartz and feldspar from fuvial deposits[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 193: 617-630.
- Watanuki T, Murray A S, Tsukamoto S A. 2003. Comparison of OSL ages derived from silt-sized quartz and polymineral grains from Chinese loess[J]. *Quaternary Science Reviews*, 22: 991-997.
- Watanuki T, Murray A S, Tsukamoto S. 2005. Quartz and polymineralluminescence dating of Japanese loess over the last 0.6 Ma: comparison with an independent chronology[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 240: 774-789.
- Wright J S. 2001. "Desert" loess versus "glacial" loess: quartz silt formation,source areas and sediment pathways in the formation of loess deposits[J]. *Geomorphology*, 36: 231-256.
- Yang D Y, Yu G, Xie Y B et al. 2000. Sedimentary records of large Holocene floods from the middle reaches of the Yellow River China[J]. *Geomorphology*, 33: 73-88.
- Zhang J F, Zhou L P, Yue S Y. 2003. Dating fluvial sediments by optically stimulated luminescence: selection of equivalent doses for age calculation[J]. *Quaternary Science Reviews*, 22: 1123-1129.
- Zhou L P, Brückner H. 2008. Effects of feldspar contamination on Equivalent dose and the Shape of growth curve for OSL of silt-sized quartz extracted from Chinese Loess[J]. *Geochronometria*, 30: 1733-8387.
- Zhou L P, Shackleton N J. 2000. Photon-stimulated luminescence of quartz from loess and effects of sensitivity change on palaeodose determination[J]. *Geomorphology*, 36: 107-128.