

文章编号: 1006-6616(1998) 04-19-29

郑州邙山马兰黄土的光释光 (OSL) 测年初步研究

赵 华¹, 蒋复初², 卢演侑^{3,1}

1 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710054;

2 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

3 中国地震局地质研究所, 北京 100029.

摘 要: 对郑州市西北邙山黄土塬赵下峪 ($34^{\circ}58'N$, $113^{\circ}22'E$) 剖面上部马兰黄土 (厚约 87m) 不同层位的 24 个样品作了细颗粒 ($4-11\mu m$) 组分红外释光 (IRSL) 测年, 其中 8 个样品同时进行了细颗粒组分绿光释光 (GLSL) 测年。样品的 IRSL 和 GLSL 信号强度都在 Daybreak 1100TL/OSL 检测系统中测量。该系统的本底计数为 70-80 光子/秒。被检测的 IRSL 和 GLSL 波长分别为 340-480nm 和 $340\pm 25nm$; 激发光束波长分别为 $880\pm 80nm$ 和 $514\pm 14nm$, 功率为 18mW 和 15-16mW。所有样品的等效剂量都用再生释光法测定; 环境剂量率是通过测定样品的铀、钍和钾含量, 按 Aitken (1985) 的转换系数确定的, 考虑了含水量的影响及宇宙射线的贡献。从这批样品的光释光测年结果可得以下初步认识:

(1) 8 个样品细颗粒组分的 IRSL 和 GLSL 测定的等效剂量和年龄值, 除 1 个样品外, 都在 $1-2\sigma$ 范围内一致。这可能提供了沉积物光释光测年可靠性的一种自检方法。(2) 邙山剖面马兰黄土不同层位段的沉积速率变化十分显著, 从 $0.4m/ka$ 到 $5.6m/ka$, 并与剖面上质量磁化率测定值的变化大致相吻合。该剖面马兰黄土至少有 4 个快速堆积层 (沉积速率 $> 3m/ka$), 其磁化率低而变化小; 3 个缓慢堆积层 (沉积速率 $< 0.5m/ka$), 其磁化率大或变化显著, 它们之间有一系列过渡层。(3) 邙山马兰黄土大体可三分即上部 (L_{1-1}) 埋深 2.7-27.5m, 中部 (L_{1-2}) 埋深 27.5-57.9m) 和下部 (L_{1-3}) 埋深 57.9-87.9m。它们的形成年代分别为 10.8-36.2ka B P, 36.2-70.3ka B P 和 70.3-80.2ka B P。较详细的黄土-古土壤序列年代表将在文中讨论。

关键词: 光释光测年; 马兰黄土; 邙山

分类号: P543.63, P533

文献标识码: A

收稿日期: 1998-05-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49573196 和 49572132)

作者简介: 赵华 (1956 年 8 月), 女, 中国科学院西安黄土与第四纪地质研究室在职博士研究生, 主要从事第四纪年代学

研究

0 引言

自从 Huntley 等提出沉积物的光释光测年 (Optical dating 或 Optically stimulated luminescence, OSL dating) 方法^[1], 以及 Hutt 等发展出钾长石的红外释光 (Infrared stimulated luminescence, IRSL) 测年技术^[2]以来, 利用沉积物中石英矿物的绿光释光 (GLSL) 和长石矿物的红外释光 (IRSL) 来测定各类第四纪沉积物的沉积年龄已被广泛研究, 并取得了十分有意义的进展^[3-7]。沉积物的 GLSL 和 (或) IRSL 测年与 ¹⁴C 测年等对比结果^[8,9]不仅说明了 GLSL 和 IRSL 测年方法具有极广泛的应用前景, 而且在测年可靠性方面似乎被认为可与 ¹⁴C 测年相媲美。迄今为止, 已有的研究表明, GLSL 和 (或) IRSL 测年方法既可应用于几十年至几百年前的年轻沉积物^[10], 也可应用于低辐射剂量环境的老于 0.7-0.8Ma 的沉积物测年^[11]。在我国光释光 (OSL) 测年研究起步较晚, 1990 年才被介绍到国内^[12]。只是近年来卢演侑等^[13]、尹功名等^[14]、陈杰等^[15]、和张景昭等^[16]开展了一些测年方法条件试验性的研究。1997 年作者从河南省郑州市西北邙山黄土塬的厚层 (厚 80 余米) 马兰黄土剖面中采集了系列样品, 开展了细颗粒 (4-1 μ m) 组分的 IRSL 和 GLSL 测年研究, 探讨 IRSL 和 GLSL 方法和技术在黄土测年中的具体应用途径, 同时也试图获得晚更新世黄土-古土壤序列的年代表。

1 邙山马兰黄土沉积序列简况

邙山位于河南省郑州市西北黄河南岸, 是黄河从中游进入下游出山口南侧门户 (图 1)。邙山黄土塬现存塬面东西长约 18km, 南北宽约 5km, 最高海拔 262m。据吴锡浩等^[17]、蒋复初等^[18]和赵希涛等^[19]的调查和研究, 邙山塬黄土厚达 170 余米, 由 S₁₀ 以上黄土-古土壤序列组成, 其中晚间冰期古土壤 (S₁) 和马兰黄土 (L₁) 厚达 90 余米, 构成很有特色的晚第四纪黄土-古土壤序列, 也许可作为晚更新世气候环境变化高分辨率记录的典型加以研究, 从而对过去全球变化研究作出贡献。

这次我们选择荥阳市北邙乡刘沟村 (113°22'E, 34°58'N) 的赵下峪剖面作为研究对象。该剖面处于邙山塬北缘黄河南岸陡坡, 黄土和古土壤层序出露良好, 顶面海拔 262m。蒋复初等对该剖面岩性的实测观察及取样间距 5cm 的质量磁化率测量结果如图 2 所示。S₁ 古土壤组合以上的黄土、古土壤层序岩性从上而下简述如下:

全新世古土壤 (S₀): 0-2.6m, 褐灰色粘土质粉砂, 见大量植物根系、根孔和白色菌丝体

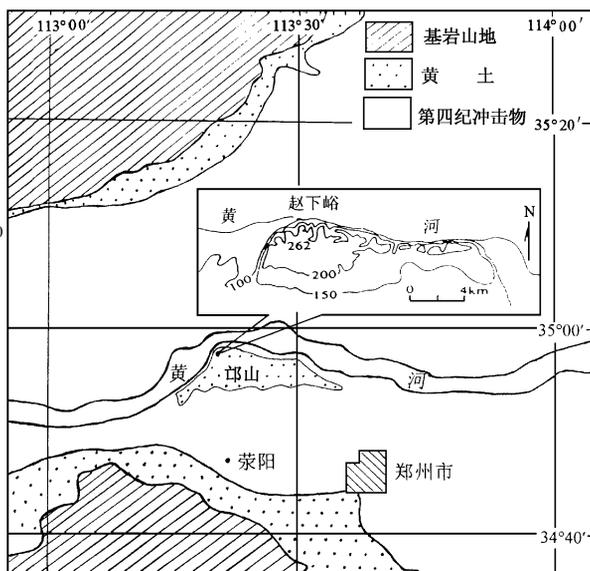


图 1 河南郑州邙山剖面地理位置图
Fig. 1 Location of the Malan loess profile at the Mangshan, Henan Province

马兰黄土上段 (L₁₋₁): 2.6-28.2m, 黄土, 灰黄色粘土质粉砂, 质地均匀, 疏松多孔, 上部见零星小钙质结核。

马兰黄土中段 (L₁₋₂): 28.2-57.2m, 从黄土-古土壤层序上看可分为: 上部, 28.2-33.0m, 浅灰褐色弱发育古土壤组合, 由两层浅灰褐色具有土坯和弱团粒结构的古土壤 (厚 1.6m 和 2.0m) 中间夹一层 (厚 1.2m) 黄土组成; 中部, 33.0-44.2m, 灰黄色黄土, 粉砂感强, 颗粒较粗, 疏松多孔; 下部, 44.2-57.2m, 由上、下两层棕褐色的古土壤 (各厚约 4.0m) 及一层灰褐色土壤化明显的细粒层 (厚 1.2m) 以及夹在它们中间的两层黄灰色的黄土 (厚 1.6m 和 2.3m) 组成。

马兰黄土下段 (L₁₋₃): 57.2-87.8m 上部: 57.2-79.7m, 浅灰黄色的黄土, 粉砂质, 疏松多孔; 中部: 79.7-85.8m, 浅红褐色的黄土粉砂质粘土, 质地粘重, 致密块状, 显示出一定程度的土坯和微团粒结构; 下部: 85.8-87.8m, 灰黄色的黄土, 粉砂感强, 疏松。

晚间冰期古土壤组合 (S₁): 87.8-95.4m, 由三层发育良好的古土壤和夹在它们之间的两层黄土组成。古土壤层均呈深褐红色, 质地粘重, 显示出清晰的团粒和棱块状结构, 不同程度地发育碳酸盐及铁锰质胶膜、粘土质混合胶膜。下部发育 CaCO₃ 淀积层 (厚约 20cm)。

该剖面上上述晚第四纪黄土-古土壤序列在质量磁化率测定值上得到明显表现 (图 2)。凡古土壤或土壤化显著层位的质量磁化率测定值都明显地高, 而黄土层磁化率测定值则低。古土壤或土壤化明显的层位与黄土层之间并无绝然的分界线, 而是相互过渡的。因此, 从质量磁化率测定值在剖面上的变化来看, 该剖面存在一系列的过渡层。

2 黄土样品的光释光测年

从邙山塬赵下峪剖面 L₂ 以上不同层位共采集了 35 块黄土样品预备作光释光测年研究。样品都是从天然黄土陡坡剖面挖进 30-40cm 深处蔽光采集的, 并用铝饭盒包装。这里报导马兰黄

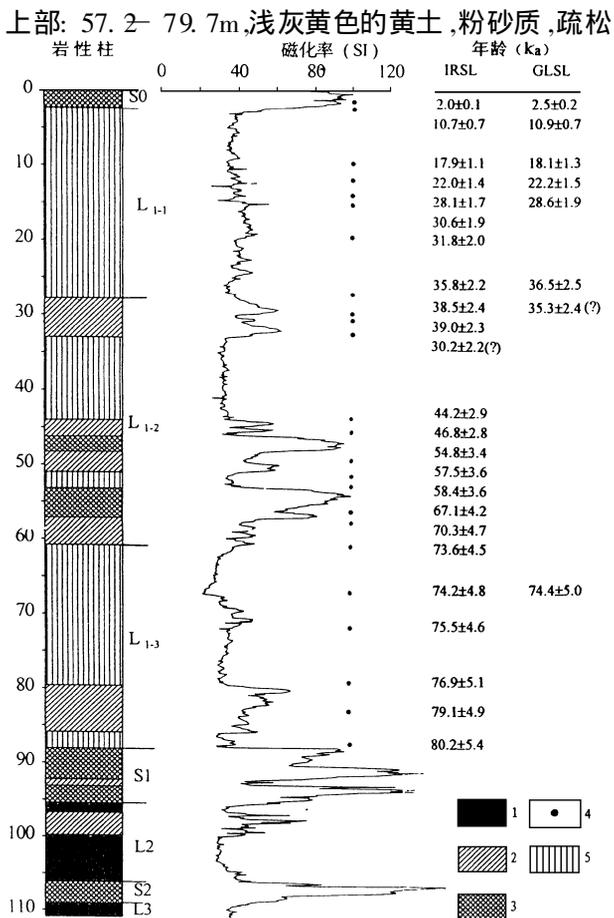


图 2 河南郑州邙山马兰黄土剖面、磁化率曲线, 光释光采样点及样品年龄值
Fig. 2 The sketch diagram showing GLSL and IRSL dates of each sampling point along the Malan loess profile, with lithic column and magnetic susceptibility curve at Mangshan, Henan province
1. 离石黄土; 2. 弱发育古土壤; 3. 古土壤;
4. 光释光采样点; 5. 马兰黄土

土 (L_i)不同层位的 23个黄土样品和 1个全新世黄土母质土壤样品的光释光 (OSL)测年的初步结果。

2.1 样品前处理和测样制备

邛山塬的马兰黄土在粒度组成上虽然较黄土高原中部洛川塬^[20]要粗些,但 > 100 μ m 的颗粒含量仍然极低,难以分离出足够的 90–125 μ m 粗颗粒进行单矿物石英或长石的光释光测年,因而只能进行细颗粒 (4–1 μ m)组分多矿物的光释光测年。这批样品细颗粒组分的提取和测样制备技术类似于卢演侑等所描述的^[21–22]。即分别用双氧水 (H₂O₂)和稀盐酸 (HCL)去除黄土样品的有机质和碳酸盐,使样品颗粒在蒸馏水中充分分散和悬浊液稳定,用净水沉降法分离出 4–1 μ m 粒组,然后将该粒组分转到丙酮溶液中并沉淀在直径 1cm 厚 0.3cm 的圆铝片上,制成测片,每个测片含 4–1 μ m 粒组约 2mg \cdot cm⁻²。每个样品制备约 35个测片。

2.2 光释光测量和等效剂量 (De)测定

2.2.1 光释光测量 每个样品的 35个测片分成 4组,各 6个、8个、14个和 6个,分别作天然的、天然加 β 剂量诱发的、天然经 60min 阳光或太阳灯光晒退后再加 β 剂量诱发的,以及天然加 α 剂量诱发的红外释光 (IRSL)和绿光释光 (GLSL)测量。所有测片在进行光释光 (IRSL和 / 或 GLSL)测量之前都经过 22 $^{\circ}$ C、恒温 5min 的预热处理,以去除不稳定的 IRSL和 GLSL信号。各个测片的 IRSL和 GLSL信号强度都在 Daybreak1100型 OSL/TL自动测量系统中测定。该系统的本底计数为 70–80 γ /s 测片的 IRSL信号由红外二极管产生的功率约 18mW,波长 880 \pm 80nm 红外线束来激发,而被检测的 IRSL信号波长为 340–480nm 测片的 GLSL信号由高强度卤素灯产生的功率 15–16mW,波长 514 \pm 14nm 的绿光束激发,而被检测的 GLSL信号波长为 340 \pm 25nm (即波峰 340nm,半宽为 25nm) 信号检测时间为 100s,分 99频道 (每频道约 1s)计数。这批样品测样的 IRSL和 GLSL信号在 100s 内衰减曲线如图 3所示。各个样品的 IRSL和 GLSL信号强度随激发光束照射时间加长 (100s 内)明显地衰减。同时,同一样品的 IRSL和 GLSL信号强度随接受的附加剂量增加而增强。

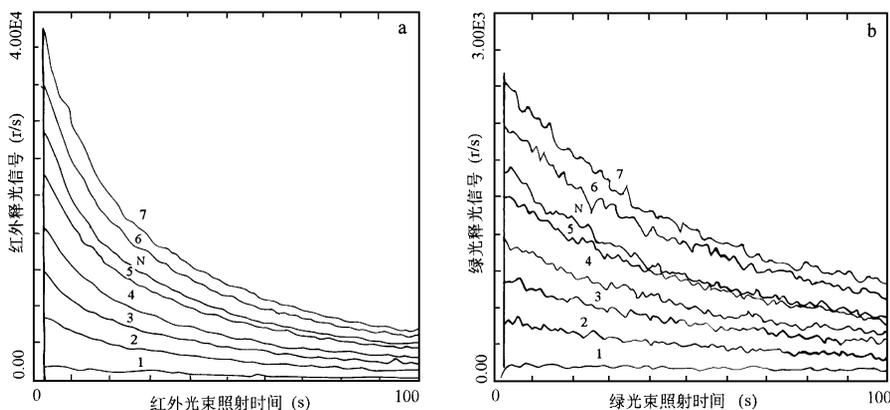


图 3 97034号样品的红外释光 (a)、绿光释光 (b)衰减曲线

Fig. 3 The IRSL decay curve(a) and GLSL decay curve(b) of the fine grains of sample 97034

N. 天然释光衰减曲线; a. 曲线 1 2 3 4 5 6 7分别为天然的经 60min 光晒退后加 0 23.1 46.3 69.4 92.5 139 185Gy 的 β 剂量诱发的红外释光衰减曲线; b. 曲线 1 2 3 4 5 6 7分别为天然的经 60min 光晒退后加 0 23.1 46.3 69.4 92.5 139 185Gy 的 β 剂量诱发的绿光释光衰减曲线

2.2.2 等效剂量 (De)的测定 样品的等效剂量 (De)值是产生天然释光强度所需的电离辐射剂量值,是第四纪沉积物和考古样品光释光测年的重要参数,可通过实验来测定。测定等效剂量的方法有附加剂量 (additive dose)法、部分晒退 (partial bleached)法、全晒退 (total bleached)法和再生释光 (regenerated luminescence)法。近年来大量的实践表明^[6-11],部分晒退法和再生释光法更适用于第四纪沉积物的光释光测年。而90年代初以前曾广泛应用的附加剂量法得到的等效剂量值一般都偏大。我们对这些方法曾作过不同程度的实验研究,结果表明,再生释光法能获得更为可靠的等效剂量测定值(将在另文中报导)。这批邙山马兰黄土样品都采取这一方法测定等效剂量值。其实验程序与卢演侑等^[23]所记叙的再生热释光法测定等效剂量的程序相似,所不同的是这次的测样只在阳光下晒退60min,而不是晒退16-18个小时或更长时间,因为沉积物中石英、长石矿物的光释光信号极易被光晒退,经60min阳光晒退后的测样其IRSL和GLSL信号强度一般只有200/s的水平,与现代(零年龄)沉积物的IRSL和GLSL信号水平^[24]相当。图4为黄土样品IRSL和GLSL信号随晒退后附加β剂量的再生增长曲线,并表示了样品天然IRSL和GLSL信号的等效剂量(De)值测定。同时还应用了Prescott等提出的等效剂量估计方法即“Australian slide method”^[25]来校核。

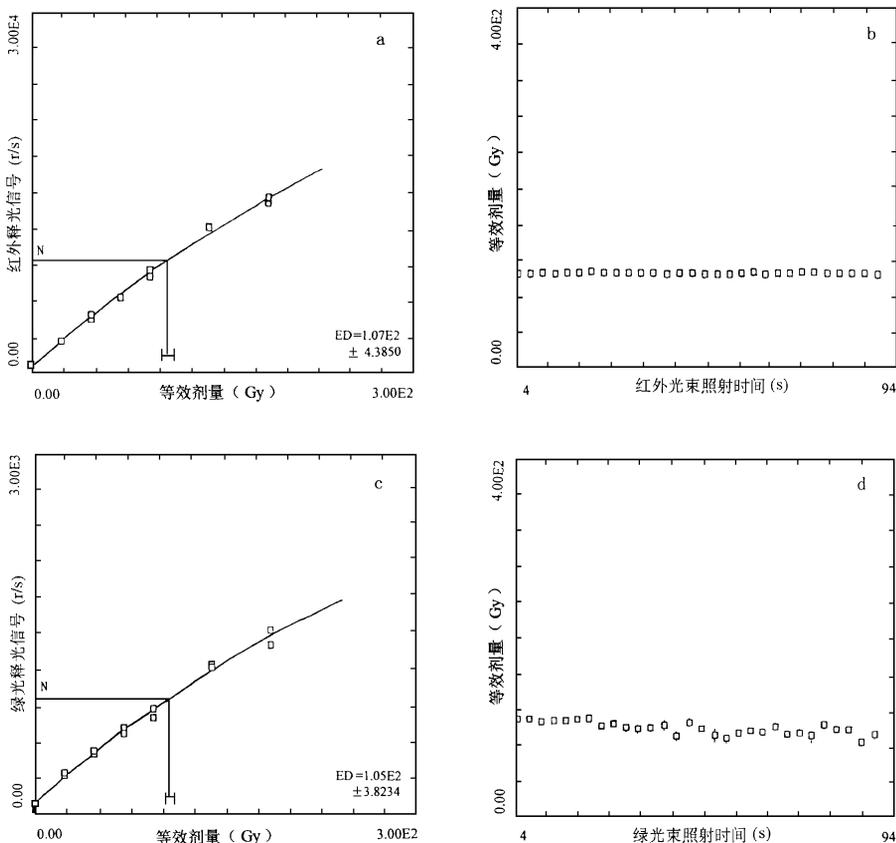


图 4 97034 号样品的光释光增长曲线、等效剂量坪曲线

Fig. 4 The IRSL growth curve(a) and GLSL growth curve(c) showing equivalent dose (ED) determinations, and ED value plateau of IRSL(b) and GLSL(d) for the fine grain fraction of sample 97034

a. b. 分别为红外释光增长曲线、等效剂量坪曲线; c. d. 分别为绿光释光增长曲线、等效剂量坪曲线

2.2.3 环境辐射剂量率的测定 被测矿物(如石英、长石等)在埋藏期间每年(或每千年)吸收的周围土体铀、钍和钾(^{40}K)放射性核素提供的 α 、 β 和 γ 辐射剂量以及宇宙射线提供的少量剂量称之为环境辐射剂量率。它是释光测年的重要参数之一,可用多种方法来测量。对于黄土样品的细颗粒(4-1 μm)组分释光测年,通常是通过测定样品的铀、钍和钾含量,用 Aitken 提出的换算关系^[26]计算得出环境剂量率。这次 24个黄土样品的环境剂量率也是用这样的方法确定的。样品的铀和钍含量既用中子活化分析法测定,也用厚源 α 计数法测定。样品的钾含量是用原子吸收光谱法测定的。在计算环境剂量率时,应用了 Fleming 提出的方法考虑了样品含水量对剂量率的影响^[27],并按 Prescott 等提出的方法^[28]考虑了宇宙射线对环境剂量率的少量贡献。

3 邙山马兰黄土细颗粒组分的 IRSL 和 GLSL 测年的初步结果和讨论

表 1 列出了邙山赵下峪剖面马兰黄土 24 个样品的铀、钍、钾含量、含水量、 α 辐射产生的释光的有效系数(a 值)、环境剂量率、等效剂量及年龄测定值。同时,图 2 给出了相应取样层位的 IRSL 和 GLSL 年龄值。从中可得到一些初步认识和提出一些问题

3.1 黄土细颗粒组分 IRSL 和 GLSL 测年比较

如前所述,红外释光(IRSL)的激发光源波长为 880 \pm 80nm,功率为 18mW,检测的信号波长为 330- 480nm;而绿光释光(GLSL)激发光源波长为 514 \pm 14nm,功率 15- 16mW,检测的信号波长为 340 \pm 25nm。已有的研究表明^[1-2],IRSL 信号主要来源于长石(尤其钾长石)矿物,而 GLSL 信号主要来源于石英。黄土样品细颗粒组分的矿物组成复杂,可能含有石英、长石和其它矿物,能否对它们作 IRSL 和 GLSL 测量,并获得一致的光释光年龄测定值?为此,我们对邙山马兰黄土的 8 个样品进行了 IRSL 和 GLSL 测定的试验。实验程序是每个样品制备细颗粒(4-1 μm)组分测片约 35 个,分成 4 组。第一组 6 个作天然的 IRSL 测量后再作天然的 GLSL 测量;第二组 8 个作天然加不同的 β 剂量诱发的 IRSL 测量后再作 GLSL 测量;第三组 14 个作天然经 60min 阳光晒退后加不同的 β 剂量诱发的 IRSL 测量,然后再作 GLSL 测量;第四组 6 个作天然加不同 α 剂量诱发的 IRSL 测量,再作 GLSL 测量。这样,一个样品用同一套(约 35 个)测片就可获得 IRSL 和 GLSL 测定的两套资料。如图 4 所示的同一样品的 IRSL 和 GLSL 增长曲线及等效剂量

表 1 邙山马兰黄土红外释光 (IRSL) 与绿光释光 (GLSL) 测定的等效剂量值对比

Table 1 Fine grain equivalent dose determined by both IRSL and GLSL

原编号	埋深 (m)	等效剂量 (Gy)	测定信号
NM35	1.25	10.5 \pm 0.7	GLSL
		8.5 \pm 0.3	IRSL
NM34	2.65	44.5 \pm 1.6	GLSL
		43.8 \pm 1.3	IRSL
NM32	10.35	75.7 \pm 3.3	GLSL
		74.3 \pm 1.3	IRSL
NM31	12.25	101.1 \pm 4.2	GLSL
		99.5 \pm 2.3	IRSL
NM30	14.65	102.1 \pm 2.8	GLSL
		104.4 \pm 0.7	IRSL
NM27	27.47	165.0 \pm 7.9	GLSL
		162.5 \pm 1.9	IRSL
NM26	30.05	143.4 \pm 2.8	GLSL
		170.5 \pm 2.1	IRSL
NM15	67.25	325.7 \pm 12.6	GLSL
		324.8 \pm 6.9	IRSL

(De)值 表 1列出了 8个样品 IRSL和 GLSL的测定结果 可看出,除 NM26号样品外,其余 7个样品细颗粒组分通过 IRSL测量得出的等效剂量和年龄值与通过 GLSL测量得到的等效剂量及年龄值在误差范围内一致。这一结果初步表明,对于黄土样品细颗粒组分既可以用红外释光 (IRSL)来测年,也可以用绿光释光 (GLSL)来测年,在一定范围内这两种技术可以相互校核,并可能构成黄土样品释光测年可靠性的一种自检技术。

应指出,黄土样品细颗粒组分 IRSL和 GLSL测定结果能否成为释光测年可靠性的一种自检技术,还有待进一步研究 因为黄土细颗粒的矿物组成是十分复杂的,IRSL信号究竟是来源于长石还是包含了其它矿物的贡献?除长石(尤其钾长石)外,其它矿物贡献的 IRSL信号对剂量的响应及热稳定性以及 GLSL信号是否只来源于石英矿物等等,这些问题都还待深入研究

3.2 邙山塬马兰黄土的堆积速率

邙山塬马兰黄土厚度之大,所含古土壤和土壤化显著的黄土层之多,都是黄土高原腹地难以见到的 这可能与邙山塬所处地貌部位,尤其可能与黄土物质的近源补给有关 这一点可从邙山马兰黄土堆积过程的沉积速率变化得到一些启示

根据取自不同层位的 24个样品的 IRSL年龄测定值(表 2图 2),参照剖面上质量磁化率测定值显著变化的界线(图 2),我们初步计算了不同层位的平均沉积速率,如图 5所示。该剖面上马兰黄土不同层的平均沉积速率变化约 $0.4\text{m}/\text{ka}$ 到 $5.6\text{m}/\text{ka}$ 之间,相差达一个量级,而且至少存在 4个快速堆积层(沉积速率大于 $3\text{m}/\text{ka}$)和 3个缓慢加积层(沉积速率小于 $0.5\text{m}/\text{ka}$)以及一系列过渡层(沉积速率为 $1-1.5\text{m}/\text{ka}$)。4个快速堆积事件自上而下分别为:

- A. 深度 15.8-20.1m (IRSL年龄 30.6-31.8ka),沉积速率为 $3.6\text{m}/\text{ka}$;
 - B. 深度 31.0-43.9m (IRSL年龄 39.0-43.2ka),沉积速率为 $3.1\text{m}/\text{ka}$;
 - C. 深度 61.1-79.8m (IRSL年龄 73.6-76.9ka),沉积速率为 $5.6\text{m}/\text{ka}$;
 - D. 深度 83.0-87.9m (IRSL年龄 79.1-80.2ka),沉积速率为 $5.8\text{m}/\text{ka}$
- 3个缓慢加积事件自上而下分别为:

- a. 深度 10.4-15.8m (IRSL年龄 18.1-30.6ka),沉积速率为 $0.43\text{m}/\text{ka}$;
- b. 深度 45.9-49.4m (IRSL年龄 46.8-54.8ka),沉积速率为 $0.44\text{m}/\text{ka}$;
- c. 深度 52.6-57.9m (IRSL年龄 58.4-70.3ka),沉积速率为 $0.45\text{m}/\text{ka}$

该剖面沉积速率变化与磁化率的变化大致相吻合。高沉积速率的黄土层,尤其快速堆积层,磁化率很低,而且变化很小;而低沉积速率主要出现在磁化率高的古土壤层,如 L_{1-2} 下部的两层发育很好的古土壤层。

值得注意的是,在 L_{1-1} 中部有一层(深度 10.4-15.8m,年龄 18.1-30.6ka B P)沉积速率很低,其磁化率低,但变化显著。从年龄上看这层沉积时期正是气候相当干冷的末次冰期高峰阶段及其来临之时,按理应具有相当高的沉积速度,但观测结果并非如此 这还待进一步研究

此外, L_{1-1} 顶部弱成壤的古土壤层及 L_{1-3} 下部弱成壤化的古土壤(该层实际可能只有 3m左右)的沉积速率为 $1.0-1.5\text{m}/\text{ka}$,磁化率值也介于黄土与古土壤之间,属过渡性质。

该剖面上马兰黄土沉积速率的巨大变化究竟是单一的气候环境变化的响应,还是包含着地区性地壳构造运动及陆地水文状况变化的信息?这是值得进一步调查研究的一个问题

3.3 邙山晚更新世黄土-古土壤序列的年代表

从表 1和图 2给出的 IRSL年龄测定值,我们有可能提出邙山晚更新世黄土-古土壤序

表 2 河南郑州邙山马兰黄土剖面光释光测年结果及各种参数

Table 2 IRSL and GLSL dating results and Radioactivity dates for 24 samples of the Malan loess at the Mangshan section, Zhengzhou

实验室 编号	原编 号	埋深 (m)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	含水量 (%)	a系数	环境剂量率 (Gy/ka)	等效剂量 (Gy)	年龄 (ka)	
97037	NM35	1.25	2.39	7.99	1.71	15	0.133±0.002	4.159	10.5±0.7	2.5±0.2	GLSL
							0.133±0.002	4.159	8.5±0.3	2.0±0.1	IRSL
97036	NM34	2.65	2.69	7.81	1.68	12	0.104±0.007	4.078	44.5±1.6	10.9±0.7	GLSL
							0.105±0.004	4.090	43.8±1.3	10.7±0.7	IRSL
97035	NM32	10.35	2.23	7.44	1.58	12	0.150±0.010	4.171	75.7±3.3	18.1±1.3	GLSL
							0.147±0.003	4.141	74.3±1.3	17.9±1.1	IRSL
97142	NM31	12.25	2.72	9.46	1.76	12	0.118±0.005	4.565	101.1±4.2	22.2±1.5	GLSL
							0.115±0.005	4.527	99.5±2.3	22.0±1.4	IRSL
97034	NM30	14.65	2.10	6.10	1.72	12	0.101±0.007	3.565	102.1±2.8	28.6±1.9	GLSL
							0.118±0.003	3.716	104.4±0.7	28.1±1.7	IRSL
97141	NM29	15.75	1.88	10.86	1.83	12	0.094±0.005	4.136	126.5±1.4	30.6±1.9	IRSL
97140	NM28	20.05	2.27	9.75	1.77	12	0.080±0.003	3.941	125.2±2.6	31.8±2.0	IRSL
97124	NM27	27.47	2.59	9.16	1.73	12	0.125±0.005	4.515	165.0±7.9	36.5±2.5	GLSL
							0.127±0.005	4.539	162.5±1.9	35.8±2.2	IRSL
97033	NM26	30.05	2.53	7.45	1.66	12	0.117±0.013	4.068	143.4±2.8	35.3±2.4(?)	GLSL
							0.150±0.007	4.427	170.5±2.1	38.5±2.4	IRSL
97123	NM25	30.95	2.62	9.51	1.71	12	0.141±0.003	4.754	185.2±2.3	39.0±2.3	IRSL
97089	NM24	33.05	2.67	8.47	2.01	12	0.072±0.005	4.089	123.4±5.9	30.2±2.2(?)	IRSL
97088	NM23	43.85	2.62	8.84	2.00	12	0.090±0.003	4.316	190.9±7.3	44.2±2.9	IRSL
97032	NM22	45.85	2.56	8.73	1.66	15	0.120±0.005	4.171	195.2±1.9	46.8±2.8	IRSL
97031	NM21	49.35	2.52	7.91	1.71	15	0.120±0.005	4.078	223.7±5.7	54.8±3.4	IRSL
97122	NM20	51.45	2.31	9.35	1.73	12	0.145±0.007	4.622	266.0±4.2	57.2±3.6	IRSL
97030	NM19	52.55	2.98	8.32	1.58	15	0.120±0.006	4.255	248.6±2.9	58.4±3.6	IRSL
97121	NM18	56.25	1.69	12.0	1.84	12	0.107±0.003	4.354	292.2±8.7	67.1±4.2	IRSL
97087	NM17	57.85	2.41	10.6	2.04	12	0.060±0.006	4.108	288.8±8.0	70.3±4.7	IRSL
97120	NM16	61.05	2.13	8.55	1.66	12	0.150±0.005	4.372	321.9±6.3	73.6±4.5	IRSL
97029	NM15	67.25	2.24	8.38	1.73	12	0.141±0.009	4.380	325.7±12.6	76.4±5.0	GLSL
									324.8±6.9	74.2±4.8	IRSL
97139	NM14	71.95	1.84	11.87	1.82	12	0.100±0.005	4.303	325.0±2.8	75.5±4.6	IRSL
97086	NM13	79.75	2.51	12.90	1.99	12	0.060±0.005	4.354	334.7±9.8	76.9±5.1	IRSL
97137	NM11	83.00	2.91	8.39	1.73	12	0.085±0.005	4.080	322.6±4.9	79.1±4.9	IRSL
97085	NM9	87.90	2.91	12.68	2.00	12	0.050±0.005	4.340	348.2±10.0	80.2±5.4	IRSL

注: IRSL. 细颗粒红外释光方法; GLSL. 细颗粒绿光释光方法

列的初步年代表,其框架如下:

全新世古土壤 (S₀)与马兰黄土 (L₁)的界线年龄约 10.8 ± 0.7ka B P 在该界线 (深度 2.65m)上采集的样品 (97036号,野外编号为 NM34)的细颗粒 IRSL测年值为 10.7 ± 0.7ka B P, GLSL测年值为 10.9 ± 0.7ka B P

马兰黄土上段 (L₁₋₁)与中段 (L₁₋₂)界线年龄约为 36.2 ± 2.5ka B P 在该界线 (深度 27.5m)上的样品 (97124号,野外编号 NM27)的 IRSL测年值为 35.8 ± 2.2ka B P, GLSL测年值为 36.5 ± 2.5ka B P

马兰黄土中段 (L₁₋₂)与下段 (L₁₋₃)的界线年龄约为 70 ± 5ka B P 该界线 (深度 57.9m)上的样品 (97087号,野外编号 NM17)的 IRSL测年值为 70.3 ± 4.7ka B P,其上 1.5m处的样品 (97121,野外编号 NM18) IRSL测年值为 67.1 ± 4.2ka B P,其下 3.3m处的样品 (97120号,野外编号 MN16) IRSL测年值为 73.6 ± 4.5ka B P

马兰黄土 (L₁)与晚间冰期古土壤组合 (S₁)的界线年龄约为 80 ± 5ka B P,或者 77 ± 5ka B P 在 S₁与 L₁的界线 (深 87.90m)采集的样品 (97085号,野外编号 NM9)的 IRSL测年值为 80.2 ± 5.4ka B P,而在 S₁之上 L₁底部弱发育古土壤层顶部 (深 79.8m)样品 (97086号,野外编号 NM13)的 IRSL测年值为 76.9 ± 5.1ka B P 若把该层弱发育的古土壤层视为晚间冰期暖湿气候开始变干冷过程的一个短期气候逆转事件,并从此之后气候才开始大幅变干冷即末次冰期才真正开始,那么 97086号样品的 IRSL测年值视为 L₁ / S₁的界线年龄值可能更合适些。

马兰黄土中段 (L₁₋₂)发育了三层古土壤,自上而下分别以 L_{1-2sa}、L_{1-2sb}和 L_{1-2sc}表示 其中顶部的 L_{1-2sa}发育较差,其年龄约为 36-39ka B P(即样品 97124和 97123的 IRSL测年值);中部的 L_{1-2sb}发育良好,其年龄为 47-55ka B P(即样品 97032和 97031的 IRSL测年值);底部的 L_{1-2sc}亦发育良好,其年龄值为 58-67ka B P(即样品 97030和 97121的 IRSL测年值)。

关于邙山黄土剖面晚第四纪气候环境变化记录及其年代与黄土高原腹地 (如洛川剖面、渭南剖面、兰州九州台剖面等)对比以及与深海氧同位素阶段及其年代的对比等问题,限于篇幅,

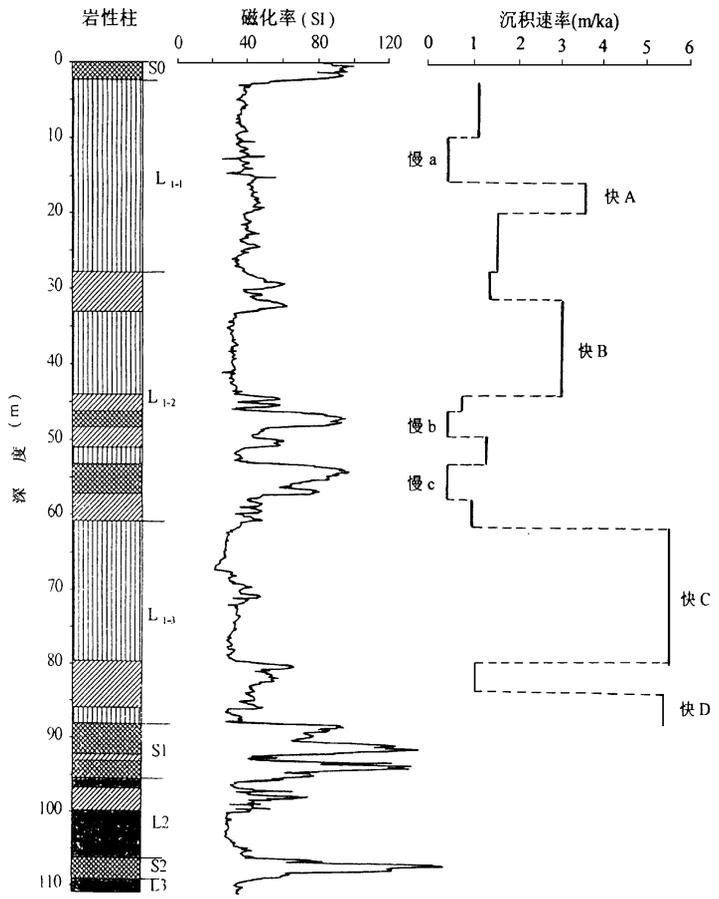


图 5 河南郑州邙山马兰黄土剖面各段平均沉积速率变化曲线及磁化率曲线

Fig. 5 The sketch diagram showing the mean deposition rate and magnetic susceptibility of different layers of Malan loess at Mangshan, Henan province.

在此暂不作讨论

在工作过程中得到了中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室主任安芷生院士、周杰和高玲瑜副主任的关怀和指导;中国地质科学院地质力学研究所吴锡浩研究员给予了热情指导;本文样品的 IRSL和 GLSL测年是在中国地震局地质研究所光释光实验室和中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室完成的,得到了尹功明、陈杰、张景昭、孙璞杰、尹金辉等的大力帮助。

参 考 文 献

- [1] Huntley D J, Godfrey-Smith D I, Thewalt M L W. Optical dating of sediments [J]. *Nature*, 1985, 313: 105– 107.
- [2] Hutt G, Jaek I, Tschonka J. Optical dating: K-feldspar optical response stimulation spectra [J]. *Quaternary Science Review*, 1988, 7: 381– 385.
- [3] Duller G A T. Recent developments in luminescence dating of Quaternary sediments [J]. *Prog. phys. Geogr*, 1996b, 20: 127– 145.
- [4] Aitken M J. Optical dating [J]. *Quaternary Science Review*, 1992, 11: 127– 131.
- [5] Aitken M J. Optical dating: a non-specialist review [J]. *Quaternary Science Review (Quaternary Geochronology)*, 1994, 13: 503– 508.
- [6] Wintle A G. Luminescence dating of aeolian sands: an overview. In *The dynamics and environmental context of aeolian sedimentary systems* [C]. (ed. Pye K.) *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 1993, 72: 49– 58.
- [7] Prescott J R, Robertson. Sediment dating by luminescence: A review [J]. *Radiation Measurements*. 1997, 27(5/6): 893– 922.
- [8] Stokes S, Gaylord D R. Optical dating of Holocene dune sands in the Ferris dune field, Wyoming [J]. *Quaternary Research*, 1993, 39: 274– 281.
- [9] Smith M A, Prescott J R, Head M J. Comparison of ^{14}C and luminescence chronologies at the Puritjarra Rock shelter, Central Australia [J]. *Quaternary Science Review (Quaternary Geochronology)*, 1997, 16: 299– 320.
- [10] Wolfe S, A Huntley D J, Ollehead J. Recent and late Holocene sand dune activity in southwestern Saskatchewan [C]. In *Current Research 1995-B*. *Geol. Survey Canada*, 1995, 131– 140.
- [11] Huntley D J, Hutton J T, Prescott J R. Optical dating using inclusions within quartz grains [J]. *Geology*, 1993b, 21: 1087– 1090.
- [12] 卢演侑. 沉积物的光释光(OSL)测年简介 [J]. *地质地球化学*, 1990, (1): 36– 40.
- [13] 卢演侑,尹功明,陈杰,等. 第四纪沉积物的光释光测年研究 [J]. *地球科学*, 1995, 20(6).
- [14] 尹功明,卢演侑,陈杰,等. 现代(零年龄)样品的红外释光(IRSL)测定及其ED值 [J]. *核技术*, 1997, 20(8): 489– 490.
- [15] 陈杰,卢演侑,尹功明,等. 甘肃巴谢黄土—古土壤的光释光测年研究 [J]. *地球学报*, 1997, 18(总 47): 239– 241.
- [16] 张景昭,赖忠平. 光释光测年: 黄土样品 IRSL信号的光晒退实验 [J]. *核技术*, 1997, 20(8): 485– 488.
- [17] Wu Xihao, Wang Sumin, An Zhisheng et al. Mangshan loess and its prospects for study of past global changes [J]. *Scientia Geologica Sinica, supplementary issue*, 1995, (1): 115– 120.
- [18] 蒋复初,吴锡浩,肖华国,等. 郑州邙山桃花峪高分辨率晚更新世黄土层 [J]. *地质力学学报*, 1997, 3(2): 11– 17.
- [19] 赵希涛,曲永新,李汉青,等. 河南荥阳孤柏嘴剖面黄土—古土壤序列与高分辨 S_{1-4} 地层的初步研究 [C]. *中国第四纪地质与环境*. 北京: 海洋出版社, 1997. 68– 77.
- [20] 刘东生,等. *黄土与环境* [M]. 北京: 科学出版社, 1985. 191– 208.
- [21] Lu Y C, Prescott J R, Robertson B G et al. Thermoluminescence dating of the Malan loess at Zhaitang, China [J]. *Geology*, 1987, 15: 603– 605.
- [22] 卢演侑,赵华. 陕西渭南介子村黄土的热释光测年 [J]. *地质论评*, 1991, 37(4): 356– 362.
- [23] 卢演侑, Mortlock A J, Price D M, 等. 马兰黄土粗颗粒石英热释光测年 [J]. *科学通报*, 1980, 33(1): 47– 53.
- [24] 尹功明,卢演侑,陈杰,等. 光释光测年系统中绿光光源的研制 [J]. *地球学报*, 1997, 18(总 47): 236– 238.

- [25] Prescott J R, Huntley D J, Hutton J T. Estimation of equivalent dose in luminescence dating—the Australian slide method [J]. *Ancient TL*, 1993, 11: 1– 5.
- [26] Aitken J M. Thermoluminescence dating [M]. Academic Press, London, 1985. 61– 76.
- [27] Fleming S J. Thermoluminescence technique in archaeology [M]. Clarendon Press, Oxford, 1979. 31.
- [28] Prescott J R, Stephan L G. The contribution of cosmic rays to the environmental dose for thermoluminescence dating: latitude, altitude and depth dependence [J]. *PACT*, 1992, (6): 17– 25.

PRELIMINARY STUDY OF OSL DATING OF THE MALAN LOESS AT MANGSHAN PLATEAU, ZHENGZHOU, HENAN PROVINCE

ZHAO Hua¹, JIANG Fuchu², LU Yanchou^{3,1}

¹ *State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Academia Sinica, Xi'an 710054;*

² *Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081*

³ *Institute of Geology, State Seismological Bureau, Beijing 100029.*

Abstract Twenty-four loess samples collected from the Malan loess of a thickness of 87m, at Zhaoxiayu section (34° 58' N and 113° 22' E) in Mangshan hill, Henan province, have been dated for the fine grains using IRSL, with a wavelength of 340– 480nm, and GLSL, with a wavelength of 340± 25nm, in an automated Daybreak 1100 TL/OSL system with background counting rate of 70– 80 photons per second, and stimulated by an infrared beam (880± 80nm, 18mW) and a green beam (514± 14nm, 15– 16mW) respectively. The regenerated luminescence method was employed for equivalent dose (De) determination of each sample. Environmental dose rate of the sample was calculated from the uranium, thorium and potassium analysis by using the compilation of Aitken (1985), taking into account the water content and cosmic ray contribution. On the basis of the OSL dating results of these samples, the following preliminary conclusions can be drawn. 1. Comparison of De values and dates obtained from IRSL analysis with those from GLSL measurement for eight samples shows that they are in agreement within 1–2%, except one sample. So it may provide a possible cross-checking technique for reliability of sediment OSL dating. 2. The deposition rate varies significantly from 0.4 m/ka to 5.6 m/ka with different horizons of the sediments and is approximately coincident with the variations of the magnetic susceptibility of the section. There are at least four rapidly depositing layers (deposition rate > 3m/ka) with lower susceptibility and three slowly depositing layers (deposition rate < 0.5 m/ka) with a higher or remarkably different susceptibility. There are a series of transition layers between. 3. The Malan loess can be divided into three units at Zhaoxiayu section, the Upper unit at a depth of 2.7m to 27.5m, the Middle unit composed of paleosol and loess alternations at a depth from 27.5m to 57.9m and the Lower unit at a depth of 57.9m to 87.9m their age being estimated as 10.8– 36.2ka B P, 36.2– 70.3ka B P and 70.3– 80.2ka B P respectively. A detailed time-scale of loess-paleosol sequence of the Malan loess is discussed.

Key words OSL dating; Malan loess; Mangshan