# 末次间冰期以来会宁黄土剖面的热释光测年

王文远<sup>1,2)</sup> 潘 懋<sup>1)</sup> 刘嘉麒<sup>2)</sup> 刘东生<sup>2)</sup>

(1) 北京大学地质系; 2) 中国科学院地质地球物理研究所, 北京)

摘 要 利用细颗粒热释光技术对陇西黄土高原会宁黄土剖面末次间冰期以来黄土、古土壤的 8 个样品进行了年龄测定,并在此基础上分别利用线性内插和多项式回归方法建立了会宁剖面 深度一年代时间模式,以2种模式计算的 S0/L1、L1/S1、S1/L2 界线年龄与SPECMAP 深海氧同 位素 1/2、4/5、5/6 阶段的界线年龄可较好对比,这为末次间冰期以来会宁地区古气候演化的深 入研究提供了基本时间框架。

关键词 会宁黄土剖面 热释光 时间模式 末次间冰期

会宁黄土剖面位于甘肃省会宁县境内,陇西黄土高原北部,由于其黄土堆积速率高而 成为近年来典型的黄土高分辨率剖面。丁仲礼等<sup>[1]</sup>系统地分析了会宁剖面粒度、磁化率气 候替代指标,获取了末次间冰期以来高分辨率的古气候曲线,证实了在中国黄土中也记录了 千年尺度的气候不规则变化。但是,剖面缺乏系统的测年,而以建立在轨道调谐方法<sup>[2,3]</sup>基 础上的古气候时间标尺去反演非轨道变化的短尺度气候事件,无论在理论上,还是在实际应 用中都将遇到困难,并可能导致错误的结果,这极大地限制了对古气候的深入研究及与国际 上其他古气候记录的对比。为此,我们开展了会宁黄土剖面的热释光(TL)测年,试图提供 会宁剖面末次间冰期以来较为准确的时间框架,确定重要的地层界线年龄,为高分辨率气候 变化的时间序列分析打下基础。

# 1 地层及样品采集

会宁剖面位于甘肃省会宁县李家塬,距腾格里沙漠南缘百余公里。该区现代年平均温度为7<sup>°C</sup>左右,年降水量在 300 mm 左右,属大陆性干旱或半干旱气候。会宁黄土剖面末次间冰期以来的黄土地层序列厚 24.2 m,可以划分为 S0、L1-1、L1-2、L1-3、L1-4、L1-5、S1-1、S1-2、S1-3、S1-4和 S1-5 共 11 个土壤地层单位(图 1)。

S0 厚约 2.8 m, 呈明显的灰褐色, 含有丰富的有机质和少量的次生碳酸盐假菌丝体, 根 孔发育, 多孔隙, 土壤结构不明显。

L1 厚度约 15 m, 可分为 5 层, 呈浅灰黄色, 粒粗, 局部层位有白色的石膏结核和蜗牛化石, 其中 L1-2、L1-4 与上下黄土层仅在色泽上有细微区别, 呈浅灰红色, 是发育程度较低的古土壤层。

S1 古土壤厚约 6.4 m, 发育程度比 S0 高, 可分为 S1-1、S1-3、S1-5 3 层古土壤和 S1-2、

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金重大资助项目(49291100-01)

<sup>(</sup>C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House, All rights reserved. http://w



#### 图 1 会宁黄土剖面及其热释光样品 采样位置示意图

Fig. 1 Lithology, location of the TL sampling of the Huining loess section

S1-4 两层风化较强的黄土层。S1-5 古土壤发育最好, 土壤致密,呈团粒状,粘粒含量高;S1-2 和 S1-4 的黄 土层中夹有石膏结核;S1-1 和 S1-3 两层古土壤界限 不清楚。

总的来说,会宁剖面沉积厚度大,黄土古土壤层 序完整,是黄土高原西部末次间冰期以来的典型剖 面,具有代表性。

测样在采集时, 刮去了长期见光的表层土, 成块 3 挖取下面的黄土、古土壤, 装入小铝盒中盖紧, 以防阳 5 光晒退及水分的丢失, 样品采集位置见图 1。

## 2 热释光实验

#### 2.1 测样的制备

测样的制备采用了细粒法<sup>[4]</sup>。 取约 200 g 样品, 在暗室(红灯)中去掉表层部分, 然后粉碎、过筛(180 目), 先选取小于 180 目的粉末样品约 20 g, 供测定 U、Th和K的含量; 其余的先用 30%的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 去除有 机质, 再用 50%HCl 处理去除 CaCO<sub>3</sub>, 而后用蒸馏水 反复冲洗, 直至中性为止; 应用静水沉降法分离出 4 ~ 11 $\mu$ m 粒组, 在烘箱中低温烘干(小于 60 °C); 此后, 用丙酮溶液将其均匀沉淀在直径 1 cm 的圆铝片上制 成测样, 每个测片上测样含量在 1 mg 之间, 每个样品

制备 30 个测片。

#### 2.2 等效剂量的测定

等效剂量(ED)也称"古剂量",指矿物晶体沉积后积累热释光强度所吸收的环境电离辐射剂量。前人对黄土热释光的研究表明<sup>[5]</sup>,应用残留热释光法或再生热释光法较可靠。本实验采用残留热释光法<sup>4</sup>。测量时,6个测片作天然热释光测量(N),6个测片作天然的加β剂量诱发的热释光测量(N+ $\beta$ *i*),6个测片作天然的加α剂量诱发的热释光测量(N+ $\beta$ *i*),6个测片作天然的加α剂量诱发的热释光测量(N+ $\beta$ *i*),6个测片作天然经太阳灯晒退的热释光剂量(N+S)。人工加β<sub>4</sub>α的剂量值是根据样品的野外估计年龄得出,一般要保证最大的人工β剂量大于或等于估计等效剂量的3倍。各个测片的热释光测定均在 Daybreak TL System 中进行,测片在高纯氮气环境中从室温加热到 500 °C,加热升温速率 10 °C's,微机自动处理数据,样品的典型热释光曲线如图 2a 所示。测得测片热释光值后,对同一样品的各测片及相应表面样的各测片热释光测定值均进行剂量标准化,用剂量标准化后的热释光测定值建立热释光生长曲线,并由此确定 Id 的等效剂量(ED)值(图 2b)。

在发光温度 200~450 <sup>°</sup><sup>©</sup>范围内, 各个样品都每隔 10 <sup>°</sup><sup>©</sup>测定了 ED 的值, 所测样品都出 现了较宽的等效剂量"坪", 典型的见图 2c。这表明在此温度范围内样品的热释光敏感性不 因β.照射和加热过程而变化, 也反映了表面样的热释光敏感性与样品相同。

tp://w



图 2 会宁黄土剖面样品 TL21 热释光实验曲线图 Fig. 2 Drawings for TL experiment from sample TL21 of the Huining loess section

#### 2.3 环境辐射剂量率的测定

黄土和古土壤基本为厚层状的均质体,因而黄土中矿物晶体接收的环境辐射剂量主要 来自周围土体的 U、Th 和 K 等放射性核素蜕变产生的  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  辐射。根据 A tiken<sup>[7]</sup> 提供的 土体中 U<sub>4</sub>-Th 和 K 含量与环境辐射剂量率的关系,就可以计算样品的环境辐射剂量率。其 中,利用中子活化分析测量了铀和钍含量,用原子吸收光谱法测量了钾的含量,宇宙射线对剂量率的贡献是根据 Presott<sup>[8]</sup>的研究结果做了估计,约为 0.15 Gy/ka,另外,每个样品都作 了含水量的测定,并根据含水量对剂量率作了修正。上述各项测量结果均列于表 1。

表 1 会宁剖面热释光测年及放射性分析结果汇总表 Table 1 Thermoluminescence result from the fine grain and radioactivity data for the Huining section

编号	<u>深度</u> m	<u>含水量</u> %	$\frac{U}{10^{-6}}$	$\frac{Th}{10^{-6}}$	$\frac{w(\mathbf{K}_2\mathbf{O})}{\frac{9}{0}}$	<u>环境剂量率</u> Gy∕ka	<u>古剂量</u> Gy	<u>坪区间</u> ℃	<u>年龄</u> <sub>ka</sub>
TL1	1.95	15	2.37	9.9	2.41	5.38±0.29	37.9±3.0	280-330	7.05 $\pm$ 0.62
TL3	3.52	14	2.78	11.0	2.36	6.03 $\pm$ 0.31	69.9±6.5	$280 \simeq 330$	$11.60 \pm 1.23$
TL13	12.52	7	2.62	12.0	1.88	6.34±0.46	254.5±9.4	$280 \simeq 330$	40.18±3.27
TL15	14.52	4	2.50	9.9	1.82	$6.60\!\pm\!0.42$	372.7±10.6	$300 \sim 350$	61.08±4.54
TL19	18.52	6	2.85	10.8	2.28	$6.68 \pm 0.46$	535.8±13.3	$300 \sim 350$	$80.22 \pm 5.89$
TL21	20.52	11	2.60	10.1	2.46	6.17±0.41	600.2±36.4	330~380	92.29±8.75
TL24	23.20	13	3.00	10.7	2.31	7.24 $\pm$ 0.40	681.7±4.1	$300 \sim 350$	103.5 $\pm$ 6.87
TL25	24.10	15	2.68	10.0	2.47	5.63±0.28	749.7±28.0	300~350	121.2±6.12





# 3 测年结果与时间序列

会宁剖面 8 个样品的热释光 测年结果列于表1中。根据这些 数据,我们建立了末次间冰期以来 会宁剖面的时间序列.图3给出了 2种年代-深度模式,一种为在实 测点间以恒定沉积速率进行线性 内插,从图3各实测年龄点间沉积 速率可看出整个剖面沉积速率高. 而且末次冰期高于末次间冰期,以 此计算的 S0/L1、L1/S1、S1/L2 界 线年龄分别约为9.9 ka、76 ka、136 ka; 另一种是利用 4 次多项式回归 方程, 计算的 S0/L1、L1/S1 界线 年龄分别约为 9.8 ka、74 ka, 而 S1/L2 界线年龄在拟合曲线之外, 尚难以准确给出。在过去的研究 中,黄土地层序列的年代一般和深 海0 同位素记录的年代可以对  $\mathbb{H}^{[9]}$ , S0 对应于深海 O 同位素 1

阶段, L1 对应于 2、3 和 4 阶段, S1 对应于深海 O 同位素 5 阶段。可以看出, 上述 2 种年代 模式所得的会宁剖面 S0/L1、L1/S1、S1/L2的界线年龄与 SPEGMAP 深海 O 同位素 1/2、4/ 5、5/6 阶段的界线年龄<sup>[3]</sup> 在误差范围内基本一致,因而,可以认为这 2 种年代模式都是可行的。不过,由于每一个热释光年龄点误差范围较大,线性内插的方法带来的误差也较大,而 多项式拟合方法则可能误差相对小一些。

## 4 结论与讨论

会宁黄土剖面热释光测定给出的年龄结果,我们认为是可靠的,可由下列几方面来说 明:①测定的等效剂量(ED)值取自"坪"区间,保证了等效剂量(ED)值的可靠;②所有年龄 值未出现地层层序颠倒,年龄误差在 10%以下;③以此年龄为基础计算的 S0/L1、L1/S1、 S1/L2 的界线年龄与 SPECMAP 深海 O 同位素 1/2、4/5、5/6 阶段的界线年龄<sup>3</sup>在误差范 围内基本一致;④从已发表的黄土热释光测定结果汇总<sup>[10]</sup>来看,S0/L1、L1/S1、S1/L2 界线 年龄约为 10~11 ka、68~88 ka 和 110~140 ka,相比较,会宁剖面的这些界线年龄也在这个 范围之内。

会宁黄土剖面时间序列提供了末次间冰期以来会宁地区古气候演化的基本时间框架, 以古土壤发育为主的末次间冰期(S1)开始于 136 ka,以黄土堆积为主的末次冰期(L1)始于 76 ka 左右,在 9.5 ka 左右,进入了古土壤发育的冰后期(S0)。

热释光实验在北京大学考古系热释光实验室完成。北京大学陈铁梅教授、国家地震局 地质研究所卢演俦、聂高众研究员给予了指导,并得到了杨全、刘爱国、胡碧茹的大力帮助, 中国科学院地质地球物理研究所任建璋提供了样品,在此一并致谢。

#### 参考文献

- 1 丁仲礼,任建璋,刘东生等.晚更新世季风一沙漠系统千年尺度的不规则变化及其机制问题.中国科学(D辑), 1996,26(5):385~391.
- 2 Berger A, Loutre M F. Insolation value for the climate of the last 10 million years. Quaternary Science Reviews, 1991, 10: 297~317.
- 3 Imbrie J, Hays J D, Martinson D G et al. In Milankovtch and climate, Part 1 (eds. Berger A et al), Dordrecht. Netherland: Reidel Publishing, 1984, 269~305.
- 4 Zimmerman D W. Thermoluminesence dating using fine grain from pottery. Archaeometry, 1971, 13: 29~52.
- 5 Lu Y C, Zhang J Z, Xie J. Thermoluminesence dating techniques from loess and sand dunes. In Loess, Environment and Global Change (ed Liu T S) Beijing. Science Press, 132~141.
- 6 Singhvi A K, Shama Y P, Agrawal D P. Thermoluminescence dating of sand dunes in Rajasthan, India. Nature, 1982, 295; 313~315.
- 7 Atiken M J. Thermoluminescence dating. London: Academic press, 1985.
- 8 Prescott J R, Stephan L G. The contribution of cosmic radiation to the environmental dose for thermoluminesent dating, latitude, attitude and depth dependences. Council of Europe Journal PACT, 1982, 6: 17~25.
- 9 刘东生等. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985.
- 10 聂高众,刘嘉麒,郭正堂. 渭南黄土剖面十五万年以来的主要地层界线和气候事件——年代学方面的证据. 第四纪 研究, 1996, 3: 222~231.

# Thermoluminescence Dating of the Late Quaternary Loess Sequence along the Huining Section

Wang Wenyuan<sup>1, 2)</sup> Pan Mao<sup>1)</sup> Liu Jiaqi<sup>2)</sup> Liu Dongsheng<sup>2)</sup>

(1) Department of Geology, Peking University, Beijing;2) Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing)

**Abstract** Eight loess and paleosol samples collected from the strata along the Huining section in Shanxi Province were dated by means of the fine—grain TL technique. On the basis of the TL results obtained from this section, two methods were applied to develop the timescales for the Late Quaternary Huining section. The first age model was established by polynomial regression, whereas the second age model used TL age controls interpolated by a sedimentation rate. The ages of S0/L1, L1/S1 and S1/L2 stratigraphic boundary from the two age/depth models for the Huining section are generally consistent with the ages of 1/2, 4/5 and 5/6 stage boundary of the deep—sea oxygen isotopes in the SPECMAP curve.

Key words Huining loess section TL timescales Late Quaternary

# 《西部地区资源环境与可持续发展研讨会 暨全国水文地质学术研讨会》召开

由中国地质学会主办,新疆、甘肃、青海、宁夏和陕西等西北地区各省、自治区地质学会 及水文专业委员会协办的《西部地区资源环境与可持续发展研讨会暨全国水文地质学术研 讨会》于 10 月 11 ~13 日在新疆乌鲁木齐市胜利召开。参加本次会议的领导、专家及各地质 学会代表共 100 余人。会议期间,共征集论文 100 余篇,交流的论文共计 40 余篇。

会议就西部地区特别是西北地区的矿产资源、水资源、生态环境、地质灾害与区域经济 可持续性发展等方面进行了广泛的研讨,交流了近年来西部地区地质科技工作的主要成果, 同时对今后的工作提出了以下 5 项建议:

(1) 加大西部地区工作经费的投入,尤其是当前地质大调查要向西部地区倾斜。

(2) 改变传统的能源采集方式,采用洁净能源技术保护生态环境。

(3) 改变不合理的开垦和传统的耕作方式,限制在高山和陡坡耕作,减少水土流失。

(4)因地制宜、合理利用水资源,修建必要的水利工程,改变水资源分布不合理的状况。

(5)中国地质学会西部工作委员会应立足于我国西部地区资源(包括矿产资源、水资源、 土地资源)、环境灾害和生态领域。