

文章编号: 1006-6616 (2003) 04-0337-06

黄土地层精确时间标尺的建立 ——以三门峡黄土地层研究为例

赵志中^{1,2}, 王书兵², 蒋复初^{2,3}, 吴锡浩^{2,4}, 肖华国²

田国强², 刘 莉², 薛 滨³, 王苏民^{3,4}

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

3. 中国科学院湖泊沉积与环境开放研究实验室, 南京 210008;

4. 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

摘 要: 厚度 153m 的曹村剖面出露了厚 145m 的完整黄土地层, 为 L_1-L_{33} 的连续风尘沉积, 为黄土高原东南部三门峡地区黄土地层的代表。建立曹村黄土地层的精确时间标尺, 不仅能在千年时间尺度下探讨黄土高原古季风变迁, 而且着眼于全球古气候变化开展海陆对比研究。本文对现有的 4 种时间标尺模式进行了介绍, 应用磁化率模式和粒度模式开展了三门峡黄土时间标尺研究, 并进行了校验, 说明了几种模式建立曹村黄土时间标尺的可行性。

关键词: 三门峡; 黄土; 年龄模式; 时间标尺

中图分类号: P534.63

文献标识码: A

曹村黄土古土壤剖面详细记录了近 3.0Ma 以来古气候变化^[1], 近 2.6Ma 来的黄土—古土壤层序反映了明显的古季风气候环境^[2]。曹村剖面为流水冲沟切开的天然露头, 剖面总厚度 153m, 底部出露上新世红粘土, 上部发育有 33 个黄土层和 32 个古土壤层, 剖面自上而下分别为: 0~1.5m 为部分马兰黄土 L_1 ; 1.5~87.55m 为离石黄土 (S_1-L_{15}); 87.55~145m 为午城黄土 ($S_{15}-L_{33}$); 145~153m 为红粘土层。曹村剖面的古季风变迁研究为黄土高原古季风研究提供了一个理想地点, 因此建立曹村黄土剖面的高分辨率年代地层时间标尺是一件十分重要的工作。黄土地层时间标尺的建立是黄土地层学研究的一个重要方面, 是黄土古气候变化研究的基础。只有建立了相应的时间标尺, 能够在统一的精确时间尺度下来分析气候变化的规律及其变化的机制, 进行海陆对比, 进而开展全球古气候对比研究。

收稿日期: 2003-06-06

基金项目: 国土资源部 2002 年自由探索项目 (编号: 2002402)

作者简介: 赵志中 (1966-), 男, 研究员, 主要从事第四纪地质与环境研究. E-mail: zhaozz@cags.net.cn

1 建立黄土时间标尺的方法

1.1 堆积量模式

刘东生等建立了堆积量计算年龄的方法^[1]。该方法以磁性地层界限年龄和黑垆土¹⁴C年龄为基础,参考其他测年数据。首先进行黄土天然容重的测定,再用加权平均方法获得古地磁极性变化界限间地层的粉尘堆积量,在此基础上计算出各黄土层和古土壤层堆积量所占持续时间。由于黄土与古土壤堆积速率的不同,堆积量模式给出的各黄土层和古土壤层的年龄偏差较大,在磁性界限区间的每个黄土-古土壤组合的堆积速率相同的假设下,堆积量模式可计算每一个黄土古土壤组合年龄值。堆积量模式是早期开展黄土地层时间标尺建立研究的较好办法,计算出了一个黄土古土壤组合年龄段。但是如刘东生先生所述“堆积量方法是一种优于深度计算年龄法,它并不能真实无误地反映黄土、古土壤占有的时间长度,黄土与古土壤的不同不仅表现在堆积速率差异上,也取决于古气候环境的影响,而且有粉尘堆积间断的可能影响”。

1.2 磁化率年龄模式

G. Kukla等研究认为磁化率只是大致测定黄土地层中铁磁性矿物浓度,地层的磁化率主要由宇宙物质和火山喷发尘埃贡献的,每一层的厚度与磁化率之乘积与时间是成比例的,在古地磁极性转换界面间进行内插,获得的系数用来计算每个层位的绝对年龄,磁化率年龄模式采用下列方程计算^[4]

$$T_m = T_1 + \left(\sum_{i=1}^m a_i s_i \right) (T_2 - T_1) \left(\sum_{i=1}^n a_i s_i \right)^{-1}$$

其中, T_m 是待测的某层位的年龄; T_1 是已标定的较年轻的年龄; T_2 是已标定的较老的 n 层的年龄,为序列中最老的层位模式; a 是每一磁化率测值的厚度间隔; s 是磁化率值。磁化率时间系列与深海氧同位素记录有良好的可比性^[4],该方法得到了较普遍应用^[5-9]。

1.3 轨道调谐法

丁仲礼等以古气候记录周期性研究为基础建立了轨道调谐法,在周期分析基础上用理论计算值来“测定”沉积物所记录的古气候事件^[10]。第一步建立黄土地层的气候曲线,如粒度曲线;第二步选择目标曲线,将初始时间标尺调整到最终时间标尺的标准;第三步确定相位差,不同气候周期所具有的滞后时间不一致,现采用 Hays 等的估计值^[11];第四步确定年龄控制点,地层中独立的年龄控制点主要来源于古地磁极性柱;第五步在年龄控制点间通过厚度内插法获得初始时间标尺;最后通过一定数学处理方法完成气候曲线的峰谷与目标曲线上的峰谷相匹配,而获得时间标尺^[10]。

1.4 粒度年龄模式

安芷生和 Porter S. C. 认为一定厚度或质量风尘沉积所需的时间与它的某种纯冬季风粒度指标或质量成反比,从而据风尘沉积的时间与冬季风粒度指标的相关性建立了粒度年龄模式^[12,13]。其年龄模式为:

$$T_m = T_1 + (T_2 - T_1) \left(\sum_{i=1}^m a_i / GS_i \right) \left(\sum_{i=1}^n a_i / GS_i \right)^{-1}$$

式中 T_m 为 $i = m$ 样号的底界年龄; T_1 为 $i = 1$ 样号的已知顶界年龄; T_2 为 $i = n$ 样号的已知底界年龄; a_i 为 i 样号的厚度; GS_i 为 i 样号的某种粒度值。安芷生等应用厚度粒度年龄模

式成功地建立了洛川剖面末次冰期马兰黄土的高分辨率年代地层时间标尺^[13]。

2 三门峡黄土地层时间标尺

曹村黄土剖面极性带包括布容正极性带(B)、松山反向极性带(M)、高斯正向极性带(G), B/M界线位于49.8m处, L_8 底部以上20cm, M/G界线位于144.8m处, 黄土与红粘土界线上20cm。曹村剖面有明显的贾拉米罗正极性亚带(Jaramillo)和奥尔都维正极性亚带(Olduvai)显示, J事件位于 S_{11} 顶— S_{15} 底, O事件位于 L_{23} — L_{26} 。依据古地磁极性带(亚带)转换年龄^[14]和氧同位素界限日历年龄的标定点^[15], 我们选择了下列时间控制点: L_1 底部为73.9kaBP, L_4 下部的B/M界线为780kaBP, 贾拉米罗事件顶界在 S_{11} 上部为990kaBP, 贾拉米罗事件底界在 S_{12} 下部为1070kaBP, 奥尔都维事件顶界在 L_{23} 中部为1770kaBP, 奥尔都维事件底界在 L_{26} 中上部为1950kaBP, M/G界线在 L_{33} 下部为2581kaBP^[14, 15]。我们应用粒度年龄模式和磁化率年龄模式建立了三门峡黄土地层的时间标尺。在对三门峡地区曹村黄土剖面粒度资料全面分析后, $>30\mu\text{m}$ 粒度组分可作为冬季风代用指标, 采用上述粒度年龄模式对曹村黄土地层进行了计算, 得出了 S_1 — L_{33} 各层的界限年龄(表1)。应用磁化率年龄模式计算出曹村黄土地层的时间标尺, 扣除碳酸盐的磁化率为校正磁化率, 同时还建立了校正磁化率模式的时间标尺(表1)。表1中S代表不同古土壤层位, gs模式即粒度年龄模式, sus1模式即磁化率年龄模式, sus2模式即校正磁化率年龄模式。通过不同模式年龄与厚度变化关系图(图1), 清楚看到黄土时间标尺与厚度变化的关系。我们还对所建立的时间标尺进行了校验, 首先计算贾拉米罗事件和奥尔都维事件顶、底界共四个点的模式年龄, 再与古地磁标定年龄值进行对比, 粒度年龄模式时间标尺平均误差为3.12%, 校正磁化率模式时间标尺平均误差为5.28%, 磁化率模式时间标尺平均误差为5.85%。

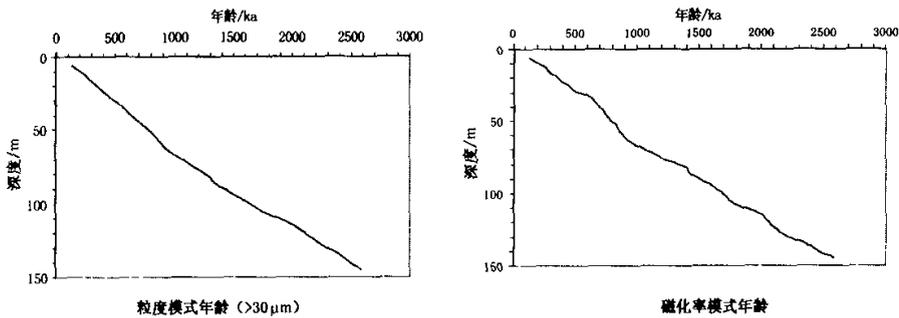


图1 粒度模式年龄和磁化率模式年龄与厚度变化曲线图

Fig.1 Curves of $>30\mu\text{m}$ grain size model and susceptibility model ages vs. thickness

3 结论和讨论

有关黄土地层时代研究, 化石只能提供黄土地层发育的大致年代,¹⁴C和热释光对黄土

表 1 三门峡地区黄土层的时间标尺表

Table 1 Time scale of the loess-paleosol sequence at the Caocun profile in Sammenxia

古土壤 层位	累积 厚度 /m	sus1 模式 年龄 值/ka	sus2 模式 年龄 值/ka	gs 模式 年龄 值/ka	古土壤 层位	累积 厚度 /m	sus1 模式 年龄 值/ka	sus2 模式 年龄 值/ka	gs 模式 年龄 值/ka
S ₁ 底	5.50	129.84	129.84	129.84	S ₁₇ 底	93.85	1588.54	1579.95	1501.10
S ₂ 顶	8.45	169.19	172.98	178.04	S ₁₈ 顶	94.30	1596.51	1589.05	1512.44
S ₂ 底	12.20	252.26	261.39	242.64	S ₁₈ 底	94.90	1609.62	1602.39	1524.38
S ₄ 顶	16.50	298.00	310.07	299.14	S ₁₉ 顶	95.50	1615.80	1609.58	1539.98
S ₃ 底	18.30	341.92	356.10	325.81	S ₁₉ 底	96.40	1629.81	1624.31	1561.60
S ₄ 顶	21.70	378.97	393.45	373.90	S ₂₀ 顶	97.20	1639.16	1634.20	1578.84
S ₄ 底	24.30	437.06	448.49	413.33	S ₂₀ 底	99.10	1679.55	1676.40	1626.09
S ₅ 顶	28.90	499.28	512.43	483.53	S ₂₁ 顶	100.80	1696.71	1695.08	1658.60
S ₅ 底	34.30	641.10	643.16	561.35	S ₂₁ 底	101.75	1714.44	1713.27	1676.99
S ₆ 顶	39.95	687.78	690.56	630.31	S ₂₂ 顶	104.50	1741.55	1741.12	1733.73
S ₆ 底	42.40	719.45	720.82	666.13	S ₂₂ 底	105.55	1763.29	1762.53	1755.26
S ₇ 顶	46.80	754.62	755.31	732.67	S ₂₃ 顶	107.15	1785.07	1785.16	1795.17
S ₇ 底	47.80	766.38	766.31	746.42	S ₂₃ 底	108.35	1821.58	1820.69	1828.20
S ₈ 顶	49.90	781.83	781.80	781.41	S ₂₄ 顶	109.50	1851.50	1851.05	1863.24
S ₈ 底	52.35	825.33	825.28	815.83	S ₂₄ 底	110.55	1892.76	1893.11	1896.18
S ₉ 顶	63.25	917.06	918.35	939.09	S ₂₅ 顶	111.25	1910.58	1912.14	1918.44
S ₉ 底	64.75	950.18	950.41	960.35	S ₂₅ 底	112.20	1946.70	1946.73	1946.61
S ₁₀ 顶	65.25	959.10	959.29	967.60	S ₂₆ 顶	112.80	1955.87	1956.40	1960.54
S ₁₀ 底	66.15	978.18	977.74	979.99	S ₂₆ 底	114.90	2001.48	2001.90	2008.76
S ₁₁ 顶	66.75	988.85	988.85	989.10	S ₂₇ 顶	121.80	2073.56	2074.26	2132.49
S ₁₁ 底	69.10	1044.59	1044.58	1041.16	S ₂₇ 底	125.40	2129.16	2129.62	2203.72
S ₁₂ 顶	70.50	1068.79	1068.79	1068.59	S ₂₈ 顶	126.95	2143.50	2144.29	2228.61
S ₁₂ 底	72.70	1136.55	1134.71	1112.08	S ₂₈ 底	128.25	2177.67	2177.73	2254.60
S ₁₃ 顶	77.00	1220.91	1217.29	1194.59	S ₂₉ 顶	129.65	2205.01	2205.76	2282.56
S ₁₃ 底	78.70	1295.78	1287.77	1232.60	S ₂₉ 底	134.00	2338.00	2338.77	2386.24
S ₁₄ 顶	80.35	1336.91	1329.89	1266.49	S ₃₀ 顶	136.20	2381.38	2383.10	2426.80
S ₁₄ 底	82.10	1394.40	1384.24	1298.85	S ₃₀ 底	137.20	2410.69	2411.15	2444.52
S ₁₅ 顶	87.55	1441.13	1430.26	1369.90	S ₃₁ 顶	138.40	2427.66	2428.72	2464.02
S ₁₅ 底	89.15	1485.06	1474.37	1402.86	S ₃₁ 底	139.40	2450.25	2451.19	2481.72
S ₁₆ 顶	89.95	1497.32	1487.00	1418.52	S ₃₂ 顶	141.80	2495.71	2497.31	2526.53
S ₁₆ 底	91.15	1523.24	1513.01	1444.12	S ₃₂ 底	143.40	2562.53	2562.28	2558.37
S ₁₇ 顶	91.60	1530.61	1520.62	1453.03					

定年有所贡献,但只有一定的测年范围,黄土的磁性地层标定了黄土地层形成的大的时段,以上诸种黄土年代工作远达不到高分辨率古气候变化研究的精度要求,由此就产生了上述种种黄土地层的时间标尺模式。上述几种时间标尺模式各有其特点,在建立时间标尺时应了解所选模式的建立基础和适用范围,而且要对所建时间标尺进行检验以提高其精度。应用磁化率模式和粒度年龄模式,建立了三门峡黄土古土壤地层的精确时间标尺,使得深入开展黄土高原古季风研究和海陆对比研究成为可能。由此可见黄土地层时间标尺的建立是一件十分重要而基础的工作。

参 考 文 献

- [1] 肖华国, 蒋复初, 吴锡浩, 等. 三门峡地区的黄土地层 [A]. 黄土黄河黄河文化 [C]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997. 1~7.
- [2] 赵志中, 吴锡浩, 蒋复初, 等. 三门峡地区黄土与古季风 [J]. 地质力学学报, 2000, 6 (4): 19~26.
- [3] 刘东生, 等. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985. 107~109, 323~328.
- [4] 库克拉, 安芷生, 刘东生. 中国中部黄土地层学 [A]. 黄土·第四纪地质·全球变化第二集 [C]. 北京: 科学出版社, 1990. 115~133.
- [5] Kukla G., Heller F., Liu X. M., T. C., Liu T. S., An, Z. S. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility [J]. *Geology*, 1988, 16, 811~814.
- [6] Kukla G. Loess stratigraphy in Central China [J]. *Quaternary Science Review*, 1987, 6, 191~219.
- [7] Hovan S. A., Rea D. K., Pisias N. G. and Shackleton N. J. A Direct link between the China Loess and Marine $\delta^{18}O$ Records: Eolian Flux to the North Pacific [J]. *Nature*, 1989, 340, 296~298.
- [8] An Zhisheng, Kukla G., Porter S. C., Xiao Jule. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of Central China during the last 130000 years [J]. *Quaternary Research*, 1991, 36, 29~36.
- [9] Kukla G., An Z. S., Melice J. L., Gavin J., Xiao J. L. Magnetic susceptibility record of Chinese loess [J]. *Transaction of the Royal Society Edinburgh*, 1990, 81, 263~288.
- [10] 丁仲礼, 余志伟, 刘东生. 中国黄土研究新进展 (三) 时间标尺 [J]. 第四纪研究, 1991 (4): 336~341.
- [11] Hays J. D., Imbrie J., Shackleton N. J. Variations in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages [J]. *Science*, 1976, 194, 1121~1132.
- [12] An Z S, Liu D S, Lu Y C, et al. The long-term paleomonsoon variation recorded by the loess-paleosol sequence in central China [J]. *Quaternary International*, 1990, 7/8: 91~95.
- [13] Porter S C, An Zhisheng. Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last glaciation [J]. *Nature*, 1995, 375: 305~308.
- [14] Cande S C, Kent D V, Revised geomagnetic polarity time scale for the late Cretaceous and Cenozoic [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100 (B4): 6093~6095.
- [15] Martinson D G, Pisias N G, Hays J D, et al. Age dating and the orbital theory of the Ice Ages: Development of a high-resolution 0 to 300000-year chronostratigraphy [J]. *Quaternary Research*, 1987, (27): 1~29.

TIME SCALE OF LOESS IN THE SANMENXIA AREA

ZHAO Zhi-zhong^{1,2}, WANG Shu-bing², JIANG Fu-chu^{2,3}, WU Xi-hao^{2,4}
XIAO Hua-guo², TIAN Guo-qiang², LIU Ke², XUE Bing³, WANG Su-min^{3,4}

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083;*

2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081;*

3. *Open Laboratory of Lake Sediment and Environment, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;*

4. *State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710054*)

Abstract: The 153 m thick Caocun loess profile at Zhangbian Township located at the southeast margin of the Loess Plateau is typical of the Sanmenxia area. In the profile there occurs a complete, 145 m thick loess-paleosol sequence consisting of continuous dust deposits from L₁ to L₃₃ 145 m thick. The establishment of an accurate time scale of the Caocun loess sequence is important not only for the study of millennial-scale paleomonsoonal change on the Loess plateau but also for the correlation of global paleoclimate changes between land and sea. In this paper four available time scale models are introduced and the time scale of loess in Sanmenxia is studied using the susceptibility model and grain-size model and checked. It is feasible to establish the time scale of the Caocun loess using several models.

Key words: Sanmenxia; loess; age model; time scale

* Deceased.