

对黄土磁化率、粒度年龄模型的检验(自检)

陈一萌^{1,2}, 陈兴盛³, 宫辉力¹, 李小娟¹, 魏明建¹

(1. 首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室和资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100037;
2. 广东省惠州市惠州学院经济管理系, 惠州 516007; 3. 新疆哈密石油基地地球物理研究所处理室, 哈密 839009)

摘要: 利用临夏塬堡剖面高分辨率的黄土记录, 将研究剖面土壤地层界线, 即剖面 2.3m 处的 MIS1/2 的分界线年龄 11.5KaBP、剖面 21.4m 处的 MIS3/4 的分界线年龄 59.8KaBP 组成三种节点控制年龄模式, 分界线年龄的获得依据南京葫芦洞石笋气候事件年龄确定, 即模式 1: 0KaBP ~ 59.8KaBP; 模式 2: 0KaBP ~ 11.5KaBP 和 11.5KaBP ~ 59.8KaBP; 模式 3: 11.5KaBP ~ 59.8KaBP。运用磁化率年龄模型和粒度年龄模型分别计算研究剖面各个层位的地层沉积时间, 结合剖面岩性和气候阶段对相同层位的计算年龄对比分析后发现: 磁化率年龄模型和粒度年龄模型均存在缺陷, 但以模式 2 作为节点控制年龄时, 即在冰期或间冰期内选取合适的节点控制年龄, 利用磁化率年龄模型或粒度年龄模型高分辨率确定的地层沉积时间与地层实际的沉积时间较接近, 且在冰期或间冰期内节点控制年龄越多确定的地层沉积时间越趋近实际沉积时间。

关键词: 检验(自检); 磁化率年龄模型; 粒度年龄模型

文章编号: 1000-0585(2006)03-0415-06

厚层的黄土沉积作为记录古气候变化的理想地质载体已有众多的学者进行过深入的研究^[1~4], 随着古气候研究的不断深入, 高分辨率的古气候研究日显重要^[5~7], 而高分辨率的古气候研究需高分辨率的定年与之相匹配。关于定年通常是在野外采取分析测试样品, 在室内进行测定而获得。实际上, 由于测年材料、测年方法和精度等方面的限制, 研究剖面精确系统的高分辨率定年通常是不可能实现的。于是, 一些转换时间标尺的高分辨率定年模型相继被提出, Kukla 等^[8]建立了“磁化率年龄模型”、Porter 等^[9]建立了“粒度年龄模型”, 在此基础上, 一些学者进行了修正和改进, 但没有实质性的突破^[10~13]。

丁仲礼等^[14]以粒度变化为基础, 通过地球轨道变化周期调谐所得到的时间标尺, 因其有别与前两种年龄模型, 本文不作讨论。此后, 众多的学者利用“磁化率年龄模型”和“粒度年龄模型”高分辨率确定地层的沉积时间, 并在国际国内发表了大量高水平的文章^[8,9,15], 但鉴于二年龄模型的立论依据与诸多科学事实存在出入^[16,17], 令人对年龄模型的真实可靠性产生怀疑, 亦即对利用二年龄模型高分辨率确定的沉积时间是否与地层沉积的实际时间相一致产生疑问。本文拟针对此问题, 选用适当的节点控制年龄对二年龄模型的真实可靠性进行检验并确定其适宜的使用范围, 此项工作目前在国内外并未见报道, 此工作的开展可减少利用二年龄模型进行高分辨率定年的盲目性, 使后续的学者能根据研究的需要选择合适的定年模型并较准确地运用它。

收稿日期: 2005-10-20; 修订日期: 2006-02-03

基金项目: 科学技术部重大国际合作项目(2002CB714004); 国家杰出青年基金项目(NSFC40125001)

作者简介: 陈一萌(1967-), 女, 甘肃武威人, 博士后, 助研。主要从事第四纪环境变化研究。

E-mail: ymchen@hzu.edu.cn

1 剖面概述及研究方法

1.1 剖面概述

研究剖面位于中国黄土高原西部,北邻腾格里沙漠,西接青藏高原东北缘,处于黄河支流大夏河四级阶地上,是甘肃省临夏市塬堡村旁(103°09′06″E, 35°38′38″N)一很好的天然露头(图1)。剖面厚25.7m,其中,全新世(S_0)古土壤层厚2.3m,末次冰期中晚期黄土沉积厚约23.4m。整个剖面(MIS3以来)沉积连续无间断,是黄土高原西部区具有一定代表性的剖面。

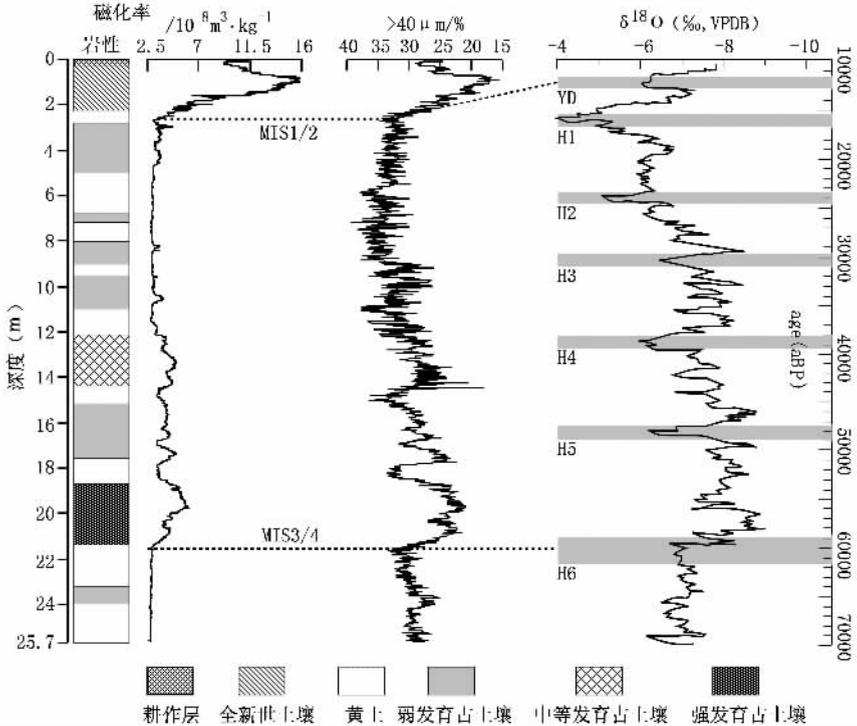


图1 塬堡剖面、MIS1/2和MIS3/4土壤地层界线年龄获取

Fig. 1 Boundary ages of MIS1/2 and MIS3/4 in Yuanbao section

1.2 分析测试方法

该剖面自上而下以2cm间隔采样。磁化率由英国Bartington公司生产的MS2型磁化率仪测定;粒度用英国Malvern Instrument公司生产的Mastersize2000激光粒度仪测定,测试的粒度范围为0.02~2000 μm ,实验误差小于5%。上述二代用指标的测量方法见文献[18],二代用指标在兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室测试完成。

1.3 节点控制年龄的确定

在对“磁化率年龄模型”和“粒度年龄模型”进行检验时,节点控制年龄的选择非常重要,本文节点控制年龄选择的依据是土壤地层界限,即MIS1/2、MIS3/4的分界线年龄。分界线年龄的确定依据南京葫芦洞石笋气候事件年龄确定^[19](图1)。MIS1/2、MIS3/4的界线年龄分别为11.5KaBP(2.3m)、59.8KaBP(21.4m)。为此,利用界线年龄选择组成三种节点年龄控制模式:模式1:0KaBP~59.8KaBP;模式2:0KaBP~

11.5KaBP 和 11.5KaBP~59.8KaBP；模式 3:11.5 KaBP~59.8KaBP 作为节点控制年龄，再利用年龄模型向上或向下依次推得研究剖面顶部或底部的沉积时间。

1.4 磁化率年龄模型、粒度年龄模型公式

$$(1) \text{ 磁化率年龄模型公式: } T_m = T_0 + (T_1 - T_0) \left(\sum_{i=1}^m a_i s_i \right) \left(\sum_{i=1}^n a_i s_i \right)^{-1}$$

式中， T_m 表示所求某一层位 (i) 的年龄， T_0 和 T_1 是二控制点的年龄， n 为两个年龄控制点之间的总层位， m 为所求某一层位年龄以前的总层位， a 为某一层位的厚度， s 为某一层位的质量磁化率值。需说明的是： T_0 和 T_1 可以是剖面中任意点的位置， $T_1 > T_0$ ，即 T_0 代表的是已经标定的较年轻的年龄， T_1 代表的是已经标定的较老的 n 层的年龄。

$$(2) \text{ 粒度年龄模型公式: } T_m = T_0 + (T_1 - T_0) \left(\sum_{i=1}^m A_i^{-1} \right) \left(\sum_{i=1}^n A_i^{-1} \right)^{-1}$$

式中， A_i 是所求某一层位 $>40\mu m$ 的粒度值， T_0 和 T_1 是剖面中二年龄控制， m 是所求某一层位前的所有层位数， n 是二年龄控制点间的所有层位。 $T_1 > T_0$ ，即 T_0 代表的是已经标定的较年轻的年龄， T_1 代表的是已经标定的较老的 n 层的年龄。

1.5 研究方法

分别用三种模式作为节点控制年龄，运用磁化率年龄模型和粒度年龄模型分别计算研究剖面各个层位的地层沉积时间，对利用不同模式作为节点控制年龄运用磁化率和粒度年龄模型计算的相同层位的地层沉积时间进行对比分析，对二年龄模型的可靠性和使用范围做出检验，其计算对比结果见图 2。同时，为使对比结果直观明了，全新世部分以 0.5m 间隔，末次冰期部分以 2m 的间隔挑选利用三种模式计算的相同层位的部分结果列表进行对比分析（表 1）。

表 1 按不同模式据磁化率、粒度年龄模型计算的相同层位年龄间的比较

Tab. 1 Correlation between the same stratum age of calculation based on different susceptibility and grain-size age models

深度 (m)	磁化率年龄模型检验 (KaBP)			粒度年龄模型检验 (KaBP)		
	模式 1	模式 2	模式 3	模式 1	模式 2	模式 3
0	0	0—	0	0	0	0
0.02	0.00	0.00	10.07	0.07	0.09	3.87
0.5	0.09	0.60	10.14	1.54	2.17	5.25
1.0	0.44	2.97	10.42	3.58	5.04	7.13
1.5	1.01	6.77	10.89	5.62	7.91	9.004
2.0	1.49	9.94	11.29	7.28	10.25	10.61
2.3	1.72	11.50	11.50	8.17	11.50	11.50
4.0	2.97	12.55	12.55	12.44	15.55	15.55
6.0	5.02	14.25	14.25	17.21	20.00	20.00
8.0	7.70	16.49	16.49	21.91	24.39	24.39
10.0	11.26	19.44	19.44	26.88	29.04	29.04
12.0	15.76	23.59	23.59	31.94	33.77	33.77
14.0	23.02	29.23	29.23	37.58	39.04	39.04
16.0	31.02	35.87	35.87	43.01	44.12	44.12
18.0	40.07	43.39	43.39	48.86	49.58	49.58
20.0	52.13	53.43	53.43	55.19	55.49	55.49
21.4	59.80	59.80	59.80	59.80	59.80	59.80
22.0	62.38	62.02	62.02	64.45	61.33	61.33
24.0	70.90	69.10	69.10	66.95	66.45	66.45

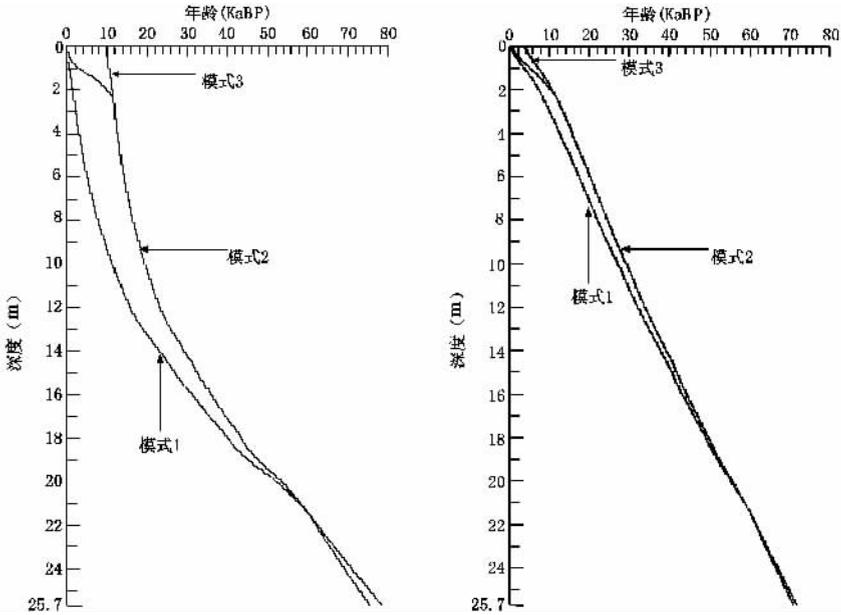


图 2 对黄土磁化率年龄模型、粒度年龄模型的检验

Fig. 2 The test of susceptibility and grain-size age models

2 分析讨论

从图 2、表 1 磁化率年龄模型的检验中可看到：分别用模式 1、模式 2、模式 3 作为节点控制年龄，运用磁化率年龄模型计算的相同层位的地层沉积时间间存在着较大的差异。结合剖面岩性及气候阶段对运用各模式作为节点控制年龄计算的地层沉积时间进行比较分析发现，运用模式 1 作为节点控制年龄，计算的全新世开始的年龄为 1.72KaBP，远小于实际年龄 11.5KaBP，与实际相距甚远；模式 2 作为节点控制年龄，计算的全新世开始的年龄为 11.5KaBP，与实际相等；而运用模式 3 作为节点控制年龄，计算的全新世开始的年龄虽然与实际相同等于 11.5KaBP，但其结束亦即现在的年龄却是 10.0KaBP，与实际不符。只有用模式 2 作为节点控制年龄，运用粒度年龄模型高分辨率确定的地层沉积时间与实际相符。

从图 2、表 1 粒度年龄模型的检验中可看到：分别用模式 1、模式 2、模式 3 作为节点控制年龄，运用粒度年龄模型计算的相同层位的地层沉积时间间同样存在着较大的差异。结合剖面岩性及气候阶段对运用各模式作为节点控制年龄计算的地层沉积时间进行分析发现，运用模式 1 作为节点控制年龄，计算的全新世开始的年龄为 8.17KaBP，小于实际年龄 11.5KaBP，与实际年龄存在差距；模式 2 作为节点控制年龄，计算的全新世开始的年龄为 11.5KaBP，与实际相等；而运用模式 3 作为节点控制年龄，计算的全新世开始的年龄虽然与实际相同等于 11.5KaBP，但其结束亦即现在的年龄却是 3.87KaBP，与实际不符。只有用模式 2 作为节点控制年龄，运用磁化率年龄模型高分辨率确定的地层沉积时间与实际相符。

从上面的对比分析不难发现，无论是磁化率年龄模型还是粒度年龄模型，其节点控制年龄越多，亦即节点控制年龄越临近其确定的地层沉积时间，就越趋近地层实际沉积时间。

3 结论及建议

(1) 磁化率年龄模型和粒度年龄模型均存在缺陷,但在一定程度上均是可靠实用的,尤其是以模式 2 (0KaBP~11.5KaBP 和 11.5KaBP~59.8KaBP) 作为节点控制年龄时,即在冰期或间冰期内选取合适的节点控制年龄,利用磁化率或粒度年龄模型高分辨率确定的地层沉积时间更趋近地层实际的沉积时间,且在冰期或间冰期内节点控制年龄越多确定的地层沉积时间越趋近地层实际沉积时间,二模型在第四纪任何时段均可应用的说法显然与事实有较大出入。

(2) 本文仅仅选取合适的节点控制年龄组成三种不同模式,用磁化率或粒度年龄模型计算的相同层位间的年龄进行对比分析,对磁化率和粒度年龄模型的可靠性和使用范围做出检验性评价,只是对年龄模型自身由于节点控制年龄的不同确定的相同层位的沉积时间的相对可靠性的检验和适用范围的判断,不能据此工作判断二年龄模型的相对精确性。若在研究剖面全新世和末次冰期阶段分别采取若干个目前测试精度较高的 AMS¹⁴C 测年样品或(和)光释光(OSL)测年样品进行分析测试,将测试结果与运用三种模式作为节点控制年龄,分别运用磁化率年龄模型和粒度年龄模型计算的相应层位的计算年龄与实测年龄进行对比分析,对二年龄模型的可靠性和使用范围做出评价将会更具说服力。这是今后我们努力的一个方向。

参考文献:

- [1] Chen F H, Bloemendal J, Wang J M, *et al.* High-resolution multiproxy climate records from Chinese loess: evidence for rapid climatic changes over the last 75kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1997, 130:325~335.
- [2] 李秉成,孙建中. 黄土高原晚更新世的植被与气候环境. *地理研究*, 2004, 23(5):641~648.
- [3] 刘嘉麒,陈铁梅,聂高众,等. 渭南黄土剖面的年龄测定及十五万年来高分辨率时间序列的建立. *第四纪研究*, 1994, (3):193~202.
- [4] 李吉均,朱俊伟,康建成,等. 末次冰期旋回兰州黄土剖面与南极东方站冰岩芯的对比. *中国科学(B)辑*, 1990, 10:1086~1094.
- [5] 葛全胜,何凡能,郑景云,等. 21 世纪中国历史地理学发展思考. *地理研究*, 2004, 23(3):374~384.
- [6] 谭明. 中国高分辨率气候记录与全球变化. *第四纪研究*, 2004, 24(4):455~462.
- [7] 李雪铭,等. 辽南滨海黄土粒度环境信息高分辨率研究. *地理研究*, 2002, 21(2):201~206.
- [8] Kukla G, Heller F, Liu X M, *et al.* Pleistocene climate in China dated by magnetic susceptibility. *Geology*, 1988, 16:811~814.
- [9] Porter S C, An Z S. Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last glaciation. *Nature*, 1999, 375:305~308.
- [10] Vandenberghe Jef, An Zhisheng, Govert Nugteren, *et al.* New absolute time scale for the Quaternary climate in the Chinese Loess region by grain-size analysis. *Geology*, 1997, 125(1):35~38.
- [11] 鹿化煜,安芷生,杨文峰. 洛川黄土序列时间标尺的初步建立. *高校地质学报*, 1996, (2):230~236.
- [12] 鹿化煜,安芷生, Jef Vandenberghe, 等. 洛川黄土定年的一个模式及其初步应用. *沉积学报*, 1997, (3):150~152.
- [13] 刘晓东,鹿化煜,安芷生. 利用黄土沉积速率与粒度的相关性建立黄土序列年龄的新方法. *沉积学报*, 1999, (1):145~148.
- [14] 丁仲礼,余志伟,刘东生. 中国黄土研究新进展(三)时间标尺. *第四纪研究*, 1991, (4):336~347.
- [15] 郭正堂,刘东生,安芷生. 渭南黄土沉积中十五万年来的古土壤及其形成时的古环境. *第四纪研究*, 1994, (3):256~269.

- [16] 刘秀铭,刘东生,Heller,等. 中国黄土磁颗粒分析及其古气候意义. 中国科学(B)辑,1991,(6):639~644.
- [17] 严尧基,吴邦灿,陈达,等编译. 环境磁学. 北京:地质出版社,1995. 1~8.
- [18] Chen F H, Bloemendal J, Feng Z D, *et al.* East Asia monsoon variations during Oxygen Isotope Stage 5: Evidence from the northwest margin of the Chinese Loess Plateau. *Quaternary Science Review*, 1999, 18:1127~1135.
- [19] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, *et al.* A high-resolution absolute-dated late Pleistocene monsoon record from Hulu Cave, China. *Science*, 2001, 294(14):2345~2348.

Test of the susceptibility and grain-size age models of the Chinese loess (self-test)

CHEN Yi-meng^{1, 2}, CHEN Xing-sheng³, GONG Hui-li¹, LI Xiao-juan¹, WEI Ming-jian¹

(1. Key Lab of 3D Information Acquisition and Application, MOE and Key Lab of Resources Environment and GIS of Beijing, The Capital Normal University, Beijing 100037, China;

2. Department of Economics & Management of Huizhou University, Huizhou, Guangdong 516007, China;

3. Institute of Geophysics Hami Petroleum Base of Xinjiang, Hami 839009, China)

Abstract: With the record of high-resolution of the Chinese loess section at Yuanbao in Linxia, boundary age constituted three age models based on the climatic events, namely the boundary age of MIS1/2 at 2.3m is 11.5kaBP and the boundary age of MIS3/4 at 21.4m is 59.8kaBP. The boundary ages were determined in accordance with the latest research results, i. e. the dating of stalagmite in the Nanjing Hulu Cave. Model 1(0kaBP~59.8kaBP), model 2 (0kaBP ~ 11.5kaBP and 11.5kaBP ~ 59.8kaBP) and model 3 (11.5kaBP~59.8kaBP) were used as the nodal-controlled age. With three models being the nodal-controlled ages, the susceptibility age model and grain-size age model were used to calculate the deposition times of the various horizons of the studied section respectively. A comparative analysis was made on the deposition time of the same horizon calculated by different models with the calculated ages. As viewed from the lithologic characters and the climatic stages, the susceptibility and grain-size age models have some shortcomings, but the stratigraphic deposition time calculated by the susceptibility and grain-size models with model 2 as the nodal-controlled age at the glacial period and the interglacial period is more consistent with the real deposition times of the strata. If some more suitable nodal-controlled ages were interpolated into the major climatic stages to determine the stratigraphic deposition time, the age calculated by the model would be more approximated to the actual stratigraphic deposition age. The usage of susceptibility and grain-size age models at Quaternary period was not suitable.

Key words: test(self-test); susceptibility age model; grain-size age model