

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

浸油法测量黄土样品的容重及其意义

孙有斌 安芷生 周杰 卢雪峰

中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安, 710054

内容提要 笔者通过对比实验, 论证了一种新的测量黄土样品容重的方法——浸油法的精确度和稳定性, 并以甘肃灵台剖面为研究对象, 测量了L9以上厚约70 m的风尘黄土-古土壤堆积序列的容重值。结果表明, 古土壤地层单元的容重值要明显高于其上下的黄土层, 其变化范围为 $2.05 \sim 2.18 \text{ g/cm}^3$, 而黄土层的容重值变化范围为 $1.85 \sim 1.98 \text{ g/cm}^3$; L9以上不同层位的黄土和古土壤单元容重值随深度变化不大, 说明受天然压实作用的影响很弱。通过对比容重和磁化率序列, 发现受粉尘源区干燥度、冬季风环流强度和沉降区气候条件综合控制的容重指标, 不仅记录了轨道时间尺度的东亚冬、夏季风的相互交替演化, 而且典型冰期的容重变化可能揭示了更短时间尺度的季风气候变化信息。

关键词 浸油法 黄土 容重

黄土与古土壤样品的容重值主要受控于沉积期的气候状况, 反映了粉尘堆积速率和成壤速率的相互消长关系(安芷生等, 1980)。安芷生等曾根据黄土-古土壤的容重和沉积厚度, 初步估算了更新世不同时期的黄土堆积量及堆积速率, 恢复了晚更新世以来黄土高原的风尘通量变化(刘东生等, 1985; 安芷生等, 1990; An et al., 1991a); 最近肖华国等(1998)初步讨论了容重指标与季风气候变化的关系。早期用环刀法和封蜡排水法测量容重指标的误差和难度都较大, 获得的容重指标分辨率较低、时间序列较短, 其相应的古气候指示意义就很难探讨清楚。笔者首先通过对比实验论证了一种新的测量黄土样品容重的方法——浸油法的简易性和精确度, 并用该方法测量了黄土高原灵台剖面上粉砂层(L9)以上不同黄土-古土壤地层单元的容重值, 将其同指示夏季风强弱变化的磁化率(An et al., 1991b)变化进行了对比, 以期探讨容重指标的古气候指示意义。

1 方法和样品

1.1 测量方法

传统的测量土样容重方法为环刀法和封蜡排水法(肖荣久, 1992), 而土样形状的不规则性及易散性, 为容重样品的加工和测量带来很大的误差和难度。传统方法将天然风干后黄土样品加工成立方体, 其质量和体积之比即为容重(刘东生等, 1985; 肖华国等, 1998), 由于样品的体积可由卡尺直接测得或由封蜡排水间接求得, 但测量时仪器精度和人为因素所造成的系统误差和随机误差, 致使由容重值所反映的古气候高频变化信号的可信度大为降低。

注: 本文为中国科学院资源与生态环境研究重大项目(编号 KZ95-A1-402)和国家自然科学基金项目(编号 49823001)的成果。

本文 1999 年 4 月收到, 10 月改回, 周健编辑。

浸油法测容重的原理是将已知质量($m_{\text{样}}$)的土块快速浸入植物油中,植物油作为有机溶剂,粘度系数较大,故土样在油中不解体且油的渗透较慢,可通过快速称量获得块样在油中的质量($m_{\text{油}}$)。根据阿基米德原理,已知油的密度($\rho_{\text{油}}$),可求得样品的容重值: $DBD = m_{\text{样}} \cdot \rho_{\text{油}} / m_{\text{油}}$ 。为验证该方法测量的精度,在黄土-古土壤序列的5个不同层位(L1、S1、S5、L9、RC即红粘土)取9组样品,每组包含5个形状和质量不同的块样,分别用浸油法和封蜡排水法测量了所有样品的容重。测量结果表明(表1),不同形状和不同质量的样品对容重的测量结果没有影响;测量精度用表征测量值偏离期望值离散程度的标准差来衡量,发现浸油法测量结果的标准差变化范围为0.012~0.035,而封蜡排水法则为0.015~0.046,从表1的标准差值亦可看出浸油法测量结果具有较高的精确度和稳定性。

1.2 样品

本文选择晚新生代黄土高原较完整的风尘堆积序列——灵台剖面(35°04'N, 107°39'E)(孙东怀等,1998),对该剖面L9以上厚约70 m的黄土-古土壤序列进行了20 cm的分辨率及典型冰期黄土(L1、L2、L9)进行了4 cm的加密采样,共采约1000个样品,进行了容重测量。

2 测量结果

表1 两种方法对不同形状和质量的样品容重(g/cm³)

平行测量结果及误差分析

2.1 不同地层单元的容重

通过对灵台剖面S0—L9共18个不同地层单元的容重测量,获得了每一个黄土-古土壤单元的平均容重值(部分结果见表2),其中黄土的容重变化范围为1.85~1.98 g/cm³,而古土壤的容重变化范围为2.05~2.18 g/cm³,其平均值较黄土的约大0.2 g/cm³。容重(y)随深度(x)变化

Table 1 Results and error analysis of dry bulk density (g/cm³) from different mass and shape samples measured by two different methods

方法	浸油法					封蜡排水法			
样品	L1	S1	S5	L9	RC	L1	S1	S5	L9
1	1.95	2.23	2.14	1.76	2.24	1.69	1.86	2.03	1.76
2	1.93	2.22	2.10	1.78	2.24	1.71	1.92	2.00	1.76
3	1.91	2.22	2.12	1.82	2.24	1.77	1.92	2.12	1.79
4	1.93	2.20	2.16	1.81	2.26	1.73	1.91	2.06	1.77
5	1.96	2.23	2.07	1.79	2.22	1.78	1.99	2.07	1.75
平均容重	1.93	2.22	2.12	1.79	2.24	1.74	1.92	2.06	1.77
标准差	0.019	0.012	0.035	0.024	0.014	0.038	0.046	0.045	0.015

线性拟合关系为: $y = 0.0005x + 1.9703$,相关分析表明剖面自上而下容重值的增大趋势并不显著,相关系数为0.14025,说明天然压实作用对L9以上的容重影响可以不计。

表2 灵台剖面不同黄土-古土壤地层单元的平均容重值(g/cm³)

Table 2 Average value of dry bulk density (g/cm³) of different loess-paleosol layers in the Lingtai section

古土壤(样品数)	S0(9)	S1(19)	S2(18)	S3(10)	S4(20)	S5(32)	S6(6)	S7(14)	S8(14)	平均值(142)
容重	2.05	2.07	2.13	2.16	2.18	2.12	2.10	2.03	2.09	2.11
黄土(样品数)	L1(35)	L2(29)	L3(15)	L4(20)	L5(14)	L6(22)	L7(10)	L8(7)	L9(38)	平均值(190)
容重	1.88	1.85	1.88	1.92	1.90	1.89	1.98	1.98	1.92	1.91

注:平均值据20 cm分辨率测量结果求得。

2.2 容重序列与磁化率序列对比

如图1所示,通过对比灵台剖面的容重和磁化率的深度序列,可以看出由磁化率序列所记录的东亚冬、夏季风优势期相互交替与容重指标所反映的粉尘加积期和沉积成壤期具有良好的对应关系,但古土壤层底部容重的增大要比磁化率变化早,具有一定程度的超前性,暗示成壤改造作用造成碳酸盐的淋失和粘粒的向下迁移,致使古土壤底部容重值增大而磁化率信号

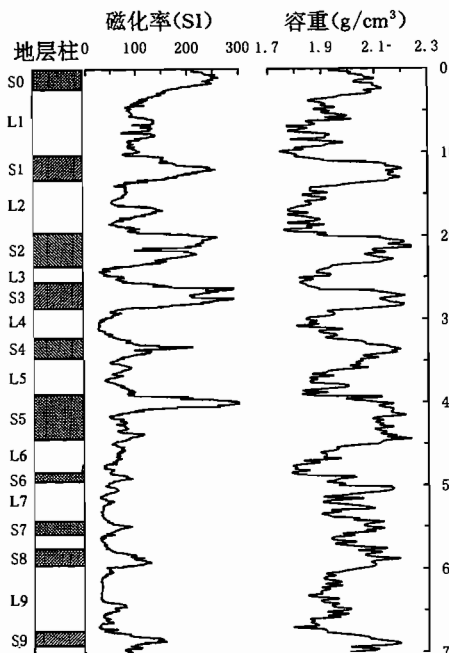


图 1 灵台剖面磁化率和容重序列变化曲线

Fig. 1 Variation of magnetic susceptibility and dry bulk density in the Lingtai section

反而降低。其中 S5 在野外观察为 3 层强发育的古土壤夹两层弱发育古土壤复合而成,第 1 层古土壤的磁化率值显著高于其下的两层古土壤;而容重指标则记录了上、下两层古土壤成壤较强,中间一层相对较弱,但 3 层古土壤的容重变化基本在同一水平上。野外观察 S5 以下的 3 层古土壤成壤也较强,但其磁化率值却显著低于 S5 以后的古土壤层,而容重变化却记录了略低于 S5 以来容重变幅,与野外观测基本一致。

通过对比典型冰期黄土(L1、L2、L9)磁化率所记录的夏季风强弱变化和容重指标所反映的东亚季风尤其是冬季风气候变化的信息(图 2),不难看出在冰期气候条件下,容重序列所存有的明显高频大幅变化的特征,似乎暗示了容重指标更真实地记录了东亚季风气候的高频变率特征。

3 讨论

用浸油法测量土样的容重,由于不需要在野外大量采集块样和加工成立方体,从而大大减小了测量的难度,却提高了测量的速度。通过对比实验,将浸油法和封蜡排水法的测量结果进行对比分析,发现浸油法测量结果的精确度和稳定性普遍高于后者,从而减少了人为因素所产生的随机误差,是一种快速、简易且精确度较高的容重测量方法。

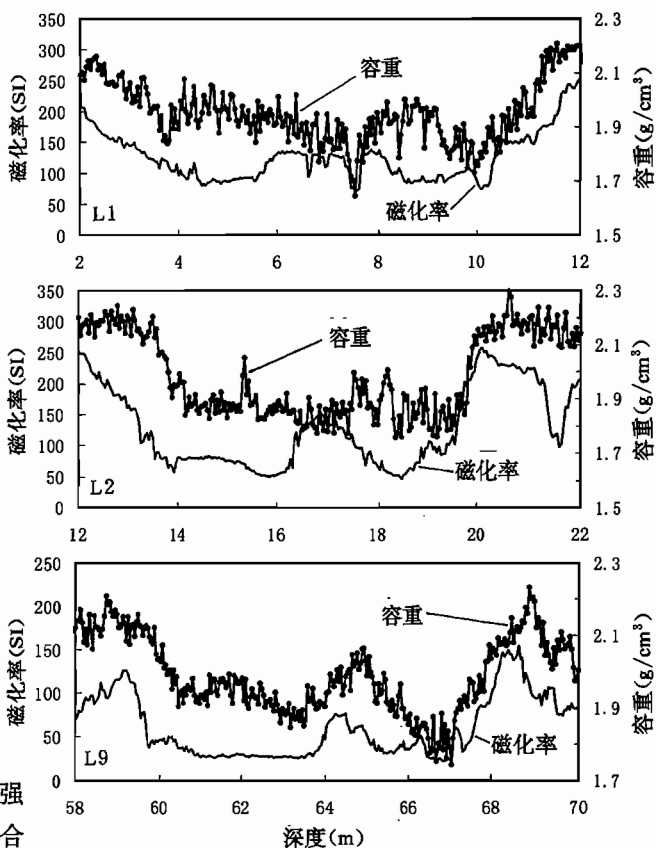


图 2 典型冰期黄土的容重和磁化率序列对比

Fig. 2 Comparison between dry bulk density and magnetic susceptibility variation during the typical glacial periods

黄土高原风尘黄土-古土壤序列完整地记录了东亚冬、夏季风相互交替的历史(An et al., 1990; 康建成等, 1993; 雷祥义等, 1997; 季峻峰等, 1997; 鹿化煜等, 1998)。在冰期冬季风强盛期, 粉尘堆积速率较大、颗粒较粗, 孔隙度较大, 沉积后经历了不同程度的次生碳酸盐化, 容重值相对较低。在间冰期夏季风优势期, 由于适宜的温湿气候条件和冬季风环流强度的相对减弱, 造成粉尘源区范围的缩小、粉尘堆积速率降低和颗粒变细, 同时相对较强的季风降水易造成大量的 CaCO_3 淋滤、粘粒含量增高和土壤结构的发育, 使得古土壤层的容重值明显高于其上、下的黄土层。由于容重的变化不仅受控于粉尘源区的干燥度、携带粉尘的大气环流强度, 而且与沉降区的气候条件密切相关, 通过对比甘肃灵台剖面的黄土-古土壤序列容重和磁化率序列变化, 不难看出容重指标不仅记录了轨道时间尺度的东亚冬、夏季风气候的相互交替演化, 而且揭示了更短时间尺度的季风气候变化特征。

来自北太平洋深海岩心的风尘记录研究(Rea et al., 1985, 1998; Hovan et al., 1989), 证明了风尘沉积通量的变化在相当程度上指示了亚洲内陆粉尘源区干燥度的发展和携带粉尘的西风环流强度演化; 而在粉尘主要沉降区的黄土高原, 相应的长序列、高分辨率工作并不多见。因而, 通过黄土样品的容重测量, 不仅可以较精确地恢复晚新生代以来黄土高原的粉尘堆积通量变化, 而且将有助于理解东亚冬、夏季风环流的形成演化及其与青藏高原隆升、亚洲西北内陆干旱化的发展及北半球气候变冷等事件之间的关联性。

参 考 文 献

- 安芷生, 魏兰英. 1980. 离石黄土中的第五层古土壤及其古气候意义. 土壤学报, 17: 1~10.
- 安芷生, 肖举乐. 1990. 最近 13 万年洛川风尘沉积通量的初步研究. 见: 刘东生主编. 黄土·第四纪地质·全球变化, 第二集. 北京: 科学出版社, 102~107.
- 季峻峰, 陈骏, 王洪涛. 1997. 陕西洛川黄土-古土壤剖面中伊利石结晶度——黄土物质来源和古气候环境的指示. 地质论评, 43(2): 181~185.
- 康建成, 李吉钧. 1993. 甘肃临夏黄土剖面: 15 万年环境演变的良好记录. 地质论评, 39(2): 165~175.
- 雷祥义, 岳乐平. 1997. 陕西关中晚更新世黄土-古土壤序列特征及其记录的古环境变迁. 地质论评, 43(5): 555~560.
- 刘东生等. 1985. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 322~335.
- 鹿化煜, 安芷生, 刘洪滨等. 1998. 洛川黄土记录的最近 2500 ka 东亚冬夏季风变化周期. 地质论评, 44(5): 553~557.
- 孙东怀, 陈明扬, John Show 等. 1998. 晚新生代黄土高原风尘堆积序列的磁性地层年代与古气候意义. 中国科学 (D 辑), 28(1): 80~84.
- 肖华国, 吴锡浩, 蒋复初等. 1998. 黄土与古土壤容重指标与季风气候变化关系的初步研究. 地质力学学报, 4(4): 42~45.
- 肖荣久. 1992. 工程岩土学. 西安: 陕西师范大学出版社, 214~216.
- An Z S, Liu T S, Lu Y C, et al. 1990. The long-term paleomonsoon variation recorded by the loess-paleosol sequence in central China. Quaternary International, 7/8: 91~95.
- An Z S, Kukla G, Porter S C, et al. 1991a. Late Quaternary dust flow on the Chinese Loess Plateau. Catena, 18: 125~132.
- An Z S, Kukla G, Porter S C, et al. 1991b. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of central China during the last 130 000 years. Quaternary Research, 36: 29~36.
- Hovan S A, Rea D K, Pisias N G, et al. 1989. A direct link between the China loess and marine $\delta^{18}\text{O}$ records: aeolian flux to the north Pacific. Nature, 340: 296~298.
- Rea D K, Leinen M, Janecek T R. 1985. Geologic approach to the long-term history of atmospheric circulation. Science, 277: 721~725.
- Rea D K, Hilde S, Leah H J. 1998. Late Cenozoic eolian deposition in the north Pacific: Asia drying, Tibetan uplift and cooling of the north hemisphere. Paleoceanography, 15(5): 215~224.

作 者 简 介

孙有斌, 男, 1973 年生. 1994 年毕业于中国地质大学(武汉), 1997 年在中国科学院黄土与

第四纪地质国家重点实验室获硕士学位,现为该单位博士研究生。通讯地址:710054,西安市西影路 22—2 号,中国科学院黄土室;E-mail: sunyb@loess.llqg.ac.cn。

Dry Bulk Density of Loess Samples Measured by the Oil-soaked Method

Sun Youbin An Zhisheng Zhou Jie Lu Xuefeng

State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, CAS, Xi'an, 710054

Abstract

First, writers proves the accuracy and stability of dry bulk density values measured by the oil-soaked method based on comparative experiments; then the dry bulk density of loess-paleosol sequences about 70 m thick from L9 to S0 in Lingtai section, Gansu Province, is measured by the oil-soaked method. The dry bulk density variations show that the dry bulk density of paleosol layers is higher than that of their overlying and underlying loess layers. The former values change from 2.05 to 2.18 g/cm³, the latter from 1.85 to 1.98 g/cm³. The average values of dry bulk density from L9 to S0 change very little as the burying depth increases, which indicates that natural compaction contributes very little to the dry bulk density. Through a comparison between the magnetic susceptibility and dry bulk density variations, writers find that the dry bulk density variations, which are controlled by the aridity of the eolian source region, the strength of atmospheric circulation and the climatic conditions of the deposition area, not only record the alternation of East Asia winter and summer monsoons on the orbital time scale, but also reveal information of more frequent variations of the East Asia monsoons during the typical glacial periods.

Key words: oil-soaked method; loess samples; dry bulk density
