

文章编号: 1000-0550(2002)01-0118-06

# 陕西旬邑新近系红土剖面粒度组成的古气候意义<sup>①</sup>

薛祥煦<sup>1,2</sup> 鹿化煜<sup>2</sup> 周杰<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>西北大学地质学系, 新生代地质与环境研究所 西安 710069)

(<sup>2</sup>中国科学院地球环境研究所, 黄土与第四纪地质国家重点实验室 西安 710075)

**摘要** 陕西旬邑下墙新近系红土的粒度组成中, 粗颗粒含量在剖面中的变化不大,  $< 2\mu\text{m}$  粘土粒含量有较大幅度的波动。结合其他因素分析推断, 可能与当时青藏高原已升至有意义高度, 冬、夏季风已初步形成, 但都较弱, 其中夏季风相对强一些, 气候以暖湿为主, 在暖湿的背景上, 还存在凉干与暖湿的交替。在新近系距今 5.2 Ma 前后, 可能有一次较明显的降温与变干。粒度曲线变化最显著的是由新近纪进入第四纪后, 曲线上粗颗粒含量明显增加,  $< 2\mu\text{m}$  粘土粒含量明显减少, 曲线由高频低幅突然变为低频高幅。这很可能主要与青藏高原在第四纪初发生剧烈隆升有关。

**关键词** 陕西旬邑 粒度组成 古气候

**第一作者简介** 薛祥煦 女 1935 年出生 教授 古生物学与地层学

**中图分类号** P642.131 **文献标识码** A

中国黄土堆积记录了第四纪东亚季风气候变迁历史<sup>[1]</sup>, 黄土—古土壤的粒度作为季风气候变化的替代性指标得到了广泛应用<sup>[2~5]</sup>。与黄土堆积一样, 其下伏的红土堆积已被许多研究者认为属于风成<sup>[6~11]</sup>, 利用其粒度特征探讨红土沉积时的气候演变规律也是可行的<sup>[12~17]</sup>。不过由于研究剖面不同或所拥有的资料不完全相同, 所得看法还不完全一致。本文以粒度资料作为探讨旬邑新近系红土剖面古气候特征的代用指标, 得到了比较理想的结果。

## 1 剖面简述及样品采集与测量

本文所测剖面位于陕西省旬邑县职田镇下墙村, 包括第四系全部黄土—古土壤序列及其下的新近系红土层(即所谓三趾马红土, 实际是红褐色—棕色粘土质细粉砂岩)。剖面总厚度约 230 m, 上部黄土—古土壤序列厚 141.2 m, 下部新近系红土厚约 90 m。新近系除底部与中生代不整合接触面之上有 6~7 m 被覆盖无法丈量外, 已测厚度 83.4 m。详细岩性及地层划分已在另文中刊出<sup>[18,19]</sup>。为承上接下, 能看出新近系与第四系粒度的明显差异和特征, 分析样品是从黄土—古土壤沉积序列的下部第 42 层古土壤( $S_{42}$ )顶部, 即该整个上新界剖面的 135 m 深度开始的。从  $S_{42}$ (厚 1.0 m) 向下依次为  $L_{43}$ (厚 2.0 m)、 $S_{43}$ (厚 1.6 m) 及介于  $S_{43}$  与真正的红土层之间的一层含红土细砾的砂质黄土(厚 1.6 m, 即  $L_{44}$  或可称为过渡层), 至已测新近系红土剖面 224.6 m 底的 89.0 m 中共取样 390 个, 样

品的分布情况见图 1 及表 1。

## 2 新近系红土剖面粒度特征

前人在研究黄土—古土壤剖面时, 已提出中值粒径能大致反映冬季风强度的相对变化, 粗颗粒含量排除了与成壤作用有关的粘土成分, 是比较好的冬季风代用指标;  $< 2\mu\text{m}$  粘土粒与风化成壤作用密切相关, 间接地指示了夏季风强度的变化<sup>[20,21]</sup>。由于红土与黄土—古土壤同为风成, 因此, 在用粒度资料探讨新近纪气候演变规律时, 我们也主要选择测值中的中值、 $> 30\mu\text{m}$ 、 $> 63\mu\text{m}$  及  $< 2\mu\text{m}$  四组粒径的数据。从根据这几组数据绘制的粒度变化曲线看出(图 2), 旬邑新近系红土剖面的粒度特征为:

(1) 四条粒度曲线在红土段都较稳定, 显示出高频低幅的特征, 其中值一般都在  $10\mu\text{m} \pm$ ;  $> 30\mu\text{m}$  的含量大都在 10%~15% 之间;  $> 63\mu\text{m}$  的含量在 0.5% 左右;  $< 2\mu\text{m}$  的含量均在 20~30% 之间。而其上覆黄土—古土壤段的几条曲线与红土段的有明显差别, 曲线的频率明显降低, 变幅明显增大, 粒度含量平均值,  $> 30\mu\text{m}$  的含量大都在 15%~20%,  $> 63\mu\text{m}$  的含量多为 0.5%~1.0%。  $< 2\mu\text{m}$  的含量大都在 20% 以下(参看图 2 的 141.2 m 以上部分)。

(2) 四条新近系红土剖面的粒度曲线均可进一步分为 4 段, 其中以  $< 2\mu\text{m}$  曲线的 4 个分段显示的比较清楚, 由下向上划分的四段是: 第 1 段大致是深度 215.2m 以下部分, 即相当于图 1 岩性段的第 20 层组;

<sup>①</sup> 国家攀登计划(95-预-40)资助项目

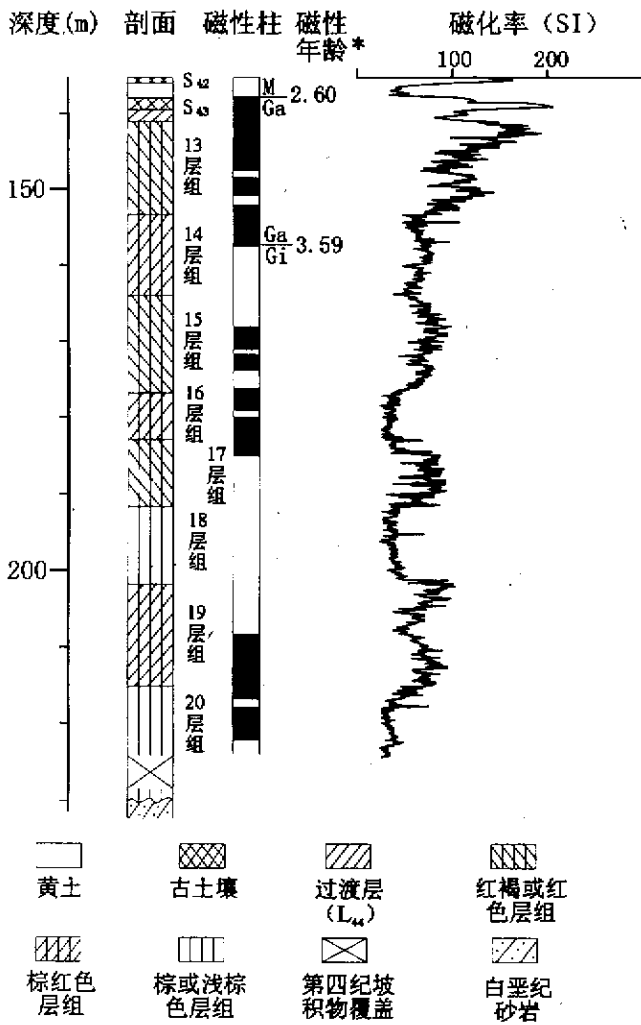


图 1 陕西旬邑新近系红土岩性、磁性及磁化率剖面

Fig.1 Lithologic, magnetologic and susceptibility column of Neogene red clayey siltstone, Xunyi Shaanxi Province

第 2 段大致是深度 191.7~215.2 m 的层段,即相当于岩性段的第 19 与第 18 层组;第 3 段大致是 164~191.7 m 的层段,即相当于岩性段的第 17~第 15 层组;第 4 段是 141.2~164 m 的层段,相当于岩性段的第 14 与 13 层组。第 1 段的特点是中值、 $>30\mu\text{m}$  及  $>63\mu\text{m}$  的百分含量都比较高,而  $<2\mu\text{m}$  的百分含量却比较低;4 条曲线在第 1 段的变幅都比较大。第 2 段

的特点是,4 条曲线的数据均处在第 1 与第 3 段的过渡状态,即中值、 $>30\mu\text{m}$  及  $>63\mu\text{m}$  都由第 1 段较高数值向上逐渐降到第 3 段的较低数值,而  $<2\mu\text{m}$  的百分含量却由第 1 段的较低数值逐步上升到第 3 段的较高数值。第 3 段的特点是中值、 $>30\mu\text{m}$  与  $>63\mu\text{m}$  百分含量都处在整个新近系红土剖面的最低值,而  $<2\mu\text{m}$  百分含量却处于红土剖面段的最高值。第 4 段有两个特点,一是中值、 $>30\mu\text{m}$  与  $>63\mu\text{m}$  的含量比第 3 段稍高,而  $<2\mu\text{m}$  百分含量较第 3 段的要低;二是本段 4 条曲线的波动不大,表明四种粒度含量在本段的上、下相对比较稳定。如前所述,由第 4 段进入上覆第四系时,粒度曲线不论是平均值、频率和变幅均发生明显变化。

以上四段的不同,在根据古地磁成果(见文献〔18〕)所作的红土序列深度—年龄图上也有显示,具体表现为各段的沉积速率亦不完全相同。这种情况在灵台和泾川的红土剖面上也同样存在(图 3)。

3. 再进一步细分,新近系红土剖面的每条曲线,特别是  $<2\mu\text{m}$  含量的曲线尚可分为由万年级小幅度变化组成的四个百万年级旋回,每个旋回由下向上的中值、 $>30\mu\text{m}$  及  $>63\mu\text{m}$  的含量都是由高到低,而  $<2\mu\text{m}$  的含量恰相反,是由低到高。

### 3 新近纪古气候环境演变的讨论

新近系红土粒度曲线高频低幅特征、旋回起伏变化和红土一开始就存在由于成壤强弱差异而形成的岩性粗细与颜色深浅的交替,说明红土层是在不完全相同的气候条件下的沉积,有暖湿、凉干之别,气候出现如此变化的原因,恐怕与当时青藏高原的隆升有关。在青藏高原抬升到有意义高度时〔10 22 23〕,势必引起东亚季风的形成。新近系红土堆积时的东亚季风与第四纪不同的是,当时的季风,特别是冬季风还不很强烈,而夏季风相对占优势,如此看来,新近纪的气候总体上是比较暖湿的,在总体上为暖湿气候的背景上有凉干与暖湿的交替。而第四纪黄土—古土壤序列沉积时的情况则是冬、夏季风都很强,二者交替盛行,气候以冷干为主,在总体上为冷干气候的背景上,冷干与暖湿气

表 1 样品在剖面上的分布状况

Tab.1 Distribution of samples on Xiaqiang section

层位 strata	S <sub>42</sub>	L <sub>43</sub>	S <sub>43</sub>	L <sub>44</sub> (过 渡层)	13 层组	14 层组	15 层组	16 层组	17 层组	18 层组	19 层组	20 层组
样品数 sample	5	10	8	8	54	41	52	47	35	28	51	51

样品全由中国科学院地球环境研究所用德国生产的 Analysette 22 激光粒度仪测量,其测量范围 0.1~1 250  $\mu\text{m}$ ,误差小于 2%。前处理方法与文献〔20〕所述相同。

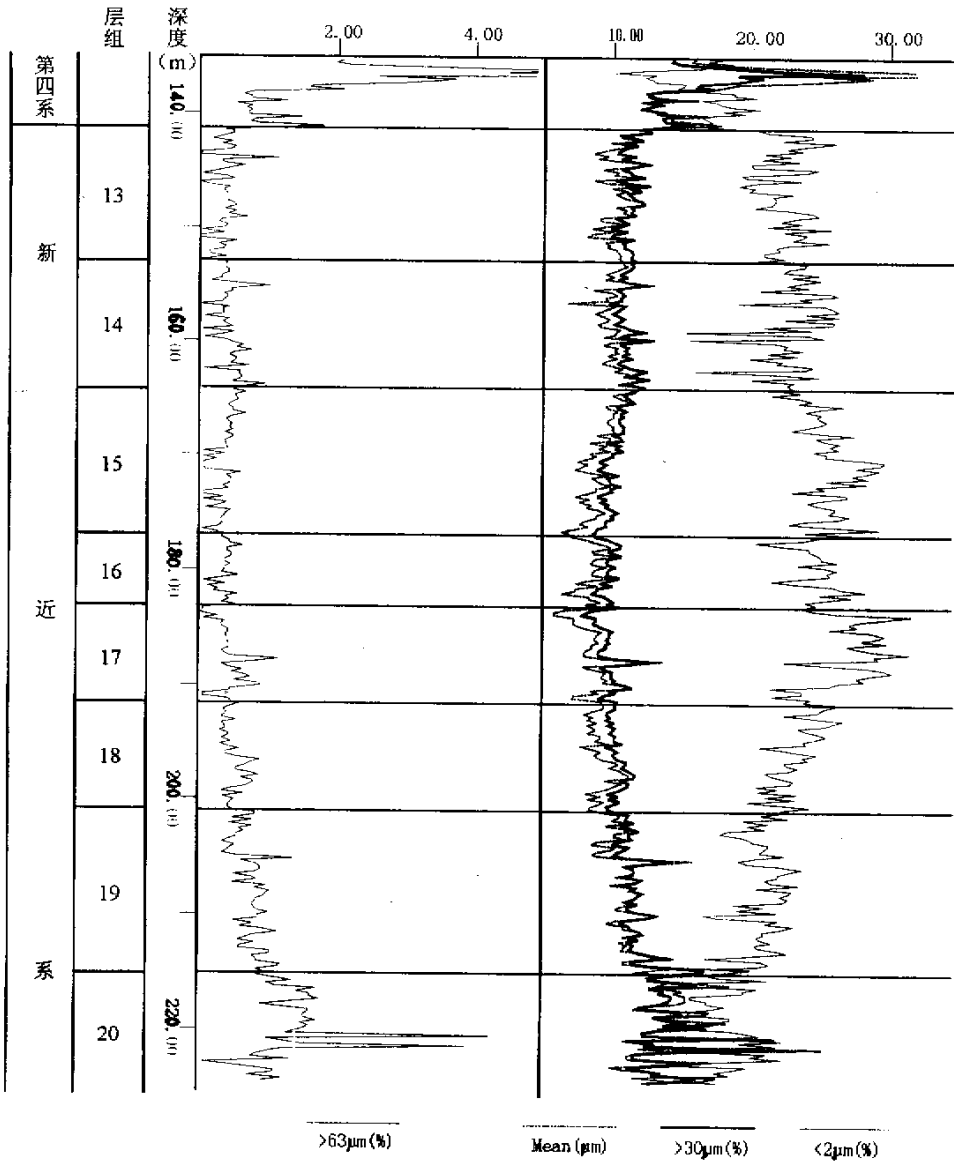


图2 陕西旬邑新近系红土剖面粒度曲线

Fig.2 Grain size curves of Neogene red clayey siltstone, Xunyi, Shaanxi Province

候交替,冷干与暖湿的差幅明显。

新近系红土剖面的四条粒度曲线,均可进一步细分为4段。A段较明显的差异在 $<2\mu\text{m}$ 的百分含量曲线上显示得比较清楚,在其他三种粒度曲线上(中值、 $>30\mu\text{m}$ 及 $>63\mu\text{m}$ )显示较差。粗粒级百分含量比较稳定,无大的变化, $<2\mu\text{m}$ 的粘土粒百分含量却有较大幅度差异。综观4段的特征,第3段(即第17、16、15层组,相当于5.48Ma B. P. ~3.95 Ma B. P.)的粒度特征反映了当时夏季风比较盛行,气候以暖湿为主,而冬季风相对较弱。这种粒度特点,从第17及15层组的岩性都比较细及颜色都比较红,磁化率值都比较

高等特点得到佐证(图1)。当然,第3段的气候并非一直都是暖湿的,这从其中所夹第16层组的粒度相对变粗颜色变浅及 $<2\mu\text{m}$ 粘土粒百分含量的减小,都说明在暖湿背景上尚间有相对干凉气候的存在。第3段比较细、比较红及磁化率比较高的特点,在灵台<sup>[12,13]</sup>和涇川<sup>[14]</sup>红土剖面的相应层段上同样存在着,说明黄土高原在沉积相当于旬邑下墙剖面新近系第17、16、15层组红土时(约5.48~3.95 Ma B. P.),普遍处于暖湿的气候条件。粒度曲线第1与第2段(相当于第20及第19到第18层组,即6.8Ma B. P. ~5.48Ma B. P.)及第4段(相当于第14与13层组,即3.95 Ma B.

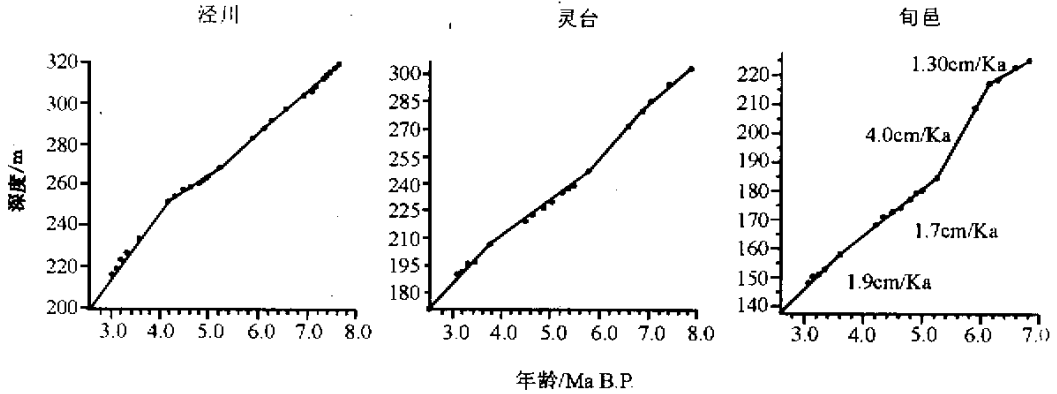


图 3 旬邑等剖面新近系红土序列深度—年龄图(灵台及泾川图引自文献[12,14])

Fig.3 Age-depth relation of Xunyi and compared with that of Lingtai and Jingchuan

(data of Lingtai and Jingchuan is after references [12,14])

P. ~2.64 Ma B. P. )沉积时的气候,粗颗粒百分含量略有增加,表明冬季风有一定加强,但不很明显,变化比较大的粘土粒级( $<2\mu\text{m}$ )含量有较明显降低,说明第 1、2、4 粒度曲线段时与第 3 粒度曲线段时相比,夏季风强度有较大降低。但从其 $<2\mu\text{m}$ 粒级的百分含量仍较明显高于第四系的情况看,新近纪夏季风相对较强的总趋势在 1、2、4 段中继续存在。值得提出的是,第 1 段的粒度曲线成高频、高幅变化的主要原因,推断除气候因素(冬季风可能稍有加强)外,很可能尚有水流搬运物质混入的影响<sup>[17]</sup>。在第 1 与第 2 段及第 4 段中,气候同样不是自始至终无变化的,而是在暖湿气候中不时也间有相对凉干气候的存在。上述以 $<2\mu\text{m}$ 粒度含量的曲线为主所划分的四个旋回,大致与跟岩性及磁化率变化的四个旋回基本一致(图 1),即第 20 层组至第 19 层组为第一旋回,其岩性由浅棕到棕红,磁化率由低到高, $<2\mu\text{m}$ 颗粒的百分含量由低到高;由第 18 层组到第 17 层组、第 16 层组到第 15 层组及第 14 层组到第 13 层组所组成的第二、第三及第四旋回的岩性、磁化率及粒度变化情况与第一旋回的基本相同。这四个旋回的变化可能是受青藏高原阶段性隆升驱动而引起的百万年级构造气候主旋回<sup>[22]</sup>。

粗粒度曲线,特别是在上部第 14 与第 13 层组段(即 3.95Ma B. P. ~第四纪初)的粗粒度曲线变得相当稳定,含量基本不变,以及第 4 和第 3 段沉积速率并无明显变化(图 3)反映了青藏高原在上升到有意义高度后,在红土继续形成的过程中并未发生过明显的阶段性剧烈隆升,只是到红土堆积之后与黄土堆积之初,青藏高原才发生明显的阶段性强烈隆升。也正是它的这次强烈隆升,致使冬季风强度显著加强,气候才显著变冷变干,开始了颗粒较粗的黄土的堆积。当然

这次气候的显著变冷变干,以及红土堆积过程中的一些较明显的变冷变干(由第 17 层组进入第 16 层组,即约 5.2Ma B. P. )可能都还有北极冰盖形成与扩大的影响。通过与近北极太平洋海区 ODP883 孔  $\gamma$  射线测井曲线的对比证实了这种看法(图 4)<sup>[24]</sup>。在北极冰

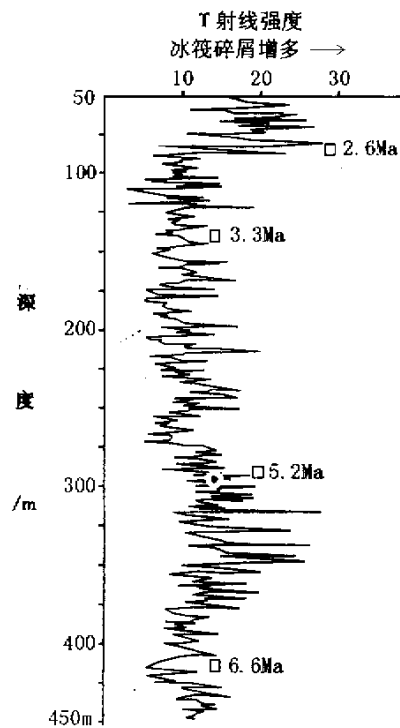


图 4 近北极太平洋海区 ODP883 孔  $\gamma$  射线测井曲线,示 6.6Ma B. P. 以来冰筏碎屑的增减(据 deMenocal, P., 1993)

Fig.4  $\gamma$ -ray well log of ODP883 at near North Pacific indicates the increase or decrease of ice-rafted debris since 6.6Ma B. P. (after deMenocal, P., 1993)

盖形成与扩大的 5~6Ma B. P. 及 2.6Ma B. P. 前后,也正是旬邑剖面相对降温变干的时期。发生在约 5.2Ma B. P. 的较明显降温变干,由于当时青藏高原上升高度有限,冬季风比较弱,故主导因素可能是北极冰盖形成的影响,而发生在约 2.6Ma B. P. 的明显变冷变干则主要是受青藏高原在当时剧烈隆升影响的结果。

## 4 结论与讨论

(1) 新近系粒度曲线,特别是粗颗粒粒度曲线变幅不大,反映了当时青藏高原虽已有较明显的阶段性上升,但并不剧烈,冬、夏季风可能已经形成,但都比较弱。从其中  $< 2\mu\text{m}$  的颗粒含量平均值明显高于第四纪黄土序列的平均值,且其曲线有一定程度起伏,说明新近纪的气候特点和第四纪的有明显差异,是以暖湿为主,夏季风强弱变动稍大;

(2) 从以  $< 2\mu\text{m}$  的粒度曲线为主所分出的四段曲线看出,在第 17~15 层组所组成的第 3 段,夏季风相对最盛行,气温最暖湿,而分别在其上、下的第 4 段与第 1、2 段时,夏季风强度虽然仍占优势,但比第 3 段沉积时要减弱了一些。曲线变动最大的是红土堆积之后进入第四纪时,前者粗颗粒含量较低,  $< 2\mu\text{m}$  粘土含量较高,曲线为高频、低幅,后者粗颗粒含量明显增高,  $< 2\mu\text{m}$  粘土含量明显减少,曲线突变为低频、高幅。推断这种明显的变化主要是受青藏高原上升到有意义高度后在第四纪初发生强烈隆升影响所致。当然这其中可能还有北极冰盖形成与扩大的参与作用。

(3) 新近系粒度曲线同磁化率曲线、岩性剖面分析等资料所得结论相一致,说明当时冬、夏季风已经形成,只不过二者,特别是冬季风比较微弱。发生在第 3 段中第 17 与第 16 层组之间(约 5.2 Ma B. P.)较明显的降温与变干,因当时冬季风还很弱,故推断其可能主要是受北极冰盖形成影响所致,而发生在第 4 段第 13 层组与第四系之间的明显变冷变干,其主导因素则可能是青藏高原在当时的剧烈隆升。

致谢:邱世祥教授参与了本工作,做了大量野外考察及室内研究,先后参与部分工作的尚有张云翔及岳乐平教授、李传令、李永项、于学峰等同志,于学峰同志还协助完成计算机制图,文稿完成后,郑洪波教授等参与讨论,并提出宝贵意见。作者对他们的辛勤劳动致以衷心谢意。

## 参 考 文 献

1 An Zhisheng, Liu Tungsheng, Lu Yanchou, *et al.* The long-term paleomonsoon variation recorded by the loess-paleosol sequence in central China[J]. *Quaternary International*, 1990, (7/8): 91~95

2 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 191~207

3 Xiao Jule, Zheng Hongbo, Zhao Hua. Variation of winter monsoon intensity on the loess plateau, central China during the last 130000 years: evidence from grain size distribution[J]. *The Quaternary Research*, 1992, (31): 13~19

4 Ding Zhongli, Yu Zhiwei, Rutter N W, *et al.* Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits[J]. *Quaternary Sciences Reviews*, 1994, (13): 39~70

5 安芷生, Porter S C, Chappell J 等. 最近 130ka 洛川黄土堆积序列与格陵兰冰芯记录[J]. *科学通报*. 1994, 39(24): 2254~2256

6 Liu X M, Xu T C, Liu T S. A study of anisotropy of magnetic susceptibility of loess from Xifeng[J]. *Geophysical Journal*, 1988, 92(2): 349~353

7 赵景波. 西安、山西保德第三纪晚期红土的研究[J]. *沉积学报*, 1989, 7(3): 113~120

8 安芷生, 吴锡浩, 汪品先等. 最近 130 ka 中国的古季风-II、古季风变迁[J]. *中国科学( B 辑)*, 1991, 21(11): 1209~1215

9 丁仲礼, 孙继敏, 朱日祥等. 黄土高原红粘土成因及上新世北方干旱化问题[J]. *第四纪研究*, 1997(2): 147~157

10 安芷生, 王苏民, 吴锡浩等. 中国黄土高原的风积证据: 晚新生代北半球大冰期开始及青藏高原的隆升驱动[J]. *中国科学*, 1998, 28(6): 481~490

11 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比—红粘土土成成因的新证[J]. *沉积学报*, 1999, 17(2): 226~232

12 丁仲礼, 孙继敏, 杨石岭等. 灵台黄土—红粘土序列的磁性地层及粒度记录[J]. *第四纪研究*, 1998(1): 86~94

13 Ding Z L, Sun J M, Yang S L, *et al.* Pedostratigraphy and paleomagnetism of a ~7.0Ma eolian loess-red clay sequence at Lingtai Loess Plateau, North-central China and the implication for paleomonsoon evolution[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1999, (152): 49~66

14 杨石岭, 侯圣山, 王旭等. 泾川晚第三纪红粘土的磁性地层及其与灵台剖面的对比[J]. *第四纪研究*, 2000, 20(5): 423~434

15 丁仲礼, 孙继敏, 刘东生. 上新世以来毛乌苏沙地阶段性扩张的黄土—红粘土沉积证据[J]. *科学通报*, 1999, 44(3): 324~326

16 丁仲礼, 杨石岭, 孙继敏等. 2.6Ma 前后大气环流重构的黄土—红粘土沉积证据[J]. *第四纪研究*, 1999(3): 277~281

17 郭正堂, 彭淑贞, 郝青振等. 晚第三纪中国西北干旱化的发展及其与北极冰盖形成演化和青藏高原隆升的关系[J]. *第四纪研究*, 1999(6): 556~567

18 薛祥煦, 张云翔, 岳乐平. 黄土高原一个连续的晚新生代剖面及其划分与对比[J]. *地层学杂志*, 2001, 25(2): 81~89

19 薛祥煦, 岳乐平, 王建其. 从陕西旬邑上新生界剖面看黄土高原新近系/第四系界线[J]. *地层学杂志*, 2001, 25(3): 161~165

20 鹿化煜, 安芷生. 洛川黄土粒度组的古气候意义[J]. *科学通报*, 1997, 42(1): 66~69

21 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J]. *中国科学*, 1998, 28(3): 278~283

22 吴锡浩, 王苏民, 安芷生等. 关于晚新生代准 1.2 Ma 周期构造气候旋回[J]. *地质力学学报*, 1998, 4(4): 1~10

23 Kutzbach J E, Prell W L. Sensitivity of Eurasian Climate to surface uplift of Tibetan Plateau[J]. *J. Geol.*, 1993, (101): 177~190

24 DeMonocal P. Wireline logging of the North Pacific transect[J].

## Paleoclimatic Significance of Grain-size Composition of Neogene Red Earth at Xunyi, Shaanxi Province

XUE Xiang-xu<sup>1,2</sup> LU Hua-yu<sup>2</sup> ZHOU Jie<sup>2</sup>

( Department of Geology, Institute of Cenozoic geology and environment, Northwest University Xi'an 710069 )

X Institute of Earth Environment, State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075 )

**Abstract** An approximately continuous section of Late Cenozoic earthy deposits, developed at Xiaqiang Village, Xunyi County, Shaanxi Province, is 230 m in thickness and consists of the complete Quaternary loess-paleosol sequence and its underlying Neogene red earth beds. The loess-paleosol deposits of Quaternary as the aolian genesis has been accepted broadly by geologists. The red earth of Neogene has also been considered to have the same origin as that of loess in recent years. Therefore, the characteristics of the grain-size analysis of the red earth, similar to that of loess, could be used as a substitute index for the paleoclimate study. The climatic evolution of Neogene is discussed in this paper by studying on the grain-size analysis. We choose four groups of grain size data: the mean,  $>30\mu\text{m}$ ,  $>63\mu\text{m}$  and  $<2\mu\text{m}$ , which are shown in four curves. Then, we could see (Fig. 2) that these four grain-size curves are all relatively stable and show the features of high-frequency and low-amplitude. Each of these four curves of Neogene red beds can be subdivided into four parts ranging from the bottom up to the top. The first part composed of the 20th bed group has high content of mean,  $>30\mu\text{m}$  and  $>63\mu\text{m}$ , but low content of  $<2\mu\text{m}$ . The second part formed by the bed groups of 19~18th is between the first and third parts, whose content of the mean,  $>30\mu\text{m}$  and  $>63\mu\text{m}$  is gradually decreasing all the way till the bottom of the third part, while that of the  $<2\mu\text{m}$  is increasing till to the highest of the third one. The third part, composed of 17~15th bed groups, has high content of  $<2\mu\text{m}$  and low content of mean,  $>30\mu\text{m}$  and  $>63\mu\text{m}$ ; The fourth part consisting 14~13th bed groups is relatively stable without obvious undulation, although the content of the mean,  $>30\mu\text{m}$  and  $>63\mu\text{m}$  is slightly higher, while the  $<2\mu\text{m}$  slightly lower than those of the third one. These differences of four parts can also be seen in Fig. 3 the age/depth relations of the different sedimentary ratio of each part. Each curve of Neogene, especially that of  $<2\mu\text{m}$ , can further be subdivided into four million-grade cycles, each of these cycles containing many smaller cycles of ten thousand grade. The sharp changes of the curves near the top reveal the different features of grain-size composition of Quaternary from those of Neogene.

The curves of coarse particle of Neogene show little changes, which probably means the small uplift of Qin-Tibet Plateau. Winter and also summer monsoon had been primarily formed though rather weak. The average content of  $<2\mu\text{m}$  particles is remarkably higher in Neogene red beds than that in Quaternary loess-paleosol, but with a certain fluctuation, suggesting that the Neogene climate was mainly moist and warm and that the strength of summer monsoon had a slight greater change. The grain-size curve of  $<2\mu\text{m}$  particles can be divided into four stages. Stage 3, consisting of 17~15th bed-groups, shows the strongest summer monsoon, being the warmest and wettest. However, stages 4, 1 and 2 indicate that the summer monsoon of these stages is relatively weaker than that of stage 3. In other words, the feature of the Late Neogene climate of Loess Plateau was generally warm and moist. With this background climate there were alterations of warm-wet and cool-dry climate. A distinct change in the curve can be seen since Quaternary, which is indicated by the increase of coarse particles and decrease of  $<2\mu\text{m}$  particles. And the curve changed from high-frequency, low-amplitude pattern of Neogene to that of low-frequency, high-amplitude. This obvious change is mainly related to the strong uplift of Qin-Tibet Plateau since Quaternary and also to the formation and expansion of Antarctic ice sheet. The grain-size curves are in agreement with susceptibility curve and strata analysis.

**Key words** Shaanxi Xunyi, grain-size composition, paleoclimate