

源区距离对黄土粒度多组分分布特征的影响

殷志强^{1,2} 秦小光² 李玉梅³ 宁 波²

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:利用高分辨率激光粒度仪 MS2000 对陕西渭南、北京灵山、河南邙山等地大量黄土样品的粒度多组分分布特征进行了系统研究, 总结了其多组分粒度分布及组分间差异特征并讨论了源区距离对黄土粒度多组分分布特征的影响。取得了以下认识: (1) 黄土粉尘粒径以 $<70 \mu\text{m}$ 的悬浮组分为主, 其粒度由细、中、粗 3 个组分(中值粒径范围分别为 $<1 \mu\text{m}$ 、 $1\sim 10 \mu\text{m}$ 、 $10\sim 70 \mu\text{m}$) 构成, 表现为多组分粒度特征。粗粒组分含量最高, 峰形最明显。粗粒与中粒组分粒径与百分含量变化很大程度受控于源区距离变化。(2) 不同地区黄土粉尘粒度差异明显, 粗粒组分中值粒径随源区距离增加而减小, 二者负相关; 中粒组分百分含量随源区距离增加而增加, 二者正相关。(3) 粒度组分分离方法能够反映同一源区粒度的细微差异, 显示其粒度组分分离的优越性。(4) 理论推导了黄土粗粒组分的中值粒径与源区距离的关系并用实际拟合函数验证了其正确性。

关键词:黄土; 源区距离; 多组分特征

中图分类号: P642.13^{*1} **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)05-1037-08

1 引 言

粒度是沉积物成熟的古环境指标。因其测定简单、快速、物理意义明确、对气候变化敏感等特点近年来被广泛应用于各种沉积环境研究中^[1-10]。沉积物粒度研究发现, 当搬运介质和搬运方式一定、并且介质动力大小稳定时, 它所搬运的沉积物粒度总体是一个单因子控制的单组分分布^[11]。但自然界大多沉积物均受一种或几种不同的搬运方式、动力类型控制, 因而产生了多组分、多模态粒度分布特征, 在频率曲线上表现为多峰光滑曲线^[12]。

黄土是地质时期沙尘暴形成的风成沉积物^[13]。国内外学者以黄土粒度作为古气候代用指标进行了大量研究, 揭示了更新世甚至中新世以来气候变化的历史。黄土粒度被广泛应用于冬季风的替代性指标, 指示东亚冬季风变迁^[2, 14-21]。近年来, 随着测试技术的进步, 研究人员对黄土粒度的多组分(多模态)特征进行了更细致的研究。如用 Weibull 函数分布

作为黄土沉积物的拟合函数, 对多成因沉积物的粒度分布进行了多组分分离^[11]; 风成成因的黄土主要由大气中的悬浮颗粒构成, 其存在细、中、粗 3 个组分, 是粉尘在搬运过程中动力选择的结果, 与风速、大气湍流强度和粉尘源区粒度分布有关, 黄土粒度的这种多组分特征的动力学原因是粉尘在搬运过程中风力、湍流和颗粒重力共同作用下形成的分选结果^[12, 23-24]。已有文献^[1, 2, 14]对黄土粒度主要从粒度级别分类、百分含量组成、参数统计等角度来反映冬季风的变化, 源区距离等, 实验手段多采用了半自动、自动化粒度分析仪。近年来研究人员^[11-12, 22, 25-29]多采用高精度的激光粒度仪来获取数据, 但大多只是利用了其中的部分粒度信息(如中值粒径或粒级比值等), 显然充分利用各个粒度测量数据的信息对于准确区别不同沉积物的沉积环境类型具有更大意义。笔者以陕西渭南、北京灵山、河南邙山等地黄土为例, 利用高分辨率激光粒度仪 MS2000, 采用图示与统计参数相结合的方法, 全面分析粒度测试数据并

收稿日期: 2008-03-28; 改回日期: 2008-06-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40472094, 40024202)资助。

作者简介: 殷志强, 男, 1980 年生, 硕士, 主要从事第四纪地质研究; E-mail: yinzq@mail.cigem.gov.cn。

利用对数正态分布函数分析方法来讨论黄土粒度多组分分布特征及源区距离对粒度分布特征的影响。

2 样品采集和分析方法

2.1 样品采集

笔者拟选中国陕西渭南、北京灵山以及河南邙山的全新世剖面样品为主要研究对象,另外作为辅助研究对象的还有甘肃西峰、山西阳原、河北张家口等地的黄土表土样品。其中邙山黄土从黄河岸边离岸大约每间隔 2 km 采集一个表土样品,共取样品 13 个(编号为 MS1~4, MS9, MS11~18);渭南和灵山样品均取自全新世黄土剖面顶部,按 5 cm 间隔取样,分别记为 WN(1~5)和 LS-II(1~5)。从采样点的位置(图 1)和分布(表 1)可看出:渭南黄土位于黄土高原的南部,粉尘主要来源于毛乌素沙地、腾格里沙漠、巴丹吉林沙地等西北和北方的荒漠和沙漠,属于远源黄土类型^[25];邙山黄土位于河南省郑州市西北黄河南岸,地处黄土高原与华北平原过渡带上,是黄土高原最东南缘的黄土,该地黄土紧邻黄河岸边,是黄河河滩砂经风力直接低空搬运近距离沉积(距离为 1~30 km),属于近源黄土类型^[26]。图 2 的照片是 2005 年 4 月在邙山黄河岸边野外考察时拍摄,黄河岸边扬起的沙尘真实再现了黄河河滩沉积物正经风搬运堆积到黄河南岸堆积的情景,显示了邙山黄土的物源来自于北侧近距离的黄河河滩。灵山黄土物源主要来源于阴山以北的内蒙古苏尼特右旗—二连

浩特方向的荒漠戈壁等地^[12],源区距离介于渭南黄土和邙山黄土之间。

2.2 粒度测试与组分分离方法

粒度分析在中国科学院地质与地球物理研究所粒度分析实验室完成。前处理采用了较彻底的前处理方法^[27~28],然后用 Mastersiz2000 型激光粒度仪测试。该仪器测量范围是 0.02~2 000 μm ,优点为测试精度高(误差<1%)、所需样品量少、数据连续、可靠、间隔划分细,能够全面分析粒度的细微特征,对测试数据进行整理和分析后可绘制出每一粒度组分的百分含量图、频率曲线图、粒度众数分布曲线图等。

沉积物粒度组分分布特征曲线中每一组分均属于对数正态分布类型^[12,29]。因此笔者采用了正态分布函数对样品各组分进行了数学分离。用设定的分布函数对实测数据以各粒级的粒径为自变量,以该粒级的百分含量为分布函数值,以拟合权重残差最小为目标对样品进行了粒度频率曲线拟合,拟合误差均控制在 3%以内(图 3)。并计算了样品中每个组分粒径的平均值、标准差、百分含量等粒度参数,从而将混合样品的各组分完全分离出来。对于多个组分组成的对数正态分布函数,其分布函数应为:

$$F(\lg x) = \sum_{i=1}^n c_i \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{(\lg x - \lg \alpha_i)^2}{2\sigma_i^2}} \quad (1)$$

公式(1)中 α_i 和 σ_i 分别为样品第 i 组分粒径

表 1 采样点分布

Table 1 The distribution of samples site

编号	样号	经度	纬度	样品产地
1	MS-1	34° 58'	113° 22'	邙山刘村北山头高处表土
2	MS-2	34° 58'	113° 22'	邙山刘村北山顶表土
3	MS-3	34° 58'	113° 22'	邙山刘村北山北坡中部表土
4	MS-4	34° 58'	113° 22'	邙山刘村北山北坡坡底表土
5	MS-9	34° 57'	113° 22'	邙山刘村南公路边黄土
6	MS-11	34° 56'	113° 22'	邙山 9 号样以南沿公路依次取表土
7	MS-12	34° 55'	113° 22'	邙山 11 号样南沿公路依次取表土
8	MS-13	34° 55'	113° 22'	邙山沿公路间隔 2km 依次取黄土样
9	MS-14	34° 54'	113° 22'	邙山沿公路间隔 2km 依次取黄土样
10	MS-15	34° 53'	113° 22'	邙山沿公路间隔 2km 依次取黄土样
11	MS-16	34° 50'	113° 22'	邙山张村玉米地公路边黄土
12	MS-17	34° 48'	113° 21'	邙山铁路桥南玉米地公路边黄土
13	MS-18	34° 46'	113° 20'	邙山新 310 国道北侧路边黄土
14	WN(1~5)	34° 34'	109° 32'	陕西渭南阳郭镇全新世黄土
15	LS-II(1~5)	40° 03'	115° 30'	北京灵山全新世黄土

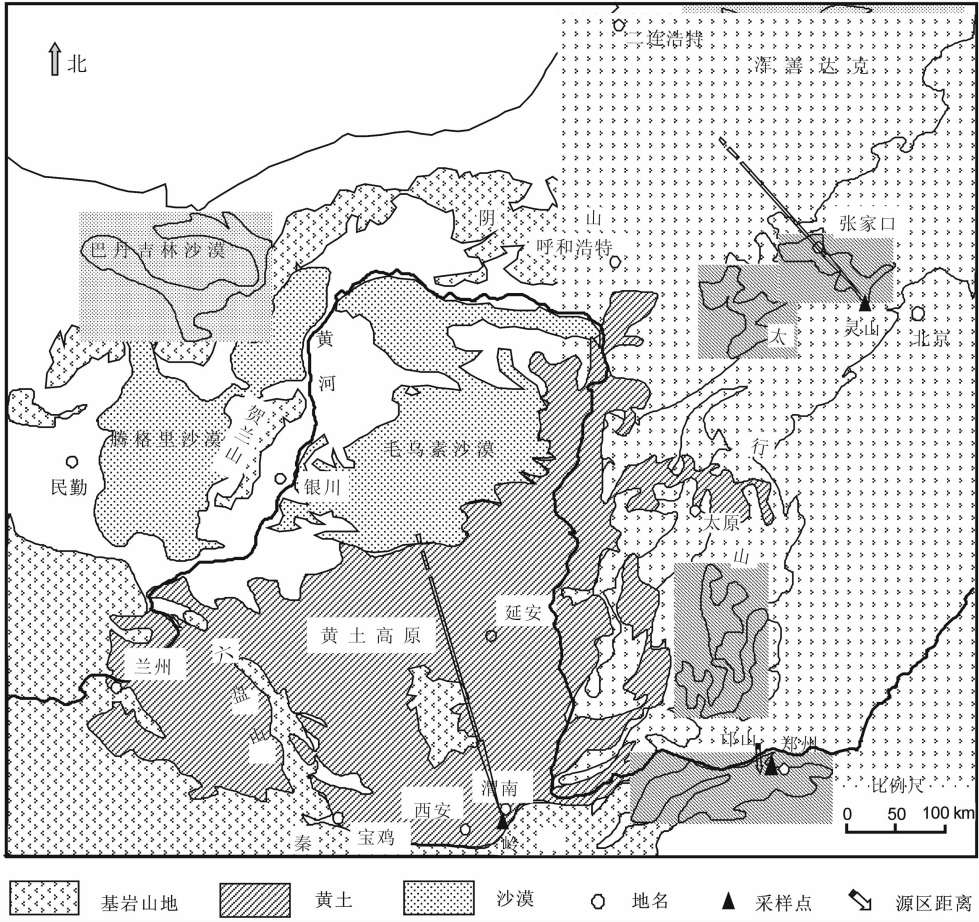


图 1 黄土采样位置分布图
 Fig.1 Distribution of sampling sites of loess



图 2 邙山黄河岸边扬起的沙尘
 Fig.2 Flying dust on banks of the Yellow River in Mangshan

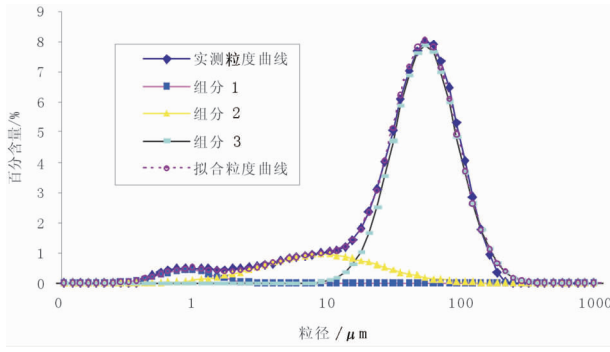


图3 黄土粒度各组分拟合图

Fig.3 Fitting map of various grain-size fractions of loess

的平均值和标准差,C为第i组分百分含量占全样品的百分比。

黄土粉尘粒度分布一般有3个组分^[12]。笔者将黄土粒度组分从左至右依次标示为①②③,分别命名为第①组分(Mode)、第②组分(Mode)、第③组分(Mode),表示为1M、2M、3M。其中:1M中值粒径范围:<1 μm,是黄土粒度的细粒组分;2M中值粒径范围:1~10 μm,是黄土粒度的中粒组分;3M中值粒径范围:10~70 μm,是黄土粒度的粗粒组分。

3 源区距离对黄土粒度分布特征影响

3.1 不同源区距离

黄土粒度组分分布特征见图4,各样品组分的中值粒径、标准差、百分含量等数据见表2。

黄土-1(WN):粗粒组分中值粒径为20~30 μm,明显偏细;中粒组分百分含量很高,形态很显著。

黄土-2(LS-II):粗粒组分中值粒径为40~50 μm,较WN明显偏粗但较MS又偏细,中粒组分百分含量明显较黄土-1偏低。

黄土-3(MS):粗粒组分中值粒径为50~70 μm,粉尘粒径均很粗,中粒组分百分含量较WN、LS-II为三者中最低。

因西峰、张家口等地全新世黄土粒度分布特征为上述三者之一或组分粒径介于三者之间(属于过渡类型),讨论从略。从MS到WN,随着黄土粉尘源区距离逐渐增加,粗粒组分中值粒径减小(从70 μm减小到20 μm)含量减少,而中粒组分百分含量明显增加(图5)。因黄土粉尘受搬运距离与颗粒重力沉降的影响,可通过粗粒组分和中粒组分的中值粒径

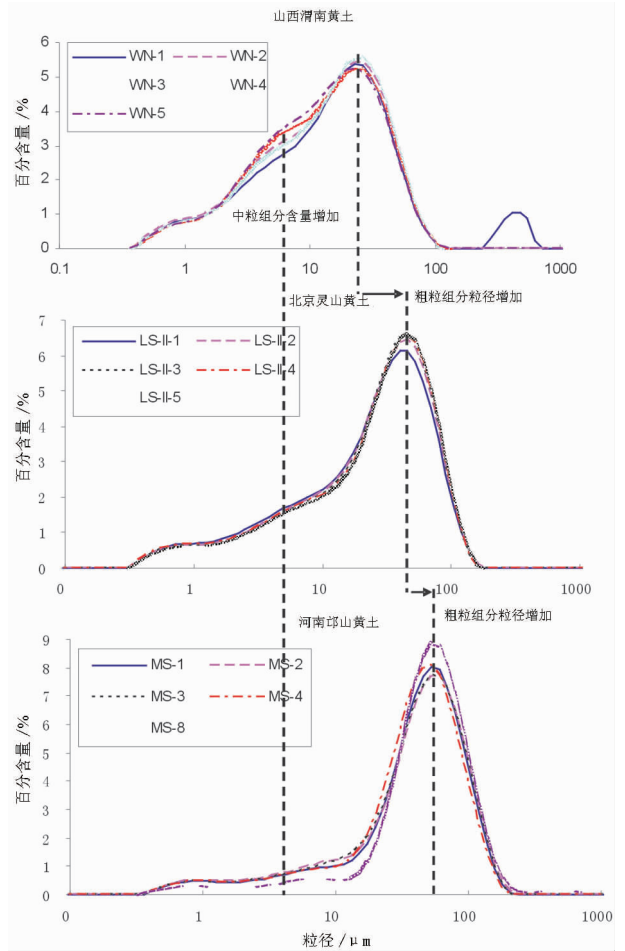


图4 黄土粒度分布对比图

Fig.4 Comparison of grain-size distributions of loess

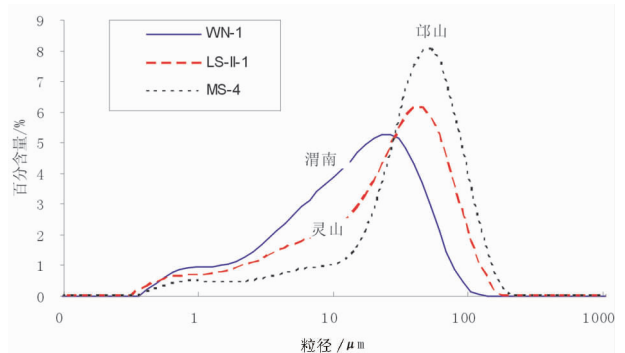


图5 不同源区距离黄土粒度曲线对比

Fig.5 Comparison of grain-size curves of loess with different dust source distances

和百分含量的高低变化推知其源区距离的相对远近关系,离源区越远,黄土粉尘粒度越细,反之越粗。从图5可以判别黄土粒度组分间的差异,粒径变化范围以及相对源区距离等信息。在源区距离差异显著

情况下,源区距离对黄土粉尘粒度的影响非常明显。那么在同一源区距离情况下,源区距离对黄土粉尘粒度又会有什么样的影响呢?

3.2 同一源区距离

为进一步分析源区距离对黄土粉尘粒度的影响,笔者以邛山黄土为例论述同一源区距离对黄土粒度分布特征的影响。邛山黄土粒度分布曲线见图 6。因采样间隔较小,样品整体粒度分布曲线对源区距离的沉积分异变化规律不明显。为厘定近距离的源区对黄土粒度各组分的影响是否明显,笔者利用前面的对数正态分布函数分离了邛山黄土粒度的各个组分,试图利用粒度各组分的特征来显示整体无法反映的这种差异,各组分中值粒径数据见表 2。邛山黄土粒度各组分分离后,全样品的中值粒径、中粒组分的中值粒径、粗粒组分的中值粒径均能很好地反映随源区距离粒径的差异(图 7),因细粒组分百分含量很低,这里不予考虑。原本粒度整体分布曲线表现的并不明显的差异信息经组分分离后变的非常

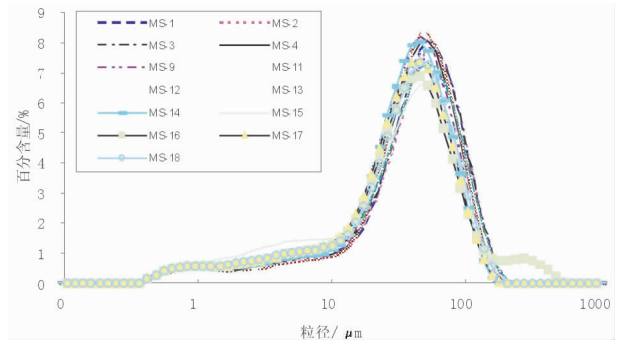


图 6 邛山黄土横向剖面粒度分布图

Fig.6 Section of grain-size distribution across the Mangshan loess

清楚、直观。组分分离能够把粒度的信息挖掘的更多,也更能细微表现各种细小差异。全样品与中、粗粒组分的中值粒径从黄河岸边随着距离的变化,均呈现规律性的减小变化,相关系数分别为 0.88、0.62、0.75,很好地反映了从黄河岸边随距离黄河越来越远,黄土粉尘粒度逐渐变细的现象。

表 2 黄土粒度各组分参数

Table 2 Parameters of various grain-size fractions of loess

编号	1M			2M			3M		
	中值粒径	标准差	百分含量	中值粒径	标准差	百分含量	中值粒径	标准差	百分含量
WN-1	0.85	3.00	4.50	4.58	5.50	30.25	23.40	4.75	60.25
WN-2	0.95	3.75	7.25	4.70	4.50	29.00	23.51	4.75	63.75
WN-3	0.84	3.00	4.50	5.02	5.25	37.00	24.28	4.75	58.50
WN-4	0.95	4.00	6.75	5.15	5.00	32.50	24.28	4.50	60.75
WN-5	0.94	3.50	5.00	5.10	5.00	36.00	23.14	4.75	59.00
LS-II-1	0.84	3.75	4.75	8.84	7.75	37.50	43.70	4.25	57.75
LS-II-2	0.81	3.75	4.50	9.60	7.75	37.50	44.30	4.00	58.00
LS-II-3	0.84	4.00	5.00	9.60	7.50	36.00	44.30	4.00	59.00
LS-II-4	0.76	3.75	5.25	8.36	7.25	33.75	44.30	4.00	61.00
LS-II-5	0.81	4.00	5.25	9.21	7.50	34.75	44.92	4.00	60.00
MS-1	0.85	3.50	3.75	8.72	7.25	17.25	52.99	4.00	79.00
MS-2	0.96	3.75	4.00	9.33	7.50	21.75	56.78	4.00	74.25
MS-3	0.99	4.00	4.25	8.84	6.25	16.00	53.73	4.25	79.75
MS-4	0.84	3.50	3.50	8.36	7.75	17.25	49.47	4.00	79.25
MS-9	0.80	3.25	2.75	6.26	8.25	15.75	45.54	4.00	81.50
MS-11	0.88	3.25	3.00	8.36	8.00	15.50	48.78	4.00	81.50
MS-12	0.83	4.25	4.25	8.78	7.25	21.25	53.73	4.25	74.50
MS-13	0.87	3.50	4.25	6.53	6.50	16.25	41.93	4.25	79.50
MS-14	0.84	3.25	3.00	8.25	8.50	19.25	44.91	4.00	77.75
MS-15	0.81	3.25	3.50	6.71	8.25	29.75	48.80	4.25	66.75
MS-16	0.81	3.00	3.50	5.53	6.50	16.50	43.10	4.50	75.75
MS-17	0.88	3.50	4.50	6.99	7.25	19.25	43.10	4.25	76.25
MS-18	0.85	3.50	4.00	6.44	7.25	19.25	45.54	4.25	76.75

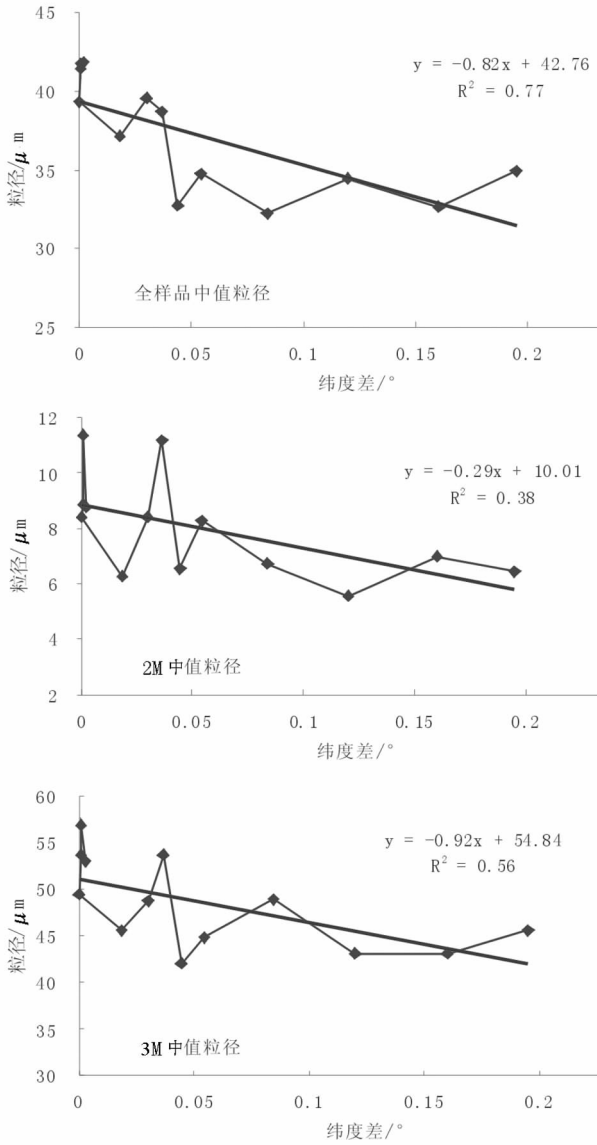


图 7 邛山黄土粒度各组线性关系
Fig.7 Linear relationships of various grain-size fractions of the Mangshan loess

研究发现，黄土粉尘的粒度分布与源区距离遵循下列关系：

设水平平均风速为 \bar{u} ，粉尘搬运距离为 L ，粉尘搬运时间为 $T=L/\bar{u}$ ，如果假设单位体积内粉尘经过时间 T 后粉尘沉降量为 DT ，于是经过时间 T 后粗粒组分粉尘浓度 N_z' 为：

$$N_z' = N - DT = N_z - V_g N_z T = N_z (1 - V_g T) = N_z (1 - V_g L / \bar{u}) \quad (2)$$

假设原始粉尘浓度 N_z 满足对数正态分布 $N_z =$

$f(\lg(m)) = f(k)$ ，其中 $k = \lg(m)$ ，则根据连续函数的数学期望定义，其平均粒径 \bar{k} 满足关系

$$\bar{k} = \int_0^{\infty} kf(k)dk$$

于是新的粉尘浓度 N_z' 可根据下式计算

$$\bar{k}' = \int_0^{\infty} kf(k)(1 - V_g T)dk = \int_0^{\infty} kf(k)(1 - A m^2 T) = \int_0^{\infty} kf(k)(1 - A e^{2k} T)dk \quad (3)$$

由此可得关系

$$\bar{k}' = \int_0^{\infty} kf(k)dk - AT \int_0^{\infty} kf(k)e^{2k}dk = \bar{k} - BT = \bar{k} - BL/\bar{u} \quad (4)$$

其中 B 为常系数。

公式(4)意味着一次沙尘暴中粗粒组分的中值粒径随源区距离的增加而减小，二者负相关。图 7 中各个组分的拟合函数与理论推导公式(4)形式完全一致，一方面证明了理论推导的正确性，反映了近距离的源区距离对黄土粉尘粒度组分分布的影响。另一方面粒度组分离能充分挖掘全样品所无法反映的潜在信息，说明了粒度组分离的优越性。

4 结 论

通过对渭南、灵山、邛山等地大量黄土样品的粒度多组分分布特征对比分析，并讨论了源区距离对粒度分布的影响，取得了以下认识：

(1)黄土粒度受源区距离影响明显。因此可通过粗粒组分中值粒径的粗细变化和中粒组分百分含量的高低变化可推知其源区距离的相对远近关系。

(2)不同地区黄土粉尘粒度差异明显，黄土粒度粗粒组分中值粒径随源区距离增加而减小，二者负相关；中粒组分百分含量随源区距离增加而增加，二者呈正相关。

(3)粒度组分离能够把黄土粒度信息挖掘的更多，也更能表现各种细微差异，反映了粒度组分离的优越性。

(4)理论推导了黄土粗粒组分的中值粒径与源区距离的关系并用实际拟合函数验证了其正确性。

参考文献 (References) :

[1] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京:

- 地质出版社, 1976:5-19.
- The Geology Team of Chengdu College of Geology. Application Analysis of Grain Size [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1976:5-19(in Chinese).
- [2] 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(D辑), 1998, 28(3):278-283.
- Lu Huayu, An Zhisheng. Paleoclimatic significance of grain size of loess-paleosol deposit in Chinese Loess Plateau[J]. Science in China (Series D), 1998, 28(3):278-283(in Chinese).
- [3] Alfaro S C, A Gaudichet, L Gomes, et al. Mineral aerosol production by wind erosion: aerosol particle sizes and binding energies[J]. Geophysical Research Letters, 1998, 25(7):991-994.
- [4] Ashley G M. Interpretation of polymodal sediments [J]. Journal of Geology, 1978, 86:411.
- [5] 谢远云, 张序强, 何葵, 等. 青藏高原东北缘黄土粒度组成及物质来源分析[J]. 中国地质, 2002, 30(3):317-321.
- Xie Yuanyun, Zhang Xuqiang, He Kui, et al. Grain -size distribution and material source analysis of loess on the northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geology in China, 2002, 30(3):317-321(in Chinese with English abstract).
- [6] Bagnold R A. The pattern of nature size distributions [J]. Sedimentology, 1980, 27:199.
- [7] 谢远云, 何葵, 康春国. 哈尔滨市特大沙尘暴沉降物的粒度分布及意义[J]. 中国地质, 2005, 32(3):502-506.
- Xie Yuanyun, He Kui, Kang Chunguo. Grain -size distribution of fall-outs of an exceedingly large dust storm in Harbin City and its implication[J]. Geology in China, 2005, 32(3):502-506(in Chinese with English abstract).
- [8] 王秋良, 李长安, 谢远云, 等. 江陵剖面沉积物的粒度特征及其古气候意义[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1406-1410.
- Wang Qiuliang, Li Changan, Xie Yuanyun, et al. Grain -size characteristics of sediments in the Jiangling section and their paleoclimatic significance[J]. Geology in China, 2006, 33(6):1406-1410(in Chinese with English abstract).
- [9] Lu H, Shao Y P. A new model for dust emission by saltation bombardment [J]. Journal of Geophysics Research, 1999, 104(14):16827-16842.
- [10] Mason C C, Folk R L. Differentiation of beach, dune and Aeolian flat environment by size analysis [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1958, 28:211-216.
- [11] 孙东怀, 安芷生, 苏瑞侠, 等. 古环境中沉积物粒度组分分离的数学方法及其应用[J]. 自然科学进展, 2001, 11(3):269-276.
- Sun Donghuai, An Zhisheng, Sun Ruixia, et al. Mathematics method and its application of Grain -size distribution of paleoenvironment sediments[J]. Progress in Natural Sciences, 2001, 11(3):269-276(in Chinese with English abstract).
- [12] 秦小光, 吴金水, 蔡炳贵, 等. 全新世时期北京-张家口地区与黄土高原地区风成系统的差异[J]. 第四纪研究, 2004, 24(4):430-436.
- Qin Xiaoguang, Wu Jinshui, Cai Bingui, et al. The difference between dust -transporting wind systems of Beijing-Zhangjiakou area and the loess plateau since the LGM [J]. Quaternary Science, 2004, 24(4):430-436(in Chinese with English abstract).
- [13] 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985:191-207.
- Liu Dongsheng. Loess and Environment[M]. Beijing: Science Press, 1985: 191-207(in Chinese).
- [14] 鹿化煜, 安芷生. 洛川黄土粒度组成的古气候意义[J]. 科学通报, 1997, 42(1):66-69.
- Lu Huayu, An Zhisheng. Paleoclimatic significance of grain size of Luochuan Loess deposit in Chinese Loess Plateau [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(1):66-69(in Chinese).
- [15] 汪海滨, 陈发虎, 张家武. 黄土高原西部地区黄土粒度的环境指示意义[J]. 中国沙漠, 2002, 22(1):21-26.
- Wang Haibin, Chen Fahu, Zhang Jiawu. Environmental significance of grain size of loess-paleosol sequence in western part of Chinese Loess Plateau [J]. Journal of Desert Research, 2002, 22(1):21-26(in Chinese with English abstract).
- [16] Ding Z L, Derbyshire E, Yang S L, et al. Stacked 2.6 Ma grain size record from the Chinese Loess based on five section and correlation with the deep-sea $\delta^{18}\text{O}$ record[J]. Paleoceanography, 2002, 17(3):725-756.
- [17] 安芷生, 肖举乐. 黄土高原风尘沉积通量研究的一个实例[J]. 科学通报, 1990, 3:220-223.
- An Zhisheng, Xiao Jule. A study example of the dust depositional flux of the Loess Plateau [J]. Chinese Science Bulletin, 1990, 3:220-223(in Chinese).
- [18] An ZS, G Kukla, SC Porter et al. Late Quaternary dust flow on the Chinese loess plateau[J]. Catena, 1991, 18:125-132.
- [19] Ding ZL, NW Rutter, JT Han et al. A coupled environmental system formed at about 2.5 Ma over eastern Asia [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1992, 94:223-242.
- [20] 丁仲礼, 任建璋, 刘东生, 等. 晚更新世季风-沙漠系统千年尺度的不规则变化及其机制问题 [J]. 中国科学 (D辑), 1996, 26(5):385-391.
- Ding Zhongli, Ren Jianzhang, Liu Tungsheng, et al. Irregular change of monsoon -desert system on a millennial scale and its mechanism[J]. Science in China(Series D), 1996, 26(5):385-391(in Chinese).
- [21] 辛良杰. 张夏黄土组成特征及其成因分析 [J]. 中国地质, 2005, 32(1):55-61.
- Xin Liangjie. Characteristics of the composition of the Zhangxia loess and its origin [J]. Geology in China, 2005, 32 (1):55-61(in Chinese with English abstract).
- [22] 刘艳霖, 岳乐平, 帕拉提. 西老高川红粘土剖面粒度磁化率特征及古气候意义[J]. 中国地质, 2005, 32(3):496-501.
- Liu Yanlin, Yue Leping, Parati. Characters of grain -size and susceptibility of the Neogene Laogaochuan red clay section, Shaanxi, and its paleoenvironment significance [J]. Geology in China, 2005, 32(3):496-501(in Chinese with English abstract).
- [23] Qin X G, Cai B G, Liu T S. Loess record of the aerodynamic environment in the east Asia monsoon area since 60 000 years

- before present [J]. *Journal of Geophysics Research*, 2005, 110(10): 1029.
- [24] 秦小光, 蔡炳贵, 刘东生. 氧同位素第 3 阶段时期东亚季风区大气湍流特征[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(1):31-40.
- Qin Xiaoguang, Cai Bingui, Liu Tungsheng. Characteristics of atmospheric turbulence in the eastern Asian monsoon area during MIS 3[J]. *Quaternary Science*, 2003, 23(1):31-40(in Chinese with English abstract).
- [25] 丁仲礼, 孙继敏, 刘东生. 联系沙漠-黄土演变过程中耦合关系的沉积学指标[J]. *中国科学(D 辑)*, 1999, 42(2):146-152.
- Ding Zhongli, Sun Jimin, Liu Dongsheng. A sedimentological proxy indicator linking changes in loess and deserts in the Quaternary[J]. *Science in China (Series D)*, 1999, 42(2):146-152 (in Chinese).
- [26] 蒋复初, 王书兵, 傅建利. 河南邙山晚更新世黄土的环境记录[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(6):702.
- Jiang Fuchu, Wang Shubing, Fu Jianli. Environmental record of Henan mangshan mountain loess in late Pleistocene [J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(6):702(in Chinese with English abstract).
- [27] 鹿化煜, 安芷生. 前处理方法对黄土沉积物粒度测量影响的实验研究[J]. *科学通报*, 1997, 42(23):2535-2538.
- Lu Huayu, An Zhisheng. The influences of pretreatment methods on grain size measurement of loess-paleosol [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(23):2535-2538(in Chinese).
- [28] 鹿化煜, 苗晓东, 孙有斌. 前处理步骤与方法对风成红粘土粒度测量的影响[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2002, 22(3):129-132.
- Lu Huayu, Miao Xiaodong, Sun Youbin. Pretreatment methods and their influences on grain-size measurement of aeolian "Red clay" in north China [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2002, 22(3):129-132(in Chinese with English abstract).
- [29] 殷志强, 秦小光, 吴金水, 等. 湖泊沉积物粒度多组分特征及其成因机制研究[J]. *第四纪研究*, 2008, 28(2):334-342.
- Yin Zhiqiang, Qin Xiaoguang, Wu Jingshui, et al. The multimodal grain-size distribution characteristics and its formation mechanism of lake sediments[J]. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(2):334-342(in Chinese with English abstract).

Influence of the dust source distance on the multimodal grain-size distribution characteristics of loess

YIN Zhi-qiang^{1,2}, QIN Xiao-guang², LI Yu-mei³, NING Bo²

(1. *Chinese Institute of Geological Environment Monitoring, Beijing 100081, China;*

2. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China;*

3. *Graduate School, Chinese Academic of Sciences, Beijing 100049, China;*)

Abstract: By using high-resolution laser grain-size instrument Mastersizer 2000, the authors performed a systematic study of the grain-size distribution characteristics of loess samples from Weinan in Shanxi province, Linshan in Beijing and Mangshan in Henan province, summed up the differences in multimodal grain-size distribution among three types of loess and discussed the influence of the dust source distance on the multimodal grain-size distribution characteristics of loess. The main conclusions are as follows: (1) Suspended particles with a diameter of $<70 \mu\text{m}$ are dominant. There are three fractions for grain size distribution of loess: fine, medium and coarse (the median sizes are $<1 \mu\text{m}$, $1-10 \mu\text{m}$ and $10-70 \mu\text{m}$, respectively). The coarse fraction, which has the highest percentage, has the most distinct peak. The grain sizes and percentages of the coarse and medium fractions are controlled by the source distance. (2) The grain sizes of loess dust in different areas are notably different. The median grain size of the coarse fraction decreases with increasing source distance, showing a negative correlation; whereas the percentage of the medium fraction increases with increasing source distance, showing a positive correlation. (3) The separation of grain size fractions can reflect the minute difference in grain size in the same source region and has advantages. (4) The relation between the median size of the coarse fraction of loess and the dust source distance may be deduced theoretically and its correctness may be checked and validated by the actual fitting function.

Key words: loess; source area distance; multimodal distribution characteristics

About the first author: YIN Zhi-qiang, male, born in 1980, master, mainly engages in the study of Quaternary geology; E-mail: yinzq@mail.cigem.gov.cn.