

陕西北部榆林第四纪地层剖面的 粒度分析与讨论*

李保生 董光荣 高尚玉 丁同虎 邵亚军
(中国科学院兰州沙漠研究所)

提 要

本文根据榆林剖面及其粒度分析结果,讨论了剖面中地层的沉积相、古气候和环境演化。

关键词 榆林剖面 黄土 古土壤 粒度 沉积相 古气候

粒度分析方法是确定沉积岩相和恢复古代沉积环境的重要手段之一。在我国沙漠地区,以往对现代风成沙的粒度研究较多^[1-2],对地质时期特别是第四纪沉积物研究较少。为此,我们对含古风成沙的榆林第四纪地层剖面采样进行分析。

一、剖面简述

榆林剖面位于鄂尔多斯高原毛乌素沙漠东南缘—榆林城东约 5km 的园艺场蔡家沟罗家塬。总厚 100m 左右,共计 45 层。在早更新世胶结沙砾石层 (1-A) 之上含有 18 层沙、8 层黄土和 18 层古土壤相互迭覆的沉积序列。该地沉积较为连续,18 层古土壤¹⁾与下伏沙或黄土构成 18 个沉积旋迴,是目前研究鄂尔多斯沙漠沉积环境变化的一个理想剖面。

二、粒度分析结果

沉积物粒度使用筛析和移液管方法分析而成。 粒级划分标准是: 1—0.1mm 采用十进制分类方法, 0.1—0.005mm 以下用黄河中游黄土的分类方法^[3]。 颗粒粒径以其对数 Φ (W. C. Krumbein, 1936)^[4] 表示。 现将榆林剖面的粒度分析结果示于图 1、图 2 和表 1。

* 剖面中热释光由中国社会科学院考古研究所李虎侯同志测定,粒度分析由我所张焕新同志完成,在此表示感谢。

1) 剖面第 5 层古土壤 (11-E₄, S₂) 可能是第 4 层古土壤 (10-S₄) 形成之后,曾发生过一次固定-半固定沙丘的沉积阶段,由于此后的成壤作用影响较大,故第 5 层古土壤似乎“不存在母质层”,鉴于此,作者将第 5 层古土壤也视为一个沉积旋迴,即反映风沙沉积 (11-E₄) 和成壤作用 (11-S₂) 两个阶段。本文所指剖面中的 18 层沙实际上包括了该层古土壤 (11-S₂) 反映出来的风沙沉积 (11-E₄)。

表1 剖面中各类地层的粒度变化*
Tab. 1 The grain size variations of the different kinds of strata in the profile

岩 性	0—4.32Φ 沙 粒	4.32—6.64Φ 粗 粉 沙	6.64—7.64Φ 细 粉 沙	>7.64Φ 粘 土	$\mu_x(\Phi)$	σ
中沙-微沙	100—100	—	—	—	1.83—3.75	0.32—0.94
粉沙质细沙 粉沙质微沙	51.07—78	15.66—37.37	0.33—4.76	3.34—6.8	3.28—4.22	0.54—1.65
黄 土	14.88—48.14	45.6—76.13	2.83—6.87	3.43—6.8	4.51—5.34	0.8—2.07
沙质古土壤	58.83—81.87	10.67—28.13	0.13—6.27	2.2—11.04	3.2—4.76	0.91—1.75
粉沙质古土壤	17.8—46.6	44.2—67.3	2.13—8.37	4.1—8.29	4.36—5.37	0.8—1.46

* 表内 $\mu_x = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3$; $\sigma = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/4 + (\Phi_{95} - \Phi_5)/6.6$

三、问 题 讨 论

(一) 沉积相

由表 1 和表 2 对比可以看到,剖面中,细、微沙和粉沙质细沙、粉沙质微沙分别与鄂尔多斯现代流动和固定-半固定沙丘的粒度组成极为近似。现代流动沙丘和中、细、微沙地

表2 鄂尔多斯现代流动沙丘和固定-半固定沙丘的粒度变化
Tab. 2 The grain size variations of shifting sand dunes and fixed-semifixed sand dunes of the present period in the Ordos plateau.

样品分布 地 点	沙丘类型	沙 丘 的 粒 级 百 分 含 量								μ_x (Φ)	σ
		—1—0 Φ 极粗沙	0—1Φ 粗 沙	1—2Φ 中 沙	2— 3.32Φ 细 沙	3.32— 4.32Φ 微 沙	4.32— 6.64Φ 粗粉沙	6.64— 7.64Φ 细粉沙	>7.64Φ 粘 土		
鄂托克旗陶思兔河	流动沙丘	0.12	2.1	16.19	44.56	37.14	—	—	—	3.36	0.62
乌审旗沙尔利格吴公梁	流动沙丘	—	17.77	40.32	27.91	14	—	—	—	1.94	1.03
萨拉乌苏河巴图湾	流动沙丘	—	—	2.46	33.58	63.96	—	—	—	3.39	0.56
鄂托克旗城川北	流动沙丘	—	—	0.99	92.6	6.38	—	—	—	2.5	0.35
鄂托克旗查布西北	固定-半固定沙丘	—	3.69	18.25	37.91	19.20	7.53	2.41	10.69	3.31	2.03
鄂托克旗查布十三敖包梁	固定-并固定沙丘	0.18	2.08	9.09	32.64	38.12	11.2	0.56	6.41	3.32	1.9
鄂托克旗毛盖图	固定-半固定沙丘	1.89	12.25	15.47	28	33.60	2.03	0.28	8.4	2.94	2.17
鄂托克旗城川二道界	固定-半固定沙丘	—	—	5.43	47.84	21.45	21.16	0.5	3.61	3.23	1.11
萨拉乌苏河滴哨沟湾	固定-半固定沙丘	—	—	1.72	78.51	16.95	0.38	0.04	2.39	2.76	0.58
榆林电视台附近	固定-半固定沙丘	—	—	0.95	37.75	50.23	5.16	0.54	5.36	3.42	1.48
横山城关公社	固定-半固定沙丘	—	—	—	7.25	85.60	2.18	0.35	4.63	3.81	0.53

层纯系 $< 4.32 \Phi$ 的沙粒, μ_x 分别变化于 $1.94-3.39 \Phi$ 和 $1.83-3.75 \Phi$ 的中、细、微沙粒级, σ 分别为 $0.35-1.03$ 和 $0.32-0.94$; 现代固定-半固定沙丘和粉沙质细沙, 粉沙质微沙均以 $< 4.32 \Phi$ 颗粒含量最高, 其次是 $4.32-7.64 \Phi$ 的粉沙, $> 7.64 \Phi$ 的粘土含量较低, μ_x 分别变化于 $2.76-3.81 \Phi$ 和 $3.28-4.22 \Phi$ 的细沙-微沙粒级, σ 分别为 $0.53-2.37$ 和 $0.54-1.65$ 。表明剖面中沙相沉积是风成的, 并进而证实鄂尔多斯第四纪以来的风成沙是“以流动沙丘、固定、半固定沙地多种类型存在”^[5]的看法。

剖面中的黄土(下称榆林黄土)与晋陕黄土高原(下称晋陕高原)更新世各时期已知风成黄土的粒度组成颇具一致性(图 3)。它们均以 $4.32-6.64 \Phi$ 颗粒含量居于首位, 与黄河中游第 I 带风成马兰黄土和现代风尘比较, 粒度组成上的一致性更为明显。榆林与晋陕高原黄土粒度组成上的差异, 例如 $> 6.64 \Phi$ 颗粒含量上的差异, 则是各地黄土沉积时和沉积后的生物气候带不同所致。通过与不同时期和地点的风成黄土及现代风尘的粒度比较后可以认为, 榆林黄土也同属于风成的粉尘沉积。

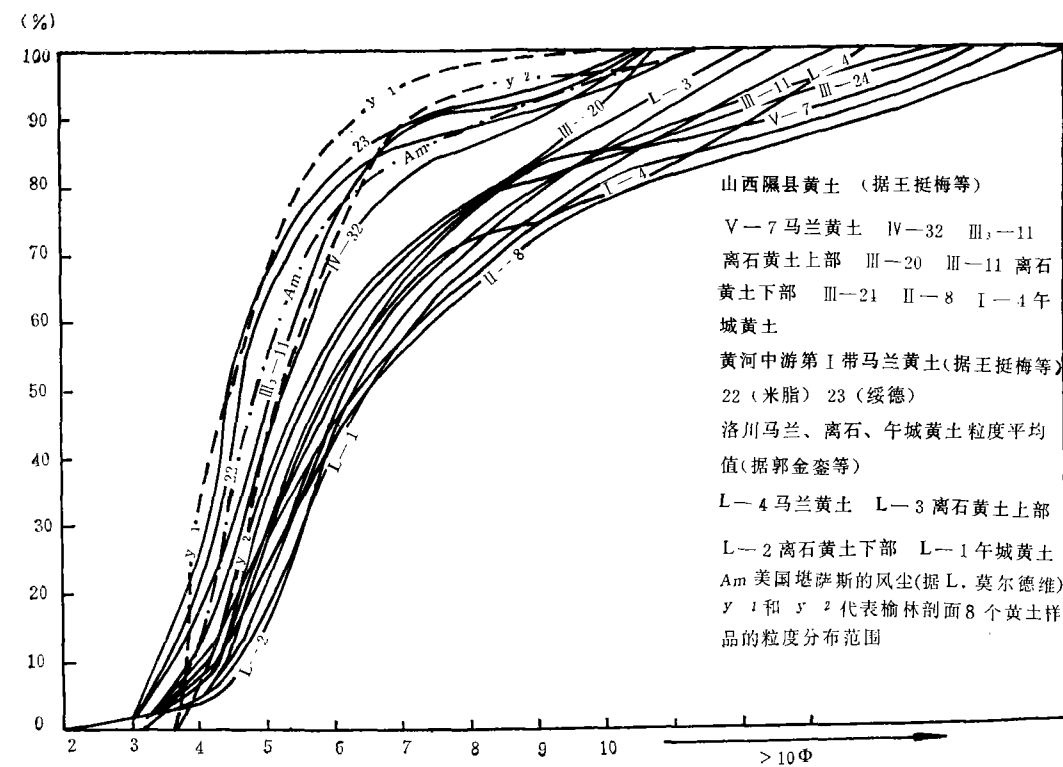


图 3 晋陕已知风成黄土、现代风尘和榆林黄土的粒度分布曲线

Fig. 3 The grain size distribution graph of the aeolian loess known in Shanxi and Shaanxi and of present period dust and Yulin loess.

剖面中古土壤可分褐色土和黑垆土。一般有粘化层、碳酸钙淀积层以及由风成沙或黄土组成的母质层。这些古土壤层与之下伏风成沙或黄土的粒度主要组成基本相似, 仅 $\mu_x \Phi$ 值和粘土含量相对增大, 分选程度变差, 表明它是在风成沙或黄土母质上发育而成的。

剖面中不同沉积相 σ 显示的分选程度,按福克和沃德 (1957) 制定的分级标准^[6],分选极好和很差者为数极少,分选系数多变化于中等-差 (σ 为 0.5—2) 范围。如不计个别黄土的分选,相对而言,风成的中、细、微沙地层分选最好,沙质古土壤分选差,余皆大体变化于这两者之间。

(二) 古气候

风成沙、黄土和古土壤粒度组成上的差别,反映在它们形成时的气候和条件是不同的。对第四纪地层中遗存的古气候记录研究表明^[7]: 冰期、间冰期气候波动既是控制冰川进退、冻土生消、海面升降的主要因素,也是控制沙漠扩缩、黄土沉积及其间断的主要因素。分析鄂尔多斯及其东南以远的现代风沙、风尘活动规律也表明: 风沙、风尘活动的强烈时期,主要与冬春季蒙古高压作用加强造成的干冷的西北风作用有关;在沙、尘活动趋于停止,流水作用活跃,植物生长繁茂时期,主要与夏季海洋气团作用加强造成的东南风带来的降水有关。可见剖面中风成沙、黄土、古土壤粒度组成上的差别,主要与冰期、间冰期中蒙古高压的强弱、海洋气团的盛衰有联系。冰期中蒙古高压作用愈强,西北风力就愈大,湿度愈小,温度愈低,降水也就愈少。此时干冷气候使植被疏萎,在强烈频繁的西北风作用下,有利于流沙沉积,形成中、细、微沙地层。当蒙古高压相对减弱时,西北风力随之相对降低,湿度、温度和降水则随之相对增大、增高、增多,给一些草本灌木植物提供生长条件,在干冷的西北风作用下,有利于沙丘的固定、半固定和风尘沉积,形成粉沙质细沙和粉沙质微沙地层。而这种气候条件持续时间较长就可能给更多的草本植物提供生长条件,在干冷的弱西北风长期作用下,出现更多的风尘沉积,从而形成黄土地层。反之,间冰期中海洋气团增强时,由东南风带来的温度和降水分别增高、增多,极大地削弱了风沙、风尘活动,有利于各种植物的生长和成土过程发展,形成褐色土和黑垆土。其中,褐色土形成的气候条件显比黑垆土暖湿。而古土壤粒度组成上的差别,反映它们发育的母质不同——沙质古土壤发育于风成沙,粉沙质古土壤则发育于黄土。

由于古土壤的原始颗粒组成是风成的,故古土壤 $\mu_s \Phi$ 值和粘土含量比下伏沙或黄土相应参数值增大,而这两个参数的变化必然引起制约 σ 大小的四个特征数变化,其结果使得 Φ_{95} 与 Φ_5 和 Φ_{84} 与 Φ_{16} 两个 Φ 差之和自然地大于下伏沙或黄土,古土壤的分选也就显得相对较差(参见图 2)。古土壤相对下伏沙或黄土在剖面上的这种变化,一方面可能反映它们沉积时的西北风有由强→弱的先后变化,另一方面表明暖湿气候条件下的生物-化学风化比干冷气候条件下的这种作用强烈的多。

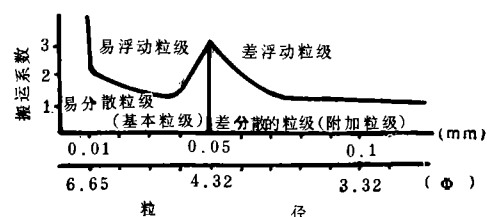


图4 尘粒的相对搬运性能曲线(据 L. 莫尔德维)

Fig. 4 The chart of relative transportation character of dust grain (according to Moldvay L.)

基于沙、黄土是风成的,除以上阐明的沙、粉沙质沙、黄土指示它们形成时的平均风力状况彼此不同外,其各自颗粒的粗细差别所指示的风力也是不同的。L. 莫尔德维的实验结果(图 4)^[8]表明: $4.32-6.64 \phi$ 的粗粉沙在空气中极易浮动, $< 4.32 \phi$ 的颗粒,随粒径变粗,搬运系数变小,在空气中浮动性能越来越差。榆林黄土中易浮动粒级含量为所有其它粒级含量之冠。差浮动粒级为 $3.64-4.32 \phi$, 其含量高低悬殊较大,高达 48.14%, 低至 14.88%。显然,易浮动和差浮动颗粒含量随风力增大而分别相对降低和增高,随风力变小而分别增高和降低。因而,尽管榆林黄土是干冷气候条件下的弱风沉积,由于易浮动和差浮动颗粒含量上的差别,反映风尘沉积时仍然存在风力大小不同的变化。由固定-半固定沙丘形成的粉沙质沙层中,包括差浮动颗粒在内的 $< 4.32 \phi$ 粒级的含量为 51.07—78%, 易浮动颗粒含量为 15.66—37.37。不难想像,前者含量高,指示风力应较大,后者含量高,指示风力较小。在沙层中不含易浮动颗粒,总的说明风力较大,但从颗粒的粗细对比看,如 μ_x 或 μ_d (中位数)为中沙、或细沙或微沙,说明形成流沙时的风力大小也同样有变化。

(三) 环境演化

根据以上讨论,将榆林剖面反映的第四纪环境变化恢复于图 1。

由图 1 可见,鄂尔多斯地区从第四纪初至现代,交替经历了 11 次极干冷的流动沙丘、7 次干冷的固定-半固定沙丘、8 次干冷的风尘沉积和 15 次暖湿、3 次温湿气候条件下的成壤作用(分别形成褐色土和黑垆土)阶段。表明:

1. 鄂尔多斯的风成沙沉积至少在第四纪初期就业已存在。至今经历了一系列的流沙 \rightleftharpoons 半固定、固定成壤的相互转化过程。现今该区的土地沙漠化,仅是第四纪以来干冷气候条件下的风沙、风尘活动与暖湿或温湿气候条件下的成壤作用在长期演化过程中出现的最新一幕。

2. 第四纪初以来,本区就已处于蒙古高压与海洋季风边缘区的过渡带位置,并多次受到冰期间冰期气候波动导致的岩相带移动的影响。众所周知,黄土主要是沙漠东南部边缘的风尘沉积,流沙则是西北部典型的沙漠环境沉积,固定-半固定沙丘往往分布于流沙与风尘沉积带之间。冰期中,蒙古高压作用增强南下,气候极为干冷和西北风增大时,本区便出现流沙沉积,流沙与固定-半固定沙丘以及后者与风尘的沉积界线必然向东南黄土区推进。反之,气候干冷程度和风力减弱时、固定-半固定沙丘与风尘的沉积界线势必向西北部流沙区推移。间冰期时,海洋气团兴盛北上,气候暖湿,植被较为茂密,流水和成壤过程取代了风的蚀积作用,至少从鄂尔多斯西北抵东南黄土区发育沙质古土壤和粉沙质古土壤(黄土古土壤)。结果,迫使流沙、固定-半固定沙丘、风尘各岩相带萎缩至更遥远的西北区域。正是气候波动导致的不同岩相带的水平移动,即使在风尘沉积界线向西北推移的时期,位置偏北的鄂尔多斯的风力也较晋陕高原黄土沉积时大,这就是洛川黄土中 $4-5 \phi$ 的频率较 $5-6 \phi$ 频率低^[9],而榆林黄土中 $4-5 \phi$ 颗粒的频率反较 $5-6 \phi$ 颗粒的频率高的原因。据此可以认为,在黄河中游第 I 带马兰黄土西北缘以至鄂尔多斯这一广大地区,第四纪初以来就是一个风沙与风尘沉积的过渡地带,从而使它们在剖面的水平和垂直方向上与古土壤交互分布。因为榆林剖面的粒度组成中多次出现风成沙,也为我国黄土的物质至少部分来自鄂尔多斯沙漠的论点在地质上提供了确凿的岩石学见证。

3. 榆林剖面自下而上特别是晚更新世以来地层中风成沙层位相对增多,显示该区气候的变化愈加趋于干冷,这可能与晚第三纪以来喜马拉雅山上升^[10]和青藏高原隆起^[11]导致的大气环流日益加剧有关。

参 考 文 献

[1] 徐俊名,宁夏河东沙区沙丘沙的来源,地理学报, **31**(2), 1965。
[2] 黄杏珍、潘中海,应用粒度资料探讨毛乌素沙漠西南部的风沙特征,地理学报, **36**(1), 1981。
[3] 王挺梅、鲍芸英,黄河中游黄土之粒度分析,第四纪地质问题,科学出版社, 1964。
[4] Krumbien W. C., Use Quartile Ueasures in describing and comparing Sediments, *Amer. Jour. Scie.* **32**(188), 1936。
[5] 董光荣等,鄂尔多斯高原的第四纪古风成沙,地理学报, **38**(4), 1983。
[6] Folk R. L., W. C., Ward Brazos Reverbar: a study in significance of Grain Sizeparameters, *Jour. Sed. Petrology*, **27**(1), 1957。
[7] 董光荣等,鄂尔多斯高原晚更新世以来的古冰缘现象及其气候地层学意义,地理研究, **4**(1), 1985。
[8] Moldvay L., On the Governing Sedimentation from Eoloin Surpension, *Acta Universitatis Sze-gediensis*, T. XIV, 75—109, 1962。
[9] 郭金奎、卢演僂,黄土的粒度韵律-粒度分布特征数的讨论,黄土的物质成分和结构,科学出版社, 1966。
[10] 赵希涛,喜马拉雅山脉近期上升的探讨,地质科学, 1975(3)。
[11] 李吉均等,青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨,中国科学, 1979(6)。

ANALYSIS AND DISCUSSION ON THE GRAIN SIZE OF THE QUATERNARY STRATA PROFILE IN YULIN AREA OF THE NORTHERN, SHAANXI

Li Baosheng Dong Guangrong Gao Shangyu Din Tonghu Shao Yajin

(Lanzhou Institute of Desert, Academia Sinica)

Key words Yulin profile; loess; palaeosol; grain size; sedimentary facies palaeo-climate

Abstract

The Quaternary Strata profile and its variations of grain size in Yulin area reveal that: the layers of sand, loess, and palaeosol in the profile were respectively formed by wind force and the action of soil formation on the parent materials of aeolian sand and loess.

Since the early Quaternary, the Ordos Plateau has alternately undergone 11 stages of the depositions of shifting sands under extreme cold-dry climatic conditions, 7 times of fixed-semifixed dunes and 8 times of dust (loesses) under cold-dry climatic conditions; and that of the action of soil formation under 15 times of warm-wet climate and 3 times of temperate-wet climate (drab soils and black loams formed respectively).

The aeolian sand deposits already existed in the Ordos Plateau region at least in early Quaternary, and from that time up to now it has undergone a series of alternative processes of shifting sands \rightleftharpoons semi fixed and fixed dunes-soils formation.

The region has been situated in the transitional belt of the Mongolian high pressure and the margin of ocean monsoon climate since the early Quaternary, and has been influenced repeatedly by migrations of the lithofacies belts of sands, fixed-semifixed dunes, dust (loesses) and soils which have been caused by the climatic fluctuations of glacial age and interglacial age.