

# 青藏高原东北缘黄土粒度组成及物质来源分析

谢远云<sup>1,2</sup> 张序强<sup>2</sup> 何 葵<sup>2</sup> 李长安<sup>1</sup>

(1.中国地质大学地球科学学院,湖北 武汉 430074 2.哈尔滨师范大学地理系,黑龙江 哈尔滨 150080)

**提要** :对青藏高原东北缘的民和黄土进行粒度分析发现,民和黄土粒度组成与兰州、洛川和西安等地差别较大,其黄土粒度明显大于上述地区。传统地把民和黄土划分为黄土带的南部过于简单化,它忽略了因青藏高原隆升而激发产生的高原物源区作用,应将民和黄土归属于黄土与砂黄土的过渡带。青藏高原因冰川反复消融和磨蚀产生的沙尘为民和黄土提供了可观的粗物质补给。事实表明,青藏高原第四纪冰川-冰融作用所产生的大量砂粉尘,不仅是高原腹地黄土区的主要物源,也是青藏高原边缘黄土的主要物源之一。

**关键词** :青藏高原东北缘;民和黄土;物质来源

中图分类号 :S34.63 文献标识码 :A 文章编号 :1000-3657(2002)03-0317-05

中国黄土蕴藏着丰富的古气候信息,黄土粒度作为冬季风的替代性指标得到广泛承认和应用<sup>[1]</sup>。民和黄土处于黄土高原与青藏高原东北部的交接处,对气候反映较为敏感,有比其他黄土更高的气候分辨率。但是,处在青藏高原东北缘的民和黄土的粒度组成与黄土高原其他地区的黄土有何区别?民和黄土的物质来源于何处?青藏高原的隆升对其周缘地区黄土的物质来源又有何影响?为此,我们对民和黄土骆驼山剖面的粒度组成进行分析,试图解开这个答案。

## 1 剖面特征

民和骆驼山剖面位于青海民和县下川口村东南的骆驼山上,由东西两个剖面组成。该地区年均降水量为300 mm,年均气温5~9℃。剖面起点位于骆驼山2187高地SW向218°距约300 m的夷平面上,其高程为2000 m。剖面下伏基岩是白垩系红褐色泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩。其中笔者对西剖面进行粒度采样,西剖面厚85 m,由浅黄褐色离石黄土组成,共划分出19个古土壤层( $S_8-S_{26}$ )和18个黄土层( $L_9-$

$L_{26}$ )注:民和黄土-古土壤序列命名参考对比兰州九洲台剖面<sup>[2]</sup>。其中 $L_9$ 属于离石砂质黄土层,该层疏松多孔,黄土颗粒较粗,厚约3.5 m。 $S_9$ 古土壤层在野外较明显,浅棕红色,厚约4 m。 $L_{10}$ 黄土上部颗粒较下部粗,厚约9.2 m。 $S_{10}$ 古土壤层粒度普遍较细,厚约3 m。根据已建立的年代序列,骆驼山剖面 $S_8-S_{26}$ 段的年龄为0.70~1.875 Ma.B.P.。

## 2 粒度分析方法

以20 cm间隔采样425块,取样号由下向上增加,粒度分析间隔40 cm,在古土壤层处分析间隔适当减小到20 cm。粒度分析中对大于74  $\mu\text{m}$ 组分采用筛析法,小于74  $\mu\text{m}$ 组分采用移液管法。样品分析步骤如下:各称取20~30 g土样放入200 ml的烧杯中,加蒸馏水洗盐;用HCl和10% $\text{H}_2\text{O}_2$ 水除去碳酸盐和有机碳,加热5~10分钟除去HCl和 $\text{H}_2\text{O}_2$ 水,0.5N的( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>作分散剂,加水静止1~2天。将前处理后的样品过74  $\mu\text{m}$ 的筛子,<74  $\mu\text{m}$ 粒径制成1000 ml悬浊液采用移液管法测定粒径,筛子上的颗粒烘干称重。最后按矩值法计算粒度参数(平均粒径、标准偏差、偏度、峰度)。

收稿日期:2001-04-08;改回日期:2001-08-31

基金项目:国家自然科学基金(49972057)及国土资源部甘肃兰州红古城、新寺乡1:5万区调成果。

作者简介:谢远云,男,1971年生,讲师,主要从事第四纪地质和多媒体教学方面研究。

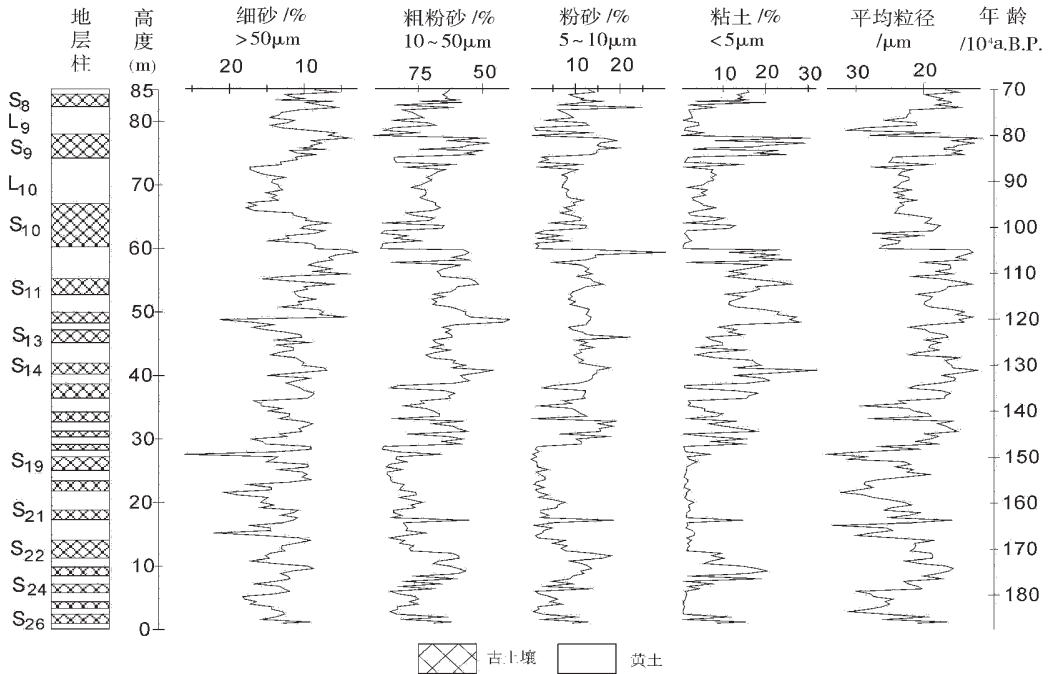


图1 民和黄土骆驼山剖面粒度变化图

Fig. 1 Grain-size variation in the Luotuo Mountain section of the Minhe loess

### 3 民和黄土粒度组成特征

民和骆驼山剖面部分粒度测定结果见图1所示。本文采用 $50\ \mu\text{m}$ 和 $5\ \mu\text{m}$ 分别作为细砂/粉砂及粉砂/粘粒的分界线,并以 $20\ \mu\text{m}$ 作为粗细颗粒界限。

民和黄土中的细砂部分除4个样品外,其余样品均小于20%,剖面中细砂含量变化较大,最大含量25.89%,最小仅为2.92%,剖面平均12.02%。民和黄土的细砂含量比兰州黄土要大。粗粉砂( $10\sim 50\ \mu\text{m}$ )是风尘的“基本粒组”或“黄土粒组”。该粒组也是民和黄土的主要粒径,含量较高,多数样品含量在60%~80%之间,剖面平均值为70.53%。该粒组变化范围较大,最大含量91.59%,最小仅为39.82%。在民和黄土中,该粒径含量在黄土与古土壤中差异不大,黄土中粗颗粒含量为71.73%,古土壤为69.31%。其中,在这个粒组中又以 $10\sim 30\ \mu\text{m}$ 粒径占优,占粗粉砂含量的69.6%,因此该粒组是民和黄土的基本粒径——“民和粒组”。

细粉砂( $5\sim 10\ \mu\text{m}$ )属于风尘的“附加粒组”,该粒组在民和黄土中含量变化较大,最大为29.95%,最小含量仅0.12%,剖面平均值8.94%。

粘土粒径( $<5\ \mu\text{m}$ )又叫黄土的“挟持组分”或

“次生组分”。民和黄土中,这一粒径变化很大,最大含量31.85%,最小仅0.56%,古土壤层含量略高于黄土层。

平均粒径是沉积物粗细的一个重要指标。民和黄土平均粒径多在 $12\sim 35\ \mu\text{m}$ 之间,变化较大,其中黄土层平均粒径为 $21.56\ \mu\text{m}$ ,古土壤为 $20.05\ \mu\text{m}$ ,黄土层略高于古土壤层,指示黄土物质组成较古土壤粗,剖面平均粒径平均值 $20.76\ \mu\text{m}$ 。民和黄土平均粒径明显高于兰州黄土、洛川黄土和西安刘家坡黄土。

另外,作者还对民和黄土不同层位的标准偏差(分选系数)、偏度 $Sk_1$ 和尖度 $K_g$ 等粒度参数进行了计算。标准偏差反映沉积物的分选程度,它与物质搬运过程中的动力条件密切相关。民和黄土的标准偏差均大于0.5小于1.5,平均值1.02。在全部216块样品中,分选较好的样品占6.48%,分选中等占34.26%,分选较差占59.26%(表1)。民和黄土的分选系数之所以差别较大,可能与骆驼山剖面含多层水气交替条件下的黄土和古土壤层有关。偏度是判别粒度分布对称性的指标,骆驼山剖面黄土偏度存在5个等级(表1)。其中,53.7%的样品属于正偏—极正偏,另有35.19%的样品的偏度近于对称,其余属于负偏—极负偏,说明骆驼山民和黄土粒度分布不集

中,这可能与剖面含多层冲积黄土,堆积的粉尘又受到地表流水的冲刷作用有关。民和黄土的尖度多小于零,说明粒度频率曲线多属于“很宽”峰态的曲线,一些样品尖度 $>1.11$ ,属“窄”—“非常窄”峰态的

表1 民和骆驼山剖面粒度参数统计

Table 1 Statistics of grain-size parameters in the Luotuo Mountain section, Minhe

样品总数 (块)	标准偏差 $\sigma_1$		偏度 SKI		尖度 $K_g$	
	等级	样品数	等级	样品数	等级	样品数
	216	分选较好	15	极负偏	2	很宽
分选中等		75	负偏	25	宽	6
分选较差		126	对称	73	中等	1
			正偏	86	窄	5
			极正偏	30	很窄	8
					非常窄	16

曲线(表1)。民和黄土的“很宽”峰态与兰州黄土的“窄峰态”明显不同,这可能与民和黄土主要由粗粉砂和细砂组成相关。

民和黄土的粒度组成与兰州九洲台、洛川黑木沟及西安刘家坡黄土明显不同(表2),其细砂和粗粉砂部分远大于兰州、洛川和西安,而细粉砂和粘粒部分则远小于上述地区。民和黄土和古土壤层平均粒径( $\Phi$ 值)都高于兰州九洲台剖面,指示黄土粒度要比兰州黄土粗,同时也说明组成民和黄土的物质来源比黄土高原其他地区更为复杂。

#### 4 民和黄土的物质来源分析

一般认为,黄土是来自北方沙漠的粉尘堆积。但

随着青藏高原的隆升并达到某一具体高度,特别是1.10~0.60 MaB.P.的“昆黄运动”<sup>[4]</sup>和青藏高原进入冰冻圈,青藏高原的黄土物源区作用显得日益重要。在过去的研究中,黄土的粒度变化一般解释为受控于冬季风强度变化<sup>[1]</sup>,近来又有人提出,黄土的粒度同时受控于粉尘范围变化(沙漠进退)和冬季风强度波动<sup>[5]</sup>,特别是黄土-沙漠过渡区风成沉积中砂粒含量变化指示了沙漠环境的变迁<sup>[6]</sup>。但对于青藏高原周缘地区而言,以上的结论似乎有些简单化。青藏高原周缘黄土(如民和黄土)沉积中出现的大量砂粒是不可能用冬季风强度增加所能解释的,而且这个地区又远离沙漠,因此必须考虑到因青藏高原隆升而激发产生的高原物源区这个因素。在这个意义上讲,青藏高原周缘黄土中 $>50 \mu\text{m}$ 的砂粒含量变化反映了高原物源区的碎屑变化。

发生于早、中更新世之交(1.10~0.60 MaB.P.)的地壳运动使青藏高原隆升到3 000~3 500 m以上,高原进入冰冻圈,形成高原最大冰期<sup>[7]</sup>。高原表面反复冻融作用和冰川磨蚀作用产生的砂尘,在高原冬季风和西风的吹扬下堆积于高原周缘成为黄土物源之一。民和黄土 $L_{11}$ 段受“昆黄运动”影响,虽然磁化率较低,但增强的夏季风携带大量的水汽降落至高原东北部,使得 $L_{11}$ 段粘粒含量较高,这时青藏高原的物源区作用不甚明显。

随着高原的进一步隆升,冬季风又得以增强,高原的屏蔽作用使得夏季风携带的水汽不能到达高原周缘地区,高原的黄土物源区作用开始明显。所以,民和黄土 $S_{10}$ 古土壤层粗颗粒含量特别高而粘土含量较低。这期间,青藏高原表面的寒冷风化物与冰碛物为民和黄土 $S_{10}$ 古土壤层提供了额外的粗物质补给。

民和黄土 $L_{10}$ 段(0.94~0.87 MaB.P.),青藏高原

表2 民和骆驼山剖面黄土-古土壤粒度组成与其他地区对比

Table 2 Correlation of the grain-size distribution of loess-paleosol in the Luotuo Mountain section, Minhe, with that of other areas

剖面位置	细砂( $>50\mu\text{m}$ )			粗粉砂(10~50 $\mu\text{m}$ )			细粉砂(10~50 $\mu\text{m}$ )			粘土( $<5\mu\text{m}$ )			平均粒径( $\mu\text{m}$ )		
	L	S	Ave.	L	S	Ave.	L	S	Ave.	L	S	Ave.	L	S	Ave.
民和骆驼山	12.66	11.42	12.02	71.73	69.31	70.53	8.55	9.3	8.94	8.09	8.96	8.51	20.48	21.49	20.76
兰州九洲台	9.26	5.96	7.44	45.37	36.82	43.02	24.18	26.09	25.13	23.44	30.6	27.02	15.41	9.23	13.14
洛川黑木沟	7.03	4.8	5.92	49.03	44.47	46.75	11.83	12.63	12.23	31.73	37.57	34.65	10.67	9.49	10.03
西安刘家坡	0.53	0.53	0.53	28.83	23.03	25.93	12.27	10.7	11.48	58.3	65.83	62.07	2.58	1.18	1.74

注:黄土粒度不包括马兰黄土在内。表中L为黄土层,S为古土壤层;Ave.为平均值;兰州、洛川和西安的粒度数据分别据参考文献[2][1][3]略有修改。

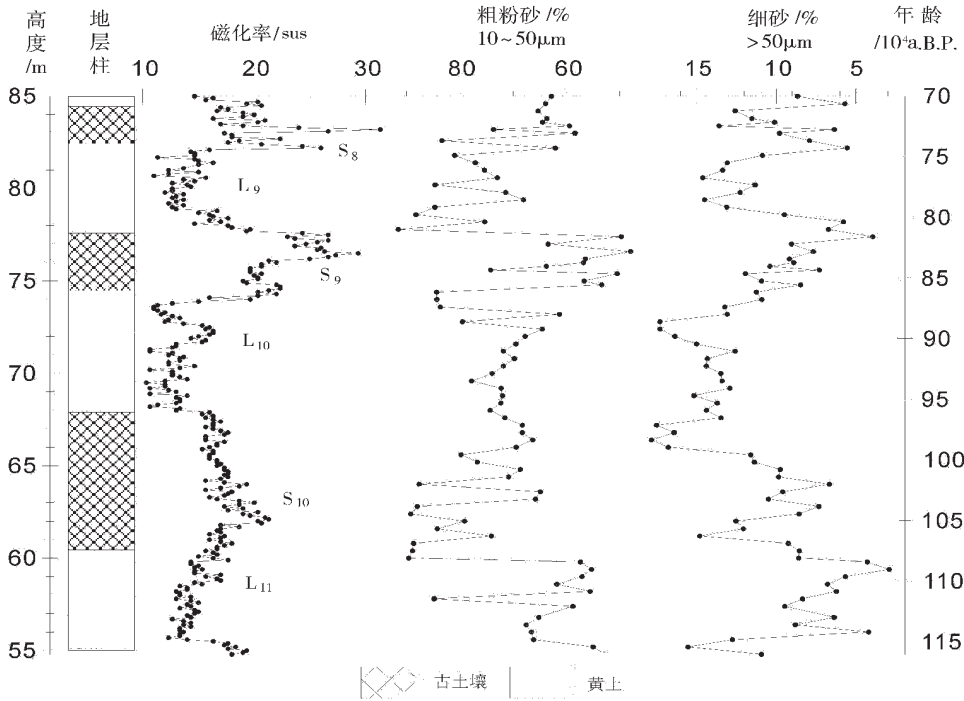


图2 民和黄土S<sub>8</sub>-L<sub>11</sub>段磁化率与粒度曲线对比

Fig. 2 Comparison between the magnetic susceptibility and grain-size curves in the S<sub>8</sub>-L<sub>11</sub> intervals of the Minhe

又经历一次强烈的抬升<sup>[8]</sup>,其为民和黄土L<sub>10</sub>段提供了更多更粗的砂粒补给,使得L<sub>10</sub>段细砂含量较高(图2)。青藏高原进入冰冻圈后,其又为民和黄土L<sub>9</sub>段(0.81~0.76 MaB.P.)提供了较粗的砂尘补给,使得L<sub>9</sub>段粗粉砂含量特高(图2)。

近来陆续在青藏高原范围内的兴海、竹庆、甘孜等地黄土<sup>[9]</sup>、高原东边秦岭南部的武都黄土-古土壤<sup>[7]</sup>以及西宁黄土<sup>[10]</sup>和昆仑山北坡黄土<sup>[11]</sup>中均见一定量的冰川砂。虽然未对民和黄土石英砂种类进行分类研究,但从>50 μm的砂粒含量变化来看(图2),青藏高原因冰川反复消融和磨蚀产生的沙尘的确为民和黄土提供了可观的粗物质补给。这些事实均表明,青藏高原第四纪冰川-冰融作用所产生的大量砂粉尘,不仅是高原腹地黄土区的主要物源,也是青藏高原边缘黄土的主要物源之一。

卢演寿据黄土高原马兰黄土的粒度特征,将中国黄土自北西向东南依次分为砂黄土、黄土及粘黄土3个带,民和、兰州和洛川同属于黄土带的南部<sup>[1]</sup>。但民和黄土的粒度却远大于兰州和洛川,而且由于青藏高原的物源区作用,显然简单地把民和黄土划分为黄土带的南部是不妥的,结合民和骆驼

山黄土的粒度特征,把民和黄土及其西北向的西宁、共和等地的黄土从黄土带的南部单独划分出来,属于砂黄土与黄土的过渡带。

## 5 结论与讨论

通过对青藏高原东北缘的民和黄土进行粒度分析发现,民和黄土粒度组成与兰州、洛川和西安等地差别较大,其黄土粒度明显大于上述地区。把民和黄土划分为黄土带的南部过于简单化,它忽略了因青藏高原隆升而激发产生的高原物源区作用。青藏高原表面因冰川反复消融和磨蚀产生的沙尘为民和黄土提供了可观的粗物质补给。青藏高原第四纪冰川-冰融作用所产生的大量砂粉尘,不仅是高原腹地黄土区(如共和、西宁、民和等)的主要物源,也是青藏高原边缘黄土的物源之一。

当然,对于青藏高原东北缘的民和黄土来说,笔者的工作才刚刚开始,还有许多工作要做。例如,黄土石英砂表面的电镜扫描、更高分辨率的采样、更多的古地磁测年数据以及黄土磁化率的各向异性特征分析等。

参加野外粒度样品采集的人员有中国地质大学武

汉)地质系的顾延生老师、唐小明博士,在此表示感谢。另外特别感谢中国地质大学(武汉)地质系的吴丽云老师在黄土粒度分析实验中给予的帮助与指导。

#### 参考文献:

- [1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京:科学出版社,1985.191~208.
- [2] 陈发虎,张维信,等. 甘青地区的黄土地层学与第四系问题[M]. 北京:科学出版社,1990.107~121.
- [3] 孙建中,赵景波,等. 黄土高原第四纪[M]. 北京:科学出版社,1991.128~143.
- [4] 崔之久,伍永秋,刘耕年,等. 关于“昆仑-黄河运动”[J]. 中国科学(D辑),1998,28(1):53~59.
- [5] 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),1999,29(1):82~87.
- [6] 丁仲礼,任剑璋,杨石岭,等. 最后两个冰期旋回季风-沙漠系统不稳定性的高分辨率黄土记录[J]. 第四纪研究,1999(1):49~56.
- [7] 施雅风,郑本兴. 青藏高原进入冰冻圈的时代、高度及其对周围地区的影响[A]. 见:青藏高原专家委员会编. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊(攀登丛书)[C]. 北京:科学出版社,1995.136~144.
- [8] 刘东生,郑绵平,郭正堂. 亚洲季风系统的起源和发展及其与两极冰盖和区域构造运动的时代耦合[J]. 第四纪研究,1998,(3):194~201.
- [9] 方小敏. 青藏高原东部边缘及邻区马兰黄土成因与来源的初步研究[J]. 中国科学(B辑),1994,24(5):539~546.
- [10] 张宇田,陈发虎,曹继秀. 黄土磁化率各向异性特征初探——以西宁大墩岭为例[J]. 兰州大学学报(自然科学版),1993,(2):158~160.
- [11] 高存海,张青松. 试论昆仑山北坡的黄土沉积环境[J]. 干旱区地理,1991(3):9~16.

## Grain-size distribution and material source analysis of loess on the northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau

XIE Yuan-yun<sup>1,2</sup>, ZHANG Xu-qiang<sup>2</sup>, HE Kui<sup>2</sup>, LI Chang-an<sup>1</sup>;

(1. Institute of Earth Science, China University of Geosciences Wuhan 430074, Hubei, China

2. Geography department, Harbin Normal University, Harbin 150080, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Grain-size analysis of the Minhe loess on the northern margin of the Qinghai-Tibet Plateau indicates that the grain-size distribution of the Minhe loess is obviously different from that in other areas such as Lanzhou and Luochuan and Xi'an. Its grain size is notably much higher. It seems too simple to assign the Minhe loess to the southern part of the loess belt traditionally because of ignorance of the effect of the plateau source area induced by the uplift of the Qinghai-Tibet Plateau. It is advisable to assign the Minhe loess to a transition zone between loess and sandy loess. The sandy dust produced as a result of repeated glacial ablation and abrasion of the plateau has supplied a substantial amount of coarse material for the Minhe loess. The voluminous dust produced by the Quaternary glaciation and melting of glaciers on the Qinghai-Tibet Plateau is not only the principal material source for the loess area in the interior of the plateau but also one of the principal material sources for the loess on the margins of the plateau.

**Key words:** northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau; Minhe loess; material source