

黄土-古土壤中石英颗粒的粒度分布

孙有斌 鹿化煜 安芷生

(中国科学院地球环境研究所, 西安 710054)

摘要 通过对黄土-古土壤全样及分离的石英样的粒度分析, 发现经历了不同程度风化成土和成壤作用的黄土-古土壤全样的粒度总体变细, 并且不同粒级组分的含量变化不尽相同. 从全样中分离出的石英颗粒, 由于基本剔除了后期成壤作用的产物, 可能较好地指示了原始粉尘的粒度组成, 其粒度参数应是东亚冬季风强度的一个较好的替代性指标.

关键词 黄土-古土壤 石英颗粒 粒度分布

由偏北低空气流携带的原始粉尘在黄土高原沉降之后, 经历了不同程度的成土、成壤改造作用而形成黄土或古土壤^[1], 其粒度组成在一定程度上指示了东亚冬季风强度变化^[2]. 黄土中碎屑石英含量达 48%~65%, 由于石英稳定的物理、化学性质, 在搬运、沉积和后期成壤作用过程中受到的改造较小, 其粒度组成被认为是较好的冬季风强度替代性指标^[3~5]. 但是, 肖举乐等人^[3]仅仅报道了石英颗粒的平均粒径及最大粒径, 对于化学分离后的石英颗粒, 其粒度组成和全样的粒度组成究竟存有多大差异, 尚未见详细报道. 本文选择甘肃灵台剖面末次间冰期古土壤(S1)上部到马兰黄土(L1)下部约 4 m 的黄土-古土壤为研究对象, 对比分析了全样和石英样的粒度组成, 探讨风化成壤作用对原始粉尘粒度分布的改造.

1 石英的分离和粒度分析

以 8 cm 间距从灵台剖面 4 m 的黄土-古土壤层中共取样 50 个. 取风干样品 2 g, 加双氧水和盐酸除去有机质、碳酸盐和铁氧化物, 然后用焦硫酸钾熔融-氟硅酸浸泡法提取了所有样品中的单矿物石英. 对提取的石英样的 X 射线衍射分析结果表明, 原样中的黏土矿物、云母及其他层状硅酸盐矿物基本被除掉, 仅剩少量的长石, 石英的纯度高达 95%; 对石英颗粒的扫描电子显微镜测试表明, 提取的石英颗粒表面没有发生明显的化学溶蚀变化. 因而, 提取后的石英基本上代表了原始粉尘中的碎屑石英组成. 同时, 对 50 个样品用常规粒度分析前处理方法^[6]进行了处理. 全样和石英样的粒度分析在英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer S 型激光粒度仪上完成, 该仪器的测量范围为 0.05~880 μm , 测量精度为 0.15 Φ , 相对误差小于 4%.

2 粒度分析结果

粒度含量频率曲线可指示各粒级颗粒在样品中的百分含量, 与搬运介质动力条件密切相关. 从图 1 的两个黄土-古土壤全样和对应石英样的粒度分布曲线可以看出, 其粒度分布范围为 0~120 μm , 总体呈正偏-似正态分布. 黄土和古土壤全样粒度分布表现为, 在自粗粒向细粒组分变化的过程中, 在 10~20 μm 间有个较明显的下凹, 指示了双峰粒度分布模式, 并且双峰特征在成壤较强的古土壤样品的粒度分布中表现更为明显. 相反, 石英样的粒度分布在由粗粒向细粒变化过程中, 均表现为一个相对稳定的含量减少过程, 很难辨认出次粒级组分峰的存在, 其峰态高而窄, 具有良好的风力分选特征. 全样和石英样的粒度分布均在 0~1 μm 间出现一个明显的峰, 石英样 <1 μm 粒级组分的含量明显低于全样, 说明由后期成壤作用产生的胶体、盐类化合物等次生的化学物质和黏土矿物^[7]在提取石英的化学前处理过程中基本被剔除.

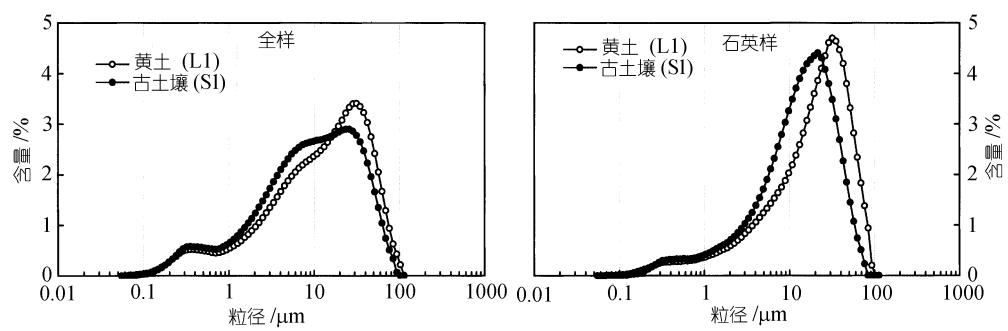


图 1 黄土-古土壤全样和石英样的粒度分布曲线对比

表 1 选择黏粒($< 2\text{ }\mu\text{m}$)含量、极细粉砂($2\sim 5\text{ }\mu\text{m}$)含量、细粉砂($5\sim 16\text{ }\mu\text{m}$)含量、中粉砂 ($16\sim 30\text{ }\mu\text{m}$)含量、粗粉砂($30\sim 63\text{ }\mu\text{m}$)含量和平均粒径作为粒度参数, 对比了石英样和全样的粒度组成. 结果表明, 石英样的黏粒及极细粉砂含量要小于黄土-古土壤全样, 而细粉砂-中粉砂含量则要明显高于全样, 粗颗粒组分($> 30\text{ }\mu\text{m}$)的含量变化相对较小. 表 1 中的偏差值为同粒级全样与石英样含量之差除以石英样含量, 表明全样中某一粒级组分含量相对石英样增加的程度. 成壤改造较强的古土壤样 $< 2\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒含量增加了 77%, 而成壤较弱的黄土样 $< 2\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒含量只增加了 51%. 从代表样品平均分布状况的平均粒径偏差亦可看出, 古土壤样的平均粒径变细了 9%, 而黄土样仅变细了 1%.

表 1 黄土-古土壤全样及对应石英样的粒度分析结果(%)对比

	$< 2\text{ }\mu\text{m}$	$2\sim 5\text{ }\mu\text{m}$	$5\sim 16\text{ }\mu\text{m}$	$16\sim 30\text{ }\mu\text{m}$	$30\sim 63\text{ }\mu\text{m}$	平均粒径/ μm	峰态
黄土	14.84	12.48	26.99	22.8	19.3	19.38	1.29
石英样	9.81	11.54	30.2	26.81	20.05	19.579	0.294
偏差值 ^{a)}	51	8	-11	-15	-4	-1	
古土壤	16.85	16.63	31.51	19.96	13.36	15.228	2.123
石英样	9.5	10.6	37.31	28.7	13.17	16.736	1.373
偏差值 ^{a)}	77	57	-16	-30	1	-9	

a) 如平均粒径的偏差 = (全样的平均粒径 - 石英的平均粒径)/石英的平均粒径 $\times 100\%$

3 讨论

粉尘沉降之后, 受到由生物、气候条件控制下的成土、成壤作用的改造, 主要表现为不稳定矿物的化学风化和自生黏土矿物的形成, 在相对温湿气候条件下长石、云母等矿物遭受风化, 在其颗粒表面通常有次生细粒的黏土矿物镶嵌, 形成黏粒胶膜, 随着成壤程度的加深, 黏粒还有可能发生移动、淀积^[1]. 因而, 经历了不同程度成土、成壤作用而形成的黄土-古土壤, 其平均粒径普遍要比原始粉尘细, 且随着成壤程度的增强, 主组分含量($> 16\text{ }\mu\text{m}$)逐渐降低而次组分的贡献逐渐增加. 在粒度分布曲线上则表现为由成壤造成的次组分($2\sim 16\text{ }\mu\text{m}$)逐渐从代表原始粉尘的主组分中分离出来, 并可通过全样粒度分布中主、次组分的相对含量和分离程度来初步判断其所经历的后期成壤改造强弱 (图 1). 分离后石英样的粒度分布曲线并未表现出类似上述的变化特征, 可视为近似代表经过良好分选而未被风化成壤改造的原始粉尘的粒度组成. 全样和石英样的粒度组成表明, 全样的细粒组分($< 5\text{ }\mu\text{m}$)的含量明显高于石英样, 而且

平均粒径普遍较石英样细, 证明了风化成壤作用会不同程度地改造原始粉尘中各粒级组分的含量. 因而, 在用全样某一粒级组分含量来探讨东亚冬季风强度变化时, 要慎重考虑其古气候指示意义的代表性; 相比而言, 石英样的粒度参数可能是优于全样的指示冬季风强度变化的古气候代用指标.

近年来, 随着千年尺度气候变化成为国际过去全球变化研究的热点, 国内学者以石英样^[3~5]和全样^[8,9]的粒度变化探讨了东亚冬季风强度的快速变化特征. 图 2 是末次间冰期古土壤到末次冰期黄土样品及其对应石英样的粒度分析结果, 可以看出全样的粒度结果揭示了从

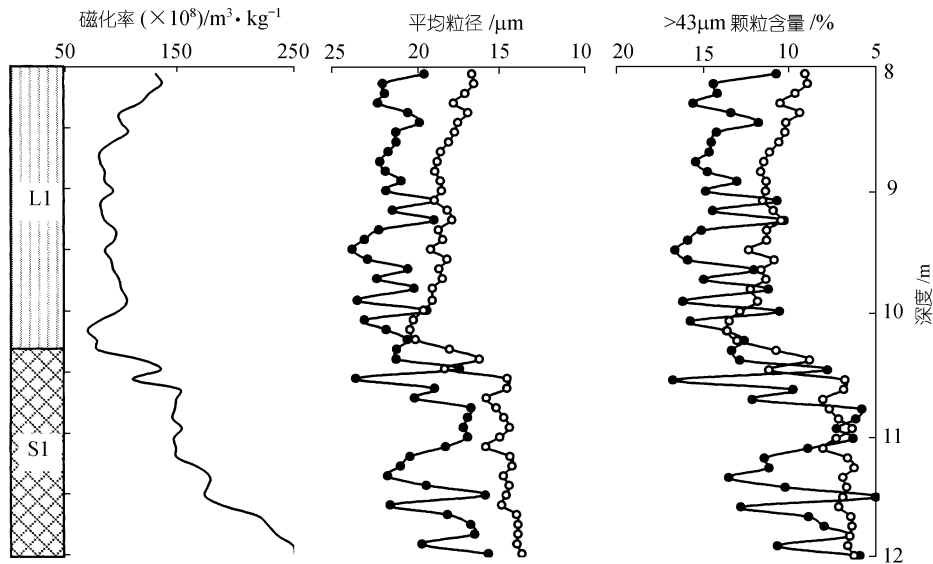


图 2 末次间冰期-冰期过渡时段全样(圈线)和石英样(点线)的粒度变化曲线对比

间冰期向冰期过渡时冬季风强度的突然明显增强, 而在冰期和间冰期内部冬季风强度的变幅则相对较小; 石英样的粒度变化则指示了在冰期和间冰期内, 冬季风强度均存有明显的大幅变化特征, 从间冰期向冰期过渡时, 冬季风强度在快速波动中逐渐增强. 石英样和全样粒度指示的冬季风强度变化的差异性, 佐证了后期成壤作用会不同程度地改造原始粉尘所记录的东亚冬季风变化信息, 尤其在夏季风优势期, 较强的成壤作用造成原始粉尘的普遍变细, 是在讨论间冰期冬季风快速变化时不可忽视的问题.

致谢 本工作为国家重点基础研究发展规划(G1999043401)和国家自然科学基金(批准号:49902009, 48923001)资助项目.

参 考 文 献

- 1 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 300~392
- 2 An Z S, Kukla G, Porter S C, et al. Late Quaternary dust flow on the Chinese loess plateau. *Catena*, 1991, 18: 125~132
- 3 Xiao J L, Porter S C, An Z S, et al. Grain size of quartz as an indicator of winter monsoon strength on the Chinese Loess Plateau of central China during the last 130,000 yr. *Quaternary Research*, 1995, 43: 22~29
- 4 Porter S C, An Z S. Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last Glaciation. *Nature*, 1995, 375: 305~308

- 5 An Z S, Porter S C. Millennial-scale climatic oscillations during the last interglaciation in central China. *Geology*, 1997, 25(7): 603~606
- 6 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. *科学通报*, 1997, 42(23): 2535~2538
- 7 Bronger A, Heinkele T. Micromorphology and genesis of paleosols in the Luochuan loess section, China: Pedostratigraphic and environmental implication. *Geoderma*, 1989, 45: 123~143
- 8 Ding Z L, Rutter N W, Liu T S, et al. Correlation of Dansgaard-Oeschger cycles between Greenland ice and Chinese loess. *Paleoclimates*, 1998, 4: 1~11
- 9 Lu H Y, Huissteden K V, An Z S, et al. East Asia winter monsoon variations on a millennial time-scale before the last glacial-interglacial cycle. *Journal of Quaternary Science*, 1999, 14(2): 101~110

(2000-03-09 收稿, 2000-06-05 收修改稿)