

文章编号: 1000-0550(2000)04-0506-04

风尘堆积物中石英颗粒表面微结构特征及其沉积学指示^①

孙有斌 安芷生

(中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室 西安 710054)

摘要 通过对黄土—沙漠交接带的定边县、黄土高原中部偏南的灵台县表土样品及甘肃灵台剖面不同层位的黄土—古土壤—红粘土样品中石英颗粒的形态特征及表面微结构的观察测试,结果表明红粘土、古土壤及灵台表土原样中石英颗粒表面具有较丰富的次生硅质沉淀和明显的溶蚀痕迹,指示了碎屑石英在沉积之后,由于适宜的温湿气候条件而经历了较强烈的风化成壤改造作用;而定边县表土样及上粉沙层(L9)土样中的石英颗粒表面干净,具有较多的撞击浅坑等风力搬运痕迹。经过双氧水和盐酸清洗过后的石英颗粒的形态特征及表面微结构非常清晰,多为次棱角至次圆状,均具有较丰富的撞击麻点和浅坑,少数样品可见裂纹分布,说明红粘土和上覆的黄土和古土壤一样,主要为风力搬运堆积;但红粘土样中石英颗粒表面所具有的丰富硅质沉淀和明显的溶蚀痕迹,似乎暗示了晚第三纪沉积气候环境显著不同于第四纪的冷干、暖湿气候组合演化格局。

关键词 风尘堆积 石英颗粒 表面微结构 沉积学指示

第一作者简介 孙有斌 男 1973 年出生 博士研究生 第四纪地质学

中图分类号 P512.2 P534.62 **文献标识码** A

1 引言

石英颗粒的形态特征和表面微结构标志,真实地记录了它在沉积前后所经历的物理化学风化过程、搬运动力介质及沉积环境特征^[1,2]。中国黄土中碎屑石英含量达 48%~65%,其物理化学性质在低温环境下非常稳定,在物理风化、搬运、沉积及风化成壤过程中受到的改造程度较小,因而石英颗粒的表面微结构特征,不仅可用来初步判断风尘在沉积后所受到的风化成壤改造作用强弱,而且可根据其表面微结构特征来判定它所经历的搬运过程和沉积环境^[3]。

刘东生等首次对中国黄土中 20~50 μm 的石英颗粒进行了扫描电镜观察^[4],卢演涛也曾利用透射电镜观察过黄土与古土壤中石英颗粒的形态和表面微结构特征^[5],结果都表明黄土中石英颗粒表面存有较新鲜的贝壳状断面,而古土壤中氧化硅的溶蚀和次生硅质沉淀结构明显,表面结构受到一定程度的改造。最近随着对黄土—古土壤序列下伏红粘土堆积的研究开展,多项气候代用指标揭示了红粘土的风成成因及晚第三纪显著不同的温湿气候状况^[6-8]。本文试图通过对比不同采样点和采样层位的表土、黄土、古土壤和红粘土样品中石英颗粒的形态特征及微结构标志差异,初步探讨晚第三纪红粘土序列的沉积成因和沉积

环境特征。

2 样品的选取与测试

表土样品分别选取取自黄土—沙漠交接带的陕西定边县和黄土高原中部偏南的甘肃灵台县,样品采自没有明显人类和动物活动痕迹的天然地表。同时对灵台剖面代表不同气候条件的地层层位(S1、L9、RC1、RC2)取样 4 个,其中为 RC1 红粘土上部成壤最强部位样品,而 RC2 为红粘土中部成壤作用相对较弱的红黄土样品。

由于粉尘在沉降之后,均经历不同程度的次生碳酸盐化、粘土矿物的风化分解、粘粒的迁移富集等过程^[3],尽管碎屑石英本身受到的改造作用较弱,但沉淀于颗粒表面的次生硅质、钙质的不同程度发育,依然真实地记录了石英颗粒在沉积前后所经历的物理化学风化过程强弱。因而在对石英颗粒进行扫描测试之前,先分别取未经任何前处理的石英颗粒供测样品 6 个,然后挑选经用双氧水和浓盐酸处理,以清洗石英颗粒表面的有机质、铁氧化物和部分粘土矿物后的灵台剖面不同层位 4 个样品的石英颗粒以供测试。所有样品均用超声波分散 5 分钟后,固定在铜托上,放入镀膜机中均匀镀以层厚为 200 埃米的金钼合金,以供扫描电镜测试。样品测试在中国兵器工业第 213 研究所的

① 中科院资源与生态环境研究重大项目(KZ951-A1-402)和国家自然科学基金项目(批准号:49823001)支持

收稿日期:1999-09-02 收修改稿日期:2000-01-21

日本理学电子公司产的 JXA-840 型扫描电镜下, 先通过电子探针确定为石英颗粒后, 进行了颗粒表面微结构、形态特征的观察, 分辨率为 40 埃米, 放大倍数达 30 万倍。

3 石英颗粒的表面微结构特征

颗粒的表面微结构观察包括颗粒形态、磨圆度及表面的特征标志。图版 I-1~6 示出了原样品中未经处理的石英颗粒本来的形态特征及表面微结构标志, 图版 I-7, 8 为经清洗处理后石英颗粒的本来面目。镜下观察定边的表土样靠近现代沙漠南缘, 位于黄土—沙漠边界带, 因而颗粒较粗, 多为次圆到次棱角状, 表面具有丰富的撞击浅坑, 表面几乎不见次生硅质沉淀, 更接近于现代沙漠石英砂的形态特征(见图版 I-1)。而靠近黄土高原南缘的灵台表土样, 颗粒普遍变细, 多为次棱角到次圆状, 但颗粒表面所具有的丰富的次生硅质沉淀和较强烈的溶蚀痕迹(图版 I-2), 暗示了灵台地区显著高于陕北定边地区的年降雨量, 造成两地表土样经历了程度不同的成壤改造作用。

对比灵台剖面不同层位的石英颗粒表面微结构不难发现, 在第四纪气候恶化期的上粉砂层(L9)中, 石英颗粒多呈流线型次棱角状(图版 I-4), 表面只有少量的次生硅质沉淀, 新鲜贝壳状断面明显, 说明该时段黄土高原的气候以干冷为主, 没有受到明显的成壤改造。在暖湿气候条件下的末次间冰期古土壤(S1)中石英颗粒则表现出不同的微结构标志(图版 I-3), 颗粒表面密布的次生硅质沉淀, 掩盖了颗粒表面原本的微形态特征, 经清洗之后的石英颗粒多为次棱角状, 表面依然存有丰富的撞击麻点和沿麻点扩大的溶蚀浅坑, 说明碎屑石英在沉降之后, 由于沉积区较适宜的降水和温度条件易造成粘土矿物的风化分解, 产生大量的硅质沉淀于石英颗粒表面的浅坑和裂隙中, 而石英颗粒本身亦遭受了轻度的溶蚀作用。类似的微结构特征在成壤最强烈的红粘土堆积上部(RC1 样品)表现尤为明显, 颗粒表面密布的硅质沉淀和强烈发育的溶蚀凹坑(图版 I-5), 都暗示了第三纪晚期黄土高原地区较强的降水和较温热的气候环境, 更有利于风尘在沉降之后受到风化成壤作用的改造。相反, 在红粘土堆积序列中成壤相对较弱层位的样品(RC2), 石英颗粒的形态特征和表面微结构标志则更类似于第四纪干冷气候条件下的风尘堆积, 形态多为长轴次棱角状, 表面具有的新鲜断面和明显撞击麻点, 仅有少量的次生硅质沉淀和不太明确的溶蚀痕迹(图版 I-6), 指示了黄土高原在晚第三纪亦存有明显的干湿气候波动。所有经清洗后的黄土—古土壤—红粘土样品中的石英颗粒(图版 I-

7, 8), 清晰地显示出次棱角到次圆状的形态, 表面结构显示出的丰富的撞击麻点和部分样品的新鲜断面, 均说明红粘土堆积同上覆的第四纪黄土—古土壤一样, 主要为风力搬运堆积, 只不过在沉降之后受到的较强烈的风化成壤作用, 致使石英颗粒本身也受到了不同程度的溶蚀。

红粘土中粘土矿物的组成及含量, 在某种程度上亦反映风化成壤作用强弱^[3]。图 1 为红粘土中部样品的 X-射线衍射分析结果, 样品中粘土矿物含量高达 38%, 其中包括伊蒙混层、高岭石、绿泥石, 方解石和白云石含量达 15%, 其余为石英和长石。红粘土中大量的粘土矿物存在, 表明成壤过程中粘化作用强烈, 而高碳酸盐含量的出现则意味着碳酸盐淋溶和粘粒的移动为两种不同气候条件的产物, 暗示了晚第三纪的气候演化显著不同于第四纪的冷干和暖湿气候组合特征。

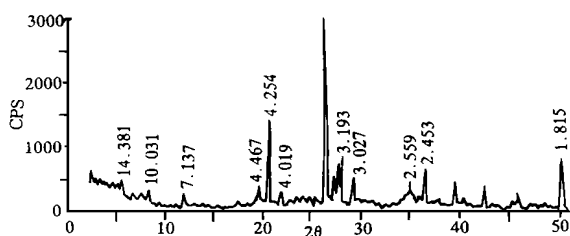


图 1 灵台剖面红粘土样品的 X-射线衍射曲线
Fig. 1 X-Ray diffraction curve of red clay sample in Lingtai section

4 讨论与结论

石英颗粒表面微结构分析是判别沉积物成因、解释沉积环境的一个重要手段, 不同的颗粒形态特征、磨圆程度、微结构标志及成岩标志, 综合反映了沉积历史时期沉降区甚至更大区域的气候条件。表 1 总结了文中不同沉积气候条件下风尘沉积中石英颗粒的扫描电镜测试结果, 发现未经处理的石英颗粒表面结构及成壤标志, 更真实地揭示了碎屑石英在沉积之后, 所经历的成壤改造作用强弱, 反映沉积历史时期的冷暖、干湿气候信息; 而表面清洗后的石英颗粒形态特征不仅反映了沉积环境条件, 而且直接揭示了红粘土的风成成因。

通过对比定边和灵台表土样中石英颗粒的测试结果, 认为在靠近黄土—沙漠边界带表土样中的石英颗粒更具有风力搬运的特点, 为介于沙漠砂和黄土之间的过渡形态特征; 在年降水量达 650 mm 的灵台地区, 表土样所经历的风化成壤改造作用不弱于末次间冰期古土壤。灵台剖面不同层位样品中石英颗粒的形态多呈次棱角到次圆状, 颗粒表面具有数量不等的次生硅质沉淀不同程度地掩盖了本来的微结构特征, 经前处

表1 不同气候条件下石英颗粒的表面结构基本特征

Table 1 Basic surface textures of eolian Quartz from different climate conditions

取样点/层位	颗粒形态	磨圆度	特征标志	风化成壤痕迹	沉积环境指示
定边表土样	椭圆—棱块状	次圆 次棱角	丰富的撞击麻点	表面极少见次生硅质沉淀	现代沙漠南缘
灵台表土样	菱形—三角形	次棱角 次圆	被掩盖的撞击浅坑	表面多见沿浅坑发育的次生硅质沉淀	半湿润半干旱气候条件
灵台古土壤(S1)	流线型的次棱角状	次棱角 次圆	被掩盖的撞击浅坑	表面多见沿浅坑发育的次生硅质沉淀	温湿气候条件
灵台黄土(L9)	流线型的棱形、矛形	次棱角	多见撞击麻点和新鲜断面	表面少见次生硅质沉淀, 断面新鲜	第四纪极端干冷气候期
灵台红粘土(RC1)	棱角至纺锤形	次棱角 次圆	被掩盖的撞击浅坑和溶蚀痕迹	表面沿浅坑发育了丰富的次生硅质沉淀	暖湿气候条件
灵台黄红土(RC2)	流线型棱角形和三角形	次棱角次圆	清晰的撞击麻点和新鲜断面	表面较少见次生硅质沉淀	暖干气候条件

理后显示出的撞击浅坑(麻点)和贝壳状新鲜断面的发育等, 佐证了黄土高原的风尘堆积自晚第三纪以来开始发育和黄土高原的红粘土堆积主要为风力搬运堆积^[9]; 但红粘土中石英颗粒显著不同的微结构特征, 暗示了在晚第三纪黄土高原有着显著不同与第四纪的冷干、暖湿的气候组合特征^[9, 10]。

参 考 文 献

- 1 Doornkamp J C, Krinsley D. Electron microscopy applied to quartz grains from a tropical environment[J]. *Sedimentology*, 1971, 17: 89 ~ 101
- 2 王颖, 迪纳瑞尔 B. 石英砂表面结构模式图集[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 1 ~ 10
- 3 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 191 ~ 302
- 4 刘东生, 安芷生, 文启忠等. 中国黄土的地质环境[J]. *科学通报*,

1978, 23: 1 ~ 9

- 5 卢滨涛, 文启忠, 王俊达等. 中国黄土物质来源的初步探讨—石英粉砂颗粒表面结构的电子显微镜研究[J]. *地球化学*, 1976, 1: 47 ~ 53
- 6 赵景波. 西安、山西保德第三纪晚期红粘土的研究[J]. *沉积学报*, 1989, 7(3): 113 ~ 119
- 7 孙东怀, 陈明扬, Show J 等. 晚新生代黄土高原风尘堆积序列的磁性地层年代和古气候记录[J]. *中国科学, D 辑*, 1998, 28(1): 79 ~ 84
- 8 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
- 9 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 (D 辑)*, 1998, 28(6): 481 ~ 490
- 10 赵景波, 袁道先. 陕西旬阳溶蚀残余红土的研究[J]. *地质论评*, 1999, 1: 66 ~ 70

Sedimentary Interpretation of Surface Textures of Quartz Grains from the Eolian Deposits

SUN You-bin AN Zhi-sheng

(State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, CAS Xi'an 710054)

Abstract

Based on the analysis of the surface textures of Quartz grains from surface soil, last interglacial paleosol (S1), upper silt layer (L9), upper and middle red clay (RC1 and RC2) samples by Scanning Electronic Microscope, this paper show us that there exist much more silica precipitation and clearly solution evidences on the surface of the primary quartz in Lingtai surface soil, last interglacial paleosol and upper red clay samples, which reveal that eolian deposit has been modified to some degree by pedogenesis procedure after deposition because of suitable climate conditions. However, the quartz surface in the upper silt layer and middle red clay layer is very clean, and shows clearly subangular to subrounded shape and collision pits which are typical eolian evidence. All the quartz pretreated by hydrogen peroxide and hydrochloric acid are characterized by clearly subangular to subrounded shape and abundant collision pits or pocks, which prove that the red clay has the similar sedimentary origin as the overlapped loess-paleosol sequences; but the solution and precipitation evidences on the primary quartz surface may indicate the climate condition during the late Tertiary is different from the Quaternary periods' warmer-wetter and colder-drier climatic condition.

Key words eolian deposits quartz grains surface textures sedimentary interpretation

图版说明

图版 I 不同土样中石英颗粒表面微结构的扫描电镜测试结果 1. 定边表土样($\times 170$); 2. 灵台表土样($\times 600$); 3. 灵台末次间冰期古土壤样($\times 1100$); 4. 灵台剖面上粉砂层样($\times 500$); 5. 灵台剖面红粘土上部样($\times 370$); 6. 灵台剖面红粘土中部样($\times 1600$); 7. 清洗后的古土壤样($\times 1000$); 8. 清洗后的红粘土样($\times 2300$)

