

文章编号: 1000-0550(2009)01-0094-10

青藏高原北缘古近纪石英砂表面特征及其古环境意义¹

宋春晖^{1,2} 孟庆泉¹ 夏维民¹ 徐丽¹ 苗运法² 杨用彪¹ 胡思虎¹

(¹兰州大学西部环境教育部重点实验室 & 兰州大学资源环境学院 兰州 730000 ²中国科学院青藏高原研究所 北京 100085)

摘要 中国西北干旱化和风成记录的研究已取得重要进展,但对亚洲内陆干旱化和亚洲冬季风开始时间的认识目前仍存在分歧。利用扫描电镜,通过对青藏高原北缘广大典型地区古近系中类似风成堆积的红色砂层石英砂微形态详细研究,发现这些红色砂层中绝大部分石英砂颗粒表面具有流水搬运和改造的磨光面与 V 型坑微形态特征组合,与现代塔克拉玛干沙漠、阿尔金山北缘洪积扇上的现代风沙沉积物石英砂颗粒表面的麻面与蝶形坑组合不同。粒度分析也显示这些沉积物的粒度曲线特征与风成黄土和现代沙丘粒度曲线有明显差别。结合沉积特征认为青藏高原北缘古近纪期间不存在大范围的风沙沉积物,推断亚洲冬季风此时可能尚未激发,而该期的干旱环境可能是由行星风系副热带高压控制的干旱炎热气候以及全球变冷事件造成。

关键词 石英砂表面特征 古近纪 古环境 青藏高原北缘

第一作者简介 宋春晖 男 1959 年出生 教授 博士 沉积学与古环境学 E-mail songch@lzu.edu.cn

中图分类号 P931.3 P512.2 **文献标识码** A

全球气候持续变冷^[1]和亚洲季风系统形成^[2]以及亚洲内陆干旱化^[3]是新生代以来全球环境最突出的变化,也是关系人类可持续发展和我国资源环境战略的重大科学问题,因此,它们一直是地学界研究的前沿性课题。过去对风成记录的研究从黄土到下伏红粘土(底界 8M a 左右)已经取得了很大的成就,尤其是第四纪以来风尘的演化特征和分布规律有了比较深入的研究^[4-6],从而使亚洲内陆干旱化和东亚季风的研究取得了重大进展,但是,目前对它们形成时间仍存在较大争议。自 1937 年德日进认为中国的干旱环境可能自二叠—三叠纪开始就持续存在以来,周廷儒^[7]、赵松乔^[8]、董光荣等^[9]认为我国西北干旱气候于白垩—第三纪初步形成,刘东生等^[3]、李吉均等^[10-11]指出中亚气候变干主要与新近纪青藏高原构造隆升有关,Guo 等^[12]提出亚洲冬季风和亚洲内陆干旱化至少自 22M a 开始,Garzine 等^[13]推测在 29M a 就已经出现了风成沉积,李孝泽等^[14]认为晚侏罗世初期中国西北部就出现了干旱环境。由于亚洲冬季风是引起中国西北内陆干旱化的直接原因,并且与大面积风成堆积有明显的因果关系。因此,目前确认我国西北地区古近纪是否存在大范围的风成堆积物对探讨亚洲冬季风和内陆干旱化的起始时间和演化过程以及青藏高原隆升等科学问题具有重要意义。

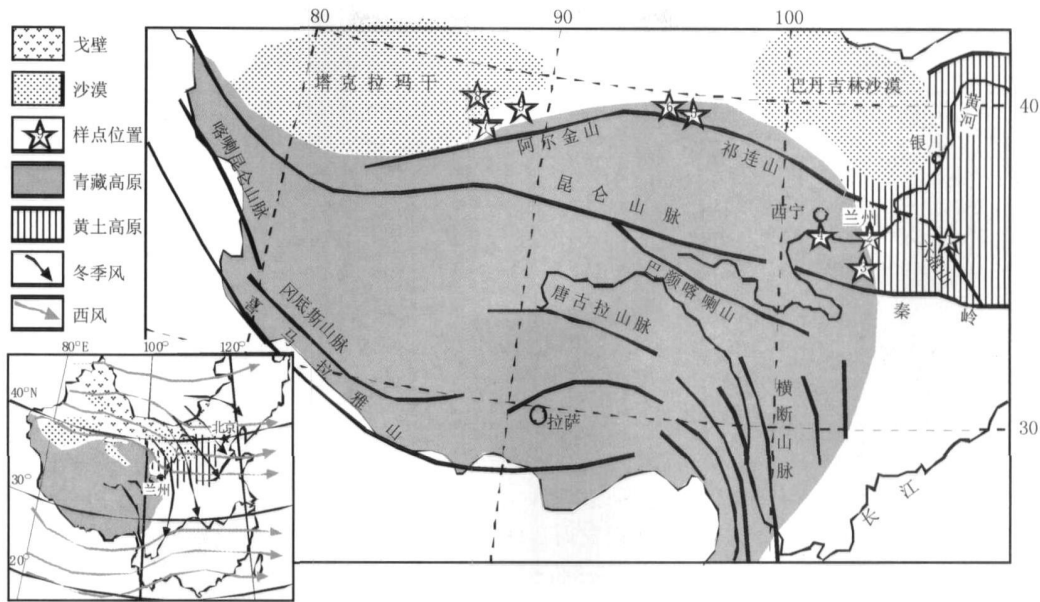
由于石英特殊的化学和物理性质使其表面能够记录作用于它表面的动力过程,从而反映石英颗粒所经历的沉积环境。从扫描电镜成为研究工具就开始用于石英砂表面微结构的观察,并广泛应用于沉积环境的研究^[15-16]。基于上述科学问题以及我国西北特别是青藏高原北缘和东北缘古近纪地层中广泛存在反映干旱环境的膏岩和红层沉积组合,本文针对该区该组合中类似风成或古沙丘堆积的红色砂层,主要利用扫描电镜对其石英砂表面特征进行仔细研究,并结合沉积物粒度分析和沉积特征,确定其成因,推断青藏高原北缘古近纪是否存在大范围风成沉积物,为东亚季风和亚洲内陆干旱化的形成以及青藏高原隆起过程的研究提供依据。

1 样品点分布与测量

1.1 样品点分布和采集

样品点分布于我国西北青藏高原北缘至东北缘典型地区古近系红色细粒碎屑岩地层中,包括六盘山寺口子组、贵德盆地西宁群、临夏盆地银川沟组、兰州盆地西柳沟组、河西走廊酒泉盆地的白杨河组和火烧沟组以及新疆塔里木盆地南缘江孜勒萨依地区库木格列木组(图 1),年代为始新世—渐新世。所有样品均采自红色砂岩和粉砂岩中,它们呈巨厚层、块状构

¹ 中国科学院知识创新工程重要方向项目(批准号: kzcx2-yw-104)、国家自然科学基金项目(批准号: 40721061, 40872019, 40542010)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(批准号: 2005CB422001)和教育部科学技术研究重大项目(编号: 306016)联合资助。
收稿日期: 2007-12-29 收修改稿日期: 2008-05-08



1. 六盘山寺口子剖面; 2 兰州盆地; 3 临夏盆地; 4. 贵德盆地; 5 河西走廊酒东盆地; 6 河西走廊酒西盆地;
7. 塔里木盆地南缘江孜勒萨依地区; 8. 塔克拉玛干沙漠; 9 阿尔金山北缘现代沙丘;

图 1 研究区位置及采样点

Fig 1 Location of the study area

造(偶见大型交错层理)和球状风化外貌特征(类似古沙丘堆积), 这些红层曾被作为干旱环境的标志^[14]。同时, 为了对比分析也采集了塔克拉玛干沙漠和阿尔金山北缘洪积扇上的现代风沙沉积物。

1.2 石英砂的提取和测量

样品中石英砂提取方法是综合前人的经验和步骤, 首先取适量的样品放入烧杯中, 加入 1:1 的 HCl 溶液在水浴锅中加热, 直至样品中的碳酸盐完全反应, 用蒸馏水清洗。在实验过程中要防止蒸干现象的发生, 如果发生蒸干, 就会产生 CaCl₂ 沉淀于石英颗粒表面, 而新沉淀在石英砂表面的 CaCl₂ 是难以除去, 它将影响电镜下石英砂表面特征的观测; 第二步, 在样品中加入氯化亚锡溶液, 并在水浴锅中加热至烧杯中的样品全部发白, 用蒸馏水多次冲洗; 第三步, 样品中加入过氧化氢溶液, 在水浴锅中加热, 直至完全除去有机质, 然后用蒸馏水冲洗干净后晾干; 研究表明 0.5~0.125 mm 石英砂基本为各成因沉积物中最活跃组分, 其表面结构成因组合发育齐全, 比较灵敏和全面地记录了它的成因信息^[17]。因此, 将筛选出 0.5~0.125 mm 的样品在双目显微镜下随机挑选出 30~40 粒石英单矿物, 并均匀的粘到双面胶上。然后将样品放在金属托上均匀镀上 200 Å 金钨合金, 最后在中国科学院兰州化学物理研究所 JSM-5600LV 低真空扫描电子显微镜下进行仔细观测, 所挑样品石英单

矿物纯度在 99% 以上。

2 地层与石英砂表面特征

2.1 六盘山寺口子组

六盘山和宁夏中南部地区广泛分布着始新统寺口子组红色陆相碎屑堆积, 与下伏不同时代地层呈角度不整合接触, 与上覆清水营组地层呈整合接触。在宁夏中南部固原县寺口子一带(图 1, 命名剖面)分布的寺口子组为一套厚度较大、呈块状、胶结较差以深红色砂岩为主的碎屑岩组合, 砾岩相对不发育, 并见大型槽状和板状交错层理^[18]。寺口子地层自 1921 年谢家荣发现并命名为“红层”以来, 1923 年安特生和袁复礼对寺口子红层进行了调查, 安特生称其该红层为“固原层”, 认为属始新世层系, 而袁复礼则称为“寺口子系”, 并认为是比贵德组年代老的湖相沉积物。1937 年杨钟健、卞美年将固原县寺口子剖面划分为二套地层, 下部称固原建造(古近纪), 上部称甘肃建造(新近纪)。1956 年杨钟健、周明镇将宁夏灵武县清水营的红层定名为“清水营层”, 其时代依据所产哺乳动物化石确定为晚渐新世。1957 年关士聪、谢继哲等将六盘山地区红层命名为“第三纪固原系(Tk)”, 自下而上分为红色底砾岩层(Tk¹)、砖红色砂岩夹泥岩层(Tk²)、含石膏层(Tk³)、橙红色泥岩层(Tk⁴)、褚红色泥岩层(Tk⁵)。1959 年石油部

表 1 石英砂颗粒形态和表面特征统计

Table 1 Statistic on the surface texture features and shape of quartz sands

特 征	六盘山地区	贵德盆地	临夏盆地	兰州盆地	酒东盆地	酒西盆地	塔里木盆地	江塔里木盆地	塔 阿尔金山北
	寺口子剖面	尕让地区	王家山剖面	对亭沟剖面	火烧沟剖面	瓷窑口剖面	杂勒萨依地区	克拉玛干沙漠	麓现代沙丘
圆状	5%			3%	5%		9.5%	9%	15%
次圆状	25%	8%	45%	56%	80%	63%	73%	72%	30%
次棱状	60%	70%	40%	40%	15%	28%	15.5%	9%	51%
尖棱状	10%	22%	15%	1%		7%			4%
三角形	2	14	4	4		10	8	1	2
四边形	4			13	13	6	12	13	
椭圆形	2		10	3	5		6	4	3
不规则形态	23	12	15	14	7	27	2	3	12
磨光面	20	10	19	18	20	30	24		
V 型坑	16	7	10	11	17	25	5		
次生硅质沉淀			13	30	13	20	15		
溶蚀孔	23	20	17	19	17	23	19		
硅质包裹	3		6		4		17		
裂隙				1		7			
麻面								15	9
碟形坑								13	15
撞击坑					6		20	20	17

银川石油勘探局 125 队, 将宁夏南部第三系二分, 下部划分为寺口子统 (相当关士聪等的 Trk^1-Trk^2)、清水营统 (相当于 Trk^3-Trk^5)。1965 年宁夏区域地质调查队在编写固原幅 1:20 万区调报告时, 将寺口子剖面下部砖红色砂岩称寺口子组, 时代为始新世, 上部泥岩夹薄层灰岩和石膏的红层称清水营组, 时代为晚渐新世。自从寺口子组提出以来, 有关其成因一直没有得到明确的解释。

样品采自六盘山区宁夏固原县寺口子剖面寺口子组大套砖红、棕红色细砂岩层, 其上覆地层是由褐红、紫红色泥岩和粉砂岩夹灰绿—灰白色砂岩、泥灰岩、石膏层组成的清水营组, 二套地层构成典型的红层和膏岩组合。

通过扫描电镜统计 (表 1), 寺口子组石英砂以次棱到次圆为主, 其中次棱状颗粒占 60%, 次圆形颗粒为 25%, 其它为尖棱状和圆形颗粒。这些颗粒表面大多具典型水下磨光面与 V 型坑组合特征 (图 2a), 可见溶蚀和硅质沉淀现象 (有些颗粒表面甚至完全被硅质沉淀所包裹)。一些石英砂表面 V 型坑明显且深, 并可见浅蝶形凹面。结合剖面中该砂岩呈巨厚层、块状构造为主、偶见大型槽状和板状交错层理以及偶夹砾石层^[18]特征, 推测六盘山寺口子组巨厚砂岩属近源急流搬运 (颗粒之间的撞击频繁) 和快速堆积的产物。

2.2 贵德盆地西宁群

贵德盆地位于青海东北部 (图 1), 黄河上游松巴峡以西和龙羊峡以东, 北以拉脊山为界与西宁盆地相邻、南依巴吉山, 西靠瓦里山, 东至扎马杂日山, 盆地地面平均海拔约 3 100 m, 盆地内新生代红层广泛分布。自 1885 年 loczy (即 Nehring) 将盆地内红层命名为贵德系 (时代定为上新世) 以来, 前人先后对其进行了不同程度的研究, 将贵德盆地新生代地层分为古近系西宁群和新近系贵德群。对贵德群近年通过地层沉积特征、古地磁年代和古生物深入研究, 建立了该盆地新近纪地层序列^[19, 20]。而其古近系西宁群一直缺乏详细的研究。我们通过对贵德盆地古近系西宁群的全面调查, 发现该套古近系地层由红层与膏岩组成, 并与西宁盆地西宁群层序十分类似, 与下伏三叠系和上覆中新统均呈不整合接触。该套地层序列大致划分为三部分, 上部由紫红、褐红色泥岩夹石膏和薄层泥灰岩组成 (厚度大于 460 m, 与西宁盆地马哈拉沟组相当)。中部为浅灰绿—土黄色含砾砂岩与紫红—褐红色泥岩、粉砂岩构成韵律互层 (厚度 380 m 左右, 与西宁盆地洪沟组相当)。下部为巨厚块状桔红色泥质粉砂岩和砂岩, 底部为砾岩、砂质砾岩和砂岩组成 (厚度大于 100 m, 与西宁盆地祁家川组相当)。研究样品采集于这套红层与膏岩组合的下部类似于古沙丘堆积的巨厚块状桔红色泥质粉砂岩和砂岩。

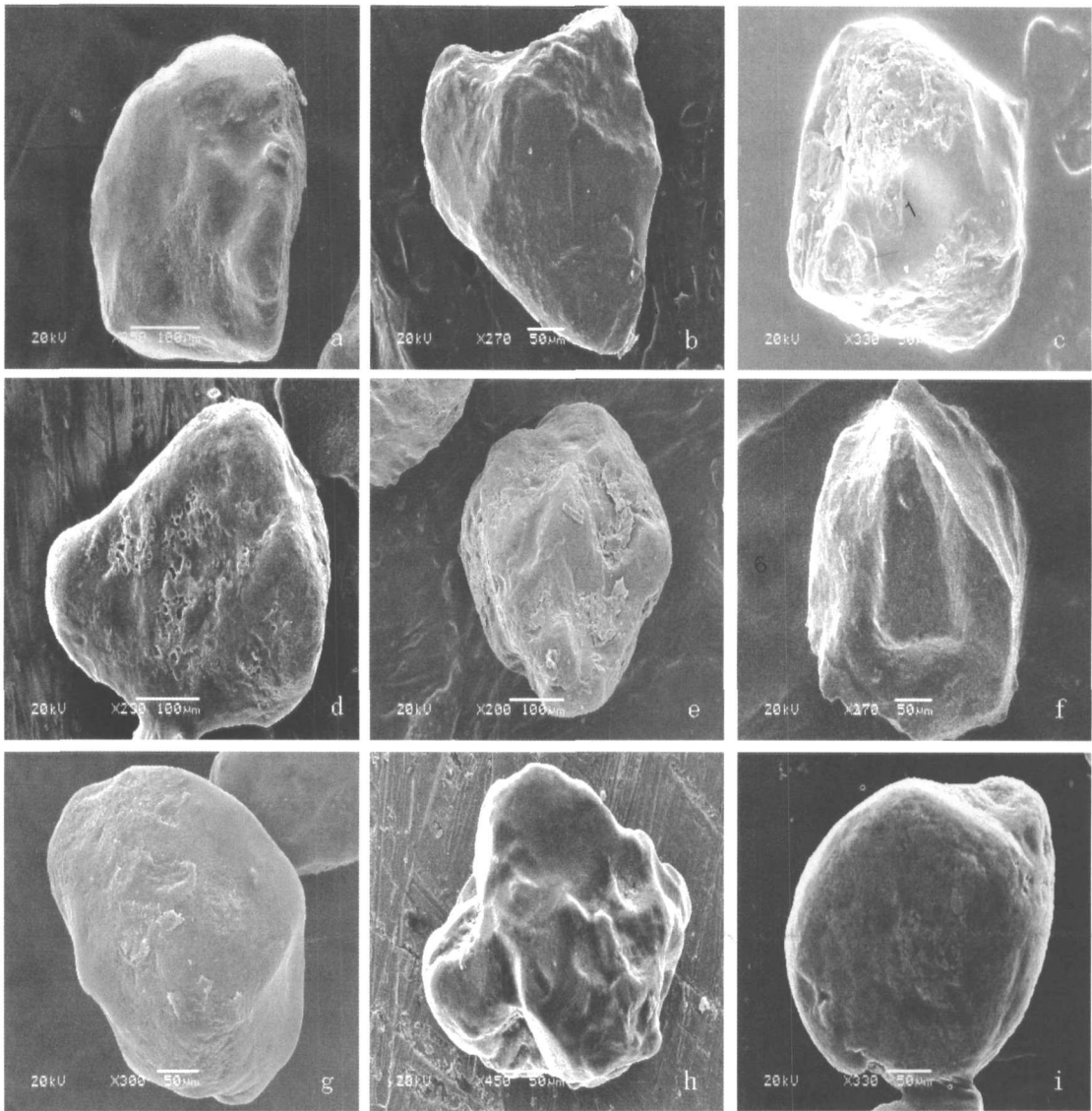


图 2 电子扫描显微镜下石英砂表面典型微结构

Fig 2 The typical surface microtexture of quartz sand under scanning electron microscope (SEM) in the study area

a 寺口子组石英砂水下磨光面与 V 型坑; b 西宁群石英砂水下磨光面与 V 型坑; c 银川沟组石英砂水下磨光面与 V 型坑;
d 西柳沟组石英砂水下磨光面与 V 型坑; e 火烧沟组石英砂水下磨光面与 V 型坑; f 白杨河组石英砂水下磨光面与 V 型坑;
g 江孜勒萨依石英砂水下磨光面与 V 型坑; h 阿尔金山石英砂麻面与碟形坑; i 塔克拉玛干沙漠石英砂麻面与碟形坑。

通过扫描电镜统计(表 1), 该套砂岩中石英砂以尖棱和次棱为主, 其中次棱占 70%, 尖棱为 22%, 次圆为 8%。颗粒多呈三角形, 表面具水下磨光面和 V 型坑组合特征(图 2b), 有不明显的表面溶蚀和次生硅质沉淀现象。V 型坑相对六盘山区域的浅, 发育撞击坑和溶蚀孔。结合剖面地层序列中该套砂岩常夹砾岩和砂砾岩的沉积特征, 推断该套砂岩为流水短距离搬运和快速沉积的产物。这与前期研究认为古近纪早期青藏高原构造活动导致贵德盆地断陷, 盆地开始接受西宁群近源辫状河流沉积, 之后盆地开始发展

并逐渐扩大, 形成气候干燥环境下的湖泊沉积^[20]的观点一致。

2.3 临夏盆地银川沟组

临夏盆地处于青藏高原东北部(图 1), 属新生代大型陇中盆地西南部的次级盆地。盆地西和南缘分别为青藏高原东北边缘的祁连山东延余脉拉脊山向南延伸部分(雷积山)和西秦岭, 北缘为祁连山东延余脉向陇中盆地伸入的岛状山体马衔山, 盆地东侧与陇中盆地的主体陇西盆地相连。盆地中堆积了巨厚的新生代沉积, 过去以盆地西部王家山剖面(地层厚

达 1 600 m 以上)为标准剖面将整个盆地第三纪红层称为临夏组。后来通过详细的古生物地层和古地磁年代研究,将盆地新生代地层进行系统重新划分,建立了从 29 Ma 以来他拉组洪积沉积到晚更新世北塬组黄土沉积共 12 个组的完整地层序列及其年代序列^[21~23],提供了比南亚西瓦利克群更完整的新生代地层记录,成为研究青藏高原隆升过程和环境变化的理想地区。本文选择该盆地王家山剖面他拉组之下(> 29 Ma)缺乏研究的一套类似沙丘砂堆积的古近系巨厚橘红色块状泥质砂岩(局部夹砾石层或含大量钙结核),对其进行采样。由于该套地层主要出露于银川沟一带,故本文暂称其为银川沟组。

通过扫描电镜统计(表 1),该套地层中石英砂多呈三角形和椭圆形,以次圆和次棱为主,其中 45% 左右的颗粒为次圆状,次棱状颗粒占 40% 左右。由于表面硅质沉淀十分发育,大多颗粒表面为薄层硅质层所包裹,但从一些剥落的颗粒表面上可见清晰的水下磨光面和 V 型坑组合特征(图 2c),并有大量不规则撞击坑和机械断口,同时大多颗粒表面发育溶蚀孔,部分颗粒具有岩耳结构。结合该套砂岩中局部夹砾石层沉积特征,推断是由地表径流或沉积物重力流搬运、沉积的产物。由于石英砂具岩耳结构,表明这些物质未经过太远距离的搬运^[15 16]。

2.4 兰州盆地西柳沟组

兰州盆地位于青藏高原的东北缘(图 1),是新生代大型陇中盆地的一个次级盆地。该盆地在白垩系河口群之上沉积了巨厚的新生代地层,关于其地层,20 世纪 30 年代杨钟健、卞美年在兰州盆地发现了一批哺乳动物化石,建立了长川子系、咸水河系、观音寺系、五泉山系等一系列岩石地层单元。20 世纪 80 年代以来邱占祥等以及甘肃省测队在第三系内发现了丰富的哺乳动物化石,从生物学、地层学和磁性地层年代角度进行了大量研究^[24~27],并将盆地出露的第三系划分由下而上为细柳沟组、野狐城组和咸水河组。其中细柳沟组为桔红—砖红色巨厚、块状砂岩,局部夹砂质泥岩、含砾砂岩及细砾岩,顶界古地磁年龄大约为 51 Ma^[26]。野狐城组由含石膏夹层的紫红色泥岩与砂岩互层组成,古地磁年代为 51~31.5 Ma^[26]。可见兰州盆地古近系细柳沟组和野狐城组构成典型的膏岩与红层组合。

本文对兰州黄河北岸皋兰县对亭沟剖面巨厚桔红—砖红色疏松块状细柳沟组砂岩(厚度 152~200 m)进行采样,通过扫描电镜统计(表 1)表明,该套砂

岩中石英砂磨圆中等,多为次圆和次棱角状,其中次圆状含量达 56%,次棱角状为 40%,圆形颗粒和尖棱状颗粒很少出现。颗粒多呈三角形,可见椭圆形。石英砂表面具水下磨光面、撞击点和 V 型坑特征,常为磨光面与 V 型坑的组合(图 2d),多具溶蚀孔和硅质沉淀以及二氧化硅重结晶现象。结合其砂岩成熟度低(成分以石英、长石为主,含较多不稳定矿物),以块状构造为主,偶见交错层理和波状层理^[28],推断细柳沟组砂岩是由流水搬运和沉积的产物。

2.5 河西地区火烧沟组和白杨河组

酒泉盆地位于甘肃省河西走廊的西端(图 1),南以祁连山北缘断裂带为界,北至赤金峡山—宽台山—黑山断裂带(即河西走廊北缘断裂带),西达阿尔金山断裂带东抵嘉峪关—文殊山,盆地演化主要受阿尔金山走滑断裂和祁连山北缘逆冲断裂带的控制^[29],并沉积了巨厚的新生代地层。1934 年侯德封、孙健初等将盆地第三系下部命名为“白杨河系”,上部命名为“疏勒河系”;1942 年孙健初将白杨河系从下而上划分为间泉子期、石油沟期和干油泉期,疏勒河系从下至上划分为弓形山期、胳膊塘沟期和牛胳膊套期。同时命名了玉门砾石层和酒泉砾石层;1946 年司徒愈旺、杜博明等认为老君庙井下白杨河系之下的一套紫红色地层是火烧沟组;1957 年玉门矿务局将火烧沟组从下而上划分为膳马城、乔家和红柳峡三段;1969~1976 年甘肃省区测二队根据在火烧沟组中采集到哺乳类和孢粉化石,将其年代确定为渐新世;方小敏等^[31]和戴霜等^[30]通过高密度磁性地层年代研究,获得火烧沟组和白杨河组地层年代分别为 40.2~33.5 Ma 和 31~24 Ma。

火烧沟组主要出露于酒西盆地的北部红柳峡、膳马城和火烧沟一带(图 1),向南、向东厚度减薄并尖灭,厚度 250~1 196 m。在该组命名的火烧沟剖面,火烧沟组与下伏地层下白垩统新民堡群呈角度不整合接触,与上覆渐新统白杨河组呈平行不整合或角度不整合接触。其中底部膳马城段(厚 184 m)由下部紫红—砖红色含砾砂质泥岩与砾岩互层、中部褐红色粉砂岩和泥岩夹灰绿色砂岩和细砾岩(发育钙质结核和大型斜层理)、以及上部棕红色—桔红色泥岩和灰白色砾砂岩(发育小型交错层理和水平层理)组成;乔家段(厚 195 m)由下部浅桔红色厚层细砾质砂岩夹桔红或灰绿色砂岩和粉砂岩(发育大型斜层理)、上部棕红色砂质泥岩夹灰白或草黄绿色砂岩和砂质细砾岩(发育钙质结核)构成;顶部红柳峡段(厚

143 m)由下部桔红色含砾砂岩和泥质砂岩(发育钙质结核)、中部巨厚块状砖红—桔红色砂岩(似古沙丘或风成砂沉积,分析样品采自该层)、以及上部褐红色粉砂质泥岩夹灰白色含砾砂岩和细砾岩(含钙质结核)组成。通过扫描电镜对分析样品石英砂颗粒统计显示(表 1),石英砂次圆状占 80% 以上,次棱角状为 15%,颗粒多呈四边形和多边形,表面多出现水下磨光面与 V 型坑的组合特征(图 2e)以及 V 型痕和撞击坑,同时溶蚀孔和硅质再沉淀现象十分发育。结合上述沉积组合和沉积构造,表明火烧沟组的砂粒是经过水下长时间的搬运(形成大量 V 型坑和 V 型痕和撞击坑),在稳定的水下沉积(丰富的硅质沉淀及表面溶蚀)。

白杨河组在河西走廊广泛分布,呈南厚北薄,厚 454~929 m^[32]。在酒东盆地瓷窑口剖面白杨河组出露完整,其中上部干油泉段(厚度 209.5 m)主要为巨厚砖红—棕红色泥质细砂岩、粉砂岩夹粉砂质泥岩和砂砾岩,呈块状构造;中部石油沟段(厚度 277.5 m)主要由暗褐红色泥岩夹砂岩和石膏层组成;下部间泉子段(厚度 104.5 m)主要为厚层砖红—桔红色泥质砂岩、砂质粉砂岩组成,含砂质钙结核,具块状构造、大型斜层理及平行层理。分析样品采自该红层和膏岩组合中似古沙丘或风成砂沉积的干油泉段和间泉子段巨厚橘红—砖红色泥质细砂岩。通过扫描电镜对石英砂颗粒统计显示(表 1,图 2f),其石英砂表面特征与火烧沟组的基本相同,但白杨河组中次棱角状、尖棱角状和三角形的石英砂颗粒相对增多,部分颗粒具有裂隙和不规则断口。结合上述沉积组合和沉积构造,说明白杨河组中的石英砂是在机械能量相对较高的流水介质中搬运和沉积形成。

2.6 塔里木盆地江孜勒萨依库木格列木组

江孜勒萨依地区位于阿尔金山脉北缘山前、塔里木盆地东南缘(图 1)。由于江孜勒萨依河垂直下切使该区出露了大于 3 km 厚的中更新世乌苏群、早更新世西域组、上新世阿图什组、渐新世—中新世乌恰组、古新世—始新世库木格列木组、白垩纪克孜勒苏群和侏罗纪叶尔羌组地层^[33],前人曾对其进行了初步的磁性地层学和碎屑矿物研究,探讨了阿尔金断裂带走滑变形和山脉新生代的隆升^[33~35]。其中古新世—始新世库木格列木组主要为大套紫红—棕红色砂岩、泥质粉砂岩和泥岩组合,其内含有大量的钙质结核,个别层内含石膏脉。分析样品采自这套红层与膏岩组合中的砂岩和泥质粉砂岩。

通过扫描电镜统计显示(表 1),其石英砂主要以次圆状和次棱角状为主,其中次圆状颗粒占 75%、次棱角状颗粒为 15%、圆状颗粒为 8% 左右。颗粒多呈椭圆形、近圆形、棱角平滑的四边形和三角形。石英砂表面具有干净的磨光面(图 2g),发育大量的撞击坑和撞击点,V 型坑不发育,个别颗粒具有 V 型式溶蚀特征,硅沉淀和溶蚀现象显著(部分颗粒表面 60% 被硅质沉淀所包裹)。这些特征表明其沉积物属远源长距离流水搬运,并在比较稳定的环境沉积形成,这与陈正乐等认为其属平原河流相沉积一致^[33]。

2.7 现代风成石英砂特征

为了分析对比,分别采集了塔克拉玛干沙漠和阿尔金山北麓未受人类活动或流水影响的现代风成沙丘样品(图 1),对其石英砂统计显示(表 1),颗粒以圆状和次圆状为主,并且颗粒大小较均一、分选较好。颗粒表面具有明显的麻面构造(图 2h、i)、发育大量的碟形坑和撞击坑以及表面凸凹不平的典型风成特征。虽然流水作用在颗粒表面也会形成撞击坑,但其形成的撞击坑多呈 V 形,并与水下磨光面共生,而风成颗粒的撞击坑则为碟形坑,并与麻面伴生^[36]。可见,这些石英砂颗粒无论从颗粒形态、表面形态和表面光滑程度与上述各剖面的石英砂具有明显不同。

3 样品粒度特征与黄土、现代风成沙的对比

通过对样品全样粒度分析表明,上述古近系中类似风成或古沙丘堆积的红色砂层的粒度曲线与兰州沙金坪黄土以及现代塔克拉玛干沙漠沙和阿尔金山北麓洪积扇上风成沙丘的粒度曲线有明显差异(图 3),黄土以及现代塔克拉玛干沙漠和阿尔金山北缘风成沙丘的粒度比上述古近系红色砂层沉积物的明显偏小,一般现代塔克拉玛干沙漠和阿尔金山北缘风成沙丘沉积物的最大粒径 < 0.5 mm、平均粒径 < 0.134 mm(黄土值更小),而前述古近系红色砂层沉积物最大粒径 > 2 mm、平均粒径 > 0.163 mm;在粒度频率曲线上现代塔克拉玛干沙漠和阿尔金山北缘的沙丘沉积物粒度分布模式表现为明显单众数,并且粒度分布集中(图 3),分选较好($\sigma < 0.668$),显示了风力搬运和沉积的特征^[37]。而前述古近系红色砂层样品粒度分布模式则明显具多众数(三峰和双峰曲线)(图 3),反映沉积介质速度变化大或不同搬运沉积方式共同作用的结果(如冲积环境)^[37]。可见,沉积物粒度特征也表明前述古近系中与膏岩共生的类

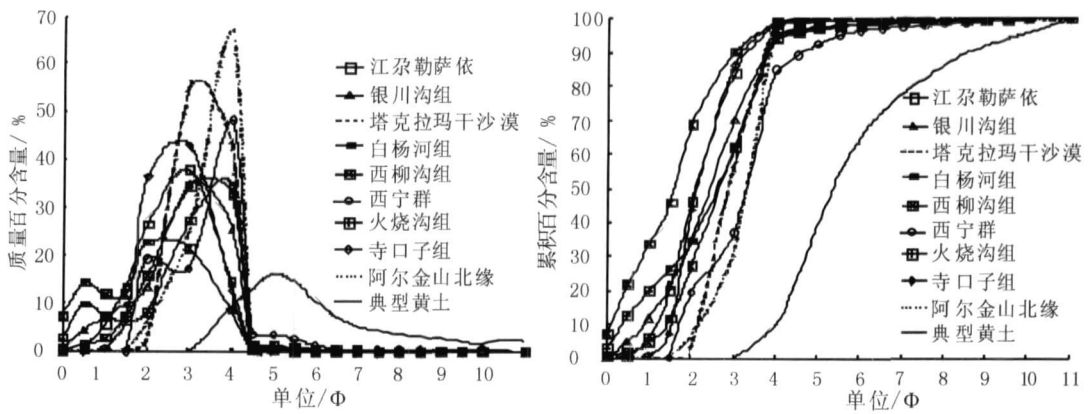


图 3 粒度频率曲线与累积曲线

Fig 3 Frequency cumulative percentage and cumulative percentage of grain size

似于风成或古沙丘堆积的红色砂层并非风成物质。

4 讨论和结论

从六盘山经兰州盆地、临夏盆地、贵德盆地、河西地区酒泉盆地,到青藏高原北缘阿尔金山北麓江孜勒萨依地区(图 1),对中国西北青藏高原北缘广大地区典型剖面古近系中与膏岩组合的类似风成堆积物—红色砂层的上述研究表明,其石英砂微形态具水下磨光面和 V 型坑组合特征,并且大多数有溶蚀孔和硅质沉淀(除贵德盆地西宁群和酒泉盆地白杨河组中石英砂表面溶蚀孔和硅质沉淀不明显),一些剖面石英砂颗粒甚至完全被硅质沉淀所包裹(如临夏盆地银川沟组),这些特征与塔克拉玛干沙漠和阿尔金山北缘现代风成沙丘石英砂表面具麻面、蝶形坑、撞击坑以及凹凸不平的特征明显不同。同时剖面沉积组合、沉积特征以及沉积物粒度分析也显示这些沉积物属流水形成。因此,该区古近系中这些与膏岩组合的类似风成或古沙丘堆积的红色砂层属非风砂沉积物,由此推断古近纪时期青藏高原北缘广大地区不存在大范围风成堆积物。由于大范围的风成堆积与亚洲内陆干旱化有关,而亚洲内陆干旱化与亚洲冬季风有一定的必然联系,并且青藏高原的隆升对冬季风发生和加强具有重要的作用^[2,5,11,38-41],因为青藏高原大面积隆升和高度的增加必然会影响到近地表的大气环流,以及由此产生的海陆分布变化将导致海陆热力差发生变化,从而形成典型的季风。自印度板块和亚欧板块在 55 Ma 发生碰撞以来,青藏高原发生过多次阶段性隆升,然而青藏高原只有隆升到某一临界高度才可能激发东亚季风,并可能引发亚洲内陆干旱化。本文研究表明中国西北青藏高原北缘至东北缘广大

地区在古近纪没出现大范围风成沉积物,说明此时可能亚洲冬季风或东亚季风尚未激发,推断此时青藏高原隆升的高度不会太高(不足以激发亚洲季风)。由此可见,东亚季风的激发和加强可能是新近纪以来才发生,特别是 8 Ma 以来中国西北地区才出现广泛的风成堆积^[5,6]。

古近纪中国西北地区从六盘山到塔里木盆地广大地区,虽然未出现代表冬季风重要标志的大范围风成堆积物,但出现了代表干旱环境的红层和膏岩沉积组合。古近纪期间青藏高原隆升仅限于冈底斯山一带,中国西北地区主要受行星纬向气候带控制^[2,40],形成副高压控制下的草原植被亚热带干旱—半干旱环境,大面积准平原化和泛盆地化。据孢粉与沉积资料显示古近纪青藏地区南部自然带为热带、亚热带雨林^[42],青藏地区北部主要为红色碎屑沉积,含石膏层以及藜科(Chenopodiaceae)、菊科(Compositae)、麻黄(Ephedra)等耐旱植物,为干旱环境^[40]。即大致以狮泉河—改则—班戈—丁青—一线分界,其北部连同西北广大地区广泛发育具有石膏和蒸发盐岩的红层,形成了由副热带高压控制的干旱带^[41];古新世—渐新世哺乳动物的构成和沉积特征也显示在此期间东西向的行星风系一直控制着我国的生态环境,直到渐新世由于青藏高原的隆升致使行星风系开始减弱^[43]。因此,中国西北地区古近纪红层和膏岩沉积组合代表的干旱环境应是由行星风系副高压炎热气候所控制。同时始新世与渐新世转折时期的全球变冷^[11],可能也是干旱环境形成的驱动力之一。

因此通过研究,认为古近纪中国西北地区从六盘山到塔里木盆地广大地区出现的代表干旱环境的红层和膏岩的沉积组合中,不存在可能代表冬季风的大

范围风成堆积物, 表明古近纪东亚季风可能还未形成, 同时推断此时青藏高原隆升可能还未达到足以激发亚洲冬季风的高度, 此时的干旱环境可能是由行星风系副高压炎热气候以及始新世与渐新世转折时期全球变冷引起。新近纪以来, 特别是晚中新世末—上新世以来我国北方大面积出现代表冬季风的风尘堆积(红粘土—黄土), 则是亚洲内陆干旱化和冬季风已形成的重要标志。

致谢 对戴霜副教授以及唐玉虎和朱强研究生在野外工作以及中国科学院兰州化学物理所赵家政在实验中的帮助一并感谢。

参考文献 (References)

- Zachos J C, Paganini M, Sloan L, *et al* Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present [J]. *Science*, 2001, 292: 686-693
- 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级冰盖和区域构造运动的时代耦合性 [J]. *第四纪研究*, 1998 (3): 194-204 [Liu Tungsheng, Zheng Mianping, Guo Zhengtang. Initiation and evolution of the Asian Monsoon system timely coupled with the ice-sheet growth and the tectonic movements in Asia [J]. *Quaternary Sciences*, 1998 (3): 194-204]
- Ruddiman W F & Kutzbach J E. Forcing of late Cenozoic northern hemisphere climate by plateau uplift in the southern Asia and the west American [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1989, 94 (D): 18409-18427
- 刘东生. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985 [Liu Dongsheng. *Loess and Environment* [M]. Beijing: Science Press, 1985]
- An Z S, Kutzbach J E, Prell S C. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalayan Tibetan plateau since Late Miocene times [J]. *Nature*, 2001, 411: 62-66
- Ding Z L, Xiong X F, Sun J M, *et al*. Pedostratigraphy and paleomagnetism of a 7.0 Ma eolian loess-redclay sequence at Lingtai, Loess Plateau, north-central China and the implications for paleomonsoon evolution [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1999, 152: 49-66
- 周廷儒. 新生代古地理 [C] // 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会编. 中国自然地理—古地理 (上册). 北京: 科学出版社, 1984: 1-233 [Zhou Tingru. The Cenozoic Palaeogeography [C] // Edited by The Chinese Physical Geography Editorial Group. CAS Physical Geography and Palaeogeography in China (Top vol). Beijing: Science Press, 1984: 1-233]
- 赵松乔. 中国沙漠、戈壁的形成和演变 [C] // 赵松乔主编. 中国干旱地区自然地理. 北京: 科学出版社, 1985: 1-17 [Zhao Songqiao. The Formation and Evolution of Desert and Gobi in China [C] // Zhao Songqiao, Editor in chief. Physical Geography in the Arid Area of China. Beijing: Science Press, 1985: 1-17]
- 董光荣, 王贵勇, 陈惠忠, 等. 中国沙漠形成演化与青藏高原隆升的关系 [C] // 青藏高原研究会编. 青藏高原与全球变化研讨会论文集. 北京: 气象出版社, 1995: 13-29 [Dong Guangrong, Wang Guiyong, Chen Huizhong, *et al*. Formation and Evolution of Chinese Desert and Uplifting of Tibetan Plateau [C] // Tibetan Plateau research committee edited. Tibetan Plateau and Global Change Seminar Collection. Beijing: Meteorological Press, 1995: 13-29]
- 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究 [J]. *科学通报*, 1998, 43(15): 1569-1574 [Li Jijun, Fang Xiaomin. Uplift of the Tibetan Plateau and the environmental change [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(23): 2117-2124]
- 李吉均, 赵志军. 德日进“亚洲干极”理论的现实意义 [J]. *第四纪研究*, 2003, 23(4): 366-371 [Li Jijun, Zhao Zhijun. Modern theoretical significance of “The Dry Pole of Asia” by P. Teilhard de Chardin [J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(4): 366-371]
- Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, *et al*. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China [J]. *Nature*, 2002, 416(14): 159-162
- Gazizade G N, Ikari M J, Basu A R. Source of Oligocene to Pliocene sedimentary rocks in the Linxia basin in northeastern Tibet from Nd isotopes: Implications for tectonic forcing of climate [J]. *Geological Society America Bulletin*, 2005, 117(9/10): 1156-1166
- 李孝泽, 董光荣. 中国西北干旱环境的形成时代与成因探讨 [J]. *第四纪研究*, 2006, 26(6): 895-904 [Li Xiaozhe, Dong Guangrong. Discussion on the formation age of arid environment in west China [J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26(6): 895-904]
- 谢文予, 主编. 中国石英砂表面结构特征图谱 [M]. 北京: 海洋出版社, 1985 [Xie Wenyu. *Micrograph Atlas of Surface Texture Features of Quartz Sand in China* [M]. Beijing: Ocean Press, 1985]
- 王颖, 迪纳瑞尔 B. 石英砂表面模式图集 [M]. 北京: 科学出版社, 1985 [Wang Ying, Bhan Deonarine. *Mode Atlas of Surface Textures of Quartz Sand* [M]. Beijing: Science Press, 1985]
- 方小敏. 试从兰州地区黄土石英砂表面特征探讨黄土物质来源、成因及环境变迁 [C] // 中国西部第四纪冰川与环境. 北京: 科学出版社, 1991: 138-148 [Fang Xiaomin. Discussion on the Material Sources and Formation of the Loess and Environment Change from Surface Features of the Loess Quartz Sand in Lanzhou [C] // *Quaternary Glaciations and Environment in West of China*. Beijing: Science Press, 1991: 138-148]
- 张进, 马纵晋, 任文军. 试论宁夏地区始新统寺口子组沉积的构造背景 [J]. *地质论评*, 2006, 52(2): 207-214 [Zhang Jin, Ma Zongjin, Ren Wenjun. Discussion on the tectonic setting of deposition of the Eocene Sikouzi Formation in Ningxia Region [J]. *Geological Review*, 2006, 52(2): 207-214]
- 宋春晖, 方小敏, 李吉均, 等. 青海贵德盆地晚新生代沉积演化与青藏高原北部隆升 [J]. *地质论评*, 2003, 9(4): 337-45 [Song Chunhui, Fang Xiaomin, Li Jijun, *et al*. Sedimentary evolution of the Guide Basin in the Late Cenozoic and the Uplift of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Geological Review*, 2003, 49(4): 337-345]
- Fang Xiaomin, Yan Maodu, R VanderVoort, *et al*. Late Cenozoic deformation and uplift of the NE Tibet Plateau: evidence from high-resolution magnetostratigraphy of Guide Basin, Qinghai Province, China [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2005, 117: 1208-225

- 21 Fang Xiaomin, C N Carzone, V Rob, *et al*. Flexural subsidence by 29Ma on the edge of Tibet from themagnetostatigraphy of Linxia Basin China[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003, 210: 545-560
- 22 Li Jijun, *et al*. Uplift of Tibet Plateau and Global Change[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1995: 19-62
- 23 方小敏, 李吉均, 朱俊杰, 等. 甘肃临夏盆地新生代地层绝对年龄测定与划分[J]. *科学通报*, 1997, 42(14): 1457-1571 [Fang Xiaomin, Li Jijun, Zhu Junjie, *et al*. Division and age dating of the Cenozoic strata of the Linxia Basin in Gansu, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(14): 1457-1571]
- 24 邱占祥, 谷组纲. 甘肃兰州第三纪中期哺乳动物化石点[J]. *古脊椎动物学报*, 1988, 26(3): 198-213 [Qiu Zhanxiang, Gu Zuzang. A new locality yielding Miocene mammal near Lanzhou, Gansu [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1988, 26(3): 198-213]
- 25 邱占祥, 谢骏义, 阎德发. 甘肃东乡几种早中新世化石地点[J]. *古脊椎动物学报*, 1990, 28(1): 9-24 [Qiu Zhanxiang, Xie Junyi, Yan Defa. Discovery of some early Miocene mammalian fossils from Dongxiang Gansu [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1990, 28(1): 9-24]
- 26 岳乐平, Heller F, 邱占祥, 等. 兰州盆地第三系磁性地层年代与古环境记录[J]. *科学通报*, 2000, 45(18): 1998-2002 [Yue Leiping, Heller F, Qiu Zhanxiang, *et al*. Magnetochronology and paleoenvironmental record of Tertiary strata of Lanzhou Basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(18): 1998-2002]
- 27 Qiu Zhanxiang, Wang Banyue, Qiu Zhuding. Land mammal eochronology and magnetostatigraphy of Miocene Tertiary deposits in the Lanzhou Basin, Gansu Province, China [J]. *Eclogae Geobgoy Helv*, 2001, 94: 373-385
- 28 岳乐平, 邱占祥, 颜光普, 等. 兰州盆地永登剖面记录的第三纪沉积环境[J]. *沉积学报*, 2003, 21(4): 693-687 [Yue Leiping, Qiu Zhanxiang, Yan Guangpu, *et al*. Sedimentary environment of Tertiary recorded in the Yongdeng section of Lanzhou Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(4): 693-687]
- 29 宋春晖, 孙淑荣, 方小敏, 等. 酒西盆地晚新生代沉积物重矿物分析与高原北部隆升[J]. *沉积学报*, 2002, 20(4): 552-559 [Song Chunhui, Sun Shurong, Fang Xiaomin, *et al*. Analysis of tectonic uplift and heavy minerals of sediments on Jiuxi Basin in northern margin of Tibet Plateau since the Late Cenozoic [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 552-559]
- 30 方小敏, 等. 高原北部构造隆升的时空序列[C]// 郑度, 姚檀栋, 等编. 青藏高原隆升与环境效应. 北京: 科学出版社, 2004: 207-215 [Fang Xiaomin, *et al*. The temporal and spatial sequence of tectonic uplifting in the northern margin of Tibet Plateau [C]// Zheng Du, Yao Tandong, *et al*, edited. *Uplifting of Tibetan Plateau With Its Environmental Effects* [J]. Beijing: Science Press, 2004: 207-215]
- 31 戴霜, 方小敏, 宋春晖, 等. 青藏高原北部的早期隆升[J]. *科学通报*, 2005, 50(7): 673-683 [Dai Shuang, Fang Xiaomin, Song Chunhui, *et al*. The early uplifting of the north Tibetan Plateau [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(7): 673-683]
- 32 玉门油田石油地质志编写组. 中国石油地质志卷十三: 玉门油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989 [Yumen Oil Field Geology Editorial Group. *Yumen Oil Field Petroleum Geology of China* Vol. 13 [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989]
- 33 陈正乐, 刘健, 孙知明, 等. 阿尔金山脉新生代剥露历史—前陆盆地沉积记录[J]. *地质通报*, 2005, 24(4): 302-308 [Chen Zhengle, Liu Jian, Sun Zhiming, *et al*. Cenozoic erosional history of the Altyn Tagh Mountains inferred from the sedimentary record of the foreland basin [J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(4): 302-308]
- 34 Cowgill E, Yin A, Wang X, *et al*. Is the North Altyn fault part of a strike-slip duplex along the Altyn Tagh fault system [J]. *Geology*, 2000, 28(3): 255-258
- 35 Yin A, Ruppel P E, Butler R, *et al*. Tectonic history of the Altyn Tagh fault system in northern Tibet inferred from Cenozoic sedimentation [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2002, 114(10): 1257-1295
- 36 伍永秋, 崔之久, 葛道凯, 等. 昆仑山垭口地区第四纪地层石英砂表面特征与沉积环境[J]. *应用基础与工程科学学报*, 1998, 6(2): 117-124 [Wu Yongqiu, Cui Zhijiu, Ge Daokai, *et al*. Surface character and sedimentary environment of the quartz grains in the Quaternary strata in Kunlun mountains pass area [J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 1998, 6(2): 117-124]
- 37 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, 1978: 54 [Shanbei Team of Chengdu Geological College. *Grain Size Analysis and Application of the Sedimentary Rock* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978: 54]
- 38 Manabe S & Terpstra T B. The effects of mountains on the general circulation of the atmosphere as identified by numerical experiments [J]. *Atmospheric Environment*, 1974, 31: 3-42
- 39 Kutzbach J E, Guetter P J, Ruddiman W F, *et al*. Sensitivity of climate to late Cenozoic uplift in Southern Asia and the American West. Numerical experiments [J]. *Geophysical Research Letters*, 1989, 94(D15): 18393-18407
- 40 张林源. 青藏高原形成过程与我国新生代气候化变阶段的划分[C]// 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 (1994). 北京: 科学出版社, 1995: 267-280 [Zhang Linyuan. The Formation Process of Tibetan Plateau and stage division of Cenozoic Climatic Evolution in China [C]// *The Research on Formation and Evolution of Tibetan Plateau, Environment Change and Ecosystem*. Beijing: Science Press, 1995: 267-280]
- 41 施雅风, 汤懋苍, 马玉贞. 青藏高原二期隆升与亚洲季风孕育关系探讨[J]. *中国科学(D辑)*, 1998, 28(3): 263-271 [Shi Yafeng, Tang Maocang, Ma Yuzhen. The relation of the second uplifting stage of Tibetan Plateau and gradual development of Asia monsoon [J]. *Science in China (Series D)*, 1998, 28(3): 263-271]
- 42 李炳元, 潘保田. 青藏高原古地理环境研究[J]. *地理研究*, 2002, 21(1): 61-70 [Li Bingyuan, Pan Baotian. Progress in paleogeographic study of the Tibetan Plateau [J]. *Geographical Research*, 2002, 21(1): 61-70]
- 43 邱铸鼎, 李传夔. 中国哺乳动物区系的演变与青藏高原的抬升[J]. *中国科学(D辑)*, 2004, 34(9): 845-854 [Qiu Zhuding, Li Chuankui. Mammalian fauna evolution of China and Tibetan Plateau uplifting [J]. *Science in China (Series D)*, 2004, 34(9): 845-854]

The Eocene Surface Texture of Quartz Sand and Paleoclimatic Change in Northern Margin of Tibetan Plateau

SONG Chun-hui^{1, 2} MENG Qing-quan¹ XIA Weimin¹ XU Li¹ MIAO Yun-fa²
YANG Yong-biao¹ HU Shihu¹

- (1. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education) and
College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000;
2. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 10008)

Abstract The start time of the Asian interior aridification and East Asian monsoon is a research hotspot. The quartz sand grains which are taken from the Eocene red sandstones in the northern margin of Tibetan Plateau were examined under Electronic Scanning Microscope for their external morphological characteristics in the paper. The result shows that the samples almost have the texture of subaqueous polished surface and V-shape impact pits which is the typical feature of hydraulic action, and it is obviously different with the quartz sands from modern sand dunes of Taklimakan and northern margin of Altun Mountain. Also, the variations of the grain size indicate the Eocene red sandstones are different from the loess and modern sand dunes. To combine the sedimentary characteristics, we conclude that it does not widely present aeolian sediments in the northern margin of Tibetan Plateau, and the Asian interior aridification and East Asian monsoon not started during the Eocene. The aridity of Western China may be controlled by the planet wind system and global cooling during Eocene.

Key words surface texture of quartz sand; paleoclimatic; Eocene; Northern Margin of Tibetan Plateau