

文章编号: 1000-0550(2004)02-0261-06

图门江下游沙丘粒度分布与石英表面结构研究

马 锋 刘 立 王安平 曹 林

(吉林大学地球科学学院 长春 130026)

摘 要 图门江下游沙丘粒度频率累积曲线形态全部为双峰,负偏态,粒度变化范围大,平均粒度数值小,标准偏差平均值为 0.61ϕ ; 粒度分布特征方法判断沙丘沉积环境以河流成因为主。通过扫描电镜研究其石英颗粒表面结构,机械作用以贝壳状断口、V 形坑和次棱角状形态组合为主,化学作用为中等—强烈溶蚀特征;石英颗粒表面结构特征表明沙丘为河口沉积;热释光测年结果表明沙丘受全新世海平面变化的影响,经历海水及风力改造。

关键词 图门江 粒度分布 石英颗粒表面特征 沉积环境

第一作者简介 马锋 男 1980 年出生 硕士研究生 盆地流体与成岩作用

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

中国图门江口附近“绿洲沙丘”位于图们江以北的九沙坪和防川一带,东经 $130^{\circ}31'$ 至 $130^{\circ}33'$,北纬 $42^{\circ}36'$ 至 $42^{\circ}38'$ 之间,距日本海仅 15 km,并延伸进入朝鲜和俄罗斯境内。在我国境内延伸长达十几千米,大致平行海岸线分布,与图门江高角度斜交,沙丘分布地区四面环山绕水。研究区基础地质资料较少,前人做的工作也很少,近年来,有关图门江下游沙丘成因争议却很多,有些学者认为是海岸沙丘,有限的沙丘石英表面特征研究表明沙丘为经过风沙再次改造作用的海滩沙^[1]。本文试图主要通过扫描电镜分析,结合沙丘粒度分析和热释光年龄测定技术,查明沙丘石英颗粒表面结构特征及粒度特征,对沙丘成因进行初步推断。

1 沙丘粒度分布与石英颗粒表面特征

图门江流域位于中纬度地带,亚洲大陆东边和太平洋西岸的交界,属于寒温带大陆性半湿润季风气候区,天气温和,多雨,季风盛行,冬季漫长寒冷,西北风盛行;夏季短而温暖,多南风 and 东南风,年降水量为 500~800 mm,主要集中在夏季的六、七、八月,约占全年降水量的 60%~70%。珲春地区是沿海地区,年平均降水量为 600~800 mm,目标沙丘出现在图门江入海的河口位置附近,位于东经 $130^{\circ}31'25''$ 和北纬 $42^{\circ}36'25.3''$ 之间,标高 28 m,而且两岸沙丘呈带状分布,其轴线与图门江近似垂直,轴线走向 293° ~ 320° 之间,沙丘西缓东陡,多为低矮沙丘,高 15~30m,宽 100~200m,长 150~200 m,迎风坡坡度为 3° ~ 10° ,背风坡坡度为 15° ~ 30° 。沙丘层理构造发育,主要有大型板状低角度交错层理,变形层理,纹层厚度为 7~350 cm,厚度变化大,薄层多为重矿物富集层或黑色泥,颜色较深,厚层多为细砂和中砂,纹层具有

逆粒序性。

本次研究方法包括粒度分析、石英表面特征研究及热释光年龄测定。

1.1 样品处理

所研究的样品在沙丘剖面上自下而上分别为粉砂、黑色泥、灰色细砂、黑色泥、细砂、黑色泥、灰色粉砂质粘土及粘土质细砂,顶层见植物根系。粒度分析采用筛析法,选用 1/4 间距。做石英表面结构分析的样品需要进行如下处理:选取 0.25 mm 粒级的砂约 3 g,置于浓度为 36% 盐酸中煮沸 15 min,用蒸馏水彻底清洗,再放入浓度为 10% 的氯化亚锡溶液中煮沸 20 min,以清除氧化铁,用蒸馏水清洗样品,放入强氧化溶液浸泡 30 min,清除有机物,强氧化溶液由 20 g 重铬酸钾加 40 ml 水加热溶解,冷却,缓慢加入 360 ml 工业浓硫酸配制而成。最后用蒸馏水将样品彻底清洗,烘干。将烘干的样品放在双目实体镜下任意挑选出 15 粒石英砂,粘放在透明胶纸上,然后在沙粒表面镀上一层石墨,即可用扫描电镜观察,由于长石和石英在镜下有时难以区分,在扫描电镜分析的同时用 X 射线能谱仪作快速定性分析,确保挑样正确无误^[2~4]。

野外勘察时,在避光条件下,从沙丘剖面中部采集 250 g 细沙样品,用铝盒包装,送国家地震局地质研究所热释光实验室做热释光年龄测定。

1.2 沙丘粒度分布特征

粒度分析表明,沙样平均粒径范围介于 0.12~0.27 mm,平均值为:0.19 mm,粒度变化范围大,平均粒度数值小,属细砂;标准偏差介于 0.45ϕ ~ 0.99ϕ 之间,平均值为 0.61ϕ 。根据福克和沃克^[5]的分选等级与标准偏差值的关系,沙样的分选等级为:分选好和分

选较好。石英颗粒形态是区别外营力种类和搬运距离长短的重要标志^[6],样品中石英颗粒多呈不规则多面体,部分砂粒形态由晶形控制,颗粒以次棱角状和次圆状为主,次棱角状约占52%,次圆状颗粒约占21%。粒度分析曲线中的频率曲线形态全部为双峰,负偏态。

1.3 石英颗粒表面结构特征

颗粒表面特征主要分为机械成因特征和化学成因特征,样品中机械成因特征标志主要有贝壳状断口、阶梯状断口、V形撞击坑、碟形撞击坑、直撞击沟或弯撞击沟及擦痕等。化学成因特征标志主要有鳞片状剥落、深邃的溶蚀坑和沟、方向性溶蚀坑和沟、硅质球、硅质鳞片、硅质膜及晶体的增长等(表1)。

(1) 机械作用:

a. 贝壳状断口,表现为一系列平行阶梯状的高脊,具有弯曲的凹坑(图版-1,8,12),一般因撞击破碎及物理风化形成的^[7],样品中贝壳状断口出现几率为40.6%,主要为小贝壳断口,一般小于56 μm ,常存在于洼坑内。贝壳状断口常呈凸弧状扇型或凹弧状盘型,大多贝壳状断口断面新鲜,较少溶蚀作用,棱上出现平行解理。

b. 样品中还出现了半平行或弧形阶梯断口^[8],其出现率为13.7%,这些解理台阶是由剪切力和碰撞产生的,表面常出现硅质沉淀。

c. V形坑:样品中V形坑较发育,其出现率为47.6%,一般在0.5~45 μm 左右,小的V形坑(1 μm 左右)只能切割一个解理片,且常带方向性分布,大的V形

坑(10 μm 左右)可以切割若干解理片(图版-3)。

d. 直撞击沟和弯撞击沟在样品中少见,出现率为7.1%,宽度大约为3 μm ,长度为26 μm 左右,常与V形坑共生,有的为密集重叠的V形坑形成(图版-4)。

e. 碟形撞击坑在样品中出现率为9.6%,直径在50 μm 左右,小颗粒在风成环境中不跳动,处于“悬浮”状态,较少产生碟形坑,且常被后期硅质沉淀包裹而不易观察到(图版-2,10)。

f. 新月形撞击坑出现率为5.9%,平均长度约36 μm 微米,可以被看作介于V形坑和碟形撞击坑之间的一种过渡形式(图版-4)。

(2) 化学作用:样品中化学作用较发育,根据陈方提出的以综合反映石英颗粒化学溶蚀-沉淀特征标志、特征密度、特征分布面积以及颗粒外貌的化学作用程度的统计方法将样品中化学作用程度分为微弱、中等和强烈化学作用^[9],其中微弱化学作用以硅质球沉淀为特征标志(出现几率为23.9%),中等化学作用以深邃溶蚀沟(出现率为24.2%)、方向性溶蚀坑(出现率为16.8%,图版-6)及硅质鳞片(19.2%,图版-9)为特征标志。强烈化学作用以硅质膜(出现率12.2%)和鳞片状剥落(出现几率为16.6%,图版-7)为特征标志。此外,石英颗粒表面次生石英晶体晶形完整,表面新鲜(图版-5)。

(3) 其他特征:来自沙丘剖面底层样品的石英颗粒表面粘附硅藻(图版-11),形体极其完整,初步鉴定为圆筛藻科^[10]。

表1 沙丘样品石英表面特征几率

Table 1 The probability of quartz surface texture of sand samples

特征标志		表面特征几率/%						平均值
		23号	25号	26号	27号	28号	30号	
机械作用	贝壳状断口	23.8	62.5	50	13.6	56.3	37.5	40.6
	半平行或弧形阶梯断口	14.3	12.5	—	4.5	18.8	18.5	13.7
	V形坑	47.6	50	37.5	31.8	62.5	56.3	47.6
	直撞击沟和弯撞击沟	4.76	12.5	12.5	—	12.5	—	7.1
	碟形撞击坑	4.8	12.5	—	9.1	18.75	12.5	9.6
	新月形撞击坑	4.8	12.5	—	—	6.25	—	5.9
化学作用	用鳞片状剥落	—	25	—	22.7	6.25	12.5	16.6
	深邃的溶蚀坑和沟	28.6	12.5	37.5	22.7	37.5	6.25	24.2
	方向性溶蚀坑和沟	4.7	—	50	—	12.5	—	16.8
	硅质球	14.3	12.5	25	22.7	37.5	31.25	23.9
	硅质鳞片	23.8	12.5	25	22.7	18.75	12.5	19.2
	硅质膜	19.0	25	—	4.5	6.25	6.25	12.2
	晶体的增长	9.5	50	37.5	18.2	12.5	6.25	22.3

2 讨论

2.1 沙丘粒度分布反映的沉积环境信息

运用萨哈的判别沉积环境的四个综合公式并结合兰迪姆等提出的冰碛物及冰水沉积、冰碛物及冲积扇的判别方程^[11],计算出所采集样品的判别值,结果发现,判别值为浅海及冲积环境的样品在每个取样点都存在。此外叠加风成环境。将样品的偏度和标准偏差投到弗里德曼的偏度(Sk_i)对标准差(ϕ)的散点图上^[12~14](图 1),我们发现粒度资料落在两个不同的区域内,所研究沙丘粒度资料大部分落在具有海滩特征的区域,小部分落在河流特征的区域。上述粒度分布特征表明沙丘成因较复杂,主要为源于图门江的沙,堆积于河口与相邻海滨,是河漫滩及海滩堆积,出露于陆面滩,又为风力吹积为沙丘,具现代河口沉积环境特征,又有海滩沉积环境特征。

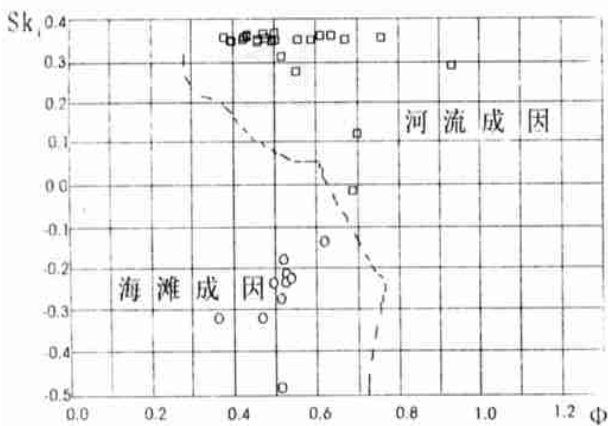


图 1 偏度(Sk_i)对标准差(ϕ)散点图

Fig. 1 Plot of Sk_i versus ϕ

2.2 石英表面特征揭示的沉积环境信息

在石英表面特征分析中,从各种特征标志出现的几率与陈方总结的现代海岸及内陆沙漠环境下石英颗粒表面结构特征表^[9]进行对比,我们发现,贝壳状断口出现几率、V形坑出现几率及次棱角状颗粒形态出现几率与现代河口沉积环境最接近,次圆状形态出现几率及碟形撞击坑出现几率与海滩沉积环境接近,新月形撞击坑出现几率则与海岸沙丘相近。石英颗粒各种特征出现几率与内陆沙漠相比,差别很大,可以排除沙丘为内陆沙漠环境的可能。

此外样品中大量出现鳞片状剥落及方向性溶蚀表明沙丘经历了中等—强烈的化学溶蚀作用,根据黄求获等的研究表明:温度是化学溶蚀作用的重要因素,温度越高,溶蚀越强^[15],据此可知沙丘形成演化过程中,

其沉积环境气温相对较高。

为了准确分析沉积环境,对石英颗粒表面特征采用定量分析方法—环境颗粒百分比法^[16],使用该方法时,采用“密码”分析法,避免先入为主的观点给分析带来倾向性影响。将石英表面特征按照与环境的关系排列作为纵坐标,以特征颗粒几率作为横坐标,做出石英颗粒表面特征曲线(图 2)。从曲线可以直观地看到,化学作用部分特征曲线值很大,反映成岩后生作用影响,水下环境部分特征曲线也很大,反映石英颗粒曾经历水下搬运,结合曲线上直撞击沟和弯撞击沟的曲线出现及贝壳状断口曲线值较大,可以推断是中高能量水下搬运。

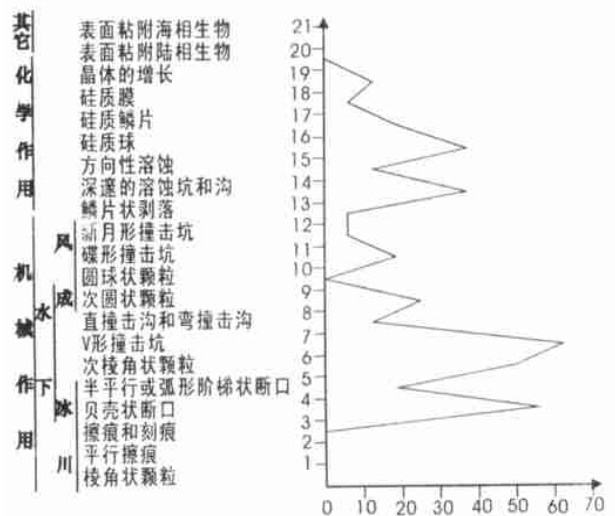


图 2 石英颗粒表面特征曲线(28号样品,细砂)

Fig. 2 The curve of quartz surface texture (Sample No. 28, fine sand)

由于石英颗粒经历了漫长的物理化学风化过程,不同环境对石英颗粒表面都施加了不同程度的影响,造成石英颗粒表面不同环境特征的叠加,甚至后期的环境作用消除前期环境作用的痕迹,使我们很难准确判别沙丘形成过程中哪一种环境特征占绝对优势,例如本次研究中,代表风成环境的碟形撞击坑及新月形撞击坑由于后期溶蚀、沉淀等化学作用的加强,基本被溶蚀改造或被硅质包裹。代表高能环境的直撞击沟和弯撞击沟也被后期风化作用及化学溶蚀或沉淀作用改造。但石英颗粒表面不同特征组合,还是可以提供沙丘沉积环境信息。贝壳状断口、V形坑及次棱角颗粒形态的大量出现表明颗粒特征以水下作用特征为主,初步分析为河口沉积环境沙经吹扬形成的沙丘,叠加的风成特征标志的碟形撞击坑及新月形撞击坑是后期风力作用结果。圆筛硅藻的出现则表明沙丘经历过水位相对较深的湖泊环境或滨海环境。

2.3 沙丘成因分析

为了准确判定沙丘形成时代,对沙丘剖面中段占主体的细砂进行热释光年龄测定,测定结果为:等效剂量为 22.06 Gy,年剂量率为 0.00379 Gy/a,年龄为 5.82 ± 0.45 ka BP。

根据赵希涛等对江苏建湖庆丰剖面全新世气候变迁和海面变化研究结果表明^[17~19],沙丘中段细砂的年龄段正好为全新世持续时间最长暖期的高峰期,随后经历两次冷期和两次暖期。而且这一时期海平面也最高。研究区为半山区,依山近海。北部和东南部多山,地势陡峻;西南部,地势平缓,为盆地,沙丘所在地防川海拔仅 5 m,为全区最低处。而且盆地平原位于全区中间地带的琿春河、圈河河谷及图们江东岸。平原由一套河谷阶地组成。地势海拔 5~100 m,地形坡降 1/500~1/800。一级阶地沿河床分布,阶面向河床缓倾^[20~21],可能在全新世大约 5.8 ka BP 左右,日本海海平面处于最高时期,海水沿地势较低的图门江河口倒灌,海侵期间,迅速的岸线退缩导致岸边植被的破坏,引起前丘、海滨沙脊、沙坝在风力作用下向琿春盆地方向活化^[22],受海水顶托作用,河水在琿春盆地与海水交汇,水下搬运能量较大,大量河流携带的泥沙及少量海水携带物质混在一起在图门江入海口处向两侧开阔地沉积。经历短暂海平面高峰期后,海平面下降,海水退去,研究区留下以河流沙质沉积物为主夹海岸侵蚀物和海底沙质沉积物的沙丘,经后期风力作用,形成现今沙丘形态,由于海水作用时期较短,且后期经历两个低温期,石英颗粒的形状仍保留次棱角状形态,但表面存在大量 V 形坑,同时遭受了高温期海水的化学溶蚀作用,鳞片状剥落相对较明显。

3 结论

图门江下游沙丘粒度分布和石英颗粒表面结构特征表明,源于图门江的沙,堆积于河口与相邻海滨,是河漫滩及海滩堆积,出露于陆面滩,又为风力吹积为沙丘图门江下游沙丘,在沉积过程中受倒灌海水的顶托作用影响,具有河口沉积环境与海滩沉积双重特点。

参考文献(References)

- 1 曲希玉,刘立,高福红,等. 图门江口附近沙丘的成因. 海洋地质动态,2002,18(6):6~10[Qu Xiyu, Liu Li, Gao Fuhong, et al. The Origin of sand dune in the vicinity of Tumenjiang River. Marine Geology Letters, 2002, 18(6):6~10]
- 2 谢又予,崔之久,李洪云,等. 中国石英砂表面结构特征图谱. 北京:海洋出版社,1984. 3~148[Xie Youyu, Cui Zhijiu, Li Hongyun, et al. Atlas of quartz sand surface textural features of China Micrographs. Beijing: Marine Publishing House, 1984. 3~148]
- 3 Whalley W B, Krinsley D H. A scanning electron microscopy study of surface textures of quartz grains from glacial environments. Sedimentology, 1974, 21: 87~105
- 4 Williams A T, Thomas M C. Analysis of barrier island surface sediments by scanning electron microscopy. Marine Geology, 1989, 86:101~118
- 5 梁桂香. 沉积岩石学实习教材. 长春:吉林科学技术出版社,1995. 73~90 [Liang Guixiang. Teaching material of the sedimentary petrology. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1995. 73~90]
- 6 李珍,张家武,马海洲. 西宁黄土石英颗粒表面结构与黄土物质来源探讨. 沉积学报,1999,17(2):221~225 [Li Zhen, Zhang Jiawu, Ma Haizhou. Discussion on the texture features of quartz grains and their origin in the Xining Loess. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 221~225]
- 7 王祥珍,吴时国,李传荣,等. 南极普里兹湾柱样中石英颗粒的表面结构. 极地研究,1997,9(2):91~104 [Wang Xiangzhen, Wu Shiguo, Li Chuanrong. Surface textures of quartz grains from a core of the Antarctic Prydz Bay. Chinese Journal of Polar Research, 1997, 9(2): 91~104]
- 8 王颖,迪纳瑞尔 B. 石英砂表面结构模式图集. 北京:科学出版社,1985. 2~9 [Wang Ying, Bhan Deonarine. Model atlas of surface textures of quartz sand. Beijing: Science Press, 1985. 2~9]
- 9 陈方,朱大奎. 海岸、内陆沙漠与大陆架沙质沉积石英颗粒表面结构的对比研究. 地理学报,1999,54(2):134~141 [Chen Fang, Zhu Dakui. A critical evaluation of the hypothesis of Chinese continental shelf desertification. Acta Geographica Sinica, 1999, 54(2):134~141]
- 10 蓝东兆,许江,陈承惠. 冲绳海槽晚第四纪沉积硅藻及其古海洋学意义. 台湾海峡,2000,19(4):419~425 [Lan Dongzhao, Xu Jiang, Chen Chenghui. Late quaternary sedimentary diatom okinawa trough and its paleoceanographical significance. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2000, 19(4):419~425]
- 11 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及应用. 北京:地质出版社,1978,90~100 [The geology team of Chengdu college of geology. Application Analysis of Grain Size. Beijing: Geology Publishing House, 1978. 90~100]
- 12 Friedman G M. Distinction between dune beach and river sands from their textural characteristics. Sedimentary Petrology, 1961, 31:514~529
- 13 Friedman G M. In defense of point counting analysis: hypothetical experiments versus real rocks. Sedimentology, 1965, 4:252~253
- 14 Friedman G M. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. Sedimentary Petrology, 1967, 37:327~354
- 15 黄求获,徐文强. 我国不同海区沉积物石英颗粒表面的微结构. 海洋科学,1997,2:43~47 [Huang Qiuhuo, Xu Wenqiang. Surface microtextures of quartz grains in the sediments of China Seas. Marine Science, 1997, 2:43~47]
- 16 陈丽华,缪昕,于众. 扫描电镜在地质上的应用. 北京:科学出版社,1986. 21-44 [Chen Lihua, Miao Xin, Yu Zhong. The practical application of transmission electronic microscopy in geology. Beijing: Science Press, 1986. 21~44]
- 17 赵希涛,唐领余,沈才明. 江苏建湖庆丰剖面全新世气候变迁和海面变化. 海洋学报,1994,16(1):78~88 [Zhao Xitao, Tang Lingyu, Shen Caiming. Holocene climate and the change of sea level in Jianhu County, Jiangsu Province. Acta Oceanologica Sinica, 1994, 16(1):78~88]
- 18 吴学忠,王绍鸿,赵希涛. 江苏建湖地区全新世孢粉组合及其地质、古地理意义. 地理科学,1996,16(3):252~259 [Wu Xuezhong, Wang

- Shaohong, Zhao Xitao. Holocene spore-pollen assemblages and their poleogeographical significance in Jianhu County, Jiangsu Province. *Scientia Geographica Sinica*, 1996, 16(3): 252 ~ 259]
- 19 Tsukada M. Vegetation and climate during the last glacial maximum in Japan. *Quaternary Research*, 1983, 19: 212 ~ 235
- 20 滕继奎, 张勃夫. 珲春经济开发区环境地质问题研究. *吉林地质*, 1997, 16(3): 36 ~ 41 [Teng Jikui, Zhang Bofu. A study on the environmental geology in the Hunchun Economic Development Zone. *Jilin Geology*, 1997, 16(3): 36 ~ 41]
- 21 丁立. 图门江地区的气候环境. *吉林气象*, 1997, 4: 23 ~ 25 [Ding Li. The Weathering and Environment of Tumen. *Jilin Weather*, 1997, 4: 23 ~ 25]
- 22 Pye K. Models of transgressive coastal dune building episodes and their relationship to Quaternary sea level changes: a discussion with reference to evidence from eastern Australia. In: Clark M W, ed. *Coastal research: UK perspectives*. Geobooks Regency House, 1984. 81 ~ 104

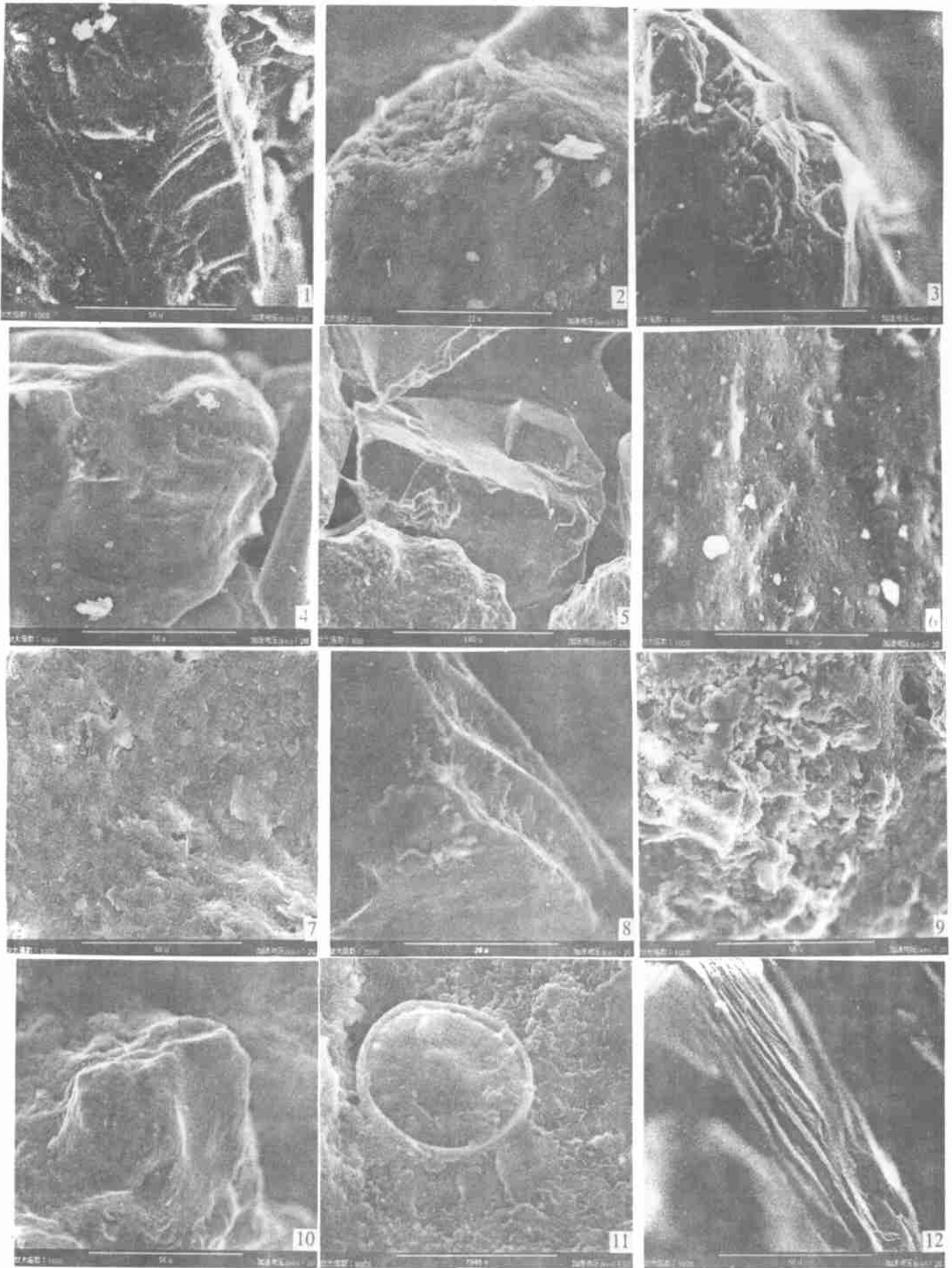
The Character of Grain Size Analysis and Quartz Surface Texture of Sand Dunes in the Downriver of Tumen River

MA Feng LIU Li WANG An-ping CAO Lin

(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026)

Abstract Through the grain size analysis of sand dunes in the lower reach of the Tumen River, it is found that the frequency cumulative distribution curves are the double peak and the S_k of the grains are negative, moreover, the change of the grain size is great and the mean value of the standard deviation is 0.64, the sedimentary environment of dunes by the grain size analysis is neritic environment; With the analysis of Transmission Electronic Microscopy (TEM), the shape of the quartz grains are subangular and the principal traces of mechanical action which underwent are conchoidal breakages and V-shaped percussion pit. The quartz grains have developed chemical action, mainly are middle-strong chemical corrosion; The surface textures of the quartz grains indicate that the sediments are mainly embouchure environment; The result of sand dunes ^{14}C age show that the sand dunes were affected by the change of the sea-level in Holocene epoch and experienced the weathering.

Key words Tumen River, grain size analysis, surface texture, sedimentary environment



图版 说明 1. 贝壳状断口(23号样品); 2. 碟形坑内硅质沉淀(23号样品); 3. V形坑(23号样品); 4. 弯撞击沟及新月形撞击坑(25号样品); 5. 次生石英晶体(25号样品); 6. 方向性溶蚀(26号样品); 7. 鳞片状剥落(30号样品); 8. 贝壳状断口及硅质沉淀(30号样品); 9. 硅质鳞片(30号样品); 10. 碟形坑(30号样品); 11. 硅藻(30号样品); 12. 贝壳状断口(23号样品)