民勤县固定与半固定沙丘粒度特征分析

杨宁宁[1]，董治宝[1,2]，李恩菊[1]，李继彦[1]

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院，陕西 西安 710062；
2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 沙漠与沙漠化重点实验室，甘肃 兰州 730000)

摘　要：沉积物粒度特征可以反映沉积物形成的沉积环境、沉积过程和搬运营力、搬运过程等信息。以民勤县西北部半固定与固定沙丘为研究对象，运用粒度分析方法，对其表层沉积物进行了系统采样分析。结果表明，半固定、固定沙丘的粒度组成均以细沙为主，极细沙次之，二者粒级级配相似，含量却有不同。半固定沙丘平均粒径为 2.69 Φ，中等分选近对称中等峰度分布；固定沙丘平均粒径为 2.66 Φ，中等分选近对称尖窄峰度分布。半固定、固定沙丘平均粒径与偏度存在二次多项式关系($R^2=0.404\ 1$)；峰度与平均粒径、标准离差、偏度呈不显著线性正相关关系(0.550，0.496，0.356)；标准离差与平均粒径、偏度之间无相关性。

关键词：半固定沙丘；固定沙丘；粒度特征；民勤县

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2011)06-0011-04　　**中图分类号**：P931.3

Grain Size Characteristics of Fixed and Semi-fixed Dunes in Minqin County

YANG Ning-ning[1], DONG Zhi-bao[1,2], LI En-ju[1], LI Ji-yan[1]

(1. *College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*;
2. *Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, China Academy of Science, Lanzhou, Gansu* 730000, *China*)

Abstract: Grain size characteristics of aeolian sediments can provide lots of information about sedimentary environment and process, sediment transporting forces. This paper selected the semi-fixed and fixed dunes at Minqin County as research objects, and studied the sediment samples systematically using the grain size analysis method. The results indicated that fine sand is dominant in the semi-fixed and fixed dunes surface sediments, and the very fine sand follows; the grain size compositions of semi-fixed and fixed dunes are similar, but difference in contents of components can be detected. The mean diameters of semi-fixed and fixed dunes are 2.69 Φ and 2.66 Φ respectively with similar sorting and skewness features, showing nearly symmetrical distribution patterns when moderately sorted. The analysis of the grain size parameters showed that a quadratic polynomial relationship($R^2=0.404\ 1$) exists between the mean diameter and skewness, but insignificant linear correlation can be found among kurtosis and the mean diameter, the sorting feature, kewness show (0.550, 0.496, 0.356), and the sorting feature and the mean diameter, skewness are uncorrelated.

Keywords: semi-fixed dune; fixed dune; grain size characteristics; Minqin County

由于全球气候变暖以及人类不合理的经济活动对自然环境的破坏，干旱区的沙漠化日益加剧[1-2]。随着腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠不断向外围扩张，石羊河流域下游水资源日益减少，民勤县土地退化、沙化更加严重。目前，荒漠化面积占土地面积的 94%，荒漠正以 3～4 m/a 的速度向绿洲推移，因此对绿洲—荒漠交错地带的地貌形态演变的研究显得十分必要[3-4]。已有学者[5-9]对不同区域绿洲—荒漠边界地带及周边地区的风沙沉积物粒度特征进行了研究。对民勤县则主要进行了沙物质来源[10]，植被盖度演替[11-13]，土壤理化性质[14-15]以及生态系统承载力[16]等方面定性和定量的相关研究，但对该地区地表沉积物粒度特征的研究还较少，而沙丘沉积物质粒度特征作为沙丘地貌研究的重要指标之一，对干旱区研究风沙地貌来说显得十分重要。本研究通过对民勤县典型固定、半固定沙丘野外考察的基础上，对其沉积物

收稿日期：2011-03-10　　**修回日期**：2011-03-29
资助项目：教育部“长江学者”特聘教授项目“腾格里沙漠科学考察项目”(801813)
作者简介：杨宁宁(1985—)，女(汉族)，河南省滑县人，硕士研究生，主要从事风沙地貌研究。E-mail：yangning2009@stu.snnu.edu.cn。

进行系统采样分析，旨在发现固定、半固定沙丘的粒度特征和分布规律，以了解该地区风沙地貌的演变，为该区沙漠化的有效防治提供依据。

1 研究区概况与研究方法

民勤县位于腾格里沙漠的西北部，河西走廊东北部，石羊河流域的最下游，东西长 203 km，南北宽 150 km，土地总面积为 1.60×10^4 km^2，平均海拔 1 367 m；县境地势四周高，中间低，具有明显的盆地地貌特征；该县东、北、西三面被腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠所包围，只有南面沿石羊河流域与武威绿洲相连接；该区域气候属于温带干旱荒漠气候，多年平均气温 7.8 ℃，全年盛行西北风和西西北风，夏秋季多见偏东风，年均风速为 2.55 m/s，多年平均降水量仅为 110 mm 左右，而蒸发量高达 2 419.6 mm，降水集中在 6 月中旬至 9 月中旬，占全年降水量的 80%；该区与沙漠交接地带广泛分布着固定、半固定及流动沙丘。

采样区地理坐标为 102°54′58.5″—102°58′15″E，38°35′24.9″—38°37′58″N，平均海拔 1 368 m。于 2009 年 7 月对该地区风沙地貌进行野外考察，且在大量分布的沙丘中选择形态较为典型的固定和半固定沙丘各 5 个，采样沙丘高度约为 2～6 m。样点选自沙丘的迎风坡和背风坡中部，每个样点自地表向下以 10 cm 间隔采样 3 个，共计采样 60 个。采样面积 20 cm×20 cm，单个样品重约 100 g。每个样点均用 GPS 精确定位，并详细记录各样点周围的地貌特征、海拔、植被等状况。

所有沙丘样品的粒度测试均在陕西师范大学粒度分析实验室完成。由于沙样来自固定与半固定沙丘，首先要对沙样进行预处理。即用 H_2O_2 和 HCl 去除样品中的有机质和钙质胶结物，再加入 10 ml$(NaPO_3)_6$ 溶液作分散剂，使样品充分分散后加入测试槽[17]进行上机测试。测试仪器为英国 MALVERN 仪器公司生产的 Mastersizer 2000 型激光粒度仪，测量范围为 0.02～2000 μm。测试数据采用福克—沃德提出的公式计算各粒度参数，然后在计算机上经 Excel 计算输出，并采用 SPSS 17.0 软件进行统计分析。

2 粒度组成特征

2.1 半固定沙丘粒度组成特征

研究区半固定沙丘沉积物主要是以细沙(48.22%)为主，其次是极细沙(29.47%)，再次是中沙(15.13%)，极粗沙含量最少(0.42%)，其余各粒级组分含量由大到小依次为：粗沙＞粗粉沙＞黏土＞细粉沙＞中粉沙＞极细粉沙＞极粗沙。研究区表面不同部位沉积物粒度分析结果显示(图 1)，半固定沙丘迎风坡表面粒级组分含量由大到小依次为：细沙＞极细沙＞中沙＞粗沙＞粗粉沙＞黏土＞细粉沙＞中粉沙＞极细粉沙＞极粗沙；半固定沙丘背风坡表面粒级组分含量由大到小依次为：细沙＞极细沙＞中沙＞粗粉沙＞粗沙＞黏土＞细粉沙＞中粉沙＞极细粉沙＞极粗沙。迎风坡和背风坡的粒级组成大致相同，只是各粒级百分含量稍有差别，从迎风坡到背风坡除极细沙、粗沙、黏土含量减小外，其余粒级含量均呈增大趋势。

2.2 固定沙丘粒度组成

固定沙丘表面沉积物粒级组成与半固定沙丘相似，但各粒级百分含量有所不同。固定沙丘也以细沙(40.46%)为主，极细沙(30.22%)次之，极细粉沙(0.69%)的含量最少(图 1)。固定沙丘表面粒级组分含量从迎风坡到背风坡除粗沙、极粗沙、中沙含量增大外，其余各粒级含量相对减小。

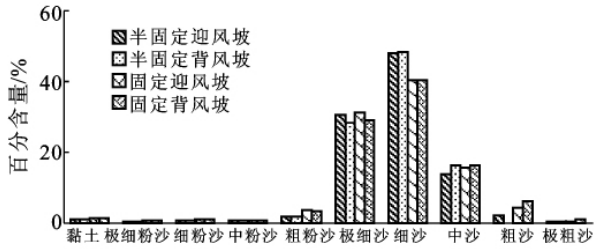


图 1 民勤县半固定和固定沙丘不同部位粒度变化

从图 2 可以看出半固定与固定沙丘频率曲线分布相似，均为单峰分布，峰值粒级为细沙(0.125～0.25 mm)。但也存在差异，半固定沙丘频率曲线比固定沙丘频率曲线窄，粒级比较集中；半固定沙丘除细沙粒级范围百分含量高于固定沙丘外，其余均小于固定沙丘。

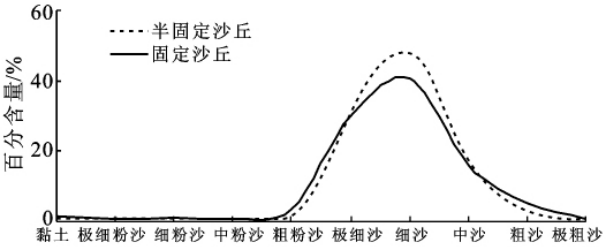


图 2 民勤县半固定和固定沙丘表层沉积物粒度频率曲线

3 沙丘粒度参数特征

3.1 平均粒径(MZ)

由表 1 可以看出，采样区不同类型沙丘表层沉积

物的平均粒径范围为 1.96 Φ～3.32 Φ(0.100～0.257 mm),其中半固定沙丘沙平均粒径为 2.69 Φ(0.155 mm),其迎风坡与背风坡的平均粒径极为接近,分别为 2.69 Φ 和 2.68 Φ;固定沙丘沙平均粒径为 2.66 Φ(0.158 mm),其迎风坡与背风坡平均粒径差别较大,其平均值分别为 2.71 Φ 和 2.61 Φ。总体来说,半固定沙丘迎风坡沉积物较粗;固定沙丘迎风坡沉积物较细。

3.2　标准离差

通常采用标准离差来表示沉积物的分选程度。标准离差(σ_1)越大,沉积物的分选性越差[17]。该区半固定沙丘的标准离差平均值为 0.76 Φ,按 Folk 和 Ward 给出的分选程度评价标准,属于中等分选,范围在 0.58～1.56 Φ 之间,其中 96.67%为中等分选;固定沙丘的标准离差平均值为 0.94 Φ,属中等分选,范围在 0.62～1.44 Φ,其中中等分选的比例为 60%,差分选则占 40%。半固定沙丘的分选程度比固定沙丘好,沙粒粒径分布集中,这与粒径频率分布规律一致(图 2)。

表 1　民勤县固定、半固定沙丘不同部位粒度参数

不同部位	参 数	平均粒径/Φ	标准离差	偏 度	峰 度
半固定沙丘迎风坡	范 围	2.05～2.99	0.58～1.56	－0.14～0.09	0.94～1.30
	平均值	2.69	0.74	0.03	1.03
	标准差	0.28	0.25	0.06	0.09
半固定沙丘背风坡	范 围	2.50～2.89	0.63～0.97	－0.17～0.06	0.96～1.47
	平均值	2.68	0.77	－0.01	1.06
	标准差	0.13	0.12	0.06	0.14
固定沙丘迎风坡	范 围	1.98～3.32	0.65～1.31	－0.25～0.36	0.91～2.06
	平均值	2.71	0.90	0.06	1.16
	标准差	0.39	0.22	0.14	0.33
固定沙丘背风坡	范 围	1.96～3.06	0.62～1.44	－0.20～0.23	0.78～1.77
	平均值	2.61	0.97	0.03	1.12
	标准差	0.37	0.29	0.13	0.31
总平均值		2.67	0.85	0.03	1.10

3.3　偏 度

偏度(SK_i)是表示沉积物粗细分布对称程度的一个定量描述指标[17]。半固定沙丘风沙沉积物的偏度在－0.17～0.09 Φ 之间,属负偏至近对称,近对称所占比例高达 90%,平均值为 0.01 Φ,呈近对称分布;固定沙丘的偏度平均值为 0.05 Φ,亦属近对称分布,其取值范围在－0.25～0.36 Φ 之间,属负偏至极正偏,其中近对称占 53.33%,正偏占 30%,负偏占 13.33%,极正偏占 3.33%。与半固定沙丘相比,固定沙丘正偏和负偏的比例明显增大,且波动较大,这说明固定沙丘粒度分布的对称性变化更为分散、复杂,这种分布变化也与粒度组成分布一致。

3.4　峰 度

参考峰度(K_g)等级划分标准,由粒度参数表(表 1)可以看出,半固定沙丘沙峰度值为 0.94～1.47,平均值为 1.05,属中峰度,其中中等峰度占 80%,窄峰度占 20%;固定沙丘沙的峰度值在 0.78～2.06 之间,平均 1.14,属尖窄峰度,其中 70%属于中峰度,13.33%属于尖窄峰度,16.67%属于很尖窄峰度。

3.5　粒度参数关系

经统计分析发现,平均粒径与标准离差相关性不存在线性相关。平均粒径与偏度之间存在二次多项式关系($R^2=0.404\ 1$),约以 2.47 Φ 为界,在粗粒径区,平均粒径越细,偏度越趋于负偏,在细粒径区,平均粒径越大,偏度趋于正偏(图 3)。平均粒径与峰度呈不显著线性正相关(0.55),即平均粒径越大,峰态越趋于尖窄。标准离差与偏度之间不存在相关关系。标准离差与峰度呈不显著线性正相关(0.496),即分选越好,峰态趋于尖窄。偏度与峰度表现出不明显的线性正相关(0.356),表明偏度越大,峰态越趋于尖窄,这与平均粒径与峰度的关系相一致(表 2)。

表 2　半固定、固定沙丘粒度参数相关性分析

粒度参数	M_Z	σ_1	SK	K_g
M_Z	1			
σ_1	－0.271*	1		
SK_1	0.272*	－0.111	1	
K_g	0.550**	0.496**	0.356**	1

注:* 表示在 0.05 水平相关关系显著,** 表示在 0.01 水平相关关系显著(双尾检验)。

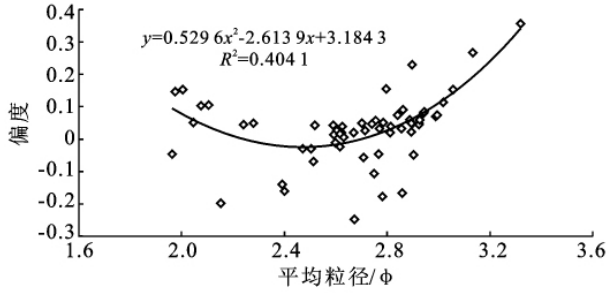


图 3 粒度参数关系散点图

4 分析讨论

4.1 沉积物的沉积环境分析

粒度参数特征能反映沙丘粒度成因和沉积环境，根据萨胡环境判别公式：

$$Y(\text{风成—海滩}) = -3.568\ 8M_Z + 3.701\ 6\sigma^2 - 2.076\ 6SK_i + 3.113\ 5K_g$$

若 $Y < -2.741\ 1$，为风成沉积环境，若 $Y > -2.7411$，则为海滩沉积环境[17]。将研究区的粒度参数值代入公式得出 Y 值均小于 $-2.741\ 1$，因此，该研究区沉积物是在风成环境下形成的。

4.2 不同部位粒度特征

半固定沙丘迎风坡粒度较背风坡粗，这与流动沙丘不同部位的粒度特征分布规律相似，因为迎风坡受到的风力作用较强，由于沙丘本身存在阻力，细粒物质被风携带至背风坡，由于背风坡分离回旋流的存在，使风速减小，细粒物质在背风坡堆积，这就是常见的沙丘粗化现象。

固定沙丘迎风坡与背风坡的粒度分布特征恰与此相反，这与固定沙丘不同部位粒度组成的分布规律表现一致，在固定沙丘的背风坡中沙粒径以上成分明显增加(图 1)。根据固定沙丘平均粒径统计数据可以看出，固定沙丘由表层到底层平均粒径自上而下呈增加趋势，根据当地的地理环境条件分析，造成固定沙丘粒度分布规律的原因可能是因为固定沙丘的植被比较密集，影响风沙流的运行过程，使其粒度分布复杂化。

4.3 粒度参数间的关系

从半固定与固定沙丘不同部位样品的粒度参数表可以看出，不同部位样品粒度参数存在不同程度差异，以平均粒径变化最明显，偏度变化最小；从迎风坡到背风坡，标准差明显降低，说明风力对表面形态的影响。

民勤县固定和半固定沙丘沙在粒度参数关系上，与其它相似形态[8]或相近粒径范围沙区[19]相比，均存在明显差异，说明沙丘表面粒度分布特征可能与其沙粒本身[18-20]和沙丘形态等条件有关。

5 结 论

(1) 研究区半固定、固定沙丘表层沉积物均以细沙为主，但是其粒度参数存在一定的差异：半固定沙丘平均粒径为 2.69 Φ，属于中等分选近对称中等峰态分布，且迎风坡与背风坡粒度参数相差不大；固定沙丘平均粒径为 2.66 Φ，属于中等分选近对称尖窄峰态分布，且迎风坡颗粒细于背风坡，分选好于背风坡。

(2) 半固定、固定沙丘粒度参数间的关系型表现为，平均粒径与偏度之间存在二次多项式关系，峰度与平均粒径、标准离差、偏度呈不显著线性正相关。

(3) 半固定、固定沙丘迎风坡与背风坡沉积物的粒度参数稍有差异，即自迎风坡到背风坡粒度参数值波动变小，且固定沙丘各粒度参数的变化情况显著于半固定沙丘，以上趋势表明该区不同类型沙丘中，固定沙丘对风力作用比较敏感，在沙丘的不同部位中，沙丘的迎风坡较敏感。

[参 考 文 献]

[1] 王澄海. 气候变化与荒漠化[M]. 北京：气象出版社，2003：90-95.

[2] 常兆丰，韩福贵，仲生年. 民勤荒漠区近 50 年气温、降水对全球变暖的响应[J]. 干旱区资源与环境，2009，23(9)：95-99.

[3] 马瑞，王继和，屈建军，等. 1960—2005 年民勤典型绿洲荒漠过渡带景观格局与动态[J]. 应用生态学报，2010，21(3)：714-722.

[4] 潘晓玲. 干旱区绿洲生态系统动态稳定性的初步研究[J]. 第四纪研究，2001，21(4)：345-351.

[5] 钱亦兵，张希明，李晓明. 塔克拉玛干沙漠南缘绿洲沙物质粒度特征[J]. 中国沙漠，1995，15(2)：131-135.

[6] 温小浩，李保生，李森，等. 2.5 ka 以来额济纳旗绿洲沙丘的粒度特征及其反应的沉积过程[J]. 地质学报，2005，79(5)：710-718.

[7] 肖晨曦. 和田河流域灌丛沙堆粒度特征及成因的初步研究[D]. 新疆 乌鲁木齐：新疆师范大学，2007.

[8] 刘金伟. 新疆艾比湖周边白刺沙堆特征及空间格局特征[D]. 新疆 乌鲁木齐：新疆师范大学，2009.

[9] 李万娟，李志忠，武胜利，等. 新疆艾比湖周边柽柳沙堆的粒度特征[J]. 干旱区地理，2010，33(4)：525-531.

[10] 任孝宗，王振庭. 民勤绿洲沙源分析[J]. 宁夏大学学报：自然科学版，2010，31(1)：88-92.

[11] 常兆丰，邱国玉，赵明，等. 民勤荒漠区植物物候对气候变暖的响应[J]. 生态学报，2009，29(10)：5195-5206.

[12] 常兆丰，刘虎俊，赵明，等. 民勤荒漠植被的形成与演变过程及其发展趋势[J]. 干旱区资源与环境，2007，21(7)：116-124.

(下转第 20 页)

(4) 通过分析参数间的相关性以及关系曲线,可知来源于泥石流浆体和小江处悬移质泥沙的新田坝处小江悬移质泥沙几乎没有发生过明显的分选。借助这些曲线可以看出,尽管有泥石流汇入,但依然可以明显区分出挟沙水流和泥石流的浆体。

[参 考 文 献]

[1] Umesh K, Haritashya, Amit Kumar, et al. Particle size characteristics of suspended sediment transported in meltwater from the Gangotri Glacier, central Himalaya: An indicator of subglacial sediment evacuation[J]. Geomorphology, 2010,122: 140-152.

[2] Smith B P G, Naden P S, Leeks G J L, et al. The influence of storm events on fine sediment transport, erosionand deposition within a reach of the River Swale, Yorkshire, UK[J]. The Science of the Total Environment, 2003,314/315/316:451-474.

[3] Roberto Z, Flaviano C, Luca Z, et al. The effect of floods on the transport of suspended sediments and contaminants: A case study from the estuary of the Dese River (Venice Lagoon, Italy)[J]. Environment International, 2005,31:948-958.

[4] Cui P, Wei F Q, Li Y. Sediment transported by debris flow to the lower Jinsha River[J]. International Journal Research of Sediment, 1999,14(4):67-71.

[5] 杜榕桓,康志成,陈循谦,等. 云南小江泥石流综合考察与防治规划研究[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1987:1-2.

[6] 陈景武,汪凯. 长江上游降雨特征与泥石流,泥石流观测与研究[M]. 成都:科学出版社,1996:116-119.

[7] 王裕宜,洪勇,李昌志. 暴雨泥石流输沙年际变率的旋回性研究:以云南东川蒋家沟泥石流为例[J]. 自然灾害学报,2000,9(4): 99-104.

[8] 李长安,殷鸿福,俞立中. 长江流域泥沙特点及对流域环境的潜在影响[J]. 长江流域资源与环境,2000,10(9): 504-509.

[9] 韩用顺,崔鹏,王道杰,等. 泥石流滩地农业资源化开发与利用:以蒋家沟为例[J]. 长江流域资源与环境,2009, 18(8):753-758.

[10] American Geophysical Union. Report on the subcommittee on sediment terminology [J], Transactions American Geophysical Union, 1947,28(6):936-938.

[11] Robert L F, William C W. Brazos River bar [Texas]: A study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27(1):3-26.

(上接第 14 页)

[13] 常兆丰,赵明,韩福贵,等. 民勤沙丘不同稳定性沙丘植被生境条件研究[J]. 干旱区研究,2004,21(4):384-388.

[14] 杜建会,严平,丁连刚,等. 民勤绿洲不同演化阶段白刺灌丛沙堆表面土壤理化性质研究[J]. 中国沙漠,2009, 29(2):245-253.

[15] 贾宝全,张红旗,张志强,等. 甘肃省民勤沙丘土壤结皮理化性质研究[J]. 生态学报,2003,23(7):1442-1448.

[16] 岳东霞,巩杰,熊友才,等. 民勤县生态承载力动态趋势与驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境,2010(6):37-44.

[17] 任明达,王乃梁. 现代沉积环境概论[M]. 北京:科学出版社,1985:8-26,160-161.

[18] Lancaster N. Geomorphology of Desert Dunes[M]. London: Routledge, 1995:526.

[19] 哈斯,庄燕美,王蕾,等. 毛乌素沙地南缘横向沙丘粒度分布及其对风向变化的响应[J]. 地理科学进展,2006, 25(6):42-51.

[20] Pye K. Negatively skewed aeolian sands from humid tropical coastal dune field Northern Australia[J]. Sedimentary Geology, 1982,31:249-266.