

# 塔克拉玛干沙漠腹地沙粒胶结体的粒度特征

樊瑞静<sup>1,2</sup>, 李生字<sup>1</sup>, 俞祥祥<sup>1,2</sup>, 冯筱<sup>1,2</sup>, 马学喜<sup>1,2</sup>,  
孙娜<sup>1,2</sup>, 周杰<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 对塔克拉玛干沙漠腹地沙粒胶结体进行溶蚀分散获取组成沙粒, 采用激光粒度仪分析粒度成分, 并与区域内沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙的粒度特征进行对比, 分析沙粒胶结体的粒度特征。结果表明: (1) 沙粒胶结体中沙粒粒径呈多峰态分布, 垄间平地沙呈双峰态分布, 而沙丘沙和风沙流输沙呈单峰态分布; (2) 沙粒胶结体内沙粒分选性较差, 偏度属正偏, 平均粒径(3.17  $\Phi$ ) 介于沙丘沙(3.10  $\Phi$ ) 和垄间地沙(3.28  $\Phi$ )、风沙流输沙(3.67  $\Phi$ ) 之间; (3) 沙粒胶结体中沙物质主要组分为细沙和极细沙, 与沙丘沙、垄间平地沙一致, 而与风沙流输沙(极细沙和粉沙) 不一致。与沙丘沙、垄间平地沙以及风沙流输沙相比, 沙粒胶结体中粉沙、黏土和中沙相对富集, 是现代地表物质的混合物; (4) 与沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙相比, 沙粒胶结体内沙粒的蠕移-跃移、跃移-悬移截点粒径均偏细, 蠕移组分所占比重很高。从组成颗粒的粒度组成来看, 沙粒胶结体的形成受局地沙源和风动力的共同影响, 是特殊环境条件下现代地表过程的产物。

**关键词:** 沙粒胶结体; 粒度参数; 形成环境

**文章编号:** 1000-694X(2017)06-1059-07

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00086

**中图分类号:** P931.3

**文献标志码:** A

## 0 引言

在塔克拉玛干沙漠腹地部分垄间平地, 李生字等<sup>[1]</sup>发现了一种天然发育的沙粒胶结体, 是一种由盐分胶合而成的众多沙粒团聚体, 粒径可以达到粗沙、极粗沙甚至砾级别。孙娜等<sup>[2]</sup>基于风洞实验发现, 砾石级别的沙粒胶结体具有与砾石类似的抗风蚀效益, 用其覆盖流沙, 地表风蚀量大幅下降。虽然沙粒胶结体天然存量较少, 但依据其胶结机理, 可利用沙区丰富的流沙, 开发出类似的环保型固沙材料, 这对于风沙治理具有重要意义。因此, 探讨沙粒胶结体的粒度组分特征不仅有重要的科学意义, 还具有广阔的应用前景。沉积物的粒度参数具有一定的环境指示意义, 可以区分沉积环境、判定物质运输方式以及判别动力条件<sup>[3]</sup>, 从而探明其沉积环境特征<sup>[4-6]</sup>, 粒度分析方法在对黄土、沙漠、海洋、河流、湖泊等的沉积物研究中已取得了丰富的研究成果<sup>[7-12]</sup>。粒度成分特征分析可为沉积物来源分析提供重要依据。本文拟从沙粒胶结体的粒度特征出发, 通过与沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙粒度成分对比分析, 揭示沙粒胶结体组成沙粒的粒度特征,

并为分析其成因提供重要线索。

## 1 研究方法

### 1.1 区域环境

研究区位于塔克拉玛干沙漠腹地的塔中油田地区。区内以 ENE 和 NE 为主导风向, 风沙活动频繁, 沙丘高大起伏, 风沙地貌整体呈高大复合纵向沙垄与宽广的垄间地相间分布的格局<sup>[13]</sup>。垄间地一般宽 1~3 km, 广泛分布有形态简单的新月形沙丘、新月形沙丘链以及线性沙丘; 地表沉积物粗化明显, 含有一定比例的粗沙和极粗沙, 沙粒胶结体即分布在垄间地表(部分埋藏在浅层), 外形不规则(图 1), 粒径多数小于 2 mm, 部分粒径大于 2 mm, 最大可达 23.5 mm<sup>[1]</sup>。

### 1.2 研究方法

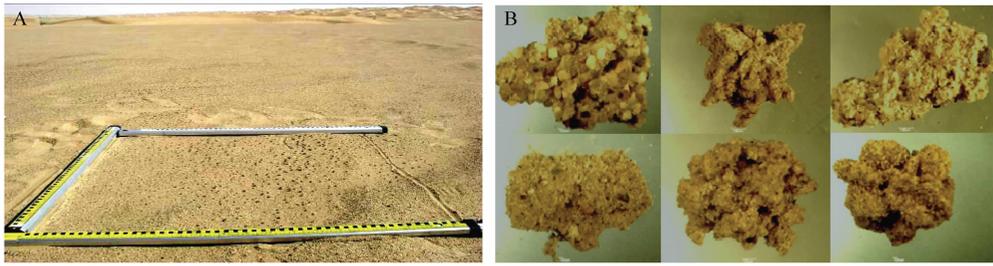
沙粒胶结体样品均采集于垄间平地, 采样点分别位于塔中一号公路 K2、塔中四油田基地路 K7、K9 以及 K7 防护林带内(图 2)。在每个采样区随机选

收稿日期: 2016-04-25; 改回日期: 2016-06-20

资助项目: 国家自然科学基金项目(41571011)

作者简介: 樊瑞静(1990—), 女, 河南安阳人, 硕士研究生, 主要从事风沙地貌及荒漠化防治研究。E-mail: frj66xmn@163.com

通信作者: 李生字(E-mail: lishy\_hb@163.com)



(A: 沙粒胶结体野外照片, B: 体式显微镜下沙粒胶结体的形貌)

图 1 沙粒胶结体的天然分布及形貌特征

Fig. 1 Sand cemented bodies distribution and macrocosm appearances

择 3 个采样点, 样方大小为  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ , 采集样方内表层  $2\text{ cm}$  深的所有沙土, 过孔径  $2\text{ mm}$  标准筛, 得到  $>2\text{ mm}$  的沙粒胶结体样品, 共采集沙粒胶结体样品 12 个。

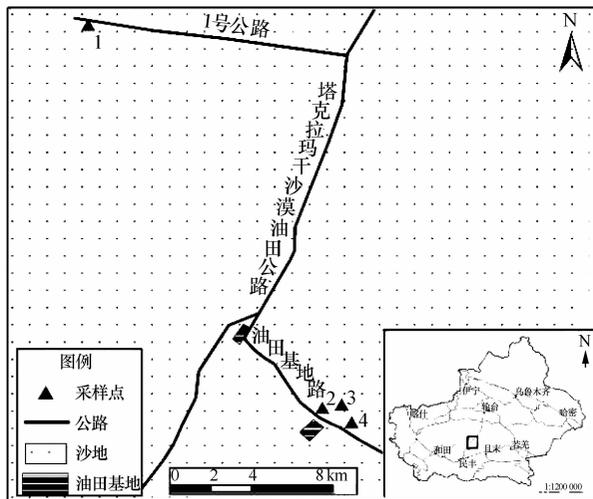


图 2 沙粒胶结体采样点分布图

Fig. 2 The map of sampling points of sand cemented bodies in central Taklimakan Desert

为了与沙粒胶结体对比, 在塔中四油田基地路 K9 里程的垄间平地, 随机选取 4 个新月形沙丘, 在沙丘顶部取样, 样方大小为  $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ , 样品采集深度为  $2\text{ cm}$ , 共采集沙丘样 4 个; 在该区设置 5 个垄间平地风沙流输沙观测点, 用 BSNE 集沙仪收集不同高度 ( $30$ 、 $50$ 、 $100$ 、 $150$ 、 $200\text{ cm}$ ) 的风沙流输沙; 同时, 选择地形平坦的垄间平地采样, 样方大小和样品采集深度同沙丘样, 共采集样品 3 个, 样品过  $2\text{ mm}$  筛, 去除沙粒胶结体得到下伏沙, 将样品装袋标记, 带回实验室分析。

沙粒胶结体用过量的氯化钠或氢氧化钠溶液浸泡十余小时, 待其分散后, 用蒸馏水淋洗去除多余可溶物, 自然风干, 获得胶结体中沙粒样品。所有样品过  $1\text{ mm}$  筛, 得到粗沙级以下颗粒, 取适量的胶结体

沙、沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙, 分别加入一定浓度的稀盐酸溶液和双氧水溶液进行消煮, 以去除盐分, 然后加入蒸馏水静置一晚使固液分离, 静置完毕倒掉上清液并加入  $30\text{ mL}$  六偏磷酸钠分散沙粒。

采用 BT-2001 型激光粒度分布仪(湿法)完成样品的粒度分析, 结果以体积百分含量表示。根据温德华粒径标准划分方法, 统计各输沙样品的颗粒级配<sup>[14]</sup>, 并根据 Folk-Ward 图解法<sup>[15]</sup> 计算粒度参数(平均粒径  $M_z$ 、分选系数  $\sigma_1$ 、峰度  $K_g$ 、偏度  $SK$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 粒径分布与级配

如图 3 所示, 沙丘沙的粒径分布范围为  $1.15 \sim 6.38\Phi$ , 呈单峰近对称分布, 众数粒径值为  $3.01\Phi$ , 对应含量为  $12\%$ ; 垄间平地沙的粒径分布范围为  $1 \sim 8\Phi$ , 呈双峰分布, 第一众数粒径值为  $3.28\Phi$ , 对应含量为  $19.2\%$ , 第二众数为  $0.4\Phi$ , 对应含量为  $2\%$ ; 风沙流输沙粒径分布范围为  $1.7 \sim 11.13\Phi$ , 众数粒径值为  $3.67\Phi$ , 对应含量为  $9.6\%$ , 呈单峰分

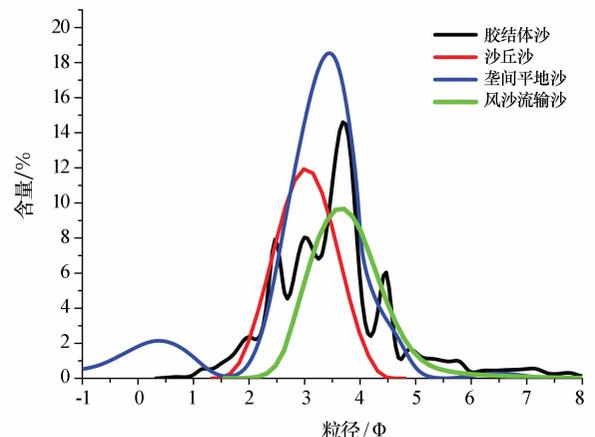


图 3 不同样品沙粒粒径分布曲线

Fig. 3 The Grain-size distribution of different samples

布；而沙粒胶结体内沙粒分布曲线较为复杂，呈多峰、多众数分布，第一众数粒径值为  $3.74 \Phi$ ，属于极细沙，对应含量 14.4%，第二与第三众数粒径值与沙丘沙基本一致，而对应含量小于沙丘沙，第四众数粒径值与垄间平地沙接近，对应含量大于垄间平地沙。可见，胶结体中沙粒粒径分布与沙丘沙、垄间平地沙、风沙流输沙有较明显的差异。

如表 1 所示，4 种沙物质均集中于极细沙、细沙和粉沙 3 个粒级，其中风沙流输沙和沙丘沙含量最高，分别为 99.90%、98.85%，胶结体沙和垄间平地沙相对较低，分别为 89.19%、89.68%；而中沙以上粒级含量存在较大差异，其中胶结体沙和垄间平地沙含量最高，分别为 10.27%、9.94%，而沙丘沙和风沙流输沙较低，分别为 2.15%、0.04%；只有沙粒胶结体和风沙流输沙含有黏土粒级，且前者为后者的 8 倍。4 种样品均以极细沙为粒级，含量达 37%~61%，沙丘沙、垄间平地沙和胶结体沙的次要粒级均为细沙，含量 22%~40%，而风沙流输沙

的次要粒级则为粉沙，含量达到 27.60%；沙丘沙、垄间平地沙和胶结体沙的第三粒级均为粉沙，含量 4%~18%，而风沙流输沙则为细沙，含量 11.40%。

沙粒胶结体中黏土、粉沙和中沙含量显著 ( $P < 0.05$ ) 高于沙丘沙，而极细沙、细沙含量低于沙丘沙，但细沙含量差异不显著 ( $P > 0.05$ )，粗沙含量大于沙丘沙 ( $P > 0.05$ )。可见，胶结体中沙粒较沙丘沙含有更多的粉沙粒级以下和中沙粒级以上组分。沙粒胶结体中黏土、粉沙、细沙、中沙含量均大于垄间平地沙，并达到显著水平 ( $P < 0.05$ )，而极细沙、粗沙含量低于垄间平地沙。显然，胶结体沙较垄间平地沙含有更多的粉沙粒级以下和中等粒径细沙和中沙成分，粗粒成分较少。胶结体沙粒中黏土、细沙和中沙含量显著 ( $P < 0.05$ ) 高于风沙流输沙，而粉沙、极细沙显著 ( $P < 0.05$ ) 低于风沙流输沙 (表 1)。可见，沙粒胶结体较风沙流输沙含有更多的黏土和细沙粒级以上的成分。

表 1 不同样品的颗粒级配

Table 1 The grain-size distribution of different samples collected in the Taklimakan Desert

样品名称	粒级级配(mm)/%					
	黏土(<0.002)	粉沙(0.002~0.063)	极细沙(0.063~0.125)	细沙(0.125~0.25)	中沙(0.25~0.5)	粗沙(0.5~1)
胶结体沙	0.53±0.33 <sup>a</sup>	18.21±8.66 <sup>a</sup>	36.73±8.28 <sup>a</sup>	34.25±7.13 <sup>a</sup>	9.41±7.46 <sup>a</sup>	0.86±1.56 <sup>a</sup>
沙丘沙	0 <sup>b</sup>	4.41±1.36 <sup>c</sup>	54.02±3.63 <sup>b</sup>	40.42±4.07 <sup>a</sup>	2.15±1.15 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>
垄间平地沙	0 <sup>b</sup>	14.62±3.18 <sup>b</sup>	53.17±1.12 <sup>b</sup>	21.89±3.91 <sup>b</sup>	0.78±0.26 <sup>b</sup>	6.11±1.59 <sup>b</sup>
风沙流输沙	0.06±0.08 <sup>b</sup>	27.60±6.44 <sup>d</sup>	60.9±2.37 <sup>b</sup>	11.4±5.22 <sup>c</sup>	0.04±0.09 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>

同列不同小写字母表示不同样品之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

由图 4 可见，3 种沙物质的主要组分(粉沙、极细沙和细沙)存在明显分异，与沙丘沙、垄间平地沙

和风沙流输沙相比，沙粒胶结体整体细沙含量较高，极细沙含量较低，粉沙含量略高或较高。

### 2.2 粒度参数

如表 2 所示，胶结体中沙粒的平均粒径为  $3.17 \Phi$ ，小于沙丘沙 ( $3.10 \Phi$ )，而大于垄间平地沙 ( $3.28 \Phi$ ) 和风沙流输沙 ( $3.67 \Phi$ )，前三者差异不显著 ( $P > 0.05$ )，而与风沙流输沙差异显著 ( $P < 0.05$ )。平均粒径代表粒度分布的集中趋势，表示沉积介质的能量值<sup>[4]</sup>。因而，胶结体沙粒沉积时的运动能量(风速)介于沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙之间。

沙粒胶结体沙粒分选系数为 0.83~1.3，属于分选中等或分选较差；垄间平地沙分选系数为 0.92~1.12，属于分选较差等级；沙丘沙分选性好于垄间平地沙和胶结体沙粒，属于分选较好；风沙流输沙分选系数为 0.58~0.68，属于分选较好。可见，沙粒胶结体内沙物质受风力作用相对较弱。

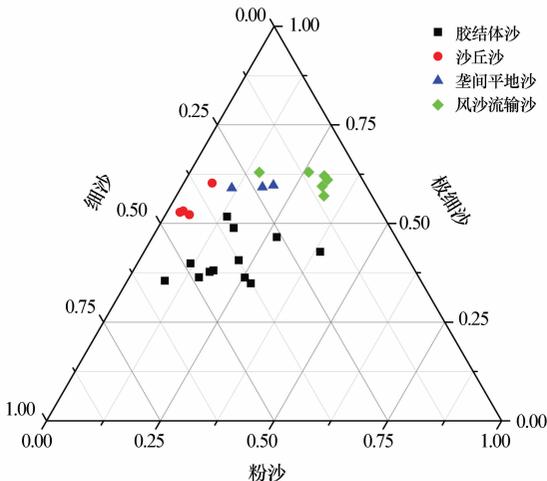


图 4 不同样品主要组分含量三角图

Fig. 4 The triangular figure of the main components of different samples

表 2 不同样品的粒度参数

Table 2 The grain-size parameters of different samples

样品名称	平均粒径( $M_z$ )	分选系数( $\sigma_r$ )	偏度( $SK$ )	峰度( $K_g$ )
胶结体沙	$3.17 \pm 0.30^a$	$1.03 \pm 0.21^a$	$0.18 \pm 0.08^a$	$1.26 \pm 0.13^a$
沙丘沙	$3.10 \pm 0.07^a$	$0.52 \pm 0.03^b$	$0.00 \pm 0.01^b$	$0.51 \pm 0.06^b$
垄间平地沙	$3.28 \pm 0.07^a$	$0.97 \pm 0.05^a$	$-0.30 \pm 0.03^c$	$1.81 \pm 0.03^c$
风沙流输沙	$3.67 \pm 0.13^b$	$0.63 \pm 0.05^b$	$0.11 \pm 0.04^a$	$1.01 \pm 0.03^d$

同列不同小写字母表示不同样品之间差异显著( $P < 0.05$ )。

沙丘沙偏度为 $-0.01 \sim 0.00$ ,属近对称,沙粒基本呈对称分布。垄间平地沙偏度 $-0.33 \sim -0.27$ ,属负偏,中位数向粒度较粗的方向偏,这与其较高的粗沙、极粗沙含量有关。风沙流输沙偏度 $0.07 \sim 0.15$ ,接近对称分布。胶结体沙粒偏度 $0.1 \sim 0.26$ ,属于正偏,表明中位数向粒度值较细方向略偏,这与粉沙和黏土含量高有关。

沙丘沙峰度平均值为 $0.51$ ,属于很宽峰态;垄间

平地沙粒峰度值 $1.78 \sim 1.84$ ,属于中等或窄峰态;风沙流输沙峰度平均值为 $1.01$ ,属于中等峰态。胶结体沙粒峰度值 $1.13 \sim 1.39$ ,属于很窄峰态。可见,胶结体沙粒峰态等级介于其他三者之间,表明胶结体沙粒分布曲线中部较尾部的分选性介于三者之间。

从平均粒径与分选系数、偏度、峰度的散点图(图 5)来看,沙粒胶结体沙粒与沙丘沙和垄间平地沙聚集于不同区域,粒度参数存在较大差异。

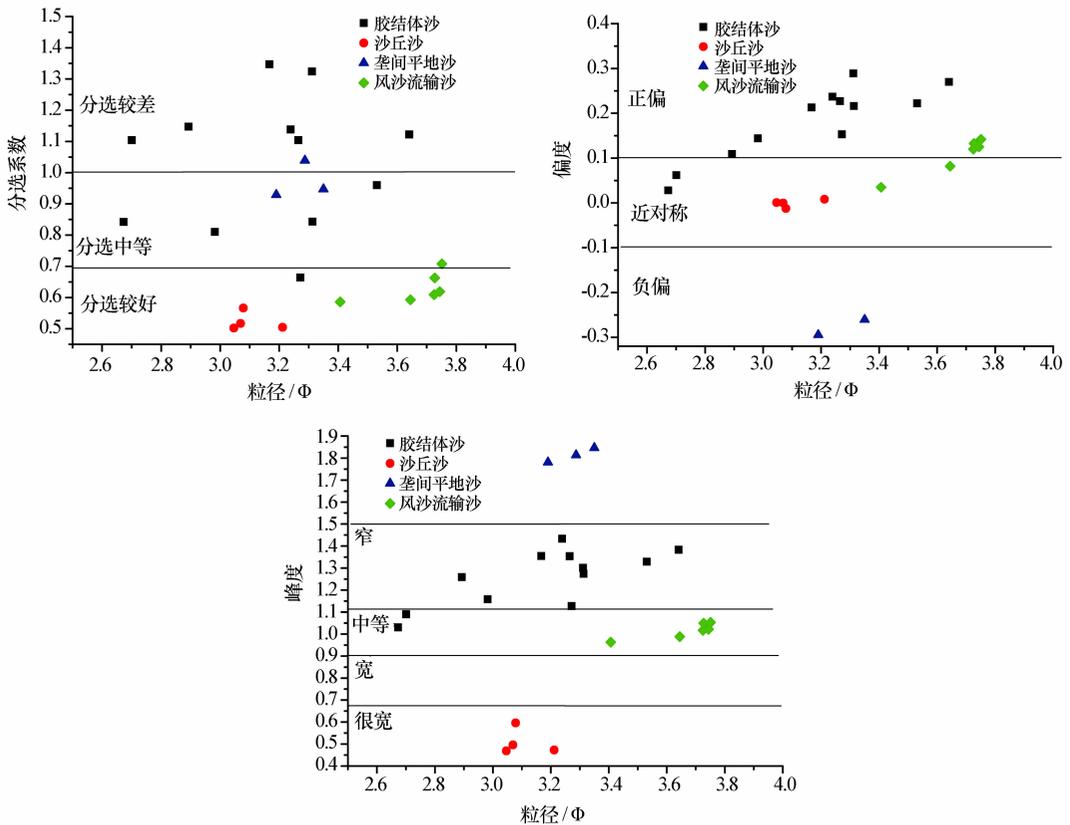


图 5 不同样品粒度参数散点图

Fig. 5 The grain-size parameters of different samples

### 2.3 概率累积曲线

概率累积曲线能够反映沙粒沉积的作用机制<sup>[15]</sup>,可以从侧面反映沉积过程中各种搬运方式所

占比<sup>[16]</sup>,其中概率累积曲线段式的数量在一定程度上代表沉积过程中的复杂程度<sup>[17]</sup>;曲线斜率可以表示粒径分布的分选性,曲线越陡表示分选性越好<sup>[18]</sup>,风沙活动越频繁越强烈<sup>[19]</sup>。

由图 6 可见,胶结体沙、沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙的概率累积曲线均为 3 段式,而垄间平地沙有蠕移-跃移混合组分和跃移-悬移混合组分,但含量较少。胶结体沙、沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙蠕-跃移组分截点的平均粒径分别为  $4.32\Phi$ 、 $1.86\Phi$ 、 $2\Phi$  和  $2.59\Phi$ ,跃移-悬移截点分别在平均粒径  $10.17\Phi$ 、 $3.77\Phi$ 、 $6.29\Phi$  和  $5.32\Phi$  处,与沙丘沙和垄间平地沙相比,胶结体沙粒蠕移-跃移、跃移-悬移的截点粒径偏小,表明沙粒胶结体整体处于低能环境中,颗粒的运动性下降。

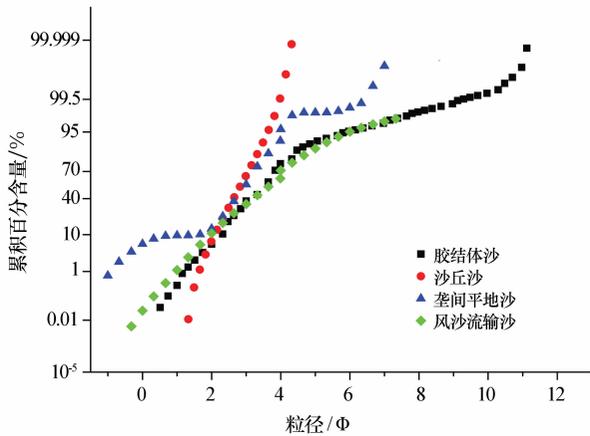


图 6 不同样品概率累积曲线

Fig. 6 The grain-size cumulative probability curves of different samples

胶结体沙、沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙蠕移沙粒含量分别为 86.8%、4.1%、11% 和 26.84%,跃移段含量分别为 13%、92.8%、88.4% 和 65.43%,悬移段含量分别为 0.2%、0.1%、0.6% 和 7.16%。可见,胶结体沙粒蠕移段含量明显高于沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙,也表明其颗粒的运动性下降。胶结体沙粒蠕移、跃移段曲线斜率均小于沙丘沙和垄间平地沙,各组分的分选性相对较差,也表明形成微环境风力作用小。

## 3 讨论

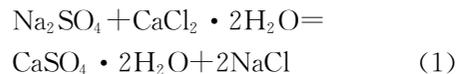
### 3.1 沙粒胶结体中部分颗粒组分的相对富集及胶结过程

沙粒胶结体、沙丘沙和垄间平地沙的主要组分均为细沙和极细沙,但沙粒胶结体该组分的含量(70.98%)小于沙丘沙(94.44%)和垄间平地沙(74%)。粉沙也是沙粒胶结体的重要组成物质,其含量(18.21%)高于沙丘沙(4.41%)和垄间平地沙(14.62%),而低于风沙流输沙(27.60%)。沙粒胶

结体中也含有少量的黏土,其含量(0.53%)高于风沙流输沙(0.06%),而垄间平地沙和沙丘沙则不含黏土。沙粒胶结体中亦含有一定的中沙组分,其含量(9.41%)高于沙丘沙(2.15%)、垄间平地沙(0.78%)和风沙流输沙(0.04%)。沙粒胶结体中还含有少量的粗沙,但其含量(0.86%)小于垄间平地沙(6.11%),而沙丘沙和风沙流输沙则不含粗沙以上组分。

可见,与沙丘沙、垄间平地沙以及风沙流输沙相比,在沙粒胶结体中,粉沙、黏土和中沙发生了相对富集,可能原因是沙粒胶结体在形成过程中吸附了沙丘沙、垄间平地沙以及大气降尘<sup>[20]</sup>中更多的细粒组分(粉沙和黏土),这些细粒物质对于沙粒胶结体的形成具有重要作用。同时,沙粒胶结体在形成过程中也会粘结更多垄间平地沙中的粗粒组分(中沙和粗沙)。

胶结体的形成发育可能伴随有复杂的化学物理过程,由其可溶物化学组成<sup>[1]</sup>推测,可发生化学反应:



在内陆干旱沙漠区的历史气候湿润期,河流水量大幅度增加,河道可深入沙漠腹地,在垄(丘)间形成一定的临时集水环境,经蒸发浓缩成盐湖,最终由于强烈蒸发彻底干涸<sup>[21-22]</sup>,湖底沉积中存在大量盐分,其中 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 和 $\text{CaCl}_2$ 则是常见盐分,在后期有水的微环境下(降雨或大气凝结水),则可发生上述反应。 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 即石膏,可将周围沙粒粘结起来,形成小尺度沙粒胶结体;一旦条件合适时,可继续发育成为更大尺度的沙粒胶结体。当然这种反应可发生于沙面表层,也可发生在沙面下伏浅层沙土中。在地表风沙作用下,已形成的沙粒胶结体的位置可不断发生变化,或埋藏在浅沙层中,或出露沙面表层。当胶结体位于沙面表层时,如有合适的化学反应条件,风沙流中的跃移和悬移质中的细粒组分可能参与了胶结体的形成;当胶结体位于沙地表浅沙层时,如有合适的化学反应条件,垄间浅层沙物质中的相关组分也可参与胶结体的形成。

### 3.2 沙粒胶结体发育环境特点

胶结体中的沙粒被石膏胶结固定,在后期风力作用下无法被风力搬运,因而分选性很差,不及沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙。胶结体中沙粒的粒径曲线呈多峰分布,也说明胶结体形成过程中对沙

物质的吸纳聚集选择性不强。

决定沉积物粒度组成的重要因素是搬运介质的动力大小和搬运方式<sup>[19]</sup>。胶结体中沙粒较沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙的蠕移-跃移、跃移-悬移截点粒径偏小,表明沙粒胶结体中沙粒的运动状态与其他三者有很大差异,沙粒胶结体应形成于风动力作用较弱、搬运能力低的低能态环境。

野外调查也发现沙粒胶结体多分布于凸起地形

下风向相邻的风影区(图7A、B),在这些地段风动力应相对较弱。不过,野外调查也发现,在一些地形平坦、周围开阔的区域,也有沙粒胶结体分布(图7C、D)。这可能是因为该位置原为风影区,但随着沙丘移动,风影区消失,由于沙粒胶结体粒径较大,所需搬运动力为沙粒的数倍,较难于被风搬运而停积于原地。另外,沙粒胶结体也可在地表浅沙层中形成,基本不受地表风动力影响。

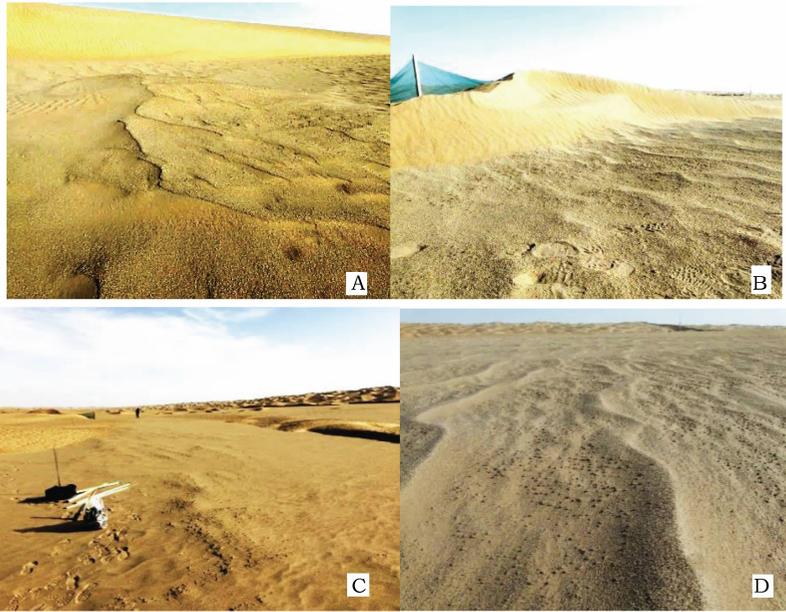


图7 沙粒胶结体主要分布区域

Fig. 7 The main distributed sites of sand cemented bodies in the Taklimakan Desert

## 4 结论

塔克拉玛干沙漠腹地垄间平地发育的胶结体中的沙物质粒径分布曲线呈多峰分布,以细沙和极细沙为主,平均粒径  $3.17 \Phi$ ,分选中等或较差,分选性较沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙差,说明胶结体形成过程中受风动力影响较小,偏度属于正偏,与胶结体内细粒成分的富集有关,峰度属于窄峰态,介于其他三者之间,且蠕移-跃移和跃移-悬移截点粒径较垄间平地沙、沙丘沙和风沙流输沙偏小,主要运动方式为蠕移。与垄间平地沙、沙丘沙以及风沙流输沙相比,沙粒胶结体中粉沙、黏土和中沙组分相对富集。沙粒胶结体构成沙物质的粒度特征明显有别于当地的沙丘沙、垄间平地沙和风沙流输沙,这与沙粒胶结体的复杂形成过程有关。沙粒胶结体是受局地沙源和风动力影响下的现代地表过程的产物,因此,对沙粒胶结体组成沙粒的粒度特征研究,可为揭示其成因提供线索。

**致谢:**感谢中国科学院新疆生态与地理研究所风沙治理与生态建设技术研究团队在野外采样和室内分析处理方面的大力支持;感谢中国科学院新疆生态与地理研究所穆桂金研究员提出的宝贵修改意见。

## 参考文献:

- [1] 李生宇,孙娜,马学喜,等.塔克拉玛干沙漠腹地垄间砂粒胶结体的基本特性及研究价值[J].中国沙漠,2016,36(2):265-273.
- [2] 孙娜,李生宇,马学喜,等.砾石级沙粒胶结体抗风蚀效益的实验研究[J].中国沙漠,2016,36(3):575-580.
- [3] 霍文,何清,杨兴华,等.中国北方主要沙漠沙尘粒度特征比较研究[J].水土保持研究,2011,18(6):6-11.
- [4] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27(1): 3-26.
- [5] 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.
- [6] 王训明,陈广庭.塔里木沙漠石油公路半隐蔽式沙障区与流沙区沙物质粒度变化[J].中国沙漠,1996,16(2):180-184.

- [7] 胡梦珺, 李森, 高尚玉, 等. 风成沉积物粒度特征及其反映的青海湖周边近 32 ka 以来土地沙漠化演变过程[J]. 中国沙漠, 2012, 32(5): 1240—1247.
- [8] 姚正毅, 屈建军. 青藏铁路格尔木-拉萨段风成沙物源及其粒度特征[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 300—307.
- [9] 张正德, 董治宝, 钱广强, 等. 腾格里沙漠西部和西南部风能环境与风沙地貌[J]. 中国沙漠, 2012, 32(6): 1528—1533.
- [10] 李继彦, 董治宝, 李恩菊, 等. 察尔汗盐湖雅丹地貌沉积物粒度特征研究[J]. 中国沙漠, 2012, 32(5): 1187—1192.
- [11] 哈斯, 王贵勇. 沙坡头地区新月形沙丘粒度特征[J]. 中国沙漠, 2001, 21(3): 271—275.
- [12] 魏怀东, 徐先英, 王继和, 等. 库姆塔格沙漠沙丘的粒度特征[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 6—9.
- [13] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [14] Wentworth C K. A scale of grade and class terms for clastic sediments[J]. Journal of Geology, 1922, 30(5): 377—392.
- [15] 弗里德曼 G M, 桑德 J E. 沉积学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [16] 王世杰, 李生宇, 徐新文, 等. 阿拉尔-和田沙漠公路机械防沙体系内风沙沉积的粒度特征[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(6): 130—135.
- [17] 汪言在, 伍永秋, 苟诗薇. 塔克拉玛干沙漠中部地区两类半隐蔽格状沙障内部沉积粒度特征浅析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1056—1062.
- [18] 代亚亚, 何清, 陆辉, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地复合型纵向沙垄区近地层沙尘水平通量及粒度特征[J]. 中国沙漠, 2016, 36(4): 918—924.
- [19] 陈渭南. 塔克拉玛干沙漠 84°E 沿线沙物质的粒度特征[J]. 地理学报, 1993, 48(1): 33—46.
- [20] 孙艳伟, 李生宇, 徐新文, 等. 塔克拉玛干沙漠大气降尘粒度特征——以塔里木沙漠公路沿线为例[J]. 干旱区研究, 2010, 27(5): 785—792.
- [21] 朱秉启, 于静洁, 秦晓光, 等. 新疆地区沙漠形成与演化的古环境证据[J]. 地理学报, 2013, 68(5): 661—679.
- [22] 董光荣. 塔克拉玛干沙漠第四纪地质研究的新进展[J]. 中国沙漠, 1997, 17(1): 77—79.

## Grain-size Characteristics of Sand Cemented Bodies in the Center of Taklimakan Desert

Fan Ruijing<sup>1,2</sup>, Li Shengyu<sup>1</sup>, Yu Xiangxiang<sup>1,2</sup>, Feng Xiao<sup>1,2</sup>, Ma Xuexi<sup>1,2</sup>,  
Sun Na<sup>1,2</sup>, Zhou Jie<sup>1,2</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The particles were gained by the dissolution and dispersion of sand cemented bodies (SCB) collected from the Taklimakan desert, and then the Laser Particle Characterization System was conducted to get the characteristic parameters of the particles. In order to analyze the grain-size characteristics of the SCB, the SCB particle characteristic parameters were compared with the sand particles from the local dunes, the inter-dune corridors and the transport sands. The results indicate that: (1) The grain-size distribution curve of the SCB is multi-peaked, both the dunes and the transport sands are single-peaked and the inter-dune corridors is double-peaked; (2) The sorting of the SCB particles is poor, the distribution is positive skewness, and the average particle size ( $3.17 \Phi$ ) is between the size of the dune sands ( $2.10 \Phi$ ) and the inter-dune corridor sands ( $3.28 \Phi$ ) or the transport sands ( $3.67 \Phi$ ); (3) The SCB mainly consists of fine sand and silty sand. Compared with the dune sands, the inter-dune corridors sands and the transport sands, the SCB are enriched in silty sand, clay and medium sand relatively. In conclusion, the SCB is a mixture product of the modern desert on surface. (4) Compared with the dune sands, inter-dune corridor sands and the transport sands, the diameter of SCB creep-saltation and saltation-suspension particles tend to be fine, and the creep moving component proportion is very high. Therefore, from the perspective of the grain-size of the material compositions, the formation of the SCB is affected by the common local sands and the wind power, it is a product formed on the modern land surface influenced by special environment conditions.

**Key words:** sand cemented bodies; grain-size parameters; formation environment