

中国干旱、半干旱沙区风成沙粒度的统计分析

史培军

王静爱

(内蒙古大学, 内蒙古自然资源研究所)(内蒙古师范大学地理系)

{中国自然资源开发和利用国际学术讨论会(论文摘要) 1985 新疆乌鲁木齐}

本文对研究区 232 个已知不同环境条件下的风成沙样, 及其 70 个下伏沉积物样的平均粒径 ($M(\Phi)$)、标准差 ($R(\Phi)$)、偏度 (SK) 和尖度 (KG) 等粒度参数进行了计算。计算结果的统计分析表明: ①在 0.02 的显著性水平下, 研究区风成沙的 ($M(\Phi)$)、($R(\Phi)$)、 SK 和 KG 的统计估计域值分别为 2.72 ± 0.20 、 0.90 ± 0.25 、 1.06 ± 0.92 和 18.20 ± 15.42 ; ②在 0.10 的显著性水平下, 研究区风沙与其下伏沉积物的粒度参数之间具有显著的相关关系; ③根据研究区风成沙粒度参数的聚类分析结果, 将其分成了三种组合类型。

前言

中国干旱、半干旱沙区(以下略称中国沙区)主要分布在北纬 35—50, 东经 75—125 之间, 大致呈向南突出的弧形地带。从自然地带上看, 中国沙区主要分布在温带干旱荒漠、半干旱草原地带; 从地势上看, 除科尔沁沙区分布在海拔较低的西辽河平原外。其它均分布在海拔较高的高平原及内陆山间盆地中。这些沙区主要包括塔克拉玛干沙漠等 12 个大沙区, 面积计有 65.76 平方公里^[1]。

对中国沙区风成沙粒度参数的研究, 已作了一定的工作^{[2] [3]}, 尤其对塔克拉玛干沙漠风成沙粒度参数作了比较深入的研究^[3]。但是到目前为止, 对中国沙区风成沙粒度参数的全面研究, 还属空白。就是已作的一些工作, 还多属用图解法求得有关统计参数的。本文就是在这些基础上, 对目前所采集到的中国沙区 232 个已知不同环境条件下的风成沙样、及其 70 个下伏沉积物沙样的分析结果, 采用矩值法, 利用“小神通”计算机, 分别计算了有关沙粒参数, 并对这些计算结果进行了一元和多元统计分析、图解分析, 以期解释中国沙区风成沙粒度参数的统计特征及与其环境条件的关系。对已知环境条件下风成沙粒度参数的研究, 不仅可以提供中国沙区古地理环境演变的岩相对比的环境判断参考指标, 而且能够为改造利用中国沙区自然资源、特别是在开发大西北的战略方针制定中提供直接或间接的科学依据。

一、 粒度分析资料来源

自从 1958 年中国科学院治沙队成立以来, 在中国沙区取得了不少有关风成沙样的粒度分析资料。本文所用的统计计算资料大部分引自 1958 年以来到现在国内外学者公开发表和内部刊出文献中有关中国沙区风成沙粒度分析资料, 以及下伏的散松沉积物资料, 也包括作者本人所采集和分析的有关资料。鉴于篇幅, 在此文中不一一罗列。需要指出, 由于所引资料粒度分级不同、时间也不一、取样深度也有异。因此, 对统计计算有一定影响。考

虑这些，我们在计算时，作了一些适当调整，在一定程度上满足了我们计算的要求。调整后的粒度资料基本上可分为 8 个区间，即 $<0\Phi$ ， $0-1\Phi$ ， $1-2\Phi$ ， $2-3\Phi$ ， $3-4\Phi$ ， $4-5\Phi$ ， $5-6\Phi$ ， $>6\Phi$ 。尽管这样，还有一些粒度分析资料是在 7 个或 6 个区间下进行的，这类样品占总算样的 10%。

二、 粒度参数计算的数学模型及计算结果

粒度分析的结果，可取的大量的测值。这种大量的数字资料要用统计的方法加以处理，以便用来推断各粒度参数可能的总体性质。统计的第一步需要综合资料，综合的方法有二：一是图解算法；二是直接用粒度资料计算统计参数。本文以第二种方法为主，第一种为辅。

当前，国内外在沉积物（岩）的研究中，经常使用的粒度参数有平均粒径（ $M(\Phi)$ ）、标准差（ $R(\Phi)$ ）、偏度（ SK ）和尖度（ KG ）等。

我们根据文献[4]对 r 阶原点矩和 r 阶中心矩的定义，对于按 Φ 区间统计的各粒度分析资料，容易写出各粒度参数值用矩值表示的数学模型：

$$M(\phi) = a_1 = \sum_{i=1}^n x_i f_i (i=1, 2, \dots, n)$$

$$R(\phi) = (m_2)^{\frac{1}{2}} = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - a_1)^2 f_i \right]^{\frac{1}{2}} (i=1, 2, \dots, n)$$

$$SK = \frac{m_3}{m_2^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - a_1)^3 f_i \right] / \left[\sum_{i=1}^n (x_i - a_1)^2 f_i \right]^{\frac{3}{2}} (i=1, 2, \dots, n)$$

$$KG = m_4 / m_2^2 - 3 = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - a_1)^4 f_i \right] / \left[\sum_{i=1}^n (x_i - a_1)^2 f_i \right] - 3 (i=1, 2, \dots, n)$$

上式中：n——粒度的 Φ 值区间数；

x_i ——各粒度区间的 Φ 中值；

a_1 ——一阶原点矩；

f_i ——每一样品的粒度分析资料在每一 Φ 值区间内的频率；

m_2 、 m_3 、 m_4 ——分别为粒度分析样品的 2 阶、3 阶和 4 阶中心矩；

对于 S_0 的计算，我们是根据文献[7]中已知一些沙样的 S_0 值，先计算其相应的 $R(\Phi)$ 值，并对它们进行回归分析，用 $R(\Phi)$ 值计算一些未知且与 $R(\Phi)$ 相应的 S_0 值。本文就是根据上述数学模型对各粒度参数进行计算的。计算结果如表 1 所示。表 1 中的 a，b 和 c 分别代表流动沙丘（流沙）、固定沙丘及下伏松散沉积物相应的粒度参数；M 系各粒度参数的平均值，S 是相应的标准差；N 是样本数。

表 1 中国主要沙区风成沙及其下伏沉积物粒度参数计算值（平均）

		流动沙丘					固定沙丘					
		M(Φ) _a	R(Φ) _a	SK _a	KG _a	N	M(Φ) _b	R(Φ) _b	SK _b	KG _b	N	
塔克拉玛干	M	2.62	0.58	0.20	0.83	72						
	S	0.38	0.15	0.29	1.88							
古尔班通古特	M	2.87	0.72	0.32	0.90	1						
	S											
柴达木盆地	M	2.42	1.13	0.16	1.01	5						
	S	0.71	0.14	0.62	2.89							
共和盆地	M	2.18	0.48	-0.31	-1.25	1	4.24	1.22	1.15	5.91	1	
	S											
巴丹吉林	M	3.10	1.09	1.28	22.77	25						
	S	1.17	0.45	1.79	61.84							
腾格里	M	3.23	0.94	2.45	44.51	16	4.08	1.58	1.07	5.50	2	
	S	1.08	0.57	2.29	78.43		0.06	0.03	0.07	0.76		
乌兰布和	M	3.25	1.38	2.52	46.90	12						
	S	0.77	0.78	2.08	57.78							
库布齐	M	2.86	0.85	1.79	26.51	27						
	S	0.29	0.72	1.70	39.16							
毛乌素	M	2.53	1.29	1.89	33.16	42	2.77	1.38	0.77	4.44	4	
	S	0.49	0.69	2.22	42.20		1.22	0.39	0.52	4.05		
呼伦贝尔	M	2.38	0.56	-0.43	1.25	9	3.42	2.71	1.03	2.76	1	
	S	0.14	0.12	0.39	1.71							
科尔沁	M	2.49	0.86	1.80	23.57	9	3.09	1.39	0.70	5.23	5	
	S	0.42	0.26	1.19	20.29		0.61	0.40	0.51	5.56		
全沙区	M	2.72	0.90	1.06	18.20	219	3.52	1.66	0.94	4.77	1	
	S	0.36	0.30	1.10	18.50		0.63	0.60	0.20	1.24		3
				下伏松散沉积物								
				M(Φ) _a	R(Φ) _a	SK _a	KG _a	N				
塔克拉玛干	M		3.21	0.67	0.06	-0.30	19					
	S		0.58	0.18	0.18	0.84						
古尔班通古特	M		4.18	2.33	1.06	2.87	1					
	S											
柴达木盆地	M		2.62	1.46	0.27	3.09	11					
	S		1.43	0.50	0.69	3.81						
共和盆地	M		3.07	0.99	-0.06	1.56	4					
	S		0.27	0.20	0.43	1.87						
巴丹吉林	M		4.53	1.11	-0.40	5.49	7					
	S		2.44	0.54	1.74	7.09						
腾格里	M		4.21	2.09	0.99	5.08	5					
	S		1.55	0.85	0.87	7.25						
乌兰布和	M		3.13	1.42	1.59	9.17	2					
	S		0.04	0.16	0.08	1.77						
库布齐	M											
	S											
毛乌素	M		3.90	2.30	0.61	1.84	15					
	S		1.27	0.49	0.43	5.28						
呼伦贝尔	M		3.12	0.87	0.07	-0.54	1					
	S											
科尔沁	M		2.84	0.88	2.25	32.62	5					
	S		0.26	0.34	0.93	23.00						
全沙区	M		3.48	1.41	0.64	6.09	70					
	S		0.66	0.62	0.83	9.76						

三、 计算结果的分析

在分析之前,我们先就有关粒度参数的沉积学意义略加讨论。前述各粒度参数都试图用数值定量的描述粒度分布曲线的特征,进而解释沉积物(岩)形成过程和沉积环境。就 $R(\Phi)$ 和 S_0 来讲,它们都是量度样品分选程度的指标,即每个样品,各种粗细沙粒所占比例的分配情况。一般来说,如果某一样品在各个粒度区间所占的比率是绝对均匀的,则该粒度的频率线呈近似矩形状,这是 $R(\Phi)$ 和 S_0 的值均取得最大值,也就是说该样品分选最差;反之,若某一样品都近似集中在某一粒度区间内,则该粒度的频率曲线呈极窄的对称或不对称锥状形态,这是 $R(\Phi)$ 和 S_0 的值均取得最小值,也就是说该样品的分选最好。其它情况介上述这两种情况之间。显而易见, $R(\Phi)$ 和 S_0 呈正相关关系,也就有用毫米值计算的粒度标差 $R(d)$ 与 S_0 呈反相关关系, $R(\Phi)$ 和 S_0 与 KG 值均成反相关关系,并成幂函数关系。对于 SK 则变化较为特殊,它只是对频率曲线上众数值与平均值相对大小的量度,即平均值 $M(\Phi)$ 小于众数值(Φ 单位表示),颗粒集中在细端部分, $SK < 0$; $M(\Phi)$ 等于众数值,粒度对称分布 $SK = 0$; $M(\Phi)$ 大于众数值,颗粒集中在粗端部分, $SK > 0$ 。有鉴于上述,下面的分析均在这个思想下进行的。

1、 中国沙区风长沙(流沙)各粒度参数的统计估计域值。

中国沙区风成沙(流沙)粒度频率分布服从正态分布,基于这一事实我们根据[5]所介绍的区间估计方法,首先按中国各沙区(本文选了 11 个沙区),将计算机计算的各个粒度统计值进行算术平均,然后按 11 个沙区再计算各粒度参数的平均值和其样本标准差(表 1),最后计算了在 $\alpha=0.02$ 水平下,中国沙区风成沙(流沙)各粒度参数的统计估计域值,它们分别是: $M(\Phi) = 0.90 \pm 0.25$; $R(\Phi) = 1.06 \pm 0.92$; $SK = 18.2 \pm 15.42$; $KG = 2.72 \pm 0.30$ 。根据 Folk 和 Ward 分选系数、偏度、尖度及修改后的 Udden-Wentworth^[6] 粒度等级,就平均状况而言,中国沙区风长沙(流沙)属细沙——中等分选——极正确——极尖窄型;就其估计域值来看,它们波动在极细沙——细沙、分选较好——分选较差、正确——极正确、尖窄——极尖窄之间。若按 Fuchtbauer^[6] 的 S_0 分级,对应于 $R(\Phi)$ 的统计估计域值,有 S_0 的统计预值为 1.47 ± 0.20 ,即从平均状况来看,中国沙区风长沙(流沙)属中等分选,介于分选好——分选中等之间。可见,完全可以用 $R(\Phi)$ 来描述中国风成沙的分选程度,其与 S_0 所得到的结论是一致的。

2、 中国沙区风长沙(流沙)与下伏松散沉积物的粒度参数间的关系

从表 2 中,我们可以看出中国沙区流沙和固定沙丘间各粒度参数,以及风长沙(流沙)与其下伏松散沉积物之间,虽然在数值有所不同。但它们有没有本质差别?又有什么联系?为此,我们选定 $\alpha=0.01$,首先利用 t 检验法^[5]对流沙与固定沙丘的 $M(\Phi)$ 、 $R(\Phi)$,以及流沙与其下伏松散沉积物的 $M(\Phi)$ 、 $R(\Phi)$ 进行了显著性检验。该检验的拒绝域(即

有显著性区别)为
$$|\bar{x}| > \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)$$

结果得到流沙与固定沙丘的 $M(\Phi)$ 、 $R(\Phi)$ 明显,而且 $M(\Phi)$ 和 $R(\Phi)$ 也能在一定程度上反映 SK 和 KG 。

其次,我们对风成沙(流沙)和其后伏松散沉积物的粒度参数进行了非线性相关分析。结果分别得到风成沙(流沙)与其下松散沉积物间 $M(\Phi)$ 、 $R(\Phi)$ 、 SK 和 KG 的相关关

系为 0.61、0.53、0.61 和 0.60。在 $\alpha=0.10$, $n=10$ 时, 相关关系显著性检验值为 0.5493。不难看出, 尽管它们之间有显著性区别, 它除 $R(\Phi)$ 外, 又具有显著性的正相关关系。这足以再次证明中国沙区广大风成沙丘沙系“就地起沙”^[2], 它们深深的打上了下伏松散沉积物的烙印。

3、中国沙区风成沙 $M(\Phi)$ 与 $R(\Phi)$ 值在沙丘垂直剖面上的变化

任何一种沉积物, 都是在某种搬运介质的长期作用下形成的。风成沙也不例外, 高大的沙丘都是风力长期的作用下, 逐渐形成的。在一些高大沙丘的垂直剖面上, 我们可以看到许多不同类型的沉积层理, 就充分证明了这一点。一般来讲, 松散沉积物的粒度参数在垂向上的变化是很大的, 对于风成沙来说, 情况是怎样的呢? 我们分别选取了不同的自然地带、同一沙区(柴达木盆地和毛乌素沙区), 流动沙丘和固定沙丘距地表 3 米内的 5 对粒度分析样品, 计算了所取样在各个深度的各个粒度参数值。在 $\alpha=0.01$, n 分别为 10.7(柴达木盆地流动沙丘和固定沙丘)及 8、9(毛乌素流动沙丘和固定沙丘)下, 进行了假设检验。该检验的拒绝域(即样本的平均值($\bar{x}$)与总体的平均值(μ_0)有显著区别)为

$$|\bar{x} - \mu_0| > \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1) \quad [5]$$

结果得到流动沙丘风成沙的 $M(\Phi)$ 和 $R(\Phi)$ 值, 随深度的变化没有显著区别; 而固定沙丘风成沙的 $M(\Phi)$ 和 $R(\Phi)$ 值随深度的变化有显著区别。由此可见, 植被、降水乃至人类活动对风成沙粒度参数的影响。这些影响通常是在直接或间接通过改变风力作用而实现的。

4、不同沙丘类型风成沙(流沙)粒度参数的变化

沙丘类型往往反映了区域自然条件、特别是风场和下垫面条件的差异性。这也表明, 对于类型不同的风成沙丘, 随其规模大小的差异、发育阶段的不同, 风成沙粒度参数的变化也就不同(表 2)(M 系各粒度参数的平均值; S 为样本标准差。)从表 3 我们可以看出, 随着沙丘规模的增大、类型复杂程度增加, $M(\Phi)$ 值逐渐减小, 即平均沙粒度径变粗。而其它参数的变化比较复杂。一般来说, 随沙丘规模的增大或类型复杂程度增加, $R(\Phi)$ 变小, SK 、 KG 变大。这主要是因为即使在同一地区, 由于沙丘的复杂性增加, 风力作用时间也就愈持久; 沙丘愈高大, 相对风速增大。这些都利于风成沙平均有粒径变粗、分选性变好。

5、区域风力条件对中国沙区风成沙粒度参数的影响

风力是风成沙形成的动力条件或搬运介质, 它的大小及风场的变化直接影响到风成沙的搬运、堆积过程。我们从风成沙各粒度参数与其下伏沉积物相应的粒度参数的相关分析可以看出, 其相关程度并不很显著, 就不难想到搬运介质——风的影响。然而, 由于每一沙区各种自然地理条件的影响的综合作用, 使风对风成沙的影响表现的非常复杂。我们对中国沙区风成沙的 $M(\Phi)$ 、 $R(\Phi)$ 与相应的风速(年平均风速、4 月份的平均风速)进行相关分析时发现, 虽然它们具有反相关关系, 但其显著性水平不高, 而且不成简单的线性关系。其原因主要有: 风力的作用是在其它环境条件的影响下进行的; 沙区自然条件恶劣, 各气象站又往往设在一些大沙区的边缘, 所引用的气象资料、特别是风力资料, 不能很好的反映大沙区的气象情况。然而, 由于风沙现象是贴近地表的一系列风沙物理过程, 那么, 近地表风力、风场条件的不同, 就对风成沙粒度参数有很大影响。而这些条件又随下垫面、沙丘规模和复杂程度的不同, 有很大的差异。甚至在同一沙丘上、不同沙丘部位,

风力、风场条件变化也是非常明显的。正是因为这样，才是风力对风成沙的影响表现出综合性和复杂性的特点，不能用简单的函数关系来定量的描述。尽管这样，风对风成沙粒度参数的影响，在特定的地区是直接的，而且也是主要的。

表 2 塔克拉玛干沙漠不同沙丘类型的粒度参数值

		低矮灌丛沙堆	新月形沙丘	复合新月形沙丘	新月形沙丘链	金字塔沙丘	平均值
M (Φ)	M	2.72	2.69	2.60	2.44	2.43	2.58
	S	0.37	0.48	0.31	0.48	0.21	0.37
R (Φ)	M	0.56	0.60	0.51	0.63	0.51	0.56
	S	0.18	0.13	0.20	0.17	0.07	0.15
SK	M	0.16	0.19	0.38	0.24	0.17	0.23
	S	0.32	0.26	0.54	0.23	0.20	0.31
KG	M	1.07	0.09	2.55	0.36	1.28	1.07
	S	2.25	1.15	3.62	1.11	1.34	1.89

6、中国沙区风成沙（流沙与固定沙丘）及下伏松散沉积物之间的相对平均粒径（ $\Delta M(\Phi)$ ）相对平均标准差（ $\Delta R(\Phi)$ ）的环境指示意义

研究表明，中国风成沙使风力对下伏松散沉积物逐渐改造、并经过一定的搬运过程中形成的。正因为是这样，我们就可以分析风成沙粒度参数离开原下伏松散沉积物粒度参数的远近，反映其所对应的环境意义、尤其是用来衡量风成沙丘地貌发育的强度。我们把 $\Delta M(\Phi)_1$ 、 $\Delta M(\Phi)_2$ 、及 $\Delta R(\Phi)_1$ 、 $\Delta R(\Phi)_2$ 、分别记为固定沙丘、下伏松散沉积物与流动沙丘的平均粒径和平均标准差之比值，即“相对平均粒径”和“相对平均标准差”。有表 2 所列数据分别计算，结果有：随着 $\Delta M(\Phi)_1$ 或 $\Delta M(\Phi)_2$ 的由大变小，相对粗化程度愈强，也就是说，风力作用愈强烈，风成沙丘地貌愈发育。反之，也成立；随着 $\Delta R(\Phi)_1$ 、 $\Delta R(\Phi)_2$ 由小到大，也就是风成沙（流沙）分选愈好，风成沙丘地貌发育愈深刻。但这些值的变化，并不是简单的线性关系，而是非线性相关关系。另外 $\Delta M(\Phi)$ 与 $\Delta R(\Phi)$ 并不是同步增大或变小的，这主要是因为对不同的搬运介质来说，它们所形成的松散沉积物，对后来风力作用的影响程度不同而造成的。与此同时，对于任何一个地区现存的风成沙（流沙），它都有两种可能发育而来的。第一种来源就是从非风搬运介质堆积的松散沉积物而来的；第二种是从业已形成的风搬运介质堆积的风成沙而来的。后一种来源又有三种情况：其一，是第一种来源物经短期风力作用而未发展成流沙；其二，是在第一种来源或第二种的第一种情况下，已经形成流沙，后又演变成半固定沙丘，再由此演变成流沙；其三，是在第一种来源或第二种的第一种情况下，已经形成流沙，后又演变成半固定沙丘，再由此演变成固定沙丘，进一步演变成流沙。当然，当整个环境发生变化，而不利于风成环境作用时，就有流沙经半固定沙丘沙到固定沙丘沙，或直接由半固定沙丘沙到固定沙丘沙，最后进入非风介质作用的环境里，结果其本身成为另一种堆积物发育的一种松散沉积物。由此可见，为什么在同一沙区，现代环境基本一致的情况下，风成沙各粒度参数在数值上不同的原因之一就在于此。但是，同一沙区、甚至整个中国沙区风成沙的粒度参数还是没有显著区别的，反映了在同一搬运介质作用下，各粒度参数有其特殊的组合。这也正是我们根据古代沉积物粒度参数的组合特征，来鉴定古代沉积物及其沉积环境的根据。另一方面，正是由于沉积环境、物质来源等条件的不同。因此， $\Delta M(\Phi)$ 、 $R(\Phi)$ 也就可以作为测度中国环境变化的相对指标。当然，这些比值作为测度环境变化制表的灵敏度的高低，还有待于作深入而细致的验证工作。

7、中国沙区风成沙粒度参数组合特征的分类

从表 1 我们不难看出，中国各沙区风成沙粒度参数由于受区域自然条件的影响，表现出区域性的特征。有鉴于此，我们根据聚类统计分析的结果，对中国沙区风成沙粒度参数的组合特征进行了分类。

我们所用的聚类统计量时常用的欧氏距离，即

$$d_{ij}(2) = \sqrt{\sum_{k=1}^m (X_{ik} - X_{jk})^2}$$

上式中 X_{ik} 是指第 i 个点第 k 个指标值； X_{jk} 是指第 j 个点第 k 个指标值； $k=1, 2, \dots, m$ 为指标数； i, j 为两个样本在 m 为空间的任意两个点^[7]。由于各粒度参数（即指标 m ）单位不一，数值大小相差悬殊，我们在计算 $d_{ij}(2)$ 之前，首先把参与分析的数值用公式

$$X_{ij'} = \frac{X_{ij} - X_i(\min)}{X_i(\max) - x_i(\min)}$$

进行正规化处理^[7]。在本文我们选取的指标（ m ）是 4 个，即 $M(\Phi)$ 、 $R(\Phi)$ 、 SK 和 KG 点数共 11 个（即 11 个沙区）。这样，我们得到一组经正规处理后所计算的欧氏距离值。据此，我们利用“最短距离画法”^[7]成画一次形成谱系图（图 1）。利用图 1 的结果，我们把中国沙区风成沙粒度参数的组合特征划为三种类型（表 3），表中 $AL.Ld$ 和 fd 分别取表中 I 为“塔克拉玛干型”、II 为“毛乌素型”和 III 为“巴丹吉林型”。各类型特征简述如下：

塔克拉玛干型——具有较粗粒径、分选较好、近对称、宽平峰的特征；其环境条件是风力较小，降水较少；下伏沉积物以冲积物、冲积——洪积物为主； $\Delta M(\Phi)_2$ 较小、 $\Delta R(\Phi)_2$ 较大，反映风沙地貌的相对发育程度比较强烈。

毛乌素型——具有中等粒径、分选较差、极正偏、极尖窄峰的特征；其环境条件是风力中等，降水中等；下伏沉积物以冲积物、冲积——湖积物为主； $\Delta M(\Phi)_2$ 、 $\Delta R(\Phi)_2$ 中等，反映风沙地貌的相对发育程度适中。

巴丹吉林型——具有较细粒径、分选中等、极正偏、极尖窄峰的特征；其环境条件是风力较大，降水中等；下伏沉积物以冲积物、冲积——洪积物为主； $\Delta M(\Phi)_2$ 较大、 $\Delta R(\Phi)_2$ 较小，反映风沙地貌的相对发育程度较弱。

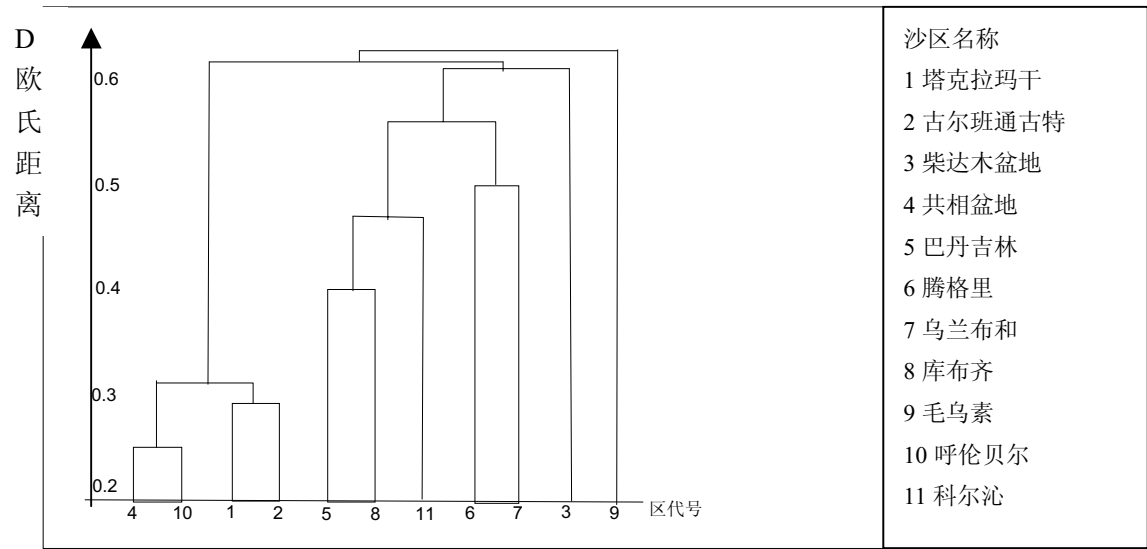


表 3 中国沙区风成沙粒度参数组合特征分类及各种特征表

类型 特征 包括 沙区名称	风成沙粒度参数特征				下伏松散沉积物粒度参数特征				主要下 伏沉积 物类型	平 均 风 速 (米 / 秒)	平 均 降 水 量 (毫 米)	平 均 Δ M(Φ) 2	平 均 Δ R(Φ) 2
	M(Φ)	R(Φ)	SK	KG	M(Φ)	R(Φ)	SK	KG					
I 塔克拉玛干, 古尔班通古特, 共和盆地, 呼伦贝尔	2.51	0.59	-0.06	0.43	3.42	1.22	0.28	0.90	AL AL $\pm$ Ld	2.9	197.2	0.72	3.42
II 毛乌素	2.53	1.29	1.89	33.16	3.90	2.30	0.61	1.84	AL AL $\pm$ Ld	3.3	332.7	0.78	1.43
III 巴丹吉林、库布齐、腾格里、柴大牧、乌兰布和、科尔沁	2.89	1.04	1.67	22.54	3.47	1.39	0.94	11.09	AL AL $\pm$ fd	3.5	202.0	0.79	1.39

四、结论与问题

通过以上分析，我们得到如下结论

- 1、在 $\alpha=0.02$ 下，中国沙区风成沙（流沙）的 $M(\Phi)$ 、 $R(\Phi)$ 、SK 和 KG 的统计估计域值分别为 2.72 ± 0.30 、 0.90 ± 0.25 、 1.06 ± 0.92 、 18.2 ± 15.42 由此可见中国沙区风成沙（流沙）属细沙——中等分选——极正偏——极尖窄型。
- 2、在 $\alpha=0.01$ 下，中国沙区风成沙（流沙）与固定沙丘风成沙的 $M(\Phi)$ 和 $R(\Phi)$ 值，虽然在数值上不同，但没有显著性区别；而与下伏松散沉积物的 $M(\Phi)$ 和 $R(\Phi)$ 有显著性区别。
- 3、在 $\alpha=0.01$ 下，中国沙区风成沙（流沙）的 $M(\Phi)$ 、Sk 和 KG 与其下伏松散沉积物相应的粒度参数具有显著的正相关关系。
- 4、在 $\alpha=0.01$ 下，同一沙区，风成沙（流沙）的 $M(\Phi)$ 、 $R(\Phi)$ 值随距地面深度的增加，没有显著变化；而固定沙丘风成沙变化显著。
- 5、中国沙区风成沙（流沙）与固定沙丘风成沙及下伏松散沉积物之间的相对平均粒径 $\Delta M(\Phi)$ 、相对 $\Delta(\Phi)$ 可以间接反映区域风成沙丘地貌相对发展强度，即 $\Delta M(\Phi)$ 愈

小或 $\Delta R(\Phi)$ 愈大，风成地貌发育相对愈强烈；反之，相对较弱，成非线性相关关系。

6、根据聚类分析结果，将中国沙区风成沙（流沙）粒度参数组合特征分为三种类型，即“塔克拉玛干型”、“毛乌素型”和“巴丹吉林型”。

由于各沙区所参加计算的粒度分析资料数量不已；沙丘垂直剖面的取样还不很深即粒度资料所取得的时间不一；有些沙区如库姆塔格、浑善达克还没有足够的粒度分析资料；对于同一沙区，在不同地貌条件下，粒度资料分析还由于取样是考虑不周，未进行统计计算等。所以这些都程度不同影响中国沙区风成沙粒度参数的计算及其结果分析，有待于做更深入细致的工作。

参考文献

- [1]吴正等编著，1981，沙漠地区公路工程，人民交通出版社
- [2]朱震达等，1980，中国沙漠概论（修订版），科学出版社
- [3]朱震达等，1981，塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究，科学出版社
- [4]林少宫，1963，基础概率与概率统计，高等教育出版社
- [5]浙江大学数学系高等数学教研组编，1979，概率论与数理统计，人民教育出版社
- [6]成都地质学院陕北队编，1978，沉积岩（物）粒度分析及其应用，地质出版社
- [7]丁士晟编著，1981，多元分析方法及其应用，吉林人民出版社