

中国科学院

地理研究所资料室

登記日期

編 号

塔里木盆地沙漠开发利用及流沙控制科学研究报告

第一集

布古里沙漠东南缘流沙固定的 初步试验研究报告



1960.9

中国科学院治沙队 沙漠治沙综合队编

前 言

新疆南部的塔里木盆地除了边缘为戈壁及一些零星而不相连的绿洲外，盆地中绝大部分为流动性沙漠，我国最大的塔克拉玛干沙漠便位于本盆地内，占了全国沙漠面积的 $1/3$ 强。而这些流沙不断的威胁着沙漠边缘的农耕地及公路，同时绿洲中的一些零星沙丘也严重地影响着耕地、居民点和交通，因此治理流沙，保障农业生产、交通、居民点的安全，乃是开发利用塔里木沙漠中一个重大的任务。另一方面在塔里木盆地边缘沙漠中一些较大的河谷地带，广泛分布着盐土，而这些盐土地区正是目前新疆大规模建立新农业基地的地区，因此，如何改良和综合利用盐土，也是塔里木地区开发利用一个重大问题。为了南部塔里木盆地西部这些基本自然条件和地方上生产的要求，我们今年的定位试验研究工作便是以上两大任务为中心。此外，根据地方需要，配合新疆军区生产建设兵团第一师进行了塔里木河南岸塔里木地区的沙漠开发利用方案研究和配合沙枣及骆驼刺进行了卡拉克及布泉河等地的治沙示范规划，因此今年的科研报告包括了这样三个大部分：

第一部分 布古沁沙漠东南缘流沙的固定

第二部分 喀什地区崑崙山北麓山前地带盐土的改良利用

第三部分 塔里木地区沙地综合利用

由于试验站今年新建，定位试验研究只有几个月的资料，因此很多方面是不成熟的，还须在今后的工作中不断补充提高，希望大家能批评指正。

第一章 自然条件的基本特征

布古里沙漠东南地区，乃是布古里沙漠县西北部阿瓦提、卡拉克及铁干一带沙漠边缘地区而言。

本地区是南疆重要的农业地区之一，人口集中，开发历史悠久，所以自古以来这里就一直一直是南疆的重要经济中心之一，且为内地通往中亚和西亚的大路所必经的地方。但是，千百年来，因本区位于布古里沙漠东南，经常遭受风沙的侵袭，有很多耕地、居民点和道路都已淹没于滚滚的沙海之中。本区之所以风沙如此危害严重，这正与本区所处的自然环境是密切相关的。

本区近海洋，处于亚洲中部最干旱的荒漠地区内。根据沙漠气象站多年观测资料，年降水量只有 54.7 mm ，但年变率是很大的，如1954年年降水量为 60.0 mm ，而1956年只有 13.3 mm ，年变率之大是很大，一般就都相当于降水量的 $35\sim40\%$ ，在 $1900\sim2300\text{ mm}$ 之间，空气中相对湿度平均为 $40\sim60\%$ ，但另一方面蒸发量却是很充分的。 $>10^{\circ}\text{C}$ 的平均温度为 36.89°C ，能稳定在 $>10^{\circ}\text{C}$ 的日数可以达到210天。全年气温变化情况：一月平均气温为 -8.5°C ，七月平均气温为 24.3°C ，但绝对值还要更大一些；七月的绝对最高温可以达到 39.9°C ，而一月的绝对最低气温又可以达到 -20.9°C ，而在沙漠中年较差还要更大一些。现将1960年4~6月间观测与沙漠对比便可以看出这些特点（表1）。

表1

站名	地点	四月	五月	六月
绿洲中	沙漠	14.5°C	19.5°C	22.8°C
沙漠中	阿瓦提	21.2°C	25.1°C	26.3°C

从上述的分析中可以清楚地说明本区是极为干旱、气温年较差大、蒸发量极大。所以在自然界中相互联系着的各个要素，也都表现出具有与其它

地区不同的特点。广泛的沙地地貌的发育，盐分大量在表层聚集，以及主要由旱生和盐生植物所构成的旱生结构的群落等就成为本区在自然景观中的几个明显特点。

本区地处于西崑崙山的北麓，整个地势自西南向东北倾斜到叶尔羌河谷地。第四纪以来，西崑崙山的各种岩石的风化物经过叶尔羌河及在山前发源的一些小河的搬运，逐渐堆积在山前地带。而如此丰富的洪积~冲积物，正是本区沙地地貌得以广泛发育的基础。根据成因类型的原则，自山麓到沙漠可以划分为三个清楚的地貌单元：山前洪积扇，洪积~冲积的盐土平原及风力吹扬下具有密集沙丘的冲积平原。因而是形成本区广泛发育沙地地貌的主导因素之一，全年之中风季主要在春夏之交（4~6月）大部为偏西北方向的风。根据1960年4~6月观测，NW及SW方向的风占总频率的34.9%，此外偏东南方向的风亦占重要地位。平均最大风速可以达到1.0~1.2米/秒，由于沙子的粒较内层、石块等地略细，所以风速达4米/秒时即可起沙，形成风沙流造成沙子的搬运。沙丘一般是向东南移动。根据1960年4~8月观测，沙丘移动距离达1~5m，主要形成为新月形沙丘链及单个的新月形沙丘，高度一般为4~6m。在沙漠边缘地下水条件较好的地方，还分布有白刺和泡泡刺的灌丛沙丘。此外在山麓洪积扇及洪积~冲积的盐土平原上也分布一些另类的沙丘。

水不仅将山地的风化物冲刷搬运下来进行堆积，而与此同时也将地层中的盐分经过淋溶而又重新聚集起来。本区盐类的地球化学分异过程也如南疆其它山前地区一样表现了清楚的规律性，这与所处的水文地质环境是分不开的。从山麓到沙漠地下水埋藏深度越来越深，矿化度也越来越大。在洪积扇上皆为深厚的沙砾质洪积物所组成，因此来自崑崙山的雪及山前的泉水出山以后即迅速下渗。地下水埋藏很深，可达数十m。水质很好，为 $SO_4 \sim Cl \sim Ca$ 或 $Na \sim Mg$ 型水，如山前泉水的摩尔洛夫式：



所以盐类在土主要是进行淋溶过程，因而普遍具有石膏层。因位于一较高河间地，所以在洪积扇中下部第三纪地层中盐类才得以持下来。而土壤应属于砾质的石膏棕色荒漠土及砾质的具有盐渍的棕色荒漠土。在洪积扇边缘地段因处于地形的变化点，所以地下水普遍都接近地表，一般深度只有1~2m，地下水的化学分异过程也处于较后阶段，为 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}$ 型或 $\text{Cl} \sim \text{SO}_4$ 型水，其矿化度都在10克/公升以上。在强烈的蒸发作用之下，地下水也就以蒸发的形式进行排泄，同时盐分也沿毛细管上升而聚集在表层，构成了弱积的盐土地带。在0~30公分的表土中全盐量都 >1.0%。这些成条件及盐渍化程度不同，可划分为弱积草甸盐土、弱积盐渍土、次生盐土及强积盐渍草甸土等土种。在叶尔羌河西岸地区，因地下水补给条件较好，埋藏较浅，因而有大片盐渍土分布。在此地段上，由于劳动人民长期的垦殖，也是耕地分布的地区。由于地下水水质不良，所以灌溉均系引自叶尔羌河。从其水化学的摩尔洛夫式可以看出是符合饮用、灌溉以及牲畜用水的要求。



土壤因为经过耕作为盐化耕作土；而在

地区地下水埋藏愈向内部愈深，一般都在10m以下。地下水的剖面是自西向东，水力坡度在4~4%。地势平坦，主要进行聚盐作用，在0~4m的剖面中平均全盐量都 >1%。在沙漠边缘因水分条件稍好些，主要分布有轻度盐化草甸土及白河盐化沙土。而在沙漠内部在间地以有洪水的冲积及盐化龟裂荒漠土壤。

划分为盐土化龟裂型土壤。而流动沙丘为现代的风积作用形成，且沉积较稳定，因此土壤的成土作用是极其微弱，也就决定了盐沙型化性质的特点。

表2的一个流动沙丘的剖面化学分析中可以看出生物作用十分微弱，在无机物的积累；淋溶作用也很弱，整个剖面中各层盐分的分布是以风积的数量为转移。石膏及碳酸钙在剖面中的分布很普遍，因此pH值变化是在7.0~7.5之间；阴离子以 SO_4^{2-} , Cl^- 为主，阳离子以 Ca^{++} 为主。而在沙地的物理性质，本区沙子机械组成主要以细沙及中沙为主，毛细管上升高度为59~60m，容重1.4。

在沙丘內普遍存在着呈湿沙状况的湿沙层，其分布的深度一般在 60 ~ 120 CM，湿沙层厚度在沙丘的各个部位是不同的。在迎风坡下部较厚，愈向上部愈薄。湿沙层的水分状况与降水的变化是有密切关系。在降雨以前湿沙层深 80 ~ 140 CM，含水率在 1.67 ~ 3.02%，再下的稍干的干沙层含水率为 1.4 ~ 1.8%，而降雨以后含水率增加很多。100CM 深的含水率为 3.18%，400CM 以上为 7.25 ~ 7.6%。而在下次降雨之前经过强烈蒸发，含水率又逐渐降低。而白刺灌丛沙丘，因地表有植物的保护及地下水的补给使沙层的含水率比较稳定，在 1M 以上大于 2~2.5%，而以下大于 3 ~ 4.5%。此外，在生长芦苇的沙丘中的水分状况，因在无雨时芦苇的蒸腾作用较强，所以湿沙层最薄（厚度仅有 60 ~ 70 CM）

受地貌、地下水和土壤等因素所制约的，而在地表作为鲜明标志的植被，在本区也是较清楚表现其规律性。与南疆其它地区一样，也反映出植物种类少，植物群落组成简单，分布稀疏，并且主要以旱生和盐生植物为主等特点。天然优势植物只有 30 种左右（分属于 8 科 22 属）。如果加上引种当中的植物，也只有 100 种左右。在洪积扇上主要为灌木和半灌木所分布，如沙拐枣（*Calligonum bursiparvum*），伴生有泡泡刺（*Nitraria sibirica*）、盐生草（*Haloxylon glaucum*）等。而在洪积扇边缘盐土平原，因水分条件好，植被复盖度较大，主要为肉质小半灌木为主，如盐爪爪（*Kalidium subterminale*）、盐穗木（*Halostachys salicoides*）、盐节草（*Halogeton*）、芦苇（*Phragmites communis*）。此外还常伴生有胖姑娘（*Sarcobatus lasiocarpus*）、甘草（*Glycyrrhiza inflata*）、苏枸杞（*Lycium ruthenicum*）等等；而沙漠地区因水分条件愈向内愈恶化，所以植物分布也愈向内愈稀，甚至地表完全光裸，无植被。在沙漠边缘主要为白刺（*Nitraria* spp.）、泡泡刺、芦苇（*Phragmites* sp.），此外还有分枝骆驼刺（*Prosopis juliflora*）、骆驼刺（*Alhagi* sp.）、胖姑娘（*Sarcobatus* sp.）、旋复花（*Leonurus japonicus*）等等分布。在

沙漠内部洪水河床两岸有檉柳 (*Tamarix* spp.) 分布，而在某些沙丘上只点生一些猪毛菜 (*Salsola* spp.) 等植物以外，几乎一片光裸，寸草不生。乔木树种皆为人工栽种，分布在绿洲中主要有沙枣、银白杨、桑、桃、杏等。

从以上自然特点的概括分析中，可以看出本区沙地地貌十分发育，沙丘多数裸露，所以沙丘活动性也较强，并且直通东南方向绿洲，因此对生产建设事业，特别是农业生产以及人民的生活都造成了很大危害。如卡拉克公社的五管理区共有 1100 亩地，每年都要因为风沙危害使 100 余亩地被产，40 余亩地根本没有收成。1960 年春季一次大风使 40 余亩地玉米苗全部被沙埋掉，在沙丘前方 100 多米以内的田圃都积沙 20~40 厘米不等。此外，如五管理区的一条渠道也因积沙阻塞而被迫放棄。根据不完全的统计，在五管理区内——一大队之间的一带沙丘，在将近 70 年时间里，共埋掉 379 亩耕地，33 户人家，而目前还有 10 余户正受威胁中。此外，在沙漠边缘的阿瓦提，焉加库姆，依厚七都也存在风沙掩埋农田、渠道和居民点。风沙对公路的危害，也是严重的，如喀和公路卡拉克至莎车段北侧的沙丘，1953 年在沙丘的侧方曾垒起一道 2 米高的拦沙土墙，如今已被沙丘所推平，并且越过了拦沙墙，横队到公路上。总之可以举出许多实例来说明风沙在本区十分严重的危害着农田、公路和居民点，给国民经济带来极大的损害。因此与风沙战斗，战胜风沙的威胁，确保农业大丰收，对本区乃是一个十分重要的问题。

参加报告编写工作人员：

北京师范大学地理系 徐振涛

中国科学院植物研究所植物生态学及地植物学研究室 赵机授

中国科学院土壤及水土保持研究所 陈叶紫

地质部水文地质工程地质局第二大队 赵惠堂

中国科学院治沙队 凌裕泉 盖音烏力吉

第二章 流沙形成的动力过程及物理固沙

第一节 近地表层气流的一般特征

由于近地面层气流具有乱流的特征，而乱流运动又引起近地面层的空气的动量交换、热量水分以及尘土的交换。所有这些交换的结果都直接影响到人类活动和生物的生存；特别是在沙漠地区，这些交换都是直接影响到流沙的形成及其移动的过程。因此，对近地面层气流的研究是具有很大的现实意义。

一、自然界的大气运动。在对流层中部，运动是直接取决于宏大的气压场梯度和地球自转偏向效应，此种运动称之为地转平衡运动（很接近于片流运动）。此种运动的下限，在平原地区一般为500M左右，在高山或地形复杂的地区将有显著的升高。同时它也随着大气的温度层结不稳定度增大而增加。即白天大于夜晚，夏季大于冬季。

在除地转平衡运动之下的大气层就是贴地层。此层中气流运动主要是受地表的粗糙摩擦和温度梯度（或者是空气密度梯度）所控制。以上两种作用的结合，就导致贴地层中气流之强烈的能量交换。这种乱流运动，一般有三种表现形式：即水平纵向、水平横向和垂直的乱流运动。这些乱流的影响都直接反映到风的瞬时变化。因此，由于乱流交换使得近地面层的风的瞬时变得非常复杂。不过就其平均情况看来，近地面层气流仍具有自己的规律性。根据前人研究成果，结合今年4~7月分在沙漠地区观测的结果，分别从下垫面粗糙度，地形的起伏以及大气稳定度，对气流的影响来阐明近地面层气流特征，以便更进一步探讨这些特征与气流形成的关系。

二、近地面层风速随高度的分布：

近地面层风速随高度分布的普遍规律为指数定律，可用下式表示：

$$u = u_1 \frac{z^{\frac{1}{n}} - z_0^{\frac{1}{n}}}{z_1^{\frac{1}{n}} - z_0^{\frac{1}{n}}}$$

式中：u 为任意高度 z 的风速。u₁ 为 z₁ 高度的风速。z₀ 为粗糙度

(以厘米表示)。 ϵ 为决定于大气稳定度的指数。 ϵ 值一般由强对流时的-1变到很深邃温时的+2

当 $\epsilon = 0$ 是相当于中性平衡的层结,风速随高度分布规律,就变成简单对数定律。即:

$$u = u_1 \frac{\ln z - \ln z_1}{\ln z_2 - \ln z_1}$$

根据流沙地区风的梯度观测资料看来,风随高度分布也是符合上述规律(1)。从 $V-\log z$ 图上可以清楚的看到,只有在温度梯度很小(或等于零)风随高度分布才能是线性分布(图中曲线1所示),但在其它条件下风速就不再是直线,而是曲线。如在超绝热梯减率条件下曲线3凸向V轴,这就要由于近地层热力不稳定性对风速随高度分布的影响。即风速愈近地表风速就愈大,愈向上1~2 m风速梯度就显著变小。反之在逆温情况下,曲线2则凹向V轴,这是由于乱流运动受到抑制;即愈近地表风速梯度愈小,愈向上从1 m起风速显著增大。因此风随高度变化的对数定律只有当气流成为均一、或趋于均一时才是正确的。

另外,还可以从一些直观现象来说明大气温度层结稳定度对气流的影响。如:沙漠中强烈的风沙流发生的条件,总是在非常晴朗的日子里。由于沙漠强烈增热,在贴近地表的几十厘米高度内形成几千至几万度/100 m的温度梯度,同时气压也剧烈下降。在这样的条件下,而产生的旺盛热对流和乱流交换之后,引起大量沙粒悬浮颗粒的迅速移动。进而形成浓度非常之大的风沙流(关于风沙流在第二节中将详细讨论)。风沙流中的沙尘物可以带到很高高度上去,形成风沙满天,对面不见人的景象。与此同时还可以看到,当风稍稳时,还能够向垂直方向上形成旺盛的热对流~~尘捲风。一般可以上升到几十米至几十米,最强大者可以上升到几千米的高度上。不过从其强度或是其他方面看来,是前者远大于后者。致于在一般的情况下,温度梯度很小时,风速随高度呈对数分布的情况下,至多引起地面起沙,根本不会形成风沙流。因此改变近地面层的乱流交换的状况,是防止和控制风沙流,或者说是控制流沙移动最有效措施。

三、风的日变化

风的日变化是近地表层气流特征之一。

1. 风速日变化：最大风速出现在白天，最小风速出现在夜间（图2）。这种变化规律是与乱流交换变化是一致的（图3）。同时风的日变化，也随着高度增加而引起振幅的减小和相时的落后，大约到一千米高度则出现相反情况：即风速最大出现于夜间，最小出现于白天。当然，这里必须指出，以上情况只有在天气支配期不变的情况下才能出现。如若受气团更迭、天气系统以及受局地环流影响时，都会引起风的正常日变化。有时还可以使个别日子里的风速最高、最低出现时间有显著的移动（即可从图2中看出）。不过这些因子引起风速的微小变化，通过平均之后，即可消除。

2. 风向日变：风向的日变化一般是白天为顺转，而夜间则为逆转。这种变化规律性，常常容易被局地影响所破坏，特别是在夜间（图2）。

四、下垫面对气流的影响

不同下垫面对气流的影响有两方面：一是由于地表粗糙不均匀，引起强烈的摩擦，消耗动能而产生湍度及湍流，减低其速度的动力作用。另一是因下垫面受热不均，形成超饱和差效率（或是温度梯度），产生旺盛的热对流。至于后一种作用在第二部分详细说明。这里不再重复。下面首先谈谈粗糙度的影响：粗糙度 z_0 就是风速等于零的高度。

下垫面的粗糙度在一定的程度上可以定量地反映下垫面对气流的影响程度。为了方便起见，可分为以下三个方面来阐述：

1. 沙漠地区各种自然表面的粗糙度 z_0 如下表*

表3

下垫面类型	粗糙度 z_0 (cm)
裸露的沙面：沙丘顶部	1.075
裸露的沙面：沙丘坡脚	1.110
开阔的丘间平地（地面紧实）	1.200
开阔的丘间平地（地面疏松）	2.500
草滩沙丘顶部（枯死的白刺高度40cm）	3.630

2. z_0 对风速的作用：

由上表可見，下垫面粗糙度 z_0 值不仅决定地表组成物质的粗糙情况，而且决定植被的密度高度以及地形起伏，此外还决定于风速。关于植被对风的抑制作用，主要是增加粗糙度。首先减弱风速，进而减弱乱流交换作用。这里必須指出，粗糙度的摩擦作用本身所影响的高度是很小的。一般从几厘米到几十厘米的一层，一般除了地面摩擦以外，还有相对运动气流間仍有内摩擦或称之为粘滞性。也正因为有内摩擦，地表的摩擦阻碍作用才能逐层向上传递。

这里所指内摩擦包括两方面：一是分子粘滞性，一是乱流粘滞性（即乱流单体或乱流元量之間的内摩擦）。在实际計算中，前者远小于后者。所以分子粘滞性可以略而不計，因此近地面层中，乱流粘滞性成为影响风速随高度分布的主导因子。因为在貼地层中，乱流交换系数 K 是高度 z 的函数。从地面以上某一高度 z 开始 K 恒为一常数，即 K 不随高度 z 变（图4）。此处高度 z 值的大小取决于大气的稳定度；当大气不稳定度大时 z 值也相应地增大，反之 z 值則减小。关于这个规律性是和前面所提到的风速随高度分布实际观测資料是一致的。

正是如此，因而在沙丘表面設置各种机械测风器，却都未能测得为 z_0 。

※上一表是按粗糙度公式 $\log z_0 = \frac{u_2 \log z_1 - u_1 \log z_2}{u_2 - u_1}$ 利用沙漠地区风速梯度观测資料計算而得出的。式中：
 z_0 粗糙度（以厘米表示）在实际計算中 $z_1 = 500 \text{ m}$ ， $z_2 = 2000 \text{ m}$ ， u_1 和 u_2 分别为 z_1 和 z_2 高度的风速。其中个别 z_0 值是用 $z_1 = 200 \text{ m}$ ， $z_2 = 500 \text{ m}$ 两高度风速計算求得。

这里必須說明一点，即所使用的梯度观测資料精度是不夠要求的，原因是风速度量不好所引起的。另外，計算时也未严格挑选比較規則的資料。因为以上公式在中性平衡条件下使用效果最好，因此 z_0 值有待进一步計算分析。最后还有一点事实，即在此沙漠地区，丘間风蚀地形凹凸起伏很复杂，在相当程度上影响到风速分布。

着风沙，平均增加3~5倍，最大增加10倍。充分说明风沙对风速以及乱流扩散起了削弱作用（图5）。根据计算结果有如表4所列（关于机械固沙对改变流沙地形发展等问题，在第五节中将详细分析）。

表4

对风速的削弱作用

高 度	$z_1 = 1$	$z_2 = 2$	※ 附
1000M	67%	2%	
500M	73%	4%	
200M	57%	12%	

※ 比值为百分数，即2M以下任意高度风速对2M高的风速之比。

参加报告编写工作人员：中国科学院治沙队及裕泉

第二章 风沙流的结构及性质

在了解了近地面层气流一般特征的基础上，在本节内着重讨论它如何作用于沙质地表形成沙漠地区对流沙地貌形成有关的基本动力因素——风沙流的结构和特性。什么是风沙流呢？当风力吹过疏松的沙质地表时，由于气流运动上升力的作用，地表沙流乃被携带入气流中并随之前进，这种含有沙粒的气流称之为风沙流。它乃是沙地地貌形成和流沙发展的先决条件。正确的揭露风沙流的特征和规律对于合理制订固沙工程和治理流沙具有极大的现实意义。根据在1960年风季（4~6月）所进行一系列观察试验的结果，其特征又如下所述。

沙子在气流中的运动是随风速及其本身粒径的大小而转移。沙的颗粒愈小，微弱的风即可使其移动，相反粒度较大的颗粒，需要较大的风速才能使其运动进入气流中，随之前进而形成风沙流。而在布古里沙漠的东南部，沙子一般直径多为 $0.25 \sim 0.1 \text{ mm}$ ，其百分比含量自4%至8%不等。小于 0.1 mm 直径的沙子含量也大，自4%至49%不等。因此这种颗粒较细的沙子，在当4米/秒（2米高）时， $0.1 \sim 0.25 \text{ mm}$ 直径的沙子便可跃起。但 0.5 mm 的沙子却需要6~7米/秒的风速才能发生位移（表5）。因此它们之间的关系有如下面曲线所示（图6），而造成这种原因乃是由于较粗颗粒的沙子重量较大需要较大作用力之故。

表5

沙的粒径 mm	运动风速值 m/s
$0.1 \sim 0.25$	4.0
$0.25 \sim 0.5$	5.6
$0.5 \sim 1.0$	6.9
$1.0 \sim 2.0$	9.3

这种特征也就决定了在布古里沙漠风沙流出现的条件是在4米/秒（2米高处），但是风沙流的速度是具有差异性。它在离地表各个不同的高程内并不是相同的，这是因为靠近地面部分的气流受到地面粗糙度影响而阻碍的关系，风速受到减弱，而较高层的流速受因内摩擦才能减弱，但实际上这

决定内摩擦的空气凝结力并不大，因而风沙流速度具有随高度增高而加大的规律，两者之间成正比关系，表6的数值可以说明这种特点。另一方面从图7曲线中又可看出，在不同的地点部位上其速度是又所不同，沙丘顶部是大于坡顶及坡麓。

表6

观测部位	离地面高度(m)	风沙流速度(m/秒)
丘间平地	2.0	8.7
	1.0	8.5
	0.2	6.6
迎风坡麓	2.0	6.9
	1.0	6.2
	0.2	6.8
迎风坡顶	2.0	8.7
	1.0	7.9
	0.2	6.8
沙丘背部	2.0	9.2
	1.0	8.8
	0.2	7.6

从上述资料中虽然风沙流速度是随高度而增大，但各个高度速度之差却相反，也就是说风沙流速度梯度是随着高度增加而减小，它们之间成反比关系。以上述新月形沙丘背部为例，在离地面0~2.00m高度内，其差数为7.6，但在离地0.2~1m高度内，差数显著地减少到1.4，而在1~2m高度内，其差数更小仅为0.3，正是由于这种气流速度的差异，也影响到上升力的大小，从而导致着不同高度内含沙量分布的特点。

为了进一步说明各个不同高度内风沙流速度的特征，进行了风沙流速系数数值的测定，这个数值乃是根据2m以下不同高度与2m高度处风速的比值来求得。根据这些数值可以编制出表面上不同高度内风沙流速系数的曲线，分析这些曲线可以看出，它在离沙丘表面同一高度下，在沙丘各部位上是不相等的，而是自迎风坡麓逐渐向顶部增大（表7），其流速

也向顶部集中，与沙丘表面形态曲线相似，从图3与9草拟从沙丘和背风沙丘表面风沙流速度系数曲线图上可以明显看出这一特征（白刺沙包0-2m风沙流速度系数曲线中间微凹现象，是受沙丘表面有植被与无植被地段影响），而不与沙丘表面成水平，正是由于风沙流这种掩蔽作用的结果，形成沙丘近地表层气流中含沙量由迎风坡麓向顶部增多的特征（表8）。

表7

观察点	地貌部位	2 m		1 m		0-2 m	
		风沙流速度m/秒	速度系数	风沙流速度m/秒	速度系数	风沙流速度m/秒	速度系数
1	迎风坡麓	6.9	1	6.2	0.89	4.8	0.69
2	迎风坡腰	8.7	1	7.9	0.90	6.8	0.79
3	迎风坡脊	9.1	1	8.8	0.96	7.4	0.81

表8

地貌部位	风速m/秒	0-100m高度内100m ³ 体积气流中沙量综合(克/分)
迎风坡腰	11.2	2.23
迎风坡脊	11.2	16.40

沙丘表面上含沙量的分布不仅有着上述变化的特征，同时也随着风速而变化，这是因为风速的增加，如像前面所分析过的各个高程间气流速度系数也随之增大，从而增大了上升力，因此有较多的沙粒受上升力作用进入气流中，下面便是在两种不同风速下各个高程间风沙流速度系数的比较（表9）。

表9

高 程	2 m 高度风速 (米/秒)	
	5.9	8.7
不同风速下各个高程内气流速度差值 (m/秒)		
0-20	4.7	6.6
20-100	0.9	1.4
100-200	0.3	0.5

正是如此，因此气流中含沙量是随着风速增加而加多，也就是说它们之为一正比关系（表10）（图10）。

表10

距地表0~100M高度内100M³体积气流中含沙量的总合克/分

风速 m/秒	
5.5	1.04
6.5	1.20
7.5	2.40
11.2	16.40
12.6	20.61
15.0	33.90

高度也是一个重要的因素影响着气流中的含沙量，表11便是提供了这种特征，而在近地表部分中含沙量又大部分（40~60%）集中在在0~20M的高程内。反映出含沙量与高程之间是成反比关系（表12）（图4）。但是高度对于含沙量分布多寡的特征往往是以风速作为先决条

表11

高度 M	含沙量克/分	风速 m/秒
5	0.377	7.0
10	0.096	
250	0.0018	7.5

表12

各个高程内气流中含沙量%

离地面高程 (0M)	风速 m/秒		
	5.7	7.0	10.3
1	23.2	30.70	44.22
2	14.9	21.01	21.12
3	14.9	15.60	10.85
4	12.4	11.15	6.74
5	10.5	7.24	5.87
6	8.8	5.58	3.13
7	5.9	3.41	2.95
8	4.5	2.35	2.09
9	3.5	1.76	1.48
10	2.4	1.28	1.36