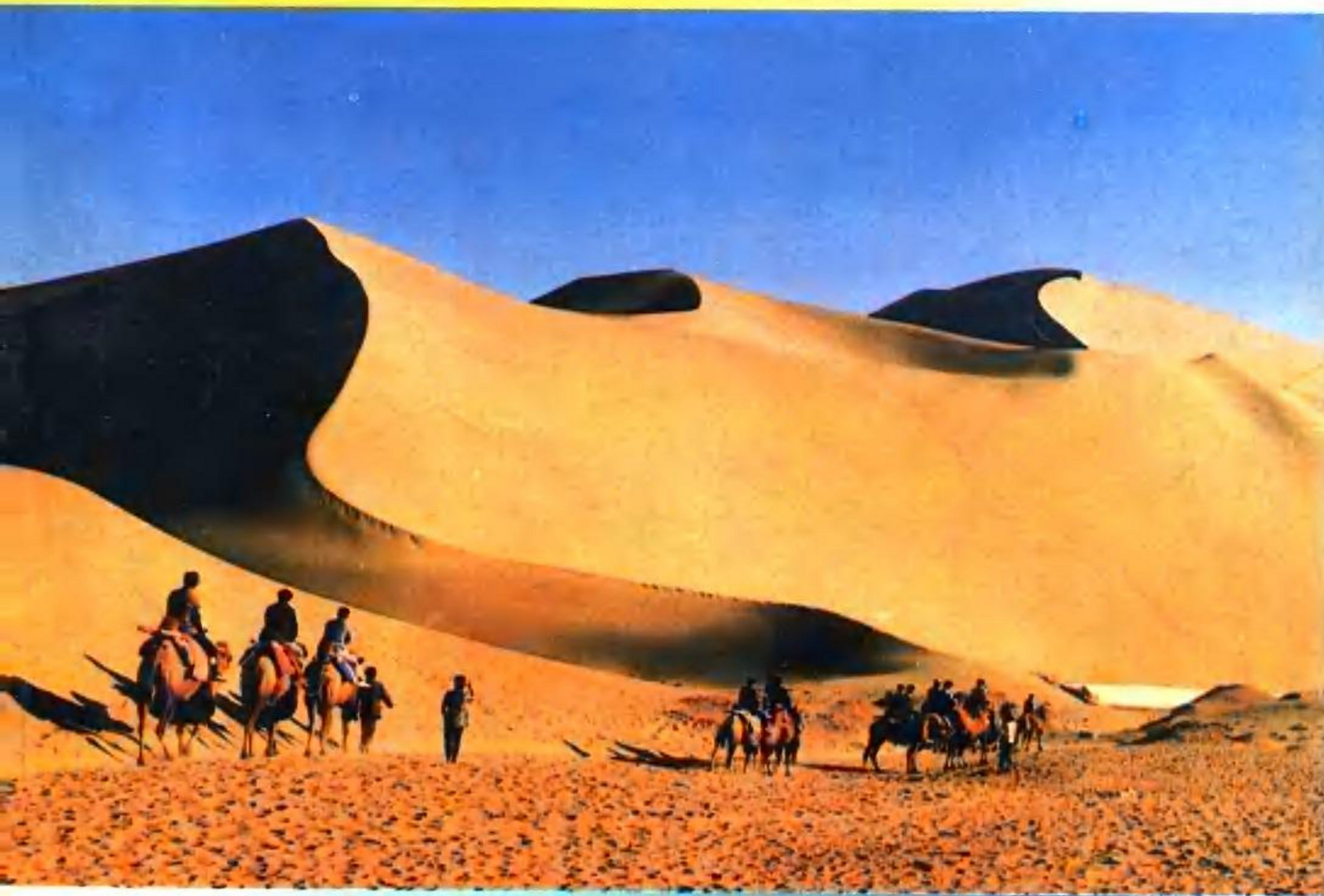


中国沙漠与海岸沙丘研究

吴 正 著



科学出版社

中国沙漠与海岸沙丘研究

吴 正 著

科 学 出 版 社

1 9 9 7

内 容 简 介

本书是作者多年从事内陆沙漠和海岸沙丘研究的部分成果,共收入论文 16 篇。论文涉及风沙运动和工程防沙机理;新疆古尔班通古特沙漠和塔克拉玛干沙漠的成因;沙漠化的概念含义,我国沙漠化的成因和沙漠化的现状及其发展趋势;海岸风沙的沉积特征,海岸沙丘的发育条件、演化模式和形成年代,以及南海北部大陆架晚更新世末期的古地理环境等问题。内容丰富,资料翔实,有不少新的观点和认识。

本书可供自然地理、地貌、第四纪、治沙和海岸工程等研究的科技工作者和有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国沙漠与海岸沙丘研究/吴正著. —北京:科学出版社,1997.8

ISBN 7-03-005949-2

I. 中… I. 吴… III. ①沙漠-中国-文集②海岸-沙丘-研究-中国-文集 IV. P941.73-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 03529 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1997 年 8 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1997 年 8 月第一次印刷 印张: 9 3/4

印数: 1—600 字数: 220 000

定价: 20.00 元

RESEARCH ON INLAND SAND DESERTS AND COASTAL DUNES IN CHINA

Wu Zheng

Science Press, Beijing, China

1 9 9 7

前言

荒漠化是当前人类面临的重大全球性环境问题,困扰着人类社会的生存和发展。根据联合国最近公布的资料,目前已经荒漠化或正在经历荒漠化过程的地区遍及世界六大洲 100 多个国家;世界上 1/5 人口受到荒漠化的威胁,约有 36 亿 hm^2 的耕地和牧场受到荒漠化的影响^①。

我国沙漠广袤千里,是世界上沙质荒漠化(简称沙漠化)危害严重的国家之一。然而,解放前我国对沙漠的研究是一片空白;新中国成立后,党和政府十分重视沙漠的治理与改造,随着治沙工作的开展,推动了沙漠的科学研究。1958 年 11 月,党中央、国务院在内蒙古呼和浩特召开了西北和内蒙古六省(区)治沙会议,研究部署全国治沙工作。嗣后,于 1959 年 2 月,成立了中国科学院治沙队(即中国科学院兰州沙漠研究所的前身),组织了全国有关科研院所、高等院校 861 人的庞大科技队伍,开展了对我国主要沙漠与戈壁的大规模综合考察工作;与此同时,在西北和内蒙古六省(区)建立了 6 个综合治沙站及 14 个中心试验站,开展了防治风沙危害农田、铁路等的试验研究,揭开了沙漠科学研究的序幕。为适应治沙科研工作的需要,中国科学院地理研究所地貌研究室组建了我国第一个沙漠地貌学科组,我为其最初的五名成员之一;并有幸作为首批治沙队员,参加了沙漠科学考察与治沙试验中的风沙地貌研究工作。自 1959 年起至 1982 年,在中国科学院地理研究所、冰川冻土沙漠研究所、兰州沙漠研究所工作期间,先后参加了新疆古尔班通古特沙漠、塔克拉玛干沙漠、嘎顺戈壁与诺敏戈壁等的野外考察,莎车、皮山治沙试验站的风沙地貌定位、半定位观测;沙通、包兰、甘武、兰新和南疆线等沙漠铁路选线、沙害调查与防沙措施研究;青新公路(0701 工程)等沙漠筑路与工程防沙研究;参与筹建了我国第一个沙风洞实验室,进行了风沙运动和防沙(及防风吹雪)工程的风洞模拟实验研究;并在鄂尔多斯地区开展了沙漠第四纪研究工作等。1982 年夏,调华南师范大学地理系工作后,除与中国科学院兰州沙漠研究所合作,继续开展沙漠与沙漠化研究外,则主要着重于华南沿海的海岸沙丘与风成沉积研究。

参加工作近 40 年来,与内陆沙漠和海岸沙丘有缘,一直从事风沙地貌研究。先后撰写(含合著)出版了《中国沙漠概论》(科学出版社,1974 年初版,1980 年修订再版)、《塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究》(科学出版社,1981 年)、《沙漠地区公路工程》(人民交通出版社,1981 年)、《风沙地貌学》(科学出版社,1987 年)和《华南海岸风沙地貌研究》(科学出版社,1995 年)等 9 部专著;发表学术论文近 50 篇。

本书由作者以往在各期刊、文集中发表过的部分论文汇编而成,取名《中国沙漠与海岸沙丘研究》。选编入书中的论文共 16 篇,按其内容大致包括如下几方面:

^① 慈龙骏,全球变化对我国荒漠化的影响,自然资源学报,1994 年,第 9 卷第 4 期,289—303 页。

(1)风沙运动和工程防沙。根据野外沙质地表对风沙流运动的观测,查明了近地表气流层内的风沙流结构的基本特征,首次提出了“风沙流结构特征值 λ ”的新概念(吴正、凌裕泉,1965)。在国内率先开展了风沙运动的高速动态摄影实验,首次精确地记录了沙粒运动的微观过程,并对沙粒跃移运动的物理过程及其机理作出新的解释(凌裕泉、吴正,1980)。基于对公路沙埋危害性质及其成因的科学分析,提出了行之有效的阻、固、输、导工程防沙原理及措施(吴正、丛自立、洪占三,1982)。

(2)沙漠和沙漠化。系统地阐述了准噶尔盆地的沙漠地貌发育特征,提出古尔班通古特沙漠沙的主要来源为古代(第四纪)的冲积湖积平原沙层;影响沙漠地貌形成的动力主要为西风环流风系,蒙古高压风系仅在春季有一定作用,特别是沙漠的中部和东北部地区;沙漠地貌类型以沙垄为代表,是两个角度相交不大的风力作用的结果(吴正,1962)。探讨了塔克拉玛干沙漠的成因,提出沙漠大规模发展始于中更新世的新观点;认为最初沙漠出现在塔里木河下游以西、车尔臣河以北的沙漠东部,随着干燥条件的发展,沙漠从盆地中心向边缘,由东向西扩大(吴正,1981)。对沙漠化的概念含义、我国沙漠化的成因和沙漠化现状等问题提出了看法。认为沙漠化就是沙漠的形成和扩张过程。在第四纪地质时期内,沙漠化是一种“纯”自然过程,即气候-地貌过程;在人类历史时期的沙漠化,则是一种自然-人为过程,即气候-人类干扰地貌过程。指出沙漠化并不是人类活动的唯一结果和必然结果;干旱、半干旱区人类经济活动的后果既有沙漠化,也有绿洲化(吴正,1991;吴正、钟德才,1993)。

(3)海岸沙丘与风成沉积。系统地开展了华南海岸风沙地貌与沉积研究,深化了对现代海岸风沙沉积特征的认识;提出了海岸沙丘的发育条件、演化模式以及形成的年龄等,认为华南现代海岸风沙堆积是中全新世以来的温凉干燥气候期的产物(吴正、吴克刚,1987;吴正、吴克刚、黄山等,1995)。发现了华南沿海多处海岸沙丘岩,并对其成岩机理作出解释,将其与海滩岩相区别(吴正、王为,1990;吴正,1996)。提出了华南沿海“老红砂”系风成沉积的观点,认为老红砂是晚更新世末次冰期海岸风沙堆积,红色特征与亚间冰期(或冰后期的高温期)的温暖古气候有关。在湿热气候下,古风成砂中含铁硅酸盐矿物氧化生成赤铁矿,而使无色石英颗粒染成红色,是其红化作用的主要机制(吴正、黄山、金志敏等,1994)。此外,本书所选编的论文,还对晚更新世末期南海北部大陆架的古地理进行了探讨(吴正、冯文科等,1993);对比研究了我国内陆沙漠与海岸沙丘石英颗粒的表面结构特征(吴正,1995);比较全面地总结了我国风沙地貌研究近十余年来所取得的进展(吴正,1993)。

本书所选论文虽系不同时期各个方面的代表作品,但就其水平而论,大多是平庸之作;现将其再结集在一起,无非是对自己的工作作个回顾,希望能方便于有关研究者参考。为了减少篇幅,这次将收入本书中的论文的全部照片及部分图表删去,个别论文还作了一些删节。为了规格统一起见,本书补齐了各篇论文的提要与关键词。在各篇论文的第一页下方,加注了该文原发表的刊物和年份,以便读者查阅原文。

回顾近40载沙海生涯,在风沙地貌研究上能取得一些成绩,深感和恩师任美锷院士、施雅风院士、周廷儒院士、陈述彭院士、沈玉昌教授、杨怀仁教授、赵松乔教授、罗来兴教授、严钦尚教授、陈吉余教授、王乃樑教授和曾昭璇教授等的多年指教与支持分不开。他们热情扶植后辈,对我谆谆教诲,时加关怀与勉励。此外,也受益于朱震达教授、李吉均院士

及其他多年共事同志的真诚帮助与支持。值此本书出版之际,在此一并向他们致以崇高的敬意和衷心地感谢。这本书得以问世,当然也要感谢科学出版社的吴三保编审的大力支持与帮助,他为本书的编辑、出版付出了辛勤劳动。

本书封面彩照由同窗好友杨逸畴教授拍摄并提供;插图由科学出版社协助清绘,深表谢意。

吴 正

丙子(1996)年春,

写于广州华南师范大学寓所

目 录

前 言	i
风沙运动的若干规律及防止风沙危害问题的初步研究	1
风沙运动的动态摄影实验	9
公路沙埋的工程防治	17
准噶尔盆地沙漠地貌发育的基本特征	29
塔克拉玛干沙漠成因的探讨	44
中国干旱地区的风沙地貌	56
浅议我国北方地区的沙漠化问题	72
中国北方地区沙漠化的现状与趋势之窥见	81
海南岛东北部海岸沙丘的沉积构造特征及其发育模式	88
华南沿海全新世海岸沙丘研究	99
华南海岸沙丘岩的特征及其形成发育模式	107
海南昌江海尾海岸沙丘岩的发现	116
华南沿海老红砂的成因与红化作用	119
晚更新世末期南海北部大陆架的古地理探讨	127
我国内陆沙漠与海岸沙丘石英颗粒表面结构的对比研究	132
中国风沙地貌学研究的新进展	137
后 记	143

CONTENTS

Preface	i
Preliminary research on several principles of aeolian movements and some problems in prevention of sand storm disasters	1
Experiment on the dynamic photography of the movement of sand-driving wind	9
Prevention and control engineering for highway sand-burying	17
Basic characteristics of geomorphological development of sand deserts in Zhunger Basin, China	29
Approach to the genesis of the Taklimakan desert	44
Aeolian landform in arid zone of China	56
Desertization in the north zone of China	72
Present status and future trend of desertization in northern China	81
Sedimentary structure and developing model of coastal dunes along the north- eastern coast of Hainan Island, China	88
Research on Holocene coastal dunes on South China coasts	99
The characteristics and the development model of dune rocks on South China coasts	107
Discovery of coastal dune rocks at Haiwei, Changjiang, Hainan Province	116
Research on the formation and caterization of the "old red sandy sediment" along the coast of South China	119
Palaeogeographic study in the continental shelf of the northern South China Sea during the last stage of the late Pleistocene	127
A comparative study of the surface texture of quarty sand in inland deserts and that in coastal dunes, China	132
New progresses in the geomorphological research of sandy deserts in China	137
Postscript	143

风沙运动的若干规律 及防止风沙危害问题的初步研究^{*}

提 要 本文根据野外定位观察所搜集的资料,探讨了风沙运动的若干规律,提出了风沙流结构特征值(λ)的概念,并讨论了其与吹蚀、堆积过程发展的关系。提出防止风沙危害农田、交通的主要途径。

关键词 风沙运动 风沙流结构 吹蚀与堆积过程 风沙危害防治

流沙蔓延,淹没农田,侵袭道路,给我国西北干旱地区的农业生产和工矿、交通建设以很大危害;控制流沙,防止其危害已成为发展国民经济亟待解决的重大课题之一。而认识和掌握风沙运动的规律,是制订防止流沙危害措施的重要科学依据。

鉴于风沙运动的研究在理论上和生产实践上都具有重要意义,因而引起了众多学者的注意。在国外,R. A. 拜格诺(Bagnold)、W. S. 切皮尔(Chepil)、A. И. 兹纳门斯基(Знаменский)、Б. Н. 先克维奇(Сенквеч)、河村龙马等对该问题都进行过一定研究。其中尤其是拜格诺和兹纳门斯基通过室内风洞实验和野外观察,积累了大量资料,研究得较深入。拜格诺比较全面地阐述了风沙运动的物理过程(颗粒运动物理学);兹纳门斯基则研究了风沙流结构和与之有联系的沙子的吹蚀过程和堆积过程,沙堆的防止问题,提出了防护工程建筑物不受沙堆侵袭的某些原则性方案。在国内,刘振兴对近地层湍流大气中沙的传输问题也进行过理论上的探讨。

笔者近年来在野外定位观察中也搜集了一些与该问题有关的资料,拙作就是以其为依据,并参考部分文献资料撰写成的。文中讨论了风沙运动的某些规律及防止风沙危害农田、交通的途径问题。

一、风沙运动某些性质的初步认识

(一) 沙粒脱离地表运动的机制及其在气流中运动的形式

在研究风沙运动时,沙粒脱离地表运动(起动)机制的研究占有相当重要的地位。归纳前人的研究有两种理论,即沙悬浮理论——(以 Exner 为代表)和冲击起动理论(以 R. A. Bagnold 为代表)。前者认为风沙运动是气流的乱流扩散结果,后者则主张沙粒运

^{*} 原载《治沙研究》,第七号,科学出版社,1965 年。合作者为凌裕泉。

动主要是冲击作用所致，气流的紊动影响可以忽略不计。我们认为，作为近地面层的沙粒运动来说，悬浮理论是不恰当的，而后者较为合理。最近 A. П. 依万诺夫 (Иванов) 进一步研究指出，沙粒脱离地表及进入气流中运动的主要抬升力是冲击力，冲击力可以超过沙粒重量的几十倍至几百倍，沙粒在气流的迎面阻力和摩擦阻力两个力矩作用下具有最大的确定方位效应^①，通过冲击（力）便产生迅速转动（33 000r/min），然后由气流上升力（上升力亦可超过沙粒重量的几十倍至几百倍）搬运至主流区，随着气流运动形成风沙流。

运动的沙粒是从气流中获取其运动的动量，因此，沙粒只是在一定的风力作用条件下才开始移动。沙粒开始起动的临界风速 (V_{kp}) 与沙粒粒径 (D)、地表性质等多种因子有关。其与粒径的关系，对于粒径大于 0.1mm 的颗粒来说，根据 R. A. 拜格诺的研究，具有 $V_{kp} \propto \sqrt{D}$ 的关系。我们在野外进行多次的观察，亦获得十分相似的依赖关系（表 1）。

表 1 起动风速 (V_{kp}) 与粒径的关系

D (mm)	V_{kp} (m/s) (12m 高处)
0.1—0.25	4.0
0.25—0.50	5.6
0.50—1.00	6.7
>1.00	7.1

沙粒起动后进入气流中运动，其形式随风力、颗粒大小和质量而转移，有蠕移、跃移和悬移三种，其中又以跃移为最主要（表 2）。因此，风沙运动的强度是密切依赖于颗粒跳跃运动的强度。颗粒跳跃运动的强度和跳跃高度依风速而变，风速愈大跃移强度和高度也愈大，此外亦随下垫面性质不同而有所改变。根据 W. S. 切皮尔的研究，跃移沙粒的跳跃高度一般可达 6—9cm，在个别情况下可以达到更大高度^②。

表 2 不同风速下气流中跃移搬运和蠕移搬运的沙量*

2 米高处风速 (m/s)	总输沙量 (g/min)	跃 移		蠕 移	
		沙量 (g/min)	比例 (%)	沙量 (g/min)	比例 (%)
5.0	0.78	0.54	69	0.24	31
6.0	1.39	1.08	78	0.31	22
7.0	2.83	1.94	77	0.59	23
8.0	4.05	2.23	80	0.82	20
9.0	6.19	5.04	81	1.15	19
10.0	9.42	7.56	81	1.86	19
平 均	—	—	78	—	22

* 对于沙丘沙来说，呈悬浮状态搬运的沙量仅占全部搬运沙量的很小一部分，尚不到 5%（拜格诺），甚至在 1% 以下（池田茂）。

① 沙粒的确定方位效应，即为沙粒的最大横截面与气流正交时，迎面阻力和摩擦阻力两力矩作用最强，冲击（力）作用最大，造成有利于沙粒冲击起动条件。

② 跃移沙粒移动的水平距离决定于上升高度，这种比例关系在不同风速条件下为 1 : 7—1 : 10。

(二) 风沙流结构特性和沙地吹蚀、堆积过程发展的关系

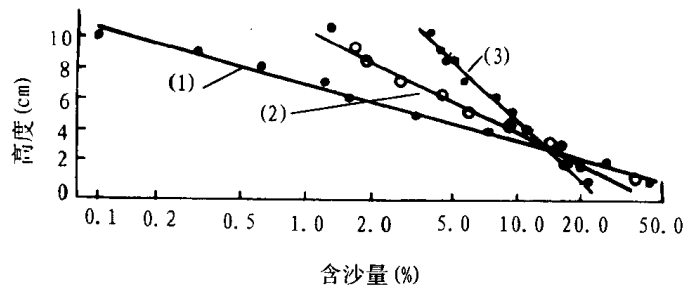
1. 风沙流结构的一般特征

气流中搬运的沙子其在搬运层内随高度的分布——风沙流的结构,是随着气流速度、进入气流中的沙子数量、地表性质等不同而有所变化。根据野外观察资料的分析,裸露沙地上确定厚度的搬运层内的风沙流结构有如下基本特征^①:

(1) 各种气流速度和沙量条件下,高程与含沙量(或%)对数尺度之间具有良好的线性关系(图1),表明含沙量随高度分布是遵循着指数函数关系^②。如以新疆莎车地区新月形沙丘顶部的观察为例,风速为4.5m/s时(2m高处),0-10cm气流层中含沙量随高度变化有如下式所示:

$$Q_i(\%) = 96.5(0.52)^H, r = 0.97$$

式中: Q_i 为不同高度气流层的含沙量(%); $i=1, 2, \dots, 10\text{cm}$; H 为高度(cm); r 为相关系数。



(1) 4.5m/s; (2) 7.3m/s; (3) 13.3m/s (离地面2m高处风速)

图1 不同风速下气流中含沙量随高度的分布(莎车)

正是由于含沙量随高度按指数规律迅速递减,因此较高的气流层中搬运的沙量很少,沙子主要是集中在近地面层内。以莎车的观察资料为例,2m高处风速为7.5m/s时,250cm高处搬运的沙量仅0.11g/h,而贴近地面的5cm高度处搬运的沙量达22.62g/h,后者为前者的205倍以上。表3、表4所引用的观察资料也能很好说明这一特征。所以,风沙流运动纯粹是属于贴近地面的沙子搬运现象。

表3 新月形沙丘顶部风速 $V=9.8\text{m/s}$ 时不同高度(cm)气流层内搬运的沙量

(根据马载涛资料)

高 程 (cm)	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70
沙 量 (%)	79.32	12.30	4.79	1.50	0.95	0.40	0.74

① 对风沙流结构特征,A. И. 兹纳门斯基研究得出如下结论:①第一层的沙量随着风速的增加而减少;②不管风速如何,第二层的沙量保持不变,等于0—10cm层总沙量的20%;③平均沙量(10%)在3—4cm层中搬运,这一高度也保持不变,并不以风速为转移;④气流较高层(从第三层起)中的沙量随风速的增加而增加。

② 含沙量随高度分布具有指数函数的关系,田中一夫在《海岸防災林の飞砂固定に関する实验研究》一文(砂丘研究,第8卷第2号,96页)中也曾指出过。

表 4 新月形沙丘顶部风速 $V=4.5\text{m/s}$ 时, 贴近地表 0—10cm
气流层中不同高度上的含沙量

高 程 (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
沙 量 (%)	43.9	26.3	15.7	7.1	3.2	1.6	1.2	0.6	0.3	0.1

(2) 随着风速的增加, 下层气流中沙量 (%) 减少 (绝对值仍增加), 相应增加了上层气流中搬运的沙量 (绝对值和相对百分比值都增加)。这一特征从图 1 中直线的倾斜度随风速增大而变陡也可以得到反映。

2. 与沙子吹蚀、堆积过程有关的风沙流结构特征值

从前面引用的野外观察资料中看到, 沙子在气流中的搬运主要是集中在 20cm 范围内, 特别是 10cm 以下。基于这一特征, 我们在讨论与沙子吹蚀、堆积过程有关的风沙流结构时, 主要讨论占搬运沙量绝大部分的 0—10cm 气流层内的风沙流结构特征。

根据 A. И. 兹纳门斯基的实验研究, 并为我们野外观察所证实的, 在 10cm 气流层内, 1—2cm 层中的沙量在各种风速下差不多稳定在总沙量的 20% 左右^①。在平均情况下^②, 此层上、下层的沙量各占 40%。这就有可能通过这两层沙量的比值 $\lambda = \frac{Q_{8-10}}{Q_{0-1}}$ (为无量纲参变数) 来讨论上、下层为沙子饱和的程度, 并以此来进一步查明有利或不利吹蚀或堆积的条件^③。

(1) 风沙流结构特征值 (λ) 与吹蚀、堆积的关系。具有如下几点:

1) 平均情况下, λ 值接近于 1 (为方便起见, 就令 $\lambda=1$), 表示这时由沙面进入气流中的沙量和从气流中落入沙面的沙量, 以及气流的上、下层之间交换的沙量近似相等或相差不大, 沙子在搬运过程中, 无吹蚀亦无堆积现象发生。这一关系我们可以从引用的 A. И. 兹纳门斯基的实验资料中明显地看到 (图 2): 当 λ 近于 1 时, 沙子的蚀积总量也近于零;

不过, 随着风速和供沙量的同时增大, 蚀积量为零的 λ 值也随之有所增大, 可大到 1 以上。如图所示, 供沙板号为 3 时, 蚀积量为零的 λ 值为 0.99, 7 号至 20 号时为 0.80—1.1 之间, 也近于 1; 而对于 33 号、45 号和 52 号来说, λ 增大到 1.2 以上仍然还有沙子堆积发生。这表明: 风速确定时, 随沙量增大, 增大气流的能量消耗, 有利于沙堆积; 反之, 则有利于吹蚀。而给沙量确定时, 随风速增大, λ 值增大, 有利于吹蚀发展。

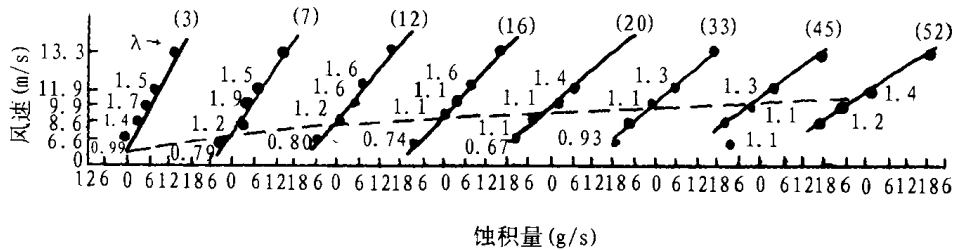
2) 当 $\lambda < 1$ 时, 表明沙子在搬运过程中向近地表层贴紧, 下层沙量增加很快, 处于饱和状态, 从而有利于沙粒从气流中跌落堆积。例如, 新月形沙丘顶部一般风速下 λ 值均小于 1 (或近于 1) (表 5), 而实际上我们在这里所观察到的也正是沙子的堆积过程。蚀积平衡或为零 (收入等于支出) 或为正 (兹纳门斯基)。

① 这里是指沙质地表而言, 对于其它类型的下垫面这种稳定性遭到破坏。

② 这里所指的平均情况只考虑其空间平均分布, 而不考虑随时间的变化。

③ A. И. 兹纳门斯基曾用 S 值作为风沙流结构特征值, 讨论与蚀积现象之间的关系。其 S 值是用 0—1cm 层内的沙量占 0—10cm 层内沙量平均值的百分比数 $\left(S = \frac{Q_{0-1}}{Q_{0-10}} \% \right)$ 来表示的。我们感到这种表示法在意义上不够明确, 同时在实际应用上也不够方便。

3) 当 $\lambda > 1$ 时, 有两种情况: ①表明下层处于未饱和状态, 气流尚有较大搬运能力, 有充分沙源时 (例如: 裸露的沙土质农田地表和强风时新月形沙丘顶部) 有利于吹蚀。②对于无充分沙源的非流沙的光滑坚实下垫面 (如砾石戈壁) 来说, 由于产生沙粒 (主要是过境的沙子) 强烈地向高处弹跳, 增加了上层气流中搬运的沙量, 下层处于未饱和状态, 所以, 这时的 λ 值大于 1 乃是标志着形成所谓非堆积搬运的条件。



() 内数字代表供沙板号; 图上数字代表风沙流结构特征值 (λ)

图 2 不同给沙条件下沙面蚀积量与风速 (V)、风沙流结构特征值 (λ) 之间的关系
(根据 A. И. 兹纳门斯基资料编绘)

(2) 特征值与风速、搬运沙量的关系。有如下几点:

表 5 新月形沙丘顶部 V , λ , Q 的关系

V	4.30	4.50	6.50	7.30	8.80	9.40	9.90	12.60	13.30
λ	0.51	0.67	1.13	1.20	1.00	1.60	2.30	3.10	2.80
Q	0.42	0.37	0.83	2.26	3.19	—	7.59	13.92	19.34
$Z_0 = 0.00617$			$Z_0' = 0.0159$			$\bar{\lambda} = 1.6$			

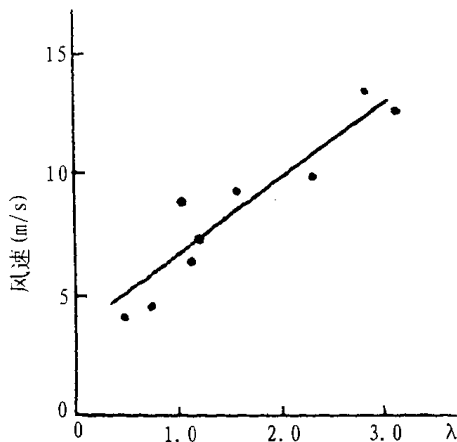


图 3 风速 (V) 与风沙流结构特征值 (λ) 的关系

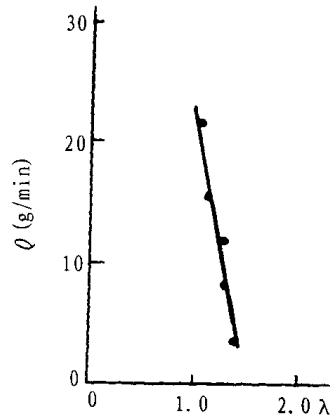


图 4 输沙量 (Q) 与风沙流结构特征值 (λ) 的关系
(根据 A. И. 兹纳门斯基资料编绘)

1) λ 值随着风速 (V) 增大而增大 (图 3、表 5), 表明随着风速增大, 一方面气流搬运沙子的能力增大; 另一方面, 风速增大, 冲击力增大, 上升力也增大, 有利于沙粒在高空搬运, 易于造成吹蚀。这也就解释了为什么新月形沙丘顶部在较低风速时, 一般处

于堆积状态 (λ 值小于 1 或近于 1), 而随着风速的进一步增强, 处于强风作用时则发生吹蚀现象 (λ 值大于 1)。

2) λ 值随着沙量 (Q) 增大而减小 (图 4), 也就是说在确定的气流速度 (或搬运能力) 条件下, 增加沙量就增加气流能量的消耗, 造成有利于堆积的条件; 反之, 则有利于搬运或吹蚀。

然而必须指出, 由于自然条件下引起吹蚀、堆积过程发展和 λ 值的因素是极其错综复杂的, 因此, 前面所讨论的风沙流结构的特征值 (λ), 只能是用来定性地标示和判断沙子吹蚀、堆积过程发展的趋势。

二、防止风沙危害农田、交通的途径

众所周知, 风沙对农田、交通的危害主要是由风蚀、沙埋现象所引起的。而沙子的吹蚀、搬运 (风沙运动) 和堆积乃是相互联系不可分割的统一过程, 没有风蚀过程发展导致风沙流的出现, 也就不可能有沙子的堆积。因此, 防止风沙危害的实践中, 主要途径就在于控制风蚀过程的发生和改变沙子搬运或堆积的条件。

根据前面风沙运动一般规律的研究, 防止风沙危害的措施主要有:

1. 削弱和防止风蚀过程发展的措施乃是改变下垫面性质, 增加其粗糙度, 以期减低近地面层的风速

由于地面粗糙度 (Z_0) 的增加, 使得气流和地表的外摩擦增加, 这种外摩擦通过粘滞性作用把粗糙度影响传递到较高的高度。所以 Z_0 增大时, 增大了地表对气流的阻力 ($r = \rho V^2$), 从而使近地表风速减小^①。而沙粒脱离地表进入气流中搬运, 诚如前述, 风蚀过程的发展是在一定的风力条件下才发生, 风沙运动和风蚀乃是一种表面的过程, 随着风速增强, 沙粒运动 (主要是跳跃) 的强度和风蚀作用的强度就增加。因而只要削弱近地面层的风速, 使其尽可能低于沙子起动的临界风速, 就能达到防止风蚀发展, 削弱风沙运动的强度, 也使其下风地区免受沙害。

例如: 在砂土质农田地表上采取作物留茬 (茬向尽量与主风正交) 等措施可收到上述的效果 (表 6 和表 7)。此外, 营造防护林和建立不同类型的风障对减低近地面风速, 减轻风蚀和风沙运动的强度也是行之有效的措施。

表 6 农田不同地表的风速梯度观测和 Z_0 值

地表性质	高 度 (cm)							Z_0 (cm)
	200	100	50	30	20	10	5	
冬麦地 (尚未出苗) (松砂土)	5.0 (100)*	4.5 (90)	3.9 (78)	3.6 (72)	3.3 (66)	2.8 (56)	2.3 (46)	0.182
谷 茬 地 (砂土)	4.9 (100)	4.2 (87)	3.5 (72)	3.1 (63)	2.5 (51)	1.8 (36)	1.1 (23)	1.740

* 表内数字系各个高度的风速 (m/s), 括号内数字系 2m 以下各高度风速 (V_i) 对 2m 高风速 (V) 之比值 V_i/V (%)。

铁路通过沙漠地区, 为防止流沙侵袭, 在路基两侧一定宽度的沙丘上敷设机械沙障,

① 地表粗糙度 Z_0 对风速的减弱作用愈近地表愈强; 随 Z_0 增大其影响高度也随之增大。

同样起到减低近地层风速、减弱沙子吹扬能力的良好效果(表8)。几年来的实践表明,包兰线沙坡头地区机械沙障(草方格沙障)在防止风蚀和风沙危害铁路方面起着重要作用。

表 7 农田不同地表的输沙量

地面性质	Z_0 (cm)	2m 高度的平均风速 (m/s)	离地面 0—10cm 层内的输沙量 [kg/ (m · h)]
冬麦地 (未出苗)	0.182	8.5	2.616
留茬地	0.501	8.5	0.786

表 8 机械沙障对输沙量的影响

地面性质	Z_0 (cm)	2m 高处风速 (m/s)	Q [g/ (cm · min)]
流 沙	0.00739	4.5	0.11
旧 1m×1m 草格沙障	1.88600	4.3	0.04

2. 防止风沙流和沙埋的措施与前者相反,是尽量减少对气流运行的障碍,使之有利于气流和沙子顺利的通过,造成有利搬运和不利于堆积的条件

例如：沙砾戈壁地区的公路，为防止路面遭受沙子堆积的危害，可采取改变路面结构，使它具有适当的横断面^①，同时消除和填平道路两旁在筑路时所遗留下来的取土堆和取土坑，铲平公路附近凸起的地形等，以减少气流运行的障碍，为气流的平滑环流创造有利条件，使挟沙气流顺利通过而不致发生沙堆现象。这从新疆喀（什）和（田）公路皮山段的观察结果可以得到很好的说明（图5）。

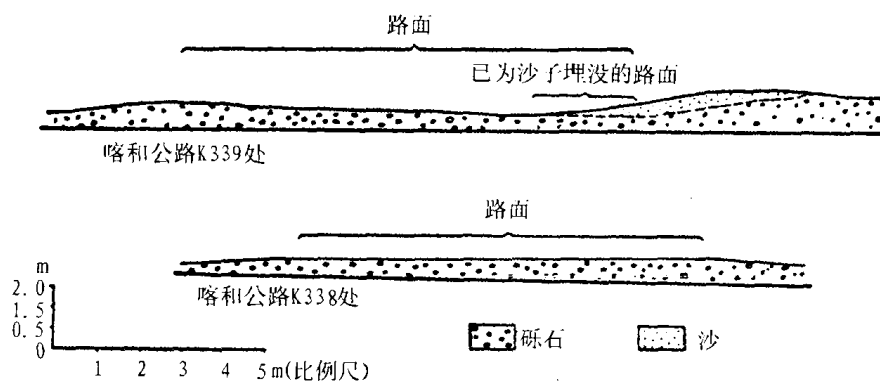


图5 路旁地面起伏对流沙堆积的关系
(以皮山绿洲西南沙砾地面上的喀和公路为例)

此外,如前面所述,对于沙粒运动来说,平滑坚实的地面有利于过境沙粒的反弹跳作用的加强,沙粒弹跳的高度可达疏松沙面上沙粒跳跃高度的两倍,甚至数倍,从而增加了上层气流中沙量的搬运,改变了风沙流结构, λ 值增大,从而也造成有利于搬运而不

① 没有陡斜坡和深凹的边沟，公路和当地地势平稳的结合起来。

利于堆积的条件。例如，沙漠地区的铁路在紧接路基两旁（特别是迎风的一侧）设置砾石平台^①，能起到有利于部分过境沙（风沙流）通过的作用，以减少大量堆沙的危害。

最后，必须指出的是，风蚀和沙埋的发生和发展，虽然各有其一定的条件和范围，但它们具有不可分割的联系，具有明显地依存性。因此，上面提出的措施在采用时就不应该是孤立的，可以根据风沙危害的性质把多种措施相互配合起来应用。只有这样，才能收到最大的防护效果。

参 考 文 献

- [1] 拜格诺 R. A. (钱宁等译). 风沙和荒漠沙丘物理学. 科学出版社, 1959.
- [2] 兹纳门斯基 A. И. 沙地风蚀过程的试验研究和沙堆防止问题 (中译本). 科学出版社, 1960.
- [3] 刘振兴. 关于风沙问题的研究: I. 近地层湍流大气中沙的传输. 气象学报, 1960, 31 (1).
- [4] 河村龙马. 风沙的研究. 东大理工研究所报告, 1951, 5 (3-4).
- [5] 池田茂. 砂丘地における风速と飞沙量との关系. 砂丘研究, 1958, 5 (1).
- [6] 田中一夫. 海岸防災林の飞砂固定に関する实验研究. 砂丘研究, 1962, 8 (2).
- [7] Chepil, W. S. Dynamics of wind erosion (I. Nature of movement of soil by wind). Soil Sci., 1945, 60 (4).
- [8] Иванов, А. П. Отрыв песчаной частицы от поверхности и её движение в воздушном потоке. Изв. АН СССР, Сер. Бюл., 1963, (2).

^① 砾石平台的防护作用，另一方面还在于：在路基与沙丘（一般需用方格沙障加以固定）之间设置了砾石平台，对流沙（沙障遭受破坏引起）侵入线路起一定的“缓冲”作用。