

中国科学院地理研究所編輯

沙漠地貌的起源 及其研究方法

(譯文集)

1

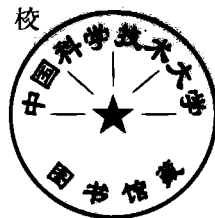
83

科学出版社

沙漠地貌的起源及其研究方法

(譯文集)

陈治平 陈永宗 刘西平 譯
吳 正 楊郁华 张林源
朱震达 刘西平 陈传康 校



科 学 出 版 社

1 9 6 2

內 容 簡 介

本书收集了苏联沙漠研究方面七篇重要的論文，較系統地介紹了苏联沙漠地貌研究的基本情况和若干不同的观点。

Б. А. 費多羅維奇的“現代沙漠地貌的起源”、“沙漠中沙地地形的起源和形成問題”及“风力作用的研究，沙和黃土的研究”等三篇論文，把大气环流、风的規律和自然条件結合起来研究，认为沙地地形是大气环流的反映。沙漠中很規則的沙地地形是按照气流渦动运动的統一規律，以及气流在不同介質交界处形成的；并划出四种基本类型。М. П. 彼特羅夫在“沙漠內新月形沙丘地形及其形成的規律”一文中，认为大气运动至今还未研究清楚，故难以分析沙地地形的形成。同时认为固定沙壠的形态和优势风向是垂直的。А. И. 茲納門斯基应用风洞实验和定位观察的方法，在“論新月形沙丘沙壠的形成机制”一文中，提出了风沙流的概念，认为是风蚀过程的结果。在新月形沙鏈的背风坡有局部气流。风沙流的規律和局部气流的存在决定了沙丘形态及其走向的恆定性。沙壠由新月形沙鏈演变而来。

此外，还有 Г. А. 普羅霍羅娃的“水和风的搬运作用对卡拉庫姆沙的矿物成分及沙粒形态的影响”和 А. В. 西多林科的“荒漠中物質的风成分异作用”等論文。

沙漠地貌的起源及其研究方法

(譯文集)

Б. А. 費多羅維奇等著

陈 治 平等譯

*

科學出版社出版 (北京朝陽門大街 117 号)

北京市書刊出版業營業許可證出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1962 年 10 月第 一 版

书号：2624 字数：178,000

1962 年 10 月第一次印刷

开本：850×1168 1/32

(京) 001-850

印张：6 1/2 插頁：6

定价：1.30 元

目 录

現代沙漠地貌的起源.....	Б. А. 費多羅維奇 (1)
沙漠中沙地地形的起源和形成問題.....	Б. А. 費多羅維奇 (16)
沙漠內新月形沙丘地形及其形成的規律.....	
.....	М. П. 彼特羅夫 (53)
論新月形沙丘沙壠的形成機制.....	А. И. 茲納門斯基 (98)
水和风的搬运作用对卡拉庫姆沙的矿物成分及沙粒形态的 影响.....	Г. А. 普罗霍羅娃 (114)
荒漠中物質的风成分异作用.....	А. В. 西多林科 (156)
风力作用的研究,沙和黃土的研究.....	Б. А. 費多羅維奇 (185)

現代沙漠地貌的起源*

Б. А. 費多羅維奇

中亞細亞廣大沙漠地域的航空攝影測量和地面考察的資料結合在一起,使我們能夠按新的方式分析沙漠地貌的成因。已經得出的結論,給予我們批判地重新研究關於世界其他荒漠沙地地形報道的可能性,能將風成地形形成作用與風的規律、空氣動力及大氣環流協調起來。在這篇篇幅不大的文章里只能最簡略地和最概括地闡明所有這些問題。

根據最新的研究,風能相等地造就風蝕地形和堆積地形。它將從壠間低地吹出的沙拋積於沙壠之上。所以,在沙地地形中常常有由不再吹襲的岩石或疏松的沖積地層組成的風蝕結構及吹積層。平行於風向的形態具有典型的不再吹襲的結構,但這種結構在垂直於風向的沙子堆積物中也常常散布着。

在形成風成地形時吹蝕-堆積過程的統一,不排除這種過程在空間劃分上有形成相對立過程的可能性。例如,在氣流速度很大的流速增加的地區和在沙漠的迎風邊緣,皆可以占優勢地或發育着唯一的吹蝕地形。這種地形有風蝕凹地、風蝕槽或風蝕廊道等,即就是雅丹和分隔雅丹的壠崗。與此相反,在氣流抑止地區和沙漠的背風區域的邊緣,不僅可以遇見純粹堆積的沙地地形形態,而且可以遇見巨厚的連片的吹積沙的復蓋層。

由於地形形成的條件有差異,在荒漠內可以分出三個動力過程不同的地帶: 1) 吹襲作用為主的地帶; 2) 吹襲作用和堆積作用

* Федорович Б. А. Происхождение рельефа современных песчаных пустынь. Вопросы географии (Сборник статей для 18 го международного географического конгресса), Изд. АН СССР, 1956г.

占的比例大約相等的冲积土拖曳作用为主的地带（这里指的是主要面积）和3）堆积作用为主的地带。可惜，过去的研究者对沙漠地貌形成作用的这一重要方面还没有予以足够的注意。而在自然界中例如撒哈拉沙漠及其残余山地、沙块——爱尔格及亚热带地区稀树草原正是必须从这种风成过程的空间差异的观点来分析（当然，还要结合山地的侵蚀过程和沙块的冲积堆积过程）。

沙地地形的动力过程是一个最复杂的问题，现在它仍然继续引起各种各样的假说和争论。它之所以复杂，是因为无论在不同地区或在同一地方自然条件相同的情况下，常常有顺风向沙子堆积物和垂直于风向沙子堆积物同时并存，而在有些地方在平面图上呈现为完全不定向的、圆形的沙子堆积物（图1）的缘故。我们



图1 a——单个的新月形沙丘，b——合併成垂直于风向的新月形沙鏈的新月形沙丘，c——合併成顺风向的新月形沙壠。自小高地看到的远景图式。

的研究说明，尽管地形形态如此复杂多样，但它们都与统一的气流结构相联系着的。为着说明上述事实的实质，我们先从最简单的情况谈起。

1) 在炎热如焚和平静无风的日子,荒漠内经常地几乎一天到晚地能观察到虽然不大、但为数众多的龙卷风。在中亚细亚的荒漠之中,有时可以同时地看见好几个(曾同时看到过 17 个)。龙卷风是与沙地地表强烈增温(达 $70-80^{\circ}\text{C}$) 和由此而引起对流的发展有关。但是,上升气流和下降气流的运动并非直线地进行的,而总是呈螺旋状移动着。这样能使空气分子比在纷扰的乱流运动时的运动速度要快得多。这种螺旋状上升的龙卷风在北半球照例是向右(顺时针)转动的。

在南半球的荒漠中观察证明,这里的龙卷风主要是反时针(向左)转动的。这种现象就最好地证明了这样一种情况,即在较小的沙尘龙卷风中柯里奥利力(地球偏转力)也起着作用。自然界流水也呈类似的螺旋状运动,在柯里奥利力作用下使北半球的河流冲刷右岸和在南半球冲刷左岸。

有的沙漠地区对流过程占着统治地位。在这里风向玫瑰图是均衡的,因为不同方向的风互相交替时具有大致相等的力量和持续时间。在这些不同方向的风和垂直龙卷风状旋风的交替影响

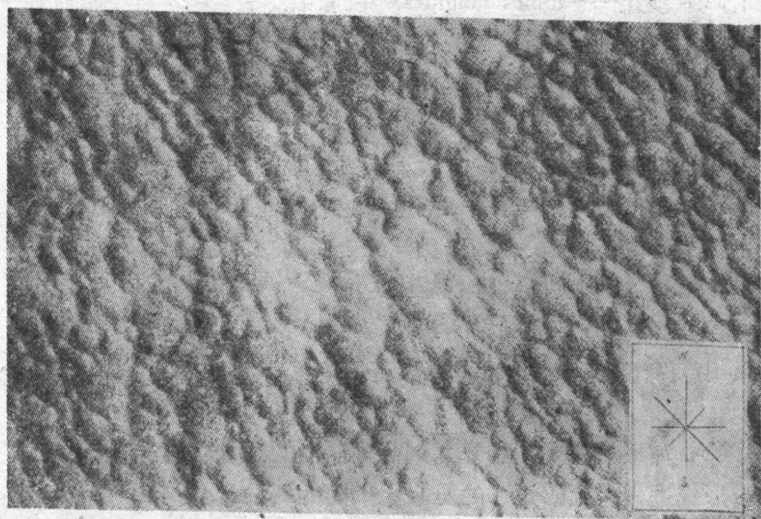


图 2 飞机上向下看的半复盖的蜂窝状沙地形态

下,在这些地区就形成着被我們称作蜂窝状的独特的沙地地形(图2)。这种地形具有典型的圓形碟状低地及分隔碟状低地的丘陵状的高地——丘崗。这种类型的地形分布較少,但無論在裸露的和半生草的沙地里都能遇見。按照动力条件,我們把它称作对流型地形。按照发展条件,我們把这种地形类型称作固定型地形,因为它只与本身地形形态的逐漸发展有关,而并不能引起它們的移动。

2) 在荒漠中,統治着单向风或相近方向风常常是不均衡的。对于这些地区來說,风向玫瑰图的方向性十分明显。

可以想象,在沙漠中当整个地形为单向风或相近方向风所造成时,和当沒有和风矛盾的障碍物的条件下,則螺旋状的垂直龙卷将被风压低紧贴于地表,并具有水平的状态。其主要原因是气流由高压向低压区域运动。这种运动将联結上升气流与下降气流的对流过程。这些运动与柯里奧利力結合起来,就使气流賦予了螺旋状的結構。正因为具有这种結構,风一面吹揚壠間低地,一面被自己的上升气流将沙搬积于沙子堆积物的頂部。这就是为什么在不变的单向风或相近方向风为主的地区,例如在信风地区形成縱向沙壠(沙丘——*dunes longitudes*)的原因。

这种順向的螺旋状气流以参加层状大气圈层的厚度不同而表现为大小不一。正因为如此,所以在沙漠內同时共存着,即就是共同发育着不同等級的风成地形形态。通常沙壠之間的間距以185米、1,100米和2,500米占多数。不过这也不是极对数值。这种不同大小的地形形态結合起来便形成綜合的沙地地形形态。

順风向的螺旋状結構只在气流自由运动或加速运动的条件下方可得以存在和发展,并且能成为順风向的或信风类型的具有前进性运动的沙地地形发展的条件。撒哈拉荒漠的裸露沙壠和澳洲、中亚細亚以及卡拉哈里等沙漠的半生草沙壠(图3)都是这样的。

3) 如果气流发生抑止,則此順风向的螺旋状气流将改变方向,形成进程大大縮短了的垂直于风向的螺旋状結構。气流的这种轉向,在有些情况下是由于貼近地面的空气层因散沙負載过多

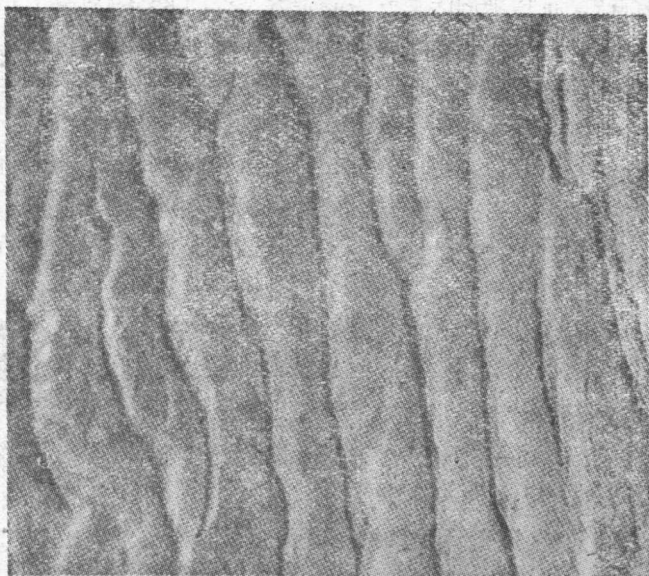


图3 順风向的半生草沙壠。平面航空照片

或因空气与某种小障碍物发生摩擦而造成的抑制所引起的。这样就产生着垂直于风向的由沙痕至新月形沙丘的沙地微地形形态，或者在巨大的順风向沙壠上产生横向鯨魚脊状的新月形沙丘。

在另外的情况下，气流的轉向是由于整个气流层受到抑止而引起的，例如在向另一个下垫面过渡时或在山体障碍之前。这种抑止在滨海地区甚为典型，因为海洋和陆地上气团的温度及密度不同。我們把这样形成的垂直于风向的綜合性的海滨沙丘或綜合性的新月形沙鏈(达万)类型称作季风-軟风类型，同时具有摆动运动或摆动-前进运动。在东亚季风带的阿拉善沙漠和鄂尔多斯的部分沙漠形成的高达 100 米的巨大的横向裸露新月形沙丘鏈都是如此的。印度塔尔沙漠中的横向-壠崗沙堆及耙状半生草沙子堆积物、土庫曼西南部高达 74 米的綜合性新月形沙鏈以及其他許多地区的綜合性新月形沙鏈也是这样的(图4)。

在中部亚洲最大的山間盆地、山原及山岭內，极強大的风或使沙尘搬移得很远，或使发生強大的抑止过程。在这些条件下，占

統治地位的地形类型即是高大的垂直于风向的綜合性新月形沙鏈(达万),对于塔克拉瑪干沙漠來說,就有許多这样典型的形态。

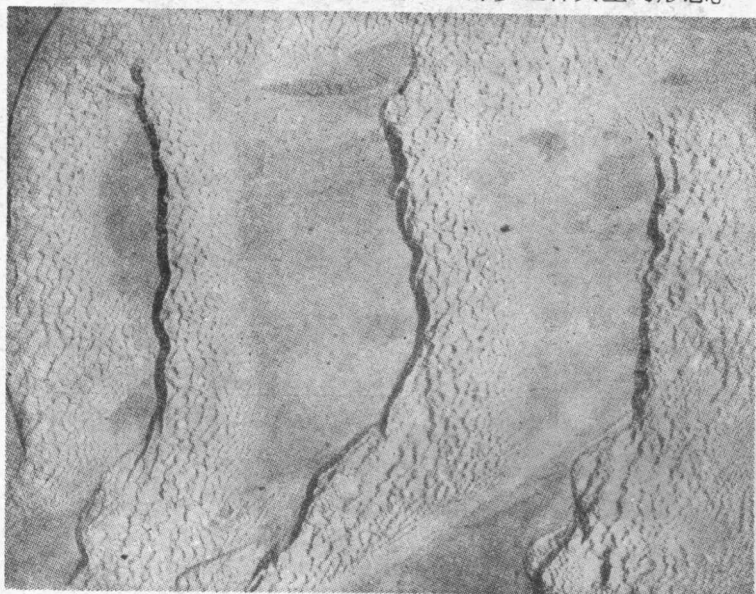


图4 巨大的綜合性新月形沙丘和新月形沙鏈(航空照片)

4) 法国撒哈拉沙漠的研究者在发现了金字塔形的沙子堆积物之后,就认为它們仅仅是由于上升气流,即就是对流过程引起的。我們系統地研究了在中亚細亚若干地区所遇到的綜合性裸露金字塔形沙丘及綜合性半生草金字塔形沙丘后得出,这种地形类型是由于和从山体障碍物而反射回来的风形成气流波干扰的結果。由此可見,金字塔形沙丘就是沙地地形的第四种空气动力类型、即干扰型的(图5和6),并且它們同对流型的形态一样,具有虽然強烈的、但是十分固定地发展的特点。

以前,沙漠研究者假設,一切沙地地形的形态皆与波痕和海浪相似,所以是垂直于风向的。这些研究者力图将所有的沙地地形形态从新月形沙丘中引伸出来。但是,他們忘記风搬运沙的方向照例是和风本身移动方向一致的,并且無論在海底和沙漠中往往形成的是順风向的沙壠。这样的縱向沙丘在利比亚由起沙地区向

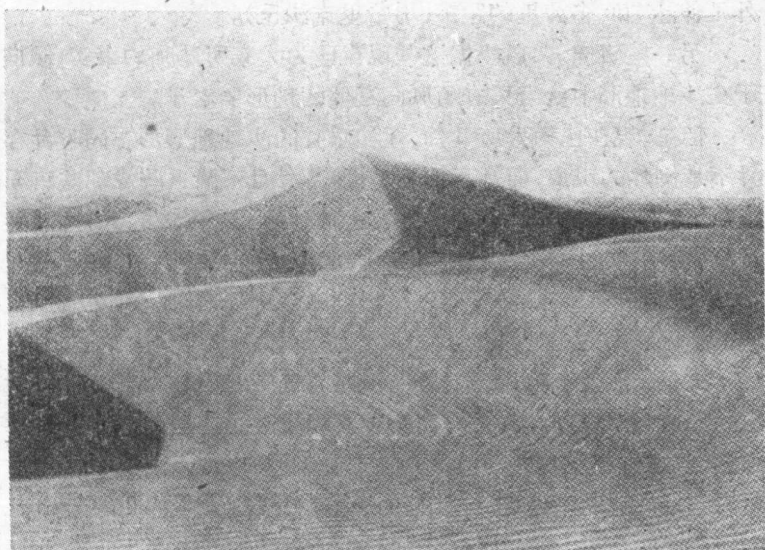


图5 单个的金字塔形沙丘

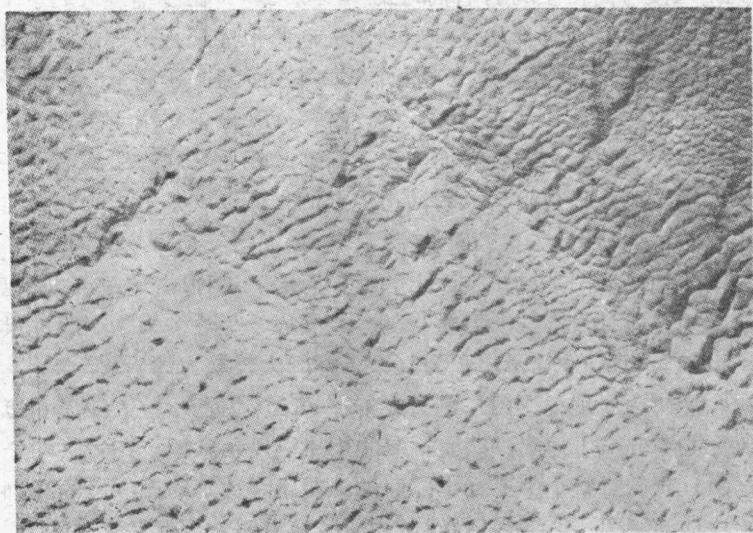


图6 裸露的综合性金字塔形沙地

外延伸达 700 多公里的距离(馬哈里克沙丘)。

另一些研究者,就根据这些現在已为大家所熟知的事实,傾向于在沙地地形中認為只有順风向延伸的地形要素了。

但是,現在已为人所共知,互相垂直的沙地地形形态同时并存并不是例外的現象,而是正常的規則。并且不論这些或那些研究者在解释这一事实时,不得不假設这种地形形态形成的异时性,并且認為从前有过与現在的成直角吹刮的风的存在。

我們对不同年龄和不同胶結程度的沙地地形研究結果証明,从上新世和第四紀时期以来,这里海陆輪廓未发生变化,沙漠中大气环流也沒有发生变化。这說明現在高气压的中心和低气压的中心的形成是由来已久的了。而两个互相垂直的沙地地形要素同时并存,就是統一的气流結構造成的直接后果,是由于大气中存在着順优势风向吹动的螺旋状旋风和此旋风在气流发生抑止的条件下引起轉向的結果。这时,在不同运动介质的界綫上产生改变方向的渦流。这种渦流早已为杰尔姆格里青所发现了。在天空由于冷气团入侵时而产生的羽毛状的云——《卷云》,在沙地地表的水下波痕及风痕、新月形沙丘地形及水成新月形沙丘地形都是这种过程的典型現象,这样,广大的沙地及其不同大小,不同形态的沙子堆积地形以前認為是杂乱无章的,难辨分明,但現在由于采用分析航測資料及研究风的規律而出現了嶄新的紀元。既然,沙漠中一切沙地地形皆只是由于风的活动引起的,所以它是单成的和极有規律的地形,并且在我們面前呈現可供研究空气动力学的堡垒。

沙地地形图是风在地面上的真实写照。这种图不仅能为研究沙漠地貌而且为空气动力学、气候学、气象学等許多理論問題提供了极丰富的資料,揭示出极为复杂多样的大气动力的現象。

最初的沙地地形图是奥夫立尔(Aufrère)为撒哈拉大沙漠和迈狄更(Madigen)为澳洲沙漠編制的小比例尺示意图。在过去的十年中,我們对整个中亚和中部亚洲編制了各种不同比例尺的詳細的沙地地形图,并且对苏联領域的沙漠是按照航測材料完成的。

分析这些地图能揭示出沙漠地貌与大气环流基本要素,首先

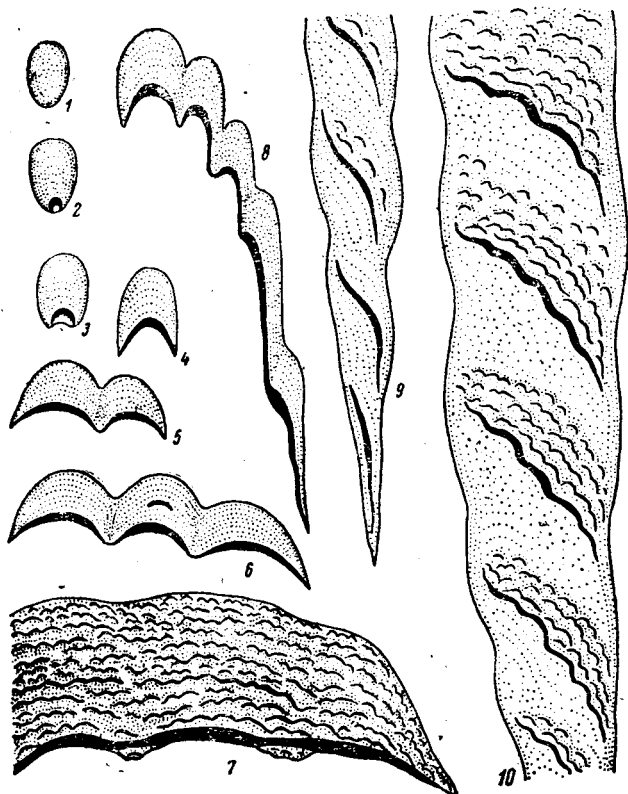


图7 当气流发生抑止时(垂直于风向的5—7)和未发生抑止时(平行于风向的8—10)所形成的裸露沙地地形基本形态的发展图式。

1——新月形沙饼(盾状沙丘); 2——雕形新月形沙丘; 3——年青的新月形沙丘; 4——半月形新月形沙丘; 5——成对的新月形沙丘; 6——新月形沙链; 7——巨大的综合新月形沙链; 8——过渡为纵向新月形沙链的综合式的新月形沙丘; 9——具有斜交的鲸鱼脊状的纵向新月形沙链; 10——具有斜交鲸鱼脊状的综合大型的纵向沙链。

是象亚速尔反气旋、亚洲反气旋及澳洲反气旋等大气环流活动中心以及和季风和山地-盆地软风的密切联系。

分析我们编制的非常详细的地形图,可以查明山体障碍对气流绕过山脉的条件的影响,而且也能够指出对未研究过地区的沙子堆积地形的影响的规律性,同时可以查明水域对大气环流的影

响。

分析了我們为中部亚洲編制的沙地地形图后，証明亚洲反气旋的南北向的分风界不是象以前气候学家假設的是在东經 100° 处通过，而是在太平洋季风影响达到的极限即 96° 处通过的。在中亚的山麓地区，所有沙地地形形成的类型均屬热带外沙漠发生的事实，能使我們在无气象站的地区十分准确地描繪出等雨量綫来。沙漠地形图能十分可靠的描繪出气流綫来。

按照由于古代土壤形成作用而得以固定的沙地地形，在卡拉庫姆沙漠中，上新世海洋的海侵界限得到証实。在另一情况下，可以查清因里海海退而产生的反气旋軸的变动数值。我們在中亚和哈薩克斯坦不同地区看到的古老沙丘地形与現代沙丘地形間的角度极不整合（大約相差 20° ），这明显地反映着冰期和冰后期亚洲反气旋的梯度的变化。所以，研究沙漠地貌和制图可以为解决复杂的古地理学問題提供珍貴的材料。

沙漠的航測資料特別能揭示出許多与气流攀繞山体障碍物的規律性。例如，在攀繞高山时，气流于山体的迎风坡常常产生极强的扰动紊流。因此，就可查明在气流攀繞孤立地块时形成的复杂地形集結，即金字塔型地形以及有时有大量鯨魚脊状地形的情形。例如，在克孜耳庫姆沙漠內的布康套山之前就有这种沙漠地形的集結。如果孤立的障碍物具有陡峭的斜坡，則在此障碍物之前产生形成类似巨大新月形沙丘的复杂涡流。例如，在同一的克孜耳庫姆沙漠的島状山塔木登套之前就形成了高大的新月形沙丘。此沙丘两翼的間距有50公里。在庫彼达克山之前也有这种类型的最大沙丘。庫彼达克山的最大高度为3,000米，平均高度为2,000米。这些山地因为北面有陡坡，故使部分北风无力越过山岭，而在受到山岭阻挡之后又反射回来。这样就形成了巨大的影响山前100公里距离的涡流地区。这种統一涡流区的长度有三百五十余公里。

攀繞山体的气流在沿两侧繞过时，立时获得极大的速度和惊人的稳定性。这种情况或导致风蝕槽的形成，或导致几何形規則

的形如波狀鉄板的縱向沙壠的形成。

至于談到背風区，則在背風区的山坡上通常产生強烈的上升气流和下降气流的搅动，而沿山坡的下部及山地的背風坡发展着強大的和稳定的下降气流，成为強烈的吹蝕作用广泛分布的条件。

所以，在山前发生着占优势的并且有时是極強的堆积作用。这种堆积作用有时导致巨厚的吹积沙层的形成。沿山体兩側，風強烈地搬运着沙子（拖曳地带），而在山体之后即山地的背風坡，則以風蝕作用为主。

在山風、平原風、陸風及海風作用区域的沙地地形航空照片的分析，使我們能以新的方法解决我們沒有亲自到过的地区的沙漠地貌的起源問題。

例如，我們觉得，在塔尔沙漠中寻找在过去东西向風被現在南北向風更替的耙狀沙丘的形成原因是徒勞无益的。塔尔沙漠位于印度洋与喜馬拉雅山之間，照我們的意見，其沙地地形完全是由于久已存在的和不改变的季节風交替的結果，一个季节由海洋吹向山地（与山地斜交），另一季节又由山地吹向海洋。在单向風占优势的地方，形成着与这些風平行的縱向沙壠。塔尔沙漠北緣在山風影响下向南移动的沙壠就是如此的。同样，南緣的沙壠在海風的影响下，向北移动。而在塔尔沙漠的中央地区，这两种相反方向的气流互相发生抑止。因此，除了縱向地形要素以外，还有橫向地形单元存在。使地形获得了梳狀的特点，耙齿在北半部向北，而在南半部則向南伸出。由此可見，这个沙漠中一切沙地地形都能很容易地用沙漠內特有的風向的相互作用来解释。

我們在这里不可能具体地說明甚至一个沙漠地貌的空气动力过程的实質，何况闡明世界上如此不同和如此众多的沙漠地貌的起源問題。但是，应当一般地指出，所有為我們分析过的材料都說明以下情况。

1. 沙漠大地形的基本特征，其地質的和地貌的构造及沙子矿物成分的分析都証明，世界上大多数的沙地皆是古老的冲积平原。这些沙地往往与从冰川地区——現代山地地区或古老冰川平原的

冲积沙有非常密切的联系。中欧的德国、波兰,苏联欧洲部分的北部及中部的沙地皆即是由古冰川和冰融水造成的;同样,中亚山前的沙漠是由从高山流下的过境河流造成的。几乎整个长达一千余公里、宽五百多公里的卡拉庫姆沙漠地区均由帕米尔及阿莱山区流下的阿姆河的冲积物造成的。在克孜耳庫姆沙漠内广泛地分布着同一阿姆河的和自天山流下的錫尔河的冲积物。巴尔喀什湖滨的沙地整个地与伊犁河的冲积物有关。塔克拉瑪干沙漠是由发源于天山、帕米尔高原及西藏而流入塔里木盆地所有的河流冲积物造成的。自喜馬拉雅山流下的河流特别是印度河的冲积物形成了塔尔沙漠。

沙漠对高山及冰川地区的依賴是极容易理解的。在这些严寒的高山地区和北方地区,盛行着将岩石一直破坏到沙粒的強烈的机械鳞剥过程。因此,冰层和河流甚至在搬运剥落沙粒方面的作用要远远胜于其制造沙粒的作用。河流向山麓拗陷及其邻近陆台地区盖上一层沙层,而且沙层的厚度竟长达 3,000—4,000 米之巨。

2. 炎热如焚的恶劣沙漠条件因有強烈的大陆性和干燥的气候,同样地促进着岩石破坏作用的进行。有的沙漠常常是依靠季节流水搬运沙粒而形成的。显然,卡拉哈里的广大沙漠地区的大地形也是这样形成的。但是,这样的沙地照例是层次很薄,且所占面积也較小。

3. 鳞剥过程及风成过程在那些河流堆积作用极微的地区也能造成沙漠大地形。中部亚洲的阿拉善沙漠地貌以及撒哈拉广大地区的沙漠地貌等都是这样的。在这些情况下,从沙盖之下經常有島狀的半掩埋的基岩高地露出地表。

4. 大概一切沙漠中,大地形与海洋活动有关的沙漠是最小的。里海的北岸及其东南岸的沙地——实质上是一閉塞荒漠湖泊——是一个典型的例子。此湖的水位好象晴雨表一样非常灵敏地反应着气候变化和地質构造的变化。而这里的沙也是河流搬运来的,只有部分沙才是海洋再沉积作用形成的。

5. 在大地形由于风的前进——即是由于风的吹揚作用,将沙

盖移积于另外沉积物之上而形成的沙漠是一种特殊的情况。在中亚沙漠(卡拉庫姆的沙移积于山麓洪积平原上)和中部亚洲的許多地区以及北非的沙漠中都有这种情况的例子。但是,此海进层仍然不能完全掩盖住先前的大地形。

6. 如我們看見的,风是沙漠地貌(不仅沙漠地貌)的基本創造者。但是,在絕大多数情况下,风能造成的并不是沙漠的大地形,而仅仅是造成它的中地形和微地形,虽然风形成的沙子堆积物常常超过数百米,在风成地形中簡直找不出平坦的地势。

7. 由风造成的沙漠地貌,首先是以风的規律为轉移。风的規律决定于“积极”风即就是速度十分大(超过每秒3米)的风速与頻率的比例关系,这并且要以沙粒能被风吹颺(非雨期和沙粒沒有冻结或掩藏于雪盖之下)为条件。但是,查明“积极”风并非是简单的,因为在冬季极严寒的时候,风常常同时地搬运着沙子和积雪。

8. 植物是沙地地形形成中重要的要素之一,但不象风那样是积极的要素,而只是消极的要素。中亚热带外沙漠中的草被簡直是成千倍地減緩着沙地地形的形成,虽然沒有使它完全停止。所以,無論裸露沙漠和半生草沙漠的沙地地形,通常皆首先依賴于风的規律,其次才以有无草被为轉移,而建造着这种或另一种类型的地形。因此,中亚的和澳洲沙漠的纵向沙壠与撒哈拉沙漠的纵向沙丘相类似,虽然它們也有由植物的消极作用而引起的許多差异。正好一样,乍得湖地区的半生草“死沙丘”,南卡拉庫姆沙漠的横向沙壠,塔尔沙漠的耙状沙丘和塔克拉瑪干、阿拉善、撒哈拉、納米布以及其它沙漠地区的裸露新月形沙鏈,不論在空气动力方面,还是在平面分布方面都是十分相类似的,虽然它們之間也有极本質的如我們已指出的由植物影响引起的某些形态上的差异。

9. 以地带-景观条件为轉移,我們將沙漠內的风成地形形成作用分成三个基本景观类型: 1)在沙漠的裸露沙地上进行的剧烈而普遍的风成地形形成景观类型; 2)在热带外沙漠中的半固定沙地上进行的微弱而普遍的风成地形形成景观类型; 3)在半荒漠地区半固定的沙地上进行的微弱的发源地的风成地形形成的景观类型