

## 塔克拉瑪干沙漠西南地區綠洲附近 沙丘移動的研究\*

朱震達 郭恆文\*\* 吳功成

(中國科學院地理研究所)

### (一)

沙漠地區沙丘的移動,一方面影響着沙漠地區農業和交通的發展,另一方面也反映着沙漠地貌形成發展的現代動態過程。所以沙漠地區沙丘移動的研究,在近二十餘年來成為沙漠地貌研究中的重要課題之一。

對沙丘移動的研究,不能只停滯在一般的定性描述,必須進行數量上的分析,這就要求沙丘移動的研究必須建築在航空相片分析、地面考察和定位觀測試驗相結合的基礎上。目前國外許多關於沙漠地貌研究的文獻對這些都進行了討論。如 R. A. 拜格諾 (Bagnold) 等從風洞實驗所得理論結合野外考察資料探討沙丘移動的機理和移動速度公式的計算<sup>[1]</sup>; J. 芬克爾 (Finkel) 對南美洲秘魯新月形沙丘的研究,從不同時期航空相片分析的量計資料來探討沙丘形態的數量特徵和移動速度<sup>[2]</sup>; 而 A. И. 茲納門斯基 (Знаменский) 等對蘇聯喀拉庫姆東南部沙丘的研究,則是從多年沙丘形態地形測量資料的分析中,研究沙丘形成的機理和移動的特點<sup>[3]</sup>。在我國,沙丘移動的研究,在最近數年來的一些區域性沙漠地貌文獻中雖曾有所提及,但大部分是作一些定性的描述。因此進行沙丘移動的數量研究,對於我國西北地區流沙的治理來說,是具有重要的意義的。

塔克拉瑪干沙漠系我國最大的沙漠,面積為 32.6 萬平方公里,而且絕大部分都是流動沙丘(圖 1)。但在這個沙漠的邊緣,特別是西南緣有許多綠洲,是新疆的主要農業中心。在這些綠洲的附近,流動沙丘不斷的在前移,某些地區已經遭受沙丘移動的威脅(照片 1)、耕地(照片 2)、房屋和道路有被流動沙丘掩埋的危險(照片 3)。因此研究塔克拉瑪干沙漠西南綠洲附近沙丘移動的規律是有着實踐意義的。

關於塔克拉瑪干沙漠沙丘移動問題,在 19 世紀 K. И. 博格達諾維奇 (Богданович) 的考察報告中曾有提及,其後斯文赫定 (Sven Hedin) 在他的沙漠考察報告<sup>[4]</sup>中也曾提及在羅布泊至和田之間的沙漠地區,沙丘在東風和東北風的影響下,向西及西南方向移動;同時又指出,在和田河和葉爾羌河之間的沙丘除了經常受東風、東北風的影響外,在一年中的某些季節里,西風和西北風也占着優勢的地位,並用圖表示出丘頂在兩種風作用下的變

\* 在資料整理過程中吳正同志協助了部分計算,並提供了意見;在野外量測過程中尚有中國科學院地理研究所李錦章、王尤才、李寶光,華東師範大學地理系朱新群、錢濟丰等同志;文中部分資料系根據 1960 年中國科學院地理研究所吳正、朱震達、吳功成、田連權和北京師範大學地理系徐振村、朱國榮等在莎車的觀測所得資料。

\*\* 系陝西師範大學地理系在中國科學院地理研究所進修人員。

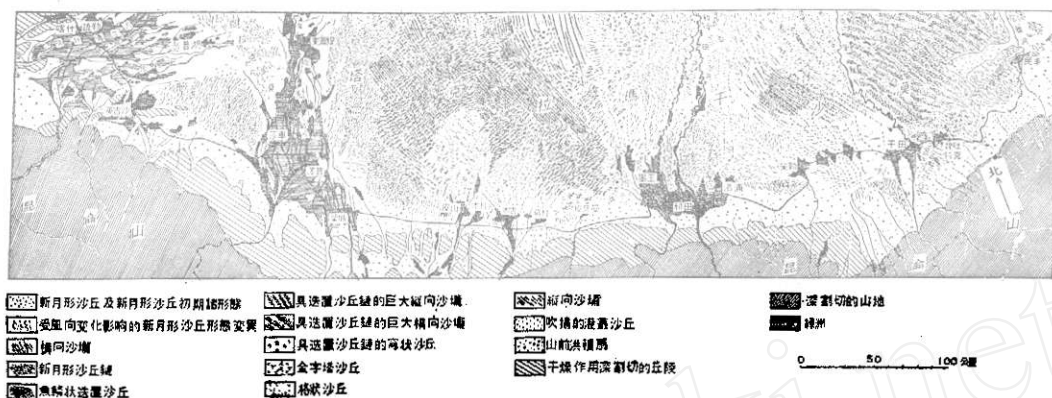


图1 塔克拉瑪干沙漠西南綠洲附近沙丘形态图

化图式。在 В. М. 西尼村(Синицын)的研究中<sup>[5]</sup>,也分析了风和沙丘排列及移动的方向,认为莎车及英吉沙一带的沙丘缓坡向西北,皮山北部沙丘缓坡向北,在靠近麻扎塔格和田河克里雅河之间的地区,沙丘缓坡向东。虽然他们这些资料都说明了塔克拉瑪干沙漠中的沙丘在移动,但是对于这些沙丘移动的速度及其与各种因素之间的关系,还没有很好的阐明。

为了阐明这个地区绿洲附近沙丘移动的程度,我们曾进行了研究。工作方法:一方面是分析各绿洲附近对沙丘移动有关的起沙风风信资料,和对沙丘分布地区的自然条件进行考察;另一方面是在不同类型的地区采用不同时期重复测量和航空相片分析的方法求得各地沙丘移动的年平均速度<sup>1)</sup>。在资料整理时则采用数理统计相关分析的方法,探讨各种因素和沙丘移动速度之间的数量关系,并求出各个地区沙丘移动的程度。但由于这个工作刚开始不久,累积资料也不多,因此很多问题是不成熟的,尚希大家批评指正。

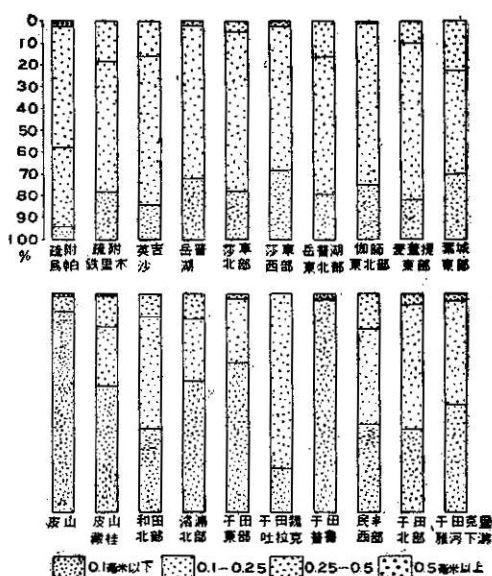


图2 塔克拉瑪干沙漠西南各农垦区附近沙丘沙的粒度组成

## (二)

沙丘的移动主要是风力作用下沙子从沙丘迎风坡吹扬而在背风坡堆积的结果,但并不是所有的风都对沙丘移动起作用,只有能把地表沙子吹扬和搬运的风(一般称之为起沙风),才能算作是对沙丘移动起作用的风。但是风对沙子的吹动和搬运,还决定于沙子颗粒的大小,而塔克拉瑪干

1) 莎车、英吉沙系3年的平均值,皮山系2年的平均值,其他地区为4—5年的平均值。

沙漠西南地区的沙丘沙粒度组成又不一致,因此沙子运动的临界风速值各地并不相同,根据对各绿洲附近沙丘同一部位(丘顶)上沙的粒度分析资料,可以分成为如下几种类型(图2):

1. 以中沙为主的类型:沙子颗粒有50%以上是集中在0.5—0.25毫米的粒级内,如喀什三角洲西部等地。

2. 以细沙为主的类型:沙子颗粒有50%以上是集中在0.25—0.1毫米的粒级内,如喀什三角洲东部叶尔羌河两岸和田河下游沿岸等地。

3. 以粗粉沙为主的类型:沙子颗粒有50%以上是集中在0.1—0.075毫米的粒级内,如皮山的伙什塔克及博斯塔克河下游等地。

表1 不同粒径沙子组成的沙质地面上沙子运动的临界风速值

观测地点	占优势的沙子颗粒粒径(毫米)	沙子起动的临界风速值(米/秒2米高度)
皮山	0.1—0.075	3.6
莎车	0.1—0.25	4.0
疏附	0.25—0.5	4.6

在这种具有不同粒径沙子组成的沙质地表上,根据多次观测的结果,沙子起动的临界风速值如表1所示。

以上数值是在沙漠中流动沙丘地区离地表2米高处所测得,但目前沙漠中研究风沙移动的观测站还不多,因此风信资料不得不借助于沙漠边缘各地的资料<sup>1)</sup>,可是这些风速资料都是在离地面12米左右高处测得,所以在引用时,尚需加以换算,根据计算的结果<sup>2)</sup>,它们之间的关系为:

$$u_{12} = 1.34u_2$$

据此可以算出不同粒径沙子组成地区12米高度时的沙子起动临界风速值为:

喀什三角洲西部地区: 6.2 米/秒

和田河下游及叶尔羌河沿岸地区: 5.4 米/秒

皮山伙什塔克博斯塔克河下游地区: 4.8 米/秒

因此,在分析各地起沙风和沙丘移动关系时,不能笼统的用一个起沙风临界风速值,而是应该根据不同粒径条件下的起动风速值来进行分析。

根据塔克拉玛干沙漠西南各个不同粒径地区起沙风分析的结果,对沙丘移动起显著作用的风信情况可以划分为下列两种基本的风信图式:

1. 单向风图式:所谓单向风图式,是指对该地沙丘移动起决定性作用的起沙风只有一组,其它方向风的作用不很显著,反映在起沙风运行途径的方向线上比较平直,曲折不大(图3),如莎车、皮山等地都以西偏北风为主。

2. 多方向风图式:所谓多方向风图式,是指对沙丘移动起显著作用的起沙风除了一组主要方向风以外,还有着与主风风向不相一致的其他方向的风同样影响着沙丘的移动,因

1) 由于沙漠地区的气象站均位于沙漠边缘的绿洲内,而绿洲内由于护田林的屏障作用,其风速与绿洲外的风速略有差异。同时各气象站的资料都系一天四次的定时观测,并不是连续记录风的活动情况,因此在利用气象站风信资料分析沙丘移动时,仅能作风向和沙丘移动方向之间的说明,而不能作风速和沙丘移动速度之间定量的计算。

2) 系吴正同志根据 Д. Л. 拉依赫特曼(Лайхтман)公式  $u_z = \frac{\ln z - \ln z_0}{\ln 2 - \ln z_0} u_2$  计算所得,式中  $u_z$  为2米以上任意高度的风速, $z$  为2米以上的任意高度, $u_2$  为2米高度上的风速, $z_0$  为地面粗糙度。

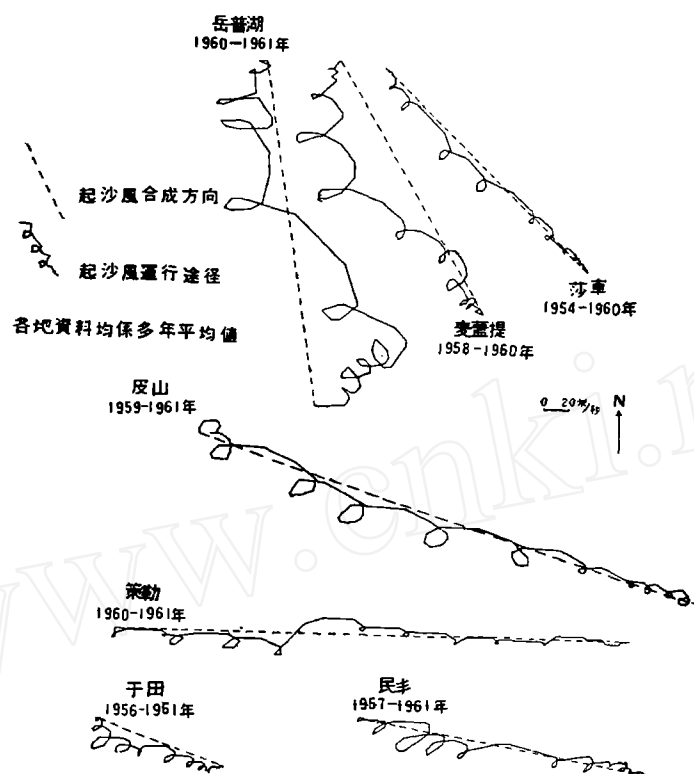


图3 塔克拉玛干沙漠西南绿洲附近起沙风运行途径及合成风向图

此在起沙风运行途径的图式上,运动方向线比较曲折,变化很大(图3),如于田和民丰,位于塔里木盆地东北风及西北风两大风系的幅合处,同时又受到来自昆仑山局部气流的影响,因此沙丘移动除了受西北风的影响外,东北风及西南风的影响也很显著。在叶城,沙丘的移动一方面受西北风作用,另一方面又受来自叶尔羌河及提土纳夫河谷地西南风的影响。而在岳普湖、麦盖提等地,沙丘的移动则受西北风和东北风的影响。

上述这种不同的风信情况对于各绿洲附近沙丘的排列方向和移动速度都有很大的影响。

1. 在沙丘排列方向方面:根据各绿洲附近起沙风资料和邻近地区沙丘形态对比分析的结果,表明沙丘排列总方向(可以沙丘迎风坡的方位角来表示)是和起沙风合成风向大体相一致(表2),但有一角度存在(图4),不过角度的大小是和起沙风风信情况的复杂程度有关,在起沙风风信情况较为单一的地区,优势方向的风对沙丘运动起着决定性的作用,沙丘形态在绝大部分时间内都和优势方向风相适应(当沙丘迎风坡方向和优势方向风

表2 塔克拉玛干沙漠西南起沙风合成方向和沙丘移动排列的关系

地 点	策勒	岳普湖	麦盖提	莎车	皮山	和田	于田	民丰
起沙风合成方向	271°	352°	330°	316°	288°	283°	291°	281°
沙丘排列总方向	277°	337°	315°	312°	291°	289°	301°	272°

注:方向均以方位角表示。

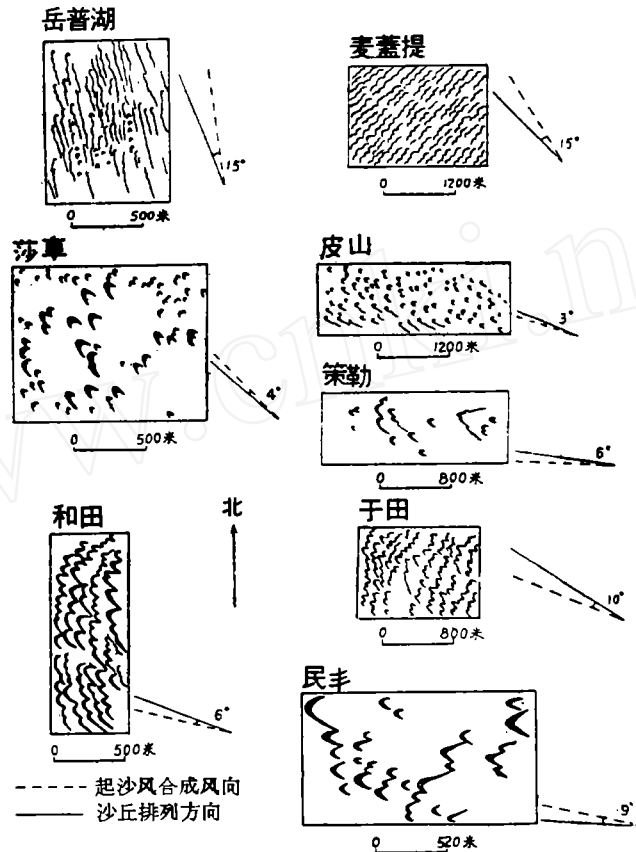


图4 起沙风的合成风向和沙丘排列方向的关系

相一致时称之为风信和沙丘形态相适应,反之当优势方向风作用下的沙丘形态又受另一次风向作用时,那么就会产生沙丘迎风坡方向和次风向之间不相一致的情况,称之为风信和沙丘形态不相适应),其他方向风的作用不很显著,因此在优势方向风和起沙风合成风向之间的一致程度较为紧密,甚至方向完全一致,如莎车的优势方向起沙风为西北风,占全年起沙风总风速71%左右,而起沙风合成方向也为西北,它们之间的一致性较好,所以沙丘排列方向和起沙风合成方向之间的角度不大。而在起沙风风信情况复杂的地区,由于对沙丘运动起作用的风不止一个,而是有二个或三个,因而起沙风的合成风向并不完全和其中风力较大的一种起沙风风向相一致,而是变化较大,如麦盖提虽然东北方向的起沙风占了年起沙风风速总值的18.7%,但它还受西北风(占17%)和西北西风(占14.6%)的影响。所以起沙风的合成风向都不和上述三种方向风相吻合,而是成北北西的方向;也正是由于风向的复杂,沙丘形态适应于每种起沙风的时间差也较大,因此也就反映在沙丘排列方向和起沙风合成方向之间的角度就较单向风为主的地区为大。

根据上述沙丘排列方向和起沙风合成风向之间的关系及沙丘迎风坡落沙坡的方位,可以看出沙丘移动的方向在叶尔羌河两岸诸绿洲附近是自西北向东南方向移动,在塔克拉玛干沙漠西南边缘诸绿洲附近是自西北西向东南东方向移动,而在民丰尼雅河下游及

于田克里雅河下游一带的沙丘是自东北向西南移动<sup>1)</sup>。

2. 在沙丘移动的速度方面：根据观测资料表明，风要使沙丘前移，一定要把沙丘塑造成有利于它作用的形态，即沙丘的迎风坡和风向相一致；而在单向风为主的地区，由于沙丘形态基本上和优势方向风相符合，所以每次起沙风大都能推动其前移，但在多方向风作用的地区，由于风的能量大部分消耗在适应于每种风向作用的形态塑造上(图 5)，实际用于前移方面并不多，因此推动沙丘前移的有效起沙风风速在年起沙风风速总值中所占的比例较小，正是如此，同一类型的沙丘在不同的风信情况下，其前移值有着显著的差异(表 3)。

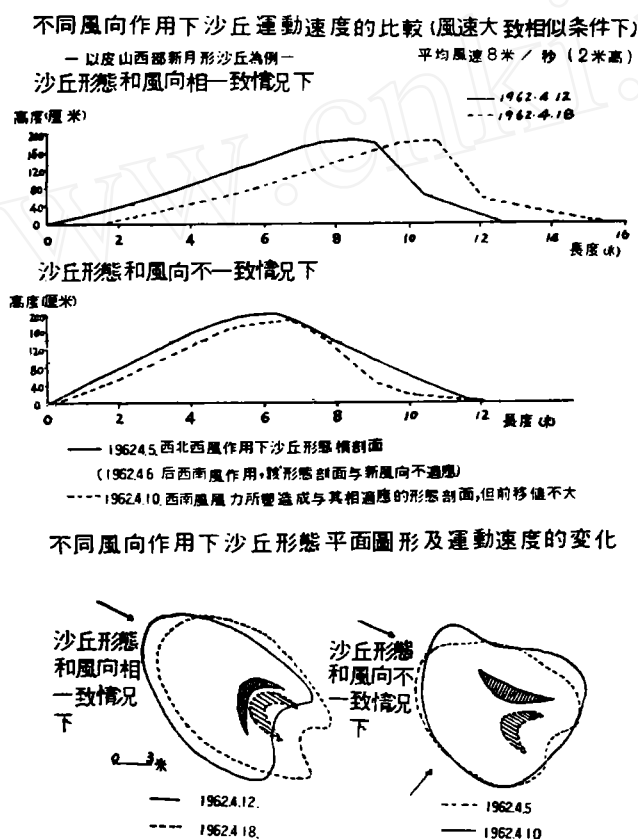


图 5

至于沙丘移动的时间，一般多集中在 3—7 月，其前移值占全年前移值的 70% 左右(表 4)，这是因为在这段时间起沙风风速占年起沙风风速总值的 70%—80%，所以在这段时间沙丘对农业及道路的危害也最大。

1) 整个塔克拉玛干沙漠沙丘的移动方向，可以分为两个区，在伽师强孜—民丰沙吾宰克一线的东北，也即整个沙漠 2/3 面积的地区，沙丘移动主要是在东北风作用下，向西南移动；该线西南也即整个沙漠 1/3 面积的地区，沙丘移动主要是在西北风作用下，向东南移动。由于这两种风在行进过程中风力大小是逐渐变化的，在地域分布上也是渐变的。因此两者之间交汇带不是单纯一条线，而是一个相当宽的过渡带。

表 3 不同风信情况下各种不同高度沙丘前移速度的比较

沙丘类型	沙丘分布的地面性质	沙丘高度(米)	年前移速度(米)	
			多方向风地区 (民丰西南)	单向风为主的地区 (墨玉西南)
新月形沙丘	裸露平坦的沙砾地面	2.0	7.8	27.6
		2.5	7.5	23.6
		3.0	7.1	19.7
		3.5	6.8	15.7

表 4 塔克拉玛干沙漠西南若干地区风季时期沙丘前移值占年前移速度的百分比

地 点	风季时期起沙风占全年起沙风的 %	风季时期沙丘前移值占全年沙丘前移值的 %
英 吉 沙	83.5	60—70
皮 山	68.2	64—74
莎 车	69.3	78—81

由上可见,风和沙丘移动之间存在着密切的相关,这是因为沙丘的移动是通过丘表沙子的它移来实现的。较大的风速一方面加快了丘表沙子颗粒运动的速度,另一方面风速的增大,加大了上升力,使沙子进入气流中的数量加多,而输沙量的多少,又和沙丘前移速度有关。根据 R. A. 拜格诺的实验研究<sup>[6]</sup>,认为输沙率和  $V^*$  的三次方成正比,或和风速超过沙粒开始运动的定常起动速度部分的三次方成正比,而沙丘的前移速度则与通过陡峭落沙坡的输沙率成正比。根据我们在皮山西南裸露平坦沙砾地表 1 米高新月形沙丘上半定位观测所得的资料,它们之间的关系有如下式所示:

风速和通过丘顶气流中的输沙量关系:

$$Q = 0.4189V^{1.36}r = 0.81,$$

风速和沙丘背风坡坡麓前移值的关系:

$$D = 0.05754V^{2.47}r = 0.98 \text{ (图 6)}。$$

为什么观测所得数值和实验研究所得数值有着差异呢? 这是因为我们观测含沙量的仪器只能收集离地面 10 厘米高程内的沙子,因此当风速增大时,含沙量的分布高程往往超过 10 厘米高。另一方面,在风洞实验中气流运行正常,而在野外干扰较大;集沙仪的装置又是固定,不能随着风向的局部改变而变化,所以观测的数值和实验所得数值有着差异。

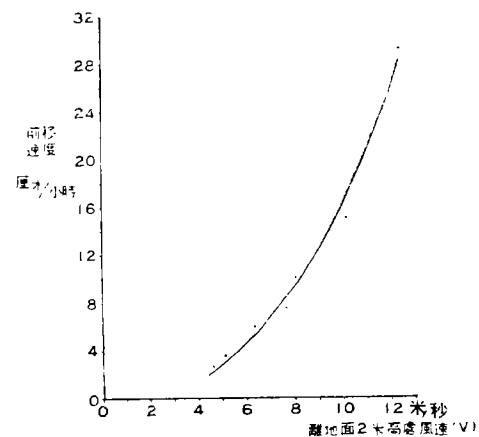


图 6 风速和沙丘移动的关系

### (三)

沙丘的移动虽然以风的影响为最主要,然而在同一风信情况下,沙丘移动的速度又有显著的差异,这种差异乃是由于下列诸因素所引起:

1. 沙丘本身组成物质粗细的影响: 如墨玉西南与皮山西南都系西北西风作用下的新月形沙丘,风信情况也大致相似(皮山年起沙风平均风速为 5 米/秒,墨玉为 5.1 米/秒),

但因两地沙丘組成物質的差異,在皮山沙丘沙的顆粒組成有 70% 以上是介于 0.1—0.075 毫米之間,而墨玉西南的沙丘則有 50% 以上的顆粒是在 0.25—0.1 毫米之間,所以分布在同样性質地面(山前洪积扇)上同样类型同样高度的沙丘,其年前移值并不相同(表 5)。其原因即由于較細的顆粒比粗的顆粒更易为风力所吹揚搬运(表 6),而沙丘的移动正是通过沙子的运动来体现的,所以較細顆粒所組成的沙丘就比較粗顆粒所組成的沙丘移动得快。

表 5 沙丘沙的顆粒組成和沙丘移动速度的关系

沙丘类型	沙丘分布的地面性質	沙丘高度(米)	沙丘年前移速度(米)	
			墨玉西南(沙子粒徑以 0.1—0.25 毫米为主)	皮山西南(沙子粒徑以 0.1—0.075 毫米为主)
新月形沙丘	裸露平坦的沙砾地面	0.8	37.1	61.4
		0.9	36.3	56.9
		1.0	35.5	52.5
		1.1	34.7	48.0
		1.2	33.9	43.6
		1.3	33.1	39.1
		1.4	32.3	34.7

表 6 不同粒徑沙子起动的临界风速值(以莎車布古里沙漠东南为例)

沙子粒徑(毫米)	0.1—0.25	0.25—0.5	0.5—1.0	1.0—2.0
起动风速值米/秒(2 米高)	4.0	5.6	6.7	7.1

2. 植物被复情况: 植被的有无,也是影响沙丘移动速度大小的因素,这是因为植物分布的密集,它不仅削弱了来自沙丘前方近地面的气流速度,同时也減少了来自沙丘前方气流中的含沙量(表 7),而沙丘的前移,誠如前面所提及的,是与风速和通过丘頂气流中的含沙量多少有关,因此具有植物被复的沙丘就比裸露的沙丘移动为慢。正是如此,和田洛浦綠洲北部的新月形沙丘鏈就比同一风信情况下莎車西部布古里沙漠中的新月形沙丘鏈为慢(表 8)。

表 7 植物被复对沙丘表面风速和含沙量变化的影响  
(以莎車西部亚粘土及沙土地面上的沙丘为例)

沙丘类型	沙丘頂部各个不同高度风速的变化米/秒			通过丘頂气流中含沙量克/分/10 立方厘米
	2 米高	50 厘米高	20 厘米高	
迎风坡生长有白刺的灌丛沙丘, 植物被复度为 60%, 丘頂及背风坡裸露	9.0	5.4	3.9	0.204
裸露的流动沙丘(新月形沙丘)	9.0	7.3	6.5	2.033

此外,沙丘沙的湿润情况对沙丘移动速度的減緩也有影响,因为沙子在湿润的情况下,能增加它的粘滯性,加强沙子的团聚作用,因而也就要求沙子起动风速值增加。根据格恩惹尔(Гензал)的观测資料<sup>[7]</sup>,它們之間的关系有如表 9 所示。



表 8 植被复盖对不同高度沙丘移动速度的影响

沙丘类型	沙丘分布的下伏地面	沙丘沙的粒度组成	沙丘高度(米)	沙丘年前移值(米)	
				迎风坡前具有芦苇和柳分布的沙丘	无植物被复的沙丘
				和田洛浦绿洲北部	莎车绿洲西部
新月形沙丘链	具有亚粘土的沙土平原	以0.1—0.25毫米为主	2	6.9	8.7
			3	4.6	7.3
			4	3.2	6.2
			5	2.1	5.2
			6	1.4	4.4

表 9 沙子含水率与起动风速的关系(根据 Гензал 的资料)

沙子颗粒粒径(毫米)	不同含水条件下搬运石英沙的风速值(米/秒)				
	干燥状态	含 水 率 %			
		1	2	3	4
2.0—1.0	9.0	10.8	12.0	—	—
1.0—0.5	6.0	7.0	9.5	12.0	—
0.5—0.25	4.8	5.8	7.5	12.0	—
0.25—0.175	3.8	4.6	6.0	10.5	12.0

可见在沙子湿润的情况下,沙丘移动值就比干沙情况下为小。

#### (四)

由上可以看出,在风信情况相同的条件下,如若沙子机械组成、植被及沙子湿润情况等存在着差异,那么各地沙丘移动速度也大不相同,但在同一风信、同一性质地面的条件(指沙子机械组成、湿润情况及植物被复程度等)下,沙丘的前移速度仍有差异,这种差异乃是受沙丘本身形态发育规模大小的影响,而形态发育规模的大小可以用沙丘长度( $L$ )、宽度( $W$ )、高度( $H$ )三个形态示量指标来加以表示,根据若干典型地区实测的结果,它们相互之间成直线相关,其回归方程如下(图 7):

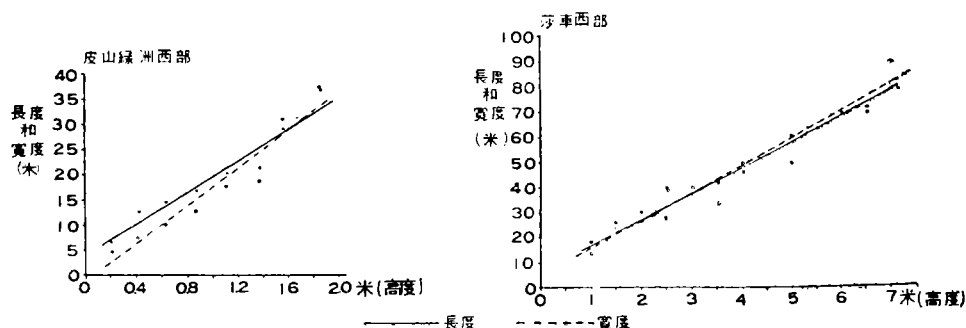


图 7 塔克拉玛干沙漠西南农垦区附近新月形沙丘及沙丘链形态示量三要素之间的相互关系

在皮山西南裸露平坦沙砾地面上的新月形沙丘为:

$$L = 15.84H + 3.8, \quad r = 0.99,$$

$$W = 18.82H - 1.38, \quad r = 0.96;$$

在莎車布古里沙漠东南具有亚粘土的沙土平原上的新月形沙丘为:

$$L = 6.5 + 10.4H, \quad r = 0.97,$$

$$W = 4.6 + 11.2H, \quad r = 0.97.$$

由于沙丘形态规模三示量指标之間成直綫相关, 因此我們可以利用这些示量指标中的任何一个指标作为沙丘形态发育規模的代表, 分析它和沙丘前移速度之間的关系。以高度为例, 得出两者之間是成反比相关<sup>1)</sup>, 但其相关程度仍有局部的地区差异, 这种差异和沙丘本身形态特征有关。

1) 对于分布在植被稀疏、平坦地面上的单个新月沙丘及弧形体連接不多的新月形沙丘鏈來說(图 8), 不論是低矮的或者是高大的, 其高度和前移速度之間是成直綫相关, 相关程度很好, 一般都在 0.9 以上, 以民丰西南裸露平坦沙砾地面上的新月形沙丘(高度在 2—6 米之間)为例, 它們之間的关系为:

$$D(\text{沙丘年平均前移速度}) = 9.20 - 0.69H, \quad r = 0.94;$$

而在莎車布古里沙漠东南裸露平坦沙砾地面上高大(8—14 米)的新月形沙丘, 其  $D$  与  $H$  之間也遵循着直綫相关的規律, 其迴归方程为:

$$D = 12.33 - 0.78H, \quad r = 0.98。$$

2) 对于分布在沙土平原上丘体橫向延伸較长、密集的新月形沙丘鏈及迭置沙丘鏈复合体(照片 4)來說, 高度和前移速度之間的关系虽也成直綫反比相关, 但相关程度較差, 相关系数一般在 0.79—0.9 之間(图 8), 这是因为渗入了沙丘密度和沙丘长度影响的緣故, 以皮山綠洲西北部为例, 它們之間的关系为:

$$D = 9.6 - 0.41H, \quad r = 0.82。$$

由于在同一自然条件下不同大小的沙丘前移速度的差异, 因此在密集沙丘地段往往发生沙丘形态平面配置和廓形的变化(图 9), 以皮山西部裸露平坦沙砾地面上的新月形沙丘为例, 这种变化表现在:

1. 沙丘相互之間距离值的改变, 这从不同时期沙丘形态平面图形的变化中可以看出: 在 1961 年 5 月 7 日五号沙丘与八号沙丘相距为 48 米, 但由于两者前移值的差异, 五号沙丘大于八号沙丘, 因而使两者之間距离縮短, 至 1962 年 7 月 30 日, 間距減至 27 米; 以上是属于大沙丘排列在小沙丘前方的情况下。反之如若后方沙丘体积較大, 而前方沙丘較小, 那么不断前移的結果, 会使两者相互間的距离愈来愈远(表 10)。不仅如此, 而且在表 11 中又可看出: 如若沙丘相互之間的形态規模示量指标值相差愈大, 那么相互間的距离差也随着沙丘不断前移而愈来愈大; 反之如若沙丘相互間形态規模示量数值相差不大, 那么相互間距离差也不很大。

2. 由于沙丘不断前移, 使大小沙丘相互間距离改变的結果, 所以当后方低矮沙丘到达

1) 关于沙丘移动速度和高度之間的关系, 在前人的研究中, 如 R. A. 拜格諾 (1941), H. J. L. 皮德奈尔 (Beadnell, 1910), Б. П. 奥尔洛夫 (Орлов, 1938), М. П. 彼得洛夫 (Петров, 1939) 及 А. И. 茲納門斯基 (1942) 等, 曾先后提及沙丘前移值与沙丘陡峻落沙坡高度之間成一反比的想法。

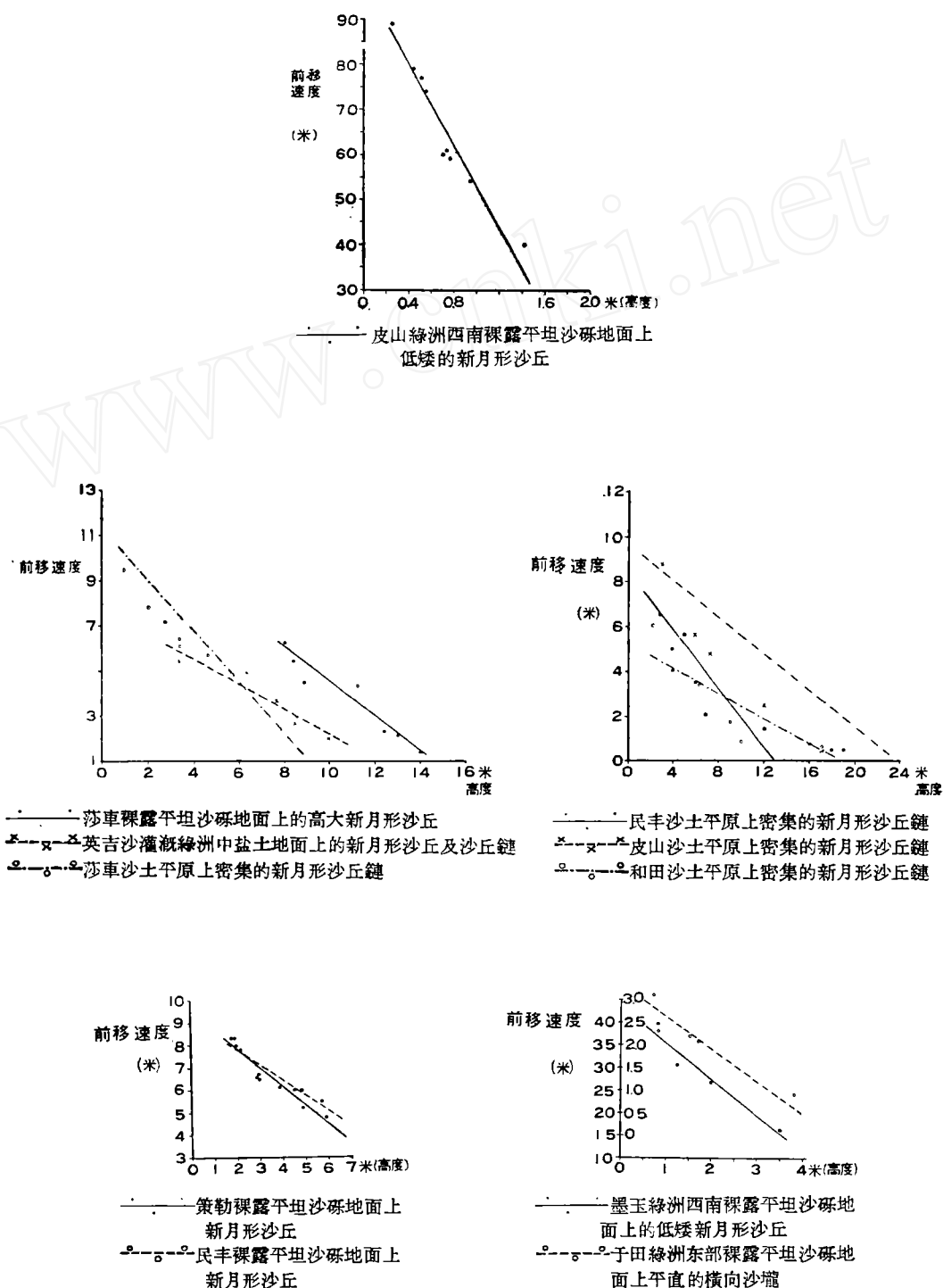


图 8 塔克拉玛干沙漠西南各主要农垦区附近沙丘前移值和高度的关系



表 10 不同时期沙丘相互之间的距离变化(以皮山西南典型地区为例)

沙丘编号	不同时期沙丘相互间距离的变化(米)		
	1961年5月7日	1962年4月2日	1962年7月30日
V号与VIII号	48	42	27.0
VI号与VIII号	30	25.5	12.0
VII号与XI号	27	21.6	19.5
V号与VII号	36	48.0	54.9

表 11 沙丘相互之间形态规模示量指标值的差与沙丘前移相互间距离差的关系  
(以皮山西南典型地区为例)

沙丘编号	沙丘相互间形态示量值的差(米)			1961年5月至1962年7月沙丘相互间距离差(米)
	L	W	H	
五号与八号	6.9	9.0	0.66	21
六号与八号	5.7	6.6	0.42	18
七号与十一号	2.7	0.9	0.33	7.5

前方高大沙丘时便发生相互连接的现象,从而产生沙丘形态平面廓形的变化,如八号沙丘原系一孤立的新月形沙丘,但因其前移值小于其后方的小沙丘,为它所赶上并与之相连,形成新月形沙丘链,由于相连的结果,扩大了沙丘的体积,从而更延缓了其前移值,因此又为后方另一小新月形沙丘所赶上,并与之相连,所以目前的八号沙丘实际上乃系三个大小不同的沙丘相互合并而成。其附近九号沙丘的形成,也具有类似的情况。所以在同一风信同一性质地面的条件下会出现多种的沙丘形态。

### (五)

综上所述,可以看出影响沙丘移动速度大小的因素是很复杂的,包括了风向、风速、气流中的含沙量、沙子的机械组成、植被复盖程度、沙子湿润情况和沙丘本身形态规模的大小等等,因此要建立一个沙丘移动速度的计算公式,必须要全面考虑上述这些因素,但是这个公式的建立是要建筑在长时期大量观测资料的基础上,而在目前尚未得出这一个公式以前,沙丘移动速度的计算,可以借助于它和沙丘高度之间的关系来求得。如前所述,在同一风信同一性质地面条件下,沙丘本身高度的大小对沙丘前移速度的影响最为显著。因此利用它们之间相关的回归方程可以求出塔克拉玛干沙漠西南各绿洲附近不同风信不同自然条件下各个不同高度沙丘的年前移速度。

计算的結果,各绿洲附近沙丘移动的回归方程有如下所列:

1) 以西偏北风为主的地区:

a. 裸露平坦沙砾地表上的新月形沙丘及沙丘链:

$$D = 97.1 - 44.6H, \quad r = 0.96 \text{ (皮山西南);}$$

$$D = 43.39 - 7.9H, \quad r = 0.97 \text{ (墨玉西南);}$$

$$D = 12.33 - 0.78H, \quad r = 0.97 \text{ (莎车西部)。}$$

b. 綠洲中盐土地面上的新月形沙丘及沙丘鏈:

$$D = 7.8 - 0.56H, \quad r = 0.95 \text{ (英吉沙北部)}。$$

c. 沙土平原上密集的新月形沙丘鏈:

$$D = 11.18 - 1.12H, \quad r = 0.79 \text{ (莎車西部)};$$

$$D = 5.28 - 0.28H, \quad r = 0.89 \text{ (和田北部)};$$

$$D = 9.6 - 0.41H, \quad r = 0.82 \text{ (皮山西北)}。$$

2) 以西风为主并受西南风影响的地区:

裸露平坦沙砾地面上的新月形沙丘:

$$D = 9.5 - 0.83H, \quad r = 0.96 \text{ (策勒西南)}。$$

3) 以西风为主并受东北风西南风影响的地区:

a. 裸露平坦沙砾地面上的新月形沙丘及沙丘鏈:

$$D = 9.20 - 0.69H, \quad r = 0.94 \text{ (民丰西南)}。$$

b. 裸露平坦沙砾地面上的沙壠:

$$D = 3.34 - 0.72H, \quad r = 0.92 \text{ (于田东部)}。$$

c. 沙土平原上密集的新月形沙丘鏈:

$$D = 8.3 - 0.64H, \quad r = 0.90 \text{ (民丰西北)}。$$

按照上述方程求出各地不同高度的沙丘年前移速度有如图 8 所示。

高度既然是同一风信同一性质地面情况下影响沙丘前移速度大小的主要因素, 然而沙丘的高度在各綠洲附近又不完全一致, 具有各种不同的高度, 不过在分布的数量上是不相等的, 往往在一个地区有很大一部分沙丘是比较集中在某一个高度范围内 (图 10), 如

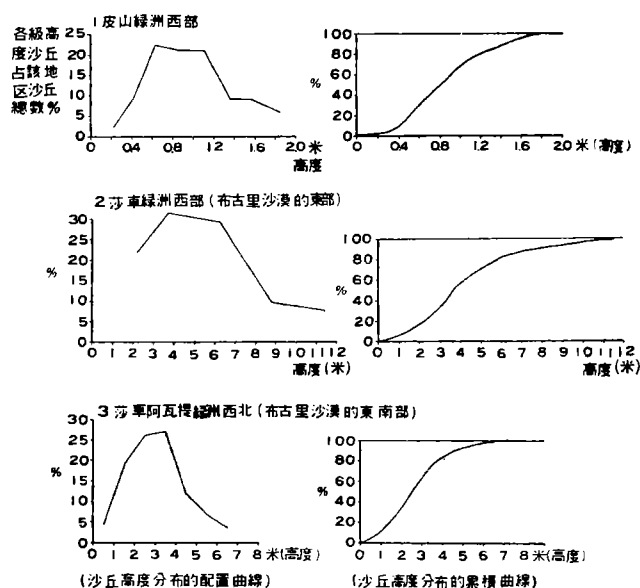


图 10 塔克拉玛干沙漠西南农垦区附近沙丘高度的变化(以皮山、莎車为例)

1) 民丰及英吉沙两地的迴归方程系吳正同志所計算。

莎車西部布古里沙漠东南的沙丘大部集中在 3—8 米范围内,占該地区沙丘总数 61%,皮山綠洲西南的沙丘則大部集中在 0.5—1.3 米范围内,占該地区沙丘总数的 65%,因此可以利用各地沙丘移动速度計算的迴归方程,求出各地分布面积最广泛的該級高度范围内的沙丘年平均前移速度,作为各地沙丘移动強度的指标。据此进行各地沙丘年平均前移速度計算的結果,可以将塔克拉玛干沙漠西南綠洲附近的沙丘划分为如下几种移动強度的类型。

1. 慢的类型:平均年前移值在 1 米以下,如于田、民丰之間和民丰以东的巨大金字塔沙丘(照片 5)和复合形沙丘鏈等,策勒、洛浦之間及皮山以北的复合形沙丘鏈也属于本类型。

2. 中等的类型:平均年前移值在 1.1—4 米之間,如民丰西部,于田东部、玉隴喀什及喀拉喀什两河沿岸等地。

3. 快的类型:平均年前移值在 4.1—10 米之間,如皮山西部,木桂、木吉諸綠洲附近,墨玉西部、莎車西部及策勒、民丰的西南等。

4. 很快的类型:平均年前移值在 10 米以上,甚至可达 50 米以上,如叶城經皮山至皮牙曼綠洲之間山前洪积扇上的新月形沙丘,及其发育初期的餅状沙丘、盾状沙丘等。

由上可以看出塔克拉玛干沙漠西南綠洲附近沙丘移动的強度,大致以皮山一带为最大,莎車、和田、洛浦、墨玉等地次之,于田、民丰又次之,而这种強度类型的划分在生产实践上可为各地流沙治理程序的先后作为参考。

(本稿收到日期为 1963 年 5 月 17 日)

## 参 考 文 献

- [1] R. A. 拜格諾: 风沙和荒漠沙丘物理学, 科学出版社, 1959, 191—204 頁。
- [2] Herman J. Finkel: The barchans of Southern Peru, The journal of geology Vol. 67 No. 6, 1959, p. 628—631.
- [3] A. И. 茲納門斯基: 論新月形沙丘沙壠的形成机制, 沙漠地貌的起源及其研究方法譯文集, 科学出版社, 1962, 104—109 頁。
- [4] Sven Hedin: A journey through the Takla-makah desert Chinese Turkistan, The geographical journal, Vol. VIII No. 4, 1896, p. 361, p. 367.
- [5] В. М. Силицын: Северо-Западная часть Таримского бассейна Изд. АН СССР М. 1957, p. 207.
- [6] 同参考文献 [1], p. 65, p. 187.
- [7] П. И. Фадеев: Пески СССР, часть 1, издательство Московского университета, 1951, p. 71.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ДЮН ОКРЕСТНОСТЕЙ ОАЗИСОВ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПУСТЫНИ ТАКЛА-МАКАН

Чжу Чжэнь-да, Го Хэн-вэнь и У Гун-жэнь

(Институт географии АН Китая)

### Резюме

В Таримской впадине расположены огромные подвижные песчаные массивы-Такламакан, передвижение которых наносит большой вред народному хозяйству района. Передвигаясь, пески засыпают плодородные поля и ирригационные сооружения, создают угрозу для населенных пунктов. Таким образом, исследование передвижения дюн имеет практическое значение.

По данным наблюдения станции и анализу аэроснимков можно прийти к следующим выводам:

1. Передвижение дюн происходит в результате выдувания песка с поверхности наветренного склона и накопления его на подветренном склоне. Интенсивность передвижения дюн обуславливается силой и направлением активных ветров, механическим составом песка, количеством песка в потоке воздуха, степенью увлажнения песка и степенью зарастания растительностью.

2. В условии однообразного ландшафта, масса дюн оказывает важное влияние на скорость передвижения дюн. Наблюдения показывают, что скорость передвижения дюн обратно пропорциональна ее массе.

3. Направление передвижения дюн зависит от составляющего направления активного ветра, но между ними существует угол отклонения, величина угла зависит от сложности режима активного ветра, в сложном случае угол отклонения больше, а в простом случае угол отклонения меньше.

4. По скорости передвижения дюн можно выделить следующие типы интенсивности движения дюн:

- 1) медленный  $< 1$  м/год
- 2) средний 1,1—4,0 м/год
- 3) быстрый 4,1—10 м/год
- 4) более быстрый  $> 10,1$  м/год.