

中国科学院治沙队第一次学术报告会文件

沙漠成因类型及风沙移动特点总结*

中国科学院治沙队风沙移动组

执笔人 楼桐茂(中国科学院兰州分院地理室)

一、沙漠的形成

我国沙漠绝大部分分布于西北和内蒙干旱地区,主要有新疆的塔里木沙漠和准噶尔沙漠,青海的柴达木沙漠,内蒙巴盟的阿拉善沙漠,伊盟的鄂尔多斯沙漠和锡盟的小腾木里里沙漠。它们的面积约占全国总面积的11%,估计为16亿亩左右。

这些沙漠与苏联中亚大沙漠及蒙古戈壁沙漠相连,并且大部分和阿拉伯沙漠及北非撒哈拉沙漠位于同一纬度带上,即大约在北纬 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之间。从全球气压分布的形势看,这是属于北半球的副热带高压带,这儿气流系从高而低移动,天气比较稳定,空气干燥,雨量极少,故而植被生长困难,容易造成沙漠。但在这纬度带内的地区并非到处是沙漠,其在我国东南部分是温暖湿润,农产丰富的地区;接近大西洋的西欧,雨量亦很充沛,到了中央亚细亚始形成里海、碱海和我国西北各大沙漠。这就表明,沙漠的形成,除了纬度关系外,还受着海陆分布的影响,亦即是距海洋远的地区,大气水分缺乏,降雨量稀少,沙漠才易造成。此外,和地势起伏亦有关系。西北和内蒙地区因有康庄高层和秦岭、六盘、太行及大兴安岭等高山环绕,湿润海风难以深入,亦增加了气候的干燥程度。亚洲内陆的沙漠分布范围远比同纬度的北非北美为广,超出北纬 40° 以外,实与地形有关。

西北各大沙漠的形成,不单纯受自然因素的影响,社会经济因素亦有关系。由于人们无计划的垦荒和过度放牧,因而严重地造成流沙危害,埋压农田,破坏村落,如楼兰古城是古代南疆的一大绿洲,由于风沙侵袭,致成废墟。象这种实例在历史上恐怕是很多的。

二、沙丘的基本类型

关于砂丘的分类,可以从不同的角度来进行。可以从它的形态特征来分,可以从它的形态示量指标来分,亦可从它的流动性来分。但考虑到治沙规划和措施配置的要求,我们认为以采用综合分类原则为佳。即是,先根据砂丘的下伏地貌条件划分第一级(类);再根据砂丘的活动程度划分第二级(亚类);然后根据砂丘形态划分第三级(型)。这样,愈分愈细,可以划成许多不同形态的砂丘。但其中最基本的可以分成以下四个类型:

* 参加本文编写的有:中国科学院地理研究所苗毓维、朱震达、陈永宗、吴正、谭见安、吴功成,中国科学院兰州分院地理室楼桐茂、王志超、杜榕桓,兰州大学陈林芳,中国科学院治沙队马载涛、彭思均、蒋蕴渠、王允才,中国科学院河北分院地理室郭合书,华东师范大学郭蓄民,吉林师范大学周万福,北京大学徐俊名,中国科学院综合考察委员会郭绍礼,西安师范大学刘胤汉,甘肃师范大学黄可光。

1. 新月形砂丘：一般在地面相当平坦气流含沙不十分丰富的情况下发生形成。迎风坡緩斜，背风坡陡急，一般高度不大，但移动最快，其移动方向視主导风向为轉移。如果沙源不断增多，砂丘体积增大，可互相連接成新月形砂丘鏈。此时移动速度随之降低。

这种类型的砂丘，主要見于各沙漠区的边緣，特別是农牧毗連的地带和綠洲中，如榆林、銀川、民勤等地。

2. 砂壠：多系順主风方向或合成风向发展延伸而成。一般具长条状形态，兩側斜坡比較对称，高度不大，移动較慢。据野外观察，砂壠似非为原生形态，而是由新月形砂丘或砂堆演变而来。在平坦地面上，新月形砂丘若在次主风或合成风的长期作用下，丘的右翼將順着气流运动方向逐漸延伸，使砂丘成魚鈎状，其延伸特长的部分則成为狭长的砂壠。此外，由于位在主要气流綫上的成羣的草灌丛沙堆，經风力吹蝕和堆积作用亦可互相接連，形成砂壠，有时状如串珠，如在准噶尔东南部所見；有时状如低崗，如在內蒙小騰格里所見。

3. 沙堆：多分布于水分条件較好、植物生长較佳的地方，系在风力吹揚作用下沙粒遇植物阻碍发生堆积而形成。沙堆密集时，地面累累如坟墓。惟高度不大，白刺堆一般高1~3米；紅柳沙堆一般高5~10米，最高可达30米，如在塔里木河下游阿拉干附近。

4. 沙山：这是一种綜合形态的大砂丘，由許多峰窩状新月形沙丘鏈所組成。一般高度在100米以上，最高的可达400米左右，如同高山一样，故称之为沙山，山的走向大致与主风相垂直，迎风坡緩而长，背风坡陡而短，但其上部兩側坡几近对称。近风坡上发育有一系列的峰窩状新月形砂丘鏈，背风坡亦常有小片沙丘出現，惟因受局部地形影响，风向不同，故砂丘鏈的排列和移动方向亦不一样。

这种沙山类型的砂丘主要見于內蒙巴丹吉林沙漠和新疆塔克拉馬干沙漠的中部，其生成与下伏波状地面形态有关。

以上四种是基本类型，此外还有若干变形砂丘或亚型，如塔克拉馬干沙漠西部有壠状的复合形砂丘，南部有金字塔形砂丘；准噶尔沙漠中部有峰窩状砂壠和抛物綫形砂丘。这些砂丘的成因，現在还不很了解，有待进一步調查研究。

三、风沙流的特点

从以上砂丘基本类型的分析，可以看出影响沙地地貌形成和发育的因素是多方面的，空气动力，地面形态，沙粒来源和植物被复等均有关系。但其中起主导作用的是空气动力——即风力作用。因此，为了更好地了解砂丘和砂地地貌的形成和发育，对于风沙移动特点的觀察和研究就很重要。

治沙队六个綜合試驗站和部分中心站，本年对于风沙移动均进行了定位观测工作，惟因記錄時間短，观测方法亦尚在摸索阶段，故資料的准确性受到一定限制。茲将今年观测和初步分析的結果分別加以介紹。

1. 风沙流的形成：当起沙风吹拂地表时，將松散的沙粒揚起，并納入运动的气流中随之搬运前进，即形成风沙流。它是肉眼所能看見的，和气流的性质不同。

造成风沙流的动力是风力。多大的风力才能起沙？一般定为5米/秒或6米/秒。这不是绝对数字，是相对的。因为起沙风的临界风速受着多种因素的影响，如沙地水分，地表状况、沙粒粒徑和风力等都有关系。新疆托克逊試驗站，本年七月曾就不同地表性质进行了起沙风的风速測定。观测結果說明，粒徑0.15毫米的沙粒，在光板地上，当风速达到5.2米/秒时，

即可把它揚起；而在細沙沙面上，須增大為 5.39 米/秒，才能揚起；在粗沙沙面上，風力就需要增大為 5.85 米/秒。另外，又測定了十種不同沙粒粒徑和起沙風速的關係。同在光板地上，粒徑 0.25 毫米的沙粒，風速達 6.8 米/秒時即可揚起，而 0.5 毫米和 1 毫米的沙粒，須風速達到 8.1 米/秒和 11.7 米/秒才能使之揚起。

2. 風沙流的結構：什麼叫風沙流的結構？就是指沙粒在風沙流中的分布。根據各有關試驗站本年觀測的資料分析，風沙流的結構，隨高度不同、風速不同及地表性質不同而有差異，就高度而論，風沙流中含沙量的垂直分布隨高度增加而減少，一般都是低層比高層分布量多。根據集沙儀觀測，在 7 米/秒的風速下，距地表 2 米高範圍內，風沙流在二小時內通過一平方米斷面的總輸沙量為 442,437 克，其中分布在離地 76 厘米以下的占 99.965%；而在離地 2 米高处僅為 279 克，占總輸沙量 0.035%。

其次，就風速而論，當風速增大，風沙流中的總含沙量亦增大。據實測，在上述條件不變情況下，當風速增加為 8.7 米/秒時，風沙流中的總輸沙量增大為 934,217 克，增加了一倍多，同樣，在離地 76 厘米以下範圍內占 99.88%，而在離地 2 米高处僅占 0.12%。

從此項觀測資料看來，可見風沙流中的含沙量絕大部分是分布在貼近地面層 76 厘米以下，因此，就機械固沙措施來說，以播沙為主的一列式沙障，其高度可不超过 80 厘米。

3. 沙粒移動的方式：據榆林、民勤兩站的觀測資料，沙粒移動方式可分為滾動（蠕移）、跳躍（躍移）、吹揚（懸移）三種。它們的形成與沙粒粒徑、沙粒質量、起沙風速等有密切關係。從其與風速關係的分析當中，可以看出一個重要的現象，即是，風速愈大，沙粒跳得愈高。根據觀測，在 7 米/秒的風速下，滾動的沙粒，其活動高度不到一厘米；跳躍的沙粒，活動高度不到 60 厘米；吹揚的沙粒，高度在 60 厘米以上。當風速增大為 8.7~10.5 米/秒時，它們活動的高度也增高了。滾動的沙粒高可達 1 厘米左右；跳躍的沙粒高可達 100 厘米左右；吹揚的沙粒可超过 150 厘米。

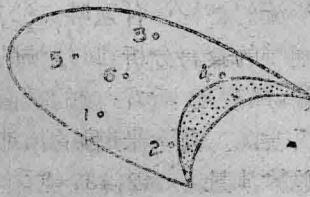
這裡需要說明，這三種不同方式的沙粒，在其運動過程中是可互相轉化的。當風速增大到一定程度，滾動方式可轉化為跳躍方式，跳躍方式亦可轉化為吹揚方式，此中關係很複雜，但是，此項觀測結果畢竟有助於說明一個問題，即是，組成砂丘的物質主要是滾動和跳躍這兩種沙粒。因此，在機械固沙措施上，沙障的設計亦應以控制這兩種方式的沙粒為主。

4. 沙粒移動的方向：沙粒移動的方向，從大範圍區域來看，總的趨勢，決定於近地表氣流的合成風向，換言之，和砂丘移動的方向相一致。但從小範圍內觀察，沙粒移動方向又隨各單一的正向風或受小地形影響後改變方向的變向風為轉移。因此，沙粒移動方向就變成非常複雜。根據民勤站本年 6 月份的觀測，一個新月形砂丘上六個不同部位出現六種不同的沙粒移動方向，這就顯然影響各個不同類型砂丘的形態及其變化。（參看下表）

從小氣候觀測證明，當氣流沿砂丘緩斜的迎風坡運動時，其速度隨丘面坡度的增高而逐漸加大；當氣流到達丘頂時，其風速最大。因此，沙粒亦隨氣流沿坡面向沙脊移動。但當氣流過沙脊之後，由於小地形突然改變，因此緊貼地表的一部分氣流向打散，風速大大削減；同時，因風速與氣壓大小成反比關係，下降到背風坡，氣壓較丘頂為大，結果形成旋渦氣流，向沙脊作回向運動。我們常見在新月形砂丘的背風坡坡腳有薄層小沙堆出現，就是由於這種氣流回向運動把沙粒反向吹送的結果。

又根據砂丘上小氣候觀測，氣流一方面沿着迎風面平緩的斜坡上升；另一方面又在迎風面順等高綫排列方向運動，亦即偏向砂丘兩翼流動，因而就形成兩個強風區，沙粒移動特別

民勤沙井子典型砂丘沙粒移动方向

观测点	1	2	3	4	5	6	附	图
风速米/秒	7	7.3	5	4.6	6	4.9		
风向	NW	WSW	WSW	W	WSW	SE		
沙粒移动方向	SE	ENE	ENE	E	ENE	NW		

(1959年6月份观测)

迅速，这亦就是新月形砂丘两翼移动較快的主要原因。

由于新月形砂丘各部位风向多变化，因而設置沙障时就需要很好設計，初步看来，以方格沙障效果最好。

四、砂丘移动的特点

砂丘是沙粒的集合体，砂丘的移动是在风力作用下沙粒运动的总和，其运动过程主要表现为方向、方式和速度三方面。

1.移动方向：砂丘移动的方向取决于具一定延續時間的起沙风的合成风向。起沙风合成风向，在大气环流影响下，不仅因地区而异，亦随时季而不同，故此，砂丘移动方向也是变化多端的。B.A.費道洛維奇教授把砂丘分为4个类型：信风型、对流型、季风——換风型和干扰型。我国西北沙漠地区的砂丘，按其移动方向应属于季风型和干扰型。根据本年各站观测資料，其砂丘移动总的方向，榆林、灵武、中卫、民勤均为SE，格尔木为SEE，这主要受冬季西北风所控制。磴口属季风势力范围，但砂丘移动方向为NE；新疆托克逊在盛行西风系統內，但砂丘移动方向亦为SE，系受該两地区地形影响所致。塔克拉馬干东部，砂丘自NE向SW移动，亦系大气环流受到地形影响所致，均属干扰型一类。

各地区主导风向不同，砂丘移动方向不一，在防风固沙林带的配置上均应加以注意。

2.移动方式：砂丘移动方式可分为一綫前进式和来回摆动式。前者終年保持不断向前移动，后者則前进，后退，又前进。

西北沙漠地区，除塔里木盆地东部外，主导风是西北风，砂丘亦一般都是从NW向SE移动，故多属前进式一类。但在东部，夏季风的影响亦相当显著，因此，有些地方如騰格里沙漠东南緣，砂丘移动表现为搖摆前进的方式。据头道湖中心站本年5~8月的观测，夏季这里砂丘基本上是向西北倒退。但由于全年西北风系占主要优势，不論是风向頻率 and 风力强度上均胜过东南季风，故砂丘总的趋势仍然是向前不断前进。砂丘移动，表现为一綫前进时，其全年移动速度較快；表现为搖摆前进时，其全年移动速度較慢，因在全年移动过程中已部分相抵消了。例如，据头道湖观测資料，平行新月形砂丘鏈于6月份向东南移动2米，而7月份向西北移动2.7米，两者相抵，在这段期間仅移动0.7米。

3.移动速度：砂丘移动的速度，不但与风向頻率有关，同时亦和风速、水分、植被、砂丘形态高度，排列密度和沙粒粒徑有关。一段說来，砂丘越高，其移动速度越慢。据民勤沙

井子砂丘地形測量資料，在1956~1959三年內，4米高的新月形小砂丘移动75米，年平均移速为25米；高10米的新月形大砂丘移动30米，年平均移速为10米。所有这些实测，都說明砂丘移动速度系受到多种因素的复杂影响，而对于結合生物固沙措施的需要說来，取得各种类型砂丘移动的年平均速度是主要的。

五、关于风蝕和堆积

风不断把裸露地表的松散物質吹揚并带走，当吹过下垫的粗糙地面时，它有力地撞击或磨蝕着所接触的土层和岩石，这样，就发生了风蝕。当风力减弱或遇障碍物的阻力时，由于本身的重力作用，风所携带的沙粒就要脫出气流綫而发生堆积。根据本年各站观测的資料，証实新月形砂丘上风蝕和堆积具有两个特点：

(1)从砂丘迎风坡坡脚到沙脊，风速逐渐增大，从沙脊到背风坡底风速突然减低，而风速极大值出現于丘頂。因此，从丘間低地到丘頂，风蝕程度随高度增加而加大。当风沙流越过丘頂时，因风力降低，負荷能力大減，大部分沙粒落在背风坡的上部。当繼續推进和堆积超过稳定角时(32°)，沙粒就开始滑泻下来；到坡度調整达稳定角以下，泻溜作用即停止。所以，在背风坡坡脚以堆积作用为主，在迎风坡则以风蝕作用为主。但是，背风坡堆积的沙不等于迎风坡吹蝕的沙，两者往往不能平衡，而总的表现为砂丘移动前进。

(2)风蝕和堆积是相互更替的，是反复交錯的，即使在砂丘的同一部位，由于风速风向的变化，既侵蝕亦堆积。其中最显著的是丘頂部分。

沙脊，一般是砂丘上最高的部分，亦是风力最强之处，而风蝕作用亦最剧烈。但亦有堆积作用发生。这里蚀积状况恆随风向为轉移，往往搖摆不定。若主风为西北风，而出現頻率大、风力又强，則沙脊綫完全是风蝕区；若主风变为东南风，风向頻率和风速均大于西北风，則沙脊綫变为沙粒堆积区。故砂丘的这一部分是蚀积变化最大的地方，有人称之为摆动峰，而干沙层亦最厚，水分最差，和背风坡一样，根本不可能播种植物，而宜于利用风力拉平的地段。在迎风坡中下部，风蝕亦很强烈，在采取生物固沙措施时，均須設死沙障以資保护。

六、几个問題

在前面各节簡要叙述了西北沙漠的成因及砂丘类型，风沙移动特点和砂丘移动特点。但这里面还存在許多問題有待进一步研究。茲先就其中較为重要的几点提出商榷。

(一)关于新月形砂丘的发生和发育問題。

关于这問題，現在各方面还有不同意見的爭論。A.И.茲那明斯基教授認為，在主导风向单一的地区，新月形砂丘的形成分为以下三个阶段：沙浪→峰状砂丘→新月形砂丘（注1）。B.A.費道洛維奇教授則把新月形砂丘，砂壠等一系列形态的发育概括为：盾状砂丘→鐮刀形（新月形）砂丘，以后鐮刀形砂丘沿着垂直于主风的方向联結成为新月形砂丘鏈（注2）但亦有人不同意这种新月形砂丘演变为砂丘鏈的說法。总之，意見很不一致。

据我們在野外的观察，砂丘的形成，是风蝕和堆积两种作用的共同产物。沒有风蝕就沒有沙的来源，沒有堆积亦不可能形成砂丘。而沙波是渦动气流所携带的沙粒不断向粗糙地面冲击所形成，是沙粒发生堆积的最原始形态，它們在风力作用下，不断向前移动，相互之間的距离始終不变，不可能形成小沙堆，因此，亦不可能把沙波作为砂丘地貌形成的最初阶段。但是如果在地面微有起伏的地方，风沙流受到阻擋，由于风力减弱，沙粒即将发生显著

堆积，最初形成小沙堆。小沙堆一經形成，它本身亦成了风沙流的障碍物，于是沙粒堆积不断增加，頂部增高，兩側变寬，因而形成了盾狀砂丘。盾狀砂丘上沙粒的移动速度以兩側为最快，中部則因背风坡底受到风沙流的回流作用，沙粒移动減緩，結果就使兩翼逐漸伸長，并獲得新月形砂丘的特征。

以上是指新月形砂丘在地表微小起伏影响之下发育的过程，在风沙流受到植物阻碍的情况下，由于沙粒的堆积，同样可发育成小砂丘。风沙流受到草灌丛阻擋时，大部分沙粒堆积在背风的一面，形成鱗刺狀小沙堆，堆的高度不超过草灌丛本身的高度，而长度約为高的5倍，这种沙堆是固定的，但随沙源的增多，它的体积不断增长，同时，由于能抗沙压的草灌植物(如白刺)的不断长高，又促进了风沙的堆积作用。但长高的程度到了植物根系距地下水位过深，因而发生枯萎以后，砂丘开始取得了流动性，由于上述同样道理，于是砂丘亦将从盾狀阶段演变成新月形砂丘(注3)。

(二)关于各沙漠区沙的来源問題

关于这問題，过去各方面曾有过爭論，譬如，对鄂尔多斯南部毛烏素沙带的沙源，过去就有不同的看法；对河西走廊零星沙地的沙子，有些地方干部亦认为是从西北遙远地方吹揚而来的。但經過最近几年有关研究单位的調查以及治沙队今年的考察，証明实际情况并非如此，而主要是来自各沙漠区当地的不同沉积物中。

西北地区，与它的盆地地形特別发育相适应，內陆水系亦特別发达。除鄂尔多斯高原有黄河干支流貫穿及准噶尔盆地北部有額尔齐斯河通向鄂毕河以外，其他地区均属內陆水系，主要河流，在塔里木盆地有塔里木河和閼河及車尔成河；在柴达木盆地有柴达木河及格尔木河；在准噶尔盆地有瑪納斯河及烏倫古河，在阿拉善高原有黑河(弱水)及石羊河。这些內陆河流从高山下注，不仅带来丰富的水利資源，同时亦带来大量的沙砾和碎石，堆积于盆地內，形成洪积扇或冲积淤积平原。在分布着湖泊洼地的地方則造成湖相沉积。而由于四周高山不断隆起和盆地本身相对下沉关系，盆底洪积冲积物每每很厚，如祁連山北麓的砾石层有些地方可厚达700~800米；在准噶尔平原南部，根据“八一农場”鑽井資料，地面主要为粉沙、細沙及亚粘土三层所組成，其厚度一般在200米上下，最厚可达400米。

在此等巨厚的沙砾物质堆积过程当中，推想当时水量必远大于今日，及至以后气候变为干旱，河流水量减少，湖面縮少，原来冲积沉积物质就暴露地面，而成为风力侵蝕的对象。在地面缺乏天然植被复盖或植被受到人为破坏的情况下，就很容易导致流沙的发生。因此我們可以說，各盆地內第四紀地层的广泛分布，早就給各区沙漠的形成提供了物质基础，而由于人們經濟活动的干扰，土地利用不合理，更加速了流沙的蔓延和沙漠的扩展。象北疆克拉玛依的流沙，是由于人为的不合理利用和紅柳包遭到破坏而引起的；象柴达木的格尔木一带，在几年前，只在洪积平原上有砂丘，而現在在紅柳包地区內亦有新的流沙出現，新月形砂丘有的高达20米，这亦是因人为的活动所造成。又象鄂尔多斯的毛烏素沙带的形成，亦是由于无計劃开垦，破坏植被的結果，稽考史籍，这一带流沙的发生不过是近二、三百年間的事。这些事例，在西北地区不一而足，而由此可見，現有植被的保护，对于防止流沙是十分重要的。

(三)关于西北地区气候变旱問題

关于西北地区气候轉变干旱問題，各家意見不一，現尚不能視為定論。但从各地湖盆和河流的演变上以及高山雪綫的升降和冰川的后退方面，均見有許多迹象可作为第四紀以来气

候变旱的論証。根据第四紀冰蝕地形的研究，天山上冰川曾下降到海拔 2,500 米，阿尔泰山的冰川曾下降到海拔 2,400 米。但現在天山上冰川仅分布于 2,800 米以上地方，阿尔泰山上冰川仅分布于 4,000 米以上地方，由于高山冰川的縮退，山上融雪水水量减小，故而各盆地內的湖泊及河流亦随而发生变迁。如塔里木河古代原系直接注入罗布泊，現在变成互相隔离；柴达木盆地第四紀时湖水水量很大，現在縮小成为許多盐湖，如达布逊湖距古代湖岸已很远。(注 4)。

在阿拉善地区，亦同样見有河流干涸，湖面縮小的現象。象雅布賴盐池，現在是一个干盐池，在巴丹吉林沙漠的許多盐碱湖現在亦是干的。沒有完全干涸的海子，現在湖水面亦大大縮小，原来的湖底和湖蝕阶地，有的高出水面 20~30 米，此外，在沙漠东南部的树貴湖东北角以及南双海子的南岸，还見到有古河道殘留的二、三級阶地，阶面上堆积着許多光滑的砾石，磨圓度頗佳，可見过去从雅布賴山地北流的許多河流比現在长得多，水量大得多，沙砾往北搬运的距离亦更远。所有这一些現象都使我們有理由說，現在西北的气候状况是比第四紀时期較为干旱。而发生这种变化的原因，可能是与本区的新构造运动有关。

西北地区在地形上有一个显著的特征，即是內陆盆地特別发达。如塔里木盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地、瀚海盆地。阿拉善和鄂尔多斯高原，如果就其与北面阿尔太山东段和东面呂梁山段的相对地势来看，亦可說是盆地地形。这些盆地的地質基础都属于古地块或地台，亦即是地盘比較稳定的地区；而各盆地的四周的高山則为比較活动的褶皺带，南面的崑崙山，自第三紀以来发生显著的上升；天山、祁連山、阿尔泰山、賀兰山、大青山、呂梁山大兴安岭，第三紀以后均发生断层抬升和隆起运动，而各个盆地本身則相对下降。結果，地势起伏增大，使各盆地深鎖于四圍崇山之中，湿润的海洋气流难以到达。这可能就是西北地区自第四紀以来气候变为干旱、气温状况轉趋板端的主要原因。

注 1：А.И.施那明斯基：流沙地区汽車道路設計的特点及防止沙堆的措施，盐漬土和流沙地上的道路工程。135 頁人民交通出版社，1956 年 11 月初版。

注 2：Б.А.Федорович：Вопросы Происхождения и Формирования Песчаного Ресьера Пустынь，Труды Института Географий Проблемы Геополитики，Москва，1948。

注 3：耿寬宏：起沙风和流沙，地理学报 25 卷，第一期，1959 年 2 月。

注 4：М.П.彼得洛夫：青海与新疆沙漠的考察汇报，治沙通訊，第 6 期，1959 年 11 月。