

目 录

一、我国沙漠概况	1
(一) 沙漠的分布	1
(二) 流沙的一般特性	2
(三) 流沙的移动规律	14
(四) 流沙的危害	17
二、我国固沙造林的成就与基本经验	21
(一) 固沙造林的成效	21
(二) 重点固沙造林地区的经验教训	24
(三) 固沙造林的基本技术经验	31
三、立地条件类型划分与造林规划设计	35
(一) 树种选择	35
(二) 立地条件类型划分	37
(三) 固沙造林规划设计	41
四、沙地固沙造林	43
(一) 流沙地固沙造林	43
(二) 固沙地造林	76
(三) 沙区农田防护林的营造	77
五、沙漠固沙造林	80
(一) 固沙造林的原则和步骤	80
(二) 机械沙障的设置	80
(三) 流动沙丘固沙片林的营造	84
(四) 丘间低地片林的营造	92
(五) 绿洲防护林体系的建立	95
六、我国沙化情况和预防措施	98

在我国，西起新疆的帕米尔高原，向东一直到黑龙江的嫩江平原，分布着浩瀚的沙漠。治理改造利用沙漠，除害兴利，是国土整治、环境保护，实现四个现代化的一项重要工作。

一、我国沙漠概况

（一）沙漠的分布

沙漠泛指由沙丘、平沙滩地等表层土壤由沙粒所构成的地域。但科学地说，沙漠可分为两大类：一类叫沙漠，也就是干旱地区，由沙粒所构成的地域；一类叫沙地，也就是在半干旱地区、半湿润地区甚至湿润地区，由沙粒构成的地域。我国的大片沙漠，主要分布在西北、华北西北部。其中，在新疆、青海、甘肃、宁夏及内蒙古西部分布较多。我国的大片沙地，则主要分布在内蒙古东部、陕西北部、吉林西部、辽宁西北部；另在黑龙江、河北、山西、河南、山东、江苏等地的内陆和山东、福建、广东等地的沿海也分布着少量的沙地。我国沙漠、沙地面积共计10.6亿亩，再加上干旱地区的戈壁（由石砾、土等形成的表层坚硬，不生草木或仅生长稀疏、矮小植物的地域）面积8.5亿亩，共达19.1亿亩，约占我国国土面积144亿亩的13.3%。沙漠、沙地中，有沙丘、

沙山10.3亿亩，其中，流动沙丘6.7亿亩，半固定沙丘2.2亿亩，固定沙丘1.4亿亩。这些沙漠、沙地，大面积成片集中的有十二片：新疆的塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、库木塔格沙漠，青海的柴达木盆地的沙漠，内蒙古和甘肃的巴丹吉林沙漠，内蒙古、甘肃、宁夏的腾格里沙漠，内蒙古的乌兰布和沙漠、库布奇沙漠、浑善达克沙地、呼伦贝尔沙地，内蒙古、陕西北部、宁夏的毛乌素沙地，内蒙古、辽宁、吉林的科尔沁沙地（图1）。这十二片沙漠、沙地面积共计9.9亿亩，占全国沙漠、沙地面积的93.4%。它们的情况见表1。

（二）流沙的一般特性

1. 形态

（1）按沙丘的流动性或固定程度划分

①流动沙丘：群众俗称“明沙”。这种沙丘正处于沙粒堆积过程和随风流动过程中。沙丘坡对着主要风向的一面，叫迎风坡。由于迎风坡的沙粒被风不断刮走，又不断堆积被风带来的沙粒，所以一般不生草木，或仅在沙丘下部生长有稀疏的沙生先锋植物。如在毛乌素沙地生长有沙米、沙竹、沙芥、蒿类等。流动沙丘对附近农田、牧场、村庄、道路危害严重，是治理的主要对象。

②固定沙丘：沙丘已被沙生植物完全覆盖，表面沙粒不再随风流动。如新疆、甘肃的红柳沙包、白刺沙包，陕西北部的臭柏沙包，内蒙古的锦鸡儿沙包。

③半固定沙丘：这是流动沙丘和固定沙丘之间的过渡类

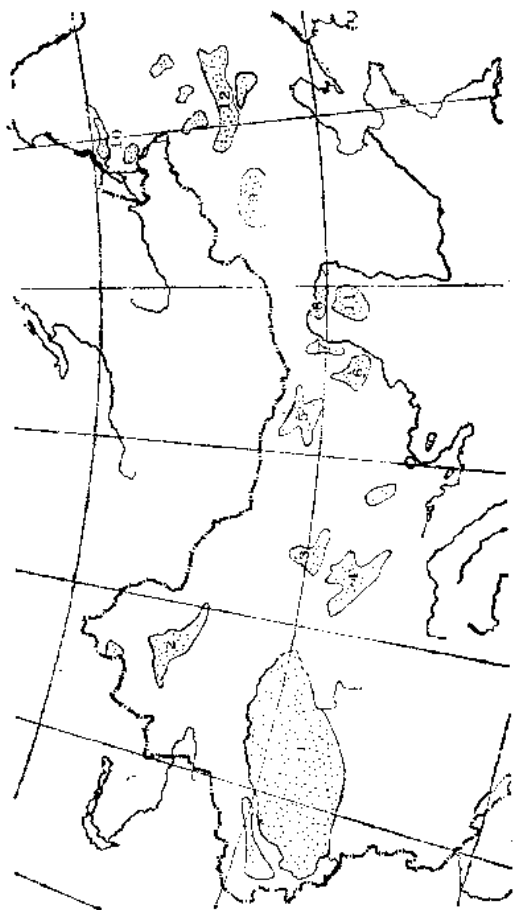


图 1 中国沙漠分布示意图

1. 塔克拉玛干沙漠 2. 古尔班通古特沙漠 3. 库木塔格沙漠 4. 柴达木盆地的沙漠
5. 巴丹吉林沙漠 6. 腾格里沙漠 7. 乌兰布和沙漠 8. 库布奇沙漠 9. 浑善达克沙地
10. 呼伦贝尔沙地 11. 毛乌素沙地 12. 科尔沁沙地

表1 沙漠概况简表

沙漠名称	位置范围	面积 (万亩)	主要特征	丘间低地(%)	湖泊个数	主要气象指标		地下水	主要天然乔灌木树种
						年降水量(毫米)	主风方向		
1. 塔克拉玛干沙漠	新疆塔里木盆地	50640	主要为流动沙丘,多为复合型沙丘,沙垄,复合新月形沙丘,新月形沙丘,沙丘链			16.6—63	东部、中部为东北风,西北部为西南风		红柳、胡杨、沙拐枣
2. 古尔班通古特沙漠	新疆准噶尔盆地	7320	半固定、固定沙丘约占97%,多为沙垄及树枝状沙丘,蜂窝状沙丘			100—150	西北风		白梭梭、梭梭、红柳、沙拐枣、沙枣、胡杨
3. 库木塔格沙漠	新疆东南角	3420	全为流沙。多为羽状沙丘及格状沙丘链,风蚀地			10以下	西西南风 东北风		
4. 柴达木盆地的沙漠	青海西北	5235				38.3—50			红柳
5. 巴丹吉林沙漠	内蒙古西部,甘肃西北部	6645	主要为流动沙丘,沙丘高大,形成复合型链状沙山,移动不明显,还有少数新月形沙丘链。		91	水质 碱温,不能 饮、灌	西北风	南部 3—8米	红柳、梭梭、胡杨、沙拐枣、沙枣、沙蒿、红砂、麻黄、花棒

(续)

沙漠名称	位置范围	面积(万亩)	主要特征	丘间低地(%)	湖泊个数	主要气象指标		地下水	主要天然乔灌木树种
						年降水量(毫米)	主风方向		
6. 腾格里沙漠	内蒙、甘肃、宁夏、青海、新疆	6405	主要为流沙、格状及新月形沙丘链，新月形沙丘链	14	126	110—170	西北	东南中部1—3米，西北部3—7米，局部地区100米以上	梭梭、胡杨、沙蒿、芨芨、盐爪、红砂、珍珠、花棒
7. 乌兰布和沙漠	内蒙古、宁夏、甘肃、青海、新疆	1570	流沙占47%，新月形沙丘及沙丘链、复合型沙丘、格状沙丘	23		136	西北		梭梭、沙蒿、白刺、羊柴、沙拐枣、柠条、花棒
8. 库布奇沙漠	内蒙古、宁夏、甘肃、青海、新疆	2411	流沙占总面积52%，主要为格状沙丘及新月形沙丘链、新月形沙丘链	10	18	150—350	西北	黄河阶地9—33米，二级阶地3—7米，南端大于7米	沙柳、沙蒿、羊柴、柠条、红砂

• 6 •

沙名	漠称	位置范围	面积 (万亩)	主要特征	丘间低地(%)	湖泊个数	气象指标		地下水	主要天然乔灌木树种
							年降水量(毫米)	主风方向		
9. 浑善达克沙地		内蒙古中西部，东西280公里，南北100公里	3210	主要为固定、半固定沙丘，梁垄状沙丘		东部多水，水质良好	200—300	西北西		沙柳、白榆、拉条榆、差不嘎蒿、沙蒿、柠条
10. 呼伦贝尔沙地		内蒙古呼伦贝尔西部	717	梁窝状固定沙丘			286—323			樟子松
11. 毛乌素沙地		内蒙古伊盟南部，陕西北部，宁夏北部	4815	榆林地区大部是流沙，内蒙古地区部分为半固定、固定沙丘，流沙多为新月形沙丘链	15		200—438	西北	下湿小滩地于2米，丘陵大于4米	沙柳、马柳、柠条、沙蒿、芨芨、羊蒿、柴
12. 科尔沁沙地		内蒙古伊盟及辽宁北部，吉林西部	6375	主要为固定、半固定沙丘，边缘地带流沙丘链。流沙占40%左右	30	700个淡水坑	300—500	大部分分地区西北风，东南边缘并有西南风	甸子地1米左右	黄荆、山杏、白榆、柰条蒿、柠条

型。这种沙丘，植物覆盖面积占沙丘总面积的30—50%。由于植被较好，沙粒随风流动的程度较轻。

（2）按沙丘的形态划分

①新月形沙丘：这是分布最普遍的一种流动沙丘。它是在单一的主风下，或在两个大小不同、风向相反的风力下，逐步形成的。这种沙丘的平面图很象是一个新月（图2），所

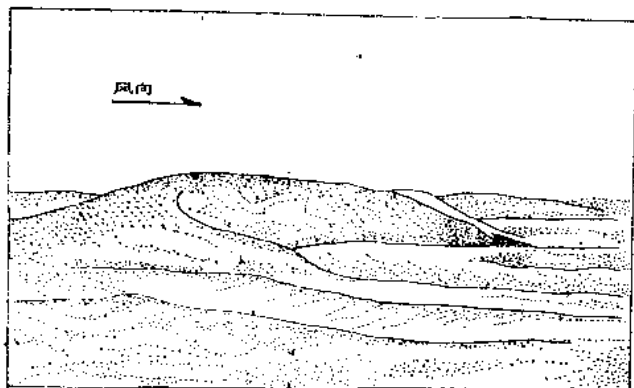


图2 新月形沙丘

以称为新月形沙丘。新月形沙丘的两翼即沙丘两侧的两个尖端，朝着主风的方向伸展。沙丘两翼之间的交角，各地不一，一般主风风速越大，交角角度就越小。沙丘的迎风坡坡缓而长，一般在5—15度之间，坡长30—100米。背风坡则坡陡而短。背风坡是风将沙粒堆积在丘顶时，沙自然下滑而形成的，因为松散沙堆最大稳定角度是30度左右，所以背风坡的坡度一般也为30度左右，坡长15—30米。这种沙丘的高度多在1—13米之间，大都单个存在，一般分布在沙漠、沙地的边缘、滩地及绿洲附近，移动速度较快，是危害较大的

一种沙丘。

②新月形沙丘链：是由2个以上的新月形沙丘连接而成，一般由3—4个，多则由十几个连成。其特点与新月形沙丘基本相同。在沙源多的地方，沙丘较单个新月形沙丘为高，多在8米以上。但堆积在黄土梁峁上的沙链，因沙源较少，比较矮小，一般高3—5米。这种沙丘分布比较普遍，移动速度也比较快，在紧邻农田牧场和交通线的地方，危害也比较大。

③格状沙丘及格状沙丘链：是由新月形沙丘链发展而成。其原因是除有主风外，还有与主风垂直的较强侧风，使新月形沙丘链的两翼加高加长，前一沙丘的迎风坡与后一沙丘的背风坡相连接，沙丘成为纵横交错的方格形态。这种沙丘在腾格里沙漠中分布最广。这种沙丘丘间低地小而深凹，固沙造林难度较大。

④新月形沙垄：通常是在当地有两种成锐角的主风相互作用下，才堆积成这种流动沙丘。由于两种风成锐角斜交，其最初形成的类似新月形沙丘的一翼不明显，而顺两种风的一翼则向前延伸很长，形成象鱼钩状的新月形沙垄。由于常年累月的不断顺其一翼向前堆积沙粒，沙丘也就不断纵向延伸，一般长达500—1000米，也有达5公里以上的（图3）。这种沙丘，移动也较快，对附近工农业生产有一定影响。

⑤复合型新月形沙丘：是流动的新月形沙丘或沙丘链受到地形的阻碍以后，风又将大量的沙子继续堆积在这些沙丘上，在它的上面又形成层层的小的沙丘链。^⑦这种沙丘最长可达30公里，宽300—1000米，高50—100米，多分布于我国大沙漠的内部。

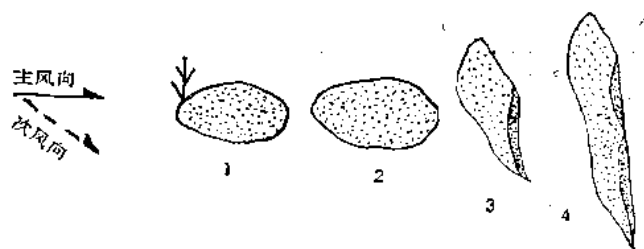


图3 沙垄形成示意图

⑥复合型纵向沙垄：是在形成沙垄的条件下，垄体逐步高大延伸，同时，又在垄体表面形成次一级的小的沙丘链。这种沙垄宽达500米以上。

⑦金字塔沙丘：这种沙丘大都靠近山岭地带，形态与埃及的金字塔相似，所以称为金字塔沙丘。它是多风向的产物，一般有几个棱面。丘体很高大，一般高50—100米，有的高达200米。常单个零星分布，或几个十几个成群小块分布。这种沙丘移动很缓慢，甚至长期滞留在原地，危害不大。

⑧除上述几种比较常见的不同类型的流动沙丘外，在大沙漠内部，还有链状沙山、复合型链状沙山、复合型垄状沙山等等。

⑨灌丛沙丘：是固定、半固定沙丘中最普遍常见的沙丘，是流沙受到植物群丛阻碍，堆积而成的。随着植物的生长，流沙堆积的增加，灌丛沙丘也不断增高增大。这种沙丘，最常见的有红柳沙包、白刺沙包、灌木柳沙包、锦鸡儿沙包等等。多分布于农田绿洲的附近、沙地中以及沙漠中水分条件较好的地带。

⑩沙垄：是固定、半固定沙丘中较为常见的沙丘形态之

一，分布范围较广。古尔班通古特沙漠、浑善达克沙地、科尔沁沙地、河南东部沙地，沙垄都较多。沙垄是由灌丛沙丘延伸演变而成，有的长达10多公里，沙垄之间，相隔1公里至几公里不等。

⑪梁窝状沙丘：是密集的新月形沙丘及沙丘链为植物固定后所形成，一般具有隆起的曲弧状沙梁和凹下的沙窝。多分布在浑善达克、科尔沁、毛乌素沙地以及古尔班通古特沙漠的东部。

⑫平沙滩地：我国的沙地，特别是华北中原河流故道沙地，不少属于这种类型。地形平坦，或略有起伏。有的处于随风流动状态，有的已为植物所固定。平沙滩地中，偶而有单个的流动沙丘或灌丛沙丘。

2. 流沙的性质 沙漠、沙地中的流沙，是固沙造林的主要对象。只有了解它的基本性质，才能正确拟定造林的各项技术措施。

（1）流沙的肥力

流沙的肥力很低，这可以从沙粒机械组成和所含植物需要的营养成分看出来。

①沙粒机械组成：我国的沙漠、沙地中，其流动沙丘沙粒的粗细，虽各地不完全相同，但根据调查资料来看，大体多以细沙或粗细沙为主。例如，宁夏中卫县沙坡头几个不同类型的流动沙丘，细沙占43.58%。辽宁章古台的流动沙丘丘顶部分，细沙占72.38%，在丘脚部分，细沙占65.29%。辽宁沿海车家屯流动沙丘粗细沙占42.82%。

从以上看，一方面多以细沙为主，这种细沙，适宜沙生

植物的生长。但另一方面，所含粉沙和粘粒都较少。我们知道，沙粒越小，含粘粒和粉沙越多的流沙，也越肥沃，反之，也越瘠薄。上述的分析表明，我国的风成沙丘一般都是很瘠薄的。

②所含植物营养成分：流动沙丘和流动的平沙滩地，所含植物营养成分很少。陕西榆林流沙地，每亩仅含速效氮0.9—1.0斤，磷0.56斤，钾0.37—0.74斤；宁夏中卫县沙坡头的流动沙丘，仅含有腐殖质0.38%。我们知道，一般比较贫瘠的农耕地，每亩约含速效氮5.55斤，磷1.05斤，钾20.5斤，其腐殖质含量约为1%，所以流动沙丘及平沙滩地比一般贫瘠的农耕地还要贫瘠得多。

（2）流沙的水分

沙漠中的流沙与沙地中的流沙所含水分差别很大。为了说明这个问题，我们先简要说明土壤水的各种形态（图4）。

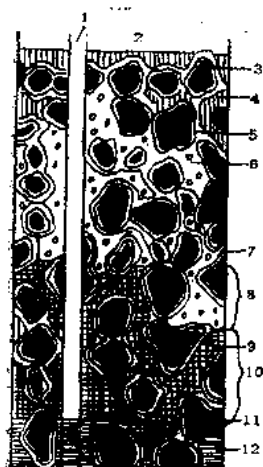


图4 土壤水的形态

1. 观察地下水位的视管
2. 地表
3. 土粒
4. 渗入土壤的雨水
5. 土粒表面吸附的吸湿水
6. 含有水气的土壤空气
7. 薄膜水
8. 开旷毛细管水带
9. 毛细管水
10. 密闭毛细管水带
11. 地下水位
12. 地下水

①气体水：也就是土壤中的水蒸气，它可以从一个土层流通到另一个土层。

②吸湿水：为土粒表面附着的一薄层水，其厚度不超过水的一个分子。吸湿水不能为植物吸收利用。

③薄膜水：土粒吸湿水外面的附着水。这种水可以从膜厚处移向膜薄处。这种水一部分能为植物吸收。

④毛细管水：充满在土壤中孔径不大的孔隙里，易被植物吸收。

⑤重力水：不受土粒的影响，而受重力的影响，能为植物利用。

由于组成沙丘的沙粒比粘壤土的土粒大得多，所以，其沙粒表面的总面积要小得多，因而其附着的吸湿水常不超过1%，比粘壤土的最大吸湿水低3—5倍；流动沙丘薄膜水的含量在1.5—5.0%之间，粉沙土则可以达到10%。

我国的流动沙丘，所含水分主要是气体水、吸湿水和薄膜水。在雨后一段时间内有毛细管水和重力水；另在地下水位较高的地带则常含有毛细管水。所以，一般丘顶部分含水量低，丘脚部分含水量略高。例如，沙坡头流动沙丘丘顶部，含水率在1%以下，而丘脚及低凹处为2.3—4.7%。陕西榆林县红石峡新月形沙丘链迎风坡坡腰，0.1—0.7米深的沙层，含水率2—3%，0.7—2.0米的沙层，为3—4%，2—3米的深沙层，为4—5%。辽宁章古台地区，流动沙丘80厘米沙层内含水率平均4.2%。根据各地调查资料，总的来看，湿沙层的含水率一般为2—3%，我国东部雨量较多的沙地，可达3—4%。雨季一般可达3—5%。这样的含水率尚能满足旱生木本和旱

生草本植物的需要。其中,东部沙地雨量在 400 毫米以上时,毛细管水、重力水在雨后短期内还保存在流沙内,尤其是丘间低地,地下水位较高,甚至终年潮湿、积水,同时,空气湿度也较高,因此,除沙丘顶部和背风的落沙坡中、上部外,一般在10厘米左右的干沙层下,都可以见到稳定的湿沙层,固沙造林比较容易,除了可生长旱生植物外,还能够生长中生植物。大沙漠中,除古尔班通古特沙漠和库布奇沙漠外,由于极为干旱少雨,干沙层厚达几十厘米甚至 1 米左右,有时湿沙层下还有干沙层间隔,因而造林就比较困难。

(3) 流沙被植物固定后的水分变化

流沙很松散,有着良好的透水性。在一般情况下,流沙地可以把所有的降水吸收掉。同时,雨后只要最上面的沙层干燥后,从下往上的水分蒸发就逐渐减少,最后仅有气体水从下向上移动蒸发,但其蒸发水量极小。由于这个原因,流沙地在未长植物以前,就是一个聚水器。我国的东部沙地,由于沙地聚水的作用,将沙区的地下水位提高,以致雨季积水在低洼处形成小的湖泊。

在流沙中,部分水分条件好,流动性较小的部分,首先生长先锋沙生植物。这些植物种子发芽快,不怕沙压,也不怕风蚀,但较喜湿润。当沙生植物覆盖住流沙后,由于植物根系吸收水分,沙内水分就逐渐减少,随后地下水位也不断下降。这虽然对下湿滩地的排水非常有利,但除了半湿润、湿润地区外,沙丘也就变得比较干燥。据辽宁章古台固沙造林研究所调查测定,草沙地湿润期土壤含水量平均在 4 % 以上,干旱期土壤含水量则低于 1.5 %,常导致幼树死亡。因

而，固定沙丘造林时，通常要先进行局部整地，以消灭杂草，蓄积水分，使树苗容易成活。

（4）流沙地的温度变化

流沙地白天受阳光照射时，非常容易变热，而夜间又非常容易变冷。同样，流沙地在春季，解冻较快，而在冬季，结冻早而冻得深。了解流沙地的这一特性，有助于我们正确掌握造林时机。

（三）流沙的移动规律

最细的沙粒，当风速达到3米/秒时，便开始移动。当风速达到5米/秒时，就可以吹动直径0.25—0.05毫米的细沙。上面已经说过，我国流沙以细沙为主，所以，这时沙粒便开始明显移动。沙粒随风流动的方式有三种，一是沙子沿地表随风滑动或滚动。当风不大时，或风虽然较大，但沙粒较粗时就呈现这种运动方式；二是随风浪跳跃式运动。当风速加大后，除粗沙粒外，就出现这种运动方式，它的移动速度加快，但飞跃的沙粒距地表通常不超过2—3米，并多数距地表仅10厘米左右，这是沙粒最主要的运动方式（图5）；当风速进一步加大到15米/秒以上时，其较细沙粒就被风吹得很高，悬浮于空气中流动，更细的沙粒还能被风吹到高空，有时随风吹扬1000—2000公里，待风速降低时，就降落到地面。

上面讲到，沙粒随风浪跳跃式运动是沙粒主要的运动方式，当运动中的沙粒遇到障碍物后，就堆集起来，形成沙堆。随着沙子的堆积，沙堆延长，形成舌状沙丘。丘顶沙子继续

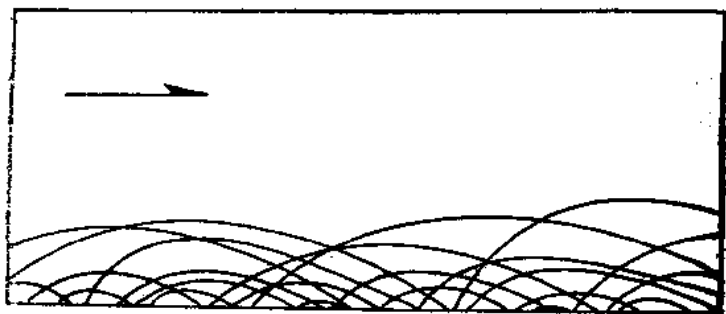


图 5 沙粒跳跃式移动图

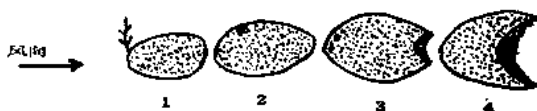


图 6 新月形沙丘形成示意图

1. 沙堆 2. 盾状沙丘 3. 雏形新月形沙丘 4. 新月形沙丘

增加，开始在背风处滑溜，形成落沙坡，成为新月形沙丘的雏形（图 6）。以后随着沙堆继续增高加大，落沙坡也开始加大，并在沙丘的两端形成两个朝前的角，发展为新月形沙丘。新月形沙丘增高并相联结，就形成沙丘链。同样，在多种风向和不同地形的综合作用下，舌状沙丘便发展为上述多种类型的流动沙丘。

一般来说，沙丘移动分三种方式。一是前进式移动。当大风多为一个风向时，沙丘就顺主风风向向前移动，这种移动的沙丘危害最大。二是往复前进式移动。当有 1 个主风，同时又有 1 个与主风风向相反的次要主风时，往往形成这种移动方式。一场大风将沙丘吹向前进后，另一场相反方向的

大风又将沙丘吹回。所以沙丘在1年之中进进退退。但是，两种风向大小不一，沙丘最终还是沿着主风方向向前移动。三是垂直摇摆式移动。这种移动，是有一主风，同时又有与主风相垂直的风，沙丘随主风前进，又随另一风向横向移动，格状沙丘就是这样移动的。

流动沙丘一般以第一种移动方式为最快。

流动沙丘移动的速度，取决于主风风速的大小，主风风速越大，沙丘移动就越快。沙丘移动主要在大风季节。根据中国科学院治沙队的观察，有时1—2次大风造成的沙丘移动，可占全年移动距离的一半以上。

流动沙丘移动的速度，还取决于沙丘的大小和高度，在风力相等的条件下，小的沙丘，移动就快，而越是高大的沙丘，移动就越慢。

流动沙丘移动的速度，还取决于沙地的水分条件，因为只有干燥后的沙粒才能移动。湿沙粘滞性强，一般不随风移动。只有待湿沙表面被风吹干后，吹干部分才开始随风移动，因而移动的速度就慢得多。

根据上述条件，我国新月形沙丘移动最快，每年可达8—10米。高度不足1米的新月形沙丘，在单一主风的地区，每年可移动50米左右，个别达62米。高度仅2—3米的新月形沙丘，在单一主风方向地区，每年可移动11—16米。在多风向地区，则可达6—9米。宁夏中卫县沙坡头以格状沙丘为主的地区，年平均移动2—5米。新疆的塔克拉玛干沙漠内部地区，因沙丘高大密集，每年仅移动1米左右。其中巨大的复合型新月形沙丘链，年移动速度不到1米。而类似甘肃敦煌县的