

敦煌鸣沙山金字塔沙丘的形成模式研究*

胡世雄

吴 正

中国科学院
(国家计划委员会 地理研究所 北京 100101)

(华南师范大学地理系 广州 510631)

摘 要 选择敦煌鸣沙山地区金字塔沙丘作为研究对象,在前人研究的基础上,采用实地考察与观测资料相结合的方法,从分析金字塔沙丘形成的条件入手,通过野外流场观测及室内风洞模拟实验,建立了金字塔沙丘形成的区域动力模式。

关键词 敦煌鸣沙山 金字塔沙丘 沙丘形成模式

分 类 中图法 P931.3

鸣沙山位于甘肃省敦煌市区南侧,自西南向东北绵延长达40多km,海拔约为1700m左右,相对高差约200m,由流沙伏于山体之上而成,人滑其上,轰然鸣响,故名之。鸣沙山沙漠东与三危山、火焰山等山地相连,西侧为南湖绿洲,南与党河河谷毗邻。沙山上的沙丘形态主要有新月形及金字塔沙丘链等,沙山周围分布有多个孤立的金字塔沙丘。举世著名的莫高窟、月牙泉分别位于沙漠的东端和中北部。

该区地处西北内陆腹地,常年受到蒙古高压的影响^[1],气候极端干旱,降水量少,气温变化大,风沙活动频繁,属于典型的大陆性荒漠气候。鸣沙山北侧的敦煌市年平均气温10.3℃,多年平均降水量为40mm,而莫高窟附近只有23.2mm,降水集中在6~8月。全年多大风,素有“风库”之称。每年11月至翌年2月,多吹西南风、西风,3~10月多为东北风和东风,年平均风速>2m/s,风力一般3~4级,最大达9级^[2]。

金字塔沙丘在许多沙漠中都是最大的风成地貌形态,而且形态特殊,稳定少动,分布广泛。在沙丘类型的研究中,金字塔沙丘研究最少,尤其对于金字塔沙丘的形成机制和移动规律,目前尚属薄弱环节^[3]。B. A. 费德罗维奇(1962)^[4]、朱震达等(1981)^[5]、N. Lancaster(1989)^[6]、屈建军(1992)^[7]等多数学者^[8~12]认为:金字塔沙丘形成于多风向且各个方向的风力都相差不大,并有较大输沙量的地区。本文研究敦煌鸣沙山沙漠边缘的金字塔沙丘,在实地考察与分析观测资料的基础上,探讨金字塔沙丘的形成发育机制及其形成模式,有助于对鸣沙山、月牙泉及莫高窟的保护和开发。

1 敦煌鸣沙山地区金字塔沙丘形成的条件分析

本研究选择位于鸣沙山沙漠东端莫高窟窟顶后侧沙漠边缘的金字塔沙丘为研究对象,

* 国家自然科学基金资助项目(49371009)

承蒙中国科学院兰州沙漠研究所屈建军、凌裕泉、刘贤万诸先生提供资料,并得到本所张青松先生、李炳元先生的指正和帮助,特致谢意!

收稿日期:1996-01-27,收到修改稿日期:1996-09-16

该沙丘高度为 22m, 有三个沙丘臂, 其延伸方向分别为 NW-SE, NE-SW, 及近 E-W。

1.1 沙源

鸣沙山的沙源有三: 其一, 疏勒河及党河水系在河流变迁改道或干旱时, 废弃的河道和干河床中的冲积洪积沙, 经风力长距离搬运而来, 如一些河口段山间谷地的沙丘; 其二, 来自三危山前冲积洪积物质及墩墩山、龙头山等低山丘陵戈壁上的残积物质和流沙; 其三, 由南湖古河湖相沉积沙吹蚀而来。研究和观测表明: 鸣沙山沙漠和世界其它沙漠一样, 其边缘戈壁滩上是不饱和风沙流, 多发育小型孤立金字塔沙丘; 而沙漠内部沙源充足, 则常常发育大型成熟金字塔沙丘^[13]。

1.2 风况

鸣沙山地区地处季风区, 为多风的地区, 多年平均风速约为 3.5m/s, 且为多风向地区。冬季盛行偏西风; 春季和夏季盛行东北风, 西北风次之; 秋季则盛行西北风, 东北风次之; 全年都有当地山风偏南风吹拂。对 1962 年~1965 年、1990 年~1991 年莫高窟风况资料^[2,7]整理成图 1。

图示: 处于山岭前的金字塔沙丘附近具有稳定的三组风向, 且风力相差不大, 东北及西北两组风向的风具有风力大、频率小的特征, 而南风则有频率大、风力小的特点。南风出现频率最高, 占 31.0%, 如果把偏南风, 即东南偏南风 and 西南偏南风都加上, 则合计为 47.93%, 不过风速并非最大, 以南风为例, 小于起沙风者 (2m 高度风速为 5m/s) 占 39.3%, 大于 8m/s 者, 只有 1.5%, 而大于 5m/s 并小于 8m/s 者却占 59.2%。风洞实验结果表明, 这个风速搬运沙物质的能力是有限的, 作用于流沙表面, 也只能使沙粒开始移动到沙面波纹的形成, 对于砂砾质戈壁来说作用更小。其次为偏西风即把所有的偏西风 (SW、WSW、W、WNW、NW) 都加到一起, 总频率为 28.1%, 而输沙能力却占 31.9%。对于偏西风来说, 小于起沙风者占了 70.8%, 大于 5m/s 并小于 8m/s 者占 23.4%, 输沙能力仅占 28.9%, 大于 8m/s 风速出现频率平均仅占 5.8%, 其输沙能力却占 71.1%, 也就是说该地区偏南风多而风力较弱, 偏西风少而风力较强, 并且具有突发性, 与大型天气过程的关系极为密切。至于偏东风, 频率只占 20.8%, 其输沙能力约占 30.5%。总之, 本区的多向风具有均向分布的特征, 盛行高频率弱强度的偏南风 (SSW—SSE) 和频率较低而强度较高的偏东风 (NNE—E) 及偏西风 (NW—SW), 三组气流的夹角近于 120°, 属于风的频率和风的强度不相均衡的流场模式^[14]。

1.3 地形对流场的影响

鸣沙山地区这种平均流场特征的形成^[15], 既有大尺度地形的作用, 如青藏高原、祁连山及天山的动力或热力作用, 又有小尺度的地形 (如三危山等) 及沙漠戈壁下垫面的影响。具体来说, 西风强是受主体环流西风带和大型天气过程控制, 南风多而弱是属于地方性的局地环流, 或者说是来自祁连山的山风。从南风的季节变化和日变化来看, 也具有明显的

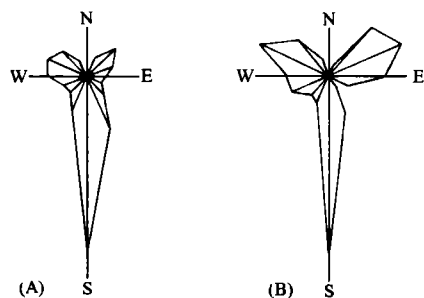


图 1a 莫高窟顶风向玫瑰图

Fig. 1a The wind rose near Mogao Grottoes

图 1b 莫高窟顶动力风向玫瑰图

Fig. 1b The dynamic wind rose near Mogao Grottoes

规律性,该地区夜间多南风,冬季各月(10月~翌年2月)几乎全部是南风。山风本身就是一种弱风,当经过长距离的戈壁运行,来到莫高窟之前,又受到三危山、鸣沙山的阻挡,致使风力变得更弱,而风向比较稳定。

根据三危山北麓莫高窟窟顶金字塔沙丘附近气象站观测资料的统计表明^[15]:早晨8时该地具有稳定的偏南风(山风),下午20时多东北、西南风(谷风),这种局地山谷风和随季节变换的偏西风及偏东风一起形成了本区多变的风况。该区地处三危山等山前,山地与盆地夜间热力差异形成的山谷风,是造成多风向的主要因素。

综上所述,鸣沙山地区地处季风区,又受到地形影响,其随季节变换风向且风力相差不大的风况是形成金字塔沙丘的基础条件。

2 敦煌鸣沙山金字塔沙丘形成的动力学研究

2.1 鸣沙山金字塔沙丘实地流场观测

流场是反映沙丘形成机制的主要因子。金字塔沙丘因其形态特殊,所以具有不同于其它沙丘的流场规律。根据屈建军等的实地流场观测资料表明^[15]:受西北风作用,主风向沿西北脊线分流,在背风侧产生反转气流。在迎风面为西北风,到了背风面反转为东南风,即说明这里存在一个横轴涡漩。从迎风面至背风面的断面图中亦可看出:两面不仅风向相反,而且,在迎风面上层风速大于下层风速,但自丘顶至背风坡脚却出现了上层风速小于下层风速的现象。这种现象是由于背风面下层气流辐合作用所致,它也表明背风侧的确存在漩涡中心。

沙纹是风对沙质表面塑造的结果,是风力作用过程的痕迹。沙纹的走向垂直于风向,迎风坡的沙纹走向则指向风的来向。据此,可以借助沙纹的量测来判别金字塔沙丘近地表气流的运移规律,通过量取沙纹的倾向,反映气流运动的方向,通过测量沙纹的宽度,可以作为反映风力大小的参考。观测结果表明^[15]:气流在迎风面沿脊线分流,在背风面则形成了较宽的副涡流带。该涡流带不仅具有水平方向的辐合作用,而且具有垂直方向的反转气流作用。

2.2 金字塔沙丘的风洞模拟实验

屈建军等在风洞中对金字塔沙丘沙纹进行了模拟实验研究^[16]:在沙盘及沙风洞中平铺15cm厚的混合沙,沙样取于敦煌鸣沙山金字塔沙丘,平均粒径0.25mm,沙盘与洞体连在一起,以接近野外实际供沙情况,风向采用莫高窟顶金字塔沙丘附近的风向玫瑰图所代表的三种风向,风速选择7.5m/s,保证既能起沙,又不致于风速过大而破坏原有沙纹。三组方向的吹风时间均为30min,先吹哪个方向的风都对沙纹形成影响不大。首先吹南风(180°),30min后,在原来平坦的沙盘上出现了横向沙纹,其走向与风向垂直,并有良好的Y形分叉。接着,转动沙盘成45°,即吹东北风30min后,沙盘原有的横向沙纹改变成格状沙纹。再次转动沙盘成315°,即受西北风作用,结果使格状沙纹主梁平行风向,副梁与风向斜交,副梁不断发展,主梁变形,形成金字塔沙纹。根据Bougan等认为:相同形态的沙丘与沙纹具有类似的形成条件。因此,这个模拟实验表明:金字塔沙纹与沙丘形成的风况条件是多方向风,且各方向风力相差不大;同时也从一个侧面揭示了金字塔沙丘及金字塔形沙纹的演变过程。

陈广庭及刘贤万等对金字塔沙丘流场及表面压力的风洞模拟表明^[17,18]: 正常排列(主棱正对着主风)的金字塔沙丘, 其背风坡较强的汇聚涡流可能是向沙丘中心输沙, 促使沙丘加积增高并维持其凹面形态的主要流场。至于非正常排列(主棱背对着主风)的金字塔沙丘流场测试中可见, 这样的金字塔沙丘将很快解体。因为迎风面的侧向绕流将使两底角受到吹蚀, 而背风面分离涡流又很弱, 这样的金字塔沙丘将很快变成新月形沙丘。从金字塔沙丘的表面压力分布的测定可知: 非正常设置的金字塔沙丘迎风侧面爬坡风速较低, 而侧向绕流风速较高; 背风二侧面, 则基本上均处于分离涡流区中, 但涡流强度不大。

3 敦煌鸣沙山金字塔沙丘形成的动力模式

鸣沙山地区的物质组成是细沙。在大气环流和三危山等一系列山脉的地形障壁影响下, 形成该区独有的风况, 即三组不同的风向, 且风力相差不大。结合风洞实验和野外实地流场观测, 借鉴前人的研究成果, 可以建立敦煌鸣沙山地区的金字塔沙丘形成动力模式如下:

3.1 新月形沙丘的产生(图 2 A—D)^[3]

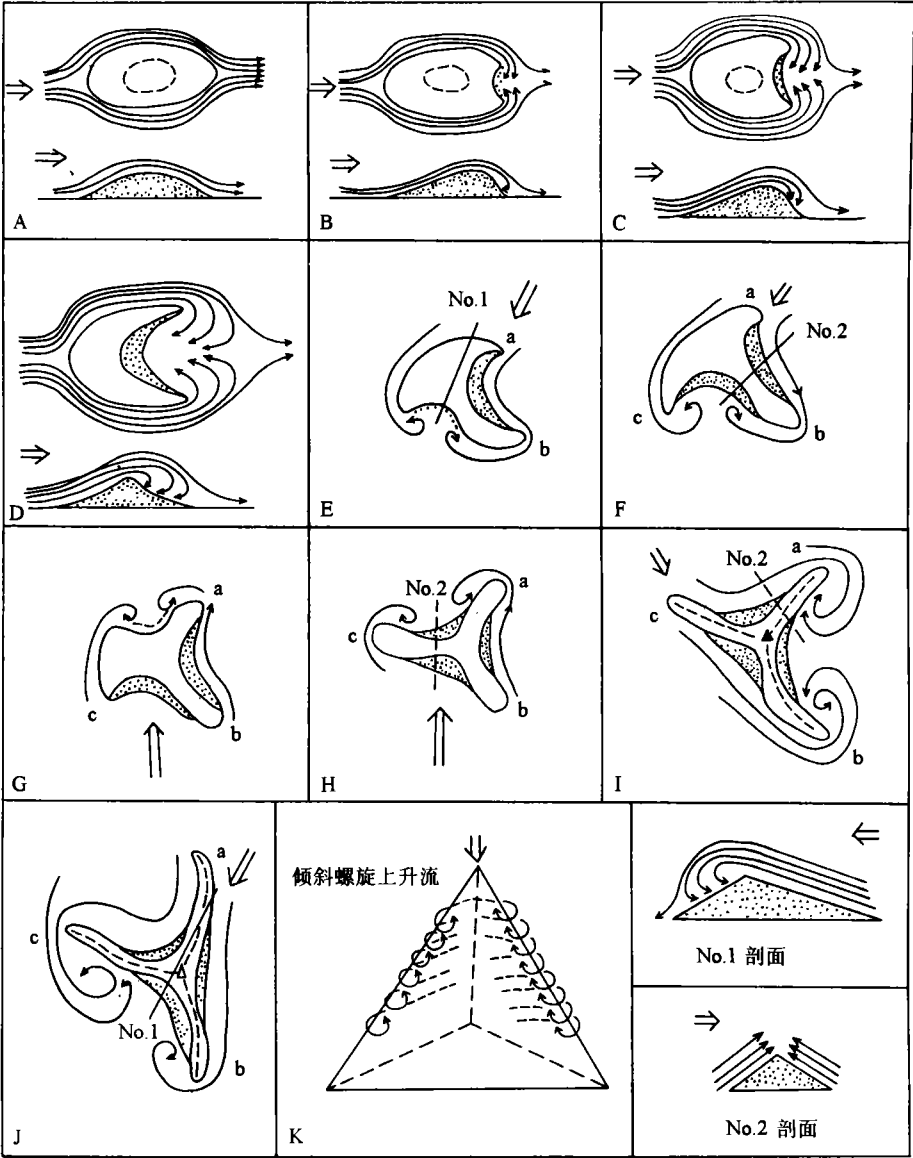
冬春季盛行西北风, 地表的风沙流因植被或地形起伏, 使沙粒堆积下来。沙粒一旦堆积, 下层沙粒就会受到表层保护, 沙堆移动速度变慢, 随后的风沙流不断补充加大增高(图 A)。沙堆的发展, 加剧了地形的起伏, 贴地面层气流在沙堆的背风坡发生分离, 形成具有水平轴的涡流, 速度减慢, 使气流搬运的沙粒过丘顶后, 在背风坡的涡流区沉积下来。随着沙子的不断沉积, 沙堆体积的增长, 背风坡沉积量最大点便相对地更接近丘顶, 遂使沙堆背风坡的上面部分比下面部分前进更快的趋势, 坡面因之不断加陡, 最后当坡度达到沙子最大休止角 34° 左右时, 沙体发生剪切运动, 部分沙粒崩坠, 形成一个小滑落面(即落沙坡), 沙堆背风侧出现一个小缺口, 发育成雏形新月形沙丘(图 B)。而后, 沙丘不断增高, 背风侧涡流尺度和强度不断增强, 气流分离愈来愈厉害, 小落沙坡进一步扩大(图 C)。同时沿沙堆两侧绕过的气流, 将沙子搬运至前方堆积, 最终形成新月形沙丘(图 D)。

3.2 雏形金字塔沙丘的出现(图 2 E—H)

夏季盛行东北风, 原来存在的新月形沙丘与风向斜交, 斜越沙丘垄体部分的气流, 就在原来的背风坡产生顺着垄体延伸方向的局部气流, 称之为旁侧气流。从丘顶翻越沙丘的气流如上一个风季的作用过程一样, 会在新的背风坡形成一个小缺口(图 E)。由于坡麓气压高于脊部, 旁侧气流一方面使沙粒有被吸入脊部的趋势, 与背风坡的水平轴涡流(图 2 中 NO. 2)一起, 使新的小缺口发育成又一个落沙坡, 而且老的落沙坡没有被吹蚀, 得以保存(图 F)。同时使上一个风季形成的新月形沙丘发生改造: 迎风的一个翼角吹蚀(图 F 中 a), 另一翼角延长为舌状沙体(图 F 中 b)。风季最终结束的时候, 沙丘演变为有两个落沙坡的形态和一个舌状凸出体(F 中的 b)。在盛行偏东风和偏西风的季节里, 由于局部地形所致的山风南风影响, 使沙丘在南风的背风侧有时也会形成一个落沙坡, 而复杂的侧旁气流也进一步保持原有的落沙坡并改造伸出的翼角, 从而产生雏形金字塔沙丘(图 G 及图 H): 三个明显的落沙坡, 及其相间的向外突出的舌状沙体。野外考察和观测发现: 为适应不同变换的风向, 沙丘演变过程中的确同时存在不同方向的两个落沙坡的事实^[5]。而风洞实验中, 发现金字塔沙丘的流场和新月形沙丘的流场十分相似, 从另一个侧面表明二者的形成过程有一定的关联^[18]。鸣沙山地区金字塔沙丘与新月形沙丘伴生, 也可为旁证。

3.3 成熟金字塔沙丘的形成 (图 2 I—J)

锥形金字塔沙丘形成后, 原有风向继续对其进行改造。当偏西风对着锥形金字塔沙丘的一个舌状突起吹拂时 (图 I), 迎风面气流爬坡翻越顶部, 由于丘顶风速大于背风坡面的风速, 迎风侧指向沙丘顶的加速气流就在背风侧形成动力压力梯度 (即伯努利效应), 从而在背风坡的中部减速区形成一个横轴涡旋, 将沙粒往沙丘顶部搬运, 促使背风面的落沙坡



A—D: 新月形沙丘的产生, E—H: 锥形金字塔沙丘的出现, I—J: 成熟金字塔沙丘的形成
A—D: the apperance of barchan, E—H: the emergence of embryo-pyramid dune,
I—J: the formation of mature pyramid dune

图 2 金字塔沙丘的形成模式图

Fig. 2 The forming model of pyramid dune

愈来愈发育, 即落沙坡的高度越来越大, 位置越来越靠近丘顶。从两个迎风侧面经过的旁侧气流, 绕至背风坡已经分别转向成东北风及东南风, 气流的突然转折处, 即背风坡的两侧会形成两列近乎竖轴(轴垂直于坡折线)的小涡漩。当偏西风强劲时, 这些小涡漩就会变为两个沿坡折线上升的倾斜螺旋上升流(图 2 中 K), 把背风坡中部的沙粒不断的向坡折线处搬运, 并有向上输送的分量。Nielson 等人对美国都蒙特(Dumont)沙漠的研究中也发现^[19]: 越过沙丘的气流, 特别是背风侧基座处的气流极复杂, 脊线背风侧存在小型滚轴式旋涡(Roller)及柱式旋涡; 金字塔沙丘背风侧发生次生气流与原始风向较大角度的偏离及沙波纹移动方向偏转的现象, 表明该处存在大型旋涡中心和气流复合中心。

沙丘背风坡的横轴涡漩及倾斜上升螺旋流持续发展, 最终形成了丘顶附近规模较大的落沙坡及近凹形的背风坡面, 并在坡折处逐渐形成尖锐棱线的锥形(图 I 中 NO. 2), 向上输沙也使沙丘不断地增高。而后在南风和偏东风的吹拂下, 经历近似的过程, 分别形成另外较大规模的两个落沙坡, 并使三条棱线逐渐变得尖锐起来。经过一年或多年风场的改造, 最终会形成三个落沙坡及三条棱线的成熟金字塔沙丘(图 J)。

由于风向的多变, 落沙坡的频繁的改造和位置的变动, 加之沙粒的不断上送, 棱线上部积沙较多, 坡度相对较小, 使沙丘顶部相对较为平坦, 某一风季会在平顶上形成一个极小的尖顶(野外可以见到), 这个极小的尖顶有季节性的位置摆动; 同样由于风向的多变, 使主风向并不总正对着某一臂的主棱吹, 因而造成棱线的来回摆动并较为弯曲。

3.4 金字塔沙丘的存在与保持

实验及实地观测中发现: 在形成锥形金字塔沙丘时三个主要风向的夹角最佳为 120° 左右, 且风力不能相差太大。锥形金字塔沙丘极易变化, 风向和风速稍有变动, 沙丘形态马上就有反馈, 随之发生形态的改变。例如, 若风向改变成正对锥形金字塔沙丘的某一坡面, 长时间吹蚀, 背风坡轴向涡流和旁侧气流会使两底角遭到吹蚀而崩解, 背风的沙丘臂会逐渐萎缩, 从而使金字塔沙丘最后演变为新月形沙丘。这可能是野外观测中经常发现新月形沙丘与金字塔沙丘伴生且会相互转化的原因之一。从锥形金字塔沙丘形成为成熟金字塔沙丘的过程中可以看出, 金字塔沙丘在某一地区为适应其风况, 必然存在一个“最小生存尺度”^[19], 该尺度要保证在某一风季强劲连续大风吹拂下沙丘的基本形态不被彻底破坏。

锥形金字塔沙丘演化为成熟金字塔沙丘后, 巨大的规模足以保证沙丘形态不在一个风季或一次大风事件中被彻底改造而变形; 同时, 巨大沙丘的次生流场也对金字塔沙丘的维持和发展产生积极作用, 例如, 可以加强背风面的横轴涡流及倾斜螺旋上升流。Lancaster 在墨西哥大沙漠中对高 40m 的金字塔沙丘的沉积模式和表面流场进行观察, 结果也表明^[20]: 随季节性风向的变化, 沙丘和气流之间的相互影响很大, 这种相互影响对沙丘的保持有重大意义, 它们使沙粒沉积沙丘中部, 形成金字塔形, 并使线性臂向前延伸。

从金字塔沙丘的形成机制中还可以发现: 由于风向的多变, 形成的横轴涡流和倾斜向上的螺旋流, 使沙粒向上移动, 丘顶和脊线多来回摆动, 故总体来讲, 整个沙丘水平位移较少而垂直增长多。

分析表明: 每一个主要风向导致形成一条沙丘臂及其棱线, 棱线相交形成坡面。受三组风向作用, 该区的金字塔沙丘表现出三个棱面。大量统计发现, 三组风向分别与金字塔沙丘的三个臂相对应, 主风向常形成金字塔沙丘的主臂, 金字塔沙丘的三个棱线是三个坡面交汇的结果。这和 Nielson 等人对美国都蒙特(Dumont)沙漠的研究结果完全相同: 金字

塔沙丘具有与季节原始风向一致的沙丘臂和可能的滑落坡^[19]。

4 结论

(1) 实地流场观测和风洞实验揭示了金字塔沙丘形成的基础条件: 丰富的沙源、由大气环流及局部地形影响所致的三组或多组风向的风况, 且各方向风力相差不大。

(2) 通过流场分析及风洞模拟实验可以推断敦煌地区金字塔沙丘的形成模式: 某一风季单一风向下, 首先形成新月形沙丘; 在此基础上, 其它风季不同风向对其加以改造。三个风向形成并保留三个落沙坡及其相间的三个舌状突出沙体, 成为锥形金字塔沙丘; 而后, 不断交替的三组方向的风继续作用, 在背风坡形成一个横轴涡漩, 坡折处产生两个倾斜螺旋上升流, 把背风坡物质向坡折处运移堆积的同时, 也有向上的分量。从而最终形成一个尖顶、三条尖锐棱线及三个凹形坡面的成熟金字塔沙丘。

(3) 金字塔沙丘形态的形成和保持过程中, 存在着“最小生存尺度”。锥形金字塔沙丘或规模较小的金字塔沙丘形态极易为一次大风或强劲且历时较长的风季所彻底破坏。为适应风场的变化, 沙丘常常演化成新月形沙丘等其它沙丘类型, 这种过程是可逆的。在立体镜下观察敦煌鸣沙山地区的航空照片时, 也发现沙漠内部沙丘链交汇之处存在多臂尖顶的金字塔沙丘。

参 考 文 献

- 1 付文丽等. 敦煌莫高窟的气象. 敦煌研究文集·石窟保护篇(上). 甘肃民族出版社, 1993.
- 2 甘肃气象局. 甘肃气候资料, 第一册(酒泉、张掖、武威), 1993. 9.
- 3 吴正. 风沙地貌学. 科学出版社, 1987.
- 4 B. A. 费德罗维奇. 现代沙漠地貌的起源. 沙漠地貌的起源及其研究方法(译文集). 科学出版社, 1962.
- 5 朱震达, 吴正等. 中国沙漠概论. 科学出版社, 1980.
- 6 Lancaster N, Star Dunes. Progress In Physical Geography, 1989, 13(1).
- 7 屈建军等. 金字塔沙丘形成机制的初步观测与研究. 中国沙漠, 1992, 12(4).
- 8 R. A 拜格诺. 风沙和荒漠沙丘物理学. 钱宁等译. 科学出版社, 1956.
- 9 Ron cook. Andrew Warren. Andrew Goudie. Desert Geomorphology, 1993.
- 10 徐叔鹰, 徐德馨. 青海湖东岸的风沙堆积. 中国沙漠, 1983, 3(3).
- 11 杨逸畴, 洪笑天. 关于金字塔沙丘成因的探讨. 地理研究, 1994, 13(1).
- 12 贺大良. 金字塔沙丘形成机制初探. 干旱区地理, 1986, 9(1).
- 13 McKee E. D. 等编著. 世界沙海研究. 赵兴梁译. 宁夏人民出版社, 1993.
- 14 凌裕泉, 潘锦诗, 屈建军等. 敦煌莫高窟崖顶风沙问题研究与工程防沙试验(研究报告), 1994, 6.
- 15 屈建军, 张伟民, 陆锦华等. 金字塔沙丘形成机制的观测与模拟实验研究. 地貌过程与环境. 地震出版社, 1993.
- 16 屈建军, 张伟民等. 金字塔形沙纹的风洞模拟实验研究. 科学通报, 1992, (20).
- 17 陈广庭, 刘贤万等. 沙漠公路沿线风沙运动规律研究风洞实验报告, 1993, 12.
- 18 李治忠等. 金字塔沙丘风洞流场结构的实验研究. 中国沙漠, 1995, 15(3).
- 19 Nilesen J, Kocurek G, Surface progress, deposits, and development of star dunes in Dumont Dune Field, California, Geological Society of America, Bulletin, 1987, 199(2).
- 20 Lancaster N. The dynamics of star dune; an example from Gran Desier, Mexico, Sedimentology, 1989, (30).

THE STUDY ON THE MODEL FOR PYRAMID DUNE FORMATION IN THE MINGSHA MOUNTAIN, DUNHUANG CITY

Hu Shixiong

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Wu Zheng

(Department of Geography, South China Normal University Guangzhou 510631)

Abstract

The forming mechanism and the model for pyramid dune formation were not fully studied. In this paper, the forming conditions of pyramid dunes are analysed, and a regional model is established based on the observation of airflow and the experiment in wind-tunnel.

The forming conditions of pyramid dune include: a rich sand source and a wind regime which contains three or more directions which have similar windforces. The mountain-valley wind resulted from local landforms is one of main factors that cause the changable wind directions.

The forming mechanism of Pyramid dune can be inferred from the air flow analysis and the experiment in wind-tunnel.

Under the changeable wind directions in one season, a barchan appears firstly; then, the embryo-pyramid dune emerges, which embodies three slip-faces and three tounge-shaped protrudings between them. With the three-direction winds modifying alternatively from season to season, a cross-axis eddy result in the lee-side and inclined helical eddies to form at the slope turn, which take sands from lee-side to slope turn and transport some of them upslope simultanneously. Finally, mature pyramid dune arises, which is made up of a pyramid top, three sharp ridges and three concave slopes.

Sometimes, the pyramid dune may break down and become a barchan when the wind blows toward one of its slopes continously for a very long period.

Key words mingsha mountain, pyramid dune, model for dune formation