

沙丘地貌学

David S. G. Thomas

一、沙丘地貌学革命的十年 15年前, Cook 和 Warran (1973) 就指出, 在荒漠研究方面, 通过调查获得资料, 然后以大量相互混淆的术语进行肤浅的描述来解释地貌现象仍然是地貌学家的主要手段。虽然拜格诺在30年前就曾进行过慎密的研究并发表了这些研究成果, 但定性的研究方法在沙丘地貌学领域仍然流行。

Mckee 编辑的《全球沙海的研究》一书的出版为八十年代沙丘地貌学研究方法的改进开拓了途径。继Mckee 及其同僚们的论著之后, 通过遥感获得资料, 推进了沙丘地貌学研究的进展。另一方面, 以精确的野外观测和实验手段为基础的研究工作也还采用拜格诺 (1941) 的方法开展研究。本文着重论述沙丘地貌学野外研究的最新进展。

二、沙海的研究 通过对沙海中沙丘和风沙沉积物的调查, 使沙丘类型区域沉积物特征与区域风况变化之间关系的资料, 不断地丰富起来。令人感兴趣的是近年对北美沙海的研究热情颇高。这是自60年代对加里福尼亚沙海研究以来所不曾见到过的。

学术界一直认为风况和沙源补给的丰欠是决定沙丘形态类型的主要因素。一些沙海沙丘类型的空间配置也印证了这种观点。纳米比亚的纳米布海岸沙海在近岸地带的离岸单向挟沙风能量颇高, 往内陆去逐渐转为双向甚至复合型的偏北风, 实际风能也随之减小。论及沙丘类型与风况的关系, Lancaster 观察发现近岸地带分布着纵向沙丘和新月形沙丘链, 在内陆风向最为多变、合成风能最低的地区, 沙丘形态演变为横向沙丘和金字塔形沙丘。

意味着现在不研究作物与自然环境之间的相互关系; 而是把这一任务留给农学家、土壤科学家、气候学家和植物学家, 农业地理学家已将自己与其根源分离开来了。

屠能模型及其解释 1826年, 德国经济学家屠能出版了《孤立国》一书。在这本书中, 他认为与市场的距离是种植何种作物、饲养何种家畜及采取何种集约程度的主要决定因素。

他设想有一个假想的孤立国, 所有可能影响农业的其它因素如土壤类型或各种输入都保持不变。这样他设计了第一个经济模型。1966年, 当《孤立国》一书被译成英文后, 对农业地理学家及所进行的有关农场、国家和世界规模的距离影响的许多研究产生了深远的影响。他强调一个因素, 认为经济力是第一位的, 而环境则是第二位的。他还把农业地理学家引到冲破当时的局面, 以更严格的态度提出假说并予以检验的轨道上来。

行为研究方法 农业地理学研究的基本单位是农场与农民。但许多出版的农业统计资料是按行政单位统计的, 从而掩盖了农场汇总的数据。因此, 难以根据个人行为来解释农业差异。然而, 农业的空间差异是由很多单个农民做出的许多决策的结果。T. 哈格斯坦对瑞典农民如何采用新的农业方法的研究, 导致了对农民的态度和设想如何影响农场决策的许多研究。有关这类的研究已经摆脱了经济决定论, 屠能可能没有意识到自己是经济决定论的先驱者。近年来, 地理学家在解释农业的空间差异时, 把重点更多地放在非环境因素和非经济因素上。

石忆邵摘译自David Grigg: *An Introduction to Agricultural Geography* 1981年, 第一章, 刘卫东校

墨西哥大沙(Gran Desierto)沙海虽然研究得很少,风况资料也极为缺乏,但可肯定沙丘形态的空间变化也与风况密切相关。该沙海北部最常见的是金字塔形沙丘和反向沙丘;南部沿海地带则为横向沙丘。这种空间配置就是由于向北去风况变得更为复杂之故。

大沙(Gran Desierto)沙海中未见有纵向沙丘的发育。在别的沙区如澳大利亚沙漠和喀拉哈里沙漠,纵向沙丘则十分发育。在一定意义上说,可以把纵向沙丘看作是一种“过沙”形态。从这一点出发,Lancaster(1986)确认喀拉哈里沙漠西南沙区粒度组成、分选程度的区域分布趋势与合成风沙流方向具有一致性。同时也指出这种区域分布趋势往往因局地沙源补给条件的改变而受到干扰,从而使沙丘组合形态测量参数也随之变化。

三、纵向沙丘的发育 把纵向沙丘的发育假说模式建立在实地观测的基础上,而不是靠推测臆断,这也许是沙丘地貌学最新进展的重要标志。虽然Tsoar(1978)的新颖见解显得更容易为学术界认可,但有些权威仍然拒绝接受这一理论,而宁愿坚持“平行轴反转涡流”说。正如Wasson(1984)所指出的那样,平行轴反转涡流机制从没能直接反映主平行涡流与纵向沙丘上沙子运动的关系,也从未通过实际观测得到验证。这就是该假说令人“难以想象”的原因。

现在学术界普遍认为纵向沙丘乃双向风所成。Tsoar的纵向沙丘成因机制主要有两个方面:丘脊风向的季节性偏转;下风侧气流与脊线平行。下风侧涡流形成弯曲的脊线,而整个沙丘的轴向则与合成风沙流向相一致。Tsoar学说的主要意义在于他指出纵向沙丘形态得以维持的原因在于沙丘本身,而与大气条件对风向的改变无关。

Livingstone(1985)在纳米布沙海的大尺度双脊沙丘上也严格地观察流过纵向沙丘的气流流态。跟Tsoar在西奈半岛的研究区一样,Livingstone所研究地区的风向也具季节性变化。他认为丘脊带流线密集是沙丘上沙子运动的最重要控制因素。尽管由于沙丘具有双脊,不同季节风力也不相等,而使沙丘上蚀积状况又比较复杂,但是,丘脊线部位流线密集,造成在迎风坡表现为净风蚀,而背风侧为净堆积。随着两个相对风向的季节性变化,侵蚀与堆积带的展布图式也因之改变,与之相适应的沙丘形态也因此而发育。

Tsoar(1978)的纵向沙丘发育机制与Livingstone的不同之处是纵向沙丘上沙子的运动路径。Tsoar的模式中沙子并不被吹离沙丘,而是通过下风侧的偏转效应顺下风方向搬运。Livingstone的模式则认为沙子被搬离背风侧,并通过上风侧沙子的补给而维持沙丘的均衡态。不过,Livingstone同时也指出两种风向的夹角也影响沙丘的发育。在沙丘加积过程中,当风向夹角较小时,沙子主要顺着沙丘搬运;而风向交角较大时,这一搬运途径就相对较弱。

对上述两种模式的差异有必要进行更深入的研究,或找出普遍适用的模式,或判定各模式所适用的条件。然而总体论之,和以前那些缺乏实际观测基础的理论化假说相比较,这两种模式都有实质性的改进。

四、风速、沙丘剖面及沙丘沉积 很明显,过沙丘剖面风速风向的变化规律是理解沙丘成因机制的关键所在。Thomas(1986)谈到过,Tsoar(1985)和Lancaster(1985)曾观测过沿沙丘侧翼往上气流的加速效应及其对沙子运动和沙丘剖面形态的影响。最近,Watson(1987)通过理论探讨批评了Lancaster(1985)的某些研究结论。

风速只是决定沙丘上沉积物运动状态的诸多因素之一。因此,Watson(1987)指出,不应当认为沙丘迎风坡风速的增大必然会加大脊部沙子的运动。有趣的是,这一点恰是Lancaster纵向沙丘动力模型的理论核心。

继Walmsley和Howard(1985)之后,Watson(1987)指出沙丘不同部位的蚀积状况与

风的剪切应力有关而不是与风速有关。风的剪切应力与多种因素有关,包括沙子粒度、地面坡度等,风速只是其中之一。这一理论有助于阐明近来观测到的风的最大剪应力在沙丘的不同部位都会出现。例如在横向沙丘上,最大剪应力出现在向风翼中部,而在金字塔形沙丘上则出现于沙丘臂的脊部。

Tsoar 的理论说明横向沙丘迎风坡沙子粒径大小对沉积物运动状况也有影响。显然,起沙风速随着沙子粒径的增大而增大。这样,同较细沙粒组成的沙丘相比,粒径较粗的沙丘形态在其下部风速尚未抵达临界值时可以维持较长时间。随着向脊线去风的加速效应,维持沙丘原形态的时间就会缩短。结果,较粗沙子组成的沙丘脊部更容易风蚀;较细沙子组成的沙丘任一部位都较容易风蚀。这就是较粗或粒度级配为双峰的沙子组成的沙丘如缓起伏沙丘(Zibar)、横向沙丘高度较低的原因,这些沙丘也不具备Tsoar (1985)和Lancaster (1985)所谓的横向沙丘均衡剖面。

最近关于新月形沙丘凸形剖面上沉积变化的两项研究表明,沉积物——过程——动力的关系更为复杂。Watson (1986)和McArthur (1987) (应用对数双曲线分布分析粒度资料)都根据粒度特征把低缓脊部的加积沙和陡凹的落沙坡风积沙区别开来。此外,Watson (1986)还发现沙子坡度同沙子粒度、分选程度也显著相关。

沙丘横剖面上粒度分布为细偏态,纵剖面上由于沙丘前移时落沙坡沉积物的不断更新,所以落沙坡脚及迎风坡脚很少出现细偏态。

Watson (1986)和McArthur (1987)相继发现沙丘上存在着两个堆积过程:落沙坡上沙子的崩落(这使得落沙坡脚粒度较粗);丘脊部位沙子跌落为主要堆积方式。后者是由沙丘平缓脊部风的剪切应力减小所引起的。这造成了丘脊发育低角度加积层理。

在这一点上,两人的研究结论有所不同。Watson (1986)认为落沙坡崩落的沙子粒度最粗,分选最好;沙丘脊部的加积沙则最细且分选最差。与此相反,McArthur (1987)发现加积层粒度最粗且分选最好。造成这种结果的原因是丘脊部位风的剪切应力较低,从而有利于粗沙的堆积。

目前对这种分歧的原因尚不清楚。如果不是由于McArthur (1987)所采用的判断沉积物变化的对数双曲线函数较之Watson所采用的对数正态分布模式更为灵敏,就有必要进一步考虑沙丘特性与形成这种沙丘的动力过程之间更为复杂的制约关系。

五、斜沙丘 McKee (1979)的沙丘分类系统中,有两个主要类型:与合成风沙流方向直交的横向沙丘和与合成风沙流方向平行或大体平行的纵向沙丘。30年前,Cooper (1958)研究美国俄勒冈海岸沙丘时,把该地沙丘称之为“斜沙丘”。Hunter等人1983年重新调查这里的沙丘。Carson和Macleam (1986)在萨斯卡彻温寒冷、半干旱的威廉斯(Williams)河岸沙丘的考察中也发现有类似的沙丘类型。他们把这类沙丘称之为“混生沙丘”(hybrid dune)。这与McKee的复杂沙丘(complex dune)不同。复杂沙丘指由几种不同类型的基本沙丘形态联合组成的沙丘。相反,斜沙丘则同时具有横向和纵向沙丘的形态与沉积构造。

上述两地沙丘沉积构造基本上类似于横向沙丘。但某些形态特征及沙子顺着沙丘搬运、在沙丘终端堆积的情形则与纵向沙丘相似。但两地沙丘的轴向与合成风沙流方向(RDD)有所不同。威廉斯河岸沙丘更象纵向沙丘;俄勒冈海岸沙丘走向与合成风沙流方向斜交($15^{\circ} \sim 75^{\circ}$)。Hunter等人因之提出了一个沙丘分类方案:以沙子的合成搬运方向为准,沙丘走向与之偏斜 15° 以内者为纵向沙丘; $15^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 为斜沙丘; $75^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 为横向沙丘。

上述两地沙丘的许多特征及其复杂性与多种因素有关:挟沙风方向偏差的相对平衡,过

沙丘剖面气流的变化效应及其特征,沙丘区边缘地带广泛的植被覆盖对沙丘发育的影响等。俄勒冈海岸沙丘形态由于水分条件(平均年雨量1630毫米)对沙子的季节性移动的影响而变得更为复杂。Hunter等(1983)把干季风沙流合成方向同沙丘走向进行对比,发现在较为干燥的环境中若风况相似,沙丘更容易发育为横向沙丘。

关于沙丘上风 and 沙子运动资料的积累,越来越表明沙丘形态及其过程的复杂性。例如Tsoar对西奈半岛纵向(赛夫)沙丘剖面的分析说明甚至纵向沙丘也可看作是凸形横向沙丘剖面的组合。其它沙区如喀拉哈里西南部,沙丘剖面不对称且有分枝现象,可能是由各向风之不平衡所造成的。

若风向变动范围较大,则在这种环境下发育的斜沙丘或混生沙丘形态的变幅也较大;横向沙丘或金字塔形沙丘臂上风况的复杂性也随之增加。这就是“较稳定”的沙丘类型如纵向沙丘和金字塔形沙丘也会侧向移动的原因。其结果是沙丘沉积构造层倾角越大,越不容易保存;而低角度的丘间地风成沉积层理则较容易保存于岩层记录中。

六、金字塔形沙丘 对金字塔形沙丘的发育机制很少进行过直接的野外研究。最近Nielson和Kocurek(1987)在加利福尼亚莫哈维沙漠北部杜蒙特沙区的研究改变了这一状况。

沙区中心地带的大金字塔沙丘侧翼披复着锥型金字塔沙丘以及新月形和纵向沙丘。锥型金字塔形沙丘是在风况发生季节性变化时由其它沙丘形态联合而成的。但是,多数联合形态都是暂时性的,逐渐会失去金字塔形态特征而发育为反映季节性风况的沙丘形态。

Nilson和Kocurek(1987)认为只有当沙丘大小达到临界尺度以后,才能经受风向改变的影响、吹蚀和沙丘移动的影响;也才足以产生次级气流,从而才能使金字塔形态得以维持并不断增大其体积(Lancaster也持这种观点)。

当金字塔形沙丘达到足以使较多沙子堆积、避免总体变形从而保持其金字塔形态的最小尺度时,其每一臂都类似于一横向沙丘、斜沙丘或纵向沙丘(依季节性风向而定)。当沙子补给充分、风向变化又频繁、各季风能相似,风向大体垂直时,就会产生这一临界尺度。

七、植被与沙丘 在Hack(1941)的沙丘分类系统中,植被是一项主要的分类参数。实际上在荒漠沙丘研究中却大大地忽视了这一点,只把植被看作固定沙丘和抑制风营力的因素。但是正如Ash和Wasson(1983)以及Wasson和Nanninga(1986)所指出的:当植被盖度达到30~35%时,就会对沙丘上风积物的运动产生重要影响。

Tsoar和Moller(1986)认为,在年降水量50毫米的地区,由于沙丘沙更有利于蓄水,植被就是影响沙丘发育的重要因素。

据Tsoar和Moller(1986)所见,在内格夫荒漠,低的植被覆盖的纵向沙丘走向与主风向平行,植被盖度只在最强风时限制沙子的运动。

过牧破坏植被之后,复植沙丘就演变为活动更强、蜿蜒曲折、大致平行于合成方向的赛夫沙丘或辫状纵向沙垅。当然,关于植被在沙丘形态发育中的动力效应仍需进一步研究,特别是完全固定的、具有古环境意义的复植沙丘尤其需要深入研究。

八、跋 过去的十年中,在描述性地、常常用假设论述沙丘地貌的同时,实地定量研究也取得了很大进展。当然仍有许多问题需要进一步研究。下个十年期间,通过野外监测沙丘动力机制,进而作出更为精深的理论总结的学术研究将更为活跃地开展。关于风的拖曳力的研究成果也将应用于解释沙丘成因。这方面已在最近关于风成波纹的研究中初见端倪。与这些研究相联系,关于组成沙丘并影响其过程变化的沉积物的大小、形状特征的知识也将获得重大进展。

陈渭南译自《Progress in Physical Geography》,vol.12, No.4, 1988; P 505~606, 张民力校