

# 用创新思维破解风沙运动机理 ——两种理论体系核心的剖析

孙显科<sup>1</sup>, 张学利<sup>2</sup>

(1. 辽宁省林业厅, 沈阳 110031; 2. 辽宁省固沙造林研究所, 辽宁阜新 123000)

**摘要:** 从地理学视角首次将风沙运动分解为内核和外延两部分, 提出沙粒起动是风沙运动的内核, 将沙粒起动后的一切输移表现界定为外延。流体起动和跃移质冲击起动是构成内核的两个实体。利用这一创新理念, 对风沙物理学和风沙地理学两种理论体系的不同核心展开讨论。结果表明: 能否区分内核两个实体的不同本质属性和能否摆正两个实体的互动机理是导致两种理论不同核心的形成和出现许多分歧的根源。本文深化了对风沙运动内涵的理解, 从理论上突破了R.A.拜格诺长期用一扬一贬沙粒两种起动观引领沙坛学术潮流的核心理念。

**关键词:** 风沙运动理论体系; 风沙物理学; 风沙地理学; 风沙运动内核

DOI: 10.11821/dlxb201501006

## 1 引言

风沙运动理论体系是对风沙运动总体规律的认知, 它是将已有的科研成果经过高度提纯凝缩而成的有机综合体, 具有集成性、概括性和独创性。人类对风沙运动总体规律研究发展到今天, 出现两种理论体系。一种是1941年由英国学者R.A.拜格诺从物理学视角创建的风沙物理学理论体系, 其代表作为《风沙和荒漠沙丘物理学》<sup>[1]</sup>。

另一种是中国培育的风沙地理学理论体系。新中国成立后, 特别是中国1959年3月成立中国科学院治沙队后, 在全国掀起大规模治沙行动。大批科技人员一方面先后对全国各大沙漠和沙地以及广袤的沙漠化地区进行多学科综合考察、调查沙区群众治沙经验; 一方面结合生产建设和防治沙害需要, 对风沙运动规律开展定位、半定位和风洞实验研究。经过广大科技人员的不懈努力, 中国在沙漠和沙漠化考察、科学实验研究和沙害防治三个方面都取得了长足进展<sup>[2-5]</sup>。进入20世纪80年代以来, 随着中国改革开放经济高速发展, 治沙经过20余年积累也进入高产丰收期。其中仅就风沙运动规律以及沙漠和沙漠化及其危害防治方面就陆续出版了一批有份量有影响的专著和论文集<sup>[6-21]</sup>, 一些颇有见地的单项科研成果<sup>[22-43]</sup>取得越来越多的突破。它们推动了中国治沙事业的发展, 也培育了另一种理论体系的萌芽<sup>[44-48]</sup>。

另一种理论体系是孙显科(2010)在学习国内外治沙科研成就的基础上, 结合早年在民勤治沙站开展的科学试验, 运用辩证思维从地理学视角创建的五子十纲新型风沙地理学理论体系。其代表作为《辩证思维与风沙运动理论体系的创建和应用》<sup>[49]</sup>。

两种理论体系各有侧重、各有所长, 也各有一条主线凸显两种理论体系的本质区别。本文就两种理论体系产生分歧根源展开讨论, 揭示它们的本质区别, 这对端正治沙

收稿日期: 2014-04-10; 修订日期: 2014-11-24

作者简介: 孙显科(1929-), 男, 辽宁黑山县人, 辽宁省林业厅研究员, 主要从事风沙地貌、风沙运动规律和机械固沙研究。E-mail: 296271159@qq.com

研究方向、促进治沙学术发展以及指导治沙实践、规划治沙战略部署都至为重要。

## 2 两种风沙运动理论体系简介

### 2.1 拜格诺风沙物理学理论体系

R.A.拜格诺是世界知名的风沙物理学家,他第一个应用物理学原理、利用风洞模拟实验、理论分析与野外观测相结合方法创造性地分析风沙环境中的气流场,系统地研究沙粒的单体运动和沙粒的群体运动<sup>[2]</sup>。在沙纹和沙丘的形成和演变方面他开辟了动力地貌学研究之先河。他把风沙运动看作是自然界中固体在流体中输移的一个特例。因此他把当时普朗特(Prantl)、冯卡门(Von Karman)以及谢尔德(Shields)等提出的边界层理论应用到风沙运动的研究中,推导出沙床表面空气动力学粗糙度<sup>[2]</sup>。他建立了流体起动风速与沙粒粒径的关系。应用动量定理通过风洞实验和野外论证推导了输沙率公式。他还制定了砾石、沙粒、尘粒三项不同介质界限的划分原则等。这些成就被国人誉为“拜格诺风沙物理学研究思想<sup>[2]</sup>”,对国内风沙研究影响深远,将其视为理论研究的主攻方向<sup>[2-5, 14, 33]</sup>,长期引领学术研究的时代潮流。尽管限于当时条件有些结论被后人有所修正,但至今仍作为研究基础受到广泛重视。他提出的“跃移质冲击起动”结束了过去对沙粒流体起动的单一认识,建立起颗粒运动物理学和风沙地貌形成动力学,并由这两部分构成了风沙物理学理论体系。

### 2.2 五子十纲风沙地理学理论体系

“五子”是指构成本理论基础的风、沙源、下垫面、风沙流和沙地地表形态五个主导因子;“十纲”是以五个主导因子的强、弱,扬、抑,走、停,盈、亏,蚀、积10个对立侧面互动机理为纲探寻风沙运动总体的演绎规律。以下简称新风沙地理学理论体系。

孙显科通过对风沙运动总体规律的思考,改变研究视角。在学习国内外已有大量科研成果的基础上,运用辩证思维重新审视风沙运动规律,挖掘诸多因素的内在联系,决意另辟蹊径创建新的风沙地理学理论体系。

第一步先从构成风沙运动体系的众多因子中甄选出风、沙源、下垫面、风沙流和沙地地表形态五大因子作为构建风沙运动理论体系的基础。

第二步是确定五大因子在参与风沙运动时各自的主要表现特征,以便统一步调解决它们之间的相互组合、相互作用和一变皆变的联动机理。鉴于风沙运动说到底是固体颗粒在气态流体中的起动和输移。因此在审视五个主导因子的作用时,在研究国内外对每个因子报道的许多特点时,最关键的是考核它们在风沙运动中各自对沙粒起动和输移所起的作用。抓住这一要点来界定它们的主要表现特征、考核它们的相互联结,就能突出风沙运动中矛盾的主体,进而为主导因子间的组合排序创造条件。根据这一思路,在研究五大因子的相互作用时,发现每个主导因子都有一分为二的动态特征,即风速有强弱、沙源中的沙粒有走停、下垫面有扬抑作用、风沙流含沙量有盈亏、沙地地表形态有风蚀和风积变化。五大因子的这些变化都是影响沙粒起动和输移的关键。于是五大因子在参与风沙运动时:强、弱,扬、抑,走、停,盈、亏,蚀、积10个对立侧面的相互作用构成了风沙运动的主体。其中任意一个主导因子由一个侧面向另一个侧面转化时,其余各对立侧面也随之转化,形成新的组合关系。抓住10个侧面相互影响、一变皆变的联动机理,经过梳理、组合排序、依其内在联系绘出它们演绎的图谱<sup>[21]</sup>,从而建立起一种新型的风沙运动理论体系。原称“十纲辩证风沙运动理论体系”<sup>[48-49]</sup>,“十纲”即10个对立的侧面,“辩证”是指它们的互动机理。为了突出包括视角和研究目的在内的一些特

点,现改称“五子十纲风沙地理学理论体系”。

值得说明的是,创建五子十纲风沙地理学理论体系是一种新的尝试,尽管各项结论都有一定的依据,并且在治沙实践中得到了验证;尽管今天又提出创新思维从风沙运动内核高度探索两种理论体系分歧根源将其推向新的高度;但该体系仍是初具规模,多是定性分析。今后仰赖广大同仁大力支持充实提高,使其臻于完善。

### 2.3 两种理论体系关系

两种风沙运动理论体系本是研究同一学科的两个方面,它们均以探索风沙运动总体规律为己任。共同的研究目的使二者优势互补,相辅相成,收异曲同工之效。新型理论体系在创建过程中直接采纳了拜格诺两步走的思路和他的某些实验数据就是明证。

但也不容讳言,风沙运动非常复杂,两种理论体系在解释许多风沙表现时,时有分歧和争议<sup>[37-38, 45-47]</sup>。其中对沙粒两种起动本质属性的不同见解成了两种体系与生俱来的根本分歧<sup>[46]</sup>,也构成了两种体系的本质区别。长期以来各持已见,分歧未曾获得彻底解决<sup>[37]</sup>。本文在高度肯定拜氏风沙物理学功绩的同时,特提出沙粒起动是风沙运动的内核。这一创新理念强调对内核的纷争和异议非同小可,已经波及风沙运动的全局,成为贯穿两种理论各自体系的一条主线,使理应并行不悖的两种理论体系演变到互不协调、甚至滑到悖论的边缘,成了阻碍风沙运动研究向前发展的瓶颈。本文对沙粒起动持有不同认知的严重性提到如此前所未闻的应有高度,旨在引起学术界重视对两种理论产生分歧根源的研究。它好比潜藏在深处的暗礁,一旦排除前途便是一片光明。两种体系可以回归到取长补短相得益彰的正常状态。

## 3 拜格诺风沙物理学理论体系的核心和他的4项论点

### 3.1 拜格诺对沙粒两种起动的物理分析和他的4项论点

自从拜格诺发现跃移质冲击起动后,人类对风沙运动研究进入沙粒两种起动时代。如何看待两种起动性质、两种起动效能和它们的演绎机理,成为这一时代研究风沙运动的主旋律,不管从什么视角研究风沙运动都首先遇到而且必须回答的问题。拜格诺认为空气密度为沙粒密度的1/2000,“如果气体要使静止的颗粒获得和流体相同的速度,则在空气中必须损失体积等于颗粒体积2000倍的空气的动量”<sup>[1]</sup>。而一颗高速运动的跃移质的冲击“可以推动6倍于它的直径或200多倍于它重量的表层颗粒”<sup>[1]</sup>。基于这种物理分析,两相对比他认定:

(1) 在风沙运动中占沙粒移动总量95%以上的跃移沙和蠕移沙都是由跃移质冲击起动的,而只有不足5%的较细颗粒是由流体起动的。于是两种起动效能之比被定为19:1;

(2) 混合沙输沙率增大是跃移质反跳的结果;

(3) 用跃移质特性轨迹解释沙纹的形成,被誉为沙纹弹道成因理论<sup>[11]</sup>;

(4) 将跃移质列为构成风沙运动的五个主导因子之一,等等。

### 3.2 透过4项论点看拜氏理论体系的核心

以上4项论点从沙粒两种起动效能之比、到混合沙输沙率增大原因、到小尺度风沙地貌——沙纹的形成、到构成风沙运动主导因子的选择,拜格诺全方位比较系统地阐述了自己的学术论点。这些论点紧扣跃移质冲击起动,不提或只些许提及流体起动作用。这种一扬一贬沙粒两种起动观是依据物理分析得出的一种独特的推理逻辑,这种起动观构成了风沙物理学理论体系的核心,也是贯穿拜氏理论体系的一条主线。毋庸置疑,拜格诺的物理分析指出了跃移质冲击起动的强势和流体起动的弱势,这对了解沙粒两种起



动的某些特质颇有助益。但这种分析与实际存在差距。此外跃移质冲击强度和空气密度不是影响沙粒两种起动效能的唯一因素,强者也有弱点,弱者也有强点,这正是本文需要依据新理论体系进行深入研究、综合考虑予以解决的问题。

### 3.3 拜氏两点物理分析与野外实际存在差距

真理超越一步就会走向谬误,拜氏对沙粒两种起动分析都有过头的地方。在跃移质冲击中,拜格诺算得的“可以推动6倍于它的直径或200多倍于它重量的表层颗粒”系指“一颗高速运动的跃移颗粒”。而研究表明在风沙运动中能够达到高速运动的只有处于高层的少数小径级沙粒<sup>[41]</sup>。高程与含沙量(%)对数尺度之间具有良好的线性关系<sup>[1, 11]</sup>。

吴正根据朱震达、吴正、齐之尧等对风沙流结构观测,确认气流搬运的沙量有95%以上是在离沙质地表30 cm高度层内通过的,其中又有80%多处于10 cm高度层内<sup>[13]</sup>。根据这些分析,估计只有总量10%左右的沙粒有可能达到高速运动,如若达到与流体相同速度则为数更少。至于它们能否通过冲击起动沙粒,还要受到表层颗粒的互嵌情况和沙粒被冲击角度以及风沙流含沙饱和程度等许多条件的制约<sup>[14, 21, 28]</sup>。综合这些因素,如果不考虑具体情况,将拜氏上述物理分析结论绝对化,把极少数高速运动颗粒表现看成是跃移质普遍的整体行为,那就成了以少代多、以强代弱,夸大了跃移质的冲击起动效能。

与此类似的是,按不同密度比分析气流搬运沙粒时,所谓“在空气中必须损失体积等于颗粒体积2000倍的空气的动量”,是指“气体使静止的颗粒获得和流体相同的速度”。它包含了沙粒起动和沙粒输移两个环节,而不是只用于沙粒起动。从时间配比上看,起动为瞬时行为;而输移要达到与流体同速,则沙粒运行时间相对很长。因而输移所需动量远大于沙粒起动。如果将两个环节所需动量混搅在一起不加分析,势必夸大流体起动所需动量,虚增流体起动难度,进而贬低流体起动作用。

### 3.4 一扬一贬沙粒两种起动观是拜氏理论体系与生俱来的缺憾

沙粒起动是风沙运动的起步,在起步问题上拜格诺一边夸大跃移质冲击起动效能,一边又贬低流体起动作用,这为拜氏理论体系核心的形成奠定了一扬一贬的基础,铸成了该理论体系与生俱来的缺憾。这是用物理分析方法得出的结论;以下将采用创新思维做进一步剖析。

## 4 以创新思维剖析两种理论体系产生分歧的根源

为了从源头上厘清两种理论体系的本质区别、找出分歧的根源,本文首次将风沙运动分解为内核和外延两部分,用内核的相关理念以4项分歧论点为突破口剖析其共同症结,透过现象看本质,通过分歧看核心(表1)。

### 4.1 4项突破口的选择

通过对比不难看出(表1),4项分歧论点的共同症结体现了拜氏理论中的一扬一贬的沙粒两种起动观。我们的讨论就从沙粒起动观开始。

### 4.2 提出沙粒起动是风沙运动的内核,探索内核两个实体的不同本质属性

**4.2.1 将沙粒起动界定为风沙运动内核的依据** 本文首定沙粒起动是风沙运动的内核。起动是气流输移沙粒之始,起动和输移是有机的统一整体。不仅没有起动便没有输移,而且沙粒的各种运动方式、起跳高度、乃至沙粒的分选和地表的蚀积都发端于沙粒起动,因此它们都是内核的外延表现。根据贺大良等高速摄影研究,跃移沙粒起跳后其垂直加速度为负、水平加速度为正。这说明跃移沙粒离开地面后再无大于重力的向上外力影响其起跳高度<sup>[29-32]</sup>,这就证明在风速一定条件下沙粒的起动高度和起动分选对沙粒的移距和

表1 风沙运动两种理论体系4项分歧论点对比

Tab.1 Comparison of four divergences of two theory systems on eolian sand movement

| 分歧论点名称           | 风沙物理学论点  | 风沙地理学论点  |
|------------------|--|--|
| 1.对沙粒起动的不同认知     | 1.曾就沙粒起动和沙粒输移分别进行研究,但不曾认为沙粒起动是风沙运动内核。<br>2.不认为流体起动和跃移质冲击起动存在本质区别。<br>3.否认流体起动的重要作用,过份夸大跃移质冲击起动作用。将两种起动看成是取代与被取代关系。<br>4.将两种起动效能之比定为19:1。                       | 1.提出沙粒起动是风沙运动的内核,强调两种起动对风沙运动起核心作用。<br>2.认为两种起动存在本质区别。界定流体起动为风蚀性起动,具有主动分异性;跃移质冲击起动为置换性起动,只有随机分异性。<br>3.认为流体起动贯穿于风沙运动的全程。否认跃移质冲击可以取代流体起动。把两种起动关系界定为互促互滞互衰兴衰与共的命运共同体。<br>4.两种起动效能之比约为4:1左右。 |
| 2.对混合沙输沙率增大的不同理解 | 1.就输移论输移,不考虑输移与起动的关系。<br>2.认为混合沙输沙率增大是跃移质反跳数量增多、反跳高度增大、反跳距离拉长的结果。<br>3.他把有利于输移的表现看作是源,而不认为是流。  | 1.没有起动便没有输移。起动是源,输移是流。跃移质反跳有利于输移,但它不是源而是流。<br>2.混合沙床有利于流体起动,不利于跃移质冲击起动。跃移质反跳是其冲击受阻未能起动沙粒的表现。<br>3.在同等风速下流体起动沙粒数量增多是导致混合沙输沙率增大的根本原因。  |
| 3.对沙纹成因的不同解释     | 1.单纯地就沙纹论沙纹,不将沙纹成因同风沙运动中已知的许多运动规律(如沙粒有两种起动、有3种基本运动方式,风沙运动伴有沙粒分选,以及风成沙地地形存在1/10定律 <sup>[50]</sup> 等等)相联系。<br>2.孤立地认为,沙纹是跃移质按等量、等高、等距三个相等的特性轨迹依次向下风区沙床表面进行冲击的结果。 | 1.认为沙纹是风力塑造的最小风积地形,是沙粒群体有序移动最小独立单元。它的形成受风沙运动各种基本规律相制约。<br>2.沙纹是风和风沙流通过沙粒两种起动对沙质地表进行作用和反作用的结果,而不是跃移质单一作用的结果。<br>3.根据用胡杨絮野外观测,气流在前进中受重力作用向地面俯冲,受阻后又向上反弹。沙纹成波状排列主要是贴地面气流一俯一扬波浪式前进的反映。       |
| 4.对跃移质性能的不同认知    | 1.夸大跃移质的作用。认为跃移质可以代替风沙流的作用。把跃移质选为影响风沙运动的五大主导因子之一(把风、跃移质、地表颗粒粒配、局地地形起伏和风沙运动状态共同列为影响风沙运动的五大主导因子)。<br>2.不认为跃移质具有双重性。认为跃移对地表只有侵蚀作用而无促积作用;对流体起动只有取代作用,而无促进作用。       | 1.不认为跃移质是影响风沙运动的五大因子之一,它无法取代风沙流。把风、沙源、下垫面、风沙流、沙地地表形态选为构成风沙运动的五大主导因子。用风沙流取代跃移质。<br>2.认为跃移质具有双重性,既可侵蚀地表,也可导致地表出现沙粒沉积;既可阻滞流体起动,也可促进流体起动。左右其发挥何种作用的关键在于气流含沙饱和程度。不了解跃移质的双重性就无法将其应用于治沙生产实践。    |

输移分选起决定作用。由此可见风沙运动的一切外延表现都与沙粒起动数量和起动质量密切相关。只有将沙粒起动提升到“内核”高度才能显示起动与外延的主从关系,还原起动对风沙运动发展变化所起的核心作用。

**4.2.2 区分内核两个实体的不同属性解决对两种起动不同本质的认知问题** 流体起动和跃移质冲击起动是构成内核的两个实体。在已往的研究中,人们多从物理学视角探索沙粒起动的受力机制<sup>[29, 32, 37]</sup>。贺大良等将流体起动力归纳为8种<sup>[29]</sup>,受到同行关注<sup>[12, 14, 20]</sup>。但人们不曾或很少从地理学视角考虑两种起动不同的本质属性。新理论体系按沙粒起动对地表蚀积变化和对地表颗粒物质的分选性能的差异,将流体起动界定为风蚀性起动,它具有主动分异性;将跃移质冲击起动界定为置换性起动,它只有随机分异性<sup>[46, 49]</sup>。我们认为这种定性划分是拜格诺物理分析之外的一项重要补充,它明确了内核两个实体的本质区别。前者气流每有起动因沙粒输出必与地表风蚀和沙粒分选同步;而后者当跃移质进行俯冲时,地表先有沙粒输入后有沙粒起动输出。输入与输出属于置换关系,而且它对

地表颗粒随遇而击，没有主动分选机能。

4.2.3 确立两个实体的不同本质属性对拜氏理论体系核心构成强力冲击

(1) 首先对拜氏过份强调跃移质冲击起动效能是一种突破。一个最大的认识误区是人们普遍认为所有跃移质的冲击都可直接对地表构成不同程度的侵蚀（或称磨蚀）。而将其定性为置换性起动之后，方知事实并非完全如此。现今N代表置换率、A为主动冲击的跃移质数量、B为被冲击起动的沙粒数量，依定义 $N=B/A$ 。根据笔者对民勤治沙站区新月形沙丘迎风坡蚀积状况等观测（表2、表3），跃移质冲击起动有 $N>1$ （标杆号1~12）、 $N=1$ （标杆号12~13）和 $N<1$ （标杆号13-17）三种置换率在沙丘前移时于迎风坡下中上三个部位同时存在。 $N>1$ 有明显促蚀作用，而 $N<1$ 表明跃移质过多不仅不促蚀还有促积作用。所以不能夸大冲击起动效能，说沙粒运动有95%是由跃移质冲击起动的是一种误导。1987年董光荣等通过风洞实验得出夹沙风对粉沙质壤土的风蚀量为净风风蚀量的4.36~5.24倍<sup>[38]</sup>。这是对拜氏计算值的有力订正，也是对新理论体系的有力支持。

(2) 可为流体起动正名。与拜氏用物理计算方法不同，新理论体系采用对新月形沙丘表面粒配变化状况观测法解决对流体起动效能的认知问题。我们是沙粒流体起动效能因与果的统一论者。既然流体起动具有良好的分选性能，就可以通过表3列出的沙纹不同部位的粒配变化断定它们主要是流体起动进行分选的结果。整个沙丘表层由下往上细沙的粒配比逐渐增大，如粒径< 0.5 mm的中沙在迎风坡下部占25%，至中部< 0.4 mm的中沙占67.3%，到上部< 0.25 mm的细沙达到了99%，而且波峰与波谷粒配已趋一致。上中下三个部位都存在沙粒分选证明，流体起动的作用并非如拜氏所估计因为跃移质冲击的出现而被取代，而是贯穿于风沙运动的全程。沙粒分选的处处存在有力证明流体起动功能远胜过拜氏的物理分析结果。

4.2.4 区分内核两个实体的不同本质属性是研究风沙运动的核心 区分内核两个实体的不同本质属性后，由立即廓清以上两项误导中得知，这种定性划分为正确评价两种起动各自功能、为订正一扬一贬理论、也为下一步通过外延表现确立沙粒两种起动演绎机理奠

表2 单个新月形沙丘在前移中迎风坡的蚀积状况<sup>[46]</sup>

| Tab.2 Erosion or deposition situation on windward slope of single barchan dune during antedisplacement |      |      |       |       |       |       |       |       |      |
|--|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 标杆号  | 1    | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9    |
| 蚀积量/cm   | 0.0  | -9.5 | -12.5 | -15.0 | -14.5 | -13.0 | -11.0 | -10.5 | -9.0 |
| 标杆号  | 10   | 11   | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    |      |
| 蚀积量/cm   | -7.3 | -6.8 | -2.5  | +3.0  | +5.5  | +8.0  | +9.5  | +14.0 |      |

注：1. “—”为吹蚀，“+”为堆积；2. 标杆自下而上排列，间距为2 m；3. 每次测后重新调整标杆位置，保持1号标杆始终处于沙丘起点；4. 沙丘高度为3 m，迎风坡长33 m。

表3 民勤治沙站区新月形沙丘及其沙纹不同部位粒配变化状况<sup>[46]</sup>

| Tab.3 Sand-grading situation in different positions of barchan dune and sand lines in Minqin desert experimental station |        |       |       |            |      |          |      |
|--|--------|-------|-------|------------|------|----------|------|
| 采样编号   | 迎风坡的部位 | 沙纹的大小 |       | 沙纹不同部位粒配状况 |      |          |      |
|  |        |       |       | 波峰处        |      | 波谷处      |      |
|  |        | 波长/cm | 波高/cm | 粒径/mm      | 比例/% | 粒径/mm    | 比例/% |
| 1  | 下 部    | 95    | 9     | <0.5       | 25   | < 0.5    | 59.0 |
|  |        |       |       | 0.5~2.0    | 75.0 | 0.5~2.0  | 41.0 |
| 2  | 中 部    | 40    | 4     | <0.4       | 67.3 | < 0.4    | 92.3 |
|  |        |       |       | 0.4~2.0    | 32.7 | 0.4~2.0  | 7.7  |
| 3  | 上 部    | 10    | 微痕    | <0.25      | 99   | <0.25    | 99   |
|  |        |       |       | 0.25~0.4   | 1    | 0.25~0.4 | 1    |



定了理论基础。不区分内核两个实体的不同本质属性就不能正确对待两种起动的各自功能。因而由此产生许多分歧论点。虽然有的分歧经过后人实验得到改正,但多为就事论事,不能把一些事件联系起来看,有的分歧还被认为视角不同的反映,因而未能从理论高度获得彻底解决。结果分歧依旧。正反双方证明区分内核两个实体的不同本质属性是研究风沙运动的核心。对核心问题互不交锋,真伪并存,这不利于学术发展。

### 4.3 对沙粒流体起动机理提出风力集中论点

**4.3.1 探索流体起动机理解决对流体起动性能的认知** 拜格诺关于起沙风的实验已经给出了不同径级沙粒的流体起动值<sup>[1]</sup>,本已指明气流能够直接起动各种径级的沙粒。但在解释风沙具体表现时为什么还会出现怀疑、甚至贬低流体起动的重要作用,原因在于流体起动机理问题没有解决。今天如果再不解决,以后还会怀疑、贬低流体起动的重要作用。现以混合沙输沙率增大原因为例,对沙粒流体起动机理进行探讨。

国内外研究表明混合沙同与其平均粒径相等的均匀沙相比,混合沙输沙率显著增大<sup>[1, 14, 25, 39]</sup>。但对其增大原因则有不同解释。拜格诺把混合沙输沙率增大原因归结为跃移颗粒的反跳。他说:“更多的跃移颗粒在和地面碰撞时遇着比它们自己更大的颗粒,因而有从这些大颗粒反跳起来的趋势,……这样,平均向上的速度增大,跃移的颗粒上升得更高,飞行得更远”<sup>[1]</sup>。但我们认为拜氏指出的这些都是有利于输移的表现。而输移是外延,起动是内核。在同等风速下沙粒起动数量增多是输沙率增大的有效保障。而跃移质反跳是冲击受阻未能起动沙粒的表现。跃移质反跳数量增多是冲击起动的沙粒数量减少的反映。因此拜氏的解释是舍本逐末、没有触及问题的实质。

混合沙输沙率增大出自沙粒起动数量增多,可是跃移质冲击此时起动数量反而减少。这一多一少反衬出流体起动对混合沙输沙率增大起着主导作用。因此着力探索流体起动机理、解决对流体起动性能的认知就是必要的了。

### 4.3.2 借助拜氏输沙率公式探索流体起动机理问题

拜氏提出的跃移质反跳没有触及沙粒的流体起动机理,但他推导的输沙率公式 $q = 1.5 \times 10^{-9} (v - V_t)^3$ 为解开流体起动之谜提供了依据。由公式可知输沙率 $q$  (单位:  $t \cdot m^{-1} \cdot h^{-1}$ )以风速 $v$ 与起动风速 $V_t$ 二者差值的三次方激增。凌裕泉把 $(v - V_t)$ 定义为决定风沙活动强度的有效起沙风<sup>[40]</sup>。据此令 $(v - V_t)$ 和 $(v' - V'_t)$ 分别代表均匀沙和混合沙的有效起沙风。因混合沙输沙率大于均匀沙,故有:

$$(v' - V'_t) > (v - V_t) \quad (1)$$

式中: $v'$ 为实验中的混合沙的风速, $V'_t$ 为实验中的混合沙的流体起动风速; $V$ 为对照点的均匀沙的风速, $V_t$ 为对照点的均匀沙的流体起动风速。单位均为m/s。

又知试验是在室外同等风速条件下进行的<sup>[45]</sup>,故不等式(1)可改写成

$$(v - V'_t) > (v - V_t) \quad (2)$$

解式(2)得 $V'_t < V_t$ 。这说明混合沙输沙率增大是沙粒流体起动值降低的结果。这个结论已被2 m高处实测的起动值所证实<sup>[45]</sup>。因沙粒尚未达到正常起动值即已起动,所以又被称为沙粒超前起动<sup>[45]</sup>。但是具有一定质量的沙粒用以克服重力和摩擦阻力所需的起动力即最终所需的流体起动值 $V_t$ 是一定的,它不依是否混合而改变。所以用起动值降低来解释混合沙输沙率增大也没有触及问题的实质。倘或被超前起动这种外延表现所迷惑而就此止步,那是浅尝辄止。

由于沙粒起动值不变,不等式(1)可改写成:

$$(v' - V_t) > (v - V_t) \quad (3)$$

解式(3)得 $v' > v$ 。这说明混合沙输沙率增大是贴地触沙风速 $v'$ 增大的结果<sup>[45]</sup>。正是

由于贴地触沙风速增大才导致 2 m 高处流体起动值降低, 沙粒才得以超前起动<sup>[49]</sup>。

**4.3.3 将风力集中定义为沙粒流体起动机理** 因地形地物影响而促成的  $v'$  增大表现在大尺度地形中出现的峡谷效应<sup>[42]</sup>、集风压流<sup>[43]</sup>以及湍流猝发<sup>[24-25]</sup>等现象已司空见惯, 被新理论体系解读为“风力集中”<sup>[49]</sup>, 并为中国科技人员防止铁路沙害、控制沙漠局部迁移以及研究沙粒起动和风沙地貌形成所利用。在微地形中是否存在和如何形成风力集中罕有人问津。原来混合沙粗细颗粒因相间排列而彼此互填缝隙。它们因流体起动值不同, 有起沙风吹来时粗沙粒大间隙排列造成风力集中, 使处于其间隙中的表层细沙粒得以超前起动; 细沙粒走后粗沙粒增加了暴露度<sup>[39]</sup>, 扩大了它与风接触面积也造成风力增大而超前起动。我们认为借助地形地物而形成风力集中是气流运动的一种天然属性、一种本能, 是它不同于固体运动的地方。混合沙输沙率增大证明, 风力集中能弥补空气密度小的弱点, 而直接起动比自身密度大 2000 倍的不同径级的粗细沙粒。将风力集中定义为沙粒流体起动机理, 是对流体起动强势的有力补充, 也是对流体起动值的理论肯定。

#### 4.4 对内核两个实体提出新型演绎机理

**4.4.1 跃移质的双重性是影响内核两个实体演绎进程的决定因素** 在沙粒两种起动关系方面与拜氏学术论点相左, 新理论体系既强调流体起动的重要性又强调跃移质的双重性<sup>[46]</sup>。所谓跃移质的双重性是指它有冲击地表直接起动沙粒和扰动地表帮助流体起动沙粒这些促成地表加重风蚀的一面; 也有其大量耗能增加气流负荷、阻滞流体起动、导致地表出现堆积的一面。这种双重性表现在时空上有一个发展过程: 表 2 显示: 在新月形沙丘前移中, 其迎风坡 0~6 m 区段 (标杆号 1~4), 在气流接触流动沙面之初, 贴地面风能充足, 两种起动优势互补, 风蚀由兴而盛, 蚀深由 0 骤增到 15 cm。此后随着进入气流中的跃移质的增多、能耗加巨, 两种起动进入争能互滞阶段, 在 17 m 距离内 (标杆号 4~12、13 之间) 风蚀由盛而衰。当风沙流运行到 23 m 处 (标杆号 1~12、13 之间; 通称这段距离为饱和路径长度) 风蚀深度降至 0 时, 沙粒两种起动效能进入互衰趋竭阶段。从此贴地面风能处于超负荷状态, 置换率  $N$  和风沙流结构特征值  $\lambda$  都远小于 1<sup>[12, 28, 46]</sup>, 沙粒沉积加速。在短短的 9 m 许 (标杆号 12、13 之间~17) 距离内沙粒沉积厚度由 0 激增至 14 cm。以上演绎过程表明, 由沙粒两种起动关系形成的演绎机理并非一成不变, 或者有你无我, 而是表现出两种起动具有互补互滞互衰、先促后克的渐进技能。我们认为这种新型演绎机理是对拜氏一扬一贬旧型沙粒两种起动观的本质性的突破。

**4.4.2 摆正沙粒两种起动演绎机理是研究风沙运动的基础** 相促相克的新型演绎机理体现了内核两个实体的不同本质属性和二者须臾不离的关系。实践表明理解此点对分析风沙运动外延表现和指导治沙实践都大有用处, 如:

(1) 用以破解沙纹弹道成因理论。拜格诺认为沙纹的形成是跃移质遵循等量、等高、等距三个相等的特性轨迹依次向下风区沙面进行冲击的结果。这个论点的症结在于他完全排除了流体起动作用, 成了“单腿走路”。刘贤万也说: “仅以冲击作用解释沙纹的形成发展是不够的<sup>[14]</sup>。三个相等是置换率  $N = 1$  的典型, 而  $N = 1$  对沙丘表面而言不存在蚀积变化。这与表 2 观测到的三种置换率不符。从而证明了弹道成因理论是有缺欠的。

(2) 为新理论体系启用风沙流取代跃移质做了注释。拜格诺将跃移质作为影响风沙运动的五个主导因子之一, 意在突出跃移质的冲击起动作用, 把流体起动降为被取代关系。新理论体系启用风沙流取代跃移质, 因为风沙流是气固二相流、具有鲜明的湍流特征<sup>[14, 17, 24-25, 35]</sup>, 两种起动共寓于其中; 因为风沙流是风沙运动的主体, 而成为沙地蚀积由此达彼的桥梁<sup>[49]</sup>, 还因为气流含沙量有盈亏往复变化, 而被用以调控地表的蚀积<sup>[12, 14, 17-18]</sup>。总之采用多功能风沙流作为五个主导因子之一可发挥两种起动作用, 可防止采用跃移质以



偏概全。

(3) 新型演绎机理可解释风沙地貌蚀积轮回等表现。根据内核决定外延的原理,内核两个实体先促后克兴衰与共的互动机理决定着风沙流含沙饱和度。而含沙量饱和与不饱和的往复循环性变化决定了地表蚀积的轮回。换句话说:风沙流含沙量遵循“盈亏有数、物极必反”的原则<sup>[44]</sup>进行着“风沙流体(气固)分离的周期运动”<sup>[44]</sup>。这种新型演绎机理不仅从理论上回答了风沙地貌会产生蚀积周期率的原因,也可回答新月形沙丘翻滚前移的机理问题,以及沙丘内部为什么会有层理结构。而一扬一贬理论无法回答这些难题。

(4) 新型演绎机理能指导治沙实践。国内外治沙经验证实:凡有输沙任务地段,科技人员都采用集流输沙或者断源输沙,把着眼点放在具有风蚀性能的流体起动上,而不是放在与流体起动争能的跃移质的冲击起动上<sup>[8, 14, 19-20]</sup>。如乌吉铁路专线采用的下导风工程是垂向集流输沙的应用<sup>[8, 14]</sup>,国内外广泛采用的“固身削顶”措施则是断源输沙在沙丘造林技术上的应用<sup>[19-21]</sup>。

有此4项实例足以证明,摆正沙粒两种起动关系、承认二者相促相克的演绎机理是研究风沙运动的基础。而偏离这种相促相克的演绎机理便无法解释风沙运动的许多表现,也无法指导治沙实践。

## 5 结论

(1) 风沙运动理论体系是对风沙运动总体规律的认知。风沙运动总体规律研究出现风沙物理学和风沙地理学两种理论体系本是不同视角研究同一学科的不同反映。两种理论体系各有所长、各有侧重,理应优势互补,并行不悖。但由于两种理论体系的理念不同,导致二者对一些风沙现象的解释出现系统性分歧。这些分歧属是非真伪之争,阻碍了本学科向前发展。为了厘清是非、正本清源,本文推出创新思维、以4项分歧论点为突破口,就两种理论体系产生分歧的根源展开讨论。

(2) 本文首次从地理学角度,将风沙运动分解为内核和外延两部分,提出沙粒起动是风沙运动的内核。流体起动和跃移质冲击起动是构成内核的两个实体。根据内核与外延的主从关系,抓主要矛盾,把破解两种理论体系分歧的着眼点始终放在他们各自对内核两个实体不同属性和两个实体演绎机理的理解上。

(3) 在对待内核两个实体属性方面:拜氏理论体系不曾考虑两种起动的不同本质属性,而只强调气固两种介质的密度比与跃移质的冲击强度。新理论体系则将风蚀性起动和置换性起动锁定为沙粒两种起动的本质区别,而且承认它们具有不同的分选性能。对跃移质也并非一味强调它的冲击起动效能,而是指出它有双重性和三种置换率。

在对待内核两个实体的演绎机理方面:拜氏理论体系认定跃移质冲击起动可以大量取代流体起动,因而经常以一扬一贬理念阐释风沙运动出现的发展变化。4项论点是一扬一贬理念的常见证。新理论体系则根据两种起动不同属性和野外观测数据,否定它们具有取代与被取代的关系,强调流体起动贯穿于风沙运动的全程。以两种起动互补、互滞、互衰这种相促相克、兴衰与共的互动机理来阐释风沙运动出现的发展变化。

以上对内核两个实体截然不同的两种认知,构成了两种理论体系各自的经营理念。也成了贯穿各自体系的一条主线,是两种理论体系的根本分歧。

(4) 区分内核两个实体的不同属性是研究风沙运动的核心,摆正两个实体的互动机理是研究风沙运动的基础。承不承认这个核心和这个基础,是决定能否正确理解风沙运

动内核作用的关键,也是判断两种理论体系的定性标准。归根到底,风沙运动两种理论体系出现不同的核心和一系列分歧固然与研究视角不同有一定的关系,但主要是对沙粒两种起动存在不同认知的必然结果。

致谢: 本文承蒙中国科学院郑度院士指导, 谨致谢忱。

## 参考文献(References)

- [1] Bagnold R·A. The physics of Blown Sand and desert dunes. 1941. Qian Ning, Lin Bingnan trans. Beijing: Science Press, 1959: 1-152. [R·A·拜格诺, 风沙和荒漠沙丘物理学. 1941. 钱宁, 林秉南译. 北京: 科学出版社, 1959: 1-152.]
- [2] Dong Zhibao, On Bagnold's philosophy in the study of blown sand physics. Journal of Desert Research, 2002, 22(2): 101-105. [董治宝, 拜格诺的风沙物理学研究思想, 中国沙漠, 2002, 22(2): 101-105.]
- [3] Wang Tao, Zhao Halin. Fifty-year history of China desert science. Journal of Desert Research, 2005, 25(2): 145-165. [王涛, 赵哈林. 中国沙漠科学的五十年, 中国沙漠, 2005, 25(2): 145-165.]
- [4] Dong Zhibao. Research achievements in aeolian physics in China for the last five decades (I). Journal of Desert Research, 2005, 25(3): 193-205. [董治宝. 中国风沙物理研究五十年 (I). 中国沙漠, 2005, 25(3): 193-205.]
- [5] Dong Zhibao, Zheng Xiaojing, Research achievements in aeolian physics in China for the last five decades (II). Journal of Desert Research, 2005, 25(6): 795-851. [董治宝, 郑晓静. 中国风沙物理研究五十年 (II). 中国沙漠, 2005, 25(6): 795-851.]
- [6] Zhu Zhenda, Wu Zheng, Liu Shu et al. China Desert Outline. Rev. ed. Beijing: Science Press, 1980: 36-54. [朱震达, 吴正, 刘恕等. 中国沙漠概论. 修订版. 北京: 科学出版社, 1980: 36-54.]
- [7] Zhu Zhenda, Liu Shu, Di Xingmin. China's Desertification and Its Control. Beijing: Science Press, 1989: 1-87. [朱震达, 刘恕, 邸醒民. 中国的沙漠化及其治理, 北京: 科学出版社, 1989: 1-87.]
- [8] Zhu Zhenda, Zhao Xingliang, Ling Yuquan et al. Sandy Land Rehabilitation Engineering. Beijing: China Environmental Sciences Press, 1998: 1-59, 96-116, 153-191. [朱震达, 赵兴梁, 凌裕泉等. 治沙工程学, 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 1-59, 96-116, 153-191.]
- [9] Gao Shangwu, Jiang Fuli, Zhu Zhenda et al. Stabilization of Sand and Afforestation Science. Beijing: China Forestry Publishing House, 1984: 9-33, 69-122. [高尚武, 江福利, 朱震达等. 治沙造林学. 北京: 中国林业出版社, 1984: 9-33, 69-122.]
- [10] Dong Guangrong et al. China's Desert Formation and Evolution, Climate Changes and Desertification Research. Beijing: China Ocean Press, 2002: 348-349, 501-507, 691-698. [董光荣等. 中国沙漠形成演化气候变化与沙漠化研究, 北京: 海洋出版社, 2002: 348-349, 501-507, 691-698.]
- [11] Wu Zheng. Aeolian Sand Geomorphology. Beijing: Science Press, 1987: 20-91. [吴正. 风沙地貌学. 北京: 科学出版社, 1987: 20-91.]
- [12] Wu Zheng et al. Geomorphology of Wind-drift Sands and Their Controlled Engineering. Beijing: Science Press, 2003: 4-125, 139-195, 315-354. [吴正等. 风沙地貌与治沙工程学. 北京: 科学出版社, 2003: 4-125, 139-195, 315-354.]
- [13] Wu Zheng. Sandy Deserts and Its Control in China. Beijing: Science Press, 2009: 91-153, 625-677. [吴正. 中国沙漠及其治理. 北京: 科学出版社, 2009: 91-153, 625-677.]
- [14] Liu Xianwan. Experimental Wind-sand Flow and Sand Drift Control Engineering. Beijing: Science Press, 1995: 1-121, 137-207. [刘贤万. 实验风沙物理与风沙工程学. 北京: 科学出版社, 1995: 1-121, 137-207.]
- [15] Zhu Junfeng, Zhu Zhenda. Combating Sandy Desertification in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999, 2-52, 212-228. [朱俊凤, 朱震达. 中国沙漠化防治. 北京: 中国林业出版社, 1999: 2-52, 212-228.]
- [16] Zhu Chaoyun, Ding Guodong, Yang Mingyuan. Eolian Sand Physics. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992: 1-26. [朱朝云, 丁国栋, 杨明远. 风沙物理学. 北京: 中国林业出版社, 1992: 1-26.]
- [17] Ni Jinren, Li Zhenshan. Two-Phase Wind-sand Fluid Theory and Practice. Beijing: Science Press, 2006, 1-204. [倪晋仁, 李振山. 风沙两相流体运动理论及其应用. 北京: 科学出版社, 2006: 1-204.]
- [18] Ci Longjun et al. Desertification and Its Control in China. Beijing: Higher Education Press, 2005. [慈龙骏等. 中国的荒漠化及其防治. 北京: 高等教育出版社, 2005.]
- [19] National Forestry Bureau, Science and Technology Department. Sand Prevention and Sand Control Practical Technology. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002: 75-88. [国家林业局科学技术司, 防沙治沙实用技术. 北京: 中国林业出版社, 2002: 75-88.]
- [20] Chen Guangting. The Techniques of Sand Hazard Precaution and Control. Beijing: Chemical industry Press, 2004. [陈广庭. 沙害防治技术. 北京: 化学工业出版社, 2004.]

- [21] Wang Jihe. Gansu Sand Control Theory and Practice. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1999: 67-97. [王继和. 甘肃治沙理论与实践. 兰州: 兰州大学出版社, 1999: 67-97.]
- [22] Zhu Zhenda, Wang Tao. Theory and practice on sandy desertification in China. Quaternary Sciences, 1992, (2): 98-106. [朱震达, 王涛. 中国沙漠化研究的理论与实践, 第四纪研究, 1992, (2): 98-106.]
- [23] Wang Tao. Strategic consideration on desert and desertification sciences development in China. Journal of Desert Research, 2008, 28(1): 1-7. [王涛. 我国沙漠与沙漠化科学发展的战略思考. 中国沙漠, 2008, 28(1): 1-7.]
- [24] Li Houqiang, Ai Nanshan. Turbulent theory for wind-accumulated landform formation. Journal of Desert Research, 1992, 12(3): 1-9. [李后强, 艾南山. 风沙地貌形成的湍流理论. 中国沙漠, 1992, 12(3): 1-9.]
- [25] Li Houqiang, Ai Nanshan. The intermittency, stable distribution and fractal characteristic for the wind-sand turbulent flow. Journal of Desert Research, 1993, 13(1): 11-20. [李后强, 艾南山. 风沙湍流的间隙稳定分布及分形特征. 中国沙漠, 1993, 13(1): 11-20.]
- [26] Zhang Chunlai, Dong Guangrong, Dong Zhibao et al. Time problem in calculating soil wind erosion rate with wind tunnel experiment. Journal of Desert Research, 1996, 16(2): 200-203. [张春来, 董光荣, 董治宝 等. 用风洞实验方法计算土壤风蚀量的时距问题. 中国沙漠, 1996, 16(2): 200-203.]
- [27] Zhang Chunlai, Hao Qingzhen, Zou Xueyong et al. Response of morphology and deposits to surface flow on wind-ward slope of barchan dune. Journal of Desert Research, 1999, 19(4): 359-362. [张春来, 郝青振, 邹学勇 等. 新月形沙丘迎风坡形态及沉积物对表面气流的响应. 中国沙漠, 1999, 19(4): 359-362.]
- [28] Ma Shiwei. Study on structure of wind-sand flow. Journal of Desert Research, 1988, 8(3): 8-22. [马世威. 风沙流结构的研究. 中国沙漠, 1988, 8(3): 8-22.]
- [29] He Daliang, Liu Dayou. Force mechanism of saltation sand particles lifting. Journal of Desert Research, 1989, 9(2): 14-21. [贺大良, 刘大有. 跃移沙粒起跳的受力机制. 中国沙漠, 1989, 9(2): 14-21.]
- [30] He Daliang, Gao Youguang. The study of sand saltation movement with high velocity cinecamera. Journal of Desert Research, 1988, 8(1): 28-29. [贺大良, 高有广. 沙粒跃移运动的高速摄影研究. 中国沙漠, 1988, 8(1): 28-29.]
- [31] Yang Bao. Discussion on drag coefficient and lift coefficient of saltation particles in air flow. Journal of Desert Research, 1998, 18(1): 70-76. [杨保. 气流中颗粒阻力系数和升力系数讨论. 中国沙漠, 1998, 18(1): 70-76.]
- [32] Yang Bao, Zou Xueyong, Dong Guangrong. Advances and problems of study on saltation particles in wind-sand current. Journal of Desert Research, 1999, 19(2): 173-177. [杨保, 邹学勇, 董光荣. 风沙流中颗粒跃移研究的某些进展与问题. 中国沙漠, 1999, 19(2): 173-177.]
- [33] Dong Zhibao, Wang Tao, Qu Jianjun. Some points to blown sand physics as science. Journal of Desert Research, 2002, 22(3): 205-209. [董治宝, 王涛, 屈建军. 风沙物理学学科建设的若干问题. 中国沙漠, 2002, 22(3): 205-209.]
- [34] Qian Guangqiang, Dong Zhibao, Luo Wanyin et al. Wind tunnel simulation on flow reattachment on lee of transverse dunes. Journal of Desert Research, 2008, 28(1): 16-20. [钱广强, 董治宝, 罗万银 等. 横向沙丘背风侧气流重附风洞模拟. 中国沙漠, 2008, 28(1): 16-20.]
- [35] Zhang Kecun, Qu Jianjun, Dong Zhibao et al. Effect of wind speed fluctuation on sand transport rate. Journal of Desert Research, 2006, 26(3): 336-340. [张克存, 屈建军, 董治宝 等. 风沙流中风速脉动对输沙量的影响. 中国沙漠, 2006, 26(3): 336-340.]
- [36] Ding Guodong. Nature of surface roughness implication. Journal of Desert Research, 1993, 13(4): 39-43. [丁国栋. 地表粗糙度的本质含义. 中国沙漠, 1993, 13(4): 39-43.]
- [37] Ding Guodong. Status and prospect of study on two focuses in aeolian physics. Journal of Desert Research, 2008, 28(3): 395-398. [丁国栋. 风沙物理学中两个焦点问题研究现状与未来研究思路刍议. 中国沙漠, 2008, 28(3): 395-398.]
- [38] Dong Guangrong, Li Changzhi, Jin Jiong et al. Some results of the simulant experiment on wind erosion soil in wind tunnel. Chinese Science Bulletin, 1987, 32(4): 297-301. [董光荣, 李长治, 金炯 等. 关于土壤风蚀风洞模拟实验的某些结果. 科学通报, 1987, 32(4): 297-301.]
- [39] Yang Jurui, Fang Duo, Bi Cifen et al. Initiation thresholds of non-uniform blown sand. Journal of Desert Research, 2004, 24(2): 248-251. [杨具瑞, 方铎, 毕慈芬 等. 非均匀风沙起动规律研究. 中国沙漠, 2004, 24(2): 248-251.]
- [40] Ling Yuquan. Engineering calculation of maximum possible sand-transporting quantity. Journal of Desert Research, 1997, 17(4): 353. [凌裕泉. 最大可能输沙量的工程计算. 中国沙漠, 1997, 17(4): 353.]
- [41] Feng Dajun, Ni Jinren, Li Zhenshan. Vertical mass flux profiles of different grain size groups in aeolian sand transport. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(11): 1194-1203. [冯大军, 倪晋仁, 李振山. 风沙流中不同粒径组沙粒的输沙量垂直分布实验研究. 地理学报, 2007, 62(11): 1194-1203.]
- [42] Urkongbek, Wang Yongxing, Niu Dakui. Domination of local landforms to sand dune movement, Altai, Xinjiang. Journal of Desert Research, 1990, 10(3): 53-58. [乌尔坤别克, 王永兴, 牛达奎. 阿勒泰区域地貌对沙漠迁移的控制作用. 中国沙漠, 1990, 10(3): 53-58.]
- [43] Feng Lianchang, Lu Jiqing, Di Yaoquan. Review on the prevention of sand damages to railway line in desert areas of



- China. Journal of Desert Research, 1994, 14(3): 47. [冯连昌, 卢继清, 邸耀全. 中国沙区铁路沙害防治综述. 中国沙漠, 1994, 14(3): 47.]
- [44] Sun Xianke. Preliminary study on erosion-deposition law of wind-sand flow and application techniques. Xinjiang Forestry Science Technology, 1986,(2): 9-18. [孙显科, 风沙流的侵蚀规律与应用技术的初步研究 (八纲辩证 六法治沙). 新疆林业科技, 1986, (2): 9-18.]
- [45] Sun Xianke, Guo Zhizhong. Probe of sand particles fluid start mechanism from the increase of compound sand transportation rate//Wang Jihe. Gansu Sand Control Theory and Practice. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1999: 91-97. [孙显科, 郭志中. 从混合沙输沙率增大探究沙粒的流体起动机理 //王继和. 甘肃治沙理论与实践. 兰州: 兰州大学出版社, 1999: 91-97.]
- [46] Sun Xianke, Zhang Kai. A review of relations of two starts and duplicity of saltation of sand particles. Journal of Desert Research, 2001, 21(1): 39-44. [孙显科, 张凯. 论沙粒两种起动关系与沙粒跃移的双重性. 中国沙漠, 2001, 21(1): 39-44.]
- [47] Sun Xianke, Zhang Kai, Zhang Dazhi et al. Review on trajectory theory of sand-ripple formation. Journal of Desert Research, 2003, 23(4): 471-475. [孙显科, 张凯, 张大治 等. 沙纹弹道成因理论评析. 中国沙漠, 2003, 23(4): 471-475.]
- [48] Sun Xianke. Creation of theory system of eolian sand movement. Journal of Desert Research, 2004, 24(2): 129-135. [孙显科. 风沙运动理论体系的创建和研究. 中国沙漠, 2004, 24(2): 129-135.]
- [49] Sun Xianke. The Creation and Application of Eolian Sand Movement Theory System in Dialectical Thinking. Beijing: China Forestry Publishing House, 2010, 1-164. [孙显科. 辩证思维与风沙运动理论体系的创建和应用. 北京: 中国林业出版社, 2010: 1-164.]
- [50] Sun Xianke et al. Probe into the "One-tenth" Law of aeolian sandy landform and guess at causes of Sand-singing Mountain in Dunhuang. Journal of Desert Research, 2006, 26(5), 704-710. [孙显科 等. 风成沙地地形 1/10 定律的研究与敦煌鸣沙山成因的猜想. 中国沙漠, 2006, 26(5): 704-710.]

## Cracking the root of the Two Theory Systems on eolian sand movement mechanism from an innovative perspective

SUN Xianke<sup>1</sup>, ZHANG Xueli<sup>2</sup>

(1. The Forestry Department of Liaoning Province, Shenyang 110031, China;

2. Liaoning Institute of Sand Fixation and Afforestation, Fuxin 123000, Liaoning, China)

**Abstract:** This article breaks down the eolian sand movement into two parts from a geographic perspective for the first time, the inner core and the outer extension. The fluid start and the impact start of saltation are the two entities that constitute the inner core, and all transportation performance after the sand particle start can be defined as the outer extension. Drawing upon this innovative idea, this article carries out discussion on the root of how divergences arise between the two systems of theories, the eolian sand physics and the eolian sand geography. The results reveal that whether one is able to distinguish the different properties of the two entities of the inner core and whether one is able to understand the interaction mechanism correctly of the two entities lead to the formation of the cores of the two theoretical systems and are the root of many divergences. This article deepens the understanding towards the connotation of eolian sand movement and theoretically breaks through the long term leading core idea in the sand movement scholastic circle presented by Bagnold whose theory on the two types of sand particle start appreciates one and depreciates the other.

**Keywords:** eolian sand movement theoretical system; eolian sand physics; eolian sand geography; the inner core of eolian sand movement