



## 沙粒起动风速研究<sup>1)</sup>

戚隆溪 董飞 陈强 王柏懿

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

**摘要** 在风沙流实验中, 发展了设阱并捕集蠕移沙粒的方法来测量各种来流条件下的蠕移沙量, 再外推得到流体起动风速。试验表明粗糙度不同的沙平面的流体起动风速相同。文中还给出实验段轴线风速与野外来流摩擦速度之间的对应关系。

**关键词** 沙粒蠕移, 起动风速, 摩擦速度

### 1 引言

静止的沙粒必须在一定风力条件下才能开始运动。当风速增大到某一临界值时, 地表沙粒得以从气流中获得足够的水平动量并最终脱离静止状态开始运动。这个使沙粒开始运动的临界风速称为起动风速。对于沙粒的起动风速, Bagnold<sup>[1]</sup> 提出了流体起动值和冲击起动值的两种概念。所谓流体起动值, 是指来流中完全无沙, 床面沙粒的起动完全出于风对沙粒的直接作用这一情况下的临界风速; 若来流中含有沙粒, 这些沙粒撞击沙床面会引起床面沙粒的蠕移或起跳, 在这种情况下, 床面沙粒的起动主要是气流中原有沙粒的冲击作用所致, 这时的临界风速称为冲击起动值。由于运动沙粒对床面的冲击作用能促使床面沙粒排列松动, 并使部分床面沙粒受激溅起, 所以冲击作用总是使沙粒更容易起动, 即冲击起动值总是小于流体起动值。

### 2 实验装置和方法

试验是在中科院力学所的沙风洞中进行的, 风洞依次由风扇、扩压稳压室、收缩段、整流网、实验段、扩压段、集沙箱和排气口组成。实验段截面积为  $40\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ , 长度为  $4\text{ m}$ 。风速大小通过多层整流网和开启风门大小来调节, 最大可达  $20\text{ m/s}$ 。实验段前部安装有测速计, 用以测量风洞轴线处风速, 中间安装风沙流速计, 用以测量风沙流速度剖面。实验用沙粒直径为  $0.20 \sim 0.28\text{ mm}$ , 平均粒径为  $0.25\text{ mm}$ , 底部沙层厚度为  $3\text{ cm}$ 。我们发展了一种在沙风洞中测定起动风速的新方法, 简述如下:

在风洞实验中, 如果能够实现进口风速无级调节且沙源充足的话, 可以采用如下的方法确定沙粒的流

体起动风速和冲击起动风速: 先从没有风沙起动的状态下逐渐增大来流速度, 到某一临界值时可观察到床面沙粒开始运动 (肉眼观察判断沙粒运动与否则有相当的偶然误差, 较为客观的判据是输沙率的大小), 这一临界的风速就是沙粒的流体起动风速; 风沙一经形成, 当我们再逐步减小来流速度到沙粒的流体起动风速时, 风沙流并不中止。直到风速降低到低于流体起动风速的某一值时, 风沙流才完全中止, 这一风速就是沙粒的冲击起动速度。

在本实验中, 由于来流速度是靠增减阻尼网来调节的, 所以无法实现来流的无级调速。此外, 铺设的沙量也不足以承受长时间的吹蚀 (沙床厚度为  $3\text{ cm}$  左右, 只能承受中等风速数分钟的吹蚀)。在这种条件下, 我们既无法维持风沙流来测量冲击起动速度, 也无法精确定位到风沙流流体起动状态。鉴于此, 我们采用了测量各种来流条件下的蠕移沙量的方法来外推流体起动风速。具体做法是: 在风洞地板上垂直来流方向开槽作为捕集蠕移沙粒的陷阱 (图 1), 通过称量收集到的沙粒得到各风速下的单宽蠕移输沙率 (表 1), 再外推求得该输沙率为零时的风速, 此即流体起动风速。应当指出的是其中还包含一小部分跃移沙粒。一般来说, 陷阱越窄, 捕到的跃移沙粒的比例越小。

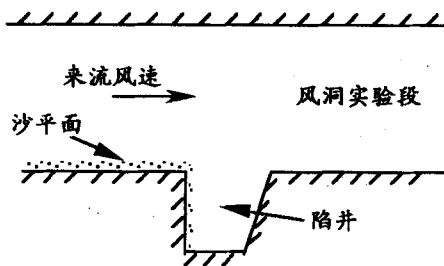


图 1 陷阱实验示意图

### 3 结果与分析

测量结果列出在表 1 中。图 2 绘出有草网格和无草网格两种沙平面情况下的实验曲线。从图中看出, 蠕移输沙率和风速近似成线性关系, 数据拟合结果是单宽蠕移输沙率  $q(\text{g}/\text{min}\cdot\text{cm})$  为

1) 国家自然科学基金重点项目 (19832060) 资助。

本文于 2000-12-19 收到。

表 1 蠕移 (包括少量跃移) 输沙率与风速的关系及其地面粗糙度 (草网格) 的影响

平面沙地	风速 (m/s)	4.66	5.10	6.75	7.66	7.94	8.96
	输沙率 (g/min·cm)	0.60	4.20	11.74	16.96	21.45	25.06
埋有草网格的沙地	风速 (m/s)	5.31	6.29	6.91	7.80	9.32	9.55
	输沙率 (g/min·cm)	3.22	7.42	10.86	14.62	20.38	23.32

无草网格情况:  $q = 5.688u - 25.598$  (1)

有草网格情况:  $q = 4.449u - 20.032$  (2)

式中  $u$  是风洞实验段进口截面轴线速度, 单位是 m/s.

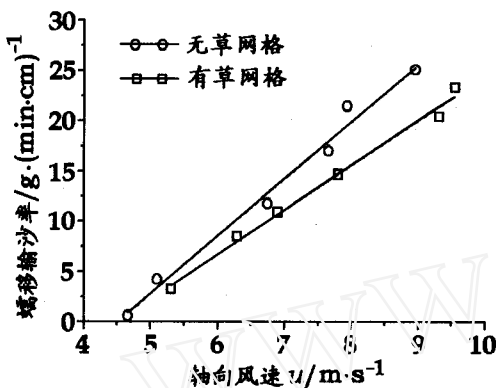


图 2 蠕移输沙率和风速关系

由式 (1)、式 (2) 都得到  $q = 0$  时,  $u = 4.50 \text{ m/s}$ , 这就是我们实验所用沙 (中值粒径  $0.25 \text{ mm}$ ) 的流体起动风速, 这表明流体起动风速与沙平面的粗糙度无关.

#### 4 风洞中来流速度和野外来流摩擦速度的关系

在风洞实验中, 由于风洞顶板的影响, 流场状态和野外风沙流不完全相同. 风洞实验中来流状态多用实验段进口截面轴线速度来表征, 而野外情况则多用摩擦速度——风沙层外缘风速梯度——来表示. 如果忽略风洞顶壁的影响, 可以建立风洞中来流轴线速度和野外来流摩擦速度的对应关系, 以便综合利用两种

情况下的实验数据. 如果进一步假设风洞中来流轴线速度和野外风沙流摩擦速度成正比, 则根据沙粒起动风速的计算和常用的 Bagnold 公式的对比可以求得该比例系数. 比如, 对于我们所用的沙粒有  $d_p = 0.025 \text{ mm}$ ,  $\rho_p = 2.6 \text{ g/cm}^3$ , 由 Bagnold 公式可知其流体起动风速为

$$u_* = 0.1 \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_g}{\rho_g} g d_p} = 0.228 \text{ (m/s)}$$

它对应我们计算得到的沙粒流体起动风速  $u = 4.5 \text{ m/s}$ . 由此可得, 我们实验所用的沙风洞中, 实验段进口截面轴线速度  $u$  与野外来流摩擦速度  $u_*$  之间有如下的对应关系

$$u_* = 0.0507u$$

#### 参 考 文 献

1 Bagnold R A. 风沙和荒漠沙丘物理学. 钱宁, 林秉南译. 北京: 科学出版社, 1954

#### STUDY ON ONSET-WIND-SPEED OF BLOWN SAND

QI Longxi DONG Fei CHEN Qiang  
WANG Boyi

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract** By using 'pitfall' method, sand-transport-value under different free-stream conditions was measured in wind-tunnel blowing sand experiments. Then the onset-wind-speed of creeping sands can be determined from the transport rate by the extrapolate procedure. The experimental results indicate that the onset speed takes the same value for all the sandy surfaces with different roughness. In addition, the relation between the speed in wind tunnel and the friction speed in desert field was given in the present paper.

**Key words** creeping sand, onset speed, friction speed