科 学 通 报
第 39 卷 第 2 期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1994 年 1 月

风沙流能量的实验计算*

邹学勇 刘玉璋 董光荣
(中国科学院沙漠研究所,兰州 730000)

关键词 风沙流、输沙率、风沙流能量、高速频闪摄影

风沙灾害集中地体现在风沙流对工程设施的破坏、土壤风蚀沙化的急剧恶化方面. 致害原因,是飞扬沙粒在风力作用下获得大量能量. 而判别风沙危害强度的大小,取决于风沙流集聚能量的高低. 限于沙粒微小,相对运动速度极大[1],对其运动群体进行测量甚为困难,以至迄今未见风沙流能量的研究成果. 风沙流是一种贴近地表的气固两相流. 据研究[2],气流中搬运的沙量绝大部分集中在离地表 10cm,尤其是贴地面 5cm 以下气流层中. 为此,本文利用高速频闪摄影技术和环境沙风洞相结合的手段,对低层风沙流(6cm 以下)的能量分布状况进行初步探讨.

1 实验思路与方法

实验在本所环境沙风洞内进行[3]. 按下垫面不同分为两组. 第一组样品采自西藏森格藏布河谷盆地的戈壁[4]. 在近似野外地表状况的条件下(野外和实验证明,这种地表几乎不能就地起沙),样品铺设规格为 1.55×1.00m². 紧接样品的上风向铺设流沙,规格为 2.40×1.00m²

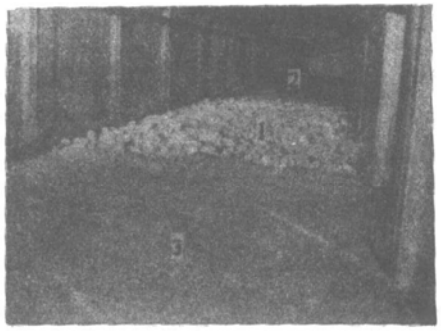

图 1 戈壁样品铺设状况
1——戈壁,2——集沙仪,3——流沙

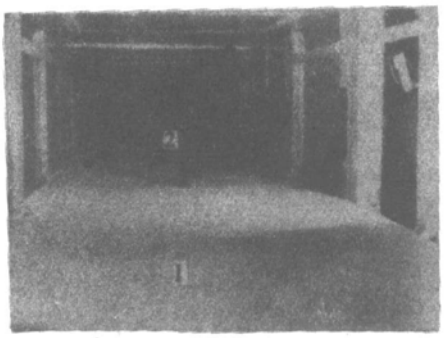

图 2 流沙铺设状况
1——流沙,2——集沙仪

(图 1). 实验目的是研究戈壁地区过境风沙流的能量状况. 第二组样品采自甘肃玛曲县境内

1993-05-28 收稿,1993-09-27 收修改稿.
* 国家自然科学基金资助项目.

的流沙[1)](与第一组用的流沙机械组成基本一致，不会影响讨论结果)，铺设规格为 1.45×1.00m²(图 2). 实验目的是研究流沙地表条件下的的风沙流能量状况.

各高度范围内的风沙流能量采用经典的 $E=\frac{1}{2}mv^2$ 公式计算，其中 E 为能量，m、v 分别表示一定高度范围内运动沙粒的总质量和相对于地面的平均运动速度. 为了确定参数 m 和 v，笔者又把实验分作两步进行. 第一步用集沙仪等常规实验方法，在不同下垫面状况和风速条件下，分别测定不同高度的输沙率，经统计拟合而确定 m 值的计算公式. 第二步用高速频闪摄影的方法，经照片分析处理后统计确定沙粒运动的平均速度值(v). 这样就可以顺利地计算不同高度范围内的风沙流能量值(E).

2 实验过程与结果

2.1 不同高度输沙率的确定

第一组实验风速为 7—17m/s，每间隔 1m/s 观测一次，共观测 11 组风速，每组风速同时用三架集沙仪(距戈壁下风缘 0.5m 处架设)观测，最后取平均值. 第二组实验风速为 8—20m/s，每间隔 2m/s 观测一次，共观测 7 组风速，每组风速用一架集沙仪(距流沙下风缘 0.5m 处架设)观测. 两组实验结果(表 1)，经数学拟合，其不同高度的输沙率如表 2 所示. 利用表 2 中的拟合方程，根据频闪拍照时的实测风速，就能推算不同高度的输沙率.

表 1 风沙流经过戈壁和流沙地表时的实验结果(g/cm² · min)

风速(m/s) / 高度(cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	备 注
0——2	0.90	2.01	3.33	3.55	4.76	5.54	6.65	7.53	8.70	10.18	10.38				戈壁
2——4	0.56	1.34	2.43	2.69	3.40	4.46	5.36	6.32	7.35	9.12	9.32				
4——6	0.33	0.93	1.75	2.03	3.03	3.71	4.58	5.47	6.59	8.28	8.67				
0——2		5.90		24.43		53.80		75.80		101.50		102.80		153.30	流沙
2——4		2.48		14.00		27.40		50.30		61.80		77.50		102.00	
4——6		1.24		7.27		16.00		29.90		40.40		50.90		75.30	

表 2 不同高度输沙率拟合结果

高度(cm)	下垫面性质	
	戈 壁	流 沙
0——2	$m=1.016(v-5.56)^{0.938}$, $R=0.996$	$m=0.925(v-5.39)^{1.957}$, $R=0.999$
2——4	$m=1.047(v-5.56)^{0.822}$, $R=0.975$	$m=1.000(v-5.39)^{1.721}$, $R=0.996$
4——6	$m=1.073(v-5.56)^{0.732}$, $R=0.926$	$m=1.069(v-5.39)^{1.492}$, $R=0.986$

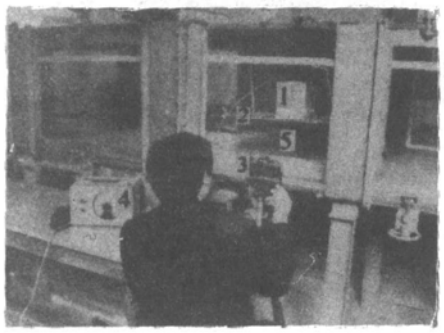

图 3 实验仪器布置

1——频闪光源，2——聚光狭缝，3——相机，4——光闸，5——样品

2.2 沙粒运动平均速度的统计测算

实验在夜间进行(图 3)，采用的光源是日本产 MS-230 型频闪光(400 次/s)，经聚集成宽约 1CM 的片状光，垂直向下投射. 摄影采用 FUJICA-135 型像机和国产 27DIN 乐凯牌全色胶卷. 像机暴光时间约 0.5s，光圈系数 1.9. 第一组拍摄时的实测风速分别为 7.22 和 7.29m/s，共拍 76 张；第二组拍摄时的实测风速分别为 6.11，6.75，7.13，7.33m/s，

1) 邹学勇，中国若干特殊地区风沙活动对比研究(博士论文)，1992.

表 3　不同高度沙粒平均速度(m/s)[a)]

高　度 (cm)	戈　壁		流　沙			
0——1	2.18 (20)	1.29 (7)	1.88 (5)	1.80 (19)	1.59 (18)	1.51 (9)
1——2	2.63 (21)	1.75 (2)	2.25 (2)	2.61 (8)	2.28 (10)	2.25 (4)
2——3	2.91 (14)		2.60 (1)	3.19 (6)	2.35 (3)	2.43 (3)
3——4	3.45 (9)	3.96 (2)		4.25 (2)	3.37 (2)	
4——5	2.99 (9)	4.07 (1)				
5——6	4.01 (4)	4.00 (1)				
风　速(m/s)	7.22	7.29	6.11	6.75	7.13	7.35

a)　(　)内为统计的沙粒个数.

共拍 77 张. 为增强照片的色调反差,冲印药剂采用 D76 显影剂和 3 号相纸. 经照片与实际比例校正后,每间隔 1cm 高度对所有属于该高度范围内影像清晰的运动沙粒速度进行单个计算. 然后,统计每个高度范围内的沙粒个数及其运动速度,取其速度算术平均值作为该高度范围内所有沙粒的平均运动速度(表 3). 同时,利用表 2 的输沙率拟合式,根据每组实验拍照时的实测风速计算出不同高度范围内输沙率(表 4).

表 4　不同风速和高度的输沙率($\times 10^{-3}$kg/4cm^2 · min)

高度 (cm)	戈　壁		流　沙			
0——2	3.2686	3.3976	0.4865	1.6891	2.7357	3.4535
2——4	3.1780	3.2878	0.5680	1.6970	2.5934	3.1831
4——6	3.1092	3.2046				
风　速(m/s)	7.22	7.29	6.11	6.75	7.13	7.35

2.3　风沙流能量计算

因所用集沙仪只能推算间隔为 2cm 不同高度范围内的输沙率. 为了协调沙粒运动平均速度与不同高度范围内的输沙率,将表 3 的高度间隔也调整为 2cm,并取该高度范围内沙粒运动的算术平均值作为平均运动速度. 结合表 4 中输沙率推算数值,对风沙流能量分布状况计算如表 5.

表 5　风沙流能量分布状况($\times 10^{-3}$J/4cm^2 · min)

高度 (cm)	下垫面性质					
	戈　壁		流　沙			
0——2	9.4528	3.9250	1.0373	4.1061	5.1215	6.1030
2——4	16.0686	25.7780	1.9197	11.7421	10.6064	9.3981
4——6	19.0438	26.0874				
风　速(m/s)	7.22	7.29	6.11	6.75	7.13	7.35

3　初　步　结　论

(1)同一风速下各层沙量随高度减少,但沙粒运动平均速度却随高度而增大. 产生这种速度变化的主要原因,一是气流速度随高度而增大,沙粒在较高层的气流中获得能量较多;二是

低层的含沙量较高，消耗气流的能量也较多，使得沙粒总体运动速度减慢.

(2)在本文讨论的高度范围内(6cm 以下)，同一风速条件下，各层能量的集聚随高度而增加. 因为尽管沙量随高度而减少，但能量与速度平方成正比，所以，沙粒运动速度的增加远远超过因沙量减少带来的能量影响.

(3)相同高度范围内，在不同下垫面上，能量和沙量随着风速的增加都出现增大趋势.

(4)戈壁下垫面相同高度范围内的能量随风速增大而增加的幅度，比流沙地表状态下的增加幅度大得多. 这主要是因为风沙流经过戈壁地面时，运动沙粒与砾石间的碰撞几乎是完全弹性碰撞，能量损失较少. 而风沙流经过流沙地表时，运动沙粒与地表沙粒之间发生碰撞时，使得被撞沙粒产生位移、破碎和变形等损失了大量的能量.

(5)运用实验方法讨论风沙流能量状况尚属首次尝试，它不仅涉及到统计和计算，而且涉及到高精度实验及测量，难度较大. 以上所得结论还有待于理论上的证明.

参 考 文 献

[1] 贺大良、刘大友，中国沙漠，1989，**9**(2)：14—21.
[2] 朱震达、陈治平、吴正等，塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究，科学出版社，1981，57—58.
[3] 贺大良、刘贤万，地理研究，1983，**2**(4)：99-105.
[4] 邹学勇、董光荣，干旱区资源与环境，1992，**5**(1)：58—66.