

文章编号: 1006—2106(2010)03—0015—04

# 兰新铁路十三间房段的戈壁风沙流特征分析<sup>\*</sup>

李凯崇<sup>1\*\*</sup> 蒋富强<sup>1</sup> 薛春晓<sup>1</sup> 杨印海<sup>1</sup> 葛盛昌<sup>2</sup>

(1. 中铁西北科学研究院有限公司, 兰州 730000 2 乌鲁木齐铁路局, 乌鲁木齐 830014)

摘要: 研究目的: 通过对兰新铁路“百里风区”风沙成因进行分析, 研究戈壁砾漠地区风沙流密度沿高度变化的特点, 不同高度风沙流密度与风速的关系及大风携沙的粒径分布特征。

研究结论: 戈壁地区大风携沙主要集中在 3 m 以下, 约占总携沙量的 87% 左右; 在同一高度条件下, 风沙流密度随着风速的增加呈现<sup>①</sup>的指数增加; 而当风速条件一致时, 风沙流密度随着高度的增加呈现下降趋势。集沙颗粒分析则指出: 在不大于 3 m 的高度范围内百里风区的风沙流运动形式是以跃移为主; 超过 3 m 以后, 则以悬移为主。

关键词: 风沙流密度; 戈壁; 风沙运动; 粒度高度分异; 输沙率

中图分类号: P694 文献标识码: A

## Analysis of the Characteristics of Gobi Sand-driving wind in Shisanjianfang Section of Lanzhou—Xinjiang Railway

LI Kai—chong, JIANG Fu—qiang, XUE Chun—xiao, YANG Yin—hai, GE Sheng—chang

(1. Northwest Research Institute Co. Ltd of CREC, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. Urumqi Railway Administration, Urumqi, Xinjiang 830014, China)

Abstract: Research purposes: By analysis of the forming reasons for wind-blown sand in "100 kilometers wind area" along the Lanzhou—Xinjiang Railway, this paper researches the change characteristics of the density of the sand-driving wind with the height change, the relation between the density of wind-blown sand at the different heights and wind velocity, and the particle size distribution regulation of the wind-blown sand in Gobi area.

Research conclusions: The wind-blown sand was mainly concentrated in the space of lower than 3 m in Gobi area and it was up to almost 87% of total sand volume. The density of wind-driving sand increased with the increase of wind velocity at the same height. The density of wind-blown sand decreased with the raise of height at the fixed wind velocity. The analysis result of sand particle size showed in the "100 kilometers wind area," the main movement form of wind-blown sand in the space of lower than 3 m was in leaping movement, and the main movement form of wind-blown sand in the space of higher than 3 m was in suspending movement.

Key words: density of wind-driving sand; Gobi; wind-blown sand movement; grain size variation; sediment discharge rate

## 1 概述

新疆地处亚洲腹地, 大陆性气候明显, 干燥少雨,

夏季酷热, 冬季严寒。受西伯利亚、乌拉尔山南下冷空气的影响, 风力强劲, 大风频繁。当西伯利亚的冷重气流进入准噶尔盆地后, 因高山阻挡, 拥积在天山北侧,

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009—10—04

基金项目: 科技部科研院所专项资金项目 (NCSIE—2007—JKZX—209)

<sup>\*\*</sup> 作者简介: 李凯崇, 1984 年出生, 男, 助理工程师。

山脉垭口是气流的天然通道<sup>[1-2]</sup>。由于南北疆的气压差和垭口的狭管作用,冷重空气进入垭口后,夺路而出,沿坡直下,流速不断加快而形成大风。气流经风口风速增大,流经铁路地区,造成严重风害<sup>[3]</sup>。

兰新铁路沿线通过著名的“百里风区”和风沙害最为突出的“三十里风区”。大风区自然条件恶劣,人烟稀少,百里风区、三十里风区又是内陆风力最为强劲地区之一<sup>[4]</sup>。强风地区大多为戈壁地表,风速高、风期长,起风速度快,风沙流完全不同于其它风沙地区,独特性十分明显。屈建军、黄宁<sup>[5-6]</sup>等人通过砾质戈壁风沙流野外实测数据的分析以及风洞模拟实验研究发现:戈壁风沙地表的粗糙度随风速的增大而增加,其表面风沙流输沙量高度分布表现出独特的“象鼻”效应。慕青松<sup>[7]</sup>等指出戈壁地区不均匀沙的起动与均匀沙起动的区别,同时运用不均匀沙起动风速理论,讨论了戈壁风蚀层与环境风力之间动态平衡的建立过程。这些基本上都是关于风沙运动基础的研究,而对于戈壁地区铁路防沙的关注相对较少。

同时,由于对戈壁地区风沙流结构及其特性的认识不足,兰新铁路虽然采取了各种挡风墙对强风进行防护,但每年仍然会因大风问题造成停轮,严重影响铁路的安全运营。本文通过对百里风区十三间房地段的风沙流进行观测和分析,指出戈壁风沙流的一些特性,为铁路的设计和安全运营提供一些参考。

## 2 研究方法

### 2.1 集沙仪介绍

如图1所示,该集沙仪由集沙器、集沙塔、地锚、底座、避雷针及测风塔等主要部件组成。

相关技术标准为:主塔高度 10 m 积沙盒每组分 8 个高度布设:0 m 0.5 m 1 m 2 m 3 m 5 m 7 m 9 m 底座和地锚的基础埋入深度 1.5 m 集沙器管径 20 mm。

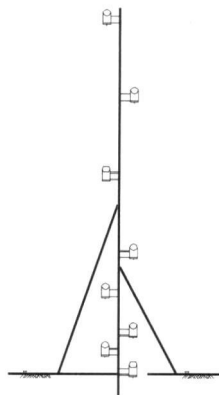


图 1 集沙仪示意图

### 2.2 十三间房观测点介绍

十三间房的铁路里程为 K 1 476 + 800,地理位置为 E 91°46'87", N 43°11'56", 高程: 710 m, 气压: 958 mb, 周围有起伏较大的土质山丘, 地表粗糙度较大, 粒径较均匀, 5 ~ 30 mm, 地表无植被覆盖。属于沟口地形, 易产生大风。铁路迎风侧路基坡脚处有积沙。输沙强度观测系统集沙口方向为北偏西 10°, 离地面最近的集沙口距地表为 0 m。

### 2.3 集沙量和风速的观测

由于砾漠大风地区风速大、起沙风速高、风沙流不饱和等原因, 决定了取样时间间距较长。集沙仪的观测频率为: 每年 3—6 月、9—11 月根据风况资料平均每 15 d 取一次沙样, 其余时间每月取样一次。风速和风向数据由气象局设在集沙仪旁的气象观测系统测定, 其观测频率为 30 s/次。

### 2.4 风沙流密度的计算

风沙流密度是指当气流的速度大于沙粒的起动速度后, 单位体积空气中该风速所携带的沙粒质量, 单位是 g/m<sup>3</sup>。

假定输沙强度观测系统上游沙源在短时间内不发生变化; 在大于起沙风速的同一风速情况下, 风沙流密度是相同的, 风速越大, 风沙流密度越大。基于以上认识或假定, 输沙强度观测系统中某一高度集沙量计算公式为:

$$Q_i = \sum \rho_i A V_i T \quad (1)$$

式中  $Q_i$ ——输沙强度观测系统某一高度处的积沙总质量 (g);

$\rho_i$ ——在大于起沙风速情况下某一风速所对应的风沙流密度 (g/m<sup>3</sup>);

$A$ ——输沙强度观测系统的集沙器进沙口面积 (m<sup>2</sup>);

$V_i$ ——起沙风速 (m/s);

$T$ ——在取样时间内起沙风所持续的时间 (s)。

## 3 结果与讨论

### 3.1 携沙量垂直变化曲线

风沙流是风力搬运沙物质的基本形式和运动过程, 同时也是沙质地表形态形成和发展的主要动力<sup>[8]</sup>, 能够判断地表的蚀积状态, 掌握风成地貌的形态发育及演变规律, 在沙漠科学中占有重要地位。本文通过对 2008 年 4 月—2009 年 6 月各观测点输沙强度观测数据分析得出, 随着高度的增加, 输沙量显现下降趋势。图 2 为十三间房观测点大风携沙垂直分布图, 从图中可以看出大风携沙量的垂直分布十分明显, 在 3 m 以下区域随着高度的增加携沙量显现急剧下降

趋势,当高度上升到 3 m 以上后,其变化趋势逐渐变缓。从图 2 中还可以看出,戈壁地区大风携沙主要在 3 m 以下,约占总携沙量的 87% 左右。

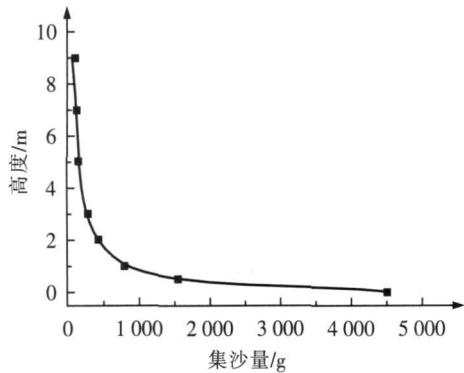


图 2 集沙量随高度变化曲线

3 2 沙粒粒径分析

风沙流运动的形式依风力、颗粒大小和质量而不同,有悬移、跃移和表层蠕移 3 种基本形式<sup>[9]</sup>。风沙流在输运过程中,粒度特征在垂直方向上发生空间分异。为了进一步了解风沙流结构以及风沙流运动规律,本文对风沙流进行了颗粒分析,结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出随着高度的增加,各个粒径的沙粒都显现下降趋势,在 3 m 范围内,大风携沙主要以粒径为 0.1~0.25 mm 的沙粒为主,约占集沙总量的 50% 左右;而当集沙高度超过 3 m 后,携沙量主要以 < 0.075 mm 的沙土为主。由此可以得出:在 ≤ 3 m 的高度范围内百里风区的风沙流运动形式是以跃移为主;当超过 3 m 以后,则以悬移为主。

表 1 不同高度集沙颗粒分析

$Q/g$ $H/m$ $D/mm$	0	0.5	1	2	3	5	7	9
> 6	15	2.8	1	0.5	1.2	—	—	—
5~6	7.6	3.8	1.2	0.3	0.3	—	—	—
3~5	43.7	15.4	7.7	2.8	1	—	—	—
2~3	21	7.3	4.3	1.5	0.7	0.3	—	—
1~2	197.2	61	26.8	10.8	3.5	0.3	—	—
0.5~1	515.4	194.1	85.4	26.4	8.5	0.7	0.2	0.2
0.25~0.5	822.7	376.9	193.3	34.1	15.2	2.3	1.1	1
0.1~0.25	2480	665.8	337.7	214	162.4	51.4	26.6	18.7
0.075~0.1	180.1	82.6	51.8	46.3	30.4	20.5	14.3	13.4
< 0.075	196.9	113.3	103.3	86.2	56.4	61.8	62.4	48.4

3 3 风速与风沙流密度的关系

将十三间房观测点每月的集沙量与风速持续时间的统计值带入到集沙量计算公式  $Q_i = \sum \rho_i A V_i T$  中,联立方程组,计算出各平均风速所对应的风沙流密度。

风速是决定风沙流密度的重要因素之一,风速越大,携沙量越多,相应风沙流密度也就越大。风沙流密度与风速的拟合曲线如图 3 所示,从图 3 中可以看出,在同一高度条件下,风沙流密度  $\rho$  随着风速  $V$  的增加显现  $\rho$  的指数增加,在风速为 34 m/s 以下时,风沙流密度变化趋势不大,但当风速超过 34 m/s 时,随着风速的增加风沙流密度显现明显的上升趋势。同时,不同高度的风沙流拟合曲线也表明:当风速相同时,风沙流密度随着高度的升高显现下降趋势;且随着风速的逐渐升高,下降趋势变化也越来越明显。从图 3 中还可以看出:指数方程可以很好的描述风沙流密度与风速的关系,其拟合方程的相关系数  $R^2 > 0.99$  通式可用  $y = y_0 + a \cdot e^{bx}$  ( $y_0$ ,  $a$ ,  $b$  为常数,与高度和风速有关)来表示。

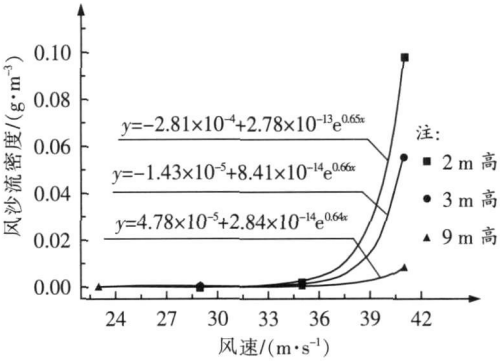


图 3 风沙流密度与风速的关系

3 4 风沙流密度的垂直分布关系

风沙流在运动过程中沿垂直分布很明显,同时其粒度在垂直方向上还存在空间分异,这也就决定了风沙流密度会随着高度的变化显现“分层结构”<sup>[10]</sup>,即沙粒质量随着高度的增加逐渐减小。图 4 为十三间房观测点风沙流密度随高度的变化曲线,从图中可以看出,风沙流密度随着高度的增加显现下降的趋势,且风速越大下降趋势越明显。在同一风速条件下,风沙流密

度在 3 m 内随高度的增加显现直线下降趋势, 当超过 3 m 后则逐渐趋于平缓, 这与集沙量随高度的变化结论相一致, 说明风沙运动主要发生于贴地层。

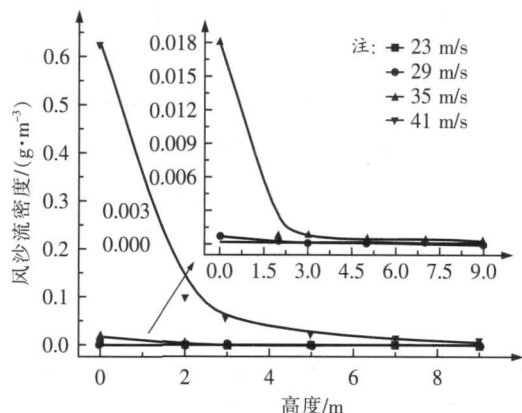


图 4 十三间房点风沙流密度的垂直分布图

## 4 结论

在兰新铁路十三间房地段, 集沙量随着高度的升高, 以  $Q$  的指数级形式递减, 沙主要集中在 3 m 以下。风沙流密度  $\rho$  随着风速  $V$  的增加显现  $Q$  的指数增加, 在风速为 34 m/s 以下时, 风沙流密度变化趋势较为缓慢, 但当风速超过 34 m/s 时, 随着风速的增加风沙流密度显现明显的上升趋势。集沙量随沙粒粒径大小显现出明显的正态分布, 其最大分布区间主要出现在 0.1~0.25 mm 之间, 同时随着高度的增加, 集沙仪中细沙粒和戈壁土的含量在逐渐增高, 而粗沙粒的含量则在逐渐降低, 表明风沙流运动存在着一定的分层现象, 当高度超过 3 m 以上时, 风沙流运动以悬移为主, 因此, 兰新铁路百里风区段铁路沙害防止应主要集中在 3 m 以下。

## 参考文献:

- [1] 潘伯荣, 李崇舜, 刘文江. 新疆沙漠与风沙灾害治理研究 [J]. 中国生态农业学报, 2001(3): 19-21.  
Pan Borong, Li Chongshun, Liu Wenjiang. Desert and Controlling of Aeolian Disaster in Xinjiang [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2001(3): 19-21.
- [2] 孙庆伟, 王涛, 韩致文, 等. 北疆铁路沿线风沙危害的研究 [J]. 中国沙漠, 2004(2): 182-186.  
Sun Qingwei, Wang Tao, Han Zhiwen, et al. Blown

Sand Ham along North Xinjiang Railway and Its Control [J]. Journal of Desert Research, 2004(2): 182-186.

- [3] 王锡来, 蒋育华. 砾漠地段铁路沙害成因及防治 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002(1): 37-43.  
Wang Xilai, Jiang Yuhua. The Formation of Drifting Sand Induced Railway Hazard and Its Prevention in Gravel Desert Area [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2002(1): 37-43.
- [4] 葛盛昌, 蒋富强. 兰新铁路强风地区风沙成因及挡风墙防风效果分析 [J]. 铁道工程学报, 2009(5): 1-4.  
Ge Shengchang, Jiang Fuqiang. Characteristics of Wind Speed Changes after Constructing the Wall in Strong Winds Areas [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(5): 1-4.
- [5] 屈建军, 黄宁, 拓万全, 等. 戈壁风沙流结构特性及其意义 [J]. 地球科学进展, 2005(1): 19-23.  
Qu Jianjun, Huang Ning, Ta Wanquan, et al. Structural Characteristics of Gobi Sand-drift and Its Significance [J]. Advances in Earth Science, 2005(1): 19-23.
- [6] Zheng X J, Huang N, Zhou Y H. Laboratory Measurement of Electrification of Wind-blown Sands and Simulation of Its Effect on and Saltation movement [J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D10): 4322.
- [7] 慕青松, 苗天德, 马崇武. 不均匀沙起动理论及戈壁风蚀层形成动力学 [J]. 中国沙漠, 2004(3): 268-273.  
Mu Qingsong, Miao Tande, Ma Chongwu. Threshold Velocity for Mix-sized Sand and Formation Dynamics of Gravel Surface [J]. Journal of Desert Research, 2004(3): 268-273.
- [8] 董治宝, 孙宏义, 赵爱国. WISEG 集沙仪: 风洞用多路集沙仪 [J]. 中国沙漠, 2003(6): 714-720.  
Dong Zhibao, Sun Hongyi, Zhao Aiguo. WISEG Sampler: A Segmented Sand Sampler for Wind Tunnel Test [J]. Journal of Desert Research, 2003(6): 714-720.
- [9] Bagnold R A. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes [R]. London: Methuen, 1941.
- [10] Zheng X J, He L H, Wu J J. Vertical Profiles of Mass Flux for Wind-blown Sand Movement at Steady State [J]. Geophys Res, 2004, 109, B01106.