

文章编号: 1000-5013(2008)01-0143-05

# 福建东部海岸风沙流结构特征及沙害防治对策

雷怀彦, 林炳煌, 刘建辉, 柳浩然

(厦门大学 海洋与环境学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 针对福建长乐东部海岸风沙活动地区, 观测海滩、半固定沙丘、植被固定沙丘不同地貌单元的风沙流输沙量, 捕集不同高度输沙样品, 据此分析研究区不同地貌的风沙流的结构特征值  $\lambda$ 。结果表明: 在海滩后缘, 风沙流的中细粒沙质量分数从底层向上呈减小趋势, 而粉沙沙粒的质量分数从底层向上呈增大的趋势。在活化沙丘顶部, 风沙流中的中细粒沙质量分数随高度的变化无明显规律, 而粉沙沙粒的质量分数从底层向上呈缓慢增大趋势。在固定沙丘顶部, 中沙质量分数随高度的变化平缓, 而细沙质量分数从底层向上呈缓慢减小趋势。这种风沙流结构特征, 适合采用竹栅栏、马鞍腾、单叶蔓荆、滨刺麦和木麻黄树等多级防沙组合体系。

**关键词:** 风沙流; 结构特征; 输沙量; 沙害防治; 福建长乐东部海岸

**中图分类号:** S 157. 1; P 694(257)

**文献标识码:** A

风沙流是一种沙粒的集团运动, 是风沙活动过程中的重要环节, 对了解风沙流沙粒的流动特性、搬运过程、侵蚀危害有着重要的意义。风沙流可造成村镇居民点、工程建筑物和地表植被及农作物等受风蚀与沙埋危害。因此, 长期以来风沙流的结构特征是风沙机理研究的关键, 是风沙危害防治的重要内容。当风吹过不同的沙质地表时, 在风力作用下沙粒脱离地表进入气流中而被搬运, 导致沙地风蚀的发展, 产生风沙运动, 出现风沙流。气流中所搬运的沙子在搬运层内随高度的分布, 称为风沙流结构。朱震达<sup>[1]</sup>通过研究认为, 90% 的沙量是在 0~ 10 cm 高度内被传输; 吴正等的野外观测结果表明, 气流搬运的沙量绝大部分(90% 以上)是在离地表 30 cm 的高度内进行的。在这个高度风沙流的搬运, 将造成地表生态环境的破坏。国内外许多学者在野外和风洞试验室, 对风沙流结构进行了大量研究<sup>[1-6]</sup>, 提出了治理沙害的建议。本文对福建长乐海岸风沙流结构特征进行研究, 并针对沙害综合治理提出建议与对策。

## 1 风沙流结构的实验分析

### 1.1 实验部分

在野外调查中, 采用佳能高清晰数码相机进行了风沙流流动的观察拍照, 每 10 min 为一个单位; 用 DM6 型手持式三杯风速仪测量风速; 用中国科学院寒区旱区环境与工程研究所研制的方口集沙仪收集风沙流。观测海滩、半固定沙丘、植被固定沙丘 3 个不同地貌单元的风沙流输沙量, 捕集不同高度输沙样品, 并据此分析研究区不同地貌的风沙流的结构特征值  $\lambda$ 。实验室对样品进行处理, 将样品放在电热鼓风箱中低温(95 ℃)下恒温烘干备用。采用英国马尔文 2000 型激光粒度仪分析风沙沉积物粒度。

### 1.2 沙量随高度变化特征

对海滩后缘、活化沙丘顶部、植被固定沙丘顶部的风沙流输沙量进行了跟踪观测, 发现输沙量( $Q$ )随高度( $h$ )呈现规律性变化, 如图 1 所示。从图 1 可以看出, 在 0~ 30 cm 高度内, 海滩后缘上的风沙几乎是 100% 传输, 活化沙丘顶上的风沙 90% 以上传输, 而植被覆盖的固定沙丘顶部在 15 cm 以上就已见不到输沙。海滩后缘风沙流结构中输沙量( $Q$ )的变化特征: 在近地表 0~ 12 cm 高度内, 输沙量从 63.6 g (0~ 2 cm) 到 42.0 g (10~ 12 cm), 输沙量变化趋势较为平缓。这个范围内的输沙量约占总沙量的 82%, 结果与吴正、齐之尧等对内陆沙丘的观察结果一致; 在 12~ 30 cm 高度范围内, 输沙量从 25.2 g

收稿日期: 2007-11-17

作者简介: 雷怀彦(1960-), 男, 教授, 博士, 主要从事海洋资源与环境的研究。E-mail: lhy@xmu.edu.cn.

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(D041009)

(12~ 14 cm) 到 1.8 g(28~ 30 cm), 输沙量随高度增加减少迅速. 活化沙丘顶部的风沙流结构中输沙量变化特征: 在近地表 0~ 14 cm 高度内, 输沙量从 31.3 g(0~ 2 cm) 到 28.9 g(12~ 14 cm), 输沙量随高度的变化甚微; 在 14 cm 高度以上, 输沙量从 24.9 g(14~ 16 cm) 到 5.4 g(28~ 30 cm) 迅速减小. 在固定沙丘风沙流中, 输沙量在垂直方向上的变化非常明显, 即输沙量从 65.1 g(0~ 2 cm) 到 2.7 g(10~ 12 cm), 输沙量急剧减少; 而在 15 cm 高度以上极少见风沙. 这可能是由于该固定沙丘的植被以高大的灌木为主, 表面草丛覆盖稀少, 所以贴近地面 10 cm 左右的风速并未受到明显影响, 输沙量仍较大; 在 15 cm 高度以上植被对风速影响明显, 故造成输沙量明显减少.

1.3 沙粒粒度特征分析

根据朱震达等<sup>[1]</sup> 实验研究, 风沙流中不仅输沙量随高度发生变化, 而且沙粒的粒径在垂向分布上也不同. 对收集到不同高度的沙粒样进行粒度分析, 研究不同地貌单元风沙流中输沙量( $Q$ ) 和不同粒径沙粒质量分数( $\rho$ ) 随高度的变化, 如图 2 所示. 结果表明, 海滩后缘、植被固定沙丘顶部、活化沙丘顶部的风沙中, 沙粒粒级均以细沙为主, 且细沙在不同高度层的质量分数变化不大, 而中沙和极细沙在不同高度层的质量分数略有起伏变化. 从图 2 可知, 在海滩后缘风沙流中, 中沙质量分数从近地表的 11% 很快增加到 8 cm 高度的 18%, 此高度向上至 30 cm 高度又逐渐降低为 9%, 总体上呈下降趋势. 在固定沙丘风沙流中, 中沙质量分数随高度的变化缓慢地从 19% 减小到 17%, 在 12 cm 高度又升高到 20%, 变化平缓. 在活化沙丘风沙流中, 中沙质量分数随高度的变化略有起伏, 一般在 6%~ 9% 之间. 海滩后缘风沙流中, 细沙质量分数从 8 cm 高度以下的 72%, 逐渐减少为 8 cm 高度以上的 65%; 固定沙丘风沙流中, 各高度层细沙质量分数稳定在 70%, 仅在 10 cm

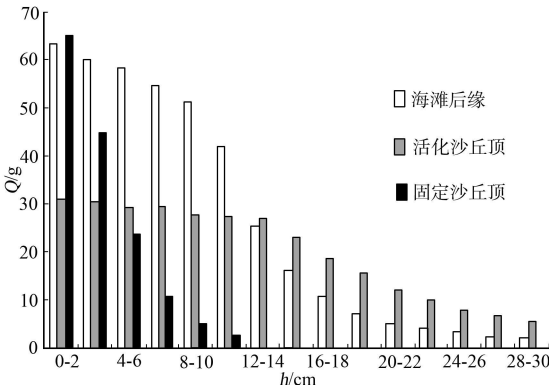
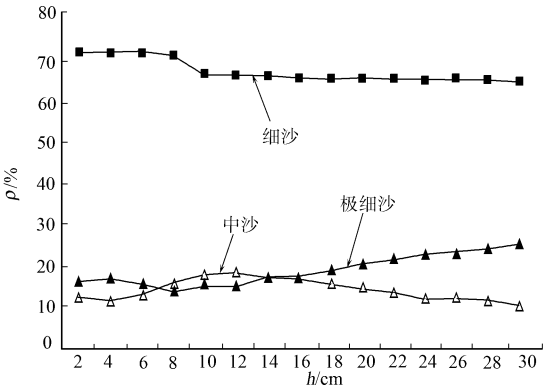
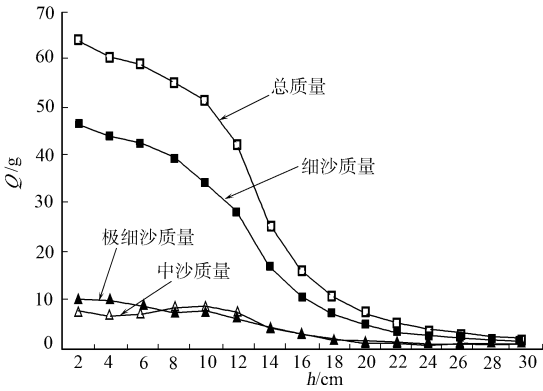
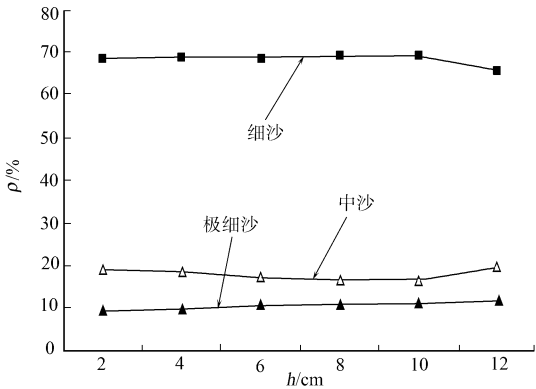
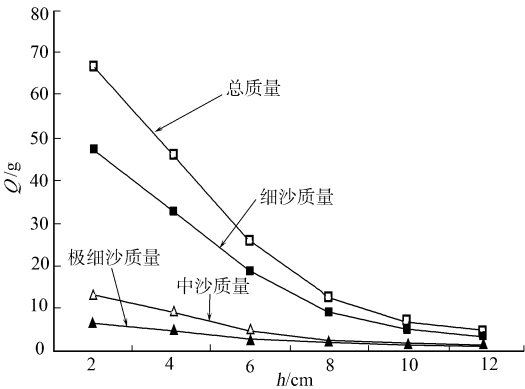


图 1 搬运输沙量随高度的变化  
Fig. 1 The variety of sand transport in vertical distribution



(a) 海滩后缘



(b) 固定沙丘

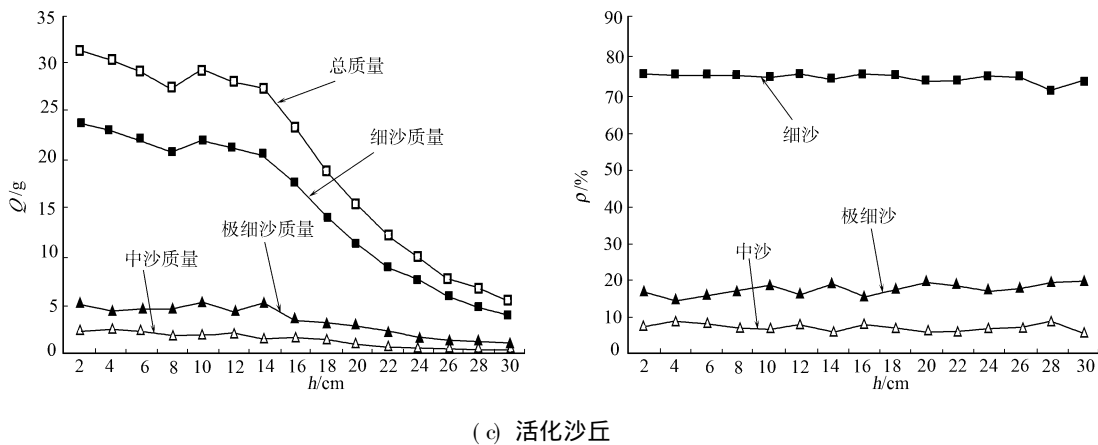


图 2 不同地貌单元风沙流中粒径随高度的变化

Fig.2 The variety of grain sizes with the height in different areas

高度以上减小到 67%; 活化沙丘风沙流中, 细沙质量分数稳定在 75%. 由此可见, 细沙质量分数在活化沙丘最高, 海滩后缘次之, 固定沙丘最小, 但 3 者相差甚微. 在海滩后缘风沙流中, 极细沙的质量分数随高度的变化总体而言呈增大的趋势, 从最底层的 15% 增加到最高层的 24%; 在固定沙丘风沙流中, 极细沙质量分数在 3 种粒级组分中最低, 且一直保持在 10% 左右; 在活化沙丘风沙流中, 极细沙的质量分数总是高于中沙, 呈缓慢升高趋势, 从最底层的 16% 增加到 30 cm 高度层的 20%.

综上所述, 长乐东南部海岸带的风沙流结构特征为: 研究区沙粒的粒径变化小, 其组分以中沙、细沙和极细沙为主, 分选性很好, 细沙质量分数非常高. 在野外观测期间风速(风速为 2 m 高处的测量值, 下同)为  $6 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  左右, 这一风速远大于长乐东部海岸带平均粒径为 0.22 mm 的临界启动速度  $3.83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . 在这种风速条件下, 海岸带表层沙(粗到粉沙泥)都易被吹扬搬运. 同时, 由于海岸带沙的粒级绝大多数集中在细沙组分, 其他粒径组分质量分数较少, 所以, 在风能作用高度上, 风沙流中各组分质量分数随高度的变化保持稳定.

2 风沙流结构特征及影响因素

2.1 风沙流结构特征指标

吴正等<sup>[7]</sup>研究了 10 cm 高度气流层内的风沙流结构特征, 用  $\lambda$  特征值反映风沙流的结构与沙子吹蚀、搬运和堆积的关系.  $\lambda$  值可定义为: 2~10 cm 高度气流层内的搬沙量与 0~1 cm 高度气流层内搬沙量的比值. 平均情况下,  $\lambda$  值接近于 1, 表示沙面进入气流中的沙量和从气流中落入沙面的沙量, 以及气流上、下层之间交换的沙量相等, 或相差不大, 沙面上沙粒的进出保持平衡. 当  $\lambda < 1$  时, 表明沙子在搬运过程中向地表贴近, 下层沙量增大很快增加了气流能量的消耗, 从而造成有利于沙子从气流中跌落堆积的条件. 当  $\lambda > 1$  时, 表明下层气流沙量处于未饱和状态, 气流尚有较大搬运能力, 在沙源充足时有利于吹蚀. 特征值( $\lambda$ )用来判断沙粒搬运已在野外观测得到证实<sup>[5-6]</sup>.

通过对海滩后缘及前缘沙丘不同风速( $v$ )条件下输沙量的计算, 得出了风沙流结构特征值  $\lambda$ , 如图 3 所示. 从图 3 可知, 在海滩后缘, 当风速为  $6.28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时,  $\lambda = 0.96$ , 近似于 1, 可以认定该部位处于平衡态. 在前缘沙丘迎风坡; 当风速为  $5.39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时,  $\lambda = 1$ , 说明在此风速的迎风坡处于平衡状态. 表明, 海滩后缘发生吹蚀的最小风速略大于前缘沙丘迎风坡发生吹蚀的最小风速. 随着风速的不断增大, 两个地点的  $\lambda$  值也相应逐渐增大, 海滩后缘和前缘沙丘迎风坡都趋向于吹蚀, 风速越大, 吹蚀程度越大. 当风速小于  $8 \text{ m} \cdot$

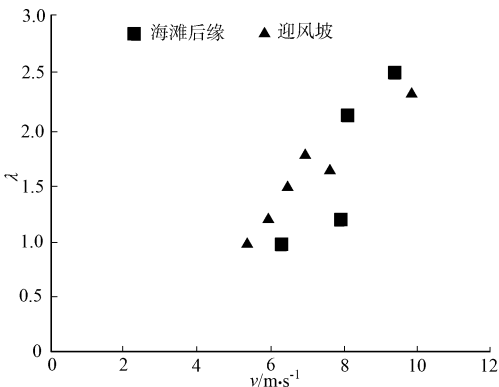


图 3 不同部位的风速与  $\lambda$  值散点图

Fig.3 Plot diagram of wind velocities and value  $\lambda$  in different area

$\text{s}^{-1}$  时, 前缘沙丘迎风坡的吹蚀程度超过海滩后缘的吹蚀程度. 但随着风速的继续增加, 海滩后缘的吹蚀程度则超过前缘沙丘迎风坡的吹蚀程度.

2.2 风速对风沙流结构影响因素

不同风速条件下、总输沙量接近的 5 个统计系列, 如表 1 所示. 表中,  $Q_{\text{tot}}$  为 0~ 10 cm 高度层内, 每平方米区域内每分钟风沙流中搬运的总沙量,  $Q_{\text{sup}}$  为上层( 2~ 10 cm) 搬沙量,  $Q_{\text{mid}}$  为中层( 1~ 2 cm) 搬沙量,  $Q_{\text{inf}}$  为下层( 0~ 1 cm) 搬沙量. 从表 1 可以看出, 在 0~ 10 cm 高度层内, 当风沙流中搬运的总沙量相同时, 随着风速的增加, 贴近沙床面的下层( 0~ 1 cm) 和中层( 1~ 2 cm) 的输沙都减少, 而上层( 2~ 10 cm) 的输沙量则是不断增大的趋势. 说明, 风沙流结构的特征值  $\lambda$  逐渐增大. 这一结果与吴正等<sup>[7]</sup> 认为在总输沙量相同时, 随着风速的增大, 近沙面气流层中搬运的沙量占总沙量的比例相对减少, 而上层气流中的沙量相应地增加的结论是一致的.

2.3 输沙量对风沙流结构的影响

下垫面和沙面湿度等条件不同, 在同一风速条件下才能产生输沙量的变化. 所以, 选取海滩和海岸带内陆丘间平沙地这两种沙粒粒径和水的质量比均有所区别的地貌部位, 分析在风速相同( 或相近) 的条件( 2 m 高处, 风速为  $6.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 下, 输沙量对风沙流结构的影响, 如表 2 所示. 由表 2 可知, 在相同的风速条件下, 随着气流中的总搬运沙量的增大, 在引起各层绝对输沙量的增大, 表现在下层减少、上层增加, 反映在风沙流结构特征值  $\lambda$  逐渐增大, 沙粒的搬运高度上升<sup>[7]</sup>.

2.4 下垫面对风沙流结构的影响

下垫面性质包括地表的物质组成、压实程度、起伏形态、植被及其覆盖度大小等. 根据邹学勇等<sup>[8]</sup> 的研究, 若某种下垫面组成物质粗大、沙床面结实, 风沙流中的降落沙粒与其碰撞过程中的能力损失就较小, 接近弹性碰撞, 沙粒弹跳高度就大. 因此, 在这种下垫面条件下, 风沙流的高度较大, 沙量随高度增加而减少的递减率就缓慢; 反之, 沙量随高度增加而减少的递减率就快. 相对于固定沙丘而言, 海滩沙压实紧密, 可看作结实下垫面. 从图 2 中可看出, 固定沙丘的风沙流结构沙量的递减率要明显高于海滩. 此外, 从表 3 中也可看出, 海滩沙相对于丘间沙地水的质量比较高, 所以在相同风速下, 海滩的输沙量小于丘间沙地.

3 结论

闽江的入海泥沙, 为长乐东部海岸提供了丰富的沙源. 每当秋冬季节, 在向岸风作用下, 大量海滩沙向岸上运移堆积, 形成众多高达 1 m 以上的流动沙丘. 20 世纪 60 年代, 种植的  $340 \text{ hm}^2$  木麻黄较好地起到了防风固沙作用, 局部地区如江田至克明楼一带、下沙度假村一带, 风沙危害依然还很严重. 这是由于该处海岸沙丘结构松散, 处于近岸强风力作用地带, 加之人类活动如在海滩违章建筑、修路、采沙等, 使沙丘表面裸露, 引起沙丘活化, 形成新的风沙危害, 需引起有关部门的重视<sup>[9]</sup>.

治理海岸风沙危害的最佳措施是梯级防沙带. 即从海滩依次向陆地方向采用竹栅栏阻沙, 种植马鞍腾和单叶蔓荆固定沙丘, 种植滨刺麦和木麻黄树彻底阻止风沙. 由于在高潮线上使用阻沙竹栅栏, 不仅可以保护后滨带的养殖场, 而且能很好阻止盐度高、湿度大的泥沙流动. 竹栅栏不易腐蚀, 一般选用的阻沙栅栏宽约 3 m, 竹间行距和株距均为 0.6 m, 平均高度约 3 m. 根据现场观测和测量竹栅栏迎风面处测得的风速为  $8.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 距离栅栏背风面 2, 3, 4 m 处测得的风速分别为  $4.9, 6.7, 8.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 风速分别降低了 44%, 23%, 3%. 由此可见, 阻沙竹栅栏起到了非常明显的降低风速和阻沙效果, 作为初级防大规模阻止风沙向岸移动效果良好, 具有推广价值. 海岸前缘沙丘, 地势较平缓, 适合种植马鞍腾

表 1 风速与风沙流结构的关系

Tab.1 Wind-blown sand structure under the conditions of different wind speeds

$v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	6.70	7.10	7.70	8.20	8.60
$Q_{\text{tot}}/\text{kg}$	9.65	9.50	9.56	9.66	9.58
$Q_{\text{sup}}/\text{kg}$	4.14	4.21	4.36	4.59	4.85
$Q_{\text{mid}}/\text{kg}$	2.42	2.42	2.20	2.13	2.04
$Q_{\text{inf}}/\text{kg}$	3.06	2.81	2.74	2.62	2.42
$\lambda$	1.35	1.50	1.59	1.75	2.00

表 2 输沙量与风沙流结构的关系

Tab.2 Wind-blown sand structure under the conditions of equal sand transport

地貌部位	海滩	丘间沙地
$Q_{\text{tot}}/\text{kg}$	2.60	7.50
$Q_{\text{sup}}/\text{kg}$	1.00	3.42
$Q_{\text{mid}}/\text{kg}$	0.59	1.50
$Q_{\text{inf}}/\text{kg}$	0.99	2.40
$\lambda$	1.00	1.43

和单叶蔓荆等植被来固沙。这两种植物体高 2~ 5 cm, 根系发达, 粗壮的地下茎盘结于沙地表面, 从节上长出的须根, 在 1~ 2 cm 的地表层内延伸长达 2~ 5 m, 从大范围摄取营养, 盘固地表不被风沙卷走。它不仅固沙能力强, 而且具有很好的海岸景观。滨刺麦和木麻黄是一种耐瘠薄、耐干旱和耐盐碱的沙地速生植物和造林树种, 对防风固沙、改良土壤、修复生态和保护环境起着重要的作用。木麻黄林带降低风速的作用还随着风速的增大而提高, 当风速小于  $2\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 林带最大降低风速约为 3%; 而当风速大于  $10\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 林带最大降低风速可达 52%。在林带迎风面处和林带背风面后的各观测点, 土壤细沙质量分数都较旷野高, 表明木麻黄林带固沙效果明显。

在长乐东部海岸的不同地貌单元, 风沙流中输沙量随高度呈不同的变化规律, 海滩后缘上的风沙几乎 100% 在 0~ 30 cm 高度内传输, 活化沙丘顶上的风沙 90% 以上在 0~ 30 cm 高度内传输, 植被覆盖的固定沙丘顶部在 15 cm 以上就不见输沙。风沙流中不仅输沙量随高度发生变化, 且沙粒的粒径在垂直分布上也是不同的。离地表越高的气流中所含的沙粒越细, 细组分质量分数增加; 而越靠近地表的气流中所含的沙粒越粗, 粗组分质量分数越高。风沙流中含沙量在垂直高度上的分布规律受到风速、输沙量、下垫面性质等因素的影响。治理海岸风沙危害的最佳措施是建立梯级防沙带, 即从海滩依次向陆地方向采用竹栅栏阻沙、种植马鞍藤和单叶蔓荆固定沙丘、种植滨刺麦和木麻黄树彻底阻止风沙。

参考文献:

- [ 1 ] 朱震达. 应用实验方法来研究风沙地貌形成过程的若干特征[ C ]. 治沙研究( 4). 北京: 科学出版社, 1962: 48-61.
- [ 2 ] 马世威. 风沙流结构的研究[ J ]. 中国沙漠, 1988, 8( 3 ): 8-22.
- [ 3 ] FRANCESCHINI G, COMPTON. Abrasion of foraminifera tests along an active dune cordon, western Cape, south Africa[ J ]. Palaios, 2007, 22 ( 6 ): 686-690.
- [ 4 ] BAKER J T. Cotton seedling abrasion and recovery from wind blown sand[ J ]. Agronomy Journal, 2007, 99 ( 2 ): 556-561.
- [ 5 ] 柯丛茂, 金本清. 风沙流结构规律探讨[ J ]. 南昌水专学报, 2000, 19( 3 ): 30-33.
- [ 6 ] 张克存, 屈建军等. 不同下垫面对风沙流特性影响的风洞模拟研究[ J ]. 干旱区地理, 2004, 27( 3 ): 352-355.
- [ 7 ] 吴 正, 凌裕泉. 风沙运动的若干规律及防止风沙危害问题的初步研究[ C ]. 治沙研究( 7). 北京: 科学出版社, 1965: 7-14.
- [ 8 ] 邹学勇, 董光荣, 王周龙. 戈壁风沙流若干特征研究[ J ]. 中国沙漠, 1995, 15( 4 ): 368-373.
- [ 9 ] 吴 正. 风沙地貌与治沙工程学[ M ]. 北京: 科学出版社, 2003

## Wind-Blown Sand Structure Character in East Seacoast in Fujian and Prevent Methods of Wind-Blown Sand Disaster

LEI Huai-yan, LIN Bing-huang, LIU Jian-hui, LIU Hao-ran

(College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen university, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** Investigation and observation were carried on in the sandstorm field in Changle east seacoast in Fujian Province including samples collection, laboratory anglicizing and comprehensive studies. The result indicated the percentage of middle and fine sand in wind-blown sand was decreasing from the bottom up, while the percentage of silt was increased from bottom up in the posterior edge of the beach. In the top of activation sand dunes, the percentage of middle and fine sand in wind-blown sand shows no significant variation with height, and the percentage of silt was slowly increasing from the bottom up. In the top of the fixed sand dunes, the percentage of the middle sand change flat with height, percentage of silt was slowly reducing from the bottom up. The multi-level defense system should be applied to prevent and control seacoast sandstorm such as using bamboo barriers, saddle-teng, *Vilx trifolia* Var., *Simplify olia*, *Spinifex littoreus* (Burm.f.) Merr and *Casuarinae quisetifolia* Wood.

**Keywords:** wind-blown sand; structure character; sediment discharge; prevent strategy; east seacoast in Changle

(责任编辑: 黄仲一)