

风蚀基本理论

[美] G.O.施瓦布 R.K.云雷瓦特 著
T.W.埃德明斯特 K.K.巴恩斯

郑合英 译

(黄河水利职业技术学院, 河南 开封 475001)

摘要: 本文译述了风的垂直分布、风蚀力、风蚀方向、风蚀类型、风蚀的力学原理和风蚀量估算等基本理论,为防沙治沙,控制沙尘暴提供了一些理论依据。

关键词: 垂直分布;风蚀力;风蚀方向;风蚀类型;风蚀力学原理;风蚀量估算;沙障

中图分类号: S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-486X(2000)02-0019-04

1 风的垂直分布

邻近地表,自由大气层的空气运动减慢。由于气流与地面之间存在阻力,与地面直接接触的空气几乎处于静止状态。地表以上,空气的内剪力使得风速随垂直高度增加而增大,直至地面的全部影响消失为止。

风速一般由主航空站和一级气象站在特定高度测定。对于其余高度,因风速几乎与高度成正比,故象预测蒸散高度所需的风速一样,其风速可以估算。

在稳定表面之上,平均风速分布方程是:

$$u_z = u_* / k \ln[(z - d) / z_0] \quad (1)$$

式中: u_z —— Z 高度的风速(L/T)

u_* ——摩擦速率(L/T) = $(\tau_0 / \rho)^{1/2}$

τ_0 ——边界剪应力(F/L²)

ρ ——空气密度(M/L³)

k ——卡门常数,一般取 0.4

z ——参照面以上高程(L)

d ——有效表面粗糙度(L)

z_0 ——粗糙度参数(L)

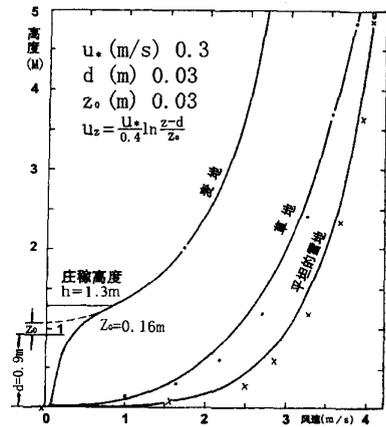


图1 不同表面的风速分布图

摩擦速率 u_* 是扰动边界层内的特征速率。在常温条件下,地面以上初始几米高度范围内,方程式才成立。当地面不增加热量也不减少热量(绝热)时,常温条件存在。对于低杆作物和平坦的地面,有效粗糙度高度是很小的,或接近零。有效粗糙度高度 d 和粗糙度参数 z_0 受庄稼倒伏和随风摆动的影响很大。在粗糙高度以下,扰动扩散消失,而由分子扩散力引起传递。对于高杆作物,有效粗糙度 d 是方程(1)成立的理论高度。对于大面积作物,Stanhill(1969)得出公式: $\log d = \log h - 0.15$, 式中 d 是有效粗糙度高度, h 是庄稼高度。粗糙度参数 z_0 可以用公式 $\log h - 0.9$ 计算(Tanner and Pelton 1960)。公式(1)中的粗糙度参数是速度分布图外延至零处的高度。

图1表示三种表面情况下的风速垂直分布,所注的 d 、 z_0 和 h 是麦地的近似值。草地和雪地的标绘点是根据公式(1)计算的,相应的 d 值和 z_0 值是选用的, u_* 是根据 4.9m 处的风速计算出的,用计算的 u_* 值再确定其余高度的风速。如图1所示,公式与曲线非常吻合。

收稿日期: 1999-04-15

作者简介:郑合英(1938-),男,高级讲师,从事水土保持教学和研究。

2 风蚀力

对于比吹动土粒风速大的风速,土粒移动率与摩擦速率 u 的立方成正比。对于特定的表面类型及高度, k, z 和 z_0 是个常数,因此摩擦速率 u 与风速成正比。这样,土粒移动就与风速的立方成正比。当高度为 0.3m 时,风速为 5.4m/s(12mi/h)或低于 5.4m/s 时,就可认为没有风蚀。

各个方向风蚀力的矢量和等于风蚀力,即为一定地点引起土壤风蚀的风力的相对能量。风蚀力可用公式:

$$F = \sum_{j=0}^{15} \sum_{i=1}^n u_{ij}^2 f_{ij} \tag{2}$$

计算。式中

- u_{ij} ——所有大于 5.4m/s 风速中第 i 风速组的平均风速
- f_{ij} ——第 j 方位第 i 风速组的观测值占总观测值的百分率
- n ——风速组数

符号 j 指示的方向在图 2 中由 0 到 15, 表示 16 个基本方位,从东 ($j = 0$) 逆时针方向编号。气象记录中关于风的资料按 12 个风速组(蒲福风级)记载,如果各个方向的平均风速是相同的,并且各个方位观测值的百分率是相等的,则各方向风蚀力就是一样的。

3 风蚀方向

根据上述步骤,与选择的方向 θ 平行和垂直的风蚀力的分力可以表达为:

$$F_{\parallel} = \sum_{j=0}^{15} [\cos(22.5j - \theta)] \sum_{i=1}^n u_{ij}^3 f_{ij} \tag{3}$$

$$F_{\perp} = \sum_{j=0}^{15} [\sin(22.5j - \theta)] \sum_{i=1}^n u_{ij}^3 f_{ij} \tag{4}$$

- 式中: F_{\parallel} —— 平行分力
- F_{\perp} —— 垂直分力
- θ —— 从东逆时针选定的方向

图 2 以 j 等于 2 为例,用图解法表示了这些力的情况。选择 θ 使 $R = \frac{F_{\perp}}{F_{\parallel}}$ 为最大值, $\theta = \theta_R$ 便为主风风蚀方向。 $R = 1.0$ 时,主风风蚀方向不存在,此时风障(Wind barrier)在任何方向其效果都是一样的。最大值 R_m 为 2.0 表示平行于主风风蚀方向的分力等于垂直于主风风蚀方向分力的两倍, R_m 值也称风蚀优势。 Skidmore 和 Woodruff(1963)列表计算了 39 个州 212 个地点的 F, θ_R 和 R_m 值,其余地点可根据气象资料用数字计算机求得,风障间距及农田潜在风蚀度的确定就是两个实际例子。

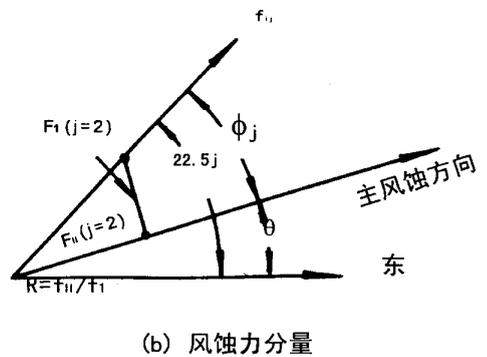
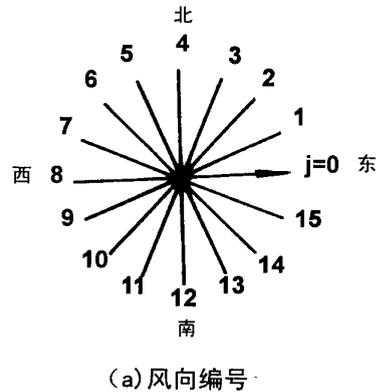


图 2 风向编号与风蚀力 ($j=2$ 时,且相对于主风蚀的方向)

4 风蚀类型

浮游、跃动和滚动的风蚀现象与河川沉积物的浮游、跃动及推移相似,风蚀不同的是三种运动形式同时发生。土壤移动大部分发生在近地面 1m 之内,1m 以上一般情况下仅为浮游一种形式,而靠近地面三种情况均可发生。根据 Chepil(1945)室内试验研究,55~72% 的土粒跃进移动(粒径 0.1~0.5mm),3~38% 的土粒浮游移动(粒径一般小于 0.1mm),7~25% 的土粒滚动移动(粒径 0.5~2.0mm)。

土粒跃动是由风压作用于土粒及土粒与土粒之间相互碰撞所致,其运动路径、初速及末速的大小和方向如图 3 所示。土粒离开地面时,运动方向几乎与地面垂直,然后土粒向高向前移动,直达其水平距离 L 的 1/5~1/4,最后约以 6~12 度的角度直线形式降落到地面。

5 风蚀的力学原理

要正确理解风蚀的力学原理,必须分析风力对土粒作用的特性及其大小。

风蚀的过程可分为三个简单而完全不同的阶段,即:(1)移动的发生;(2)搬运;(3)沉积。

移动的发生——土壤的移动可视为风的扰动和风速的结果。运动临界速度可定义为由风直接作用而引起土壤运动时的最低速度;而冲击临界速度则为受以跃进形式搬运的土粒冲击而引起运动的最低速度。地面之风,除了在距地表很近之处及风速甚小时(每秒 1m 以下),均为扰动状态。30cm 以下,风速等于或低于 5m/s 时,通常认为矿质土壤没有风蚀现象。

搬运——土粒搬运是受土粒大小、级配、风速及通过侵蚀区之距离的影响。风速及风向变动极大,有时发生涡流使土壤飞扬并搬运。土粒被搬运的多少随着大于初始常风速之风速的三次方及土粒直径的平方根而变化,并随土粒级配增加。

图 4 是两种具有不同易侵蚀土粒与耐侵蚀土粒百分率的风蚀示意图,耐侵蚀土粒中心距离为 L_x ,耐侵蚀土粒间距较大,其间易侵蚀土粒已风蚀掉,但耐侵蚀土粒紧靠在一起,风蚀不明显。对于稳定土壤表面,土粒高出地面的高度与它们之间距离之比以及粗糙物质覆盖面积的百分率都跟风蚀的潜能有关(Lyles 等,1974)。

土粒移动率随迎风面田间边界的远近或侵蚀区的长度的增加而增加。细土粒被吹到背风面堆积起来,或形成沙丘,与风蚀区域迎风边界的距离愈远,土粒移动率愈大,被侵蚀粒愈多。此种现象使地面被摩擦而逐渐减小其粗糙度,风蚀率因土壤不同而差别很大,其差异可达 10 倍以上。

大气搬运土壤的能力非常之大,尤其是土万方数据

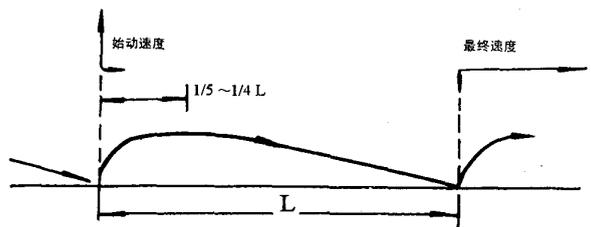
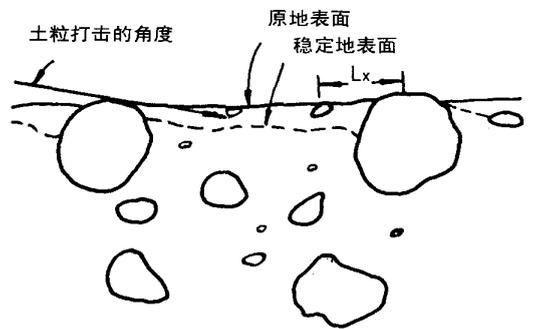
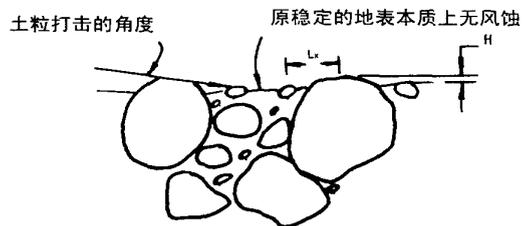


图 3 土粒跃进的路径



(a) 易侵蚀土粒与耐侵蚀土粒的比率为 9:1



(b) 易侵蚀土粒与耐侵蚀土粒的比率为 1:1

图 4 易侵蚀与耐侵蚀土粒比率对风蚀的影响

粒直径小于0.1mm时最严重。据估计,10⁸m³的空气可搬运土粒数万吨,此数量因风速不同而异。1937年,美国一次沙尘暴使衣阿华州每英亩土地增加224kg土壤,此沙尘暴是由德克萨斯州吹来的。

沉积——当地心引力大于空气对土粒之飘浮力时,土粒即沉积。由于地面生长植物或其它自然障碍物(如壕沟或雪墙)而风速减低时,可发生沉积;雨滴也可以使尘埃从空中降落下来发生沉积。

6 风蚀量估算

风蚀量与不同的田间条件及影响风蚀的气候因子的关系已有公式(5)可计算,该公式可用于:(1)计算在当地气候条件下任一田块潜在的风蚀量;(2)作为确定地表粗糙度、土壤条件、植被覆盖、遮蔽条件的依据,或作为减少风蚀到可容许程度所需要的田块宽度及排列方向的依据。其公式如下:

$$E = f(I', C', K', L', V) \quad (5)$$

式中: E ——单位面积平均风蚀重量

I' ——土壤侵蚀度指标

C' ——气候因子

K' ——田块粗糙度因子

L' ——与主风蚀方向一致的有效田块长度

V ——植物覆盖当量数

公式(5)各变量的相互关系是非常复杂的,不能以简单的数学公式表示。Skidmore和Woodruff(1968)指出了确定美国39个州212个地方的风蚀状况的图示、图表及诺谟图,但是它们非常复杂。Skidmore等人(1970)研究出用计算尺计算的办法,这种滑动计算尺可以成批买到。

※摘译自美国《水土保持工程学》第六章(第三版),题目是译者加的。

[责任编辑 杨道富]