

文章编号: 1006-4354 (2006) 02-0026-03

坡面雨量的风力敏感性分析

张后发¹, 徐世有¹, 严红梅²

(1. 商南县气象局, 陕西商南 726300; 2. 洛南县气象局, 陕西洛南 726100)

摘 要: 运用伯努利方程和斯托克斯公式得出风压下雨滴下落偏离垂直方向的角度。比较了迎风坡与背风坡雨量和雨强的相对大小。结果表明: 风力使正圆球形雨滴下落时运动状态改变的幅度随半径增大而增加。迎风坡雨量和雨强在雨滴下落方向垂直于坡面时最大, 背风坡雨量和雨强随坡度和风力的增大而逐渐减小。在不考虑气流爬坡作用和“背风波”时, 迎风坡雨量和雨强明显比背风坡大。坡度愈大, 风力愈强, 背风坡雨量和雨强偏小愈显著。迎风坡雨量偏小的情况, 仅出现在风力较大, 且坡度较缓(一般小于 25°)的坡面。分析商南县长、短历时暴雨伴风情况, 发现西坡发生山洪、泥石流的几率增多, 而东南坡发生滑坡、塌方的危险性加大。

关键词: 坡面雨量; 风力; 敏感性

中图分类号: P426.61

文献标识码: A

大量的观测事实证明, 迎风坡较背风坡降水量明显偏多^[1], 从而因坡向不同, 有“干坡”和“雨坡”之称。灾情调查也发现, 受灾程度沿坡向有显著的变化^[2]。过去, 人们大多是通过多种天气尺度, 并突出地形的作用来分析这种现象, 对风

力的影响重视不够。在风力作用下, 坡面雨量分布发生了较大的变化。这虽然是简单明了的自然现象, 但由于山区风场结构较为复杂, 常规观测方法又不能反映这种变化, 给研究工作带来一定困难。在一些假定条件下, 通过雨滴下落方向与

收稿日期: 2005-10-11

作者简介: 张后发 (1965-), 男, 陕西商南人, 工程师, 从事地面气象观测工作。

度和影响范围, 使催化剂播撒在云中最佳核化高度, 通常采取分批催化的方法, 作业仰角应处于 $45^\circ\sim 65^\circ$ 射角范围, 最佳仰角为 55° 。

不同的催化对象应采取不同的射击组合方式。对层状云高炮多采用同心圆或水平射击组合方式, 对流云则常采取前倾或垂直梯度射击组合。火箭发射的方位束宽比较大, 视云系演变的具体范围而定。

5 小结

5.1 渭南市高炮、火箭人工增雨作业多以层状云和混合云为主。雷达回波上, 层状云作业部位应选在 0°C 层亮带以上, 混合云应选在强回波区附近。

5.2 层状云催化时机, 应选择云顶高度 ≥ 6 km, 回波强度 ≥ 25 dBz; 混合云在云顶高度 ≥ 7.5

km, 回波强度 ≥ 35 dBz 时作业为宜。作业仰角以 55° 为最佳。

5.3 一次层状云人工增雨作业, 在有效作业时段内, 一个作业点以炮弹 40 发左右、火箭弹 2~4 枚为宜, 也可根据有利云系适当调整增加。

5.4 新型增雨防雹火箭作业系统比高炮具有成核率高、催化剂量大、发射高度高、射程远等优势, 在增雨作业中, 建议逐步用火箭代替高炮。

参考文献:

- [1] 刘栓利, 贾金海. 渭南市人工影响天气事业发展的思考 [J]. 陕西气象, 2002 (增刊): 44.
- [2] 刘士亮, 齐麟, 王鹰, 等. 延安地区人工增雨防雹应用技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1996.

下垫面夹角计算坡面雨量, 以比较迎风坡和背风坡雨量的相对大小。目前, 山川秀美工程建设全面铺开, 地质灾害等级预报也在各地纷纷开展, 山洪灾害已引起了足够的重视, 迫切需要从多个角度加强对坡面雨量的研究。坡面雨量研究在水文计算、水利工程设计、山区生态气候等方面具有重要意义。本文不考虑地形对降水天气系统的影响, 并区分长、短历时暴雨类型, 仅就风力对坡面雨量的影响做初步分析。

1 风场中雨滴运动状态

雨滴在下落过程中受到风力的作用, 将沿风向偏离垂直方向一个角度 α (图 1)。其受力情况是: 在垂直方向上有重力、浮力及空气粘滞阻力在该方向上的分量; 在水平方向上有风的压力和空气粘滞阻力在该方向上的分量。空气粘滞阻力的方向与雨滴运动方向相反。设雨滴在稳恒外力作用下已达到终速, 且始终保持正圆球体。这时, 风力产生的压强由伯努利方程^[3]

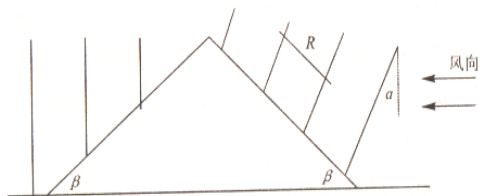


图 1 坡面雨量计算示意图

$$p = \frac{1}{2} \rho (v_0^2 - v_1^2) \quad (1)$$

给出。 ρ 为空气质量密度, v_0 为风速, v_1 为雨滴运动速度在水平方向上的分量, $v_1 = v \sin \alpha$, v 为雨滴运动速度。水平方向上空气的粘滞阻力用斯托克斯公式计算^[3]:

$$f = 6\pi\eta r v_1, \quad (2)$$

η 为粘滞系数, r 为雨滴半径。雨滴在水平方向上的运动方程形式:

$$\frac{1}{2} \pi^2 r \rho (v_0^2 - v_1^2) = 6\pi\eta r v_1, \quad (3)$$

垂直方向上, 雨滴运动方程用文献 [4] 的公式:

$$m \frac{dv_2}{dt} = mg \left(1 - \frac{\rho}{\rho_w}\right) - f_w, \quad (4)$$

v_2 为雨滴运动速度在垂直方向上的分量, $v_2 = v \cos \alpha$, ρ_w 为水滴密度, f_w 为空气粘滞阻力在垂直

方向上的分量, $f_w = 6\pi\eta r v_2$ 。令初始条件 $t=0$, $v_2=0$ 时, 其解为

$$v_2(t) = v_w (1 - e^{-t/\tau}). \quad (5)$$

由上式可知, 当 t 远大于迟滞时间 τ 时, 下落速度与时间无关而达到稳态, 这时的下落速度 v_w 就是重力场中雨滴下落末速度。雨滴越小, 迟滞时间 τ 也越小, 雨滴下落很快就达到稳态。 τ 由

$$\tau = \frac{2\rho_w r^2}{9\eta} \quad (6)$$

计算。

斯托克斯公式的成立有严格的条件限制。即: 要求介质连续、不可压缩、粘性和无穷大, 并要求粒子为刚性球体。对于大气来说, 只在雨滴很大而出现湍流时, 粘性假设不成立, 这时, 需用经验公式做如下订正^[4]:

$$v_w = c \sqrt{r}, \quad (7)$$

$r > 0.5 \text{ mm}$, $c = 0.6$ 。 v_2 用文献 [4] 所得结果。

风力使雨滴偏离垂直方向的角度为

$$\alpha = \arctg \frac{v_1}{v_2}, \quad (8)$$

计算时, r 、 ρ 、 v 分别以 mm 、 kg/m^3 、 m/s 为单位, $\rho = 1.23 \text{ kg}/\text{m}^3$, $\eta = 1.77 \times 10^{-5} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 。

由式 (8) 看出, 雨滴下降时, 其偏角随风力变化比较显著。风力一定时, 偏角随雨滴半径增大而增大。但考虑到较大雨滴在下落过程中因发生形变而使其迎风面减小, 受到风的压力也相应减小, 从而使雨滴下落时偏离垂直方向的角度比计算值小。

2 坡面雨量的计算

设坡面坡度为 β (图 1), 在与雨滴下落方向垂直的平面内, 单位面积雨量为 R 。

$$\text{则水平面上雨量为 } R_p = R \cos \alpha, \quad (9)$$

$$\text{迎风坡雨量为 } R_y = R \cos (\alpha - \beta). \quad (10)$$

背风坡情况比较复杂。在风力较强时, 对于高大的山坡, 气流不足以越过, 雨滴不偏离垂直下落方向; 当气流厚度很大, 沿坡面形成下沉气流, 在山顶以下小范围地带雨滴顺风漂移, 使之与坡面夹角进一步减小, 而在大范围坡面上雨滴不偏离垂直下落方向。风力较弱时, 无论是山脉的阻挡作用还是越过作用, 雨滴都可近似看成是

沿垂直方向下落。因此,在以上情况下背风坡雨量为:

$$R_b = R \cos\beta. \quad (11)$$

迎风坡较背风坡雨量偏多百分率用下式计算:

$$\frac{R_y - R_b}{R_b} = \frac{\cos(\alpha - \beta) - \cos\beta}{\cos\beta} \times 100\%, \quad (12)$$

显然,式(12)也表示了雨强偏大(或偏小)的情况。

由(12)式可以看出,风力是影响坡面雨量的最为活跃的因子。风力增大,迎风坡与背风坡获得雨量的差值也在增大。在陡峻的迎风坡,雨量明显偏多。迎风坡雨量偏小的情况,仅出现在风力很大,且坡度较缓(小于 25°)的坡面。

3 风场变化的影响分析

3.1 强降水过程中单站风场时间序列分析

普查商南站 1998—2005 年的 15 次致洪暴雨,其中长历时暴雨 6 次,短历时暴雨 9 次。分析方法:从遥测雨量计截取降水强度较大的时段,将 EL 风自记做时间订正,挑取风向笔尖划线次数,制作风玫瑰图(图略)。从图上看,长历时暴雨伴见的最多风向为偏东南风,平均风速为 2.8 m/s,每次过程中风速变化幅度不大,阵性较弱;短历时暴雨伴见最多风向为偏西风,平均风速为 4.3 m/s,阵性较强,其变化幅度较大,大致在暴雨过程的后半程风速突然变小。此时,可分段计算,前半程取其平均风速。对每次降水过程而言,风向的一致性较强。短历时暴雨受中、小天气尺度系统影响,强度大,在西坡易造成山洪和泥石流;长历时暴雨受天气尺度系统影响,过程雨量大,时间长,在东南坡容易产生滑坡和塌方。

3.2 气流过山情况

在迎风坡气流沿坡面抬升,使雨滴垂直下落速度减小,根据式(8), α 将增大,但由于摩擦作用,风速也减小,可以认为气流爬坡作用对雨滴下落偏角影响不大。在背风坡,由于存在“背风波”,会使雨滴沿风向漂移,由式(11),背风坡

获得的雨量进一步减少。绕流作用使迎风坡边缘雨量有所减小,相反,使背风坡底部雨量有所增加。狭管效应使迎风坡边缘雨量增加。

3.3 风随高度变化

由于下垫面摩擦力影响,风速沿坡面向上逐渐增大。风向变化为近地层以上至坡顶,风向向右偏转;平缓的坡面风向变化不大;陡峻的山坡有较大的变化,可根据爱可曼螺线加以订正。在分析时也可取其平均状况。

4 小结

4.1 风力使正圆球形雨滴下落时运动状态发生改变的幅度随半径增大而增大。迎风坡雨量在雨滴下落方向垂直于坡面时最大,背风坡雨量随坡度和风力的增大而逐渐变小。迎风坡雨量和雨强明显比背风坡大。坡度愈大,风力愈强,背风坡雨量和雨强偏小愈显著。风力影响下迎风坡获得雨量的测量,与天气系统或地形降水不同,应改变雨量器(计)承水器口的水平放置状态,使之与坡面平行,并有一定的高度。

4.2 山脉的阻挡作用和越过作用可用本方法分析,但绕流作用和狭管效应使山坡边缘地带误差进一步增大。

4.3 未考虑风的阵性得出的风压下雨滴下落偏离垂直方向的角度及迎风坡和背风坡雨量计算公式,虽然应用于实际大气中会产生一定的误差,但仍然可以为定性分析提供基础和依据。

参考文献:

- [1] 梁必琪. 天气学 [M]. 北京:气象出版社, 1980.
- [2] 罗汉民, 吴诗敦, 谭克光. 气候学 [M]. 北京:气象出版社, 1980.
- [3] 张振瀛, 薛淑贞. 物理学 [M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1985.
- [4] 盛斐轩, 毛节奏, 李建国, 等. 大气物理学 [M]. 北京:北京大学出版社, 2003.
- [5] 成都气象学院. 气象学 [M]. 北京:农业出版社, 1983.