

测雹板标定试验研究

郁 青

(中国气象科学研究院,北京 100081)

提 要

对聚苯乙烯测雹板性能的检定试验以及1988~1998年野外观测取样结果表明:(1)聚苯乙烯测雹板性能稳定,吸湿性差,能经受风吹、雨打、日晒,不变形、不变质,适合在野外雹暴天气中使用。(2)聚苯乙烯材料弹性小,测量误差小,模拟风、雨等天气条件时,平均误差为4.3%~12.2%。因此,可以较准确地测出野外实际冰雹大小及数密度。

关键词:测雹板 标定 冰雹 误差

引 言

目前,国内外在人工防雷试验中使用最广泛的感应冰雹的仪器是地面测雹板。近年来,法国、意大利、德国、美国等国在防雷试验区大量使用测雹板^[1]。有的每4km²设置一块测雹板,有的每7km²、16km²设置一块。保加利亚在三个防雷区,通过测雹板网开展冰雹物理特性的外场观测^[2]。

我们使用的是未覆盖铝箔的聚苯乙烯泡沫塑料测雹板,已在山西、陕西、河北、山东等地使用。

测雹板能被广泛推广的原因是:价格低廉,构造简单,易于生产,操作简便,雹块资料容易获取。不同大小冰雹,在测雹板上留下凹痕,以此得到冰雹大小、分布及数密度等。通过对雹穴大小测量,还可以获取落地冰雹动能、动量及质量值^[2]。

在野外广泛使用聚苯乙烯测雹板之前,要对测雹板进行检定。我们在实验室里模拟了有风、无风、大雨、无雨等天气条件,做了测雹板检定。

1 测雹板检定试验

1.1 理论根据

在室内做测雹板检定试验时,我们是用不同直径的钢球模拟冰雹的。为了模拟冰雹从空中下落到地面与测雹板发生碰撞的情

况,假设钢球与测雹板撞击的动能与和钢球直径相同的冰雹从空中下落到地面与测雹板撞击的动能相等^[3]。并假设冰雹是球形的,足够坚硬,打在测雹板上不致破碎。根据上述思路,我们可以进行下述理论推导,得到钢球的下投高度 $h_{\text{钢}}$ 与冰雹下落末速度 V_i 之间的关系式。冰雹下落末速度是一个与冰雹尺度大小有关的物理量^[2]。

设钢球质量为 $M_{\text{钢}}$,密度为 $7.8\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,在某一高度(h)上的钢球,具有势能 $M_{\text{钢}}gh_{\text{钢}}$,不考虑空气阻力,钢球从 h 高度下落到测雹板上时与板发生碰撞。设碰撞瞬间钢球下落末速为 $V_{\text{钢}}$,则钢球与板碰撞动能为 $M_{\text{钢}}V_{\text{钢}}^2/2$ 。根据能量转换与守恒定律,

$$M_{\text{钢}}gh_{\text{钢}} = M_{\text{钢}}V_{\text{钢}}^2/2 \quad (1)$$

(g 是重力加速度)

根据理论假设, $M_{\text{钢}}V_{\text{钢}}^2/2 = M_iV_i^2/2$
 M_i 、 V_i 分别为冰雹的质量及下落末速度
所以, $M_{\text{钢}}gh_{\text{钢}} = M_iV_i^2/2 \quad (2)$

根据式(2),在计算后的高度上下投直径不同的钢球,自由下落在测雹板上,以此模拟实际冰雹与测雹板撞击的情形。

1.2 试验方法

试验在室温30~32℃条件下进行。选取10种表面光滑、不同直径的钢球。直径分

别为: 0.5cm、0.7cm、1.0319cm、1.3494cm、1.5875cm、1.7463cm、2.0638cm、2.2225cm、2.54cm、3.0163cm。根据式(2)计算出不同直径的钢球的下投高度。将每种直径的钢球在规定高度上下投10次, 钢球自由落下与测雹板发生碰撞, 留下凹痕。试验时避免凹痕重叠。

在外场防雷工作中, 往往是有风的情况。风的影响使冰雹下落轨迹偏离垂直下落状态, 冰雹撞击测雹板与测雹板表面法线方向形成一个入射角度。所以我们只须将测雹板倾斜一个入射角度置于水平面上, 通过改变入射角的大小, 便可模拟对应的不同风速。无风时, 入射角为0, 即将测雹板水平置于平面上。

钢球垂直自由下落在倾斜的测雹板上, 在测雹板上形成凹痕, 以此模拟有风情况下冰雹撞击测雹板产生凹痕的情形。

将测雹板浸在水中30分钟, 模拟大雨天气情况。干燥的测雹板则模拟无雨天气情况。

2 资料处理与检定曲线

检定试验共取得钢球凹痕数据1390个。对每种直径的钢球的凹痕直径与凹痕深度, 在资料处理时, 均选取10次下投测量值的平均值。无风时, 钢球与测雹板碰撞, 在测雹板表面留下圆形凹痕。在吹风情况下, 钢球撞击测雹板凹痕发生变形, 其形状为椭圆形。测量并计算出椭圆长、短轴的等效直径。依照上述资料处理方法, 制定出模拟冰雹(即钢球)撞击干、湿测雹板凹痕直径与模拟冰雹直径(图1、2)、凹痕深度与模拟冰雹直径检定曲线(图略)。

计算得到测雹板在有风、无风、无雨、有雨情况下, 凹痕直径与模拟冰雹直径、凹痕深度与模拟冰雹直径回归方程及相关系数(参见表1、表2)。表1中, x : 凹痕直径, 单位: cm; y : 模拟冰雹直径, 单位: cm。表2中, x : 凹痕深度, 单位: cm; y : 模拟冰雹直径, 单位: cm。

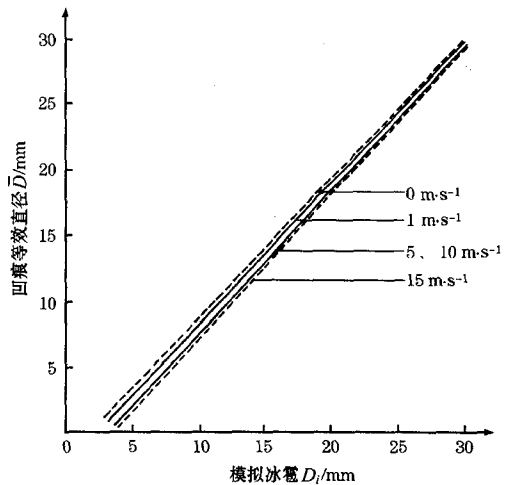


图1 不同风速下干测雹板凹痕直径 \bar{D} 与模拟冰雹直径 D_i 关系图

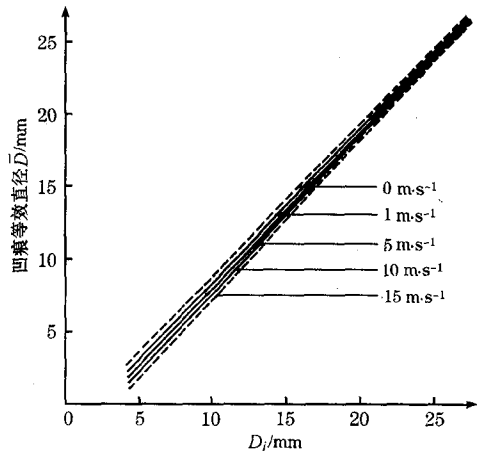


图2 不同风速下, 湿测雹板凹痕直径 \bar{D} 与模拟冰雹直径 D_i 关系图

3 资料分析

3.1 相关系数检验

在有风、无风, 测雹板干燥及湿情况下, 凹痕直径与模拟冰雹直径, 凹痕深度与模拟冰雹直径间的相关系数 r 值均在0.93以上, 对 r 分别进行相关系数显著性检验, 得到 r 的显著性水平都超过0.001。由此可见, 在本试验的各种情况下, 凹痕直径与模拟冰雹直径, 凹痕深度与模拟冰雹直径间的相关性很好。

表1 不同风速下,凹痕直径与模拟冰雹直径相关系数及回归方程

水平风速 \bar{v} /m·s ⁻¹	相关系数 r		回归方程	
	干燥测雹板	湿润测雹板	干燥测雹板	湿润测雹板
0	0.9976	0.9992	$Y = 0.2033 + 0.9518x$	$Y = 0.1751 + 0.9545x$
1	0.9985	0.9884	$Y = 0.3087 + 0.925x$	$Y = 0.3288 + 0.9126x$
5	0.9971	0.9945	$Y = 0.3266 + 0.8735x$	$Y = 0.441 + 0.8434x$
10	0.9975	0.9955	$Y = 0.3466 + 0.8883x$	$Y = 0.3696 + 0.8754x$
15	0.9920	0.9984	$Y = 0.3347 + 0.8795x$	$Y = 0.3749 + 0.8915x$

表2 不同风速下,凹痕深度与模拟冰雹直径相关系数及回归方程

水平风速 \bar{v} /m·s ⁻¹	相关系数 r		回归方程	
	干燥测雹板	湿润测雹板	干燥测雹板	湿润测雹板
0	0.9568	0.9554	$Y = 1.0128 + 2.2675x$	$Y = 1.1053 + 1.568x$
1	0.9861	0.9799	$Y = 0.975 + 2.0496x$	$Y = 0.9083 + 2.6745x$
5	0.9851	0.9388	$Y = 0.9552 + 1.7268x$	$Y = 1.2087 + 1.5893x$
10	0.9802	0.9753	$Y = 0.9103 + 2.7941x$	$Y = 1.0797 + 1.8577x$
15	0.9841	0.9348	$Y = 0.856 + 2.6856x$	$Y = 1.1445 + 2.0864x$

3.2 误差分析

表3给出了模拟在无雨、大雨天气条件下,模拟水平风速为0~15m·s⁻¹,模拟冰雹撞击测雹板凹痕直径与模拟冰雹直径 D_i 误差的分析结果,由表3看出:

表3 在不同风速下,凹痕直径与模拟冰雹直径 D_i 误差

模拟冰雹直径 D_i /cm	水平风速 \bar{v} /m·s ⁻¹	平均误差/%	
		无雨	大雨
$0.5 \leq D_i \leq 1$	$0 \leq \bar{v} \leq 5$	10.0	10.2
	$5 < \bar{v} \leq 15$	12.2	12.1
$1 < D_i \leq 2$	$0 \leq \bar{v} \leq 5$	7.3	7.0
	$5 < \bar{v} \leq 15$	8.8	8.7
$D_i > 2$	$0 \leq \bar{v} \leq 5$	4.4	4.3
	$5 < \bar{v} \leq 15$	5.6	5.5

(1)对于尺度相同的模拟冰雹,风对凹痕的影响误差,随着风速的增大而增大。

(2)对于直径在1cm以下的尺度较小的模拟冰雹,风对凹痕的影响误差是比较大的;当风速相同时,随着模拟冰雹尺度的增大,误差逐渐减小。

(3)模拟在无雨、大雨天气条件下,凹痕直径与模拟冰雹直径间的误差基本相同。说明无铝箔聚苯乙烯测雹板材料吸水性差,适于在野外雹暴天气(常伴大雨)中使用。

4 讨论

1988~1998年,我们在河北满城县、涞源县、山东德州地区、济阳县布了大量的测雹板取样观测网(点),获取自然降雹特征量资料。通过对测雹板取样资料的分析得出:

(1)在相同风速下,风对直径不同的冰雹撞击测雹板造成的凹痕直径与实际冰雹直径间的误差是不同的。直径较小的相对直径较大的冰雹,由于垂直下落末速度小,则冰雹对测雹板撞击的入射角度增大,使得凹痕变形较大,凹痕直径与实际冰雹直径误差加大。冰雹直径愈大,冰雹对测雹板撞击的入射角度愈小,凹痕变形较小,凹痕直径与实际冰雹直径较接近。

(2)对直径相同的冰雹,当风速增大时,冰雹撞击测雹板动能也增大。风的拖带作用使凹痕椭圆形长轴直径加大,故凹痕等效直径增加。所以凹痕直径与实际冰雹直径误差较大。

(3)野外实际冰雹撞击测雹板造成的凹痕直径与实际冰雹直径间的平均误差小于10%。

(4)浸水后的测雹板检定曲线适合野外实际情况。因为在多数情况下,冰雹天气都伴有降水现象。

参考文献

- 1 Neil G. Towery, Stanley A. Changnon, Jr., and Griffith M. Morgan, Jr. A review of hail-measuring instruments. Bulletin of the American Meteorological Society, 1976, 57 (9).
- 2 王雨增等. 人工防雷实用技术. 北京:气象出版社, 1994: 31~41, 148~161.
- 3 Lozowski, E. P. and Strong, G. S. On the calibration of hailpads. J. Appl. Meteor. 1978, 17(4): 521~528.

(下转第41页)

(上接第 25 页)

Calibrating Tests for Hailpad Properties

Yu Qing

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

The performance tests for the hailpad made by polystyrene material were done in laboratory. From 1988 to 1998 hailpad were used in the field observation for sampling hailstones. It was showed that the hailpad almost could not absorb water and but could stand wind, rain and sunshine in out-door conditions. The polystyrene material was uniform and its elasticity was small. The hail trace size on it was used to estimate the real size of hailstone and the average errors were from 4.3% to 12.2%. Therefore, the diameter and number density of hailstone could be measured accurately.

Key Words: hailpad calibration hail error