

# 满城防雹效果的评估

王雨曾

(中国气象科学研究院,北京 100081)

王文乐 冉永海 史喜增

(河北满城防雹办公室)

## 提 要

满城5年(1986-1990)防雹试验期间,年平均雹灾面积为633.33公顷,比防雹前10年平均减少2193.33公顷,防雹效果达77.6%。采用两种不同的方法分析满城防雹试验结果表明,满城5年防雹试验是有成效的,经济上投入产出比为1:17.6或1:23。

**关键词:** 防雹 效果 评估

## 1 基本概况

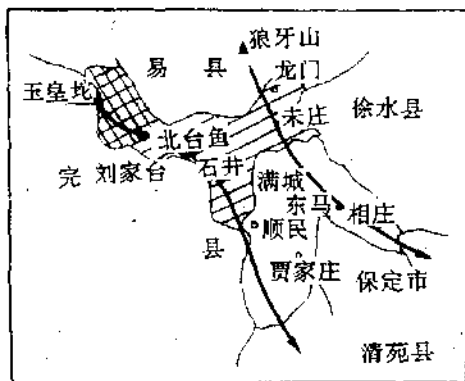
满城县地处河北平原中部,太行山东麓,属半山区。地势高低不平,地形复杂多样,西部和北部为太行山余脉,海拔一般在200—800m之间,最高山峰达1000m;中部为海拔40—200m的浅山区,丘陵山地,地面裸露,夏季易出现不稳定天气;东部、南部为低洼平原,地势开阔平坦,海拔20—40m。全县地势由西北向东南倾斜(见附图)。

该县的主要自然灾害是旱灾和风雹灾害。由于气候和地形特点等原因,在丘陵山区自然形成了西部界河和北部清河两条主要雹线,由这两条雹线产生的降雹及雹灾约占全县的80—90%,而且还直接威胁到下游地区的保定市和清苑、高阳等县。

## 2 作业点的布置

满城县约80%—90%的雹灾来源于西部的界河和北部的清河两条雹线。因此,控制这两条雹线是该县防雹工作的主要目标。从

1986年开始,在上游地区的北台鱼、刘家台、龙门和未庄;中下游地区的石井、东马、相庄和贾家庄等先后设立了高炮作业点,每点配备“37”高炮2—3门,电台一部,警报机一个。“37”炮弹300—500发,每点配备炮手6—9人,通讯联络员1人,在指挥部的统一指挥下开展工作。



附图 满城县炮位示意图

斜线区为浅山区,网格线区为山区,箭头为雹线

## 3 作业流程

雷达开机每天按 03、06、09、12、13、14、

15、16、17、18、19、20、21、22 和 24 时等 15 次定时开机,并向各炮点通报情况,当雹云回波距指挥部达 50—60km,并向该县方向移动时,雷达观测便连续进行,同时对回波进行不间断的拍照和记录,与机场及各炮点保持通讯畅通。雹云靠近防雹炮位 30km 时,指挥部开始请示空域,有关炮位集合炮手,做好一切准备工作,当雷达回波强度达 35dBz,云顶高度达 9500m 以上,强回波中心顶高达 6000m 以上并进入防雹控制区范围内,指挥部根据空域批准时间,立即指示有关高炮作业,阵地指挥员根据指挥部下达的作业时间、方位、高度、用弹量等指挥炮手进行射击,根据雷达回波的变化,指挥人员还要随时更改射击方向,用弹量和作业停止时间等。

作业前,炮点电话员向指挥部报告天气状况、雷电、风云等。作业过程中,随时都要向指挥部报告风、云、雷、电、雨、雹及作业情况。作业后,由炮点指挥员及时汇报用弹量,作业过程中存在的问题,作业效果,群众反映,周围地区的雹情及灾情等。

作业所需时间,要根据雹云的类别,维持时间及雹云的强度等来确定,一般作业时间为几分钟,有时也间断作业达十几分到几十分钟,而一次作业的用弹量一般从几十发到几百发不等,弱雹云只需 30—50 发炮弹即可驱散,强雹云则需一百多发或几百发炮弹才能控制其发展。

5 年来共进行 61 次(点)防雹作业,发射炮弹 6832 发,平均每年 1366 发。

#### 4 效果分析

该县在冰雹形成和发展的丘陵山区建立了 4 个作业点,在下游平原地区设有 2—4 个炮位。炮点控制了全县 300km<sup>2</sup> 以上的面积,在雷达的监视下,采用现代化的通讯设备,开展了及时准确的防雹作业,有效地控制了雹源,阻止了冰雹云的形成与发展,减少了雹

灾。5 年来,在进入该县的 61 次雹云中,有 7 次没有降雹,而在 54 次降雹中,只有 8 次造成了灾害,其中,因空域等问题使 5 次作业较晚,一次为中途无弹,而另外两次则是发生高炮控制区以外的下游平原区。

在 8 次雹灾中总成灾面积达 3166.67 公顷,平均每年为 633.33 公顷,无论与历史还是与对比区比较,受灾面积都有明显减少。

#### 4.1 受灾面积的变化

4.1.1 大面积重雹灾基本上受到了控制  
满城县由于受两条重要雹线影响,历来冰雹多,灾情重。象鸡蛋、核桃大小的冰雹和 2000—10000 公顷面积的重雹灾时有发生,绝产,毁种现象也不少见。1985 年 5 次出现象鸡蛋、拳头、核桃大小的冰雹,受灾面积均达 0.66 万公顷以上。1985 年 7 月 2 日的雹灾使 12000 公顷良田绝收。据统计,1965—1974 年间,受灾面积在 2000 公顷以上的达 14 次;3333.33 公顷以上的达 11 次,重灾绝产面积占 57.5%。

在该县 5 年防雹期间,周围地区各县曾多次发生大面积重雹灾。1986 年 8 月 8 日,在南部相邻的完县、望都及唐县降下的冰雹大似鸡蛋,使 23333.3 公顷庄稼受灾;8 月 9 日,北部相邻的易县有 4 个区受灾面积达 5333.3 公顷,1987 年 5 月 30 日的降雹使保定地区的 19 个县受灾总面积达 13.33 万公顷,受灾区域包括了满城周围地区的涞源、易县、徐水、完县、望都、唐县、清苑等。而该县北台鱼、未庄、石井、东马等地高炮作业后,只在北部龙门一带造成了 166.7 公顷的雹灾。1990 年 7 月 21 日在完县、望都、唐县和清苑,8 月 31 日在徐水、9 月 13 日在易县等降下的冰雹大似鸡蛋,受灾面积均在 5333.3 公顷以上,由于该县及时作业,仅在 5 月 29 日县北山区一带造成了 193.3 公顷的轻雹灾。

据不完全统计,保定地、市 22 个市县 5

年间发生 2000 公顷以上大面积风雹灾共有 47 次,平均每个市县受灾两次多。

满城县由于进行了及时有效的防雷作业,5 年内,大面积重雹灾受到了控制,虽然

第一年出现了 1706.17 公顷(成灾 1513.3 公顷)和 753.3 公顷(成灾 620 公顷)两次较大面积的雹灾,但在以后的 4 年间所发生的 6 次雹灾均在 666.7 公顷以下(见表 1)。

表 1 满城防雷前后农作物受灾程度对比表

年份	防雷前作物受灾面积/万公顷				年份	防雷期作物受灾面积/万公顷			
	成灾	重灾	绝产	合计		成灾	重灾	绝产	合计
1965	0.093	0.366	0.166	0.626	1986	0.212			0.212
1966	0.166			0.166	1987	0.033			0.033
1967	0.066	0.186		0.253	1988	0.030			0.030
1968	0.033			0.033	1989	0.020			0.020
1969	0.066			0.066	1990	0.019			0.019
1970	0.133			0.133					
1971	0.066			0.066					
1972	0.013			0.013					
1973	0.133	0.453	0.080	0.666					
1974	0.426	0.226	0.146	0.800					
合计	1.200	1.233	0.393	2.82		0.316			0.316
平均	0.120	0.123	0.039	0.28		0.063			0.063
百分比	42.5%	43.6%	13.9%						

注:成灾为作物减产 30%—50%,重灾为农作物减产 51%—80%,绝产为农作物减产 81%以上

4.1.2 防雷前后受灾面积的变化 该县在防雷工作开展前的 1965—1974 年的 10 年间,全县降雹成灾面积达 2.83 万公顷,平均每年 0.28 万公顷,而在五年防雷期间,全县总计受灾面积(成灾)为 0.32 万公顷,平均每年 633.3 公顷(见表 1)。与防雷前平均 0.28 万公顷比,减少了 2193 公顷,其防雷效果为

$$E = (0.28 - 0.063) / 0.28 = 77.5\%$$

#### 4.2 采用秩和检验法

满城人工防雷试验 5 年是否有效? 我们选用不成对的秩和检验方法进行分析,把防雷与不防雷的两个样本按其成灾面积的大小次序混合排列,编上顺序号码,最小为 1,次小为 2,以此类推。<sup>[1]</sup>

不防雷 10 年的成灾面积记为 A 组,进行防雷试验 5 年的成灾面积计作 B 组,列于表 2。

表 2 两个样本的秩序排列表

序号	A 组	B 组	序号	A 组	B 组
1	0.2		9	2.0	
2		0.29	10	2.5	
3		0.31	11		3.19
4		0.46	12	3.8	
5	0.5	0.50	13	9.4	
6			14	10.0	
7			15	12.0	
8	1.0				

防雷后的序号  $T = 2 + 3 + 4 + 5.5 + 11 = 25.5$

查秩和检验表,  $n_B = 5, n_A = 10$ , 取显著性水平  $\alpha = 0.05$ , 得  $T_{\alpha} = 26$ , 因为  $T_{\alpha} > T$ , 所以 A 和 B 有显著差异。为此, 可认为满城 5 年防雷试验是有效果的, 可信度为 95%。

#### 4.3 区域回归分析

为了检验满城 5 年来的防雷效果, 我们选择了相邻的易县做为对比区。易县地处满城县的北部, 属上风方, 不受防雷作业的影

响,同时,两地区均属同一天气系统影响,在易县境内降雹的雹云,往往南下进入满城,造成该县的雹灾。据易县农业部门提供的资料统计 1965—1974 年年均降雹成灾面积为 0.32 万公顷,较满城同期雹灾面积 0.28 万公顷多 0.04 万公顷。而在满城 5 年防雹期间,易县年均成灾面积为 0.41 万公顷,而满城为 0.063 万公顷,其差增加到 0.34 万公顷。

根据历史资料建立试验区(或称目标区)与对比区的历史回归方程。若两区相关性较好,可进行参数检验和预测,即用对比区试验期的成灾面积估计试验期目标区的自然降雹成灾面积的期待值,然后与实测值比较,得出人工防雹的效果的估计值,即差值,对差值进行统计显著性检验。

为了估计防雹效果,选用该地区的年成灾面积(包括成灾、重灾和绝收)为统计变量。设对比区成灾面积为  $x_i$ ,目标区的成灾面积为  $y_i$ 。

根据该地区防雹前 10 年历史资料,求出两变量( $x_i, y_i$ )相关系数  $r$ 。 $r=0.903$ 。

对应自由度  $\nu=10-2=8, \alpha=0.001$  查表得:

$$r_{\alpha} = 0.872$$

$r > r_{\alpha}$ ,说明  $x_i, y_i$  变量间的关系密切,相关性很好。

#### 4.3.1 建立历史回归方程

根据两区 10 年历史资料,求出回归系数

$$b = \frac{\sum(x_1 - \bar{x})(y_1 - \bar{y})}{\sum(x_1 - \bar{x})^2} = 0.837$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 0.181$$

设试验期对比区、目标区年平均成灾面积分别为  $\bar{x}_k, \bar{y}_k$ 。

区域回归方程为

$$\hat{y} = 0.181 + 0.837x$$

$$\hat{y}_k = 0.181 + 0.837\bar{x}_k = 0.35(\text{万公顷})$$

1986—1990 年 5 年防雹试验,试验区实测雹灾面积平均每年为 0.063 万公顷,与估计值  $\hat{y}_k$  年平均差值为 0.288 万公顷。

#### 4.3.2 雹灾分布正态性的检验

在人工防雹效果的检验中,如果采用  $t$  检验法,要求统计量具有或近似具有正态分布,因此,检验统计量分布的正态性,是必不可少的工作。

$\chi^2$  检验或柯尔莫哥洛夫检验,都要求样本的容量  $n$  足够大,一般要求  $n \geq 30$ ,最好使  $n \geq 50$ ,在我国人工防雹试验研究工作中,  $n$  常在 30 以下,上述的两种检验法,都不宜采用,因此,采用适用于样本容量  $n$  较小时检验总体分布正态的  $F$  检验法。经检验,两县雹灾面积均属正态分布。

#### 4.3.3 多个事件检验<sup>[1]</sup>

由于各年试验效果的差别可以相当大,在成灾面积的减少值中还包含自然起伏的成分,难以定量确定作业效果,所以,采用多个事件检验法直接检验多年试验的总效果,而不用单个事件检验法,这样有可能排除或减少自然起伏的影响。

采用  $t$  检验,检验平均值  $x_k - y_k$  的统计显著性,即:  $k=5, n=10$  时,  $r=0.903, r^2=0.815, t=-3.828$ 。

$t$  服从自由度  $Y=n-2=8$  的  $t$  分布,查表得:  $t=3.355$ , 因此,  $T < -T_{\alpha, 0.1}$ , 即成灾面积的减少值(平均差值)是显著的,单边检验显著度超过 0.005。

#### 4.4 作物受灾程度的变化

满城县在防雹前后农作物受灾程度发生了明显的变化。统计防雹前 10 年的资料,作物受灾达 5 成以上的占 57.5%, 其中 5—8 成的占 43.6%, 8 成以上的占 13.9%, 农业损失严重,而在 5 年防雹期间,由于冰雹小,降雹持续时间较短,积雹密度小,因而农作物受灾均在 5 成以上,农业损失较轻(见表 1)。

## 5 经济效益

1986—1990年满城冰雹成灾面积共0.316万公顷,平均每年0.063万公顷,比防雹前10年平均成灾面积减少了 $y_n - y_k = 0.219$ 万公顷;5年成灾面积共减少1.096万公顷(其中粮田0.877万公顷,棉田0.109万公顷,果树0.109万公顷)若每0.066公顷粮田、棉花、果品减少损失分别按100kg、36kg及250kg计算,5年共减少粮食、棉花及果品损失分别为1316万kg、59.22万kg及411.25万kg,每公斤粮、棉及水果折价按0.6元、2元及1元计算,5年减少损失约合人民币1319.29万元,相当于该县5年防雹(5年防雹投入经费75万元)投资的17.6倍,即投资与经济效益之比为1:17.6。

采用区域对比分析,试验区自然成灾面积的估计值平均为0.351万公顷,实测值平均为0.063万公顷,比估计值减少0.288万公顷,5年成灾面积共减少1.44万公顷(其中粮田占1.152万公顷、棉田0.144万公顷、果树0.144万公顷)若按上述计算方法,5年共减少粮食损失1728万kg,棉花77.76万kg,水果540.00万kg,5年共减少经济损失

约合人民币1731.52万元,相当于该县5年防雹投资的23.0倍,即投入与经济效益之比为1:23。

## 6 初步结论

满城5年防雹试验期间,由于在雹线的上游地区设立了较密集的高炮点,雷达昼夜不停地跟踪观测,并及时准确地指挥各炮点开展作业,有效地控制了该县两条主要雹线上冰雹云的形成与发展。5年来,大面积重雹灾得到了控制,雹灾面积明显减少,与历史比,平均每年减少0.22万公顷,防雹效果达77.6%,使全县粮食、棉花及果品每年增加357万公斤,折合人民币264万元,是该县每年防雹支出(15万元)的17.6倍,与对比区的易县比,该县平均每年雹灾面积减少了0.29万公顷,是该县防雹投入的23倍,因此,可以认为满城防雹试验是有成效的,经济上是合算的。

## 参考文献

- 1 叶家东,范落芬.人工影响天气的统计数学方法.北京:科学出版社,1982,158,293-296.
- 2 王雨曾.当前外场防雹试验研究的若干情况.气象,1987(8).

# Evaluation of the Results of Five-year Hail Suppression in Mancheng, Hebei Province

Wang Yuzeng

(Academy of Meteorological Science)

Wang Wenle Ran Yonghai Shi Xizeng

(Mancheng Hail Suppression headquarters)

## Abstract

Hail suppression operations were carried out in Mancheng county from 1986—1990. Hail damage area was 2193 ha (10 year average) before the operations. In the period of hail suppression the damage area was decreased to 633.3 ha, much less than before. The effects of hail suppression was estimated by two ways. The results suggested that the effect of 5 year hail suppression is 77.6%, the operation is beneficial and the ratio of investment to benefit is 1:17.6 or 1:23.

**Key Words:** hail suppression effect evaluation