

防雹及雹云物理文集



气象出版社



防雹及雹云物理文集

石安英 梁 敬 等编著

气象出版社

内容简介

本文集是以1985年河北省气象科学研究所、张家口地区气象局和涿鹿县防雷指挥部联合承担的《三七弹防雷效果检验》课题研究为基础而形成的，其中包括效果分析、防雷方法、仪器以及云雷物理方面的内容。

本文集是一个防雷试验的总结，反映了我国防雷工作的一个侧面。对从事防雷作业、防雷研究及有关部门的人员具有较好的参考价值。

防雷及雷云物理文集

石安英 梁敬等编著

责任编辑 陈云峰

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

中国科技情报研究所印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经售

1989年10月第一版 1989年10月第一次印刷

开本:787·1092¹/₁₆。 字数:378千字 印张:15.125

印数1——1000

ISBN 7-5029-0338-0/P.0186

定价10.70元

序 言

1985年,河北省气象科学研究所、张家口地区气象局和涿鹿县防雹指挥部联合承担了《37弹防雹效果检验》的课题。选这个题目是很自然的,因为自1972年使用37高炮防雹以来,已经历了13个年头,效果如何?不仅需要听取农民和地方政府的评价,还需要有科学技术上的评估。

其实,关于防雹效果的课题,按理早该进行系统的研究,但由于这个题目很难,所以很少有人领衔承担,特别是在短短3年内要得到结果。之所以难,有二点,一是目前我们拥有的探测手段不足以了解雹云的具体成雹过程,也难以了解防雹作用的表现,以及雹云在防雹作业前后的变化,从而使物理检验很难进行;二是在进行统计检验中,需要长时期的观测资料,特别是防雹前的资料更难得到,这也使得实施统计方法在财力和人力方面遇到麻烦。为了缓和这些困难,该课题组的作法是,直接面对效果评估不绕行,采用了实际可行的物理分析与统计检验相结合的思路,设计了仪器,制定了方法。总的来说有两个特点:1)集中精力在效果检验上,不去改变或过多参与原有的防雹作业,着重于收集有关雹云物理和效果评估的资料;2)不企图用现有的探测手段去了解雹云物理的全过程,立足于在地面取得降水微物理参数,结合探空、测风、雷达和卫星云图等常规气象资料,作综合分析。这两个特点使研究方案目标明确、方法可行,因此采取的措施有效,获得了一批资料,克服了过去一说效果分析无从下手的局面,这应当说是一种研究观念上的进步,在研究工作中也取得了多方面的结果,写出了一组论文。由于条件上的限制,得到这些结果是相当不容易的。

这个论文集主要是收集了《效果检验课题组》的工作,包括效果分析、方法、仪器以及雹云物理方面的内容。为了使大家便于了解我国防雹和雹云物理研究的某些进展,又征集了一批尚未正式发表的论文,纳入了本文集。

这个集子,是一个防雹试验的总结,反映了我国防雹工作的一个侧面。虽然从设备上来看,与先进国家比有着明显的差距,但也看得出课题组成员们洞察自然的智慧,看得出人们在防雹斗争中表现出来的毅力和韧性。

我国的雹灾是严重的,防雹活动一直维持着相当大的规模,防雹科学技术需要有一个突破性的进展,这种突破的到来要靠我们在这个领域内踏踏实实地做好每一件具体的研究工作,一点一滴地来作科学积累。为此,要珍视在科学研究进程中的每一寸进步,自满自然还没有条件,但悲观也不必要。有志者是那些有强烈责任感的人,成功者是那些在困难中探索前进的人。

许焕斌

1989.1.10.

目 录

序言

张家口地区“三七”弹防雹对雹日及雹灾影响的统计效果检验·····	石安英等 (1)
怀来地区冰雹谱分布及人工防雹效果的统计检验·····	孙桂顺等 (13)
宣化、涿鹿地区冰雹谱分析与人工防雹效果的探讨·····	孙桂顺等 (17)
张家口地区“三七”弹防雹效果多种物理量的检验·····	孙玉稳等 (23)
H 检验在人工防雹效果检验中的应用·····	田志熙等 (28)
防雹经济效益的估计·····	梁 敬等 (34)
“三七”高炮防雹试验区内雨水中银含量的观测分析·····	郭金平、刘海月 (39)
用积雨云数值模式预报冰雹的探讨·····	孙玉稳、石安英 (46)
关于冰雹尺度预报和防雹效果的研究·····	石安英、孙玉稳 (57)
利用雷达回波和天气学指标判断雹云的研究·····	孙玉稳等 (62)
冰雹云云顶温度等参数分布特征的观测研究·····	石安英等 (68)
冰雹云环境场大气中散度、涡度、垂直速度的分析·····	石安英等 (78)
雷暴与行星边界层的涡度·····	丁德刚 (86)
“三七”高炮防雹试验区内雨水中银含量的自然本底值观测及分析·····	刘海月 (90)
QZ-1型雹、雨分测计的研 制·····	石安英等 (96)
测雹板检定试验·····	樊慧新等 (103)
雹、雨分测及其相关值的研究·····	石安英等 (107)
冰雹谱分布特征的研究·····	石安英等 (111)
关于冰雹谱谱型的进一步探讨·····	王灵色、郭继恒 (119)
涿鹿地区的降雹特征·····	刘海月、李光福 (128)
降雹云中雹、雨量等参数的平均状况及时空变化·····	石安英 (136)
雹、雨强度及其相关值连续变化的分析·····	石安英 (142)
张家口地区冰雹微结构特征的分析·····	樊慧新等 (148)
指状连体雹块特征的分析·····	樊慧新 (152)
扁圆形雹块的微结构分析·····	樊慧新 (155)
用降雹强度和雷达反射因子估算雹谱分布形式的研究·····	孙玉稳 (159)
张家口地区降雹的气候特征及其形成因素的讨论·····	张沛源、苗 伟 (167)
新疆昭苏地区冰雹云结构和分类研究·····	施文全、王昂生 (175)
声振防雹的效果分析·····	石安英 (183)
冰雹的外场观测·····	王鹏云、石安英 (191)
人工防雹试验作业工具的探讨·····	何绍钦 (198)
“三七”高炮碘化银炮弹的成冰核性能·····	陈汝珍、酆大雄 (202)
用雷达定量测量降雹质量与降雹动能的研究·····	韩承胤、石安英 (206)
关于爆炸防雹中的若干问题·····	许焕斌、王思微 (214)

张家口地区“三七”弹防雹对雹日及雹灾影响的统计效果检验

石安英 孙玉稳 梁敬 胡德玉
(河北省气象科学研究所) (张家口地区气象局)
陈生 田志熙
(涿鹿县防雹指挥部) (河北省纺织职工大学)

摘 要

本文分析了张家口地区六个防雹县、八个非防雹县的降雹日数分布特征;分析了涿鹿县非防雹年代与防雹年代雹灾面积的变化。得出如下几个结果:(1)14个测雹站中(即气象站,下同),除了涿鹿、怀来、万全、赤城4个测站的降雹日数属正态分布外,其余几个测站均为非正态分布。但14个测站的降雹日数,都通过了泊松分布试验;(2)涿鹿县的降雹日数与雹灾面积没有较好的相关。因此,用降雹日数的减少来探讨“三七”弹防雹效果是有问题的;(3)涿鹿县用“三七”弹防雹九年,雹灾面积减少了46%,该值通过了 t 检验。

一、引 言

我国利用“三七”弹进行防雹试验,约有25年的历史,广泛开展是从1973年开始的。积累多年的经验,其防雹效果是各界十分关注的科学问题。防雹效果确实是个十分复杂的问题,不仅涉及防雹原理,还决定于作业方法、防雹时机、发弹数量、云中是否有雹等。有的文献〔1〕用雹日、雹灾面积的变化分析防雹效果,有的用雹云的结构确定防雹的作用。

本文分析“三七”弹防雹效果的基本想法是:不仅分析防雹区域防雹日数及雹灾的变化,而且还分析了它周围未防雹区域的降雹日数,计算雹日与雹灾的相关、确定雹日在说明防雹效果中能起多大作用。我们还重点分析了防雹后雹灾面积的变化。不是简单的接受某地的雹灾面积,注意了确定雹灾的方法。

二、防雹概况的描述

该地区有14个县市,其中涿鹿、怀来、怀安、万全、阳原、张家口市六个县市自1976年以来,持续用“三七”弹进行了防雹试验。6个县市共设97门高炮,其中涿鹿县26门、怀来县9门,其余63门分布在其它4个县市。炮位分布如图1所示。图中●为炮位,◎为气象站位置。11年内,该地区耗弹20多万发,年平均约2万发。但各县年耗弹量及每次向雹云中发射弹数并不相同,据统计:涿鹿、怀来两县年用弹量约占总数一半。而且这两个县都有过一个炮点,一次向雹云射800多发炮弹的记录。别的县市,一次防雹作业所发射弹数,没有超过100发的。

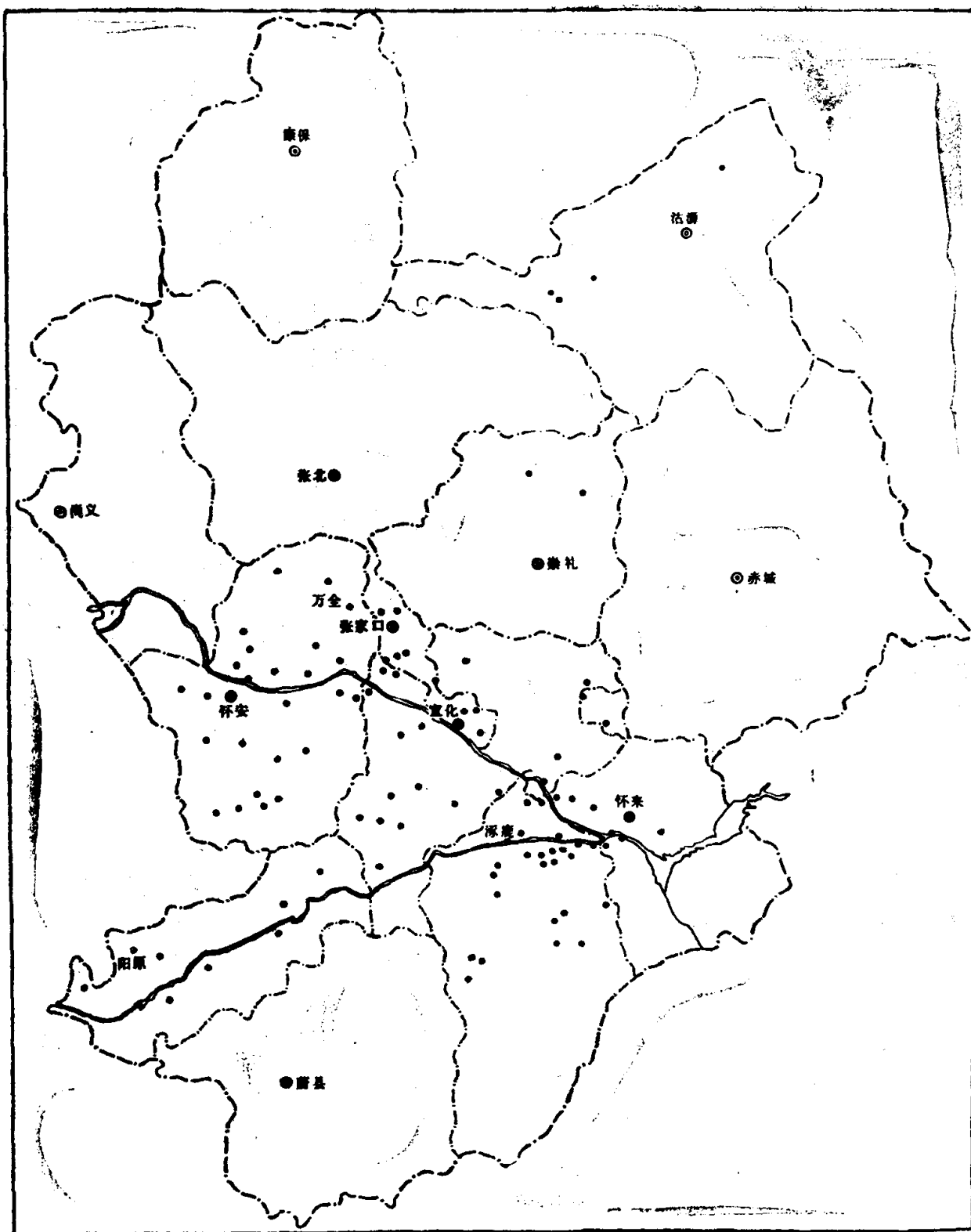


图1 张家口地区“三七”弹防雹炮位分布图

为了保证不失时机的防雹作业，各炮位有通往本乡总机的专用电话。涿鹿、怀来防雹指挥部及重点炮位有通地区防雹指挥部的高频电话4部、对讲机5部。经试验，炮位请示打炮，在2分钟内可得到答复。因此认为该地区通讯网可基本满足防雹的需要。

为防雹提供雹云信息，主要是地区气象台和炮位观测员。气象台作各站24小时降雹预报，用雷达监视雹云的移向，指挥作业。

各防雹指挥部，与该县气象站协作，都找出了各自的降雹指标。例如有的根据上游已降

雹、确定本地有无冰雹降落、决定打炮否；有的测点根据气压、温度、湿度、风向、云块的发展等综合判断；有的还根据对流云能否超过某山头而定。

临场是否开炮，炮手根据他们的经验而定。例如视云颜色，有无横闪；云翻滚是否强烈等。总之，通过十几年的防雹实践，他们都有一套比较完整的作业方法。

防雹所用37弹，为125厂生产，每弹装4克或6克碘化银。每弹各温度下成核率如表1。

表1 “三七”弹各温度下成冰核效率

温度℃	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4
成核率 (个/克)	2.0×10^{15}	1.2×10^{14}	1.1×10^{13}	5.2×10^{11}	5.5×10^9	2.5×10^8	1.1×10^7	1.0×10^6	1.0×10^5

1985年，河北省气象科学研究所、张家口地区气象台、涿鹿县防雹指挥部组成了“三七”弹防雹效果检验课题组。任务是用三年时间检验该地区历年防雹效果如何。为了完成任务，课题组除了提出本文外，还将对防雹参数、银离子的分布，雹云外貌特征、内部结构、雨谱、雹谱，雹、雨质量分测、雹云等参数防雹前后的变化进行研究，评估防雹效果。

三、对14个测站降雹日数的分析

对各测站降雹日数的分析，主要达到两个目的：一是降雹日数属何种分布，得出概念性的结果，以便采用相应的检验方法；二是降雹日数、防雹前后有无显著差别。为此统计的参数有降雹日数的平均值、标准离差、变异系数等，这些列在表2各栏内。

表2 张家口地区各县雹日的统计特征

测 站	年 代	有效年代	平 均 值	标 准 差	变异系数
张 家 口	1956—86	31	3.2	14	0.44
尚 义	59—86	28	7.4	3.1	0.42
崇 礼	59—86	28	5.6	3.1	0.55
赤 城	60—86	27	3.2	1.5	0.47
万 全	65—86	22	3.4	1.7	0.50
怀 安	60—86	27	3.4	1.8	0.53
阳 原	62—86	25	3.2	1.5	0.47
怀 来	54—86	33	2.5	1.5	0.60
丰 县	54—86	33	3.3	1.9	0.58
宣 化	60—86	27	2.7	2.7	1.00
康 保	59—86	28	5.7	2.6	0.46
沽 源	58—86	29	6.4	3.0	0.47
涿 鹿	60—86	27	2.4	2.3	0.96
张 北	56—86	31	5.8	2.6	0.45

图2是各测站降雹日数逐年变化曲线。可以看出：（1）14个测站，没有在同1年出现过一次峰值；也没有同年出现低谷；（2）降雹日数出现峰值的频数也不尽相同，少的每隔5年有一次，如怀安、沽源、张北等；多的每隔两年就出现一次，如崇礼、宣化等；（3）

宣化、涿鹿、怀来、蔚县、阳原5个测站，都出现过年降雹日数为0次。这三点说明张家口地区降雹日数分布极不规律。测站与测站、测站本身逐年变化都有其独立性。这可能是由于该地区多山、海拔高度差别大引起的。由于地形的作用，使降雹的天气系统受到影响，形不成较长的降雹带，使雹线不明显。

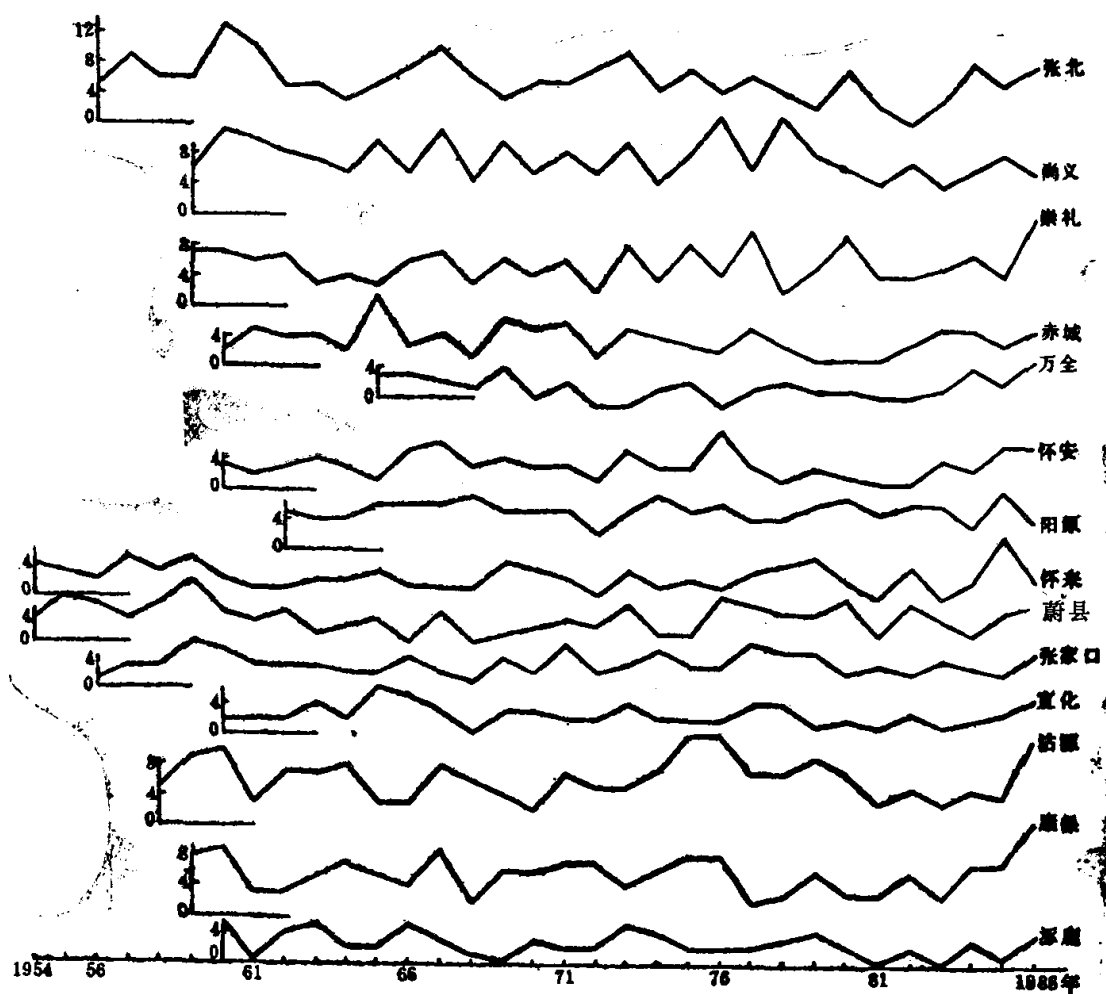


图2 张家口地区14个测站逐年降雹日数分布

为此，对各测站作了正态和泊淞分布检验。

1. 正态分布检验

采用柯尔莫哥洛夫检验法^[4]，首先由样本给出经验分布函数 $F_n(x_0)$ ，然后用样本统计量 $(\bar{X}, S)$ 近似代替相应的总体参量，求出与每个样本观测站 x_i ，相对应的理论分布函数 $\Phi(x)$ 值。然后找出两者的最大偏差值。

$$D_n = S_n P F_n(x) - \Phi_0(x)$$

我们近似认为 $\sqrt{n} D_n$ 的分布为 $K(y)$ 。而 $K(y)$ 为已知。在给定的置信水平下， $1 - \alpha$ 由 $K(y_\alpha) = 1 - \alpha$ ，找出 y_α 值。然后比较 $\sqrt{n} D_n \geq y_\alpha$ 。则认为两者差别显著。下边以涿鹿县为例，作60—75年的正态分布检验。将60—75年逐年降雹日数（由图2读出）分组，求各组频数，并列表计算各参量，如表3。

表中 $D_n(x_i)$ 最大值为0.1554， $n = 16$ ，因此：

$$\sqrt{n} D_n = \sqrt{16} \times 0.1554 = 0.62$$

令 $\alpha = 0.5$ ，查表 $y_{0.5} = 0.83$

因 $y_{0.5} > \sqrt{n} D_n = 0.83 > 0.62$ 。因此认为两者没有显著差别，系正态分布，用同样的方法

检验了其它13个测站，将各参量列在表4各栏中。

表3 正态分布检验表

x_i	n_i	$F_n(x_i)$	Z_i	$F(x_i)$	$D_n(x_i)$
0.1	2	0.1250	-1.54	0.0618	0.0632
1.1	3	0.1875	0.97	0.1660	0.0215
2.1	8	0.5000	-4.0	0.3446	0.1554
3.1	10	0.6250	0.16	0.5636	0.0614
4.1	12	0.7500	0.73	0.7673	0.0968
5.1	16	1.0000	1.30	0.9032	0.0968

表4 各测站正态分布检验表

测站	n	$\sqrt{n}$	D_n	$\sqrt{n} D_n$	$\lambda_{0.5}$	$\sqrt{n} D_n \gtrless \lambda$	是否正态	是否泊松
张家口	20	4.47	0.47	2.10	1.36	>	否	是
尚义	17	4.12	0.65	2.68	1.36	>	否	是
崇礼	17	4.12	0.61	2.51	1.36	>	否	是
赤城	16	4.00	0.30	1.20	1.36	<	是	是
万全	11	3.32	0.30	1.00	1.36	<	是	是
怀安	16	4.00	0.50	2.0	1.36	>	否	是
阳原	14	3.74	0.39	1.46	1.36	>	否	是
怀来	22	4.69	0.13	0.61	1.36	<	是	是
蔚县	22	4.69	0.31	1.45	1.36	>	否	是
宣化	16	4.00	0.44	1.76	1.36	>	否	是
沽源	18	4.24	0.35	1.48	1.36	>	否	是
涿鹿	16	4.0	0.14	0.56	1.36	<	是	是
张北	20	4.47	0.58	2.59	1.36	>	否	是
康保	23	4.80	0.39	1.89	1.36	>	否	是

由表4可以看出，只有4个测站符合正态分布，约占14个测站中的30%。

2. 泊松分布的检验

按文献[5]的方法，将各站历年降雪日数分组，统计各组频数，计算出泊松分布的理论频数，得到

$$\Sigma = \frac{(nP_{xi} - f_i)^2}{nP_{xi}}$$

式中 n 为组数， P_{xi} 为降雪频数， f_i 为标准差。然后查 χ^2 检验表。当 $\chi^2_{\alpha} > \Sigma \frac{(nP_{xi} - f_i)^2}{nP_{xi}}$ 时，则认为服从泊松分布。下面将年代较长的张北站检验列于表5。

$$\sum_{i=D}^{13} \frac{(nP_{xi} - f_i)^2}{nP_{xi}} = 9.6452 < 21.026 = \chi_{0.05}^2 \quad (12)$$

$$\lambda \approx \bar{x} = \frac{130}{20} = 6.5 \approx 6$$

$m+1=14$ 、 $n=20$ 、 λ 未知、自由度 $m-1=12$

(此 $n<30$)

所以认为张北站降雹日数服从泊松分布。

表5 张北县雹日分布认为服从泊松分布的 χ^2 -检验(56年~75年)

雹 日 数	0	1	2	3	4	5	6
频 数 f_i	0	0	0	2	1	6	8
p_{xi}	0.0025	0.0149	0.0446	0.0892	0.1339	0.1606	0.1606
np_{xi}	0.05	0.298	0.892	1.784	2.678	3.212	3.212
$(np_{xi} - f_i)^2$	0.0025	0.0888	0.7957	0.0467	2.8157	7.7729	0.0449
$\frac{(np_{xi} - f_i)^2}{np_{xi}}$	0.05	0.298	0.892	0.0262	1.0514	2.4200	0.0140

雹 日 数	7	8	9	10	11	12	≥ 13
频 数 f_i	3	0	2	2	0	0	1
p_{xi}	0.1377	0.1033	0.0688	0.0413	0.0225	0.0113	0.00885
np_{xi}	2.754	2.066	1.376	0.826	0.45	0.226	0.178
$(np_{xi} - f_i)^2$	0.0605	4.2684	0.3894	1.3783	0.2025	0.0511	0.0317
$\frac{(np_{xi} - f_i)^2}{np_{xi}}$	0.0220	2.0660	0.2830	1.6686	0.45	0.226	0.178

对另外13个测站作了同样检验,结果均属泊松分布。

四、防雷效果检验

我们作了雹日、雹灾两者防雷前后平均值的比较,如表6。下面分别叙述。

1. 对降雹日数的检验

由表6可以看出:14个测站,宣化减少了0.3天,康保减少0.2天,涿鹿减少0.7天,张北减少1.5天。这四个测站,只有宣化、涿鹿从1976年至1986年进行了防雷试验。其它各测站在防雷期间,雹日是增加的,这给防雷能减少降雹日数的说法增加了复杂性。

我们选择了防雷期间平均减少降雹日数最多的涿鹿站进行分析。

涿鹿雹日的减少有两种可能:(1)是由于防雷引起的。如果是这样的,降雹日数的减少值应与本站未防雷年代有显著的差别。即能通过统计检验;(2)是由于临近测站,例如张北,由于降雹日数的减少引起的。如果是这样,应该考查未防雷年代两者的相关系数,下面分别检验。

①涿鹿县降雹日数差值显著性检验

表5表明该县降雹日数系正态分布。因此,用t检验,估计两者的差值。由表6得到两者的统计参量。令防雷前为 n_1 、 s_1 ;防雷后为 n_2 、 s_2 。 x 为降雹日数的差值。则:

表6 张家口地区各县防雷对雹日的影响

测 站	年 代	n_1	年 代	n_2	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	Δx	S_1	S_2
张家口	1956~75	20	1976~86	11	3.2	3.5	-0.3	1.46	1.43
尚 义	59~75	17	76~86	11	7.3	7.4	-0.1	2.32	3.08
崇 礼	59~75	17	76~86	11	5.3	6.1	-0.8	1.99	3.08
赤 城	60~75	16	76~86	11	4.0	4.0	0.0	2.07	1.71
万 全	65~75	11	76~86	11	3.4	3.5	-0.1	1.64	1.75
怀 安	60~75	16	76~86	11	3.3	3.6	-0.3	1.34	2.25
阳 原	62~75	14	76~86	11	3.1	3.4	-0.3	1.29	1.56
怀 来	54~75	22	76~86	11	2.4	2.8	-0.4	1.47	1.81
芋 县	54~75	22	76~86	11	3.0	4.0	-1.0	2.02	1.73
宣 化	60~75	16	76~86	11	2.8	2.5	0.3	1.44	1.37
康 保	59~75	17	76~86	11	5.8	5.6	0.2	2.13	3.18
沽 源	58~75	18	76~86	11	6.1	6.7	-0.6	2.69	3.20
涿 鹿	60~75	16	76~86	11	2.8	2.1	0.7	1.76	1.38
张 北	56~75	20	76~86	11	6.5	4.5	1.5	2.57	2.62

$$n_1 = 16, \quad s_1 = 1.76 \quad x_1 = 2.8$$

$$n_2 = 11, \quad s_2 = 1.38 \quad x_2 = 2.1$$

将各数代入t检验公式，有：

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2}}} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} = 1.104$$

查t检验表

$$N = n_1 + n_2 - 2 = 16 + 11 - 2 = 25$$

取 $\alpha = 5\%$ 得到 $t_{0.05} = 2.06$

$$\text{因 } t < t_{0.05} = 1.104 < 2.06$$

因此没有显著差别。

这样，有理由认为涿鹿县防雷年代防雷日数的减少，与未防雷年代降雹日数没有显著差别。也可以认为，该县“三七”弹防雷没有引起降雹日数的减少。

②涿鹿县降雹日数与张北站降雹日数的相关

之所以分析这个问题，是想了解涿鹿的降雹日数是否受其它地区降雹天气的影响。

由表6可以看出，有可能影响涿鹿降雹日数的减少是张北县。因为其它降雹日数都是增加的，或者减少的不如涿鹿多。

同样用t检验了解这两个县在未防雷年代是否存在着同步减少的差别。如果不是这样，那么涿鹿县降雹日数的减少，就不是张北县防雷引起的。

令张北县降雹日数 $\bar{x}_1$ 为平均值， n_1 为年代， s_1 为标准差，涿鹿县分别为 $\bar{x}_2$ 、 s_2 、 n_2 。

$$n_1 = 20, \quad \bar{x}_1 = 6.5, \quad s_1 = 2.57$$

$$n_2 = 16, \quad \bar{x}_2 = 2.8, \quad s_2 = 1.76$$

代入t检验公式有：

$$t = \frac{6.5 - 2.8}{\sqrt{\frac{(20-1)2.57^2 + (16-1)1.76^2}{16+20-2} \left(\frac{1}{20} + \frac{1}{16} \right)}} = 4.905$$

查t检验表:

$$N = n_1 + n_2 - 2 = 20 + 16 - 2 = 34$$

取 $\alpha = 5\%$ 得 $t_{0.05} = 2.03$

$$t > t_{0.05} = 4.905 > 2.03$$

因此认为,张北县的降雹日数,在历史上就比涿鹿县多。两者并不同属一个降雹原因,还必须找出两者的相关。如果相关系数很大,张北降雹日数的减少,还可能影响涿鹿降雹日数的减少。如果是这样,对后面分析由于涿鹿进行“三七”弹防雹。引起雹灾面积的减少的结果带来疑点,因此作了两测站防雹日数的相关系数。

取两测站未防雹年代60—75年逐年降雹日数由图2读出。令涿鹿站为x, y为张北测站,相关系数为r。

$$n = 16$$

$$\sum x = 45 \quad \sum x^2 = 171$$

$$\sum y = 104 \quad \sum y^2 = 792$$

$$\sum xy = 313$$

因此求得:

$$Lxy = \sum xy - (\sum x)(\sum y) / n = 205$$

$$Lxx = \sum x^2 - (\sum x)^2 / n = 444$$

$$Lyy = \sum y^2 - (\sum y)^2 / n = 116$$

$$r = \frac{Lxy}{\sqrt{Lxx \cdot Lyy}} = 0.29$$

将上述各式值代入r式求得 $r = 0.29$

两者相关系数甚小,因此认为张北测站,在涿鹿防雹年代降雹日数减少的1.5天,不会影响涿鹿县降雹日数的减少。这样我们有理由认为,涿鹿的降雹因受其它因素的影响,有它独立变化的特点。

2. 对雹灾面积的检验

雹灾是降雹直接造成的,雹灾面积受降雹强度、降雹密度、降雹频率的影响。“三七”弹防雹如果有效,应该影响这些参量。因此统计雹灾面积的变化,可以判断出“三七”弹防雹的效果,但是确定雹灾面积应有一致的条件才有比较意义。我们考查了张家口地区历年雹灾面积,认为涿鹿县的资料可取。该县对雹灾面积的统计有如下几个特点:(1)连续。从1954至1986年均有;(2)标准一致。每次降雹由县政府与受雹灾地区的领导及有关主管农业部门的领导到现场检查,共同确定,历年不变;(3)由统计局审核存档。我们用了统计局的雹灾资料。其余防雹县,我们认为雹灾面积不具备这些条件,因此没有作效果统计检验。

另外,还有一个重要条件,就是受雹灾的年份。应确实进行了“三七”弹防雹试验,没有防雹的年份和某次降雹天气没有打炮的雹灾面积未统计在内。

还应该指出的是该县防雹覆盖面积大。两个防雹点距离不超过5公里。而且各次降雹云在防雹区出现。各炮点都能及时打炮。在这样条件下,我们对防雹效果作如下的检验。

检验的步骤如下：

首先，利用柯尔莫哥洛夫函数检验未防雷年代雹灾面积是否是正态分布。

其次，在属正态分布的情况下，检验两者雹灾面积的差值是否显著。

①作雹灾分布函数的检验

下面给出该县逐年雹灾面积及发射弹数，如表 7。

表 7 涿鹿县逐年雹灾面积（亩，1 亩 = 666.6 平方米，下同）及防雷发射弹数（发）

年 代 面 积	1954	55	56	57	58	59	60	61
	130677	18657	41268	316559	—	—	8455	179104
62	63	64	65	66	67	68	69	70
167820	210000	23000	37180	7881	23756	44300	163500	14000
71	72	73	74	75	76			
1100	29895	62212	50853	2822	296319			
年 代	77	78	79	80	81	82	83	84
雹 灾	52528	93838		19748	1100	112700	45200	13100
弹 数	1630	25200	2958	3160	750	4914	2459	2200
85	86							
32688	52312							
2000	8800							

为统计方便将雹灾面积 $\times 10^{-4}$ ，按大小排列。

仍用柯尔莫哥洛夫检验法。方法、符号、意义同前。将各参量列于表 8。

由表 8 可以看出 D_n 最大值为 0.2216

$n = 21$ ，因此 $\sqrt{n} D_n = 1.015$

取显著水平 $\alpha = 1 - K(\gamma\alpha) = 0.05$

查柯尔莫哥洛夫表得： $\gamma_{0.05} = 1.36$

因此认为未防雷年代雹灾面积属正态分布。

由表 7 可以算出防雷年代的雹灾平均值、标准离差。结果：

$\bar{X} = 47023$ $S = 36707$

将防雷年代和未防雷年代的雹灾平均值和相应的标准离差代入下面的 t 检验公式

$$t = \frac{47023 \times 8.7583 \times 10^4}{\sqrt{\frac{(21-1)(9.7307 \times 10^4)^2 + (9-1)3670.7^2}{21+9-2}} \sqrt{\frac{1}{21} + \frac{1}{9}}} = 0.76$$

取显著水平 $\alpha = 0.25$ ，自由度为 $N = 21 + 9 - 2 = 28$

$t_{2\alpha} = 0.683$ 因 $t > t_{2\alpha} = 0.76 > 0.683$

因此认为雹灾面积，防雷前与防雷后有显著差别。防雷有效。防雷后雹灾面积减少了

$$\frac{87583 - 47023}{87583} = 0.46, \text{ 即 } 0.46 \times 100\% = 46\%$$

表 8 雹灾面积正态分布检验表

x_i	x_i	$F_n(x_i)$	τ_i	$F(x_i)$	$D_n(x_i)$
1	0.2822	0.0000	-0.8711	0.1922	0.1922
2	0.7881	0.0476	-0.8191	0.2661	0.1585
3	0.8455	0.0952	-0.8132	0.2090	0.1138
4	1.1002	0.1428	-0.7870	0.2148	0.0720
5	1.4000	0.1925	-0.7562	0.2236	0.0331
6	1.8657	0.2381	-0.7083	0.2389	0.0008
7	2.3000	0.2857	-0.6637	0.2546	0.0311
8	2.3756	0.3333	-0.6559	0.2546	0.0787
9	2.9895	0.3810	-0.5929	0.2776	0.1034
10	3.7180	0.4286	-0.5280	0.2981	0.1136
11	4.1268	0.4762	-0.4760	0.3156	0.1606
12	4.4300	0.5238	-0.4448	0.3300	0.1938
13	5.0853	0.5714	-0.3775	0.3520	0.2194
14	6.2212	0.6919	-0.2607	0.3974	0.2216*
15	13.0677	0.6667	0.4429	0.6700	0.0033
16	16.3500	0.7143	0.7802	0.7823	0.0680
17	16.7820	0.7619	0.8246	0.7939	0.0320
18	17.9104	0.8095	0.9405	0.8264	0.0169
19	21.000	0.8571	1.2580	0.8962	0.0391
20	29.6319	0.9048	21.451	0.9842	0.0794
21	31.6559	0.9524	2.3531	0.9906	0.0382
Σ	183.926	$\bar{x} = 87583$		$S = 9.7307$	

五、讨 论

讨论三个问题

1. 防雷效果检验方法

我国“三七”弹防雷面积广，但没有统一的效果检验方法，通常用参数检验法。参数检验法有两个问题：一是需要资料年代长且要求很严；二是精度高，很难通过检验。这实际上淹没了一部分防雷效果。例如某县，防雷后雹灾面积减少了30%，但参数检验或非参数检验都未通过。这样，防雷效果就很难确切地反映出来。

例如：涿鹿县进行了9年防雷，雹灾面积减少了46%，但做t检验时， α 取0.25，水平较低。

如令 $Y_0 = 0.76$ ，与其相对应的 $R(Y_0) = 0.39$ 。于是：

$$P(\sqrt{n} D_n \geq Y_0) \sim 1 - K(Y_0) = 1 - 0.39 = 0.61$$

即有61%的根据认为防雷有效。显然拟合度低。

但用苏联防雷效果判别式，就可以得到满意的效果。判别式为：

$$E = \left(\frac{\bar{S}_1}{\bar{S}_2} \right) \left(\frac{S_2}{S_1} \right)$$

其中， $\bar{S}_1$ ：防雷后雹灾的平均值

$\bar{S}_2$ ：未防雷灾的平均值

S_1 ：防雷后雹灾的总面积

S_2 ：未防雷灾的总面积

当 $E = 1$ 防雷无效

$E < 1$ 雹灾面积增大，有负效果

$E > 1$ 雹灾面积减少，防雷有效

E 越大，效果越好。

上例，涿鹿进行了9年防雷，各参数为：

$$\bar{S}_1 = 48772 \quad \bar{S}_2 = 88060$$

$$S_1 = 438955 \quad S_2 = 1849260$$

将各参数代入判别式有：

$$E = \left(\frac{48772}{88060} \right) \left(\frac{1849260}{438955} \right) = 2.33 > 1$$

这个结果，可以很明显的反映出防雷效果。

我们在讨论防雷效果时，也应考虑这个简单方法。

2. 降雹日数与雹灾面积的相关

通过上述各节的检验，得出了这样一个结论：防雷效果不足以影响日数的减少，防雷后降雹日数不变，防雷日数减少的不多，或者降雹日数增加，但可以用防雷后雹灾面积的减少说明“三七”弹防雷有效。为了解释这个现象，我们作了1960—1969年降雹日数与雹灾面积的逐年相关系数图，如图3所示。由图可以看出，两者大部分是反相关（6/11）。在正相关年

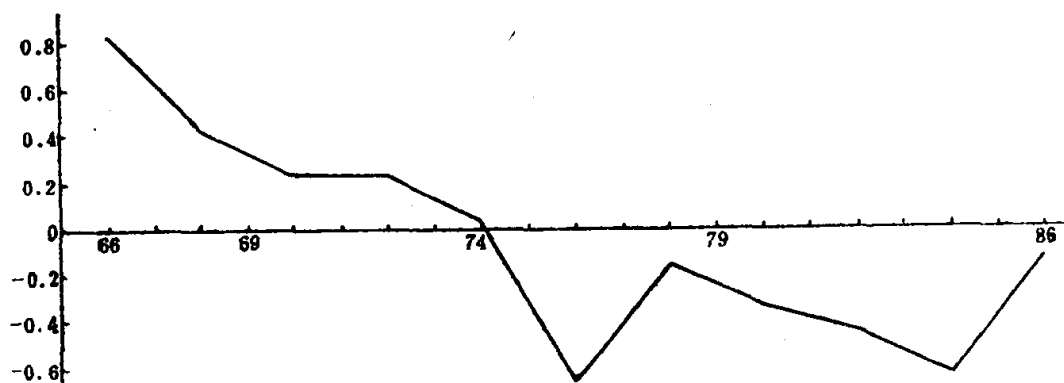


图3 涿鹿县降雹日数与雹灾逐年相关

代里，也只有1年相关系数达到0.83。这样我们认为涿鹿县9年防雷中，雹日只减少了0.7天，但雹灾减少的46%是可信的。

3. 关于资料的取舍

文献〔2〕检验涿鹿县防雷效果时，将1965年—1976年间的雹灾面积舍去。原因是这10年资料不准确。假如我们也这样做，将提高涿鹿县防雷效果。那么，未防雷年代的平均雹灾面积就变成113272.1亩。防雷后的雹灾面积同前所述，雹灾面积减少的百分率就变成57%，且 α 可取0.1，拟合度可以提高到90%以上。以上三点供讨论。

参 考 文 献

- 〔1〕陈立祥，甘肃人工防雷效果浅析，大气科学，（2），（1981）。
- 〔2〕刘海月等，高炮防雷统计检验效果分析，河北省气象科研所论文集，（1983）。
- 〔3〕成核率检定小组，“三七”高炮碘化银炮弹冰核生成率的检定，气象，（1），（1975）。
- 〔4〕叶家东、范蓓芬，人工影响天气的统计数学方法，科学出版社，（1982）。
- 〔5〕黄美元、亢雪巧，关于我国人工防雷效果的统计分析，大气科学，（2），（1978）。