

HUAIBEI BINGBAO DUANQI
YUBAO ZHIBIAO CHUTAN

淮北冰雹短期预报
指标初探

王 兴 荣

气象出版社

淮北冰雹短期预报指标初探

王 兴 荣

气 象 出 版 社

内 容 简 介

本书针对冰雹是一种小概率天气，从雹暴系统能够得到触发的条件出发，借助于基本动力学方程的推导分析，从理论上总结和归纳了三个消空参数，经过统计得到三个动力学指标；在此基础上，再结合冰雹天气发生前的天气学特征的分析，又得到一个天气学指标，构成了淮北区域冰雹短期预报四个指标。通过1980—1982年三年淮北麦收季节预报实践证明：这些指标对冰雹天气具有一定的预报能力。

本书可供具有中专以上水平的预报工作者参考，也可供有关动力气象、强对流天气等专业的科研、教学人员参考。

淮北冰雹短期预报指标初探

王 兴 荣

责任编辑：康文骅

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 印张：2.75 字数：58千字

1984年7月第一版 1984年7月第一次印刷

印数：1—2,500

统一书号：13194·0181 定价：0.40元

目 录

第一章 引言	(1)
§ 1.1 问题的提出	(1)
§ 1.2 目前国内外通常所采用的冰雹短期 预报方法评述	(2)
§ 1.3 本书的任务	(9)
第二章 冰雹资料的收集和整理	(11)
§ 2.1 冰雹资料的收集	(11)
§ 2.2 冰雹资料的整理和订正	(14)
第三章 消空指标及其物理意义	(18)
§ 3.1 消空指标	(18)
§ 3.2 消空指标的物理意义	(21)
§ 3.3 实际使用	(47)
第四章 失败实例的天气分析	(51)
§ 4.1 消空指标的不足	(51)
§ 4.2 失败实例的天气分析	(54)
§ 4.3 实际试用	(65)
第五章 结语	(72)
附 录	(73)
参考文献	(77)

第一章 引言

§ 1.1 问题的提出

众所周知，冰雹天气是我国主要的灾害性天气之一。无论从历史记载看，还是从近年来收集到的资料看，冰雹天气给我国工农业生产带来的危害都是极其严重的。我国每年少有一千万亩，多至几千万亩农作物要遭受到不同程度的冰雹危害。轻则减产；重则颗粒无收。

就安徽省而言，据不完全统计¹⁾，从一九四九年至一九七六年的28年内，共出现冰雹1355县次，平均每个县（市）为18次之多。其中一九七二年四月十八日，一天之内，全省就有34个县（市）遭受到冰雹、大风、暴雨的袭击。冰雹大的象拳头，小的象鸡蛋、核桃、蚕豆，使广大灾区人民的生命财产遭到了严重损失。据民政部门的记载：这次冰雹天气过程，在安庆地区，农田受灾面积达到114万亩，红薯种子损失达41万斤，稻种损失达384万斤；在巢湖地区，被毁坏的房屋达120多万间，伤亡人数达2273人，其中死亡33人。由此可见，一场大的冰雹天气过程所造成的损失是相当惊人的。而类似这样的统计和记载，全国其他各个省、（市）都有^[1-3]。

因此，冰雹作为一种严重的灾害性天气，一向就受到各级领导部门、广大人民群众的关注，他们希望气象部门有一个比较正确的冰雹天气预报方法，能作出比较正确的冰雹短期天气

1) 安徽省人工降雨办公室，安徽的冰雹，1980年2月，油印本。

预报，以便在冰雹天气发生之前采取相应的措施，尽可能地把损失降低到最低限度。

为了上述目的，许多气象业务工作者和科学研究人员曾经从各种不同的角度做了许多有益的工作，并且取得了相当大的进展。然而，由于缺乏一个比较完整、对广大基层台站又比较适用的冰雹短期预报方法，加上在冰雹资料的收集、整理方面还存在一些困难，使得目前广大基层台站的冰雹短期预报的实际水平距离使用部门的要求仍差得很远很远。

近年来，随着人工影响天气，尤其是人工消雹工作的开展，使用部门越来越迫切地要求冰雹短期预报工作（尤其是24小时内区域冰雹短期预报工作）提高到一个新的水平。因此，建立一个对冰雹天气具有较强的预报能力，又适合广大基层台站使用的区域冰雹短期预报工具已成为气象部门迫切需要解决的问题。

§ 1.2 目前国内外通常所采用的

冰雹短期预报方法评述

据了解^[4-9]，目前国内外对冰雹短期预报所采用的方法大致可归结为四种。即天气图方法；统计学方法；物理模式方法和动力统计方法¹⁾。

天气图方法的依据有两个方面：一是冰雹天气气候模型。它是根据预报区域冰雹出现前或出现时各种天气系统活动的情况，概括出冰雹出现前或出现时各种天气系统配置特点，并用概略模式图表示出来的。二是预报区域冰雹出现前或出现时某些气象因子必须满足的条件。它是根据预报区域冰雹出现前或

1) 在实际工作中，往往把这些方法中的几个结合起来使用。

出现时某些同降雹有关系的气象因子（如上升速度、层结不稳定度、零度温度层高度等等）的分布特点，概括出来的。

根据冰雹天气气候模型做冰雹短期预报的方法，已在各个气象台站普遍使用^[10-19]。他们按照天气学的原理和方法，充分利用雹暴个例分析的结果，对预报区域冰雹出现前或出现时的地面图、各等压面图、卫星云图以及各种形式的时间剖面图的大形势进行分型。当某一天的天气形势符合某一型冰雹出现前形势，或者作出的形势预报符合某一型冰雹出现时形势，就预报未来有冰雹天气发生。

目前有些气象台站和气象部门根据冰雹出现前或出现时气象要素的条件，采用“落区法”预报冰雹区位置^[1]。大范围雹暴通常发生在具有强烈的环境位势不稳定和垂直风切变，并有一定水汽含量和水汽相对集中区的 500 毫巴急流附近。因此，可以根据历史资料确定的 500 毫巴急流、位势不稳定、湿度、垂直风切变等必须满足的条件，判断冰雹出现的可能性以及在可能出现冰雹情况下的冰雹可能落区。这一步预报称作冰雹落区预报。落区预报所规定的范围一般包括一、两个省，而冰雹出现的区域却比较小。因此第二步就须预报这个范围中那些部位会出现冰雹，什么时候出现。这一步预报称为冰雹的落点、落时预报。落点、落时预报比落区预报要困难得多。一般说来，预报员在做出冰雹的落区预报后，就可以把注意力集中在这个落区。仔细分析能够反映中小尺度系统活动的小天气图，并注意地形对冰雹路径的影响，借助于雷达对对流性回波团的追踪，及时地发布未来短时间内的冰雹落点、落时预报。

当然还可以结合天气系统特点和气象要素条件对预报区域概括出二、三条经验预报规则。

然而，符合冰雹出现的概略模式图或达到出现冰雹所必须

满足的气象要素条件，都只是出现冰雹的必要条件，并非充分条件。因此用这种方法必然会出现不少空报，如果冰雹出现在没有总结过的形势或条件下，就会出现漏报。因为是当目前出现的天气气候模型或一些气象条件同过去冰雹出现前或出现时的情况相一致时，就预报有冰雹出现。因此天气图预报方法实际是相似法。相似法有一个缺点。即当前的形势与过去概括出来的冰雹的天气气候模型或气象条件一致，只反应现象上的联系，并没有考虑冰雹形成的机制，因此在预报中必然会出现空报和漏报。

近年来，国内外许多气象业务人员和科研人员采用统计预报方法做冰雹短期预报^[20-33]。目前在冰雹短期预报中比较常用的统计方法有：分型统计；逐步回归筛选、多元回归方程统计；判别分析统计；点聚图、临界指标统计。

天气预报实践使人们认识到冰雹都是在某些特定的天气形势下产生的。因此，在一些冰雹统计预报方法中，常常按天气型建立冰雹统计预报方程。分型一般按照500毫巴、700毫巴天气形势划分。例如，安徽省预报淮北冰雹的统计方法^[32-33]，是按500毫巴东北低涡横槽型和江淮上空冷涡型来建立统计预报方程的。一般来说，冰雹对一个地区来说是小概率事件，分型统计可以相对提高冰雹的出现机率，同时也便于反映某特定天气形势下预报因子和冰雹的关系，这是分型统计预报方法的优点。但这种方法要求观测资料年代长，否则难以满足大量样本的要求，这对资料短的台站无法办到。此外，分型建立统计预报方程，手续烦琐，对某些过渡型也不好处理。这都是该方法的缺点。

一般说来，在建立冰雹短期统计预报工具之前，除了不稳定性这个因子之外，并不能确定那些预报因子对预报量（冰雹

能否产生)的关系最好。而用逐步回归筛选方法则可以从许多预报因子中找出关系最好的预报因子,用来建立统计预报方程。逐步回归筛选要点如下:在一定信度的要求下,先从所有预报因子中选出一个和预报量相关最大的预报因子,建立统计预报方程;然后从其余的因子中再选出一个和预报量以及第一个预报因子复相关最大的因子,重新建立预报方程;以后再用同样方法陆续选第三个、第四个、……预报因子。在此过程中,对已选中的但又相形见绌的预报因子予以剔除,直到按既定信度,再也既选不进又剔不出因子为止。这样建立的多元回归方程,预报因子和预报量的关系最好,方程精度较高,但计算工作量大,须有电子计算机才能实现。

根据大量资料的分析和各地群众、预报员的预报经验,选取与冰雹天气的发生密切相关的一些参量,利用二级分辨的基本原理,建立冰雹的二级多元判别预报方程,是一般气象台站采用的统计预报方法。这种统计预报方法的精度取决于所选预报因子和预报量(冰雹能否产生)的相关程度,以及它们之间的关系是否是线性关系。

上述几种统计预报方程均是线性的。实际上,冰雹过程是复杂的非线性过程。用线性方程描写统计关系显得不太合理。因此,人们试图用非线性关系来解决这个问题。点聚图、临界指标是处理非线性问题时常用的一种统计方法。

需要指出的是,统计预报方法就其本身而言,仅仅是一种数学方法。能不能取得成功,在相当大的程度上取决于预报因子的选择。可是在目前,虽然许多学者从不同的物理学、气象学角度,提出了许多不稳定组合因子^[20,26,34-40],但是,由于预报因子不是根据冰雹的形成机制或冰雹天气系统的触发机制去分析选取的,而只是根据经验和对大量资料的分析挑选出来的。

一般说来，其物理意义不是很清楚的。因此，它们区分冰雹和非冰雹的能力一般都不太强，而且带有相当大的季节性和地方性。Longley, R. W. 和 Thompson, C. E. 的研究也表明^[41]：“以往在冰雹统计预报方案中，通常所选择的因子，绝大部分不能明显地区分降雹和无雹。”这就使得用这些预报因子建立的统计关系有时不稳定，效果不够理想；有时，统计关系拟合很好，但做预报时，准确率却降低。

针对天气图经验方法和统计预报方法的缺点，有些学者致力于从理论上研究冰雹形成的物理模式，然后从模式出发，计算和分析成雹的主要物理量来预报冰雹天气^[4, 42-46]。此种预报方法，就是目前比较流行的物理模式法。

冰雹内部结构的观测分析表明：雹胚（雹或冻结的大水滴）要进一步增长为冰雹，其必要条件是云的上部应有过冷却水。其生长过程主要是冰雹胚胎与过冷却水滴和冰晶的碰并过程。Сулаквелидзе 在云中上升气流速度（ W ）随高度呈抛物线状分布的假定下，讨论了冰雹粒子在云中的碰并增长过程。发现：冰雹的增长主要发生在上升最大气流速度高度以上被称为累积带的部位，因为在那里会发生水滴的积聚。List 的理论分析表明：在累积带中有过冷却水存在的情况下，雹胚的增长形式取决于累积带中的含水量。当累积带中的含水量大于某一临界含水量时，雹胚通过与过冷却水滴的冲并，捕获了过冷却水滴，并在雹胚表面上形成一个过冷却水的薄层，然后由里向外慢慢冻结，形成密度较大的（约 0.9 克/厘米^3 ）透明的冰，这种雹胚的增长形式，叫做冰雹的湿增长；相反，当累积带中的含水量小于这一临界含水量时，所有被雹胚捕获的过冷却水滴能够及时地冻结，并在其上形成一层完全冻结的密度较小的（约 0.3 克/厘米^3 ）不透明的冰，这种雹胚的增长形式叫做冰雹的干增长。

而这一临界含水量，近似地取决于雹胚的直径和累积带中的温度。由于累积带的实际含水量，目前无法通过观测及时取得，因此，一般用下式计算的最大累积含水量 q_m 代替：

$$q_m = \rho_m W_m / 2gH$$

其中 ρ_m 为最大上升气流速度所在高度的湿空气密度， H 为累积区厚度，平均可取1500米， W_m 为最大上升气流速度。这样，雹胚的增长形式就取决于最大上升气流速度的临界值，这个临界值同样近似地取决于雹胚的直径和累积带的温度。List 对于初始直径为0.25厘米的雹块，计算了湿增长所必须满足的条件。

根据上述的研究结果，可以构成如下的预报步骤：

① 判断有无上升气流。如果没有上升气流，也就是没有累积带，因此不会形成冰雹天气。

② 如果有上升气流，则确定最大上升气流速度的高度。当其高度位于 0°C 以上的正温度区时，由于累积带缺少过冷却水，因此也没有成雹条件而不能形成冰雹天气。

③ 当最大上升气流速度的高度位于负温区时，则根据累积带中的温度 T_m 和最大上升气流速度 W_m ，利用List计算的湿增长条件，确定初始雹胚（直径为0.25厘米）的增长形式，如果增长形式为干增长，则只能形成密度较小的软雹，而它们在降落过程中经过下面的暖区将全部被融化，不能形成降雹；如果增长形式为湿增长，则可以形成密度较大的冰雹降至地面。假如进一步考虑冰雹降落速度与雹块的关系以及溶化对落地冰雹直径的影响，还可以依据零度温度层高度和最大上升气流速度 W_m ，利用根据累积带理论计算的不同零度温度层高度时最大上升气流速度与地面降雹半径的关系^[4, 46]，确定落地冰雹的半径。

显然，这种物理模式预报方法的物理基础比较扎实，并且具备所取因子不多和客观、定量等优点。存在的问题是：由于计算的成雹物理量是根据冰雹的生成条件而设计的，而冰雹的生成条件是在雹暴天气系统中逐步形成的，因此，要计算真正反映冰雹生成条件的成雹物理量，必须使用雹暴系统发生、发展过程中的观测数据；然而，雹暴天气系统的时间尺度一般 $\leq 10^4$ 秒，因此对于24小时内的短期预报而言，预报时段之前的观测时间一般都在雹暴天气系统发生之前。这就使得预报时段内降雹时的实际成雹物理量与观测时间的物理量不仅不完全相等，而且并不一定相关。事实上，根据中国科学院地理研究所提供的北京地区1970—1971年6—8月的37次降雹天气所对应的07时和13时最大上升气流速度 W_m 的计算结果^[47]，我们也发现：在37次降雹天气中，如果用07时观测资料来计算，能算出上升气流速度 W 的只有25次，其中最大上升气流速度 W_m 超过20米/秒的只有9次，有12次，即接近三分之一的降雹天气所对应的07时观测资料的层结呈稳定状态，以致无法计算出上升气流速度；然而，如果采用比较接近降雹时候的13时观测资料来计算，则能算出上升气流速度 W 的就增加到32次，其中最大上升气流速度 W_m 超过20米/秒的竟达28次之多，而不能算出上升气流速度 W 的则减少到只有5次，其中还有1次是由资料缺测造成的。这个事实同样充分地说明：预报时段内降雹时的物理量与观测时的物理量不仅不同，而且没有明显的相关。由此可见，物理模式预报方法的预报能力不太稳定，效果不够理想。

有人根据冰雹形成的物理机制，试图选用观测时的成雹物理量作为预报因子，使用统计预报方法作冰雹短期预报^[47-48]，也因为预报时段内降雹时的物理量与观测时的物理量没有明显的相关，其效果也不太理想。

随着数值天气预报工作的发展,国内外一些气象学者开始选用由各种业务数值预报模式所输出的预报时段内的成雹物理量、各种不稳定指数和其他一些物理要素作为预报因子,使用物理模式预报方法或统计预报方法来制作冰雹短期预报。从一些文献^[8,49]和一些研究材料¹⁾可以看出:虽然这种动力统计方法能够采用降雹时的同期因子,但是,由于其先决条件是要有数值预报,而目前由数值预报得出的种种物理量大部份是表示大尺度场的物理量,不能抓住中小尺度系统的特点,因此,用这种方法预报冰雹,目前的效果并不很好。加上我国的数值预报业务属于刚刚开始阶段^[50—51],虽然目前投入使用的五层原始方程模式对冬半年西风带形势的预报方面有了一定的使用价值,但由于对低纬度系统和副高预报很差,未嵌套细网格的大网格模式又太粗等原因,使得在今后相当长的一段时间内,还不能向广大基层台站提供建立这种动力统计方法作冰雹短期预报所必须的数据。因此,对我国广大基层台站而言,这种方法目前尚无法普遍开展。

§ 1.3 本书的任务

根据目前国内外冰雹短期预报方法研究的现状和发展趋势,结合我国气象部门的实际情况,一定会提出这样一个实际问题:在没有数值预报提供预报时段内数据的情况下,能不能找到一种新的物理模式,直接使用预报时段前观测值计算的物理参量,近似地代表预报时段内这种模式所依赖的物理量。如果能够找到,那末使用物理模式方法或统计预报方法,再结合

1) 白晔安、苏福庆:北京地区冰雹的预报方法——应用数值预报结果制作冰雹预报,1981年5月北戴河全国冰雹预报技术交流会材料。

天气图，就能使冰雹短期预报水平有一个较大的提高。

针对目前比较流行的物理模式计算的观测时间物理量与预报时段内成雹物理量间不太相关的原因，我们不从冰雹的生成条件出发，而从中小尺度雹暴天气系统能够得到触发的条件出发，设计了一种新的雹暴系统形成的物理模式，并借助于基本动力学方程，对如何反映这个模式所依赖的物理量大小进行了探讨，从理论上总结和归纳了制作淮北冰雹短期预报的三个消空参数，使用点聚图统计预报方法，通过16年（1960—1967，1969—1976）资料的统计，获得了三个消空指标。在安徽省淮北麦收季节（5月27日至6月20日）三年（1977—1979）历史检验和三年（1980—1982）冰雹短期预报实践中，运用这三个消空指标进行消空，并结合一条天气学指标（关键区天气形势）作冰雹短期预报，取得了一定的成功^[52—53]。

本书的任务，就是系统地、全面地向全国有关气象工作者汇报我们所进行的上述工作。

第二章 冰雹资料的收集和整理

§ 2.1 冰雹资料的收集

一份正确、完整、时间又较长的区域降雹历史资料，对于建立一个成功的区域冰雹短期预报工具是必不可少的。然而，在目前情况下，由于大多数国家所设的固定气象测站之间的距离都比较大，而产生冰雹的天气系统又是一种局地性很强的中小尺度天气系统，因此，气象测站的冰雹天气记录往往缺乏代表性，如果仅以气象测站记录为准的话，据估计，大约要漏掉80%的重雹灾。例如，云南省十年间〔1955—1964〕，共出现431县次雹灾，但全省气象测站观测到的（雹块直径大于5毫米，即可能造成雹灾）却只有148县次，仅占实际数的35%^[6]。又如 Beckwith (1960) 报告了在一个协作报告网帮助下得到的1949年至1958年丹佛地区雹暴出现频数的一个分析结果^[54]。这个结果表明：协作报告网的区域频数与天气局报告的单站频数的10年平均值之比为44:10（见表2.1）。由此可见，仅用气象站记录的区域冰雹历史资料来制作区域冰雹短期预报工具是不行的。

为了取得一份比较可靠、完整的区域降雹资料，国内外的—些科研机构通过大量设置测雹自记装置和雇用观测者，建立了一些非常稠密的冰雹报告网^[4, 54—57]。例如美国伊利诺斯州水管所于1968年就建立了一个400平方英里的冰雹观测网，这个观测网设置了196个自记雨量器测雹板装置，100个测雹板，并拥有261个合作冰雹观测者，其中有96个测雹板安排在这个

表2.1 雹日的区域与单站频数的对照

年份	区域雹日数	单站雹日数	区域与单站之比
1949	33	4	8 : 1
1950	23	3	8 : 1
1951	34	9	4 : 1
1952	16	2	8 : 1
1953	21	7	3 : 1
1954	9	4	2 : 1
1955	26	9	3 : 1
1956	13	3	4 : 1
1957	25	6	4 : 1
1958	25	4	6 : 1
总计	225	51	44 : 10*

* 指10年的平均值

观测网中的一个特设的 100 平方英里的加密网内^[55]。又如中国科学院大气物理研究所和山西省昔阳县气象局在当地各级行政、通讯部门的协助和支持下，曾通过昔阳县防雹指挥部，于 1969 年至 1976 年，从分布在全县 20 个公社的各级气象哨、气象组、雨量哨、水文站、各级农科网以及直属的八个高炮作业点和相当数量的土炮作业点那儿，记录并收集了一份比较完整的昔阳县历史降雹资料。这份资料包括各次降雹天气的降雹日期、地点、时间、强度及受灾面积¹⁾。

然而，由于建立一个稠密的冰雹观测报告网需要动用相当多的人力、物力和财力，加上观测报告网只能报告观测网存在时的冰雹资料，观测网建立前和撤消后的冰雹历史资料就无法获得。因此，对我国绝大部分基层台站而言，任何企图通过

1) 中国科学院大气物理研究所、昔阳县气象局，昔阳县防雹效果统计检验，全国人工影响天气科技大会，1978 年 2 月。

建立稠密的冰雹观测报告网来获得一份正确、完整、时间又较长的区域冰雹历史资料的方案都是不太现实的。这种冰雹资料收集方法只能为科研机构为了研究的目的是在小范围、短时间内采用。

针对气象测站降雹记录缺乏代表性这个问题，从实际可能的条件出发，依靠各级党、政部门和广大人民群众的支持和协助，通过调查、访问、收集而获得比较完整的冰雹历史资料，是我国许多地区的气象人员所采用的方法^[2-3, 58]。从目前了解到的许多情况看：比较可取的，适合于广大基层台站使用的冰雹资料收集方法是：把正规记录〔包括气象台站、气候站、气象哨（组）、水文站、雨量站点的冻雹实测记录〕、非正规记录（包括各级民政、水利、科研等部门编写的“县志”、“档案”、“防汛简报”、“灾情报告”等材料上记载的降雹情况）和通过大规模调查访问得来的冰雹材料综合起来，组成一份时间比较长，既包括降雹日期又包括降雹地点的区域降雹历史资料。例如，安徽省气象台情报组就根据：

（1）安徽省各地气象台站的观测记录及历年来全省气象工作者深入农村调查、收集到的材料；

（2）录自安徽省有关部门编写的各种“汇报”、“简报”、“报告”；

（3）摘自安徽省农学院农业气象组依据广大学生的调查研究结果而汇编的《安徽降雹史料简编》¹⁾；

整理和汇编了1951年至1976年的一份包括降雹日期和降雹地点的相当完整的安徽省降雹历史资料²⁾。

需要指出的是：虽然这种冰雹资料的收集方法比较简便，适合于广大基层台站使用，但所收集到的冰雹历史资料通常是

1) 安徽省农学院农业气象组，安徽降雹史料简编，1977年2月油印本。

2) 安徽省气象台情报组，安徽省冰雹资料汇编，1977年12月铅印本。