

气象灾害丛书

BINGBAO ZAIHAI

冰雹灾害

段英 主编



气象出版社
China Meteorological Press



中华人民共和国自然资源部

中国地质调查局

地质研究所

冰雹灾害

冰雹灾害

王 强 著



气象灾害丛书

冰雹灾害

段英 主编



气象出版社
China Meteorological Press

内容简介

本书共计七章:第1章概述了国内外有关人工防雹科学技术的形成、发展与实践过程;第2章介绍了冰雹的基本特征、降雹的时空分布规律等;第3章论述了冰雹云和冰雹形成机理、宏微观特征及演变规律;第4章介绍了冰雹的预警预报和国内外有关新技术在该领域中的应用;第5章结合世界范围人工防雹技术的应用与发展,介绍了我国人工防雹的总体布局、技术系统建设和对应的防御措施;第6章介绍了冰雹灾害评估和应急响应措施;第7章对冰雹灾害特征及历史上重大灾例进行了简要介绍。本书可供气象,农业,生态环境保护人员参考,也可作为广大民众和青少年的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

冰雹灾害/段英主编. —北京:气象出版社,2009.3

(气象灾害丛书)

ISBN 978-7-5029-4723-1

I. 冰… II. 段 III. ①雹—基本知识 ②雹—气象灾害—
灾害防治 IV. P426.64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 031392 号

Bingbao Zaihai

冰雹灾害

段 英 主编

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街46号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

总 策 划:陈云峰 成秀虎

责任编辑:李太宇

封面设计:燕彤

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:700 mm×1000 mm 1/16

字 数:160千字

版 次:2009年3月第1版

印 数:1~6000

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxchs@263.net

终 审:纪乃晋

责任技编:吴庭芳

印 张:9

印 次:2009年3月第1次印刷

定 价:21.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

丛书编辑委员会成员

主 任：秦大河

副 主 任：许小峰 丁一汇

成 员（按姓氏笔画排列）：

马克平 马宗晋 王昂生 王绍武 卢乃锰 卢耀如
刘燕辉 宋连春 张人禾 李文华 陈志恺 陈联寿
林而达 黄荣辉 董文杰 端义宏

编写组长：丁一汇

副 组 长：宋连春 矫梅燕

评审专家组成员（按姓氏笔画排列）

丁一汇 马宗晋 毛节泰 王昂生 王绍武 王春乙 王根绪
王锦贵 王馥棠 卢乃锰 任阵海 任国玉 伍光和 刘燕辉
吴 兑 宋连春 张小曳 张庆红 张纪淮 张建云 张 强
李吉顺 李维京 杜榕桓 杨修群 言穆弘 陆均天 陈志恺
林而达 周广胜 周自江 徐文耀 陶诗言 梁建茵 黄荣辉
琚建华 廉 毅 端义宏

丛书编委会办公室成员

主 任：董文杰

副 主 任：翟盘茂 陈云峰

成 员：周朝东 张淑月 成秀虎 顾万龙 张 锦
王遵娅 宋亚芳

冰雹灾害

主 编 段 英

编写组人员 段 英 许焕斌 吴正华
王致君 郭迎春 刘海月

序

据世界气象组织统计，全球气象灾害占自然灾害的86%。我国幅员辽阔，东部位于东亚季风区，西部地处内陆，地形地貌多样，加之青藏高原大地形作用，影响我国的天气和气候系统复杂，我国成为世界上受气象灾害影响最为严重的国家之一。我国气象灾害具有灾害种类多，影响范围广，发生频率高，持续时间长，且时空分布不均匀等特点，平均每年造成的经济损失占全部自然灾害损失的70%以上。随着全球气候变暖，一些极端天气气候事件发生的频率越来越高，强度越来越大，对经济社会发展和人民福祉安康的威胁也日益加剧。近十几年来，我国每年受台风、暴雨、冰雹、寒潮、大风、暴风雪、沙尘暴、雷暴、浓雾、干旱、洪涝、高温等气象灾害和森林草原火灾、山体滑坡、泥石流、山洪、病虫害等气象次生和衍生灾害影响的人口达4亿人次，造成的经济损失平均达2000多亿元。2008年，我国南方出现的历史罕见低温雨雪冰冻灾害，以及“5·12”汶川大地震发生后气象衍生灾害给地震灾区造成的严重人员伤亡和财产损失，都说明进一步加强气象防灾减灾工作的极端重要性和紧迫性。

党中央国务院和地方各级党委政府对气象防灾减灾工作高度重视。“强化防灾减灾”和“加强应对气候变化能力建设”首次写入党的十七大报告。胡锦涛总书记在2008年“两院”院士大会上强调，“我们必须把自然灾害预报、防灾减灾工作作为事关经济社会发展全局的一项重大工作进一步抓紧抓好”。在中央政治局第六次集体学习时，胡锦涛总书记再次强调，“要提高应对极端气象灾害综合监测预警能力、抵御能力和减灾能力”。国务院已经分别就加强气象灾害防御、应对气候变化工作做出重大部署。在2008年全国重大气象服务总结表彰大会上，回良玉副总理指出，“强化防灾减灾工作，是党的十七大的战略部署。气象防灾减灾，关系千家万户安康，关系社会和谐稳定，关系经济发展全局。气象工作从来没有像今天这样受到各级党政领导的高度重视，

从来没有像今天这样受到社会各界的高度关切，从来没有像今天这样受到广大人民群众的高度关心，从来没有像今天这样受到国际社会的高度关注。这既给气象工作带来很大的机遇，也带来很大的挑战；既面临很大压力，也赋予很大动力，应该说为提高气象工作水平创造了良好条件”。

我们一定要十分珍惜当前气象事业发展的良好环境，紧紧抓住气象事业发展的难得机遇，深入贯彻落实科学发展观，牢固树立“公共气象、安全气象、资源气象”的发展理念，始终把防御和减轻气象灾害、切实提高灾害性天气预报预测准确率作为提升气象服务水平的首要任务。面对国家和经济社会发展对加强气象防灾减灾工作的迫切需求，推进防灾减灾工作快速发展，做到“预防为主，防治结合”，很有必要编写一套《气象灾害丛书》，从不同视角吸收科学、社会以及管理各方面的研究成果，就气象灾害的发生、发展、监测、预报和预防措施，普及防灾减灾知识，提高防灾减灾的效益，为我国防灾减灾事业、构建社会主义和谐社会做出贡献。

2003年中国气象局组织编写出版了《全球变化热门话题丛书》，主要立足宣传和普及天气、气候与气候变化所带来的各方面影响以及适应、减缓和应对的措施。这套书的出版引起了很大反响，拥有广大的读者群。《气象灾害丛书》是继《全球变化热门话题丛书》之后，中国气象局组织了有关部委、中科院和高校的气象业务科研人员及相关行业领域的灾害研究专家，编写的又一套全面阐述当今国内外气象灾害监测、预警与防御方面最新技术成果、最新发展动态的科学普及读物。《气象灾害丛书》分21分册，在内容上开放地吸收了不同部门、不同地区和不同行业在气象灾害和防御方面的研究成果，体现了丛书的系统性、多学科交叉性和新颖性。这对于进一步提高社会公众对气象灾害的科学认识，进一步强化减灾防灾意识，指导各级部门和人民群众提高防灾减灾能力、有效地为各行业从业人员和防灾减灾决策者提供参考和建议都具有重要意义。同时，根据我国和全球安全减灾应急体系建设这一大学科的要求，“安全减灾应急体系”共有100多部应写作的书籍，《气象灾害丛书》的出版为逐步完善这一科学体系做出了贡献。

在本套丛书即将出版之际，谨向来自气象、农业、生态、水文、地质、城乡建设、交通、空间物理等多方面的作者、专家以及工作人员表示诚挚的感谢！感谢他们参与科学普及工作的高度热忱以及辛勤工作。

郑国光

编著者的话

通过两年的努力,《气象灾害丛书》终于编写完毕。丛书由 21 册组成,每一册主要介绍一个重要的灾种,整个丛书基本上将绝大部分气象以及相关的衍生灾害都作了介绍,因而是一套关于气象灾害的系统性丛书。参加此丛书编写的专家有 200 位左右,他们来自中国气象局、中国科学院、林业部和有关高等院校等部门。他们在所编写的领域中不但具有丰硕的研究成果,而且也具有丰富的实践经验,因而,丛书无论是从内容的选材,还是从描述和写作方式等方面都能保证其准确性和适用性。编写组在编写过程中先后召开了六次编写工作会议,各分册主编和撰稿人以高度负责的态度和使命感热烈研讨,认真听取意见和修改,使各册编写水平不断提高,从而保证了丛书的质量。另外,值得提及的是,丛书交稿之前,又请了 46 位国内著名的院士、专家和学者进行了评审。专家们一致认为,《气象灾害丛书》是一套十分有用、有益和十分必要的防灾减灾丛书。它的出版有助于政府、社会各部门和人民群众对气象灾害有一个全面、深入的了解与认识,必将大大提高全民的防灾减灾意识。丛书的内容丰富、全面、系统、新颖,基本上反映了国内外气象灾害的监测、预警和防御方面的最新研究成果和发展动态,可以作为各有关部门指导防灾减灾工作的科学依据。

在丛书包括的 21 个灾种中,除干旱、暴雨洪涝、台风、寒潮、低温冷害、冰雪等过去常见的气象灾害外,丛书还包括了近一二十年新出现的或日益受到重视的新灾种,如霾、生态气象灾害、城市气象灾害、交通气象灾害、大气成分灾害、山地灾害、空间气象灾害等。这些灾害对于我国迅速发展的国民经济已越来越显示出它的重大影响。把这些灾害包括在丛书中不但是必要的,而且也是迫切的。另外,通过编写这些书,对这些灾种作系统性总结,对今后的研究进展也有推动作用。

为了让读者对每一种灾害都获得系统而正确的科学知识以及了解目前最

新的防灾减灾技术、能力和水平,编写组要求每一册书都要做到:(1)对灾害的观测事实要做全面、正确和实事求是的介绍,主要依据近 50 年的观测结果。在此基础上概括出该灾种的主要特征和演变过程;(2)对灾害的成因,要根据大多数研究成果做科学的说明和解释,在表达上要深入浅出,文字浅显易懂,避免太过专业化的用语和用词;(3)对于灾害影响的评估要客观,尽可能有代表性与定量化;(4)灾害的监测和预警部分在内容上要反映目前的水平和能力,以及新的成就。同时要加强实用性,使防灾减灾部门和人员读后真正有所受益和启发;(5)对每一灾种,都编写出近 50 年(有些近百年)国内重大灾害事件的年表,简略描述出所选重大灾害事件发生的时间、地点、影响程度和可能原因。这个重大灾害年表对实际工作会有重要参考价值。

在丛书编写过程中,所有编写者亲历了 1 月发生在我国南方罕见的低温雨雪冰冻灾害和“5·12”汶川大地震。在全国可歌可泣的抗灾救灾精神的感召下,全体编写人员激发了更高的热情,从防大灾、防巨灾的观念重新审视了原来的编写内容,充分认识到防灾减灾任务的重要性、迫切性和复杂性。并谨以此丛书作为对我国防灾减灾事业的微薄贡献。

丛书编写办公室与编写组专家密切配合,从多方面保证了编写组工作的顺利完成,在此也表示衷心感谢。另外,由于这是一套科普丛书,受篇幅所限,各册文中所引文献未全部列入主要参考文献表中,敬请相关作者谅解。

编写组长 丁一汇

2008 年 10 月 21 日于北京

前言

众所周知，冰雹和雨、雪一样都是在云中形成并下降的，只不过生成冰雹的云是一种发展十分强盛的积雨云，而且只有发展特别旺盛的积雨云才可能降冰雹。

在云型的分类研究中，冰雹云被归属于积雨云类。一般积雨云可能产生雷阵雨；发展特别强盛的积雨云，云体十分高大，云中有强烈的上升气流，云内有充沛的水分，才会产生冰雹，这种云通常又称为冰雹云。由于冰雹云常常造成比较严重的自然灾害，对人类的生产、生活以及社会的发展构成威胁，所以，研究冰雹的形成、降落以及致灾规律，进而进行防御，一直是人们非常重视的问题。

受自然环境与天气背景条件所影响，中国是冰雹灾害频繁发生的国家。冰雹每年都给农业、建筑、通讯、电力、交通以及人民生命财产带来巨大损失。尤其是山区及丘陵地区，地形复杂，天气多变，冰雹多，受害重，对农业危害很大，猛烈的冰雹打毁庄稼，损坏房屋，人被砸伤、牲畜被打死的情况也时有发生。因此，冰雹是我国严重的自然灾害之一。据有关资料统计，我国每年因冰雹所造成的经济损失达几亿元甚至几十亿元。

我国是世界上实施人工防雹作业较早的国家之一。由于我国雹灾严重，所以防雹工作得到了人民群众和政府的重视和支持。目前，我国绝大部分地区都已经建立了具有现代科学技术水平的冰雹观测、预警、预报以及人工防雹作业体系。实践证明，减灾效益显著。目前实施人工防雹的主要技术手段包括：采用火箭、高炮或飞机作为发射或者运载工具，把碘化银、干冰等人工催化剂送到冰雹云的适当部位，影响冰雹的形成；采用催化剂发生器装置，在地面把碘化银等催化剂在冰雹云形成以前送到云中，让这些物质在雹云里起雹胚作用，使雹胚增多，“争食”云中水分，抑制雹胚增长，使雹块不至于长大，达到防雹增雨的目的。

本书属于气象灾害高级科普丛书中的一个分册。全书共计七章，内容包括：第1章，绪论，主要概述了国内外有关人工防雹科学技术的形成、发展与实践过程。第2章，主要介绍了冰雹的基本特征、降雹的时空规律等科学知识。第3章，论述了冰雹云和冰雹形成机理、宏微观特征及演变规律。第4章，介绍了冰雹的预警预报和国内外有关新技术在该领域中的应用。第5章，结合世界范围人工防雹技术的应用与发展，介绍了我国人工防雹的总体布局、技术系统建设和对应的防御措施。第6章，主要介绍冰雹灾害评估和应急响应的内容，包括冰雹灾害风险评估、信息收集上报以及灾害发生后的应急响应措施。第7章，对冰雹灾害特征及历史上重大灾例进行了简要介绍，比较详细地描述了过去几十年以来，发生在我国不同地区的重要冰雹灾害事件，并包含大量翔实的数据资料。

本书由大气科学及人工影响天气领域的多位专家共同编写而成。其中前言、第1、第5章由段英编写；第2章由吴正华编写；第3章由许焕斌编写；第4章由王致君编写；第6章由刘海月、吴正华、段英、王致君编写；第7章由郭迎春、刘海月编写。河北省人工影响天气办公室姜岩、宋惠英同志协助完成了部分书稿和表格的初步编辑工作。在此基础上，段英、许焕斌完成了对全书的统稿工作。段英作为本书的第一主笔，还承担了编写过程中的组织协调和技术统筹工作。

中国气象局预测减灾司、国家气候中心、《气象灾害丛书》编委会的领导、专家和办公室对本书的编写给予了精心的组织与指导。王昂生、毛节泰、刘燕辉、张纪淮对书稿的修改提出了宝贵意见。本书在编写过程中，还得到了编写人员所在单位领导的大力支持。对此，作者深表衷心感谢！

作者

2008年6月于石家庄

目 录

序

编著者的话

前 言

第 1 章 绪论	1
1.1 冰雹灾害及人工防雹	1
1.2 人工防雹理论及学科发展概况	3
第 2 章 冰雹及其时空分布	6
2.1 冰雹观测	6
2.2 冰雹致灾因素	10
2.3 降雹的空间分布和时间变化	12
第 3 章 冰雹云和冰雹形成机理及演变规律	21
3.1 冰雹云的类型及宏观特征	21
3.2 冰雹的微观结构	30
3.3 冰雹的成雹机理	31
3.4 冰雹形成的新概念模型	36
3.5 雷电与冰雹云	37
第 4 章 冰雹的监测预警和预报	38
4.1 冰雹天气的监测	38
4.2 国内外冰雹预报技术发展概况	41

4.3 冰雹临近预报及业务系统	48
第5章 冰雹防御及人工防雹技术	50
5.1 人工防雹科学技术的发展概况	50
5.2 我国人工防雹业务布局	56
5.3 人工防雹工程设施的建设	63
5.4 防雹效益的评估	71
第6章 冰雹灾害评估和应急响应	76
6.1 冰雹灾害风险评估	76
6.2 冰雹灾害信息收集上报和灾情评估	80
6.3 冰雹灾害的应急响应	85
第7章 冰雹灾害特征及历史上重大灾例	91
7.1 雹灾及其危害	91
7.2 伴生灾害	99
7.3 历史上重大灾例简介	100
参考文献	130

第1章

绪 论

1.1 冰雹灾害及人工防雹

冰雹灾害是由强对流天气系统引起的一种严重的气象灾害。在世界范围内,冰雹具有明显的地域和季节分布特征。冰雹是否会造成灾害,不仅与雹块大小、积雹密度、降雹范围和降雹的持续时间有关,而且还与被冰雹袭击地区的下垫面特征、雹击物体性质、状况有关。

我国是受季风气候影响冰雹灾害多发的国家。由于降雹季节正是我国绝大部分地区的农作物生长关键时期,所以,冰雹对我国农业生产的危害很大,尤其对国家粮食安全生产构成明显的威胁。

一次范围较大、强度较强的降雹,常常伴随着狂风、强降水、急剧降温等阵发性极端灾害性天气过程。近些年来,随着我国经济社会的快速发展,城市化的不断扩大和工业生产的迅速发展,我国近些年来发生的冰雹灾害不仅给农业带来严重的损失,而且对建筑、通讯、电力、交通也造成很大危害。据有关资料统计,我国每年因冰雹所造成的经济损失达几亿元甚至几十亿元。

据安徽省灾害性天气年鉴资料,1972年4月18日,安徽安庆、巢湖等地区30余个县市遭大风、冰雹、暴雨袭击,风力最大11~12级,一般8~10级,持续时间一般10 min左右,最长达79 min;雨量一般30 mm,最大60 mm;冰雹大似拳头、鸡蛋,小如核桃、蚕豆。安庆地区的棉花、油菜、夏季作物受灾面积0.51万 hm^2 ,损失红芋200 t,稻种1920 t;巢湖地区刮坏房屋120.52万间,倒塌10.17万间,死33人,伤2273人。

根据中央气象台冰雹档案资料:1980年6月26—27日,浙江全省9个地区26个市县都出现了冰雹、狂风和暴雨。冰雹直径最大的在5 cm以上,一般有2 cm左右;有的地方每平方米降雹50余个;降雹持续时间约10 min左右;普遍刮8~10级大风,部分地区有11~12级或12级以上大风。在这次

冰雹、大风和暴雨的袭击中，损失较大的有肖山、余杭、海宁、海盐、桐乡、余姚、慈溪、定海、普陀、岱山、镇海 11 个县和省农垦系统的 4 个农场，死亡 151 人，伤 262 人，下落不明 23 人；各种农作物受灾约 6 万 hm^2 ；倒塌房屋 2844 间，损坏房屋 11882 间；倒断电杆 1 万余根；损坏、沉没渔船、农船 326 条；水利设施也受到破坏。

据新京报报道，2005 年 5 月 31 日，罕见鸡蛋大小的冰雹突袭北京，持续时间十几分钟，万辆小车遭损。另据北京市民政局统计，这次冰雹使北京受灾的地区有门头沟、通州、大兴、房山、平谷和怀柔，其中以房山和大兴最为严重，全市农作物受灾面积达 13374 hm^2 ，受灾人口 87666 人，造成直接经济损失 4815.5 万元。

减少或者减轻由于自然界冰雹对人类生存和生产造成的损失和危害，是千百年来人民群众的良好愿望。据记载，我国群众自发的民间人工防雹活动可追溯到 14 世纪后半叶。17 世纪（1648—1695）在《广阳杂记》中曾记载过甘肃的防雹情况为“夏 5—6 月间，常有风暴起，黄云自山来，必有冰雹。土人见黄云起，则鸣金鼓，以枪炮向云施放，即散去”。

包括我国在内世界范围的现代人工防雹的历史仅仅只有几十年。具有现代技术的人工防雹活动与相应的科学技术水平发展有着密切的联系。现代人工防雹，其显著特征是，在开展防雹前就要对冰雹云的特征、形成机制、降雹规律有比较清楚的了解，而且要求对冰雹云的发生、发展及其运动情况，能够利用比较先进的探测手段进行实时跟踪监测。在此基础上进行科学设计和作业。在进行作业过程中，应重视作业方法、作业技术的科学实施。

自 20 世纪 50 年代末期以来，我国才真正进入有组织的现代人工防雹时代。河北、山东、山西、河南、甘肃、青海、宁夏、四川、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、湖北、湖南、北京、天津、陕西、安徽、新疆、云南、贵州、西藏等 20 多个省、市、自治区陆续开展了人工防雹工作。但是，较早时期部分地区开展的防雹较多属于试验性的，作业工具比较落后，主要采用的是土炮、土火箭，作业的总体科技水平和经济社会效益受到相当大的限制。

进入 20 世纪 80 年代初期，随着世界范围内人工影响天气和相关领域的科学技术和对冰雹云探测技术的发展，以及防灾减灾的迫切需要，我国的人工防雹工作得到了很快的发展。作业工具已由原来的土炮、土火箭完全发展为采用“三七”高炮，1990 年后还陆续研制了用于人工防雹作业的多种新型火箭发射系统。据有关资料，截止到 2005 年，在我国已有 28 个省、自治区、

直辖市、计划单列市以及新疆生产建设兵团开展高炮、火箭人工防雹作业，防护面积达 42 万 km^2 。

进入 21 世纪以来，随着全球范围内大气科学与相关科学技术的迅速发展，我国的人工防雹工作不断深入，推动了我国人工影响天气总体科技水平的明显提高，作业效果也得到了显著的提高，在防灾减灾，促进经济社会可持续发展方面取得了重要成绩，获得了十分显著的经济社会效益。

冰雹灾害属于气象灾害范畴。气象防灾减灾关系千家万户，关系社会稳定，关系国家发展大局。近年来，我国政府更加重视气象灾害的防御，并由国家有关部门制订了相应的发展规划与具体实施措施。总体思路是：利用现代科学技术手段，加强气象灾害的监测和预报，大力开展气象灾害及其冰雹灾害防御工作；加强灾害防御体系的建立与完善；坚持以防为主、防避救相结合的原则，加快完善政府统一领导、气象部门组织实施、相关部门协作配合、全社会共同参与的人工影响天气防灾减灾体系。

1.2 人工防雹理论及学科发展概况

包括人工防雹在内的人工影响天气的科学理论是基于早期关于云与降水物理学研究成果发展起来的。1933 年，挪威气象学家贝吉隆（Bergeron）在前人研究的基础上，提出并确立了冰水混合云的降水理论，即“冰水转化”过程的理论，后来被其他学者称之为“贝吉隆过程”。从此，揭示了现代云物理和人工影响天气研究及应用的序幕。

“贝吉隆过程”可以简单地描述为：由于大气中存在许许多多的气溶胶悬浮微粒，它们在成云致雨过程中扮演着重要的角色，即在一定的云物理条件下，其中部分核化后成为云中小水滴的凝结核或者小冰晶的冻结核。因此在冰水共存的混合自然云中就有冰晶与过冷水滴同时并存的事实，如果云中实际水汽压 E 介于冰面饱和水汽压 (E_i) 与水面饱和水汽压 (E_w) 之间，即 $E_w > E > E_i$ ，这时，云中水滴将蒸发而逐渐变小，而冰晶则将升华而逐渐长大，亦即水将不断地自水滴向冰晶转移，这就是“冰—水转化”过程。当冰晶进一步长大，下降到暖区融化而降落为雨，即完成了贝吉隆提出的“冰—水转化”过程。后来，人们通过大量的观测事实发现，云中常常有大量的过冷水而相对缺少冰晶的现象存在，由此导致自然降水过程缓慢或者不够充分。因此，研究和寻找人工冰核，进而对云进行人为干预和影响、促进云与降水形成的科学概念随之建立起来。