

北京冰雹微物理结构与 人工影响冰雹云研究

张 薈 康玉霞 刘力威 等编著
刘 丰 赵淑艳 郭恩铭



气象出版社

北京冰雹微物理结构 与人工影响冰雹云研究

张 菁 康玉霞 刘力威 等编著
刘 丰 赵淑艳 郭恩铭

气象出版社

内容简介

本书对北京地区雷雨云、冰雹云的分布,天气过程,雷达探测的冰雹云回波特征和冰雹微物理结构进行了系统、全面的分析。进而总结出了北京地区冰雹云的三种类型、识别指标及其演变规律。书中还介绍了强对流云垂直气流、含水量和降雹的典型模式,人工影响冰雹云的催化、技术方法、统计检验及其三维数值模拟等最新研究成果。

本书可供防灾、减灾人员,人工影响天气工作者,气象、农业、水文等工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

北京冰雹微物理结构与人工影响冰雹云研究/张蔷等
编著. —北京:气象出版社,2005.2

ISBN 7-5029-3922-9

I. 北... II. 张... III. 雹-研究-北京市
IV. P426.64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 010708 号

北京冰雹微物理结构与人工影响冰雹云研究

张 蔷 康玉霞 刘力威 刘 丰 赵淑艳 郭恩铭等编著

责任编辑:吴庭芳 李太宇 终审:章澄昌

封面设计:索彼工作室 责任技编:吴庭芳

* * *

气象出版社出版

<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcs@263.net

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081 电话:62176428)

北京金瀑印刷有限责任公司印刷

气象出版社发行

开本:850×1168 1/32 印张:4.5 字数:110 千字 彩图:4

2005 年 2 月第一版 2005 年 2 月第一次印刷

定价:12.00 元

ISBN 7-5029-3922-9/P·1394



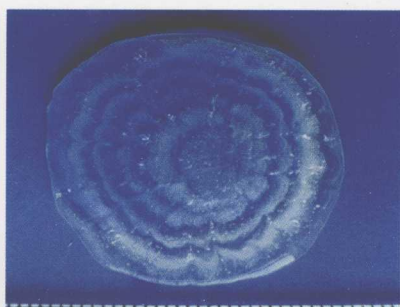
彩图 1 冰雹 (1982 年 7 月 14 日 19 : 50 拍摄于国家气象局大院內)



彩图 2 冰雹 (2000 年 5 月 17 日 12 : 50 拍摄于顺义牛栏山)

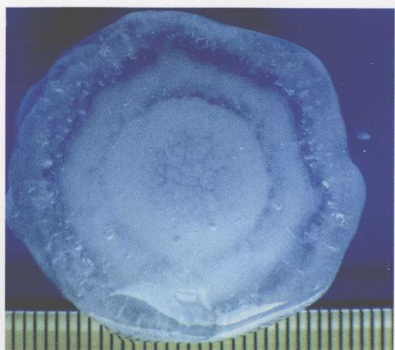


(a)

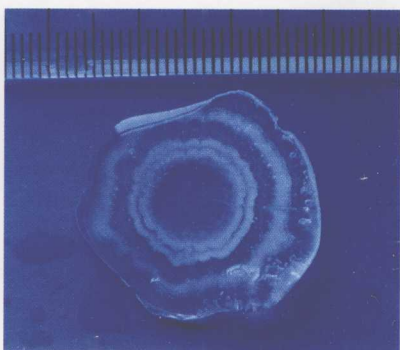


(b)

彩图 3 2001 年 7 月 25 日在北京昌平降落的冰雹
(a) 落地的冰雹；(b) 落地冰雹切片，雹胚是霰粒



(a)

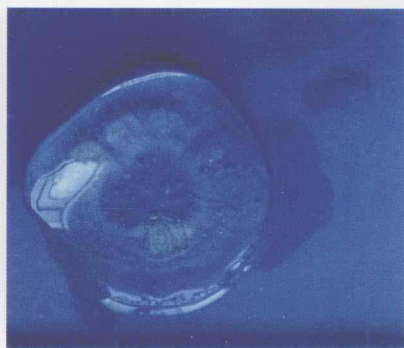


(b)

彩图 4 (a) 落地的冰雹；(b) 落地冰雹切片，雹胚是冻滴



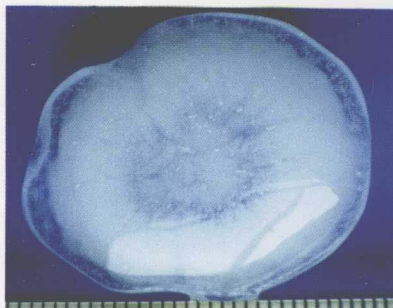
(a)



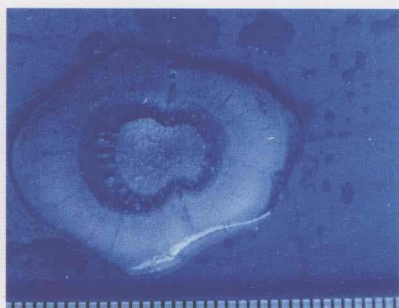
(b)

彩图 5

(a)落地的冰雹；(b)落地的冰雹切片，雹胚是两个冻滴碰并而成



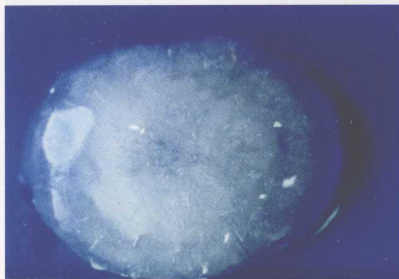
(a)



(b)

彩图 6

(a)落地的冰雹；(b)落地的冰雹切片，雹胚是两个霰粒碰并而成



(a)



(b)

彩图 7

(a)落地的冰霰；(b)落地的冰霰切片，霰胚是一个霰粒和冻滴碰并而成



(a)



(b)

彩图 8

(a)落地的冰霰切片，霰胚是一个霰粒和一个冻滴碰并而成；(b)落地的冰霰切片，偏振光的照片，霰为小粒状，冻滴为冰晶体长条形

前 言

北京市地处华北平原北端,三面环山,地势西北偏高,仅城区和东南郊区为平原地带。

北京气候的特点是暖温带半湿润、半干旱季风气候,历年春末至秋初期间,每当强冷空气越过北京地区时,常常伴随着不稳定对流天气,出现雷雨大风和冰雹,给郊区农业生产和城市造成了较大的损失。

北京市从 1973 年开展高炮人工防雹试验,在每年春末至秋初季节进行人工防雹作业,取得了较好的效果。

在北京气象事业现代化不断发展的同时,北京市气象局一直重视天气雷达的技术更新和实际应用,特别是在人工影响天气试验研究中,天气雷达实时探测资料得到了广泛的应用。书中对多年的北京地区雷雨云、冰雹云雷达回波资料进行了分析研究,得到了雷雨云、冰雹云演变的基本规律,加深了对冰雹云降雹物理过程的认识。根据多年的雷达探测冰雹云回波资料,书中将北京地区冰雹云分为三种类型:单体、多单体和超级单体冰雹云,并给出了冰雹云识别的指标。

在多次冰雹云降雹过程中,我们收集了大量冰雹样本,并进行了冰雹切片分析,研究其微物理结构,发现了多雹胚(核心)的冰雹和两个霰、两个冻滴、一个冻滴和一个霰形成的雹胚,另外,还观测到一个大冰雹内含有 7 个小冰雹的奇特现象。

书中还论述了多年雷达探测检验人工防雹效果和数值模拟人工影响冰雹云的物理过程及效果检验。

书中各章节是由张蔷、康玉霞、刘力威、刘丰、赵淑艳、郭恩铭、王令、李书严、刘玉超、金永利、宛霞等编写。

在编写过程中吴正华研究员提出了宝贵的建议,尤翠敏在编印中给予了大力帮助,谨致以谢意。

本书可供人工防雹作业时应用和研究工作参考。书中如有不当之处,请予指正。

编者

2005 年 1 月

目 录

前言

第一章 雷达探测雷雨云冰雹云	(1)
1.1 北京地区雷雨云分布	(2)
1.2 冰雹云回波特征	(12)
第二章 冰雹云降雹过程	(16)
2.1 1964 年 6 月 24 日降雹过程	(16)
2.2 一次冷涡天气降雹的雷达观测	(21)
2.3 冰雹云降雹和多核冰雹结构的观测	(25)
2.4 1998 年 6 月 18 日的冰雹云降雹的观测	(34)
2.5 雷达探测超级单体冰雹云降雹	(37)
2.6 2000 年 5 月 17 日一次降雹过程	(42)
2.7 一次飑线天气过程降雹的多普勒雷达回波分析	(49)
第三章 冰雹微物理结构	(56)
3.1 冰雹	(56)
3.2 雹胚	(60)
3.3 晶体长度与气泡	(64)
第四章 雷达探测冰雹云回波参量	(67)
4.1 冰雹云回波参量	(67)
4.2 冰雹云回波形态	(69)
4.3 华北地区冰雹云 PPI 回波特征	(72)
第五章 冰雹云分类与识别	(75)
5.1 冰雹云分类	(76)
5.2 冰雹云识别	(79)

第六章 强对流云中垂直气流、含水量和降雹典型模式	(90)
6.1 雷雨云中垂直气流	(90)
6.2 冰雹云中含水量	(92)
6.3 单体冰雹云中冰雹生成、增长和融化的典型模式	(93)
6.4 两个对流云单体合并发展成冰雹云的降雹模式	(95)
6.5 众多粒子回波输送发展成冰雹云的降雹模式	(97)
第七章 人工影响冰雹云	(99)
7.1 人工影响冰雹云的碘化银的特征	(99)
7.2 人工影响冰雹云的碘化银炮弹用量问题	(100)
7.3 人工影响冰雹云效果	(102)
7.4 人工影响冰雹云效果的统计检验	(109)
7.5 冰雹云数值模拟及催化试验	(110)
7.6 冰雹云及其催化的三维数值模拟	(120)

第一章 雷达探测雷雨云、冰雹云

早在 20 世纪 50 年代初期,雷达探测云和降水技术就已迅速发展,并在云、降水物理和人工影响天气试验研究中得到了应用。

电磁波在大气中传播过程中,云、降水粒子对微波有后向散射和衰减作用,测雨(天气)雷达就是利用云、降水粒子对电磁波的后向散射原理探测云、降水强度及其演变过程。

雷达发射出的电磁波,在传波的过程中被云、降水粒子后向散射回来的能量,由雷达接收机接收后,在显示器上出现强度不同的图像,即云、降水回波。

雷达接收能量的多少与发射功率的大小、波长、距离及其它参数有关。常用的测雨雷达方程式为^[1]:

$$P_r = \frac{4P_t A_p^2 \theta_1^2 h \pi^5}{g \lambda^6 R^2 l_{n2}} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \int_0^\infty n(r) r^6 dr \quad (1.1)$$

式中 P_r 是雷达接收功率, P_t 是雷达发射功率, R 是云、降水与雷达站距离, λ 是波长, h 是脉冲宽度, θ_1 是水平波瓣宽度, A_p 是接收天线外口径截面积, $\int_0^\infty n(r) r^6 dr$ 是雷达反射率因子, m 是复折射指数。

从(1.1)式可见,雷达接收散射能量的多少与距离、波长的 6 次方成反比,距离越远,波长越长,接收能量越少。雷达接收的能量与反射率因子成正比,反射率因子越大则回波越强。

测雨雷达通常用来探测云、降水回波强度、高度、移向和移速等参量。

雷达一般配有 PPI(平面)和 RHI(高度)显示器,并将获得的

云、降水回波资料储存在计算机内或用数码相机拍摄等方法储存,以便分析研究雷雨云、冰雹云的基本规律。近年来探测云、降水的雷达已更新换代,有双波长雷达、多普勒雷达、偏振波雷达等,为研究云和降水、人工影响天气提供了非常先进的设备^[33]。

1.1 北京地区雷雨云分布

1.1.1 北京地区及周围地形特征

北京地区出现的雷雨云,冰雹云天气过程,其影响不只限于本市,还与本市周围的河北省、天津市境内的山地、湖泊、河流均有密切关系^[2]。按照北京山地、平原的不同地形,将其分为 A、B、C 三个区域。A 区主要是西南-东北走向的军都山,有海拔 2880 m 的小五台山,海拔 2303 m 的东灵山和位于西北和西部山区的官厅水库和永定河,东北部有怀柔水库和密云水库。B 区是华北平原北部边缘,有潮白河和北运河。C 区是北京东北部,西北-东南走向的燕山区。

1.1.2 雷雨云回波分布

用雷达探测雷雨云历年集中在 6、7、8 三个月来进行。文中以测站半径为 120 km 圆形区域内,1961~1962 年 6、7、8 三个月观测的雷雨云回波资料,分析了雷雨云回波分布与地形的关系。将雷雨云回波中心的黑色圆点,点在回波投影位置,绘制出了雷雨云回波中心分布图(见图 1.1)^[2]。

图 1.1 中,A 区出现雷雨云回波 116 次,占 57%;B 区雷雨云回波出现 61 次,占 30%;C 区雷雨云回波出现 26 次,占 13%。从图 1.1 可看出,雷雨云多出现在山区,特别是小五台山、东灵山、门头沟和易县三角形山区,回波分布较密,这一带是雷雨云降水较多的地区。

在 A 区的西北部官厅水库西侧及库区水面,很少观测到雷雨云回波,但在水库东边延庆高山地区,雷雨云回波点分布较密。这说明水库对雷雨云分布有一定影响。

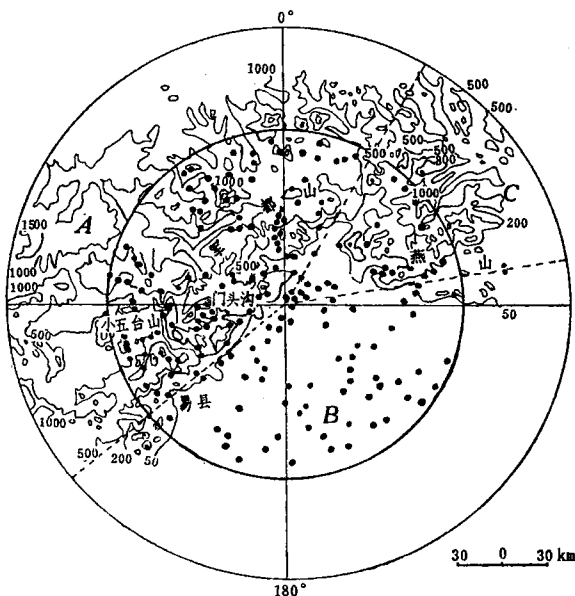


图 1.1 雷雨云回波分布图

平原地区观测雷雨云回波次数也较多。这些雷雨云回波多数是由山区移向平原。从雷达探测的雷雨云回波资料可看出,北京附近平原地区发展起来的雷雨云不多,但在小五台山东南面山区发展起来的雷雨云较多,而且还很旺盛。可见山区地形影响雷雨云的发展起着重要作用。

1.1.3 雷雨云回波出现时间

根据雷达定时与不定时探测雷雨云的回波 114 次资料进行了统计,其结果如图 1.2。

从图 1.2 中可看出,北京市区的雷雨云回波在昼夜各时段均可出现,但多数出现在当天 18~20 时,占 25%;出现较少的时段是在 10~12 时。在图 1.2 中还可看到,12~14 时是出现雷雨云回波较多的时段,这是由于雷达定时开机观测,观测到较多雷雨云回波资料所致。

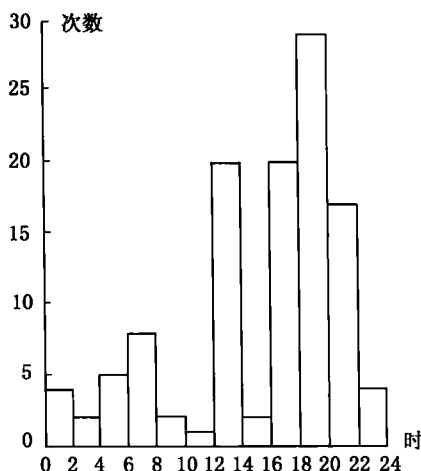


图 1.2 雷雨云出现的时间和次数

1.1.4 天气形势与雷雨云回波分布

雷雨云的形成、发展与天气形势有密切关系。北京夏季常出现冷锋、切变线、气团内部、槽线和飑线越过北京市区而产生雷雨云天气过程。现将五种天气形势出现的 113 次雷雨云天气过程,在不同区域形成的雷雨云回波绘制成图 1.3。

冷锋天气系统越过北京市区时,出现雷雨云有 72 次,多数在 A 区,而在 B、C 两区出现较少。另外,当回波移至本站上空时,三个区都各有一部分,将其归纳为 A、B、C 区,共观测到 13 次。

气团内部雷雨云比冷锋天气形成的雷雨云相对较少,共有 15 次并多出现在 A 区。在高空图上有明显切变线天气的条件下,同样产生雷雨云越过本站,共 12 次。高空图上出现槽线的天气形势出现雷雨云有 8 次,仍是在 A 区较多。飑线越过北京市区时观测到雷雨云次数较少,共 6 次。

从上述不同类型的天气形势越过北京时可看出,雷雨云多数出现在北京西北和西部山区。由此可见雷雨云的形成、发展除主要与

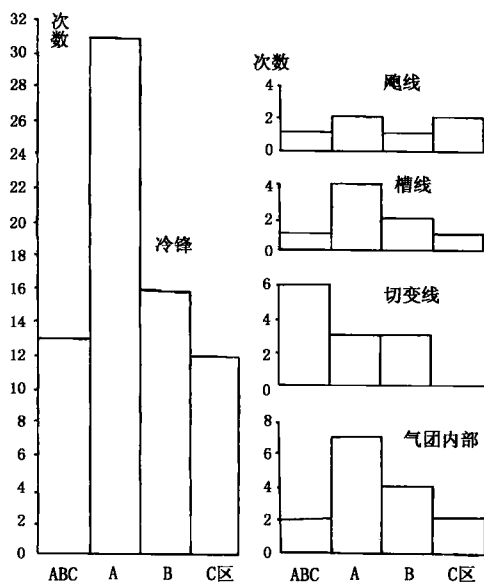


图 1.3 天气形势和雷雨云回波分布

天气系统有密切关系之外,山地的作用也是一个极为重要的因素。

1.1.5 雷雨云回波移向

雷雨云回波由于受气象条件和地形影响,沿着一定方向移动,其中心点的移动方向即雷雨云回波的移向。文中统计和分析了111次连续观测的雷雨云回波移向,将其归纳为6个移向见图1.4。

从图1.4中可看出,由西北山区向东南方向移动的雷雨云回波有36次,但是在山区由于地形的影响,有的回波是从西南向东北方向移动。从西南山区发展起来的雷雨云多数向东或东南方向的平原地区移动。有时也改变方向,向东北方向移动。从西北山区移过来的雷雨云,多数情况下向东北转向,有时也沿山区向东南移动。



图 1.4 雷雨云回波移向

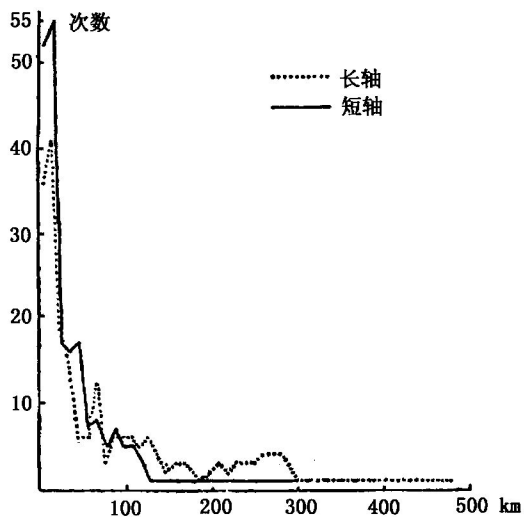


图 1.5 雷雨云回波长短轴次数