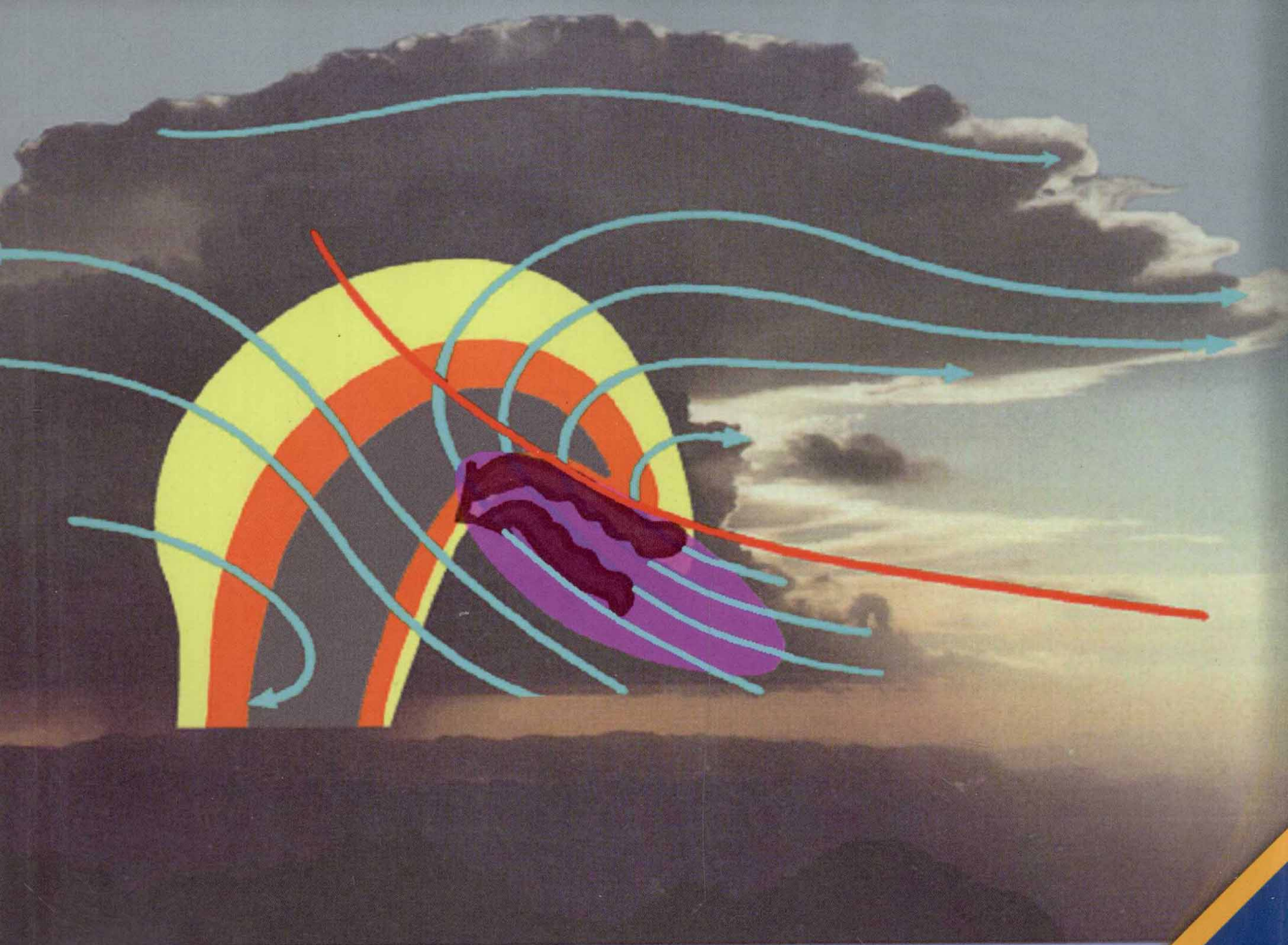




The Physics of Severe Convective Storms and Its Application

强对流云物理 及其应用

许焕斌 著

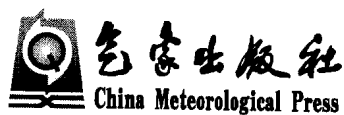


气象出版社
China Meteorological Press

强对流云物理及其应用

The Physics of Severe Convective Storms and Its Application

许焕斌 著



内容简介

雹暴、雨暴、风暴、雷暴等皆属于强对流云物理范畴。本书介绍了强对流云物理的主要观点和近期进展,对一些疑惑问题做了物理解释;论述了强对流云物理在人工影响天气中的防雹、增雨等方面的应用原理,并举例说明了强对流云物理在对流性灾害天气的预报(警)中的应用思路。

本书可供大气物理学、云—降水物理学、中小尺度天气动力学和人工影响天气研究人员,强对流灾害性天气的预报(警)人员、人工影响天气业务人员和有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

强对流云物理及其应用 / 许焕斌著.

— 北京 : 气象出版社, 2012. 10

ISBN 978-7-5029-5586-1

I. ①强… II. ①许… III. ①强对流天气—云物理学—研究

IV. ①P425.8②③P426.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 235767 号

Qiangduiliu Yunwuli Jiqi Yingyong

强对流云物理及其应用

许焕斌 著

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>

责任编辑: 李太宇 张锐锐

封面设计: 博雅思企划

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

字 数: 600 千字

版 次: 2012 年 10 月第一版

印 数: 1~2200 册

邮政编码: 100081

发 行 部: 010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审: 黄润恒

责任技编: 吴庭芳

印 张: 22.25

彩 插: 1

印 次: 2012 年 10 月第一次印刷

定 价: 68.00 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。

序

过去的教科书一般是把云雾物理和中小尺度气象学分开的。前者主要阐述云的微物理过程,而后者主要阐述与中小尺度天气系统密切相关的强风暴动力学。后来,把云微物理和动力学过程逐步结合起来,形成了积云动力学和强风暴动力学。许焕斌教授撰写的这本书则把天气学—动力学—云降水物理学融为一体,从一个新的微观和宏观相结合的视野阐述了强对流风暴形成的微物理和动力学条件,两者缺一不可,都是强对流风暴形成的必要基础。这样做,不但从理论上能够更加深入地认识强对流风暴生成的条件、过程和机理,而且也为理论的应用即防雷增雨作业找到更为关键的影响过程和部位。这也要求今天从事云雾物理和人工影响的学者和专家必须具备这两方面的知识。本书是读者获得这两方面知识的一个简明而实用的读本。它在国内的类似专著中独具特色。

本书的另一特色是观测—分析和诊断—数值模拟—理论的有机结合。作者多年来在这四个方面都作出了重要的成果,尤其在雹云的分析诊断和数值模拟方面。本书是作者多年研究和实践的结晶,其针对性和实用性都很强。工作在第一线的人工影响天气工作者不但由此可以增强理论知识,而且可以获得有益的作业、效果检验和预警方面的指导。

与强对流风暴有关的人工影响作业与预报和预警是密切相关的。但是强对流风暴的预报是气象学中的一个难题,目前预报水平较低、时效很短。尤其是在气候变化背景下,强对流风暴发生、发展和移动的条件、动力过程和相关的云物理原理都在变化。另外,人类活动的影响(如气溶胶排放,城市化效应等)也日益显现出来,这些都为认识强对流风暴的原理增加了复杂性。因而,这对从事此方面的专家是一个很大的挑战。我相信,许焕斌教授的这本新版专著一定可为迎接这种挑战中的学者和业务人员,提供十分有益的帮助。

丁一记

(中国工程院院士,研究员)

2012年8月1日于中国气象局

前 言

我国自 1996 年在全国开始组建多普勒天气雷达网(CINRAD, 新一代天气雷达)以来, 已有 172 部多普勒天气雷达投入业务使用。天气雷达网的建成极大地提高了对重大灾害性天气的监测预警能力。为了充分发挥雷达建设的效益, 在雷达硬件建设的过程中, 于 2006 年 10 月又正式启动了“新一代天气雷达建设业务软件系统开发”(ROSE)项目。该项目分为一期和二期建设两个阶段, 前一阶段的一期项目工程已经完成, 后一阶段的二期工程项目“2011—2015 年总体实施方案”也已制定完成并批复执行。

新一代天气雷达业务软件系统, 实质上是把雷达与大气科学相耦合, 把相关的理论、观测、实验、算法和业务经验精华融合成一个完整的体系, 再利用最先进的资料处理和信息提取技术, 集成为可以实时掌握复杂天气系统演变的智能化平台, 它是相关领域科技成果的集成。由此可见, 提升软件系统的科技水平和强化其功能决不仅仅是一个技术问题, 也不可不重视对相关领域最新理论成果的了解和应用, 它必须得到新的理论的支撑。

《强对流云物理及其应用》一书, 尝试着把天气学—动力学—云降水物理学融为一体, 不仅可从理论上更加深入地认识强对流风暴生成的条件、过程和演变特征, 也可为理论的应用提供一些新的思路。再者, 本书还把观测—分析和诊断—数值模拟—理论有机地结合起来, 对一些事例给出了强对流云物理具体应用的方法, 有着较强的目的性和实用性, 相信这对其在雷达业务软件系统上的理论应用是有启发的。

为此, 把该书作为实施 ROSE 项目二期“2011—2015 年总体实施方案”的理论参考的一部分, 项目支持和资助了本书的出版。

李 柏

(ROSE 项目负责人 研究员级高级工程师)

2012 年 8 月 31 日

《雹云物理与防雹的原理和设计》

序 一

我国是一个多雹灾的国家,人工防雹很需要,而雹云物理是防雹的科学基础。鉴于冰雹云是属于中小尺度现象,一般的常规观测手段难以去了解它的结构和演变,需要组织综合探测。虽然我国目前尚未组织和实施过这类专门项目,但在实际观测和分析中已发现了我国的雹云结构和演变特征,与国外已组织过的多个冰雹研究计划中给出的结果有相当大的相似性。借用国外的综合观测结果,结合我们的观测实例,再用新思路和新工具来探讨我国的雹云物理的基本规律是可行的。这本书就是按这一思路来深入探讨了一些关键问题,在探寻大雹生长机制的动力学模型上给出了一些新的结果。

在防雹原理上,国外多采用“播撒”防雹原理,而我国的防雹作业则伴有爆炸,观测到爆炸产生的效应。本书对播撒防雹原理中的一些科学问题做了明确和深化,对实施中的疑问做了初步澄清;又特别对空中爆炸对云体的宏、微观场的可能作用做了系统的探讨。根据近来的研究结果,给出了新的防雹概念模型,并结合河北省的防雹实践给出了具体的实施方案,可供参考。

雹云物理和防雹是一项复杂而困难的科学技术课题,虽然近代的雹云物理研究和防雹的活动从 20 世纪 50 年代以来已有近 50 年的历史,多个国家组织过大型综合观测研究,也出版了许多文章和书,但在雹云宏、微观场相耦合的动力学研究方面仍需努力。

赵柏林

2004 年 6 月 12 日于北京

序 二

冰雹是一种固态降水物,产生于强对流云——冰雹云中。一场强烈的降雹可产生局地毁灭性的灾害,导致农作物毁种或绝收,尤其是对烟草、棉花、水果等经济作物的损害更为严重。我国是世界上四大多雹区之一,冰雹灾害也是我国最严重的气象灾害之一。1990—2000年,我国平均每年遭受冰雹灾害的农田面积达到2500多万亩,造成的直接经济损失达到十多亿元。为此,全国各地普遍开展了人工防雹作业。2003年,全国有23个省(区、市)组织了高炮、火箭防雹作业,动用“三七”高炮六千多门,火箭发射架三千多台,防雹保护区面积达41万余平方公里,其作业规模居世界第一。据估算,防雹作业可减少雹灾面积40%~80%,平均每年可减少经济损失数亿元,深受广大农民群众和各地政府的欢迎。

人类很早就设想用各种办法防御冰雹灾害。自20世纪初以来,科学家对自然冰雹进行观测,从理论、室内实验、数值模拟、野外观测等方面揭示冰雹形成、发展的规律,探索防雹的科学方法,取得了相当大的进展,积累了许多的知识和经验。然而,自然冰雹形成、发展过程非常复杂,人工防雹又是一项技术复杂且难度很大的工作,特别是受难以直接入云观测的限制,人们对自然冰雹形成、发展规律的认识,对有效地防御冰雹灾害的理论和技術,仍在探索之中。

为了适应社会经济发展的日益增长的需求,利用人们已掌握的知识和技术,科学地设计和开展人工防雹作业,提高人工防雹作业水平和效益,是摆在云物理和人工影响天气科技工作者面前的一项历史责任。为此,许焕斌、段英、刘海月合著的《雹云物理与防雹的原理和设计》一书,正是满足这一客观迫切需求,在冰雹与防雹理论与实践的结合点上,比较系统地总结了冰雹与防雹理论和实践,并以观测事实为基础,以理论分析为主线,用数值模式为工具,探索了雹云物理中的一些关键性问题,勾画了新的自然雹云宏观场与冰雹微观场相互作用的图像,以及大冰雹生长机制的物理模型。书中还结合他们的科学实践,对雹云物理和人工防雹的新物理模型进行了初步的观测和理论验证,提出了防雹的新概念模型,特别是又结合河北省人工防雹作业的实践,探索并提出了如何有效地实施防

雹作业的实用技术及方案。这是一部具有理论和实践价值的著作,针对性、科学性和实践性强,对冰雹理论研究和人工防雹作业均具有很强的指导作用,对提高我国冰雹研究和人工防雹作业科学水平具有重要的促进作用。

同其他学科一样,云物理与人工影响天气学科也需要在理论与实践的相互作用中不断发展、完善与成熟,需要广大科技工作者用辛勤劳动与汗水对其进行精心培育。可以相信,在本书的引领下,将会有更多、更好的云物理与人工影响天气方面的专著面世,为云物理与人工影响天气学科的发展做出新贡献。

郑国光

2004年6月28日于北京

作者的话

自《雹云物理与防雹的原理和设计》的第一版(2004年9月)和经充实再版(2006年7月)后,我在与同行的交流中,逐步认识到雹云物理只是强对流云的一部分,阵性暴雨和对流性低层大风造成的灾害不仅不比冰雹小,而且致灾面积大、出现频率高。强对流活动包括雹暴、雨暴、风暴和雷暴等,其物理实质是一样的,都属于强对流云物理的范畴。

从研究思路上我也逐步体会到,单从云—降水物理学的角度是难以深入的,而只从天气—动力学方面“使劲”也是不够的,应将三者结合起来,即把天气—动力—云降水物理(大气物理)融为一体。在研究手段上也不能单靠哪一种,需要把观测—分析—模拟—理论有机结合起来。在应用上,人工影响对流云的防雹、增雨需要以强对流云物理为基础,在对流性灾害天气的预报(警)中它也是学科基础。

还想提一下,当前在研究与应用关系上似乎也有观念性的缺陷,即理论工作者认为,应用是业务人员的事,而干业务的人则强调简明便利,不屑于对理论的深究,这对学科进步和业务发展皆是无益的。不会应用的理论家很可能没有透彻地掌握规律,而不深懂理论的业务发展可能是乏力的。

想在强对流研究思路上有变革似乎是研究者的共识,但年富力强的研究骨干们迫于眼前的课题压力又不便抽身。我作为退休老者,时间还是充裕的,就试着做了点探索。我曾与年青的朋友们作过交流,他们鼓励我把这些想法写出来。而要再写一本类似的书也难以避开大篇幅的重复,故还是在原书的基础上,在物理上加以扩充,在应用上举例说明为宜。这些想法也不系统,点点滴滴,做了点什么,就给大家汇报点什么,不怕有误,只求这些想法有点道理能为诸位参考,其中若有错误请纠正。

特别感谢丁一汇院士为本书写序,他为我们的学科和业务发展指明了方向。

许焕斌

2012年8月1日 北京

目 录

序

前言

《雹云物理与防雹的原理和设计》序一

《雹云物理与防雹的原理和设计》序二

作者的话

第一编 强对流云物理	(1)
第一章 绪 论	(1)
参考文献	(3)
第二章 冰雹与冰雹云	(4)
2.1 冰雹	(4)
2.2 冰雹云和分类	(6)
2.3 雹云的发展过程	(10)
2.4 冰雹云的物理模型	(12)
2.5 冰雹云类型与环境场的关系	(28)
2.6 冰雹云的移动、传播和分裂,积云的合并	(30)
2.7 强对流云单体的组合(织),对流云系	(41)
2.8 强对流(雹)云的地面观测的物理特征	(47)
2.9 冰雹云的特征	(51)
参考文献	(58)
第三章 冰雹形成机制	(60)
3.1 雹胚的形成	(60)
3.2 雹块的增长	(66)
3.3 冰雹形成机制的研究思路 and 方案	(68)
3.4 冰雹粒子群的运行增长规律	(68)
3.5 强对流(雹)云中水凝物粒子的积累	(86)
3.6 强对流(雹)云中云水的消耗	(90)
3.7 强对流(雹)云中的特征回波结构的数值模拟	(93)
3.8 冰雹分层结构的模拟试验	(95)
3.9 规律的再现和观测验证	(96)
参考文献	(103)

第四章 对流云物理与阵雨形成机理	(105)
4.1 引言	(105)
4.2 对流云降水的一些观测事实	(107)
4.3 阵雨形成机理	(108)
4.4 分析和讨论	(126)
4.5 结语	(129)
参考文献	(129)
第五章 强对流云中的下沉气流和下击暴流——大风	(131)
5.1 强对流云中强下沉气流发展的重要性	(131)
5.2 下击暴流的数值模拟	(131)
参考文献	(138)
第六章 强对流(雹)云数值模式	(139)
6.1 引言	(139)
6.2 强对流(雹)云的性质和对模式的宏观动力、热力场描述功能的要求	(140)
6.3 适合于强对流(雹)云的冰雹形成机制的微物理框架	(148)
6.4 方程的数值解法	(159)
6.5 综述	(166)
6.6 模式的检验	(167)
附录 1 国内有关云模式研究和应用的情况简介(附表 1~附表 4)	(175)
附录 2 各发生项和转化项的表达式	(178)
附录 3 水凝物和水汽场之间的平衡调整	(194)
参考文献	(195)
第二编 强对流云物理在人工影响天气中的应用	(196)
第七章 播撒防雷原理	(196)
7.1 播撒防雷原理	(196)
7.2 播撒防雷原理实施中的问题	(199)
7.3 最近雹云物理的进展对四个命题的回答	(201)
参考文献	(206)
第八章 爆炸防雷原理	(207)
8.1 引言	(207)
8.2 爆炸对云体的作用表现	(207)
8.3 爆炸产物和它们对云过程的可能作用	(215)
8.4 爆炸作用的外场试验取证和数值模拟再现	(242)
8.5 炮响雨落数值模拟试验	(250)
8.6 爆炸扰动气流场对大气稳定度的影响	(252)

8.7 本章小结	(253)
参考文献	(256)
第九章 防雷概念模型	(258)
9.1 防雷概念模型简介	(258)
9.2 新的防雷概念模型	(261)
9.3 零线和作用区的判定	(264)
9.4 防雷区布局原则	(265)
9.5 本章小结	(266)
参考文献	(266)
第十章 对流云(团)增雨	(267)
10.1 引言	(267)
10.2 对流云人工增雨实施方案的设计	(267)
10.3 对流云物理和对流云增雨	(268)
10.4 对流云增雨的新思路	(269)
10.5 结语	(270)
参考文献	(270)
第三编 强对流云物理在预报(警)诊断分析中的应用	(271)
第十一章 Doppler(多普勒)雷达资料的综合定性分析	(271)
11.1 为什么要作定性分析	(271)
11.2 径向风 V_r 场的直接应用	(272)
11.3 径向风 V_r 场和 dBZ 场的联合应用	(274)
11.4 dBZ 场分布特征(或称结构)的物理含意	(276)
11.5 回波场与云体流场的关系	(277)
11.6 强对流中垂直气流与水平气流的关系	(278)
11.7 奇特的特征回波模拟再现与其物理含意的探索	(279)
11.8 对流云系回波结构与上升气流框架的分析	(281)
11.9 Doppler 雷达观测实例的定性分析举例	(283)
11.10 Doppler 雷达径向风场与风廓线(Profile)资料相结合的流型分析	(293)
11.11 结语	(298)
参考文献	(298)
第十二章 强对流云物理在预报(警)中分析诊断的应用	(299)
12.1 引言	(299)
12.2 强对流的分类	(299)
12.3 强对流的演变	(300)
12.4 超级强对流单体的结构与冰雹	(301)

12.5	强阵雨的形成与大粒子的积累	(302)
12.6	下击暴流(downburst)和下击暴流族(Derechos)	(304)
12.7	强对流风暴的生命长短,长生命雷暴云地面流场的演变	(305)
12.8	长生命强对流云在其发展中的自组织和自激发等现象	(311)
12.9	对流云群持续活动的自强化、自组织	(313)
12.10	强对流系统与湿中性层结	(317)
12.11	云单体(系)的自传播,风驱动,和合成移动,移向与主流方向	(321)
12.12	强对流云结构与起电	(322)
12.13	环境变化与优势发展尺度的迁移	(324)
12.14	对流云的过山、下坡及离山	(329)
12.15	对流(群)发生和维持原生因素与对流(群)发生中的诱发因素的相互作用	(334)
12.16	建立相适应的新型观测系统	(335)
	参考文献	(337)
	后记——本书的沿革	(339)

第一编 强对流云物理

强对流云物理学可分为两部分:一是关于雹、霰、雨粒子(群)形成的物理学,可称为强对流云微物理;二是关于强对流云动力(力场、流场)、热力等方面的物理学,又可称为强对流云宏观物理。

第一章 绪 论

强对流是常会形成冰雹、阵性暴雨、近地大风及雷电等强烈灾害的天气系统,其特点一是水汽相变和云—降水湿物理过程起着突出作用,在自然界最猛烈的水汽相变及潜热释放就发生在强对流云中;二是它属于中、小尺度系统,非静力和非线性特征明显。天气形势和热力、动力框架是强对流灾害天气发生的背景,而大气物理—云降水物理则操纵着这类灾害天气现象的发展过程。必须把天气、动力和大气物理—云降水物理三者耦合成一体才能对它来进行完整地描述。

为什么强对流云产生的天气现象有些以降雹为主?有些以阵性暴雨为主?有些以近地大风或雷电为主?有些则几者同来?这应该与强对流云的宏、微观结构及演变特征有关。强对流云物理学就是要探讨这方面的内容,寻求其中的规律。

强对流云发展迅速、瞬息万变,天气现象猛烈多样,了解它们的结构和演变,掌握实况是第一要务,然而要做到这一点并不容易。虽然已有多种常规及遥感手段,但能穿透云体提供高时、空分辨率三维场资料的就只能靠雷达了。即使如此,目前以雷达为重心的观测系统对了解强对流系统的结构及演变来说,也只能抓到一些“蛛丝马迹”,如何从“蛛丝马迹”来再现全貌,需要有一套“侦察破案”的历程,为此需有整套合理的资料同化、融合、分析方案,其中最核心、最关键的问题是综合认识和明确雷达产品的物理内涵。这单靠观测、理论或模拟皆难做到,又是需要把三者耦合起来。

可以看到,强对流云物理学涉及面广度深。所以不能奢望有什么系统论述,更不追求有什么突破。本书也不拟写成教科书,不宜对已知的成果作全面复述,只针对感到有疑惑的问题及相关内容来作叙述。重点是期望把在“天气—动力—云降水物理”及“观测—理论—模拟”这两种三耦合中所做过的点滴探索作个汇报,“抛砖引玉”而已。

在第一编里,以天气现象分章来介绍强对流云中的冰雹云、阵雨云、下击暴流(地表大风)等。即第二、三章的内容是冰雹云和冰雹;第四章的内容是阵雨云和阵雨;第五章的内容是下击暴流和地表大风;第六章:强对流云数值模式。

关于云—降水物理学的研究已大体遍及各个环节,各环节的连接关系也算清楚,形成各

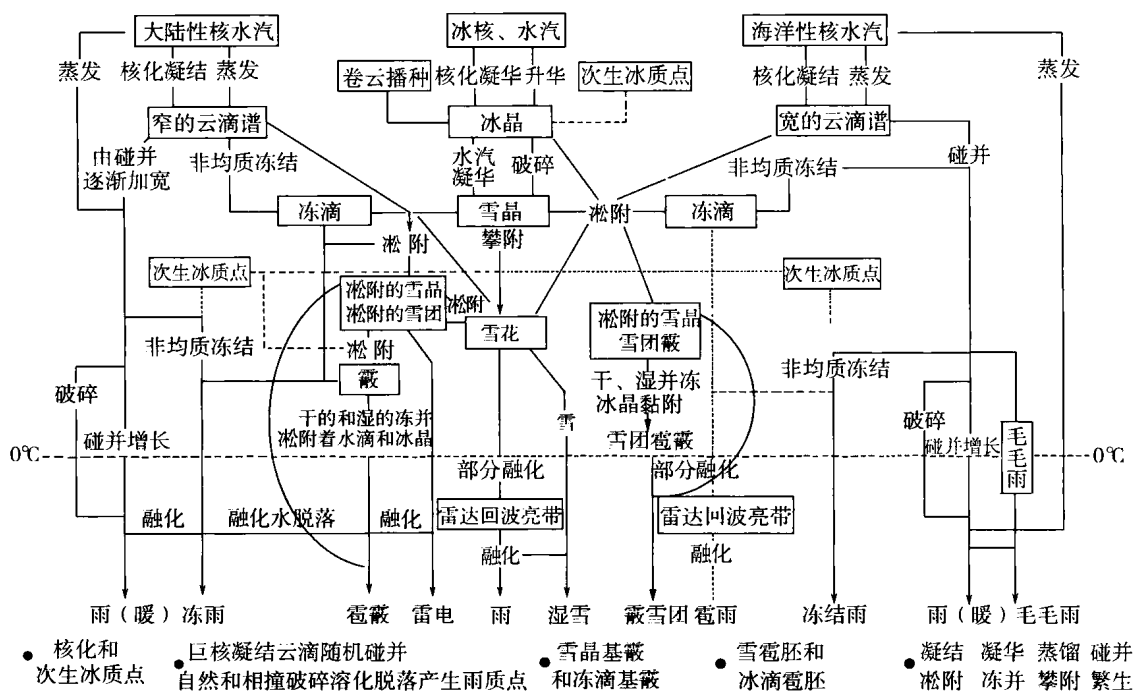


图 1.1 降水云中主要的云—雨发展过程与冰雹的形成

(北京大学地球物理系大气物理教研室云物理教学组, 1981, 作者作了增改)

类降水的渠道也弄明白了, 见图 1.1 示。图 1.1 给出了云—雨发展过程与冰雹形成过程的关系图。图中的云滴、冰晶由于尺度小落速慢, 常悬浮在云中, 故称云粒子; 而雨滴、雪、冻滴、雪花、雪团和霰尺度较大, 落速较大, 可以由云中降落, 故称降水粒子, 或(液相或固相)雨粒子, 而直径大于 5 mm 的固相降水粒子叫冰雹。该图给出了几乎全部云—降水物理过程, 包括有: 简单(暖)液相降雨过程, 即水汽凝结产生云滴, 经过凝结增长长大成大云滴, 启动碰并(云水)增长形成雨滴; 简单冰相降水过程, 水汽凝华形成云(冰)晶, 再经过凝华增长成雪晶, 雪晶间又可攀附形成雪团, 产生降雪; 混合相降水过程, 即除上述二个简单成雨过程外, 冰晶还可以由云滴冻结而形成, 冰晶可以通过与过冷云滴的淞附而长大, 过冷雨滴与冰相粒子相作用而冻结, 在汽、液、固三相共存情况下, 由于水面饱和与冰面饱和水汽压差而引起的过冷液滴蒸发而冰粒子在水面饱和的条件下快速凝华增长(即所谓贝吉隆过程), 液固粒子间的并合增长等等。混合相的降水过程, 是最有利于降水粒子(雨、霰、雪、雹)快速形成的。这些都是正过程, 特点是粒子尺度在增加, 而数目通常在减少。图中除给出了粒子长大的过程以外, 还给出了由大到小的分裂破碎过程, 如雪晶与过冷云滴碰冻淞附过程中产生次生冰晶(繁殖), 大冰晶的破裂, 雨滴的自破, 雨滴间的相碰破碎, 冰雹湿生长时多余过冷水的剥落等等。这些都与增长过程相反, 产生粒子数目的增多, 而粒子尺度的减小, 是一种反过程。云—降水过程中的正反过程相互作用, 呈现出自然控制和自然激励的现象, 例如浓度上的冰晶的繁殖, 可以产生大量的云冰粒子, 在水汽和过冷水有限供应下, 阻止了粒子群的整体尺度上的增长, 延缓甚至阻止了降水发展。但在另外一些情况下, 水(汽)供应充足, 冰晶浓度欠缺时, 繁殖的冰晶可以提供另外的冰晶, 增加雨元的供应。再例如在具有强凝结水产生的云中, 因破碎和剥落产生的雨元, 增加了雨滴子的浓度, 降水可因雨元浓度的增加而增强; 但

也有另外一个机制,雨滴的破碎使雨滴的平均尺度减小,导致末速的减小,在上升气流的承托下落不下来;也还可以因产生大量的雨元,为产生更多的冰雹胚胎(冻滴,霰)提供了可能,在过冷水量有限量的情况下,限制了大雹群的形成。

图 1.1 所列出的水凝物粒子群间的相互作用引起的种种微观过程,哪一些过程被激发,哪一些过程起主导作用,是受云体的宏观动力—热力结构控制的,反映着具体的云—降水过程是云体宏观场与云—降水粒子微观场相互作用。为了了解各式各样的降水过程,就要对这种相互作用进行深入具体地研究。

鉴于在各类降水粒子群的生成中,大冰雹的形成比起雨(雪)来说较为复杂,条件要求也特殊些,疑惑和争论较多,它一方面要先有降雨过程的铺垫,又需有一些特殊条件在成雨的基础上进一步发展成冰雹,须专门设章论述,即第三章:冰雹形成机制。又由于在研究方法上,须观测—理论—数值模拟三者相结合,需要有适用的数值模式,甚至需要专门设计模式,也应专门设章论述,即第六章:强对流云数值模式。

参考文献

北京大学地球物理系大气物理教研室云物理教学组. 1981. 云物理学基础,北京:农业出版社。

第二章 冰雹与冰雹云

强对流云发展演变迅速,结构复杂,与环境场和云内的微物理场有着多重的相互作用,理论研究上具有高度的非线性,得不到通解;实验和观测方法也难以窥其全貌。由于技术设备方面的局限,国内未能组织起综合性研究,但一些部分观测事实印证了国外一些大型综合计划所得到的结果,说明这些观测事实和模型对我国是可以借鉴的。因此,这一章的内容,主要是融合国外和国内已有的可靠资料和结果,希望在理解上深化一点,在道理上清晰一点,在归纳上全面一点,为后续章节的叙述和论证作些物理上的准备。

雹云物理学可算是强对流云物理学重心。它可分为两部分,一是关于雹粒子(群)的物理学,可称为冰雹微物理,二是关于雹云动力(力场、流场)、热力等方面的物理学,又可称为雹云宏观物理。

2.1 冰雹

冰雹是一种直径大于 0.5 cm 的冰相降水粒子,比它尺度小的称为冰丸(冻雨滴),霰或米雪。由于它直径大、落速快,只有在强对流云中才有可能形成,能产生这种降水物的云称为积雨云,而可降雹的积雨云又称为冰雹云。

鉴于冰雹云是强大对流环流和穿越对流层的深厚云体,有强大的水汽辐合和供应,从云底和云顶有巨大的温差,具备激发暖雨和冷雨的优越条件,必然导致降雨过程进一步发展成降雹过程,还启动了一些特殊的生长运行过程,如粒子下落后再入主上升气流区,融化后再冻结等特征。

2.1.1 冰雹的微物理结构特征——雹胚

冰雹由雹胚(生长中心)和雹块(雹体)组成,见图 2.1。雹胚可以看清是冻结的雨滴(冻滴胚)或是霰,但也有区分不清的,即有些雹胚难以判定原生是冻滴或是霰,这可定名为“其他”类。由于冻滴形成后,体密度较大,在云中进一步的生长运行中,其结构不大可能有明显的转化,而霰胚则具有较小的体密度,在进一步的生长运行中,当收集的过冷水较多而来不及立即冻结时,可以被吸入霰胚中去,使之体密度加大,可能成为既非冻滴又非霰的雹胚。如果可以这么理解,则“其他”类雹胚的原生粒子是霰。

从表 2.1 看,我国新疆昭苏、宁夏、青海三地的霰胚比例逐步升高,有可能受地形高度的影响,地势高,云底温度会偏低,因而冷雨过程占优势。这种现象在美国也有表现,如科罗拉多—怀俄明(高原地区),NHRE(美国国家冰雹研究实验)的霰胚比例比俄克拉荷马(丘陵草原地区)高。