

# 中尺度暴雨分析和预报

湘中中、小尺度系统试验基地暴雨组



气象出版社

# 中尺度暴雨分析和预报

湘中中、小尺度天气系统试验基地暴雨组

气象出版社

## 内 容 简 介

本书是我国第二个中、小尺度天气系统研究试验基地——湘中基地 1976—1983年有关暴雨探测、分析、预报、研究与应用试验结果的总结,包括中尺度暴雨的天气气候和环流背景、暴雨的中尺度特征与活动规律、暴雨的中尺度天气系统及其合成结构、中尺度天气系统的发生发展条件、动力和热力影响因素、水汽及地形变化对暴雨的影响、低空急流和重力波与暴雨的关系以及中尺度暴雨的预报等。是国内十余个单位及基地广大监测人员共同协作的部分成果。全书共四篇十四章,约33万字。可供气象、水文方面有关教学、科研和预报工作者参考。

## 中尺度暴雨分析和预报

湘中中、小尺度天气系统试验基地暴雨组

责任编辑 康文骅

\* \* \*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

顺义兴华印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店销售

\* \* \*

开本: 787×1092 1/32 印张: 15 字数: 333千字

1988年4月第一版 1988年4月第一次印刷

印数: 1—2000 定价: 3.95元

ISBN 7-5029-0068-3/P·0045

## 前 言

暴雨是我国一种主要的灾害性天气，与暴雨直接联系的主要是中、小尺度的天气系统。而国内、外过去对这种中、小尺度系统的特征研究较少。为进一步了解中尺度暴雨生消的规律，并从而做好它的预报，国内于1976—1983年间，在湖南建立了我国第二个中、小尺度天气系统的研究试验基地——湘中基地。并与水文系统和有关部队等密切协作，在1979—1982年间，于此基地上首次开展了“我国暴雨和暴风雨现时预报和联防”的研究试验。积累了大量有益的资料，获得了若干新的数据与启示，并取得了预报服务的经济效益。为进一步总结、整理这些结果，在“边探测、边研究、边应用、边改进”中，从试验资料中选取了有较好代表性且监测资料较完整的16次暴雨过程，进行了综合的诊断、比较与分析研究。并结合有关暴雨的历史资料，对此基地的中尺度暴雨分析和预报，进行了系统的初步总结，写出这本书。书中撰述了中尺度暴雨的天气气候概况和环流背景、暴雨的中尺度特征与活动规律、暴雨的中尺度天气系统及其合成结构、中尺度天气系统的发生发展条件、重力波与暴雨的关系、有利于中尺度暴雨形成的动力和热力及水汽条件、低空急流与暴雨的关系、地形与暴雨的关系以及中尺度暴雨的预报等。全书共四篇十四章。

《中尺度暴雨分析和预报》是在国家气象局、国家气象科学研究所、湖南省气象局及其气象科学研究所和气象台、邵阳、衡阳、岳阳、娄底地区气象台、南京气象学院、华东水利学院、中国科学院大气物理研究所及长江流域规划办公室等单位的关怀与积极支持下，集中了这些单位的部

分同志，经过数次集体研讨、几年潜心研究，分头执笔再统一编纂而完成的。由于全书所涉及的资料工作量甚大且较细密，因此，参与研究及执笔撰写的同志较多。全书由章淹、林必元主编。黄行全、朱金元、王鼎新做了大量组织工作及部分编纂工作。各章的主要著者或执笔者分别是：绪论：章淹；第一章：李玉琴；第二章：程庚福；第三章：王鼎新、王佩理、李文华；第四章：杜秉玉；第五章：朱金元、林必元；第六章：寿绍文、田生春、毕慕莹、林容芳；第七章：章淹、林必元；第八章：章淹、林必元；第九章：朱乾根、赵文兰、王庆云、程庚福、王鼎新；第十章：赵文兰、寿绍文（王鼎新参加了部分工作）；第十一章：谢光德、王鼎新；第十二章：吴和赓；第十三章：章淹、冯树常、林必元；第十四章：朱金元、黄行全。但在统一编纂中，各章节之间也还互有交叉挪动。全书的附图，由李松勤同志完成。吴礼庆与李松勤参加了部分计算工作。

驻湘有关部队气象台、长沙、韶山、衡阳、常德气象雷达站，以及五十八个地、县的广大气象台站和湖南省水文总站与全省水文工作者，为提供暴雨试验中的分析资料，日以继夜地进行了加密观测，付出了艰辛的劳动。杨大升、陈新强同志为本书审阅了部分文稿，对此，谨致衷心谢忱。

由于我们对中尺度天气系统的认识还很不够，在暴雨中尺度分析中受探测手段和分析水平所限，书中可能会有许多不当之处，敬请读者指正。

编者

---

参加基地暴雨试验及有关工作的还有：杨振国、陶宝伦、张伯熙、吴宝俊、何子宣、孙捷、周益辉、张华兴、孔维君、周雨华、杜运顶、谭世球、朱先淑、邹美恩、高守亭、王昭正、李正伟、王金莲、罗育清、郭佩英、李松勤、蒋慧、陈智源等同志。

## 绪 论

世界上每年有数以万计的人民生命财产受着暴雨的严重威胁。我国是世界上著名的多暴雨国家之一。暴雨是我国常见、多发和影响地区广泛的一种主要灾害性天气，它常给人们带来难以估计的巨大损失。但是，暴雨同时还是我国一种重要的水资源，特别是在江淮流域等地区的伏旱期，有些强的降雨，若能及时地加以预报与调蓄，也能化害为利，使之有利于社会和人民。因此，研究暴雨出现的规律并从而做好它的预报，是一个具有重要实际意义的迫切问题。

暴雨的强度大，骤发性强，先兆特征不明显，落区与落点离散，时空分布很不均匀，起源于山地的比较多，难于监测和追踪。迄今为止，它仍是气象学中的疑难问题之一。而且，暴雨不同于台风、寒潮等大尺度的灾害性天气，与暴雨直接联系着的天气系统主要是中、小尺度的。众所周知，由于探测技术等原因，气象科学研究是从大尺度方面开始的。一百多年以来，通过艰苦的努力，关于大尺度天气系统的主要特征和基本问题，已有了很多揭示和认识；而对于中、小尺度天气系统及其有关的现象，目前还是一个十分薄弱和有待开辟的领域。国内除曾于1963—1964年在华东建立了我国第一个中小尺度天气系统研究试验基地，并在此前后进行了一些研究外<sup>[1]</sup>，工作不多。至于有关暴雨的中、小尺度分析预报研究，则工作更少。到文化大革命的十年动乱时期，就濒于停顿了。然而，为了进一步探讨暴雨问题，我们认为，时至今日，选择一定的地区，加强侦测，弄清事实，逐步开展若干中、小尺度天气动力学问题，特别是关于暴雨的中尺度试点研究是很有必要的。

湖南位于我国长江中游，暴雨频繁，盛夏期间，亦常有明显的伏旱期出现。这里人口密集，河网密布，内河水路交通运输繁忙，是我国重要的工、农业地区之一。暴雨的出现，对这一带的影响很大，是当地气象预报及防汛中的一个主要重点。同时，这里地处我国中部，地形条件复杂，对于我国很多地方来讲，这里的暴雨，具有一定的代表性与典型意义。

考虑到暴雨研究和中小尺度系统研究的双重意义，加以湖南之地理位置和暴雨的典型性，以及1975年8月河南特大暴雨给人民带来的巨大危害，1976年春，在湖南省湘潭地区气象台的倡议下，成立了湘中（包括58个地区和县的气象台站及400余个雨情测报点）中、小尺度灾害性天气系统联防及科研协作区，为我国的第二个中、小尺度天气系统的研究试验基地。这一倡议得到了湖南省气象局和有关地区气象局的支持，由湖南省气象局曾申江副局长牵头，成立了领导小组，下设办公室，由黄行全等同志具体负责，开展了中、小尺度灾害性天气的加密观测与分析研究。1978年秋后，这一基地的研究试验，加入到“长江流域暴雨”科研协作课题中，得到了更多有关单位的支持。在整个课题组的协作与相互促进下，又与水文系统及部队的监测台站紧密结合，自1979年起，首次开展了“我国暴雨及暴风雨现时预报<sup>1)</sup>与联防”的研究试验。1979年秋，在衡东“长江流域暴雨学术会议”上交流与总结。次年，这一研究试验扩大到湖南全省。故后又改称“湖南中、小系统研究试验基地”或“我国中、小天气系统研究试验的第二基地”，（以下简称“基地”）。

---

1) 当时称作“临近预报”，是根据当时天气发展变化的实况来做未来0—12小时的预报。

通过“边研究、边应用、边检验、边改进”的实地试验，对此基地有关中小尺度暴雨的问题，发现了若干新的事实，并揭示了一些新的规律，在预报服务上，也取得了一定的经济效益。

基地位于我国中南部多暴雨地区的中部，如图1所示。其西，有世界最高大的青藏高原，高原东侧的低涡与低槽，时常由此通过，它的东方和南方，不断有来自海洋上的潮湿空气流入；其北，则常有来自我国北方大陆的冷空气侵入。故基地内常有暴雨过程出现。基地内河湖密布，山脉纵横。较大

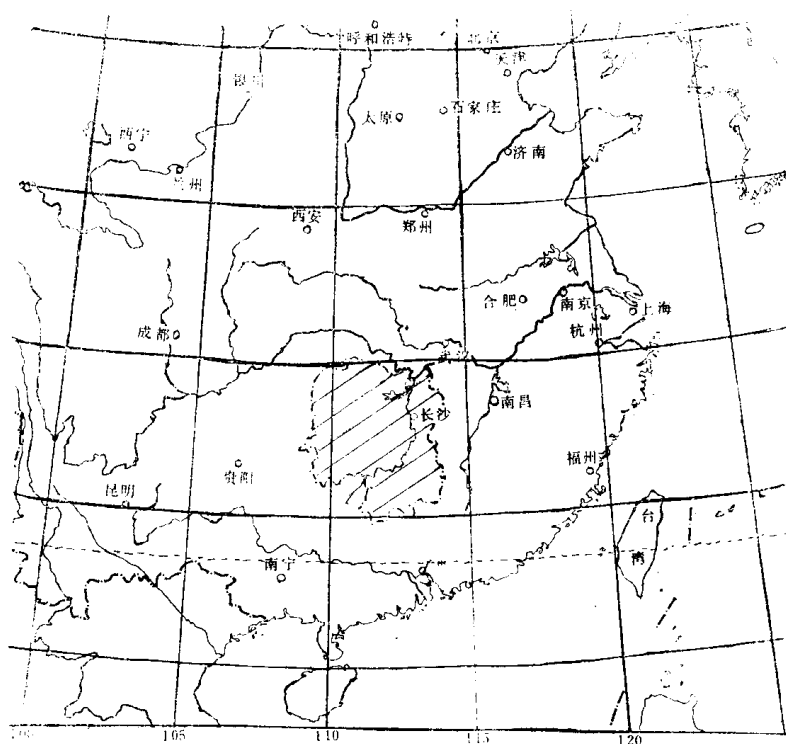


图1 基地的所在位置（斜线区）

的江河有湘、资、沅、澧四水，均汇流入湘东北之洞庭湖而进入长江。所以，这一带的暴雨对长江中游水量的多少，也有很大作用。洞庭湖附近为平原地区。各河流之间，山脉、丘陵与大、小不同的盆地，错落分布于其中，地形比较复杂而多样（见图2）。这对于探讨中、小尺度暴雨在不同下边界条件下的发生、发展规律以及地形对暴雨的影响等，都具有有利的条件。

要研究中尺度暴雨问题，需要有细致而稠密的气象监测

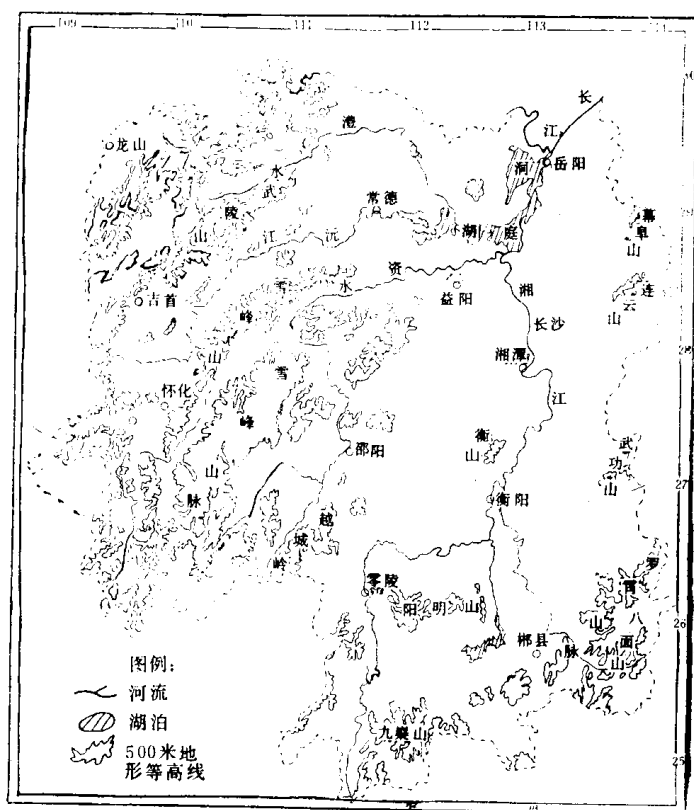


图2 基地的地理地形特征

资料, 为此, 基地主要采用了尽量挖潜的办法, 除动员了该省气象部门的一切力量外, 又动员了当地其他系统的部分有关力量与条件, 共同协作开展工作。基地的主要测站分布, 如图3所示。其中, 地面气象(候)站的间距约为30—40km; 雨量站的间距, 密者仅2—3km, 疏者约15—20 km; 高空测风站的间距约为100—200km; 加密观测期间, 高空探空站的间距约150—200km; 共有四部雷达进行联网观

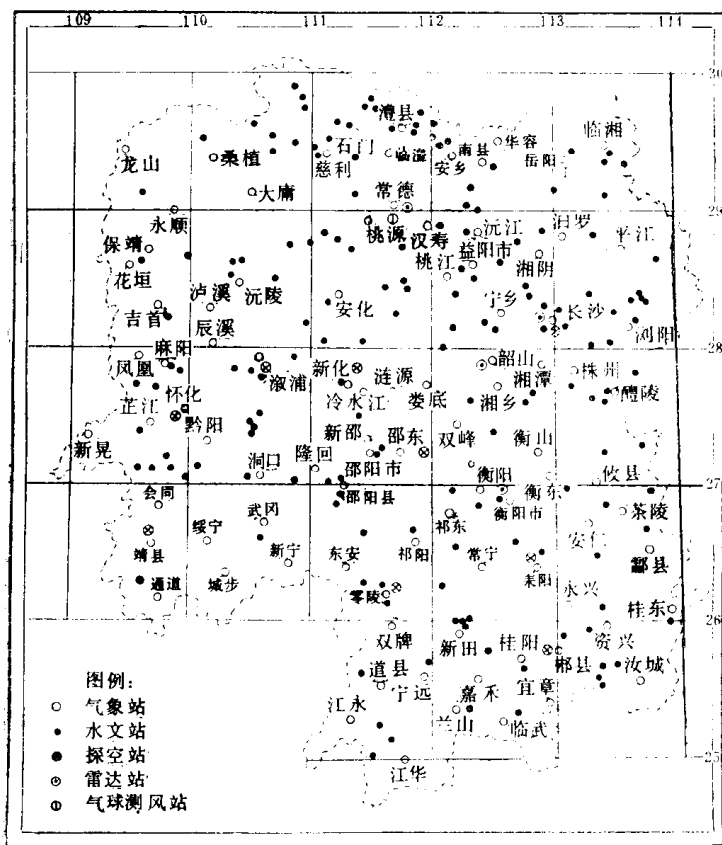


图3 基地的主要观测网点

测。基地中心设在省气象台(长沙)。采用省、地、县级大、中、小各级气象台、站与水文系统雨量站联防的办法[2][3],当气象预报估计到将有暴雨过程发生时,或联防测站一旦发现暴雨过程已开始出现时,即进行时、空的加密监测。在时间上较常规的大尺度天气观测增多6倍,即进行每小时一次的观测。对所侦测到的暴雨中、小天气系统,随时进行现场分析与预报,并随时将基地所获得的实况情报与预报结果,提供正式业务值班预报员参考,以便及时综合常规值班与基地的诊断结果,再正式对公众发布预报服务。此基地的工作,至1983年停止,暂告一段落。

1976—1983年间,通过这一基地雨季期的时空加密观测,共探测了暴雨过程20余次。其中,监测资料比较完整、代表性较好的有16次。本书着重对这16次暴雨过程进行中尺度分析和研究。另外,还有部分个例,曾在湘中协作区1976,1977和1978年的第一、二、三次年会上进行了交流[4][5]。同时,在1979—1982年的“现时预报与联防”试验中,曾进行过11次过程的即时诊断与现时预报试验。

在多次暴雨过程探测的基础上,本书对我国中部这一“基地”几年来的研究试验,进行了全部工作的初步总结。由于著者水平以及对中、小系统所进行的时、空加密监测的资料甚为众多而细密,至今还来不及完全“消化”;而且,基地的设备条件也很有限。因此,目前这一总结还是很粗浅而不够的,有待今后进一步加强与深入。希读者批评指正。

### 参 考 文 献

- [1] 华东中小天气系统试验基地协作组,中小尺度天气系统分析文集,湖南湘中协作区,(1978)。

- [2] 章淹, “暴雨临近预报与联防”研究试点(1979年试验)技术报告, 长江流域暴雨文集, (1982)。
- [3] Zhang Yan, Experiment on Nowcasting of Heavy Rainfall and Severe Storms in Central China in 1979—1981, Proceedings of the Second International Symposium on Nowcasting, Norrköping, Sweden, (1984)。
- [4] 张伯熙, 一次飑线过程的分析, 气象, (1978)。

# 目 录

## 前言

## 绪论

## 第一篇 中尺度暴雨的环流背景

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| <b>第一章 天气气候特征</b> .....    | ( 1 )  |
| 第一节 影响系统的活动概况.....         | ( 1 )  |
| 第二节 月、旬降雨量分布的基本特点.....     | ( 5 )  |
| 一、月平均雨量的分布.....            | ( 5 )  |
| 二、旬平均雨量的分布.....            | ( 7 )  |
| 第三节 暴雨次数分布的基本特点.....       | ( 8 )  |
| 一、暴雨的年际分布.....             | ( 8 )  |
| 二、暴雨、大暴雨和特大暴雨的日数分布.....    | ( 10 ) |
| 第四节 最大降水量分布的基本特点.....      | ( 11 ) |
| 一、最大日雨量的分布.....            | ( 12 ) |
| 二、一小时最大雨量的分布.....          | ( 13 ) |
| 三、十分钟最大雨量的分布.....          | ( 14 ) |
| 第五节 暴雨落区的气候特点.....         | ( 15 ) |
| <b>第二章 暴雨过程的基本特点</b> ..... | ( 18 ) |
| 第一节 五、六月份暴雨过程的概况.....      | ( 18 ) |
| 第二节 暴雨过程的环流演变概况.....       | ( 20 ) |
| 一、低槽暴雨过程.....              | ( 20 ) |
| 二、切变线暴雨过程.....             | ( 21 ) |
| 第三节 暴雨形势的基本特点.....         | ( 22 ) |

## 第二篇 雨团及中尺度天气系统

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| <b>第三章 暴雨的中尺度特征及雨团活动规律</b> ..... | ( 29 ) |
| <b>第一节 暴雨过程中降水的中尺度特征</b> .....   | ( 29 ) |
| 一、降水的时间演变.....                   | ( 29 ) |
| 二、降水的空间分布.....                   | ( 31 ) |
| 三、降水的传播.....                     | ( 31 ) |
| <b>第二节 雨团活动规律</b> .....          | ( 34 ) |
| 一、雨团及中尺度雨区的定义.....               | ( 34 ) |
| 二、雨团活动的一般规律.....                 | ( 34 ) |
| <b>第三节 强降雨团分析</b> .....          | ( 39 ) |
| 一、强降雨团具有明显的中尺度特征.....            | ( 39 ) |
| 二、强降雨团的地理分布特征.....               | ( 41 ) |
| 三、强降雨团的出现时间.....                 | ( 42 ) |
| 四、强降雨团活动与锋面位置的关系.....            | ( 44 ) |
| <b>第四节 准静止雨团的特点</b> .....        | ( 45 ) |
| 一、准静止雨团的定义.....                  | ( 45 ) |
| 二、准静止雨团的时、空分布.....               | ( 45 ) |
| 三、准静止雨团的一般特征.....                | ( 16 ) |
| 四、准静止雨团发生、发展的条件.....             | ( 48 ) |
| 五、准静止雨团的结构和维持机制.....             | ( 72 ) |
| 六、小结.....                        | ( 77 ) |
| <b>第四章 暴雨的雷达回波特征</b> .....       | ( 80 ) |
| <b>第一节 暴雨的雷达回波特征</b> .....       | ( 80 ) |
| 一、暴雨雷达回波系统的形态分类.....             | ( 80 ) |
| 二、各类暴雨回波系统的形成过程.....             | ( 83 ) |
| 三、环境条件对中尺度暴雨回波系统的<br>“促发”作用..... | ( 92 ) |

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| 四、暴雨回波系统的尺度 .....                    | ( 94 )  |
| 五、暴雨的降水特征 .....                      | ( 95 )  |
| 第二节 中尺度暴雨雷达回波系统与中尺度气压<br>扰动的关系 ..... | ( 97 )  |
| 一、滤波方法 .....                         | ( 97 )  |
| 二、中尺度气压扰动与雷达回波系统的关系 .....            | ( 98 )  |
| 第三节 暴雨产生的一般过程 .....                  | ( 105 ) |
| 第五章 暴雨过程中的中尺度天气系统 .....              | ( 108 ) |
| 第一节 资料和分析方法 .....                    | ( 109 ) |
| 一、资料 .....                           | ( 109 ) |
| 二、分析方法 .....                         | ( 109 ) |
| 第二节 暴雨中尺度系统的基本特征 .....               | ( 110 ) |
| 一、时间分布 .....                         | ( 111 ) |
| 二、地理分布 .....                         | ( 112 ) |
| 三、水平尺度 .....                         | ( 114 ) |
| 四、生命史 .....                          | ( 115 ) |
| 五、移动方向 .....                         | ( 118 ) |
| 六、与雨团的关系 .....                       | ( 120 ) |
| 第三节 暴雨中尺度系统的流场和气压场滤<br>波分析 .....     | ( 122 ) |
| 一、流场分析 .....                         | ( 122 ) |
| 二、气压场滤波分析 .....                      | ( 125 ) |
| 三、流场和气压场的关系 .....                    | ( 129 ) |
| 四、中尺度系统与地面变压场的关系 .....               | ( 134 ) |
| 五、中尺度系统与雨区的关系 .....                  | ( 135 ) |
| 第四节 造成基地暴雨的主要中尺度系统 .....             | ( 140 ) |
| 一、中尺度低压 .....                        | ( 140 ) |
| 二、中尺度高压 .....                        | ( 140 ) |
| 三、中尺度辐合线 .....                       | ( 141 ) |

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| 四、露点锋和能量锋区·····                 | ( 141 ) |
| 五、飑线、伪冷锋和其它中尺度系统·····           | ( 143 ) |
| <b>第六章 暴雨中尺度系统的结构</b> ·····     | ( 145 ) |
| 第一节 合成分析的原则和方法·····             | ( 145 ) |
| 一、资料的选取·····                    | ( 145 ) |
| 二、合成分析的原则和资料处理·····             | ( 147 ) |
| 三、网格点上读数及物理量分析项目·····           | ( 148 ) |
| 第二节 地面中尺度系统结构特征 ·····           | ( 149 ) |
| 第三节 高空结构特征 ·····                | ( 152 ) |
| 一、低层结构·····                     | ( 152 ) |
| 二、中、上层结构·····                   | ( 154 ) |
| 第四节 雨团环境空间结构特征·····             | ( 157 ) |
| 一、温湿剖面·····                     | ( 158 ) |
| 二、高度剖面·····                     | ( 159 ) |
| 三、高低空运动主要特征配置和垂直输送通道·····       | ( 160 ) |
| 四、温、湿场和风场有利配合下的局地<br>中尺度环流····· | ( 163 ) |
| 第五节 中尺度暴雨系统模式·····              | ( 168 ) |
| 一、小结·····                       | ( 168 ) |
| 二、中尺度暴雨系统模式·····                | ( 168 ) |
| <b>第七章 中尺度天气系统的发生和发展</b> ·····  | ( 171 ) |
| 第一节 中尺度系统发生、发展的天气学<br>条件·····   | ( 172 ) |
| 一、强冷空气与中尺度低压发生、发展的关系·····       | ( 172 ) |
| 二、弱冷空气与中尺度低压发生、发展的关系·····       | ( 174 ) |
| 三、静止锋与中尺度低压发生、发展的关系·····        | ( 176 ) |
| 四、地面切变线与中尺度低压发生、发展的关系·····      | ( 178 ) |
| 五、晴天情况下中尺度低压的发生和发展·····         | ( 178 ) |
| 第二节 中尺度系统发生、发展的动力学特征·····       | ( 179 ) |

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| 一、散度场的变化与中尺度低压发生、发展的关系·····  | ( 180 )        |
| 二、涡度场的变化与中尺度低压发生、发展的关系·····  | ( 182 )        |
| 第三节 热力作用与中尺度系统的发生、发展·····    | ( 186 )        |
| 第四节 急流与中尺度低压发生、发展的关系·····    | ( 188 )        |
| 第五节 积云对流与中尺度系统发生、发展的关系·····  | ( 191 )        |
| 一、时间关系·····                  | ( 192 )        |
| 二、积云对流与中尺度系统发生、发展的关系·····    | ( 192 )        |
| 三、气压偶与积云对流·····              | ( 194 )        |
| 四、积云对流与中尺度系统的位置关系·····       | ( 195 )        |
| 第六节 地形对中尺度系统活动的影响·····       | ( 198 )        |
| 第七节 中尺度低压发生、发展的物理机制·····     | ( 199 )        |
| 一、中低压发生、发展的两种地面形式·····       | ( 200 )        |
| 二、中低压发生、发展的高空条件·····         | ( 200 )        |
| <b>第八章 重力波与暴雨·····</b>       | <b>( 203 )</b> |
| 第一节 激发重力波的四种形式·····          | ( 203 )        |
| 一、地形对重力波的激发作用·····           | ( 203 )        |
| 二、层结稳定度的非线性变化对重力波的激发作用·····  | ( 209 )        |
| 三、水平温度梯度的非线性分布对重力波的激发作用····· | ( 211 )        |
| 四、大尺度锋面的斜压性对重力波的激发作用·····    | ( 214 )        |
| 第二节 重力波与降水·····              | ( 214 )        |
| 一、重力波触发降水的几种形式·····          | ( 214 )        |
| 二、地形重力波与降水·····              | ( 216 )        |
| 三、锋面重力波与降水·····              | ( 218 )        |
| 第三节 重力波与中尺度天气系统·····         | ( 218 )        |