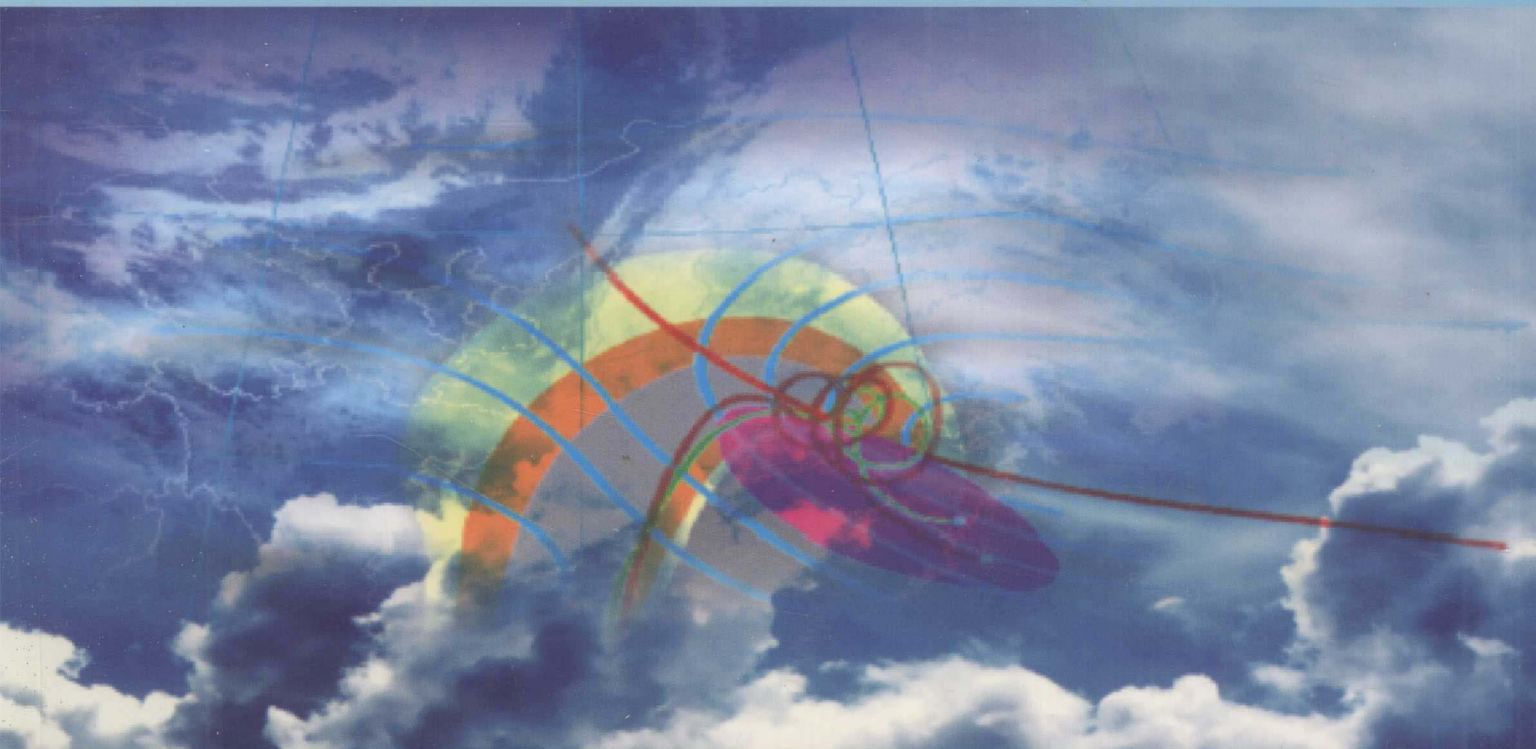


现代气象业务丛书

丛书主编：郑国光



大气物理与人工影响天气 ①


郭学良 主编

现代气象业务丛书

大气物理与人工影响天气

(上)

主 编 郭学良
副主编 杨 军 章澄昌

 气象出版社
China Meteorological Press

内容简介

本书介绍了国内外大气物理与人工影响天气的科技和业务成果,以满足我国在大气物理与人工影响天气业务、科研等方面的需求。全书分12章。第1章对大气物理与人工影响天气的发展历程、现状及新进展进行阐述;第2章介绍了大气物理学的基础;第3章讲述云降水物理学;第4章阐述人工影响天气的科学原理;第5章介绍数值模式研究;第6章讲述了人工增雨和人工防雹的催化作业技术;第7、8章分别讲述人工影响天气催化剂、实验技术及业务;第9、10章分别介绍了人工影响天气的监测、作业装备和技术;第11章介绍了人工影响天气的效果检验技术和方法;第12章是对现代大气物理与人工影响天气的展望。

本书可作为人工影响天气业务人员培训教材,也可为高等院校和科研院所相关专业的学生及科研人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

大气物理与人工影响天气/郭学良主编. —北京:
气象出版社,2009.12
(现代气象业务丛书)
ISBN 978-7-5029-4909-9
I. 大… II. 郭… III. ①大气物理学②人工影响天气
IV. P401 P48
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 230267 号

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:隋珂珂

封面设计:博雅思企划

责任校对:赵 媛

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:889 mm×1194 mm 1/16

字 数:1320千字

版 次:2010年3月第1版

定 价:118.00元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终 审:章澄昌

责任技编:吴庭芳

印 张:42.75

印 次:2010年3月第1次印刷

《大气物理与人工影响天气》分卷编写人员

主 编 郭学良

副主编 杨 军 章澄昌

撰稿人(按姓氏笔画排列)

| | | | | |
|-----|-----|--------|-----|-----|
| 方春刚 | 王广河 | 史月琴 | 石爱丽 | 刘香娥 |
| 向玉春 | 孙 晶 | 达布·希拉图 | 吴万友 | |
| 张 菁 | 李培仁 | 肖 辉 | 苏正军 | 陈志宇 |
| 周毓荃 | 孟 青 | 房 文 | 姚展予 | 段 英 |
| 洪延超 | 唐仁茂 | 楼小凤 | 蔡定军 | 樊 鹏 |

《现代气象业务丛书》编写委员会成员

主 任 郑国光

常务副主任 许小峰

副 主 任 矫梅燕 高学浩 胡 鹏 李 刚

委 员(按姓氏笔画为序)

王式功 王晓云 刘燕辉 孙 健

宋连春 张人禾 张庆红 张俊霞

李国平 杨 军 杨修群 肖子牛

陈洪滨 赵立成 程建军 端义宏

《现代气象业务丛书》审定专家组成员

(按姓氏笔画为序)

丁一汇 丑纪范 王守荣 伍荣生 宇如聪 许健民

吴国雄 李泽椿 沈晓农 陈联寿 赵柏林 徐祥德

涂传诒 陶诗言 陶祖钰 巢纪平

《现代气象业务丛书》编写委员会办公室成员

主 任 高学浩(兼)

副主任 陈云峰 于玉斌 胡丽云 郑有飞

成 员 章国材 董一平 曹晓钟 刘莉红 俞小鼎

俞卫平 邹立尧 罗林明 董章杭 成秀虎

马旭玲 张 德 赵亚南

总 序

《国务院关于加强气象事业发展的若干意见》(国发〔2006〕3号,以下简称“国务院3号文件”)明确要求,新时期气象事业发展要以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导,全面贯彻落实科学发展观,坚持公共气象的发展方向,按照一流装备、一流技术、一流人才、一流台站的要求,进一步强化观测基础,提高预报预测水平,加快科技创新,建设具有世界先进水平的气象现代化体系,提升气象事业对经济社会发展、国家安全和可持续发展的保障与支撑能力,为构建社会主义和谐社会,全面建设小康社会提供一流的气象服务。到2020年,建成结构完善、功能先进的气象现代化体系,使气象整体实力接近同期世界先进水平,若干领域达到世界领先水平。

发展现代气象业务,是气象现代化体系建设的中心任务。为此,中国气象局党组认真总结中国特色气象事业发展改革的经验,深入分析我国经济社会发展对气象事业发展的需求,坚持“公共气象、安全气象、资源气象”发展理念,扎实推进业务技术体制改革,加快推进现代气象业务体系建设,努力实现国务院3号文件提出的实现气象现代化的战略目标,并下发了《中国气象局关于发展现代气象业务的意见》(气发〔2007〕477号)。

现代气象业务体系主要由公共气象服务业务、气象预报预测业务和综合气象观测业务构成,各业务间相互衔接、相互支撑。现代气象业务体系建设要以公共气象服务业务为引领、气象预报预测业务为核心、综合气象观测业务为基础。做好现代气象业务体系的顶层设计,扎实推进现代气象业务体系的建设,是当前和今后一个时期气象现代化体系建设,推动气象事业科学发展的重点任务。而编写一套能够体现现代气象科技水平和成果的《现代气象业务丛书》(以下简称《丛书》),以满足各类从事气象业务、科研、管理以及教育培训等人员的实际需要,是中国气象局党组推进现代气象业务体系建设的具体举措。

《丛书》遵循先进性、实用性和前瞻性的原则,紧密围绕建设现代气象业务体系的总体要求,以适应新形势下气象业务技术体制改革需要和提高气象业务科技水平和气象服务能力为宗旨,立足部门,面向行业,总结分析了国内外现代气象科技发展的最新成果和先进的业务技术体制与流程。《丛书》的编写过程是贯彻落实科学发展观和国务院3号文件的具体实践,也是科学推进现代气象业务体系建设的重要内容。

《丛书》共计十五分册,分别是《现代天气业务》、《现代数值预报业务》、《现代气候业务》、《气候变化业务》、《现代农业气象业务》、《大气物理与人工影响天气》、《大气成分与大

气环境》、《气象卫星及其应用》、《天气雷达及其应用》、《空间天气》、《航空气象业务》、《综合气象观测》、《气象信息系统》、《现代气象服务》和《气象防灾减灾》。

《丛书》编写工作是在气象部门科研业务单位、高等院校和科研院所以及气象行业管理专家、科技工作者的参与和大力支持下,在《丛书》编委会办公室的精心组织下进行的,凝聚了各方面的智慧。在此,我对为《丛书》编写工作付出辛勤劳动的专家、学者及参与编写工作的单位和有关人员表示诚挚的谢意!

郑国光

2009年12月于北京

前 言

《大气物理与人工影响天气》是《现代气象业务丛书》分卷之一。为体现本分卷内容的先进性、实用性和前瞻性,我们组织了由科研机构、高校和业务单位一线科技、教育和业务专家组成的编写队伍。在编写过程中力求体现国内外现代大气物理与人工影响天气的科研和业务成果,以满足我国在大气物理与人工影响天气业务、科研、管理及教育培训等需求。大气物理学的内容非常广泛,因此,在本卷的编写过程中仅把大气物理学的内容作为基础编写,侧重编写与人工影响天气相关的内容。

本书分为十二章。第1章绪论主要介绍大气物理与人工影响天气的发展历程、现状及新进展等。第2章介绍了大气物理学的基础,特别是与人工影响天气学科相关的大气热力学、大气流体力学等方面的基本理论。第3章介绍了与现代人工影响天气密切相关的云降水物理学。第4章主要介绍了人工影响天气的科学原理。第5章重点介绍了大气物理和人工影响天气的数值模式研究。第6章主要介绍了人工增雨和人工防雹的催化作业技术,涵盖了现代人工影响天气的主要作业技术。第7章介绍了人工影响天气催化剂及实验技术。第8章介绍了我国人工影响天气业务,包括业务技术和规范化管理等。第9章和第10章分别介绍了人工影响天气的监测、作业装备和技术。第11章介绍了人工影响天气的效果检验技术和方法。第12章是现代大气物理与人工影响天气的展望。

本书编写过程中得到有关领导和专家的鼎力支持和帮助,借此表示衷心感谢。尤其要感谢各部分执笔人,他们认真负责和不遗余力的工作是本卷得以最终完成的保证。感谢中国气象局培训中心章澄昌教授认真审阅了本书的所有章节,申耀新副教授及人影中心石爱丽博士、伍可等在本书编写过程中给予了很多协调和管理方面的工作。感谢在第10章编写过程中李玉林正研高工、徐永和高工、叶建元高工等及有关装备厂家给予的帮助和支持。感谢中国气象局培训中心在本卷编写过程中给予的支持和帮助。

本书各章执笔人:第1章为中国气象科学研究院研究员、人工影响天气中心主任郭学良;第2章为南京信息工程大学大气物理学院教授杨军;第3章为中国科学院大气物理研究所研究员洪延超,中国气象科学研究院副研究员楼小凤、房文;第4章为中国气象科学研究院正研高工、人工影响天气中心副主任王广河,河北省人工影响天气办公室正研高工段英,中国气象科学研究院石爱丽博士,北京市人工影响天气办公室常务副主任、正研高工张蕾;第5章为中国气象科学研究院副研究员史月琴、孙晶。第6章为陕西省人工影响天气办公室正研高工樊鹏,北京市人影办张蕾。第7章为中国气象科学研究院副研究员苏正军;第8章为中国气象科学研究院高工、产业中心副主任陈志宇,正研高工、人影中心副主任周毓荃;第9章为中国气象科学研究院方春刚博士、刘香娥博士生,山西人工影响天气办公室常务副主任、正研高工李培仁,河北省人影办段英,中国气象科学研究院大气探测所副所长、高工孟青,内蒙古人

2 ◇ 大气物理与人工影响天气

影中心主任、正研高工达布·希拉图,江西省人影办副主任、高工蔡定军,湖北省人影办常务副主任、高工唐仁茂;第 10 章为湖北省人影办唐仁茂和江西省人影办常务副主任、高工吴万友,蔡定军高工,向玉春工程师;第 11 章为中国科学院大气物理研究所 LACS 副主任、研究员肖辉和中国气象科学研究院研究员姚展予。第 12 章由郭学良研究员撰写。

本卷内容涵盖范围广、编写时间仓促,在编写过程中难免有疏漏或不完善之处,敬请批评指正,本卷在正式出版前还将完善和补充有关内容。

郭学良

中国气象科学研究院研究员
中国气象局人工影响天气中心主任
2009 年 11 月 4 日

目
录

| | |
|-------|-------------------------|
| 总序 | |
| 前言 | |
| 第 1 章 | 绪论/1 |
| | 1.1 大气物理与人工影响天气/1 |
| | 1.1.1 大气物理概述/1 |
| | 1.1.2 人工影响天气/1 |
| | 1.2 我国人工影响天气概况/3 |
| | 1.2.1 发展概述/3 |
| | 1.2.2 我国人工影响天气业务现状/17 |
| | 1.3 人工影响天气技术新进展/18 |
| | 1.3.1 冷云播撒技术进展/18 |
| | 1.3.2 暖云播撒技术进展/20 |
| | 1.3.3 一些国家的人工影响天气新计划/20 |
| 第 2 章 | 大气物理基础/21 |
| | 2.1 地球大气/21 |
| | 2.1.1 大气成分/21 |
| | 2.1.2 大气基本物理属性/35 |
| | 2.1.3 大气垂直结构/40 |
| | 2.1.4 空气状态方程/46 |
| | 2.2 大气静力学/47 |
| | 2.2.1 大气静力学方程和压高公式/48 |
| | 2.2.2 模式大气/50 |
| | 2.2.3 大气位势高度/52 |
| | 2.2.4 标准大气/54 |
| | 2.2.5 气压的时空分布/58 |
| | 2.3 大气热力学/62 |
| | 2.3.1 热力学基本定律/62 |
| | 2.3.2 未饱和空气的绝热变化/71 |
| | 2.3.3 饱和空气的绝热变化/74 |
| | 2.3.4 绝热混合过程/77 |
| | 2.3.5 等压过程/79 |
| | 2.3.6 热力学图解/82 |
| | 2.3.7 大气静力稳定度/87 |
| | 2.4 大气辐射/98 |
| | 2.4.1 辐射的基本知识/98 |

- 2.4.2 黑体辐射/102
- 2.4.3 大气介质与辐射的相互作用/107
- 2.4.4 辐射传输基础/114
- 2.4.5 地气系统辐射平衡/127
- 2.5 大气的运动/133
 - 2.5.1 大气运动的描述/133
 - 2.5.2 大气运动的基本控制方程组/138
 - 2.5.3 尺度分析与大气中的基本运动/143
 - 2.5.4 涡度方程/156

第3章 云和降水物理学/163

- 3.1 云的形成和云中微物理过程/163
 - 3.1.1 云滴的形成和增长/164
 - 3.1.2 冰雪晶及其形成和增长/168
 - 3.1.3 降水粒子的形成和增长/172
- 3.2 层状云/174
 - 3.2.1 层状云的形成/174
 - 3.2.2 层状云系宏观结构/174
 - 3.2.3 层状云系“催化—供给”云与降水的关系/182
 - 3.2.4 层状云降水的微物理特征/183
 - 3.2.5 层状云降水的形成/185
- 3.3 对流云/194
 - 3.3.1 对流云的形成和发展/195
 - 3.3.2 对流云降水的物理过程/199
 - 3.3.3 层状云和地形对对流云降水的影响/202
 - 3.3.4 微物理过程对对流云及其降水的影响/206
 - 3.3.5 强对流风暴/210
- 3.4 积层混合云/232
 - 3.4.1 积层混合云一般结构特征/232
 - 3.4.2 混合型中尺度对流系统及其形成过程/236
 - 3.4.3 积层混合云的降水/238
 - 3.4.4 积层混合云产生暴雨的物理机制/241
- 3.5 地形云/247
 - 3.5.1 地形降水的成因/248
 - 3.5.2 地形云中过冷液态水的分布及降水效率/250
 - 3.5.3 祁连山地形对降水的影响/254
 - 3.5.4 地形云的降水效率和日变化/256

第4章 人工影响天气原理/264

- 4.1 静力催化原理/264
- 4.2 动力催化原理/266
- 4.3 人工影响冷云降水/267
- 4.4 人工影响暖云降水/268
- 4.5 地形云人工催化/271
 - 4.5.1 美国的地形云催化试验/271
 - 4.5.2 祁连山地形云催化试验/273

| | | |
|--------------|-------|---------------------------------|
| | 4.5.3 | 北方层状云人工降水试验研究/274 |
| | 4.5.4 | 其他国家的地形云人工催化试验/274 |
| | 4.6 | 人工抑制冰雹/274 |
| | 4.7 | 人工消雾/277 |
| | 4.7.1 | 概论/277 |
| | 4.7.2 | 消雾原理/278 |
| | 4.7.3 | 人工消雾催化剂/279 |
| | 4.7.4 | 成功案例/279 |
| | 4.7.5 | 观测催化设备/285 |
| | 4.8 | 人工消(减)雨/286 |
| | 4.8.1 | 人工消(减)雨的科学原理/286 |
| | 4.8.2 | 人工消雨催化剂/287 |
| | 4.8.3 | 成功案例/288 |
| | 4.8.4 | 观测催化设备/303 |
| | 4.9 | 人工防霜冻/304 |
| | 4.9.1 | 概述/304 |
| | 4.9.2 | 霜冻的人工防御/304 |
| | 4.9.3 | 成功案例/305 |
| 第 5 章 | | 云降水和人工影响天气数值模式/307 |
| | 5.1 | 中尺度模式 WRF 简介/307 |
| | 5.1.1 | 模式背景知识/308 |
| | 5.1.2 | 模式欧拉方程组的通量形式/308 |
| | 5.1.3 | 考虑水汽的控制方程组/309 |
| | 5.1.4 | 考虑地图投影、Coriolis 力和曲率项的控制方程组/309 |
| | 5.1.5 | 相对于参考大气的扰动控制方程组/310 |
| | 5.1.6 | WRF 模式的物理过程参数化方案选项/311 |
| | 5.1.7 | WRF 模式的边界条件选项/311 |
| | 5.2 | 云降水参数化/311 |
| | 5.2.1 | 对流参数化/312 |
| | 5.2.2 | 显式云分辨方案/312 |
| | 5.2.3 | 降水方案的选择/314 |
| | 5.3 | 模式中微物理过程和催化过程/314 |
| | 5.3.1 | 水凝物粒子谱分布/315 |
| | 5.3.2 | 云降水模式微物理方程组/315 |
| | 5.3.3 | 云降水方程组的准隐式解法/317 |
| | 5.3.4 | 人工影响天气模式的构建/318 |
| | 5.4 | 应用举例/322 |
| | 5.4.1 | 人工影响天气数值模式业务系统/322 |
| | 5.4.2 | 优化播撒方法的模拟研究/326 |
| | 5.4.3 | 人工增雨催化效果的模拟研究/332 |
| | 5.4.4 | 冰雹云形成过程和减雹催化模拟研究/341 |
| | 5.4.5 | 三维冰雹分档强对流云模式和模拟研究/350 |
| 第 6 章 | | 人工增雨与人工防雹作业技术/356 |
| | 6.1 | 人工增雨技术/356 |

| | | |
|------------|-------|------------------------------|
| | 6.1.1 | 人工增雨作业设计的目的/356 |
| | 6.1.2 | 制定人工增雨作业计划的前期准备工作/357 |
| | 6.1.3 | 飞机增雨飞行航线设计依据/360 |
| | 6.1.4 | 地面高炮、火箭增雨作业设计/367 |
| | 6.1.5 | 人工增雨天气条件的选择/368 |
| | 6.1.6 | 人工增雨作业指标/371 |
| | 6.1.7 | 人工增雨作业方法/378 |
| | 6.1.8 | 高炮火箭增雨作业技术/380 |
| | 6.1.9 | 人工增雨作业技术系统/383 |
| | 6.2 | 人工防雹技术/384 |
| | 6.2.1 | 人工防雹试验概述/384 |
| | 6.2.2 | 冰雹云的物理特征/385 |
| | 6.2.3 | 人工防雹作业方案设计/385 |
| | 6.2.4 | 防雹作业方案实施的基本程序/388 |
| | 6.2.5 | 冰雹预报和冰雹天气的监测/388 |
| | 6.2.6 | 防雹作业指标/393 |
| | 6.2.7 | 防雹作业技术/402 |
| 第7章 | | 人工影响天气催化剂与实验技术/419 |
| | 7.1 | 催化剂/419 |
| | 7.1.1 | 人工冰核/419 |
| | 7.1.2 | 致冷剂/421 |
| | 7.1.3 | 吸湿性催化剂/422 |
| | 7.2 | 云室的结构和功能/423 |
| | 7.2.1 | 新型1 m ³ 等温云室/425 |
| | 7.2.2 | 混合云室/425 |
| | 7.2.3 | 静力扩散云室/427 |
| | 7.2.4 | 96 m ³ 中型综合云室/427 |
| | 7.2.5 | 2 m ³ 等温云室/428 |
| | 7.2.6 | 用于云降水物理研究的其他实验装备/429 |
| | 7.3 | 催化剂检测技术/429 |
| | 7.3.1 | 检测实验步骤/430 |
| | 7.3.2 | 不同仪器设备检测结果的对比问题/430 |
| | 7.4 | 催化剂的研究/430 |
| | 7.4.1 | 碘化银复合人工冰核/430 |
| | 7.4.2 | 冰核和核化速率与核化机制/431 |
| | 7.5 | 单冰晶增长特性的研究/434 |
| | 7.5.1 | 单冰晶在取样冷台上的增长速率/434 |
| | 7.5.2 | 冰晶形状与温度的关系/435 |
| | 7.6 | 催化剂的成冰核率的动态检测/440 |
| | 7.7 | 新型便捷的催化剂运载工具/440 |
| 第8章 | | 我国人工影响天气业务/445 |
| | 8.1 | 人工影响天气业务体制/445 |
| | 8.1.1 | 人工影响天气业务内容/445 |
| | 8.1.2 | 人工影响天气业务体系的发展目标/446 |

| | |
|------------|---------------------------|
| 8.1.3 | 人工影响天气技术路线/446 |
| 8.1.4 | 人工影响天气业务功能和结构/446 |
| 8.1.5 | 业务布局/448 |
| 8.2 | 人工影响天气业务技术系统/450 |
| 8.2.1 | 主要任务/450 |
| 8.2.2 | 科学依据/451 |
| 8.2.3 | 业务技术系统的构成及相互关系/452 |
| 8.2.4 | 业务系统各部分的组成及要求/453 |
| 8.2.5 | 各级业务系统的设计建设基本原则/457 |
| 8.2.6 | 省级人工影响天气业务技术系统实例介绍/458 |
| 8.2.7 | 市(地)级人工影响天气业务技术系统/464 |
| 8.2.8 | 县级人工影响天气业务技术系统/470 |
| 8.2.9 | 人工影响天气业务流程及产品/470 |
| 8.2.10 | 人工影响天气业务系统的发展/472 |
| 8.3 | 人工影响天气业务规范/473 |
| 8.3.1 | 行业标准/473 |
| 8.3.2 | 部门规范/473 |
| 8.3.3 | 规范附录/474 |
| 第9章 | 云降水与人工影响天气监测技术/476 |
| 9.1 | 卫星监测/476 |
| 9.1.1 | 卫星介绍/477 |
| 9.1.2 | 应用原理/479 |
| 9.1.3 | 主要应用/482 |
| 9.2 | 气象雷达/486 |
| 9.2.1 | 气象雷达的分类/487 |
| 9.2.2 | 气象雷达工作原理/488 |
| 9.2.3 | 新一代天气雷达在人工影响天气工作中的应用/490 |
| 9.2.4 | 毫米波雷达/515 |
| 9.3 | 微波辐射仪/516 |
| 9.3.1 | 仪器介绍/517 |
| 9.3.2 | 微波辐射计监测原理/519 |
| 9.3.3 | 微波辐射计的应用/520 |
| 9.4 | 机载监测系统/521 |
| 9.4.1 | 大气及云物理探测飞机/521 |
| 9.4.2 | 机载云物理探测/523 |
| 9.4.3 | 机载含水量及温、湿度的观测/531 |
| 9.4.4 | GPS定位及资料传输系统/533 |
| 9.4.5 | 冰核的观测/533 |
| 9.4.6 | 机载云凝结核的观测/533 |
| 9.5 | 雷电监测/538 |
| 9.5.1 | 雷电监测技术/538 |
| 9.5.2 | 雷电监测现状/541 |
| 9.5.3 | 雷电活动与对流天气/542 |
| 9.5.4 | 雷电与人工影响天气/546 |

| | |
|-------------|--------------------------------|
| | 9.6 GPS水汽监测/546 |
| | 9.6.1 国内外发展概述/547 |
| | 9.6.2 GPS水汽监测原理/548 |
| | 9.6.3 GPS水汽监测前景展望/557 |
| | 9.7 雨滴谱仪/558 |
| | 9.7.1 概述/558 |
| | 9.7.2 雨滴谱仪观测原理/558 |
| | 9.7.3 雨滴谱仪功能及应用/560 |
| | 9.8 雾滴谱仪/561 |
| | 9.8.1 概述/561 |
| | 9.8.2 雾滴谱仪观测原理/561 |
| | 9.8.3 雾滴谱仪应用情况/562 |
| 第10章 | 人工影响天气作业装备/570 |
| | 10.1 概述/570 |
| | 10.1.1 装备类型/570 |
| | 10.1.2 发展历程与展望/570 |
| | 10.2 飞机/573 |
| | 10.2.1 主要机型及性能/573 |
| | 10.2.2 机载作业装置/573 |
| | 10.2.3 飞机作业系统附属设备/576 |
| | 10.3 高炮/577 |
| | 10.3.1 高炮作业系统构成/577 |
| | 10.3.2 高炮作业系统操作步骤/582 |
| | 10.3.3 高炮发射系统的管理维护/584 |
| | 10.4 火箭/586 |
| | 10.4.1 火箭作业系统构成/586 |
| | 10.4.2 火箭作业系统操作步骤/591 |
| | 10.4.3 火箭发射系统的管理维护/593 |
| | 10.5 地面燃烧炉/594 |
| | 10.5.1 地面燃烧炉作业系统构成/595 |
| | 10.5.2 地面燃烧炉作业系统操作步骤/599 |
| | 10.5.3 地面燃烧炉作业系统的管理与维护/600 |
| 第11章 | 人工影响天气效果检验技术/602 |
| | 11.1 人工影响天气效果检验的重要性/602 |
| | 11.2 人工影响天气效果检验研究的现状与存在的问题/602 |
| | 11.2.1 随机化试验/603 |
| | 11.2.2 非随机化试验/603 |
| | 11.3 基本方法介绍/603 |
| | 11.3.1 人工影响天气效果的统计检验技术/603 |
| | 11.3.2 人工影响天气效果的物理检验技术/604 |
| | 11.3.3 人工影响天气效果的数值模拟检验技术/604 |
| | 11.4 非随机化人工影响天气效果的统计检验技术方法/604 |
| | 11.4.1 序列试验/604 |
| | 11.4.2 区域对比试验/604 |

| | | |
|---------------|--------|-------------------------------|
| | 11.4.3 | 区域历史回归试验/604 |
| | 11.4.4 | 常用的几种非随机化人工影响天气作业效果评估方案介绍/605 |
| | 11.5 | 人工影响天气效果的物理检验技术/617 |
| | 11.5.1 | 物理检验的内涵/618 |
| | 11.5.2 | 物理检验的具体内容/618 |
| | 11.5.3 | 物理检验举例/618 |
| | 11.6 | 云数值模式在人工影响天气效果检验中的应用/621 |
| | 11.7 | 人工影响天气效果综合检验技术方法/623 |
| | 11.8 | 小结/625 |
| 第 12 章 | | 现代大气物理与人工影响天气展望/627 |
| | 12.1 | 需求展望/627 |
| | 12.2 | 技术展望/628 |
| | | 中国人工影响天气大事记/632 |

第1章 绪论

气象学概论

1.1 大气物理与人工影响天气

1.1.1 大气物理概述

大气物理是物理学在大气研究中的应用,是利用流体力学方程,化学模式,辐射平衡和热量传输过程等知识描述和理解大气及相关系统的物理过程,如利用散射、波传输,云物理,力学等理论描述大气中的物理过程。大气物理与天气、气候密切相关,但也包括用于研究大气的直接和遥感观测仪器的设计和研制及数据解析。随着人类对地球大气外空间的关注,探测火箭的引入,大气外空间探测能力的提高,超高层大气的物理过程的研究也不断获得发展。

大气遥感是大气物理学的主要研究手段之一,也是人工影响天气的主要监测技术手段。大气遥感有两种方式,被动和主动。被动探测是探测目标物发出或散射的自然辐射,如辐射计等。主动探测是发射能量去扫描目标物,探测目标物反射或后向散射的辐射,如雷达等。通过遥感探测可以获得危险或不可接近目标物的数据,因此,有着广泛的用途和价值。大气遥感原理充分利用了太阳和大气辐射的相关理论,太阳可以发射不同波长的辐射,可见光的波长在 $0.4\sim 0.7\ \mu\text{m}$,从短波的紫外辐射到长波的红外辐射等。大气中的臭氧可以有效吸收 $0.25\ \mu\text{m}$ 的紫外辐射,利用这一原理可以遥感探测大气臭氧的含量。雪可以反射88%的紫外辐射,而沙子只有12%,水只有4%的紫外辐射反射能力。

大气中的电过程是大气物理过程之一,地球表面、电离层和大气组成地球大气电路。闪电可以释放3万A的电流,电压可达到100万V,产生光、无线电波、X射线,甚至 γ 射线。闪电中等离子体的温度可达到28000K,电子密度可以超过 $10^{24}/\text{m}^3$ 。大气电过程与云的动力、物理过程密切相关。

与现代人工影响天气密切相关的云物理学是研究云的形成、增长和降水产生的物理过程的学科。云有暖云、冷云和混合云之分,暖云是由云滴组成,冷云是由冰晶粒子组成,而混合云包含了云滴和冰晶。在适合条件下,云粒子可以长大形成降水。科学家发展了很多理论来解释云的结构和形成问题,这些理论构成了云降水物理学的基础。雷达、卫星等观测技术的发展提供了从较大尺度上研究云的手段。

1.1.2 人工影响天气

现代人工影响天气是以大气物理为基础,通过人为改变自然天气过程,达到趋利避害的目的。目前最广泛应用的一种人工影响天气方法是播云,目的是增雨(雪),防雹,减弱云和降水或台风等,