



中国气象局培训中心
基层台站气象业务系列培训教材

丛书主编：高学浩

人工影响天气 技术与管理

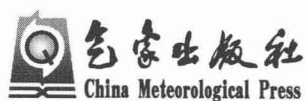
主编 邓北胜



中国气象局培训中心
基层台站气象业务系列培训教材

人工影响天气技术与管理

邓北胜 主编



内 容 简 介

该培训教材以服务于基层台站,促进基层人工影响天气管理、业务和指挥作业人员综合素质提高为目的,从国内外人工影响天气发展现状、成云致雨和人工影响天气的基本原理、云雾降水综合监测手段、作业技术方法、作业方案设计和组织实施、作业效果检验以及人工影响天气管理和人员培训等几个方面,全面介绍了基层人工影响天气工作者应了解、掌握和熟练运用的专业基础知识、现代化装备及技术、规范化管理等内容。通过提升知识结构与业务技能,以更好地满足社会经济发展对人工影响天气工作的需求,促进各地区和全国人工影响天气作业整体科学水平和服务效益的提高。

图书在版编目(CIP)数据

人工影响天气技术与管理 / 邓北胜主编. —北京:气象出版社, 2011.9
ISBN 978-7-5029-5304-1

I. ①人… II. ①邓… III. ①人工影响天气—研究 IV. ①P48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 198264 号

人工影响天气技术与管理

邓北胜 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.cma.gov.cn>

责任编辑:张 萌 张 斌

封面设计:燕 彤

责任校对:石 仁

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:298 千字

版 次:2011 年 9 月第 1 版

定 价:32.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:汪勤模

责任技编:吴庭芳

印 张:11.75

插 页:4

印 次:2011 年 9 月第 1 次印刷

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

《基层台站气象业务系列培训教材》 编写委员会成员

主 任 高学浩

副主任 姚学祥 肖子牛

委 员(按姓氏笔画排列)

马舒庆	王 强	邓北胜	孙 涵	成秀虎
余康元	张义军	李集明	陈云峰	郑江平
俞小鼎	姜海如	胡丽云	赵国强	曹晓钟
章国材	章澄昌			

编写委员会办公室成员

主 任 邹立尧

副主任 刘莉红 申耀新

成 员(按姓氏笔画排列)

马旭玲	刘晓玲	孙 钢	张 斌	李玉玲
李余粮	李志强	侯锦芳	胡宜昌	胡贵华
赵亚南	高 婕	黄世银	彭 茹	韩 飞

《人工影响天气技术与管理》编写人员

主 编 邓北胜

副主编 李宏宇 张 菁

参编人员

刘建忠 黄梦宇 董鹏捷 宛 霞 何 晖
马新成 韩 光 嵇 磊 赵淑艳 周 崑

总 序

《国务院关于加快气象事业发展的若干意见》(国发〔2006〕3号)提出,要按照“一流装备、一流技术、一流人才、一流台站”的要求,以增强防灾减灾能力、保护人民群众生命财产安全以及满足气候变化国家应对需求为核心,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,实现全社会气象事业的协调发展。

基层气象台站是气象工作的基础。中国气象局党组历来高度重视基层气象台站的建设,并始终将其摆在全局工作的重要位置,特别是进入新世纪以来,中国气象局党组强化领导,科学规划,大力推进,不断完善利于基层气象台站发展的政策措施,不断改善基层气象台站的发展环境,不断加大对基层气象台站发展的投入力度,基层气象台站建设取得了明显成效。例如,气象现代化装备和技术在基层气象台站得到广泛应用,气象观测能力显著提高,气象服务能力和效益显著提高,气象队伍素质显著提高,台站工作生活环境和条件显著提高,在保障地方经济社会发展中作用显著提高,地方党委、政府对气象工作的认识也显著提高。可以说,基层气象台站发展面临的形势和机遇前所未有,挑战和任务也前所未有。与经济社会发展对气象预报服务越来越多的需求相比,基层气象台站的气象预报服务能力和水平还难以适应,差距较大,特别是气象服务能力和气象队伍整体素质不适应的问题越来越突出。为此,中国气象局从2009年起开展了全国气象部门县级局局长的轮训,力图使他们通过培训,能够以创新的思维和求真务实的作风,破解基层气象台站建设与发展中遇到的难题,这样轮训的实际效果超出了预期。

做好基层气象工作,推进一流台站建设,既要有一支政治素质和业务素质高的领导干部队伍,也要有一支踏实肯干、敬业爱岗、业务素质高的气象业务服务队伍,这是新时期加强基层气象工作、夯实气象事业发展基础的必然要求。为此,中国气象局培训中心组织有关教师和业务一线专家,从基层气象台站实际出发,以建设现代气象业务和一流台站的要求为目标,编写了《基层台站气象业务系列培

训教材》。这套教材涵盖了地、县级气象业务服务工作领域,体现“面向生产、面向民生、面向决策”的气象服务要求。我相信,这套教材的编写、出版,将会受到广大基层气象台站工作者的广泛欢迎。我希望,各地气象部门要充分利用好这套教材,通过面授、远程培训等方式,做好基层气象工作者的学习培训工作。我也借此机会,向为这套教材的编写、出版付出努力的专家学者和编辑人员表示衷心的感谢。

郑国光

2010年12月于北京

丛书前言

基层气象工作是整个气象工作的基础,是发展现代气象业务的重要基石。抓基层、打基础是建设中国特色气象事业、实现“四个一流”建设目标的重要任务。基层气象台站承担着繁重的气象业务、服务和管理任务,是气象科技转化成防灾减灾效益的前沿阵地。

全国气象部门现有 2435 个县级基层台站、14050 个乡村信息服务站,36% 的在编职工、45% 的编外人员和 37.5 万气象信息员工作在基层,努力提高基层人才队伍综合素质是当前和今后一段时期气象教育培训面临的一项重要而紧迫的任务。为了全面开展面向基层台站人员的培训工作,加快提高基层台站人员的总体素质,我们根据现代气象业务体系建设对基层气象台站业务服务和管理的总体要求,组织编写了《基层台站气象业务系列培训教材》。

这套教材立足于为基层职工奠定扎实的气象业务理论基础和技术基础,全面提升基层职工岗位业务能力,内容涵盖了地、县级气象业务的主要领域,包括综合观测、分析预测、应用气象、气候变化、气象服务、人工影响天气、雷电灾害防御、信息技术、装备保障、综合管理和气象科普等。教材的编写遵循针对性、实用性、先进性和扩展性的原则,尽可能为基层气象台站人员的学习或省级培训机构培训提供一套实用的系列培训参考教材。

《基层台站气象业务系列培训教材》共分 16 册,分别是《地面气象观测》、《高空气象探测》、《天气雷达探测与应用》、《卫星遥感应应用》、《天气预报技术与方法》、《雷电防护技术及其应用》、《人工影响天气技术与管理》、《农业气象业务》、《气候与气候变化基础知识》、《气候影响评价》、《气象灾害风险评估与区划》、《风能太阳能开发利用》、《基层台站气象服务》、《气象台站信息技术应用》、《台站气象装备保障》和《县级气象局综合管理》。这套系列培训教材计划用两年左右时间完成,并将随着现代气象业务技术的不断发展随时进行修订和补充。

这套系列教材的编写凝聚了多方的智慧,各省级气象部门、相关高等院校及气象行业的专家、学者以及众多气象部门的领导参加了该套教材的编写与审定工

作,《基层台站气象业务系列培训教材》编委会办公室做了大量细致的组织工作,在此,我对他们为此付出的辛勤劳动表示衷心的感谢。由于开展这项工作尚属首次,难免存在不尽如人意之处,诚挚地欢迎大家提出宝贵意见!

高学浩

2010年12月于北京

前 言

人工影响天气属于科技型公益性事业,是气象防灾减灾、趋利避害的一项重要科技手段。多年以来,在各级政府和有关部门的大力支持下,通过广大科技工作者不懈的努力奋斗,我国人工影响天气人员队伍水平和知识层次不断提高,技术装备不断现代化。由卫星、雷达、地面测站网构成的综合监测网,由现代通信设备组成的高速信息网,以及以计算机为主体的作业决策指挥系统正在逐渐引入人工影响天气业务体系,使增雨、防雹等人工影响天气作业的现代化水平有了很大提高。人工影响天气工作在农业抗旱减灾、缓解水资源短缺、改善生态环境和提升城市服务功能等方面都发挥出了重要作用,并受到地方各级政府的肯定和人民群众的普遍欢迎。

人工影响天气是一项复杂、技术难度大、涉及面广的科学试验研究工作,也是一门发展中的学科,许多重要问题都需要在实践中不断探索总结和研究解决。当前,我国人工影响天气作业规模已位居世界前列,但总体技术水平与经济社会发展的需要仍然不相适应,与国外先进技术相比也还存在一定的差距。进一步提高各地区人工影响天气作业的科学水平和服务效益已显得尤为迫切和必要,同时也对各级人工影响天气工作人员的知识结构和业务技能都提出了新的要求。为了进一步提高我国人工影响天气作业总体科技水平,编写服务于基层台站人员为主的人工影响天气技术与管理培训教材,对于提高基层人工影响天气管理、业务和指挥作业人员的综合素质,促进人工影响天气工作健康可持续地发展,都有十分重要的意义。

本教材共分七章。第一章概要介绍了国内外人工影响天气发展现状与进展;第二章揭示成云致雨及人工影响天气的基本原理和物理基础;第三章介绍了云雾降水天基、空基、地基主要监测手段和基层台站对常见观测资料的技术应用;第四章结合不同类型催化剂和作业装备的性能特点,介绍了人工增雨防雹作业几种主要技术手段与方法;第五章通过列举国内外大型试验研究情况,阐述人工影响天气作业方案设计、组织实施步骤及业务基本流程;第六章详细介绍了人工影响天气作业效果检验几种基本方法、内容及与之相关的一些问题;第七章概述了人工影响天气规范化管理和标准化建设中应遵循的有关法律法规、规章制度、技术规

范、操作规程以及从业人员教育培训等内容。

教材编写由邓北胜和张蔷牵头,参加编写成员有:张蔷、何晖(第一章),李宏宇(第二章、第六章),马新成、黄梦宇(第三章),韩光(第四章),董鹏捷、嵇磊、刘建忠(第五章),宛霞、赵淑艳(第七章),并由李宏宇和周嵬负责最后的修改、统审以及校订工作。编写过程中,王强、章澄昌、胡志晋、许焕斌、李大山以及邀自地方省市的几位专家和学者对教材的审校、修改付出了辛勤劳动。在写作和出版过程中,中国气象局培训中心高学浩、彭茹等也对教材提出了许多宝贵意见。在此一并向他们致以诚挚的谢意!

由于水平有限,教材中错误和疏漏之处在所难免。欢迎读者批评指正!

作 者

2011年5月

目 录

总序

丛书前言

前言

1 绪论	(1)
1.1 人工影响天气的发展现状	(1)
1.1.1 早期人类探索活动	(1)
1.1.2 国外人工影响天气发展概况	(2)
1.1.3 人工影响天气在我国的兴起和发展	(4)
1.2 人工影响天气需解决的问题	(7)
1.2.1 云降水监测和预测技术	(7)
1.2.2 催化作业技术	(7)
1.2.3 外场试验方案设计	(7)
1.2.4 效果检验和评估技术	(8)
1.3 重视基层台站人工影响天气工作	(8)
1.3.1 政府大力支持	(8)
1.3.2 科学决策指挥作业	(9)
1.3.3 强化管理	(9)
1.3.4 认真总结与评估	(9)
复习思考题	(10)
2 人工影响天气科学基础	(11)
2.1 自然云和降水的形成与发展	(11)
2.1.1 云的分类与基本特征	(11)
2.1.2 降水分类与基本特征	(15)
2.1.3 成云致雨的基本条件	(18)
2.1.4 云雾降水宏观特征	(22)
2.1.5 云雾降水的微观特征	(30)
2.1.6 云雾降水形成的微物理过程	(34)
2.2 人工影响天气的基本原理	(39)
2.2.1 播云催化剂的发现	(39)

2.2.2 人工影响天气基本原理	(41)
复习思考题	(49)
3 探测技术	(50)
3.1 地面观测	(50)
3.1.1 水汽场监测	(50)
3.1.2 云凝结核和冰核测量	(58)
3.1.3 云的宏观特性观测	(60)
3.1.4 雷达探测	(61)
3.1.5 风廓线探测	(62)
3.1.6 地面降水观测	(64)
3.2 飞机观测	(68)
3.2.1 探测飞机	(68)
3.2.2 机载常规探测装备	(70)
3.2.3 机载云微物理测量	(72)
3.3 高空观测	(77)
3.3.1 天基探测	(77)
3.3.2 卫星探测在人工影响天气中的应用	(77)
复习思考题	(80)
4 作业技术	(81)
4.1 概述	(81)
4.2 催化剂	(81)
4.2.1 催化剂的作用原理	(81)
4.2.2 催化剂的分类和作用	(82)
4.2.3 催化剂性能指标	(82)
4.2.4 常用催化剂	(83)
4.3 作业工具	(84)
4.3.1 高炮作业系统	(85)
4.3.2 火箭作业系统	(88)
4.3.3 地面发生器	(91)
4.4 作业方法	(93)
4.4.1 作业站点布局	(93)
4.4.2 作业站点设立	(93)
4.4.3 防雹播撒方法	(94)
4.4.4 增雨播撒方法	(98)
复习思考题	(100)
5 方案设计和作业组织实施	(101)
5.1 作业对象	(101)
5.2 催化方式	(102)
5.2.1 地形云静力催化	(102)

5.2.2 层状冷云静力催化	(104)
5.2.3 层状暖云人工增雨	(109)
5.2.4 积云静力催化	(111)
5.2.5 积云动力催化	(116)
5.3 作业条件的分析与判定	(117)
5.3.1 雷达在人工影响天气中应用	(119)
5.3.2 卫星云图在人工影响天气中的应用	(121)
5.3.3 探空资料在人工影响天气中应用	(126)
5.4 作业方案设计	(127)
5.4.1 高炮防雹、增雨作业方案设计	(128)
5.4.2 火箭增雨、防雹作业方案设计	(129)
5.5 人工影响天气业务流程	(130)
5.5.1 预先准备阶段	(131)
5.5.2 准备阶段	(131)
5.5.3 直接准备阶段	(132)
5.5.4 指挥作业	(132)
5.5.5 总结阶段	(132)
复习思考题.....	(137)
6 人工影响天气效果评估	(138)
6.1 概述	(138)
6.1.1 难点与问题	(139)
6.1.2 国内外研究进展	(139)
6.2 基本方法	(140)
6.2.1 统计检验与评估	(140)
6.2.2 物理检验与评估	(148)
6.2.3 数值模式检验与评估	(152)
6.2.4 催化效果的综合评价	(152)
6.2.5 著名的试验计划	(152)
6.3 人工影响天气效果与效益	(156)
6.3.1 经济、社会效益	(156)
6.3.2 人工影响天气和局部天气	(157)
6.3.3 人工影响天气与生态环境	(157)
6.4 人工影响天气与人类活动	(158)
复习思考题.....	(159)
7 管理与培训	(160)
7.1 人工影响天气管理	(160)
7.1.1 概述	(160)
7.1.2 组织与人员资质	(161)
7.1.3 作业站点管理	(161)

7.1.4	作业装备管理	(162)
7.1.5	催化物资管理	(163)
7.2	人工影响天气培训	(164)
7.2.1	人员队伍建设	(164)
7.2.2	基础培训	(164)
7.2.3	岗位培训	(165)
7.2.4	继续教育	(165)
7.3	规范和标准	(165)
7.3.1	法律法规	(165)
7.3.2	安全作业规范	(167)
	复习思考题	(169)
	主要参考文献	(170)

1 绪 论

内容提要

本章介绍了国内外人工影响天气(简称“人影”)发展简史和业务、科研、管理等各方面内容、发展现状、取得的成绩与最新进展。提出人工影响天气工作在云雾降水预测预报、作业条件监测识别、外场作业方案设计、作业技术以及作业效果评估等环节尚存的诸多关键问题以及可能解决的办法。最后强调基层台站合理有效开展人工影响天气工作须关注的一些事项。

人工影响天气(简称“人影”)是指为避免或者减轻气象灾害,合理利用气候资源,在适当条件下通过人工干预的方式对局部大气的云物理过程进行影响,实现以增雨(雪)、防雹、消雾、消云等为目标的活动。它是气象服务于防灾、减灾、保护人民生命财产安全和提高人民生活质量、合理开发利用气候资源、生态建设与保护的重要科技手段之一。

1.1 人工影响天气的发展现状

1.1.1 早期人类探索活动

呼风唤雨、祛灾避害是人类长期以来梦寐以求的美好愿望。我国是雹灾较多的国家,从明代开始,中国就有人工防雹活动的记载。那时都是民间的一些自发防雹活动,所用方法有敲锣打鼓、土枪、土炮,以及炸药包和空炸炮的爆炸等。17世纪末,中国清代的《广阳杂记》就记载:“夏五、六月间,常有暴风起,黄云自山来,必有冰雹,土人见黄云起,则鸣金鼓,以枪炮向之施放,即散去。”这是中国古代用土炮防雹的生动描述。1857年出版的《冕宁县志》中记述了土炮轰击雹云的事例,当地民间的土炮防雹一直延续到20世纪50—60年代。

在欧洲,1815年意大利曾经总结了民间的各种防雹措施,有教堂敲钟、打炮、爆炸、烧篝火等。首次有科学依据的人工增雨的设想是气象经典著作《风暴原理》(1841年)的作者美国人艾斯比(Espy)在1839年提出的。他认为在潮湿空气中可用烈火产生上升气流来造云致雨。这种设想是否具体实施尚无记载,但是20世纪50—60年代在法国进行的快速大量燃油试验和在刚果对大草原林火的观测中取得了成云的一些证据。大气层核武器试验出现的蘑菇云及其在一定大气层结条件下可伴随阵雨,以及大型炼油厂火灾伴生积云也可作为这个设想具有科学依据的佐证。

1930年,荷兰范拉特(Verart)进行了一次大规模的人工降水实验,在2500 m高空上播撒了约1.5 t干冰,在约8 km²左右的面积上产生了降水。不过他当时并未意识到干冰对冷云催化的作用机制。1938年美国学者霍顿(Houghton)在麻省理工学院的野外试验站曾经用吸湿性核(CaCl₂)播入暖雾中进行消雾,并获得部分成功。这是首次符合物理原理并取得一定成效的人工影响天气科学试验。

20世纪30年代以前的云物理探测、实验和理论研究,为其后的迅速发展奠定了基础,其中包括1881年英格兰学者爱根(Aitkon)发明计尘器(后称为爱根核计数器),并以此证实了雾滴中含有凝结核。1925年瑞典学者科勒(Kohler)发展了吸湿性核凝结理论,并证实了海盐核在成云致雨过程中的重要性。

1933年瑞典学者贝吉龙(Bergeron)根据德国学者韦格纳(Wegner)于1911年在《大气热力学》一书中关于冰晶、水滴共存,水滴蒸发和冰晶凝华增长的表述,提出冰水混合云的降水理论。1938年德国学者芬德森(Findeisen)进一步扩充和完善了这一理论,为解决冷云降水机制奠定了坚实的基础,现在常把它称为贝吉龙-芬德森(Bergeron-Findeisen)理论。该理论开创了现代云物理研究的先河。

现代人工影响天气活动始于1946年美国的谢弗(Shaefer)和冯内古特(Vonnegut)的伟大发现。谢弗在诺贝尔奖金获得者朗缪尔(Langmuir)的指导下,从事过冷却水滴的冻结研究,发现作为致冷剂的干冰(固态二氧化碳),可促使局部空气冷却到-40℃以下,在形成的低温高湿区中自发产生大量冰晶。随后成功地进行了飞机在过冷水云中播撒干冰形成冰晶和雪幡的试验。几乎与此同时,冯内古特选取类似冰结构的碘化银(AgI)晶体,作为人工冰核的成冰试验获得成功。他在研究碘化银烟粒发生方法方面起到了先导作用,使碘化银作为有效催化剂能很快成功地应用于人工影响天气作业。此后,全世界开始大规模、持续地开展人工影响天气试验活动。

1.1.2 国外人工影响天气发展概况

1.1.2.1 国外人工影响天气科学试验情况

通过随后60多年的研究,人类对于自然云(雨、冰雹、雪)的微物理、动力和降水过程以及人为干预上述过程所造成的影响在认知上有了很大的提高。据世界气象组织(WMO)的统计,目前有30多个国家每年进行着100多项的人工增雨、防雹和消雾工作。

在美、俄、以色列、乌克兰等国家的一些地区,通过长期深入的科学试验研究,掌握了当地云雨特点和相应的人工增雨技术,证实了具有增雨的效果,这项工作在一些地区已作为长期业务开展。例如,在以色列北部先后开展了两期人工增雨试验计划(1961—1967,1969—1975),得到相对增雨15%和13%的结果;并于1975年开始开展了业务性的人工增雨作业计划,据1976—1991年的检验结果相对增雨6%。取得了良好经济效益,投入产出比在1:10以上。这些项目大都利用云水条件好的季节作业,增加的降水再利用水库、水渠等水利设施的调蓄输运,较好地开发了空中水资源。他们还把这套技术向受干旱影响严重的发展中国家如叙利亚、摩洛哥等国成套输出。国外从20世纪50年代起开始发展人工防雹技术,到现在先后大约有30~40个国家开展了防雹的减灾作业和试验研究。其中,前苏联(主要在其中亚部分)开展的人工防雹,科学概念清楚、技术装备先进、效果良好,曾作为实用减灾技术长期持续地进行。但防雹效果的科学论证还不够严格。