

国家级人工影响天气业务建设项目资助出版



th

第十五届

全国云降水与人工 影响天气科学会议

Proceedings of the 15th National Conference on
Cloud and Precipitation and Weather Modification (I)

论文集 I

中国气象学会人工影响天气委员会
中国气象科学研究院
中国气象局人工影响天气中心
吉林省人工影响天气办公室

主编 ◎



气象出版社
China Meteorological Press

国家级人工影响天气业务建设项目资助出版

第十五届全国云降水 与人工影响天气科学会议论文集(I)

Proceedings of the 15th National Conference on Cloud
and Precipitation and Weather Modification (I)

中国气象学会人工影响天气委员会
中国气象科学研究院
中国气象局人工影响天气中心
吉林省人工影响天气办公室

主编

内容简介

论文集收集了第十五届全国云降水与人工影响天气科学会议的交流论文。内容覆盖了近几年我国在人工影响天气理论和方法;催化剂与催化技术;云雾物理与降水机理及形成过程;大气水循环与水资源;云降水与大气气溶胶、大气化学及气候变化的相互作用;气溶胶、云雾降水的观测试验装备和人工影响天气的工具及应用;人工影响天气效果评估与检验方法;人工影响天气作业条件与业务技术系统等方面的最新进展与成果。本书可为全国人工影响天气业务管理、技术部门掌握我国人工影响天气最新发展动态和科学决策提供参考,也可作为大专院校、科研单位云物理与人工影响天气相关专业本科生、研究生的专业参考书。

图书在版编目(CIP)数据

第十五届全国云降水与人工影响天气科学会议论文集(Ⅰ)/中国气象学会人工影响天气委员会等主编. —北京:气象出版社,2008.9

ISBN 978-7-5029-4593-0

I. 第… II. 中… III. ①降水—云物理学—学术会议—文集 ②人工影响天气—学术会议—文集
IV. P426.6—53 P48—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 144872 号

Dishiwujie Quanguo Yunjiangshui yu
Rengong Yingxiang Tianqi Kexue Huiyi Lunwenji(Ⅰ)
第十五届全国云降水与人工影响天气科学会议论文集(Ⅰ)
中国气象学会人工影响天气委员会 等 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://cmp.cma.gov.cn>

策划编辑:李太宇

责任编辑:隋珂珂 王萃萃 张锐锐

蔺学东 林雨晨

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京京科印刷有限公司

开 本:880 mm×1230 mm 1/16

字 数:2000 千字

版 次:2008 年 9 月第 1 版

印 数:1~1200

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终 审:章澄昌 黄润恒 纪乃晋

责任技编:吴庭芳

印 张:70.5

印 次:2008 年 9 月第 1 次印刷

定 价:220.00 元(共两册)

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

第 26 届中国气象学会人工影响天气委员会

顾问委员会

主任委员:

毛节泰 男 北京大学物理学院 教授

委员:

郑国光 男 中国气象局 局长/研究员
黄美元 男 中国科学院大气物理研究所 研究员
秦 瑜 男 北京大学物理学院 教授
许焕斌 男 北京应用气象研究所 研究员
李子华 男 南京信息工程大学 教授
胡志晋 男 中国气象科学研究院 研究员
鄧大雄 男 中国气象科学研究院 研究员
张纪淮 男 中国气象科学研究院 研究员
马培民 男 中国气象科学研究院 研究员

执行委员会

主任委员:

郭学良 男 中国气象科学研究院/中国气象局人工影响天气中心 主任/研究员

副主任委员(按姓氏拼音排序):

陈添宇 男 甘肃省人工影响天气办公室 常务副主任/正研高工
金德镇 男 吉林省人工影响天气办公室 常务副主任/正研高工
雷恒池 男 中国科学院大气物理研究所 实验室主任/研究员
罗云峰 男 国家自然科学基金委员会地球科学部大气科学处 处长/研究员
赵春生 男 北京大学物理学院 教授
姚展予 男 中国气象科学研究院/中国气象局人工影响天气中心 研究员
银 燕 男 南京信息工程大学应用气象学院 教授
周毓荃 女 中国气象局国家气象中心 正研高工

委员(按姓氏拼音排序):

白卡娃 男 江苏省人工影响天气办公室 副主任/高工
鲍向东 男 河南省人工影响天气办公室 常务副主任/高工
蔡义勇 男 福建省气象科学研究所 所长/高工
陈志宇 男 中国气象科学研究院/中国气象局人工影响天气中心 副主任/高工
陈 跃 男 中国气象科学研究院/中国气象局人工影响天气中心 高 工
陈宝君 男 南京大学大气科学系 副教授
达布·希拉图 男 内蒙古自治区气象科学研究所 所长/高工
董万胜 男 中国气象科学研究院大气探测所 研究员
段 英 男 河北省人工影响天气办公室 正研高工
樊 鹏 男 陕西省人工影响天气办公室 正研高工
房 文 女 中国气象科学研究院/中国气象局人工影响天气中心 副研究员
冯永基 男 广东省人工影响天气办公室 常务副主任/高工
格桑平措 西藏自治区人工影响天气中心 主任/高工
耿树江 男 辽宁省人工影响天气办公室 副研究员
龚佃利 男 山东省人工影响天气办公室 副主任/高工
胡朝霞 女 中国科学院大气物理研究所 副研究员

黄建平	男	兰州大学大气科学学院	院长/教授
黄彦彬	男	海南省气象科学研究所	副所长/高工
靳瑞军	男	天津市人工影响天气办公室	主任/高工
李 轲	男	重庆市人工影响天气办公室	副主任/高工
李培仁	男	山西省人工影响天气办公室	主任/高工
李宏宇	男	北京市人工影响天气办公室	副研究员
李 斌	男	新疆生产建设兵团气象局	高工
廖飞佳	男	新疆自治区人工影响天气办公室	副主任/高工
林文实	男	中山大学环境科学与工程学院	教研室主任/副教授
刘黎平	男	中国气象科学研究院国家重点实验室	主任/研究员
刘奇俊	男	中国气象局国家气象中心	研究员
刘建西	男	四川省人工影响天气办公室	高工
刘建军	男	宁夏人工影响天气办公室	副主任/高工
马舒庆	男	中国气象局大气探测中心	副总工/研究员
孟 旭	男	中国气象局预测减灾司人影处	正处调研员
楼小凤	女	中国气象科学研究院/中国气象局人工影响天气中心	副研究员
牛生杰	男	南京信息工程大学	副校长/教授
濮江平	男	解放军理工大学气象学院	教授
齐彦斌	男	吉林省人工影响天气办公室	副主任/高工
沈 武	男	浙江省人工降雨天气办公室	副主任/高工
石立新	男	河北省人工影响天气办公室	副主任/高工
孙安平	男	青海省人工影响天气办公室	主任/研究员
苏正军	男	中国气象科学研究院/中国气象局人工影响天气中心	副研究员
唐仁茂	男	湖北省人工影响天气办公室	常务副主任/高工
王金星	男	中国气象局减灾司人影处	处长
王广河	男	中国气象科学研究院/中国气象局人工影响天气中心	副主任/研究员
王会山	男	黑龙江省人工影响天气办公室	主任/高工
王治平	男	湖南省人工影响天气办公室	高工
汪晓滨	男	中国气象科学研究院/中国气象局人工影响天气中心	副研究员
万 健	男	上海区域气象中心气象台	台长助理/高工
魏 强	男	总参大气环境研究所	高工
韦志刚	男	中国科学院旱区寒区环境与工程研究所	站长/研究员
吴万友	男	江西省人工影响天气办公室	常务副主任/高工
肖 辉	男	中国科学院大气物理研究所	实验室副主任/研究员
杨 军	男	南京信息工程大学应用气象学院	教研室主任/副教授
袁 野	男	安徽省人工影响天气办公室	副主任/高工
张 蕾	女	北京市人工影响天气办公室	常务副主任/正研高工
张宏生	男	北京大学物理学院	实验室主任/教授
张芳钧	男	贵州省人工影响天气领导小组办公室	主任/高工
张瑞波	男	广西壮族自治区人工影响天气办公室	高工
沈 鹰	男	云南省气象局人工影响天气中心	副主任/高工
胡寻伦	男	新疆生产建设兵团人工影响天气办公室	主任/高工
李红斌	女	大连市气象局人工影响天气办公室	副主任/高工
余 兴	男	陕西省气象科学研究所	所长/研究员
李 斌	男	新疆自治区人工影响天气办公室	高工

委员会学术秘书：

石爱丽	中国气象科学研究院/中国气象局人影中心
付丹红	中国科学院大气物理研究所

序

在纪念我国开展人工影响天气工作 50 周年之际,第 15 届全国云降水物理与人工影响天气科学会议在吉林长春召开。50 年前,我国科学家在吉林省进行了首次飞机人工增雨作业。50 年后,全国人工影响天气科技工作者齐聚吉林,深入地交流研讨人工影响天气科学问题,展望未来发展,其意义深远。

我国人工影响天气工作经历了 50 年的发展历程,取得了辉煌的成就。50 年来,特别是改革开放 30 年来,在国务院和各有关部门的关心、支持下,在地方各级人民政府的直接领导下,通过全国人工影响天气工作者不懈的努力奋斗,我国人工影响天气工作取得了显著成绩。目前,我国人工影响天气作业规模和水平已经居世界前列,服务领域不断扩大,已经成为防灾减灾、服务于经济社会发展各领域的一种有效科技手段,受到社会各界的广泛关注和人民群众的欢迎。2008 年我国成功地举办了北京奥运会,成就了国人百年奥运、百年期盼的梦想。我国人工影响天气工作者也成功地实现了奥运历史上首次人工消减雨,为精彩的奥运会开闭幕式如期举行做出了应有的贡献。

然而,我们也清楚地看到,目前我国人工影响天气工作距国家需求和人民群众的期望仍然有较大差距,其科技水平与世界先进国家相比也有一定的差距。我们必须努力提高我国人工影响天气的科学技术水平,包括提高从业人员的素质,提高播云作业的科技含量,正确掌握作业条件和技术方法,建立各类人工影响天气概念模型,提高对作业云系宏观、微观结构与特征的认知,改进探测手段和信息资料的获取、分析与应用水平,改进和更新催化技术和催化工具,寻求科学、合理、实用的效果评估技术方法等,以提高人工影响天气的效益。

回顾我国人工影响天气工作的发展历史,应当充分认识到,我们必须坚持加强科学研究。改革开放以来,我国人工影响天气领域的科研和技术开发不断得到加强,相继取得了一大批重要的科技成果,保障了我国人工影响天气工作的持续健康协调发展。如 1980—1992 年开展的“北方层状云人工降水试验研究”,攻关成果有效带动了人工影响天气作业科技水平的提高。“十五”期间,国家科技攻关项目“人工增雨技术研究及示范”研究成果已推广到各地应用,人工增雨概念模型、数值模拟、探测和作业技术取得了新的突破。“十一五”国家科技支撑计划重点项目“人工影响天气关键技术及装备研发”也已在空中水资源监测技术、混合云人工增雨技术、暖云人工增雨技术、人工消雾技术、无人

驾驶飞机催化增雨技术、人工增雨及消雾装备研发、人工增雨信息处理技术等方面取得了一些阶段性的研究成果。近年来建成投入运行的 135 部新一代多普勒天气雷达已应用于人工影响天气作业指挥,许多地方建立了人工影响天气作业指挥系统,有效地提高了监测和科学指挥能力。国家级人工影响天气作业指导产品投入业务试运行,加强了对地方人影作业业务指导。我国还开展了与古巴、沙特阿拉伯、韩国、以色列、俄罗斯、美国等多项双边合作研究、技术交流和人员培训。这些科技工作,为全国人工影响天气业务发展奠定了坚实的基础。

展望未来,随着气象科学技术和现代化建设的发展,以及人工影响天气科技的进步,在全国人工影响天气工作者的共同努力下,我国人工影响天气工作必将在经济社会发展中发挥更大、更重要的作用。

本届科学会议的论文集,集中展现了近期我国云降水物理和人工影响天气科研和技术开发的新成果,有助于研讨各专题的科学问题,进而推进我国人工影响天气的整体工作,将在我国人工影响天气发展史上留下浓重的一笔。

郑国光
2008.10 于北京

目 录(I)

第一部分 总 论

人工影响天气发展趋势展望.....	郭学良 郑国光(1)
人工影响天气若干问题的讨论.....	黄美元 雷恒池(5)
需求牵引 重点突出 以人影推进玉溪现代气象业务体系建设进程.....	李文祥(9)
增雨防雹火箭研发回顾	陈光学(12)
西藏人工影响天气飞机增雨前瞻性研究	周洪莉 格桑平措 白玛央宗等(16)
云南人工影响天气防灾减灾有特色发展快	沈兆发(20)
新时期人工影响天气面临的机遇和挑战	官福顺(23)
从构建“和谐社会”的高度,来认识、探讨、从事人工影响天气工作.....	彭新民 彭 彬(27)
基层人工影响天气工作的思考	介玉娥 王行岷 胡玉梅(30)
加强云南人工影响天气宣传工作的思考	李红梅(33)
青海省黄河上游人工增雨工作总结与回顾	李仑格 德力格尔(37)

第二部分 人工影响天气的理论和方法,催化剂与催化技术

地面人工增雨防雹作业探讨	王以琳(41)
冰雹云提前识别及预警的研究	李金辉 樊 鹏(45)
强对流云中“穴道”的物理含意和应用	许焕斌(50)
对流云群活动的后续效应与泰国增雨试验的效果	许焕斌(54)
人工影响对流性(雹雨)大风的对策探讨	许焕斌(57)
对流云动力催化之数值模拟	陈宝君(59)
闽西北人工防雹业务现状及降雹天气特征	王正廷 陈雪芹(62)
一次降水性层状云系催化试验研究	陈保国 陈争旗 雷恒池等(66)
天气雷达在人工影响天气中的应用	侯正俊 潘 多(71)
对流云防雹增雨作业区的雷达判定	刘春文 李文祥 许焕斌(75)
广西积云人工增雨防雹的个例数值研究	邹光源(79)
催化剂扩散的随机游动模型研究	冯 雷 陈宝君 班显秀等(83)
雷电探测资料在人工影响天气作业中的应用研究	张瑞波 刘丽君(86)
人工增雨作业区域短时预测技术研究	牛淑贞 范学峰 鲍向东等(90)
文山 50 年州庆期间人工消减雨作业方案.....	陈 文(94)
人工影响天气对气象要素及天气预报的影响	马秀玲 彭九慧 王丰霞等(98)
云南省人工增雨预防和扑灭森林火灾回顾及发展对策.....	蒙曙光(101)
增雨防雹兼顾的作业方法探讨——爆炸对于对流云的作用.....	何希群 杜池坡 彭成浩等(104)
多种资料在人工增雨物理检验中的初步应用.....	唐仁茂 向玉春 叶建元等(108)
防雹作业指挥中的雷达探测方法.....	梁 谷 李 燕 岳治国(113)
高炮人工防雹作业技术研究.....	梁 谷 李 燕 岳治国(116)
国家级人工影响天气指导产品可预报性分析.....	李爱华 袁 野 李建邦等(120)
国家气象中心人影产品的本地化应用和对比分析.....	杨 光 李爱华 李建邦等(123)

基于 Fisher 判别准则的雷达产品识别降水方法 袁 野 邵 洋 李爱华等(127)

利用温度层结做冰雹单站预报..... 李 燕 梁 谷 岳治国等(131)

浅谈人工影响天气催化剂在增雨作业中的应用..... 田海军(135)

双偏振雷达在人工影响天气效果评估中的应用..... 马建立 金永利 张 蕾(137)

南阳市冰雹天气预警和人工防雹作业条件研究..... 杨晓平 张云平 江 山等(141)

兵团博乐垦区冰雹发生规律及人工防雹作业措施..... 李 斌 臧云淑 胡寻伦(145)

山东一次冰雹过程的数值模拟及催化防雹研究..... 樊明月 张佃国 张洪生(149)

双参数混合相微物理方案及冷云催化在 ARPS 模式中的应用 刘卫国 史月琴 党 娟(154)

云系模式产品在人工增雨森林灭火中的应用..... 沈 鹰(158)

桐庐伏旱时期人工增雨条件分析与应用..... 章莹菁 陆耀辉 徐 明等(161)

一次成功的春季人工影响天气作业天气形势分析..... 蔡守新 张海霞(165)

北京 2008 年奥运会开、闭幕式人工消、减雨气象保障服务 张 蕾 刘建忠 何 晖(168)

河南春秋季节飞机增雨作业短时预测技术分析..... 张一平 牛淑贞 王国安等(171)

火箭防雹的双重效应..... 王 铮(175)

宁夏适宜飞机增雨作业的层状云降水预报统计模型..... 纪晓玲 桑建人 杨 侃等(178)

宁夏对流云新一代天气雷达资料防雹增雨指标分析..... 陶林科 胡文东 桑建人等(183)

农五师人工防雹作业技术路线在一次强冰雹天气过程中的应用..... 李新安 叶 健(187)

积云内对流场与方位切变的初步分析..... 寇书盈 孟 辉 贾惠珍等(191)

人工播撒对地形条件下的对流云降水过程的影响机理..... 方春刚 郭学良 王盘兴(194)

卫星资料在云物理研究和人工影响天气工作中的应用..... 毛节泰(198)

焰剂技术与播撒技术的发展及展望..... 武玉忠(200)

人工影响天气数值模式简介及其在准业务保障中的应用..... 史月琴 楼小凤 陶 玥等(203)

低纬高原人工防雹作业方案的研究..... 赵 娜 邢 婷(207)

新一代天气雷达在人工影响天气中的应用..... 靳瑞军 胡 玲(211)

2008 年郴州烟叶生产基地的人工防(消)雹试验 李少云 周佑云 罗长虹等(215)

对内蒙古中部地区人工增雨的几点思考..... 吴腾霄(218)

盐粉催化对流云降水模式及个例试验小结..... 何观芳 胡志晋 楼小凤(220)

青海地区人工防雹用弹量近似计算方案..... 王治邦 郭三刚 何生存(224)

第三部分 云雾物理与降水机理及形成过程
(观测分析、室内实验、数值模拟)

云室在云雾物理学研究中的应用进展..... 苗百岭 张自国 张秀峰(228)

吉林省一次低涡天气的云雨微物理特征..... 刘玉洁(233)

安徽夏季 γ 中尺度对流云的雷达特征分析 蒋年冲 刘 娟 胡 雯等(236)

南京一次暴雨过程的资料分析..... 宗鹏程 白卡娃 魏晓奕(240)

郑州机场雷暴发生的规律及其成因..... 邵振平(242)

液态二氧化碳(LC)的特性及其测量 樊 鹏 余 兴 雷恒池(247)

人工冰核的成冰速率实验..... 苏正军 郑国光 关立友等(251)

新疆天山山区盛夏的大气冰核..... 张建新 廖飞佳 高子毅等(255)

风廓线雷达资料在一次全区暴雨中的特征..... 王秀玲 郑秉浩(259)

广西人工影响天气模式预报系统..... 张正国 马占山 刘奇俊等(263)

哈尔滨地区地面雨滴谱微物理结构特征分析..... 刘海群 张云峰 张苗苗(266)

黑龙江省冰雹时空分布特征分析..... 王会山 张苗苗 张云峰等(270)

呼和浩特强对流天气的数值模拟分析..... 巴特尔 单久涛 巩 迪(273)

湖北省低云月出现频率分析·····	高 进	叶建元	袁正腾(277)
2005 年飞机增雨探测个例分析 ·····	杨道侠	马新成	张 蕾(281)
强对流天气过程闪电参量与回波参量特征分析·····	杨 梅	李玉林	谢邦开(285)
东北冷涡中对流云带微物理结构探测研究·····	齐彦斌	郭学良	金德镇(289)
云室对催化剂冰核检测的研究·····	张景红	汪晓梅	徐 超等(293)
北京一次浓雾天气的观测与数值模拟研究·····	何 晖	郭学良	刘建忠等(296)
甘肃省夏季层状云微物理特征个例分析·····	党 娟	王广河	刘卫国(301)
国外雷达探测冰雹的主要方法·····		李宏宇	罗 布(306)
河北中南部地区秋季层状云宏、微观物理特征分析 ·····	李云川	孙玉稳	崔粉娥(310)
吉林省一次层状云降水宏微观特征的观测研究·····		封秋娟	牛生杰(314)
山东云微物理探测分析概述·····			王 俊(319)
中尺度对流系统中潜热作用对云和降水过程影响的数值研究 ·····	陶 玥	洪延超	齐彦斌(321)
一次层积云微物理结构飞机探测特征分析·····	张佃国	樊明月	雷恒池(325)
玉溪市一次典型冰雹过程的雷达回波特征分析·····	纳丽佳	朱 睿	桂合春(329)
2005 年 8 月 6 日积层混合云降水过程分析 ·····	王 俊	龚佃利	刁秀广(333)
包头地区冰雹云的雷达回波特征·····			马建华(336)
北京一次春季降水的微物理探测·····	金 华	马新成	黄梦宇等(340)
2008 年冰冻天气云降水物理过程探讨 ·····	余 兴	戴 进	徐小红等(344)
北京地区 2008 年 5 月 3 日强对流天气过程分析 ·····		刘 丰	董鹏捷(347)
显式云物理方案对中尺度对流系统模拟影响的研究·····	岳治国	牛生杰	梁 谷(350)
88 团、87 团降雹气象条件和冰雹云发展分析·····		姚新明	李新安(355)
WRF 模式中边界层参数化方案对热带深对流云模拟的敏感性试验 ·····		李嘉鹏	银 燕(359)
2007 年 7 月 9 日雹云强回波演变过程总结 ·····			韩 光(363)
IAP-CSM3D 催化模式人工冰晶参数化方案的改进 ·····	肖 辉	崔雅琴	周丽娜等(365)
冰相粒子质量和半径的改变对降水过程影响的数值模拟研究 ·····	冉令坤	高守亭	洪延超(369)
冻雨凝结体分类的初步探讨·····	鄧大雄	汪晓滨	杨绍忠(370)
多普勒天气雷达判别宁夏川区强对流天气的综合预报指标·····	徐阳春	周 虎	陆晓静等(374)
关于冷、暖云催化剂的一些考虑 ·····			鄧大雄(377)
南京冬季雨雾过程的边界层结构和成因分析·····	严文莲	濮梅娟	刘安宁等(379)
宁夏冰雹特征及防雹布局研究·····	杨 侃	周 虎	邵 建等(384)
宁夏层状云降水新一代天气雷达回波特征分析·····	陶林科	桑建人	胡文东等(388)
南京地区不同云状降水雨滴谱分析研究·····	濮江平	姜爱军	白卡娃等(393)
人工影响天气纳米碘化银催化剂成冰性能研究·····	金德镇	张景红	杨绍忠等(398)
云中过冷水滴存在和冻结机制的研究和探讨·····	张纪淮	苏正军	关立友(402)
“珍珠”台风云微物理过程的敏感性试验·····	林文实	吴剑斌	李江南(404)
电场对霰形成和发展影响的三维数值模拟研究·····		周志敏	郭学良(405)
贵州鸭池河流域雹云移动演变特征及回波分析·····	黄浩隽	魏 鸣	张 萍(409)
环北京地区积层混合云降水个例的综合分析·····		于 翡	姚展予(414)
层状云降雪地面雪融滴谱观测研究·····			石爱丽(418)
一次降雹过程的天气资料分析·····			许 乐(421)
一次典型层积云的飞机观测结果及与卫星资料的对比分析·····	赵增亮	毛节泰	王 磊等(425)
一次龙卷风微物理特征的卫星反演·····	戴 进	余 兴	刘贵华等(429)
2008 南方冻雨形成的云物理机制及其数值模拟 ·····	胡志晋	史月琴	周毓荃等(432)
“04·6”梅雨锋上 MCS 云微物理过程及降水形成机制研究 ·····	张 云	雷恒池	潘晓滨等(435)
云并合过程的数值模拟分析·····	李艳伟	牛生杰	姚展予等(436)

近地层逆温层结下地形对冬季降水影响个例分析..... 岳治国 余 兴 刘贵华等(440)

河南中部春季 SO₂垂直分布和与气象要素的关系..... 丁建芳(444)

郴州 2008 年 1—2 月低温雨雪冰冻天气期间探空资料的分析..... 周佑云 汪晓滨 郑国光等(448)

祁连山中部一次地形强降水多普勒雷达资料分析..... 付双喜 张鸿发 楚荣忠(452)

青海东北部地区闪电特征初探..... 龚 静 马玉岩 巨克英等(457)

一次大范围降雹天气的 CINRAD/CC 若干产品分析 李永振 李 薇 孙海燕等(461)

一次区域强雹暴多普勒雷达资料分析..... 雷崇典 杨瑞宝(465)

长沙多普勒雷达回波参数与夏季积云地面降水估算..... 王治平 张中波 唐 林等(470)

2006 年 4·28 强飊线过程地面中尺度结构分析 龚佃利 李 欣(474)

贵州一次典型积层混合云降水的雷达资料分析..... 文继芬 张芳钧 黄浩隽等(477)

黄河上游河曲地区降水性层积云微物理特征分析..... 孙安平 王黎俊 李仑格等(481)

第四部分 大气水循环与水资源

主汛期生态增雨可行性分析..... 陈连友 曹建新 周建馨(488)

中天山北坡云与降水的气候特征分析..... 张建新 廖飞佳 王文新等(492)

重庆地区空中水资源的时空分布及输送特征..... 杨 茜 李 轲 廖代秀等(496)

重庆地区一次夏季降水特征及增雨潜力分析..... 陈小敏(500)

中天山山区大气总水汽量和云液水量的遥感研究..... 张建新 廖飞佳 王文新等(505)

湖北省空中水资源开发潜力分析..... 向玉春 唐仁茂 周月华等(509)

利用 MODIS 卫星资料监测内蒙古地区大气
总水汽量方法研究..... 达布·希拉图 卢士庆 苏立娟等(514)

合理开发利用邯郸市空中云水资源的探讨..... 蔡守新 董献义 靳晓超(518)

河南省空中水汽资源的来源、分布及收支 刘艳华 李铁林 郭献林等(521)

山东一次层积混合云结构特征和增雨潜势分析..... 盛日锋 卢培玉(525)

石家庄地区一次西风槽系统下云物理特征的分析..... 孙玉稳 崔粉娥 李云川等(530)

四川地区水资源背景分析..... 王维佳 刘建西 张世林(534)

北京地区空中水汽输送特征初步分析..... 杨道侠 刘建忠 张 嵩(538)

南海季风爆发期间大气环流结构与对流热量、水汽输送特征 李香淑 郭学良 付丹红(542)

环京、津地区空中水资源分布及水汽输送特征 张国华 李宗涛 杨文霞(545)

人工增雨缓解京、津、冀地区的水资源匮乏..... 高 霞(548)

河南新乡地区空中水汽和云液水量的探测分析..... 李铁林 刘艳华 张睿光等(552)

汾河水库流域人工增雨可行性研究..... 孙鸿娉(555)

2005 年新乡市水库蓄水人工增雨作业个例分析 岳正新 王新红(559)

陕西省月雨日相关分析..... 贾 玲 樊 鹏 郭 强(562)

吉林省人工影响天气作业水汽条件分析..... 李 薇(565)

近 45 年青海省夏季降水异常特征分析 王黎俊 刘彩虹 孙安平(568)

第一部分 总 论

人工影响天气发展趋势展望^①

郭学良 郑国光

(中国气象科学研究院,北京 100081)

引言

自 1958 年我国在东北和西北地区开始人工影响天气试验以来,我国人工影响天气已经经历了近 50 年的奋斗历史,经过我国科技工作者和业务工作者的艰辛努力,中国已经是目前世界上人工影响天气最活跃的国家之一。有关我国人工影响天气科技工作的一些发展状况综述详见文献^[1~12]。

现代人工影响天气是基于对自然天气形成过程、规律深刻认识的基础上,采用高科技手段影响自然天气过程,是人类有意识影响天气的活动,这是与无意识人类活动造成的环境污染、荒漠化、气候变化等现象之间的最显著差别。由于现代人工影响天气活动本身蕴涵着丰富而复杂的大气科学相关理论知识及高新工程技术,由此决定了人工影响天气的能力将随人类对自然天气认识水平的提高及相关技术的进步而不断得到提升。

在国家和地方财政的大力支持下,近年来我国人工影响天气科技研发和支撑能力显著提高,一些国际先进探测设备,如地基多普勒天气雷达、微波辐射计、机载探测仪器和一些先进的播撒设备,如机载高效 AgI 烟剂,机载液态成冰剂播撒、移动火箭、炮弹发射系统,地面燃烧炉等在人工影响天气业务中得到广泛的应用。我国人工影响天气科技人员发展了国际先进的人工影响天气数值模式,已开始应用于云物理形成过程和人工影响机理的研究。中尺度人工影响天气数值模式也得到快速发展,正走向业务应用。云模式在冰雹现成机理研究方面得到广泛应用并取得了重要结果。气溶胶与云相互作用过程的研究也开始由理论研究进入实验研究。吸湿性播撒技术有望在近几年取得显著发展。

我国在“十五”期间有关人工影响天气的理论和观测试验研究得到快速发展,“十五”科技攻关课题“人工增雨技术研究与示范”是获得国家较大支持的有关人工增雨技术方面的研究项目。通过外场试验,数值模式和室内试验进行了大量关于人工影响天气技术的研究,取得了大量探测试验资料和科技成果。一大批来自国家级科研单位和人工影响天气业务部门的年轻骨干科技人员经过 5 年的科技攻关,取得了一系列重要进展。开发了国际先进的人工增雨数值模式,较系统地进行了播撒技术研发工作。我国人工影响天气的科研与业务得到显著的进展。目前旨在提高我国人工影响天气科研与业务技术能力的其他项目也在计划之中,通过这些项目,先进的多普勒雷达、毫米波雷达,偏振雷达及先进微波探测设备将应用于人工影响天气业务中,将大力提高我国人工影响天气业务的技术水平。

① 国家科技支撑计划 2006BAC12B03,国家自然科学基金项目(40333033,40575003)和国家级人工影响天气业务项目联合资助。

1 数值模式发展趋势

尽管目前人工影响天气理论仍然建立在通过播撒影响云雾物理、动力过程的基础上,采用静力、动力的催化概念,但由于模拟云物理过程的数值模式和室内实验研究的发展,这些播撒理论和方法将得到不断完善和发展。

数值模式将成为人工影响天气研究和业务的关键组成部分。目前的计算机资源已经能够提供具有短期预报价值的云实际模拟能力,把具有详细云物理过程、具备资料同化功能的数值模式应用于人工影响天气的实际业务中已经成为可能。特别是与人工影响天气有关的各种微物理过程,在不断检验的基础上采纳和引入,可以降低人工影响天气工作的很多不确定性,提升业务能力和科技水平。数值模式在三个方面可以应用于人工影响天气作业,即有关人工影响作业的方案设计、论证,作业过程的指导,作业后的分析。这样有利于建立优化播云方案,凝练和建立物理假设。数值模式能够在相同的云况条件下比较播撒与无播撒的异同,明确播云效果,也可以模拟播撒物质的扩散路径,提供外场试验和作业所需的实时预报,提供不同播撒方式产生的潜在效应。

数值模式和资料同化可以降低传统统计检验的不确定性。采用复杂的数值模式,可以显式处理不确定性因素,并能进行作业和控制试验的时空对比。目前我国在数值模式研究方面发展迅速,已经初步具备适用于人工影响天气作业设计和效果验证试验的云和降水模式,但还没有完全实时应用到外场作业试验中,要达到这个目标,需要解决模式运行速度(如采用较低的分辨率、较简单的物理过程),同时需要采用快速云物理参数的资料同化和初始化技术。模式技术总是具有一定的不确定性,人工影响天气模式和其他数值模式一样,需要对一些因初始条件、边界条件、模式本身和人工影响过程所具有的不确定性量化,提升模式的应用能力。

2 实验室研究

实验室研究在人工影响天气的研究中具有不可缺少的作用,实验室研究最大的特点是具有可控实验环境条件和观测条件,实验可以重复进行。实验室研究在人工影响天气领域具有重要的作用,可以研究云粒子的形成过程、播撒剂的成核率检测等,为人工影响天气提供了扎实的科学基础。但实验室研究也具有局限性,只有实验室研究与理论、数值模式研究及观测研究有机结合在一起,才能实现人工影响天气业务科学水平的真正提高。

3 人工影响天气探测和观测技术发展趋势

现代人工影响天气的测量和观测技术具有良好的发展趋势,将充分利用当今先进的地球环境监测和观测技术,将从最初的单一波长的雷达、飞机探测技术发展是集装载先进探测系统的飞机、大气廓线探测、卫星、多普勒雷达、偏振雷达、毫米波雷达、微波辐射计、GPS系统、地面中尺度监测网络为一体的综合先进探测和观测技术。下面分别讨论这些先进探测系统在人工影响天气领域的应用发展趋势。

飞机探测系统。由于人工影响天气业务的复杂性和特殊性决定了应用于人工影响天气作业的飞机本身需要具有良好的性能,在续航能力、飞行高度、抗不良天气能力等方面有更高的要求。飞机上装载的先进探测系统有利于了解云中水物质的类型、数量和演变过程,可以观测播撒前后所发生的云中水物质的演变情况。目前广泛采用的机载粒子测量系统(PMS)是基于激光拍摄粒子图像和对粒子记数的粒子谱测量系统。由多个探头组成,分别装在飞机的不同部位,经过多年的发展,可以覆盖很大范围的粒子尺度($0.1\text{ }\mu\text{m}$ 到几个毫米),包括气溶胶、非降水性云粒子、降水性云粒子。由于云的不均匀特性和飞机本身气流影响,装载在飞机不同部位的探头带来了一定的测量误差,但目前还没有单一探头能同时精确地测量云粒子谱的信息,研发能采用单一探头测量整个云粒子谱技术是今后的发展趋势。在人工影响天气中另一个需要测量的重要参数是液态水含量(LWC),目前广泛使用的仪器是 King 热线含水

量仪,其原理是由云滴撞击暴露在飞机外气流中的一个加热传感器元件产生冷却效应的大小决定,其局限性是对大于 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的大滴的测量误差较大。改进和研发过冷水探测技术将是人工影响天气科技发展的重要趋势之一。

多普勒雷达。目前在人工影响天气业务中,地基多普勒雷达的应用还处于初步阶段。现在我国多普勒雷达网已初步建立,在降水观测、强天气监测与预警方面将发挥重要的作用。如何从多普勒雷达观测信息中获取人工影响天气作业试验所需的相关信息,支撑人工影响天气业务工作,是今后人工影响天气面临的紧迫任务之一。目前在美国 NCAR、NOAA、NASA 的探测飞机上装备了高精度、高分辨率的机载多普勒雷达,将在以后的人工影响天气领域具有重要的潜在应用价值,也是我国飞机探测方面的重要发展趋势。

偏振雷达。偏振雷达的最大作用是可分辨云中水成物的种类,获得更精确的降水测量。这些能力使其在云播撒试验评估中具有极大的潜在价值。在成冰剂播云试验中,可以利用偏振雷达监测云中过冷水滴如何转变为冰晶,在吸湿性物质播撒试验中,可以监测云中大滴的发展过程。还可以采用偏振雷达跟踪具有反射微波的金属箔片示踪物质,了解云中播撒物质的运动、扩散过程。目前偏振雷达仅用于研究领域,在一些国家的人工影响天气试验中采用了偏振雷达。美国的 S 波段天气监测雷达网(WSR-88D 或 NEXRAD)在未来几年内将升级为具有偏振测量能力的雷达网系统。我国最近几年在一些试验研究中也采用了偏振雷达系统。在不断完善的基础上,偏振雷达系统将在我国未来的人工影响天气业务中发挥重要作用。

毫米波测云雷达。毫米波雷达具有波长短(3 mm 或 8 mm),灵敏度、分辨率高(小于 50 m)的特点。由于不需要大的天线和强大功率的发射机就可以实现对弱信号目标的探测,获取良好、详细的信息,由于其重量轻,可以方便地装载在地面移动、飞机、卫星等观测平台上,目前在国外已经投入业务使用,在我国也得到初步发展和应用。主要缺点是易被液态水衰减,探测范围有限。

卫星技术。由于卫星监测可以提供较大范围的云和降水状况,如水汽场、气溶胶粒子数及其谱分布、滴谱特征、云顶温度等,在人工影响天气领域具有重要的应用价值,如可见光、红外监测卫星,装载降水雷达,微波成像仪,可见光、红外辐射计的 TRMM 卫星,装载毫米雷达的测云卫星 CloudSat 及其他卫星系统的应用,提供了丰富的人工影响天气所需的云信息。卫星观测已经在无意识人工影响天气的研究中发挥了重要的作用,卫星信息可用于反演云降水结构、演变特征等各个方面。大力发展卫星信息在有意识人工影响天气业务中的应用无疑是今后发展的必然趋势。

大气廓线探测系统。随着电子技术的发展,高灵敏度的风廓线仪已经投入实际应用,可实现对流层风廓线的连续测量。若与声雷达的配合,可以实现温度廓线探测。地基 GPS 接收器可以进行垂直水汽总量探测,也可以采用激光雷达实现对水汽廓线的测量。在人工影响天气中,垂直水汽的分布特征是一个重要参数,如何有效利用这些新型大气廓线测量系统测量的大气风廓线、温度廓线、湿度廓线等进行人工影响天气业务指导也是很重要的发展趋势。

GPS 系统。全球定位系统(GPS)的大量采用,可以实现播云作业中作业目标位置的精确显示及作业飞机的准确定位。这有利于掌控和评估播云作业。如美国 NCAR 开发的 TITAN 软件包,可以实现跟踪风暴单体的运动和发展,对实时作业提供指导外,也可以进行作业效果的后期评估,有效利用这种软件系统,精确的 GPS 定位起关键作用。目前 GPS 探空仪已经能够提供很高分辨率的风、温、湿垂直廓线资料,在人工影响天气业务中将发挥重要的作用。在我国的人工影响天气业务中,GPS 系统基本用于飞机航线定位,还没有很好利用 GPS 探空系统,基于 GPS 的作业目标跟踪软件系统相当薄弱,这也是今后重点发展的方向。

4 播撒技术发展趋势

播撒技术的发展趋势就是要建立具有扎实科学基础的优化播撒技术。发展优化的人工影响天气播撒技术无疑对提高人工影响天气的科技水平具有极其重要的作用,是决定播撒作业效果的关键因素。实现“适当时间、适当位置、适当剂量”的优化播撒技术,必须对作业目标有深入、全面的了解,采用高效

播撒物质和可靠、先进的播撒设备。这里主要重点介绍成冰剂与吸湿剂的播撒相关技术的发展趋势。

成冰剂播撒技术。成冰剂播撒主要是针对冷云的播云技术,采用合适的成冰物质(如碘化银),或制冷物质(如固(液) CO_2 ,液氮、液体丙烷等),启动或提高冰晶的形成过程,成冰物质具有与冰晶相似的晶格结构,可以促使云中过冷水快速冰晶化。不论采用静力催化还是动力催化方法,播撒剂量的选择在实际业务中是一个难点,因为目前我们还没有有效的方法快速确定云中自然冰晶的数量、过冷水的位置、大小等重要参数。这些参数对复杂的云系而言,往往是一个动态变化的三维参数。今后先进探测技术、实验室技术和数值模拟技术的有效应用可以显著减小这些参数的不确定性。为利于实际播撒和提高成冰率,碘化银往往与其他物质混合,制成各种混合性播撒剂,其实验室和外场试验检测、验证工作是今后播撒技术需要加强、发展的一个重要方面。

成冰剂的物理化学特性对冰晶的形成速率和效率起着重要的作用,发展新型高效成冰播撒剂配方仍然是今后人工影响天气发展的趋势之一。另外,过去有关成冰剂播云试验的研究发现,往往对一连串物理事件和因果关系缺乏完整的观测资料,对一些物理过程理解不完整,今后需要重点开展相关观测试验、模拟研究和试验统计评估,建立合乎逻辑的物理过程链,加强对一些不确定性问题的解决。

吸湿剂催化技术。吸湿剂催化技术主要针对暖云区的催化技术,通过使用具有吸湿特性、适当尺度的物质(如盐粒等),增加云中凝结核(CCN)或促进暖云和混合相云碰并降水形成过程。目前有关吸湿剂催化试验分为两种,一种是大吸湿性粒子催化试验,采用的盐粒子直径大于 $10\text{ }\mu\text{m}$,不通过凝结增长过程,直接产生启动碰并过程的较大尺度云滴。另一种是由吸湿性烟剂产生的很小云凝结核(平均干直径 $0.5\sim 1\text{ }\mu\text{m}$),并且有一相当宽向更大直径延伸的粒子谱,与自然 CCN 相比,人工 CCN 由于其尺度和化学特性,在争夺水汽形成云滴、扩展云滴谱和启动凝结增长方面具有较大的优势,可以提高降水形成的效率。

在过去几年中,尽管国际上吸湿性播云试验取得了较好的统计结果,但有关其物理过程的一些基本问题需要得到解决,以提供更坚实的科学基础。其中的一个基本问题是播撒物质的扩散、传输问题。第二个问题是催化粒子的尺度大小问题。另外,播云的动力效应、物理与动力过程相互作用、播撒的影响区域等一系列问题都需要进一步研究。在我国吸湿性催化剂播撒技术相对薄弱,但已经列入国家“十一五”科技计划重点开展的相关技术之一。

参考文献

- [1] 郑国光等. 2005. 人工影响天气关键技术问题. 北京:气象出版社,2005.
- [2] 毛节奏,郑国光. 2006. 对人工影响天气若干问题的探讨. 应用气象学报,17(5):643-64.
- [3] 游来光. 1999. 我国人工影响天气 40 年科学技术进展的回顾. 中国气象局,人工影响天气(十二),9-11.
- [4] 胡志晋. 2000. 人工影响天气的科学技术发展前沿. 21 世纪初大气科学回顾与展望(第三次全国大气科学前沿学科研讨会论文集). 北京:气象出版社.
- [5] 黄美元,徐华英,周玲. 2000. 中国人工防雹四十年. 气候与环境研究,5(3):318-328.
- [6] 黄美元,沈志来,洪延超. 2003. 半个世纪的云雾、降水和人工影响天气研究进展. 大气科学,27(4):536-551.
- [7] 赵柏林. 1995. 大气物理和大气探测的一些进展. 北京大学学报(自然科学版),31(3):323-337.
- [8] 李大山等. 2002. 人工影响天气现状与展望. 北京:气象出版社.
- [9] Zheng G, Guo X, Fang W, Xu H. 2003. Overview of hail suppression methods in China. Proc. of WMO meeting of experts on hail suppression, Nalchik, 15-17.
- [10] Guo X, Huang M, Fu D, Zheng G, Fang W. 2003b. Hail-cloud modeling activities in China. WMO/WHP report, 41: 143-148.
- [11] Fang W, Zheng G, Guo X, Xu H. 2003. Overview of hail suppression projects in China. WMO/WHP Report, 41:165-173.
- [12] 姚展予. 2006. 中国气象科学研究院人工影响天气研究进展回顾. 应用气象学报,17(6):786-795.

人工影响天气若干问题的讨论

黄美元 雷恒池

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

引言

人工影响天气科学技术有着重大的应用和科学意义,特别是对于防灾、抗灾、局部改善环境有现实的重要价值。在我国开展已有 50 年,国际最早的有 62 年。几十年来人工影响天气有很大发展和进步。但是人工影响天气仍然是一门不很成熟的科学技术,有许多重要问题尚未解决。

1 怎样理解 V. Schaefer 和 B. Vonnegut 的发现?

西方一般认为 V. Schaefer 和 B. Vonnegut 首先发现了人工降水的冷云催化方法。对他们的发现有两种理解:A 是过冷云人工降水的方法,B 是在过冷云中人工产生冰晶的方法。A 和 B 有关系,但 $A \neq B$ 。他们的方法中并没有指出能引起人工降水的作业对象(云)应该具有的合适条件。从云物理学上说,对没有合适条件的云进行冷云催化,是不可能产生降水的。所提出的方法,还不能说是一种科学的、有效的人工降水方法,多年来实际试验结果也是此。

2 人工降水的随机作业和效果检验问题

从 20 世纪 70 年代起,为解决人工降水的效果问题,国际上一直宣传采用随机作业方法,但几十年来的实际应用并没有解决人工降水的效果问题,仍然存在着巨大的争论。著名的采用随机作业的以色列人工降水试验,现今仍然有不同的看法。

以色列等的随机作业方法中,认为对作业对象(云)和不作业对象(云)是一样的,即对作业对象进行作业和不进行作业,其产生降水和不产生降水的可能性是相同的。但实际状况是复杂的。由于作业对象的云物理条件不同,作业后产生降雨的可能的大小也各异,把这些有着不同大小降雨可能性的作业和不作业个例的总和,进行对比统计,就会产生复杂的不客观、不公正的情况。例如以色列随机作业试验中,事先那一天作业已经选定,遇到这一天是晴天没有云,也得作业,或算入作业日。这不是笑话吗?从云物理学上说,降水一定要有云,没有云怎么降水?对晴天进行作业,有多少降雨的可能性吗?这就是不科学之处。其他许多随机作业人工降水试验,也有类似的问题。

3 关于降水性层状云结构和微物理过程的模型

历史上提出过一些冷性层状云降水模型,如 Bergeron 的播种云—供应云模型,Hobbs 的个例数值模型验证,游来光的观测分析,说明新疆等中国北方冷性层状云中,常有上述结构。1963(1980)年顾震潮提出了降水层状云的三层模型。

近几年来,雷恒池、胡朝霞、赵震等通过对观测资料分析和数值模拟的研究,初步验证和进一步深化了顾震潮的三层模型。认为此模型较符合实际,比较全面清楚地说明了降水层状云的物理结构和微物

理过程。如三层模型中包含了播种云—供应云结构,并认为播种云和供应云是相对的;在三层模式中,第二层相对第一层来说,是供应云,使第一层中落下的冰晶在第二层中长大;但相对第三层,它又是供应云,在这层中的雪和霰降落到第三层,溶化成雨滴并继续长大。

过去在冷性层状云降水中,很强调 Bergeron 过程的重要性。这是对的,但也不应轻视冰晶—过冷水滴—雪之间的碰并和粘连。研究表明,在第二层中对雪的增长来说,Bergeron 过程的贡献在 40%~70%,碰并和粘连的贡献在 30%~60%。

研究表明,三层模型中各层对该云降水量的平均贡献分别为:第一层约 7%,第二层为 54%,第三层为 39%。可见,虽然过冷层对降水贡献最大,但暖层对降水的贡献也较大,不可勿视。

表 1 层状云降水三层模型

第一层	冰晶层	冰晶	主要是凝华过程,但不快 冰晶间碰并不多
第二层	过冷层	过冷水滴冰晶雪 少量冰粒、霰	有 Bergeron 过程,很重要冰晶、雪、霰、和水滴间的碰并很重要 冰雪晶的凝华增长
第三层	水滴层	雪、霰 云滴、雨滴	雪和霰的融化 水滴的重力碰并

建立正确合理的层状云降水模型,对选择人工降水作业的对象(云),明确作业云的指标有重要意义。

4 人工降水的关键问题——要选择合适的云,进行正确的催化作业

(1)关于云的自然降水过程,应该说,目前已有一个基本的了解。即降水粒子的形成和增长已有所了解。但这些过程的进行都要有一定的云宏观和微观条件,对云的宏微观量有定量的要求。不满足的话,降水粒子不能形成和长大,也就不能产生降水。而实际情况是,我们对作业云的具体情况并不了解,即对该云的宏微观量并不了解,所以难以判断未来该云能否产生降水。所谓云的宏观量和微观量是指云厚、云中温度湿度、上升气流以及云滴、冰雪晶的大小和浓度、云中含水量等。某块云能否产生降水,对上述各参量都有一定的定量要求。

(2)在催化方法基本确定的条件下,如用冷云催化方法,能否获得人工增雨,决定于选择云的宏、微观条件是否合适。合适,不是一个参量值、一句话能说清楚的,是一组有关云宏微观重要参量值的定量指标,而且不同类型、不同地区的云应有不同的指标。

不了解这些云作业的合适条件,或基本上不了解它,就去进行人工降水作业,就可能是盲目作业、不科学作业。这就是造成今天人工降水效果不易说清楚的基本原因。要使人工降水成功有两个关键即:1)要找到选定对能够增雨的云,有合适条件的云。2)有针对这种云的合适催化方法。

(3)要研究、明确当地适合进行人工降水的云的条件和识别指标。

1)在进行人工降水试验之前及试验中,要对当地几种主要降水云类型,进行有针对性地观测和研究,主要是飞机和雷达观测以及数值模拟,弄清楚降水云和非降水云的主要云物理结构和变化规律,总结出降水云与非降水云,可以人工增雨的云与不能增雨云的识别指标。

2)云能否降水,当然决定于天气形势,或者说基本上决定于大气中的温湿层结和大气运动。而这些气象场决定了云的宏观和微观物理结构。反过来说,云的宏微观结构和演变反映了气象场的结构和变化。所以我们可以从云的宏微观结构及其变化中寻找识别指标,就像识别冰雹云的方法那样,从冰雹云的宏微观结构及变化来识别。

3)要建立两种识别指标:首先要建立冷性层状云自然降水的指标,以便能判别该层状云能否自然降水,然后再建立冷性层状云人工增雨的指标,以便能判别对该云进行合适的催化作业,能否有增雨的效果。

4)这几种识别指标,应从当时云的宏微观结构和变化特点中寻找。如果有冷性层状云降水模型,则