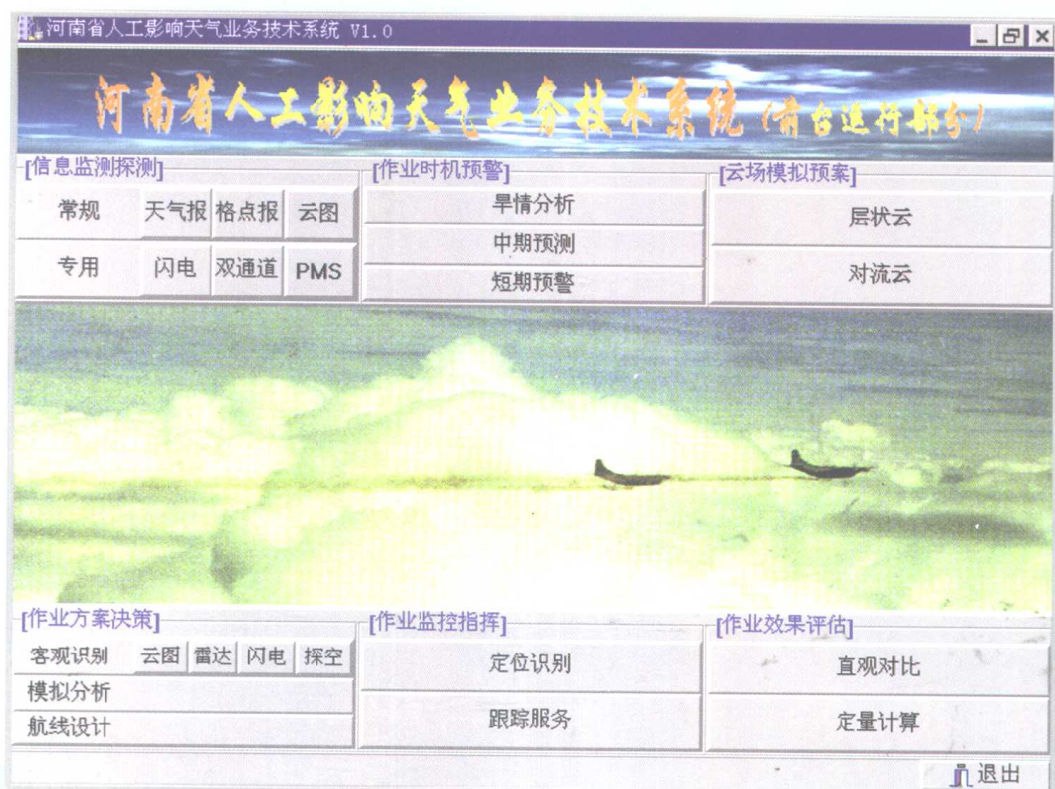


河南省“九五”重大科技攻关项目

# 人工影响天气优化技术研究

RENGONG YINGXIANG TIANQI YOUHUA JISHU YANJIU

张存 周毓荃 主编



气象出版社

# 人工影响天气优化技术研究

张 存 周毓荃 主编

气象出版社

## 内容简介

本书是河南省“九五”重大科技攻关计划项目“人工影响天气优化技术研究”三年研究的初步成果。主要内容有云水资源和自然降水效率研究、云和降水宏观特征研究、云和降水微观物理特征研究、云和降水数值模拟应用研究、人工影响天气信息综合处理技术研究、催化作业技术研究和作业效果评估方法研究等。全书由50多篇研究论文编纂而成，可供人工影响天气等领域从事科研、教育、业务的有关人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

人工影响天气优化技术研究/张存, 周毓荃主编. - 北京: 气象出版社, 2000. 12

ISBN 7-5029-3065-5

I. 人... II. ①张...②周... III. 人工影响天气-最佳化-技术-研究-文集 IV. P48.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 75005 号

## 人工影响天气优化技术研究

张 存 周毓荃 主编

责任编辑: 吴庭芳 庞金波 终审: 纪乃晋

封面设计: 杨吉玉 责任技编: 吴庭芳 责任校对: 张江束

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编: 100081)

北京金瀑印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

2000 年 12 月第一版 2000 年 12 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 18.5 字数: 450 千字

印数: 1~1000

ISBN 7-5029-3065-5/P·1068

定价: 39.00 元

## 《人工影响天气优化技术研究》编委会

主 编：张 存 周毓荃

编 委：

李念童 李铁林 张素芬 程炳岩 胡 鹏

连续发 吴 蓁 牛淑贞 李 冰 冯 杉

田万顺 董官臣 陈怀亮 杨国锋 黄毅梅

郑宏伟 冶林茂 陈 东 郑世林 张 方

徐延锋 邹春辉 张永亮 朱业玉 刘晓天

## 序 一

为了认真贯彻落实河南省省委、省政府提出的“科教兴豫”战略，进一步提高科技对国民经济和社会发展的贡献率和显示度，根据全省科技发展“九五”计划和2010年规划的指导思想 and 任务，省科学技术厅（原省科委）从1997年开始组织实施了河南重大科技攻关计划项目。

河南省气象局承担的“人工影响天气优化技术研究”项目是我省首批确定的社会发展领域的重大科技攻关计划项目之一。河南省地处南北气候过渡带，旱涝风雹等气象灾害发生频繁，尤其干旱灾害频率高、范围广、危害重。近40年统计资料表明，全省每年干旱成灾面积平均达110万公顷，因干旱粮食平均每年减产10亿公斤以上。同时，河南省又是水资源短缺的省份之一，全省水资源总量（413.4亿 $m^3$ ）居全国第19位，人均水资源占有量（464 $m^3$ ）仅及全国人均占有量的1/6，是世界人均占有量的1/24。进入20世纪80年代以来，随着国民经济的发展和人口的增长，水资源短缺的矛盾日益加剧，干旱缺水已成为制约河南省经济和社会特别是农业可持续发展的重要因素之一。因此，在加强水利设施建设和合理利用现有水资源的同时，迫切需要开发利用空中云水资源，开辟增水新途径。冰雹作为一种短时强烈灾害性天气，虽然它的发生、发展和影响过程只有数小时或数十分钟甚至更短的数分钟，但是常给农作物带来毁灭性的损失，严重的雹灾甚至危及人畜的安全。这种情景频仍，每年都有发生。因此通过人工防雹减轻冰雹的危害，对保障农业丰收和保护人民生命财产安全，具有十分重要的意义。1997年8月，经河南省科技厅批准立项后，“人工影响天气优化技术研究”项目正式启动。三年来，河南省气象局按照与省科技厅签订的《河南省重大科技项目目标管理任务书》，组织项目组科技人员瞄准国际国内先进水平，大力加强科技攻关，圆满完成了研究开发内容和考核指标，在云水资源和增雨潜力、人工增雨和防雹作业指标判据、云和降水的数值模拟应用，人工影响天气综合技术系统、催化作业技术和微物理观测分析以及作业效果检验等方面的研究取得了重要进展，提高了河南省人工影响天气的整体科技水平，在增雨和防雹作业中产生了明显的减灾效益，收到了预期的效果。

借此机会，我代表河南省科技厅向全省气象部门的同志，特别是参加本项目攻关的科技人员表示真诚的感谢！

河南省科学技术厅厅长

王卫华

2000年9月

## 序 二

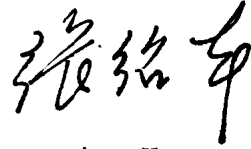
人工增雨、防雹是建立在云物理学基础上的一门应用气象科学技术。它是通过一定的技术手段，以改变云的微物理结构，从而达到增雨、防雹，减轻可能产生的自然灾害为目的的活动，是人类运用现代科学技术主动改造自然的一种有效措施和途径。

河南省在 20 世纪 50 年代末期至 60 年代初期和 70 年代中期，根据农业抗灾救急的需要，曾先后利用飞机、土火箭和三七高炮在部分市县开展过人工增雨和防雹作业试验，但限于当时的技术、装备和通信条件，作业水平比较低，成效并不显著。1988 年，河南省人工影响天气办公室成立后，我省的人工影响天气工作开始走向正轨。十多年来，在各级政府的重视和支持下，依靠气象科技进步和现代化建设，人工增雨、防雹基础设施建设有了较大发展，初步形成基本覆盖全省的人工影响天气作业网络，作业规模也不断扩大，在农业抗旱减灾中发挥了重要作用，受到各级政府的好评和人民群众的称赞。但是，也应该看到，由于河南省人工影响天气工作起步时间不长，特别是相关科研工作相对落后，作业的总体科技水平还不够高。为了进一步提高河南省人工影响天气的科技水平和总体效益，更好地为防灾减灾服务，1997 年 8 月，经省科技厅（原省科委）批准，“人工影响天气优化技术研究”被列为省重大科技攻关项目。为了确保这一重大科技攻关项目的顺利进行，河南省气象局成立项目领导小组和技术组。领导小组由主管业务和科教室的副局长任组长，成员由项目各承担单位和科教室的领导组成，主要负责项目的组织协调和重大事项的审定；技术组由项目和课题主持人组成，主要负责课题研究实施方案的审定和研究进展情况的检查。河南省气象局还把重大项目研究工作的完成情况列入各单位年度考核目标中，对各课题组的研究进度实行了动态管理。三年来，项目组瞄准国际国内先进水平，大力加强科技协作，把研究工作的重点确定为抓好三项科学试验（即飞机人工增雨科学试验、高炮人工增雨科学试验、火箭人工防雹科学试验）和建立现代化的人工影响天气综合集成技术系统。为了保证上述重点研究任务的落实，在广泛调研的基础上，项目组先后从中国气象科学研究院人工影响天气研究中心引进了三维高分辨率层状云数值模式以及高效催化剂配方，并签订了开展 PMS 粒子观测的科技协作合同书；与中国电波传播研究所签订了开展激光雨滴谱和双通道微波辐射仪观测的科技协作合同书；与南京气象学院大气物理系签订了开展人工防雹科学试验的科技协作合同书。此外，还与北京大学城市环境系、南京大学大气科学系、福建省气象局人工影响天气中心、河北省气象局人工影响天气中心等单位开展了有关研究内容的协作。项目组还先后邀请中国气象科学研究院人工影响天气研究中心和中国科学院大气物理研究所 6 位研究员专程来河南进行技术指导，从而提高了项目组成员的研究水平，推动了项目研究工作的深入开展。经过近 3 年科技人员的协同攻关，在云水资源和增雨潜力、人工增雨和防雹作业指标判据、云和降水的数值模拟应用，人工影响天气综合技术系统、催化作业技术和微物理观测分析以及作业效果检验等方面的研究取得了一系列科研成果，在增雨和防雹作业中发挥了重要作用，产生了明显的社会效益和经济效益。其中，部分研究成果已引起国际同行专家的关注，并在国内 7 个省级人工影响天气办公室推广应用。

为了反映项目的研究成果，项目组收集了近 50 篇研究论文和报告，由气象出版社出版，

在此，我们向参加项目研究工作的科技人员的辛勤劳动表示感谢，同时也向对本项目研究工作给予技术指导的胡志晋、游来光、丰大雄、马培民、沈志来、魏重、李子华、叶家东等专家、教授以及中国气象科学研究院人工影响天气研究中心、中国电波传播研究所、南京气象学院大气物理系等项目协作单位表示感谢。

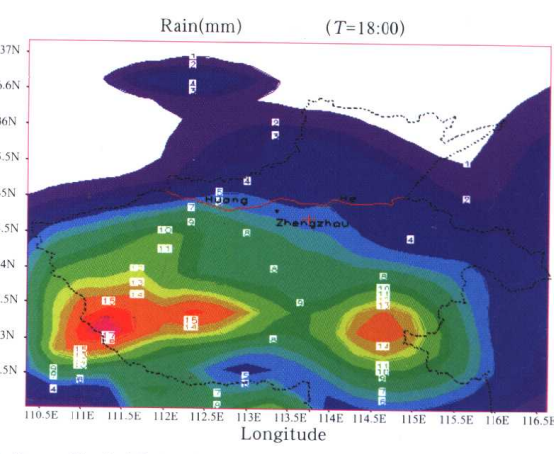
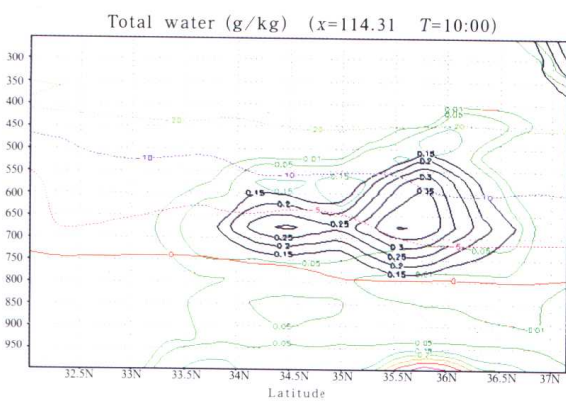
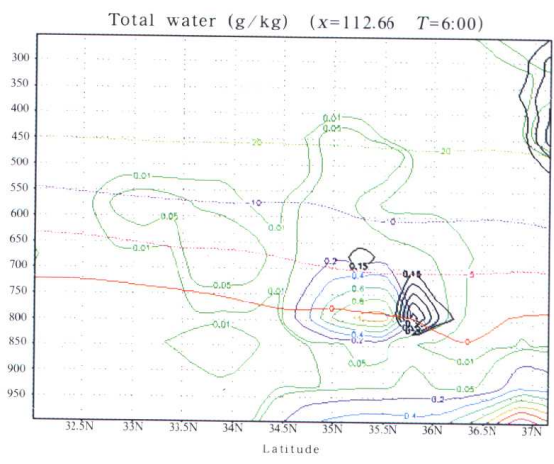
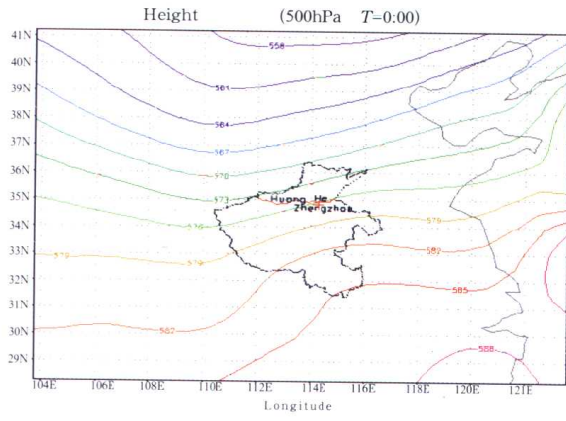
河南省气象局局长

A handwritten signature in black ink, appearing to read '张镇' (Zhang Zhen), written in a cursive style.

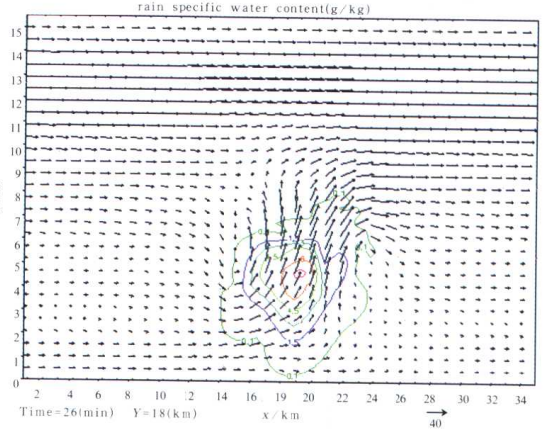
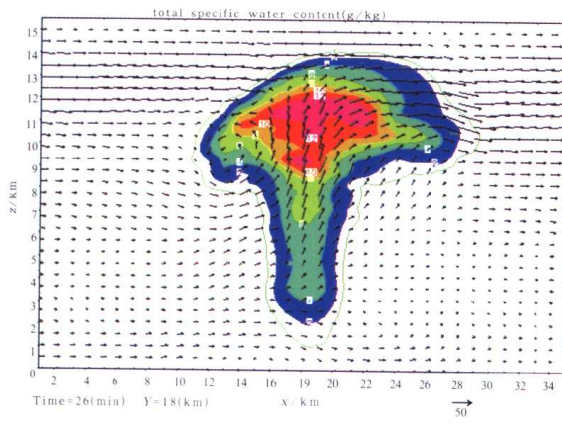
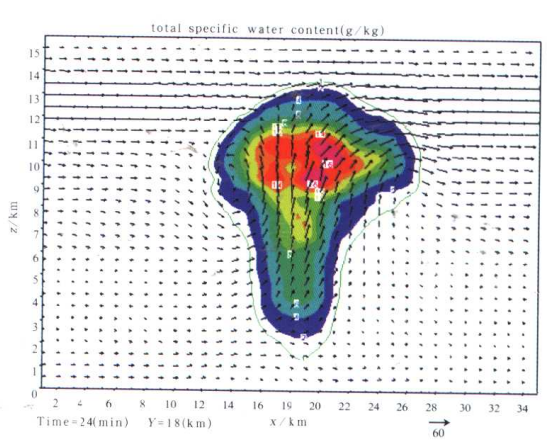
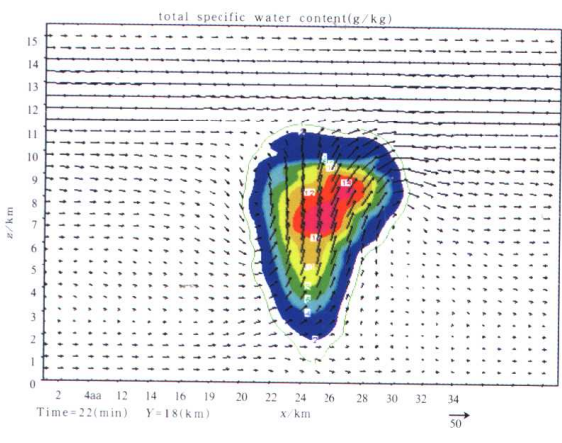
2000年9月







1999年4月10日20时中尺度层状云模式模拟结果



1999年5月9日08时冰雹云模式模拟结果 (地点: 河南南阳)

# 目 录

序一

序二

## 1 综合报告

河南省人工影响天气优化技术研究总结.....张 存 (3)

## 2 云水资源和增雨潜力研究

近 50 年河南干旱过程频率时空分布特征.....程炳岩 钱晓燕 朱业玉 (17)

关于河南干旱指标的客观性研究.....程炳岩 钱晓燕 朱业玉 (20)

河南省空中水资源的时空分布特征.....程炳岩 张永亮 霍 锐 (24)

河南省空中水汽输送气候研究.....程炳岩 张永亮 霍 锐 (30)

河南省人工增雨潜力气候研究.....程炳岩 张永亮 霍 锐 (33)

河南省春季冷锋云系的降水效率及增雨潜力.....冯 杉 郑世林 赵培娟 (36)

## 3 云和降水的宏观特征研究

飞机增雨作业的短期天气条件分析.....赵培娟 吴 蓁 苏爱芳等 (43)

河南省春秋季节一般性降水过程的预报模型.....吴 蓁 王 蕊 郑世林 (50)

利用多通道卫星云图的纹理参数估算层状云降水.....田万顺 (54)

利用卫星云图分析 1998 年 10 月 13 日降水过程.....田万顺 赵培娟 苏爱芳 (59)

利用 GMS-5 水汽图像分析河南春秋季节对流层中上部水汽分布特征.....  
.....李铁林 郑宏伟 (63)

河南省春秋季节适宜人工增雨作业的雷达回波特征.....牛淑贞 赵培娟 席世平 (68)

飞机人工增雨催化作业云系结构特征分析.....李铁林 郑宏伟 (72)

河南省人工消雹作业判据研究.....张素芬 鲍向东 牛淑贞等 (76)

局地强雹暴的雷达回波特征.....张素芬 牛淑贞 匡晓燕等 (81)

一次典型超级单体风暴过程分析.....牛淑贞 (86)

1999 年 5 月 9 日冰雹过程分析.....张素芬 汤志亚 张一平 (93)

## 4 云和降水的微物理特征研究

河南春秋季节冷锋云系宏、微观物理结构及其降水特征的分析研究.....李铁林 郑宏伟 (99)

1998 年秋季飞机人工增雨试验 PMS 探测资料分析.....李念童 李铁林 郑宏伟 (103)

飞机人工增雨催化作业前后云的微物理分析.....李念童 李铁林 张云平等 (106)

利用双波段地基微波辐射计遥测大气中汽态、液态含水量.....李铁林 郑宏伟 (110)

利用微波辐射计进行大气探测的研究.....李铁林 程显海 郭 丽等 (114)

河南不同类型降水的雨滴谱特征分析.....李铁林 李念童 郑宏伟 (119)

河南干旱年自然降雨和人工降雨的微物理结构特征.....周毓荃 刘晓天 周非非等 (123)

暴雨和冰雹天气的雷电特征分析.....周毓荃 张 存 黄毅梅 (136)

## 5 云和降水的数值模拟应用研究

- 中尺度层状云系数值预报业务系统的设计和开发·····周毓荃 黄毅梅 胡志晋 (143)
- 中尺度层状云系数值预报系统的业务化应用试验·····周毓荃 黄毅梅 包绍武等 (147)
- 河南省层状云宏、微观物理场结构特征的研究·····周毓荃 黄毅梅 (153)
- 河南春季降水性层状云催化潜力数值分析·····周毓荃 (158)
- 雹云催化作业效果的数值试验·····周毓荃 陈宝君 黄毅梅等 (162)
- 雹云成雹机制及最佳催化方案的数值研究·····黄毅梅 周毓荃 李子华 (170)
- GrADS 在数值产品分析中的开发应用·····黄毅梅 周毓荃 (176)

## 6 人工影响天气信息综合处理技术研究

- 河南省新一代人工影响天气业务技术系统的设计、开发和应用·····周毓荃 张 存 (185)
- 河南省人工影响天气计算机网络的设计和特点·····周毓荃 郑宏伟 (198)
- 河南省人工影响天气数据库系统的开发和应用·····连续发 张 方 郑宏伟 (202)
- 人工增雨空中飞行作业条件预分析系统·····徐延锋 周毓荃 (211)
- 河南省人工影响天气决策指挥地理信息平台·····陈怀亮 邹春辉 周毓荃 (216)

## 7 催化作业技术研究

- 河南省飞机人工增雨科学试验方案·····李念童 (225)
- 飞机人工增雨新催化剂 AgI 溶液应用总结·····黄宪刚 李念童 李 冰等 (233)
- 鸭河口水库流域夏季高炮人工增雨科学试验方案·····李 冰 (236)
- 人工防雹减灾作业技术系统及试验实施方案·····周毓荃 张 存 刘晓天等 (241)
- 人工高炮增雨、防雹作业的时机和部位·····刘晓天 刘青松 (248)

## 8 作业效果评估方法研究

- 高斯模式在层状云催化剂扩散中的应用·····陈 东 黄毅梅 (255)
- 河南省飞机人工增雨试验效果统计检验·····董官臣 冶林茂 胡 鹏 (260)
- 飞机人工增雨效果的数值统计评估方法·····胡 鹏 李朝兴 冶林茂等 (264)
- 1998年10月13日人工增雨作业过程分析·····牛淑贞 鲍向东 张素芬等 (268)
- 飞机人工增雨过程前后雷达回波演变特征·····牛淑贞 (274)
- 鸭河口水库流域夏季高炮人工增雨试验效果评价·····李 冰 冶林茂 李海彬等 (282)

## 附录

- 国际学术会议交流论文····· (285)

# 1 综合报告



# 河南省人工影响天气优化技术研究总结

张 存

(河南省气象局, 郑州 450003)

## 摘 要

本文介绍了河南省气象局承担的省重大科技攻关计划项目“人工影响天气优化技术研究”3年来的组织实施情况、取得的主要成果和成果的业务应用与推广。

**关键词** 人工影响天气 优化技术研究 项目组织实施 成果及业务应用

1997年8月,经河南省科学技术厅(原省科委)批准立项,河南省气象局承担的省重大科技攻关项目“人工影响天气优化技术研究”正式启动。三年来,在河南省气象局领导的重视下,项目组根据国内外人工影响天气发展的技术趋势,瞄准国际、国内先进水平,大力加强科技协作,不仅圆满地完成了《河南省重大科技项目目标管理任务书》中的研究开发内容和考核指标,在云水资源和增雨潜力、云和降水的宏微观监测识别技术、云和降水的数值模拟应用技术、人工影响天气信息实时采集和综合处理技术、催化作业技术以及作业效果评估技术等方面的研究取得了重要的进展,提高了河南省人工影响天气的整体科技水平,并且在增雨和防雹作业中发挥了重要作用,产生了明显的减灾效益。

## 1 项目的组织实施

### 1.1 成立项目领导小组和技术组,保证攻关项目的顺利进行

本研究项目下设有5个课题,共18个专题,分别由河南省人工影响天气中心、省气象台、省气候中心和省气科所承担。研究内容涉及到大气探测学、中小尺度天气学、卫星气象学、雷达气象学和云降水物理学等多个学科。为了加强对项目的组织领导和技术指导,保证这一重大科技攻关项目的顺利进行,河南省气象局于1997年7月28日成立了项目领导小组和技术组。领导小组由主管业务和科教室的副局长任组长,成员由项目各承担单位和科教室的领导组成,主要负责项目的组织协调和重大事项的审定;技术组由项目和课题主持人组成,主要负责课题研究实施方案的审定和研究进展情况的检查。三年来,项目领导小组先后召开了6次会议,技术组先后召开了12次会议。

### 1.2 组织调研参观,进行技术咨询

为了了解目前国内外人工影响天气科研工作的技术发展趋势,确保本研究项目高起点、上水平,项目组组织有关技术人员先后到中国气象科学研究院人工影响天气研究中心、中国科学院大气物理研究所、南京气象学院大气物理系和南京大学大气物理系拜访有关专家和教授,就本项目的研究内容和关键技术进行座谈咨询。与此同时,还组织有关技术人员先后赴河北、福建和吉林等省气象局人工影响天气办公室进行调研和参观,学习和借鉴他们的先进

经验。在调研和参观的基础上，项目技术组召开了扩大会议，就本研究项目如何上水平的问题组织了认真讨论。从而大家统一了思想，明确了目标，提出要瞄准国际、国内先进水平，尽量采用先进技术和探测手段，充分发挥河南自身的优势，力争经过 3、4 年的努力，使河南省人工影响天气科研工作取得丰硕的成果，明显提高人工增雨、防雹作业的水平，为农业防灾、减灾和社会发展作出更大的贡献。

### 1.3 明确科研攻关重点，制定课题实施方案

根据国内外人工影响天气科研工作的技术发展趋势，并结合河南省人工影响天气的实际，项目技术组把研究工作的重点确定为一个“加强”、一个“抓好”和一个“建立”。一个加强就是要利用各种先进的探测手段，加强对云和降水的宏、微观物理特征的研究，特别是对云和降水的微物理特征的研究；一个抓好就是要制定科学的试验方案，组织好飞机人工增雨外场科学试验、高炮人工增雨外场科学试验和高炮（火箭）人工防雹外场科学试验；一个建立就是要依托气象现代化建设的成果，利用先进的计算机技术、通信技术、“3S”（GIS、RS、GPS）技术和数值模拟技术，研究开发建立起具有较高集成化和自动化程度的人工影响天气实时业务技术系统。在明确了科研攻关重点的基础上，按照项目技术组的统一安排和要求，各课题组于 1997 年 8 月下旬至 9 月上旬制定了课题实施方案。课题实施方案包括专题的设置以及每个专题的研究内容和关键技术、考核目标、计划进度、经费预算、承担单位、专题负责人等内容。9 月 18 日，项目技术组召开了会议，听取了各课题主持人对课题实施方案的汇报，并提出了修改意见。会后，各课题组将课题实施方案予以正式打印，并开始组织实施。

### 1.4 聘请技术顾问，举办学术讲座

为了提高项目组技术人员的学术水平和研究能力，项目组先后邀请了国内多位人工影响天气研究方面的资深专家来河南进行技术指导，并举办学术讲座。1997 年 11 月，项目组邀请中国气象科学研究院人工影响天气研究中心胡志晋研究员来郑州进行技术指导，并就云和降水的宏、微观探测以及层状云的数值模拟应用试验作了专题学术讲座；1998 年 5 月，项目组邀请南京气象学院大气物理系李子华教授来郑州，就开展高炮（火箭）人工防雹科学试验进行了技术指导，并实地考察了唐河县人工防雹降雨基地的设施；1999 年 1 月，项目组召开阶段性成果汇报和演示会时，邀请了中国气象局科教司王远忠和陈志宇两位领导以及中国气象科学研究院人工影响天气研究中心胡志晋、游来光、丰大雄、马培民 4 位研究员专程来郑州进行技术指导，同时，4 位研究员还就国内外人工影响天气发展的最新动态分别进行了专题学术报告。1999 年 8 月，项目组邀请中国科学院大气物理研究所沈志来、魏重两位研究员专程来河南，实地考察了中国电波传播研究所（新乡市 22 所）为本项目开展的利用双波长微波辐射计进行大气特性探测的设备和方案，并就有关试验研究工作进行了技术指导。2000 年 11 月，项目组还邀请美国著名气象学家奥维尔（Harold Duvall Orville）来河南省进行访问，对本项目的研究工作和取得的成果给予进一步的指导，并举办专场学术报告会。

### 1.5 大力开展科技协作，广泛参加学术交流

为了保证项目重点研究任务的完成，项目组先后从中国气象科学研究院人工影响天气研究中心引进了三维高分辨率层状云数值模式以及高效催化剂配方，并签订了开展 PMS 粒子观测的科技协作合同书；与中国电波传播研究所签订了开展激光雨滴谱和双通道微波辐射仪观测的科技协作合同书；与南京气象学院大气物理系签订了开展人工防雹科学试验的科技协作合同书。以上引进技术和科技协作攻关，在河南省人工影响天气研究项目中发挥了重要作用。与此同时，项目组有 10 余人次先后参加了 1997 年 10 月在北京召开的全国人工影响天气学术

研讨会、1998年10月在江西庐山召开的'98中国云物理暨人工影响天气40年进展和展望学术研讨会,以及1998年11月在福建武夷山召开的全国人工影响天气效果评价研讨会等,还有8位同志参加2000年11月在西安召开的第13次全国云雾、降水和人工影响天气科学讨论会。1999年2月,项目组周毓荃同志参加了世界气象组织(WMO)在泰国召开的第7次国际人工影响天气科学讨论会;2000年8月,项目组周毓荃和李铁林两位同志参加了国际云和降水委员会在美国内华达州召开的第13届国际云和降水物理学术会议。通过广泛参加学术交流,不仅展示了河南省人工影响天气研究工作的成果,提高了河南省人工影响天气工作的知名度,更重要的是开阔了眼界,了解了国内外人工影响天气科研工作的学术动态和技术发展趋势,对推动本项目研究工作的深入开展和技术创新起到了积极的促进作用。

### 1.6 加强管理和检查,确保攻关任务的圆满完成

为了确保攻关目标和任务的圆满完成,项目组在每年初对各课题研究内容提出明确目标的基础上,年内对各课题组的研究进度实行了动态管理,除认真抓好经常性的检查、督促、指导和协调工作外,坚持每季度召开一次技术组会议,及时交流各课题研究工作的进展情况,商讨解决存在的问题。与此同时,河南省气象局还把重大项目研究工作的完成情况列入各承担单位的年度考核目标中,局科教处每年底都要对本项目各课题研究工作的进展情况和取得的阶段性成果进行年度检查和考评打分。通过近50名科技人员3年多时间的努力攻关,本项目按期完成了研究任务和攻关目标,研究成果在业务应用中已经产生了明显的效益。

## 2 研究工作进展情况和取得的主要成果

### 2.1 云水资源和自然降水效率研究

利用河南省近50年干旱灾害实况资料和降水资料,统计分析了干旱灾害过程频率的季节、地理及年际变化特征,并进行了干旱监测预警指标及评价指标的客观性研究,解决了干旱监测预警业务的关键性技术问题,并建立了河南干旱监测预警业务系统;利用河南省及周边12个探空站的近30年各月逐日各时次探空资料,统计分析了地面至各标准等压面的水汽特征量,研究了河南空中水资源量及水资源输送的时空分布特征,并对自然降水的产出率及增雨潜力进行了评价分析,为科学地开发利用云水资源提供了依据。

(1) 利用河南1951~1998年的干旱灾害实况资料,统计分析了干旱灾害过程频率的季节、地理及年际变化特征。结果表明:河南干旱灾害过程的季节性特点明显,豫北地区春旱为主,豫中、豫南地区伏旱为主,豫东地区秋旱为主,豫西地区春、秋旱为主;干旱灾害过程连二季出现的频率豫北达50%~60%,豫东、豫西地区为42%,豫南地区不足30%;干旱灾害成灾面积大于1000万亩\*的年份具有连续性,平均持续长度4年,最长的达7年。20世纪80年代以来,河南干旱灾害影响呈严重发展趋势。

(2) 利用河南1951~1998年的降水资料及干旱灾害对农业影响的实况资料,进行了干旱指标的评价分析。结果表明,干旱指标的基础及客观性判据是干旱灾害实况资料,但根据有限长样本资料序列研究建立的干旱指标,其应用客观性会随着干旱灾害过程资料样本增大而降低。通过反复试验,确定了以降水Z指数为基础的干旱评价指标及监测预警指标,并研制建立了河南干旱预警业务系统。

\* 亩=666.7m<sup>2</sup>,下同



(3) 利用郑州、南阳、驻马店及周边与空中水资源密切相关的站 1961~1990 年各月逐日各时次探空资料,进行了地面至各标准等压面层的水汽特征量计算分析。结果表明:河南省空中水资源具有明显的季节、年际及地理分布变化特征,而且和降水资源的时空变化特征基本一致;各高度层多年平均水汽资源量皆以夏季最为丰富,春、秋季次之,冬季最少;各月水汽资源量随高度增加而减少,400hPa 以下水汽含量占整层水汽量的 96%;空中水汽含量地理分布基本上为南部多,北部少,南北差异也以夏季最大,春、秋季次之,冬季最小。

(4) 利用标准网格点资料,对河南省空中各月水汽通量、水汽通量散度进行了计算分析。结果表明:河南省空中水资源输送具有明显的季节、地理及垂直变化特点。水汽输送夏季较强,冬季较弱,春秋季节介于其间;省东部、东南部、南部和西南部地区水汽输送较强,整层以辐合型为主;西部、西北部、北部和中部地区水汽输送较弱,整层以辐散型为主;在垂直方向,水汽输送最强、较强层次分别为 500hPa 和 700hPa,其水汽输送量占整层水汽输送量的 50%~70%。

(5) 利用郑州、南阳 1961~1990 年探空资料和地面降水量资料,对河南省云水资源及增雨潜力进行了评价分析,结果表明:河南省各地月自然降水产出率为 24%~53%,增雨潜力可达 50%~70%。其中,自然降水产出率南部略低于北部,增雨潜力南部略高于北部;自然降水产出率夏半年(5~10月)低于冬半年(11~4月),增雨潜力夏半年高于冬半年。

## 2.2 云和降水的宏观特征研究

利用天气图、数值预报产品、卫星云图、714CD 天气雷达、C 波段电子探空等资料,结合地面自记降水量观测资料,对云和降水宏观特征进行了比较系统的研究,总结归纳出各种天气形势下降水性层状云以及冰雹云作业时机、作业区域的宏观指标判据,为人工增雨和防雹作业提供了多项物理判据和多参数指标。

(1) 在人工增雨短期天气条件研究方面,选取 1990~1997 年间春秋季节 70 例小-中雨降水过程作为样本,首先分析了 700hPa 和 850hPa 的水汽条件状况。研究结果表明:700hPa 的水汽主要来自孟加拉湾,经云贵高原和川东、陕南到河南,水汽输送带的宽度有 90% 达到 10 个经距以上,水汽输送大多比过程提前 24 小时,甚至 36 小时。而 850hPa 的水汽主要来自南海,经湖南、湖北进入河南,水汽输送带的宽度有 70% 达到 10 个经(纬)距,水汽大多在降水产生前 24 小时开始向河南省输送。700hPa 的水汽输送往往早于 850hPa,且输送带也宽。大量的来自低纬的暖湿气流进入河南省,使河南省上空的空气湿度加大,以致形成降雨的必要条件。其次,将所有降水样本开始前 24 小时的 700hPa 形势场按特征归为三类:低槽、切变线和偏南气流,给出了入型标准,并分型建立了天气图降水预报指标。在此基础上,为充分发挥数值预报产品时效长的优势,以弥补天气图预报指标时效较短的不足,又利用国家气象中心 T106 数值预报产品资料,通过对降水过程的物理量场作诊断分析,找出有利于降水产生的条件,确定了另一组预报指标,这样就可以通过数值预报产品的物理量预报场,提前确定未来降水开始的时间与落区,为飞机增雨争取较多的准备时间。第三,通过对 1999 年秋季和 2000 年春季的小雨和小-中雨过程的统计分析,将促使降水产生的高空影响系统,依据其垂直结构划分为三种不同的组合方式,得出了产生一般性降水的三种预报模型。并通过降水区与云系的对应分析,确定了最易产生一般性降水的云系。根据所得结论,可以由高空影响系统的位置及最有利于降水的云区来预报一般性降水的落区,从而为飞机人工增雨作业提供最佳作业区。

(2) 在人工增雨卫星云图指标研究方面,首先利用每小时降水量图与红外云图亮温场,