

HENANSHENG
YUNSHUIZIYUAN KANFALIYONG
JISHUYANJIU

河南省

云水资源开发利用技术研究

主 编：刘金华
副主编：李铁林
胡 鹏
鲍向东
杨国锋

气象出版社

河南省“十五”重大科技攻关项目 0522030400

河南省云水资源 开发利用技术研究

主 编:刘金华

副主编:李铁林 胡 鹏

鲍向东 杨国锋

气象出版社

辛千 2004: 2 辛

2007年12月第一次印刷

2007年12月第一版

印 1-800

定 48.00 元

本书是河南省“十五”重大科技攻关计划项目“河南省云水资源开发利用技术研究与示范”三年研究的初步成果。主要内容有云水资源与增雨潜力研究、人工增雨作业天气条件预测研究、卫星云图与天气雷达资料在人工增雨中的应用研究、云和降水微观物理特征研究、人工增雨催化作业技术研究、人工增雨综合分析平台和决策指挥系统研究、人工增雨作业效果分析研究等。全书由40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

河南省云水资源开发利用技术研究/刘金华主编. —北京:气象出版社,2008.1

ISBN 978-7-5029-4423-0

I. 河… II. 刘… III. ①云-水资源-资源开发-河南省-文集
②云-水资源-资源利用-河南省-文集 IV. TV211-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 186521 号

出版者:气象出版社

网 址:<http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail:qxcbs@263.net

责任编辑:吴庭芳

封面设计:马驰

责任技编:都平

印刷者:北京中新伟业印刷有限公司

发行者:气象出版社

开 本:787×1092 1/16 印 张:19.75 字 数:480 千字

版 次:2007 年 12 月第一版 2007 年 12 月第一次印刷

印 数:1~800

定 价:45.00 元

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮 编:100081

总编室:010-68407112

发行部:010-68409198

终 审:周诗健

《河南省云水资源开发利用技术研究》 编委会

主 编：刘金华

副主编：李铁林 胡 鹏 鲍向东 杨国锋

编 委：

洪延超 雷恒池 肖 辉 黄毅梅 牛淑贞

胡朝霞 张新国 周子平 孔德芝 宋建予

田万顺 李 冰 刘艳华 布亚林 张云平

张俊波 马鑫鑫 郭献林 李 昊 艾 艳

薛龙琴 黄宪刚 郑宏伟

序一

河南是一个农业大省、人口大省,也是一个水资源严重匮乏的省份,人均水资源占有量仅占全国人均的 $1/6$,是世界人均的 $1/24$ 。在全面建设小康社会的新形势下,河南省水资源短缺与经济社会发展需求之间的矛盾日益加剧,成为制约全省经济社会可持续发展的最重要因素之一。特别是近些年随着我省工农业生产的发展、城市规模的扩大、人口总量的不断增加,生活和生产用水量日益增多,缓解水资源短缺成为迫在眉睫的工作。我省坚持“节流”和“开源”并重的方针,在加强水利设施建设和合理利用现有水资源的同时,坚持不懈开发利用空中云水资源。为了解决开发利用空中云水资源的许多基础性科学问题,我省在“九五”期间批准立项重大科技攻关项目“人工影响天气优化技术研究”的基础上,于2005年3月又批准将“河南省云水资源开发利用技术与示范”列入“十五”期间河南省重大科技攻关项目计划予以支持。

三年来,项目承担单位河南省人工影响天气中心在主管部门的大力支持下,组织项目组科技人员瞄准国际、国内先进水平,大力加强科技协作,不仅圆满地完成了《河南省重大科技项目合同书》中的研究开发内容和考核指标,在云水资源与增雨潜力研究、人工增雨作业天气条件预测研究、新一代多普勒雷达资料在人工增雨中的应用研究、云和降水微观物理特征研究、人工增雨催化作业技术研究、云水资源开发综合分析平台和决策指挥系统研究等方面取得了重要的进展,提高了我省人工影响天气的整体科技水平,并且在云水资源开发作业中发挥了重要作用,为全省农业抗旱、缓解水资源短缺和改善生态环境做出了突出贡献,产生了十分显著的社会经济效益。尤其是在近三年的小麦生长发育关键时期,气象部门充分利用项目研究成果,在全省范围内成功组织实施了较大规模的人工增雨(雪)作业,为夏粮连年丰产、屡创历史新高发挥了不可替代的关键作用。在此,我谨代表省政府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和亲切的慰问!

河南省人民政府副省长



(刘新民)

2007年12月

序二

空中云水资源是各种水资源中最活跃、更新最快的一种,也是河流、湖泊、冰川、雪盖、土壤水等水资源的主要补充来源。空中水资源包括水汽、云和降水。水汽的数量巨大,但它不能直接利用,必须通过上升冷却、过饱和部分凝结成云,云中只有一部分水量能转化为降水,落到地面成为可用水资源。空中云水资源的开发就是通过人工手段使空中更多的水汽和云转化为降水,是缓解水资源短缺的一项重要措施。

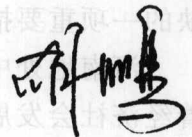
河南地处中原,自然灾害频繁,尤以干旱发生的频率高、影响范围广,同时随着经济社会发展,水资源的供需矛盾日益突出,如何有效地缓解水资源短缺成为摆在各级党委、政府面前的一个难点问题。2003年11月,省政府办公厅下发的《河南省人工影响天气发展规划(2003—2010)》提出:利用人工影响天气技术,开发空中云水资源,是缓解河南水资源不足和河南经济发展的迫切要求,也是推动地下水保护行动计划顺利实施的有效途径之一。气象部门主动适应经济社会发展的新形势,认真贯彻省委、省政府对开发利用空中水资源的新要求,积极开展相关研究开发工作。“九五”期间,在省科技厅的大力支持下,河南省气象局承担了省重大科技攻关项目“人工影响天气优化技术研究”,研制开发建立了具有国内领先、国际先进水平的人工增雨综合技术系统,但是,受当时各方面条件所限,尚有许多科学问题没有真正解决。2005年3月,经省科技厅批准,“河南省云水资源开发利用技术与示范”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,我局成立了项目攻关技术组,由主管人工影响天气工作的副局长任组长,参加人员都是各单位科研、业务技术骨干。三年来,项目攻关技术组先后召开了13次会议。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科学系,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;组织有关技术人员先后赴山东、河北、江西、贵州和天津等省气象局人影办进行调研和参观学习。同时,项目组聘请了技术顾问,举办了多次学术讲座,积极鼓励技术人员进修学习、参加高水平的学习交流。三年多来,在省政府主管领导和省科技厅、中国气象局有关部门的指导下,项目组在云水资源与增雨潜力研究、人工增雨作业天气条件预测研究、新一代多普勒雷达资料在人工增雨中的应用研究、云和降水微观物理特征研究、人工增雨催化作业技术研究、云水资源开发综合分析平台和决策指挥系统研

究等方面取得了重要的进展,取得了一系列成果,部分成果已在人工影响天气工作实践中发挥了重要作用,产生了明显的社会和经济效益。

为了反映项目的研究成果,项目组收集了 40 余篇研究论文和报告,由气象出版社出版,在介绍给全国同行参考的同时,也希望能得到有关领导和专家的指正。在此,我代表省气象局向关心支持该项研究工作的省政府刘新民副省长、省政府办公厅、省科技厅的领导和有关部门的同志表示感谢,向对本项目研究工作给予热心指导的胡志晋、毛节泰、叶家东、李子华、洪延超、雷恒池、肖辉、姚展予、冉令坤、张存、李平等专家、教授表示感谢,同时向参加本项目研究并付出辛勤劳动的全体科技人员表示感谢和慰问。

河南省气象局局长



(胡鹏)

2007 年 12 月

目 录

序一

序二

第一部分 综合报告

- 河南省云水资源开发利用技术研究与示范项目总结 刘金华 (1)

第二部分 云水资源与增雨潜力研究

- 河南省空中水汽资源的来源、分布及收支 刘艳华 李铁林 马鑫鑫等 (16)
- 豫南地区空中水汽含量和水汽输送特征分析 魏慧娟 袁春风 崔新建 (25)
- 河南降水云系微物理结构数值模拟和增雨潜力要素特征分析
..... 刘艳华 田万顺 贺哲 (31)
- 中尺度对流系统结构特征及增雨潜势分析 崔新建 杨国锋 (41)
- 人工增雨潜力评估及评估系统研究 刘金华 鲍向东 李铁林等 (49)

第三部分 人工增雨作业天气条件预测研究

- 河南省春秋季节稳定性降水中期天气模型 布亚林 李 楨 刘金华 (67)
- 河南省层波状云人工增雨作业条件短期预测方法 贺哲 刘金华 布亚林 (71)
- 最优集成技术在人工增雨短期降水预报中的应用 布亚林 杨国锋 王文博 (77)
- 河南省人工增雨作业天气条件预测平台 布亚林 贺哲 梁 钰等 (81)
- 驻马店市人工增雨需求与作业条件分析 王 静 张新国 韩贵甫等 (87)
- ARPS 模式利于人影作业潜势预报的产品检验 马鑫鑫 刘艳华 邵振平等 (93)

第四部分 卫星云图、天气雷达资料在人工增雨中的应用研究

- 卫星资料与实时探空联合反演云物理特征参数及与实测资料对比
..... 黄毅梅 周毓荃 刘金华 (98)
- 利用地面温度与云顶亮温差值检测云方法研究 黄毅梅 刘金华 王式功等 (112)
- 卫星云图在人工增雨作业应用中的客观化处理 袁春风 王 静 孔德芝 (122)
- 河南春秋季节适宜飞机增雨作业短时预测技术分析 张一平 牛淑贞 王国安等 (125)
- 人工增雨作业区域短时预测技术研究 牛淑贞 范学峰 杨国锋等 (132)
- 卫星云图和新一代雷达产品在人工增雨过程中的分析应用

.....	牛淑贞	刘金华	席世平等	(137)
天气雷达极坐标资料转为经纬坐标的算法	田万顺	邵振平	鲍向东	(147)

第五部分 云和降水的微物理特征研究

河南春季一次飞机人工增雨微物理效应分析	李铁林	刘金华	刘艳华等	(152)
2007 年春季河南 3 次降水过程人工增雨条件对比分析	田万顺	刘艳华	郭献林等	(158)
河南省春季层状云降水雨滴谱部分特征	刘艳华	李铁林	郝剑平等	(168)
利用双频微波辐射计测空中水汽和云液水含量的个例分析	李铁林	刘金华	刘艳华等	(174)
河南春季降水过程空中水资源状况及增雨潜力的个例分析	胡朝霞	刘金华	鲍向东等	(182)

第六部分 云和降水的数值模拟应用研究

河南省春季一次层状云降水的中尺度数值模拟	胡 鹏	雷恒池	赵 震等	(183)
河南春季一次强降水过程水汽收支和微物理过程数值模拟	刘艳华	邵宇翔	田万顺	(193)
河南省 2007 年 3 月 16 日一次层状云降水过程的模式对比研究	杨洁帆	刘金华	李铁林等	(201)

第七部分 人工增雨催化作业技术研究

河南省云水资源开发外场试验方案	刘金华	李铁林	姚展予等	(202)
人工增雨可播区域自动选择方法研究	黄毅梅	姚展予	刘金华等	(210)
液态二氧化碳(LC)播撒催化技术在河南省飞机人工增雨作业中的应用分析	鲍向东	郭献林	张云平等	(216)
地面人工增雨外场试验研究方案	李 冰	孔德芝	宋建予	(220)
地面人工增雨外场试验研究实施细则	李 冰	黄宪刚	张云平等	(229)
高炮、火箭人影催化作业云层高度的确定	袁献国	李定才	郑宏伟等	(234)

第八部分 人工增雨综合分析平台和决策指挥系统研究

河南省云水资源开发决策指挥系统研究	刘金华	黄毅梅	李铁林等	(238)
基于 ArcGIS 的人影综合分析平台	黄毅梅	陈 跃	周毓荃等	(244)
河南省飞机人工影响天气作业空地数据传输系统的建设及应用	张云平	李 昊	鲍向东等	(249)
人工影响天气高炮(火箭)作业空域自动化申报系统	黄毅梅	周毓荃	鲍向东等	(253)
市(地)级人工增雨决策指挥系统	魏慧娟	崔新建	杨国锋等	(260)
河南省人工影响天气业务管理系统的设计与开发	郑宏伟	鲍向东	李 昊等	(267)
三门峡市新一代人工影响天气综合技术系统	张雪民	宋建予	范学林等	(273)

第九部分 人工增雨作业效果分析研究

河南省一次人工增雨作业过程及其效果分析	牛淑贞	鲍向东	张一平等 (282)
聚类统计检验在人工增雨效果检验中的应用研究	翟 羽	肖 辉	刘金华等 (291)
人工增雨地面作业催化影响区算法探讨	田万顺	马鑫鑫	李铁林等 (300)

附录

国际学术会议交流论文	(304)
------------------	-------

第一部分 综合报告

河南省云水资源开发利用技术研究与示范项目总结

刘金华

(河南省气象局, 郑州 450003)

摘 要

本文介绍了河南省人工影响天气中心承担的省重大科技攻关项目“河南省云水资源开发利用技术研究与示范”三年来的组织实施情况、取得的主要研究成果和成果的业务应用与推广。

关键词: 云水资源 增雨潜力 开发利用技术

2005年3月,经河南省科学技术厅批准立项,河南省人工影响天气中心承担的省重大科技攻关项目“河南省云水资源开发利用技术研究与示范”正式启动。三年来,在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,圆满完成了《河南省重大科技项目合同书》中的研究开发内容和考核指标,在云水资源与增雨潜力研究、人工增雨作业天气条件预测研究、新一代多普勒雷达资料在人工增雨中的应用研究、云和降水微观物理特征研究、人工增雨催化作业技术研究、云水资源开发综合分析平台和决策指挥系统研究等方面取得了重要的进展,提高了河南省人工影响天气的整体科技水平,在云水资源开发作业中发挥了重要作用,产生了显著的经济社会效益。

1 项目的组织实施

1.1 技术路线

在总结国内外人工影响天气技术发展趋势的基础上,采用云物理观测、数值模拟和外场科学试验相结合的研究方法;采用业务部门同科研院所相结合的科技攻关方式,既发挥科研院所科研力量强和技术装备先进的优势,又发挥业务部门技术骨干多和试验经费比较充足的优势;采用科学研究同业务应用紧密结合的途径和边研究边应用的方式,促使科研成果迅

速转化为业务能力。

1.2 主要措施

1.2.1 成立项目攻关技术组,保证攻关项目的顺利进行

为了保证这一重大科技攻关项目的顺利进行,省气象局于2005年3月成立了项目攻关技术组,由项目主持人、河南省气象局副局长刘金华任组长,成员由项目和专题主持人组成,负责对项目重大问题和关键技术难点进行研究讨论,明确攻关思路和工作方法,达到集中专家智慧、集中项目研究人员群体力量的效果。本研究项目下设有16个专题,分别由省人影中心、省气象台、省大气探测中心和省气象科学研究所承担,研究内容涉及大气探测学、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。三年来,项目攻关技术组先后召开了13次会议,定期听取各专题研究进展情况汇报,交流研讨取得的阶段性成果,深入分析存在的问题,寻找下一步工作的突破口;对一些关键技术问题进行认真讨论,理清研究思路,共同研究解决问题的办法。另一方面,项目组还不定期对各专题进行抽查,听取汇报,对相对落后的专题负责人提出警示,有力推动了项目的整体工作进度。

1.2.2 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所、中国科学院大气物理研究所云和强风暴物理开放实验室、南京气象学院大气物理系和南京大学大气科学系,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山东、河北、江西、贵州和天津等省(市)气象局人影办进行调研和参观,学习和借鉴他们的科研成果和先进经验。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。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年的努力,使我省人工影响天气科研工作取得丰硕的成果,明显提高人工影响天气作业的水平,为农业防灾、减灾和社会发展做出更大的贡献。

1.2.3 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,项目技术组把云水资源与增雨潜力研究、人工增雨作业天气条件预测研究、新一代多普勒雷达资料在人工增雨中的应用研究、云和降水微观物理特征研究、人工增雨催化作业技术研究和省市两级云水资源开发决策指挥系统研究作为研究工作的重点。2005年3月,项目组邀请中国科学院大气物理研究所、中国气象科学研究院人工影响天气研究所有关专家参与研究制定了详细周密的云水资源开发外场试验方案,试验方案中提出要利用目前各种先进的探测手段和催化工具,加强对云和降水的宏、微观物理特征的研究,加强催化作业技术的研究。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,各专题组于2005年3月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。项目技术组还召开了会议,听取了各专题主持人对课题实施方案的汇报,并提出了修改意见。会后,各专题项目负责人签订了任务书,并开始组织实施。

1.2.4 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专家教授来河南进行技术指导,并举办学术讲座。2005年1月,项目组邀请南京信息工程大学李子华教授、中国气象科学研究院人工影响天气研究所姚展予研究员进行技术指导,并就云和降水的宏、微观探测和催化作业技术作了专题学术讲座;2006年4月,项目组邀请南京大学大气科学系叶家东教授对人工影响天气效果检验研究进行技术指导;2006年6月,项目组邀请中国科学院大气物理研究所洪延超研究员、雷恒池研究员、肖辉研究员讲学,3位研究员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;2006—2007年,项目组邀请中国科学院大气物理研究所洪延超研究员、肖辉研究员、冉令坤副研究员等多次来河南,就中尺度云和降水的数值模拟、效果检验等开展专题讲座和技术指导。

1.2.5 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,项目组先后从中科院大气物理研究所引进了美国俄克拉何马大学(Oklahoma University)风暴分析和预报中心(Center for Analysis and Prediction of Storms, CAPS)研发的高分辨率非静力平衡中尺度模式;并签订了联合开展 PMS 粒子观测和云降水物理研究的科技协作合同书;与中国电波传播研究所联合开展激光雨滴谱和双通道微波辐射仪观测的科技协作。以上技术引进和科技协作攻关,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 2005 年 11 月在贵阳召开的全国云和降水物理及人工影响天气学术研讨会、2006 年 9 月在江西南昌召开的全国人工影响天气业务技术系统研讨会以及 2006 年 11 月中国气象学会在成都召开的云物理暨人工影响天气学术研讨会等,2007 年 10 月,项目组鲍向东同志参加了世界气象组织(WMO)在土耳其召开的第 9 届国际人工影响天气科学讨论会。通过广泛参加学术交流,不仅展示了河南省人影研究工作的成果,提高了河南省人影工作的知名度,更重要的是开阔了眼界,了解了国内外人影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。

1.2.6 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,项目组在每年年初对各专题研究内容提出明确目标的基础上,年内对各专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,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,局科技处每年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 70 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 研究任务完成情况和取得的主要成果

2.1 云水资源的分布状况和变化规律研究

利用 NCEP/NCAR 河南省及其邻近地区 35 年的月平均再分析资料(1971—2005)(包括各等压层比湿、纬向风速、经向风速),对河南省从地面到高空若干等压面层空中水汽特

征、水汽通量特征、水汽输送特征以及空中水汽来源等做了详细的研究分析。该资料水平网格为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 垂直有 17 层, 考虑到 300 hPa 以上水汽含量很小, 计算选取从 1000~300 hPa, 共 8 层。计算范围选取 $111^{\circ} \sim 116^{\circ} \text{E}$, $31.5^{\circ} \sim 36.5^{\circ} \text{N}$ 的矩形区域。四季采用气候学划分, 即冬季(12—2 月)、春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)。计算的特征量有大气积分可降水量、水汽输送通量、水汽收支等。具体得出以下结论:

(1) 水汽的垂直分布和季节变化。河南空中水汽含量存在明显的季节变化, 总体呈“单峰”型分布。夏季最大、秋季次之, 然后是春季, 冬季最小, 6—9 月空中水汽资源丰沛, 不论是大气整层, 还是各个分层, 都表现出 7 月水汽含量最大、1 月水汽含量最小的特征。水汽含量随季节和高度的分布呈现出近似“ Ω ”形状的特征, 1000~925 hPa 的值相对较大, 向上到 925~850 hPa 层的值逐渐减小, 但是自 850 hPa 向上水汽含量却又表现出增大的特征。全年 12 个月当中, 除了 5 月和 6 月以外的其余 10 个月, 在 700~850 hPa 层均出现一个比 925~850 hPa 层还要大的水汽含量极值。700 hPa 层以上, 变化规律比较清楚, 每个月都呈现出水汽含量随高度递减的特征。

(2) 平均整层大气积分水汽含量变化趋势。河南省区域平均整层大气积分水汽含量的年、季水汽含量距平百分率变化曲线及六阶多项式拟合曲线表现出: 春季水汽含量线性趋势为 $-0.087 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 夏季水汽含量线性趋势为 $-0.09 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 均呈微弱减少的特征, 秋季水汽含量年际变化最小, 线性趋势为 $-0.01 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 冬季水汽含量表现出与春、夏、秋三季不同的变化趋势, 其线性趋势为 $0.062 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 呈现微弱增长趋势。

(3) 水汽含量区域变化。水汽含量等值线基本呈“东南—西北”走向, 冬季相对其他三个季节等值线更平缓一些, 近似纬向分布。四季和年平均水汽含量值均表现出从东北向西南递增的特征。

(4) 水汽通量季节和高度变化。河南省多年平均空中水汽通量随季节和高度有明显变化。整层和各等压层水汽通量均表现出夏季最高, 秋季次之, 其次为春季, 冬季最低的特征。

(5) 水汽来源。不同季节河南空中水汽来源也不同, 主要水汽来源有: 一是中纬度西风气流带来的水汽扰动; 二是西太平洋副高南侧的偏东风在中南半岛、南海地区转向, 向我国中东部地区输送; 三是印度西南季风流经孟加拉湾、中南半岛、四川盆地自西南向东北方向输送。

(6) 水汽输送特征。综合来看, 夏季河南省绝大部分地区都处于水汽辐合区内, 春、秋、冬三季除了东南部以外的大部分地区均处于辐散区。河南西边界为最主要的水汽输入边界, 而东边界为最主要的水汽输出边界。河南省年水汽输入、输出量很大, 多年平均全年净收入为 11662 mm, 全年净支出 11096.9 mm, 水汽净收入 565 mm。全年综合来看, 可以认为低层净收入, 中层净支出, 高层净收入。5—10 月为水汽净收入, 其他月份则为水汽支出。7 月为水汽收入最多的月份, 为 355.4 mm, 3 月为水汽支出最多的月份, 为 82 mm。

2.2 云水资源开发作业天气条件预测识别技术研究

2.2.1 中短期天气条件预测识别技术研究

分析了 2000—2005 年春、秋季 500 hPa 高度场实况图, 根据河南省的天气特点和春秋

季影响河南飞机人工增雨的主要天气系统(西风带低槽和切变线)来划分两种天气过程模型。并用欧洲中心输出的 500 hPa 高度 24—120 h 预报场,做出近 5 天的平均预报场。把平均预报场与天气过程模型作相似检验,做出未来 5 天有无适合人工增雨的稳定性降水出现的中期预报。对河南省春秋季节降水以及云状特征的分析表明,河南省春秋季节降水大多为层状云产生的稳定性降水,采用对河南省分区分级进行降水预测的方法来确定适合飞机人工增雨的天气过程以及短期增雨区域。

采用 Visual Basic 编程技术,使用河南省气象局局域网络的有关气象信息,将开发的中期、短期适宜人工增雨作业的天气条件预测方法进行综合,建立了完整的人工增雨作业天气条件预测平台。除了预测中期适宜人工增雨的集中时段和降水落区外,还利用动力诊断预测模型和最优集成技术建立了可直接应用于人工增雨作业的短期预报方法。

2.2.2 短时天气条件预测识别技术研究

在“九五”攻关的基础上,普查了 2002—2006 年 3—5 月和 9—11 月河南省日降雨量为小到中雨并具有一定范围的 133 个降水日天气形势,归纳出三种类型的天气影响系统;同时对其中 69 个降水日的郑州 714CD 多普勒雷达资料进行分析,统计了层状云高度和厚度、0℃层高度,并根据雷达回波特征及演变规律,寻找出飞机增雨作业最佳区域和最佳作业时机及飞机飞行最佳高度,特别是认真分析了对应的速度场特征,总结归纳出有利于降水回波维持和飞机作业的四种基本速度场类型:暖平流型、暖平流加辐合型、高层冷平流低层暖平流型、近地面东北风型。可根据分析这种类型的速度场特征来进行飞机增雨作业短时预测。具体研究结果如下:

(1) 影响河南春秋季节降水的天气系统类型

归纳出影响河南春秋季节降水的天气系统类型共有三种:

- ①低槽型:占大多数,其形势为 500 hPa 或 700 hPa 有低槽影响;
- ②低槽切变线型:其形势为 500 hPa 有低槽且 700 hPa 和(或)850 hPa 有切变线;
- ③切变线型:其形势为 700 hPa 有切变线或低涡带切变线。

配合三种类型的地面形势主要有冷锋、地面倒槽、冷高压。

(2) 河南春秋季节降水强度场回波特征

①层状云降水回波

PPI 雷达显示上呈片状分布,强度一般为 25~30 dBz,最强的地方有时达 35 dBz,抬高仰角可观测到完整的 0℃层亮环;RHI 雷达显示上回波均匀,顶部平坦。这种回波移动不明显,初始阶段一般较弱,为 20~25 dBz,发展旺盛阶段可达 30 dBz 或 35 dBz,持续时间一般在 6 小时以上。这种回波一般比较适宜飞机人工增雨作业,但增雨效果没有混合性降水回波明显。

②混合性降水回波

混合降水回波主要以稳定性降水为主,在 PPI 上表现为片絮状,即大片弱降水回波中有明显的强回波区,强回波区的强度可达 40 dBz 左右。RHI 上回波顶部不平坦,在均匀的层状云降水回波中耸立着一个个柱状回波,柱状回波顶高度一般都在 7~8 km,有时可达 10 km 上下。这种回波也更加适宜飞机人工增雨作业,增雨效果比上述层状云降水回波要明显得多。

③RHI 高度及 0℃层高度

春秋季大多数降水回波在 RHI 上存在 0°C 层亮带,其强度一般在 35 dBz 左右,厚度 0.5~0.6 km。 0°C 层亮带高度随季节有明显变化。春季降水回波高度随月份增加而增高,秋季随月份增加而降低,且秋季(9—11月)平均高度高于春季(3—5月); 0°C 层亮带高度变化规律也随月份的变化而变化; 0°C 层厚度秋季略高于春季。

(3) 适宜飞机增雨作业的强度场指标

① 连续性片状回波:春秋季出现次数较多,水汽充足,虽降水强度不大,但呈连续性,降水量级一般为小到中雨,有明显的人工增雨潜力,且非常适宜飞机飞行,其中 25~30 dBz 回波分布区域是最佳作业区。

② 以稳定性降水回波为主的混合性降水回波:春秋季出现次数较少,均匀片状回波中镶嵌着多个强回波体,最强可达 40 dBz 左右,出现这种降水回波的天气形势很有利于降水产生,降水回波范围大,维持时间长,移动缓慢,降雨量级可达小到中雨或中到大雨,局部可达大到暴雨。这类回波增雨潜力最大,回波的分布区即是最佳作业区域。

③ 飞机增雨作业飞行高度指标:根据前面统计出的春、秋季 0°C 层亮带高度(平均分别为 3.4 km、4.1 km)以及碘化银的成冰阈温为 -4°C 可知:春季飞机增雨作业飞行高度在 4.4 km 高度以上、秋季飞行高度在 5.1 km 高度上。

(4) 适宜飞机增雨作业的多普勒速度场特征

分析春秋季较为完整的 32 次大范围降水过程的多普勒速度特征,总结归纳出有利于飞机增雨作业的四种速度场:

① 暖平流型。风向随高度顺转有暖平流,相应速度图上,0 速度线呈 S 型弯曲,并且在显示中心一侧随距离顺转弯向正速度区和另一侧弯向负速度区的程度相同。

当速度场上 0 速度线出现 S 型弯曲时,降水回波稳定持续,降水强度数小时内不会明显减弱,此型有利于飞机人工增雨作业。

② 暖平流加辐合型。暖平流加辐合即暖平流和辐合的结合,其速度场上 0 速度线在显示中心一侧随距离顺转弯向正速度区程度加剧,而另一侧的 0 速度线随距离顺转弯向负速度区程度趋缓。此种情况可细分为两种速度场特征:(a) 强正负速度区面积相等,但负速度中心值大于正速度中心值;(b) 正负速度中心值接近,但负速度区面积远大于正速度区面积。

这种类型的速度场分布特征一般对应降水回波范围较大,且能稳定持续较长时间,也很利于飞机人工增雨作业。

③ 高层冷平流、低层暖平流型。这种类型是:0 速度线呈反 S 弯曲,低层(约 0.8 km 以下)存在暖平流,0.8~2.5 km 存在冷平流,这种冷暖平流叠置的速度场分布特征,也是大范围稳定降水回波的一种速度场类型。

当出现这样的速度场特征时,也有利于降水维持和飞机人工增雨作业。分析也发现,当速度场上 0 速度线呈单纯反 S 弯曲一般对应降水减弱。

④ 近地面 NE(有时为 NNE 或 ENE)风型。这种类型的速度场特征为 0 速度线为经过测站的一条直线(大多在 1 km 以下)呈 NW—SE 向,有时为 NNW—SSE 或 NNW—SSE 向。根据 0 速度线分布可以判断约 1 km 以下为 NE 风。需要指出的是,前两种类型 0 速度线出现 S 弯曲时,0 速度线在测站附近约 1 km 以下大多也为 NW—SE,这也证实了地面偏东风有利于降水的论断。这种类型的速度场也有利于飞机人工增雨作业。

2.3 云和降水的微物理观测研究

利用美国 PMS 公司生产的机载 PMS 粒子测量系统和中国电波传播研究所研制生产的双波长地基微波辐射仪,通过 3 年时间的观测,采集了多个例云和降水的微物理资料。通过比较系统的研究,揭示了云和降水的一些微物理结构特征,为科学地指导人工影响天气作业提供了重要的微物理指标判据。

利用春、秋季云水资源开发外场科学试验采集的 PMS 粒子观测资料,首先对河南省降水性层状云的云滴粒子浓度(N)、云水含量(LWC)和云滴谱(D)随时间和高度的分布特征进行了分析研究。结果表明:①降水性层状云中,云滴粒子浓度及云水含量的水平分布起伏较大,粒子浓度和云水含量突起处可能是层状云中嵌有较弱的对流泡所致;②云水含量随高度有几个峰值区;③在 0°C 层以上高度的云层中,云粒子的浓度和平均直径的变化范围较大,可能与冰晶和过冷水共存有关;④河南省春秋季节降水性层状云的云粒子浓度一般为 $8\sim 308$ 个/ cm^3 ,最大达到 578 个/ cm^3 ,平均直径 $4\sim 19\ \mu\text{m}$,含水量多在 $0.05\sim 0.30\ \text{g}/\text{m}^3$,最大达 $0.527\ \text{g}/\text{m}^3$ 。其次,对人工增雨作业前后同一部位云的微物理特征进行对比分析,揭示了飞机人工增雨催化后的作业云的微观变化。通过比较催化前后 FSSP 测量云中粒子谱分布,发现催化后改变了粒子谱分布,小滴端粒子明显减少而大滴端粒子增多。催化作业后 2D-C 探头观测的云粒子浓度也发生明显变化,大于 $50\ \mu\text{m}$ 的粒子总浓度和 $50 < d \leq 300\ \mu\text{m}$ 的粒子浓度都明显增加,这部分粒子包括大云滴、冰晶和冰雪晶。影响区冰晶浓度的增加是催化后人工引晶的结果。说明云催化后微物理结构发生了变化,从而为进一步探讨人工影响云物理的机制和分析作业效果提供了科学依据。

利用双波长地基微波辐射仪采集的观测资料,研究分析了不同天气类型条件下大气中垂直积分含水量(V)和云中积分液态含水量(L)的演变特征。研究表明:非降水云影响时,空中水汽 V 和云中液态水含量 L 值波动较小。降水性层状云雨前时段观测的 V 、 L 值其变化明显加大, L 值最小为 $0.05\ \text{mm}$,最大 $0.36\ \text{mm}$ 。对流云影响时,地面观测有闪电和雷声,并有雨滴落地,但自记雨量计观测无雨量,辐射仪观测的云液态水含量 L 值出现了 $0.87\sim 1.1\ \text{mm}$ 的大值。这说明对流云中的液态水含量明显大于层状云。有降水时,云中 L 值波动较大,为 $0.35\sim 1.30\ \text{mm}$,一般 L 值超过 $0.4\ \text{mm}$ 后即产生降水,且在降水前 L 值有积累跃增现象。

利用 2005 年 3—4 月在孟津、唐河、西平、新郑、太康、临颍等地采集的雨滴谱资料,对河南层状云降水和积层混合云降水的雨滴谱特征进行了综合分析。研究表明:不同地点雨滴谱分布基本符合 M-P 分布,但比较而言, Γ 分布与实际雨滴谱分布趋势更接近些。不同类型的降水,滴谱分布也不相同,不同直径的雨滴对总雨强和空间雨滴数密度产生不同程度的影响。对雨强贡献最大的是 $3\ \text{mm}$ 以下的雨滴,平均达到 97.3% ,其中起主要作用的是 $2\sim 3\ \text{mm}$ 的雨滴,平均贡献为 49.7% , $1\ \text{mm}$ 以下的雨滴对雨强的平均贡献为 47.6% 。从各档雨滴对数密度的贡献来看, $1\ \text{mm}$ 以下的雨滴占数密度的 99.2% ,大于 $1\ \text{mm}$ 的雨滴数浓度不足 1% 。综合数浓度特征和雨强特征发现,尽管小于 $1\ \text{mm}$ 的雨滴占总数浓度的比例最大,但它对总雨强的贡献却不一定最大。此外,还利用各个测站的实测雨滴谱资料拟合了降水发生时不同地点的 Z - I 关系和 Z - Q 关系。