

国外云和降水研究

第十二届国际云和降水会议论文选编

李 斌 伍志方等 编译

章澄昌 审校



气象出版社

国外云和降水研究

第十二届国际云和降水会议论文选编

李 斌 伍志方等 编译

章澄昌 审校

193M. 叮

97-98

Δv6

气象出版社

内 容 简 介

本文集选译了第十二届国际云和降水会议(1996年8月)论文共68篇。内容广泛,涉及大气科学各个分支学科,包括暖云微物理外场观测、暖云微物理基础研究、冰晶化云微物理的基础研究、气溶胶微物理、实时测量的仪器和技术、遥感仪器和技术、边界层云场结构、深对流、锋和卷云结构、边界层云模拟、对流云模拟、锋和卷云模拟、云模拟技术、气溶胶和云的辐射性质、云场的大尺度特征、云对大气化学的影响、云对气溶胶化学的影响、云特征的参数化、云物理应用等领域的研究,充分反映了当前国际云、降水学科的最新研究成果和进展。

本文集对我国云、降水学科和人工影响天气专业的科研、业务和教学工作人员以及从事天气分析、数值预报、大气探测、大气动力学和气候变化等方面的科技人员有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

国外云和降水研究:第十二届国际云和降水会议论文选编/李斌等编译. -北京:气象出版社,1998.9

ISBN 7-5029-2533-3

I. 国… II. 李… III. ①云-研究-国际会议-文集 ②降水-研究-国会议-文集 IV. P426-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第15825号

国外云和降水研究

第十二届国际云和降水会议论文选编

李 斌 伍志方等 编译

章澄昌 审校

责任编辑:黄慧靖 终审:纪乃晋

封面设计:陈寄平 责任技编:刘祥玉 责任校对:宋 红

气象出版社出版

(北京市海淀区白石桥路46号 邮编:100081)

北京京东印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

*

*

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.875 字数:432千字

1998年9月第一版 1998年9月第一次印刷

印数:1~1200 定价:30.00元

ISBN 7-5029-2533-3/P·0895

编 译 序

第十二届国际云和降水会议于1996年8月19~23日在瑞士苏黎士召开。由云和降水国际委员会(ICCP)与气象学和大气科学国际协会(IAMAS)联合主办。会议主席由云和降水国际委员会主席 P. R. Jonas 担任。会前收到论文甚多,受会议接纳的论文题目共417项,预印本2卷,实录363篇,为历届会议之最。其中国内报题29篇,实录24篇(均不包括第一作者为我国的海外学者)。大会报告107篇,其余为大字报交流。会议交流的内容非常广泛,共分暖云微物理外场观测、暖云微物理基础研究、冰晶化云微物理的基础研究、气溶胶微物理、实时测量的仪器和技术、遥感仪器和技术、边界层云场结构、深对流、锋和卷云结构、边界层云模拟、对流云模拟、锋和卷云模拟、云模拟技术、气溶胶和云的辐射性质、云场的大尺度特征、云对大气化学的影响、云对气溶胶化学的影响、云特征的参数化、云物理应用等共18个专题,以及微物理和仪器、云系动力学和模拟、云和辐射、云化学、云物理应用等共3个大字报区段。充分反映了当前国际云和降水学科的最新研究成果和进展。

国内大陆学者出席会议的代表仅两位,他们是中国科学院大气物理研究所王昂生研究员和新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室施文全高级工程师。为了使国内从事云、降水学科和人工影响天气专业的同仁及时了解国际上云和降水领域的研究和应用成果和进展,由新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室发起并主持,组织河北、河南、江西、青海等省人工影响天气办公室以及新疆生产建设兵团人工影响天气办公室参与,并约请中国气象科学研究院人工影响天气研究所游来光研究员和北京气象学院章澄昌教授一起,从预印文集中精选具有新观点、新概念、新理论和新方法并具有启发性内容的论文共68篇,由新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室李斌同志组织翻译、协调工作,为了提高编译质量,请章澄昌教授对全部译稿进行译校,定稿和审订工作。译文按预印本发表时的顺序编排,为了节省篇幅,文中的摘要,致谢和参考文献均省略。希望本编译文集能对我国云、降水学科和人工影响天气专业的科研、业务和教学工作的发展和提高有所促进和裨益。本文集内容涉及大气科学各个分支学科,对从事天气分析、数值预报、大气探测、大气动力学和气候变化等方面的科技人员均有参考价值。

参与本文集编译的单位和数量如下:新疆人工影响天气办公室35篇,河北省人工影响天气办公室14篇,河南省人工影响天气办公室8篇,江西省人工影响天气办公室6篇,青海省人工影响天气办公室3篇,新疆生产建设兵团人工影响天气办公室2篇。

在本文集的编译出版过程中,新疆自治区人工影响天气办公室、河北省人工影响天气办公室、江西省人工影响天气办公室、河南省人工影响天气办公室、青海省人工影响天气办公室,新疆生产建设兵团人工影响天气办公室等单位 and 领导给予了大力支持和关心,在此表示衷心感谢!

施文全
1998年1月

2-108/15

目 录

编译序

第十二届国际云和降水会议论文评述	章澄昌(1)
冻毛毛雨的形成机制	G. A. Isaac 等(12)
较高边界层雾的微结构	W. Wobrock, M. Wendisch(16)
层积云微物理结构的研究	H. Pawlowska, J. L. Brenguier(20)
由多普勒雷达得到的层状云降雨中的雨滴末速度	R. Nisen, R. List(25)
碰并增长率的观测和计算	A. Cooper 等(29)
积云中水滴的凝结增长	J. L. Brenguier, L. Chaumat(33)
水滴尺度分布形状因子随降水过程的变化特征	C. Richter, J. Goddard(37)
层状云降水:模拟结果及与观测的比较	T. Trautmann(41)
湍流对云中水滴并合和雨滴形成的影响	A. P. Khain, M. B. Pinsky(45)
雨滴尺度分布和降雨率之间的相关性	K. Muramoto 等(49)
云滴凝结增长微观方法的研究	P. A. Vaillancourt 等(53)
过冷云中冰晶发展初始阶段的观测	A. N. Nevzorov(57)
波状云中的冰晶形成——飞机观测与冰核测量的比较	D. C. Rogers 等(60)
用多参数雷达确定扁球形雹块的下落模式	T. J. Smyth 等(63)
融化层水汽凝结体的尺度分布	E. Barthazy 等(66)
湿夏与干夏对流云微物理特征的比较	L. Stith 等(70)
冬季积冰和风暴计划(WISP)浅上坡云中的冰晶初生	R. M. Rasmussen 等(74)
锋面混合层状云及其降水的微物理结构的理论研究	V. Krakovskaia, A. M. Pirnach(78)
椭球体雹块海绵状增长的流脱作用	L. Levi, L. Lubart(83)
降雪的 Z-R 关系的时间序列及其评价	K. Muramoto 等(87)
冰核浓度与出现雷暴和雹暴之间的相关	A. Castro 等(91)
-15℃高度对云中降水过程的重要性	T. Endoh, T. Takahashi(95)
由地面测雹板的测量决定雷暴云中雹块的尺度分布	J. Dessens 等(98)
融化层的模式模拟	W. Szyrmer 等(102)
雹块形成的数值模拟	I. Geresdi(106)
山区降雪的微观物理过程	T. Harimaya, Y. Nakai(109)
与雷暴闪电活动性有关的雷暴微物理特征	H. Holler, U. Finke(112)
水滴冻结和冰雹增长时的微物理和电现象	A. Adzhiev(114)
气溶胶与发展着的海洋和大陆积云的相互作用	Baumgardner 等(116)
北达科他积云中气溶胶与云性质之间的关系	P. J. Demotte 等(119)
一种测量云滴尺度分布的激光光学设备	M. Löffler-Mang 等(122)
用于机载研究的非沾湿温度探头的进展	A. R. Rodi 等(126)
Nevzorov 机载热线液含水量/总含水量探头的精度	
.....	A. V. Korolev, J. W. Strapp, A. N. Nevzorov(129)
用于对云内和气溶胶粒子形状实时分类的一种仪器	P. H. Kaye 等(135)

用多参数雷达估算液水含量	M. Hagen, H. Holler(140)
用3.2mm 波长雷达进行云结构观测	M. Quante 等(144)
决定空中水云滴有效辐射的一种新方法	A. A. Kokhanovsky, E. P. Zege(148)
用偏振雷达从冰状水凝结物中区分冻毛毛雨	R. F. Reinking 等(151)
小积云在厘米尺度中的温度结构	K. E. Haman, S. P. Malinowski(155)
考虑夹卷的积雨云参数计算	Ya. A. Ekba 等(159)
短重力波激发的深对流	U. Finke, T. Hauf(160)
嵌入地形重力波风暴中的液态水	R. F. Reinking 等(162)
阿尔伯塔山地上空一次突发性强对流个例的多尺度模拟	M. K. Ycul, C. Li(166)
卷云中的湍流观测	S. A. smith, P. R. Jonas(170)
对流降雨同层状降雨——动力学和微物理背景的再考察	M. Steiner, J. A. Smith(173)
冬季锋面云系中过冷液态水含量空间分布的遥感测量	A. V. Koldaev 等(178)
亚利桑那北部山区冬季地形降水的个例研究	W. D. Hall 等(181)
具有几种冰晶形态的锋面层状云的降水形成	V. P. Bakhanov, B. A. Dorman(186)
云数值模式中云滴冻结过程参数化的新方法	I. P. Mazin, M. V. Gurovich (189)
冬季锋面云系中云与降水的动力学和微物理学研究的各种数值模式的结构	 A. M. Pirnach(193)
大气气溶胶的间接气候冷却机制	M. H. Smith 等(196)
人为硫排放对云-气候相互作用的影响	C. C. Chuang, J. E. Penner(200)
人工增加降水和地区气候变化	G. Kh Badakhova(205)
由改进的多波段甚高分辨率辐射仪资料对全球云微物理特性的分析 ...	P. W. Heck 等(208)
云-气候反馈机制:一个地基闭域试验结果	V. K. Saxena 等(212)
雾滴化学随其尺度的变化关系	S. Fuzzi 等(215)
对单个雪晶吸收 SO_2 、 HNO_3 和 HCl 的实验研究	K. Diehl 等(218)
雾和云水的酸缓冲容量	X. Rao 等(221)
用地面雨滴采样计算雨中示踪化合物的云内浓度	T. Prokop, P. Ebert 等(225)
作为雨滴和气溶胶质粒尺度函数的碰撞效率的外场实验确定	P. Ebert 等(229)
对气溶胶通过地形云所产生的影响的研究	T. W. Choularton 等(233)
在层积云覆盖的海洋边界层中气溶胶的云处理过程	S. M. Kreidenweis 等(236)
对流云对气体和质粒输送的影响	A. I. Flossmann(241)
热带卷云冰晶谱的参数化及其应用于辐射传输 ...	G. M. McFarquhar, A. J. Heymsfield(245)
云滴凝结增长的参数化	A. M. Gadian 等(250)
用一维混合层模式模拟层状云中二次冰晶的生成	D. S. Morris, T. W. Choularton(253)
不同气候区域雨带的降水过程	T. Takahashi(256)
得克萨斯西部夏季对流云对 AgI 动力催化的微物理反应	 D. Rosenfeld, W. L. Woodley(259)

第十二届国际云和降水会议论文评述

章澄昌

一、当前学科发展趋势

近年来云和降水学的研究领域已有了很大的扩展。传统的国际云物理会议自1992年在加拿大蒙特利尔举行的第十一届会议起,更名为云和降水会议。除云和降水的微物理和动力学研究已实现均衡发展的新的平衡外,数值模拟研究明显增强。同时热点集中于同全球环境相关的交叉学科。例如卫星探测和光学遥感推动了云和辐射的相互作用以及气溶胶的辐射强迫气候影响;对积云和对流风暴的深入研究,涉及不同尺度的大气物理过程和天气动力作用之间的耦合,包括边界层的影响,促进了中尺度气象学的发展;由空气污染引发的酸雨危害,促进对酸雨形成机理的研究,带动了云和降水化学的发展,进而探讨了云对气溶胶化学的作用,并从大气污染的输送、转化、清除和局地循环过程发展为区域和全球尺度的问题。

国际学术会议交流的内容,往往表现出研究方向有阶段性重大调整的趋势,启发我们深入思考。现以1968年(第五届),相隔20年后的1988年(第十届)和1996年(第十二届)为例进行比较分析,见表1。由表列数据可见,云和降水学研究在微物理和动力学研究方面已稳定地实现均衡发展的新的平衡,数值模拟研究进一步增强,外场试验仍维持原有的发展势头,而纯理论研究进一步减弱,同时实验和仪器的研究仍远低于以往的水平,对此不容乐观。外场探测能获取第一手资料,虽然很重要,也是基本的研究方法,但它不能代替室内实验,而且外场探测更应建立在有精确可靠的自动化和成套的仪器设备基础之上。实验和仪器的研究发展因技术复杂、代价高、周期长,即使当前的高科技时代,其发展仍不免受到制约。所以应从总体上协调实验仪器、外场试验、理论分析和数值模拟等主要研究方法投入人力物力的比例,形成互相促进、共同发展的良性平衡。

表1 国际云物理(后称云和降水)会议交流论文类别比例(%)

年(届数)	名称	研究内容		研究方法			
		微物理	大尺度动力学	外场试验	实验和仪器	理论	数值模拟
1968(5)	云物理	75	25	36	33	23	8
1988(10)	云物理	56	44	51	7	15	27
1996(12)	云和降水	53.4	46.4	46.0	8.8	8.6	36.6

注:1968,1988统计资料选自P. V. Hobbs, Research on clouds and Precipitation: Post, present and future, Part I Bull. Amer. Meteor. Soc. 70(1989), 282—285. 1996, 根据论文内容、研究方法进行统计,其研究内容除表中所列两项外,还包括云辐射、云化学、云物理应用,这三项各占比例分别为37.2%(微物理)和32.5%(动力学),30.3%(其它),气溶胶,云化学,云辐射学方面的研究进一步活跃。研究方法中模式占27.8%,模拟试验与个例实测比较占8.8%,两者合计占36.6%。

云和降水学研究领域向跨学科方向扩展的趋势在今后的发展中将更加明显。面对未来的挑战,我国云和降水学研究工作必须适应形势的变化,迎头赶上。除继续向云降水物理和人工影响天气中尚未解决的关键问题组织攻关外,还应在大气动力学不同尺度间相互作用、反馈制约的深层次问题上投入力量,进行深入研究,以适应大气科学重点转向研究全球变化的总趋势。科学领域的拓宽确实为云和降水学的研究发展和应用开辟了新的方向和途径,为了实现这一转变,要求我们付出比以前更大的努力,既要加深专业基础,也必须具有宽广的知识面,而且至少应熟悉一门边缘学科。这就对我们新老专业技术人员提出了更高的要求。我们要有信心、下决心跟上时代的步伐。

二、云、降水物理和人工影响天气的新进展

大气中云和降水的形成过程非常复杂。它受大尺度天气动力过程和中小尺度动力学和热力学过程的制约,也受云微物理、辐射、边界层等非线性相互作用的影响,至今尚有许多环节和机理仍未被认识和掌握。近年来随着外场试验的累积、探测技术的发展和建立具有较细致的微物理描述功能的多维云和中尺度模式,对云和降水过程的复杂多变和多尺度耦合作用的认识不断深化,人工影响天气已从单纯统计的黑箱试验进展为具有坚实物理基础、事先进行周密设计、并进行数值模拟、统计和物理检验相结合的综合性的试验。

但是人工影响天气所能采取的催化手段,仍限于牵制微物理过程的核化环节和相应的一部分潜热的动力作用,其可调因素又局限于催化剂用量、播撒速率、作业时机和部位。由于云和降水的变差甚大,加之云中原有的微物理和动力过程的自动适应和调制能力,使得云、降水物理和人工影响天气的研究面临的问题短期内不易出现科学技术的重大突破。我们只有通过不断的试验研究,点点滴滴地积累,才有望获得成功。本届学术交流会提供了大量的资料,其中除选译的 68 篇集中反映新的观点、新的概念、新的理论和新的方法外,在这里再综述约 50 篇论文,着重介绍云物理探测仪器和实验,云降水物理和人工影响天气,云降水数值模拟以及大气气溶胶等研究领域。

1. 云物理探测仪器和实验

大会报告以 Lawson 的题为“对佛罗里达积云碰并早期绝热核的新的机载测量”为开篇。文中介绍了新的光学仪器——云滴谱仪(CDS)的性能及其机载测量结果。该仪器对悬浮于水溶液中的聚苯乙烯球($5\sim 200\mu\text{m}$)的散射特征的测量与米理论计算值非常一致。佛罗里达小积云中绝热核的 LWC 测量结果,在各高度上 CDS 与绝热含水量很一致,而同时比测的 FSSP-100, Gerbe PVM-100 在高于云底以上 0.5km 后出现明显的低估($-20\%\sim -40\%$),而 King 热线含水量仪只能测得次绝热含水量值。对云滴尺度分布的测量,在云底以上 0.5km 处, CDS 测量谱比 FSSP 谱窄约 $6\mu\text{m}$,受凝结增长理论预测的在云底附近出现的特窄谱的支持,而 FSSP 存在对滴谱的人为加宽作用。在此类云中较高区域,谱分布常出现拖尾, CDS 测得在云底以上 2km 的绝热上升气流核中,直径大于 $45\mu\text{m}$ 的水滴数比 FSSP 测量结果,高出约一个量级。这可能与绝热核中高含水量(达 4gm^{-3})及谱加宽机制有关,这有助于早期出现碰并和迅速发展降水。

从大型飞机上观测巨雨滴(Black) 巨雨滴(平均直径 $>5\text{mm}$)虽少,但影响雷达反射率和降水率。只有大型飞机才能观测海洋对流云和远离大陆的飓风云系。NOAA 的 WP-3D 飞机配置单一的二维降水探头(2D-P)或灰度二维降水探头(2DG-P),在热带气旋和夏季对流性降

雨中均可观测到平均直径 $>5\text{mm}$ 的巨雨滴,而在飓风中观测中没有发现大滴,这是由于风切变和湍流等气象因素,而并非因为探头前气流产生的破碎。2D与2DG光阵探头的性能如表2所示。探头的安装方式(舱内侧或舱外侧、垂直臂或水平臂)对雨滴形状产生一定影响。为了正确地表征雨滴尺度分布,必须具体分析。

对质粒直径尺度小于 $100\mu\text{m}$ OAP—2K-GA2订正方法的改进(Reuter)一文也介绍了光阵类探头中最新型号的仪器——64像素和变焦因子20的二维灰度探头,可分辨 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。该仪器记录云

表2 NOAA 2D探头性能

探头	分辨率(mm)	光阵宽 mm(像素)
2D-C(单一)	0.05	1.6 (32)
2D-P(单一)	0.2	6.4 (32)
2DG-C(灰度)	0.03	1.92 (64)
2DG-P(灰度)	0.15	9.60 (64)

粒子产生的二维阴影图像,以提供粒子的尺度和形状。该仪器最大取样率为 5MHz ,当真空速为 $50\sim 100\text{ms}^{-1}$ 时,每一光电二极管提供2比特阴影讯息,划分为4个阴影水平的阈值,即100%(无)、75%(小)、50%(中)、25%(最大)。

气压对小的降水滴之间并合影响的实验测定(Ochs等)简述如下。实验装置主要由抽真空重力馈入水槽控制有机玻璃柱体内的气压值,分离的水滴由计算机控制的两个水滴发生器产生并以末速下落,碰撞以 1s^{-1} 速率出现在由计算机控制快门的两正交照相机前。对系列照片用显微镜进行分析,以确定正好在碰撞前水滴之间的水平位差用以计算并合效率。小雨滴半径在 $425\sim 200\mu\text{m}$ 间,气压分别取 1000hPa 、 700hPa 和 500hPa 。以一对半径为 $425\mu\text{m}$ 和 $300\mu\text{m}$ 的雨滴为例,可忽略其荷电影响,当气压从 1000hPa 降至 500hPa 时,并合效率从14%增至38%。此结果与List(1982)所得结果相左,同时也与Beard和Ochs(1995)碰并动力尺度分析定律的预测结果不一致。但当新的尺度分析因子考虑气压对液膜排水时间的影响时,则预测的并合效率与实验结果一致。新的实验结果与Ochs(1995)发现在低相对湿度下,水滴冷却引起水膜排水时间的变化是一致的。

用新型水凝物电视探空仪(HYVIS)观测卷云(Orihasa等) 新型HYVIS主要改进包括附加小的抽吸风扇,以对低水晶浓度卷云获取充分的取样体积用以决定 250m 范围内的 $>10\mu\text{m}$ 尺度分布特征,对内装相机采用自然光以改进照明取得高质量图像。在卷云中测得中低层含水量低于 $0.01\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,由显微镜和内装相机图像分析得出数浓度为每升几个至几十个,高层浓度更高。在1631个例子中,尺度分布高层呈 Γ 分布,低层为幂函数分布,中层为负指数分布。在另外的1030个例子中,尺度分布呈负指数型。冰晶的主要形态为子弹状、柱状、子弹玫瑰丛状及柱状和板状组合。HYVIS为我们了解卷云微物理结构和辐射性质及卷云形成和维持机制提供了详尽的讯息。

作为雨滴和气溶胶尺度的函数的碰撞效果的外场实验测定(Ebert) 在一些降水场合施放平均半径变化于 $0.19\sim 1.8\mu\text{m}$ 的单分散气溶胶,通过对收集的雨滴由激光诱发荧光检测对雨滴进行毛细电泳移(CE)的分析表明,对小雨滴来说,过去在理论中未考虑的某些过程对云下粒子的清除具有重要影响。碰撞效率表现为随几个参数(雨滴和/或气溶胶的电泳移、热泳移和扩散泳移)强烈地变化的特征。这些参数可解释外场试验和理论计算的不同结果。至今这些参数在模式中尚未予以考虑,也未能正确地表述观测到的气溶胶粒子和雨滴之间相互作用的效应。为发展新的理论模式,仍需积累外场试验数据,以便进行可靠的统计确认。

由偏振雷达测量可辨别冰质粒的融化特征(Doelling) 计算表明雷达参数差分反射率(E_{DR})、线退偏振比(LDR)、圆退偏振比(COR)、水凝物共同标准度(ORTT)、差分传播相

(K_{DP})、和差分衰减(ΔA) 完全取决于所研究的质粒群的不同融化和翻滚状态。对大质粒而言,决定于融化作用的共振效应不能忽略,而有意义的是对标准偏振角 σ 小于 10° 、 LDR 唯一地决定于质粒的翻滚状态。雷达参数 Z_{DR} 、 LDR 、 CDR 、 $ORTT$ 、 K_{DP} 和 ΔA 的特征作为质粒和群体输入参数的函数可从物理上作真实描述,对所考虑的层状情况雷达测量和灵敏度研究的组合对轴比率给出了与实测相似的结果。

人造云实验系统中云形成的微物理过程(Sasaki 和 Hammaya) 实验装置为厚达 710m、直径 5.5m 的垂直竖井,顶部装有风扇以维持 20ms^{-1} 的上升气流。在上下游动的吊舱内(每 50m 间隔测量一次,每次 5 分钟)装置温度、湿度、风测量仪器,云水取样器和云滴谱仪,同时在竖井底部装有气溶胶取样器和粒子计数器。本项研究主要关注三方面:收集气溶胶样本,用 X 射线微分析器分析以决定其元素组成;用粒子计数器测量气溶胶浓度,在 $0.3\sim 5.0\mu\text{m}$ 范围分成 5 级;在云滴谱仪玻片上收集云滴,由摄像系统记录,再由计算机决定云滴尺度分布。把含浓度差异达一个量级的 CCN 谱的气块输入竖井,通过凝结增长,比较云底以上 170m 的云滴谱表明云滴浓度分别为 1600cm^{-3} 和 250cm^{-3} ,众数半径分别为 $7\mu\text{m}$ 和 $13\mu\text{m}$ 。在定常 LWC 下,从定量上证明在高 CCN 浓度下产生大量小尺度云滴,而在低 CCN 浓度下出现数量少的较大云滴。

湍流对云滴碰并增长影响的风洞研究(Vohl 等) 观测表明云中湍流强度变化很大,其能耗率为 $20\sim 2\times 10^3\text{cm}^2\text{s}^{-3}$,决定于云状和发展阶段。1979 年后针对湍流对云滴碰并作用影响,先后提出过 4 种模式[(de Almeida (1979); Grover 和 Pruppacher (1985); Reuter 等 (1988); Khain 和 Pinsky (1995)]但无一能完善地处理湍流空气中水滴碰并问题的所有方面,而且均受到批评。作者在梅因茨(德)垂直风洞中使水滴悬浮于气流中,即使气流中出现湍流也无妨,只要湍流限于气流核中,在风洞中可模拟实际大气中观测到的湍流能谱变化范围。为了模拟云中碰撞滴之间距离约为厘米或小于厘米量级的相互作用,可使风洞气流核的湍流能谱波数 $k > 100\text{m}^{-1}$ 。为了与层流条件下的水滴碰并增长进行比较,风洞中还可产生湍流水平低于 0.3% 的层流场。注入风洞的碰并滴的半径范围为 $50\sim 500\mu\text{m}$,并采用一组超声雾化器产生含大量小水滴的连续流,峰值半径在 $4\sim 6\mu\text{m}$,云滴含水量变化于 $1\sim 3\text{gm}^{-3}$ 。实验证实:(1)对半径为 $100\mu\text{m}$ 的水滴在湍流能耗损率为 $10^3\text{cm}^2\text{s}^{-3}$ 的环境中,在消耗小水滴的“连续增长”方式下以比层流中高的比率增长,而且增长率随时间不断增大;(2)按 Khain 和 Pinsky (1995)提出的模式,即由于水滴的惯性差异,湍流引起水滴与周围空气之间的相对速度造成单位时间内的碰并数增大,但观测的增长率仍稍大于理论模式。若在理论模式中再考虑切变效应,则效果可能更好;(3)虽然湍流对“连续增长”的影响在观测和理论模式中均比较明显,但仍偏小,若考虑水滴群中的随机增长方式,其力度可望改善。此结论与 Khain 和 Pinsky 的模式计算一致。

新的云凝结核计数器(Mendes) 图像处理规则系统用于自动标定 Wyoming 大学云凝结核计数器(UWCCNC,1983),其主体是静力扩散云室(SDC)。该云室内顶底两板均敷以浸水纸,顶板维持环境温度,底板冷却以控制云室过饱和度。该云室可用于在过饱和度 $0.2\%\sim 1.2\%$ 范围内测量云滴浓度。采用两种方法:直接计数云滴图像(照相或电视),此法优点在于同水滴尺度无关,但劳动量大、费时、方向是实现自动化测量;另一方法是测量水滴的光散射,该法若采用图像分析技术则很有吸引力。该文论述新的标定方法,采用数字图像随机处理技术,为此创造出一全新 CCN 计数器。云室内部可通过 3 个窗窥视:一个窗用 5MW He-Ne 激光管照明;一个窗为可视检测或通过透镜放大两倍摄像取样;第三个窗为透镜和光检测器。CCNC 由微处理机控制,包括数字温度控制、资料处理和读数。

CCNC 规则系统算法 SDC 中产生的呈数字化水滴图像由该算法读出并处理形成理想图像。在每次循环测量中选取具有最大滴数的图像。该算法计数并与可变化的半径的圆比较予以区分,以此取代直接视读方法,就可得到云室内真实的浓度。同时该算法对水滴尺度进行了分类。基于 Markov 随机场数字图像模拟,该算法采用 Metropolis 规则(1953)的模拟训练方案,最适宜由照相观测的真实图像的图形识别。随机选择了 39 次测量,算法计数与直接视读计数相关系数为 0.94,说明此法无需经常标定,实际为一绝对计数。此新方法还可按尺度分类计数,无需光电检测。这是因为它是一种图像检测,可得到水滴分布直方图。

微物理探空仪(Bereginsky 等) 无线电遥测探空仪装于云式防雹火箭头部可进入雹暴云内,由地面发射或试验飞机外悬托架下投。测量项目:水滴和冰晶谱(由平行光电管、收集透镜进行尺度浓度计数)100~5000 μm ,粒子浓度 1~20000 m^{-3} ,液水含量(与粒子计数类似,气流吹落加热掸上积累的水,以水滴形式下落,由其阴影通过电路积分测量含水量)0.3~10 gm^{-3} 温度[硅二极管感温元件(-60~100 $^{\circ}\text{C}$)]-50~30 $^{\circ}\text{C}$,RH(毛细管元件作为凝结感应元件)30%~100%,风速 1~50 ms^{-1} 。当火箭开始下落时由制动降落伞起动,以 30~40 ms^{-1} 速度下落测量。主伞在地面以上 1500m 打开,落地速度为 8~10 ms^{-1} 。

测量云滴的新仪器(Hauf) 急需小、轻、易于操作具有一定精度的机载云滴尺度分析仪,可用于风洞或机载测量。该文提出热膜技术 HF 探头,可连续测量 $d=1\sim100\mu\text{m}$,以 50~120 ms^{-1} 相对流速。热膜长 5cm,加热面积 4 mm^2 ,连接定常温度的风速表电桥使热膜维持在 120 $^{\circ}\text{C}$,资料获取率为 1MHz,用特定算法对资料进行处理、显示和贮存。热膜探头分析单个水滴碰撞热膜,决定加热水滴蒸发的电能,由简单的能量平衡即可导出粒子尺度,无需标定。随水滴浓度增加,碰撞热膜产生重叠可低估含水量,但与 FSSP 和 OAP 探头基本一致。因其尺度甚小,在风洞或机载测量中,其气流变形可忽略。可自动操作,考虑价格、重量、作业限制,在准确度要求不太高的场合,可替代光学设备如 FSSP、OAP,风洞比测结果比较满意。目前资料处理仍在飞行之后,正在发展新的改进型以便在飞航中直接处理。这样整个系统的重量和尺度仍可减小。

中央高空观台(俄)飞机云物理仪器(Nevgorov) 介绍飞机云微物理综合仪(ACMC)。它提供实时主要云微物理参数——大粒子(>0.2mm)、冰晶(>20 μm)的浓度和尺度谱,云的消光、含水量(灵敏度 0.003 gm^{-3})、相态组成等。

2. 云降水物理和人工影响天气

层云中滴谱的加宽作用(Hudson) 介绍了三个海洋性计划(FIRE、STEX、SOCX)中采用 PMS FSSP(2~50 μm)和 260X(50~620 μm)探头的观测结果。表明:(1)云滴直径标准差 σ_d 并非总是随平均直径 MD 的增长而增大;(2) σ_d 易受 CCN 谱参数的浓度 C 和形态 k 的影响,在低过饱和度 S_c 下,CCN 浓度对 σ_d 来说是最重要的控制因子;(3)受污染的云其 σ_d 较小,主要是因云中 MD 较小;(4)对小的相等的平均直径区间,受污染的云具有较大的 σ_d ;(5)云块内部混合使 σ_d 增大。

北太平洋西部夏季层云的卫星遥感(Hayasaka) 由改进的甚高分辨率辐射仪资料进行反演。大尺度天气条件用欧洲中期天气预报中心客观分析资料。该地区云光学厚度大于海洋低云全球平均值,有效水滴半径 r_e 一般较大,有时大于 15~20 μm ,并随时间和空间变化。 r_e 较大与云的形成、维持和消散过程有关。由于该项研究取自中心北太平洋北部,CCN 浓度较小。欧洲中期天气预报中心的客观分析资料表明,云的移动不仅归结为鄂霍次克高压,也与北太平

洋低压系统有关。

云演变初期湍流对滴谱演化的影响(Pinsky 等) 考虑扩散增长中小尺度湍流对滴谱形成的影响,其中把滴谱的形成看成是水滴凝结增长、按平均速度的上升运动和水滴的湍流扩散三个过程的共同作用。模拟计算发现湍流扩散是导致云中滴谱加宽的有效机制。在湍流场中水滴沿不同轨迹运动,它们以不同的经历及不同大小通过云内同一高度。与环境空气混合所引起的谱加宽机制不同,湍流扩散作用比无湍流的绝热上升中的增长能提供较大的水滴。对垂直速度和过饱和度具有典型值的海洋层状云和早期的积云来说,其滴谱较宽,包含半径高达 $20\mu\text{m}$ 的水滴。过去把这种谱中的大滴仅归结为CCN巨核的活化作用。讨论湍流作用时必须注意湍流强度随高度增强,沿云的侧边界和云顶均为湍流增强区,在这些区域谱加宽作用特别明显,当然也要考虑云边界处的混合效应。为此在云的数值模式中必须考虑湍流对初始谱的加宽作用。

混合对滴谱的试验研究(Brenguier 等) 在对流云中混合过程不能简单地作均匀或非均匀参数化处理。在低稀释率(云中液水含量 $g_c > 0.6g_{CA}$ 绝热含水量)情况下,可观测到两种类型,即液滴平均体积直径在有的区域不受影响,而在有的区域则按均匀混合方案缩减。在较高稀释率($0.3 < g_c/g_{CA} < 0.6$)下,通过原先的混合过程对云环境起增湿作用,阻止水滴蒸发,其平均体积直径就比无加湿作用的云环境的均匀混合过程衰减得慢些。在高稀释率($g_c/0.3g_{CA}$)下,即使是干燥环境,其加湿作用也变得相当重要,此时残余云体的浓度很低,但平均体积直径仍大于绝热值的60%。

云底附近由切变引起的碰并对冻毛毛雨形成的影响(Bernstein) 在整个过冷液水云层厚度中,存在 $100\sim 250\mu\text{m}$ 尺度范围的过冷液水滴。云内水滴尺度分布的突然加宽作用与出现明显的切变层有关,这可从雷达反射率中的波状结构来识别。进一步研究应关注云层上部毛毛雨滴的源,K-H波与谱加宽的关系和云层之间的相互作用。

初生卷云的测量(Ström 等) 对4个初生卷云直径小于 $30\mu\text{m}$ 的高浓度冰晶的测量表明,浓度中值为 2.6cm^{-3} ,含水量中值为 6mgm^{-3} 。 $0.1\mu\text{m}$ 附近的气溶胶受冰晶清除的仅占其浓度的很小一部分,但在卷云形成中起重要作用。云中观测到近水面饱和的高相对湿度也支持有关最重要的核化过程是霾滴的自发冻结的观念,故卷云形成的概念模式必须考虑小气溶胶粒子的作用。从微物理、位温的变化和垂直气流分析表明1994年3月18日的卷云的动力强迫作用源自周期相似于Brunt-Väisälä频率的波动,此时气块经受的垂直位移相对于未受扰动的气块来说约为 $25\sim 50\text{m}$ 。说明产生高浓度冰晶的卷云仅需较小的上抬作用。由冰晶印模取样表明冰晶的习性和尺度分布与温度相当的冰雾中观测的类似,两者的浓度多数位于尺度小于 $10\mu\text{m}$ 直径处,冰晶形状为球状冻滴或无定形球状。

南极半岛上空混合相云和降水观测(Lachlan-Cope) 南极云的微物理过程对全球气候变化甚为重要,文中介绍的两次飞机实测资料有助于解释南半球高纬的遥感资料。

由近红外多谱测量估算卷云微物理参数(Bakan 和 Costanzo) 在气候研究中,卷云对气候的影响是尚未解决的主要问题之一。欧洲云辐射计划(ECRE)期间(1994),在法国布雷斯特(Brest)附近共进行4次卷云飞行的。法国飞机Falcon装备有可见光和近红外探测器(OVID, $0.6\sim 1.05\mu\text{m}$ 和 $1.0\sim 1.65\mu\text{m}$,一种高分辨率遥感多道谱分析仪),多谱成像偏振仪(POLD-ER)和PMS云粒子探测仪器。云层高度 $8\sim 10\text{km}$,在相距 180km 的两点间直线飞行,一个航程在 11.5km 的云上测定向上辐射,在3个航程中分别在 $8\sim 9.5\text{km}$ 之间云层的上、中、下部用PMS探头探测微物理特征。同时法国Arat飞机在云下 4.5km 高度分几次测量向下的太阳

和红外辐射通量,同时配以 METEOSAT(气象卫星)AVHRR 相继的遥感图像。它们为卷云性质的理论和测量进行比较提供了良好的机会。辐射交换采用 Fell(1994)改进的矩阵算子方法计算。在近红外区首次由光谱辐射分析提供真实结果,用以估计质粒尺度。由 FSSP 和 PMS—2D 实测的粒子尺度分布与 Heymsfield(1984)得出的决定于环境温度和冰水含量的粒子尺度参数化分布的一致性甚好,估算的有效半径(平均质粒体积与平均质粒截面之比)在 $25 \sim 38\mu\text{m}$ 范围。另一方面在 OVID 和实测之间存在 $10 \sim 20\text{min}$ 的时间漂移,即相当于云系移动 $10 \sim 20\text{km}$ 。AVHRR 卫星图像将有助于研究云移动的影响。未来对其它粒子形状的模拟将归结为不同粒子形状在多大程度上改变估计的粒子尺度,是否可定义一特征粒子形状组成,决定于环境条件以使估计尺度的误差达到最小。1994 年 4 月 7 日下午的飞行提供了研究热力相态的很好的资料来源,沿飞行航程遇到不同的云区即纯卷云、纯高积云和混合结构,但用 $1.43 \sim 1.5\mu\text{m}$ 的谱测量方法却由于在该谱区的水汽吸收妨碍了对相态的区分。

用图像处理资料决定降雪率(Muramoto) 雷达测量降水基于 $Z-R$ 关系,而对降雪来说,希望精确地决定短时降雪率。该文介绍了一个测量系统,由图像处理资料决定短时降雪率并可自动长时间取得图像资料。用电子秤和计算机系统自动记录每分钟落入收集筒中的雪花重量,同时由电视录象机获得雪花图像,并计算雪花直径和落速,从而计算降雪率并与观测比较。

由地基遥感系统取得的有关大陆层云特征(Atbrechf) 在两期强化观测(1994 冬、1995 春)中,由双频($35,94\text{GHz}$)云雷达遥测大陆层云的特征。第二期中增加了 7 次飞机云内实测,并采用实时谱处理器,它是研究毛毛雨形成和夹卷过程很有用的工具。通过地基遥感系统描述大陆层云的物理特征,进而在气候和天气预报模式中按气象特征的前后变化,提出和试验对云的参数化处理方法。研究中得出液水含量与绝热含水量的比率可视作云厚的函数。反演双频雷达测云资料对研究云和降水过程具有很大的潜力,而且根据能源部大气辐射站所提供的云顶、云底、云高资料可采用类似该文的方法了解云性质的长期变化。

根据自然发展和播云过程所得冰雹的物理特征,建议修改现行抑雹方法(Tlisov) 前苏联高山地球物理研究所从 1983 年起建立了世界上最大的测雹网之一,面积 3500km^2 ,包括 600 个被动雹指示器,12 个雹自动收集器,5 个雹记录器,36 个雨量计。据 12 年超过 100 个雹暴的微物理谱和雹块能量特征表明,催化与未催化过程具有相似性,两者之间的物理特征差异可以忽略。常把雹块动能划分为 4 档:(I) $E: < 50\text{Jm}^{-2}$; (II) $E: 50 \sim 600\text{Jm}^{-2}$; (III) $E: 600 \sim 1000\text{Jm}^{-2}$; (IV) $E: > 1000\text{Jm}^{-2}$ 。在 I、II 档之间,催化与否出现频率有明显差异, I 类不对农作物产生危害, III、IV 类可导致 100% 的损失。由此说明必须对防雹方法进行改进。考虑 12 年来累积的有关降雹微物理特征的论述,可以看到在雹云中存在两种机制:冰相和暖雨。水滴和霰形成于不同空间,由气泡结构和同位素组成分析,水滴胚主要形成于 $-8 \sim -12^\circ\text{C}$ 的高度,并沿上升轨迹运动;而霰常产生在从上层云进入雹增长区的下降过程中。在水滴胚的冰晶化过程中,水滴的碎裂、爆破可随冰晶的形成而发生,它将促进其它水滴冰晶化,从而变成雹胚。雹云中水滴胚形成的可能性随上升气流最大速度 W_{max} 的增加和最大速度的高度 H_{max} 的增加而增大,即水滴胚分数

$$P = -0.07 + 0.011\text{cm}^{-1}W_{\text{max}} + 0.14\text{km}^{-1}H_{\text{max}}$$

随着上升速度增加,在上升气流和下沉气流的边界的湍流区增大。最大速度高度的增加,使上升气流和下沉气流之间的温度差增加,从而出现更有利的条件,即在此高度上温度减低,使水滴冻结的可能性增加,从而转化为雹胚。在上升气流影响的云中发生雹分选,大雹形成在水滴胚胎上,在雹暴带右侧上升气流附近落出,一部分霰和雨滴不能形成雹,落在雹暴带的左侧。对

落雹谱和微物理特征的研究可得如下结论:上升气流和下沉气流的边界局限于等温线 $-4\sim-10^{\circ}\text{C}$,该处形成的水滴胚是最有利于人为注入成冰剂以减少雹灾。

气体示踪剂和雷达反射金属丝在云中的输运和扩散试验综述(Smith) 北达科他示踪试验(NOTE)对馈云—成熟单体系统进行两种类型的试验:一种是在馈云底部施放示踪剂,作为北达科他人工影响天气计划作业的通常方式;另一种是在馈云中部($0\sim-5^{\circ}\text{C}$ 高度)施放示踪剂,研究馈云与成熟单体之间输送。该文提供后一种试验的总结。由 Duke 飞机在 $0\sim-5^{\circ}\text{C}$ 高度施放 SF_6 和/或反射金属丝,沿假设输送途径,研究飞机(T-28)在 -8°C 穿飞馈云并进入成熟单体,Citation 飞机在较高高度搜索 SF_6 ,同时 X 波段圆偏振雷达通过 TRACIR 方法区分反射金属丝和降水回波,C 波段多普勒雷达扫描风暴以决定基本的反射结构和风场。这些试验获得了从馈云向附近成熟单体输送过程的一些证据,但并不充分。原因究竟是试验本身的难度高,还是不时出现开放性单体输送过程尚不能确定,但确实提供了在单体内和单体间的输送过程的直接证明,这些均有助于了解雹胚来源和馈云在发展冰雹中的作用。为建立清晰的概念模式,这种类型的试验仍需深入进行。

3. 云、降水数值模拟

积云中因夹卷和混合引起滴谱演化的线性涡动模拟(Su 等) 用较复杂的湍流混合模式——线性涡动模式(LEM),把水滴微物理和夹卷参数化联合起来作为一有用的工具,研究在增长的积云中的滴谱演化。发现:(1)夹卷和混合可拓展谱宽;(2)卷入的 CCN 和由蒸发水滴形成的 CCN 在气块持续上升中仍可核化;(3)水滴沉降对滴谱演化无明显的影响。

海洋层积云中的微滴形成(Hindman) 用一维绝热气块模式按观测的初始条件,计算海洋层积云的云滴形成。结果证实单艘蒸汽船即使其排放烟羽达到云层高度,并不能产生由大量小滴组成的船迹。烟羽中不包含临界过饱和度和小于计算的云的最大过饱和度($S_{\max}$)的 CCN,计算的云滴平均直径和数浓度与观测值接近,但计算谱的宽度小于测量值。由此表明一维气块模式可用于模拟海洋层积云滴谱。为了模拟具代表性的云滴谱,必须考虑新滴的活性和水滴并合作用。

模拟暖云中的碰撞和并合的随机模式(Trautmann) 文中提出的随机算法可用作检验数值解方法的基准。为了这一目的,此随机方法具有预定性。由于它提供了并合过程的直接物理真实性,因而并不依赖于对迅速改变的被积函数赋值的数值近似。

海洋层积云中毛毛雨的发端:对流核的蒙特卡罗模拟(Jensen) 本文介绍云物理中长期未解决的简化模式能否预报碰并过程形成毛毛雨。文中采用云滴随机碰并蒙特卡罗模式和凝结增长的绝热气块模式的组合。计算在观测的积云核中毛毛雨滴的早期发展,目的在于决定此简化模式能否解释所观测到的毛毛雨滴浓度。南方海洋云试验(SCCEX),Tasmania 西部洋面,F27 研究飞机探测热力参数、风、辐射以及 CCN(ASASP)、云滴和毛毛雨滴(FSSP,PMS 260-X),在对流云核中分别测得的高度为 810m(云底以上 180m,下同)、970(320)m、1190(540)m、1400(740)m 的液水含量及云下海拔 60m 处的毛毛雨浓度。抬升凝结高度为 935hPa,温度 8.4°C 为对流核云底参数。对流核中最大液水含量接近于预报的绝热含水量。但核外也可见毛毛雨滴。半径大于 $20\mu\text{m}$ 的毛毛雨滴浓度(FSSP 最大滴,260X 全部)在对流核中分别为 $9, 29, 33, 61\text{l}^{-1}$ (从最低 810m 至最高 1400m)。愈高毛毛雨愈易发展,相应的对流核中的垂直速度分别为 $0.3\text{ms}^{-1}, 0.7\text{ms}^{-1}, 0.7\text{ms}^{-1}, 0.02\text{ms}^{-1}$ 。

用此组合模式取积分 21 分钟,模拟气块从云底高度上升的绝热凝结,然后加速上升,其间

按随机碰并至逆温层下逐步停止发展,气块上升轨迹中止于飞行高度上限。每次碰并事件的中值时间 τ_m 表现为高度的函数。从云底以上 15m 处相应最大过饱和度峰值的 300s,上升后缩短,当气块通过 1400m 高度(离云底 740m)时减为 5s。在此次模式运行中,有 4 个水滴半径增长超过 $20\mu\text{m}$,其云体积为 50cm^3 ,浓度接近 80l^{-1} ,与对流核最大高度观测的 61l^{-1} 相近。进而发现最大毛毛雨滴形成于 $r < 2\mu\text{m}$ 的 CCN 上,属巨核的下限。

初步结果表明用此简化绝热凝结—随机碰并模式计算的由碰并发动的毛毛雨滴与观测相符。说明无需求助于非均匀混合、整体夹卷或超巨核 CCN 来发动毛毛雨。为此由云参数(云厚、云底温、云生命期)和完善的 CCN 谱即可预测给定云能否产生毛毛雨。当然对此类模拟计算仍需进行多次,以便获得统计显著性。

飚线系统的中尺度特征对环境条件的灵敏度研究:砧状卷云参数化(Chin) 具有强烈的物理基础的云解析模式用于研究云物理、长波和短波辐射对中纬度和热带中尺度对流系统的影响。较早的研究表明在中尺度对流系统深对流及与此有关的砧状云之间通过动力学、热力学和辐射过程的相互作用具有强烈的耦合关系,并指出中尺度对流系统的倾斜结构对砧状云尤其是对因类似急流风廓线影响的热带砧状云的水分平衡有重要贡献,但大多数早期的大气环流模式都未包含此类耦合关系。该文的最终目的是发展一砧状卷云参数化(ACP)与大气环流模式中的积云参数化耦合以改进云辐射反馈对大尺度气候的影响。结果表明总体 R_i 数是一个有价值的指数,可用以区分中尺度对流系统的中尺度特征。它可用于伴随具有倾斜结构的中尺度对流系统的次大气环流模式网格过程的参数化。由于计算上的限制,我们提出基于二维模拟的砧状卷云参数化。而中尺度对流系统的求解中尺度结构在三维和二维模式之间的强烈相似性,表明一个有希望的线索可使基于 ACP 的标准化二维模式转化为三维模式应用于大气环流模式中。

4. 大气气溶胶

非海盐硫酸盐和海盐气溶胶对海洋 CCN 群体的相对重要性(O'Dowd 等) 海洋低空层状云对行星反射率有明显影响,从而具有影响地球辐射平衡的潜在效应。云的光学性质主要受云滴分布的平均有效半径控制,而在一定的含水量条件下实际受 CCN 的控制。该研究采用机载 PMS ASASP-X 光学粒子计数器测量积聚模气溶胶(半径 $0.05\sim 1.5\mu\text{m}$,覆盖了 CCN 绝大部分尺度范围),并用挥发性技术推断气溶胶成分及其随尺度的变化。C-B. 飞机在东大西洋北部和东太平洋北部在非海盐硫酸盐和海盐 CCN 不同源强占优势的条件下航测,结果表明在晴空和低风速下,非海盐硫酸盐气溶胶占 CCN 中的多数,激活的云滴的云下气溶胶和云滴浓度之间为非线性关系:云滴浓度(cm^{-3}) $CD = 197[1 - \exp(6.13 \times 10^{-3}A)]$, A 为云下气溶胶浓度(cm^{-3})。在中、高风速下,出现海盐气溶胶,观测的水滴浓度超过上述关系预测浓度至少 100% 以上。采用观测的海盐和硫酸盐气溶胶尺度分布与简单的云模式联合可知,即使在富含硫酸盐条件下大约 80% 的云滴形成于海盐核上。对给定的云下气溶胶浓度,在中、高风速下,超过预测云滴浓度的原因在于出现较大的和较活跃的海盐核,它比较小的欠活跃的非海盐硫酸盐核易于核化,而且由于海盐在比欠活跃的非海盐硫酸盐核所要求的过饱和度更低的条件下仍能活化,故云中所能达到的峰值过饱和度受到抑制。

欧洲云和辐射试验期间云光学厚度的试验性反演:三种方法的比较(Desclotres 等) 由同时测量云反射率、激光雷达后向散射和实测云微物理 3 种方法对估算的层积云光学厚度进行比较。3 种方法所用的仪器是:(1)POLDER 多谱成像偏振仪。法国新仪器,用于对太阳辐射

受地-气系统反射的偏振和定向性的观测。它由一个计算机控制显示器(CCD),带9个光谱和偏振滤片的转轮和一宽视野透镜组成,可提供任何场合准同时性多向反射率的测量。在该研究中用于机载模拟测量;(2)LEANDRE I为一用于云和边界层中尺度研究的后向散射激光雷达,采用Nd-Yad激光源,工作波长为532nm和1064nm,后向散射讯号取样垂直分辨率为15m,记录在可见频道基线上的射点相应于水平分辨率10m;(3)采用前向散射谱仪改进型探头FFSSP可精确地机载测量水滴尺度分布。尽管云体具有非均匀性,其光学厚度有强烈的水平变化,POLDER和FFSSP仍得出可供比较的平均值(10左右)和类同的极端值(从2至21)。两仪器反演的云光学厚度反映其变化的一般趋势,而且与云顶激光雷达测量具有同样的趋势。由FFSSP测量导得的消光廓线比较稳定,可以看出光学厚度主要与云厚有关。

激光雷达用于对低层大气云的偏振研究(Kolev) 偏振激光雷达(标准Q开关、双频Nd-Yad激光,脉冲能量5~15mJ,脉冲时段15~20ns,波长532nm,重复率12.5Hz)可用于大气行星边界层形成中大气气溶胶的微物理特征研究,即气溶胶形状、云、雾、雨气溶胶的形成。同时晴空大气探测证实偏振激光雷达可检测气溶胶浓度差异,偏振度可用以进行定性估计。

气溶胶特征试验(ACE-1)期间用激光雷达测量海洋边界层云的形成和特征(Morley) 扫描气溶胶后向散射激光雷达(SABL)首次应用,为双波长Nd-Yag激光雷达系统(波长/能量1064nm/75mJ,532nm/50mJ),脉冲长15ns,脉冲率(高至 60s^{-1})光束散度 $1\sim 4\text{mrad}$ 可调。NCAR研制此仪器目的有二:(1)实时检测大气气溶胶后向散射结构,提供定性讯息以引导飞机进入后向散射异常高或异常低的层次;(2)定量测量气溶胶性质——消光系数,散射比、后向散射系数。

SABL对研究大气气溶胶的定量光学性质,提供气溶胶结构和大气混合过程的实时定性图像是有用的工具。后者有助于揭示飞机进入特高或特低后向散射大气区域进行实测,两者联合可计算远离飞机相当宽范围内的气溶胶性质。

用双束95GHz雷达研究云(Guyot和Testud) 在飞机平台上双束95GHz云多普勒雷达和后向散射激光雷达可获得非降水云的微物理和动力学性质,以研究其对地球辐射平衡的影响。在光学薄云中,两设备可同时获得资料,并反演云质粒尺度分布的微物理特征。95GHz沿暖云路径的衰减是订正反射率的主要问题,因为在此频率对 1gm^{-3} 液水含量以 dBkm^{-1} 呈线性衰减,这就是为什么选择双波束方法以便评价其在反演真实反射率 Z 和比衰减 k 场中的表现的原因。首先按雷达沿指向天底和指间 40° 前方模拟衰减的反射率场,并应用立体雷达分析方法以便获得衰减和真实的反射率场;其次对云和雨粒子谱在95GHz进行Mie散射计算,以决定相应的积分参数 Z 和 k ,云滴谱和雨滴谱产生完全不同的 Z - k 关系,因而双束方法可同时获得 Z 和 k 的估值,以便区分云和雨,进而估计液水含量。

晴天云的激光雷达探测(Kolev) 云在大气辐射平衡中起明显作用,而激光雷达资料可提供云高、光学厚度和垂直消光的讯息。采用3束气溶胶激光雷达(标准商用Q开关、双频Nd-Yag激光 $10\sim 20\text{mJ}$, $\lambda=532\text{nm}$,重复频率可高达50Hz)。接收天线和电子设备基于3个直径150mm卡塞格伦望远镜装置(等价焦距长2250mm)与光电倍增管匹配,在工作波长连接带宽1nm,透射率约50%的干涉滤光片以使白天光学背景得以排除。资料获取和处理系统为10比特20MHz波形记录器。激光雷达的主要特征决定可调的时空分辨率分别高达0.02s和7.5m。大气边界层中的湿度运动和输送的研究与热力变化具有明显的分离特征,因为这些过程并非与热力过程完全相关。夏季对流边界层发展,由于蒸发和湍流使地面边界层的湿度减小,把水汽向上输送使之贴近自由大气,在合适的条件下,这种输送可导致晴天云的形成。

重复云过程对气溶胶及其直接和间接辐射效应的影响(Hatziamastassiou 等) 气溶胶粒子谱通过对流云生命循环过程使其谱加宽,含有较多大的气溶胶粒子。加宽作用在海洋云中比椰林条件更强烈。由于其初始浓度甚低,评估其对气体的清除效应的贡献甚小。加宽作用使得在第二生命循环中产生更多的降水尺度水滴。在第一次云循环中,其辐射性质的基本演变导致单散射反射率减小和短波段的非对称因子减少而在长波段其非对称因子反而增加。

气溶胶对暖性层积云微物理的影响:对船迹发射的研究(Johnson) 蒙特雷地区船航迹试验(MAST)在船迹中通过实测研究高反射率在云形成中的重要性。该文介绍 C-130 飞机测量出现船迹的海洋边界层的动力和热力背景条件以及船迹内外云层中的微物理和辐射性质。主要仪器包括 PMS 被动空腔气溶胶谱仪探头(PCASP0.1~3.0 μm),FSSP(1~45 μm),PMS-2D(25~800 μm)和 J-W 含水量仪。试验期间背景气溶胶日际变化明显,当气团来自太平洋中心地带,空气特别清洁,云相对暗淡。当气团来自加利福尼亚北部,空气相当污浊,形成的云十分明亮。这些背景条件和船用发动机类型对船迹是否产生明显影响,MAST 试验为我们提供研究局地气溶胶干扰对海洋边界层微物理的影响的唯一资料集,通过分析用以检验在试验前提出的有关船迹形成及其持续时间的一系列假设。

低的层云的微物理及云中、云上和云下辐射的测量(Banic) 辐射、气溶胶和云试验(RACE)中对观测到的两个云例中的微物理和消光、照明之间的关系进行了评述。试验期间层云微物理特征变化明显,在消光和云滴数浓度间存在着直接的关系,随着液水含量增加,消光增强,但与有效半径的关系并不清晰。形成于清洁海洋边界层中的云表明,从云/地表系统的后向散射和地表的吸收约为入射辐射的 95%,其余 5%在云内吸收。同样的方法应用于薄的空间尺度小的短生命期的云却在辐射平衡中导致 50%的差异。