

全国云物理和人工影响天气 会议文集

《全国云物理和人工影响天气会议文集》编辑组

气象出版社

114/6

全国云物理和人工影响天气会议文集

《全国云物理和人工影响天气会议文集》编辑组

气象出版社

内 容 简 介

本文集共收录41篇论文,涉及型云雾降水物理、人工降水和防雹、雷达回波分析、室内实验、观测技术、气溶胶、大气化学和人工影响天气组织管理、作业方案设计等方面的内容,反映了我国近几年来云雾降水物理和人工影响天气领域内的新进展。

本文集可供从事云雾物理、人工影响天气、水文、航空等方面工作的科研和业务人员及大专院校有关专业的师生参考。

全国云物理和人工影响天气会议文集

文集编辑组

责任编辑 谷真真 陶国庆

气象出版社出版
(北京西郊白石桥路46号)

北京昌平环球科技印刷厂印刷

气象出版社发行 各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/16 印张: 15.75 字数: 387千字

1989年4月第一版 1989年4月第一次印刷

印数: 1—1000 定价: 4.00元

ISBN 7—5029—0176—0/P·0116

编 者 的 话

中国气象学会大气物理专业委员会于1986年8月11—16日在内蒙古自治区呼和浩特市召开了第九次全国云物理和人工影响天气学术交流会。会议共收到云雾降水物理、人工降水、防雹、室内实验、观测技术方法、云雾降水数值模拟、气溶胶、大气化学和人工影响天气组织管理、作业方案设计等论文和摘要176篇。这次会议比较集中地反映了我国近几年来云雾降水物理和人工影响天气研究方面取得的新进展。经与会代表提议,决定编辑出版本文集。

本文集共收录41篇论文。由于这次编选文集时间仓促及编者水平有限,定有校勘不妥之处,请予以指正。

本文集的出版得到了黑龙江省人民政府人工降雨办公室,吉林省气象科学研究所和新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室的资助,在此一并致谢。

文集编辑组

1986.12.3.

目 录

编者的话

北方人工降水资源研究进展	游来光、马培民等	(1)
乌鲁木齐冬季冷锋降水云前期的微物理结构及其降雪特征	王广河、游来光	(9)
准噶尔盆地低云研究	谷福印、马培民、游来光等	(18)
宁夏夏季降水性层状云的微物理特征	吴兑	(24)
双流机场雾宏观结构研究	郭恩尧、俞善仁、李炎辉等	(35)
混合层的生长与雾	蒋瑞宾、钱粉兰、张江印	(39)
晴天夜间边界层中长波辐射降温率的计算	张江印、蒋瑞宾、胡在平	(46)
雨滴谱雷达联合观测结果初析	王昂生、杨植玉、朱文琴等	(50)
层状云大暴雨雨滴谱分析	谷淑芳、陈德林	(52)
雨滴谱观测中近摄法和滤纸迹法的误差问题	许绍祖、雷连科	(59)
对用滤纸测量雨滴的鉴定	陈汝珍、蒋耿旺、鄢大雄	(63)
新疆昭苏雹暴的雨暴参量分析	郑国光、张利军	(65)
新疆昭苏地区雹块的微结构特征	施文全	(72)
人工屏障成云的数值模拟	吉武胜、黄美元、徐华英	(80)
应用积云—维定常模式预报长沙地区六月暴雨可能性的初探	韩嗣英	(85)
人工降水作业时选择的专家系统	李大山、李延红、林松	(92)
人工降雨防雹基本技术系统的设计	李大山	(96)
层状云中有效紫外辐射量的计算	毛节泰	(100)
层状云降水对二氧化硫的消除及其酸化的数值模拟	秦瑜	(106)
辐射雾形成的数值试验	黄培强、郭岚	(114)
强烈雹暴分析	廖远程	(119)
冰雹的同位素分析	郑国光	(126)
数字化雷达定量测量降水及其结果的订正	薛震刚	(132)
甘肃东乡地区雹(雷)暴的雷达回波分析之一	叶宗秀、徐宝祥、龚乃虎等	(139)
甘肃东乡地区雹(雷)暴的雷达回波分析之二	黄乃虎、徐宝祥、叶宗秀	(147)
广州地区夏季对流云的雷达回波参数与降水强度的关系	毛伟康	(154)
广州夏季暖积云回波的一般特征	何应昌	(158)
珠江三角洲夏季积云回波的地区分布与日变化	关越坚、张森才、刘传营等	(163)
从雷达资料看气旋冷锋降水的一些特征	王鹏云、孟繁喜、郑日钟等	(167)
北京地区中尺度系统的雷达观测研究	洪延超、徐乃璋、王昂生	(172)
中型云室的雾	李太宇、郁青、孟玉巧等	(178)
云雾风洞中的温度控制	王桂梅、关立友、张纪淮	(184)
新型冷云催化剂冰性能的云室鉴定	张钟、解永红	(187)
一种新型冷云催化剂——IS-5	夏彭年、袁建新、解永红等	(192)
回收收集柱体上因碰冻形成的松冰密度的测定	章澄昌	(196)

白山水库人工增雨试验总体设计.....	汪学林、廉敏、金德镇等(202)
吉林省白山流域“人工增雨试验”统计设计和效果检验方案.....	刘志明(211)
高炮防雹统计检验效果分析.....	刘海月、段英、韩志成(218)
内蒙古河套平原高炮防雹效果分析.....	王千元(223)
西太平洋热带海域大气气溶胶特征的研究.....	徐乃璋、陆恩仁、王昂生(226)
闪电特征的观测分析.....	王雷(240)

北方人工降水资源研究进展

游来光 马培民等*

(国家气象局气象科学研究院)

人工降水资源研究自1980年开始,按研究工作开展方式不同,前后有两个外场计划并行开展。一个是利用各省、自治区租用的人工降水飞机,按统一规定的要求和观测仪器开展云和降水物理结构的观测。自1980至1983年,在吉林、内蒙古、陕西、宁夏、新疆五个省、自治区共探测了约140个降水过程、飞行338架次,同时收集了雷达、地面降水微结构等资料。至1984年底,初步完成了云、降水微结构资料的整编。某些研究结果曾在历次云物理和人工影响天气讨论会上交流或在文集、杂志上发表。

第二项计划自1982年开始,利用引进的PMS公司粒子测量系统,改装一架专用飞机,结合雷达、探空、降水微结构等观测手段,在陕西、宁夏、内蒙古、吉林、新疆等省、自治区

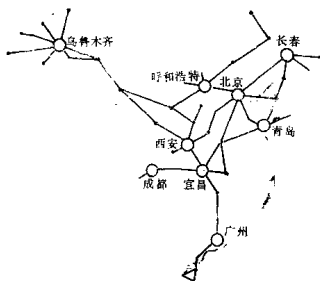


图1 我国人工降水研究考察地区及主要航线

图中空心圆为试验基地;黑点为停机机场;线段为主要航线

* 先后参加主持各地外场试验工作的有陈君寒、夏彭年、汪学林、陈玉山、王鼎丰、高子毅、郑国光、周和生、陈增松、周克铭、游来光、马培民、陈万奎、何绍欣等。

外场考察期间,由空军航空兵某部34041机组承担飞行任务,各地空军、民航各部门曾给以热情协助,并且受到有关省、市、自治区气象局领导和各方支持,对此北方人工降水协作组表示由衷的感谢。

开展综合性外场试验；也对四川、山东、广东等省份开展短期对比观测。粒子测量系统引进验收一个月后，即进行了飞行试验，3个月后申报租用专机获准，经改装，于1982年春即正式投入外场使用。至1985年春在上述地区共飞行377架次，544飞行小时。1986年起，主要外场考察工作已告一段落，转入资料处理和分析阶段。图1为外场试验区及主要飞行航线。本文综合介绍执行第二项计划的某些初步结果。

一、研究内容与研究途径

我国人工降水资源研究工作始于六十年代初。曾对不少地区云中过冷水含量、冰雪晶浓度等一些人工降水条件的指标量做过大量观测，得出一些统计特征量。1982年开始的新计划是在已有的认识基础上，深入研究以下内容：

①云中自然冰晶浓度及冰晶的形成机制与条件。特别是云中高冰晶浓度区出现的规律与部位及其对降水发展的影响。

②主要降水系统的不同降水时段（或部位），在降水增长的微物理过程中具有的特点，降水自然转化效率的差异。

③上述这些差异与降水系统的天气、动力条件的联系，寻求通过常规天气资料或雷达及降水微结构特征等一些地面可测量判断人工增水自然条件的途径与方法。

④建立结合天气学特点的自然降水过程的物理模型。针对不同物理过程特点，研究人工降水作业技术与实施方案。

⑤结合不同降水过程的物理模型和动力学特点建立相应的云物理数值模式，在理论上预计人工增水的可能性和效果。

⑥人工催化引晶后的云物理效应和地面增水效果检验的研究。

此外，结合外场试验条件开展了大气气凝结核、大气冰核、大气气溶胶粒子浓度、雾与霾的微结构、低云微结构、消云试验以及云与降水化学的研究。

研究所用仪器与装备参见文献〔1〕。不同地区开展试验的时间安排与主要研究项目见表1。

二、人工降水资源研究的一些初步结果

为了深入了解有关大气冰相降水微物理问题，首先处理、分析历年冬季在新疆的考察资料，以期这些研究结果有助于分析其他地区暖季中冷层降水情况。分析工作尚未最后完成，现仅就已分析过的某些专题及个例，综合介绍一些初步结果。

1. 冬季人工增雪条件研究

新疆准噶尔盆地较大降雪都伴随冷空气入侵而产生。按所探测的12个个例统计，过程降水量与过程最大降温有较好的相关，反映降水量大小受入侵冷空气强度影响。

该区冬季受蒙古高压控制，即使在降水系统移入本区时也缺少低层直接的水汽输送通道。但降水主要增长于锋后冷气团内距地1500m以下的边界层内，3000m高度以上的降水仅为总降水的5—30%左右，只起引晶作用。降水的主要水汽来源，很象是局部地区冬季逆温层下的潮湿边界层。

表1 不同地区试验的时间和主要研究项目

地 区	时 间	主 要 研 究 项 目
新 疆	1982.11—1983.1	云降雪及低云雾物理, 雪微结构, 云核, 冰核, 气溶胶, 云、降雪化学
	1982.10—1983.12	
	1984.11—1985.1	
陕 西	1982.5—1982.6	云、降水物理, 雨的微结构, 大气云, 气溶胶
	1983.5—1983.6	
吉 林	1983.7	云、降水物理, 雨的微结构, 大气云, 气溶胶
	1984.4—1984.6	
内 蒙 古	1982.6—1982.7	云、降水物理, 雨的微结构, 大气云, 气溶胶
	1983.8—1982.9	
	1984.7—1984.8	
宁 夏	1982.6	云降水物理, 气溶胶
山 东	1984.8	大气云, 气溶胶
四 川	1983.3	云、降水物理, 云, 雨微结构, 气溶胶
	1984.4	
广 东	1985.3—1985.4	云、降水物理, 云, 降水化学
北 京	1984.9	云结构及消云, 云, 气溶胶

低层云中(主要是Sc)过冷水量受催化云强度影响,在降水开始阶段低云中常有较多的过冷水含量($0.1-0.3\text{g}/\text{m}^3$)^[21]。在所分析的个例中,约有一半左右在降水前期云中存在过冷水。在有较强的催化云出现时,过冷水常被迅速耗尽。

催化云与低层供水云的相对时空配置,各例间有很大不同,强的催化云在对流层中层具有条、带状分布特点,高空强降水带宽度约为几十公里(见图2),其中雪晶的沉降率为 $10^3-10^4\text{个}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

根据降水强度的高度变化估算,在边界层内存在较强的上升运动,其值可达几十 cm/s (见图3)。因此,锋后西北气流受地形抬升可能是造成降水主要增长于锋后、低层的动力学原因。

个例探测表明,在对流层中层槽前西南气流影响下,天山南坡上空有较强的中、高云发展,例如,在吐鲁番上空3700m高度处的降水强度可达 $2.5\text{mm}/\text{h}$ 。虽降水未及地,但对高山积雪应有重要作用。

云中冰晶浓度(直径小于 $300\mu\text{m}$)随高度降低而迅速增大,在最低层有最高的冰晶浓度。经初步分析,在垂直气流作用下,冰晶的增长-蒸发过程在“云底”附近交替进行,冰晶在“云底”附近上下浮动,从而形成高冰晶浓度的积累层。积累层的存在不利于降水的增长。

对雪粒子谱的分析表明,高层催化云中雪晶生长初期几乎都是指数式单调下降谱;在较高温度的下层供水云中,往往出现第二峰值。第二峰值的出现与雪粒增长和冰晶粒子的补给有关。在催化云——供水云不同相互作用条件下,雪粒子谱的差异导致降水强度与雷达反射因子相关式上的显著不同,在有强催化云存在时,雷达反射因子常明显偏低。

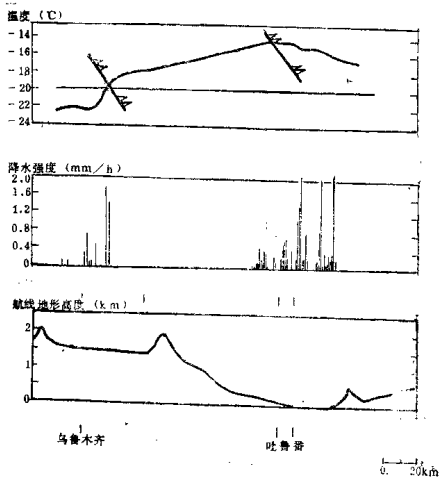


图2 高空锋区附近的强降雪带

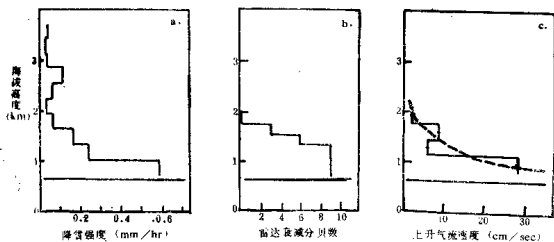


图3 降水强度与垂直气流速度的高度分布

综上所述,初步看出在新疆冬季降水系统中大约有40%左右的云系存在过冷水或有相对更好的雪晶增长条件,可以作为人工增雪的催化对象。由于该地区的特殊地形影响,在低层

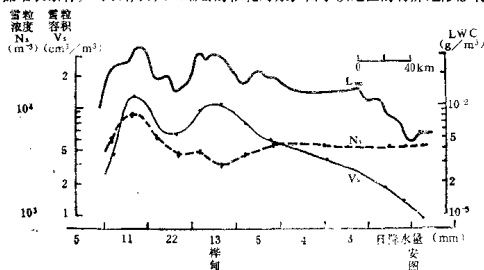


图4 地面雨带上空降水微结构特征量的水平分布

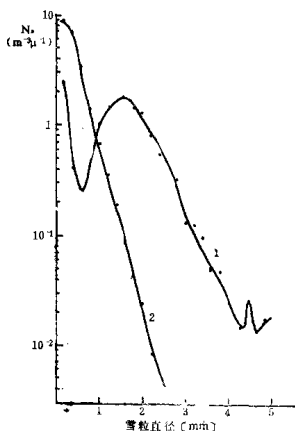


图5 雨带上空两侧雪粒子谱

图中1为雨带上空;2为雨带东侧。

经常存在大量冰晶粒子,这些冰晶不易有效增长成降水粒子落至地面,人工引晶宜在更高层进行。降水微物理过程特点常在雪的微结构特征上有所反映,并从而影响某些宏观参量,如雷达回波强度等。因此,可望寻求一些人工增雪条件的间接判据。

2. 春、夏季人工增雨条件研究

春、夏季在东部一些省、区的探测资料处理工作尚未完成,只能就已分析的个例,结合早期的一些观测事实提出一些初步看法。

吉林省、夏季的降水物理研究已持续多年,近些年来相继有不少研究结果。根据已有的经验,影响吉林的春季气旋降水过程中,冷锋常常在吉林以西停滞少动,降水常形成于气旋暖区中。在对1984年6月4日一次暖区降水的分析中发现,雨区与一支副高西侧的低空急流相联系。雨区呈长条带状,与低空急流位置基本重合,其中最大日降水量为22mm(见图4)。飞机在4200m高度层穿越雨带上空。在地面降水带右侧高空降水强度较小,但雪晶浓度与雨带中心部位差别不大,而雪晶直径及质量显著不同。雨带上空云中有过冷水存在,雨带东侧为纯冰云结构。雪

晶谱分析表明,雨带上空为宽谱,在1.6mm直径处有第二峰值。雨带东侧为单调指数下降谱,见图4、5。结合雪中粒子谱的一些分析结果推测,东侧的粒子谱具有催化云粒子谱特征,而雨带上空的粒子谱具有供水云中粒子谱特征。

上述个例中,对应低空急流的降水带,在高空存在两个过冷水区,其宽度均为40km左右。说明在雨带左侧有较强的供水云发展。

初步分析表明,我国北方东部地区春、夏季降水过程中的动力学条件相当复杂,经典的气旋降水模型已远不能概括,即使象东北气旋这样比较完整的天气系统也是如此。因此,除国外已提出的各型雨带外,还具有国内的地理、天气特色,对这方面的了解尚少,但这是研究人工降水自然条件不可回避的重要环节。

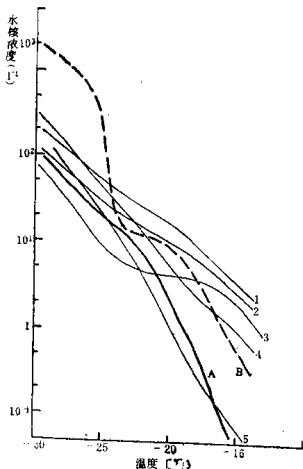


图6 大气冰核浓度活性谱

图中A为新疆(1983)自然状况;B为城市影响;1为河北衡水山(1964)自然状况^[1];2为河北(1975)自然状况^[1];3为白城(1964)自然状况^[1];4为北京(1963)城市影响^[2];5为欧洲、澳大利亚自然状况^[4]。

相降水过程的观测资料分析了产生冰晶高浓度的另一种运动学原因,即通过冰晶的积累过程可以在无繁生的条件下,产生每升几十个冰晶的高浓度区。据此推测,在其它地区的暖季中,遇有适当条件,上述过程也可能在高空冷层内发生。因此,通过云内冰晶实测浓度值与

三、云物理研究

人工降水的科学技术水平,在很大程度上决定于对自然降水物理过程的认识与理解深度。至今仍有很多微物理问题长期没有得到解决。其中人工降水研究中最为关切的仍是云中自然冰晶浓度及冰晶形成机制问题。对此,我们开展了两方面的工作,即大气中自然冰核浓度和云中冰晶浓度的研究。

1. 大气冰核观测与云中冰晶浓度研究

为与我国东部地区观测结果进行比较,在新疆进行了大气冰核观测。通过短期观测,得到乌鲁木齐地区的冰核浓度活性谱如图6。与我国东部及国外几个地区的比较,可以看出乌鲁木齐地区自然大气条件下(指不受城市污染环境影响的情况下)的冰核浓度与国外自然大气条件下的浓度相近,而东部地区的冰核浓度明显偏高,特别是在高于 -20°C 的温度条件下,这与早期关于我国黄土高原地区是重要冰核源地的看法一致。

有关云中高冰晶浓度问题已有过不少研究。主要着眼于冰晶的繁生过程,在几种冰晶繁生可能性中,雪晶与过冷云滴碰冻的繁生^[1]与雪晶间的碰撞折裂繁生^[2]较广泛地被接受。根据在新疆的观测资料,分析了雪晶碰撞折裂繁生的可能性;另外据几次纯冰

冰核浓度的比值大小直接定义云内繁生率的某些结果^{[9][10]}, 值得商榷。有必要进一步澄清由于云内冰晶收支平衡关系造成高冰晶浓度的可能性。冰晶积累层的存在及其出现的高度与温度, 对人工降水作业条件的了解及引晶方案设计有重要参考价值。

2. 大气中云凝结核与气溶胶粒子浓度的观测

1982年以后在我国相当广泛的地区收集了大气气溶胶粒子浓度和云凝结核浓度资料, 已对其中一些内陆区和近海区的观测结果进行了初步分析^{[11][12]}。此外, 还进一步分析了云核的过饱和和活性谱, 初步得出我国北方云凝结核活性谱的斜率参数值约在 1 至 1.5 的范围内(见图 7)。

对黄土高原西侧一次沙尘天气下自由大气中气溶胶粒子谱和浓度的观测分析表明, 在 0.5 至 47 μm 粒子直径段, 具有与美国大陆高原上空粒子谱相近的斜率, 但浓度比美国高原区约高 40 倍(见图 8)。

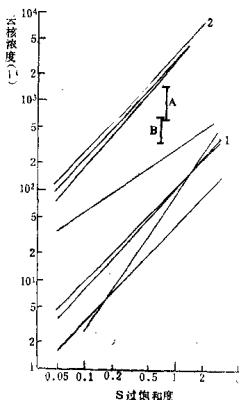


图 7 大气云凝结核活性谱

图中 1 为陕西自由大气; 2 为北美 1—3km 层; A, B 为西安、银川混合层内。

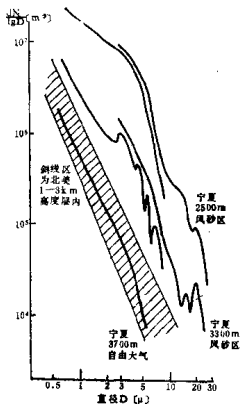


图 8 大气气溶胶粒子谱

此外, 还开展了新疆冬季低云微结构和发生演变规律的研究^{[13][14]}建立了一个边界层内低云发展的数值模式。对发生于低层或中、高层的对流泡在降水微物理过程上的作用进行了研究, 并建立了一个二维时变模式。对雪微物理结构、冰相形成的核化过程、雪晶碰冻过冷水滴的特征、雪粒子的融滴谱与雷达定量测量雪强, 以及雨滴谱特征等已取得了一些初步结果。对云与降水的化学成份和酸度的初步观测结果表明, 云微物理过程对降水的酸度可能有重要影响。

上述各项研究有的已有专文论述,但大量的专题研究工作尚在进行。不少地区的探测资料还处于收集整理阶段。

四、结 语

云物理学是人工降水的科学基础,人工影响天气是现阶段云物理学的主要应用领域。总结我国开展人工影响天气近30年的经验,已一致地认识到加强云物理研究的重要性。在本课题的三年外场考察中收集了大量云物理资料及其它大气微结构资料,已进行过的某些初步分析结果,已使我们对我国不同地区的人工降水条件(云结构及降水物理过程特点)有了不少新的更深入的了解。但由于装备条件及主观认识水平的限制,在工作中还有不少缺陷或某些安排上的失误,这主要表现在以下几方面:

①技术装备上的不协调。目前国内已先后引进PMS公司粒子测量系统四套,其自动化程度、数据收集率、可监测的大气粒子尺度覆盖范围(0.1至6400 μm)、空间与时间的分辨率等都达到目前国际最先进水平。但所用飞机仍是50年代产品,其升限、爬升率、结构强度等性能均差,通讯、导航等设备也处于落后状态。因此,从安全角度考虑,航行管制部门在放飞问题上不得不持审慎态度。一般只能对完全稳定的层性云降水进行探测,且只在个别机场有夜航条件。因而,不能充分发挥仪器所具有的功能。由于通讯联络及指挥系统上的限制,还未能做到通过雷达观测对飞机进行及时引导、指挥飞行做更有针对性的探测。

②人工降水是通过影响云微物理过程达到增加降水的目的,微物理过程是核心问题,但微物理过程受大气动力条件支配。目前我们对大气动力特点,如垂直气流速度等只能从常规天气资料推算,缺少直接探测手段。

③有关人工降水可能性的理论研究是建立在云物理数值模拟基础上的,近几年来先后建立了层状冷云^[15]、暖云^[16]及冷暖气云^[17]模式,包括了详细的云微物理过程。但这些模式具体应用于人工降水可能性研究,同样需要大气中的动力参数做依据,因此垂直气流及湍流交换系数等参量的测量也是人工降水理论研究向应用转化的需要。

④虽在外场考察期间注意了降水期间的天气学特点,但深刻地吸取当地天气学研究经验不够。各地天气学研究曾积累不少经验,但在拟定研究方案时未邀请天气学家详细参与意见。因而未能争取条件对各地特殊天气系统及不同地形影响下的云物理效应等进行更有针对性的专门研究。

⑤由于装备条件及参与工作的人员知识上的局限,考察期间飞机探测的综合利用率还不够高,虽进行了一些大气气溶胶粒子及大气化学的观测,但均未作为正式研究课题,如能附加一些其他观测内容,这些观测资料将有更高的科学价值。

参 考 文 献

- [1] 游来光、马培民,我国北方人工降水资源研究进展,气象科学技术集刊(云物理和人工影响天气研究), 8, 气象出版社, 1—10, (1985)。
- [2] 王广河等,乌鲁木齐地区冷峰前湖降雪云与降雪微物理结构,本文集。
- [3] 石安英等,大气中的冰核与冰雪晶,河北人民出版社, 26 (1980)。
- [4] 任学林等,白城地区春季的大气冰核,气象学报, 35 (3), 101—107 (1965)。
- [5] 游来光等,北京地区1963年春季冰核浓度变化特点的观测分析,气象学报, 34 (4), 518—554 (1964)。
- [6] Bigg, E. K., M. Svenson, comparison of concentration of ice nuclei in different parts of the

乌鲁木齐冬季冷锋降水云前期的微 物理结构及其降雪特征

王广河 游来光*

(国家气象局气象科学研究所)

一、引言

新疆是北方层状云人工降水资源考查的重点地区之一^{〔1〕}。自1982年以来,新疆冬季人工降雪资源研究协作组连续三个冬季对该地区进行了多次探测^{〔1〕}。本文根据1982年11月11日探测飞机转场过程中在乌鲁木齐附近地区对一次冷锋降水云前期的探测资料,分析了云与降水的微物理结构,估算了云中各层的降雪强度,讨论了云中冰晶形成的机制及雪粒子融滴谱特征。

二、观测

观测仪器采用美国粒子测量系统公司生产的机载PMS观测系统。三个探头的量程分别为

world, *J. Rech. Atm.*, **2**, (1970)。

〔7〕 Mossop, S.C., The influence of drop size distribution on the production of secondary ice particles during graupel growth, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **104**, 223—330 (1978)。

〔8〕 Wardiman, L., The generation of secondary ice particles in cloud by crystal—collision, *J. Atm. Sci.*, **35**, 2168—2180 (1978)。

〔9〕 Hobbs, P. V. and A. I. Rangno, Ice particle concentrations in clouds, *J. Atm. sci.*, **42**, 2523—2549 (1985)。

〔10〕 Vali, G., T. C. Voksas and P. C. Grille, Ice evolution versus precipitation in the Dwyer Basin, *Proc. conf. on cloud physics*, 218—221 (1982)。

〔11〕 陈万金, 弱冷锋气溶胶谱的个例分析, 同〔1〕, 22—29 (1985)。

〔12〕 王鹏云等, 对流层中下层云凝结核浓度的观测和初步分析, 同〔1〕, 11 (1985)。

〔13〕 王谦等, 准噶尔盆地冬季低云研究, *气象学报*, **45** (1), (1987)。

〔14〕 谷涵印等, 准噶尔盆地低云微结构, 本文集。

〔15〕 胡志晋、秦瑜、王玉彬, 层状冷云数值模式, *气象学报*, **41**, 194—202 (1983)。

〔16〕 胡志晋、严永鑫、王玉彬, 层状暖云降水及其冰化的数值模拟, *气象学报*, **41**, 79—88 (1983)。

〔17〕 胡志晋、严永鑫, 层状云微物理过程的数值模拟(一)——微物理模式, *气象科学研究院院刊*, **1** (1), 37—52 (1986)。

〔18〕 何绍钦, 内蒙古土默川地区晴天小积云宏观特征, 同〔1〕, 37—42 (1985)。

*参加飞行探测的有王守荣、李连山同志。

0.5—47 μm 的前向散射滴谱仪、25—800 μm 的二维云粒子探头及200—6400 μm 的二维降水粒子探头。露点和温度的观测分别采用EGG露点计及机载铂电阻测温仪。

三、天气形势

1982年11月11日至12日,伴随一次较强的冷空气入侵,北疆产生了一次中至大雪的降水天气。乌鲁木齐市地面降温幅度为14 $^{\circ}\text{C}$ 。过程降水量为15.3mm。11月11日08时700hPa与500hPa高空槽线均呈东北-西南走向,高空槽的移动速度约为25km/h。锋区空间结构明显。

民航台观测到的本过程地面降雪开始时间为11日14时15分,12日9时50分降雪结束。在本次降雪过程中,民航台所观测到的最大降水强度为1.1mm/h,位于民航台西侧100km处的玛纳斯所观测到的最大降水强度为1.82mm/h。但降水强度的记录是在飞机探测之后约3h开始的。

四、云结构特征

飞机于14时17分从哈密起飞,途经达坂城上空开始接触云区顶部,由此作穿云探测,16时20分在乌鲁木齐以北的地窝铺机场着陆。飞机穿越云区的水平距离约60km。

这次冷锋降水前期云的结构分为两层,上部有一层1450m厚的层积云(Sc),下部有一层

约200m厚的低云(St),两者之间夹有干层(无液水云)。层积云顶处有一较强的逆温层,温度的递增率 $\gamma = 2.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。层积云顶部高度(相对地面,下同)为2650m,云顶附近的最低温度为 -11.8°C ;云底高为1200m,温度为 -8°C 。干层区的厚度为700m,干层区中的温度随高度的递减率 $\gamma = 0.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。干层区的下部为低云,低云的顶高为500m,温度为 -3.3°C ;云底高为300m,温度为 -3°C 。低云上部有一浅薄的逆温层,逆温的递增率

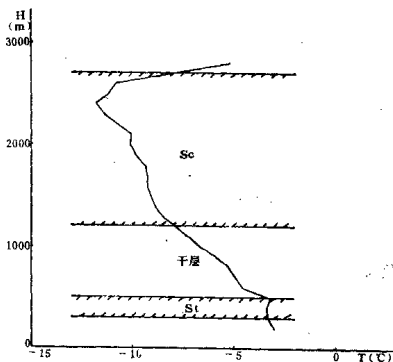


图1 温度随高度的分布

$=0.2/100\text{m}$ 。云系的垂直温度结构（见图1）。

在云中飞行，飞机有强度为 2.2mm/min 的积冰，这表明云中过冷水较为丰富。

图2表明：在层积云中，雪粒子浓度由云顶向下随高度降低而迅速增加，在 2200m 处出现峰值，峰值浓度为 270m^{-3} 。由 2200 至 1750m 处，雪粒子浓度由 270m^{-3} 随高度的降低而减少到 150m^{-3} 。由 1750m 至层积云底，雪粒子浓度变化不大，浓度值约为 150m^{-3} 。在干层区，雪粒子浓度又随高度降低而增加，最大浓度为 340m^{-3} 。低云中的雪粒子浓度约为 300m^{-3} 。云中冰粒子浓度随高度的变化与雪粒子的变化趋势相似。上层平均浓度约为 60l^{-1} 。在干层区，冰粒子浓度随高度的降低而增加。低云中的冰粒子浓度在 $70-95\text{l}^{-1}$ 之间。

从图3可以看出由层积云顶至 2200m 处，雪粒子平均直径随高度的降低而迅速增大。由 2200m 至层积云底雪粒子平均直径为最大，峰值直径为 $2150\mu\text{m}$ 。在干层区，雪粒子平均直径随高度的降低而减小。在低云中雪粒子平均直径略有增大。

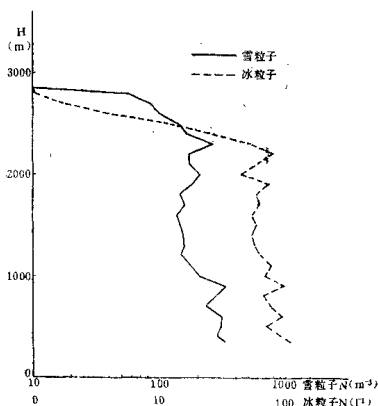


图2 雪冰粒子随高度的分布