

中国南方云物理学和人工降水论文集

《中国南方云物理学和人工降水论文集》编辑组

气象出版社

中国南方云贵两省侗人工织水龙纹锦

中国民间织锦研究小组编 中国民间织锦研究小组编

北京出版

中国南方云物理学和人工降水论文集

《中国南方云物理学和人工降水论文集》编辑组

气象出版社

内 容 简 介

本文集收入我国气象工作者关于中国南方云物理学和人工降水的部分论文,共28篇。内容主要包括长江中下游夏秋季积状云的宏观特征和江淮梅雨锋云系的雷达回波特征的观测研究,以及这些地区春夏季人工降水的效果统计研究。内容还包括积云数值模拟、人工降雨资源与增雨潜力、观测仪器和人工降雨弹的成冰性能等方面的研究工作。

本文集具有鲜明的实践性和应用性,适合于从事气象、水文、航空科研和业务人员及大专院校有关专业师生参考。

中国南方云物理学和人工降水论文集

《中国南方云物理学和人工降水论文集》编辑组

责任编辑 陶国庆 谷真真

气 象 出 版 社 出 版

(北京西郊白石桥路46号)

空军气象学院印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.625 字数: 369千字

1986年4月第一版 1986年4月第一次印刷

印 数: 1—1,000

统一书号: 13194·0250

定 价: 3.40元

前 言

云物理学是气象科学的一个重要分支,人工影响天气是它的应用的一个重要方面。我国云物理工作者对云的宏观特征和微结构进行了许多观测研究。多年来,坚持开展人工降雨和防雹试验,并对其效果作统计学检验。从七十年代中期开始进行数值模拟研究,现在已用二维模式研究积云发展及人工降水问题并取得了明显的进展。然而,我们的研究工作还远远不能适应国民经济发展对人工降水的需要,与国外先进水平相比,还存在一定的差距。

为了提高现有水平,我们把已做的工作加以总结,以增进交流是十分必要的。鉴于目前反映我国云物理研究和人工降雨成果的正式出版物很少,1980年9月,在中国气象学会召开的全国人工降雨科研座谈会期间,与会代表建议出版一本这方面的论文集。在国家气象局科教司和气象出版社的热情赞助下,有关代表推选黄美元、胡志晋、叶家东、周文贤、邢克溥、周和生和陈历舒等同志组成了编审小组,由陈历舒同志负责具体工作,选编了这本文集。

本文集选编的论文大都是在1978年2月南宁“全国人工影响天气科学大会”和1980年9月黄山“人工影响天气学术讨论会”上宣读过的。我们期望本文集能反映中国南方云物理和人工降水研究工作的深度和广度,希望它的出版将有助于我国气象、水文、航空等方面的业务、科研和教学工作。

由于我们的水平有限,文集选编方面的缺点、错误在所难免。欢迎读者指正。

、编者

1982.11

目 录

前言

一、云和降水物理学的观测研究

- 长沙夏季积云宏观特征的观测分析……………胡志晋、苏茂、李如祥 (1)
- 双经纬仪与711雷达配合观测对流云的初步分析……………俞香仁、李玉昆 (9)
- 积云个例分析……………卞礼智、叶家东 (18)
- 弋阳地区夏季积云宏观观测分析……………唐其煌 (25)
- 屯溪地区对流单体发展过程的特征及其降水的初步研究……………洪延超、吴玉霞 (29)
- 湖南中西部地区夏季积云雷达回波移动与高空气流的关系……………费中运 (39)
- 梅雨云系的若干雷达回波特征……………黄美元、洪延超、吴玉霞 (46)
- 江淮地区梅雨锋降水回波特征……………李子华、周文贤、章澄昌、马建辉 (55)
- 强积层混合云降水特征的分析……………李子华、邢克溥等 (60)
- 新安江流域积状云中巨盐核、大云滴和含水量的观测分析……………沈志来、何珍珍、黄美元 (66)
- 上海地区积云中云滴分布的研究……………黄美元等 (74)
- 暖性层积云中“对流区”的一些特征……………何珍珍、黄美元、沈志来 (85)
- 利用雷达回波参数估算夏季对流云降水量……………刘甫成 (90)
- 用雷达回波参数估算积云降雨的一种方法及其在人工降雨中的应用……………陈历舒 (95)
- 湖南芷江夏季自然积云和作业积云雷达观测的若干结果……………刘耀宗 (102)

二、积云的数值模拟及其人工影响

- 积云降水过程的数值模拟研究……………徐华英、李桂忱、郝京甫 (110)
- 人工影响积云宏观动力过程的数值实验……………徐华英等 (121)
- 积云一维定常夹卷模式在人工降雨试验中的应用……………葛汉武等 (125)

三、催化潜力及人工增雨效果的研究

- 江西夏季降水特征和人工降水资源……………柯 玮 (129)
- 广西春秋季节自然降雨特征和人工降雨潜力的初步分析……………黄永隆 (144)
- 安徽白湖地区人工降雨效果统计分析……………邢克溥 (151)
- 湖南凤凰地区高炮人工降水效果统计分析……………叶家东 (160)
- 四川武胜高炮催化积云的试验设计和增雨效果的统计分析……………周和生、聂朝武、杨中林 (168)
- 福建省古田水库地区1975—1981年人工降雨试验效果统计分析……………曾光平 (179)

新安江流域九年飞机人工降水效果分析.....栗运华(189)

炮击引起强对流回波顶高变化的统计分析.....周和生、杨秀蓉(197)

四、其他

大云滴铝箔取样器的实验检定.....刘爱琼、韦信高(208)

降雨弹爆炸分散碘化银粒子谱及成冰性能的研究.....周和生、刘兴荣、刘建西(216)

附录

(1) 附录一 附录一 附录一.....附录一 附录一 附录一

(2) 附录二 附录二 附录二.....附录二 附录二 附录二

(3) 附录三 附录三 附录三.....附录三 附录三 附录三

(4) 附录四 附录四 附录四.....附录四 附录四 附录四

(5) 附录五 附录五 附录五.....附录五 附录五 附录五

(6) 附录六 附录六 附录六.....附录六 附录六 附录六

(7) 附录七 附录七 附录七.....附录七 附录七 附录七

(8) 附录八 附录八 附录八.....附录八 附录八 附录八

(9) 附录九 附录九 附录九.....附录九 附录九 附录九

(10) 附录十 附录十 附录十.....附录十 附录十 附录十

(11) 附录十一 附录十一 附录十一.....附录十一 附录十一 附录十一

(12) 附录十二 附录十二 附录十二.....附录十二 附录十二 附录十二

(13) 附录十三 附录十三 附录十三.....附录十三 附录十三 附录十三

(14) 附录十四 附录十四 附录十四.....附录十四 附录十四 附录十四

(15) 附录十五 附录十五 附录十五.....附录十五 附录十五 附录十五

(16) 附录十六 附录十六 附录十六.....附录十六 附录十六 附录十六

(17) 附录十七 附录十七 附录十七.....附录十七 附录十七 附录十七

(18) 附录十八 附录十八 附录十八.....附录十八 附录十八 附录十八

(19) 附录十九 附录十九 附录十九.....附录十九 附录十九 附录十九

(20) 附录二十 附录二十 附录二十.....附录二十 附录二十 附录二十

(21) 附录二十一 附录二十一 附录二十一.....附录二十一 附录二十一 附录二十一

(22) 附录二十二 附录二十二 附录二十二.....附录二十二 附录二十二 附录二十二

(23) 附录二十三 附录二十三 附录二十三.....附录二十三 附录二十三 附录二十三

(24) 附录二十四 附录二十四 附录二十四.....附录二十四 附录二十四 附录二十四

(25) 附录二十五 附录二十五 附录二十五.....附录二十五 附录二十五 附录二十五

(26) 附录二十六 附录二十六 附录二十六.....附录二十六 附录二十六 附录二十六

(27) 附录二十七 附录二十七 附录二十七.....附录二十七 附录二十七 附录二十七

(28) 附录二十八 附录二十八 附录二十八.....附录二十八 附录二十八 附录二十八

(29) 附录二十九 附录二十九 附录二十九.....附录二十九 附录二十九 附录二十九

(30) 附录三十 附录三十 附录三十.....附录三十 附录三十 附录三十

长沙夏季积云宏观特征的观测分析

胡志晋

苏 茂

李如祥

(气象科学研究院云雾物理研究所)

(南京大学气象系)

提 要

用双经纬仪等观测方法对积云云顶高度、生命时间等宏观特征进行了观测,同当地的雷达和飞机观测结果作了对比;分析讨论了积云的水资源和增雨潜力。

一、引 言

积云宏观特征的观测分析是研究积云降水规律和设计人工降水试验的基础。1973年8月下旬和1974年8月到9月上旬在湖南长沙马坡岭进行了积云宏观观测。用两架6秒级的大地速测仪,基线长1242m,方向为 $17^{\circ}51'$,视野限于基线的东半侧,有专线电话联络。同时有序列照相和目测记时素描,记录云状、降水部位、冰晶化现象、虹、雷电等天气现象以及云的生命时间。两年共观测19天,102块积云,339个测点(观测资料中基线两端算出的高度相差0.5%以上的已删去不用)。马坡岭每天三次(7时、13时、19时)探空测风,四次(10时、13时、16时、19时)雷达观测。还进行了几次积云回波的序列观测,以了解回波的垂直发展速度和生命史。

二、观测结果

我们将积云按目测的云状分成淡积云、浓积云、降水浓积云和积雨云。文中的浓积云是指发展比较旺盛的积云,中积云也包括在内,在其生命过程中没有出现降水现象就消散了。在降水浓积云的生命过程中观测到降水,包括雨幡,但没有冰晶化现象。在积雨云生命过程中观测到冰晶化现象,包括在消散阶段才出现伪卷云。淡积云不是我们的主要研究对象,所以观测的较少。其它各类积云只要在视野可测范围内,就尽可能地观测。选云可以说是随机的,所以观测到各类积云的块数在一定程度上代表着它们出现的频数。本文的观测资料虽然有限,但两年资料分别统计得出的各种特征值的频率分布基本相似,说明资料有一定代表性。

1. 云顶高度

我们取各块云云顶高度的最大两个观测值的平均值作为该云的云顶高度。有些积雨云只观测到它发展过程中的一些云顶高度而没有测到它们发展最高时的高度,这类资料专门统计,不列入积雨云类。云顶高度的统计结果列于图1。

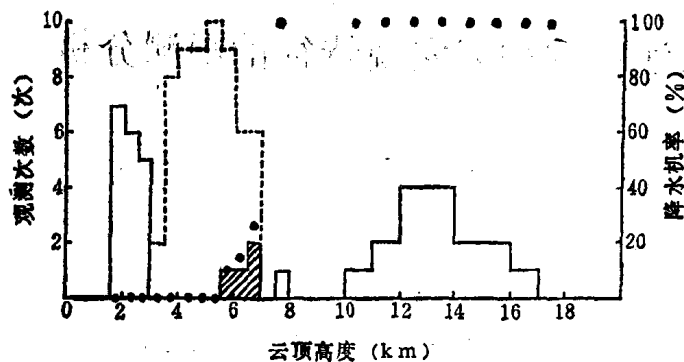


图1 各类积云的云顶高度分布频数
左边实线为淡积云，虚线为浓积云，阴影区为降水浓积云，右边实线为积雨云，圆点为各高度分级的积云降水机率（降水云数/总云数）。

从图1可见，本地淡积云顶高为1.5—3.0km；浓积云为3.0—7.0km，中值为5km；降水浓积云为5.5—7.0km，中值为6.5km；积雨云除个别的为8km左右外，一般为10—17km，中值为13km。

2. 云顶温度

我们根据各块云的云顶高度，从当天13时探空资料查出该高度的大气温度，作为云顶温度。统计结果列于图2。

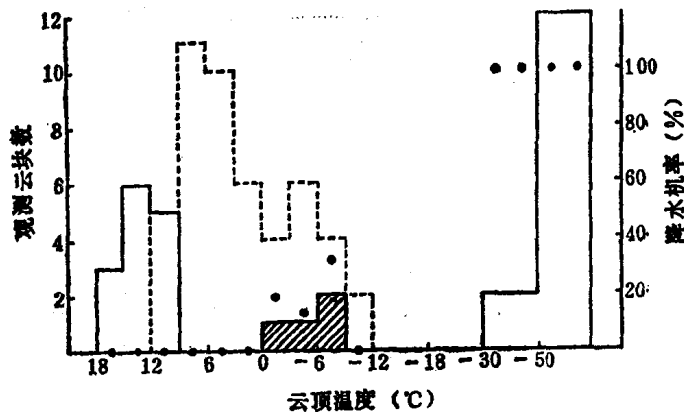


图2 各类积云的云顶温度分布频数（说明同图1）

从图2可见，浓积云的云顶温度为12—-12°C，其中纯暖云（云内温度全部高于0°C）约占三分之二。所测32块纯暖云都没有降水现象。降水浓积云的云顶温度为0—-9°C。积雨云的云顶温度一般都低于-30°C，大多数低于-50°C。

3. 积云的降水机率

在所测的积云总数中，降水云所占的比例可以表征积云的降水机率。我们计算了各云顶高度分级和各云顶温度分级的积云降水机率。由于观测资料较少，算出的降水机率值的代表性不够好，但可以看出它的一般特点。从图1中的圆点可以看出，积云云顶越高，降水机率

越大。云顶低于5.5km的降水机率为0；云顶高度为6.5—7.0km的降水机率增大为25%，云顶高于8 km的积云全部降水。云顶高于4.5km的发展较强的浓积云平均降水机率只有9%，说明本地积云的微物理稳定性较强。

图2中的圆点表示积云在各种云顶温度下的降水机率。可以看出，积云云顶温度高于0°C的一般不降水，低于-30°C的都降水，在0—-12°C范围内，降水机率平均为20%，并随着云顶温度降低而有增大的趋向，但两者相关不太好。这说明发展旺盛的浓积云的降水机率同云顶温度的关系不及云顶高度那么密切。

4. 雷达回波顶高度

根据1973年雷达加强观测资料中各块回波在生命过程中的最大顶高和1974年观测日13时、16时、19时三次定时观测的最大回波顶高按高度分级统计。根据相应的气象台站观测的雷暴记录将回波分成雷雨和阵雨。统计结果列于图3。

从图3可见，阵雨回波顶高大部分为3.5—6.5km，中值为5.5km，比双经纬仪测得的

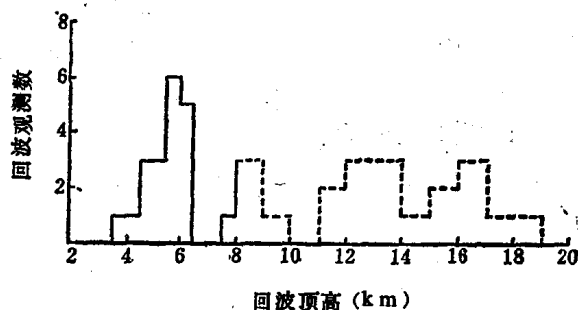


图3 雷雨和阵雨回波顶高分布频数
图中左边两块为阵雨回波，右边一块为雷雨回波。实线是按0.5km间隔分级，虚线是按1 km间隔分级。

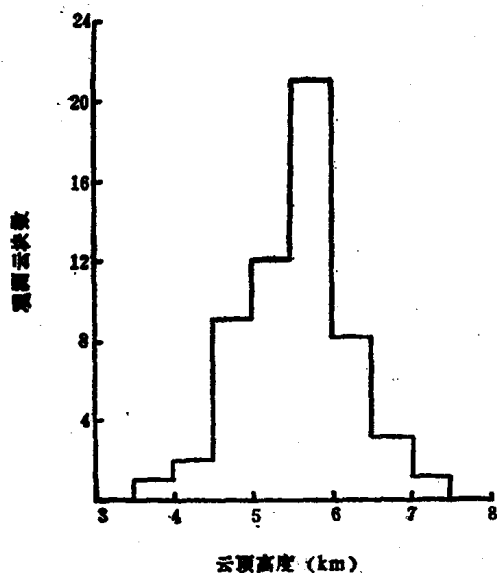


图4 飞机观测的云顶高度分布频数

从图4可见，飞机观测的浓积云顶高为3.5—7.5km，中值为5.5km。这同双经纬仪所测结果大致相符。

6. 飞机观测的云底高度

云底高度用双经纬仪观测的误差较大。根据上述飞机观测资料得出的积云云底高度为

降水浓积云顶高小。还有一些阵雨回波顶为7.5—10km，中值为8.5km，估计是较弱的积雨云所下的阵雨。雷雨回波顶高为11—19km，中值为14km，这比双经纬仪测得的积雨云顶高略大。总的看来，雷达回波顶高同经纬仪测得的云顶高大致相符。

5. 飞机观测的云顶高度

根据湖南省1962年*和1968—1969年**人工降水试验资料统计了作业开始时的积云云顶高度。如果云顶不高于飞机飞行升限（约5—6km），飞机观测云顶高度是根据飞机高度表来测定的，其精度较高。如果云顶高于飞行升限，在飞机上只能目测估计它的高度，其观测误差很大。统计结果列于图4。

* 湖南省气象局，湖南省1962年夏季高空人工降水试验总结（内部材料）。

** 湖南省气象局，中央气象局研究所，湖南地区1968—1969年夏季高空人工降水试验总结（内部材料）。

800—1700m, 平均为1200m。据此可以推出各类积云的大致厚度。

7. 云顶上升速度

根据双经纬仪对云顶某一点的序列观测资料, 可以计算其垂直发展速度。我们只计算测点高度变化较大的资料, 这样计算得出的上升速度的误差较小, 而且代表积云发展阶段的升速。从计算的17份资料得出, 浓积云的云顶升速为 2—7 m/s, 中值为3.5m/s; 积雨云为 4—17m/s, 中值为8m/s。

根据雷达的序列观测资料可以计算回波顶的垂直发展速度(上升或下降)。从11份资料得出, 阵雨回波的垂直速度为+2—-3 m/s, 中值为+1.5和-2m/s; 雷雨回波的垂直速度为+10—-4 m/s, 中值为+7.5和-4m/s。

8. 积云生命时间

根据目测记录、素描和照相资料可以得出积云云体从升起到消散的生命时间。一块积云往往由几个连续升起的云塔(云泡)组成。我们把积云(或云塔)从升起可以被辨认时起到下沉平衍或消散时为止的时间作为积云(或云塔)生命时间。观测结果表明, 淡积云的生命时间很短, 一般小于10分钟。浓积云的生命时间为15—60分钟, 中值为23分钟。降水浓积云的生命时间稍长。有的浓积云云体宽大, 云顶被稳定层限制, 云塔起伏, 形成云堤或云群, 它们的生命时间较长, 可达45分钟以上。浓积云的云塔多数从云顶冒出后升起不久就平衍消散, 生命时间很短, 一般为6分钟左右。有的云塔在中积云阶段升起、发展形成浓积云, 其生命时间较长, 可达17分钟。积雨云的生命时间较长, 约1小时左右。积雨云的云塔多数是从云砧上冒出来, 很快就停止发展, 下沉平衍, 其生命时间(不包括未冒出之前在云体内部的发展时间)很短, 约5分钟左右。有的云塔是在浓积云阶段升起, 发展成为秃积雨云, 再变为鬃积雨云, 其生命时间较长, 为20分钟左右。

9. 同江西九江夏季积云的比较

江西九江在1963—1965年夏季进行了同本文所述类似的积云宏观观测^[1]。表1列有两地观测的结果。从表1可见, 两地积云的宏观特征值相当接近。这是由于九江和长沙相距不远, 夏季常常处在相似的天气系统中, 积云发展的环境条件和气团属性相近。但是观测的浓积云云体生命时间相差较多。原因之一是长沙观测的积云群体较多, 其生命时间较长, 而九江观测的浓积云以单体为主, 其生命时间较短。

表1 长沙和九江积云特征值的比较

云状	地点	云高(km)	云顶温度(°C)	降水几率为25%的 积云云顶特征		升速 (m/s)	云体生命 时间(分)
				高度(km)	温度(°C)		
浓 积 云	九江	4.9	2	6.1	-4	3.5	13
	长沙	5.2	3	6.7	-6	3.5	23
积 雨 云	九江	13.7	-58			8	65
	长沙	13.3	<-50			8	60

* 表内特征值均取中值。

三、讨 论

1. 积云的水资源

湖南夏季多积云，其水资源是相当丰富的。某一时刻积云的可能降水量 R_1 ，即云中凝结水总量全部降下来形成的雨量，可用下式表示：

$$R_1 = H \cdot Q_c \quad (1)$$

式中 H 为云厚 (km)， Q_c 为平均凝结水量 (g/m^3)， R_1 为瞬间可降水量 (mm)。根据湖南飞机观测结果*，浓积云平均含水量为 $1.7g/m^3$ 。据本文资料，浓积云的云顶高中值为 $5.2km$ ，积雨云为 $13.3km$ 。由于云底高平均为 $1.2km$ ，所以浓积云的云厚为 $4.0km$ ，积雨云为 $12.1km$ 。从式 (1) 得出，浓积云瞬时可降水量 $R_1 = 6.8mm$ ，积雨云的 $R_1 = 20.6mm$ 。

在积云生命过程中，水汽不断地从云底和下部进入云体，凝结成云滴，一部分云滴转化为降雨，其余外流蒸发消散。云中水份在整个生命过程中是不断更新的。为了估计积云整个生命时间里的可降水量，必须考虑云中水份更新的次数 F 。如果积云向上发展到最大高度后立刻消散，云水就没有更新， $F = 1$ 。在一般情况下，积云发展到最大高度后能维持一段时间再消散，或者云中又有新的云塔升起，这时 F 可用下式估计：

$$F = \frac{T}{T_1} \quad (2)$$

式中 T 为积云云体生命时间， T_1 为云体内水份更新一次所需的时间。因为某一团空气 (内含水汽) 从云底进入到云顶散出的过程相当于云中水份更新一次，所以 T_1 可用下式近似估计：

$$T_1 = \frac{H}{W} \quad (3)$$

式中 W 为云中气流的平均升速。根据本文资料，浓积云的云顶升速中值为 $3.5m/s$ ，积雨云为 $8m/s$ 。从湖南积云外形演变来看，积云积极发展阶段的云顶升速大致相当于云泡单体的升速，可以表征云内上升气流的平均速度。代入式 (3) 得出，浓积云的水份更新周期 $T_1 = 18$ 分钟，积雨云的 $T_1 = 25$ 分钟。这大体上同观测的云塔完整发展过程的生命时间相当。

浓积云云体的生命时间较短 ($T = 23$ 分钟)，用式 (2) 算出的更新次数 $F = 1.3$ 。降水浓积云的生命时间稍长，所以更新次数也略多。浓积云群的生命时间可达 45 分钟，其更新次数 $F = 2.5$ 。积雨云云体生命时间很长 ($T = 60$ 分钟)，其更新次数 $F = 2.4$ 。积雨云群的生命时间可达 2 小时，其更新次数 $F = 4.8$ 。

积云生命过程中的全部可降水量 R_2 应为其瞬间可降水量 R_1 的 F 倍，即

$$R_2 = R_1 \cdot F = H \cdot Q_c \cdot \frac{T}{T_1} = Q_c \cdot W \cdot T \quad (4)$$

根据本文资料用式 (4) 算出，浓积云云体的全部可降水量 $R_2 = 9mm$ ；浓积云群的 $R_2 = 17mm$ ；积雨云云体 $R_2 = 49mm$ ；积雨云群的 $R_2 = 99mm$ 。

* 湖南省气象局、中央气象局研究所，湖南地区夏季对流云微结构特征，全国人工降水、防雷科技座谈会报告选编上册，中央气象局研究所编，1972。

积云的全云水资源 V_c 可用下式表示:

$$V_c = R_2 \cdot S \quad (5)$$

式中 S 为云体截面积。由于水的密度为 1 g/cm^3 , 本文各式均略去未写。根据宏观观测, 浓积云云体直径一般为 3 km , 积雨云云体为 8 km , 其相应的面积分别为 7 km^2 和 50 km^2 。从式(5)可以算出浓积云云体的全云水资源约为 $V_c = 6 \times 10^7\text{ kg}$, 积雨云云体的 $V_c = 2.5 \times 10^9\text{ kg}$ 。

在某一地区某一时段里全部积云的水资源 M_c 可用下式估算:

$$M_c = N_c \cdot V_c \quad (6)$$

式中 N_c 为该地区该时段里积云出现的块数。对于有雷达回波的云, 这个数据一般应从雷达观测资料中统计得出。应用宏观观测资料, 可以对各种云的出现块数 N_c 作粗略的估计。我们在19天里一共观测了浓积云63块, 积雨云21块。积雨云的观测范围约 10^4 km^2 。浓积云的高度低(约为积雨云的二分之一), 双经纬仪的观测范围比较小, 约为总面积的四分之一。推算到同样的范围(10^4 km^2), 浓积云的块数应为252块, 约为积雨云块数(21块)的12倍。从式(6)可以估算出在所测的19天里在 10^4 km^2 范围内浓积云的总水份资源 $M_c = 1.5 \times 10^{10}\text{ kg}$, 积雨云的 $M_c = 5.2 \times 10^{10}\text{ kg}$ 。在这19天里, 各天积云发展的强度、大小和个数都有很大差别, 各天的积云总水份资源差别很大。伴有中小尺度天气系统的积雨云群, 生命时间长(可达几个小时), 云体面积大(可达几百平方公里), 总水份资源估计可达 10^{11} kg 的量级。但在所测的19天里没有出现这种云群, 只有局地性降水, 总的云水资源较小。

积云的水资源中只有一部分转化为降水。很多浓积云根本没有降水。降水浓积云在全部浓积云中所占的比例就是本文前述的降水机率 P 。根据本文资料, 全部浓积云的降水机率仅为7%。积雨云一般都有降水, 其降水机率接近于1。在降水云中只有一部分云水资源转化为降雨, 其余外流蒸发。降水部分所占的比例称为降水效率 E , 可从下式估算:

$$E = \frac{R_3}{R_2} \quad (7)$$

式中 R_3 为积云实际降雨量。如果积云一直停留在测站上空, 则 R_3 就是地面站所测的一次降雨量。浓积云的一次降雨量一般不到 1 mm , 若取浓积云的 $R_3 = 1\text{ mm}$, 则降水效率近似为 $E = 0.1$ 。地面站所测积雨云云体一次雨量一般小于 10 mm 。若取积雨云的 $R_3 = 15\text{ mm}$ (考虑到积雨云降雨时间较长, 一般会移过地面的测站, 即地面单站一次雨量一般小于云体的实际降雨量 0), 则 $E = 0.3$ 。

一块积云的雨水资源 V_R 可用下式估算:

$$V_R = V_c \cdot E \quad (8)$$

用式(8)算出, 一块浓积云的雨水资源 $V_R = 6 \times 10^6\text{ kg}$; 一块积雨云的雨水资源 $V_R = 7.5 \times 10^8\text{ kg}$ 。

某一地区在某一时段里的积云雨水总资源 M_R 可用下式估算:

$$M_R = M_c \cdot P \cdot E$$

(9)

对本文19天 10^4km^2 的范围而言,浓积云的雨水总资源 $M_R = 10^8\text{kg}$, 积雨云的雨水总资源为 $M_R = 1.5 \times 10^{10}\text{kg}$ 。这说明本地夏季浓积云同积雨云相比,虽然块数较多(约12倍),但云水总资源 M_c 较少(约为三分之一),雨水总资源更是少得多(约为一百五十分之一)。本地气象台站观测表明本地夏季雨量中积雨云占绝大部分,这同本文分析结果一致。

2. 积云的人工降水

本地浓积云的自然降水机率很小($P = 7\%$),但不是罕见的现象。它们的云顶温度虽然低于 0°C ,但都高于 -9°C 。在它们的生命过程中没有观测到丝缕结构、伪卷云等冰晶化的迹象,说明云中冰晶浓度很小,作用不显著。浓积云降水机率同云顶高度(和云厚)相关较好,而同云顶温度相关较差。这都说明浓积云降水是以暖雨机制为主。这同理论研究结果也是一致的。

本地浓积云很厚(约4km),含水量较大(约 1.7g/m^3),自然降水机率很低($P = 7\%$),降水效率也很低($E = 0.1$),说明积云的微物理稳定性较高,自然降水过程进行得很不充分。在夏旱期间只有局地降水的日子里,浓积云发展仍很旺盛。在所测的19天里在 10^4km^2 范围内,浓积云的云水总资源达到 $M_c = 1.5 \times 10^{10}\text{kg}$ 。它们的自然雨水总资源只有 $M_R = 10^7\text{kg}$,仅占云水总资源的150分之一。绝大部分的云水资源未被利用。所以人工降水有很大的潜力。由于本地浓积云云底温度高,降水以暖雨机制为主,所以可以采用暖云催化的方法来提高它们的降水机率和降水效率,使更多的云水资源转化为有益的雨水资源。鉴于浓积云的生命时间很短(约23分钟),催化必须采用比较迅速见效的方法。如果播撒盐粉,其颗粒不能太小。

根据湖南省1962、1968、1969三年飞机播撒盐粉的人工降水试验结果来看,催化前云顶高于4.5km,催化后没有发展成积雨云的浓积云共有18块,其中8块在催化后下了雨,降水机率为 $P = \frac{8}{18} = 44\%$ 。对照本文资料中云顶高于4.5km的浓积云,自然降水机率为 $P = \frac{4}{44} = 9\%$ 。催化的比自然的大了4倍。虽然这两组浓积云不是随机选取,两者不完全相当,但这样大的差别还是可以说明飞机播撒盐粉能提高浓积云的降水机率,其效果是明显的。

同积雨云相比,浓积云的雨水总资源只有积雨云的150分之一(两者相应的为 10^7kg 和 $1.5 \times 10^{10}\text{kg}$)。浓积云降雨量增加4倍的雨水量相当于积雨云降雨量增加3%的结果。所以积雨云的人工降水潜力十分重要。积雨云一般都有降水($P = 100\%$),但降水效率不高($E = 0.3$)。如果能使积雨云的降水效率提高到 $E = 0.4$,那末降雨量可以增加三分之一,整个地区的总雨量将有明显增大。在湖南1962、1968、1969年人工降水试验催化的62块积云中,有68%发展成积雨云,这种云催化后的雨量都比较大。由于本地积雨云的云底温度较高,暖雨过程对它们的降雨形成仍有重要作用。积雨云含有大量冰晶,它们对降雨过程也会有一定作用。特别是冰晶化潜热的释放可能对积云的升速和生命时间等起作用,这可能是积雨云的动力学特征同浓积云有明显差别的原因之一。所以对于积雨云的催化不但要考虑暖云催化方法,也要考虑引晶催化和动力催化方法。

参 考 文 献

- [1] 江西庐山天气控制研究所宏观组,江西九江的积云宏观特征,气象科学技术集刊, 2, 97, 气象出版社, 1982。

双经纬仪与711雷达配合观测对流云的初步分析*

俞香仁

李玉昆

(气象科学研究院庐山云雾试验站)

(湖南省气象科学研究所)

一、前言

用经纬仪与雷达相配合研究对流云,可以把两种仪器的探测能力有机地结合起来,更进一步地了解云体宏观的物理变化。

1979年7—8月,我们在湖南省安化县,用精度6秒级的DI和CJH型光学经纬仪各一台与711雷达相配合,并结合宏观素描和照相等方法,综合考察了对流云各发展阶段的宏观特征。地面雨量资料是从测站30km范围内布置的70个雨量点获得的(其中40个是自记雨量点)。探空及测风资料用距测站约45km的探空站07时的记录。本文就其中配合观测较好的21块对流云的宏观特点进行初步探讨。

二、对观测资料的初步分析

1. 双经纬仪测得的云顶高度和雷达回波顶高度(OdB)

我们选取1979年夏季雷达和经纬仪观测方位一致,观测时间相差不超过2分钟的对流云观测点56个,观测结果如图1所示。

图1中的各点都是从有降水的和无降水的浓积云及积雨云中选取的。双经纬仪测得的云顶高度(y)与雷达回波顶高(OdB)(x)的相关系数为94%,相应的回归方程为 $Y = 0.98X + 840$ 。从平均情况看,双经纬仪测得的云顶高与雷达回波顶高的差值略小于840m。这一差值与国外观测结果差别不大。如Harper, Ludlam和Saunders于1956年在英格兰发现双经纬仪方法测得的云顶和雷达所测云顶之差通常小于300m,而Saunders和Ronne于1962年在迈阿密州发现此差值不大于900m^[1]。

对不同类型的积云作进一步分类计算,其结果为(参看图2):

$$\text{有降水的浓积云 } \hat{Y} = 3646 + 0.518X$$

$$\text{无降水的浓积云 } \hat{Y} = 566 + 1.01X$$

$$\text{无降水的积雨云 } \hat{Y} = 766 + 0.983X$$

* 参加本文工作的还有:陈玉瑞、李其德、江祖凡、李延辉、邓青山、孙一军、刘跃宗、刘甫成、徐永胜、刘国生、黄世鸿等同志。

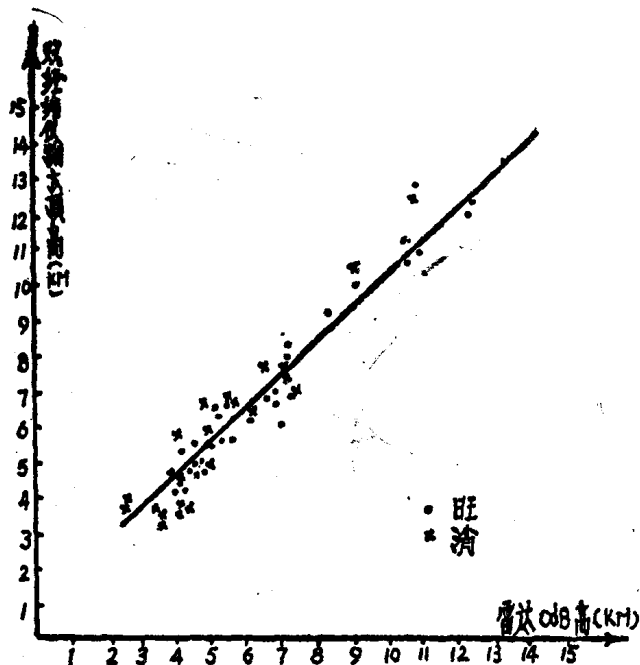


图1 双经纬仪测云高与雷达观测 (OdB) 云高的关系图

有降水的积雨云 $\hat{Y} = -963 + 1.27X$

就回归线的斜率而言, 降水性积雨云为最大, 而无降水的浓积云与无降水的积雨云次之, 有降水的浓积云的斜率最小。

图2中表明, 无降水的浓积云和无降水的积雨云的差值随高度变化不大。降水浓积云的差值, 随高度的增加而减小。降水积雨云的差值随高度的增加而增大。

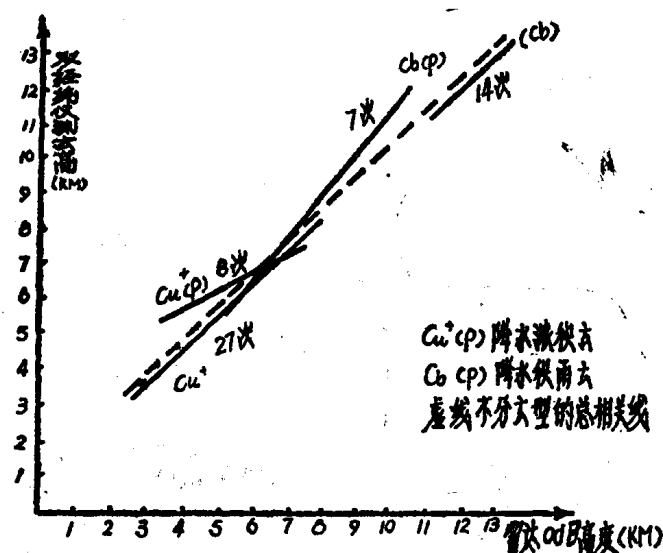


图2 双经纬仪观测各类云顶高与回波顶高的关系