

云雾降水物理基础

顾震潮 著

科学出版社

云雾降水物理基础

顾震潮 著

科学出版社

1980

内 容 简 介

本书较全面地介绍了云雾降水物理学的基本原理,阐明了云雾宏、微观特征,以及它们在降水过程中的作用和相互关系,并论述了人工影响天气的一些基本思路。书中的数据和实例尽量采用了国内资料和研究成果。全书共十三章,在每章后面附有习题,这对读者很有帮助。

本书可供从事大气物理和人工影响天气的研究及实际工作人员参考,也可作为大专院校大气物理专业的教师、研究生和高年级学生的教学参考书。

云 雾 降 水 物 理 基 础

顾震潮 著

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1980年11月第一版 开本: 787×1092 1/16

1980年11月第一次印刷 印张: 14 1/4

印数: 精1—1,010 插页: 精3 平1

平1—1,760 字数: 325,000

统一书号: 13031·1337

本社书号: 1930·18—15

定价: 精装本 3.10 元
平装本 2.30 元

序

本书是我国著名气象学家顾震潮教授的遗著。六十年代初他在中国科学技术大学讲授“云、降水物理学”时,写了此书,以后曾多次修改。1966年曾送出版社,文化大革命中,因出版社停业未能及时出版。

我国的云、降水物理学是在1958年创建的。顾震潮同志领导并组织了这门学科的建立。他亲自率领当时年青的科学工作者先后在我国西北、中南、华东等地进行飞机人工降水的科学实验,并曾在黄山和南岳建立云物理观测基地。他对基地的选择,仪器设备的筹备,观测规范的制定,人员的培训化费了不少心血。

在取得了试验和观测资料后,在他的参与和领导下,开展了云的微观物理、宏观物理、云动力学、云中电过程以及云的综合探测等多方面的研究,为我国的云、降水物理学奠定了基础。通过他以及在他指导下的青年同志们研究,取得了以下三方面的重要成果:一、揭示了我国云、降水的一些宏观和微观物理特征;二、提出了暖云降水的起伏理论,以及人工降水作业时的最佳撒播方法。这些理论和方法,突破了当时旧的观点,在云物理学上很有意义;三、他对盐核的来源、云滴谱的形成理论、云动力学、人工影响天气的效果检验、雷电定位和闪电信息的利用、爆炸对云发展的影响等方面提出了独特的见解。

顾震潮同志为培养和造就出一支我国云、降水物理学的科研队伍作出了重要贡献。他亲自率领一批人搞云、降水物理学的科学实验,曾在科学技术大学地球物理系讲授“云、降水物理学”课程,又到各个地方指导当地从事人工影响天气的研究人员的工作,帮助他们做好试验或作业。

顾震潮同志是一位又红又专的气象学家。他勤奋好学,对大气科学有高度的事业心。在科学研究中,他非常注意从实际出发,非常注意抓住主要矛盾,非常注意将试验或观测的结果上升到理论认识的高度。我同他相处近四十年,一直认为他是我学习的榜样。

本书虽然是在六十年代写的,但以后曾多次修改。即使在病中,他仍对本书作了最后一次修改。书中的基本内容与七十年代云、降水物理学相比较,并未过时。本书对于云、降水的宏观和微观过程的相互关系作了阐明,对人工影响天气的基本思路也有所论述,与国外一般的云、降水物理学教科书相比具有不同的特色。书中的数据和实例尽量采用国内的资料和研究成果。在各章最后附有习题,这对读者很有帮助。

在出版本书前,对原著曾作了一次整理,个别地方作了一些修改和补充,但绝大部分的内容仍保持原著者原来的面貌和特色。本书的出版是对顾震潮同志最好的纪念。

陶 诗 言

1979年

引 言

1. 云雾降水物理的性质、目的、任务

云雾降水物理是研究大气中水分在各阶段所经历的物理过程。由于云雾降水的形成和发展基本上是热力学和动力学的过程,因此云雾降水物理中主要的部分也是与热力学和动力学有关的。然而,云雾降水中有许多别的过程,如物理化学过程、电的过程等等,因此它所包含的面很广。

云雾降水物理中最主要的矛盾毕竟是大气在运动中实际可能容纳的水汽量和大气中实际存在的水分含量之间的矛盾。只是由于这种矛盾的存在,才有云雾的发生和发展(指大部分情况),以及降水的发生和减弱(蒸发)。这矛盾实际上贯穿在整个自然界气流与空中水分相变的相互制约过程中。当然,在云雾发展的某一个局部阶段,例如已经形成大小不同的云滴之后,别的矛盾,例如水滴大小不同的矛盾、液相和固相之间的矛盾、带电不同的矛盾等可能暂时转化为主要矛盾。但总的来说,不占经常的、主要的地位。因此所有的各种云雾降水物理现象中只有与这些主要矛盾相联系的现象才是更重要的。这也就说明了为什么云雾降水物理中基本的部分是热力学与动力学的过程。但由于云中微观过程与宏观过程密切相连,它与天气动力中的热力学、动力学不论在对象上、方法上都大大不同。

云雾降水物理服务面很广。首先,在目前云雾降水作为环境和介质对国民经济和国防活动影响很大。了解它的物理特征乃至更广的云雾光学、电学、结冰等特征也是十分有用、十分重要的。其次,云雾降水物理目前与天气预报也正开始在量的方面有所联系,开始结合起来。象单站预报中,特别是群众经验中已注意了并且用上了不少云雾降水现象作为预报指标。同时天气预报中对云雾降水的预报也要依赖于云雾物理,例如雷暴预报就要积云动力学的帮助。这就使云雾降水物理比较更多的与预报天气的工作联系起来。云雾降水物理现在已广泛地服务于人工影响云雾的各方面,例如人工消雾、人工降水、人工消雹、人工消雷以及人工造云等等,尽管在方法及技术上都还不很成熟,但已对国民经济起了很大的作用,特别是对作为国民经济基础的农业起了作用。长远来说,在人工消除暴雨、驱除大片云层使作物得到阳光等方面,也都要求云雾降水物理给出有效可行的方法和技术。将来云雾降水物理必定会发挥比今天远为巨大的作用。由此可见云雾降水物理是一门有实际意义并富有生命力的重要学科。

从发展来看,云雾降水物理还远没有成长到相当充分的地步,云中的实际情况了解得还远远不够,特殊情况下如雷雨中的情况知道得更少。这确定了云雾降水物理的相对幼稚性,然而,正因为如此,它有着广阔的发展前途。

目前在一些根本问题上云雾物理的进展是不够快的。对于云雾降水物理中的基本矛盾没有深入掌握,气流与水分相变或降水发展的相互制约或总的来说对宏观条件和微观结构的相互制约还很少研究,而这正是关键问题。对云雾降水物理性质还没有从发展观点掌握,不曾对从云滴到形成雨滴看作连续不断的发展过程,也不曾考虑到实际的复杂情

况下云滴生长各种因素的相互制约,而把过冷云与暖云云滴生长简单地各归结成不同的生长过程,更不用说电、声、湍流的因素了。总之,孤立的、分割的、单因子的、静态的理论和实验较多,而全面的、统一的、复合的、发展的理论和实验则很少。这在方法论上是一个巨大的缺陷。

必须强调,云雾降水物理必然要充分研究气流与水分相变的制约关系,如果过去在这方面注意得还不够,那末在将来,它必然要深入到这个根本问题里去。而这就必然引向天气控制问题。这就是说,不仅影响到空中水分的相态和分散度,并且更根本的,要改变气流,从而控制天气(包括云雾降水在内),这是人类长久以来的理想。就是在共产主义社会中它也一定是人与自然斗争中的一个重要方面。

2. 我国云雾降水物理的发展

从我国自己的云雾降水物理发展来看,一方面说明了任务带学科等基本的发展道路,另一方面也说明了我们的云雾降水物理发展有着很大的特殊性。

在1958年以前,我国还没有对云雾降水物理进行系统的研究。仅仅在云下电场等方面有一些零星的观测研究。但另一方面在农民群众中却积累了好多很有价值的云雾降水物理知识。我国广大农民群众,为了保护自己的劳动果实不被天灾所损毁,想了种种办法与天气作斗争,因而不但在天气预报方面有许多经验,并且也在人工消雹、人工降雨等方面取得了许多成功的经验,敏锐地观察到许多云雾降水物理现象,这是十分值得注意的。姑且不说历来相传精粗混杂的“祈雨书”等,就说目前流传在群众中的就有观测雹云、预报冰雹云活动、土炮消雹等一整套的办法和人工降雨的办法。其中有的只是在最近几年运用近代科学和理论加以观测、分析后才得到科学总结。而有的还不是云雾降水物理这学科目前的水平所能解释的。这就是说,长久以来影响天气,控制天气的要求与云雾降水物理这一门学科的一穷二白状态之间已有着明显的矛盾,群众实践与专业研究工作间有着明显的矛盾。

为了帮助农业解决“水”的问题,1958年人们在当年干旱最严重的吉林省首先进行了人工降水的试验,取得了实效。中国科学院地球物理研究所为了帮助解决西北干旱问题也在祁连山区,以后在兰州附近进行了人工降水的试验,取得一定效果。之后各地人工影响云雾的试验大量开始。形势要求云雾降水物理加快发展,这样,我们的云雾降水物理自1958年开始就被人工降水的具体、迫切的任务带动起来,为解决实际任务服务。

为了最好最快的解决问题,必须把我们的云雾降水物理研究与我国人工降水的野外试验结合起来,把微观物理与大量的宏观作业结合起来。事实上这样也就给我国云雾降水物理的研究提出了联系本国实际的重要课题。人工降水野外工作中提出的许多问题都没有现成的云雾降水物理知识可直接回答。这些在自然条件下,从实践中所提出的实际问题对云雾降水物理有很大的推动作用。例如土炮消雹的作用、雹云的光电现象等等都是新的知识、新的问题。

在这样的情况下,我国云雾降水物理的发展十分迅速。现在我们已有自己的野外作业经验,云物理观测仪器、观测数据以及云雾物理理论。云雾物理已经在我国建立起来了。不但如此,大气物理的其它分支象大气电学等也已经带动起来,这是气象工作上1958年以来的巨大成绩之一。

3. 本书章节的安排

正象其他学科一样, 云雾物理首先也必须认识实际情况, 认识对象的特殊性。第一章中我们把云雾的一般情况和宏观特征先作介绍。虽然云雾物理整个的学科还不很成熟, 但一些基本过程可以描写出来, 当然, 云雾物理基本方程组现在还不能整个地求解, 但由此可以了解各个过程的相互制约, 了解整个面貌, 还不是徒具形式的东西。第二章中给的就是这过程的整个轮廓, 具体的还在各章之中, 没有都包括在这章里(例如起伏增长), 有的也不在本书范围(如云雾电学及光学的现象)。云雾的宏观过程在决定云雾发展的矛盾中占了主导地位。第三章宏观动力学是云雾物理学的重要基础。宏观动力学给了发生云雾的动力背景, 因此云雾物理不能只是谈云雾微物理, 不能首先谈相变热力学。了解宏观物理基础之后我们在第四章中对云雾微结构的实际情况进行了解, 接着根据这些实际情况探讨微结构的理论。而微结构的组成最后又是相变的结果, 因此第六章我们讨论了相变。相变是需要凝结核的, 由此转到凝结核的讨论。所有这些都是云雾滴发生发展初期的事。在云雾降水进一步发展时不能不考虑到云滴之间碰撞合并而长大的问题。因此, 要在云雾粒子力学的基础上讨论云雾降水的碰并增长。近年来, 我国气象工作者创造了云滴的随机增长理论, 打破了十多年来许多著名气象学家、物理学家努力突破而没有能突破的旧理论(均匀增长理论)为云雾物理开辟了一条新的道路。第十章就是这一理论的轮廓。它更好地解释了云雾降水的实际过程。在这基础上我们对降水粒子的形成(第十一章)就有更好的了解了。第十二章讨论了更严重的降水——冰雹。由于我国冰雹特别多, 成灾也重, 我们需要特别注意它, 因此专章讨论。并且由于冰雹比较特殊, 为了集中地了解冰雹, 我们把冰雹的出现情况(地理分布等等)都集中在一起讲。最后一章是云雾降水物理服务的重要对象——人工影响云雾工作。人工影响云雾的工作整个说来还没有完全成熟, 因此还很不容易选择材料和估价。在这章中主要着重于总的了解, 着重在原理和一些可能的线索。避免陷入烦琐而又不大成熟、不大牢靠的技术细节。有些讲法也只是我们的一种看法。这一章很难说组织得合适。它还要日后大家提意见改写几次才行。

至于其它问题如飞机结冰、拉烟、乃至云雾光学、电学、雷暴预报等等就都不能在一个有限的篇幅中安排进去了。有的重要问题例如卷云等高云的问题, 是很需要在这里讲得更详细的, 但限于现有材料, 也没有能更详细的讨论。

目 录

序.....	iii
引言.....	iv
第一章 云雾降水一般情况及宏观特征.....	1
1.1 云雾降水的特性和类别	1
1.2 云和降水的宏观特征	3
第二章 云雾物理基本方程.....	35
第三章 宏观动力学.....	40
3.1 积云动力学的基本方程及其简化	40
3.2 积云的发生发展条件	45
3.3 积云的生长过程	50
3.4 层状云的动力学	55
3.5 云的几种结构形式	59
第四章 云雾降水微观特征.....	62
4.1 积状云的滴谱	63
4.2 层状云滴谱和雾滴谱	68
4.3 特小云滴	74
4.4 特大云滴	74
4.5 云雾微结构的起伏	77
4.6 冰云的微结构	79
4.7 降水微结构特征	84
第五章 云雾凝结增长理论.....	90
5.1 水滴的凝结增长	90
5.2 冰晶的凝结增长	97
5.3 冰水共存时冰晶的生长	100
第六章 新相形成理论	104
6.1 新相形成的热力学特性和自发形成的过程	104
6.2 外来核对新相形成的影响	109
第七章 大气凝结核和成冰核	115
7.1 大气凝结核	115
7.2 巨盐核	118
7.3 大气冰核	123
第八章 云雾粒子力学	127
8.1 单个云滴和云滴群在介质中受到的阻力	127
8.2 云滴运动方程和云滴运动相似理论	129
8.3 云滴运动的一般性质	130
8.4 云滴碰并	132

8.5 云滴的并合	145
第九章 云滴和降水粒子的碰并增长	148
9.1 云滴碰并增长的一般理论	148
9.2 云滴和降水粒子的重力碰并增长	152
9.3 云滴和降水粒子随高度的重力碰并增长	154
9.4 $w=w(z)$ 的情况	158
9.5 关于重力碰并增长的验证	161
第十章 云滴的随机增长	163
10.1 云滴起伏增长的基本概念和方法	164
10.2 云滴的凝结起伏增长	166
10.3 含水量有起伏时云滴的重力碰并增长	167
10.4 上升气流起伏下重力碰并增长	168
10.5 不连续随机重力碰并增长	170
第十一章 降水粒子的形成	173
11.1 层状云中降水粒子的形成	173
11.2 积状云中降水粒子的形成	177
11.3 雨滴的变形、末速和破碎	180
11.4 重力碰并生长的连锁反应	184
11.5 雨滴蒸发	186
第十二章 冰雹	189
12.1 冰雹的一般性质	189
12.2 冰雹出现的情况	191
12.3 冰雹生成理论	194
第十三章 人工影响云雾问题	198
13.1 总的情况	198
13.2 人工影响云雾的原理	199
13.3 人工降雨、消云的宏观条件	201
13.4 用盐粉作为人工凝结核进行人工降水	203
13.5 用干冰和碘化银形成冰晶进行人工降水	205
13.6 防雹	207
13.7 消云和消雾	208
13.8 人工影响云雾效果的检验	210
附录 I 云的分类(国际类别)	216
附录 II 我国常见云的云底高度	218
附录 III 辨认云类的检索表	219

第一章 云雾降水一般情况及宏观特征

我们在大气中常看到的云雾,它们的形状、大小、高低等等极为不同,千变万化,但是它们都是由许多极小的水滴或冰晶聚集而成的(图 1.1.1, 1.1.2), 所以云雾可以说是大气中水分组成的气溶胶。云雾的这种本质决定了研究云雾的重要意义, 大家知道对于人和其他生物包括农作物在内,是不能缺少水的,我们不能不关心到水的来源和去路,因而也不能不关心大气中水的相变。而凡是要牵涉这些状态变化,预测和改变大地所能有的水的情况(例如人工降水、天气预报等)都不能不涉及到云雾这重要环节。

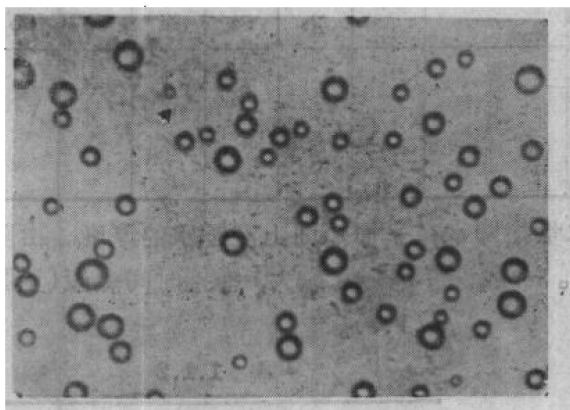


图 1.1.1 小水滴

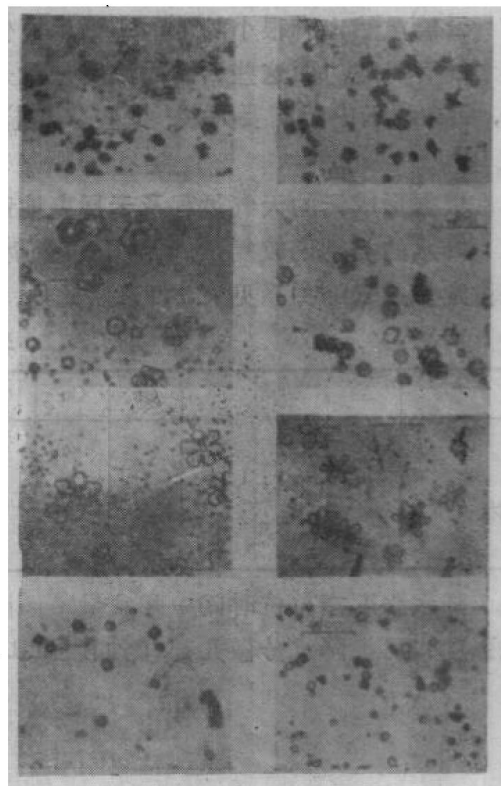


图 1.1.2 小冰晶

在理论上,也是这样,因为大气中不但有水的相变,而且大气中水的相变还引起很大的能量变化(水在相变时吸收或放出的热远比空气的比热来得大)因而影响到大气运动。因此要彻底、细致地研究大气运动也不能不考虑云雾问题。

降水是云雾气溶胶在不稳定状态下沉降的结果,所以这些气溶胶的形成、发展、沉淀构成了气象预报及影响的一个重要部分。

1.1 云雾降水的特性和类别

云的外形有着很多不同的样子,例如层状、波状、纤维状、成团或成堆的积状,这反映了生成过程的多样性。由此可以分成层云、卷云、积云等等。云(雾)可以由液态或固态气溶胶(如纤维状的云)组成,也可以是混合液态和固态的(如雷雨云)。由此可以分成暖云、冷(冰)云或混合云。尤其重要的是常有过冷水滴($0-20^{\circ}\text{C}$, 乃至 -50°C)组成的过冷云。

云的水平范围有很大不同,由几公里到几千公里,依造成云的过程的水平范围而定。厚度也有很大不同,由几百米到一、二十公里。

云随着空气而移动,但由于云本身不断生消,云速往往不等于风速。

云雾都是水汽在凝结核上凝结生长起来的。这些凝结核($r \sim 10^{-6} - 10^{-3}$ 厘米)在大气中一般是小核多,大核少($10^{-3} - 10^{-4}$ 个/厘米³ 或更少)。凝结的原因不同,有: 1) 上升绝热冷却, 2) 辐射冷却, 3) 湍流混合冷却等等。对于大部分的云,上升绝热冷却是主要的。但对于地面上的雾来说,后两种原因却是主要的。

云滴虽然也有很小的($r < 1$ 微米),但除了能见度问题以外,一般只对 $r > 1$ 微米上的水滴有兴趣,而这些云滴的浓度一般是 $10^1 - 10^3$ 个/厘米³。雾滴可能比云滴小些、浓些,而在积云中云滴要大些、少些。这样云滴平均距离 L 与云滴本身大小 r 的比 L/r 约是 10^2 。

根据形成云的天气过程及云层离地高度可以把云分做十大类(见附录一)。

降水的类别比较复杂,除了雨、雪、冰粒、霰以外还有毛毛雨、米雪、霰、冰针。它与不同稳定性的云的关系见表 1.1.1。此外,雨淞、明冰、雾淞也是降水的特殊形式。

表 1.1.1

	As	Ns	Sc	St	Cu	Cb		As	Ns	Sc	St	Cu	Cb
雨	✓	✓	✓		✓	✓	雹						✓
雪	✓	✓	✓			✓	毛毛雨				✓		
冰粒	✓	✓				✓	米雪				✓		
霰			✓			✓	冰针				✓		

降水强度指单位时间中降水量,而降水量指降水在平面地面上液态水的厚度。由降水强度也可把降水分做几类(例如表 1.1.2)。一般说降水强度愈大,维持时间愈短(见图

1.1.3)。

表 1.1.2

小雨	0—10 毫米/日
中雨	10—25 毫米/日
大雨	25—50 毫米/日
暴雨	>50 毫米/日

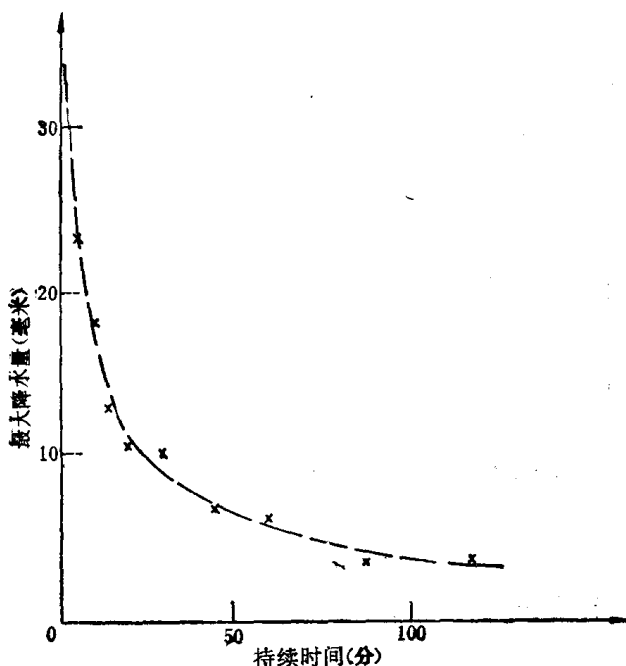


图 1.1.3 一定时间内连续降水的最大降水量

降水范围大小很有出入,但降水强度愈大,范围愈小。显然,降水不只云下有,在云内也已有降水。

降水粒子的浓度要比云滴小得多,一般 $10^3 - 10^0$ 个/米³,但大小则大得多(半径 $10^{-2} - 10^{-1}$ 厘米,见图 1.1.4)。毛毛雨雨滴小而密,雷阵雨则大而稀。

降水也是与上升运动密切有关的。在雾中就不能形成比毛毛雨更大的降水(雾淞除外)。从天气动力学说来,上升气流

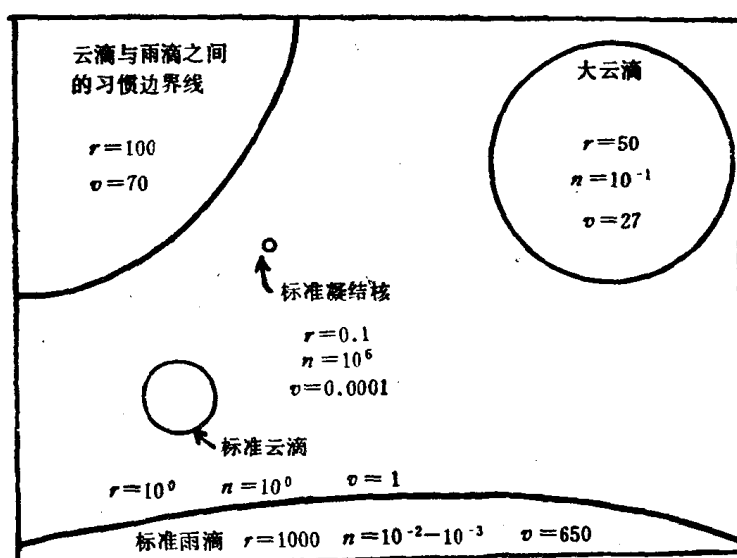


图 1.1.4

r ——半径(微米), n ——(个数/升), v ——末速度(厘米/秒)

愈强, 降水强度愈大。但在具体的云物理过程中, 气流强到降水粒子不能下降却是不利的。另外, 降水也可以在云中形成后在云下蒸发, 不在地面形成降水(雨幡、雪幡)。

按我国的情况来说, 云和降水西北地区少而东南地区多。但空间及时间分布不均匀。例如湖南、江西的中南部春季雨水(雷雨)特多, 到盛夏虽然积云不少, 反而干旱(图 1.1.5)。因此常需要人工降水。一般说来, 我国降水带与锋面有着密切的关系。春季主要锋系移到南岭, 以后天气转暖, 锋系就逐渐北移, 盛夏时到达华北、东北。在沿海一带台风降水占了不小的一部分。

雷雨是一种特殊的降水现象, 不但降水强度大, 并伴有雷电, 有时产生冰雹。7, 8月间长江以南山区, 雷雨一个月可以多到 15 天以上(见图 1.1.6)。西北、华北一般雷雨不多, 但常形成冰雹, 影响很大。东北春季雷暴常常还引起林火。

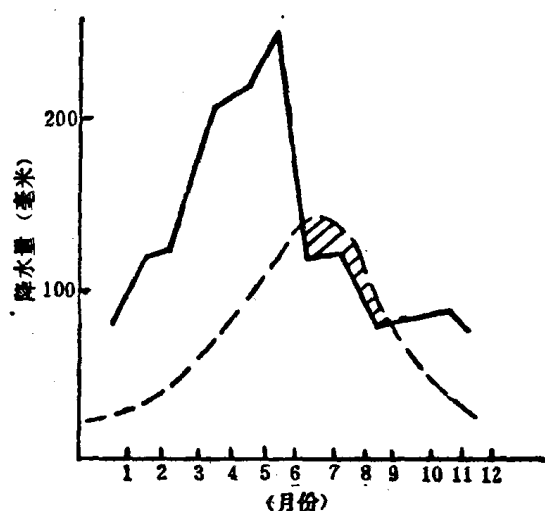


图 1.1.5 长沙降水量(实线)和蒸发量(虚线)的年变化

1.2 云和降水的宏观特征

云雾总的特征, 即作为整体来看的许多特征称作宏观特征。它包括了云的外形、水平伸展、垂直伸展、生命史、云中温度场、气流场、含水量场等特征, 我们也把它们归之为宏观特征。在云雾物理里, 只把云中粒子的大小分布和相态结构特征称做微观特征。

云雾的宏观特征, 即使在外形上看也是十分多样的。这些多样、复杂的宏观特征, 正

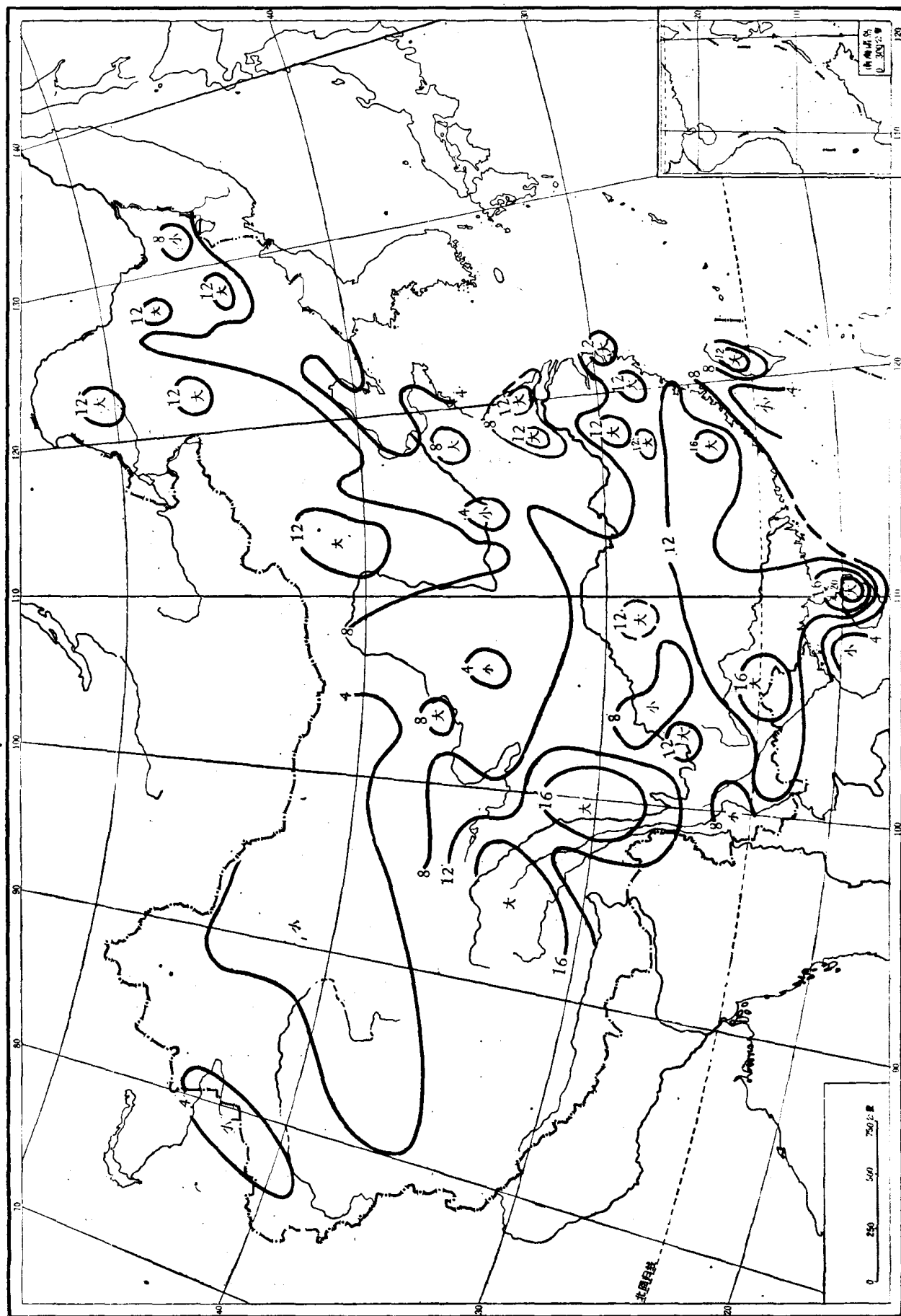


图 1.1.6 7 月份雷暴日数

反映了云雾内部过程的复杂性。它对我们了解云的内部过程有着很大的帮助。在建立云雾降水的宏观过程理论,以至建立微观过程理论时,就要解释这些宏观特征。它也是分析问题的依据,以及检验理论是否正确的标准。因此,认真地掌握住这些基本事实是十分重要的。

云雾的这些宏观特征不但能帮助我们了解它的内部过程,并且也反映了云雾出现的天气条件。所以它对人工降水作业(例如对于作业对象的选择,云中水分多少的估计,作业的方法等等),乃至天气预报工作都有很大用处。

不同的云有着不同的宏观特征。尤其是对流云和层状云(和雾),这两大类的特性与过程有很大的差别。为此,我们将分别按对流云、层状云两大类来讨论它们的宏观特征。

1.2.1 对 流 云

对流云包括淡积云、中积云、浓积云、积雨云。它们的对流活动是很不相同的。许多危险性天气,诸如雷暴、冰雹、暴雨等是和对流云的发展有关的,因此,研究这种云的规律性对许多国民经济部门:农业、林业、航空、水利等等有很大用处。此外浓积云等目前还往往是我国南方干旱季节时人工影响对象,因此,对人工降水也有实际意义。

一、对流云的空间尺度

对流云到底有多高、多厚、多大,这是我们在观测对流云时首先引人注意的一个问题。而且,许多大气中的动力学问题与它的空间尺度有关。对流云的空间尺度,决定了它的动力条件有许多不同于一般天气运动的特点。此外,作为人工影响对象,它的水平伸展、垂直伸展到底有多么大,也是人工降水工作者所关心的。它影响到人工影响的方法。云的厚度和云滴的长大还有一些复杂关系,对云雾微观过程也提供了许多有意义的课题(如薄云降水、薄云降雹等)。为此,我们首先要将对流云的空间尺度特征总结如下。

不同发展阶段中对流云的空间尺度差别很大,同时随气团属性的不同差异很大。一般中纬度锋面性的对流云,在发展初期其厚度就可达5—6公里,甚至有时还观测到积雨云顶有向上发展到平流层内的,然而信风积云一般厚度却只有1—2公里,在极地气团中,积云即使发展到积雨云阶段一般也只有4—5公里厚。对流云垂直发展厚度的差异在我国表现得很悬殊。在华南海洋气团中,由于空气潮湿不稳定,浓积云的厚度可以到达10公里。而在西北即使是山区,积雨云的厚度常常也只有3公里左右。

对流云的水平尺度,一般在淡积云阶段时为几百米到1公里的量级,浓积云和积雨云的水平宽度为几公里,但有些锋面性的积雨云可以延展到10—20公里的宽度。

对流云的厚度和宽度虽然因时、因地差异很大。但是与大气中某些局地现象(如山谷风、海陆风)不同,对流云的垂直尺度 H 与水平尺度 L 具有同一量级,即 $H/L \approx 1$ 。而在大气中一般的“长波”现象中 $H/L \sim 10^{-1} - 10^{-2}$,这是对流云发展过程中另一个极为重要的特征,在建立对流云发展的动力学模式时必须抓住这一特征。

二、对流云的生命史

对流云有其发生、发展、消亡的过程。这个过程也可以提供许多了解它们内部机制的线索。对流云生命一般还比较短(与层状云相比)。这是积云动力理论所要解释的一个重要课题,也是微观理论所要解释的一个重要课题(阵雨的形成等)。此外,在人工降水工作中,抓住时机进行作业是非常重要的事。为此也要了解对流云生命过程中的一些特征。

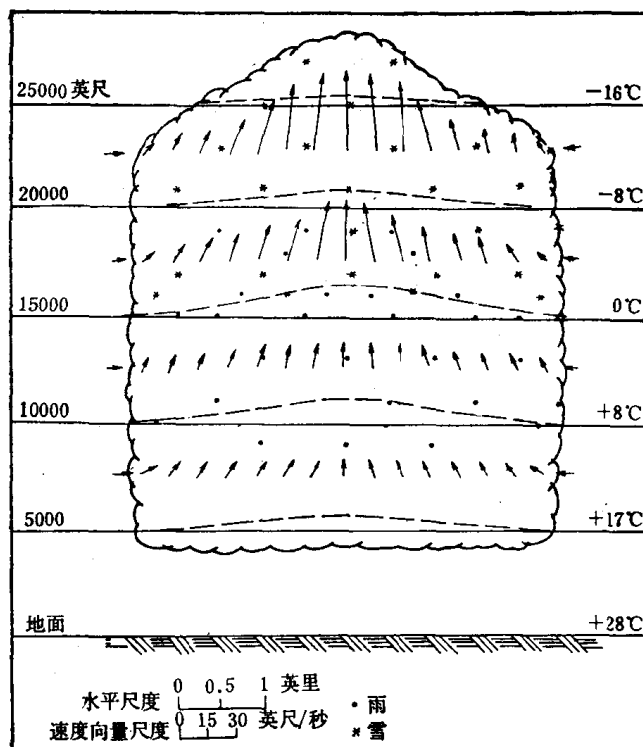


图 1.2.1a 形成阶段的积云垂直剖面图

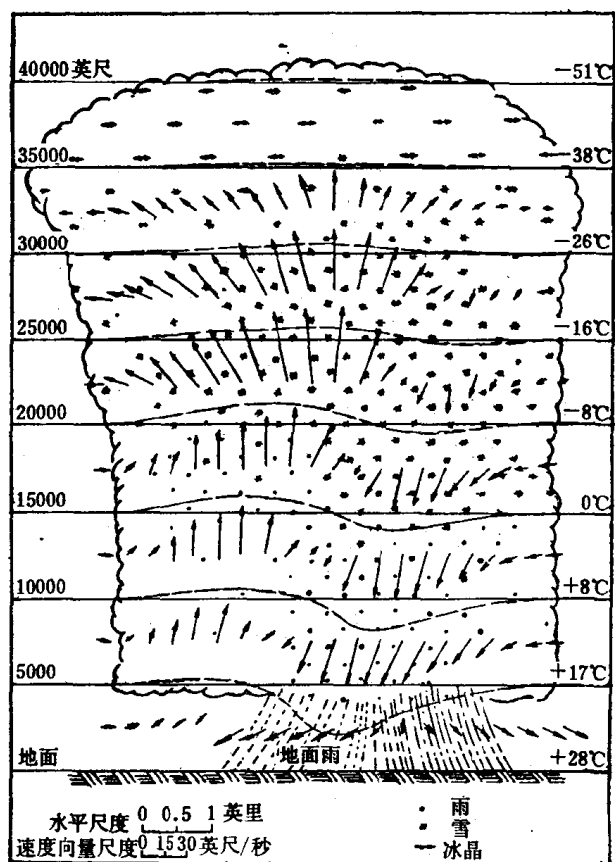


图 1.2.1b 成熟阶段的积云垂直剖面图

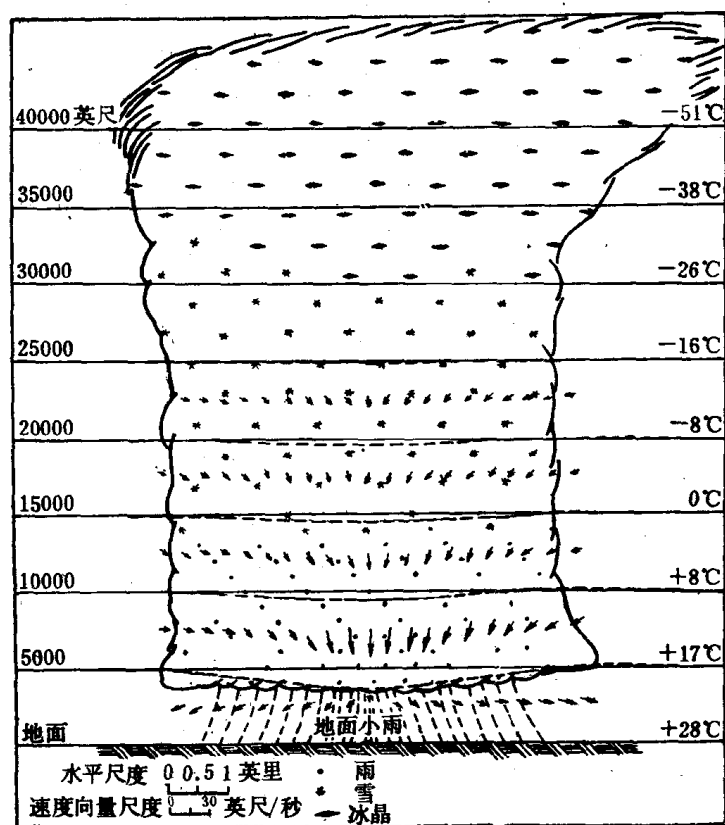


图 1.2.1c 消散阶段的积云垂直剖面图

对流云发展最完整的生命史一般可以分成三个阶段。这三个阶段是：1) 形成阶段。这个阶段的特征是云中都是上升气流(指有组织的气流而不是指脉动气流)。从外形上看, 这个阶段中对流云顶是圆弧状的, 到后期时云体耸立成塔状, 也就是说这个阶段基本上是从淡积云向浓积云发展的阶段。2) 成熟阶段。这一阶段的特征是云中除有组织的上升气流外, 同时也出现了有组织下沉气流, 这一个阶段是从浓积云向积雨云过渡的阶段, 因此在这一个阶段的末期, 从云体的外形上看, 顶部向两侧延展而成砧状。第二阶段中较容易出现降水。3) 消散阶段。这一个阶段的特征是云中皆为有组织下沉气流, 或者至少在云的底层全部是下沉气流(图 1.2.1)。

对于一块发展很充分的对流云它可以历经上面这三个阶段。在一般情况下, 对流云往往因外部条件的改变而“未老先衰”, 不一定能够发展成积雨云。在同样的大型天气条件下, 在某一地区也可以有些对流云在发展, 而另一些对流云得不到发展而消散。例如在西北平坦地区积云往往只是淡积云, 很少能发展成浓积云或积雨云。

一块对流云从它的形成发展到第一阶段的终结, 总的需要时间还不很清楚, 一般只能从有雷达回波开始时计算。这在中纬度一般需要 10—15 分钟; 而成熟阶段的持续时间是 15—30 分钟。当然, 云的各个阶段的开始和持续时间是因时、因地而不同的, 这与地理条件及气团的属性有很大关系。例如在极地气团中, 气团内部的雷雨云从开始发展到降水出现平均需时 1.7 小时, 慢的要 2.7 小时。在我国, 根据西北马衔山观测的结果。一块只一两公里厚的地形积云从形成到发展成熟, 只要十几分钟。总之, 在中、低纬度的暖季中可能要经过 10—20 分钟以上或稍多的时间, 积云便能够发展成熟; 在高纬度则要缓慢些。

不过要注意的是,我们常常观测到一块对流云的形态能维持很长的时间而很少变化,似乎发展很缓慢,但事实上所观测到的积云在不断地生长,又不断地衰退,由于这些演变发生在同一地点,因此观测往往不会觉察到这块积云已经更替了好几次。

对于对流云的消散阶段很难给予确切的时间量级,一般估计是30分钟左右。但是观测指出,在很多情况下对流云的崩溃比它的发展还要来得迅速。如Шихов曾发现在不稳定层结大气中,云厚1.5—4.5公里的积云在2—6分钟内就可以完全消散,有时对流云在开始降水后只7分钟就崩溃了。

对流云发展的迅速和崩溃的突然性是它生命史中的一个很重要的特征,是值得注意的。

三、对流云结构及发展演变过程的一些特性

上面所讲的对流云的生命过程、特性是把对流云作为一个整体而言的。实际上,一块对流云往往是由若干个云塔组成,这些云塔水平大小一般是几百米到1、2公里。它们的相继发生、发展演变过程的综合构成整块积云的生命过程。个别云塔的发展趋势有时可以与整块积云的发展趋势不一致,有时在整块积云处在发展时,其中的个别云塔可以处在消散过程。相反,在整个积云处在消散阶段时,其中的个别云塔也可以是略在发展的。在实际观测中,这种现象是可以经常遇到的。从云塔外表的花椰菜结构可以看出每个云塔内包含有许多云泡。这些云泡大小一般是几十米到一、二百米。从飞机穿云时所作的温度和垂直速度的脉动观测结果分析,也可以说明这种云泡的结构。云塔中的个别云泡的生消也往往与云塔的演变趋势是不一致的。在云塔上升发展时,常常有一些云泡在下沉消散。整个积云的这种云塔、云泡结构在发展阶段最为明显。在消散阶段则变得不明显。

云塔的生命时间要比整个积云的生命时间短。一般它从生成到消散只是几分钟到20分钟。云泡的生命时间则更短,一般只有1分钟到5分钟。

云塔的消散,有时可以发生在云仍在上升的时候,并不是一一定要在下沉过程中才消散。这与云外未饱和空气进入云内混和有密切关系。

四、关于地形积云发展的一些情况

地形作为一个动力边界和热力边界对大气的运动有一定的影响,因此对云的形成和发展也起一定的作用。由于地形作用而形成的云称为地形云。地形云有各种形态,在本节中只讲地形作用下的对流云的一些宏观性质。

根据1958年以来我们在甘肃马衔山(山长约30公里,宽约10公里)观测的结果,发现地形积云的发展演变有着明显的日变化。一般是在上午8时出现(最早6时半,最迟11时半),下午20时左右消失。一般在11—13时发展最迅速,13—14时发展最旺盛,其厚度一般是1—2公里,有时可发展到3—4公里,变成积雨云。

地形积云有它的特点,首先它形成后很少移动,基本上在原地发展与消散。地形积云的形成、发展与消散往往是非常迅速的,有时10分钟左右即可发展成1—2公里厚的积雨云,经10分钟左右后又演变为伪卷云而消散。一般来说,地形积云从它的形成、发展到浓积云最后消散只有十几分钟,然而云顶的垂直发展速度却是很快的,有时可以到8—10米/秒。地形积云的发展与消散,在同一块云内可以是不均匀的,有时在云的发展中间又可以夹有小的消散过程。在大块积云消散时也可以夹有小的发展过程。当盛行风小时