



云物理学简编

云、雨和人工造雨

[英] B. J. 梅森 著

云物理学简编

云、雨和人工造雨

〔英〕 B. J. 梅森 著

王 鹏 飞 译

科 学 出 版 社

1 9 8 3

内 容 简 介

本书是英国著名云物理学家梅森所著，系按1975年第二版译出，全书共分七章。简明扼要地介绍了云的形成，云中雨、雪、雹和闪电发展以及人工影响云雾作业的最近研究成果。着重物理概念，但在有关章节中列举了一些较易动手做的实验，以加深认识。本书可供气象工作者和高等院校有关专业的师生阅读。对于从事人工影响天气的气象台站人员，有参考价值。

B. J. Mason

CLOUDS, RAIN AND RAINMAKING

Cambridge University Press, 1975

云 物 理 学 简 编

云、雨和人工造雨

〔英〕 B. J. 梅森 著

王 鹏 飞 译

责任编辑 侯建勤 许贻刚

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

1983年7月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1983年7月第一次印刷 印张：8 1/2

印数：0001—3,800 字数：149,000

统一书号：13031·2240

本社书号：3063·13—15

定价：1.05 元

译 者 的 话

本书是英国气象局局长、著名云物理学家梅森所著。其第一版于1962年出版。本书是按1975年第二版译出的。这是一本给已有初步云物理学常识的读者写的读物，可供气象工作者、教师等阅读。对从事人工影响天气的气象台站人员有参考价值。作者名著《云物理学》初版在1957年出版，1971年修订为第二版，已有科学出版社1978年的译本。本书实际上是《云物理学》第二版的简缩本，还充实了1971年后的研究成果。与《云物理学》一书相比，本书具有简明扼要、条理清晰且包含1971年到1974年的重要新发展的特点，提出了存在于1971年云物理学中尚未解决的问题的某些解决途径。只要具有一般物理和数学基础，就可以用较短时间系统地了解云雨物理学近年来的进展概况和成就，因此翻译出版本书是很有意义的。

本书译稿承顾均禧、何珍珍同志审阅，并提出修改意见，特此致谢。

第 二 版 序

这本书的结构和所介绍的范围，与第一版相同，但是为了适应近十年来的主要进展对第一版进行了修订。许多读者希望获得云物理学简明扼要、说理浅显、且包含最新成就的各种知识，这一版仍是为这些广大读者而写的。读者如想了解这方面更详细的内容和原始文献，请参阅作者《云物理学》的新版*。

感谢 Eileen Forde 女士帮助整理稿件和索引。

B.J.梅森

1974年3月于布拉克内尔气象局

*指1971年第二版《云物理学》。在本书内引用的《云物理学》也指此书。
——译者注

第一版序节要

在这本小册子里，我试图简明扼要地介绍云的形成，以及云中产生雨、雪、雹、闪电等方面的最新研究成果。我希望已从通俗读物中了解一定的云物理知识后，想更多知道一些细节，但又不想十分细致地深入钻研作者的《云物理学》一书*的广大读者，有兴趣阅读它！

学习本书时，除需要有基本的物理知识外，还应掌握书中所列数学式子的计算，从而获得数量级的概念。在本书的有些章节内，我们还设计了一些“自己动手”的实验，以鼓励读者亲自实验来观测一些现象。

如果本书能增加经常注意天空变化的人的知识，使他们感到兴趣，并能启发他们从大气中和实验室里研究浩瀚的物理过程，那我是很愉快的。

我十分感谢允许我复制本书中所需各图的许多学术团体、出版社及作者。特别感谢 G. Haigh 博士为我检验和证明公式，S.H.Wood 女士为手稿打字，Y. Banos 女士为我整理索引。

*指1957年第一版《云物理学》。——译者注

目 录

译者的话	iii
第二版序	v
第一版序节要	vi
第一章 云状及其特征	1
第二章 云的凝结核	24
第三章 云滴的增长	42
第四章 雪晶的生成和增长	62
第五章 雪、雨和雹	98
第六章 人工造雨、消雹试验	129
第七章 雷雨云的起电	154
附录	192
英汉术语对照	193

第一章 云状及其特征

§ 1.1 前 言

大气中当含有水汽的空气上升到较高处时，因气压变低就膨胀冷却，其中有些水汽就凝结成为无数云滴，于是云就形成了。

一眼看来，云天好象很混乱。但熟练的观测员会发现：其总的形势却具有某些规律性，可以归纳为便于识别的若干类型；云状也可以明确地进行分类。而千变万化的云天状况和云形本身也表达了空气上升形成云的方式。

气象学家主要是根据国际规定按形态对云进行分类的。这种分类法基本上与 150 年前在伦敦出生的药剂师 Luke Howard 所提出的分类法相似。但是云的大小、形状、结构、组织等，大大受到云体形成和增长时气流运动和云粒演变的影响，因此早先的纯形态学分类，现在已从物理基础出发加以修改。现把主要云形，列在表 1 并加以说明。

有的云层延伸范围达几百英里，说明有大范围稳定的上升气流存在；有的云在空中孤离成簇、成堆，说明有局地不规则上升气流存在。前者称为“层状云”，后者称为“积状云”。不管是哪一类云，只要气流能持久上升，云层就愈来愈厚，愈来愈密，最后就会降雨。降自层状云的是连绵雨，降自积状云的则为阵雨。

表1 云的主要类型

云 型	简写 符号	描 述	温 带 区		垂直运动种类
			云 高 范 围	温 度 范 围	
I. 层状云					
高云	Ci	孤高散处的白色纤缕云，呈瓣、线、尾丝、羽毛或带状	> 6000 米	< -25℃	大范围、持久、有规律 的上升气流。一般垂 直速度为5—10厘米/ 秒
卷云	Cc	由小白片或小球块按瓣状方式排列成层或成片的云，形成于卷云间，行列或多或少有些规律，往往象海面上			
卷层云	Cs	呈波纹的沙 融合成片的卷状云，并不遮蔽日月，但可出现晕，有时象弥散的白纱横贯天空			
中云	As	具有条纹或丝缕的灰色均匀云层，无晕，隔云看太阳只能看见弱光斑或完全看不见	2000—6000 米	0—-25℃	大范围、不规则扰动。 垂直速度一般<10厘米/秒
高层云	Ac	由扁平球状云块组成的镶嵌状云层。也有成片或成块的。往往排列成组成行或象海面上滚轴状波浪			
低云	Sc	由片状或块状云体组成的云层。云体排列成组、成条、或呈波状，外形柔和，略带灰色。云条边缘往往紧密接，使云层呈起伏状。“积云性层积云”是由积云顶平展，而在积云母体消失后所形成	< 2000 米	一般 > -5℃	
层云	St	不定形的均匀云层，似雾但不与地相接。当这种云破裂成碎片时，就称碎层云	一般距地约 300—600 米	—	大范围、不规则扰动。 为近地面薄层冷湿空气抬升而成 大范围、有规则上升气流。垂直速度约5—20厘米/秒
雨层云	Ns	不定形、暗灰色、下雨的云层，云底几乎与地面相接		与层云相近	

I. 积状云 直展云 积云	Cu 孤立而密实的云。有明显的垂直发展。云顶呈圆拱状，有显著球形凸起，云底几乎水平	—— 由600米伸到 5000米以上	一般对流运动，其中大的 热泡上升，垂直速度为 1—5米/秒
积雨云	Cb 密实大块云体，垂直发展旺盛。有直展如塔的云头，上部有纤维结构，常平展如砧状。这种云常降阵雨，有时也降雪、雹或霰。往往发展为雷暴	可伸展到12000 米高 云顶温度可 低达-50℃	强对流运动，有垂直上升 气流，速度可由3米/ 秒到30米/秒以上
I. 特殊类 型的云 碎云	与积云、层云或雨层云相伴的散片低云		不肯定
碎积云 Fc		——	
碎层云 Fs		——	
碎雨云 Fn		——	常为冷锋前方不稳定空气 缓慢上升而在中空发展 的对流运动 这些云中垂直上升气流很 强，可达1—10米/秒的 量级
堡状云 Ac cast	中空形成的、具有小簇的塔楼状堆叠云，常排列成条。 在夏季是雷暴天气来临的预兆	与高积云相似	
地形云 荚状云及 波状云	当空气被迫上坡或越山脉上升时，在山顶就会出现边缘光滑、透镜形的云，轮廓明显，这就是荚状云。如气流受山波荡，山脉背风侧将出现气流驻波，波峰上就可出现一系列这类云。这就称为波状云	——	

§ 1.2 风 暴 云

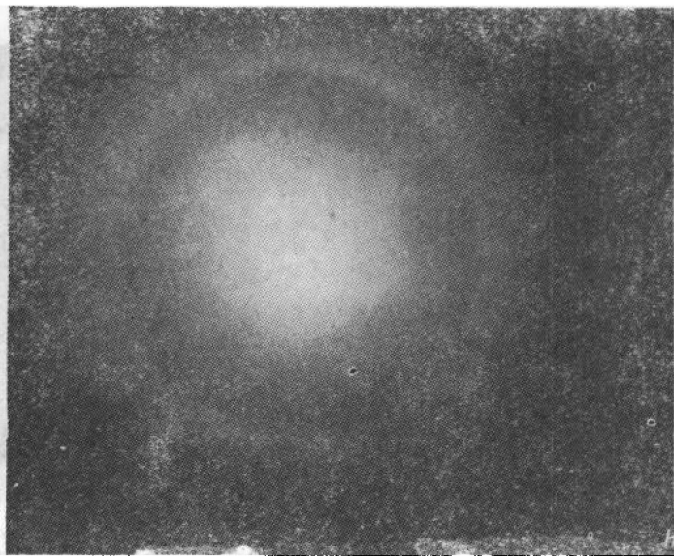
温带低压或气旋，通常带来连绵雨和阵雨。单个风暴常在下了几小时的连绵雨后，接着一会儿下阵雨，一会儿还会露出阳光。在气旋到来以前，先在地面以上 6 公里的高空，出现成条成束的、具有纤维结构的或由薄片及狭带组成的白色高云。从照片 I (a) 中，可看出它们的纤维或头发似的纹理。这种云称为卷云¹⁾。在先驱的卷云不断稳定地移向天顶约二、三小时以后，气压开始下降，云层逐渐变厚，云带就融合成大片云纱，布满全天，这种云层称为卷层云。卷层云起初是半透光的。日光透过它显得苍白。有时我们能看到云中以太阳为中心，出现角半径为 22° 的晕。此晕由彩色光圈组成，内侧呈橙红色〔见照片 I (b)〕。这种晕圈和其他形状的美丽晕象都是在温度低于 -25°C 的高空中，阳光通过云中冰晶而被折射所造成的。一般的卷层云，其组织很不均匀，往往只能见到晕的一部分。但有时云层很薄，弥漫天空，若有若无，犹如蓝天上蒙着一层乳色薄膜，此时晕显得十分明亮，常有各种形状的圆环或圆弧形的晕相伴出现，有些色彩象雨虹那样鲜艳。

在出现卷云后约四、五个小时，头顶上的云变得愈来愈厚，愈来愈暗。晕消失不见了，太阳呈毛边亮斑的样子。这时的云，如照片 II (a) 所示，称为高层云。高层云继续变厚变低，在它下边出现云片，呈暗色波浪状。当风暴中心移近时，风力加强，气压很快下降，在一、二小时内，开始下雨。以后雨愈来愈大，云底低到接近地面，从而在这种灰色

1) 卷云拉丁文 (Cirrus) 的原义是一束头发。



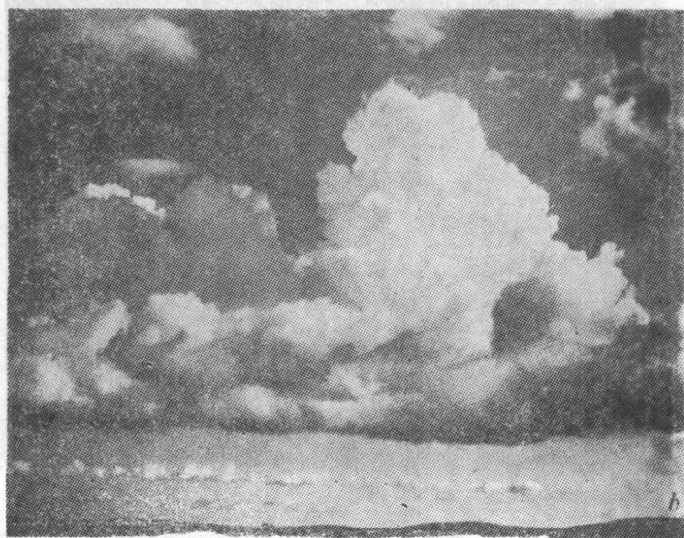
照片 I (a) 卷云：丝缕成片，具有弯曲纹缕(马尾状)，伴有钩状或簇状头部。这些云几乎都是由冰晶组成。



照片 I (b) 卷层云：为均匀的白色薄纱状冰晶云。
可看出一个以太阳为中心的晕。
(这两张照片由 Clarke 提供，并承英国皇家气象学会同意复制)



照片Ⅰ(a) 高层云：为厚而不规则的冰晶云层，
在阳光透过时呈苍白色。



照片Ⅱ(b) 一系列积云：云底平坦，云顶
呈圆拱，象花椰菜状。

(这两张照片由Clarke提供，并承英国皇家气象学会同意复制)

的雨云或雨层云的内部很难区分出任何结构。但在它下面，却有槛楼飞乱云（碎雨云）被风驱动。用飞机或雷达探测这种雨云，发现它们通常由好几层较厚的云层组成。在距地2或3公里高处向上，雨转为雪。在再高些的地方，雪片愈来愈小，在更高区，雪片为冰晶所替代。这种由冰晶组成的云会伸展到卷云高度上。在降大雪或大雨的地区，云层间没有间隙，这时云层就由近地面连续向上，一直伸展到8到10公里的高空。

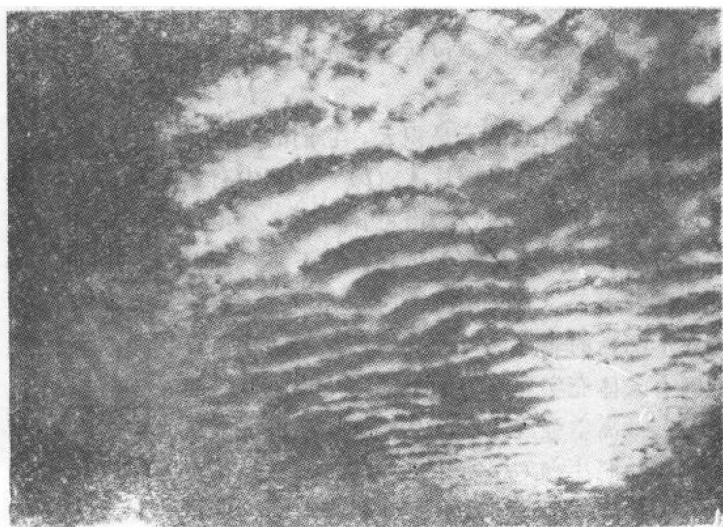
几小时以后，稳定的雨不下了，气压也不再下降。许多高云变薄、破碎、出现青空，天色转亮。但低空槛楼层云仍旧存在，造成间歇性毛毛雨。毛毛雨雨滴比一般雨滴要小，但雨滴数却要比一般雨密得多。

有时不久，风又增大，天空变暗，短时间又出现了大雨。接着天色很快转好，风向急剧地作顺钟向转变，风力带阵性，而且风较凉快。气压开始上升，低云升高并破碎。在低云上方的较高云层、包括卷云在内，都已消失，留下了晴空。

这时，四散的低云是积云，它们的底较平坦，顶呈圆拱形，很象花椰菜〔见照片Ⅰ(b)〕。其中有些云增长得又高又大。约在15分钟内，云塔可伸展到6公里以上的高空。不久就可在较大的云体下面见到雨幡下垂，而云便变为积雨云，即降雨云。当降雨产生时，云顶往往有明显的形变。花椰菜形明晰的轮廓变得模糊、破乱而柔化，且膨大变平，空隙间有云体充实。而云的上部便呈现了丝缕的卷云结构。云顶卷云被高空强风吹展，从而伸展到云底前缘的前方，形成砧状，如照片Ⅰ(a)所示。云的下部在产生降雨后往往下沉消散，最后云顶与下部分开，飘离而去，成为缓慢地在蒸发中的砧状卷云。



照片Ⅱ(a) 积云和积雨云：左边和前面为积云，边缘明晰。背景有一块较大的云，具有破碎纤缕的边，这种纤缕结构是在云体变为冰晶结构时形成的。这砧状冰晶云为积雨云的重要特征。
(此照片由Clarke提供，并经英国皇家气象学会同意复制)



照片Ⅱ(b) 高积云：出现于中空的云。已破裂为一系列平行云条或呈滚轴波状。
(此照片由R.S.Scorer拍摄)

一块阵雨云约在形成后半小时内就消亡了。但当一个云塔释放了降水而本身蒸发了以后，在它旁边就会有另一个云塔发展起来，整个云体在几小时的移动中都能辨别。

几小时后，对流变弱，大云块愈来愈少。阵雨停止，风也和缓起来。气压继续上升，但上升得较慢。最后，连小的积云也都消失。于是，整个风暴云系就过去了。

§ 1.3 几种其它形状的云

在宽广的风暴云系的边缘及弱风暴中，层状云一般很薄，常开裂成块状或呈平行的滚轴（浪条）状。由于云层的顶部向太空散发热量而变冷，云底接受地面热辐射而增温，所以不久，在云层中就出现缓慢的对流，使云层好象由镶嵌的许多斑块组成。一切较薄的云层，在上方没有较高的云层覆盖着时，都很快具有这种镶嵌结构。在卷云中形成的镶嵌云，称为卷积云。它们由小白片组成。这些小白片或多或少地排列成行，有时滴涟起伏，就象海滩沙面的波纹。在整个云层中风很均匀时，镶嵌结构的分布也就比较均匀。但当风向风速随高度有变化时，云块就会排列成行或呈滚轴状。镶嵌云习惯分为卷积云、高积云〔照片Ⅲ（b）〕或层积云三类，这是按它们距地面高度来决定的，参见表1。

较厚的层积云层，其滚轴云条前后密接、边缘相连，因而云底呈起伏状，不出现缝隙。这种云有时在平静的冬季天气结束期，可覆盖天空达几天之久。

一切镶嵌云，除了某些高的卷积云外，即使它们的温度远低于 0°C （一般水的冰点），也都是由液态水滴组成的（关于空中存在过冷却状态的水滴将在第四章中讨论）。在这些云中，常可见到华。华是环绕太阳的、由衍射所形成的

彩色光环。华与晕很容易区别，因为华比晕更贴近太阳，且色彩更为明显，而红色又位于外缘。云滴大小愈均匀，华也就愈清晰。如云滴大小不一，各色就混合起来，形成一个与太阳边缘隔开一个蓝白色光带的暗棕红色光环。虽然环日辉、晕、华及其它环绕太阳的光学现象，都必需通过涂黑的玻璃片才能观测，但它们比在月亮周围所环绕的较淡的同类光学现象要绚丽得多。

现在我们已把主要的云都描写一通了，但对地形影响的特殊云，应当再介绍几句。即使气流上升只越过小山，在空中所导致的空气上升运动，往往也很显著，甚至可影响到卷云高度。当这种现象相当明显时，就能形成云。虽然这种云可能正受到强烈的风所吹刮，但相对于山来说，仍几乎能保持停滞的样子。如果气流被迫过山而出现振荡时，就有云形成于近乎驻波的气流波峰附近。这种云可能连续出现并延伸到山脉下风方。它们外形光滑，称为荚状（透镜状）云或波状云〔见照片Ⅳ（a）〕。这种云的垂直气流很强，所以很受滑翔飞行员欢迎。

§ 1.4 热 带 云

全球大气中气流的能量，有不少是由热带海洋供应的，因为大量水汽从热带洋面蒸发出来，被云系带到高空，使水汽凝结，并把潜热释放出来，提供能量，从而造成并维持全球性的风系。

在广阔的副热带洋面，在纬度 10° 与 30° 之间，有信风吹拂，且昼夜都有积云产生。但在陆上，积云只在被阳光特别容易增热的一些地区上形成。这些易于增热的“热点”，在开阔洋面上却不存在，因为海面温度是十分均匀的。当海面