

气象知识丛书



云和降水

气象出版社

云 和 降 水

胡志晋 童乐天

气象出版社

内 容 简 介

人类生存的空间隐藏着大自然的许多奥秘。蓝天白云、朦胧细雨、黑云压顶、暴雨倾盆，再有那雪花飞舞、晶莹冰凌……这些现象是怎样产生的呢？本书从云是什么讲起，生动地介绍了上述大气中成云致雨的过程；以及如何看云测天、预报降水等知识；最后介绍了人工影响天气的目前状况和未来展望。本书内容丰富新颖，配有多幅云图、插图，文笔生动流畅，读来别有风趣。

云 和 降 水

胡志晋 童乐天

责任编辑 陈云峰

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 印张：4 字数：85 千字

1987年5月第一版 1987年5月第一次印刷

印数：1—10,000

统一书号：13194·0377 定价：0.77 元

出版前言

在浩瀚的大气的海洋里，有着无穷的奥秘，需要人们去认识和探索；蕴藏着丰富的资源，可供我们去开发和利用。

为了帮助广大青年、中小学教师、气象爱好者以及各行各业的科技工作者，更好地认识大气的现象，了解天气变化的性质和规律，我们和中国气象学会决定共同组织出版一套《气象知识丛书》，通俗地、系统地介绍大气、气候、天气和应用气象等方面的基本理论和基础知识。本丛书共十八册，每册约五万字，分别介绍某一方面的内容；同时各册又相互配套，形成一个比较完整的系列。本丛书力求材料新颖、内容丰富，反映出八十年代气象科学的新水平。

本丛书计划于一九八五年底以前陆续出齐。我们把她奉献出来，希望能对迫切需要气象知识的广大读者，有所满足，有所裨益。

气象出版社

序 言

人类生活于大气之中，为了自身的生存和发展，一直在和大自然作种种斗争。自古以来，观测和研究大气现象，趋利避害，发展生产，一直是人类的一项重要工作。

十七世纪以前，人们依靠肉眼观察，对天气和气候现象积累了丰富的经验，但那时基本上还是处在定性的认识阶段。

自从温度表、气压表、风向风速仪以及毛发湿度表等测量仪器出现之后，气象的观测和研究开始进入了定量的阶段。近三、四十年来，随着科学技术的迅速发展，尤其是人造卫星和电子计算机引入气象学领域，使这门学科出现了飞跃。

气象科学的应用性很强。随着科学技术的发展，人们对大气现象的认识越来越深刻，对它的利用也越来越广泛，目前几乎已深入到国民经济的各行各业。

现代化农业的发展，除有关农业技术等学科外，离不开长、中、短期天气预报；现代化的农业区划也离不开对气候的研究。

大型工业等产生着大量对人类有害的气体和微粒。如何把这些气体排放在无害或危害最小的地方，就得有效地利用气象条件。许多工业、建筑、交通都需要利用气象参数进行设计，例如工厂车间的采暖通风，建筑物的风雪荷载，以及水库、大坝、铁路、公路、桥梁的建筑规模等等。

各种军事活动通常要有一定的气象条件作保障。航海、航空与气象条件的关系更为密切。

综上所述，气象科学对生产、生活十分重要，可以预料，

随着我国四化建设的发展，各行各业将对气象科学提出越来越高的要求。

气象出版社和中国气象学会共同组织编辑出版的《气象知识丛书》，系统地介绍了气象科学各分支的基本理论和基础知识，有助于满足广大读者在四化建设中对气象知识的需求。

当然，这套丛书不可能涉及到气象学的所有分支，还只能着重介绍对我国当前四化建设急需的气象知识。我相信，这套丛书的出版，对具有初中以上文化程度的青年、业余气象爱好者、中小学教师、农村和工厂的干部和技术人员将会有所帮助。我希望，今后能继续出版更多的气象科普书籍，为广大读者，特别是为青年们，提供更为丰富的精神食粮。

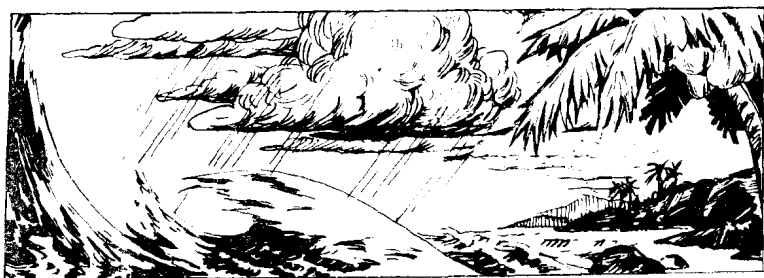
叶笃正

一九八三年五月七日

目 录

序言

- 一、云与水…………… (1)
 - 千姿百态的云天 (1) 云与水的循环 (3) 淡水——宝贵的资源 (4) 人人关心的今天天气 (5)
- 二、云是怎样形成的…………… (6)
 - 云 (6) 云形成的微物理过程 (13) 云生成的动力学条件 (23)
- 三、看云识天…………… (33)
 - 云的观测分类 (33) 云的发生分类和相态分类 (49) 卫星云图 (51) 观云测天 (56) 几种难得见到的云 (60)
- 四、雨、雪、雹是怎样形成的…………… (63)
 - 降水的形成 (63) 层状云降水的形成 (71) “播种云”和“供应云” (73) 积状云的暖雨过程 (76) 积雨云的降水过程 (78) 链式反应过程 (80) 冰晶繁生过程 (82) 冰雹形成过程 (83)
- 五、降水的测量和预报…………… (90)
 - 各种各样的降水物 (90) 怪雨之谜 (94) 怎样观测降水 (96) 如何作降水预报 (99)
- 六、人工影响天气…………… (103)
 - 呼风唤雨可能吗 (103) 现代人工影响天气的开端 (105) 冰晶的惊人作用 (107) 暖云能催化吗 (109) 应用效果的争论 (112) 现状分析 (115) 未来展望 (117)



一 云 与 水

千姿百态的云天

广阔的天穹，犹如一个巨大的球形银幕。各色云彩组成花色繁多的图案，有的象一束束马尾，有的象鱼鳞，有的象豆荚，有的象堡垒，有的象山峰，有的好似一口大铁锅压在头上……我国古代神话中对其也多有描述。实际上，云彩不过是一种大气物理现象，它们是由无数细小的冰晶或小水滴组成的。而云象的变化，正是大气运动和水汽变化的一种反映。

为了把各种云象的变化情况记录下来进行分析，找出它们与各种天气变化之间的关系，就要对云象作观测分析，取些名字。我国最早的云图出现于明末清初（大约在十七世纪中叶）。今天世界上通用的云名，基本上是英国科学家霍华德在1803年所拟定的。

用云天的变化来预测天气，在我国可远推至东汉（公元220年）崔实编的《农家谚》。到唐代又有人把预测降水的天气

谚语编成《相雨书》，书中提到“云中出现黑色，就会下冰雹”等等。元末（十四世纪中叶）娄元礼编撰的一部《田家五行》，是我国古代一部比较全面的谚语著作，也是运用谚语来作天气预报的最早尝试。到明末清初，有《白猿经》出现，书中共给出云图 151 幅，并有文字对照，说明每幅云象与未来可能出现的天气的联系。

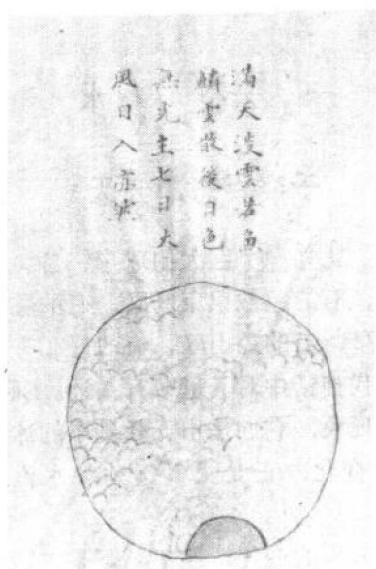


图 1 我国古代的云图

近几十年来，在云和降水的研究方面，由于飞机、雷达、卫星等现代化探测手段的广泛应用，以及室内实验、数值计算的迅速发展，人们对云和降水的认识正在不断深化。

云与水的循环

云是悬浮在水空中的水滴或冰晶的可见集合体。这些水滴或冰晶十分微小，约比头发丝还细十倍。它们是空气中水汽冷却的凝成物。水从海洋洋面、湖泊河流和陆地上蒸发，也可通过植物蒸腾，由液态变为气态进入空气中。水汽随着气流移动，在上升过程中冷却并凝结成小水滴或凝华成冰晶，当其达到一定数量后就成为能见的云。云内水滴或冰晶通过各种物理过程增长并合，产生一些质量比它们大一百万倍的雨、雪粒子。当上升气流托不住时，这些大粒子就下落到地面成为雨、雪、雹、霰等等，统称为降水。降水渗入地内或汇入江河湖泊，最后回归海洋。这就是地球上水的循环。这里既有大陆与海洋的大循环，又有内陆或海洋本身的小循环。

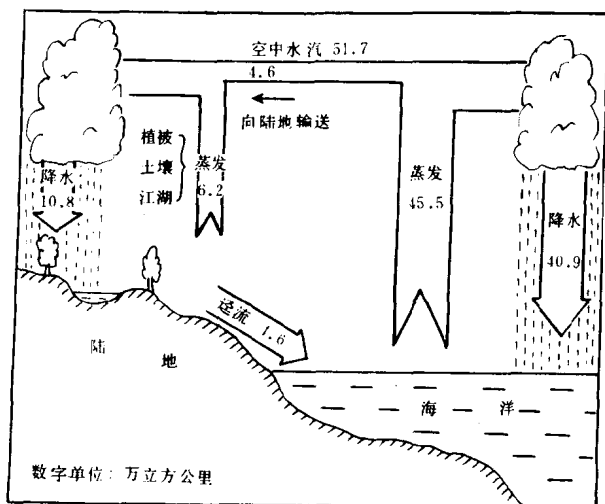


图 2 地球上的水分循环

据估算，每年从世界大洋表面蒸发的水有45.5万立方公里即455亿吨，其中90%的水又以雨的形式直接返回世界大洋里。另外10%的水则随气流进入大陆，形成降水，最终又汇入河流，返回到世界大洋里。不过，落到陆地上的4.6万立方公里的水，又构成了陆地内部的许多小循环，因为它们在一年的能够多次蒸发，又多次变为雨水。结果一年内落到陆地上总的大气降水量就不是4.6万立方公里，而至少有10万立方公里了。

淡水——宝贵的资源

水是地球上最宝贵的资源之一，它具有许多有趣的性质。水的溶解能力和输送物质的能力，对一切生物来说，比任何东西都重要。动物的循环系统和植物的维管系统中维持生命的物质，主要成分是水。从人们的生产、生活条件来讲，除了阳光、空气以外，就要数水最重要了。历史上有很多城市因水源枯竭而变成废墟一片的也不少见。著名的丝绸之路上的楼兰古城就是一例，当年它繁华似锦，如今已是渺无人烟，沙海茫茫。

意大利大画家兼工程师达·芬奇说得好：“水推着自然走”。要是没有水从洋面蒸发，就没有雨雪从天上降下，更不会有河水流入海洋，气候也就不会有这么多变化。地球上很多地方将变得太热，太干或太冷，生物的生命就无法维持。

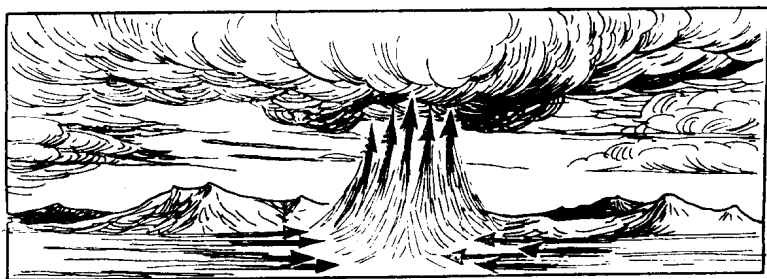
全球97%的水都是咸水，它们主要分布在太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋这四大洋内。其平均盐度为35%。世界上只有3%的水是淡水，主要是地表水（河、湖等）、地下水（大都为古代贮存在地下的淡水）、雨水、高山积雪及格陵兰和南极的冰山。

淡水的来源主要是云的降水。海洋的咸水蒸发成水汽时把盐分留在洋面，洋面上空的水汽和云又随气流把淡水输送到大陆。水汽和云又转化为降水，一部分进入地下成为地下水（泉水和井水），一部分汇入河流，入海时又携带了陆地上的一些盐分。因此，研究成云致雨的过程是了解和利用淡水资源的重要一环。

我国水资源为 $27,200 \times 10^{17}$ 立方米，居世界第六位。但是，我国地域辽阔，人口众多。人均占有量只有 $2,780 \times 10^9$ 立方米，比世界人均占有量（ $10,800 \times 10^9$ 立方米）少得多。一些干旱地区淡水占有量更少。如北京市平均每人只有 470×10^9 立方米。北京地区打井抽取地下水过多，使近年来地下水位降低了3米。淡水的开源节流已成为当务之急。水资源的保护和利用已是我国的一项重大国策。

人人关心的今天天气

晴天飘在蓝天上的朵朵白云，会使你觉得天高云淡，心旷神怡。而黑云压顶，狂风暴雨，则会造成山洪爆发，水坝决口，河水泛滥造成人民生命财产的重大损失。可见，云和降水不仅在一定程度上影响人们心情，更主要的还关系到人们生命财产的安全。天气与人们的生产和生活关系也很密切。我们每天的上下班、购物访友、出门旅行等都受到天气影响，因此，我们关心报纸上的今日天气和收看广播电视中的天气预报节目，也就是理所当然的了。



二 云是怎样形成的

云

云是什么 天空中飘浮的白云人人见到过，但云到底是什么呢？是气么，为什么看得见？是烟么，为什么是白色的？是水么，为什么不掉下来？这个问题自古以来引起人们的想象和猜测。十八世纪给云象起名字的霍华德就认为云是小水泡组成的。直到1880年丹斯用显微镜观测了云粒子，才确定为小水滴。随着飞行器和云物理仪器的发展，人们发现云是由飘浮在空中大量细微的水滴或者冰晶组成的，或者由水滴和冰晶混合组成的。

现在让我们乘着装配有各种自动化电子仪器的专用气象飞机（图3）到云里去看一看究竟吧！随着飞机的升高，气温不断下降，很快就进入云中，四周是雾茫茫的一片。在电子探测仪器的荧光屏上显示出很多大大小小的圆斑，这就是云中粒子显微放大后的图象。我们用仪器直接从机舱外取回云粒子的样品，把它放在显微镜下观测。我们看到的是密密

麻麻的小水滴,大小不一(图5)。这些水滴十分微小,大多数水滴的直径还不到1毫米的百分之一。它们的体积很小,几百万个小滴合在一起才有一粒芝麻大。它们的重量很轻,在空气

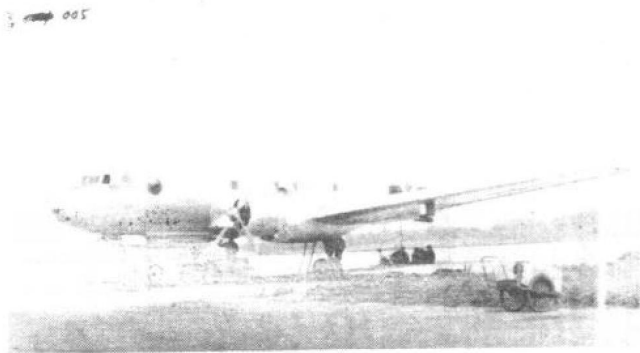


图 3 我国改装的专用气象飞机

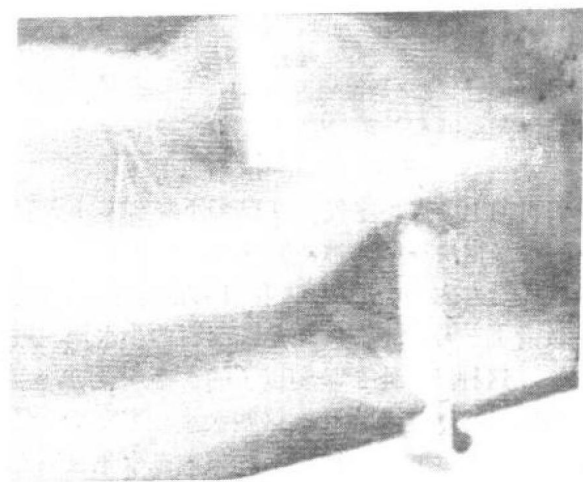


图 4 装在机翼下的粒子探测仪

中下落十分缓慢，1秒钟还落不了1厘米。所以它们可以长时间在空中飘浮。云就是由千千万万被称为云滴的小水滴组成的。一块云里云滴的个数十分惊人。在1立方厘米空气中大约有几百个，在1立方米中就有几亿个云滴。这么多的小水滴当然会阻碍我们的视线。难怪堕入云海就什么也看不见了。从地面看去云就成为白色一团。厚的云层会把太阳光完全遮住，看上去就成黑色的了。

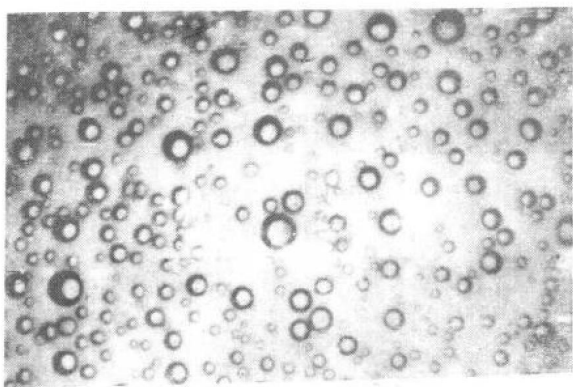


图 5 云粒子的显微照片

我们再向上飞去，空气温度已经下降到零下5度了。打在机身的水滴很快冻结成冰，这叫做飞机积冰。但是荧光屏上显示的还是大大小小的圆斑。我们又在舱外取了云的样品。放在显微镜下一看，奇怪，还是圆滚滚的小水滴，并没有看到冰粒子。这种温度处于零度以下的水滴叫做过冷水滴，这种云就叫做过冷水云。为什么这些水滴到零度以下还不结冰呢？原来，当温度低于零度时，如果液态水里没有现成的固态冰，那么液态水里首先必须生成一些极小的冰粒，然后水再在小冰粒上冻结。这种最初生成的小冰粒叫做冰相胚胎。

液态水里如果形成不了冰相胚胎，那么即使在零度以下也不会结冰。在日常生活中我们接触到的水，一般都同杯子、盆子或者河床、湖岸等容器接触。它们又是不太纯净的，里面有很多杂质。这些容器和水中的杂质往往可以帮助液态水形成冰相胚胎。在水里只要有一个地方形成了冰相胚胎，就可以在此基础上使全部水体都冻结成冰。所以水体越大、杂质越多，就越容易结冰。在日常生活中我们很难遇到在零度以下还不冻结的液态水。大家根据经验，总认为水到了零度以下就一定会结成冰。但是，如果水十分纯净，容器十分清洁，水在零度以下不能生成冰相胚胎，也就不能冻结成冰，而成为过冷水了。有人在实验室里曾经得到过零下10度的过冷纯水小滴！云滴是空气中水汽冷却凝结形成的。它几乎同蒸馏水一样，相当纯净。云滴的体积又极其微小，当然所含杂质十分少。云滴在空气中飘浮，没有容器或物体与它接触，所以云滴中很难产生冰相胚胎。在 -5°C 时云滴一般为液态。自然云中往往在 -20°C 还观测到有液态水滴呢！要是云中的过冷水滴打到飞机身上就很容易形成冰相，而造成机身上的积冰。在飞机飞行的迎风面上水滴碰撞积冰的机会多，那里的积冰就比较厚。飞机大量积冰对飞行十分危险，它会改变飞机的外形，影响它的飞行性能，严重时会使飞机失事。所以现代飞机上往往装有除冰设备，用加热法或机械法去掉飞机身上的积冰以保证飞行安全。过冷水丰富的云层是飞机积冰的关键条件，因此观测和研究这种云层成了航空气象学的一个重要课题。

冰核和冰晶 随着温度的进一步降低，云滴在某些杂质的帮助下越来越容易形成冰相胚胎。云中出現越来越多的冰晶。这种能够帮助云中形成冰相胚胎的杂质称为“冰核”。自

然大气中的冰核称为大气冰核，它对于云中冰晶的产生、冰晶的多寡及云中降雨过程的发动等都具有重要的作用。1912年魏格纳根据他在格陵兰的观测，认为大气中的冰晶是水汽直接在不溶于水的尘粒上凝华形成的。他把这些尘粒称为凝华核。但是维林德根据气球观测结果得出在冰晶形成之前先形成了过冷水滴，它们同不溶于水的尘粒接触冻结成冰。这种尘粒称为接触冻结核。1936年克拉斯达诺夫从理论上得出“汽-水-冰”的凝结过程在能量上比“汽-冰”直接凝华过程有利。现代研究总结出冰核的作用方式主要有四种，即水滴内冻结、水滴接触冻结、水汽凝结再冻结、水汽凝华。前两者必须有过冷水滴才起作用，其成冰作用比较强。水汽凝华成冰最为困难，一般只有在很低温度下才能起作用。

冰核是什么东西呢？矶野谦治等用电子显微镜观测从自然雪晶中心部分找到的微粒，发现它们极小，直径只有万分之几毫米。很多是粘土类的硅化物。梅森等人的实验表明，某些地区高岭土等土壤微粒可以在 -9°C 的温度下产生冰晶。矶野谦治等还发现在中国北部和蒙古地区产生尘暴后，空气带着大量尘粒流到日本上空，这时在日本观测到的冰核特别多。看来大气冰核主要是风刮起的土壤粒子。有人根据高空冰核较多的观测事实，认为流星尘可能是很好的冰核源。也有人认为大气中各种工业污染物也是一种冰核源。但看来这些都不是主要的。本世纪七十年代瓦里等人研究了有机物质的成冰作用，他们发现土壤粒子中的一些冰核是树叶分解产生的。这种冰核具有很强的成冰作用。它们的个体更小，直径只有万分之一到百万分之五毫米。进一步的研究又发现了这种树叶冰核的成冰能力同一种好气性细菌有关，故称为细菌冰核。以后又发现海洋表面生成的某些有机物也是很有