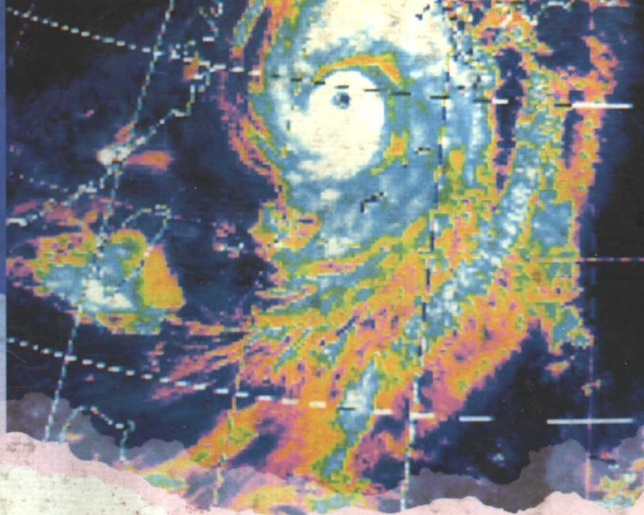




束家鑫 鲍宝堂 编著

中國雲天

上海科学普及出版社

CLOUDS AND WEATHER PHENOMENON IN CHINA

中 国 云 天

束家鑫 鲍宝堂 编著

CLOUDS AND WEATHER PHENOMENON IN CHINA

上海科学(暨)出版(及)社

(沪)新登字第 305 号

责任编辑 黄家礼

封面题字 李世清

中国云天

束家鑫 鲍宝堂 编著

上海科学普及出版社出版

(上海曹杨路 500 号 邮政编码 200063)

新华书店上海发行所发行 上海印刷七厂一分厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 13.25 插页 12 字数 322000

1995 年 8 月第 1 版 1995 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—3000

ISBN 7-5427-0934-8/P·1 定价: 48.00 元

前言

气象发展史表明，人类认识天气变化是从观云测天开始的。我国是世界上最早观云测天的国家之一。东汉王充在《论衡》中指出：“云雾，雨之征也。”唐朝黄子发撰述的《相雨》书，内分观云、候气等9篇，计169条。明代手抄本《白猿献三光图书》，汇集手描云图132幅，每幅都说明在日、月或北斗星附近有云时，未来天气将有什么变化。

在国外，1802年至1803年，法国的拉马克(Lamarck)和英国的霍华德(Howard)将云进行分类，并手描出云图。自1820年第一张天气图问世以后，云逐渐成为地面气象观测的重要项目之一。1860年，在英国伦敦开始以电话收集天气报告(包括云在内)绘成实时天气图。1869年，维尔德(Vild)将云以图解形式编入“气象站观测规范”。1879年，海尔特白仑生(Hildebrandson)出版了有16幅云图的书。1896年第一本《国际云图》出版。从此，云以崭新面貌登上了气象科学的殿堂。到本世纪20年代，经卑尔根学派的努力，终于揭开了近代科学的天气分析预报的新篇章。天气图上和台站观测纪录中，云(高、中、低云状，低云高、总云量等)和降水占有举足轻重的地位。显然，云之所以受到重视，不在于它的绚丽多彩，富有诗情画意，而是因为它孕育着各种各样天气变化的信息。

日常所讲的天气是指影响人类生产和生活的大气物理现象和物理状态，要了解和认识它们的来龙去脉，就得进行实验观测。所以，传统意义上的天气学就是一种综合察看的科学。察看些什么？那当然不外乎气压、气温、湿度、风、云、降水等等，而具有直观、细致、连续变化特点的云则是其中的佼佼者。云形的连续变化常能综合反映大气结构的天气演变，这样，云天科研就提到了议事日程上。卑尔根气象学派主要成员之一的贝奇龙(T. Bergeron)，在1975年国际降水物理学会议上明确指出：“降水预报必须从云的微观、宏观物理学研究和结合中去解决。”他说的“云的宏观物理学”就是指云系与天气变化的关系，也就是将天气变化通过云的连续演变来体现，具体地讲，即把大型天气形势转换为当地云形变化的一种技术。这可以称作云的天气释用或云的天气解释(Weather interpretation of clouds)。

作者曾长期从事地面气象观测和天气分析预报业务，厥后在从事云的实验研究中，发现云形变化具有三种属性：一为系统性云，指云形连续演变构成云的系列，能显示天气系统活动规律；二为指示性云，指云的一些特殊外貌，能预示短时天气变化；三为地方性云，指在当地地形或海陆分布影响下，会产生某些特殊云种。上述三类云在复杂天气变化过程中常穿插出现，构成云与天气变化的一个整体，贯穿于一次天气变化过程的始终。云的这些物理特性，为云的天气释用提供了重要依据。这里所谓“云的天气释用”是广义的，它包括了单站云的系列演变、雷达回波、卫星云图和卫星分析云图等，通过深入的综合分析，呈现出一幅幅生动的天气综合演变图。

如上所述，作者对云与天气关系这个课题产生某些偏爱不是偶然的。为了进一步揭示云的奥秘及其和天气变化的关系，作者汇集近十几年在我国大部省、市、区(包括高山、边疆、沙漠和海岛等地)实地拍摄的云形，部分配以卫星云图、雷达回波等图象，进行综合

对比分析，撰述成《中国云天》一书。

但由于我国疆域辽阔，地形复杂，又受各种天气系统的影响，云形非常繁多，因受条件和水平所限，难以对各类云系一一评述，本书只能择其要者和具有代表性的云系加以阐述。

本书各章的内容简单概括如下：

云是由水汽凝结或凝华的产物，所以在第一章首先介绍水汽在大气中的物理特性及其变化过程。

各类云的形成及其外貌是和大气层稳定与否及递减率大小有关的，所以第二章简要介绍这方面的内容。

云和雾有不解之缘，高者为云，低者为雾。而云雾物理与云的微观（结构、机制）关系密切，所以在第三章加以扼要介绍。

第四章着重介绍云的结构及其形成方式，阐明了十类基本云属的外貌特征，目的在于为后几章的派生云种的阐述打下基础。

由于自然界的云形变化极其复杂，气象学家们长期来从云层高低、云形外貌及其形成结构等方面进行分类。这不仅仅是为了实际应用，还在于进一步为云的研究开辟道路。所以在第五章对云作了分门别类的介绍。接着在第六章内，就层状云、波状云、积状云三者，缕述其形成原因和演变特点。这里，作者是倾向于这种分类法的。

在第七、八两章介绍云的降水及云中声、光、电、风等重要大气现象。

第九章中国系统云天是本书的重点。因为云形连续变化是天气系统的重要表征之一，它常排列有序地演化而出，卫星云图问世以后这种特征更加明显。尤其是台风、东风扰动、梅雨等云系，是从作者前些年根据实验观测和研究分析后发表的文章中精炼撰写而成的。

第十章介绍了云的几个重要参数——云量、云向、云速和云高；第十一章则反映了现代高新科技手段卫星和雷达在云天探测中的应用与进展。

本书部分采摘自青海省气象科学研究所编写的《青藏高原云图》和张家诚、林之光编著《中国气候》的有关资料以及其它参考文献，经作者综合写成。本书共有彩图 118 幅，内页插图 220 余幅。大部分彩图系作者自己拍摄而成，少量照片由其他同志提供，这里一并表示感谢。

由于作者水平所限，时间仓促，缺点和错误之处在所难免，敬请有关专家和读者批评指正。

作 者

1994 年 6 月

内 容 提 要

本书从大气物理学基础原理出发,全面系统地阐述了云的外貌、结构、特征、分类,各类云的形成和演变,与云有关的大气物理现象,当代科技在云天探测中的进展等基本知识,并融入了作者从事云天科学研究的成果和心得。

第九章“中国系统云天”是本书的核心。通过对单站云形、雷达回波图象和卫星分析云图的综合分析,探求影响中国的台风、梅雨、暴雨、寒潮等有代表性的云系演变特征及其活动规律。

全书图文并茂,深入浅出,融知识性、学术性、实用性于一体。为研究中国系统性、指示性、地方性云系演变及短时天气诊断条件提供了很有价值的启示。可作为广大气象及与气象相邻专业的科技工作者、大中专学生的参考书和工具书,也可供气象爱好者阅读。

目 录

第一章 大气中水汽和水汽的变化	(1)
第一节 水在大气中的作用.....	(1)
第二节 水的物理性质.....	(3)
第三节 大气中含水量的变化.....	(6)
第四节 大气中热量收支和云的关系.....	(7)
第五节 水汽压和大气湿度.....	(9)
第六节 大气中的凝结过程	(13)
第二章 空气的上升、下降和稳定度	(19)
第一节 稳定度和空气的上升运动	(19)
第二节 气温递减率和稳定度	(21)
第三章 云雾物理和雾	(25)
第一节 云雾物理简述	(25)
第二节 云雾物理实验	(26)
第三节 雾	(27)
第四章 云的结构及其形成	(30)
第一节 云的物理构成	(30)
第二节 十类基本云属的外貌特征	(32)
第三节 逆温层和云的形成	(34)
第四节 云的形成方式	(37)
第五章 云的分类	(41)
第一节 云的分类回顾	(41)
第二节 高度分类法	(41)
第三节 云的发生学或形态学分类法	(45)
第四节 云的稳定度分类法	(45)
第五节 云与天气关系分类法	(46)
第六节 天气学分类法	(46)
第六章 三大类云的形成和演变	(48)
第一节 层状云	(48)
第二节 波状云	(55)
第三节 积状云	(63)
第七章 云与大气中的水冰现象	(83)
第一节 雨	(83)
第二节 雪	(88)
第三节 冰雹	(93)

第四节	雨淞和雾淞	(99)
第五节	人工影响天气	(102)
第八章	云与大气中的光声电风	(104)
第一节	云中光象	(104)
第二节	雷鸣电闪	(110)
第三节	龙卷风	(117)
第九章	中国系统云天	(126)
第一节	台风云天	(126)
第二节	东风扰动云天	(142)
第三节	梅雨云天	(144)
第四节	寒潮云天	(154)
第五节	强对流天气云天	(157)
第六节	高原云天	(161)
第七节	几类特种云天	(163)
第十章	云的几个重要参数	(167)
第一节	云参数的探测	(167)
第二节	云量	(170)
第三节	云向与云速	(174)
第四节	云高	(175)
第十一章	雷达和卫星探测云天	(177)
第一节	雷达和卫星探测的发展及其应用	(177)
第二节	雷达探测云天	(178)
第三节	卫星探测云天	(182)
附录		(187)
1.	看云和天象测天	(187)
2.	各类基本云状的中文、拉丁文名词对照表	(195)
3.	各类主要云的物理特征表	(196)
4.	27类云状的电码及符号表	(197)
5.	各类云码的演变示意图	(198)
6.	卫星云图天气区符号	(201)
7.	各类云高的参考数据	(202)
参考文献		(203)

第一章 大气中水汽和水汽的变化

水是地球生命的万物之源。江、河、湖、海、洋充满着水，寒冷地区和高山存在着冰和冰川，其实质也是水。这种地面及地表以上水物质的总体，称为水圈；而海洋、冰和淡水所占水圈质量的百分比，分别为 97%、2.4% 和 0.6%。此外，在大气圈中也充满了水。在离地面 3500 米的大气层里所含的水分，占到了大气圈水分总量的 90%。据估计，在 1 立方千米的云层里有 2000 吨水，1 立方千米的冰雹云层里，所含的水量达 6000 吨。所以，我们头顶上变幻莫测的云层，实际上是一座空中的“悬浮水库”。因此，从气象卫星上俯瞰地球所见到最明显的景象是地球上云覆盖着，而且在任一瞬间，地球上总是或多或少可见到云。云的水平分布很不规则，或孤立分散，或连接成片，或呈条带，或成涡旋。从垂直方向看，云分布在近地面到大约 20 千米的高空。气象科学家经研究还发现：地球陆地上空的云量比海洋上少；陆地上空云量最多的是欧洲，最少的是非洲；地球上空一年中的云量基本上是恒定的，但各年因雨水不同有一定差异。因此，深入研究地球上空云和水汽的变化规律，准确进行天气预报，无疑对人类社会有着十分重要的意义。

第一节 水在大气中的作用

地球面上的一切水体，无论是江河或湖海，都时刻在流动着。水面受了太阳光的照射和风吹动的影响，产生无数个看不见的水汽分子，它们通过凝结或凝华而转化为可见的云、雾、雨、雪。这个过程对于天气变化具有极重要的作用。大气层中云的发展及云中产生降水等天气现象，都是这个过程上的归宿和最重要的结果。因此，大气中水汽的主要来源是地表水分向空中的蒸发，是云中水汽凝结而产生降水等天气现象。

水汽来自海洋和陆地地表水的蒸发，又不断地进入大气层，依靠大气环流输送到全球各地。由于气流的上升运动，乱流混合，使水汽自低层输送到更高的层次，成云致雨。降落到地面上的雨雪，一部分飞散到空气层成为水汽，一部分渗透到地下储存和积蓄，另一部分汇成江河，最后归宿大海。

据估计，全球每年有 57.7 万立方千米的水从海洋和陆地转化为大气中的水汽，差不多等量的水又通过凝结转化为降水。这种地球上的水周而复始的运行过程称水分循环或水文循环，见图 1-1。水文循环的空间范围，上达地面以上平均约 11 千米的对流层顶，下至地面以下平均约 1 千米深处。

水分循环是当代大气环流的重要问题之一，我国明末清初熊明遇曾在其所撰述的《白猿经》一书中绘了一张《日火下降暘气上升图》，见图 1-2，和当代的水分循环图不无相似之处，这是我国古人在气象知识领域达到高水平的又一个佐证。

从全球降水总量来看，全年内整个地球上的降水，估计为 5.1×10^{14} 吨，它约为大气中水分总量的 39 倍。可见自然界中所发生的水分循环是极其强烈的。

水分循环实际上是促进物质交替、能量转换或再生，并使地球生机盎然、朝气蓬勃的

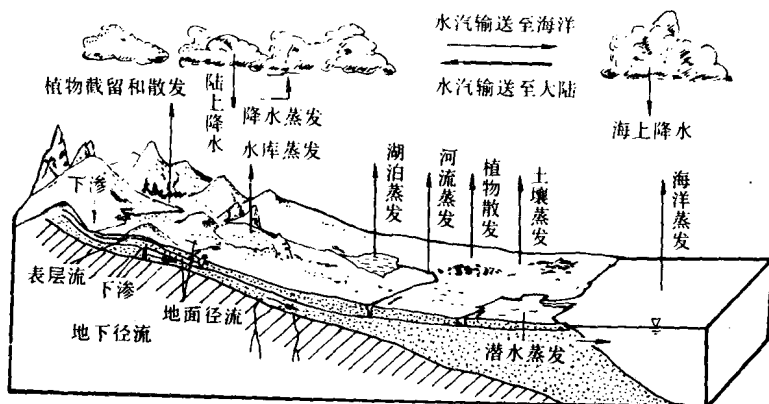


图 1-1 水分循环示意图



图 1-2 《白猿经》日火下降阳气上升图

生命线。其规模之大遍及全球。辐射到地球上的太阳能总量中，有 23% 消耗于水分蒸发，而水汽凝结时，能量又被释放出来。所以，水分循环也伴随着热能循环，水蒸发是水分循环的开始。太阳、江河湖海、大气构成了一架好比是永恒运转的心脏传导系统。

水是自然界的经纬，循环是天地间的命脉。水分循环把大气圈、水圈、岩石圈和生物圈联系起来，是自然环境发展演变最活跃的因素。

第二节 水的物理性质

(一) 水的物理性质概述

水有其不变的物理特性，在正常压力下（指一个大气压），增热到 100℃（沸点）时，就开始沸腾，冷却到 0℃ 时，就冻结成冰。水在冻结时体积增大约 9%~10%，因此冰浮于水，水的冻结将使动植物细胞和岩石孔隙破裂，还由于冰的结晶有空隙，使其具有可塑性，高山上冰川下滑就是由于这一特性所致。

水具有热容量很大的特性，计算热容量的大小，通常以比热为标准，比热就是使 1 克物质升高温度 1℃ 时所需吸收的热量。水的比热几乎是经常不变的。从 0℃ 到 100℃ 间水的比热变化很少，不超过 0.5%。根据实测结果，若以水的比热为标准，等于 1，有关其它物质的比热都小于 1，如冰为 0.50，空气为 0.24，铝为 0.22 等。

构成陆地表面的干泥土，其比热为 0.20，远小于水，它只要一受热就很快升温，并向空气层辐射，使邻近的空气温度很快升高，如水汽充分和其它条件适合，在午后气温达最高值前后，常易形成顶部高耸的积状云甚至形成雷雨。海洋面上，白天受热较陆地慢，不易发生强烈对流，在夜间，洋面潮湿的下层空气冷却缓慢，上层空气却因辐射而迅速变冷，入夜愈深，上下层的温度差愈大，所以后半夜常见有对流性的雷雨。和夜间情形相似，冬季海面空气上暖下冷，易生对流，所以海洋面上冬季比夏季多出现雷雨，陆上则正好相反。

水是良好的溶剂，大多数物质（有机或无机物、气态、液态或固态物质）都可溶于水并与水发生作用。水中存在杂质，使水的一些与质粒有关的物理性质——如渗透性、水汽张力、沸点和冰点都发生变化，例如海水（含盐度 35‰）的冻结温度可低到 -1.9℃。

纯水还有一种极重要的特性，就是当温度降低到 0℃ 以下，不一定就冻结。凡是温度在 0℃ 以下仍然不结冰的水就称过冷水。在云层里，当温度在 -10℃ 到 -20℃ 之间，常常有过冷水和细小的冰晶同时存在着，甚至当温度在 -30℃ 时，还有不结冰的情形。在实验室里，经过慎重处理，能够保持温度在 -32℃ 左右的水，仍然可以不结冰。经研究，证明过冷水在加入了少量尘屑或受到扰动以后，立刻就会冻结起来。因此，飞机在 0℃ 以下的降雨环境或 0℃ 以下云层里飞行时，由于过冷水撞击在飞机上常发生冻结，引起机翼、机身、螺旋桨等处的积冰。飞机遇到的水滴越大，积冰的危险性亦越大。

(二) 水是三态具备的物质

在地球上和地球大气的常温常压下，水是唯一能以气体（水汽）、液体（水）、固体（冰）的三态（或三相）存在的自然物质。这三态之中，水汽是肉眼看不见的，以雨滴出现的液体或以雪结晶出现的固体是可见的。自然界的水分不断地发生着从一种状态转变为另一种状态的过程。如大气层中经常出现水的蒸发和冻结；水气的凝结和凝华；冰的蒸发和

融解的相互转化。水的状态变化对天气变化起着非常重要的作用，是气象上最根本的问题之一，云雾降水正是这些过程中的产物。

在一定温度下，对任何气体（如水汽）施加足够大的压力，同时降低其温度，可以使气体变为液体，这一过程称为凝结。如果继续降低温度，可使液体变为固体，这一过程称为凝固或冻结。当温度低于某一数值时，增加压力，气态物质不经过液态而直接变为固态的过程，称为凝华。上述过程也可以逆转过来，固体可重新融解为液体，液体经过蒸发为气体，固体也可直接升华为气体。

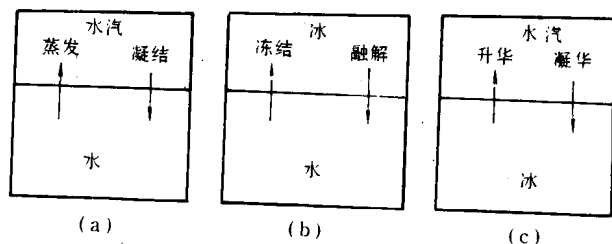


图 1-3 水相的变化

图 1-3 是水分从一相转变为另一相的示意图。云和雾都是由水汽凝结或凝华而成的细微水滴或冰晶的悬浮体。所谓凝结或凝华分别是水汽转变到液态或固态的现象。

(三) 相变过程中的潜热释放

在水相变化过程中，发生着显热转化为潜热，以及潜热转化为显热的现象。所谓显热就是可感热。它是可以从温度的升高或降低显示出来的能量转换。而所谓潜热，则是在相变时并不能用温度变化表现出来的这一部分能量的变化。当蒸发时，由于跑出水面的都是具有较大动能的水分子，使液面温度降低，如要保持其温度不变，就必须自外界供给热量，这部分热量就等于蒸发潜热，以 L 表示， L 与温度 t 的关系为

$$L = (2498 - 2.38t) \text{ 焦耳/克}$$

不过，在平常温度范围内， L 的变化很小，一般取 $L = 2498$ 焦耳/克
 在 0°C 时水蒸发时所需的热量为

$$L = 2498 \text{ 焦耳/克}$$

冰的融解潜热也与温度有关

$$L_d = (334 + 2.09t) \text{ 焦耳/克}$$

当 $t = 0^\circ\text{C}$ 时，冰融化为水所消耗的融解潜热为 334 焦耳/克，冰也可直接转变为水汽，此过程称升华。在升华过程中也要消耗热量，这热量除了包含由水变为水汽所消耗的蒸发潜热外，还包含由冰融化为水所消耗的融解潜热 (334 焦耳/克)，故称升华潜热。

$$L_s = 2498 + 334 = 2832 \text{ 焦耳/克}$$

和升华相反，从水汽也可直接转变为冰的过程，称为凝华。在同温度下，凝华潜热与升华潜热相等。

融解潜热定义为，把单位质量物质由固相转化为液相而不改变其温度时所加入的热量。发生相变时的温度称为熔点。

蒸发潜热定义为，把单位质量物质由液相转化为汽相而不改变其温度时所加入的热量。

凝华潜热定义为，由水汽直接变为冰（即凝华）时放出的潜热。

升华潜热定义为，由冰直接变为水汽（即升华）时所吸收的热量。

上述这些潜热在大气中起着各种物理作用。夏日炎热时，雨后凉爽即是因雨滴在下落中蒸发，吸收了大气的热量，使气温下降所致。若地面水分蒸发进入大气，在大气中凝结成云滴或雨滴，则水以吸取地面热量作为蒸发潜热，释放给大气，并即通过蒸发、凝结过程，把地面的热量传送到大气层。

如上所述，相变是与能量的释放和消耗相联系的。它对大气能量转换、水分循环以及云雾形成和演变起着十分巨大的作用。

然而在相变过程中，常常发生某一种稳定状态，其中相的转变完全终止，便出现相的平衡。在相平衡情况下，物质分子间的交换仍在不断进行，但是分子从一个相朝另一个相转变并不发生。例如当 $t=0^{\circ}\text{C}$ ，液态水和水汽并存时，如果这个系统没有吸入热量或放出热量，虽然系统内的分子交换不断进行，但各个相之间，可以长期地处于平衡状态。

图 1-4 是纯水（平水面）的位相平衡图。图中横坐标是温度，纵坐标是压强， OA 是蒸发线，它表示水和水汽动态平衡时水面上饱和水汽压与温度的关系。线上 K 点所对应的温度和水汽压是水汽的临界温度和临界压强（ $p_k=218$ 个大气压），高于临界温度时，就只可能有气态存在了。 OB 是升华线，它表示冰和水汽平衡时冰面上饱和水汽压与温度的关系。 OB' 线则表示过冷水与水汽平衡时水面上饱和水汽压与温度的关系。过冷水与水汽的平衡称亚态平衡，因为过冷水一经扰动，立即冻结。 OC 线是融解曲线，它表示冰与水达到平衡时压力与温度的关系。由图看出， OA 、 OB 和 OC 三曲线相交于 O 点。 O 点称为三相点。三相点（ $t_0=0.0075^{\circ}\text{C}$ ， $E_0=6.11$ 百帕）是冰、水和水汽三相能维持平衡共存的唯一状态。上述诸曲线划分出了冰、水、水汽的三个区域。 OA 与 OC 之间为水区； OB 与 OC 之间为冰区； OA 与 OB 以下为水汽区（对于过冷水来说， OB' 以下也应划为水汽区）。

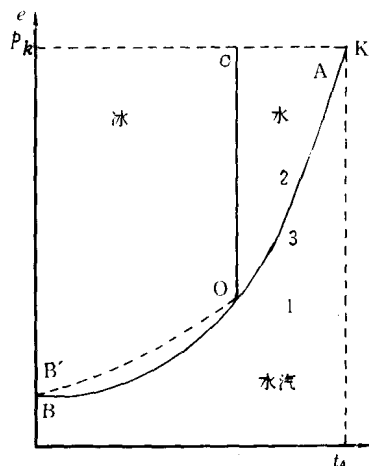


图 1-4 水的位相平衡

（四）液体水的表面张力

液体表面相邻两部分间单位长度内的相互牵引力称表面张力，是分子力的一种表现。分子力是物质分子能够聚集为固体或液体的主要因素。从宏观上看，水面有一种收缩的趋势，好像有一个弹性膜包在水体外面，有沿膜拉紧使膜收缩的张力在作用，这种张力称为水的表面张力。水的表面张力在标准气压（ 1.013×10^5 帕斯卡）和 20°C 时为 7.3×10^{-4} 牛顿/米，是所有液体中最高的，云、雨滴之所以呈球形，就是由于表面水分子的作用而造成的，也可以认为是表面张力要求使水滴表面变得最小所致。

在浩瀚无际的洋面，由多种原因形成滚滚波浪，其中由风力导致的波浪是尽人皆知的。然而，水体在表面张力作用下，也会形成周期性的起伏运动即表面张力波，周期小于 0.1 秒，其波长与波幅随风速的增加而减小。

第三节 大气中含水量的变化

几乎占全球四分之三的广阔海洋，是供给大气中水汽的主要源泉。水汽伴随着气流由海洋传递至陆地，增加了内陆上空的水汽含量，并直接影响云的形成和降水的过程。此外，

大陆上也常由江湖沼泽、潮湿土壤以及植物覆盖等处蒸发水分。这些蒸发地区增加了近地层的空气湿度。由于大气层中的空气质点沿各式各样弯曲路径运动形成的乱流和乱流交换作用，使地表蒸发的水汽向上传递到对流层上层和平流层下部，所以水汽可分布到相当厚的一层大气中，这就决定了大气中含水量的不断变化，产生云和降水等复杂天气过程。

图 1-5 是大气层的垂直结构示意图，自地面向上可分为对流层、平流层、中间层、热层、外层等 5 层。在对流层，集中了约 75% 的大气质量和 90% 以上的水汽质量，层内气温随高度而降低，平均每上升 1 千米气温下降 6.5°C 。在对流层，空气很不稳定，上下空气容易充分混和，造成空气对流，所以变化无常的云和降水以及各种天气现象都发生在这里。在对流层中，空气的温度、湿度和风等分布很不均匀，不仅南方和北方的空气性质有差别，就是同一纬度上，由于地表状况不同，空气性质也有差别。虽然如此，但从大范围讲，在地表性质近似的地区，可以发现在水

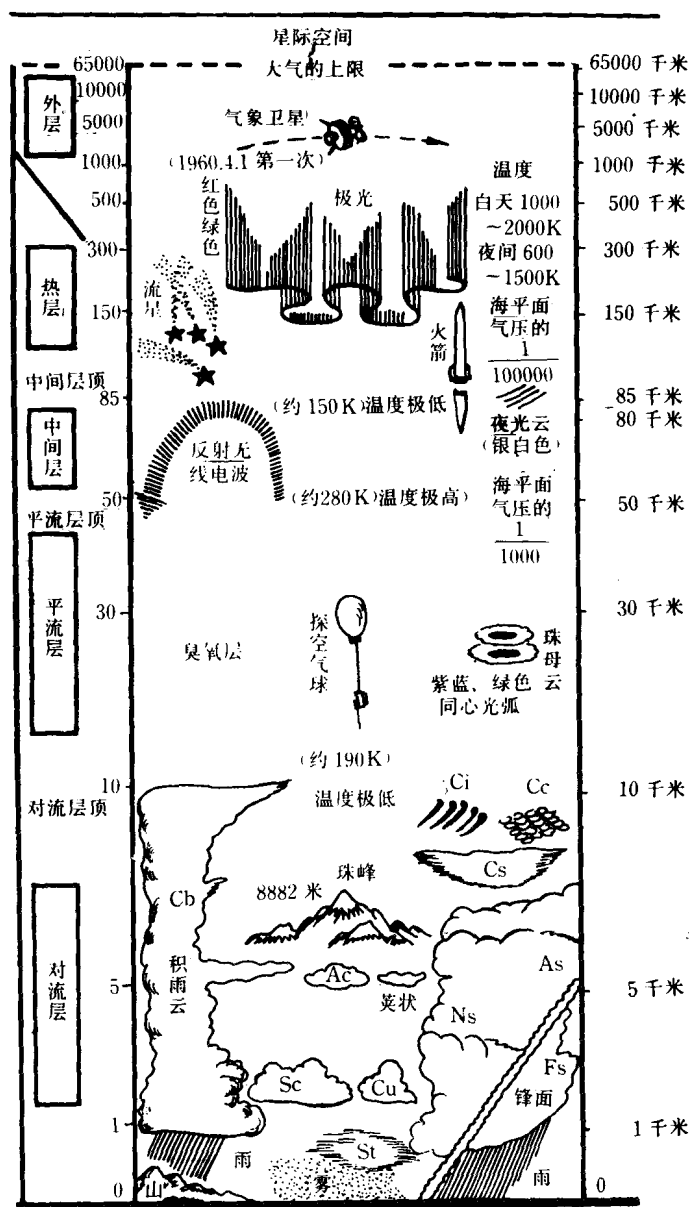


图 1-5 大气层垂直结构示意图

平方向上温、湿度等物理性质比较均匀的大团空气，称作气团，它有冷暖之分。向比它冷的地面移动的气团，称冷气团；向较暖的地面移动的气团，称暖气团。当冷暖气团相遇时，由于冷气团的密度比暖气团的大，暖气团便爬到冷气团的上方，在其交界处常形成一个倾斜狭窄的过渡区，称为锋区或锋面，如图 1-5 右下侧所示。但其空间剖面，则如图 1-6 所示，图中剖面和平面的交界线称作锋（线），水平方向上密度差异很大两气团间较宽的过渡带则称作锋区。按锋的移动情况可分为冷锋、暖锋、静止锋。凡向南方暖气团方面移动的锋称冷锋；凡向北方冷气团方面移动的锋称暖锋；移动不大的锋称静止锋或准静止锋。在锋面附近常有其特定云系、降水和大风等剧变天气产生，所以锋面活动之处是大气层水分和天气变化的敏感区。

约在 10 千米到 50 千米的范围，因空气多平流运动，空气上下混合不活跃，除有少量珠母云外，天气现象少见，所以称平流层。层内温度随高度增加而升高，到 50 千米达最大值。在此层 20~30 千米处，臭氧最为集中，它是大气中唯一能大量吸收太阳紫外辐射的气体，使地球上的人类和其它生物，不致受过量的紫外射线

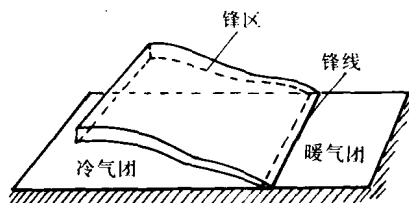


图 1-6 锋的表达示意图

所伤害，在约 50 千米到 80 千米的气层称中间层，层内只有少量银白色的夜光云，空气极其稀薄。从 80~500 千米左右的气层，温度随高度增大而迅速升高，在高纬度出现的极光，多发生在该层。位于热层之上的大气最外圈，称外层。此层以上逐渐向宇宙空间过渡。

第四节 大气中热量收支和云的关系

云雾降水的物理过程主要是通过热量和水汽变化（还有上升运动等）来进行的。地球和大气的热量来源，主要是太阳辐射。辐射是指物体以电磁波形式向外传递能量的一种方式，而电磁波具有不同的波长，物体的温度愈高，放射的电磁波波长就愈短，辐射的能量也就愈多。太阳表面的温度约 6000K，如图 1-7 所示的那样，辐射能量的最大值的波长为 0.5 微米；另一方面，地面和云也经常放射出辐射能。地面和云的温度为 -50℃

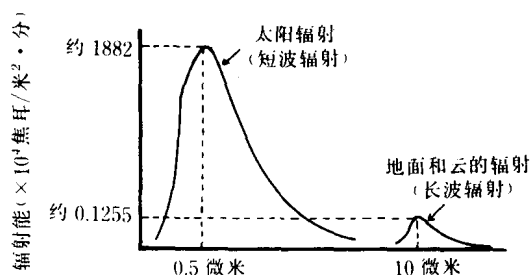


图 1-7 短波辐射和长波辐射的能量与波长关系

~40℃，从这种低温物体放射出的辐射能量最大值的波长为 10 微米。由此可见：自太阳放射的辐射是波长短的电磁波，称为短波辐射；从地面和云放射的辐射是波长长的电磁波，称为长波辐射。

太阳辐射到达地球及其大气后，被反射回太空的有 30%，被大气和云吸收的有 20%，50% 则被地球表面所吸收。图 1-8 简要地说明了地球和大气的辐射收支情况。被大气吸收的 20% 的太阳辐射能量，主要是在 10 千米以下低层大气中进行的，被水汽和二氧化碳等所吸收。

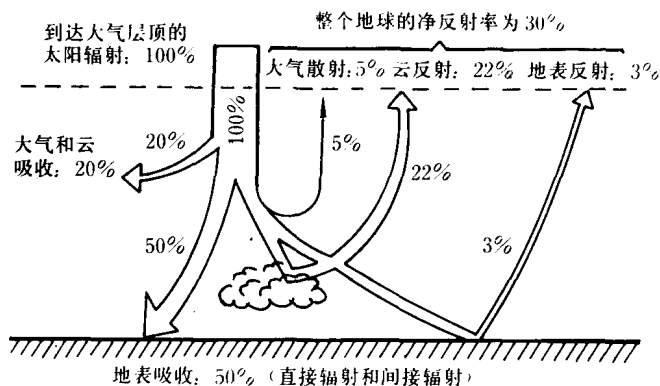


图 1-8 地球和大气的辐射收支

作地球的净反射率。

(一) 地面和大气的热量收支

如上所述，从宏观范围讲，太阳辐射以短波形式进入大气圈被其直接吸收而使大气加热的量不多，约有 50% 是被地面吸收的。然而，被地面吸收的这部分太阳辐射，又主要通过以下两类过程输向大气：

第一类过程是地面向大气进行的热传导。若地面及其附近大气之间存在温度差，热量就从高温传至低温。若地面温度高，热量就从地面传至大气。如大气的温度高，大气的热量就传至地面。白天地面因太阳辐射而温度升高，地面向大气放出热量；夜晚，地面较大气温度为低时，热量作反向传送。但平均来说，热量是从地面传给大气的。通过传导，从地面传给大气的热量约为 11%。

第二类过程是蒸发和凝结。分布在地表的水（海水和地表面含有的薄层水）由于吸收地面的热量而变成水汽，从地表面进入大气，即为蒸发。蒸发时，以蒸发热（汽化热）的形式消耗地面的热量。

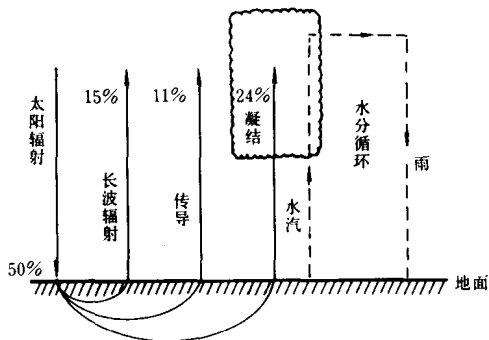


图 1-9 地面和大气的平均热量收支

大气对太阳辐射的反射作用主要靠云来进行。全球的云所反射的太阳辐射约占大气层顶太阳辐射总量的 22%。地球表面也可以反射一部分太阳辐射，但其能力远不如云，反射的辐射能量只占到达地球的太阳辐射总量的 3%。这个被大气分子所散射的太阳辐射，以及云和地面所反射的太阳辐射，统统加起来，约占到达地球太阳辐射总量的 30%，这称

蒸发的水汽靠大气运动输送到上层，在向上输送过程中发生凝结，凝结时放出和蒸发热相等的热量。结果，通过蒸发和凝结过程，将热量从地面向大气输送。

可是，分布在地表面的水，蒸发成水汽进入大气后，又由凝结变成水滴，不久变为降水返回地面，如此反复循环。借这种水分循环将地面热量传送给大气，其输送量估计平均为 24%。图 1-9 即为上述情况的模式。图上另外还有从地面放散的长波辐射为 15%，大部分被大气吸收，少量进入太空。

(二) 大气层水汽和云的辐射特性

这里再从云和大气层中的水分来作进一步说明。如上所述,当太阳辐射到达地面之前,须先穿过地球大气层,此时将受到水汽、冰晶、云滴和云层的吸收、反射和散射等多种作用,其效应概括如图 1-10 所示。需要说明的是,图中数字代表的是典型的情况。如入射辐射为 100 单位,在上层大气中有 3 个单位被大气层臭氧所吸收,7 个单位被大气分子和浮游粒子向各个方向散射。在低层大气中,如属晴天碧空,有 10 个单位被大气中水汽所吸收,加上高层大气损失的 10 个单位,有 80 个单位到达地面。在多云天空,有 45 个单位被云层向空间反射掉。云反射的比率称反照率,它取决于云形和厚度;成层而深厚的云层,反照率就较高。云层本身及低层大气中水分共吸收 20 个单位,加以在上层大气损失的 10 个单位,总共损失 75 个单位,只剩下 25 个单位到达地面。

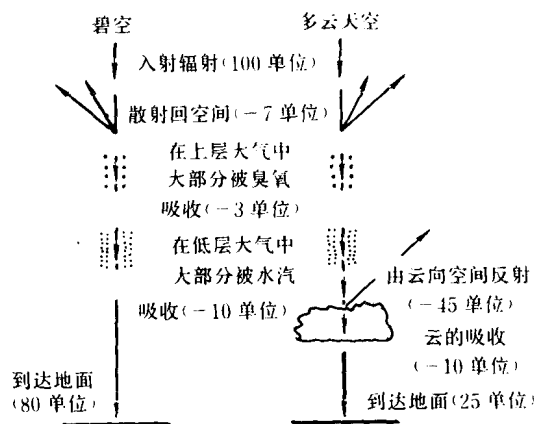


图 1-10 太阳辐射通过大气传输时,其强度减小

由水汽或冰晶或两者混合组成的云,平均覆盖了 50% 的地球表面,云层对入射辐射和射出辐射都有很大的影响。

第五节 水汽压和大气湿度

湿度是表示空气潮湿的程度,反映大气中的水汽含量。大气中的水汽,是由于水面、冰面、潮湿土壤和植物等表面的蒸发而进入大气的,又由于本身的分子扩散和气流的传送而分散于大气之中。在一定的条件下,水汽会发生凝结,产生云、雾等天气现象,并且以下雨、下雪等形式重新回到地球表面。

伴随大气湿度变化而出现的云、雾、降水等天气现象,对于国民经济的各个方面都有重大影响。为了掌握云、雾、降水的活动规律,需要了解大气湿度的变化情况。

(一) 水汽压的意义和作用

作为大气组成部分之一的水汽,具有其压强,水汽量增加时,压强也增加,称为水汽压强,常以百帕为单位。湿空气分干空气和水汽,如两者处于混合状态时,将是同温度和同体积的。这时的干空气和水汽的压力(分压力)的和即为湿空气的压力(全压力)见(图 1-11)。在某一温度下,水汽压增加到某一极限值或最大值,称作最大水汽压强或饱和水汽压强。空气温度的变化,是水在大气中相变变化的最重要因素之一。当夜间近地面气层冷却时,气温降低,饱和水汽压逐渐减低,最后便等于实际水汽压。饱和水汽压的继续降低,便会引起水汽的凝结和云雾的形成。因此,饱和水汽压和温度的关系,在研究湿空气和饱和空气在大气过程中起着重要的作用。