



天气 与 气候

〔瑞典〕斯凡特·博丁 著



科学普及出版社

天气与气候

[瑞典]斯凡特·博丁 著

陈江林尔蔚 译

科学普及出版社

内 容 提 要

这是一本系统介绍天气和气候知识的科普读物。作者以流畅的笔触，从日常的事例谈起，介绍了天气的各种现象和气候的基本原理，如雨、雹、雪、风暴、龙卷、气旋等各种天气现象是怎样发生的；阐述了大气的组成、辐射和云的各种类型及其形成过程；指导人们怎样观测天气、探测风云、进行天气预报，如何解决大城市的空气污染等等。本书还特别注意总结近年来国外的研究成果，向读者提供最新的科学知识。这本书对青年人或成年人都是需要的，同时对学气象学和气候学的学生来说，也是一本较好的课外读物。

本书曾请我国气象学者阮忠家同志审校。

SVANTE BODIN

WEATHER AND CLIMATE

Blandford Press Ltd., Poole, Dorset, 1978

天 气 与 气 候

[瑞典] 斯凡特·博丁 著

陈江林 译

责任编辑：文兰

封面设计：王序德

科学普及出版社出版（北京白石桥紫竹院公园内）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
丰台区岳各庄印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：6 1/4；字数：139千字

1983年1月第1版 1983年1月第1次印刷

印数：1—8,700册 定价：0.55元

统一书号：13051·1325 本社书号：0504

科 目：41—60

目 录

1. 引言.....	1
2. 大气.....	6
3. 辐射.....	23
4. 风——运动着的空气.....	34
5. 云和天气.....	58
6. 气团，锋和风暴.....	87
7. 天气观测，天气图和天气预报.....	107
8. 大气环流，气候和气候变化.....	136
9. 人与天气.....	172

1. 引言

“有些人善于卜测风云，有些人在这方面却一窍不通。”

——本杰明·富兰克林

美国杂志《风云可测》(Weatherwise)把上面这条语录作为它的题词。本杰明·富兰克林说的这句话，现在仍然包含着许多哲理。懂得天气的人是明智的人。

很早以来，天气并不只是一个随便谈论的话题，而是关系到生死攸关的大事。今天，世界上还有许多地方，在预料明年能否有一个好年景，或面临旱涝会造成怎样的后果时，天气依然是个决定性的因素。

大气能够以热带风暴的形式释放巨大的能量，它常常威胁着沿海地区，例如墨西哥湾或人口稠密的亚洲沿海地带。强风吹毁房屋，倾盆大雨和风暴涌浪引起洪水泛滥，使整个地区一片汪洋。每年有数以百计的人死于台风。台风，在日本称作热带气旋，在墨西哥湾一带又称作飓风。在中纬度地区，极地低压常常破坏社会的正常生活。在北方地区，这种风暴在冬季常带来大雪，使通讯联络瘫痪、公路阻塞，使全国部分地区与外界隔绝可达数日之久。这些大西洋低压区通常伴随着强风，有时风力可以达到飓风的威力。欧洲沿海的船只不得不停留在港口里。渔船上的渔民通常能够识别风暴快要来临的征兆，但是他们也得收听气象台的警报。

在夏季，常常发生强雷暴。雷雨云中的上升气流和下沉

气流使云内各个部位之间和云与地面之间形成大量不同极性的电荷。异性电荷的释放就成为闪电。雷暴常常在天气长期干燥以后发生，它能使辽阔的森林和草原突然起火。在美国中西部有十分可怕的龙卷，这是一种强有力的旋风。它能够把树木连根拔起，把汽车和牲畜卷入高空，把房屋彻底摧毁。每年由龙卷造成的损失可达几亿美元，并且使许多人死亡。1974年4月3日和4日两天中竟观测到八十多个龙卷，这是历史上记录到的龙卷破坏最严重的一次。俄亥俄州的小镇齐尼亚实际上从地图上被抹掉了。

天气可以是十分戏剧性的，但我们大多数人可能永远看不到龙卷。对于大多数人来说，只有打算进行业余活动如出门去钓鱼或在周末到海边去远足时，天气才似乎是重要的事情。虽然，在我们休假期间，最怕下雨，但在世界上有些地方，情况也许恰巧相反。例如在印度，那里有几百万人依靠夏季的季风雨来种植作物。因而一旦夏季风来迟，一场大灾难就会在全国各地发生。在世界上许多地方，水是最珍贵的物质，而天气又是水的主要供给来源。

这就容易明白：天气的知识，它的影响，以及或许最重要的是预报天气的能力，具有多么重要的价值。即使不涉及到生死攸关的问题，预报和了解天气型式也能节省一大笔金钱。世界上所有的国家都认识到这一点，大多数国家都建立了全国气象站来提供天气预警、预报和气候资料。那些从事与天气变化有关的职业和活动的人们，已经学会如何跟天气打交道。飞行员在出航以前调查航线上有关天气资料。农民们在收获季节注意收听长期天气预报，在春季找出最合适的播种时机。在许多地方，很难预测发生初霜的确切日子，这时候气象学家就可帮助农民和种植者。风暴正在来临的警

报，对每个人都有用处。例如人们可以准备好扫雪车，可以在飓风开始以前关紧窗户和锁好房门。

我们还可以在其它方面来利用天气知识。人们知道得很清楚，任何地方的降雨量是常常有变化的，但是如果测定了年雨量，这个总雨量逐年是比较固定的。某个地方的年平均气温也是这样。这种平均状况是天气型式对一个特定地区影响的结果，由气候学来研究它。一位气候学家或许还要试图回答另外一些问题，例如：一昼夜内雨量是不是常常超过30毫米？一小时内雨量是不是会常常达到一定的数量？这些资料使我们有可能估算水管、下水道和排水系统等所需要的正确尺寸和范围。

在决定一个具体地方适合哪种耕作方式以及最适宜种什么作物时，平均气温和年雨量的资料也是很有帮助的。气候资料能够告诉我们可以指望什么，也能提供日照概率和有代表性的气温资料来帮助度假者选择他们的旅游地。

不管我们是否喜欢，天气实际上影响着我们生活的各个方面。我们呼吸的空气必须清洁，不能过度污染。在我们的家里，需要比较稳定的气温和适宜的湿度。如果湿度太低，我们的嗓子就会感到疼痛，开始咳嗽；如果湿度太高，房间内就会感到闷热和潮湿。

天气现象的尺度很不相同。我们在街道拐角所感觉到的阵风，只有2米的范围，但是大西洋风暴、极锋气旋影响的范围大约有3,000公里。我们不能直接看到最大的天气系统，这些天气系统是急流波，也即所谓罗斯贝波，它的尺度达到5,000—10,000公里，环行全球。

同样，既有不同的空间尺度，也有不同的时间尺度。一次阵风仅仅持续几秒钟。一个雷暴也许可以活跃一、二个

时，接着它就消亡。低压系统及其锋和雪暴，通常在一、二天以后就过去了。另一方面，在自由大气中长波的移动非常缓慢，能影响某个地区的天气达几个星期之久。几个世纪以来气候有多大的变化呢？为什么最后一次冰期发生在10,000年以前？这是很难理解的时间间隔，但又都是气象学家必须考虑的时段。由于非洲撒哈拉地区最近发生三年的干旱，气候变化近来已经成为人们注意的中心。这个领域是非常值得去探索的。有些人说另一个冰期正在到来，而另一些人相信年平均温度将要增高。

在这本书中，将在所有这些尺度——既在时间尺度也在空间尺度上来试图解释天气现象。还要研究气候，看一下科学工作者在了解气候变化的原因方面已经取得多大成就。这也为玩弄可怕的天气战和气象战提供了可能性。我们已经使用了气象学这个名词。气象学是研究大气和天气的科学。气象学家力图发现支配大气过程的自然规律，同时努力把这些知识用来预测天气。现代技术最精密的产品，例如巨大的电子计算机、人造卫星和天气雷达等，都用来服务于这些目的。为了分析全世界复杂的天气型式，所有这些都是需要的。

大气能够把它的能量集中起来形成巨大的爆发。一个极锋风暴所包含的能量比几千个氢弹的能量还要大。大气的所有这些能量是从哪里来的呢？使地球上风系一年到头流动的能源是什么？我们现在知道太阳是第一个能的源泉，它向地球辐射巨大的能量。但是，在地球表面，从北到南，阳光的分配是不均匀的。极地地区接受的能量只占热带的一小部分。大气的一个重要职能是从热带把这种过剩的热量输送到北方，从而防止大面积的冰冻。在这个过程中，中纬度的风暴起着重要的作用。

然而，作为我们的皮肤可感觉到和温度计能测量到的热——感热，它的主要部分并没有被输送出去，而是在热带海洋上，以通常把水蒸发成水汽的热量的形式输送的。在水汽凝结再度变为水时，这种热作为感热的形式释放到大气中去。与此同时，大气中的水汽供给我们必需的雨量，形成河流和湖泊，贮存在地里，最后以一种永不终止的循环回归大海。对天气来说，水差不多和大气本身一样重要。实际上，我们所说的各种天气现象，只不过是水的这种形态或那种形态而已。这就是说，我们必须懂得天气的各个方面，为了做到这一点，也必须懂得海洋和大气之间水分交换。甚至还要懂得更多。我们将会了解人类的活动已经怎样对大气产生明显的影响，而且这种影响造成对大气的威胁正在逐年增加。我们会逐渐认识到：人类属于当然包括大气和海洋在内的一个巨大生态系统的组成部分。如果我们搅乱了这个复杂体系的某一部分，就可以导致其它部分产生不幸的和预料不到的后果。

我们可以把包括大气和世界大洋在内的这一整个体系，看作是由太阳驱动的一部热动机。这部热动机能显示出惊人的风云变幻。它给予人们美丽的夏天，它在天空闪耀电光；在北方，冬天它以雪花把一切覆盖成白茫茫一片。它可以是残酷和严厉的，但它也会情意深长地关心我们，送给我们和煦的春风，让我们在温暖的夏天躺在绿草上，欣赏云彩变幻的奇景。这部热动机无休止地工作，把热量从赤道输送到南北两极，使地球上大部分地区的生命都能生存。

2. 大 气

我们呼吸的空气是包含多种气体的巨大气层的一部分。这个气层围绕着地球，叫做大气。大气是透明的，无味、无臭（假如还没被污染）；尽管这样，它的存在是显而易见的。空气中所含的氧是人类生存的基础，由于空气处于不断地流动状态，我们就能感到风吹到我们身上。因为空气传送声波，就为我们的语言交流创造了条件，使我们有可能互相交谈。没有空气就会听不到声音。

天气的最重要的要素是水汽。水汽也是无色、无味和无臭的，在正常情况下，我们看不到它。然而，如果水汽一旦凝结，就会形成雾和云，这是悬浮在空气中的极细小的水滴和冰晶。云给我们带来雨、雪、雹和雷暴。

大气的成分

氧（化学符号为O，常以分子O₂出现）和二氧化碳（CO₂）参加称为光合作用的复杂循环。植物接收来自太阳的热作为能，并且从大气摄取二氧化碳和水汽来产生植物本身的糖，同时把氧释放到大气中去。植物中的糖是我们食物中某些最重要的成分。实际上，大气中氧的全部含量，是作为在亿万年前以前覆盖在地球上大片森林光合作用的“废品”而再次生成的。一旦这些森林在压力下逐渐收缩和炭化，就形成了石油和煤。在这些沉积物中，包含有原始大气中很大部分的二氧化碳和来自太阳的巨大能量。现在我们使用这种能源的比率

正比过去日益增加。

在围绕地球的永恒运动中有着巨大数量的物质。大气的质量大约为 5.243×10^{15} 吨。前面提到一些大气的成分，下表列出了最重要的气体及其在全部质量中所占的百分比。

大气中的主要气体

名 称	化 学 符 号	质 量 的 百 分 比
氮	N_2	75
氧	O_2	23
氩	Ar	1.28
二氧化碳	CO_2	0.05 (易变化的)
水 汽	H_2O	0.01—3 (易变化的)

这个表显示出一个惊人的事实，即存在大量的氩，1.28%即等于大气中含氩 6.6×10^{13} 吨。不过氩是一种惰性气体，它并不与其它气体起化学反应或化合。它并不象氧和氮那样形成分子，而且由于这些特性，它对大气不产生任何重要的影响。除了上面提到的气体以外，在大气中还有一批成分；虽然它们所占的百分比很小，但有着重要的局部影响。从全球来看，它们还是具有相当数量的。在这些成分中，我们可以看到另外两种惰性气体：氦和氖。它们总共有 7×10^{10} 吨以上。另一个重要化合物是二氧化硫(SO_2)，它也许是量最大的空气污染物。大气中二氧化硫的含量大约为1,000万吨。再一个十分重要的气体是臭氧(O_3)。它是氧的一个变种或同素异形体。臭氧的含量大约为 4×10^9 吨，大量的臭氧存在于15—50公里的高空。闪电时也能产生少量的臭氧。在一场暴风雨以后，有时人们可以从空气非常“清新”的这一特征而辨别臭氧的存在。

水汽和水

除了氧以外,水汽就是大气中最重要的成分。但是,正如上表所表明,大气中的水汽量变化很大。在寒冷地带,例如在西伯利亚北部,水汽的含量可以低到0.01%,但是在热带海洋上空,其含量可以上升到3%。水汽之所以显得重要,是因为它可以以全部的三种物理状态出现,即冰(固体)、水(液体)和水汽(气体)。我们知道冰和水常见的形状是什么,但即使是这些形态,有时也会采取奇特的形状。冰冻的水能够以雪或雹的形态出现。雪可以有多种不同的结晶形态。水几乎永不变化地以水滴形态存在于大气之中,但是水滴的大小很不相同,从雾滴的直径0.001毫米到雨滴的1毫米左右。如果雨滴逐渐变大,超过2毫米,就分裂成较小的微水滴[●]。云中的微水滴通常为中等大小。云也能表现出不同的形态,这取决于云的高度、形成的规律和受太阳光照射的情况如何。在6—10公里的高处,气温很低(通常低于-40℃),在这种低温下水滴不可能存在,被冻结成冰晶。这就赋予云以一种特殊的扩散状或纤维状的形态(卷云)。

在水转变为水汽的时候,最重要的特点是具有贮存热量的能力。这里举一简单例子加以说明。把壶内1夸脱[●]的水从室内温度加热到沸点100℃,需要340,000焦耳的热量(1焦耳=1瓦·秒),或者需要能把一只100瓦的灯泡点一小时那么多的能量。另一方面,把这1夸脱的水在不改变温度的情况下蒸发成水汽,则需要2,500,000焦耳,这就是说要多到7倍

● 直径超过2毫米的雨滴是大量存在的,因此原文认为雨滴逐渐变大,超过了2毫米,就分裂成较小的微水滴的说法是欠妥的。——校注

● 容量单位,1夸脱= $\frac{1}{4}$ 加仑=1.137升。——校注

的能量。存在于大气中的水汽含量一定是从某个地方蒸发而来的；蒸发通常在海洋上空，特别是在热带海洋上空发生。巨大的能量贮存在大气的水汽中。把这种能量称作大气中的潜热。以后当水汽凝结成云的时候，这种热就还给大气，从而加热了大气。这种加热效应对于形成许多天气现象，如雷暴和热带气旋(飓风)，以及中纬度地区常见的风暴，有着十分重要的影响。象需要热来把水蒸发成水汽一样，同样需要热来把固体的冰融解为液体的水。融解冰的热量大约为蒸发水的热量的十分之一；在物理学中，这两种热都称做“潜热”。

关于大气中的水，我们还应当知道另外一些事情。能以水汽形式存在的水量取决于空气的温度。因为水汽是一种气体，可以用测量它的压力来估算其含量。另外，根据每立方米空气中水汽的质量(通常写成每立方米克或克/米³)，也是说明在特定气温下最大可能水汽量的另一种方法。大气在特定气温下能容纳的最大水汽量被称为饱和值。当然，大气实际的水汽容纳量可以少于饱和值，但是超过饱和值的情况是很少的。然而，水汽可以通过凝结转变为液态水。饱和值只不过说明可能容纳的水汽量是多少罢了。云中既含有液态水也含有水汽，气温愈高，大气能够容纳的水汽愈多，饱和值也就愈大。下表对饱和值的变化提供了一个大致的情況。我们可以看到每立方米的克数(克/米³)是大气中水汽量的绝对量度。另一个测量水汽量的常用单位是相对湿度(R.H.)。相对湿度告诉我们大气中现在有多少水汽，它以在给定气温下水汽的最大可能量的百分数来表示。在温度 +20℃ 时，从表上看到最大的水汽量是 18.7 克/米³。如果在这一温度上，确实有那么水汽，那么，相对湿度就是 100%。另一方面，如果水汽量只有 10 克/米³，那么相对湿度就是

气温 °C (°F)	饱和值 (g/m ³)
+ 40 (104)	40.0 (在标准大气压
+ 30 (86)	30.4 1000毫巴时)
+ 20 (68)	18.7
+ 10 (50)	9.8
0 (32)	4.9
- 10 (14)	2.9
- 20 (-4)	1.0

$\left(\frac{10}{18.7}\right) \times 100 = 54\%$ 。也看到在 +20°C 时相对湿度 100% 的水汽量是 18.7 克/米³。但是在 0°C 时相对湿度 100% 的水汽量却只有 4.9 克/米³。现在，如果把在 20°C 时相对湿度为 100% 的一立方米空气冷却到 10°C，那么就必然会有一些数量的水汽凝结成液态水。从上表中，可看到在 10°C 时的最大水汽量是 9.8 克/米³。这就是说，在这一水汽量与我们在 20°C 时的水汽量 (18.7 克/米³) 之间的差数一定是凝结了，因而在温度 10°C 时水汽量就不会超过它的饱和值。大气有许多实现这种冷却的方法，而研究天气的过程主要是研究在大气范围内气温实际上是怎样发生变化的。水的蒸发和水的凝结就是两种最基本和最重要的天气过程。

气压、温度和密度

正如前面所述，大气是由多种气体组成的混合物，其中以氧气和氮气最丰富。一直到 100 公里左右的高空，这种混合物大致保持不变。在这一高度以下，空气的密度很大，足

以使各种气体分子之间不断发生碰撞来保持空气很好地混

合。在100公里高度以上，空气的密度逐渐变小，一直小到分子之间发生碰撞的次数不能再保持空气很好地混合。于是大气的组成发生了变化，较重的气体处于低层，较轻的气体处于高层。这就是说，大气组成的垂直变化逐渐从氧转换到氮，最后转换到氢，因为氢是所有元素中最轻的一种。然而，即使是大气中空气极端稀薄的这一部分，也是有特殊意义的。因为它吸收来自太阳的危险的X射线和伽马(γ)辐射。如果没有大气中这一部分，这些射线就将穿透大气到达地球表面。不过，这个问题已经远远超出本书叙述的范围了。

实际上，大气质量的90%存在于贴近地面的15公里范围内，形成天气现象的这层大约有6—8公里厚，它包括整个大气质量的66%。这显然可以看出，就地球的体积来说，大气是围绕着地球的一圈很薄的气层。地球的半径是6,371公里，而大气(从各个方面的实际情况看)大约有15公里厚。换句话说，就是大约为地球半径的 $\frac{1}{400}$ 。大气好像是苹果的一层表皮而已。大气的水平尺度比它的垂直尺度要大得多。

气压

我们可以在地面用气压计来测量气压。气压就是每平方厘米单位面积上的力。不久以前通用的单位叫做大气压(1大气压=1公斤/厘米²)。现在气象学家则用毫巴(单位符号是mb)做计量气压的单位，1毫巴为1巴的 $\frac{1}{1000}$ 。1个大气压

相当于1,013毫巴的压力。另一种通用的单位是水银柱英寸或水银柱毫米。这种单位是在大多数气压计中充填着水银，以及人们测量真空玻璃管中的水银柱高度的时候使用起来

的。地球表面的气压，在正常情况下能够把玻璃管中的水银压到大约 760 毫米（30 英寸），即等于平均海平面气压 1013 毫巴（在米制国际单位所使用的气压单位是帕斯卡，等于 1 牛顿/米²；1 毫巴为 100 帕斯卡或 1 海克托帕斯卡）。

温度

温度是一项重要的气象变量。可惜还有不同的温度单位。在某些讲英语的国家里仍然使用华氏，而在另外的大多数国家里则使用摄氏。在本书中将使用摄氏度数，并且说明如何把华氏度数和摄氏度数互相兑换。温标的设计是以选择两个固定点作为基点，在这两个点上确定温度为 100 度或零度。摄氏温标以瑞典物理学家安德烈·塞尔夏斯（Anders Celsius）命名，在标准海面压力下，水的沸点温度为 + 100 度；水的冰点选定在 0 度。华氏温标以正常的人体温度为 100 度作为基点，零度是冰和盐混合时达到的温度。

$$100^{\circ}\text{F} = +37.8^{\circ}\text{C}, \quad 0^{\circ}\text{F} = -17.8^{\circ}\text{C}$$

华氏和摄氏温度的互相转换关系为

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

另外还有一种主要由科学家使用的温标。这种温标叫做绝对温标，使用单位为开氏，以英国的物理学家开尔文（Kelvin）爵士命名。在这种温标上的零度是绝对零度，即在温度零度时，所有运动全部停止，所有原子和分子都处于静止状态。这种使运动全部停止的温度在摄氏温标上为 -273°C ，在开氏温标上为零度，或写作 0K（不使用度数符号）。这样，使水结冻的温度，即摄氏温标上的零度，就是 273K。只要把摄氏温度加上 273，就得到开氏温度，例如 $+20^{\circ}\text{C}$ ，就等于

密度

所有物体都有由地球引力决定的重量。任何物体也都有质量，质量与重力无关，在物体中表现为物质的量。在米制或国际单位制中，质量通常以千克(kg)表示(英国表示质量的单位是：英石^①、磅和盎司)。物体的质量愈大，物体也就愈重。为了对不同的物体进行比较，就需要知道在不同的元素中能找出标准体积的重量有多重。换句话说，就是在每立方单位中有多少质量。在国际单位制中，以一立方米为单位，并计算出有多少千克的质量。这样就会得到每立方米千克(千克/米³)的密度。按照这种单位，水的密度为1,000，因为一立方米的水有1,000千克重。另一方面，空气的密度约为1千克/米³。

地球表面的气压就是一定地区上面的气柱的重量。我们可以进行一项简单的实验，来显示这种压力向四面八方发生作用。所需要的只是一杯水和一张能盖住玻璃杯的纸。把杯子完全装满水，一直到杯口边缘。再把这张纸放到玻璃杯上，一定要做到水和纸之间没有空气存在。现在，仔细把杯子倒转过来，慢慢地把手从纸上移开，由于气压对纸张发生作用，水就会留在杯子里，这就把水封闭在玻璃杯中了。不过，这个实验一定要在水槽上面做，并且一定要使纸张绝对地紧贴在水面上，否则实验不会成功，结果使人泄气！

流体静力平衡

如果我们向上穿越大气，周围的空气将越来越稀少，这

● 1英石 = 14磅——译者