



地球大气

蒋龙海 编著

南京大学出版社

327

887475

4403

327

地球大气

蒋龙海 编

南京大学出版社

1988·南京

内 容 简 介

本书比较全面、系统地介绍了地球大气的基本知识、基本概念和基本理论。全书共分八章，内容包括：第一章气象要素及其观测，第二章地球大地的起源、组成和结构，第三章地球大气中的辐射过程，第四章地球大气中的热力过程，第五章地球大气的运动，第六章地球大气中的云、雾、降水，第七章气团、锋、气旋和反气旋，第八章地球上的气候。每章后面均附有适量复习思考题。

本书可供中学地理教师、气象工作者、大专院校气象系学生参考，也可作为非气象学生学习气象的教材或供自学者参考。

地 球 大 气

蒋龙海 编

南京大学出版社出版

(南京大学校内)

江苏省新华书店发行 丹徒县印刷厂印刷

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

开本：787×1092 1/32 印张：7.625

字数：169千 印数：1—2000册

ISBN 7-305-00046-9

P·5 定价：1.65元
责任编辑 新 平

目 录

第一章 气象要素及其观测	(1)
§ 1.1 气温及其观测	(1)
§ 1.2 气压及其观测	(5)
§ 1.3 湿度及其观测	(9)
§ 1.4 风及其观测	(13)
§ 1.5 云及其观测	(18)
§ 1.6 能见度及其观测	(24)
§ 1.7 天气现象及其观测	(26)
§ 1.8 高空温、湿、压、风的观测	(33)
第二章 地球大气的起源、组成和结构	(37)
§ 2.1 大气的起源	(37)
§ 2.2 大气的组成	(40)
§ 2.3 大气铅直分层	(44)
§ 2.4 适用于大气的几个气体定律	(50)
第三章 地球大气中的辐射过程	(56)
§ 3.1 辐射的基本知识	(56)
§ 3.2 热辐射的基本定律	(59)
§ 3.3 太阳辐射	(63)
§ 3.4 地面和大气辐射	(81)
§ 3.5 辐射收支	(85)
第四章 地球大气中的热力过程	(90)
§ 4.1 地表的热力特性	(90)
§ 4.2 大气和地面的热量交换	(94)

§ 4.3	气温的日变化和年变化·····	(95)
§ 4.4	海平面气温分布·····	(99)
§ 4.5	空气升降运动中的热力过程·····	(101)
§ 4.6	逆温现象·····	(110)
第五章 地球大气的运动·····		(113)
§ 5.1	作用于大气的力·····	(113)
§ 5.2	地转风和梯度风·····	(123)
§ 5.3	高空风·····	(127)
§ 5.4	大气环流·····	(129)
§ 5.5	季风·····	(134)
§ 5.6	地方性风·····	(135)
§ 5.7	空气的垂直运动·····	(139)
第六章 地球大气中的云、雾、降水·····		(142)
§ 6.1	水汽凝结·····	(142)
§ 6.2	云的形成·····	(152)
§ 6.3	云的微观结构·····	(154)
§ 6.4	雾·····	(156)
§ 6.5	降水·····	(161)
§ 6.6	冰雹·····	(168)
§ 6.7	人工影响天气·····	(170)
第七章 气团、锋、气旋和反气旋·····		(173)
§ 7.1	气团·····	(173)
§ 7.2	锋·····	(175)
§ 7.3	气旋和反气旋·····	(178)
§ 7.4	台风·····	(185)
§ 7.5	龙卷风·····	(194)
§ 7.6	切变线、急流和大气长波·····	(198)

第八章	地球上的气候	(201)
§ 8.1	气候的形成	(201)
§ 8.2	气候分类	(213)
§ 8.3	气候变化	(223)
§ 8.4	气候变化的原因	(229)

第一章 气象要素及其观测

什么是气象要素？气象要素指的是：表示大气状态的物理量和物理现象。它包括气温、湿度、气压、风、云、能见度、天气现象等。

本章主要讲授气象要素的概念，并简要地联系到各个气象要素的观测。

§1.1 气温及其观测

一、气温的概念和单位

表示大气冷热程度的物理量，称为气温。表示土壤冷热程度的物理量，称为地温（地中温度）。从微观上看，气温的高低反映了空气分子不规则运动的剧烈程度。气温越高，空气分子的不规则运动就越剧烈。值得注意的是，温度是大量分子不规则运动的集体表现，因此对于单个分子而言它的温度是没有意义的。

为了定量地表示物体冷热程度，必须引进衡量物体温度高低的尺子。这把尺子就是温标。在国际单位制中，以热力学温标（绝对温标）作为基本温标。热力学温标表示的温度称为热力学温度或绝对温度，用符号 T 表示，单位为开尔文，中文代号开，国际代号K。热力学温标以水的三相点为基本定点，它的热力学温度为 273.16K 。 1K 为水的三相点温度的 $1/273.16$ 。水的沸点的热力学温度为 373.15K ，冰的熔点的热力学温度为 273.15K 。

除了热力学温标外，在日常生活中还有摄氏温标，用它表示的温度称为摄氏温度，用符号 t 表示，单位为摄氏度，国际代号 $^{\circ}\text{C}$ 。1摄氏度等于1开尔文。水沸点的摄氏温度为 100°C ，冰溶点的摄氏温度为 0°C 。热力学温度与摄氏温度的关系为

$$T = 273.15 + t$$

除了上述二种温标外，在有些书上还使用所谓华氏温标。华氏温标是将水沸点定为 212°F ，冰的熔点定为 32°F ，并将两点之间分180等分，每等分代表 1°F ， $^{\circ}\text{F}$ 为华氏温标的单位。华氏温标与摄氏温标的关系为

$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

二、测量气温的方法

根据17世纪80年代《虞初新志》记载，我国清朝的黄履庄曾发明“验冷热器”，这是我国最早的测温仪器。目前，测量气温主要是用玻璃液体温度表和双金属自记温度计。玻璃液体温度表是利用水银和酒精的热胀冷缩的特性来测量温度的。水银有比热小、传导快、膨胀率均匀、沸点高、蒸汽压小等优点。因此，用水银做测温液体所测得的温度的精度较高。但其缺点是凝固点较高（ -39.9°C ），不能用来测低温。而酒精凝固点较低（ -117.3°C ），可用来测低温。但酒精的膨胀系数不稳定，纯度低，易蒸发，对玻璃管壁有浸润作用等缺点，故一般只用



图1-1
普通温度表

于测量最低温度。观测时，根据水银柱（或酒精柱）顶端所在刻度，即可读出气温数值。按不同观测目的，玻璃温度表可分以下几种：

（一）普通温度表，其结构特点如图 1-1 所示。温度表球部连同温度表毛细玻璃管固定在一个带有刻度的标尺上，外面加上一玻璃的外套管，标尺最小刻度为 0.2°C 。

（二）最高温度表，也是一种水银温度表，用以测定某一时段内的最高温度。最高温度表的构造特点是在球部下方固定一玻璃杆，如图 1-2 所示，此杆一端伸进毛细玻璃管内，使球部与毛细玻璃管之间构成一狭窄通道。它的作用是，当气温上升时，水银体积膨胀，球内部份水银挤过狭窄通道上升；当气温下降时，水银收缩，狭窄处的水银柱断裂，上升的水银便保留在毛细玻璃管内，这样，某一时段出现的最高温度便被保留下来。再用时，只要甩动温度表，毛细玻璃管内的水银就会下落，直到水银柱顶端的示度接近当时的气温值时为止。

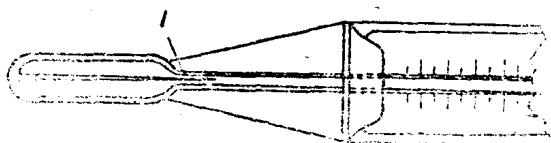


图 1-2 最高温度表

1. 玻璃针尖

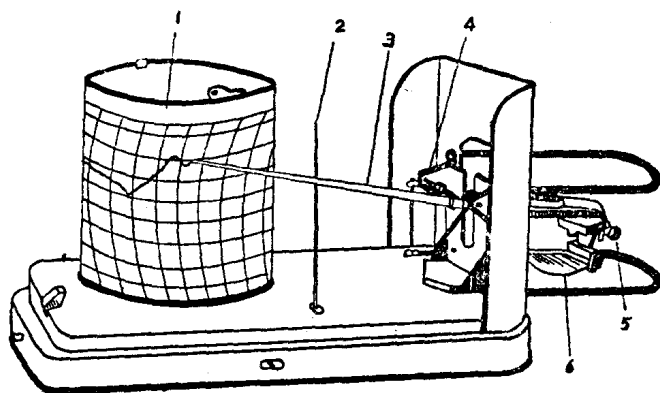
（三）最低温度表，用来测定某一时段内的最低温度。它的测温液是酒精，其构造特点如图 1-3 所示。在毛细玻璃管内置有一活动指标，象哑铃状。当气温下降时，酒精柱收缩，借助酒精的表面张力把活动指标带下；当气温上升时，



1-3 高低温度表

1. 感应部分 2. 活动指标

酒精从活动指标和毛细玻璃管壁之间狭缝处上升，而活动指标仍停留在原处。因此，活动指标远离球部的一端的示度，就表示某一时段内出现的最低温度。再用时，只要把温度表球部稍稍抬高，活动指标就会滑到酒精柱的顶端，下次又可继续观测。



1-4 自记温度计

1. 自记钟 2. 笔挡 3. 笔杆 4. 杠杆 5. 调整螺旋 6. 双金属片

自记温度计是用来纪录气温随时间连续变化的仪器。它的感应部分是由两种膨胀系数不同的金属片组成，称为双金属片。当气温升降时，膨胀系数大的金属片的伸缩较大，这样就会使双金属片上翘或下弯。如果双金属片的一端固定，则另一端（即自由端）在气温变化时，就会发生位移。自由

端通过杠杆（起放大传递作用）和自记笔相连，如图1-4所示。自记笔尖和裹在自记钟上的自记纸相接触。自记钟内装有钟表机器，能使圆筒每日或每周旋转一周。当气温变化时，双金属片自由端发生位移，通过杠杆作用，自记笔便在自记纸上上下移动，同时自记钟也在不断转动，这样就在自记纸上纪录下气温随时间变化的连续曲线。

气象上所指的气温（即天气广播中所讲的气温）是指距地面1.5米高度处的空气温度。因为这一高度基本上摆脱了地表冷热剧烈变化的影响，且又是人类活动的主要范围。当用上述测温仪器测气温时，一般把仪器按装在百叶箱里。百叶箱的作用是使仪器不受辐射、降水、大风的影响，且又能使大量空气流经温度表（计）的感应部分，使得仪器的读数（示度）尽可能反映大气的真实情况。

§1.2 气压及其观测

一、气压的概念和单位

1643年意大利科学家托里拆利做了一个证明大气压力（也称气压）存在的著名实验。将一根长1米，一端封闭的玻璃管装满水银，用手指堵住管口，倒立在水银槽里，当手指松开后，管内水银开始下降，可下降到一定高度后，就不会再下降，且不管管子是直立还是倾斜，管内水银面距水银槽面的垂直高度都是一样的。在管的封闭一端形成一个真空，称托里拆利真空。为什么水银柱下降到一定高度后不下降了？这是由于作用在水银槽面的大气压力跟管内水银柱重量产生的压力相平衡，如图1-5所示。因此，作用于水银槽面上的气压大小就是从这一高度铅直向上直到大气上界的单位截面

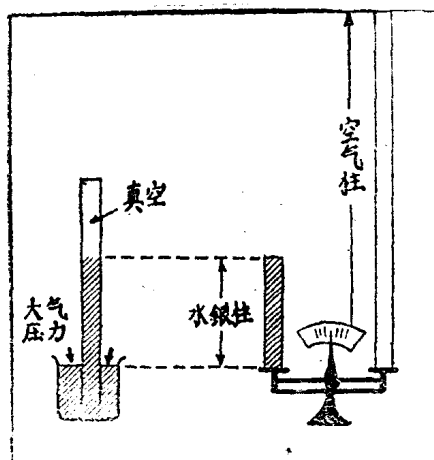


图1-5 大气压力与水银柱重量相平衡

积空气柱的重量。或进一步说，在静止大气中，任一高度上的气压值等于这一高度铅直向上直到大气上界的空气柱重量。

气压的单位有三种：一种是直接用水银柱高度表示，称做毫米汞柱，符号为 mmHg 。一种是以作用于单位面积上的力表示，称做毫巴，符号为 mb 。一种是国际单位制中用的压力单位，称做帕，符号为 Pa 。

这里提醒读者注意，水银柱的高度不仅受气压的影响，而且也受温度和重力加速度的影响。这样就会使得在相同的气压条件下，由于温度和重力加速度不一样就会得到不同的水银柱高度。于是这种测定就毫无意义。因此，气象上规定：温度取 0°C ，重力加速度取纬度 45° 海平面上的重力加速度的数值 g_{45} 。这样一来，水银柱的高度变化仅仅取决于气压的变化。

在上述条件下，760毫米汞柱的大气压力称为一个标准

大气压。0℃时水银的密度为13.5951克/厘米³, $g_{45} = 980.665$ 厘米/秒², 一个标准大气压的压力值为:

$$\begin{aligned} P &= \rho \cdot g_{45} \cdot h = 13.5951 \times 980.665 \times 76 \\ &= 101325 \text{ 牛/米}^2 = 101325 \text{ 帕} \\ &= 1013.25 \text{ 百帕} \end{aligned}$$

因为1毫巴 = 1000达因/厘米² = 100牛/米² = 1百帕, 由此可得出百帕(或毫巴)与毫米汞柱之间的换算关系:

$$1 \text{ 百帕 (或毫巴)} \approx \frac{3}{4} \text{ 毫米汞柱}$$

$$1 \text{ 毫米汞柱} \approx \frac{4}{3} \text{ 百帕 (或毫巴)}$$

二、测量气压的方法

测量气压常用的仪器有: 水银气压表、空盒气压表 and 自记气压计。

水银气压表就是利用托里拆利实验的原理制作的。在气压表上装有标尺, 根据水银柱的高低, 即可读出气压数值的大小(单位为毫米汞柱或毫巴或百帕)。图1-6为气象台站使用的一种型式的水银气压表外形。

空盒气压表的外形和构造如图1-7所示。它的感应部份是一组有弹性的密闭圆形金属空盒, 盒内近于真空, 盒的两面都有波纹, 用以增大空盒的弹性。由于气压的作用, 使空盒发生形变, 通过杠杆系统带动指针, 使指针在刻度盘上指出气压的数值。

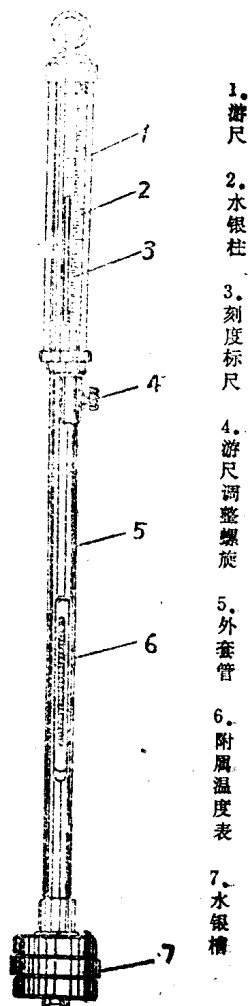


图1-6 水银气压表

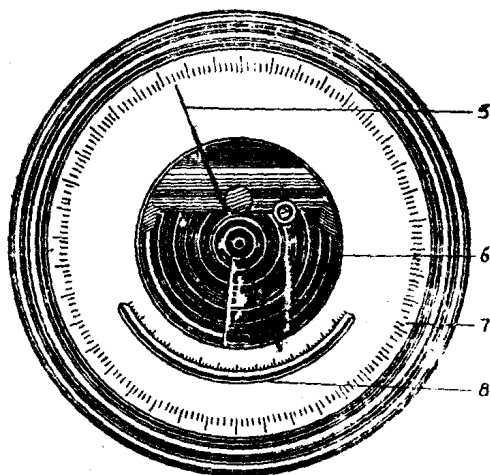
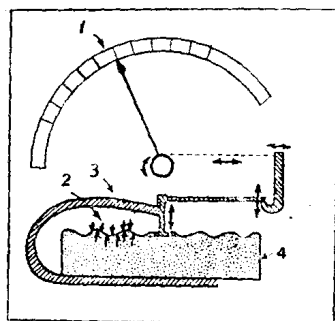


图1-7 空盒气压计

1. 刻度 2. 大气压力 3. 弹簧 4. 空盒 5. 指针 6. 空盒 7. 刻度 8. 附属温度表

空盒气压表上装有一支温度表，这是用作读数的温度订正的。空盒气压表的精度不如水银气压表，一般台站上只作参考仪器。但空盒气压表携带方便，多用于野外考察。如果把空盒气压表装上高度标尺（根据压高公式计算，见第四章），

则就成为一个“高度表”，可用于测量高度。

自记气压计和自记温度计相似，只是感应部分是一组空盒，它通过杠杆系统带动自记笔，自记笔随着气压变化而上下移动，从而就在转动的自记纸上连续地记录下气压随时间的变化曲线。

§1.3 湿度及其观测

一、湿度的概念和单位

表示空气潮湿程度和水汽含量多少的物理量，称为湿度。通常用水汽压、绝对湿度、相对湿度、比湿、混合比、露点温度等表示。

水汽压(e)：水汽压是指大气中水汽的分压力，单位跟气压同。大气中水汽含量多时，水汽压大，大气中水汽含量少时，水汽压小。空气中的水汽压不能无限地增加，在一定的温度下，空气中能容纳水汽含量是一定的，即有一定的限度。如果水汽含量未达到这个限度，则空气为未饱和空气；如果水汽含量正好达到这个限值，则空气称为饱和空气，它所对应的水汽压，称为饱和水汽压。根据研究，饱和水汽压 E 与温度 t 有直接关系，温度愈高，饱和水汽压愈大。它们之间的定量关系可由下式表达：

$$E = E_0 \cdot 10^{\frac{at}{b+t}}$$

式中 E_0 为 $t = 0^\circ\text{C}$ 时的饱和水汽压， $E_0 = 6.11$ 毫巴或百帕，对于水面， $a = 7.5$ ， $b = 237$ ；对于冰面， $a = 9.5$ ， $b = 265.5$ 。

绝对湿度(a)：绝对湿度指的是，单位体积空气中所含的水汽质量，单位为克/米³。绝对湿度愈大，空气中所含

水汽量愈大。绝对湿度跟水汽压和温度有如下关系：

$$a = 217 \frac{e}{T}$$

式中 e 的单位为毫巴或百帕， T 的单位为开。如 e 取毫米汞柱为单位，则关系为

$$a = 289 \frac{e}{T}$$

相对湿度(f)：相对湿度指的是，空气中的实际水汽压 e 跟同温度下的饱和水汽压 E 之比，以百分数表示，其表达式为*

$$f = \frac{e}{E} \times 100\%$$

相对湿度大小直接表示空气距饱和的程度。

露点温度(t_d)：露点温度指的是，当空气中水汽含量不变，且气压一定时，气温降低到使空气刚好达到饱和时的温度。单位与气温同，露点温度简称露点。在气压一定时，露点的高低只与大气中的水汽含量有关，水汽含量越多，露点也越高。由于空气一般是未饱和的，故露点比气温低，只有当空气达到饱和时，露点才和气温相等。

比湿(q)：比湿指的是，在一团湿空气中，水汽质量与该团空气的总质量之比，即

$$q = \frac{m_v}{m_d + m_v}$$

式中 m_v 为水汽质量， m_d 为干空气质量。比湿的单位是克/千克或克/克。它的含义是，1千克或1克湿空气中含有多少克的水汽。比湿可用下式计算

* 严格地讲，相对湿度定义为实际水汽混合比与同温度下饱和水汽混合比之比，以百分数示之。

$$q = 622 \frac{e}{p} \quad (\text{克/千克})$$

或

$$q = 0.622 \frac{e}{p} \quad (\text{克/克})$$

式中 p 为气压， e 为水汽压， e 和 p 要取相同的单位。

混合比(s)：混合比指的是，一团湿空气中，水汽质量跟干空气质量之比。即

$$s = \frac{m_v}{m_d}$$

它可通过下式进行计算，

$$s = 622 \frac{e}{p - e} \quad (\text{克/千克})$$

或

$$s = 0.622 \frac{e}{p - e} \quad (\text{克/克})$$

饱和差(D)：饱和差指的是，在当时气温下应有的饱和水汽压与实际水汽压之差。即

$$D = E - e$$

饱和差的大小能清楚地表明空气距饱和的程度。 D 值愈小，空气愈近于饱和。

二、测量湿度的方法

根据《虞初新志》记载，黄履庄除了发明“验冷热器”外，还发明了测湿度用的“验湿燥计”。其构造和功用为：“内有一针，能左右旋。燥则左旋，湿则右旋，毫发不爽。并可预证阴晴”。

目前，常用的测湿仪器是，干湿球温度表、毛发湿度表、自记毛发湿度计以及其他的一些仪器。