



气象学

上册



QIXIANG XUE



江苏科学技术出版社

气 象 学

(大气物理基础)

上 册

吴伯雄 陈士仁 编著

江苏科学技术出版社

内 容 简 介

本书是南京大学吴伯雄、陈士仁两位同志在多年讲授气象学的基础上,参考了国内外部分最新版本的气象学教科书与讲义,并对气象科学发展近况作了一些调查研究而后写成的。可作为高等院校气象专业或相近专业的教材,也可供具有普通物理与微积分知识的同志自修气象学时参考。

全书分上、下册出版。上册包括前七章,详细地讨论了太阳、地球与大气的关系,大气中的辐射现象,大气的热力与动力过程,大气中的一些天气现象与人工影响天气等等问题。下册包括后六章,简明地介绍了关于大气光,声,电,天气,雷达气象,卫星气象,大气环流,高层大气和气候的基本知识;基本原理及一些最新成就。

业余编辑 朱伯承

气 象 学

上册

吴伯雄 陈士仁 编著

*

江苏科学技术出版社出版

江苏省新华书店发行

江苏新华印刷厂印刷

1979年9月第1版

1979年9月第1次印刷

印数:1—6,000册

书号:13196·009 定价:1.40元

前 言

气象学是一门有关大气科学的基础理论课程。它着重介绍有关大气运动变化的基本知识、基本理论、以及具有代表性的处理方法。近十年来，由于各种先进理论与技术不断引入气象领域，气象学得到了突飞猛进的发展。例如，应用火箭、卫星探测高层大气的成分与结构；利用卫星探测辐射资料，讨论全球的热量平衡；采用多卜勒雷达了解云的微结构情况；运用探测资料、模拟实验、能量平衡及角动量输送等阐明大气环流的一般性状、规律及其根本原因等等。在这种情况下，有一本反映近代气象学基础理论的书是很重要的。本书以南京大学气象系《气象学》讲义为基础重新修改整理，着重介绍气象学的基本理论和发展近况。它可供高等院校气象专业或相近专业作为教材，也可供气象工作者参考。

我们在编写时力求分散难点、理论联系实际、严密系统化循序渐进，以便教者易于讲解，学者易于理解和掌握。

本书在编写过程中，曾吸收了南京气象学院王鹏飞教授、章基嘉副教授，中山大学陈世训教授，以及云南大学物理系、兰州大学地质地理系气象专业、北京大学地球物理系、山东海洋学院海洋水文气象系、杭州大学地理系气象专业、中国人民解放军空军气象学校训练部及吉林大学物理系等院校气象学同行的宝贵意见；原稿又承南京大学气象系刘长盛、许绍祖、盛承禹、王彦昌、王德瀚、刘文保、党人庆、陆森娥、陆菊中、蒋龙海、庄荫模等老师帮助审阅和提供一些宝贵意见；以及石宗祥同志描绘插图，谨一并表示深忱的谢意。

限于编者水平，一定还存在不少缺点和错误，务请读者发现后，立即来信指正，编者将万分感激！

吴伯雄 陈士仁

1978年8月于南京大学

上册 目 录

第一章 太阳、地球和大气

- § 1 太阳、地球及其运动…………… 1
- § 2 大气的成分与结构…………… 8
- § 3 主要气象要素…………… 15
- § 4 大气的基本物理特性…………… 21
- § 5 大气在水平方向上的不均匀性——
气团与锋…………… 24

第二章 太阳、地面和大气的辐射

- § 1 热量的传输方式…………… 29
- § 2 关于辐射的基本知识…………… 30
- § 3 太阳辐射(短波辐射)…………… 35
- § 4 地面、大气的辐射和地面有效
辐射(长波辐射)…………… 43
- § 5 辐射图解…………… 45
- § 6 辐射差额与热量平衡…………… 49
- § 7 辐射与地面温度及气温的周期
变化…………… 50

第三章 大气的热力过程

- § 1 热力学第一定律…………… 56
- § 2 大气的绝热过程…………… 59
- § 3 温度对数压力图…………… 67
- § 4 热流量方程…………… 72
- § 5 气温的分布…………… 75
- § 6 逆温层…………… 78

第四章 大气压力

- § 1 气压随高度的变化…………… 83

- § 2 气压场的基本型式…………… 92
- § 3 气压随时间的变化…………… 96

第五章 空气的水平运动——风

- § 1 作用于空气的力…………… 106
- § 2 自由大气中的风…………… 111
- § 3 摩擦层中的风…………… 117
- § 4 地转风随高度的变化…………… 124
- § 5 流线、迹线、散度、涡度及环流…………… 130
- § 6 角动量守恒与绝对涡度…………… 136
- § 7 地方性风…………… 138

第六章 空气的铅直运动

- § 1 空气铅直运动的原因及其种类…………… 143
- § 2 大气静力稳定性和气块法…………… 148
- § 3 薄片法…………… 152
- § 4 卷入过程…………… 153
- § 5 不稳定能量与对流…………… 155
- § 6 整层空气升降和平流差异对稳
定度的影响…………… 158
- § 7 稳定度指数…………… 162

第七章 云、雾、降水及其人工影响

- § 1 蒸发、凝结与饱和水汽压…………… 164
- § 2 雾的形成及其种类…………… 171
- § 3 云的形成及其种类…………… 173
- § 4 云的微观结构…………… 179
- § 5 降水的形成及其种类…………… 185
- § 6 人工影响云、雾和降水…………… 193

第一章 太阳、地球和大气

包围在地球外部的一层气体,总称为大气圈,简称大气。风、雷、雨、雪等皆为大气现象,而且都是大气运动所引起的。大气运动的能量最终来源于太阳,直接的主要来源为地面。大气的运动情况与地球的运行及地表状况也密切相关。因此在学习气象学基本原理之前,学习一些关于太阳、地球及大气的基本知识是必要的。

§1 太阳、地球及其运动

1. 太 阳

1) 太阳的大小和质量

太阳位于太阳系的中心,是距地球最近的一颗恒星。日地间平均距离为 1.4968×10^8 公里。太阳半径为 6.953×10^5 公里,约70万公里,相当地球半径的109倍。

太阳的体积为 1.48×10^{18} 立方公里,相当地球体积的130万倍。

太阳的质量约为 1.988×10^{27} 吨。为地球质量的33万倍,等于太阳系所有行星质量的745倍。太阳系质量的99.86%都集中在太阳上。太阳有如此巨大的质量,对它附近的物体具有十分强大的引力,从而把整个太阳系中的行星、卫星、彗星等联系在它自己的周围,且各自在自己的公转轨道上永不停止地运行着。

太阳也和地球一样,绕轴作自西向东的自转。在太阳的不同纬度处自转的速度并不相同;自转一周所需的时间,在赤道上为25.2天;纬度 40° 处,为27.2天; 80° 处长达39天。可见,太阳不可能是固体球。由于它的温度很高,表面温度大致约6000度,所以太阳亦不可能是一个液体球。太阳实际上是一个炽热的气体球,一个巨大的热核反应堆。

2) 太阳的外部结构

在太阳外部也蒙罩着一层气体,称为太阳大气。它可分为下列数层:光球、色球和日冕。

光球 我们容易见到的光亮的太阳表面,叫做光球。太阳光基本上都是从此层发射出来的。光球可看作太阳本体的最外层,也可看作所谓太阳大气的最内层。光球层的厚度约为太阳半径的万分之五。在太阳光球以内发出的辐射都被它吸收了,达不到地球上。

色球层 当日全食,整个太阳圆面被月球遮盖时,在黑暗的月球圆面周围出现一个淡红色的圆圈,这是太阳大气的某一层发出的光,这层太阳大气就叫做色球层。它的厚度约为太阳半径的百分之二。它并不是均匀而平静的气层,它的外缘为锯齿状,是由许多长短不一的茎状物似的火舌组成。

日冕 在日全食时,可看到色球层之外包围着圆形月影的银白色晕状物,叫做日冕。它是

太阳大气的最外层,厚度最大,向外伸展,并无明确的外限,为炽热的等离子气体。

3) 太阳黑子和光斑

在明亮的太阳圆面上常可看到一些黑色斑点,叫做太阳黑子。在太阳圆面边缘又常可看到在背景亮度较小的部分,有一些比周围明亮的斑点,叫做光斑。光斑绝大部分出现在黑子附近,在光斑附近看不到黑子的情况很少。光斑的寿命平均为2~3天。黑子的大小相差很大,小的刚刚可以看到,大的范围为地球直径的8~10倍。这样大的黑子常在几天甚至几小时内就经过出现、发展和消失的阶段。由于黑子时多时少,有时也可没有,由此可以想象在太阳上的变动程度是多么剧烈,变动规模是多么巨大。

太阳黑子由较暗的核(本影)和围绕它的较亮部分(半影)构成。半影有的为条状结构,有的为米粒状结构,有的呈涡旋状。据说为太阳内部物质向外流出,因而膨胀冷却才形成黑子,它的温度比周围低1000~1500°C。

黑子常成群出现。黑子群常呈椭圆形,大部出现在日面纬度10~30度内,在纬度高于±40度的地方很少出现,太阳南半球黑子往往比北半球多。

我国是世界上最早观测太阳黑子的国家,在公元前43年就有太阳黑子观测记录,而欧洲最早纪录在公元807年。

分析长期的黑子观测资料,发现太阳黑子数目有周期性的变化,有4年、8年、11年及80年不等的周期。其中以11年周期出现次数最多。目前对太阳黑子数的周期变化,尚无很好的解释。但已发现太阳黑子周期变化对地球高层大气及气候等有一定的影响:如太阳黑子多时,地球上雷暴、风暴多。二十世纪以来发现太阳黑子多的年份,北京冬季多严寒。这对长期天气预报有重要意义。

4) 太阳的能量

据估计,太阳中心温度可能高达摄氏两千万度。每分钟由太阳表面放射出的热量多于 5×10^{24} 千卡。如用厚12米的一层冰包围整个太阳表面,只要一分钟,这么厚的一层冰即可全部融化。太阳能量是向各个方面放射的。地球所截获的太阳能,仅占其中二十亿分之一。其余能量除少数为其他行星所截获外,绝大部分都散失在宇宙空间。

为什么太阳能经久不息地放出那么巨大的能量呢?

原来太阳中含有大量氢,温度又很高。由人工制造的微小热核反应堆原理推知:在象太阳中心这样高温条件下,四个氢原子核(质子),在碳的催化作用下,会转变成一个氦的原子核。这种转化叫原子核反应。在这种原子核反应中会有0.029原子量单位的质量转变为能量,大量的能量就是由这种转变而产生。因氢和氦原子量各为1.008和4.003,四个氢原子核转变为一个氦原子核时,就有 $4 \times 1.008 - 4.003 = 0.029$ 的原子量单位的质量转变为能量,1克氢转变为氦所放出的能量,相当于燃烧十余吨汽油所放出的热量。太阳质量如此之大,所以能经久不息地放出那么巨大的热量。

2. 地 球

1) 地球的大小和形状

地球的长半径(赤道上)为 6378 公里,短半径(两极)为 6357 公里,所以它是一个椭球体。与它体积相同的正球体的半径为 6371 公里。在处理一般问题如昼夜、季节的形成等,地球可看作正球体。但处理与地球重力分布密切相关的问题,要作较精确的分析时,就必须考虑地球的实际形状。

地球的体积为 1.1×10^{12} 立方公里,质量为 5.98×10^{21} 吨,平均密度为 5.528 克/立方厘米。地球对与它相联系的一切物体具有强大的吸引力。

2) 地球的结构及其表面状况

地球外部由大气圈、水圈和岩石圈组成。大气的运动与地球表面的状况密切相关。

整个地球表面的面积约为 5.1×10^8 平方公里,其中海洋面积为 3.61×10^8 平方公里,占总面积的 70.8%,陆地为 1.49×10^8 平方公里,占总面积的 29.2%。全球海洋面积为陆地面积的 2.42 倍。在北半球海洋面积占 60.7%,陆面占 39.3%。南半球海洋占 80.9%,陆面只占 19.1%。因为南北半球水陆分布不同,气候分布才有显著差别。北半球的大陆上气候复杂,南半球则为较单一的海洋性气候。

大陆上有平原、丘陵、山地、高原及盆地,地形复杂,会影响大气运动,引起错综复杂的天气气候。海洋上亦因洋流不同而出现独特的天气气候。

3) 重 力

地球具有巨大的质量,对于地球上的物体具有巨大的引力,这种引力,叫做地球引力。

地球有自转运动,从北极观察,地球的自转呈反时针向。设自转角速度为 ω ($\omega = 7.29 \times 10^{-5}$ 弧度/秒),则在纬度 φ 处,对于地表面铅直轴及向北水平轴的角速度分量各为 ω_z 及 ω_h ($\omega_z = \omega \sin \varphi$, $\omega_h = \omega \cos \varphi$)。如不考虑地球因公转面引起的线速度,设地球半径 $r = 6371$ 公里,则在纬度 φ 处,位于地球表面上静止着的物体以线速度 ($r\omega \cos \varphi$) 在空间运动着。 ω_z 、 ω_h 及 $r\omega \cos \varphi$ 在各纬度上的数值如表 1.1。

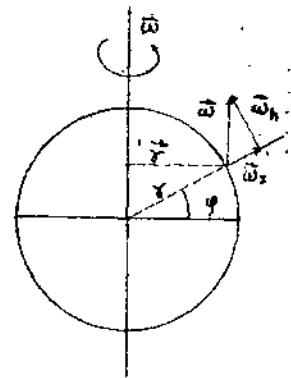


图 1.1 地转角速度

表 1.1 ω_z (10^{-5} 秒 $^{-1}$)、 ω_h (10^{-5} 秒 $^{-1}$)、 $r\omega \cos \varphi$ (米秒 $^{-1}$)

φ°	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
ω_z	0	1.266	2.494	3.646	4.689	5.156	5.586	6.315	6.854	7.183	7.292
ω_h	7.292	7.183	6.854	6.315	5.586	5.156	4.689	3.646	2.494	1.266	0
$r\omega \cos \varphi$	465	458	435	402	356	328	299	232	159	81	0

物体静止在地表时,由于地球自转就会产生离心力。设 \vec{r} 为单位(即 1 克)质量的物体垂直

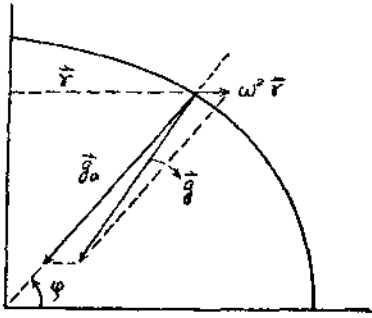


图 1.2 重力加速

表 1.2

纬度(度)	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
g_0 (厘米·秒 ⁻²)	978.0	978.2	978.6	979.3	980.2	980.665	981.1	981.9	982.6	983.1	983.2

随着高度的增加, g_0 减小, $\omega^2 r$ 增大, 二者合力——重力就随高度减小, 如在 10 公里高度, 重力减小 3 厘米/秒²; 在 2500 公里的高度上的重力, 仅为海平面上的一半。

3. 地球的运动

地球绕太阳公转的轨道是一条椭圆形的曲线, 其长度为 9.34×10^8 公里。太阳位于椭圆的一个焦点上, 故日地之间的距离不是一个常数。地球离太阳最大距离(远日点)为 1.52×10^8 公里, 最短距离(近日点)为 1.47×10^8 公里, 地球公转速度平均为 29.7 公里/秒, 因此需 365 天 5 时 48 分 46 秒的时间才能沿轨道运行一周, 通常称此时间为一年。为计算时间方便, 采取四年一闰的办法, 即四年中有三年为 365 天, 第四年为 366 天, 这第四年算闰年, 闰年二月份取 29 天。

地球绕太阳公转的方向, 若在北极星方向来看, 地球的运动则是逆时针方向旋转的(见图 1.3)。

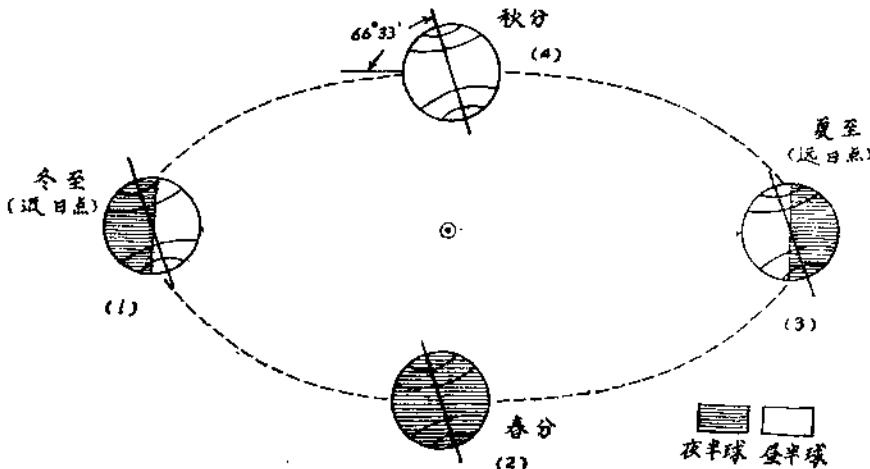


图 1.3 四季变化

于地轴的距离向量, 则离心力为 $\omega^2 r$; 设地球引力为 \vec{g}_0 , 它与离心力的合力就是重力(\vec{g})

$$\vec{g} = \vec{g}_0 + \omega^2 \vec{r} \quad (1.1)$$

因为地球为椭球体, \vec{g}_0 和 \vec{r} 都随纬度而变化, \vec{g} 也随纬度而不同, 在海平面上重力加速度的数值为 g_0 [$g_0 = 980.616 (1 - 0.002644 \cos^2 \varphi)$ 厘米/秒²]. 在赤道上 $\varphi = 0^\circ$, g_0 值最小, 在极地 $\varphi = 90^\circ$, g_0 值最大。这是由于地球引力在赤道上最小, 惯性离心力最大, 在极地则地球引力最大, 惯性离心力为零, 所以二者合力在赤道上最小, 随纬度的增加而增大, 在极地达最大。海平面 g_0 在各纬度值如表 1.2。

地球绕太阳公转的同时，还绕自己的地轴自西向东旋转，地球自转周期是一日，即24小时，人们每天看到天空的太阳、月亮及其它星体东升西落现象，就是地球自西向东旋转的结果。当我们在北极星上空来看地球时，地球也是逆时针方向旋转的。

地球的自转轴与公转轨道面之间夹角为 $66^{\circ}33'$ ，即赤道平面与公转轨道面夹角为 $23^{\circ}27'$ 。

由于地球绕日运动具有以上特点，则产生昼夜交替及四季变更，从西造成气象上的周期变化。

1) 昼 夜

地球自转过程中，总有半个球面向着太阳，半个球面背着太阳。向阳半球，阳光照得明亮，称昼半球，为白天；背阳的半球，一片黑暗，叫夜半球，这里是黑夜；昼夜两个半球的界限，叫晨昏线(图1.4)。

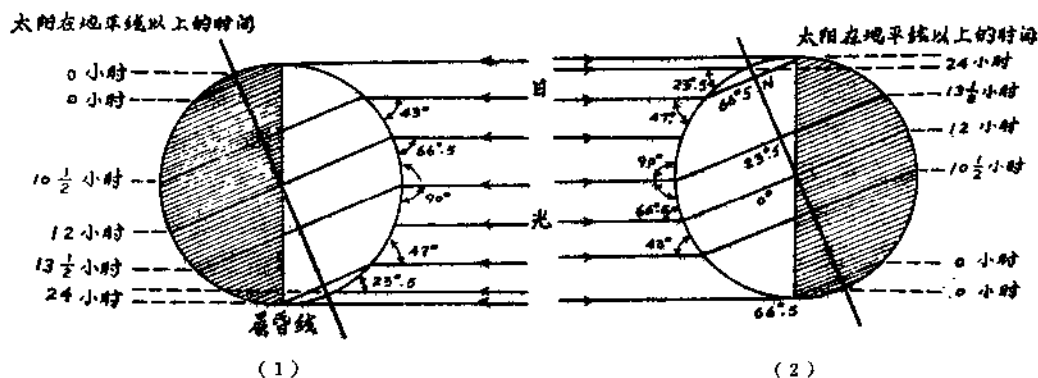


图 1.4 昼夜及其长短

地球上除赤道外，大部分地区昼夜长短是变化的。在一年中，有时昼长于夜，有时夜长于昼。这是什么原因呢？这是由于地球在公转时，地轴始终和公转轨道面保持 $66^{\circ}33'$ 的倾角。因而有时北半球倾向太阳，有时南半球倾向太阳，太阳直射地球的位置也就不同。一年中太阳直射点变动于南北纬 $23^{\circ}27'$ 之间，我们把南北纬 $23^{\circ}27'$ 的纬线，分别称为南回归线和北回归线。一年中这种太阳直射点的变动，在各纬度昼夜长短也随之发生变化。图1.4(1)表示太阳直射南回归线时(约在每年12月22日)的情况，这是一年中太阳直射点最南的位置，此时赤道上昼夜相等，各为12小时；在赤道和南极圈之间，昼长于夜；南极圈以南地区，只有白天而无黑夜，此现象称为永昼。在赤道和北极圈之间，与南半球情况相反，夜长于昼；北极圈以北地区，只有黑夜而无白天，此现象称之为永夜。图1.4(2)为太阳直射北回归线时(约每年6月22日)的情况，这是一年中太阳直射点位置最北的时候，这时昼夜的长短，除赤道仍为昼夜相等外，其它各纬度的情形和图1.4(1)的情况正好相反。

所以对北半球来说，太阳直射点北移时，黑夜缩短，白天增长；太阳直射点南移时，黑夜增长，白天缩短。南半球则相反。当太阳直射赤道时，地球各纬度，昼夜长短都相等。

2) 天文的四季和五带

在地球绕日公转过程中，整个地球接受太阳热量的变化是很少的，但就南北半球而言，随着地球在公转轨道上的位置不同，所得的热量有显著变化。这样就有四季之分，地球上得到的

太阳热量多寡,是与太阳高度角和日照时间有关的(图 1.4)。同样一束太阳光,直射的面积要比斜射小,因此,太阳光直射的地方,单位面积上得到太阳光的热量必定大于太阳光斜射的地方。太阳光直射、斜射的程度可用太阳高度角(h_0)来表示。太阳高度角(h_0)就是太阳光入射方向和地平面之间的夹角。太阳高度角(h_0)为 90° 时是直射,小于 90° 时为斜射。显然太阳高度角越大,单位面积上所接受到的太阳热量就越多。我们感觉到中午的阳光强,晨昏的阳光弱,夏天的阳光强,冬天的阳光弱,就是因为中午的太阳高度角大于晨昏,夏天的太阳高度角比冬季大的缘故。另外日照时间越长,地表受到的太阳的热量也就越多。

从图 1.3 可清楚地看到,地球公转时,由于地轴倾斜方向不变,与公转轨道面始终成 $66^\circ 33'$ 的交角,因而地球在轨道上不同位置时,南北半球受到太阳照射的情况也不同。从(1)点看起,这一点是每年 12 月 22 日前后地球在公转轨道上的位置。此时太阳直射南回归线,北半球太阳高度角最小,日照时间最短,因而受热最少,这一天称为冬至。过了冬至,随着地球在公转轨道上位置的变化,太阳直射点逐渐北移,到了 3 月 23 日左右,地球运行到(2)点,此时太阳直射赤道,比起冬至来,北半球太阳高度角增大,日照时间也增长,因而受热量也增多,天气开始转暖,这一天称为春分。春分后,太阳直射点移到北半球,北半球太阳高度角继续增大,日照时间继续延长,到了 6 月 22 日前后,地球运行到(3)点,太阳直射北回归线,这一天称为夏至,对于北半球而言,是太阳高度角最大,日照时间最长,受热量最多的一天。过了夏至,太阳直射点又南移,到 9 月 21 日左右,又直射赤道,地球运行到(4)点,此时北半球太阳高度角又减小,日照时间又缩短,受到的热量又减少,这一天称为秋分。地球按上述规律不断地绕太阳公转,南北半球所受热量也周期性地变化着。这样就形成了四季的交替。在天文上四季的划分是:自春分到夏至为春季;自夏至到秋分为夏季;自秋分到冬至为秋季;自冬至到春分为冬季。

在南北纬 $66^\circ 33'$ (南、北极圈)以南和以北的地方,一年中有永昼和永夜,太阳光斜射,这里一年气温都很低,没有夏季,天文上称为南、北寒带;在南北极圈和南北回归线之间,一年四季分明,分别称为南温带和北温带;在南北回归线之间地区,太阳直射点在一年中来回摆动,气温高,变化少,长夏无冬,称为热带。此即为天文五带。

3) 二十四节气

两千多年前,勤劳的中国人民已把天文季节和气候同农业生产紧密地结合起来,将一年分为二十四个节气,每月两个节气,每个节气约十五天。它们的顺序是:立春、雨水、惊蛰、春分、清明、谷雨、立夏、小满、芒种、夏至、小暑、大暑、立秋、处暑、白露、秋分、寒露、霜降、立冬、小雪、大雪、冬至、小寒、大寒。

二十四节气表示地球在绕日公转轨道上二十四个不同位置时,地球上的气候概况,它的名称是根据四季交替,气温和雨量的变化,以及谷物生长等自然现象而制定的。因而它比较科学地反映出一年四季气候变化和农事活动的关系。

具体节气日期特点:上半年一般在每月六、廿一,下半年的节气一般在八、廿三。劳动人民为了便于记忆,特把二十四节气编成如下歌诀:

春雨惊春清谷天,夏满芒夏暑相连;
秋处露秋寒霜降,冬雪雪冬小大寒。
每月两节日期定,最多不差一两天;
上半年六、廿一,下半年八、廿三。

4) 时 间

(1) 太阳日、平太阳日及恒星日

我们日常生活以及气象观测上以 24 小时为一天,是根据地球某点对着太阳自转一周来计算的。这种时间单位叫做太阳日。我们用的日历,也是根据地球沿着轨道绕日环行一周的时间(365.242 日)为一年。

地球自转一周的真实速率并不能以地球对着太阳自转一周而定。因为地球沿着椭圆轨道前进时,地球上某点首次对着太阳转到下一次正对着太阳,要比地球自转一周多一点儿。地球在一年中沿着公转轨道绕日环行一周所多转的总和,刚好等于地球自转一周。以 365.242 太阳日为一年,在每个太阳日内,地球须多转一周的 $1/365.242$ 。地球自转一周所需的确实时间,叫做一个恒星日。如以 S 代表一个恒星日的时数,那么:

$$S + \frac{1}{365.242} S = 24 \text{ 小时}$$
$$S = \frac{24}{1 + (1/365.242)} = 23.9344 \text{ 小时} \quad (1.2)$$

即等于 23 小时 56 分 4.09 秒,所以地球在一个恒星日自转一周,略少于 24 小时。

当我们考虑地球上空气运动(风)时,就可看到地球自转运动有着极其重要的影响,所以我们必须用每一恒星日转 2π 的真实速度,即地球自转角速度 ω 。

$$\omega = \frac{2\pi}{1 \text{ 恒星日}} = \frac{2\pi}{86164} = 7.292 \times 10^{-5} \text{ 弧度/秒} \quad (1.3)$$

此外必须说明的是:地球环日轨道为椭圆形,它对着太阳自转一周的时间并不相等,所以严格说来,一年应等于 365.242 平均太阳日(简称平太阳日)。

现在我们日常生活上及气象观测的时间,就是平太阳日。一个平太阳日分作二十四小时,一小时分作 60 分钟,一分钟又分作 60 秒钟。地球自转一周 360° ,需 24 小时。所以一小时就是地球对着太阳转过经度 15° 的时间,一分钟就是经过经度 $15'$,一秒钟就是转过经度 $15''$ 。平太阳在绕日环行轨道上作匀速运动是一种设想,实际上直接观测不到的。平太阳由观测真太阳推算出来。即由真太阳时与平太阳时之间的时间差来计算平太阳时的。如以 t_s 为真太阳时, t_m 为平太阳时,则

$$\eta = t_s - t_m \quad (1.4)$$

式中 η 为时差,在天文年历中列出详细数字。应用时只要以当时真太阳时 t_s 及时差 η 代入(1.4)式,即可计算出平太阳时。

我们日常生活及气象观测中用的即为平太阳时,它消除了因地球绕日环行每日时间间隔不等的真太阳时误差。但地球表面每一个观测站都有自己的子午圈,由不同子午圈计算所得的时间也是不同的。因此,目前应用平太阳时又分地方时、区时和世界时三类。

(2) 地方时、区时和世界时

① 地方时

以某地经线正对着太阳的时刻为该地正午 12 点,正背着太阳的时刻为零点,这样确定的时间为地方时。同一经线地区,地方时相同,不同经线上的地区其地方时就不同。

② 区 时

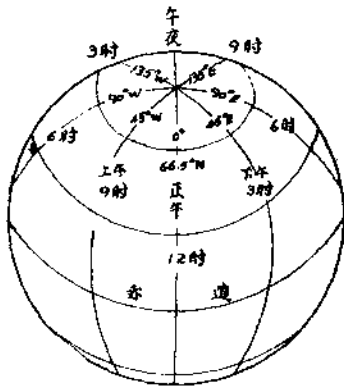


图 1.5 世界时

在日常生活工作中,在气象观测和其它许多工作中,如用地方时,一定会引起很大的不便,所以规定经度每相差 15° 作为一个时区,在该时区内,各经度统统用中央经线时间为标准时间,亦称为区时。根据经度每差 15° 时间相差1小时的道理,将整个地球表面划分为24个时区,同一时区内时间相同,每相邻时区,时间相差一小时。

我国领域广阔,东西达64个经度,横跨5个时区,如完全用区时,还是不便。因此,除特殊情况外,目前全国统一用北京时,即北京所在时区的(中央经线 120°E)区时。

③ 世界时

在天文、气象和其它许多工作中,世界各国需要共同计算时间的标准。国际上规定,通过英国格林威治天文台的经线(即零度经线)的时区的标准时为世界统一的时间,称为世界时。又叫格林威治标准时。自 0° 经线向东及向西各 7.5 度作为零时区;自零度经线向东,每隔 15° 作为一时区的中央线,全球分24时区。区号自0到23。任何两个时区的标准时间差,就相当于时区号码之差。例如北京用第8时区的标准时,伦敦用0时区的标准时,北京和伦敦相差8小时。图1.5为世界时。各时区的时间均可以该时区中央经线正对太阳为正午,依图类推。

§ 2 大气的成分与结构

1. 大气的成分

大气是由多种气体混合组成,其中主要是氮和氧,除了气体成分外,还含有少量固、液体杂质。

在低层大气中的气体成分可分为两部分,一部分是“不可变气体成分”,即各种气体成分之间维持固定的比例,基本上不随时间、空间而变化,它以氮、氧、氩为主;另一部分为“可变气体成分”,以水汽、二氧化碳和臭氧为主,其中变化最大的是水汽。虽然大气中,可变气体成分含量很少,但在天气变化舞台上,却扮演了极其重要的角色,它们对辐射有较大的影响。它们的含量及其变化,在相当大的程度上,影响着大气的温度分布和变化,因此影响着其它大气物理过程。所以对于“不可变气体成分”和“可变气体成分”的研究,都是重要的。

习惯上把不包含水汽和液、固体杂质的大气,称为干洁大气。它的主要成分是氮、氧、氩、二氧化碳等,此外还有少量的氢、氟、氦、氖、臭氧等稀有气体。在25公里以下,干洁大气的成分、分子量和临界温度等,如表1.3。

由表1.3可见,大气中大多数气体临界温度都低于自然情况下大气中可能出现的最低温度,个别气体(如 CO_2)的临界温度虽然较高,但相对的临界压力大大超过其实际分压力。因此,干洁空气的所有组成成分,总是呈气体状态。据实际探测和分析证明,氮和氧占整个大气容积的99%以上,如果加上氩气就占99.9%以上,其余气体加起来不到0.1%。如果将前面四种气体成分置于同样压力和温度下,并把他们各自所占的容积百分比用三角形面积来表示(图1.6),则由图可见, CO_2 仅占三角形顶端的一角,剩余其它气体在图上只能用一“点”来表示

表 1.3

干空气的成分 (25公里以下)

气体种类 和分子式	空气中的含量%		分子量 μ	临界温度和临界 压力 (大气压)		沸点温度 (气压为760mmHg)
	按容积	按质量				
氮 N_2	78.09	75.52	28.016	-147.2℃	33.5	-195.8℃
氧 O_2	20.95	23.15	32.000	-118.9℃	49.7	-183.1℃
氩 Ar	0.93	1.28	39.944	-122.0℃	48.0	-185.6℃
二氧化碳 CO_2	0.03	0.05	44.010	31.0℃	73.0	-78.2℃
臭氧 O_3	1.0×10^{-8}	—	48.010	-5.0℃	92.3	-111.1℃
干洁空气	100	100	28.966	-140.7℃	37.2	-193.0℃

了,可见其余气体的含量是极其微少的。

由于大气中存在着空气的铅直运动、紊乱不规则的运动和分子扩散,不同高度、不同地区的空气要进行交换和混合。从地面开始,直到 90 公里处,大气各种成分的比例基本上是不变的,干洁空气的平均分子量为 28.966。在标准情况(气压为 760 毫米水银柱,温度为 0°C)下,它的密度为 1293 克/米^3 。但从 80 公里以上,由于紫外线的照射,氮和氧已有不同程度的离解。在 100 公里以上,氧分子几乎全部离解为氧原子。

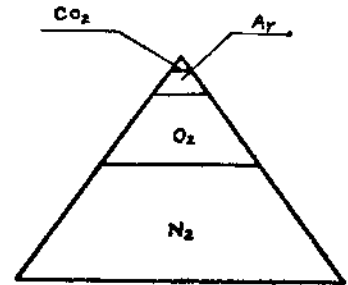


图 1.6 大气成分的比例

对于人类活动及天气变化影响最大的大气成分是氧、氮和一些“可变气体成分”。现分别介绍于下:

(1) 氧 气

氧是人类呼吸,维持生命的极重要气体,也是其它生物呼吸不可缺少的。在工业上也有其广泛用途。氧的用途,早为人们熟知,不详细介绍了。

(2) 氮 气

氮是大气中含量最多的成分,是合成氨的基本原料。大量的氮可通过豆科植物的根瘤菌,固定到土壤中,成为植物所需要的氮化合物。据统计,一亩大豆,通过根瘤菌作用,可以从空气中获得 20 公斤左右氮素,相当于硫酸氨 100 公斤左右。这个数量是相当可观的。空中闪电能把大气中氧和氮结合成一氧化氮,然后被雨水吸收并在土壤中成为硝酸盐。氮肥是植物需要的肥料三要素之一。

(3) 二氧化碳

二氧化碳在大气中很少,仅占整个大气体积的万分之三,多集中在 20 公里以下,在 20 公里以上显著减少。它主要来源于有机物的燃烧或腐化和动物的呼吸,因而在人烟稠密的工业区,二氧化碳含量较高,可占空气容积的万分之五以上,在农村则含量大为减少。另外二氧化碳含量还随时间而变化,这主要决定于植物在阳光、天气和其它条件分解二氧化碳的强度。一般是夜间多,白天少;冬季多,夏季少;阴天多,晴天少。大气中二氧化碳虽少,但它的作用可不小,我们周围的绿色植物在其生命过程中,需要吸收大量的二氧化碳,合成糖类和其它物质。二氧化碳对太阳辐射吸收很少,但能强烈地吸收地面辐射。同时它又向周围空气和地面放射长波辐射。因此,它在使地面和大气保持一定温度方面也起作用。近年来,由于大气中二氧化碳

的增加,对气候变迁又产生了一定的影响。

(4) 臭氧

大气中还有一种含量极少,变化很大的臭氧。主要是氧分子在太阳紫外辐射和闪电作用下,部分分解的氧原子($O_2 \rightarrow O + O$)与氧分子结合而产生的($O + O_2 \rightarrow O_3$)。低层大气中臭氧往往由闪电、有机物氧化造成的,但这些作用并不经常,所以低层大气含臭氧很少,且不固定。高层大气中臭氧的形成,主要是太阳紫外辐射引起的,这种作用将波长短于0.3微米的太阳紫外线截留在大气上层,很少能到达下层。大气中臭氧含量是不断变化的,如把横截面为一平方厘米的整个铅直大气柱中的臭氧,完全订正到标准状况下的厚度来计算大气中的臭氧总含量,平均为3毫米,其变化范围从1.5毫米到5.5毫米。

多年观测表明,臭氧含量随高度的分布也很不规则,在近地层含量很少,且不规则;自5~10公里起,其含量随高度升高而增大;在20~25公里附近达最大值,称为臭氧层。但其含量也不到空气体积的十万分之一。臭氧含量虽很少,但它能大量吸收太阳短波辐射,特别能强烈吸收太阳紫外线,因而对大气有增温作用,使离地面40~50公里气层中,温度大为增高,在50公里附近形成一个暖区。另外,紫外线在高空被臭氧层阻挡,使地球上生物免受过多紫外线的伤害,而透过少量紫外线,又可杀菌防病,对生物大有益处。

(5) 水汽

低层大气总含有水汽,它来源于江、河、湖、海及潮湿物体表面,植物叶面的蒸发或蒸腾作用。空气的运动将水汽输送到较高的高空气层中。大气中水汽含量变化很大,在低温干燥陆地上空接近于零;而在温度较高的洋面上空达4%。通常大气中的水汽含量主要集中在地面附近2~3公里的低层,高度愈高,水汽含量愈少,而且随高度升高急剧减少;纬度愈高,水汽含量愈少;离海愈远,水汽含量也会减少。而且随时间有变化,夏季的水汽含量大于冬季。

水汽在大气中含量很少且多变,却是天气变化的主要角色。云、雾、雨、雪、霜、露等,没有水汽就不能形成。水汽蒸发或凝结,要吸收或放出潜热;又能强烈地吸收和放出长波辐射。它直接影响着地面和空气的温度,从而影响大气的升降运动。

(6) 杂质

大气除气体成分外,还含有很多液体、固体杂质,这里讲的杂质,是指悬浮在大气中的烟粒、尘粒、盐粒等,它们多集中在大气的低层。通常近地气层杂质分布是:陆上多于海上;城市多于农村;夜间多于昼间;冬季多于夏季。

大气中杂质会使空气污染,有碍人类健康,亦能使能见度变坏。但它能充当水汽凝结胚胎,对云和降水的形成起着重要作用。杂质对地面和空气温度也有一定影响。

(7) 大气污染物

随着工业、交通运输事业的迅猛发展,人为地影响着大气成分,容易造成大气污染。

大气污染不仅直接危及人体的健康和农、林作物的正常生长,而且已越来越多地影响着天气、气候变化。这种人类活动对自然环境的作用越来越不能低估,大气污染应列为气象观测中进行经常性观测的项目,为环境保护、预报天气提供必要的资料,为化害为利、改造自然提供科学依据。

大气污染源,主要是从烟囱中排出的废气,汽车、火车等排出的气体和工业区没有综合处理的有毒气体。

大气污染物,目前已被人们注意到的不下百十种,对人类影响威胁较大的主要是煤粉

尘、二氧化硫、一氧化碳、碳化氢、硫化氢和氨等。

在高层大气中,各种气体都以原子状态存在,虽然极其稀薄,但在不同高度上,大气主要成分是不同的。人造卫星探测资料如图 1.7。

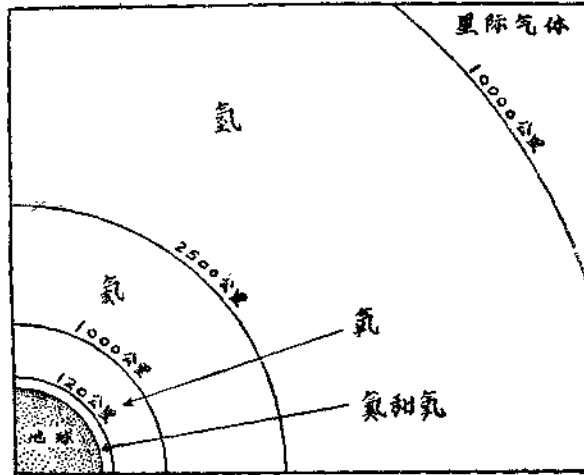


图 1.7 大气主要成分随高度的分布

2. 大气的结构

1) 大气的范围

人们常说“空气的海洋”,就是形容大气范围之广阔。实际上由于地球的引力作用,使得空气质点聚集在地球周围,构成大气圈,并且随着地球一起运动。它的底部是地面,但很难找到严格的上界。根据实测,大气密度随高度减小,到 700~800 公里高度处,气体分子之间距离可达几百米远,这种情况,远远超过近代实验室中所能获得的真空。尽管如此,毕竟还不是绝对真空,若是继续往上,空气更稀薄,直至所谓星际空间时,仍找不到一个密度为零处。气象上常根据一些物理现象分析,指出一个地球大气的最大高度。一般常以“极光”或“流星辉迹”出现的最大高度定为大气上界,约为 1000~1200 公里。这个数值初看起来相当大,但与地球半径(平均 6371 公里)比起来,还是相当小的,至于天气现象及其变化出现的范围,仅在大气底层 10 余公里(即为对流层),这是天气预报中主要考虑的气层。

大气的密度越到高空越小,它很难直接测量,通常由计算得到。在标准情况下地面附近空气密度为 1293 克/米³。若温度为 273K,气压为 1000 毫巴时,空气密度为 1276 克/米³。这两个数值今后经常要用到的。空气密度随高度急剧减小,在 15 公里高度处密度约为地面的十分之一,在 30 公里处,仅为地面的百分之一。余见图 1.8。

由计算得出,地面至大气上界,单位截面大气柱的质量在标准情况下为 1034 克/厘米²。地球大气的总质量为 5.3×10^{15} 吨,为地球水圈质量的 1/250。大气质量的 50% 集中在 6 公里以下,75% 集中在 10 公里以下,99% 集中在 35 公里以下。

2) 大气的铅直分层

二十世纪以来,特别自1940年以后,遥测设备不断发展,用无线电探空仪、火箭及人造地球卫星等收集和积累了不少高空大气的资料。按照气象要素铅直分布特征,可将大气分成若干层次。通常按气温铅直分布特征,将大气分成对流层、平流层、中间层及热层等四层。另外热层上部大气多为质子组成,常有向星际空间逃逸现象,可另分一层,定名为外层或称外逸层。(图1.8)

(1) 对流层

对流层是地球大气的最低层,它的底就是地面,它的上界则随纬度和季节而变。根据观测,对流层厚度在低纬度地区平均为17~18公里,中纬度地区平均为10~12公里,在高纬

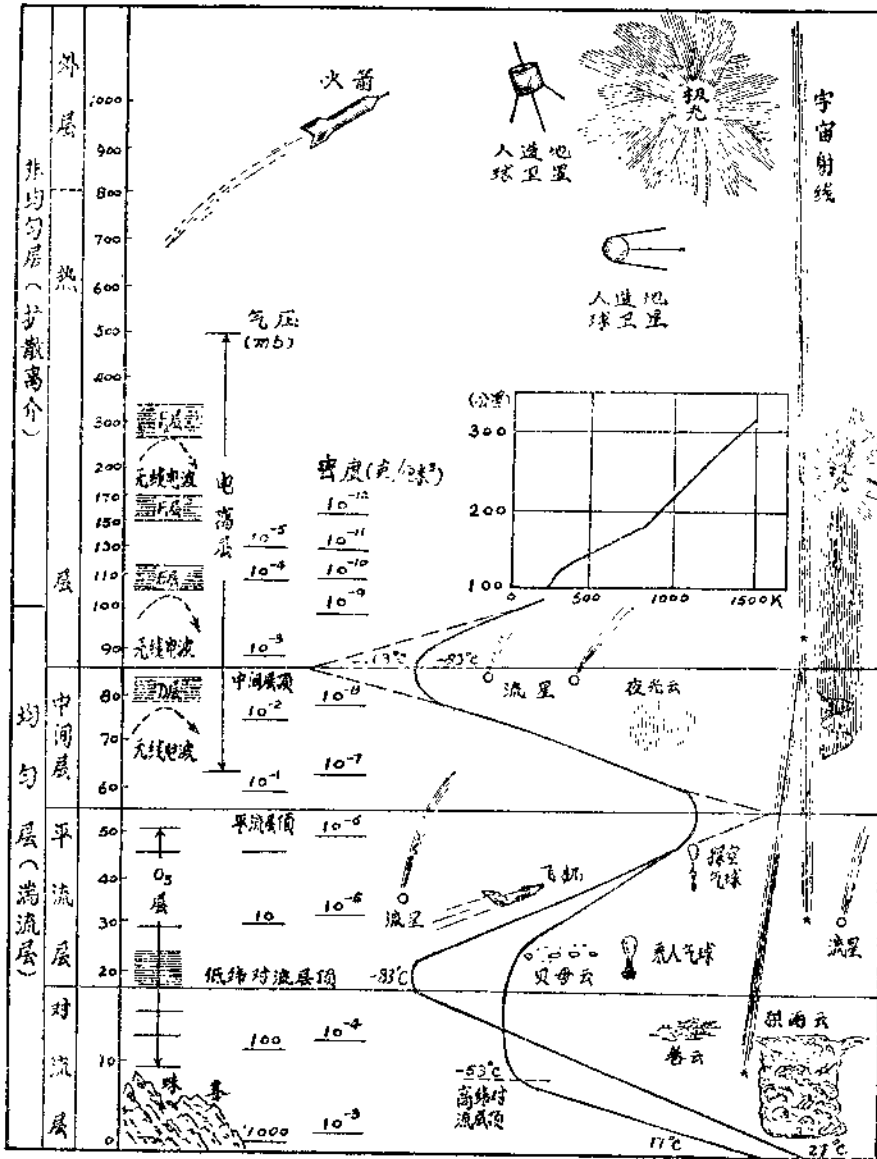


图1.8 大气的结构