

中等气象学校試用教科書

天 气 学

上 册

北京气象专科学校主編

气象专业用



农 业 出 版 社

中等气象学校試用教科书

天 气 学

上 册

北京气象专科学校主編

气 象 专 业 用

农 业 出 版 社

中等气象学校试用教科书

天 气 学

上 册

北京气象专科学校主编

农业出版社出版

北京老线局一号

(北京市书刊出版业营业许可登记证字第 106号)

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经营

农业出版社印刷厂印刷装订

统一书号 13144.126

1961年9月北京61型

1961年9月初版

1961年9月北京第一次印刷

印数 1—5,000册

开本 787×1092

三十二分之一

字数 154千字

印张 六又十六分之五

定价 (5)四角七分

引 言

一地或一个地区，在一定时期内各种气象要素的综合表现称为天气；天气及其地理分布随时间的演变过程称为天气过程。天气学是研究天气过程的发展规律，并运用这些规律预报天气变化的科学。

在气象工作中天气预报是气象服务的重要手段。准确的天气预报是建立在对天气过程的规律充分了解的基础上的。天气过程的规律的理論探討和预报服务实践是在生产建設发展的需要下互相結合、互相促进的。党的气象业务方針和一系列的原則方法决定了我国天气学的发展方向。气象工作以生产服务为綱、以农业服务为重点，天气预报大、中、小結合，以小为主，以及树立生产观点、服务观点和群众观点都深刻地体现了在社会主义制度下，科学与生产的密切联系。

天气学的研究对象就其基本內容来看，許多問題在中、外都是一致的，但由于所处的地理位置、自然条件以及服务的对象不同，而有着不同的側重和差异点。因此，我們一方面要充分吸收世界各国先进的科学成就；另一方面必須很好联系我国实际情况，重視已有的成就与經驗，把現有的經驗进行科学的理論概括，使之适应我国社会主义建設发展的需要。

天气学的研究方法除包括其他一些科学部門所运用的一般方法外，还有自己特有的原理、原則和程序，例如为了解气象要素場相互联系与相互制約所引起的天气系統的发生与发展，必須在一定科学理論的指导下从广大空間范围进行观察，广泛利用天气图

表与气象历史資料，并从历史发展的規律性进行分析；为充分估計天气变化的地方性特征，还須把劳动群众的看天經驗、天气的实况演变以及与其联系的天象、物象予以分析应用，并加以驗證总结。但这还是不够的，要想在綜合性分析中抓住主导因子，正确判断天气演变趋势和它对服务对象的影响时，最終还取决于在实践中是否充分貫徹辯證唯物主义的思想方法。

天气学是一門年青的学科，在理論方面或实践方面仍有不少問題还处于探討阶段，特別是在結合我国实际和結合生产上需要研究解决的問題还是很多的。因此，在学习时应牢固地掌握天气学的基本原理与技能，加强理論与实践的联系，树立正确的学习与工作态度，为参加生产实践打下一定的基础，使今后能够通过生产服务的鍛炼，不断地充实与提高。

目 录

第一篇 天气学基本原理

第一章 气象要素随时间的变化	1
§ 1.1 形成天气变化的主要因子	1
§ 1.2 气象要素随时间变化的主要原因	3
§ 1.3 温度和湿度局地变化的分析	10
§ 1.4 气压局地变化的分析	17
§ 1.5 总结	29
第二章 大气环流	31
§ 2.1 大气环流基本状态的概括描述	31
§ 2.2 控制大气环流状态的几个基本因子	41
§ 2.3 大气环流的短期变化	44
§ 2.4 大气环流的中长期变化	52
§ 2.5 信风环流与季风环流	57
§ 2.6 总结	60
第三章 气团	61
§ 3.1 气团的概念	61
§ 3.2 气团的主要物理属性	62
§ 3.3 气团的形成过程和变性过程	63
§ 3.4 气团的分类	66
§ 3.5 气团天气	67
§ 3.6 活动于我国境内的气团及其天气	69
第四章 大气的锋	73
§ 4.1 锋的一般性质	73

§ 4.2	锋面的坡度	76
§ 4.3	锋附近的气压场、变压场和风场	82
§ 4.4	锋的热力结构	89
§ 4.5	大气的锋生与锋消	97
§ 4.6	锋的移动	103
§ 4.7	锋面天气	106
§ 4.8	地形对锋的影响	119
第五章 气旋和反气旋		123
§ 5.1	温带气旋和反气旋概述	123
§ 5.2	温带气旋的形成	130
§ 5.3	气旋的再生	142
§ 5.4	气旋的天气	144
§ 5.5	反气旋的发展	149
§ 5.6	反气旋的再生	153
§ 5.7	反气旋天气特征	155
§ 5.8	气旋和反气旋的移动	156
§ 5.9	气旋和反气旋发生、发展条件的讨论	160
§ 5.10	高空变形场及其转变	167
§ 5.11	地形对气压系统的影响	171
第六章 小型天气		175
§ 6.1	雷暴	175
§ 6.2	飑线	184
§ 6.3	龙卷风	186
§ 6.4	地方性环流	189
§ 6.5	地形对降水的影响	191
§ 6.6	地方性大风及霜冻	193

第一篇 天气学基本原理

第一章 气象要素随时间的变化

一地或一地区的天气变化，是指大气中各种气象要素随时间变化的统一表现，它们在变化过程中是相互联系、相互制约的。因此，在認識天气变化的规律时，首先就必须从形成天气变化的主要因子出发，对气象要素随时间变化的物理原因作一般地探討。

§ 1.1 形成天气变化的主要因子

引起一地或一地区天气变化的主要因子有：环流因子、变性因子和地形因子。

一、环流因子

环流因子是指大气中各种主要气流和在大范围气流所操纵下所有天气系统（如气团、鋒、气旋和反气旋等）的活动。它们是引起天气变化的主要因子之一。

例如，在强大的西北气流操纵下，一股冷空气南下路过某地，就会引起該地气象要素随时间的剧烈变化。由于这种天气变化不同于以日、年为周期的天气变化，所以，就称为非周期天气变化。它有时能引起灾害性天气，因此，認識非周期天气变化规律就尤其显得重要。

环流因子一般分为惯性因子、平流因子和动力因子三种。

1. 惯性因子 是指惯性力的作用，空气运动所受的惯性力主要是地转偏向力。在摩擦层以上由于它的作用，在地转平衡时，风向实际上与气压梯度成直角，这就很难使相邻地区的气压均匀起来。因此，已经产生的大范围空气运动能维持相当久的时间。气旋和反气旋在这种因子的作用下，可以长久维持，并从一个地理区域移动到另一个地理区域。

2. 平流因子 是指空气的水平运动对所有天气系统或各种气象要素所起的水平输送作用。例如，我国沿海的东南风能将湿度大的空气向内陆输送。

3. 动力因子 是指地转平衡被破坏时，考虑了加速度的非地转运动的作用。例如，某一地区空气流入量可以超过（少于）流出量，由于空气柱质量的增加（减少），气压就会升高（降低）；结果不管下垫面是增热还是冷却，都会有新的气旋或反气旋产生，或已经形成的气旋或反气旋加强或减弱。另外，在非地转运动时，由于气流的辐散和辐合所产生的下沉或上升运动，又是云和降水形成与消失的原因之一。

环流因子是引起天气变化的主要因子之一，所以，在本书以后有关章节里还要作必要的介绍。

二、变性因子

变性因子是指辐射的影响和下垫面与低层大气之间的乱流交换的作用。它们能使大气中的温度、湿度和稳定度发生改变，所以，也是形成天气变化的一个因子。

例如，某地的地表面在接受太阳的热量后，再由它将热量传递给大气，就造成了该地气温的周期性变化。又例如，低层大气中水汽的乱流交换，使得下垫面的水汽传递给近地面的空气层，或者从一层空气传给另一层空气，造成湿度随高度的分布和湿度在近地面层中的日变化。由此可以看出，变性因子可分为辐射因子和交换因子两种。在变性因子的作用下，天气会发生周期性的变化。

一、地形因子

地形因子是指地面起伏不平(山脉、高地、凹地)和下垫面的不同(海洋、陆地)所引起的作用。它們同样能使气流和温度等发生改变,所以,它也是形成天气变化的主要因子之一。

例如,太平洋暖湿气流经过我国东南沿海山地形成降水时,山的迎风面降水量多于背风面。又例如,山区雷暴多于平原,低洼地区霜冻较高地严重,山谷风、海陆风等地方性天气变化,都是地形因子所引起的。因此,在了解小范围天气变化时,就特别重视它的影响。关于地形因子的详细讨论,见本书第六章。

上述形成天气变化的各项因子,实际上是相互联系、共同作用的。它們的作用效应有时是相同的,有时却是相反的。例如,大范围的空气运动引起各纬度之间热量交换,从而使各纬度之间和大陆与海洋之间的温度差减弱;但是移至高纬度地区的暖气团,在变性因子作用下会冷却下来,移至低纬度地区的冷气团却会增热,从而使得温度差又重新加大,并且还能反过来影响大范围的空气运动。显而易见,各种因子相互作用的结果,也就形成了一地或一地区所观测到的多种多样的天气变化。

§1.2 气象要素随时间变化的主要原因

引起一地或一地区天气非周期变化的主要因子是惯性因子、平流因子和动力因子。它們的作用,同样也是气象要素在一地或一地区随时间变化的主要物理原因。本节对此进行一般的介绍如下:

一、个别变化、局地变化、几何变化的物理意义

1. 个别变化($\frac{d}{dt}$) 它表示大气中某一个固定的空气质点的某一性质随时间的变化。例如,某一空气块在A地时,温度为 T_1 ,經

过一段时间由于运动的结果来到B地后,其温度变为 T_2 ,则 T_2 与 T_1 之差与经历时间之比,就称为该气块的温度个别变化。

2. 局地变化 $\left(\frac{\partial}{\partial t}\right)$ 它表示在空间某一固定地点的某一物理性质

随时间的变化。例如,在北京这一固定地点,气压随时间的变化,就称为北京地区气压的局地变化。因此,全国各气象台站每日观测到的各种气象要素随时间的变化,都是该地各气象要素的局地变化。显而易见,做好各地的天气预报,就必须了解各地气象要素的局地变化。所以,在本章§1.3、§1.4两节中,将要谈到主要气象要素(温度、湿度、气压)局地变化的原因。

3. 几何变化 $\left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}\right)$ 它表示空气的某一物理性质在空

间中,或者在某一个方向上的变化。例如,我们选右手直角坐标(图1.1), x 轴向东为正, y 轴向北为正, z 轴向上为正, $x-y$ 表示地平面,原点 O 可选取任一观测点。那么以湿度 q 为例,如果湿度自测站

向东发生了变化,可用 $\frac{\partial q}{\partial x}$ 表示;

如果湿度在测站平面或测站某高度平面上发生了变化,可以

用 $\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y}$ 表示;如果湿度在

测站各方向都发生了变化,就可以用 $\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial q}{\partial z}$ 表示。以上三种情形,通称为湿度的几何变化。

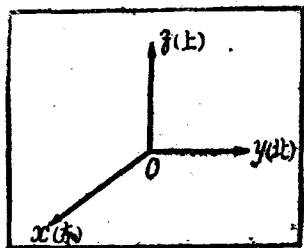


图1.1 右手直角坐标

二、气象要素的平流变化和移动变化。引导气流规则

1. 平流变化 它是指空气的水平运动(平流)所引起的气象要素的局地变化。并且假定空气块在个别变化过程中,它们的性质

(温度、湿度)保持不变(即 $F = \text{常数}$, $\frac{dF}{dt} = 0$, F 表示任一气象要素)。

其数学表达式可由 $\frac{dF}{dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} = 0$ 移项得出。即 $\left(\frac{\partial F}{\partial t}\right)_{\text{平流}} = -\left(u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y}\right)$ 。 (1.1)

式中 u 、 v 分别为风速向量沿 x 、 y 轴方向上的分量;其余符号意义同前所述。以温度、湿度的平流变化为例,分别可由公式(1.2)、(1.3)来表示。即

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\text{平流}} = -\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}\right) \quad (1.2)$$

$$\left(\frac{\partial q}{\partial t}\right)_{\text{平流}} = -\left(u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y}\right) \quad (1.3)$$

关于温度和湿度平流变化的计算,将在本章 §1.3 节中介绍。

2. 移动变化 它是指由于某个气象要素水平移动而引起该要素的局地变化(它不考虑移动的原因)。同时假定在移动时输送的特性保持不变。例如,假定气旋在移动过程中不加深也不减弱,只从一个地理区域移动到另一个地理区域。

其数学表达式是

$$\left(\frac{\partial F}{\partial t}\right)_{\text{移动}} = -\left(C_x \frac{\partial F}{\partial x} + C_y \frac{\partial F}{\partial y}\right) \quad (1.4)$$

式中 C_x 已不是风速分量,而是沿 x 轴的输送速度分量, C_y 则是沿 y 轴的输送速度分量;其余符号意义同前所述。公式(1.4)式表示

由于水平移动 $\left(C_x \frac{\partial F}{\partial x} + C_y \frac{\partial F}{\partial y}\right)$ 所引起的任一气象要素的局地变化 $\left(\frac{\partial F}{\partial t}\right)$ 。例如,气压的移动变化,可由公式(1.5)式来表示,即

$$\left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)_{\text{移动}} = -\left(C_x \frac{\partial p}{\partial x} + C_y \frac{\partial p}{\partial y}\right). \quad (1.5)$$

有关气压局地变化的专门讨论，详见本章 §1.4 节。

3. 引导气流规则 地面的气压系统(气旋和反气旋)是沿着上空某高度上的比较平直的稳定气流的方向移动。该高度称为引导气层，该层气流称引导气流。

根据经验的总结，引导气流应用的一般规则有：

1) 根据引导层上任何形式的等高线，沿地转风方向，预报地面气旋和反气旋中心的移动，以及地面高压脊、低压槽、锋和任一站的地面气压值、连续性降水区和等变压区等的输送。

2) 用引导气流规则求地面气压系统的输送速度时，须对该高度上的地转风 (V_g) 引进订正系数 (k)。设 C 为地面气压系统随引导气流的输送速度，则有

$$C = k \cdot V_g \quad (1.6)$$

如 700 毫巴等压面为引导层时，则有

$$C \cong 0.8(V_g)_{700} \quad (1.6a)$$

如 500 毫巴等压面为引导层时，则有

$$C \cong 0.6(V_g)_{500} \quad (1.6b)$$

当地面气压系统中心位置与高空气压系统中心位置接近时，由于此时输送的方向与速度不定，则不能应用引导气流规则。事实上，在这种情况下，地面气压系统中心的移动一般也是不大的。

现将其具体运用方法举例如下：参看图 1.2，某年 3 月 8 日 00 时(世界时)地面图上长江下游为一高压，若以 500 毫巴等压面为其引导层，试预报长江下游高压在 12 小时后的位置。由图 1.2a, 1.2b 可以看出地面高压上空风速 $(V_g)_{500} = 28$ 米/秒，由公式(1.6b) 式可求出输送速度，然后根据位移等于输送速度与时间的乘积，可以求出在 12 小时后地面高压应沿 AT_{500} 图上等高线东南方向位移约 600 公里。结果实况(图 1.2c) 与预报移动位置基本符合。

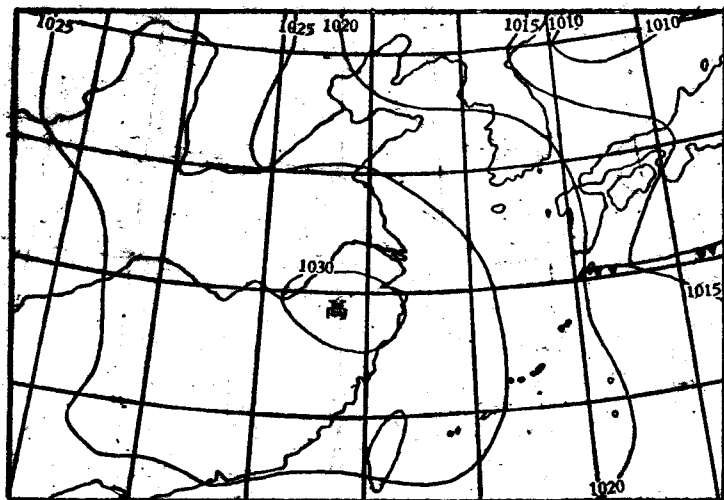


图1.2a 某年3月8日00时地面图

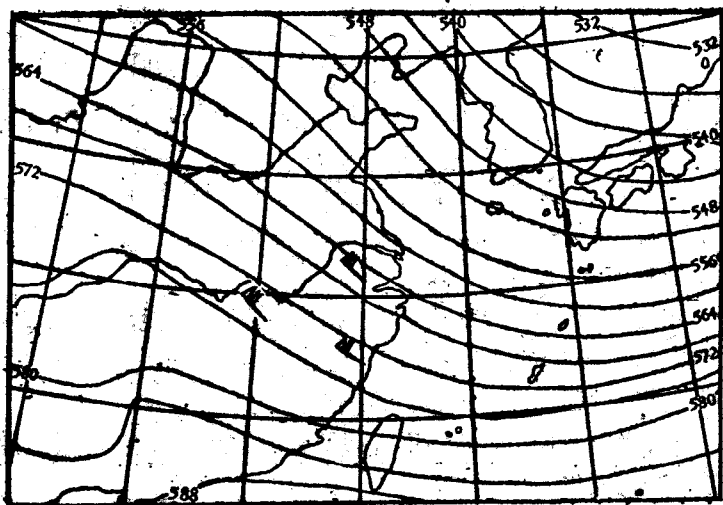


图1.2b 某年3月8日00时 $500hPa$ 图

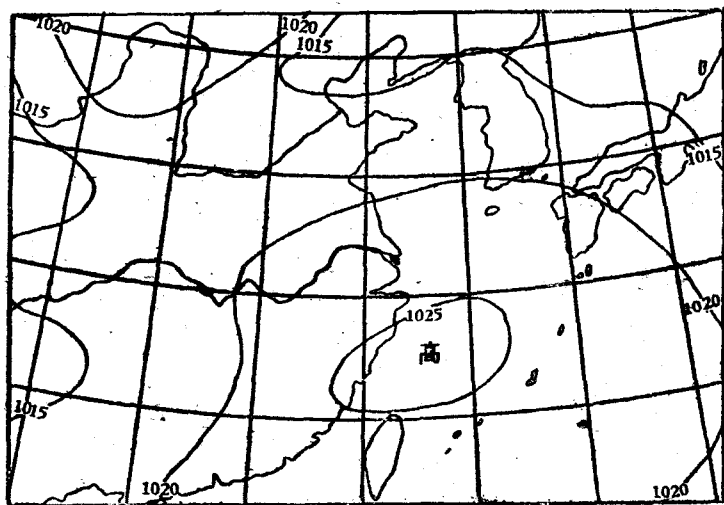


图1.2c 某年3月8日12时地面图

三、气象要素的动力变化和发展变化。垂直运动

1. 动力变化 它是指实际风和地转风有偏差时所引起的气象要素随时间的变化。或者说，是当作用于空气质点的力不平衡而发生加速度时，所引起的气象要素随时间的变化。

产生动力变化的因子包括：垂直速度、非地转平流、在摩擦作用下近地面层内风与地转风的偏离、山脉对气流的影响、气压系统的发展、惯性力的作用等。

动力因子对气旋和反气旋的演变过程（比如说，对气旋的加深或堵塞、反气旋的加强或减弱）起着主要的作用。另外，对气团和锋的演变过程中，它将和变性因子共同起作用。

2. 发展变化 它是指所有因子综合作用而引起气象要素随时间的个别变化。

它的数学表达式可写成：

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + C_x \frac{\partial}{\partial x} + C_y \frac{\partial}{\partial y} \quad (1.7)$$

如果討論气压, 則有

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\partial p}{\partial t} + C_x \frac{\partial p}{\partial x} + C_y \frac{\partial p}{\partial y} \quad (1.8)$$

公式 (1.8) 說明, 气压的发展 (个别) 变化 $\left(\frac{dp}{dt}\right)$, 是由于气压的局地变化 $\left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)$ 与气压的移动变化 $\left(C_x \frac{\partial p}{\partial x} + C_y \frac{\partial p}{\partial y}\right)$ 所引起的。

如果討論局地变化, 就可写成

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{dp}{dt} - \left(C_x \frac{\partial p}{\partial x} + C_y \frac{\partial p}{\partial y}\right) \quad (1.9)$$

公式 (1.9) 說明, 气压的局地变化可以看成是发展变化和移动变化的总和。

必須指出, 由于大气过程同时受到許多因子的作用, 因而不能孤立的用某个因子来解释天气現象的因果关系。例如, 空气冷却使水汽凝結, 但水汽凝結时所释放出来的潜热又会反过来影响空气的温度。

3. 垂直运动 在天气发展的过程中, 空气的垂直运动起着重大的作用。这是由于它能引起气团的重新分布, 能量的上下传递, 大气层結稳定度的变化, 云和降水的形成和消失等。

垂直运动由于产生原因的不同, 可分为下述几类。

1) 由于非地轉风速的辐散(合)作用所引起的垂直运动, 称为**系統性垂直运动**。它产生的原因主要是动力因子起作用。

2) 由于热力的对流作用 (空气受热不均匀而引起的对流) 和动力的对流作用 (如地形的强迫抬升作用) 所引起的垂直运动, 称为**对流性垂直运动**。它是热力与动力两种因子共同作用的结果。

3) 由于亂流作用所引起的垂直运动, 称为**亂流性垂直运动**。

它产生的原因,也是热力与动力两种因子共同作用的结果。

由于上述三种垂直运动的产生原因不同,因此,在性质上(垂直速度的大小、范围、稳定性)就各不相同;它们对天气演变过程的影响,也有差别。关于垂直运动的定性讨论可参看表1.1。

表1.1 各种垂直运动的定性讨论

运 动 种 类	性 质	影 响 后 果
系统性垂直运动	1)范围:很大,与气旋、反气旋所占范围相似 2)稳定性:随时、空变化小 $\left(\frac{dw}{dt}\right)$ 小 3)垂直速度本身:约1—10厘米/秒,比水平速度(10^0 — 10^1 米/秒)一般要小数百倍	1.是形成As—Ns型广大云系和连续性降水的主要原因 2.能引起空气层结发生显著的变化(指 $\frac{\partial T}{\partial z}$, $\frac{\partial q}{\partial z}$ 的变化)
对流性垂直运动	1)范围:水平范围较小,垂直范围大,可伸到对流层相当厚的气层中 2)稳定性:空间分布不均衡,发展的时间也很短促 3)垂直速度本身: w 与 V_h 同一级	1.能引起剧烈的水汽凝结作用形成积雨云,阵性降水 2.发生雷暴的重要因子
乱流性垂直运动	1)范围:很小,在低层对流层常见 2)稳定性:随时、空变化大(即不稳定), $\frac{dw}{dt}$ 大	1.能引起低层大气中不同性质空气质点发生混合、热力与水汽交换,结果产生要素日变化 2.是形成层云,层积云的主要原因(冬半年) 3.促使对流作用发生

§ 1.3 温度和湿度局地变化的分析

温度和湿度都是主要气象要素。它们的局地变化联系着其他