

天气学知识

中国科学院大气物理研究所 编著



科学出版社

天 气 学 知 识

中国科学院大气物理研究所 编著

内 容 简 介

天气学是气象学的一个重要分支,它是天气预报的基础。本书通俗地阐述了天气学的基本知识。首先介绍了大气运动的基本规律和特征。其次介绍了大气中的各类天气系统,如锋面、切变线、冷高压、副热带高压、青藏高原高压、温带气旋、台风、中小尺度天气系统等。最后简略地说明有关季风、热带环流和大气环流的一些基本知识。

本书可供广大气象台、站和气象哨的气象工作者和气象部门的有关人员参考。

天 气 学 知 识

中国科学院大气物理研究所 编著

*

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978 年 12 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1978 年 12 月 第一次印刷 印张: 4 5/8

印数: 0001—63,500 字数: 105,000

统一书号: 13031·900

本社书号: 1275·13—15

定价: 0.40 元

前 言

天气学是天气预报的基础。近十多年来,天气学有了很大发展。《气象》在1976年曾连载“天气学知识讲座”。这个讲座受到气象台、站、哨等广大气象员的欢迎。应读者的要求,我们对各讲作了一些修改和增补,编写成这一本小册子。

天气学的中心是大气中大大小小各类天气系统,在做天气预报时气象员必须抓住天气系统的活动情况。本书首先介绍了各种尺度运动系统的特征,以后对各类天气系统,如锋面、切变线、冷高压、副热带高压、青藏高压、温带气旋、台风、中小尺度天气系统等作了介绍。我国是季风气候国家,我国南部接近热带,热带大气的环流特点同中高纬度不同。北半球大气环流的知识对中长期预报是很重要的。最后三讲概略地对季风、热带环流和北半球大气环流作了介绍。

在编写时尽量将天气学中最新知识引进去。但由于篇幅所限,关于天气学的其它一些问题,如平流层天气和大气环流,卫星气象和极地环流等没有包括进去。另外对天气分析和预报方法也没有作系统介绍。

在本书编写过程中《气象》编辑部的同志给我们以很大的帮助和支持,在此表示谢意,同时也感谢对我们提出宝贵意见的许多读者。

编 者

一九七七年十二月

目 录

- 一、大气中各种尺度的运动·····朱抱真 (1)
- 二、锋面与切变线·····林学椿 (11)
- 三、温带气旋·····李玉兰 (25)
- 四、冷高压·····方宗义、丁一汇 (36)
- 五、青藏高压·····宋正山 (45)
- 六、副热带高压·····李麦村 (53)
- 七、低纬度环流和系统·····沈如金 (65)
- 八、台风·····陈隆勋 (77)
- 九、中小尺度天气系统·····蔡则怡 (88)
- 十、东亚季风·····陶诗言 (105)
- 十一、大气环流·····叶笃正 (115)
- 十二、天气预报技术的现状·····陶诗言、丁一汇 (135)

一、大气中各种尺度的运动

朱抱真

(一) 天气学是综观分析大气运动的学科

围绕地球周围的大气,是人类生活的环境,它是不断地运动着。人们为了认识大气,预报天气,进一步控制天气,首先在地球上一定的地点建立测站,观测气象要素(气压、温度、风等)。然后把这些观测值通过电讯系统收集起来,填在特制的地图上,叫做“天气图”。然后再将图上所包含的天气事实,进行从现象到本质的综合分析。“天气学”就是对大气作这样“综观分析”的学科。

一般,在天气图上先绘出等值线,例如等压线是气压值相同点的连线;然后,在综观上就可以看到具有特征结构的低值和高值系统,即所谓“天气系统”。它们伴随着明显的天气现象,如大风、降水等;它们的强度和位置不断地变化,便形成一些特殊的天气过程。因此,怎样在综观上表示这些系统的结构和变化过程,并进一步分析它的本质,掌握它的运动规律,以便预报它的未来,是属于天气学的内容。

天气学的特点是将一定地区具体的观测事实,进行总结分析,将那些有代表性的典型结构和过程概括为天气模式。它通常是从许多个别过程的归纳和概括中,得出它们共同的物理结构和变化过程的机制。因此,一个天气模式的建立是带有地理区域性和统计性的,并且是建立在物理学规律基础上

的。理论概括出来的天气模式还必须回到预报实践中不断地检验、修改,并且丰富模式的内容。

随着大气科学的进展,新的观测手段(例如卫星观测)提供了更丰富的观测资料;电子计算机和计算技术的发展,能够精细、定量地对大气的结构和过程进行数值模拟和数值预报。因此,天气学这一学科的内容和方法也在不断改变着。

(二) 大气运动的各种尺度

活动在大气里的天气系统种类很多,它们在空间上规模很不相同,在时间上生命的长短也极不一样。这种空间大小和时间长短,在气象学上通常称为“尺度”。各种不同尺度的天气系统是不同尺度大气运动的体现,而一种天气过程包含着多种尺度的运动。

天气系统有大气波动、涡动以及气象要素的不连续区。通常把波动的一个波长或涡动的直径长度作为系统的空间尺度。把系统从新生、发展到衰亡的时间长度作为系统的时间尺度。一般地讲,大气运动系统的空间尺度越大,时间尺度也越长。表 1.1 给出温带、副热带和热带地区不同天气过程的尺度,图 1.1 给出东亚夏季不同尺度的天气系统示意图。

应该指出,由于人们对各种尺度的定义和名称的看法不同,尺度的划分也不完全一致。这里只能把各种尺度的天气系统作一简述,以后还要详细地阐述。

一般,把水平尺度 2000 公里以上的大气运动称为大尺度(或称大型、行星)运动。其中尺度最大的是沿着地球纬圈运动的风带,例如中高纬度的西风带和低纬度的东风带。叠加在西风带上的系统是波长为几千公里的波动,即所谓长波。它在西风带上缓慢地向东运动,在移动的过程中经历着新生、发

表 1.1 大气运动的各种尺度

| 水平尺度(公里) | | 2×10^3 | 2×10^2 | 2 | |
|----------|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------|--------|
| 尺度定义 | | 大尺度 | 中间尺度 | 中尺度 | 小尺度 |
| 天气系统 | 温带 | 超长波、长波 | 气旋、锋 | 背风波 | 雷暴 |
| | 副热带 | 副热带高压 | 副热带低压、切变线 | 飑线、暴雨 | 龙卷风 |
| | 热带 | 热带辐合区、季风 | 台风、云团 | 热带风暴、对流群 | 对流单体 |
| 物理量 | 垂直速度 (厘米·秒 ⁻¹) | 10^{-1} | 10^0 | 10^1 | 10^2 |
| 时间尺度(小时) | | 10^2 | 10 | 1 | |

展和衰亡的过程。比长波尺度还要大的波动是超长波，它的波长为万公里以上，它常在一定的地理区域摆动，带有准静止特性。在长波和超长波变化的同时，西风带本身也经历着加强和减弱的过程，整个过程可以长达 2—3 周。

长波主要位于大气对流层的中、上部。在对流层的低层，天气系统以闭合环流的涡旋为主。北半球中心气压高值的涡旋，气流以顺时针方式向外散开，称为反气旋。两个不同源地(暖源和冷源)的反气旋气流交绥区称为锋。锋具有显著的温差和风的切变。锋区在高空长波槽前，它常常是气压低值系统的活动区。这种系统的气流是以逆时针旋转方式向内汇合，称为气旋。同时有上升运动，多发生云和降水。一般，把气旋和锋的尺度划为中间尺度(或称为天气尺度)运动，有人则划为中尺度运动(把水平尺度 2000—200 公里的运动统称为中尺度)，但也有人把它划为大尺度运动。

在副热带地区，反气旋尺度很大，副热带高压是属于长波尺度或超长波尺度；对流层上部的青藏高原高压是超长波尺度。中

间尺度的运动有涡动(如我国西南涡)和切变线,它们也造成明显的降水天气。

锋、涡和切变线上的降水现象在时间和空间上都是不均匀的,说明在中间尺度的系统里还有比中间尺度更小的尺度运动,造成小范围地区在短时刻的剧烈天气,例如一条条飑线

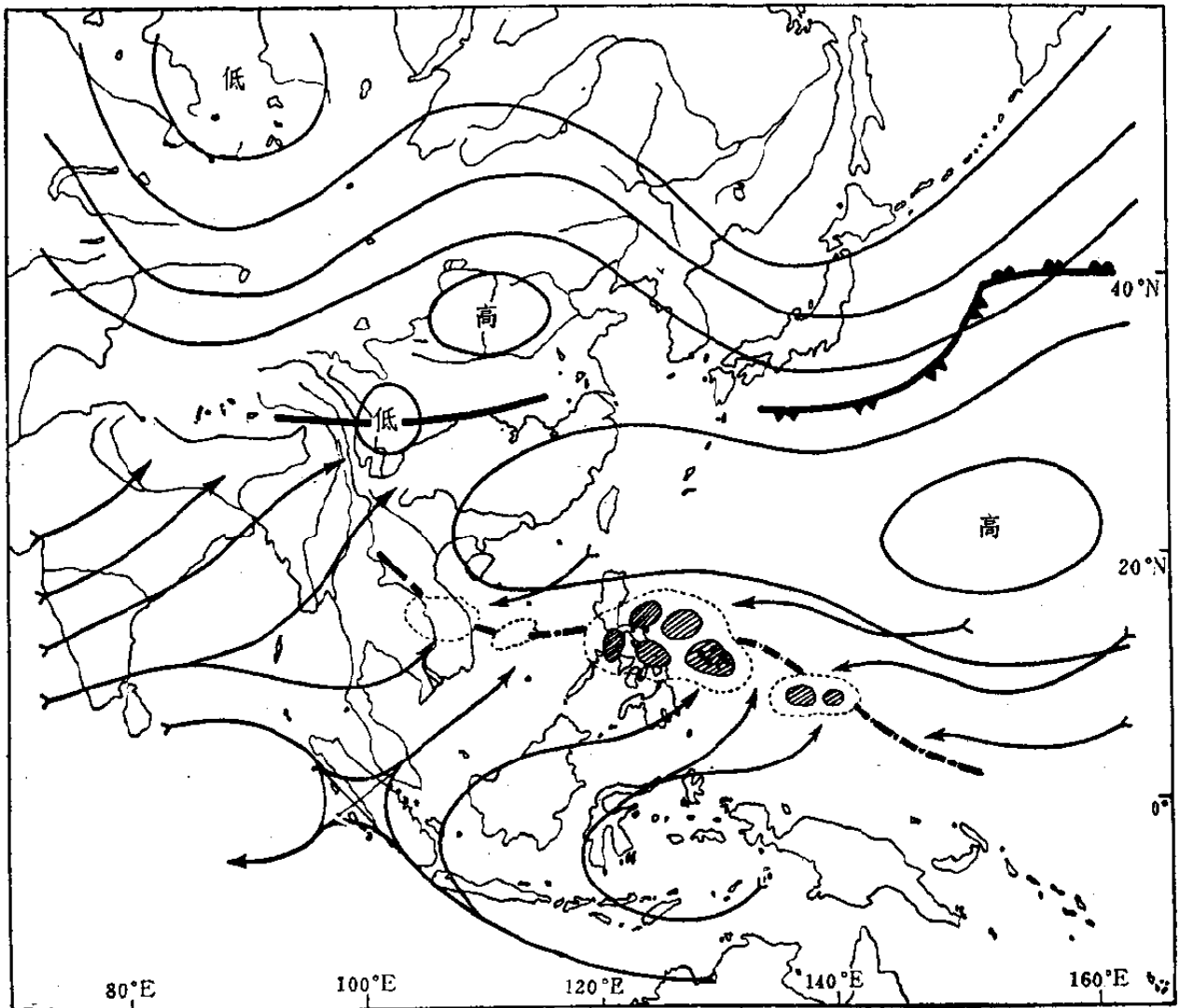


图 1.1 东亚夏季不同尺度的天气系统示意图

细实线表示对流层中层的长波、副热带高压和低涡,粗实线表示对流层低层的锋和切变线,流线表示热带低层气流,粗断线表示热带辐合区,细断线区表示云团,斜线区表示对流群,斜线区内的黑点表示对流单体

和造成大雨和暴雨的中尺度系统。达三、四、五百公里到一、两百公里，称为中尺度或次天气尺度。比中尺度还小的系统是水平尺度2公里以下，时间尺度1小时以内的系统，如龙卷风和雷暴，这是小尺度系统。

在热带，大气运动同样存在着不同的尺度，但天气系统的运动特性和中高纬地区不同。由副热带高压流向赤道的偏东气流，和来自南边的偏南气流汇合，形成赤道槽。槽区内有一条温度分布均匀但气流汇合强盛的狭窄区，称为热带辐合区。它在亚洲大陆的位置特别偏北，其南侧低空盛行强大的西南气流，称为西南季风。这些运动都是大尺度的系统。

在这些大尺度系统上还叠加着小一些的不同尺度的系统。例如在副热带高压南缘的东风带上有由东向西运行的东风波；在热带辐合区中，有中间尺度的台风，它是对流层中最强大的风暴；另外，还有热带云团。这些云团常常与一些热带扰动有关。它们又是由中尺度的对流群组成，而后者又是由许多小尺度的对流单体组成。这种对流性积云和积雨云组成的深厚、潮湿的对流系统在热带大气运动中具有很重要的作用。

从以上可以看到大气运动包括空间为几公里到几万公里，时间尺度为几小时到几周的不同尺度的天气系统，一种天气过程常包括几种尺度的运动，因此天气过程是极为复杂的。

(三) 不同尺度大气运动的物理特性

大气中为什么存在着如此复杂的各种尺度的运动，不同尺度运动的物理特性是什么？现在对这些问题认识虽不断深入，但问题还是不够清楚的，这里只能粗略地讲一下。

大气上部从外层空间接受太阳辐射，下部受地球的作用

而运动着,因此,大气中存在着不同尺度的运动是和控制大气运动的外部因子有关。

首先,太阳的辐射能进入大气到达地面时,分布是不均匀的,主要和纬度有关,在高纬度地面所受到的太阳辐射量要比赤道地区相同面积的地面少得多。大气中最大尺度的东、西风带也和纬度有关。因此沿着地球纬圈运动的风带的存在,是和太阳辐射能在地球上的分布有关联的。

其次,地球表面有着非常不均匀的海陆分布,地形起伏具有不同的水平尺度,从几千公里范围的大地形到几公里的小地形;水面分布从范围很广的大洋到很小的湖泊,这些不均匀的地表状态是大气下层接触的下垫面。大气每时每刻都在接受来自下垫面的动力和热力作用。

地形的起伏、高低,迫使气流要爬越山脉或绕过山地运动,因此,地形对大气运动产生动力作用。地面加热的地方使得大气受热上升,地面冷却的地方使得大气冷却下沉,因此海陆分布对大气运动有不同的热力作用。这些不同尺度的下垫面的作用,决定了大气有不同尺度的波动,例如北半球上有大陆和海洋,还有青藏高原那样大的地形,因此大气中有超长波尺度的运动。而象祁连山那样小一些的地形则决定大气里有某些中尺度的背风波存在。

由于控制不同尺度大气运动的物理因子不同,因此各种尺度运动也具有不同的物理特性。

大气包围着整个地球,但它的质量绝大部分集中于近地面 30 公里的厚度内,有一半集中于下边 5 公里的气层中,但地球半径在 6 千公里以上,因此,大气可以看作是一个水平尺度很大、垂直尺度很小的薄层。

从大尺度到中尺度的大气运动,都可看作一个薄层,垂直尺度都比水平尺度小得多,与此相关,这时大气运动的垂直速

度都比水平速度小得多。另一方面,大气中各种尺度运动的垂直尺度相差不大,但水平尺度相差很大;同时各种尺度运动的水平风速量级(风速一般为几个 10 米/秒,这个 10 米/秒称为风速的量级)相似,这就决定了不同尺度的垂直运动又有显著的差别(参见表 1.1)。

大尺度和中尺度运动,由于垂直速度比水平速度小得多,这时大气运动有准水平性。

大气虽是一个薄层,但气象要素在垂直方向上的分布却是很不均匀的,例如气压随着高度增高而降低。从气压高的地方向气压低的地方对空气质点产生气压梯度力。空气质点在垂直方向运动时,受气压的垂直梯度力作用,还受地球的重力作用。但有意思的是在这两种力的作用下,空气质点的垂直运动加速度很小,因此气压的垂直梯度力和重力近似平衡。这时大气运动处于准静力平衡状态。大气只有在静止时,才处于完全的静力平衡,但大尺度—中尺度大气运动可以看作是在静力平衡状态下进行的。这时空气质点不是静止的,是在运动着,但在运动的同时保持着静力平衡,所以说这时运动具有准静力性。对于小尺度运动,垂直尺度和水平尺度量级相同,垂直速度并不比水平速度小得多,这时大气运动不再有准水平性。空气质点的垂直加速度也不再很小,运动也不再具有准静力性。还应该指出:当我们说运动是准水平的,只是说运动基本上具有水平运动性质,也并非没有垂直运动,垂直运动虽然很小,但在天气系统发展上却作用很大,这一点在以后其它部分中会体现出来。

上面已经讲到地表面有着复杂的海陆分布和地形起伏,因此气象要素在水平方向上也是很不均匀的。气压在水平方向上有一个对空气质点从气压高的地方指向气压低的地方的力,这个力叫做水平气压梯度力。空气质点在水平方向运动

时,受水平气压梯度力作用,还受地球旋转的作用。后者对运动着的空气质点产生一种特殊的偏向力,叫作地转偏向力。对于北半球运动的物体、地转偏向力指向运动方向的右侧。

大尺度运动的另一个特点是准地转性,就是说空气质点在水平气压梯度力和地转偏向力的作用下,水平加速度也是比较小的,这时水平气压梯度力和地转偏向力接近平衡,风和等压线平行。但运动并不是完全地转平衡。只是说运动是发生在处于地转平衡的状态下;大气中不断发生对风和气压的扰动,不断地在破坏气压梯度力和地转偏向力之间的平衡,使得大气状态不断地发生变化;但不断地又在趋向地转平衡。这种过程的反复是大尺度运动中极为重要的动力过程。

大型运动具有准地转性,也就是说这种尺度运动的地转偏差(地转平衡时的风速或称地转风和实际风速之差)很小。当运动的水平尺度小于2000公里时,地转偏差增大,这时风不再和等压线平行。因此中间尺度及其以下的中、小尺度运动都是非地转运动。这是指中高纬的情况。在低纬度,地转偏向力很小,在赤道为零,因此在低纬度,即使大尺度运动也不再那样具有准地转性。

以上所谈的只是不同尺度运动的一般物理特性,在下面其他部分,将可看到不同尺度的天气过程有着更具体不同的物理特性。

(四) 尺度划分在天气学上的意义

根据实践经验把大气运动划分为不同尺度,了解它们的物理特性,对建立天气观测、天气分析和预报都有着重要的意义。

上面讲过,天气学是从综观的角度分析大气变化的过程。

我们要了解某一类过程，首先是要针对现象的尺度建立观测网，采用不同尺度的观测网和不同的观测工具，才能得到不同尺度现象的资料。从相距 300 公里的测站资料难以分析中尺度的空间结构，稠密的测站网可以得到中尺度现象的资料，雷达观测和卫星观测比一般的常规观测更能得到中尺度资料。

有了不同尺度现象的观测资料，还必须建立相应的分析方法，才能有效地揭露该尺度的现象，而不同的分析方法是建立在不同的物理特性的基础上。

气象台通常所分析的天气图适于大尺度和中间尺度分析。一张天气图包括有超长波、长波和中间尺度系统。人们为了研究某一尺度的运动，常使用一些方法将所要的尺度运动突出。例如：将气压场作波谱分解，可得不同尺度的波。这种方法的优点是同时将各种波长的单波分解出来，但用这种方法分解出来的单波是否完全表现实际的物理实体，是个问题。又如把不要的波可以设法滤掉，使用空间平滑或时间平均可以简便地滤掉短波，但它同时会影响长波对其实际情况的符合程度。

中尺度分析目前还没有比较成熟的方法。在一般的天气图分析上，有时可以得到明显的中系统，但有时则不清楚。只是将图的比例尺缩小或将等值线加密，并不能很好地解决问题。分析的目的是按照运动尺度的物理特性将重要的尺度现象从杂乱的背景中抽出来，中尺度分析应该把中尺度的物理现象鲜明地分析出来。这一点将在以后讲到有关尺度分析时体现出来。

将不同尺度系统的结构突出，还只是分析的第一步。重要的是了解这些系统的变化机制，揭露不同物理过程在天气系统发展中的作用，这时就需要注意不同尺度的天气系统所具有的不同的物理特性。

更重要的是天气分析是为了天气预报的应用。不同的分析会导致不同的预报方法，不同的预报方法也要求相应不同的分析。天气学里早期的地面气旋和锋的分析导致运动学的预报方法，以后的长波分析在预报工作中引进了系统发展的动力学规律，但所建立的预报规则是定性的，预报方法还是经验性的比重更大。当前整个天气学的内容，天气分析是主要的，而天气预报占的比重较小，这是很大的缺陷。现在实践上要求定量的天气预报，要求建立客观的预报方法。因此天气学的内容随着气象科学的进展也正在不断地革新。不同尺度的天气分析和天气预报都将愈益建立在物理学规律上向前进展。

最后应该着重指出的是，大气运动的尺度划分是很重要的，但大气的不同尺度运动又是相互制约的，从这一点讲，它们又是不可分的。这是天气学重要的难题之一。因此我们要从天气事实分析到理论总结，研究大气运动不同尺度的物理特性，同时研究不同尺度运动的相互联系和相互制约。

二、锋面与切变线

林学椿

锋面和切变线是引起天气变化的重要天气系统之一，在日常天气分析和预报中经常遇到，因而正确地分析和掌握这些系统的活动规律，对于做好天气预报具有重要意义。

（一）锋面的定义

人们从长期的天气变化中发现，在同一时刻不同地区，空气的物理属性如温度、湿度、稳定度等都是不同的。但从广大区域来看，也还存在着物理属性比较均匀的大块空气，它的水平范围可达几百公里到几千公里，垂直范围可达几公里到十几公里。这种属性比较均匀的大块空气，在气象学上称为气团。

气团因其形成源地不同，而具有不同的热力学特性，一般，可分为冷气团和暖气团两大类。所谓冷、暖均是相对而言，没有绝对的温度数量界限。一般说来，形成于冷源地并在移动过程中能使所经之地变冷，而本身却逐渐变暖的气团叫冷气团。形成于暖源地并在移动过程中能使所经之地变暖，而本身却不断变冷的气团叫暖气团。两气团相遇，温度较低的是冷气团，温度较高的暖气团。

在冷气团和暖气团之间，有一很窄的过渡带，这个过渡带称为锋面或锋。锋面两侧的温度、湿度、气压、风和云等气象要

素具有明显的差异，因此锋面也可以看成是大气中气象要素的不连续面。

暖空气比冷空气密度小。当冷、暖气团相遇时，在地转偏向力的作用下，暖气团总是位于冷气团上方并使锋面向冷气团倾斜。它的倾斜程度称锋面坡度，可用图 2.1 中 α 角的正切来表示，即 BC/AB 。一般锋面坡度愈大，天气变化愈剧烈。我国的锋面坡度一般在 $1/50$ — $1/300$ 之间。锋面宽度在近地面层约为数十公里，而高空可达 200—400 公里。锋面在高空天气图上表现为一束等温线密集带，这就叫做高空锋区或锋区（图 2.2）。不过，在我国低纬度地区，高空锋区的温度梯度并不大，通常表现为强烈的风速或风向的不连续带。

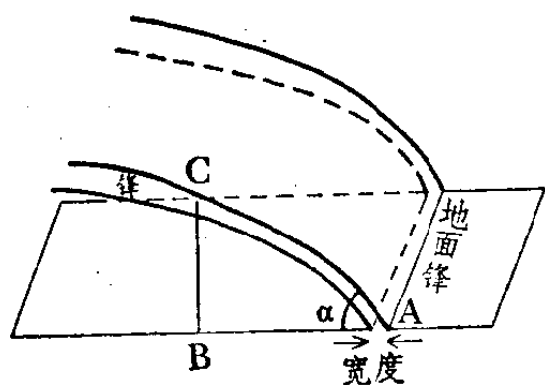


图 2.1 锋面在空间的状态

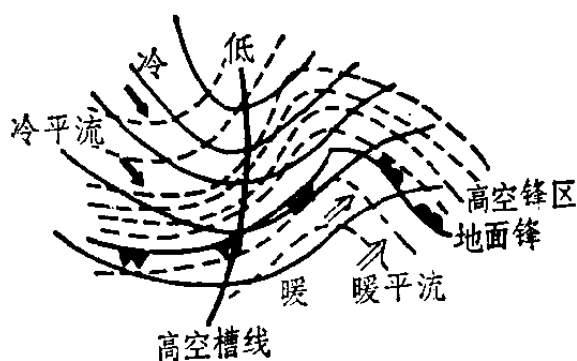


图 2.2 常见的地面冷、暖锋与高空槽配置关系

(二) 锋的分类及其空间结构

锋面随着冷、暖气团的移动而移动。锋面按运动学分类。冷气团向暖气团方向移动并占据原属暖气团的地区，这种锋称冷锋。反之，暖气团向冷气团方向移动并占据属冷气团的地区，这种锋称暖锋。冷、暖气团势均力敌，在某一地区摆动或停滞的锋称准静止锋，简称静止锋。此外，还有一种叫锢囚锋，