

高等学校教学用书



天 气 学

上 册

阿·謝·茲維列夫著

高等教育出版社

高等学校教学用书



天 气 学
上 册

阿·谢·兹维列夫著

张杏珍 刘从正 译
宋日晨 张风亭

高等教育出版社

本书系根据苏联水文气象出版社 (Гидрометеорологическое издательство) 出版的阿·謝·茲維列夫 (А. С. Зверев) 著的“天气学” (Синоптическая метеорология) 1957 年版譯出的。原书經苏联高等教育部审定为高等学校教学参考书。

本书系统地闡述了天气学的各种問題，詳解了天气分析和預报的各种实用方法。并且从现代的观点出发着重解釋了引起天气变化的种种大气过程。

本书除供水文气象学院和其他高等学校的学生使用外，亦可供从事天气服务的广大实际工作者及一切对短期天气預报問題有兴趣的人們参考。

本书分为上下两册出版，上册包括第一章到第五章，下册包括第六章到第九章及附录。

天 气 学

上 册

阿·謝·茲維列夫著

張杏蓀 刘从正

宋日晨 張风亭 譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市书刊出版业营业許可証出字第 054 号)

京华印书局印装 新华书店发行

統一書号 13010·726 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 8 $\frac{1}{16}$

字數 182,000 印数 0901—3500 定价 (6) 0.39

1960 年 3 月 第 1 版 1980 年 3 月 北京第 1 次印刷

作者的話

現代的天气学正在加速地发展，过去看来相当肯定的許多概念，現在正在批判地加以修改。而且与此同时，又提出了不少新的观点，其中有一部分观点尚未經過足够的“時間考驗”。作者在闡述天气学的原理时，曾力图在这样一本簡短的教学参考书所容許的範圍內，尽可能地考虑这些新的观点。学生自学国内外学者的各种著作，应该將是对本书一个重要的补充。

本书是根据作者几年来在列宁格勒水文气象学院所用的讲稿編写的。由于課堂讲授是与天气图分析和天气預报的实习課并行进行的，因而在本书中并未闡述有关天气分析技术方面的許多細節問題。同时，考虑到长期天气預报已形成为一門独立的課程，而且目前正在单独編写长期預报的教学参考书，所以这方面的問題也未編入本书。

作者对 С. П. 赫洛莫夫(Хромов)和 В. А. 布加也夫(Бугаев)在閱讀本书手稿时所提出的非常宝貴的指教，及 Г. И. 斯米尔諾夫(Смирнов)、И. П. 維特洛夫(Ветлов)和其他有关同志对本书个别章节所提出的許多宝貴的意見，致以衷心的謝意。С. Л. 別洛烏索夫(Белоусов)編写了本书 §44, Л. С. 米宁娜(Минина)帮助制图，И. Г. 普契尔科(Пчелко)負責校訂了这本书，作者对于这几位同志的帮助，也非常感謝。

上册目录

作者的话

第一章 天气学的对象、天气服务概述

§ 1. 天气学的对象及任务	1
1. 天气学定义、天气学方法(1) 2. 天气学与其他学科的关系(2) 3. 天气 预报对国民经济和国防的意义(3) 4. 天气学的几个基本概念(4) 5. 科学 的天气预报问题及其解决的途径(10) 6. 积极影响天气的问题(13)	
§ 2. 天气学发展的几个主要阶段	15
1. 未建立天气学以前研究天气的时期(15) 2. 天气服务组织(17) 3. 十九 世纪和二十世纪初期天气学的发展(18) 4. 1920--1930 年大气学在分析 实践中的应用和天气学的发展(21) 5. 从 1940 年前后起高空天气图在天 气分析实践中的应用以及天气学的发展(22)	
§ 3. 天气服务概述	25
1. 苏联天气服务组织机构(25) 2. 现代的气象台站网、观测定时(25) 3. 气象和高空电码简述(28) 4. 天气情报搜集和传递方式(29)	
§ 4. 天气分析和预报工具的特征	30
1. 各种工具列举、天气图种类(30) 2. 大气状态的几个补充特征(32) 3. 高 空图解(38) 4. 温度等值线图解和大气垂直剖面图(43) 5. 飞机天气侦察记 录的应用(48) 6. 无线电器材在天气条件分析中的应用(49) 7. 极地震的 分析(51)	

第二章 天气图的绘制、气象要素场的分析

§ 5. 地面天气图的绘制与分析技术	53
1. 地面天气图的绘制技术(53) 2. 地面天气图的分析技术(58) 3. 辅助天 气图的分析技术(66) 4. 发现和改正所填记录中的错误(68) 5. 发现和改 正分析中的错误(71)	
§ 6. 气压形势图的绘制与分析技术	72
1. 气压位势测定公式、气压形势图上数据的计算方法(72) 2. 气压形势图 的绘制技术(79) 3. 气压形势图的分析技术(81) 4. 发现和改正气压形势图 上的错误(86)	
§ 7. 气压场的分析	88
1. 气压场的特性(88) 2. 高空气压场的特点(91) 3. 等变压线和等变高线(93)	
§ 8. 风场的分析、梯度风尺	94

1. 风的特性, 流线(94)	2. 地转偏向力对空气运动的影响, 地转风(99)
3. 离心力对风的影响, 旋转风, 梯度风(103)	4. 梯度风尺(105)
5. 摩擦作用对风的影响, 实际风(107)	6. 风随高度的变化, 热成风(109)
7. 速度环流和环流加速度(113)	8. 运动方程, 连续方程, 导数的求法(114)
9. 大气中的垂直运动(116)	
§ 9. 温度场和凝结系统的分析	118
1. 地面和高空天气图上温度分析的特点(118)	2. 凝结系统的分析(119)

第三章 大气环流的基本特征

§ 10. 大气环流的组成及其研究方向	122
1. 大气环流的组成(122)	2. 大气环流的研究方向(126)
§ 11. 大气环流的气候特征	127
1. 大气活动的气候中心(127)	2. OT 和 AT 气候图(135)
3. 大气环流的季节变化, 季风(140)	
§ 12. 高空锋区, 急流, 环流指数	143
1. 高空锋区(143)	2. 高空行星锋区(146)
3. 急流(146)	4. 高空变形场, “切断”和“阻塞”过程(151)
5. 环流指数(153)	
§ 13. 在各个地理区域内环流的特点, 大气环流型	156
1. 地球上各个不同地区大气环流的特点(156)	2. 大气环流型(160)
§ 14. 大气中能量的变换	164

第四章 气象要素随时间变化的原因概述

§ 15. 几种形成天气的主要因子	167
§ 16. 气象要素的平流变化和移动变化, 引导气流规则	170
1. 定义(170)	2. 温度和湿度平流变化的计算(171)
3. 引导气流规则(174)	
§ 17. 气象要素的动力变化和发展变化, 速度的垂直分量 w 的计算方法	176
1. 定义(176)	2. 速度的垂直分量 w 的求法(177)
3. 垂直速度对温度变化的影响(181)	4. 凝结系统的演变特点(183)
§ 18. 气压局地变化的分析	183
1. 压高公式的分析(183)	2. 倾向方程(185)
3. H. A. 基培尔方法(188)	4. 渦度方程的分析(193)

第五章 气团

§ 19. 气团的概述	208
-------------	-----

1. 气团形成的条件(208)	2. 气团的分类(210)	
§ 20. 稳定气团内的天气条件		212
1. 稳定暖气团内的天气条件(212)	2. 稳定冷气团内的天气条件(216)	
§ 21. 不稳定气团内的天气条件		221
1. 不稳定冷气团内的天气条件(221)	2. 不稳定暖气团内的天气条件(227)	
§ 22. 北半球按地理分类的各种气团的特点		230
1. 冰洋气团(AB)(230)	2. 中纬度气团(YB)(236)	3. 热带气团(TB)(238)
4. 赤道气团(ΘB)(240)		
§ 23. 气团的变性		241
1. 定义. 变性因子的特征(241)	2. 研究气团变性的经验方法(244)	3. 关于气团变性的主要研究结果(245)
§ 24. 天气图上气团的分析		251
1. 暖气团和冷气团的确定(251)	2. 气团稳定度的判定(251)	3. 对气团移动的追踪(252)
4. 气团演变的判定(252)		

第一章 天气学的对象. 天气服务概述

§ 1. 天气学的对象及任务

1. 天气学定义. 天气学方法

天气学是一門研究大气过程发展的規律及其在天气預报上应用的科学。简单的定义也就是: 关于天气及其預报的科学。

所謂天气, 是指在一定瞬間或一定時間間隔內各种气象要素綜合表示的大气状况。

下列几个气象要素是最重要的天气特征: 气温、大气压力、风、空气湿度、云、降水以及其他如吹雪、雾、雷暴、颶等等天气現象。

天气在時間和空間上有着很大的变化。而且这种变化可分为周期性天气变化(如气象要素的年变化和日变化)及非周期性天气变化(如夜間增暖或冬季融雪)。由于天气存在非周期性变化, 因而使天气預告十分复杂。

为了研究天气和預告天气, 曾提出几种专门的方法。其中主要的就是天气学方法。所謂天气学方法是指在填有各台站同时觀測到的地面和高空記錄的天气图(地图)上进行分析。

俄文“天气学”这个詞汇, 来自希腊文, 含有观察的意思。其实, 从天气图上我們可以同时观察到填在图上的凡有天气报告的任何地区的天气情况。从連續的几張天气图, 我們可以观察从某一觀測時間到另一觀測時間天气变化的情况。我們認識了引起天气变化的大气过程发展的規律性以后, 就能預告天气。

因为最重要的天气現象(例如, 云的形成), 是出現在相当厚的一层对流层大气內, 有时甚至到达平流层低层, 因而就有必要分析各高度上的大气状况。由此产生了各个高度的天气图。我們所以

要分析各高度上的大气状况,还有一个重要意义,因为在任一高度上大气过程的发展跟其他高度上出现的过程有着密切的联系。

天气图分为地面天气图(根据近地面观测记录绘制成的)和高空天气图(根据高空观测记录绘制成的)两种。

同时分析地面天气图和高空天气图,也即是分析气象要素在空间的分布,这使得近代天气学方法具有大气过程空间(“三度”)分析法的性质。

天气学方法的特点,在于这个方法是在具体地理背景上研究天气过程的物理本质,在从物理学上分析大气过程的同时,还须考虑大气过程的地理条件。地区所在的纬度、海陆分布、山脉等等对该地区上空的天气性质有着很大的影响。因此,除了研究大气过程发展的一般规律之外,研究一定地理区域上空的大气过程,有着更为重大的意义,这也就构成了地方性天气学的内容。

由于引起天气变化的大气过程,是复杂而多样的,并且现有的定量计算方法还不够完善,因而到目前为止,在天气学方法中占主导地位的,还是对天气条件的定性物理分析法。但是,目前定量计算已大大充实了这种分析。在天气分析和预报中,定量计算的比重每年都在增加。其所以能够这样,是与在大气物理学理论问题研究中获得很大成就分不开的。

2. 天气学与其他学科的关系

天气学作为一门独立的学科,是在十九世纪后半叶从普通气象学中分离出来的。与此同时,还有其他的气象学科建立起来,如高空学、动力气象学、气候学。

当然,这些学科是用不同方法研究同一物质,即地球上的大气,因而它们相互之间有着很密切的联系。比如说,动力(理论)气象学的许多成果是天气学问题研究的基础(大气运动学和动力

学、大气压力变化理論等等)。而在天气学的研究中,大量綜合了大气过程的实际資料,反过来又是动力气象学进一步发展的基础。只有在天气图的分析中对大气压力和风的分布規律性(风压定律)有了一定的了解以后,动力气象学才开始迅速地发展起来。而以解流体力学和理論力学方程为基础的定量预报天气問題的提出,又使天气学和动力气象学密切地結合起来。

在天气学中也广泛应用着高空气象学方面的成就。在卅年代甚至出現过这样一个专门术语“高空天气学”。后来,由于在天气学研究中充分应用了高空观测记录,因而繼續采用这一术语(它是用来强调应用高空记录的重要性)的必要性也就不存在了。

天气学与气候学之間有着非常密切的联系。因为天气状态的特点最后表示了每一地理区域的气候特点。

在过去彼此之間很少联系的气象学上的几个分支,在最近几年来,在对大气活动主要过程的物理解释基础上,更加接近和密切了。大气环流的研究就起着这种联系的作用,因为它对普通气象学、天气学、气候学、动力气象学和高空学都是同等的重要。

天气学也象整个的气象学一样,与其他的地球物理学和地理学(水文学、海洋学、海洋物理学、物理地理学)有着密切的联系。因为天气学需要考虑下垫面状态、水汽源汇以及其他大气过程的地理制約性問題。

3. 天气预报对国民經济和国防的意义

天气学的发展是与人类社会的經济要求联系着的。航海提出的要求是組織天气(特別是危險天气)预报服务以及后来天气学作为一門独立的科学建立起来的最初动力。水兵曾是第一批预报員。

后来,随着航空的出現,对天气预报的要求更高了(云、能見

度、雾、高空风预报等等),这是天气学发展的一个新的动力。

天气对农业的意义,是大家所熟知的。除开短期天气预报(一昼夜预报)以外,长期天气预报(几天预报、一月预报和一季预报)有着特别重大的意义。

目前,很难找到这样一个国民经济部门,在这一部门里可以不用天气情报和天气预报,而且天气预报在国民经济中应用的范围正在不断地扩大着。

在各种交通运输、通讯联络、无线电传递保证工作中,在防止森林火灾蔓延,在畜牧业、浮运木材业和渔业服务中都需应用天气预报。

如果我们善于应用天气预报和危险天气现象警报,就能更好地制定各种生产和文化措施,提高工农业的生产成效;在有些情况下,能保住社会主义的财产和许多人的生命。天气情报和天气预报每天是由无线电传播的。

在各兵种,特别是在空军和海军的训练和作战活动中,都需要考虑天气。因此,天气预报也有着国防的意义。

4. 天气学的几个基本概念

大家知道,在垂直方向上大气分成几个大的层次:即对流层,在中高纬度其顶部可伸展到8—12千米高度,在低纬度其顶部可伸展到15—18千米高度;平流层,位于对流层上面,伸展到约40千米高度;另外还有别的层次。对流层的特点是温度随高度降低,当然在它内部也可以出现为时短暂的逆温层(温度随高度增加的层次)。逆温层可以存在几个小时,也可以存在好几天。平流层的特点是温度随高度不变(等温)或者是有微弱的逆温现象。

对流层和平流层之间有一过渡层——对流层顶。它的高度不仅随纬度而变,而且还随天气条件而变。近年来,由于南极观测记

录的增多,曾經发现那里沒有对流层頂的情况,即温度不断降低,一直达到 20 仟米高度左右。

在后面我們主要是討論发生在对流层中的大气过程,因为这些过程对天气变化具有最重要的意义;而且研究也最为詳細。

大气是一个非常活动的介质,它与下垫面相互之間有着积极的作用。在各高度上气流(其綜合便組成大气环流)常有着不同的速度和方向。

在整个对流层和平流层下部,主要是出現自西向东的緯向气流,也就是說,气流跟随着地球作同一方向的旋轉运动。即也是自西向东作旋轉的运动,并形成了巨大的行星渦旋。但在緯向行星渦旋的背景上,同时也出現經向气流和小范围的渦旋。

渦旋性質是大气环流最基本的特点。呈渦旋状的、其直徑可达几千仟米的气旋和反气旋有着特别重要的意义。在气旋中心气压比四周圍要低,在反气旋中心气压比四周圍要高。因此在文献中(特别是在十九世紀后半叶),常見到低气压和高气压这样的术语。天气图上的等压綫,即气压相等的綫,在气旋和反气旋內几乎是呈橢圓形或圓形的。

由于科里奧利力所引起的地轉偏向作用,使得气旋內的风不是直接吹向中心,反气旋內的风不是从中心直接向外吹。在低层 1 仟米气层內(即摩擦层內),风的向量是指向低压,与等压綫的切綫交成某一角度(在近地面层內,这一角度約为 30° ,見图 1),在摩擦层以上的自由大气中,风的向量是沿着等压綫切綫的方向吹的。这类气旋和反气旋性渦旋,有着不同的旋轉方向 在北半球,在气旋中是向反时針方向旋轉,在反气旋中是向順时針方向旋轉;在南半球气旋中是順时針方向,在反气旋中是反时針方向。行星渦旋是个气旋性渦旋。

在天气图上等压綫所表示的,除了气旋和反气旋以外,还有其

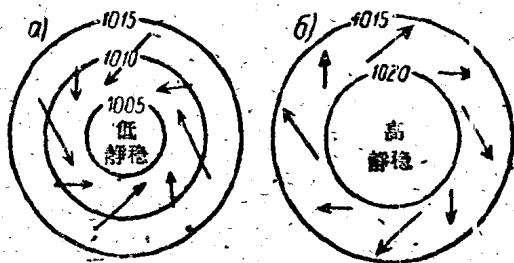


图 1. 等压线和风。

北半球气旋(a)和反气旋(b)。

他的气压场形式(气压形势)。图 2 就是在地面天气图上表示的适用于各种过程的气压场形式。

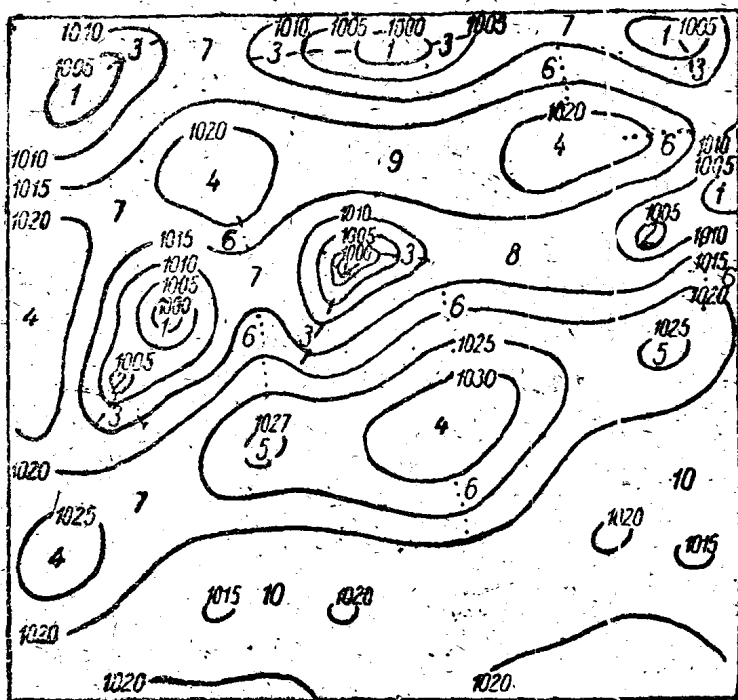


图 2. 气压场形式。

1—气旋, 2—次生气旋, 3—低压槽(——槽轴), 4—反气旋, 5—高压核心, 6—高压脊(……脊轴), 7—鞍形低压, 8—低压带, 9—高压带, 10—微弱的气压场。

在气旋边缘,常出现向同一方向伸展的等压线,这就是低压槽,沿低压槽轴,气压较低。有时在气旋边缘出现较小的付(次生)气旋。

在反气旋边缘,常出现高压脊,沿高压脊轴,气压较高。有时在反气旋边缘出现付高压,一般称作付高压或高压核心(ядра высокого давления)。

一连串(常由2—5个涡旋组成)移动着的气旋,叫做气旋族或气旋群。

在呈棋状分布的气旋和反气旋之间,等压线通常有着独特的形式。这种形式叫作鞍状低压。鞍状低压可以向一个方向伸展得很明显,而且沿着轴在高气压或低气压相当长的距离上,等压线几乎是呈直线的。这种气压形式分别叫做高压带或低压带。

在许多情况下,特别是在夏季大陆上常出现消弱的气压场,即出现等压线很稀疏的系统。在这种系统背景上,可以产生小的、通常是不稳定的气旋和反气旋系统。

上面列举的10种气压形式,也称为气压系统。

虽然气压场随高度有明显的变化,但在高空天气图上也能出现高空气旋和反气旋、高压脊和低压槽。

气旋和反气旋是大气环流最重要的形式。广大面积上出现上升运动,云系的形成和降水的产生,主要是与气旋有关;空气下沉运动和较好的天气条件,主要是与反气旋有关。

尽管大气环流随时间和空间有相当大的变化,但在每一种水平和垂直范围都相当大的气流内部,温度、比湿和其他一些气象要素的性质却是比较均匀的。而在它的两旁或者上下,常位有源地、和性质都是不同的其他的气流。这种作为一个整体参加在大气环流系统中的、而其性质比较均匀的对流层空气团,称为气团。

气团与下垫面相互作用,逐渐在改变自己的属性。这种过程

称为气团变性。气团变性是影响天气变化的最重要的过程之一。乱流和辐射热量交换、垂直运动的发展以及水汽的蒸发和凝结过程,对气团属性的改变起着很大的作用。

在对流层中热力性质不同的两个气团之间,能形成水平温度梯度很大的区域,这种区域称为锋区。

在锋区内,当一个气团向另一个气团的过渡,不是渐进的和连续的,而是非常剧烈的:气流的方向、温度、湿度和其他的属性有着显著的变化。在这种情况下,两个气团之间的界限,可以比作这两个气团的界面,这种“面”称为锋面。锋面是呈倾斜状的,较冷的气团以楔的形式位在下面,较暖的气团位在冷气团上面。锋面向水平面倾斜的角度 α 一般不超过半度($\text{tg}\alpha \approx 0.01$)。

但即使是这样比较小的倾斜,对大量空气沿锋面逐渐上升造成了有利的条件。沿锋面产生大范围的云系和降水区是与上升空气的绝热冷却有关。

因此,在天气学中分析锋区、锋面以及锋面与地面的切线(称为锋线或简称大气锋)的位置,具有极为重要的意义。

大气锋分为不大移动的锋(静止锋)、冷锋、暖锋和锢囚锋(接合锋)。

所谓冷锋是指锋后冷气团向前挺进,锋前暖气团往后退时的锋。所谓暖锋是指在锋后暖气团挺进的同时,锋前冷气团后退的锋。所谓锢囚锋(接合锋)是指由冷暖锋结合的结果而形成的锋。

如果气流方向跟锋线并行,锋段就不大移动,成为静止锋。

图3上表示的是在垂直剖面上大气锋结构的模式。图上锋面跟水平面的倾斜角已放大多了。

絕大多数的温带气旋是产生在锋上,因而它们具有锋面的性质。气旋大多数产生在冷锋段上。而且在气旋发展的过程中锋会有明显的变形。随着冷暖锋段的形成,出现了气旋暖区。然后暖

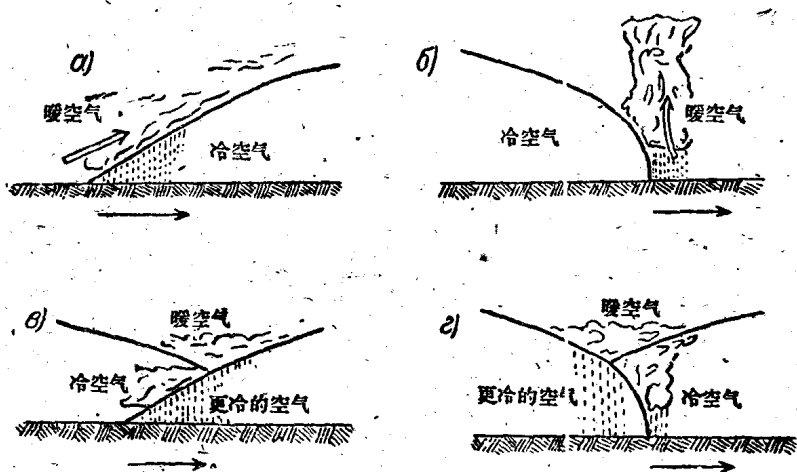


图3. 在垂直面上大气锋结构的模式。

a—暖锋, b—冷锋, c—暖锢囚锋, d—冷锢囚锋。

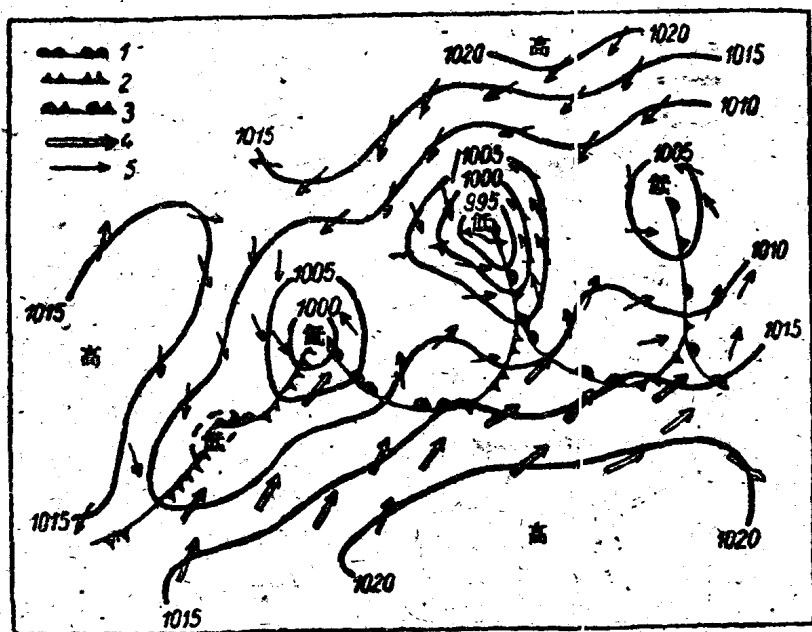


图4. 锋面气旋。

1—暖锋, 2—冷锋, 3—锢囚锋, 4—暖气团中的风向, 5—冷气团中的风向。

区变窄。最后在气旋锢囚时(即冷暖锋结合,形成一般的锢囚锋),暖区就消失。锢囚以后,气旋开始填塞,即其中心气压升高,气旋性涡旋开始减弱,最后完全消失。

图4上表示的是锋面气旋族。气旋是从左向右移动的,一位在最前面的是气旋族中最老的一个气旋。

反气旋的锋面性质不太明显,因为近地面锋线微弱,或者移至反气旋边缘。这种情况与反气旋内风分布的特点有关,因为风是从反气旋中心向四周辐散的。

从上述可知,在天气学中当分析和预报天气条件时,必须考虑气团、大气锋、气旋和反气旋系统。它们构成了一般是相当复杂的、而且根本不会完全重复的大气环流的情景。

5. 科学的天气预报问题及其解决的途径

随着科学的发展,科学地进行预报也就成为可能的了。大家熟知的科学预报这方面的例子有:日蚀和月蚀的预告,法国天文学家列维尔雅(Леверья)分析了其他行星运动的特点以后,从理论上得出了存在海王星的结论,1930年以同样道理发现了冥王星。Д. И. 门捷列夫根据他所确定的周期定律作出了关于化学元素的存在及其性质的预言(经过相当长时间以后才被发现和证实)。恩格斯把这种预言称为科学上的贡献。

现象愈复杂,影响该现象的产生和变化的原因及条件也愈多,因而这一现象的预报也就愈困难。

要解决科学的天气预报问题,必须揭露大气过程发展的规律以及各种天气现象之间复杂的因果关系;确定该地理区域上空大气性质变化到新性质的时刻,并揭露大气过程中存在着的并且是它们发展动力的内在矛盾。

本教科书的下面各章节里,将用具体例子来说明那一些天气