

天气学教程

张元箴 编著



气象出版社

天气学教程

张元箴 编著

气象出版社

(京) 新登字046号

内 容 简 介

本书论述天气学的基本原理着重叙述天气系统三度空间结构、发展演变模式和理论以及高、低空天气系统、同纬度和不同纬度的天气系统之间的相互联系和相互作用的概念,不同尺度天气系统相互联系的概念;并突出灾害性天气,结合中国天气的特点介绍气旋、寒潮、台风、飕线、暴雨和其它灾害性天气系统及其预报思路;除基本内容外,还介绍了一些近代的天气学知识。本书是供大专院校气象系和其它有关专业使用的天气学教材,也可供从事于天气预报工作和其他有关工作的人员在实际业务工作中参考。

天 气 学 教 程

张元箴 编著

责任编辑 李如彬

*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京昌平环球科技印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 19.625 字数: 505千字

1992年3月第一版 1992年3月第一次印刷

印数: 1—2000 定价: 6.20元

ISBN 7-5029-0813-7/P·0416 (课)

前 言

在经济体制改革和气象事业现代化建设的新形势下,气象行业迫切需提高全体职工的政治、文化素质,以便提高气象服务质量和经济效益。

百年大计教育为本。充分利用函授、夜大学、自学考试等成人教育形式,尽快从现有职工中培养造就一批品学兼优的各类专门人才,是当前成人教育的重要任务之一。教材是联系教师和学生桥梁,是知识的载体,是实现培养目标的保障,是提高教学质量的重要环节。为此,北京气象学院编写了一套气象专科函授、自学使用的专业教材。这套教材是经函授教师多届教学实践逐步修改改编成的。其中包括计算方法、气象学、动力气象学、天气学教程、天气分析和诊断方法、数值天气预报和统计天气预报。

这套教材的编写宗旨是体现大专层次气象专业学生应该掌握的基本知识、基本理论、基本技能,并为用人单位着想,还考虑学成之后所从事的业务技术工作需要,并且有针对性地精选内容,分散难点,突出重点,通俗易懂,便于自学,同时保持本学科的逻辑性、系统性和完整性。所以,除了用于气象函授教学外,还可用做气象、农林、水利、民航等部门气象干部培训的教材。

参加这套教材编写工作的都是有丰富教学经验的教师,并请有关院校的专家、教授进行了正式编审。在进一步修改过程中,又得到了一些专家、教授的具体指导和定稿工作。天气学教程这本书请北京大学张钲教授进行了主审。同时,根据出版社要求,北京气象学院又请黄文根副教授进行了全书的审阅工作,从而臻于完善。在此,一并表示衷心感谢!

国家气象局科教司

一九八九年七月

序

我国高等院校气象系（专业）以及其它有关专业开设天气学课程已有近40年的历史。天气学作为一门主要专业基础课是我国气象教学中的特色。所用教材有若干名称，诸如天气学、天气学基础、天气分析和预报、天气学原理和方法等。其中不少内容大同小异，但在体系编排、内容取舍上不尽相同，甚至存有争议。几乎没有人认为天气学课程是不重要的，对它只能发展、完善和加强，不宜削弱，更不能取消。至于如何去做，则有不同看法，从根本上说这涉及对“天气学方法”的认识问题。在我国，天气学研究在整个气象研究工作中曾占有重要地位，并取得了丰硕成果。但是近一、二十年来，由于主观上存在轻视天气学研究的倾向（这当然影响了天气学的发展），加之其他方面的科研飞速发展这一客观现实，似乎天气学研究出现了危机，因而导致近些年来国内所谓“天气学走向何方”的大讨论。

当代气象科研工作中处理天气问题的方法除仪器和实验工作外，笼统地说有：动力学方法、概率统计学方法、数值诊断方法和天气学方法。应用天气学方法研究问题已有较长的历史，一些划时代的研究成果，如挪威学派的极锋模型和理论、芝加哥学派的长波模型和理论等，无不与天气学方法直接相关，这种方法对整个气象科学的发展有其特殊的重要性并做出了重大贡献。人所共知，旋转地球上的大气状态和运动，难以在一般实验室中复制，一般在实际大气中通过各种常规的和特殊的仪器或探测手段进行观测，通过有效方式将大量观测资料给以集中，根据不同需要分析不同实测资料的集合，进而总结概括、科学归纳，得出（接近）实际大气状态和运动的图象、模型和规律，这就是所谓的天气学

方法（这是广义的含义）。显然，由此得出的大气模型，与由动力学方法、数值方法等得出的“方程式”大气或“模式”大气截然不同。天气学方法注重实际环流系统和环流体系三维结构的物理图象，注意不同尺度系统之间和不同来源系统之间相互作用的物理模型以及环流系统随时间演变的过程模式等等。应当指出，为了探讨某一问题，天气学方法与其它方法可以相互结合，相互补充，但不能相互取代。系统地介绍天气学方法及其有关结论，正是天气学教学和教材的任务。天气学是以天气学方法研究天气系统、天气现象空间分布及其时间演变规律的一门学科，其基础是天气分析，而它本身又是短、中、长期天气预报的基础。因此认为天气学仅是定性经验的总结，认为它就是天气图分析学或仅仅是短期天气预报的基础是不恰当的，也不能把天气学简单地与天气分析和预报等同起来。

近代天气学在本世纪中叶发展到鼎盛时期，它是以北半球中高纬人口稠密平原地区的天气尺度系统为核心，兼及一些其他有关的内容。最近几十年内，天气学研究的内容得到了不断的扩充。首先，随着常规观测资料的增多，天气分析已从中高纬扩展到热带和极区，由西半球扩展到东半球，由北半球扩展到南半球乃至全球，由陆地平原扩展到海洋、高原和沙漠地区，由对流层扩展到平流层，另外由于特殊观测资料如卫星、雷达、火箭等的出现，天气分析的内容也相应地改观；其次，环流系统的分析由天气尺度同时扩展到更大尺度和中小尺度，由短期天气过程分析扩展到中、长期天气过程的分析，从一般天气分析扩展到严重的或灾害性的天气分析，另外，从考虑封闭系统扩展到考虑开放系统，从分析渐变过程扩展到分析突变过程；第三，从以手工分析为主到利用计算机处理，从典型个例分析发展到多例分析，从定性分析到定量诊断，以及气象专家系统的出现等等。总之，天气学研究已从较狭窄的范围扩展到更加广阔的领域。同时，当代自然科学上划时代的“新三论”即耗散结构理论、协同学理论，突变理论业已

问世，它必将对天气学的发展给以深刻的影响和促进。

天气学的基本任务应该是：发现新现象，提出新事实、新概念，概括归纳出新的模型和规律，为天气预报提供新观点和思路，以便促进建立有效的预报方法；此外还可与其他有关学科，如海洋学，水文学，地理学，生物学，农学，太阳活动物理学，高层气象学，固体地球物理学以及社会经济、人类活动影响等相结合，以产生新的交叉学科。当前迅速发展的人工智能模拟，应引起我们的重视，它不仅能促进天气分析预报业务的发展，或许对整个天气学的发展将产生较大影响。天气学有了较大发展，就具备了写出高水平天气学教材的背景，而高水平的教材是培养能“动脑”的天气学专家所必需的，当然这不是一件易事！

一本比较好的天气学教科书应考虑：是否去除了陈旧的、繁琐的内容，充实了比较成熟的（绝不是所有的）新内容；是否以新观点、新方法处理一些问题，包括更换成新实例、新模型；全书是否建立了更合理的新体系，包括重新组合编排已有的内容以及处理好与其它有关课程（如大气物理学、气候学、动力气象学、大气环流及其数值模拟等）内容的关系，等等。

在即将进入90年代之际，面临我国当前天气学发展现状，编者写出本书，一方面满足当前天气学教材的急需，另一方面，对于高水平天气学教科书的问世将起到“抛砖引玉”的作用。

张 譚

1989年5月4日

于北京大学畅春园

目 录

第一章 大气中温度场、气压场和风场的基本特征·····	(1)
第一节 大气平均温度场·····	(2)
第二节 平均水平环流·····	(5)
第三节 平均纬向风速分布和平均经圈环流·····	(11)
第四节 大气中温度场、气压场和风场的相互联系·····	(13)
本章要点·····	(20)
复习思考题·····	(21)
第二章 温带地区的天气系统·····	(25)
第一节 锋·····	(25)
第二节 锋面气旋·····	(50)
第三节 锋面气旋的天气·····	(57)
第四节 锋生锋消·····	(66)
第五节 气团、锋、锋面气旋、急流的相互联系 (本章总结) ·····	(86)
复习思考题·····	(92)
第三章 温带天气系统的发生发展·····	(94)
第一节 锋面气旋发生发展的天气过程模式·····	(94)
第二节 地面气压变化的物理机制·····	(107)
第三节 地面气旋、反气旋的发生发展·····	(113)
第四节 气旋发展的诊断分析·····	(122)
第五节 气旋发生发展过程的分析·····	(134)
第六节 温带天气系统移动、发展趋势的定性分析规则·····	(161)
本章要点·····	(175)
复习思考题·····	(178)
第四章 西风带大型扰动和大型天气过程 ·····	(180)
第一节 概述·····	(180)

第二节	大气长波·····	(187)
第三节	急流·····	(206)
第四节	阻塞高压和切断低压·····	(221)
第五节	西风指数和指数循环·····	(236)
第六节	寒潮·····	(245)
第七节	梅雨·····	(273)
	本章要点·····	(280)
	复习思考题·····	(281)
第五章	热带和副热带地区的天气系统·····	(283)
第一节	概述·····	(283)
第二节	副热带高压·····	(295)
第三节	台风·····	(312)
第四节	热带和副热带地区其他天气系统·····	(354)
	本章要点·····	(372)
	复习思考题·····	(374)
第六章	中小尺度天气系统·····	(376)
第一节	对流性天气的形成条件·····	(376)
第二节	中小尺度天气系统·····	(387)
第三节	中小尺度天气分析·····	(427)
第四节	对流性天气的预报·····	(433)
	本章要点·····	(441)
	复习思考题·····	(443)
第七章	暴雨·····	(444)
第一节	大范围暴雨形成条件·····	(444)
第二节	主要暴雨天气系统·····	(461)
第三节	产生大范围暴雨的天气形势·····	(473)
第四节	典型暴雨个例及其中分析·····	(489)
	本章要点·····	(502)
	复习思考题·····	(503)
第八章	灾害性天气的分析和预报思路·····	(505)
第一节	暴雨的分析和预报思路·····	(505)

第二节 低温连阴雨·····	(528)
第三节 大风·····	(535)
第四节 霜冻、寒露风和干热风·····	(544)
第五节 干旱·····	(558)
第六节 低温冷害·····	(564)
第七节 MOS 方法和天气预报专家系统·····	(566)
本章要点·····	(573)
复习思考题·····	(574)
第九章 大气环流的形成及其季节变化 ·····	(575)
第一节 大气环流的形成·····	(575)
第二节 大气环流的季节变化·····	(602)
本章要点·····	(609)
复习思考题·····	(610)
编后记·····	(612)

第一章 大气中温度场、气压场 和风场的基本特征

本章通过介绍大气环流的平均状态，了解大气中温度场、气压场和风场的基本特征，并且以第一至三节提供的大气环流的事实为依据，在第四节中进一步介绍大气中温度场、气压场和风场三者之间的相互联系，从而掌握斜压大气的基本结构，并建立起初步的气压系统三度空间分布的基本概念。为此，在介绍大气环流的平均状态之前，先解释一下大气环流这一名词在气象上的含义，以及如何来描述大气环流的基本状态。

大气环流一般指大范围的大气运行现象。它既包括平均的运行状态，也包括瞬时的运行状态。它的水平尺度在数千公里以上，垂直尺度可达10公里以上，对应的时间尺度也较长，一般在两天以上。这种尺度的运动称为大尺度环流，也就是通常所称的大气环流*，它构成了大气运动的基本状态。人们常用冬、夏两个极端季节的大气环流来研究其基本状态，而又常常以1月和7月的多年平均月平均图分别表示北半球冬季（南半球夏季）和北半球夏季（南半球冬季）大气环流的状况，一般称之为大气环流“平均场”。这种“平均场”本质上反映了气候特点。简言之，对于地区、半球或全球各种气象要素、天气现象长时间的平均，以及天气过程长时间的综合概括就是所谓的气候。所以，气候情

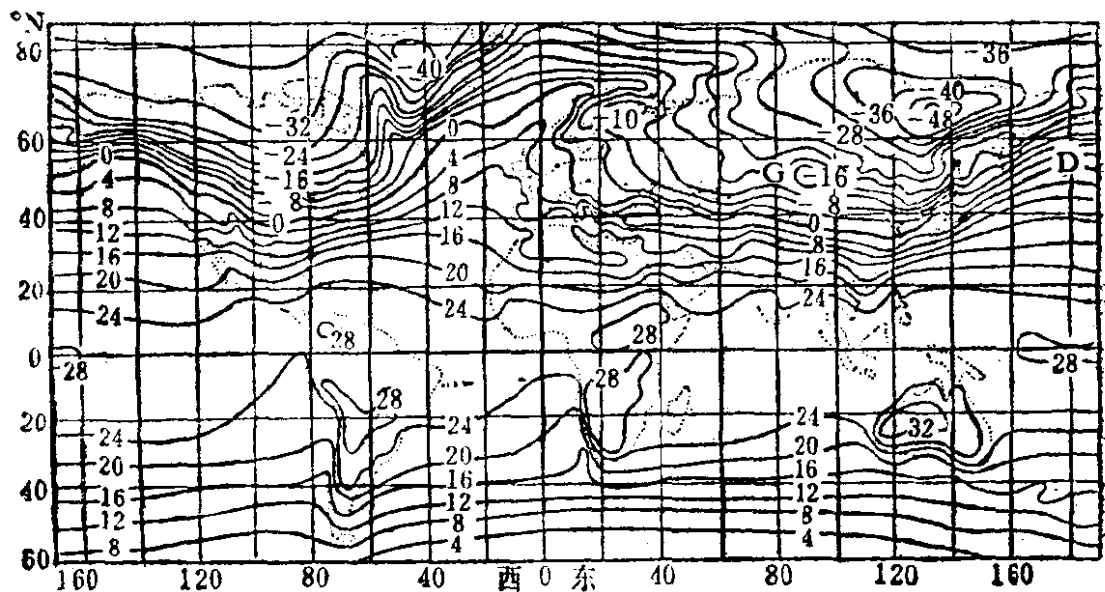
* 大气环流这个名词，在气象学中并没有明确的定义，引用也比较混乱，有人将所有大气中的大小运动现象都归入为大气环流，有人以大气中大规模平均情况作为大气环流。按一般最常用的说法，所谓大气环流是指后者。本书中指大范围的大气运行现象，包括平均的和瞬时的运行状态。

况或平均场可以作为天气现象和天气过程以及大气环流短、中、长期变化的背景。为了从事天气分析和预报的工作，“平均场”的知识是必备的。

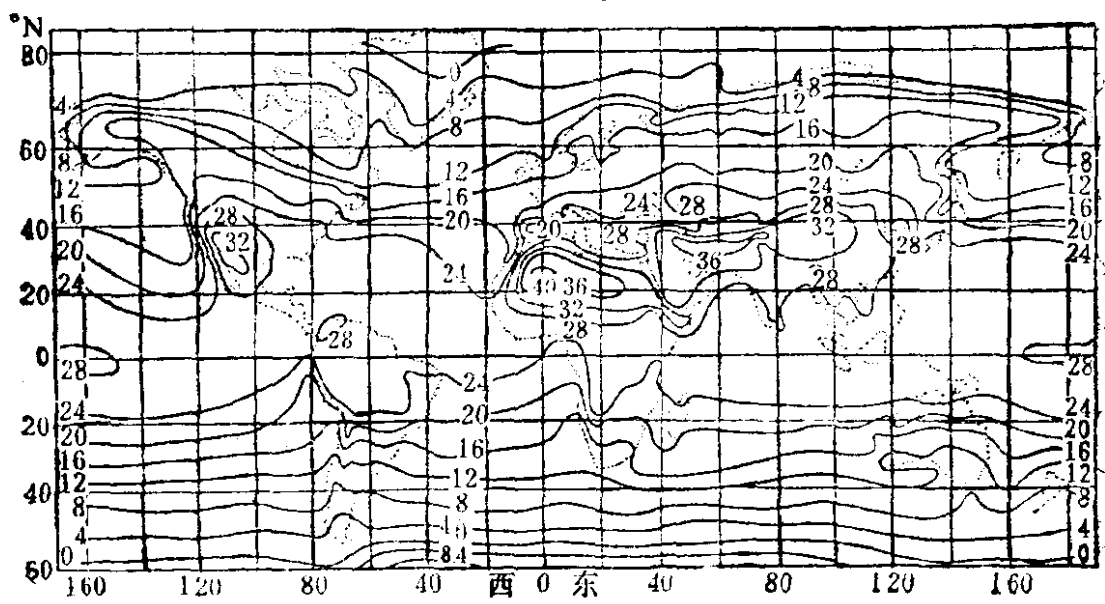
第一节 大气平均温度场

一、海平面平均温度场

1月北半球高纬大陆上最冷中心不在北极，二个最冷中心分



(a) 1月



(b) 7月

图1.1 多年平均海平面温度图

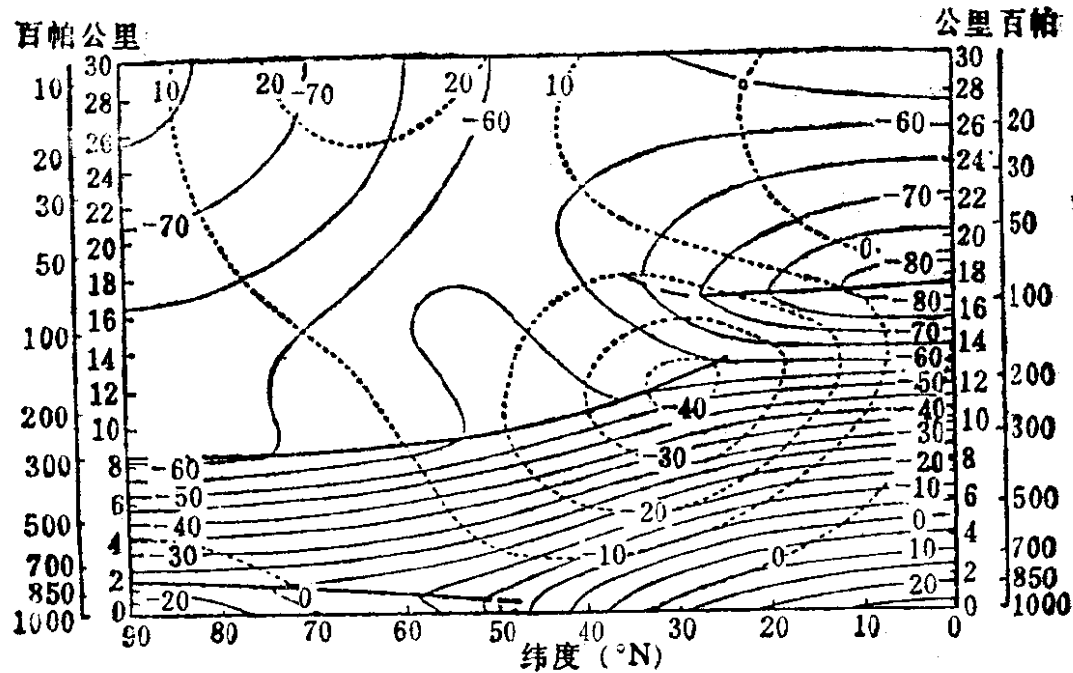
别位于西伯利亚东北部和格陵兰，如图1.1(a)所示。7月北半球低纬大陆上有最暖中心，主要位于北非撒哈拉大沙漠，如图1.1(b)所示。“热赤道”（温度最高地带）与“地理赤道”不相合，1月它位于“地理赤道”附近略偏于南半球；7月位于北半球。南半球最冷中心冬夏都在南极洲大陆。南半球1月（夏）的最暖中心不如北半球7月的最暖中心明显。

冬季等温线分布比夏季密，即温度水平梯度大。无论冬夏，南半球温度按纬圈分布比北半球明显，但在海岸附近均有等温线沿海陆交界线走向的趋势，而且这种走向冬夏相反，这是由于冬季大陆冷、海洋暖，夏季大陆暖、海洋冷的缘故。北半球大气温度年变化（1月和7月之差）远大于南半球。

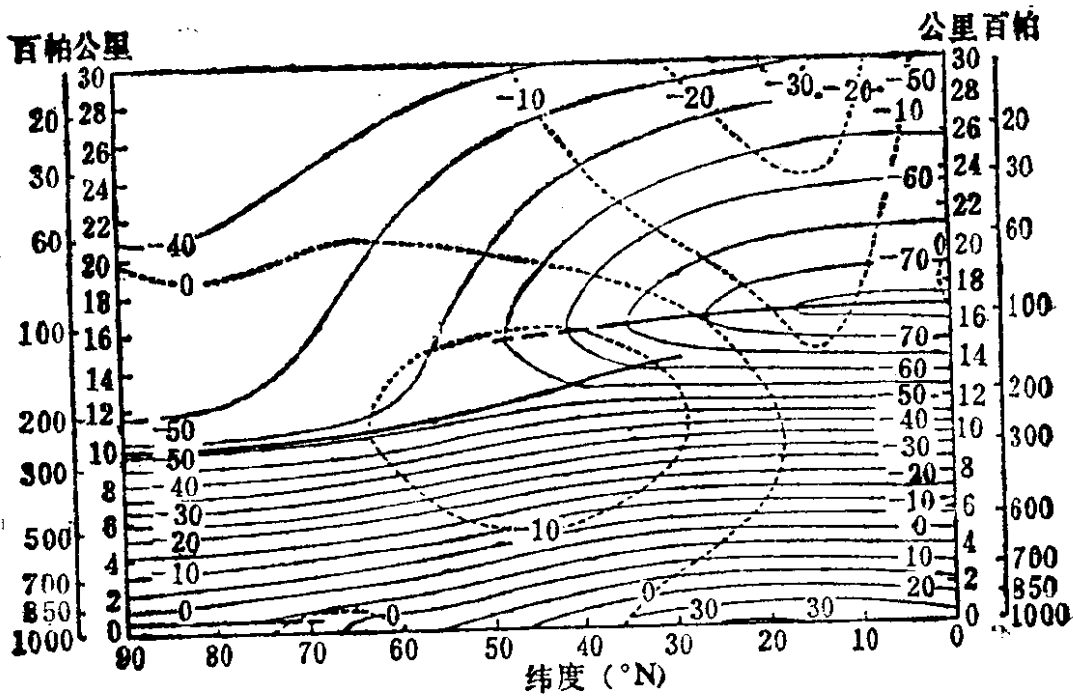
二、平均经向温度分布

沿各纬圈平均温度在经向垂直剖面图上的多年平均分布情况如图1.2(a)、(b)所示，图上粗线表示对流层顶，显然对流层顶在中纬度存在明显的中断，对流层顶高度由南向北降低，赤道对流层顶高而冷，高度约为16公里（100百帕左右），极地对流层顶低而暖约为9公里（300百帕左右）。在对流层里温度随高度增加而降低，到达对流层顶温度最低。对流层中，温度由低纬向高纬降低，水平温度梯度方向由南向北，冬半年的温度梯度约为夏半年的两倍。例如，在5公里高度上，1月赤道的平均温度约为 0°C ，极地约为 -40°C ，相差达 40°C ，而在7月，相差只有 20°C 左右。平流层下层水平温度梯度方向由北向南，与对流层中的方向相反，且夏季的数值大于冬季。无论是冬夏，在北半球高纬和极地的近地面层都存在逆温层，但冬季的厚度和范围均比夏季大。特别值得注意的是在冬季（1月）中纬度地区对流层顶以上（平流层低层）有一最高温区。对流层中某个特定时刻的温度分布与图1.2所表示的平均状况有很大的差别，从赤道到极地整个温度梯度中的很大一部分往往集中在很窄的称之为锋区的狭带内，锋区的强烈温度对比既可出现在南—北方向上，也可出现在

东—西方向上。有关锋区的问题将在第二章中讨论。



(a) 1月



(b) 7月

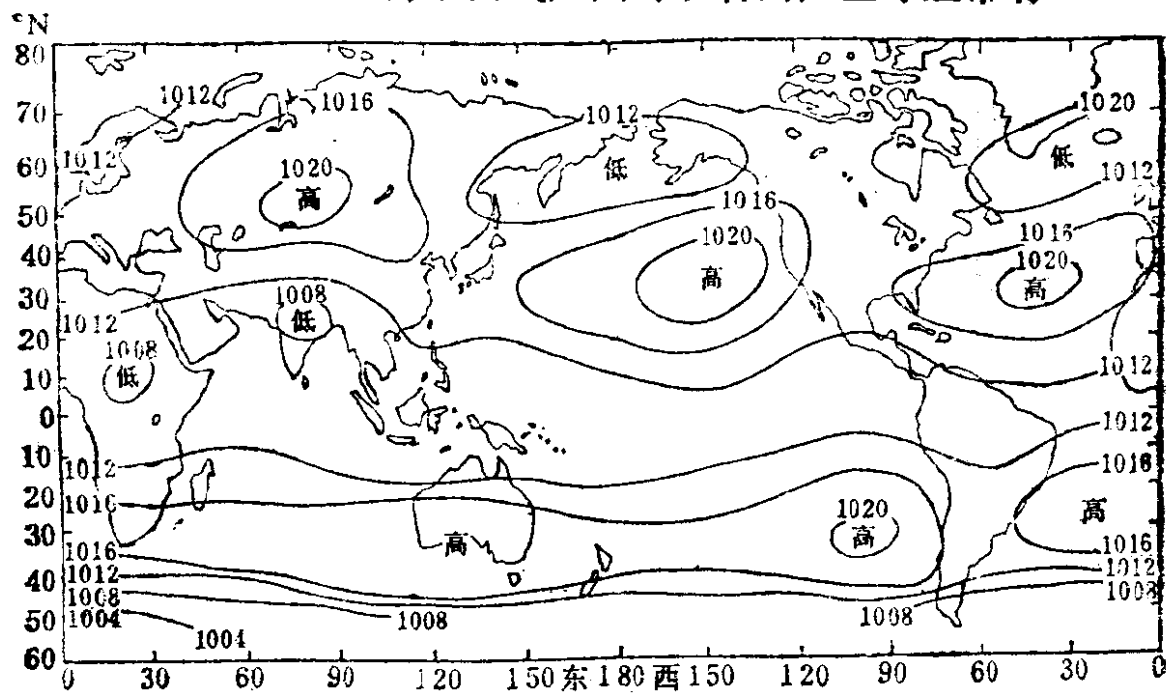
图1.2 北半球沿纬圈平均温度的经向剖面图

(图中粗实线为对流层顶和逆温层顶，
细实线为平均等温线，虚线为纬向风)

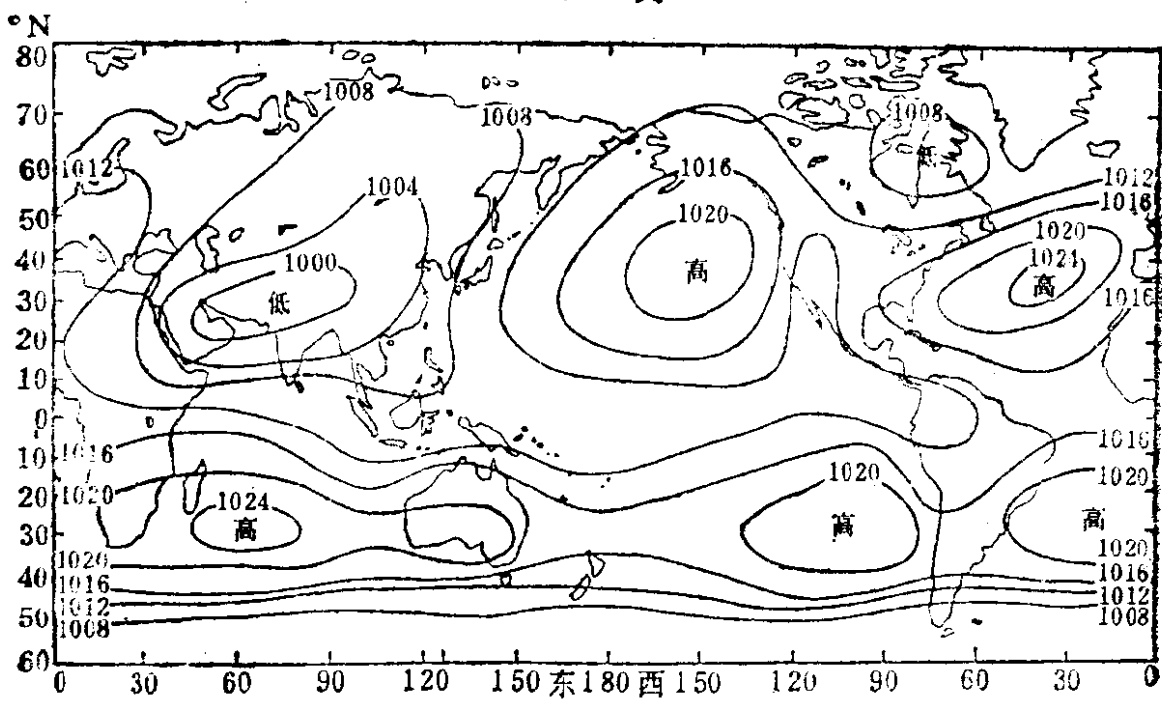
第二节 平均水平环流

一、大气活动中心

分析多年月平均海平面气压图可以看到，全球经常有 7—8



(a) 1月



(b) 7月

图1.3 多年平均海平面气压图

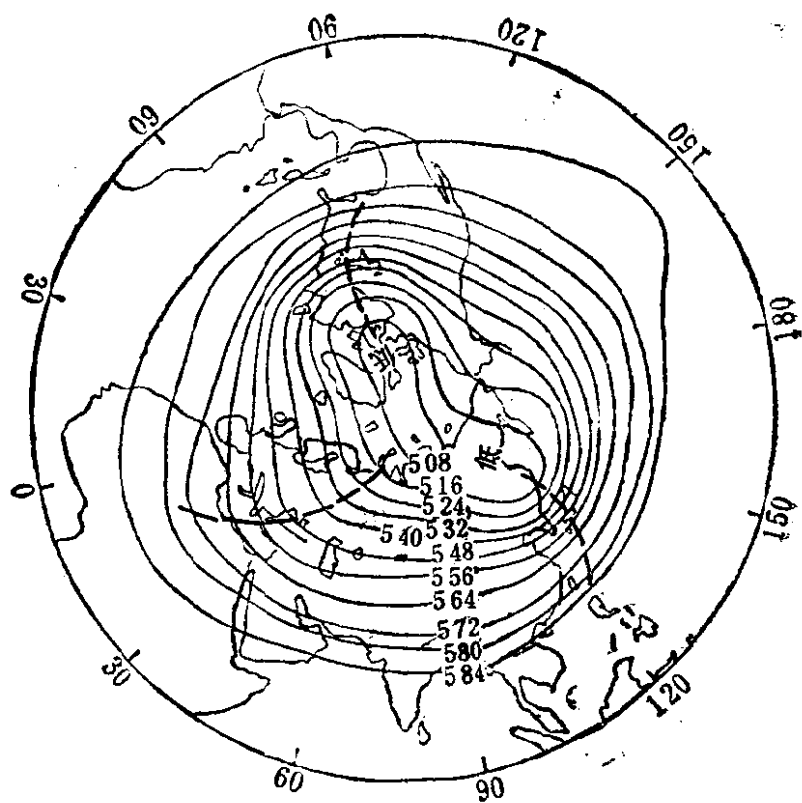
个巨大的高、低压区，一般称之为大气活动中心。大气活动中心的形成与下垫面有很大关系。北半球海陆交错，大气冷热源受下垫面影响而有季节变化，所以北半球的大气活动中心随季节也有很大变化。南半球的海陆分布较均匀，大气活动中心则较为稳定。

1月北半球有西伯利亚高压、阿留申低压、冰岛低压、北美高压四个大气活动中心。西伯利亚高压中心强度达1036百帕，北美高压则弱得多，仅1021百帕，冰岛低压中心最强为998百帕。南半球有赤道低压，位于印尼到澳大利亚的西太平洋。另外，东南太平洋，南印度洋及南大西洋各有一个高压，其中东南太平洋高压较强，中心接近1020百帕，印度洋的高压最弱，如图1.3(a)所示。

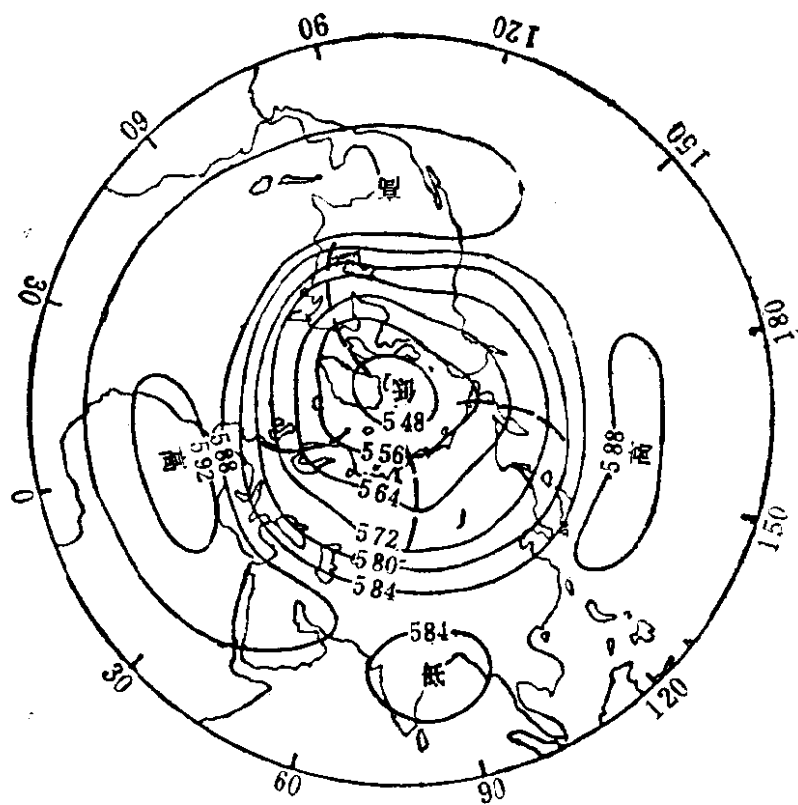
7月北半球大气活动中心的分布几乎与1月相反，阿留申低压中心已消失，冰岛低压也大为减弱，北美东北部为弱低压，只有以下三个大气活动中心：亚洲大陆为强大的低压区，称为印度低压，因为低压中心经常在印度西北部；北太平洋与北大西洋为强大的高压所占据，分别称为太平洋副热带高压和大西洋副热带高压。这时南半球正是隆冬，大洋上的三个高压强度增强，澳大利亚大陆区亦为高压区，故有四个高压中心，如图1.3(b)所示。

二、对流层平均水平环流

由于在高空等压面上地转风原则更适用，等高线近似地可看作流线，平均高度场可以近似地代表平均流场。500百帕等压面平均高度在5.5公里附近，所以可用1月、7月500百帕多年平均图来代表对流层中层冬季和夏季的水平环流图。图1.4(a)、(b)代表北半球情况，显然，无论在冬夏，极区都是一个低压区，一般称为极地涡旋，或简称极涡。极涡的强度在1月最强，7月大为减弱。气象学上定义沿经线方向自南向北吹的风称为南风，反方向为北风；沿纬线方向自西向东吹的风称西风，反方向为东



(a) 1月



(b) 7月

图1.4 北半球500百帕多年平均图