

中长期天气预报基础

章基嘉 葛玲 编著

气象出版社

P13

ZJJ

中长期天气预报基础

章基嘉 葛 玲 编著

气象出版社

内 容 简 介

本书有机地结合太阳物理学、地质学、海洋学、日地物理学、大气环流、中长期天气过程以及数理统计等的基本知识,介绍国内外近几十年来,特别是我国近三十年来中长期天气预报方法,以使读者获得较系统的中长期天气预报基础知识。

本书可供气象、水文和海洋专业人员以及大专院校有关师生和研究生参考。

中长期天气预报基础

章基嘉 葛 玲 编著

责任编辑:康文骅

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京印刷一厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本: 787×1092 1/16 印张: 29 字数: 739 千字

1983年6月第1版 1983年6月第1次印刷

印数 1—10,000 统一书号: 13194·0112

定价: 3.50元

序

新中国成立三十余年来,国内有关中长期天气预报的书籍出版得较少。介绍国内外中长期天气预报方法的书只出过几本,详细介绍中长期天气预报基础知识的书就更少见了。现在这本书正好弥补了这方面的缺憾。

本书有两个特色:第一,本书全面总结了近几十年来国内外中长期天气预报方面的研究成果,特别是对国内三十年来的研究成果作了总结。本书作者在中长期天气预报方面有许多研究心得,尤其在超长波等方面的研究心得也都很好的总结了进去。第二,本书把多种学科的基本知识有机地结合,综合到各个章节里去了。特别是对太阳物理学、地质学、海洋学、日地物理学、大气环流、中长期天气过程以及数理统计学等方面的基本知识作了比较详尽的介绍,便利读者获得全面的基础知识。

本书共分五篇。第一篇讲解大气环流的基本知识,共分五章。从大气环流的基本状况到环流异常、大型环流的演变、长期天气过程的物理性质和平流层大气环流的问题,都作了全面的阐发。对中长期天气预报这门学问首先提供了最基本的知识。

第二篇集中讨论中期天气预报,共分四章。先从天气学方法讨论中期环流形势预报,然后着重介绍超长波的调整与中期环流过程的背景预报以及大气物理量的中期变化,最后对我国的危险天气中期过程的预报方法作了完善的说明。特别是对我国广大天气工作者在寒潮、台风、暴雨和春季低温连阴雨的中期预报的研究成果方面做了扼要的总结。

第三篇专门针对长期天气预报,共分四章。先介绍天气学长期预报方法的基本概念,接着讨论月平均大气环流的特点和月预报,然后着重讨论我国夏半年几种长期天气过程及其预报方法。最后以较多的篇幅介绍近20年来在长期天气预报方面的一种新的进展,即海气相互作用。

本来,有以上三篇,基本上已把中长期天气预报这门学问讲述清楚了。但作者对最近20年来国际上在长期天气预报向超长期气候预报发展的新趋势也不於遗漏。更增加了第四篇,共分三章。从气候变迁的基础上讨论超长期的气候预报问题。本篇特点是着重介绍了太阳活动对气候变化的作用,并提出多种气候预报的方法。

后来,又增加了第五篇,共分四章。扼要介绍了中长期天气的数值预报。先从中长期天气数值预报的物理基础讲起,其次分章讨论我国中期和长期数值预报的试验,作了恰如其份的论述。最后一章介绍天气预报的各种评分办法。

杨鉴初

1981年10月9日北京

前 言

长期天气预报作为气象学的一个分支是从十九世纪末期开始逐步形成的。1883年泰色伦·德·包特(Teisserene de Bort)提出大气活动中心的概念,并指出大范围的天气异常是和同期大气活动中心的位置与强度的异常有关。由于大气活动中心的变化具有长时期的趋势,因此,为了预报大范围的天气异常,需要研究和掌握大气活动中心的演变规律。1873年布伦福德(Blanford)担任印度政府主要气象报告员时,发现印度西北部五月大雪不利于以后的季风发展,他于1886年开始用这个因子制作并发布当年季风雨量的长期预报。依利奥特(Elliott)继任后又加进印度以外的因子,使用相似法制作雨季预报。瓦克(Walker)于1904年继任后,大量计算相关系数,研究世界各地天气之间的遥相关,并由此引出世界三大涛动的概念,认为世界各地天气的遥相关是由三大涛动的演变规律所制约的。他用回归方程表示三大涛动的作用,预报印度季风雨量,取得一定效果,至今仍是印度长期天气预报的基础。

穆尔坦诺夫斯基(Мультиановский)于1913年开始研究欧洲天气与极地冷高压路径的关系,以冷空气活动路径(轴)为标准来划分大型天气过程的类型,提出欧洲的季节天气是由某几个大气活动中心制约的见解。以后又相继提出自然天气区域、自然天气周期、自然天气季节、大型天气过程的活动韵律、大型天气过程发展的位相序列和大型天气过程发展的相似性等基本概念和经验规律,奠定了天气学长期预告方法的基础,并于1922年开始制作5—7天和一个季度的天气预报。

穆尔坦诺夫斯基的早期同事王根盖姆(Вангенгейм)从1935年开始致力于大气环流型季节转换规律的研究,他把大西洋—欧洲区域的26种天气过程概括为三种基本环流型,发现本季节的优势环流型在下一季节中将向另一种优势环流型转换的规律,并利用优势环流型下天气异常分布的特征,制作北极地区的季节天气预告。以后,吉尔斯(Гирс)把王根盖姆的分型原则推广应用到亚洲—太平洋区域,进一步建立了整个北半球的基本环流型及其亚属。从北半球大气环流的结构出发,研究了大气环流各种时段的演变规律,为大型环流长期预报方法奠定了比较坚实的基础。

鲍尔(Baur)从1929年起组织长期预报的研究工作。在1936年以前用回归方程和复相关表制作长期天气预报,以后,他提出大型天气形势等基本概念。他在晚年从长期实践经验中深信,以天气谚语、气候规律和预报员经验为线索,经过天气气候学分析,转换成定量的气象参数,加以严格的统计学检验和必要的物理解释,可以作为长期天气预报的基础。

瓦克,穆尔坦诺夫斯基,王根盖姆和鲍尔四大长期预报学派,都是以丰富的天气气候分析经验作为预报方法的基础的,对不同时空尺度大气运动的演变规律作了科学的概括,不但有一定的理论基础,而且提出了切实可行的预报方法,奠定了近代长期天气预报的科学基础。

我国近代长期预报的研究工作是从涂长望开始的。他根据瓦克的理论和方法研究了我国冷暖旱涝同世界各地天气,特别是同三大涛动的关系,并建立了回归预报方程。建国以

后,杨鉴初针对我国台站的实际情况研究出一种运用气象要素历史演变的规律制作一年以上长期预报的方法,对我国广大气象台站开展长期天气预报的业务,起了良好的推动作用。五十年代中期以来,我国长期预报工作者对国际四大学派的理论和方法给以较多的注意,并开始探索结合东亚天气气候特点和我国实际情况的长期预报方法。近三十年来,在分析我国大范围旱涝同期和前期环流特征,研究东亚自然天气周期、自然天气季节、造成我国剧烈降温的超极地过程的韵律和对我国夏季降水有重大关联的太平洋副热带高压的位相序列等方面做了不少工作,取得了一定成果。六十年代初兴起了现代概率统计学长期天气预报方法的研究。时间序列分析、马尔可夫链、逐步回归技术、判别分析、聚类分析、各种相关相似法、多种正交函数分解气象要素场的方法等相继引进中长期预报领域,形成了天气统计学的预报技术。此外,对影响长期天气过程的外部物理因素,如下垫面(海陆和青藏高原)的热力状况,太阳活动和其它天文地球物理因素等都作了不少研究。我国的天气谚语历史悠久,地域广阔,内容丰富,广大台站常用以作为线索,加以验证,在当地的长期天气趋势预报中应用。七十年代以来世界气候异常引起广泛关注,我国不少气象工作者也积极地开展了气候变化的研究,超长期气象预报成为我国天气气候领域一个活跃的分支。目前,我国已经提出了两种长期天气预报的数值方案,一种是在考虑地球-大气相互作用的基础上先制作地表温度场的预报,而后根据预报的地表温度场计算适应了的高空环流形势场;另一种是以大气温压场的连续演变与下垫面热状况的等价性为基础,使用更多的历史观测资料,实现用环流报环流的数值预报。然而这两种方案尚处在试验研究阶段。在中期天气数值预报方面,我国已开展了三层初始方程模式的试验。

总之,三十年来,我国长期天气预报技术发展较快,在分析研究影响长期天气过程的各种物理因子的同时,进行了天气气候学、概率统计学和流体动力-热力学等方面的预报方法的研究和应用,学术水平已有显著提高,对发展我国长期天气预报的业务和为国民经济建设各部门的服务起了积极的作用。

在国际上六十年代开始了技术革命的新时代,电子计算机、人造卫星、应用数学、太阳物理和空间物理获得了显著的发展,使长期天气预报这门科学正在受到这些基础学科的影响而进入一个新的发展阶段。然而,对如何更有效地发展长期天气预报的原理和方法,目前还难以取得一致的认识。从目前国内外对长期天气预报问题的研究来看,大体上可以分为长期预报基础理论的研究和长期预报方法的研究两个方面。我国长期天气预报业务工作和研究工作虽然都有了较大的进展,对长期天气过程和我国的气候特点有了不少认识,但目前长期天气预报的水平与客观上的实际需要还相差甚远,要克服这方面的差距,还需从多方面进行长时期的努力。下面就基础理论研究和方法研究两个方面谈一些浅见。

目前一般认为,大气环流的持续异常是造成大范围天气异常的直接原因。因此,继续对大气环流异常状态及其演变规律进行天气气候学和天气统计学的分析研究,对提高长期天气预报的效果仍然是非常必要的。此外,值得指出,自从五十年代中期菲利普斯(Phillips)关于大气环流数值试验的工作开创了长期天气过程数值分析的新领域以来,斯马戈林斯基(Smagorinsky)、真锅(Manabe)、明茨(Mintz)和荒川(Arakawa)等人在这方面做了大量的研究工作,对中长期数值预报的理论研究起了推动作用。近年来马尔丘克(Марчук)采用海气耦合的流体力学方程组和扰动理论提出了预期可以做一个月到一个季度大范围温度距平

预报的方案,受到广泛的注意。我国在这方面的研究工作比较薄弱,应该重视加强,迎头赶上。

对长期天气变化过程物理成因的研究是长期预报基础理论研究的另一个重要方面。长期天气过程区别于短期天气过程的一个显著特点是它的非绝热性。长期过程物理成因的研究在很大程度上是围绕它的非绝热性来进行的。对大气的非绝热加热主要来自下垫面,从六十年代以来,拉特克利夫(Ratcliffe),纳米阿斯(Namias)等人和我国大气所、地理所、兰州高原大气所、中央气象局所属科研单位进行了海温异常和地温异常对长期天气过程影响的研究,取得了良好的成绩,并在这些研究的基础上利用海温异常、地温异常作为长期天气预报的因子,取得了一定效果。然而,七十年代中期以来,已经开始注意到大气环流对海洋的影响。事实上,下垫面和大气是相互作用着的,因此,为了更有效地利用海温和地温,需要进一步认识海气、地气相互作用的事实,从而搞清下垫面的热状况如何影响环流,而环流又如何对下垫面产生反馈。现代长期天气预报理论研究的触角伸向许多科学部门。由于有了现代化的技术装备,对于在大气层以外观测太阳电磁波辐射和微粒辐射以及宇宙线的变化有了可能,而这些来自外层空间的射线,经过与大气上层空气分子的碰撞,最终将其动能转化为加热大气的热能,构成来自大气上边界的非绝热加热;此外,由于卫星遥感探测技术的成就,对于获取全球辐射平衡和热量平衡的资料已逐步变成现实,这将把影响长期天气过程的物理因子的研究推向一个新的水平。这是值得引起注意的。

现代长期天气预报理论研究的另一个方面是竭力弄清天气过程的时空结构,亦即弄清长期天气过程发展的阶段性和支配长期天气过程的主导系统。天气气候过程都是有条件的准周期过程。在天气尺度范围内,空间尺度和时间尺度呈近似的线性对应关系,空间尺度愈大的系统,其时间尺度亦愈长。用线性化的涡度方程求解就可以证明,对于1—2天的短期预报主要抓短波系统的活动;对于3—5天的中期预报应抓住长波系统的演变过程,对于10天以上的长期预报则应抓住超长波的活动。这是由于可预报性强烈地依赖于尺度,系统越大,其可预报性也越大。近年来,我国在研究超长波特征与长期天气演变的关系方面已经取得一些结果。这方面的工作无疑是应该继续深入下去的。另一方面,有人曾经作过统计,发现为了做长期预报而揭露的各种周期,短的从几天开始,长的可达数十年以上,几乎可以组成一个连续谱。显然,并非所有找出的周期都是实际上存在的,而是仅仅在几个频带上才有实际意义。如Lamb认为在气候短期变化中只有80—90年、22年、5—7年和2—3年的周期有明确的物理意义。对于做1个月到1年左右的长期预报来说,多年的实践表明,有三类时间尺度的过程是值得重视的,即指数循环(2—4周)、韵律活动(3—6个月)和短期气候变化(2—90年)。这些准周期现象在我国长期天气和短期气候变化中都有一定反映,因此,继续深入研究这些时间尺度过程的成因,将给长期和超长期预报奠定更坚实的物理基础。

目前长期天气预报方法,原则上仍可分为天气气候学方法、概率统计学方法和流体动力-热力学方法三大类。显然,这些基本方法的研究是和长期预报基础理论的研究密切相关的。似乎可以这样说,基础理论是内容和实质,而方法则是它们的表现形式和手段。概率统计学方法在长期天气预报中应用十分广泛,它比较客观、定量,是一种很有用的工具。它可以同天气气候学方法相结合,形成天气统计学的长期预报方法;它可以和各种大气因子和非大气因子相结合,形成物理统计学的长期预报方法;它也可以同流体动力学的方法相结

合而形成动力统计学的长期预报方法。国外已经有人试验将天气学方法、流体动力学方法和统计学方法三者相结合而形成中期天气预报的所谓天流统方法,使预报水平有所提高。总之,由于长期天气预报问题的复杂性而促使三类基本方法互相渗透,互相结合,互相促进,取长补短的这种发展趋势是比较明显的。

近一百年来,长期天气预报的基础理论和方法的研究内容十分丰富,使长期天气预报技术发展较快,然而它仍然是一门年青而不很成熟的学科,这部分地表现在一些研究结果尚有互相矛盾之处,不少研究结果还不能作出物理上的解释。作者并没有企图对这个领域中的所有研究作出全面的概括,因为这个任务十分艰巨,超出了作者的学术水平和能力。本书是作者在南京气象学院多年担任长期天气预报教学和从事这方面科研的心得的总结,取材侧重于天气气候学和概率统计学的基本原理和基本方法,并力求联系我国的天气气候特点和长期预报业务的基本状况。由于本院的课程设置中设有概率论和数理统计以及概率统计预报方法两门课程作为本课程的先行课目,因此,在本教材中没有必要单独讲述这方面的基础知识,它是分散在有关章节中结合天气气候分析和预报方法的应用来讲解的。至于中长期天气数值预报,由于它所涉及的基础知识,基础理论和处理问题的方法自成体系,所以我们用单独的一篇介绍。在论述它的一般原理之后,着重介绍我国近年来进行中长期数值预报方法试验的情况。

本书由章基嘉负责主编,并担任了第一篇、第四篇、第五篇和第三篇中第十章的编写任务;第二篇和第三篇中其余各章是由葛玲编写或在原有教材基础上改写而成的。陈寅生、何金海、刘岱、孙照渤和兰国明在制定大纲和编写过程中多次参加讨论,提出了许多很好的意见。因此,本书应看成是集体的成果。

本书在出版之前承中国科学院大气物理研究所杨鉴初先生等审阅,并提出了许多宝贵意见,弥补了原稿的不少缺陷,对此作者谨表谢忱!

本书的取材、编排和论述方式定有许多可以商榷之处;虽经审校,内容不妥和疏漏之处亦可能存在,欢迎读者提出宝贵意见和批评指正。

目 录

第一篇 大气环流的基本知识

第一章 大气环流的基本状况	(1)
第一节 决定大气环流的基本因子	(1)
一、太阳辐射能随纬度分布的不均匀性 二、地球自转 三、地球表面的不均匀性 四、基本气流的不稳定性 五、地面摩擦 六、太阳活动	
第二节 大气平均温度场	(7)
一、影响大气温度分布的主要因子 二、温度的平均经向分布 三、温度的平均水平分布	
第三节 平均纬向环流和平均经向环流	(14)
第四节 平均水平环流	(15)
一、平均海平面气压场 二、对流层中部的平均环流 三、平流层底部的平均环流 四、平流层中部的平均环流	
第五节 东亚季风和季节进程	(22)
一、蒙古高压(西伯利亚极地反气旋) 二、印度低压(南亚热低压) 三、东亚季风区的季节进程	
第二章 对流层大气环流的异常及其表征方法	(27)
第一节 大型环流过程的天气学分型	(27)
一、中央气象台对亚欧高空环流的分型 二、北半球大气环流过程的天气学分型	
第二节 大气环流指数	(41)
一、整个北半球的大气环流指数 二、给定区域中的环流指数	
第三节 典型场分解	(43)
一、谐波分析法 二、切比雪夫正交多项式法 三、混合多项式法 四、自然正交函数法	
第四节 平均图和距平图	(59)
第三章 大型环流过程的演变规律	(61)
第一节 指数循环	(61)
一、指数循环的概念及其一般特征 二、指数循环各阶段的天气学特征 三、两支西风带的指数循环 四、指数循环的可能机制 五、环流指数的变化趋势及其预报	
第二节 西风带大型环流的调整	(65)
一、长波槽脊的移动与环流调整 二、长波槽脊的形成和破坏与环流调整 三、阻塞形势的形成和破坏与环流调整 四、冬半年南支西风气流	

上的长波调整

第三节 副热带大型环流的调整	(70)
一、夏季副热带环流型 二、亚洲夏季副热带环流的调整	
第四节 上下游效应和能量频散原理	(72)
一、上下游效应 二、能量频散现象和群速度 三、能量频散的实质	
第五节 北半球大气环流型的转换规律	(76)
一、大型环流均匀过程的转换规律 二、大气环流型的季节承替规律	
三、大气环流的多年振动和环流纪 四、大气环流型年频数的相关性及其谱分析	
第四章 平流层大气环流的若干问题	(85)
第一节 平流层大气环流的季节变化	(85)
第二节 平流层大气环流的特征变化	(86)
一、平流层冬季的爆发性增温 二、赤道平流层东西风的准两年振荡	
三、冬季平流层暖中心的活动 四、极涡中心分裂 五、冬季平流层上部环流的变化	
第三节 平流层环流与对流层过程的联系	(93)
一、平流层冬季增温期间平流层和对流层中各主要等压面上环流指数的变化	
二、平流因子和绝热因子对平流层温度变化的影响 三、300 毫巴等压面与其上等压面位势高度变化的联系	
第五章 长期天气过程的物理性质	(97)
第一节 什么是长期天气过程?	(97)
第二节 长期天气过程的全球性	(98)
第三节 长期天气过程的非绝热性	(99)
第四节 长期天气过程的主导系统	(101)
第五节 海洋和云的调节作用	(103)
第六节 长期天气预报的主要困难和发展途径	(105)

第二篇 中期天气预报

第六章 中期环流形势预报的天气学方法	(108)
第一节 自然天气区域和自然天气周期	(108)
一、自然天气区域 二、自然天气周期	
第二节 综合周期和天气阶段	(118)
一、综合周期 二、天气阶段 三、热带大型环流和天气过程的中期变化	
第三节 天气过程模式	(125)
第四节 大型环流系统的活动规律	(126)
一、冬季 100 毫巴极地涡旋的活动规律 二、冬季 500 毫巴极地高压的若干特征	
三、夏季 100 毫巴南亚高压的活动规律	

第七章 超长波调整与中期环流背景预报	(136)
第一节 从大气扰动中分离出超长波的方法.....	(136)
一、时间平均图 二、空间平均图 三、谐波分析 四、平流层等压面形势图	
第二节 超长波的结构.....	(138)
一、超长波垂直的结构 二、超长波振幅的经向分布 三、超长波的温度场与垂直运动场的配置	
第三节 超长波的活动及其与中期天气过程的联系.....	(141)
一、超长波的水平运动状态 二、超长波与指数循环 三、平流层极涡的崩溃和爆发性增温 四、阻塞过程	
第四节 超长波的若干动力学特性.....	(142)
一、模式方程和超长波的相速和振幅变化公式 二、大气斜压性、冷热源和大地形对超长波波速的作用 三、大气斜压性、冷热源和大地形对超长波振幅变化的作用	
第五节 超长波产生和维持的可能机制.....	(148)
一、稳定性理论讨论 二、数值实验分析	
第六节 超长波与其他尺度波动之间的关系.....	(149)
一、超长波与长波演变的空间分布 二、不同尺度扰动之间的能量交换	
第七节 超长波在中期预报中的应用.....	(151)
一、北半球 100 毫巴超长波分型及其在新疆春季寒潮天气过程预报中的应用 二、春季北半球中、高纬度 100 毫巴超长波与陕西多、少雨时段的关系	
第八章 大气物理量的中期变化	(157)
第一节 温压场的波谱分析.....	(157)
一、等压面高度场的波谱分析 二、等压面温度场的波谱分析	
第二节 其他物理量场的波谱分析.....	(158)
一、动能谱 二、物理量输送谱 三、能量转换谱	
第三节 大型天气过程转变中各种物理量谱的变化.....	(168)
一、环流形势变化过程 二、动能的波谱 三、角动量输送的波谱 四、扰动位能的波谱 五、感热输送的波谱 六、平均位能与扰动位能转换的波谱	
第四节 一年四季角动量输送谱的周期变化及其在中期形势预报中的应用.....	(172)
一、角动量输送值的季节变化概况 二、角动量输送值的周期变化 三、冬季环流形势的中期变化与角动量涡旋输送	
第九章 中期天气预报方法	(175)
第一节 寒潮的中期预报.....	(175)
一、我国寒潮的气候概况 二、导致寒潮爆发的大型天气过程特点 三、寒潮中期预报方法概述	

第二节 台风的中期预报	(179)
一、台风的气候特征 二、大范围环流调整对台风路径的影响 三、台风路径的中期预报	
第三节 暴雨的中期预报	(189)
一、我国暴雨的气候概况 二、暴雨天气系统和特大暴雨过程 三、暴雨研究中的两种观点 四、暴雨中期预报方法	
第四节 春季低温连阴雨的中期预报	(198)
一、连阴雨的气候概况 二、连阴雨的大型环流形势分类及其形成过程 三、连阴雨的中期预报方法	

第三篇 长期天气预报

第十章 天气学长期预报方法的基本概念	(202)
第一节 自然天气季节	(202)
一、自然天气季节及其划分 二、东亚自然天气季节	
第二节 大型天气过程的相似性	(210)
一、相似性指标 二、相关相似分析应用	
第三节 大型天气过程的韵律活动	(213)
第四节 大型天气过程的位相序列	(215)
第五节 群众经验的验证和使用	(216)
第十一章 月平均环流特点和月预报	(218)
第一节 北半球月平均环流的季节变化	(218)
一、北半球平均西风的季节变化 二、月平均环流经向度的季节变化 三、超长波的季节变化	
第二节 北半球副高带的季节变化	(221)
一、表征西太平洋副热带高压的一些特征量 二、500 毫巴副高带的基本特征 三、高低层副热带环流与 500 毫巴副高的关系	
第三节 月平均环流与我国天气异常的关系	(225)
一、月平均环流与我国的气温 二、月平均环流与我国的降水	
第四节 月平均环流的预报	(229)
一、环流异常持续性的分析与预报 二、环流异常的承继关系 三、“方差分析法”的月平均环流预报	
第十二章 夏半年若干长期天气过程的天气气候学特征及其预报	(236)
第一节 我国东部地区汛期降水的气候特征	(236)
第二节 副热带环流与我国东部地区夏季降水的关系	(236)
一、夏半年副高位置与我国东部雨带移动的天气气候学规律 二、夏季西太平洋副高活动与我国东部地区雨型分布特征的关系及其预报	
第三节 梅雨天气过程的形成及其长期预报	(241)
一、梅雨研究的历史概况 二、梅雨研究的新进展 三、梅雨期、梅雨	

量的长期预报

第四节 淮河流域夏季旱涝前期环流特征的分析与预报.....	(244)
一、淮河流域夏季旱涝的气候特点 二、淮河流域夏涝和夏旱的前期环流特征对比分析 三、预报方程的建立与验证	
第五节 造成东北地区夏季(5—9月)持续低温的长期天气过程.....	(247)
一、冷(暖)夏年北半球100毫巴环流的基本特征 二、冷(暖)夏年前期100毫巴环流演变分析 三、造成冷(暖)夏年环流演变的物理过程讨论	
第十三章 海气相互作用及长期天气预报.....	(254)
第一节 海洋在长期天气过程中的重要性.....	(254)
一、具有天气气候意义的海洋特性 二、海洋在地球-大气系统热量平衡及水份平衡中的作用	
第二节 世界海洋大尺度特征的若干观测事实.....	(257)
一、海水的温度分布 二、海冰的种类与分布 三、洋流(又称海流)	
第三节 海气相互作用的事实与机制.....	(263)
一、低纬度信风区的海气相互作用 二、印度洋季风区的海气相互作用 三、中纬度地区的海气相互作用 四、高纬度地区的海气相互作用	
第四节 海洋资料在长期天气预报中的应用.....	(274)
一、海温在降水预报方面的应用 二、海温在气温预报方面的应用 三、海温在天气系统预报方面的应用	

第四篇 气候变化和超长期天气预报

第十四章 各种尺度的气候变化.....	(283)
第一节 地质时代气候变迁概况.....	(283)
一、大冰期气候和大间冰期气候 二、第四纪的亚冰期和亚间冰期气候	
第二节 距今一万年以来世界气候的变化(历史时代的气候).....	(287)
一、第一寒冷期 二、气候适宜期 三、气候副适宜期 四、气候副寒期 五、中世纪早期的温暖期(即第三温暖期) 六、小冰期(第四寒冷期)	
第三节 近五千年来中国气候的变化.....	(293)
一、第一温暖期的气候 二、第一寒冷期的气候 三、第二温暖期的气候 四、第二寒冷期的气候 五、第三温暖期的气候 六、第三寒冷期的气候 七、第四温暖期的气候 八、第四寒冷期的气候 九、明、清以来的气候变化 十、本世纪我国的气候变化(仪器观测时期) 十一、小结	
第四节 气候变化的原因和未来趋势的展望.....	(299)
一、太阳辐射总量的变化 二、海陆分布的变化 三、环流因子 四、火山活动对气候的影响 五、人类活动对气候的影响 六、未来气候变	

化的趋势

第十五章 太阳活动及其对地球大气过程的影响	(318)
第一节 太阳活动及其预测方法	(318)
一、太阳活动及其定量表征 二、太阳活动期间太阳光谱非定常部分的变化 三、太阳活动的周期性 四、太阳黑子活动的长期预告	
第二节 太阳活动对地球磁场和电离层的影响	(333)
一、地磁场和电离层的基本特征 二、太阳活动对电离层和地磁场的影响	
第三节 太阳活动对平流层大气过程的影响	(341)
一、太阳射电通量密度 $S_{10.7}$ 和行星磁扰指数 A_p 与平流层风场的联系 二、太阳活动和冬季平流层增温 三、太阳活动与平流层上部(10毫巴)环流系统的联系	
第四节 太阳活动对对流层大气过程的影响	(346)
一、北半球对流层大气环流型的多年振动及其与太阳活动世纪周期的联系 二、北半球大气活动中心的多年变化及其与太阳活动磁周期的联系 三、北半球对流层环流扰动与太阳高能质子流的联系 四、宇宙线对低层大气环流影响的可能机制	
第五节 太阳活动与天气气候异常	(353)
一、太阳活动与大气温度异常 二、太阳活动与大气降水异常 三、西太平洋台风年频数多年变化及其与大气环流和太阳活动的联系 四、宇宙线和气候变化	
第十六章 超长期天气预报和气候展望的方法	(360)
第一节 以大气环流多年演变规律为基础的超长期天气预报方法	(360)
一、大气环流型年频数的长期趋势 二、大气环流型年频数多年振动的周期分量 三、大气环流型年频数的相关韵律 四、环流型年频数的统计预报和我国旱涝趋势的超长期预告	
第二节 以大气活动中心多年演变规律为基础的超长期天气预报方法	(368)
第三节 利用太阳活动预报估计北半球大气环流异常及大范围旱涝趋势	(370)
第四节 我国近代气候振动的分析与展望	(374)
一、近 140 年来我国的气候振动 二、近百年来长江水情的变化 三、本世纪东亚大型天气过程的多年变化	

第五篇 中长期天气数值预报概论

第十七章 中长期天气数值预报的物理基础	(379)
第一节 基本方程组	(379)
第二节 控制大尺度大气运动的主要物理过程及其参数化	(380)
一、非绝热加热作用 二、下垫面的热力影响 三、地形作用 四、行星边界层对大气运动的作用 五、边界条件问题	

第十八章 我国中期天气数值预报的试验	(389)
第一节 北半球三层初始方程模式.....	(389)
第二节 模式中引进辐射加热的计算方案.....	(391)
一、太阳辐射加热率的计算 二、长波辐射冷却率的计算 三、考虑云层影响的计算方案 四、实例试验结果	
第三节 模式中引进大尺度凝结降水的计算方案.....	(395)
一、大尺度凝结的计算方案 二、实例试验	
第四节 模式中引进下垫面感热和蒸发通量的计算方案.....	(397)
一、边界层中的感热交换和水汽输送 二、计算结果	
第五节 模式中引进地形作用的计算方案.....	(400)
一、各种方案概述 二、试验结果	
第六节 正压初始方程模式延伸预报的试验.....	(402)
第十九章 我国长期天气数值预报的试验	(404)
第一节 长期天气数值预报的滤波方法.....	(404)
一、物理基础 二、预报方法 三、试报结果	
第二节 长期天气数值预报的动力统计方法.....	(414)
一、基本方程和预报模式 二、动力学预报模式中物理参数的统计决定 三、长期数值预报中用环流报环流的问题	
第二十章 天气预报质量及其经济效果的评定	(421)
第一节 以列联表为基础的预报质量评定方法.....	(421)
一、预报成功率 二、预报技术评分 三、相关系数和回归系数	
第二节 连续性变量预报的评分.....	(425)
一、连续性气象要素预报质量的评定 二、连续性气象要素场预报质量的评定 三、概率预报的质量评定	
第三节 以信息论为基础的预报评分.....	(428)
一、统计熵的概念 二、联合事件组的熵 三、条件熵 四、信息与信息比 五、用列联表求统计熵和信息 六、服从正态分布的随机变量 x 和 y 的相关系数 R 与信息 $I(y x)$ 的关系	
第四节 天气预报经济效果的评定.....	(435)
一、两分类预报经济效果的评定和预报方法优劣的比较 二、三分类预报的经济效果的评定 三、使用单位的最佳决策	
参考文献	(440)

第一篇 大气环流的基本知识

第一章 大气环流的基本状况

大气环流一般是指大范围空气运行的现象,它的水平尺度在千公里以上,垂直尺度在十公里以上,时间尺度在 10^5 秒以上。这种大范围的空气运行不仅制约着大范围天气的变化,而且是气候形成的基本因素之一。天气学的理论和实践表明,大气环流的异常发展必将导致天气、气候的反常。在天气气候学中常把多年(一般需 30 年)平均状况视为正常状况,而所谓异常就是指对多年平均状况的偏差(或称距平)。目前长期天气预报常以气象要素距平图的形式给出,而把多年平均状况作为正常的背景来考虑。可见在讨论中长期天气预报之前,先对大气环流的多年平均状况作一些了解是完全必要的。

第一节 决定大气环流的基本因子

大气环流的基本状况是由若干影响程度不同的因子决定的,其中最重要的是:太阳辐射能随纬度的不均匀分布、地球自转、海陆和大地形的分布、基本气流不稳定性、地表摩擦以及太阳活动和其他宇宙地球物理因素。

一、太阳辐射能随纬度分布的不均匀性

太阳辐射虽然是大气环流的最终能源,但驱动大气运动的真正原因是太阳辐射能在地表面上的不均匀分布。如果太阳辐射能在地表面上的分布是均匀的话,那么就不会产生两极与赤道之间的温差和海陆之间的温差,从而也就不会产生水平气压梯度力和空气的水平运动。

既然大气运动的最终能源是太阳辐射,我们首先讨论一下地气系统年平均的辐射收支状况,而后再讨论这种辐射收支随纬度分布的不均匀性。

到达大气上界的太阳辐射能,即太阳常数 1.95 卡/(厘米²·分),进入大气层后,直接被大气中的水汽、二氧化碳和臭氧吸收约占 16%,被云层吸收约 3%,被空气分子散射掉 6%,被云顶反射掉 20%,被地面直接反射掉 4%,剩下的 51%被地面所吸收。

被地球表面吸收的这部分太阳辐射转变成其它形式的能量供给大气,其中长波辐射占 21%,潜热占 23%,感热占 7%,从这个意义上说,运转大气这部热机的主要“燃料”来自地球表面。这是就整个地球而论,实际上太阳辐射能的收支状况是随纬度而异的。

表 1.1 给出各纬度被地气系统吸收的太阳辐射和因该系统放射而返回太空的辐射以及它们之间的差额。由表可见,大约在纬度 35° 以南,吸收大于放射,辐射差额为正,大气被加热;而在此纬度以北,放射大于吸收,辐射差额为负,大气被冷却。在形成这种辐射差额随纬度的不均匀分布中,地气系统吸收的太阳辐射随纬度变化很大,极大值在赤道,极小值

表 1.1 各纬度地气系统辐射收支状况(单位: 卡/厘米²·分)

纬 度	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
吸收辐射	0.339	0.334	0.320	0.297	0.267	0.232	0.193	0.160	0.144	0.140
放出辐射	0.271	0.282	0.284	0.284	0.282	0.277	0.272	0.260	0.252	0.252
辐射差额	0.068	0.052	0.036	0.013	-0.015	-0.045	-0.079	-0.100	-0.108	-0.112
辐射差额的梯度	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	-0.016	-0.016	-0.023	-0.028	-0.030	-0.034	-0.021	-0.008	-0.004	

在两极, 极差达 0.199 卡/(厘米²·分)。另一方面, 返回太空的红外辐射随纬度的变化却不大, 高低纬度之间的最大差值仅 0.032 卡/(厘米²·分)。因此造成低纬度和赤道地区的辐射净收入与高纬度和极地的辐射净支出。这种不均匀加热的结果, 形成了由赤道指向极地的温度梯度和气压梯度。可见辐射差额随纬度的不均匀分布是大气环流的真正原动力。

此外, 从表 1.1 还可看到, 辐射差额的梯度随纬度分布也是不均匀的, 它在 55°N 附近达到最大。这一点也是决定大气环流现有状态的一个重要因素, 可以说明为什么平均而论温度水平梯度(行星锋区、急流)总是在中纬度保持最大。

如果地球表面完全是均匀的, 那么由于辐射差额随纬度分布的不均匀性形成的温度场将是纯纬向场, 即等温线完全平行于纬圈分布。在这种情况下若地球没有自转, 低纬度空气由于受热而垂直上升, 高纬度空气由于冷却而垂直下沉, 结果形成极赤之间的热力环流圈, 即所谓“单圈环流”。但是, 这种单圈环流实际上是不可能存在的, 这说明太阳辐射能随纬度分布的不均匀性所造成的非绝热加热虽然是决定大气环流的重要因子, 但不是唯一的因子, 大气环流的状态还取决于其他因子。

二、地球自转

地球自转对大气运动的作用与运动本身的尺度有关。根据流体相似理论, 这种关系可用罗斯贝数 $R_0 = V/fL$ 来估计, 此数为水平运动方程中对流加速度项与科氏加速度项之比值。当 $R_0 \gg 1$ 时, 亦即对于速度高、尺度小的运动, 对流加速度的作用比地球自转引起的科氏加速度重要得多; 反之, 当 $R_0 \ll 1$ 时, 亦即对于尺度大、速度低的运动, 科氏加速度的作用要比对流加速度重要得多。运动尺度愈大, 地球自转的作用亦愈大。在极限的情况下, 对流加速度项可以从水平运动方程中略去, 而空气运动就呈地转风运动,

$$\text{即} \quad 2\vec{\omega} \times \vec{V}_s = -\frac{1}{\rho} \nabla_s P. \quad (1.1)$$

实际上, 大尺度的空气运动正是气压梯度力和地球自转偏向力基本平衡但又不能完全平衡的准地转运动。这也就充分说明地球自转是决定大气环流的基本因子之一。

前面已经指出, 在非旋转流体中, 不均匀加热只能产生垂直环流, 空气在加热的地方上升, 在冷却的地方下沉。现在要问: 在旋转的流体里情况又是怎样呢? 富尔兹(Fultz)和哈德(Hide, 1959)曾先后对这个问题做了模型实验。结果是: 如将不均匀加热的强度保持常数, 而将旋转速度 Ω 逐渐增大, 则当 Ω 大于某个临界值(此临界值的大小又视不均匀加热