

中长期天气预报

邓贤峰 曾文华 孔玉寿 编

The Medium-Long Range
Weather Prediction

气象出版社

中长期天气预报

邓贤峰 曾文华 孔玉寿 编

气象出版社

(京)新登字 46 号

内 容 简 介

本书较系统地介绍了大气环流基本理论及中长期天气预报的物理过程,对目前中长期天气预报在海气关系、天气统计学和数值预报等方面的进展作了扼要的论述,使读者既能掌握中长期天气预报的基本理论,又能了解中长期天气预报的最新进展。另外还针对目前广大基层台站作中长期天气预报的方法较匮乏的情况,重点介绍了制作中长期天气预报的一些方便而较有效的方法,且给出了关于梅雨、寒潮、台风、旱涝等中期或长期天气过程的预报实例。读者既可以通过这些介绍了解有关天气过程的物理本质,又可以掌握制作这些中期或长期天气过程的预报方法。

本书适于作高等院校气象专业本科及大专学生的教材,也可供从事气象实际业务工作和农业、水利、航海等部门的有关科技人员阅读。

中长期天气预报

邓贤峰 曾文华 孔玉寿 编

责任编辑:张 斌 终审:纪乃晋

封面设计:何 清 责任技编:张 斌 责任校对:刘祥玉

* * *

气象出版社 出版发行

(北京白石桥路 46 号 邮政编码:100081)

北京怀柔王史山印刷厂印刷

* * *

开本:787×1092 1/16 印张:10.5 字数:265 千字

1996 年 2 月第一版 1996 年 2 月第一次印刷

印数:1—2500

ISBN 7-5029-2113-3/P·0784

定价:15.00 元

前 言

中长期天气预报这门学科近年来得到了迅速发展,在理论研究方面有了进一步的深化和提高,提出了许多新观点。中长期天气业务预报也有了可喜进展,在国民经济建设中,越来越显示出它的重要性及迫切性。在航空航天领域,中长期天气预报也起着十分重要的作用;在未来的信息社会,高质量的中长期天气预报必将带来巨大的社会效益,与人们的生活息息相关;准确的中长期天气预报对国防建设也产生积极的影响,高科技的先进武器在某种程度上更依赖于气象条件,各兵种的合同作战及演习也需要准确的中长期天气预报作为决策的重要依据。编者在此形势下编写了此书,希望能为广大气象科技工作者及气象专业的学生提供一本学习参考资料。

本书突出了中长期天气预报的基本原理与基本概念,在完整性、实用性、创新性方面作了一定努力,联系我国的天气气候特点和中长期天气预报业务的基本状况,综合介绍了一些方便而比较有效的预报方法。本书第一、二、三、四、五、六、八章由邓贤峰执笔,第七章由曾文华执笔,第九章由孔玉寿执笔,并审阅了全书。最后全书由邓贤峰整理定稿。在编写过程中曾得到空军气象学院唐万年副院长、翟子航、魏绍远教授、张学敏、林锡怀、沈家宜、陈谋国、叶乃祝、候志明副教授等同志的热情关怀和指导,并审阅了有关章节,提出了许多有益的意见,在此深表谢意。

本书引用了不少其它著作的观点,对比较重要的内容注明了作者及发表年代,由于篇幅所限,本书中仅附了少量的参考文献。对所有无论直接引用或未注明出处的许多工作的作者,在此表示深切的谢意!

由于编者水平所限、时间紧促,书中不足之处在所难免,恳望读者批评指正。

编者

1995年5月于南京

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
第一节 长中短期天气预报的区别	(1)
第二节 中长期天气预报的历史回顾	(2)
第三节 我国中长期天气预报的发展	(4)
第二章 中期天气过程特征和中期天气过程模式	(7)
第一节 中期天气过程特征与中期天气预报的一般思路	(7)
第二节 中期天气过程模式	(11)
第三章 中期数值天气预报	(22)
第一节 中期数值天气预报的物理基础	(23)
第二节 欧洲中期天气预报中心业务系统	(32)
第三节 中期数值预报产品的解释和应用	(35)
第四节 中期数值预报产品应用自动化系统	(39)
第四章 中期天气统计预报	(43)
第一节 应用灰色系统的灾变预测法作中期预报	(43)
第二节 中期动力统计预报	(52)
第五章 长期天气过程特征与长期天气预报	(57)
第一节 长期天气过程的特征	(57)
第二节 长期天气的可预报性	(58)
第三节 影响长期天气过程的物理因子	(59)
第四节 长期天气预报的一般方法	(63)
第六章 大气环流变化与长期天气预报	(68)
第一节 大型环流过程的天气学分型	(68)
第二节 大型环流的定量表征方法	(70)
第三节 低纬大气环流的变化与长期天气预报	(87)
第四节 大气低频变化和遥相关与长期天气预报	(89)
第七章 海气相互作用与长期天气预报	(94)
第一节 海洋大尺度特征的若干观测事实	(94)
第二节 海气相互作用的观测事实与机制	(98)
第三节 ENSO 与长期天气预报	(106)
第八章 长期天气统计预报	(123)
第一节 韵律分析法	(123)
第二节 秩相关秩相似法	(130)
第三节 多层递阶预报方法	(135)
第九章 中长期天气预报自动化系统	(143)
第一节 中长期天气预报专家系统	(143)
第二节 相似预报自动化智能系统	(153)
第三节 常规中长期预报方法的自动化实现	(158)

第一章 绪论

中长期天气预报是气象科学为国民经济及国防建设服务的重要项目,它们对农业、水利工程、建设规划及经济活动尤为重要,关系到国计民生。建国以来,我国遭受到许多严重的灾害:1954、1991年长江流域发生了特大洪水;1959~1961、1994年又发生了严重的干旱;1963年、1975年北方大暴雨成灾;1976年夏季冷害都给人民的生命财产带来巨大灾难。显然,如能对灾害天气(或气候)作出超前的预报,将会产生巨大的经济和社会效益。但长期以来,人们对中长期天气预报持有不同的看法,特别是对长期天气预报,有的认为长期天气是不可能预报的,而有的则认为是可预报的。例如,1976年美国气象学会曾发表声明说“一个月以上的天气预报,其逐日预报是完全没有参考价值的,季度展望和气候预报技术水平也很低”。1981年Nap^[1]用70年代的资料检查了七种预报方法,结果发现除海温外,其它的资料几乎没有什么效果。英国于1963年开始的长期预报也在1981年停止发布,在这段时间里长期预报似乎成为无稽之谈。但到了80年代中期,长期天气预报又进入了一个复兴的阶段。这主要是由于近十年来,气候异常席卷全球,导致大片土地日趋沙漠化,粮食减产,水资源和能源出现危机。如1982年4月~1983年3月,澳大利亚整个大陆均遭受了严重的干旱,这一年全国粮食减产达59%。这一年南美各国出现持续性大暴雨,秘鲁北部的降水达正常年份的340倍,有些河流量达正常流量的1000倍,因此给这些国家造成重大的经济损失。1988年美国中西部严重干旱,粮食减产达37%,而孟加拉湾却遭受大洪水,全国四分之三土地受淹,300万人无家可归,600万人的生活受到影响。正因为全球性的气候异常,世界气象组织(WMO)为推动长期天气预报的发展,组织了一系列的会议。仅在1986~1991年期间就召开了五次关于长期天气的国际讨论会,充分说明长期预报已在国际范围被提上了议事日程。在这五次会议上制定了长期天气预报的研究计划,计划要求要进行国际合作,开展广泛的试验研究,以进一步了解月、季天气变化的预报问题及海陆气之间的相互关系;确定大气变化可预报性的极限,以发展具有物理学、统计学基础的、比现有预报方法有明显改善的预报模式。到目前为止,世界上至少有三十多个国家和地区正式发布月、季长期预报,使用的方法基本是统计学方法、天气学方法及经验。虽然,预报水平不高,但是人们认为如能适当使用仍可取得一定的经济效益。现在不少国家和地区开展了长期天气数值预报的试验,但还没有一个能进行业务预报。因此,我们现在还不能提供一个既客观又比较完整、还要保证有一定的准确率的预报程序。所以下面将综合介绍各种不同的方法、不同的观点,这些方法所根据的原理彼此间也许有很大不同,而且现在还无法完全统一。有鉴于此,本章首先介绍一下中长期天气预报的基本概念及中长期天气预报的区别,然后对世界各国中长期预报发展的过程和现状做一简要的回顾和展望,以便读者对中长期天气预报技术和业务状况有一个总体的了解,这对我们从事中长期天气预报业务工作及科研或许是有益的。

第一节 长中短期天气预报的区别

在制作中长期天气预报时,首先碰到的一个问题是什么是中长期天气预报,即长中短期天气预报的区别是什么,这个问题可以从不同角度来讨论。著名的气象学家冯·纽曼(J. von Neumann)1955年在美国普林斯顿召开的第一次气候模拟会议上,对上述问题作了如下的叙

述：“预报问题能够按照预报的时间尺度(也就是预报期间)方便地分为三类：第一类预报对象的运动，主要由初始条件决定；第二类预报对象的运动和第一类完全相反，它实际上不依赖于初始条件；在这两种极端的情况之间，存在着第三类预报对象的运动，由于这一类预报对象的运动距初始状态十分遥远，所以不能够清晰地追踪初始条件的详细特征，而又必须考虑外部强迫力来确定它最终的平衡状态”。换句话说，冯·纽曼把短期天气预报、长期天气预报(年预报和气候预报)、中期天气预报分别分为第一、第二、第三类的预报问题。接着，他又说：“由于这个缘故，作为解决这些预报问题理论上的方法，可以作如下的考虑。最容易的问题是外推参数比较少，外推时间短的解的确定；其次困难的问题是确定外推非常多的参数，可以说是经过几乎无限期间所存在的状态，从而确定这样的渐近状态；最后，最困难的问题是两者之间这个中间期间的预报问题，这时外推参数值既不非常少又不非常多。因此，不能够舍弃其中一个极端情况，必须对两者都加以考虑。”

可以看出冯·纽曼对于预报问题，是从时间外推的参数多少来论述它的难易。由于短期预报外推参数少，能够用确定性方法由初始条件决定问题的解，所以最容易。另一方面，长期预报和气候预报因为外推参数接近无穷多个，使用非确定性方法，几乎可以不管初始条件，所以必须作为外部强迫力(外力)作用下的平衡状态来决定问题的解，这里的外力具体指非绝热加热、冷却和摩擦耗散。然而，中期天气预报应有的时间外推参数比较多，在一定程度上依赖于初始条件，又必须考虑其他外力强迫项的作用问题，不能简单地舍弃某一方面，既要用确定性方法又要同时借助非确定性方法，所以是最困难的一类预报问题^[2]。

透过冯·纽曼的观点可以对长中短期天气过程作如下概括：短期天气过程仅和其初始条件有关；长期天气过程仅和外力强迫有关；中期天气过程既和其初始条件有关又和其外力强迫有关。

通过上面的分析，基本上阐明了长中短天气过程的区别，相应的对这三种过程的预报称为长中短期天气预报。但三种预报之间的时间界限是什么，很难给以严格的定义。从天气过程的特点和天气预报的实践可以认为：对未来 72 小时内的天气预报为短期天气预报，因为这时主要考虑初始场就基本可以作出预报。这样，3 天以上即为中期天气预报，但中期预报的上限是多少历来是有争议的。从预报的角度来讲，这就是可预报性问题，对这个问题下面还要详细讨论。目前国际气象界一般认为其逐日预报的上限为 2~3 周，即中期天气预报的上限为 2~3 周。3 周以上的预报则为长期天气预报。但我国从实际出发，一般认为对未来 3~10 天的预报为中期天气预报，而长期预报因其预报内容是月平均温度和月总降水量，所以认为长期预报为 1 个月以上的预报。1 年以上的预报为超长期预报(或称气候预测)。由于长中短期天气过程有很大差异，相应的预报方法也有很大的不同，这些将在以后的有关章节作详细的介绍。

第二节 中长期天气预报的历史回顾

一、长期天气预报的回顾

对长期天气预报的研究在有些国家已经进行了半个世纪以上，实际上它作为气象学的一个分支是从 19 世纪末期开始逐步形成的。1873 年在维也纳召开了第一次国际气象会议，标志着在天气观测网、情报交换以及促进气象事业发展的机构等方面开始了国际间的协作。几年后 T·D·包特(Teisserene de Bort, 1881)对半永久性的副热带反气旋的活动进行了观测，提出

了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。后来沃克(Walker,1904)在前人(Elliot,Petersen等)工作的基础上,大量计算相关系数,并作广泛的检验,研究世界各地天气的遥相关,并由此提出世界三大涛动的概念。沃克于1924年到1937年期间发表了六篇关于世界天气的文章,指出世界上广大地区不同台站的气象要素之间有同时与非同时的联系。他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的效果,至今仍是印度长期天气预报的基础^[3]。具体的三大涛动是:

北大西洋涛动(NAO):冰岛低压与亚速尔高压之间气压呈相反变化的关系;

北太平洋涛动(NPO):阿留申低压与夏威夷高压之间气压呈相反变化的关系;

南方涛动(SO):太平洋高压与南印度洋低压之间气压呈相反变化的关系。

所以可以利用涛动的非同时的联系作出和涛动有关地区的长期天气预报。应该说,三大涛动的研究今天仍不失其巨大的现实意义。三大涛动并没有包括地球上所有地区,而且至少有两个地区也是比较重要的,但三大涛动并未涉及到,如:

1. 欧亚大陆、青藏高原及其积雪显然对长期天气很重要;
2. 北极地区、高纬积雪和极冰也有很大的作用;
3. 南极大陆,那里有全球最深厚的冰盖。

上述这三个地区从长期天气过程的物理性质来看,需要加以考虑。所以有人设想地球上可能不止有三大涛动,可能有四个、五个或更多的涛动系统。如能对这些涛动系统的形成及演变加以研究,对长期天气的预报是非常有益的。如陈烈庭前几年提出了北方涛动的概念^[4,5],所谓北方涛动是指东太平洋Ship N站(30°N , 140°E)和西太平洋马尼拉站($14^{\circ}31'\text{N}$, 121°E)的气压距平呈明显的相反变化趋势。陈烈庭把北方涛动和厄尔尼诺现象联系起来,用北方涛动来作厄尔尼诺年的预报。由此可见三大涛动仍有研究的意义。

1912年,穆尔坦诺夫斯基以追踪反气旋路径为基础开始制作长期预报。他首先研究欧洲天气与极地冷高压路径的关系,按冷空气活动的不同路径(轴)来划分不同类型的大型天气过程,提出了欧洲的季节天气是由某几个大气活动中心制约的见解。以后又提出自然天气区域、自然天气周期、自然天气季节、韵律、位相等基本概念和经验规律,奠定了天气学长期预报方法的基础,从而形成了穆氏学派,并于1922年开始制作5~7天和—个季度的天气预报。穆氏学派的贡献是第一次用天气学方法来作长期天气预报,第一次提出了长期天气预报的阶段性和周期性。

1935年,王根盖姆以大气环流型的季节转换规律为基础研究制作长期预报。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,研究发现了本季节的优势环流型在下一个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型。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,这是王氏学派的主要贡献^[6]。

1936年,鲍尔(Baur)用回归方程和复相关系数表制作长期预报,提出了“物理—统计预报法则”以及大型天气形势等基本方法和概念。他深信,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。在 50 年代,他亲自制作发布季节预报,主要是中欧地区冬夏季节的天气预报,准确率约达 90% 以上,当然预报只局限于以物理学为基础,统计推断出有用的指标。该准确率是迄今任何长期预报所能达到的最高水平^[7]。鲍氏学派的主要贡献是提出了统计学和天气方法相结合作天气预报的方法。

纳米阿斯(Namias)则采取了与上面四个学派完全不同的思路,他认为长期天气预报的对象是月平均气温、月总降水量,而月平均天气又受月平均环流控制,如能正确预报月平均环流的发展,则可以预报出相应的月平均天气的分布,也就是月平均气温与月总降水量。他应用平均环流法作长期天气预报这一思路在长期天气预报方法方面开辟了一个新的领域。

以上几大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,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。

二、中期天气预报的回顾

与长期天气预报的发展历史相比,中期天气预报发展历史要短得多,但发展速度要比长期预报快得多,这主要是数值预报方法的成功,特别是中期数值预报实现业务化使中期天气预报水平上了一个新的台阶。在本世纪上半叶,国际气象界有所谓的三大学派,即以自然天气周期为核心的苏联穆氏学派;以大型天气形势为主的德国鲍尔学派;以罗斯贝指数循环为中心的美国学派。前两种学派在前面已作介绍,而美国学派的指数循环理论将在本书第三章详细介绍。但无论那种学派,所使用的方法都是以天气图分析为预报基础;在预报实践中,都会遇到很难掌握大型环流转变的困难。继后的一二十年,实际的业务预报方案,主要是建立在天气图分析和统计学相结合的基础之上,有时统计更为主要。这种预报途径所遇到的问题同单纯天气学途径一样,预报因子的选择带着一定的盲目性。这是因为统计学本身是一个工具,必须选择具有物理依据的量作为因子,才能发挥统计学的效能。进入 70 年代以后,由于上述中期预报方法的缺点再加上生产发展和各方面的需要,国内外都加强了时效达两周的中期数值预报基础理论和预报应用试验研究,并在以后的一二十年中,它成了大气科学研究中重点攻关的课题之一。中期数值预报的主要任务为制作 3~15 天的天气预报提供理论依据,并在这种规律指导下给出具体的业务工作方法,通过相应的组织系统作出 3~15 天逐日的天气预报。然而就中期数值预报模式的建立来说,除了数学工具的应用以外,它的基础有两个方面:一是事实基础,主要是指对环流演变的物理过程的认识;二是理论基础,即大气动力学的规律。同时,中期数值预报业务的开展及预报水平的提高,还受到计算机性能的制约^[8]。目前,制作中期天气预报水平最高的是欧洲中期天气预报中心(ECMWF),有关它的情况将在第三章介绍。

纵观中期预报的历史进展,不管采用哪一种途径制定预报方案,都不外乎依赖于对物理过程的认识和对大气运动规律的研究,并以其作为基础。这两个方面紧密结合,加上恰当地应用工具——数学的、统计的或者天气图,便可以建立比较符合大气运动规律的中期预报方案。

第三节 我国中长期天气预报的发展

一、我国长期天气预报的发展

我国的长期预报,正如在世界上一些国家一样,采用的预报方法基本上是综合性的,这也

是由我国的国情决定的。在我国最先进行长期预报研究工作的是涂长望,他根据沃克的理论和方法研究了我国冷暖旱涝同世界各地的关系,并建立了回归方程。建国以后,杨鉴初针对我国台站的气象资料残缺不全的实际情况,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。这种方法简便易行,对我国广大气象台站开展长期预报业务起了良好的推动作用。50年代中期以来,我国长期预报工作者对国际上几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。

自1958年以后中央气象台每年10~11月组织第二年度预报,内容包括当年10月到第二年9月的东亚大气环流、我国气温及降水的月距平分布及初霜、终霜、台风、寒露风等一些特殊项目。自60年代初每年3月组织当年的汛期天气预报汇商,由全国各省、市、自治区气象局共同讨论,重点是6~9月的降水分布。此外每月22日做下一个月的环流、气温、降水及一些特殊天气的订正预报。另外,长江流域规划办公室自1973年以来每年4月初组织长江流域水文气象预报,交流预报经验,对推动我国的长期预报工作也起到了良好的作用。

最近十年来,随着对长期天气预报的客观需要和研究工作的进展,这个问题在国际上已引起科学家和各国政府的充分重视。如1986年9月29日~10月3日在索非亚召开了第一次长期预报讨论会,就标志着长期预报已成为国际气象界所关注的一件大事,同时也反映出WMO及各国科学家对长期预报的浓厚兴趣。另外WMO制定的世界气候研究计划中,把月和季时间尺度的长期预报的物理基础列为三个主攻方向的首位,并制定了相应的长期天气预报研究计划。面对着国际长期天气预报研究工作的迅速发展和国民经济建设对长期天气预报日益迫切的需求,国家气象局在“七五”科研计划中把“长期天气预报理论、方法和资料库建立”作为重点研究项目。这项工作在1986~1990年间,在大气环流异常的三维结构和低频变化的诊断分析、理论研究和数值试验方面取得了重要的进展,对于加强月季时间尺度长期预报的物理基础和改进业务长期预报方法都有重要价值。在大气环流异常变化及我国旱涝和温度预报方法的研究方面,重点抓住了影响我国汛期主要雨带位置的西太平洋副热带高压的南北位置变化规律和造成我国低温(冷害)的极涡活动规律,并对之进行了深入的研究,形成了我国东部地区夏季旱涝趋势长期预报的概念模型和预报方法,以及以极涡参量的季节变化规律为基础的我国大范围气温长期预报方法。这些成果对我国的长期预报现行的业务季节预报不仅有重要的指导价值,而且在实际长期预报业务工作中发挥了有益的作用。在影响长期天气过程的物理因子方面,重点研究了3~5年大气本身的低频振荡,并通过大尺度海气相互作用与ENSO事件的联系,发现了许多很有意义的事实。另外在长期数值天气预报方面也取得了很大的进展,例如,在过去多年研究的七层谱模式基础上改进了包括地形在内的模式框架,提高了数值计算精度;在物理过程参数化方面引进了先进的辐射计算方案,改进了云和辐射的相互作用过程,从而使该模式具有制作一个月以内逐日预报的能力;而且还将非定常地气耦合距平模式发展成业务运行的模式,其产品已正式提供给国家气象中心长期科作每月长期预报使用^[1]。

二、我国中期天气预报的发展

我国中期天气预报业务是在50年代初开始的,主要根据天气分型并结合预报员的经验发布不定期和特约的中期预报。50年代中期试用了前苏联的帕加瓦中期预报方法,同时以南京大学气象系陈其恭为代表的一部分气象工作者也介绍了美国一些中期预报方法,当时这些方法对我国是有启发的,但预报效果并不好。

1958年在兰州召开了第一次全国中期预报经验交流会,对中期预报业务起了积极推动作

用。1960年中央气象局推广了四川汛期中期预报方法,虽然预报时效一般仅为三天,但却指出了值得以后深入讨论的问题。例如,预报时效延长时如何考虑天气气候背景,以及不同尺度影响系统之间的关系、环流形势的转换等。1958年中央气象台在试用帕加瓦方法后又对赫拉勃罗夫的中期预报方法进行了试验,进一步证实了中期预报的关键在于对大型环流转变或调整的认识,但对自然周期的转变预报未从根本上提出有效的办法,因而无法在日常预报业务中使用。试验表明,要走我国自己中期预报的路子,只有从提高气象科学理论水平、加深对中期天气过程的认识以及随之建立日常预报工具等方面入手。因而在以后的二十年中,一方面以气象业务部门为主,从本地区的实际需要出发,着重于灾害性和关键性天气的中期预报,用揭露和认识中期过程的天气事实为主要依据,分析中期天气物理过程,力求得出有一定物理意义的中期预报模式或指标;另一方面则以科学院和院校为主,利用近代数学和力学的理论方法,并以数值分析和数值试验为重要手段,结合气象学的问题创立新的理论或方法。经过多年的试验研究之后,我国的中期数值预报已经初具规模,从1991年元月起已经用T42L9谱模式实现业务运行,T63L15模式也在试验之中。

然而中期预报毕竟是个复杂的问题,只能分阶段进行。今后几年可能应注意以下几方面的工作。

1. 加强中期天气过程及其物理机制的总结和研究。中期天气过程是中期天气预报的基础,对其物理机制的研究又是日常预报和数值预报之间的桥梁,起着重要的纽带作用。

2. 积极开展数值试验,逐步完善已有的中期数值预报模式。但应注意,在广泛使用数值预报后,相当长一段时间内常规预报方法不仅不能取消反而应该加强,而数值预报则能验证人们对大气过程的认识,以提高常规预报能力。所以两者是相辅相成、相互促进的。今后的预报员应在熟悉模式的基础上,不断积累和总结数值预报产品使用的经验,积极研究天气形势与天气现象的联系,才能为开展中期的模式输出统计方法(MOS法)等以数值预报产品应用为基础的中期天气客观预报做好充分的准备。

3. 大力改进和建立中期预报工具和方法。现有的工具和方法,有的对揭露环流形势“突变”的能力仍较差,有的还不能为广大台站所普遍使用。另外,对已经了解到的中期天气过程物理因子尚缺乏可用于日常业务的工具,因此,当前必须从完善工具和方法入手。随着对中期天气过程的深入了解,必有更多、更新的预报工具和方法在中期预报业务中得到使用。

主要参考文献

- [1] 王绍武编著,1993,气候诊断研究进展,11~12,气象出版社。
- [2] 新田尚著,1988,天气的可预报性,赵其庚等译,162~163,气象出版社。
- [3] 王绍武、赵宗慈编著,1987,长期天气预报基础,3~5,上海科学技术出版社。
- [4] 陈烈庭、詹志强,1984,北太平洋东西部气压距平的逼相关,科学通报,29(8),481~483。
- [5] 陈烈庭,1984,北方涛动与赤道太平洋海温 and 降水,科学通报,29(2),1190~1192。
- [6] 章基嘉、葛玲编著,1983,中长期天气预报基础,1~4,气象出版社。
- [7] Lamb, H. H., 1987,气候的变迁和展望,汪突琮等译,354~357,气象出版社。
- [8] 仇永炎,1985,中期天气预报,1~3,气象出版社。
- [9] 章基嘉主编,1992,长期天气预报论文集,海洋出版社。

第二章 中期天气过程特征和中期天气过程模式

通常所谓的“天气过程”一般是指天气系统发生发展和移动演变的过程。和中期天气预报的时间尺度相对应的天气过程为中期天气过程,主要表现在大尺度和行星尺度的天气系统,如长波和超长波系统、阻塞系统、副热带高压、锚槽、极涡等大型天气系统的活动演变过程。本章着重介绍中期天气过程的一般特征以及利用中期天气过程模式制作中期天气预报的一般思路。

第一节 中期天气过程特征与中期天气预报的一般思路

一、中期天气过程的特点

我们所要预报的风雨阴晴等天气现象都是大气中一定物理过程的产物,很明显,预报水平的提高与我们对这些物理过程的认识有密切关系。短期天气预报建立在对短期天气过程了解的基础上,同样,中期天气预报也必须建立在对中期天气过程了解的基础上。否则,如果应用统计方法制作中期预报,就可能因缺乏物理过程的依据而陷于单纯的统计;即使作中期数值预报,也需要根据中期天气过程的特点来设计适当模式,更不用说天气学的预报方法,自然是以中期天气过程为主要依据了。因此必须研究中期天气过程及其特点。

1. 一个中期天气过程,往往包括若干短期天气过程,包括若干天气系统的生消发展。

中期天气过程是相对短期天气过程而言的。一个短期天气过程,大多数主要反映某一个天气系统,如一个气旋、反气旋或一个高空槽的生消演变过程,过程的持续时间一般在3~5天。而要做未来10天的中期预报,则平均至少要报2~3个短期天气过程,也就是说,中期天气过程通常包括连续几个气压系统的生消演变过程。因此,中期天气过程与短期天气过程不只是时间长短不一样,其物理过程也是不同的,所以中期天气预报与短期天气预报的着眼点也应有相当的差异。

2. 在应用天气图制作短期预报时,主要是考察将要影响本地区的某个天气系统温压场特征以及邻近系统和它们的相互影响,来确定该系统的发展演变,作出形势预报并进而作出天气情况预报。这些系统尽管可能变化很快,但它们在预报时刻大多是已经存在或处于初生阶段,因此一般可以抓住它们。中期天气预报则不同,影响的天气系统往往在预报时还未出现,因此必须研究产生某个天气系统的条件,并预报其发展演变及影响情况,这显然比短期预报要困难得多。

中期天气过程不仅在时间尺度上与短期天气过程不同,而且在空间尺度上也不同。短期天气过程的空间尺度属于短波和长波范畴,而中期天气过程的空间尺度则属于超长波(也包括长波)范围。因此,预报中期天气要考虑较大范围如欧亚或北半球广大区域内一个或几个大型环流系统的调整变化,例如副高的进退、阻塞形势的建立、维持和崩溃,以及整个东西风带的演变和相互作用等问题。也就是说,中期天气过程比短期天气过程更明显地受控于大型环流的演变和调整,中期天气预报在相当大程度上决定于对未来大型环流的估计,故要对“指数循环”过程及超长波的活动做出预报。

3. 中期天气过程既受大气初始状态的制约,又受外界能源(主要是非绝热加热)的影响。这一特点有别于短期天气过程,又不同于长期天气过程。

天气的演变取决于大气的初始状态以及在天气过程发展演变中各种能量的作用情况。如果天气过程的时间很短,那么出现在初始时刻的大尺度天气系统到过程结束时还来不及衰减,且在这段时间内从外界流入大气的能量很少,可以把这种大气运动当作绝热过程来处理。因此短期天气过程中大气状态主要取决于它的初始状态,即初始时的物理量场状态;反之,如果天气过程经历的时间很长,那么,出现于初始时刻的大尺度天气系统在过程结束前就已经衰减,因此长期天气过程中的大气状态主要取决于这段时间内外界与大气的能量交换,亦即非绝热加热过程具有决定性的影响。但是,在短期天气过程与长期天气过程之间并没有一个截然的界限,其过渡区间就是中期天气过程,它的时间尺度为5~21天。由于这种时间尺度介于短期与长期过程之间,因此,影响中期天气过程的物理因子也就更复杂,它既受大气初始状态的影响,又受外界能量的影响。

总之,影响中期天气过程的物理因子与短期过程的主要差别,在于要适当考虑大气中非绝热加热过程的作用。因此,作中期天气预报时不但要考虑初始时的温压场结构,而且还要考虑加热场的异常。在考虑加热场异常影响时,要特别注意两类加热场的影响。一类是大气内部物理过程造成的加热场异常,其中云量的异常有特别重要的作用,因为云是把常定的太阳辐射通量改变成在空间和时间上不均匀分布的热流入量过程的主要原因,此外,在形成云的过程中还释放大量的凝结潜热。因此,云量的异常会造成加热场的异常,从而调节着大尺度大气运动的能量供应。另一类加热场异常主要决定于下垫面的物理属性,即此类加热场的异常主要发生在大气の下边界上,例如大陆上雪盖的异常,海洋上海面温度和海冰的异常等。也就是说,即使太阳辐射并无异常,由于地表覆盖物的物理属性在时间和空间分布上发生异常,也将造成加热的异常。其中,海洋的作用是特别重要的。大范围海面温度的异常可以明显地影响大气环流,它不仅影响海面温度异常地区上空气旋和反气旋的路径和发展,而且也可以影响其邻近和更远地区。另外,积雪的异常也对大气环流有影响。例如,当大陆有大面积积雪时,将增加大陆与海洋上空之间的温度对比,从而加强大气的斜压性,促使东海岸气旋的迅速发展和锢囚。而且这种积雪位置的偏南或偏北,也会影响最强气旋生成区的偏南或偏北。需要指出,加热场异常对环流的影响决不是单方面的,它们实际上是互相影响和制约、随时间在相互调节的,也即存在着反馈机制。

二、中期天气预报的图表工具

基于上述中期天气过程的特点,在中期天气预报业务中使用的基本图表也有其相应的特点。目前在实际业务中使用的中期天气预报图表种类是比较多的,现就主要的简介于下。

1. 各种气候资料图表

熟悉和掌握各季节的天气气候背景是作好中期天气预报的基础。不同的季节,大气环流的主导系统、影响系统的活动特点会出现明显的差异,天气规律也不一样,因此必须按照季节变化的特点整理出各类天气气候图表和资料,供预报参考使用。一般来说,在制作中期预报时,需要下列各类天气气候资料。

(1) 要素气候图:如多年平均的各旬降水量图、雨季始迄期、多雨少雨时段分布、气温图、早晚霜冻出现的均值图和极端图、冷空气活动表等,这些资料主要反映要素多年季节变化特点,提供作要素中期预报的背景资料。

(2) 环流气候图表:主要有旬或月的多年平均环流场、槽脊活动频率图、副高位置和强度资料等,可使预报员了解大型环流系统的气候特征,以及槽脊在哪个地区加深,脊脊在何处发展。

(3) 物理量气候图:主要有平均基本气流分布图、急流分布图、低纬合成风资料、长波及超长波各分波位相最易出现的地理位置等资料,以便于对平均形势的基本物理图象的了解。

(4) 影响系统气候图:主要有不同月份台风路径频率图、台风强度分布图、台风生成源地分布图、气旋活动频率图、西南低涡活动频率图、冷高压活动频率图以及关键的或重要的天气过程模式等,这些图表对于帮助分析、预报天气系统的活动很有参考价值。

2. 各种时间、空间平均图

中期天气预报业务中除广泛应用逐日北半球 500(或 700)hPa、100hPa 和地面天气图等最基本的图表外,平均图的应用也较为普遍。平均图分为两类,即时间平均图和空间平均图。

(1) 时间平均图:常用的时间平均图有 500hPa 旬平均、候平均图、3 天滑动平均图以及相应的距平图、变高图等资料。采用时间平均的方法,一般都可以把移动性的长、短波扰动过滤掉,突出超长波的特点。这种图的制作方法比较简单,可视实际需要设计不同的时间步长进行平均。一般而言,旬平均图能反映超长波的特点和大型环流的分布趋势,候平均图则能反映大尺度环流的中期演变过程,是我国气象台站开展中期预报的常用工具。近年来试验的 3 天滑动平均图,在分析中期天气过程的演变上优于候平均图,中央台采用这种图连续观察大型环流的演变,克服了使用候平均图可能引起天气过程割裂导致失真的缺点。用这种工具分析极涡崩溃南下、乌拉尔山高压脊的发展和东移以及与鄂霍茨克海暖脊相互作用而造成寒潮的爆发过程也有一定的作用。

(2) 空间平均图:表达大尺度环流演变还可以应用空间平均图及其距平图、变高图。做法是,按一定的顺序(如从上至下、从左到右)取一定数量的网格点(如 5 点或 9 点)高度值进行滑动平均,将所得平均值作为所取网格点的中点值。这种方法同样能滤掉波长较短的扰动,展现出形态较简单而变化缓慢的大尺度系统。通过分析环流形势的逐日连续变化及距平和变高演变趋势,可以帮助确定超长波的调整和转换。空间平均图和时间平均图一样,经过平滑滤波后波幅会受到明显的削弱。

3. 各种滤波合成图和高层天气图

实际大气波动中包含着各种波长的波,为了考察与中期天气过程有关的大尺度波动,必须从实际大气波动中分离出低频的超长波系统。目前分离的方法除采用时间平均或空间平均的滤波办法外,大致还有以下两种,即用谐波分析方法制作合成波图以及大气本身随高度增高自然滤波的高层天气图。

(1) 合成波高度图:这是一种用谐波分析方法计算出来的图。把大气波动看成是由若干个简谐波叠加而成,对其中的每个简谐波都可用谐波分析的方法分解出来。具体作法是把北半球某等压面上的格点高度(或其与纬圈平均的偏差),沿闭合的纬圈区间做富氏级数展开,导出波数为 1、2、3、4、5 等分波的振幅和位相,然后根据所设计的滤波方案,将它们进行合成,就成为合成波高度图。用不同的分波可以合成不同用途的合成图。超长波合成图,它是由波数为 1~3 波合成的,在这种图上环流系统一般尺度较大,可以超过 10000 公里,维持时间常在 10 天以上,变化缓慢,向西运动状态比较明显。长波合成图,是 4~6 波加平均场的合成图,在图上长波移动速度较快,主要为东移系统。上述两种图可以用来分析超长波与长波的相互作用,以便判断和预报形势的调整。

版上

(2) 高层天气图:这里指 100hPa 以上的平流层天气图,如 50hPa、25hPa、10hPa 天气图。这些图经过大气本身随高度的增高产生阻尼滤波后,环流形势显得相当单调,突出了超长波系统,波数为 1 和 2 的占优势。在季节转换时期,平流层环流形势的调整、转换比对流层早,且不同的环流调整过程对应不同的天气过程,因此利用平流层天气图研究环流的演变,对于中期天气过程的分析和预报质量的提高是很有用的。

4. 各种环流指数和特征量的时间演变曲线图及时空剖面图

大气运动的特点,经常可以用某一要素或某种特征量或某种物理量的时序变化来表述,并可以从中获得大气运动的某些规律。这方面的图表有西风环流指数曲线、低纬环流振动曲线、关键区特征曲线及各种要素演变曲线等。

为了了解大气运动中各物理量的空间特征随时间的连续变化,分析大气演变的特点,帮助分析大型环流不同阶段的物理图象,并为预报环流的调整和转换提供思路和依据,在实际业务中采用了很多种时间剖面图,如急流时间剖面图、槽脊活动时间剖面图、超长波或各分波时间剖面图、能量时间剖面图、低纬气流时间剖面图等。此外,还有综合要素时间剖面图,用以分析气压、气温和风的演变特征,并划分类型找相关。

三、中期天气预报的一般思路

由于中期天气预报的时效一般为 3~10 天,所以预报的内容不可能象短期天气预报那样具体,又不能象长期天气预报那样笼统。例如旬预报的内容除了预报旬总降水量、旬平均温度、旬雨日外,还要预报旬内天气过程(冷空气过程、降水过程以及某些危险天气等)出现的时段。

由绪论可知,我国各级气象台站在中期预报方面作了许多工作,虽然各地制作中期天气预报并无统一的方法,但从预报的一般思路来说,仍具有共同点。首先必须对最近一段时间内天气过程发展的实况进行详细的了解和分析,同时也必须对本地区重要天气过程的天气气候规律进行调查和总结。就是说要了解本地区各种重要天气发生发展的典型情况,加以归纳分类,建立天气模式,然后找出预报环流形势、天气系统和天气有关指标的经验规则,作为制作中期天气预报的依据。作预报时,把当前天气过程发展演变的情况与各类天气模式比较,分析与典型情况有哪些相似之处和不同之处,参考模式中形势发展演变和天气情况,考虑目前具体条件与模式之间的区别,然后加以订正,并参考中期数值预报结果以及有关的指标和经验规则,作出预报。具体来说,一个地区的中期预报工作大致包括以下几个方面。

1. 掌握天气气候特点

在制作中期天气预报以前,一定要熟悉预报时段内的气候平均情况,了解各种重要天气出现的特点和几率,同时还要了解出现重要天气的一般形势、它的逐年变化的特点以及各种中期过程演变的一般规律。例如,寒潮、连阴雨、台风、各种锋面和气旋活动、西太平洋高压的中期变动、南北支西风带的环流调整等,都是影响我国中期天气演变的重要过程。掌握天气气候特点和演变规律,就为预报大范围环流形势和天气情况提供了基础。在此基础上,还应按下一节介绍的方法,归纳出相应的中期天气过程模式,直接供预报使用。

2. 分析大型环流的演变

由于大范围天气现象是在一定形式的大型环流及大型天气系统下发生的,因此在预报天气时首先要考虑未来本地区将受什么样的大型系统控制,或大型环流有什么明显调整。也就是说,预报环流形势未来的发展变化,特别要注意环流有无明显的转折以及不同环流形势对应未来大范围天气现象(如降水、大风、降温等)的概况。在分析大型环流演变情况的基础上,对照中

期天气过程模式,作出天气趋势和天气过程的具体预报。

3. 结合应用中期数值预报结果

随着数值天气预报水平的提高,特别是大尺度天气形势预报已取得较大的进展,如欧洲中期天气预报中心和日本发布的中期数值预报,都已具有相当的准确性。因此,要充分应用中期数值预报的结果,掌握形势演变,尤其是3~5天的预报,应更注重数值预报产品的应用。但在应用时,应对数值预报产品作出有一定依据的误差检验,以期更有效地应用这些产品。此外,应大力采用完全预报方法(PPM)和模式输出统计法(MOS)进行客观定量的具体要素预报。

4. 单站气象要素实况演变的应用

通过对单站气象要素实况演变情况的分析,参考各种预报指标和模式,对大型天气过程分析所得到的预报结果进行补充订正,得出最后的预报结论。

当然,在具体作某一地区的中期预报时,应灵活应用各种预报方法和资料,作出各个时段的预报。例如,作江淮地区秋季的中期天气预报时,首先要了解该季节江淮地区容易出现的天天气过程及概率(经普查历史资料发现一般在该季节1旬内有3次左右冷空气过程),其次就要分析未来环流的演变。第一次过程可以主要利用作短期天气预报的资料及数值预报产品,对环流进行有修正的外推而预报出来;第二次过程可以主要利用数值预报产品及相应的释用方法而预报出来;第三次过程可以利用各种统计方法及天气过程模式的分析而预报出来。最后再根据本站的气象要素实况演变作订正而得出旬预报结果。

第二节 中期天气过程模式

所谓天气过程模式,就是把历史上已出现过的一些重要天气形势(或天气过程)按预报的需要划分为若干类别,从同类的若干个例中总结归纳出典型形势(或过程),并对其动态过程特征给以客观描述。使用天气过程模式时,取当时的实况并考虑其过去的演变与总结的天气过程模式作对比分析,就可判断当前天气过程在未来时段内可能的发展动向。

由于大型天气过程的复杂性和多样性,也由于目前我们对大型天气过程发展的物理原因认识得还很不够,因此在归纳天气过程模式时往往不可避免地带有主观性,有时又受历史资料限制,因而模式就不一定能完全准确地反映天气过程本身所具有的规律。所以在使用模式时,还需配合一定的客观定量指标和中期数值预报结果来证实过程特征和演变趋向。

一、建立天气过程模式的一般方法

天气过程模式的划分按其目的和要求可以有不同的方案,但归纳起来大体有两类分法:一是以抓天气系统为主进行分类,如阻塞高压的建立和崩溃过程的模式、台风天气过程模式等;二是以抓天气为主进行分类,如连阴雨天气过程模式、寒潮天气过程模式等等。

建立天气过程模式通常采用的具体方法有:

1. 典型个例法

直接用该类天气过程中比较典型的个例作为该类过程的模式。任一具体的天气过程都有它的特殊性,但同时又包含着该类天气过程的一般性,即普遍性存在于特殊性之中,这类天气过程模式正是以特殊来代表一般的。这种方法简便易行,缺点是容易带有个例本身的局限性。

选用典型个例一般可用普查方法进行。所谓普查就是将历史资料中出现的该类过程做一全面的然而是一般的分析研究,从普查中发现典型。然而,个例是否典型,还与天气过程的分类

有关,而天气过程分类标准的变化,与之相应的典型个例也会有所不同,可见典型个例是在反复研究中逐步确定的。

2. 归纳个例法

它是根据同类天气过程的共同特点,点绘出示意图作为模式。描绘示意图的办法有两种,一是根据天气过程的共同特点直接给出地面图或空中等压面形势的示意图;二是在天气图上划出若干个关键区,分别标出该类天气过程中气压场在各关键区的特征。

3. 平均图法

求取同类天气过程的所有个例或一些典型个例的平均图作为该类天气过程的模式。这种方法的缺点是工作量较大,一般需用计算机来处理,优点是所得的结果具有较广泛的代表性。

4. 按预报量分类法

例如按降水量多寡可以分为旱、正常和涝三类,分别归纳得到三类天气过程的模式。还可以按某种天气出现的频率来划分,这种分类简单明确,关键是要使分类的标准定得合理而有利于提高预报水平。

5. 按预报因子分类法

例如在晴雨天气预报中,用气温、气压和湿度的变量或距平的符号(+、-)来分类,可以分为增温、增湿、增压、降温、降湿、降压等几种类型。

二、天气过程模式在中期天气预报中的应用

下面以寒潮和暴雨的中期预报为例,介绍中期天气过程模式的具体应用方法。

1. 寒潮中期天气过程模式

寒潮是一种大范围灾害性天气,一般是指大范围强冷空气在一定环流形势下向南爆发的现象。对于寒潮的中期预报,除了下一章将要介绍的有关中期天气统计预报方法可供利用外,天气过程模式法及其与数值预报产品相结合的方法都是比较有效的预报方法。

(1) 寒潮中期天气过程的天气学模式

寒潮的爆发是半球性大型环流形势演变和调整的产物,超长波波型的演变和长波、超长波的调整是这种环流形势演变的主要特色。根据北半球大气环流特征,寒潮中期过程可分为两类:一类是倒 Ω 流型,约占全国性寒潮过程的80%;另一类是极涡偏心型,约占10%。因此下面着重介绍倒 Ω 流型寒潮的中期过程模式。倒 Ω 流型寒潮中期过程,按其发生发展可以分为三个阶段,即初始阶段、酝酿阶段和爆发阶段。

①初始阶段 两大洋高压脊的发展可以作为倒 Ω 流型中期过程的开始,当阿拉斯加脊向西、向极地发展,大西洋脊向东、向极地发展时,出现“桥式高压”,迫使极涡分裂为二,其中一个极涡位于亚洲,形成倒 Ω 流型,离寒潮的爆发期约为20天左右。

②酝酿阶段 大西洋高压脊在伸向极区过程中,有一部分负涡度分裂出来向东南移动合并到乌拉尔山高压脊中,同时大西洋东岸大槽以及地中海切断低压前方的暖平流经波罗的海和黑海向东、东北方向输送,使乌拉尔山高压脊增强,从而导致西西伯利亚的冷空气南下。阿拉斯加高压脊在伸向东西伯利亚海后,使从新地岛南下到西西伯利亚的冷涡向鄂霍茨克海和日本海方向移动,这时东边的鄂霍茨克海附近高压脊发展,而形成亚洲地区的倒 Ω 流型。寒潮过程由初始阶段过渡到酝酿阶段的主要标志是乌拉尔山高压脊和亚洲地区倒 Ω 流型的建立,此时离寒潮爆发大约为7~10天。

③爆发阶段 在酝酿阶段末期,有长波强扰动发展,可导致寒潮爆发。其特征为,中纬度