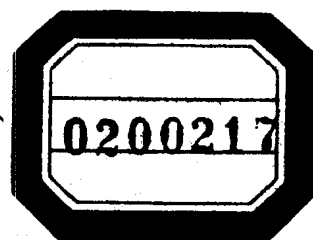
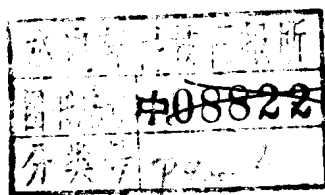


中期天气预报文集

全国中长期预报会议组 编

气象出版社





中期天气预报文集

全国中长期预报会议组编



005778 水利部信息所

气象出版社

ZWS3/18

中期天气预报文集

全国中长期预报会议组编

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

北京印刷一厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 15.1875 字数: 380,000

1981年8月第1版 1981年8月第1次印刷

印数: 1—3,500

统一书号: 13194·0029 定价: 1.55元

前 言

1979年10月在苏州召开了全国中长期预报经验交流会议。会议收到中期预报方面的论文共132篇，并决定从中选编一部分有代表性的论文出版。

本文集主要包括三方面内容：夏半年降水和暴雨中期预报；寒潮和冬季连阴雨中期预报，以及中期预报基本理论和中期数值预报试验。此外还有中期预报分析方法和工具方面的。中期预报是探索性的课题，有些研究对象（如寒潮、暴雨的研究）虽然已有20年或更长时间的历史，但至今仍处于探索之中，此文集无论在着眼点、处理手段上，还是在理论依据上，都有较多新的内容和足够多的数据基础。因此，预计它对我国中期预报的开展与深入，将会起到推动作用。

本文集由会议技术组成员仇永炎、陈汉耀、裘国庆、汪之义、林春育、章少卿、赵一华等同志组成编辑小组。文章除由编辑小组审查外，还请有关同志进行了审查。中央气象台裘国庆、李晓东两同志，在文集出版过程中做了许多具体工作。

编辑小组

目 录

我国中期预报的现状和进展	仇永炎、陈汉耀、裘国庆 (1)
半球旋转适应过程的数值试验	曾庆存、袁重光、李荣凤 (9)
平均图中期数值预报试验	姜达雍、仇永炎、张杰英等 (21)
初始方程模式中引入实测温度场的初值分析及预报试验	许有丰 (35)
接力中期数值天气预报个例试验	姜达雍、王诗文、张杰英 (42)
一年四季 500 毫巴角动量输送波谱的周期变化	仇永炎等 (54)
春播期北半球 500 毫巴角动量输送和能量变化的波谱分析	朱盛明 (62)
关于准静止性超长波向移动性超长波的转换与东亚寒潮的关系	余鹤书、李晓东 (72)
极地系统与中纬度超长波的关系	蔡承侠 (77)
中高纬度长波槽(脊)不稳定发展的天气动力学分析	张元箴、陈秋士 (83)
分析 100 毫巴上极涡特征作 1—4 月份武汉 ≥ 5 天连晴、连阴雨的中期预报	黄勇飞 (93)
春季超长波活动与南京地区连阴雨及连晴天关系的初步探讨	孟昭宽、钱纫嫔、齐德金、任苏连 (106)
江苏地区 6、7 月天气周期及其预报	王式中、朱正心、吴孝祥 (113)
西风带客观分型	裘国庆 (126)
盛夏四川盆地区域性暴雨过程的中期预报	汪之义等 (133)
湖北省夏季中期降水预报的一个试验	罗昭彰、杨景勋 (140)
近 20 年来梅雨中期预报的回顾	林春育 (146)
梅雨期连续暴雨过程产生的环流条件及回归判别式	周曾奎 (154)
南疆西部大雨的中期过程	王政宇 (163)
对一种区域降水量的客观预报方法的探讨和试验	周一鹤 (170)
3—4 月份威海低槽与上海地区降水的中期趋势预报	胡德祚、王皎明、朱翠英等 (177)
1979 年春季广东长阴雨过程分段剖析	王静渊、杨震、陈发祥等 (184)
500 毫巴高度场富氏展开的波数问题	陈新强 (191)
利用 60°E 500 毫巴时间剖面图作中期天气预报	李广春、杨劲目 (198)
黑龙江省秋霜冻及其中期预报方法	王成必、李黄 (210)
候气象要素与欧亚 500 毫巴高度场显著相关区分析	汤仲鑫 (221)
北半球大型环流与台风中期预报	郭常光 (229)
夏季 100 毫巴南亚高压几种典型流型与我州中期天气阶段的关系	祝学范、陈思今 (235)

我国中期预报的现状和进展*

仇永炎

陈汉耀

裘国庆

(北京大学地球物理系) (新疆维吾尔自治区气象局) (中央气象台)

一、引言

我国中期预报业务是在五十年代初开始的, 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。五十年代中期试用了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部分同志也介绍了美国一些中期预报方法。当时, 这些方法对我们是有启发的, 但预报效果并不好。

1958年在兰州召开了第一次全国中长期预报经验交流会议, 这对中长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, 这一方法虽有些改进, 其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20年进程中, 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, 为建立中期数值预报业务做了大量工作。

这次大会以前, 曾开过两个区域性的中期预报会议。一是在乌鲁木齐召开的寒潮中期预报会议, 系三北科研协作组自1975年建立以来有关中期预报科研成果的交流; 另是在湖南召开的“暴雨与中期预报”会议, 着重讨论了暴雨的中期预报问题。这两个会议为这次大会的召开提供了良好的基础。

这次大会共收到132篇论文, 其中在大小会上交流的有42篇。下面就以这次会议论文为主, 结合过去的一些工作, 阐述我国中期预报的现状和进展。

二、超长波和中期天气过程

我国中期预报的时间尺度常指三天以上到两周左右, 目前广大台站多以旬的天气预报为主。这种预报时效, 除了考虑环流形势的周期性和非周期性外, 还要考虑尺度大的系统和范围广的环流。叶笃正、陶诗言等系统地作了“大气环流的若干问题”和“北半球冬季阻塞形势”的研究。前者着重指出大型扰动对各种物理量的输送作用及其与大气环流的内在统一性, 这

* 本文为1979年10月苏州全国中长期预报经验交流会议的中期预报技术小结。

就说明预报时效愈长愈应把大气作为一个整体来研究。后者则具体研究了大型阻塞系统的发生、发展的过程,为环流形势转换预报提供了很有用的模式和指标。研究还表明,阻高的生命史长达十天甚至二十余天,其活动有些是长波理论所不能解释的,这必有比长波更大的尺度系统存在即超长波。六十年代初期,中央气象台和新疆区气象台几乎同期对每日天气图取若干个纬圈进行谐波分析,并利用500毫巴的空间平均法滤出超长波,从分析每次形势调整中,初步发现往往是超长波在起作用。在以后多年天气实践中,人们越来越感觉到,比如象南方春季低温阴雨和适播回暖时段,秋季连阴雨和华西秋雨,夏季某些暴雨过程和梅雨过程,寒潮酝酿和爆发过程,甚至“自然天气季节”的持续和转换过程等等,不同时间尺度的天气现象和过程,是与不同空间尺度的长波或超长波活动有关。天气现象相对稳定时或重复出现时,是影响系统的稳定或重复发生的反映。而一次特定的超长波的转变,又意味着天气过程的转换。因而从实际中证实了超长波的存在,可见超长波的演变和中期天气过程有密切关系。

1975年以来,北方地区的三北协作组研究了寒潮中期过程,证实在较高纬度的大尺度环流系统控制着一定的中期天气变化。根据 50°N 以北的超长波特点,可将环流分为2波、3波和4波,并统计了各波的转换与亚洲寒潮天气过程的关系。而南方以章淹为技术指导、以长办为主的降水中期预报研究协作组,研究了长江中期降水过程,并指出长江地区的降水及其转换和超长波的转换有密切关系。

近年来,李麦村从理论和实践上论证了长江低温阴雨过程是由南北方向尺度远比东西为小,且对流层垂直倾斜度较大的超长波造成的,还论证梅雨与超长波的关系。黑龙江省气象台分析了 $60-70^{\circ}\text{N}$ 为1波时中亚高压与该省多雨时段有较好的对应关系。中央气象台也指出,冬春季的转换是由冬季2波占优势向春季3波占优势的转换。以上这些,又进一步证明中期天气过程与超长波的关系极为密切。

超长波具有相对稳定和移动的两重性,即准定常波和移动波,有的向东移动,也有的向西退。章基嘉证明了超长波的移动不仅与波长有关而且与大气的斜压性和地形有关,而地形的作用又不是单纯的机械作用,它还取决于超长波本身的物理条件。

为了研究超长波与长波的关系,必须注意整个北半球流型的转变问题,研究其某些重要的长波、超长波系统;高纬要注意研究极涡和极高,低纬则要研究副高和季风环流。

自七十年代中期,中央气象局气象科学研究所根据极地涡旋的演变特点,将其分为绕极型、偏极型、偶极型和多极型,随后不同地区结合这种流型研究其与长波流型的关系并确定出本地区中期天气的对应关系。有的还指出极地涡旋的形成与中纬度角动量向高纬输送有关,其崩溃则与高纬角动量向南输送有关。

极地高压的形成,常常使人们注意到两大洋北部高压脊的向北伸展并对其生成极为关注。研究其生成原因,一是认为与中纬度斜压不稳定有关,二是认为与两大洋北部海温的加热有关。近年来湖北省气象科学研究所对100毫巴的极涡又作了大量工作,论证了极涡的地理位置与天气的密切关系。福建省气象台也指出,影响福建的台风与极涡有较好的相关性。辽宁锦州气象台用极涡的显著变化预报降水过程。

由于我国东部属于季风区,所以特别重视对副高的研究。六十年代初,开始利用平流层天气图分析,得出亚洲副高在青藏高原的加热作用下具有“振荡”性质,这对副高的认识又有进一步提高。除研究对流层副高本身的结构和移动规律外,也从平流层和对流层之间的关系研究副高的活动规律。近年来,云南大学气象专业还研究了印度季风环流与副高以及云贵高

原降水的关系。

至于里、威海及地中海一带的低涡，其尺度虽不很大，但生命史则很长，与我国降水有很密切的关系。上海中心气象台总结了近十五年来威海低槽与上海地区四月份降水的关系，其中 80% 的降水是由威海低槽东移影响的结果，这说明正确掌握地中海低涡的移动路径可延长预报时效。

可见超长波活动与中期天气过程确有密切关系。无论用谐波分析还是用平流层图表直观得出的超长波系统，目前已用于预报业务实践，并取得一定经验。例如把超长波分成准定常波和移动波后，当对流层内发生的长波系统移近准定常波位置时，若为脊即可判断加强、稳定以至形成阻塞高压。这种阻高只要在准定常波没有发生衰减时，总表现为稳定或发生替换。但当准定常波衰减时，则对流层阻高表现为西退或连续西退；若为槽则也有类似情况。而当准定常波转变为移动波时，则常与长波的移动相一致，因此可以外推。

三、中期天气过程的研究

中期预报和中期天气过程密切相关。例如长江流域的连阴雨、华西秋雨等，这些天气现象的持续时间很长，有的可长达七天甚至更长些。凡分析造成这种天气现象的大范围环流演变过程以及直接影响天气的系统演变，我们统称为“中期天气过程。”确切地说，中期天气过程也就是研究大气环流在为一月以内的变化。不论人们采取什么研究途径，最终必然要涉及这个问题。影响这种中期天气过程的物理因子极为复杂，既要考虑大气初始流场的影响，又要考虑能源的影响，还要考虑该系统本身的结构和机制，更要研究不同尺度扰动的互相作用。只有逐渐加深对中期天气过程的认识，中期预报才可能有比较牢固的物理基础。但由于这个问题的复杂，不可能一下子全面解决，因此只能采用逐步渐进的办法。近年来对中期天气过程的研究，集中于下列四个方面：

1. 非周期性变化 研究中期天气过程非周期性变化的文献虽有很多，但工作比较深入、进展较快的还是寒潮中期天气过程。这方面的成果集中反映在三北寒潮中期预报研究协作组的工作，及其 1978 年召开的寒潮中期预报经验交流会议上。以后北京大学、中央气象台等研究的结果又证实，认为寒潮的酝酿和爆发有两种主要过程：一类是大家熟悉的倒 Ω 过程。由于两大洋高压脊的发展在极地打通，造成极涡分裂南压，寒潮处于酝酿阶段；以后随着西风带环流的调整，横槽破坏，寒潮爆发。他们又指出，这种寒潮爆发是正压不稳定所致。若从急流角度看，其特点是：高纬东风急流建立，暖空气一侧的急流北跃和锋区风速切变加大。另一类寒潮，是由移动性长波或不稳定小槽发展成为移动性长波槽所造成的。有的提出，大西洋地区西风急流的延伸可起推动作用。根据波谱分析，寒潮酝酿过程中需要有个 2 波持续发展的阶段，而寒潮爆发则常发生在 2 波减弱且 3, 4 波振幅增长的时期。新疆区气象台指出，范围大、强度强的寒潮都伴随着超长波流型由 2 波转 3 波。

科学院大气物理研究所和湖南等南方诸省，对长江流域春季低温阴雨都作了大量工作。他们总结了低温阴雨时的两种环流形势即欧亚阻高型和欧亚平直西风型，并分析其形成过程及结构。在稳定的环流背景下，南北两支急流在青藏高原处反位相及对流层低层浅薄的冷空气是长江中下游春季低温阴雨过程的主要特征。梅雨是另一个中期天气过程，南京大学气象系系统总结了二十年的梅雨预报经验。

新疆、辽宁等省(区)气象台用西风指数做过程预报也有较好的预报时效。

2. 周期性变化 中期天气过程的周期性变化是存在的，因为天气系统特征量的周期变化

是大气环流振荡反映的结果。目前人们特别注意两种周期。一种是一个月左右的周期,主要反映在与中纬度环流经、纬向转换相联系的指数循环。另一种是两周左右的周期,这在一些大气环流参数上和天气过程上反映出来。仇永炎曾利用中纬度 500 毫巴角动量输送值研究大气环流的中期变化,得出准两周振荡的结果;超长波 3 波也有准两周的周期变化,而且是它的主要角色。他还研究了扰动动能波谱和平均动能的周期变化,除得出类似结果外,还指出 3 波在动能增衰中的作用。最近他又研究了一年四季的情况,这都表明大气中存在准两周的变化,而且 3 波在其中起着重要作用。具有丰富预报经验的同志认为,3 波在实际天气图上的反映,可能就是亚欧大陆中部的超长波脊,找出这个脊的准两周变化是很利于中期预报的。关于副高的周期变化,甘肃省气象台发现太平洋副高有 16 天的周期。江苏省气象台对西太平洋副高的周期变化进行了系统分析,并根据副高的动态与中纬度天气系统的关系,得出不同时间尺度的周期及其转变的统计特征。应当指出,用周期性概念作中期预报时要注意其物理基础,否则难于得到预期效果。关于周期振荡动力学的理论研究,过去时起时辍,成效不大,最近这方面的工作又在兴起,如谢义炳的研究已取得新的进展。

3. 天气阶段 在气象站预报业务中,根据要素变化曲线分析,认为天气现象变化存在着阶段性,例如有的阶段天气现象相对稳定,另些阶段则剧烈多变,而天气过程的转折常常发生在天气阶段的开始或结束时期,所以引出了“天气阶段”的概念,并用于中期预报。这种概念类似天气周期,但其特征各阶段并不一定会重复出现,故它又不同于周期性。“天气阶段”的时间尺度往往大于自然周期,甚至长达 20—30 天。这个概念已为专(市)以上气象台所引用。河南延津气象站的中期预报,主要就是依据于“天气阶段”概念。然而单纯依据要素曲线演变,最大困难在于起报日和天气强度的确定。有的台更进一步将要素演变曲线与北半球环流型相互配置,或者根据本地区主导系统(如大尺度的稳定系统)地理位置的变异来划分“天气阶段”。这样做,预报效果将有些改进。

4. 急流 用急流的演变特征,同样可抓住大型环流变化的主要趋势。看来急流不仅与寒潮过程有密切关系,而且在降水过程中也扮演了重要角色。中央气象台的同志指出,急流的南北移动与我国东部雨带位置变化有较好的对应关系。他们发现南支急流的显著减弱常比入梅早出现两个候。宁夏区气象台在讨论低空急流和降水关系时指出,在同一环流背景下,可因低空急流的结构以及物理属性的不同,降水性质也会不同,如有时是暴雨、有时是一般性降水。广东省气象台在讨论急流与超长波、超长波形式之间的关系时认为,各个长波、超长波系统是通过西风急流的分支汇合和南北大幅度移动而互相联系起来的,从而构成了整个北半球的天气型式和演变。新疆区气象台认为西北干旱地区的降水,特别是大降水、暴雨,经常发生在副热带急流控制下。

目前,对急流的研究常停留在与天气现象的关系上,而对急流的演变及其动力条件却研究很少。

四、基本理论数值试验与数值预报方面的研究

用流体动力学方法进行数值预报,是天气预报量化的必然趋势。中期数值预报,七十年代初期已为人们所注意,现在越来越受重视。模式的建立是与对大气环流中期演变规律及其物理机制的认识紧密相关的,当人们对之了解还不够深刻时,要想建立切合实际大气的模式就会感到缺乏可靠的坚实基础。因此,一方面必须加强这种规律和机制的研究,固然基本理论研究、数值试验都是必不可少的,然而常规中期预报更是这方面研究的一个重要组成部

分。另一方面，在建立和试验数值预报模式的过程中，通过实际环流演变的比较，人们将逐步了解哪些动力过程或物理因子对中期过程的演变和转折如何起着重要作用，从而不断修正自己的认识并提高常规预报的能力。可见，数值预报试验同常规预报之间具有相辅相成、相互促进的关系。为此，在从事常规预报和开展环流机制研究的同时，希望在数值预报方面也有较快的进展。

近两年来基本理论上的主要进展：(1) 大气适应过程是研究大气基本动力学的过程，既有理论意义又有十分重要的实践意义。近期曾庆存提出了“旋转适应理论”。按照这个理论，可把大气分为两种过程即旋转适应过程和天气系统演变过程。旋转适应过程系指由行星波和天气系统群所组成的大气环流状态，在地球旋转作用下有趋向于轴对称纬圈环流的趋势。与此相反的过程则为非轴对称环流发展的过程，简单地说就是行星波和闭合涡旋发展的过程亦即演变过程。上面这两种过程在大气中常常交替出现。这个理论还指出，大气在适应过程时非轴对称扰动的能量要被纬圈环流所吸取，需要较长时间才能完成，属于中期（甚至还长一些）演变过程。因而，这是中期过程中一个很重要的机制。为进一步认识这个机制，最近曾庆存等又进行数值试验，其结果表明：波数愈大时适应的天数愈少，而一个位涡度中心要比两个或更多个中心更容易满足旋转适应条件。上述这些结果，大体上与实际天气图上所观测到的事实相符合，总之结果对实际工作很有启示；(2) 地形对东亚大气环流有直接关系。陈秋士关于地形的影响理论已取得有意义的结果，即凸起的山脉与一固定的气旋式流场所起的作用相当，而对温度场的影响则与一固定的暖温度中心相当，这就进一步解释了超长波脊最易在两个大地形之间发生的原因。

在数值试验方面，许有丰等把高度场用双重富氏级数写进两层准地转模式进行试验，证明超长波低压环流和极地高压的发生是由非线性平流作用所造成的，这一结果有助于建立数值预报模式时考虑非线性平流项的作用。

在数值预报模式的试验中已有两方面的工作，一是斜压加正压即接力预报方案，另是用平均图作正压预报。

斜压多层原始方程模式可较为准确地描述大气运动状态，但因固定模式建立过程的微小偏差，一旦时间长了将造成预报结果迅速变坏。为克服这个毛病，中央气象局天气气候研究所接受了日常预报经验（即天气系统斜压发展后常用外推法进行预报），提出接力中期数值预报法（即先用斜压多层模式预报，在 48 小时或 72 小时以后再用正压模式外推，以延长预报时效）。这是一种很可取的方法，其效果好坏关键在于斜压预报时段是否报得好，否则会有累积误差。

平均图可以突出正压过程，并滤掉短波系统。仇永炎等用三天平均图建立正压原始方程作中期数值预报的试验，随后河南省气象台和黄委会也在夏季作了试验，宁夏区气象台进而将其推广到候平均图上。这种用平均资料作为初始场的预报，主要目的是预报长波、超长波形势的演变趋势。由于忽略掉小尺度系统对于大尺度气流的贡献以及不考虑形势变化的小细节，难免不尽完善，但作为趋势预报仍有可能给业务预报提供参考。

尽管这次会上数值预报的文献还不多，但与实际则能紧密结合，如进一步广泛开展这项工作，无疑是有利于建立日常的数值预报业务的。

五、环 流 分 型

多年来，气象业务部门广泛应用环流分型来作中期预报。但由于环流型的转换和持续时

间长短的预报还没有很好解决,所以预报效果一直不能令人满意。因此,单靠分型是解决不了中期预报问题的。然而,在实际业务工作中,人们又不得不用环流分型来概括一些天气过程,寻找相似,以便做好日常预报。事实上,每个有经验的预报员,都有一套自己的分“型”法。这就是环流分型工作二、三十年来不仅没有间断过,而且仍有进展的根本原因。

五十年代初,以章淹的东亚天气分型为开端,而后台站上吸收了自然周期的概念,以影响系统为主导因素,对东亚地区的天气形势图作静态分型,但其预报时效一般较短。六十年代初全国推广了四川汛期中期预报方法,广大县站在收听大台的天气形势广播的基础上,将本站的温压湿要素变化曲线的演变过程进行分型,并与影响系统结合起来制定出“天气过程模式”,主要特点是点面结合的形式和动态,统称为模式指标法。但其着重点是要素演变曲线,因信息量不够,物理原因不清楚,起始点不能确定,所以效果不很理想。随后以新疆和福建省(区)气象台为主,在环流分型的基础上,考虑到影响系统的演变特点再进行分类,其所制定的“天气过程模式”虽具有动态性质,但因分型的形势背景主要是长波,故在实际效益上仍常限于三天或三天之内。

七十年代至今,在环流分型工作方面有以下三个特点:

1. 引入“超长波”,针对重大或灾害性天气系统进行分型 如新疆区气象台用 100 毫巴图对副高和极地涡旋并结合重要天气进行分型。他们根据 50°N 以北的超长波特点将环流分为 2 波、3 波和 4 波三个主型,然后又考虑极地环流特点和超长波槽脊的不同分布再细分为八个副型。

2. 引入“气候背景”进行分型 江苏省气象科学研究所利用天气周期概念以对流层副高为主体进行分型,并结合全年各类天气周期型的配置形式进行分类,再根据多年天气周期的配置情况,以分析某年天气周期转换的可能性。实际上这种办法就是通过分析年度的天气周期型,以了解本年度的天气气候特征。湖北省气象科学研究所对其虽未明确分型,但却论证了季节的变异与未来出现不同类型的天气现象有密切关系。

3. 客观化分型 由于环流分型的主观随意性很大,为便于吸收不同的预报经验,同时又为进一步引用数理统计的中期预报方法提供数据,因而分型的客观化成为必然趋势。中央气象台和总参气象局将统计客观分型与天气学经验结合起来,在实际使用上有一定效果。总之,客观化分型的作用是数理统计学的客观化预报基础,可能发展为天气-统计和动力-统计的一种预报方法。客观化分型也有使用现代数理统计学方法的,如聚类分析、模糊聚类分析等。

六、中期预报的图表、工具和方法

由于中期数值预报尚未投入业务,所以仍以天气学方法为主(使用纯统计学方法作中期预报的极少),其主要工具和图表大致如下:(1) 各类高空图,北半球地面、700, 500, 300, 100 毫巴和赤道图等;(2) 各类时间平均图,三天平均图、候旬平均图、变高图、距平图;(3) 滤波图,长波形势图及余差图;(4) 各类时间剖面图,各种纬圈(40° 或 60°N)高度时间剖面图、地转西风时间剖面图、 60°E 500 毫巴时间剖面图、超长波时间剖面图、锋区特征线演变图、急流位置演变图;(5) 各类演变曲线,西风指数、本站和指标站或关键区的压温湿曲线图(包括三线图、九线图);(6) 根据不同地区对不同纬度的 500 毫巴波谱分析,注意其连续演变(1—3 波或 1—6 波)。

上述图表或工具,并非每个台站都必须具备的,可根据自己的经验选择几种。根据中期天气过程的特点,作为中期预报工具,应基本反映指数循环、超长波、长波、急流和天气气

候背景等五个方面。当前使用的这些图表和工具主要是天气学方面的，也有借用长期预报方法的观点和思路，如韵律、阴阳历迭加、相关和相似等方法，然后进行综合分析作出中期预报。在省(区)一级气象台已逐步形成一种中期预报的工作程序：第一步分析天气气候背景和季节转换；第二步分析大尺度环流形势和锋区(急流)演变特点，以确定未来形势是否稳定或转换。若在经向型条件下，常可用短期预报的思路(如上游效应和引导系统等概念)，结合分析超长波演变特点，使用统计指标以判断维持或转换。若在纬向型条件下，则注意判断其是否转为经向以及槽脊、强西风或急流轴的地理位置能否会发生很大变动；第三步主要判断长波或超长波到达的日期，即分析不同尺度系统的相互关系，以确定过程的长短；第四步，根据预报经验确定天气的种类和强度。

经验表明三天平均图更容易抓住中期天气过程的主要特征；而改进后的长波形势图，可较清楚地表达长波、超长波的形势。另外，安徽省气象台的“6.5”剖面图和黑龙江省气象台的超长波时间剖面图，都在总结影响当地主要天气系统预报经验的基础上建立起来的。所以中期预报的图表和工具(包括新建的)，也都要进行比较深入的研究和实践才富有生命力。

七、展 望

已积累的大量中期天气过程事实，为大型环流变化的理论研究提供了丰富的内容。尽管当前仍以天气学为主，但在天气动力、动力统计、数值试验和数值预报等方面都出现了可喜的苗头，在理论研究上也有了较大进展。然而中期预报毕竟是个复杂的问题，不能一下子就解决，只能分阶段进行。今后几年内需要进一步做好以下几方面的工作：

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。当前我们对长波、超长波和环流指数等的转换、突变的物理过程了解得不多，因而要从不同尺度扰动的相互作用、平流层与对流层的相互关系、下垫面的加热与动力过程的关系以及中期天气过程中能量转换、汇集和释放等入手，应用各种手段和新技术，从天气-统计、动力-统计、天气动力等方面搞清中期天气过程的物理机制和原因。

2. 积极开展数值试验，逐步建立中期数值预报业务。中期数值预报和大气环流数值试验在国外已引起广泛的注意，先进的国家正在试图建立中期数值预报业务。我们要赶超国外水平，不能满足已知的“模式”，要建立自己应用有效的中期数值预报模式。为解决这样关键性问题，必须结合我国地形和海陆分布等特点积极开展数值试验，弄清中期天气过程的主要物理原因，为建立与中期天气过程物理机制相适应的中期数值预报模式提供充分的依据。

总之，我们在加速发展常规预报方法的同时，也要积极开展数值预报研究工作并使其早日投入业务使用。也许有人要问，在广泛使用数值预报后，那常规预报方法还要不要呢？我们认为在相当长一段时间内不仅不能取消反而越会加强，因为天气学、统计学的研究不但可以加深对中期天气过程的认识，并能改进中期数值预报模式。而数值预报则能验证人们对大气过程的认识，以提高常规预报的能力。所以两者是相辅相成、相互促进的。今后预报员应在熟悉模式的基础上，不断积累和总结数值预报业务使用的经验，积极研究天气形势与天气现象的联系，才能为将来开展 MOS 方法做好充分准备。

3. 加强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应用；另外，对已经了解到的中期天气

过程物理因子尚无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深入的了解，必有更多新的预报工具和方法将建立与使用。

回顾过去，展望未来，只要我们在现有的基础上，继续破除迷信、解放思想，努力学习和掌握新的科学技术，更加扎扎实实向前迈进，可以相信中期预报定会出现新的先进水平，为实现气象科学技术的现代化作出贡献。

半球旋转适应过程的数值试验

曾庆存 袁重光 李荣凤

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

为了验证文献[1]和[2]中提出的全球面大气的旋转适应过程理论, 本文将理论化为半球问题时的情况, 并作了大量数值试验, 结果和理论分析完全相符: 当半球上只有一个位涡度中心时, 流场趋向于带状纬圈环流; 若有两个或多个中心存在时, 所有位涡度中心都始终存在, 流场不趋向于带状纬圈环流。数值试验还给出低指数环流向高指数环流转变时期的流场结构一般特点, 并给出旋转适应过程的特征时间依赖于扰动尺度, 一般为四天至半个月左右。

一、旋转适应过程

在大气环流的中长期演变过程中, 各种天气系统的相互作用, 或即各种尺度运动的非线性相互作用起着很重要的作用。我们曾指出:^[1,2]在这种非线性相互作用过程中, 科氏力、重力和大气具有一定的可压缩性是最基本的因子。此外, 地球的几何特性(球面、科氏参数随纬圈而变)也有很重要的影响。由此决定了行星尺度的大气运动在水平方向不具有各向同性。当有非带状扰动存在时(行星波), 纬圈上波数 m 较大的运动能量能够不断地向波数 m 较小的运动以至于带状环流转移, 从而使大气运动有恢复到带状环流的趋势。在文献[1]和[2]中我们还指出, 在满足一定条件时, 上述能量转移的方向可以一直维持下去, 于是运动最终趋向于带状环流状态, 即和地球旋转状态相适应, 因此我们称之为“旋转适应过程”。但在另外一些条件下, 上述能量转移的方向只能在一定阶段内维持, 这时将会有“指数循环”现象发生, 没有完全的旋转适应。这些条件我们已经找到, 在定性上它们可以解释一些最主要的中长期演变过程, 和实际经验也是一致的。

必须指出: 旋转适应过程的理论研究是一项大气动力学基本理论研究工作, 其中假设大气是理想流体, 没有热源以及粘性和摩擦消耗, 还假定地球表面为球面, 不考虑地形影响, 而在实际大气中, 上述诸因子的作用都是重要的。因此, 关于旋转适应过程的理论不可能和实况完全一致, 利用实际资料只可能在一定阶段上和一定程度上验证理论结果的可靠性。然而非线性相互作用以及旋转适应过程的理论研究, 可以使我们从动力学方面认识中长期演变过程的机理, 毫无疑问, 这种机理分析得愈清楚愈透彻就愈好。因此, 在本文中我们将用数值试验的方法进一步验证文献[1]和[2]的理论分析结果, 同时还可获得关于旋转适应过程具体和细致的形象, 得到一些单由理论分析难于得到的定量结果。

为方便起见, 我们首先利用已有一些半球范围的正压大气数值模式做数值试验, 下一步再拟作全球范围的试验。对于半球问题, 我们假设大气运动状态对赤道具有对称性或反对称性, 因此, 单就半球范围来说, 文献[1]和[2]中的陈述应加以相应的改变, 以正压大气为例, 对于半球问题应有:

在以赤道为界的半球面上的二维可压缩流体中, 若无能源流入和无粘性消耗, 则在科氏

力场作用下, 如果初始扰动的位涡度等值线只有一个中心, 且在赤道上纬向风速 v_λ 和位势高度 ϕ 不依赖于经度 λ , 则流场最终趋向于带状纬圈环流状态; 如果有两个或两个以上的位涡度中心, 则必不趋向于带状纬圈环流状态。

证明方法基本上和文献[2]相同, 只需作相应的改变即可。由于在文献[2]中推导过于简略, 我们这里仍将给出本问题证明的全过程, 所用符号仍和文献[2]相同。不妨取为北半球, 设位涡度 $\mathcal{Q}_\theta$ 最大值(记作 $\mathcal{Q}_{\theta A}$)位于点 $A(\theta_a, \lambda_a)$, 除此之外再无极值点, 赤道为一流线, 经向速度 $v_\theta(\theta = \frac{\pi}{2}) = 0$, 在赤道上 v_λ 和 ϕ 不依赖于 λ 时, 就有 $v_\lambda(\theta = \frac{\pi}{2})$ 不随时间而变, 且赤道为一 $\mathcal{Q}_\theta$ 等值线, 记作 $\mathcal{Q}_{\theta B}$ 。由于 $\mathcal{Q}_\theta$ 为保守量, 再考虑到质量守恒定律, 就可推知: 在两等值线 $\mathcal{Q}_{\theta B}$ 和 $\mathcal{Q}_\theta$ 之间的大气质量 $2\pi g^{-1}n_0$ 亦为不变量, 只是 $\mathcal{Q}_\theta$ 的函数。当给定了初始场之后, $n_0(\mathcal{Q}_\theta)$ 就是 $\mathcal{Q}_\theta$ 的已知函数。此外, 在 $\mathcal{Q}_\theta$ 只有一个极值点的情况下, n_0 是 $\mathcal{Q}_\theta$ 的单增函数。反过来说也对, 即 $\mathcal{Q}_\theta$ 是 n_0 的单增函数, 函数形式亦由初始场完全决定。设趋于平衡时, 具有位涡度 $\mathcal{Q}_\theta$ 的质点线位于 $x = \cos \theta$ 上 (θ 为余纬), 其自由表面的重力位势为 $\phi(x)$, 于是 n_0 和 $\mathcal{Q}_\theta$ 为 x 的单增函数, 作为 x 的函数分别记作 $n_0(x)$ 和 $\mathcal{Q}_\theta(x)$ 。且有 $\mathcal{Q}_\theta(1) = \mathcal{Q}_{\theta A}$, $\mathcal{Q}_\theta(0) = \mathcal{Q}_{\theta B}$; $n_0(0) = 0$, $n_0(1) = N_0/2\pi$ (N_0 为常数, 详见下)。按上述定义, 显然有

$$a^2 \phi(x) = \frac{dn_0(x)}{dx} \quad (1)$$

$$\int_0^x a^2 \phi(x') dx' = n_0(x) \quad (2)$$

按总质量守恒性, 即知

$$n_0(1) = \frac{N_0}{2\pi} = \int_0^1 a^2 \phi(x) dx = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} a^2 \phi_0(\theta_0, \lambda_0) \sin \theta_0 d\theta_0 d\lambda_0 \quad (3)$$

其中 $\phi_0(\theta_0, \lambda_0)$ 记初始位势分布。

其次, 在平衡时 $\phi(x)$ 和纬向速度 $v_\lambda(x)$ 满足地转风关系

$$-\frac{\partial \phi'}{a \partial \theta} + 2\omega \cos \theta v_\lambda = 0 \quad (4)$$

引入角动量 $M(x) \equiv a v_\lambda(x) \sin \theta$, 由(4)即得

$$a^2 \phi(x) - a^2 \phi(0) = - \int_0^x \frac{x'}{1-x'^2} 2\omega a^2 M(x') dx' \quad (5)$$

常数 $\phi(0)$ 由总质量守恒定出, 于是有

$$a^2 \phi(x) = \mathcal{L}(M) + \frac{N_0}{2\pi} \quad (6)$$

$$\mathcal{L}(M) = - \int_0^1 G(x, x') 2a^2 \omega M(x') dx'$$

$$G(x, x') = \begin{cases} \frac{x'^2}{1-x'^2} & (0 \leq x' < x) \\ \frac{x'(x'-1)}{1-x'^2} & (x < x' < 1) \end{cases}$$

此外, 在平衡时角动量 $M(x)$ 和位涡度 $\mathcal{Q}_\theta(x)$ 有以下关系式

$$\mathcal{Q}_\theta = - \frac{1}{a^2 \phi} \frac{d}{dx} [M(x) + a^2 \omega (1-x^2)] \quad (7)$$

将(1)代入(7), 沿 x 积分, 并注意到 $M(1) = 0$, 就有

$$M(x) + a^2\omega(1-x^2) = - \int_{N_0/2\pi}^{n_0(x)} \mathcal{Q}_\theta(n_0) dn_0 \equiv \mathcal{M}[n_0(x)] \quad (8)$$

要注意, 在赤道上流体质点的角动量应为不变量, 记作 M_0 , 它由初始速度 $v_\lambda(\theta = \frac{\pi}{2})$ 决定。故(8)还应满足

$$M_0 + a^2\omega = - \int_{N_0/2\pi}^0 \mathcal{Q}_\theta(n_0) dn_0 \quad (9)$$

今用(1), 将上式的积分换元为 x , 就有

$$M_0 + a^2\omega = \int_0^1 \mathcal{Q}_\theta a^2 \phi(x) dx \quad (9)'$$

由于总位涡度守恒, 故上式右端等于半球上初始总位涡度, 而它正好就是 $M_0 + a^2\omega$, 故(9)'成立, 从而(9)成立。

将(8)代入(6), 再代入(2), 最终得到

$$n_0(x) = \int_0^x \mathcal{L} \mathcal{M}[n_0(x')] dx - \int_0^x \mathcal{L}[a^2\omega(1-x'^2)] dx + \frac{N_0}{2\pi} x \quad (10)$$

这是关于 $n_0(x)$ 的第二类 Volterra 积分方程。给定了由初始场决定的函数 $\mathcal{Q}_\theta(n_0)$, 就可唯一地确定出一个函数 $n_0(x)$, 由此, 再按(1)和(8)决定 $\phi(x)$ 和 $M(x)$, 最终的带状环流状态就被确定。这里还要注意的是 $n_0(x)$ 必须满足条件 $n_0(1) = N_0/2\pi$, 其实, 按(10), 取 $x=1$ 并注意到

$$\int_0^1 \mathcal{L} \mathcal{M}[n_0(x')] dx = \int_0^1 \mathcal{L}[a^2\omega(1-x'^2)] dx = 0$$

对于任意的 $\mathcal{M}[n_0(x')]$ 均成立, 故由(10)可自动推知 $n_0(1) = N_0/2\pi$ 成立。

在存在旋转适应过程的条件中, 和全球面问题不同, 在半球问题中不必用到“初始扰动的总位涡度为零”这一附加条件。

当在半球上有两个或两个以上位涡中心时, 运动不趋向于带状环流, 其论证和文献[2]完全相同。

二、计 算 格 式

利用地图投影坐标, 取正方形区域, 作正方形网格 (x_i, y_j) , $(i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, J)$, 设空间步长为 $\delta x = \delta y = \delta s$, 时间步长为 δt 。我们使用下述灵活性差分格式:

$$\left(\frac{\delta_i^+ H^* u}{\delta t} \right)_{i,j} + \alpha D_{i,j}(\mathbf{W}^* \bar{u}) = \beta \left[-\bar{H}^* M \frac{\delta_g \bar{H}^*}{\delta x} + \bar{H}^* \bar{f}^* \bar{v}^{**} \right]_{i,j} \quad (11)$$

$$\left(\frac{\delta_i^+ H^* v}{\delta t} \right)_{i,j} + \alpha D_{i,j}(\mathbf{W}^* \bar{v}) = \beta \left[-\bar{H}^* N \frac{\delta_g \bar{H}^*}{\delta y} - \bar{H}^* \bar{f}^* \bar{u}^{**} \right]_{i,j} \quad (12)$$

$$\left(\frac{\delta_i^+ H}{\delta t} \right)_{i,j} + \alpha D_{i,j}(\mathbf{W}^*) = 0 \quad (13)$$

其中算子 $\delta_i^+/\delta t$ 等定义如下:

$$\left(\frac{\delta_i^+ F}{\delta t} \right)_{i,j} \equiv \frac{F(x_i, y_j, t_{n+1}) - F(x_i, y_j, t_n)}{\delta t}$$

$$\bar{F}_{i,j} \equiv \frac{1}{2} [F(x_i, y_j, t_{n+1}) + F(x_i, y_j, t_n)]$$

$$D_{i,j}(\mathbf{W}^* F) \equiv (MN)_{i,j} \left[\frac{\partial U^* F}{\partial x} + \frac{\partial V^* F}{\partial y} \right]_{i,j}$$

$$U^* = \frac{\bar{H}^*}{N} \bar{u}^*, \quad V^* = \frac{\bar{H}^*}{M} \bar{v}^*$$

$\delta/\delta x$ 及 $\delta/\delta y$ 在区域内点表中央差分，在边界上相应的差分为单向差分。而 $\partial/\partial x, \partial/\partial y$ 在内点表另一种中央差

$$\left(\frac{\partial U^* F}{\partial x}\right)_{i,j} = \frac{1}{4\delta x} [(U_{i+1,j}^* + U_{i,j}^*)(F_{i+1,j} + F_{i,j}) - (U_{i,j}^* + U_{i-1,j}^*)(F_{i,j} + F_{i-1,j})]$$

$$\left(\frac{\partial V^* F}{\partial y}\right)_{i,j} = \frac{1}{4\delta y} [(V_{i,j+1}^* + V_{i,j}^*)(F_{i,j+1} + F_{i,j}) - (V_{i,j}^* + V_{i,j-1}^*)(F_{i,j} + F_{i,j-1})]$$

在边界点为相应的单向差分

$$\left(\frac{\partial U^* F}{\partial x}\right)_{1,j} = \frac{1}{2\delta x} [(U_{1,j}^* + U_{2,j}^*)(F_{1,j} + F_{2,j}) - 4U_{1,j}^* F_{1,j}]$$

$$\left(\frac{\partial V^* F}{\partial y}\right)_{i,J} = \frac{1}{2\delta y} [4V_{i,J}^* F_{i,J} - (V_{i,J-1}^* + V_{i,J}^*)(F_{i,J-1} + F_{i,J})]$$

M, N 为地图投影放大倍数，(我们这里取极射赤面投影， $M=N$)， F^* 和 F^{**} 表 F 沿空间的某种光滑处理，(也可取作 $F^*=F$)， α 和 β 为一些“灵活性常数”，(在一般差分格式中取 $\alpha=\beta=1$)， $\tilde{f}$ 为折合科氏参数。

在刚壁条件下，(11)–(13)保持总质量守恒、总动量无虚源，并具有广义能量守恒性，即

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \varepsilon_i \varepsilon_j \delta x \delta y \left\{ (MN)^{-1} \left[\bar{H}^* \frac{\delta_i^+}{\delta t} \left(\frac{u^2 + v^2}{2} \right) + \frac{\delta_i^+}{\delta t} \left(\beta \frac{gH^*}{2} \right)^2 + \left(\frac{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}{2} \right) \frac{\delta_i^+}{\delta t} H^* \right] \right\}_{i,j} = 0 \quad (14)$$

其中 ε_i 和 ε_j 在内点为 1，在相应的边界上为 1/2， $\varepsilon_i \varepsilon_j (MN)^{-1} \delta x \delta y$ 就是网格单元的面积。由(14)可见，(11)–(13)保证有计算稳定性，可作长时间的计算，我们已用来作过多种数值试验，也利用实际天气图作过预报试验，结果都是好的。用它来作旋转适应过程的数值试验，有时要作长达一个月以上的“预报”，结果仍然是良好的。

上述格式就是文献[3]中格式在正压大气情况下的具体形式。我们曾利用它作地转适应过程的数值试验，也得到良好的结果^[4]。

格式(11)–(13)还可作更灵活的处理，我们在作旋转适应过程的数值试验时也使用过这些不同方案，结果同样是良好的(这些方案从略)。

为了比较，我们同时利用准地转模式作了数值试验，取同样的网格距 δ_s 和同样的区域。差分格式取作

$$\left(\frac{\delta_i^+ \mathcal{Q}_\theta}{\delta t}\right)_{i,j} + M_{i,j} \alpha \left(\bar{u}^* \frac{\partial \bar{\mathcal{Q}}_\theta}{\partial x} + \bar{v}^* \frac{\partial \bar{\mathcal{Q}}_\theta}{\partial y} \right)_{i,j} = 0 \quad (15)$$

$$(\mathcal{Q}_\theta)_{i,j} \equiv M_{i,j}^2 (\delta_s)^{-2} \Delta_{i,j} \Psi + f_{i,j} - \mu^2 \Psi_{i,j}$$

$$u_{i,j}^* \equiv \left(-M \frac{\partial \Psi}{\partial y} \right)_{i,j}^*, \quad v_{i,j}^* \equiv \left(M \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right)_{i,j}^*$$

其中 Ψ 为流函数($\Psi \equiv f^{-1}\phi$)， Δ 为拉氏算子的差分形式， $M_{i,j}$ 为地图投影放大系数， $\mu^2 = f_0^2 a^2 / c_0^2$ 为常数， α 为灵活性参数，其余符号与(11)–(13)相同。格式(15)保证总位涡度平方($\mathcal{Q}_\theta^2$)守恒，计算也是稳定的。