

# 欧洲中期天气预报中心(ECMWF) 的中期天气预报业务

L. Bengtsson

## 一、前言

ECMWF(以下简称中心)的第一个业务模式是网格点模式,分辨率为经、纬向 $1.875^\circ$ ,垂直方向15层,于1979年8月1日开始做每周5天的业务预报,从1980年8月1日起开始做每周7天的业务预报。第二个业务模式是一个谱模式,于1983年4月21日投入业务使用。

本文所要介绍的是中心研制的大气环流模式,它用于日常数值预报业务,同时介绍它所用的资料同化系统,并概括介绍该中心数值预报的发展前景。

## 二、ECMWF 预报系统的概况

### 1. 计算机系统

ECMWF的第一代计算机系统是以Cray 1-A为主机,其速度为50 MIPS(每秒兆个指令执行数),目前已在此基础上升级为第二代计算机系统(详细情况见表1)。现用的主机Cray X-MP是一个超级科学计算用的计算机(运算速度约为Cray 1-A的3—5倍),通过一台专用的入口计算机Cyber 815与高速数据环路(松散联接网路,简称为LCN)相连,还将直接或通过高速数据环路与两个前端处理机Cyber 835和Cyber 855相连,高速数据环路上还连有处理图象的小型机VAX 11/750和作数据处理、存档用的IBM 4341。中心内部与此系统的通讯是经由Gandalf PACX IV接入两个前端处理机,外部与系统的通讯则经由RC 8000接入前

端处理机。中心通过RC 8000计算机接收全球电信系统(经由区域通信枢纽布赖克内尔和奥芬巴赫)的观测资料,同时把它的分析和预报产品发送给ECMWF成员国的各用户。这些用户每天接收中心的产品约8000种,一种产品系指某一个地区(如欧洲某地区)某一时段(如240小时预报)某一层(如500毫巴)的某一参数(如位势高度),同时还将一部分产品通过全球电信系统发送给全球各地的用户。

表1 ECMWF计算机系统的情况

计算机型	内 存	磁盘或磁带存贮量
Cray X-MP	16兆字节 128兆字节(固态存贮设备)	15个磁盘 67亿字节
Cyber835	512K字(字长60比特) 大约为4兆字节	26个磁盘 107亿字节
Cyber855	512K字(字长60比特) 大约为4兆字节	10个磁带机
IBM4341	4兆字节	10个磁盘125亿字节 可拆装磁盘355亿字节 6个磁带机
Vax	6兆字节	2.6亿字节磁盘 1个磁带机
RC8000	384千字节	0.66亿字节磁盘 1个磁带机

### 2. 业务预报系统

按照目前的业务工作日程表,中心每天做一次以当天1200时分析为起点的1—10天的预报,再没有其它任何业务预报了。图1大致说明了资料同化和预报业务的循环过程,在每天大约1700时,采用前一天1800时

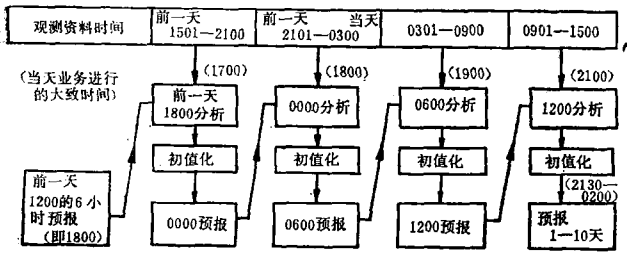


图 1 业务工作中资料同化和预报制作周期图

刻的分析,并提供 0000 时刻分析 (每天大约 1800 时进行)的第一猜值。用同样的方法进行 0600 时和 1200 时的分析,最后的一次分析具有一个大约 9 小时的资料切断时间。正是按照这样的分析做出预报,10 天时限的预报一般是在每天的 0200 时完成。

### 三、模式的简要介绍

ECMWF 业务预报的第一阶段选用的数值模式为网格点模式,从 1979 年 9 月至 1983 年 4 月一直用于业务。有限差分方案用参数的跳点法,即所谓 C-格点 (Arakawa 和 Lamb, 1977),之所以选用 C-格点是由于它的计算噪音低且易于半隐式时间方案,同时也为了当水平气流引起涡度平流时使位势涡度拟能保持守恒 (Sadourny, 1975, Burridge, 1979)。

在计算能力允许情况下,选用的垂直和水平分辨率能合理地描述主要的大尺度斜压和正压不稳定性、平流层某些特性及显式边界层结构。参数化方案 (Tiedtke 等, 1979) 描述了中期天气过程中被认为是重要的一些相互作用,包括一个完整的水分循环、各种湍流通量的比较详细描述以及辐射与模式计算的云之间相互作用。图 2 给出了不同物理过程之间的极其复杂的相互作用。该业务模式的水平分辨率为  $1.875^\circ$  经、纬度,垂直方向为 15 层。

1983 年 4 月将一个新的全球模式引入业务使用,它与第一个模式的主要不同处是:新模式中绝热过程的描述在水平方向使用了谱表达,以及使用了更通用的垂直坐标;并采用

一个经过修改的更有效的时间步处理方案;还引入了一个新的地形处理方法,其中包括对次网格尺度 (包络地形) 的特殊处理。而参数化方案与第一个模式基本相同,图 3 大致说明新模式的特点。

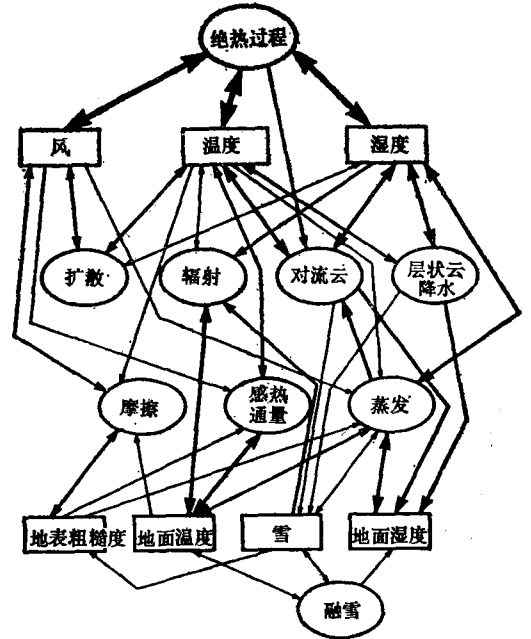


图 2 ECMWF 模式里物理过程间的关系。椭圆形者表示物理过程,矩形的为模式变量,粗箭头定性地表示重要关系

#### 1. 谱方法的完善

模式所用谱变换的数学公式基本上与 Bourke (1974)、Hoskins 和 Simmons (1975) 以及 Baede 等 (1979) 的多层谱模式相同,使用了涡度和辐散作为预报参量。在变换为谱空间之前,应用温度 ( $T$ ) 和湿度 ( $q$ ) 水平梯度的格点值计算出温度和湿度方程的显式格点倾向值。

使用这种公式以及一种能给出前一个时间步及当前时间步预报参量格点值的数据扫描结构,就可以得出与模式原来的程序结构相同的一个通用程序。这样,只要对格点空间进行一次扫描就能计算出全部绝热和参数化过程产生的倾向值,即用一个显式时间步计算出降水和潜热释放所需的新时间-层次

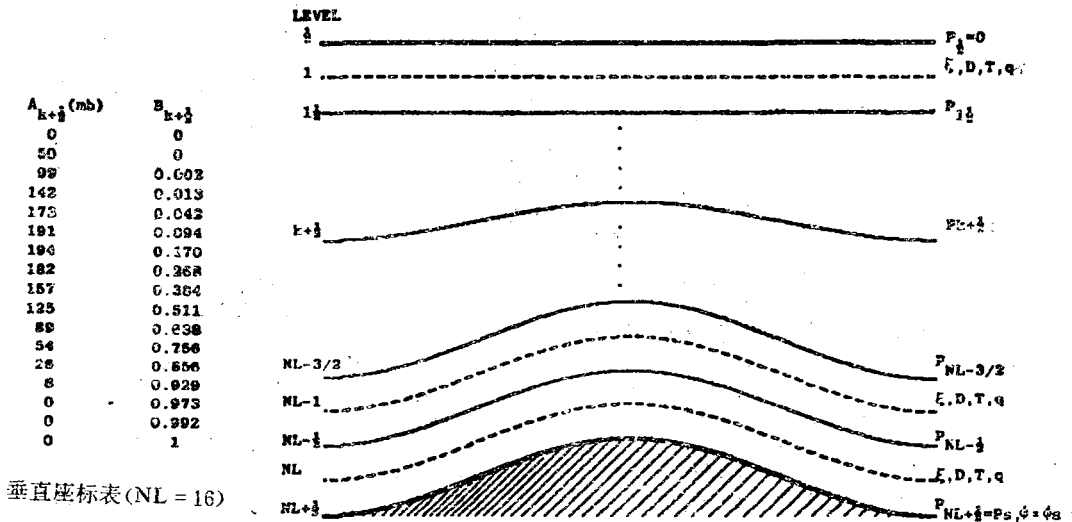


图 3 ECMWF 业务谱模式的特性

值。接着用半隐式时间步方案作为下一个订正因子计算格点值，并在适当的时候转变为傅里叶空间或谱空间。这样就为主机进行动力学和物理学计算时提供一个比较简单的程序结构，且便于提供诊断。

除完善了这方面的谱方法外，还值得一提的是计算的效率和灵活性。南、北半球各纬度的格点和傅里叶空间是交替计算的，这样就能使用赤道对称和非对称傅里叶分量更有效地计算勒让德变换。谱展开的水平截断是非常灵活的，既可使用某种通用截断方法，也可使用专用于某些研究的比较特殊的截断方法。在垂直方向上截断也是可以改变的。在靠近两极的纬圈上，为了能用比二次项无混淆计算所需点数更少，研制了一些方法，但还需进一步试验。此外，已对模式本身进行公式化处理，可以使用不同的数据扫描结构。这种做法提供了一种选择可能，即在模式对主存的要求与对包括二级存储设备(外存)的输出输入的要求之间进行选择，同时提供了进行高分辨率试验及有效地使用现有计算资源的可能性。

程序是用非常灵活的方式书写的，可以改变分辨率和表达方法(三角形截断或长菱

形截断)。业务上采用的截断方法是波数 63 的三角形截断。物理空间计算是在有规律排列于每一“高斯”纬度(共 96 个)上的 192 点上进行的。

### 2. 垂直坐标

新模式中垂直有限差分公式的表达方法如 Simmons 和 Strüfing(1981)所介绍，与以前中心的一些模式几乎没有差别，但设计成可以使用更通用的垂直坐标。新模式能使用任何一种坐标，为此模式的各层由界面气压定义，其表达形式为：

$$P_{k+1/2} = A_{k+1/2} + B_{k+1/2} P_s$$

其中， $k=0,1,2,\dots,N$ ， $P_s$  为地面气压， $N$  是模式的层数， $A_{k+1/2}$  和  $B_{k+1/2}$  为常数，它们应满足下式：

$$A_{1/2} = B_{1/2} = 0; A_{N+1/2} = 0, B_{N+1/2} = 1$$

中心以前所用模式采用的传统  $\sigma$  坐标就是  $A_{k+1/2} = 0$  (对所有  $k$  来说)的一种特例。

Simmons 和 Strüfing (1981) 讨论了使用“混合”垂直坐标的许多优点，这种混合垂直坐标在近地面类似于普通  $\sigma$  坐标，但在平流层的各层次上，它可以平稳地变为气压坐标 ( $B_{k+1/2} = 0$ )。这种坐标已用于新模式中。

模式分 16 层, 与以前业务模式的 15 个层次相比较, 增加的这一层在地面附近, 以使这一区域有比较连贯的有限差分方案, Simmons (1983) 曾经讨论过这一问题。

特别需要指出的是, 通过对涡度和水汽平流进行半隐式处理, 和对均匀的纬向风引起的平流做线性化处理, 可以把时间步增加 25—50%。

### 3. 辐射和云

对辐射进行参数化处理中, 着重考虑的是在较小时间尺度上对气流最有影响的那些过程, 因此, 给予云-气溶胶效应以很高的优先度。在目前所用处理辐射的程序中, 气体吸收与其它作用 (如雷利散射和由云和气溶胶产生的散射和吸收) 相比, 考虑为一个扰动项。计算了 5 个谱段的辐射通量, 2 个在谱的短波部分 (太阳辐射), 3 个在谱的长波部分 (大地辐射)。还考虑了水汽、臭氧、 $\text{CO}_2$  及某些气溶胶的效应。更详细的请参见 Geleyn 和 Holling Sworth (1979) 的文章。

模式中的云量, 根据一些经验关系处理为格点尺度的相对湿度和高度的函数, 一般说来, 当边界层没有薄的层云时, 锋面云系的预报很不错, 否则就差些。应用 1975 年 6 月—1976 年 5 月的 NOAA-ERB 卫星资料 (Winston 等, 1979) 计算了求取太阳辐射所需的地面反照率, 再根据逐日分析的地面雪盖 (因此可作为初始状态) 进行订正。在积分过程中 (降雪和融雪时) 还可以改变地面反照率。目前这一方案的严重缺陷是, 当云量和气溶胶很小时, 估算的效应却很大。现正对另一种方法, 即指数和拟合 (exponential sum fitting 缩写为 ESFT) 法则进行评价。ESFT 方案使目前业务方案中的对流层中层冷却趋势稍有减小。

目前使用的模式没有日变化, 计划在 1984 年 3 月予以解决。除了在边界层外, 预报或模拟的大尺度效应是很小的。

### 4. 行星边界层

边界层各通量是根据 Monin-Obukov

相似理论计算的, 这一理论假定: 内能和风的梯度是稳定度参数 (已有定义) 的一般函数, 或经验地予以确定。除最低层以外, 湍流垂直通量可以用涡动扩散率与由显式求解得到各种场的垂直梯度之乘积来表示。扩散率取决于由理查逊数和粗糙度长度所决定的局地稳定度, 并使用了一个在自由大气中不为零的混合长。稳定度函数 (一种是稳定层结, 一种是不稳定层结) 的解析形式由 Louis 提供的资料 (1979) 确定。各种标准化的阻力系数按下述方法确定: 当理查逊数为正值 (稳定气流) 时, 热力阻力系数小于动量阻力系数; 当理查逊数为负值时 (不稳定气流), 前者大于后者。

陆地上的粗糙度长度是变化的, 它取决于次网格尺度地形因子。在海上, 粗糙度长度用 Charnock 公式求出。

### 5. 湿对流

业务模式中所用的积云对流方案是以 Kuo (1974) 方案为基础, 对流的产生不仅取决于不稳定递减率的存在, 并且取决于大尺度气流和地面通量引起的净水汽辐合是否存在。定义了一个专用的参数  $b$ , 它能说明可用于云中凝结 (因此使大气增温) 的水汽份数。剩余部分即  $1-b$  用于使周围空气变湿。ECMWF 模式使用的  $b$  参数是 Anthes (1977) 提出的。由于参数  $b$  与周围空气的平均相对湿度具有线性关系, 因此使周围空气变湿的作用, 在干空气中比在湿空气中要大。所以, 如果空气很干燥, 只有极少的潜热释放产生。对流可以从边界层开始, 也可以从自由大气中任一层开始。考虑了对流性降雨中的蒸发, 并按 Kessler (1969) 提出的方法处理。热带数值试验已表明, 它对于参数  $b$  的一定值非常敏感。

中心一直在进行的研究工作主要有研制和测试用于深、浅对流的不同参数化方案, 其中包括 Arakawa-Schubert 方案 (1974)。

### 6. 非对流参数化方案

非对流降水的处理在整个参数化方案中

似乎是比较简单的。总是在计算了其它物理学和动力学过程以后再计算它（上述这些过程会改变温度和水汽含量），通常要考虑有足够的水汽凝结（及有关的潜热释放），以保持相对湿度低于一个固定的阈值（其值为100%）。

### 7. 各种地面值

地面热量、水汽和动量通量的计算中要用到的，能表示陆地表面特性的许多要素（温度、水汽和反照率（雪盖））的变化都作了计算。应用天气尺度观测值分析雪盖的初始值，根据降水测值估算的土壤湿度，模式所预报的降水还要根据低层温度以判断是雨或雪，同时还考虑了融雪（它又影响地面温度）、径流及由蒸发引起的变化。地面粗糙度随地形、植被和都市化的不同而变化，而在海上它主要取决于海面风应力。

还使用了通过全球通信系统从华盛顿世界气象中心获得的海面温度分析值；在整个业务预报过程中，上述分析值保持不变。对于较长时段的积分，海面温度及土壤深层湿度都应按气候条件不同而给以不同值，或者说它们是预先规定的。

## 四、资料同化系统

图4中大致说明了该中心的资料同化系统。把1000—30 mb的全球大气分为15层，逐层进行分析，每天4次。资料同化的步骤是求出第一猜值（它是根据前一个初始状态作出6小时预报），再使用前后各3小时时段内所有可用测值进行分析，最后使用一个叫作非线性正规波型进行初始化处理。初始化以后，连续进行时段为6小时的积分，这一过程重复进行，参见图1。各种时限的数值预报皆可从任何一个初始状态开始。

### 1. 质量场和风场的分析

分析方法是在最佳内插法（Gandin, 1963）基础上扩展而成，它是实测值对预报场偏差的多元三维内插（Lorenz, 1981）。这一方法允许统一使用具有不同误差特性的测

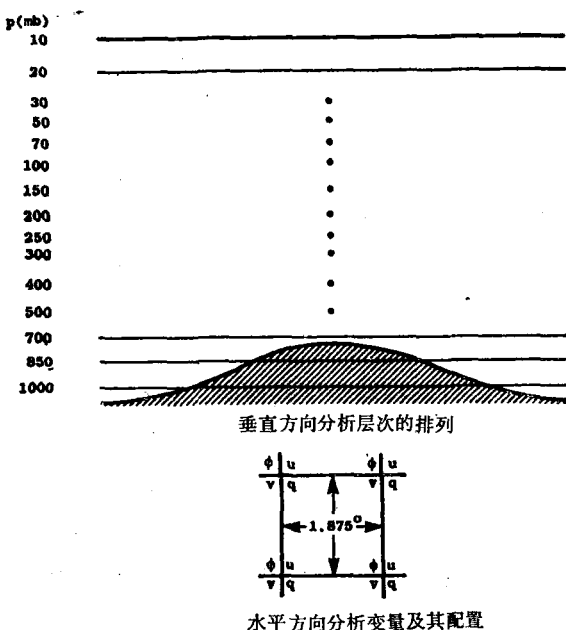


图4 ECMWF资料同化系统的特性

值，并考虑了它们的空间分布。因此，最佳内插法是现有各种不同观测系统的测值，混合使用进行正确分析的有效而方便的手段。但必须对被分析的要素场的每个测值的精度和误差方差做出规定。

ECMWF分析方案的一个重要特点在于资料的选择体制及用最佳内插法求解内插方程。这一方案是适应向量处理计算机而设计的，特别适于对大的线性方程组高效求解。因此，该中心的方案可用高达100—200阶的大方程组，尽可能发挥了多元三维统计分析方法的潜力。因为可容纳大量数据才可以包括多层大气的高度、风和厚度资料。例如，只要对资料进行三维应用，就可以使地面气压测值、卫星温度探测资料及根据云移动测定到的风资料得到最佳应用。

对于用于分析的资料，为了识别并排除其中的错误观测值，要对资料进行几种测试，检测方法非常灵活、多种多样，作为测试结果的副产品，该中心可以对世界天气监测网的全球观测系统进行的观测结果加以质量检测。

已进行很大努力计算业务预报的精确的误差协方差；这些新的协方差很快将引入业

务使用。

## 2. 正规波型初始化

如果把分析过的资料直接用作预报的初始条件,则质量场与风场之间的不平衡,甚至是很小的不平衡,都会使预报受到比真实大气中测得的、振幅大得多的虚假高频重力波振荡的干扰。虽然由于模式各种耗散机制会使这些振荡慢慢消失,但可能对该分析周期产生极有害的影响,因这个周期的6小时预报又用作下一个分析周期的第一猜值场。这样,由于振荡造成的虚假变化可能把该6小时时段的天气尺度变化掩盖掉,结果,在下一个分析周期,好的资料会因与第一猜值场差别太大而被抛弃不用。为此,为消除这些虚假振荡,在分析和预报之间加入一个初始化处理。

预报模式中的正规波型是下述基态的线性化,这种基态下的特征是大气处于静止和流体静力学均衡状态。对于每一层和每一个格点,都有三个波型,一个Rossby波型;两个重力波型。在大气中仅只观测到Rossby波型会出现重大振荡。对于线性系统来说,只要把模式状态简化为三种波型,并规定重力波振幅等于0,就很容易地把重力波型消除。但是,在非线性情况下不能这样做,因此,ECMWF按照Machenauer(1977)提出的方案,使用迭代方法,通过把重力波型系数的初始时间导数置0,将重力波型振荡剔除。收敛很快,只要两次迭代就足以把重力波型剔除。

在目前所用的方案中,只对前5个垂直波型进行初始化处理。较高阶的波型具有非常低的频率,因此对于虚假高频振荡问题无任何影响。在模式进行一个时间步中的每一次迭代时,都要做这种非线性强迫项计算。

虽然从原则上说非线性强迫能包括物理的和动力的贡献,但在实际中这会导致迭代过程很快发散。因此,可从某一非初始化分析开始的两小时积分进行平均以求出物理强迫的估算值,使用这样的估算值能在迭代过

程中保持独立。热带预报中,初始化过程中考虑“物理”强迫是很重要的。

## 五、结 果

### 1. 一般情况

读者应注意的是,ECMWF的预报系统已经历了许多变化。最大的变化是在1983年4月末,用一个谱模式(第三节中介绍的)取代了原来的网格点模式。

从理论上讲,有三种不同方法可对中期预报进行评价。第一种是用客观尺度来进行评价,本文将重点介绍。第二种是由成员国的气象学家进行主观评定,第三种是利用对预报(热量和动量平衡)的物理连续性进行分析来做出评价。

预报的客观评分会产生一个问题,即到底规定多少分作为下限。经过与一系列主观评分的长期对比表明,这一下限应为50—60%。

但应注意的是,使用这样的标准时,某一时刻的预报应以这一时刻的分析作为评定条件。一个预报可能由于某些天气细节和现象的出现时间的预报不准确,而评分情况很差,但它仍可能对天气型的整个变化上具有指导作用。

### 2. 北半球温带的可预报性

图5给出了1983年12月业务预报中北

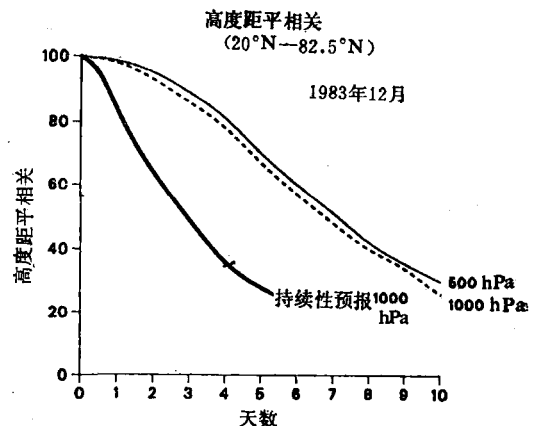


图5 高度距平相关评分情况。1983年12月ECMWF 500和1000 hPa北半球预报评分,及1000hPa的持续性预报评分

半球温带大部分地区 500 hPa 和 1000 hPa 高度场距平相关的平均情况,可以看出,一般说来 500 hPa 的预报要比 1000 hPa 的预报准确,这与天气尺度的评定结果一致。预报可用的评分最长到第 7 天。

模式的预报评分明显地随空间、时间变化,可预报性随空间尺度的变化情况由图 6 可以看出,它给出了 500 hPa 高度场三组不同纬向波数的距平相关。谱分解表明空间尺度愈大,预报准确度也愈高,这与 Leith (1978) 以前介绍的情况相悖,Leith 的经验是中尺度预报要比行星尺度的预报准确。有时比较短的天气尺度的预报准确度相当差,图中纬向波数 10—20 的评分表明这可能与下述情况有关,即整个天气形势预报较好,而其中个别的天气过程的出现时间和强度预报错了。但有时也会发生这种情况,大范围地区预报的失败导致了小尺度预报出错。

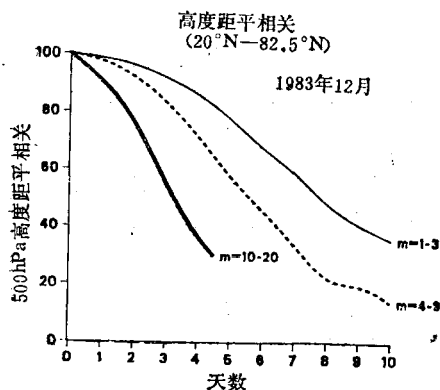


图 6 1983 年 12 月 ECMWF 北半球预报中波数为 1—3, 4—9 和 10—20 的高度场距平相关评分

在小范围地区通过与客观方法进行比较对预报评分的空间变率进行了分析。在冬季,东亚和北美的评分通常要比欧洲地区高。这很可能是由于模式在欧洲地区有较大的高度系统误差造成,而与资料本身无关,在下一节将对此进行讨论。

预报评分的时间变率具有明显的季节变化,夏季最小,冬季最大。除此而外,预报评分有明显的年际变化。1982 年 1 月 500 hPa 高度场三组不同纬向波数的距平相关是预报

评分较低的一个月,这很可能与行星波预报评分低于平均情况有关。而 1983 年 1 月的预报评分高于平均情况,很可能与该月行星波 ( $m=1$  到 3) 的预报评分很高有关。

对这两个月预报评分的很大差别进行的详细考察表明,1982 年 1 月模式未能使该气流保持稳定(平均)的距平,在该预报时段中,气流距平向东偏移。与此相反,1983 年 1 月稳定距平保持在正确位置上。

如 Bengtsson 和 Simmons (1983) 详细介绍过的那样,模式有较高预报评分的时段可长达 1—3 周。在某些情况下,模式能正确报出具有大距平气流的持续,偶尔也报准大变化的出现,如阻塞高压崩溃或发展。目前还没有确切的结论来说明,高预报评分是与某些时段某一流型的可预报性高有关,或者模式对某种天气型要比其它型预报得更准确一些。本文作者根据某些有启发性的和简单的论据认为,后者是最可能的解释。

### 3. 热带和南半球的预报

还没有使用象在北半球温带预报评价中所用的那些广泛的或客观的方法,对热带预报进行评价,但毫无疑问,在目前热带预报的准确度和可用性都很低。客观检验表明,对流层中层和高层的预报评分在有限的较短时段尚可。对于南、北纬  $18^\circ$  以内的地带,2 天的向量风预报的均方根差就 500 hPa 说,1983 年平均为 4.8 米/秒,相应持续性预报为 6.8 米/秒。对某些地区的季节变率也进行了分析,北半球  $72-102^\circ E, 6-33^\circ N$  地区(包括印度),夏季(6、7、8 月)两天预报的均方根差在 200 hPa 为 7.7 米/秒,相应持续性预报为 9.0 米/秒。冬季(12、1、2 月)预报的均方根差为 9.4 米/秒,它明显优于相应的持续性预报误差 14.0 米/秒。

对热带预报的主、客观评价表明,对流参数化方法存在严重缺陷,现正在努力了解并克服这些欠缺。

总而言之,模式中的缺陷对于热带预报的影响要比对中、高纬度预报的影响快得多,

也大得多。

对南半球的预报也进行了评价,但没有北半球那样细致。18—78°N与18—78°S两地带的距平相关的比较表明,以距平相关达到60%说,南半球要比北半球短1.5天。由于南半球资料稀疏,出现较低的值并不奇怪,在FGGE年资料增加时,对南半球的预报要准确得多(Bengtsson,1983)。FGGE资料,特别是卫星资料对热带预报有重要作用。

## 六、数值天气预报中存在的问题及前景

下述结论看来是合乎实际的,很长时限的瞬间天气型预报是不可能的,结论很明白,大气可预报性的固有界限可能是几周。正如Shukla(1984)、Miyakoda(1983)指出,瞬间天气型的时间平均(5、10或30天)的可预报性要长一些,特别是在热带。但本文对此不做讨论。

在最近的一个研究中,Lorenz(1982)把该中心模式固有误差增长率与预报误差增长率进行了比较。结果表明,即使在当前观测不完整或不准确的情况下,有用预报的时限可外延至3—4天,比较准确的初始状态将进一步提高预报评分,如果初始误差减少一半会使可用预报的时限延长大约两天,若再减少一半将进一步延长两天。

在发现预报有明显系统误差特性后,最大尺度运动的中期预报可能得到改进(Bengtsson和Simmons,1983)。通过把大量个例预报或至少一个月时段的预报进行平均则可以把上述误差揭示出来。在整个预报时段,振幅误差逐渐增大,它们与通过长时段积分所揭示的模式气候的误差相似,这表明,这些误差代表了模式气候逐渐偏离实际大气气候的情况。还发现,偏离的速率随情况不同而不同,但与它有关的总体误差似乎与初始资料无关。纬向平均温度和纬向平均风的经向剖面及与之有相关联的7天误差表明,对流层整层都是冷却的,最大降温为3K,位于60°N 500 hPa处。其它一些模式也出现这种对流层冷却,但此现象对于模式的很多设计特点

很敏感,它不仅是对非绝热过程参数化的某些特性,而且对地形处理(Wallace等,1983)和各种模式场的水平平滑程度(Girard和Jarraud,1982)很敏感,上述这两种情况都可能对降水及其有关的潜热释放有影响。由于考虑日辐射周期(业务模式中尚未考虑)而引起的显热通量增加使得对流层整体冷却减少约25%。

在高层,温度误差变大,而平流层的整个趋势是过冷却,特别是冬半年的极地附近,因此使得平流层极夜急流总是过强,经常是难以从主要的副热带急流中分离出去。还无法确定这是由于模式对辐射通量的处理造成,还是由于动力学过程造成的。

模式还表明,对纬向平均气流的预报欠佳,在地面,北半球中纬西风带的风速总是比实测风速要大几个米/秒。令人感兴趣的是,当水平分辨率增大时,这种差别变得明显(Manabe等,1979;Cubasch,1981),与这种情况相反,在南半球,分辨率大时( $T_{40}^*$ 或更大的)一般能更好地模拟较强的地面西风。在对流层高层,发现西风最大值总是过大(约几个米/秒),且稍稍偏向极地一侧,高度也偏高。热带东风带则趋于估算偏低(对流层顶附近),而在平流层较高层则估算偏高。

对系统误差的地理分布情况进行的分析揭示了一些更重要的细节。

从高度场看,1000 hPa和500 hPa的误差型非常相似,在东北大西洋/斯堪的纳维亚和北太平洋有清楚的低压中心。随着高度误差振幅稍有增加,同时,温度过低的地区趋于同气压过低的地区重合,特别是在500 hPa更是如此。此外,500 hPa温度误差很小,但东西伯利亚和加拿大北部地区出现了明显的850 hPa温度过高的区域。温度误差的整个分布表明,静力稳定度减少的地区可能引起斜压波出现小的结构误差。

对运动缓慢的大尺度物理过程的进一步

\*  $T_{40}$ 代表在波数40的三角谱截断。



认识及较好地描述地形强迫,可以改进大尺度特征的可预报性。如Wallace等(1983)最近所指出的那样,由于采用所谓“包络地形”概念改进了地形处理已使得对大尺度气流的预报更准确,至少在冬季是如此。

可以期望,较好地了解和模拟出大尺度的稳定强迫将大大有助于热带预报,如Kri-shnamurti等(1983)指出那样,对于非绝热强迫的准确初始描述是极为重要的。如果由于缺少有关观测值或初始化方法不理想,而使得非绝热强迫的初始描述是错的,那么模式中会迅速出现大的误差。该中心模式在预报非洲大陆时,目前存在这类问题。可以期望,在参数化过程中使用卫星的云观测资料和降水观测资料,并在一天中综合地应用它们将会大大减少上述误差。

## 七、结 论

Miyakoda等(1972)是最初的中期预报的制作者,还提出他们最初所作2周预报的结果可用作进一步比较的基准,根据1964—1969年1月的12个预报个例,他们得出北半球温带500 hPa高度总体平均的距平相关,预报时段2天可达到80%,而达到60%相关所对应的时间是大约3.5天,1982/83年该中心业务预报的平均情况是:相关水平4.5天已达到80%;6.5天为60%。

这些比较表明,在过去的10—15年,中心至少对大尺度运动的预报能力有了明显的提高。所取得的改进主要是由于有了一些更好的、更真实的模式,同时也由于这一时期气

象观测资料大大增加。应用FGGE资料进行的观测系统试验(如Bengtsson,1983)已表明,特别是卫星和飞机观测资料对中期(2—14天)预报起了重要作用。同时,由于分析方法的改进以及更精确的初始化方法能准确、连续地使用预报模式以提供第一猜值,现在能更好地利用观测资料。正如Bengtsson.(1984)所指出,模式的发展研制对预报评分的提高起了关键作用。

在1970/71年计划建立中心时,曾进行过一次费用/获益的经济效益研究。那个研究指出,如果6天预报能达到2天预报的水平,成员国年获益可达1.4亿英镑左右(以1970年币值为准)。最近该中心的研究结果表明,对于冬季预报,这一指标几乎已经达到,但夏季预报距此目标还甚远。

计算机技术的持续迅速发展使得研制远高于逐日的分辨率的全球预报模式成为可能,到八十年代末,可以达到50公里的分辨率。

但是,另一个必须的条件是改进全球观测系统,为了实用和经济目的,必须很大程度依靠卫星观测资料。毫无疑问,目前对这些资料的使用未能令人满意,需要进一步努力,可能需要卫星资料的处理人员与模式研制人员共同的努力。为了业务使用,需要有更有效的实时传递手段来担负全球的资料交换。

高良诚 译自 10th Conference on  
Weather Forecasting & Analysis,  
PP. 286-299

文及校