

国外中期数值预报业务模式的性能及发展趋势

杨学胜

(国家气象中心, 北京 100081)

提 要

作者简单介绍了国内预报员较为熟悉的欧洲中期天气预报中心、美国国家气象中心和日本气象厅三个中期预报模式的性能及预报效果, 包括近几年颇为流行的半拉格朗日时间积分方案, 物理过程参数化方案的完善和改进, 中期数值预报业务模式的发展趋势等。

关键词: 中期数值预报业务模式 物理过程参数化 模式性能 预报效果

引 言

从第一张数值天气预报图问世至今, 数值预报发生了巨大的变化, 特别是 80 年代末、90 年代初, 随着计算机及通信业的飞速发展, 计算机已不再是制约业务数值天气预报的一个主要因素, 因此世界上许多国家相继建立了自己的中期数值天气预报业务系统, 并不断提高其模式分辨率, 完善改进现有的业务系统。中国气象局国家气象中心作为世界气象组织的一个区域中心, 每天接收来自欧洲中期天气预报中心(以下简称为 ECMWF)、美国国家气象中心(NMC)和日本气象厅(JMA)等国的数值预报产品, 并向全国气象台站传送, 因此我国广大的天气预报员在使用国外数值预报产品中积累了大量的经验。下面对我国天气预报员常用的比较熟悉的 ECMWF、美国、日本的中期数值预报模式的性能及发展方向作一介绍, 以便于大家以后更好地使用。

1 ECMWF 中期数值预报模式的性能^[1-3]

众所周知, 业务数值天气预报由于其巨大的计算量、数据量和严格的时效要求对计算机有很大的依赖性。近几年随着计算机技

术的迅速发展, 尤其是大规模并行计算机的问世, 给数值天气预报模式的发展提供了一个良好的机遇和前所未有的挑战。

早在 1991 年 9 月 17 日, ECMWF 首先将其全球模式的水平分辨率从 T106(约 120km)提高到 T213(约 60km), 垂直层数从 19 层增加到 31 层, 模式的最高 4 层为等压面。垂直层数从 19 层提高到 31 层后, 对流层的分辨率提高了 4 倍, 平流层并未多大变化, 并随后对模式作了相应的改进。

1.1 减少高斯格点数

Machenhauer(1979)认为, 在趋近于极点时, 减少经度格点数并不会使二次项的计算精度有明显的降低, Hortal 和 Simmons(1991)^[4]在 T106L19 模式的基础上也作了减少高斯格点数的实验, 即在不超过赤道上的格点长度的条件下增加纬向的格点长度使全球的网格点数减少了近 $\frac{1}{3}$, 同时又要保证纬圈的格点数能够使用快速富里叶变换。结果表明减少格点数并不会使模式的预报精度有明显的降低, 有区别的主要原因与减少网格点数后的模式地形和计算的次网格点尺度

地形方差不同有关。减少高斯格点后计算时间节省了约30%。

1.2 半拉格朗日时间积分方案的引入

众所周知,拉格朗日法和欧拉方法是流体力学中描述流体运动的两种方法,在数值天气预报中,长时间以来人们使用的是欧拉方法,用拉格朗日法的很少,但前人也作了大量的工作(Krishnamurti, 1962^[5], Sawyer, 1960^[6]),直至ECMWF、加拿大等在中期数值预报业务模式中以半拉格朗日时间积分方案替代半隐式时间积分方案。该方案是Ritchie (1987^[7], 1988^[8], 1991^[9]) 在1991年将其引入ECMWF业务模式的,它尽可能地保留了原欧拉法混合坐标模式(Simmons, 1989^[10])的离散化特点。

ECMWF的半拉格朗日时间积分方案采用三时间层格式,对三维平流项进行插值处理(Robert, 1981^[11])并变换到切向笛卡尔坐标以计算风场。垂直速度的计算方法与传统的欧拉法相似;为了使lnp_s继续作为模式的预报变量,对连续方程作了相应的半拉格朗日处理。1991年9月ECMWF垂直方向采用全插值半拉格朗日方案,但发现该方案造成能量转换的偏差并导致过多的涡动动能,因此在1992年8月被不插值半拉格朗日方案代替,但经过大量的研究表明这个问题可能主要与原来用的三次插值插过头有关,于是在1995年4月又重新改为在水平方向使用准单调插值(quasi-monotone)及对水汽在垂直方向采用全插值的半拉格朗日方案。

尽管半拉格朗日方案可以取较长的时间步长,但每步在计算路径、插值、解三维Helmholtz方程等上面花费的时间较多,而且由于插值带来的平滑作用或多或少会使预报质量受到影响。

综上所述,当ECMWF的中期全球预报模式从T106L19提高到T213L31后,模式低层大气的预报得到明显的改进,并给天气要素的预报带来局部的改进,在天气尺度系

统的强度和真实性上比T106L19增加了。增加水平、垂直分辨率后带来的一个直接效果是全球平均降水量和涡动动能的增加,这也与云和辐射方案的改进有关。目前模式积分的时间步长是15分钟。

1.3 物理过程参数化方案

大气科学研究的主要任务之一就是提高天气预报的准确率和延长预报时效。由于计算机能力的增加,以及人们对大气运动中物理过程所起作用理解的不断深入,使得我们有可能在数值预报模式中引入边界层湍流、对流交换、凝结、辐射以及其它一些与大气能量源与汇有关的大气物理过程。从时间尺度和空间尺度来讲,这些大气物理过程的机制都与小尺度扰动有关,其尺度范围可以从对流尺度一直到分子运动过程,这种次网格尺度物理过程对大尺度气流的影响,只能用参数化方法解决。

1.3.1 水平扩散

随着分辨率的提高,ECMWF模式的水平扩散在1993年2月从原来的四阶线性扩散增加到八阶。在此之前,模式中的四阶扩散对最小的可识别尺度采用45分钟的阻尼比率,八阶扩散采用15分钟的阻尼比率。该方案对模式最短的模式尺度扩散量的减少对预报质量的影响非常小,同时地形周围的噪音大大减少,与此相关的高山区域激发的虚假负地形引起的弱降水有减少的趋势。

1.3.2 地形

在过去的十多年里,ECMWF在地形的处理上一直沿用包络地形(Wallace, 1983^[12]),并在1986年增加了重力波拖曳效应。当模式的分辨率升至T213L31后,ECMWF对模式地形的作用进行了重新评估。与人们的想法正好相反,当模式分辨率提高到T213L31后,使用包络地形对T213L31的预报有明显的改进。所作的12个例子中,只有一个客观评分较差,其中检验区域为北半球和欧洲地区。改进最大的是北半球的冬

天,在夏天也有一些改进。

同时 ECMWF 又作了平均地形加上模式低层静止气流的作用试验并取得了令人振奋的结果。结果表明通过确定静止气流的层数与次网格尺度地形的标准偏差、各向异性及低层弗劳德(Froude)数的关系,可以获得与包络地形同样的效果。

因此 1995 年 4 月 ECMWF^[13]正式以平均地形代替包络地形,并采用新的次网格尺度地形参数化方案。

1.3.3 重力波拖曳参数化

大量的研究表明低分辨率下重力波拖曳参数化作用比较明显。用上述的 12 个例子,用平均地形和包络地形对重力波拖曳参数化方案进行了重新评估。结果表明用平均地形比包络地形效果稍好一些。通过对比比利牛斯山脉场地实验(PYREX)测得的拖曳与模式显式求得的拖曳比较发现,模式过低地估计了山脉对大气的转矩。模式中没有任何一个次网格尺度过程对这一缺陷作出补偿。根据中尺度同化模拟的结果发现这与 ECMWF 模式过低地估计山的背风坡气流分离有关。因此在新的次网格尺度地形参数化方案中考虑了山脉的屏障作用。

该方案与平均地形一起在 1995 年 4 月投入业务运行后,使得模式的降水分布和降水量得到明显改进,尤其在山脉附近近几年来一直困扰人们、固定在此的降水和强对流降水得到显著改进。

1.3.4 云预报方案

ECMWF 近几年一直坚持不懈地检验和改进现有模式的云诊断方案,并发展了一个新的云预报方案。该方案对非对流云采用一种统计方法;对流云考虑了对流上升气流云的卷出,并对每种类型的云做了大量的试验,发现该方案产生的云更接近实际,尤其是云中的水汽含量。通过与 ISCCP(International Satellite Cloud Climatology Programme)的云量比较发现新的云预报方案改进了全球平均

云量分布;通过对地面报 SYNOP 的检验也发现陆地上云量也有显著地改进,减少了模式的系统误差,这主要是边界层云量增加的结果。改进后的云量大大减少了夏天 2m 温度偏暖和冬天偏冷的倾向,而这一点正是过去 ECMWF 业务模式的缺陷。尤其是新方案对中纬度风暴轴的云预报得比较好。同时新方案对全球的水分循环作了较大的改动,从而使热带地区的客观评分得到改进。

1.3.5 积云对流参数化方案

以前的 ECMWF 模式在预报的起初几天降水量过大,这种现象尤其在夏天更为突出,这与陆面上对流活动过强有关,这种不平衡在 1989 年引入质量通量法(Tiedtke),1990 年改正潜热通量的表示后大大缓和。但在 1991 年模式提高到 T213 后,这个问题又进一步加剧。为此对原方案作了进一步的改进,包括对来自上升气流云中液态水的卷出处理,采用 Sundqvist 的降水方案。为了计算一气块从一层抬升到另一层的时间,需要计算上升气流的速度,为此引入用于计算上升气流的动能方程、引入上升气流中云中水的凝结,这一变化是与水、冰相的引入结合起来的。在这里水冰的比例是温度的二次函数,范围在 -5 — -20°C 之间。根据诊断研究引入了卷入卷出率的双峰分布,该方案采用了可调整的闭合条件,其总的对流活动与云的浮力有关,而不是业务上用的低层水汽辐合。这些变化对热带地区瞬间活动、平均气流和降水形状有很大的改进。

1.3.6 辐射

自从 1987 年 7 月份获得了一些观测资料如地球辐射收支试验(ERBE)、国际卫星测云气候学计划(ISCCP)、特殊探测器微波图象后,ECMWF 对其模式的云和辐射过程的性能进行了重新评估。首先对从 ERBE 观测资料中反演出来的向外长波辐射(OLR)与模式实际计算出的 OLR 进行对比,结果发现观测到的 OLR 与初始场的 OLR 总体上非

常接近,模式模拟出的云与实际云出现的频率和位置也很相似,但在振幅上有区别。在太平洋中部赤道地区模式云的辐射强迫很小,这与对液态水含量诊断不够准确引起的对云的辐射特性考虑不足有关。同时 30 天积分得到的 OLR 形状与观测或初始场差别较大,这说明模式中有缺陷。除了相误差外,有些误差看起来是持续的,例如在 16.9—11.2°N 东太平洋和大西洋地区的 OLR 值高估了约 15—20 W/m²,这与模式中对低层云量缺乏足够的考虑、过干的行星边界层或者没有气溶胶和微量气体(N₂O, OH₄)的大气吸收有关。通过 1991 年的运行发现,提高分辨率后的模式从第 5 天开始预报变坏,这一方面与在高纬度对流顶以下过强的辐射冷却有关。而其中云起着重要的作用;另一个重复出现的问题是陆地上夏天过强的加热。通过与地面测站比较,尤其在 FIFE 期间发现,向下的太阳辐射云量高估了 8%。

为了解决这些问题,对云-辐射方案作了较大的改动。这些改进包括:

(1)使用最新的光谱汇编改正短波晴空吸收系数;

(2)重新引入气溶胶(包括海洋、陆地和沙漠、都市和平流层背景气溶胶)气候分布的辐射效应;

(3)对冰及混合相云的辐射效应处理一致。

改进后,地面的短波辐射降低了;改变云的光学特性后通过增加短波辐射的吸收从而降低了云的净的辐射冷却。

1.3.7 边界层和地表参数化

ECMWF 通过将模式结果与 FIFE 场比较发现,现有的地表参数化方案或垂直扩散方案的地表部分存在着缺陷。检查时用到了 4 组数据,FIFE 的大草原、荷兰 Cabauw 的一处草地、亚马逊河的雨林(ARME)及 HAPEX 试验中法国的森林和农场,从中反映出模式存在的一些缺陷:

(1)湿条件下模式蒸发太高;

(2)土壤干燥得太快;

(3)径流与降水的关系过于密切;即使在干燥条件下,大约有 50% 的降水通过径流流失;

(4)降水量由气候场控制,反映不出降水异常。

由于上述月平均土壤水汽气候场和模式在干燥条件下的过强径流,ECMWF 发展了一个包括所有土壤层、以土壤水汽和土壤温度作为预报变量的多层土壤方案。为了能表示从一天到一年的时间尺度,选择了 4 层,分别为 7, 21, 72, 189 cm 深。4 层以下的热和水汽扩散假定为零;从这层开始允许水的流泄并且是径流的主要贡献者。扩散系数是土壤水汽的函数,这样允许降水后水分的快速渗透和干燥时向上缓慢扩散。从新旧方案蒸发对比看,主要区别在运行 220 天以后,旧方案的蒸发很快就停止了,而新方案仍保留充分的水分并与实际非常接近,同时新方案中土壤水汽含量是深度的函数也更接近实际。

由于地表存在气动阻力,老方案在冬天过高地估计了蒸发,降低热量的粗糙度长度后使蒸发得到大大改进。在 ARME 资料中,有一个明显的降水年循环和一个常年几乎是常量的蒸发,老方案中的气候场边界条件给出的是一个虚假的降水年循环,而新方案即使在干燥季节仍保持了土壤水汽。

通过检验 2m 温度、温度露点差和土壤水汽发现,1995 年 5 月底业务分析的土壤异常偏干,从而在欧洲带来较热的预报误差。在没有土壤水汽或去掉同化中一些约束条件后,这种情况有所改观。这一热偏差使 6 月份欧洲地区的预报受到较大影响,为此 ECMWF 在 7 月初用湿水汽对土壤水汽重新初始化,整个夏天再也没出现同类问题。据此 ECMWF 构造了一个简单的调整土壤水汽方案。调整后的水汽与模式最低层大气的水汽分析增量成比例,试验结果表明该方案对客

观评分和近地面天气要素预报都有明显改进。

1.3.8 垂直扩散

模式升级到 T213 后,1992 年人们发现稳定条件下扩散系数过大导致边界层过厚;大量的观测资料也表明,动量、热量和水汽的地面边界条件是不同的;为了提高洋面上低风速的热量和水汽通量,在模式中引入了一个经验公式考虑自由对流的上限,而且对所有可能的地面粗糙度长度来讲,地表的稳定度函数不够准确。为此对相应部分进行改进,包括:

(1)对动量、热量和水汽采用不同的地面粗糙度长度,并使其对地形的贡献与观测结果保持一致;

(2)对地表的稳定度修正用 Obukhov 长度而不是 Richardson 数,这就保证了当动量和热量的粗糙度长度不同时,而其地面边界条件是一致的;

(3)为了在边界层顶引入卷入,重新构造了不稳定边界层的扩散公式;

(4)在陆地上引入表层温度;

(5)为了与最近的观测保持一致,减少了高风速时热量和水汽的海气交换系数。

2 美国国家气象中心中期数值预报模式

美国国家气象中心中期数值预报模式也采用三角截断,1995 年水平分辨率从 T126 升至 T170,垂直层数从 28 层提高到 42 层。每天 00GMT 起报,截断波数前 7 天为 170 个,从第 8 天开始至 16 天降为 62 个。

2.1 地形

NMC 通过计算越过山脉的气压差及与地球表面的气压摩擦求得分析中的山脉加给大气的转矩。从 NMC 分析计算的转矩相当精确,并与模式方程尽可能保持一致,并加入到四维同化中去。

1991 年 3 月模式分辨率从 T80 升为 T126 后,模式地形也由原来的增强地形改为平均地形。地形的修改大大减少了山脉的转

矩,但转矩的纬向分布并没有大的改变;不同季节山脉和地面切应力的纬向分布总的来讲与以前的结果基本相似。

2.2 云方案

近几年,NMC 开发了一个多层、包括多种类型云的云诊断方案以代替 Slingo 的三层云、三种类型的云方案。在 Mitchell 和 Hahn 的基础上,开发了一个用于调整临界相对湿度的云生成微调方案,该方案根据观测云量和模式统计结果建立了一个更真实的云-相对湿度关系函数;NMC 还开发了一个用于计算云辐射特性的方案,旧方案对短波计算用的是固定的总体值,对长波用的是随纬度变化的高云比辐射率,新方案用模式大气廓线来估计云量光学深度、比辐射率、透射比和反射比。

2.3 对流参数化方案

近几年 NMC 对积云对流参数化方案进行了对比研究,如 KU074、Grell 方案等,目前采用的是 1993 年投入业务的质量通量方案。为了调整现方案对不稳定大气的反映速度,1994 年对松驰的 Arakawa-schubert 方案进行了试验。

2.4 土壤水汽参数化方案

自从 1989 年 NMC 将土壤水汽作为下一次同化的初始场以来,一直对预报水平进行检验而且发现只利用模式自生的降水和蒸发,模式就能保持相当好的全球土壤水汽场。1993 年又增加了森林覆盖,使模式的近地面变量预报得到改进。

2.5 垂直扩散

1993 年 NMC 为了提高谱模式中垂直表达式的精度,采用了一个简单的四阶垂直扩散方案(Iredellm, Purser),新方案在预报中能更好地描述对流层的急流。1994 年又发展了一个由速度决定的扩散方案,该方案可以不受传统的 CFL 稳定性条件限制,允许模式采用较长的时间步长而不降低模式的预报水平。该方案允许 T170 谱模式的时间步长达

到 10 分钟,几乎是 CFL 稳定性条件限制的两倍。

3 日本气象厅(JMA)

日本气象厅全球预报模式 1996 年由 T106L21 升级到 T213L30,即水平分辨率从约 120km 提高到 60km,垂直分辨率从 21 层增加到 30 层。该模式采用半隐式一半拉格朗日积分方案,并将云中液态水作为预报变量,同时对物理过程也作了一些改进。T213L30 每天在 00UTC 作 3.5 天预报,12UTC 作 8 天预报,3 天台风路径预报。

3.1 半拉格朗日积分方案

JMA 从 1991 年开始半拉格朗日方法的研究工作,该方案较之欧拉方法可采用较长的时间步长或更高的模式分辨率。目前对水汽平流采用该方案,但当 CFL 数大于 1 时,会产生一个有噪音的水汽廓线。为此 JMA 分析了当基本方程中包括阻尼项时半拉格朗日积分方案的计算稳定性问题,发现如果将阻尼项与半拉格朗日平流项同时加到模式中时会产生计算不稳定现象,而一定时间间隔积分的位相滞后是造成这一问题的主要原因。为此将阻尼项作为对平流值的一个调整而不是作为倾向加到平流方程上。该方案在计算稳定性上有与欧拉方法同样好的效果。

3.2 积云对流参数化方案

JMA 是世界上少数几个用全球模式制作台风路径预报的国家之一。1991 年 ECMWF、英国气象局、JMA 对预报结果进行了对比检验,发现 JMA 的全球模式有一个系统性向北的偏差,而此偏差在其它两个模式中并不明显。对此 JMA 作了大量的试验,发现模式中使用 BOGUS 数据并不是造成这一偏差的主要原因。

由于热带气旋的发展和维持主要由积云对流决定,这样积云对流参数化方案可能是影响热带气旋预报质量的主要因子。因此 JMA 用一个经济的 Arakawa-Schubert 方案代替业务上的 KUO 方案,之所以称之为经

济是因为该方案很容易在业务模式中实现。新方案考虑了对流下曳的总体参数化、由预报确定云的质量通量、还包括了浅对流和水汽的垂直扩散。

用经济的 Arakawa-Schubert 方案制作的台风路径预报较业务模式有显著的改进。JMA 在所作的 21 个例子中只有一个个例业务模式比经济的 Arakawa-Schubert 方案好。上述的系统性误差也大大减少。

为了更好地检验新方案的预报效果,JMA 在 1994 年 7—8 月对新方案进行了一个月的预报检验。结果表明温度场、位势高度、比湿等都比原方案有改进,但降水 TS 评分比业务稍差。为了提高 TS 评分,JMA 作了大量的诊断研究并对新方案进行了一些改进。该方案已于 1996 年 3 月份正式投入业务使用。

3.3 辐射方案

近几年 JMA 对晴空和云辐射方案进行了改进以减少全球模式的气候漂移现象。短波辐射方案最近加入了水汽的强吸收作用和二氧化碳、氧气的吸收作用;并调整了长波辐射方案中的气压尺度参数。这些变化对对流层的温度预报,尤其是长时间积分有很大的影响。

对云辐射方案,JMA 对诊断云的比例、云的覆盖和云的光学长度进行了改进以使它们与实际更为接近。预计将进行一些敏感性试验,对海洋层积云尤其要特别注意。

3.4 地表参数化

1995 年以前,JMA 模式预报出的地面和 850hPa 的温度场有系统性的暖偏差。这些偏差在夏天陆地上尤为突出,这可能与地表参数化方案(SiB)释放了过多的感热和过少的潜热通量使得行星边界层在夏天陆地上过厚有关。

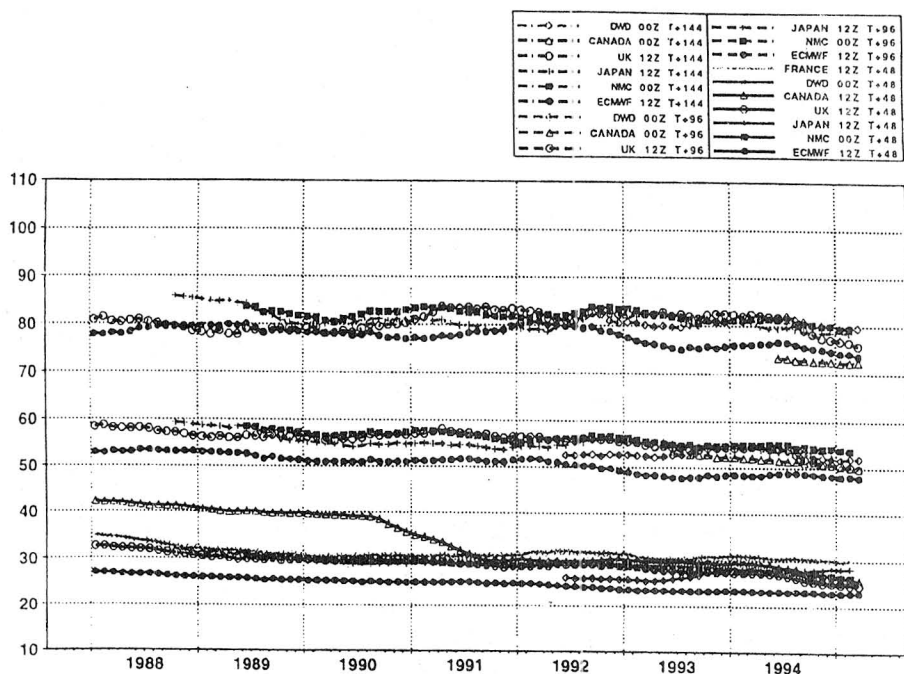
为了减少这些系统性的偏差,JMA 作了大量的敏感性试验。发现 Dorman 和 Sellers1987 年提出的植被分布既不与最先

Kuchler 的植被分布一致,也不与实际的植被分布一致,尤其在中国和中亚地区(在原来的SiB方案中畜牧场作为沙漠处理)。在新的地表参数化方案投入业务使用之前需作大量的试验。

4 模式预报效果

1995年10月30日至11月3日WNGE在英国里丁召开了第一次数值试验工作组会议^[13],会上对世界上6个中期数值预报模式的预报技巧进行了评估。附图给出了北半球500hPa高度场12个月的均方根误差平均值。从图中可以看出,短期和中期预报的检验

评分继续呈一种上升趋势。不论是48、96小时,还是144小时,除了加拿大模式在第6天的检验评分较之稍高外,ECMWF模式在6个模式中一直是最好的。加拿大模式的水平扩散系数在前4天从一个小的初值开始随时间线性增长,之后固定为一常数。根据Jakimov, Yakimiw 和 Robert(1992)的研究,水平扩散系数随时间线性增长有效地阻尼了失去可预报性的一些尺度,从而在统计上改进了系统的相速度,减少了均方根误差。从图中也可看出,虽然加拿大模式第6天的检验评分较高,但其第2至第4天则不然。



附图 国外6家中期预报模式北半球500hPa高度场均方根误差的时间演变曲线(DWD-德国气象局,CANADA-加拿大气象局,UK-英国气象局,JAPAN-日本气象厅,NMC-美国国家气象中心,ECMWF-欧洲中期天气预报中心)

5 未来的发展趋势

近几年随着计算机的飞速发展,各国为了提高模式的预报水平,纷纷增加模式的分辨率,如ECMWF正在试验T600(水平分辨率约为20km),垂直层数将由31层增加到

38层,模式层顶为2.5hPa,这样模式层与层之间的间隔由原来的20hPa降到10hPa。预报结果表明增加到38层后,平流层的预报得到明显的改进,客观检验评分也如此;对流层有小的改进;同时各国努力完善、改进现有的

模式物理过程参数化方案。

最近几年,以 ECMWF、美国为代表,相继建立了集合预报系统,该系统是对当前中期数值预报的一个补充,由于它每次用几十个不同的扰动初值制作中、长期或季预报,故可以给出不同的形势预报,而有些预报基本相似,这样预报员可从中推算某一天气形势发生的概率,从而使中期数值预报迈向一个新的台阶。

参考文献

- 1 Numerical Weather Prediction Progress Report for 1991, Tech. Doc. WMO/TD No. 469.
- 2 Numerical Weather Prediction Progress Report for 1993, Tech. Doc. WMO/TD No. 618.
- 3 Numerical Weather Prediction Progress Report for 1994, Tech. Doc. WMO/TD No. 708.
- 4 Hortel, M and A. J. Simmons. Use of reduced Gaussian grids in spectral models. Mon. Wea. Rev., 119, 1057—1074.
- 5 Krishnamurti, T. N.. Numerical Integration of primitive equations by a quasi-Lagrangian advective scheme. J. Appl. Met., 1 508—521, 1962.
- 6 Sawyer, J. S.. Experiments in integrating the vorticity equation by Lagrangian method. Tech. Note(B), Met. Office, Dunstable, England, 1960.
- 7 Ritchie, H. 1987, Semi-Lagrangian advection on a Gaussian grid. M. W. R., 115, 608—619.
- 8 Ritchie, H. 1988, Application of the Semi-Lagrangian method to a spectral model of the shallow water equations. M. W. R., 116, 1587—1598.
- 9 Ritchie, H. 1991, Application of the Semi-Lagrangian method to a multilevel spectral primitive equation. Q. J. R. Met. Soc., 117, 91—106.
- 10 Simmons, A. J., and D. Dent. 1989, The ECMWF multi-tasking weather prediction model, Computer Physics Reports, 11, 165—194.
- 11 Robert, A. 1981: A stable numerical integration scheme for the primitive meteorological equations. Atmos. Ocean, 19, 35—46.
- 12 Wallace J. W. 1983, Reduction of systematic forecast errors in the ECMWF model through the introduction of an envelope orography. Q. J. R. Meteor. Soc., 109, 683—717.
- 13 Report of Eleventh Session of the CAS/JSC Working Group on Numerical Experimentation, Reading, UK, 30 Oct. — 3 Nov. 1995, WMO/TD No. 743, CAS/JSC WNGE Report No. 11.

The Characteristic and Outlook of the Operational Medium-Range Numerical Weather Prediction Models

Yang Xuesheng

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

The characteristic and performance of the operational medium range numerical weather prediction models is described, abroad which widely used by forecasters and have a very good reputation in China, such as ECMWF, NMC(USA), JMA. It mainly includes the Semi-Lagrangian time integration scheme receiving most attention at this time, the improvement of the physical parameterization package, etc. The outlook of the global model in the future is given.

Key Words: medium range numerical weather prediction model physical parameterization package characteristic and performance