

中国国家气象中心中期数值天气预报业务系统*

李泽椿**

(国家气象中心, 北京, 100081)

提 要

中期天气预报的研究要形成日常的业务, 不仅仅是气象问题, 也包括相当多的工程技术上的问题。本文概括地描述中国国家气象中心建立中期数值天气预报业务系统过程中的研究与工程建设成果以及运行状况、效果检验等。

关键词: 中期数值天气预报, 业务系统, 国家气象中心。

1 引 言

中国位于亚洲东部、太平洋西岸, 西南有青藏高原, 南北跨高中低三个纬度带, 灾害性天气频繁。民政部最近 5 年资料统计, 平均每年自然灾害造成的直接经济损失约 840 亿、死亡 6500 人左右。其中台风、暴雨、旱、涝、寒潮等气象灾害占 70% 以上。这些重大灾害性天气往往属于持续时间长、影响范围广的较大尺度的天气过程。人类目前还不能完全抗拒这些灾害, 但可以探索掌握天气演变规律, 依据天气预报积极防御减少损失。中国是发展中的农业大国, 但抵御灾害的能力较低。引进世界先进科学技术, 建立中期数值天气预报业务系统, 提高预报准确率、延长预报时效、做好预报服务, 可赢得更多防御时间、保障生命安全、减少财产损失。这不仅是防灾减灾的紧迫需要, 也是经济建设国防建设和气象现代化建设的紧迫需要。

中期数值天气预报就是将目前 3d 的可用的短期天气预报延伸到 4 至 10d, 可用预报延伸 1d 将花费数年的研究开发时间, 因为它不仅要有一个精细的描述中期天气形势演变的大气模式和物理过程, 还要有足够覆盖面与密度和统一质量规定的资料(形成初值), 以及满足所要预报精度和时效的计算方法。既然中期天气预报是社会经济发展的必需, 预报就必然为应用而制作。对这样一个复杂而庞大的计算问题, 为保证实时需要, 还需要一些必要的条件, 高速高性能的大型或巨型计算机网, 快速收与发基本资料与产品的通讯网, 为高效运算和应用服务的程序库、数据库和图象制作等支持系统。总之中期天气预报是一个多学科的综合的学术和工程相结合的系统。为此我们在研制中国的天气预报业务系统时分别从下述五个方面进行工作^[1,2], 即:

* 1994 年 4 月 13 日收到初稿, 1994 年 5 月 10 日收到修改稿。

** 庄英如、屠伟铭、皇甫雪官、施培量等参与了该文的写作。

- 1) 分布式多功能计算机网络系统;
- 2) 全球气象资料四维同化客观分析;
- 3) 高分辨率、物理过程完善的全球谱模式;
- 4) 中期数值预报专用程序库和数据库;
- 5) 分析预报产品的图形显示输出系统。

2 分布式多功能异型计算机网络系统

中期数值天气预报在计算过程中有几个特点,即处理加工信息量大、实时性与稳定性要求高、运算过程中内外交互频繁,而且每天都要进行。在目前条件下,从国内外我们都难以得到计算能力与功能很强的巨型机,这就决定必须采用分布式多功能诸机组网的方式,按照其流程与功能其结构如图 1。

设计该计算机网的依据是:

(1) 按必须的功能划分为:收发资料与产品的通讯计算机网,资料预处理与后处理的前后置机,运行主机和用户使用的终端及工作站。

(2) 按照加工处理信息量设计计算机网和所要的性能指标,诸机承担任务划分。如每天所承担的中短期天气预报作业不能超过 12—14h(CPU),以保证有充分余地进行科研工作。

(3) 计算机不可能有备份机的情况下,如何设计该网能保证稳定运行和任何一机产生

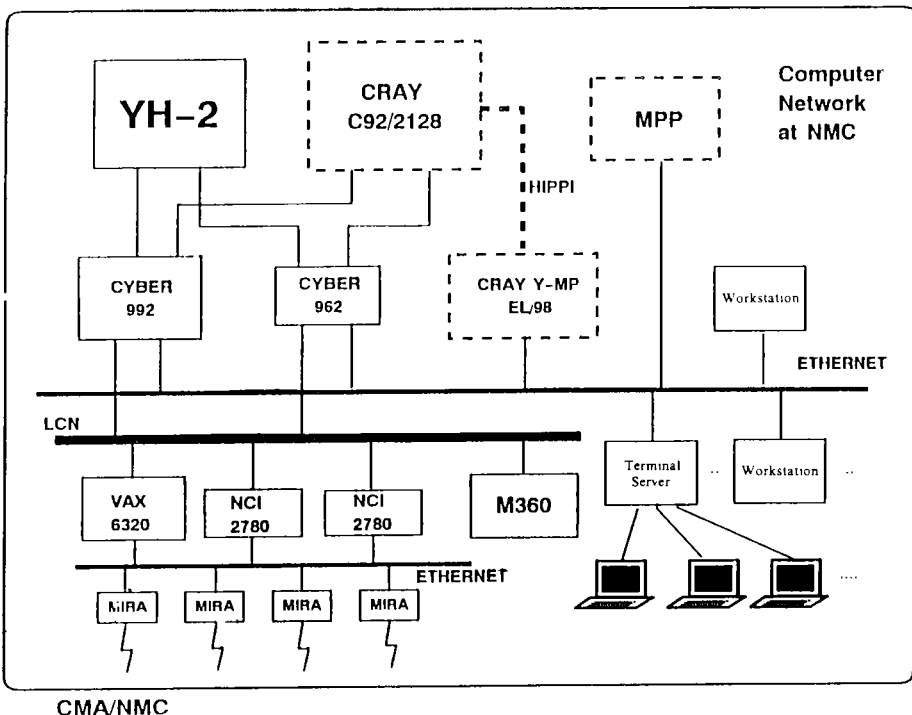


图 1 国家气象中心的分布式多功能计算机网示意图

故障时有业务方案可降级运行的计算机网。

(4)可进行不中断整体业务的设备更换或扩充,为此也可以边建设边使用,一旦建成所设计的方案,业务迅速达到所定指标。

由于种种原因,目前所建的网是异型机,如主机是 YH-2,前置机是 Cyber992、962,通讯机是 NCI2780 和 MIRA,支持系统用机 VAX6320 和 M-360,工作站是 Cyber910 和 VAX3100,由此组成的异种大型机网相当复杂,其操作系统和一些结构互异,管理与使用上也带来了很大难度。“七五”攻关中已较好地解决了硬件接口与软件接口问题,并在应用过程中逐步形成了一套管理调度、故障对策和保证稳定运行办法。最近由于国家的重视,给予很大的投入,在此网中又将增加 Cray 家族机和大规模并行机,这些机器联网建设正在实施中(图 1 虚线部分)。

3 初值形成

预报模式要制作数值天气预报的首要问题之一就是要精确的初值。目前我们采用间断的四维资料同化系统来提供初值,该系统能有效地利用每天的各种类型的具有不同观测误差的观测资料进行客观分析。但是,如果仅仅利用观测资料得到的初值,往往会低估实际大气的变化,所以采用模式的预报值作为初估值,这样能较好地解决低估问题,而且可以从以前的观测资料中提取信息和使大气中经常观测到的各种不同要素场(质量、风等)之间达到相互平衡。

四维资料同化系统包括观测资料的预处理、客观分析、初值化和模式预报初估值等部分。采用 6h 间隔的同化方法,即每次 6h 的模式预报结果作为初估值供下次分析使用,而分析又为模式提供初值,这样每天 4 次不断运行。而在 12 时(世界时,下同)的初值提供给模式制作中期数值天气预报^[3-6]。

现将该系统的各个部分简单叙述如下:

3.1 观测资料的预处理

目前所使用的观测资料,主要是从全球电报通信系统得到,每天 4 次分别在正点前后 3h 内收集的资料。它们分别是地面/船舶报告、无线电探空、气球测风、飞机报告、卫星测风、卫星测厚、漂浮站和高空人造站。同化系统对观测资料都要进行质量控制,以便改正和删除错误的资料。

首先进行气候检查和垂直一致性检查,后者包括风的垂直切变检查、 $\ln P$ 线性内插检查、温度垂直递减率检查和逆温层结检查、静力学检查、仪器结冰检查等。接着是观测资料与初估值比较、与邻近观测资料比较的检查。其中精确的初估值对质量控制是有利的,特别是在观测资料稀少的地区,预报为质量控制提供了大量的有用信息。

3.2 客观分析

客观分析方案是采用当前世界上普遍使用的三维多变量最优插值方法(相对湿度分析是单变量),它允许同时使用各种类型、具有不同观测误差的资料。由观测增量(观测资料减去初估值)和其相应的权重系数,可求得分析格点上的位势高度、风的 u 和 v 分量及相对湿度的分析增量和分析误差。在中高纬度地区,位势高度分析增量和风分量的分析增量受近似的地转关系约束。分析格点是采用等面积高斯格点,即分析格点是在模式的高斯

纬圈上(对于三角截断 63 个波,全球的高斯纬圈数为 96),在极地附近为等距的 4 个分析格点,而在赤道附近增加到等距的 192 个分析格点,经过线性插值后可得到与模式一致的分析值。在垂直方向分析是在模式层等 η 面上进行。

3.3 初值化

非线性正规模初值化在同化系统中充当着一个很重要的角色。初值化能够有效地控制客观分析中质量场和运动场之间的不平衡,避免虚假的高频重力波振荡对预报的损害。这些高频振荡比实际大气中观测到的重力波振幅大得多。非线性正规模初值化方法的主要原理是用模式大气中自由振荡的正规模来表示分析场,然后修正快速移动的重力波的系数,使其初始时间倾向为零。要修正的重力波是在前 5 个垂直模中,通过两次非线性迭代,得到的系统是动力平衡的,物理场如散度和垂直运动场是平滑的和有气象意义的。气象噪音在中高纬度地区是较小的,所以它在分析场和初值化场之间通常是比较小的,但是在热带地区的散度和地面气压除外。由于初值化控制了“噪音”,保证了预报能平滑地开始,从而也保证了下次初估场的精度。

3.4 求初估场所用的预报模式

在同化系统中,使用的预报模式是国家气象中心的全球中期数值天气预报谱模式,即 16 层原始方程谱模式,三角截断波数为 63,故简称为 T63L16,垂直坐标是 η 坐标系。模式变量的水平表示采用谱方法,其基本原理是用一组数学函数(球谐函数)来表示一个场,而不是用离散的格点值来表示。其主要优点是计算中明显减少了扰动的位相误差;极地可作为一点处理,避免了对极地的特殊考虑;提高了计算效率。

预报模式的方程组为涡度方程、散度方程、热力学方程、连续方程、静力状态方程和水汽方程。运算方程采用垂直有限差分、水平波谱技术和半隐式时间积分方案,时间步长为 22.5min。其主要物理过程采用欧洲中期天气预报中心的方案,包括水汽的凝结和蒸发,热量、动量和水汽的湍流输送以及地面行星边界层的作用等。详细情况请见中期预报模式部分的介绍。

用四维资料同化系统给预报模式提供初值有以下优点:

(1)用含有复杂物理过程的大气谱预报模式作为同化模式,可为下一次客观分析提供最精确的初估场,这一点在时空分布上资料稀少的地区尤为重要。同样有利于保证观测资料质量控制的精度。

(2)将预报模式提供的初估场与多变量最优插值分析结合使用,可以有效地保证风压场的平衡,以确保由于初值化引起的变化足够小,从而保留更多的观测信息。

(3)最优插值方法为处理不同类型的观测资料提供了一个严格的统计分析方法。

(4)多变量最优插值分析方法可用一个观测变量来分析、更新另一个变量。如用观测的高度来分析、更新风变量,或反之。

(5)使用预报提供的初估场做的分析,又反馈给预报,即一个较好的预报可通过初估场得到一个较好的分析场,从而通过分析场又可得到较好的预报场。

总之,目前由于具有了高质量的观测资料、同化方法、预报模式和计算机系统,所以由四维资料同化系统得到的初值,精确地描述了大气、大气边界层、边界层相互作用等可能的状态,使数值天气预报的质量得到显著地改进和提高。

4 预报模式

中期数值天气预报业务系统中的预报模式是引进欧洲中期天气预报中心 1980 年代中后期的业务预报谱模式 T106L19 的基本框架, 然后加以改造, 成为适应中国情况的 T63L16^[7,8]。

4.1 模式方程组

作较长时间的中期数值天气预报, 采用球面地形坐标是适宜的。为使垂直坐标一般化, 令该坐标必须是气压 p 的单调函数, 并同时依赖于地面气压 p_s , 满足

$$\eta(0, p_s) = 0$$

$$\eta(p_s, p_s) = 1$$

在此坐标系中, 动力学方程组可写成

$$\frac{\partial U}{\partial t} - (f + \zeta)V + \dot{\eta} \frac{\partial U}{\partial \eta} + \frac{R_d T_v}{a} \frac{\partial}{\partial \lambda} \ln p + \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \lambda} (\Phi + E) = P_U + K_U \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (f + \zeta)U + \dot{\eta} \frac{\partial V}{\partial \eta} + \frac{R_d T_v}{a} (1 - \mu^2) \frac{\partial}{\partial \mu} \ln p + \frac{1 - \mu^2}{a} \frac{\partial}{\partial \mu} (\Phi + E) = P_V + K_V \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{U}{a(1 - \mu^2)} \frac{\partial T}{\partial \lambda} + \frac{V}{a} \frac{\partial T}{\partial \mu} + \dot{\eta} \frac{\partial T}{\partial \eta} - \frac{\kappa T_v \omega}{[1 + (\delta - 1)q]p} = P_T + K_T \quad (3)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{U}{a(1 - \mu^2)} \frac{\partial q}{\partial \lambda} + \frac{V}{a} \frac{\partial q}{\partial \mu} + \dot{\eta} \frac{\partial q}{\partial \eta} = P_q + K_q \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right) + \nabla \cdot (\vec{V}_h \frac{\partial p}{\partial \eta}) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \eta} = - \frac{R_d T_v}{p} \frac{\partial p}{\partial \eta} \quad (6)$$

$$\omega = - \int_0^\eta \nabla \cdot (\vec{V}_h \frac{\partial p}{\partial \eta}) d\eta + \vec{V}_h \cdot \nabla p \quad (7)$$

利用边界条件, 在 $\eta=0$ 和 $\eta=1$ 时, $\dot{\eta}=0$, 对方程(5)求积分, 可得地面气压方程及 $\dot{\eta}$ 表达式

$$\frac{\partial}{\partial t} \ln p_s = - \frac{1}{p_s} \int_0^1 \nabla \cdot (\vec{V}_h \frac{\partial p}{\partial \eta}) d\eta \quad (8)$$

$$\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} = - \frac{\partial p}{\partial t} - \int_0^\eta \nabla \cdot (\vec{V}_h \frac{\partial p}{\partial \eta}) d\eta \quad (9)$$

为了使用谱方法, 水平运动方程采用涡度和散度方程形式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{1}{a(1 - \mu^2)} \frac{\partial}{\partial \lambda} (F_V + P_V) - \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \mu} (F_U + P_U) + K_\zeta \quad (10)$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{1}{a(1 - \mu^2)} \frac{\partial}{\partial \lambda} (F_U + P_U) + \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \mu} (F_V + P_V) - \nabla^2 G + K_D \quad (11)$$

其中: $U = u \cos \theta, V = v \cos \theta, E = \frac{1}{2}(U^2 + V^2)/(1 - \mu^2), \mu = \sin \theta, G = \Phi + E, \delta = C_{pv}/C_{pd}, \kappa = R_d/C_{pd}, K_U, K_V, K_\zeta, K_D, K_T, K_q$ 为扩散项, P_U, P_V, P_T, P_q 为各种物理过程项, 还有

$$F_U = (f + \zeta)V - \dot{\eta} \frac{\partial U}{\partial \eta} - \frac{R_d T_v}{a} \frac{\partial}{\partial \lambda} \ln p$$

$$F_V = - (f + \zeta)U - \dot{\eta} \frac{\partial V}{\partial \eta} - \frac{R_d T_v}{a} (1 - \mu^2) \frac{\partial}{\partial \mu} \ln p$$

4.2 数值计算方法

在水平方向上,采用谱方法进行计算,首先将模式变量作球谐函数有限级数展开

$$x(\lambda, \mu, \eta, t) = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=m}^{N(m)} x_n^m(\eta, t) P_n^m(\mu) e^{im\lambda} \quad (12)$$

其中 $P_n^m(\mu)$ 是连带勒让德多项式,而 x_n^m 为

$$x_n^m(\eta, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \int_0^{2\pi} x(\lambda, \mu, \eta, t) P_n^m(\mu) e^{-im\lambda} d\lambda d\mu \quad (13)$$

利用球谐函数的性质,可把动力方程组写成

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \zeta_n^m &= \frac{1}{2\pi a} \int_{-1}^1 \int_0^{2\pi} (1 - \mu^2)^{-1} \{im(F_V + P_V)P_n^m(\mu) \\ &\quad - (F_U + P_U)H_n^m(\mu)\} e^{-im\lambda} d\lambda d\mu + (K_\zeta)_n^m \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} D_n^m &= \frac{1}{2\pi a} \int_{-1}^1 \int_0^{2\pi} (1 - \mu^2)^{-1} \{im(F_U + P_U)P_n^m(\mu) + (F_V + P_V)H_n^m(\mu)\} \cdot \\ &\quad \cdot e^{-im\lambda} d\lambda d\mu + \frac{n(n+1)}{2\pi a} \int_{-1}^1 \int_0^{2\pi} GP_n^m(\mu) e^{-im\lambda} d\lambda d\mu + (K_D)_n^m \end{aligned} \quad (15)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} T_n^m = \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \int_0^{2\pi} (F_T + P_T)P_n^m(\mu) e^{-im\lambda} d\lambda d\mu + (K_T)_n^m \quad (16)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} q_n^m = \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \int_0^{2\pi} (F_q + P_q)P_n^m(\mu) e^{-im\lambda} d\lambda d\mu + (K_q)_n^m \quad (17)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\ln p_s)_n^m = \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \int_0^{2\pi} F_p P_n^m(\mu) e^{-im\lambda} d\lambda d\mu \quad (18)$$

其中

$$F_T = -\frac{U}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial \Gamma}{\partial \lambda} - \frac{V}{a} \frac{\partial \Gamma}{\partial \mu} - \dot{\eta} \frac{\partial \Gamma}{\partial \eta} + \frac{\kappa T_V \omega}{[1 + (\delta - 1)q]p}$$

$$F_q = -\frac{U}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial q}{\partial \lambda} - \frac{V}{a} \frac{\partial q}{\partial \mu} - \dot{\eta} \frac{\partial q}{\partial \eta}$$

$$F_p = -\frac{1}{p_s} \int_0^1 \nabla \cdot (\vec{V}_\eta \frac{\partial p}{\partial \eta}) d\eta$$

在作球谐谱展时,采用三角形波数截断方式,则 $N(m) = M$, 式(12)至(18)的双重积分中的内积分部分采用 FFT 技术;外重积分部分采用精确的高斯积分公式。非线性项如 F_U, F_V, F_T, F_q, F_p 在高斯格点上计算。高斯网格在全球面上的大小是:纬向有 $3M + 1$ 个等格距点,经向有 $\frac{1}{2}(3M + 1)$ 个不等格距点。在 T63L16 模式中,网格距约为 1.875 经纬度。

在垂直方向上采用有限差分方法。将模式大气分为 N 层,层与层之间的界面上气压为

$$p_{K+\frac{1}{2}} = A_{K+\frac{1}{2}} + B_{K+\frac{1}{2}} p_s \quad (19)$$

而界面上的垂直自变量为

$$\eta_{K+\frac{1}{2}} = A_{K+\frac{1}{2}}/p_0 + B_{K+\frac{1}{2}} \quad (20)$$

其中 $p_0 = 1013.25 \text{ hPa}$, A 与 B 是一组待定常数。在目前给出的 A 与 B 值方式下,使模式的垂直坐标成为:下层为 σ 坐标和上层为气压坐标的混合坐标。

在倾向方程(8)中的垂直积分化求和格式,在连续方程中求 $\gamma \frac{\partial p}{\partial \eta}$ 的方法,在垂直平流项中的差分方案,静力方程的有限差格式,气压梯度力项的计算公式以及热力方程中的能量转换项的计算方法,均协调一致,使之角动量守恒,确保计算稳定。

模式对散度、温度和地面气压方程采用半隐式时间积分方案,并引进了时间滤波以防止计算波的虚假增长;另外,还对涡度与水汽方程中的纬向平流项采用了半隐式方法,以增加它们计算的稳定性。对于 T63L16 模式,半隐式时间积分步长为 22.5min。

模式的水平扩散采用四阶线性的隐式计算方法;在山顶与陡山坡附近,为避免虚假的增温,对温度扩散采用一种修正的扩散方案;同时在平流层中引入增强性扩散和在对流层中对最大风速超过临界值的某些层次进行强风阻尼。

最后,在模式计算中引进了并行计算技术。利用勒让德函数的递推公式

$$H_n^m(\mu) = (\mu^2 - 1) \frac{d}{d\mu} P_n^m = (n+1)\epsilon_n^m P_{n-1}^m - n\epsilon_{n+1}^m P_{n+1}^m \quad (21)$$

其中 $\epsilon_n^m = \left(\frac{n^2 - m^2}{4n^2 - 1} \right)^{1/2}$, 可以把方程(1)~(11)中的经向导数消去,产生了各高斯纬度之间的格点计算(非线性项和物理过程的计算)是相互独立的,再利用勒让德多项式的奇偶分离及 FFT 的实虚分离,就可引进并行计算技术。在 YH-2 巨型机 4 个 CPU 及其宏任务软件库支持下,谱模式 T63L16 已实现了大粒度的子程序级的并行计算,倍速因子为 3.5, 作 7d 全球预报需墙钟时间为 1.5h。

4.3 物理过程

模式方程中的 P_U, P_V, P_T, P_Q 项表示物理过程,也就是辐射、水汽凝结和蒸发、热量、动量和水汽湍流输送,以及地面行星边界层的作用等。这些物理过程的空间和时间尺度很小,故在模式中以参数化的方式出现,这里仅简要描述。

在设计辐射方案时,比较详细地考虑了云与辐射之间的相互作用,它允许在模式任何层次上存在部分云盖,而且考虑了多层云对辐射的散射作用。方案中考虑了 CO_2 、臭氧、气溶胶和地表征状的作用。

垂直方向上的涡动通量(热量、动量、水汽的湍流通量)是通过扩散过程来操纵的。与大气稳定度有关的地面通量和扩散系数是根据莫宁-奥布霍夫相似理论来决定。还考虑了植被对地面蒸发作用和与雪盖有关的感热通量的作用。

从两个方面考虑地形作用:一是地形作为模式的下边界,采用包络地形作为地形的几何表示;另一是地形的重力波曳力作用,当稳定的层状气流与不平坦地形发生作用时,激发出重力波,它的向上传输和破碎,把动量与热量消耗在大气中,这就是所谓的“地形重力波拖曳力作用”。

在考虑湿过程时,将层状云降水和对流云降水分开。前者用一般的饱和凝结法,当模式预报的比湿过饱和时,凝结发生,凝结出来的水份作为降水,并从原水汽中扣除,同时凝结潜热释放,加热大气。还考虑降水在下降过程中的蒸发。对于积云降水考虑了深积云对流和浅对流作用。深积云对流采用了熟知的郭晓岚(1974)方案,其产生的降水是由于环境大气不稳定和大尺度水汽的辐合引起的。

最后,物理过程中,采用了一个三层扩散方程的有限差分近似,并在最低层加进了气

候值。另外,还包括了对雪盖的预报。

5 业务支持系统

中期天气预报要作为每日例行业务,必须高效方便地应用其结果,因此作为中期数值天气预报业务系统就必须有支持子系统,这个子系统主要有程序库、数据库和图形图象系统 3 个部分。

5.1 程序库

例如 YH-2 中期数值天气预报模式 T63 的程序含 3 个部分:预报模式程序库、内存管理软件包和气象软件专用库。近 16 万行、400 个子程序模块,用 FORTRAN 语言和 YH-2 汇编语言编写。

预报模式程序库是 T63L16 的主体部分,适应 YH-2 或 FORTRAN 编译器特点,分别编译:不使用局部存储器的所有程序模块的局部变量;充分使用局部存储器的运行时间长、调用次数多的程序模块;必须置参数的基本模块。程序本身采用一系列向量化技术。

内存管理软件包支持多任务运行,每个任务能单独分配空间,保证多任务并行计算。

气象软件专用库,包括基本算法模块和堆栈管理程序。

5.2 数据库

直接与数值预报相关的数据库有要素库、场库和产品库。

要素库,定时从通信系统电报流水文件中提取 16 种气象报,进行格式检验、译码和初步质量检查加工处理,形成具有气象意义并可直接用于计算处理的大气要素数值。

场库,将中期数值预报各环节作业段生成的客观分析、同化预报、中期预报和后处理结果,按一定的结构分类存放,以便绘图、存档、预报会商等业务使用。

产品库,将客观分析和预报再加工的产品按日期、分时次、区别区域范围、要素和时效分类存放。格点报部分经通信系统向下级台站分发,数据文件部分供下级台由广域网远程调用(高速无差错传输)。

数据库内部采用 WMO 推荐的压缩编码先进技术。要素库内部表示为 BUFR 码,场库和产品库数据文件部分内部表示为 GRIB 码(BUFR 与 GRIB 码均为一种二进制编码格式)。

5.3 图形图象系统

该系统由 Cyber 计算机支持下 910 工作站上 AMIGAS 图形软件和 VAX 计算机支持下 3100 工作站上 MAGICIS 图形软件组成。从要素库和场库中,获取探测资料和数值分析预报结果,进行分析处理生成各种业务服务所需要的图形(和表格)。可在工作站显示和激光打印机输出,现在已供中央气象台预报员使用。不久 T63L16 的产品也可直接输送到传真广播系统,供全国各级气象台预报业务参考。以上图形处理全部自动化,也可人工启动,比常规填图早 1—3h 出图。本图形系统具有叠加、开窗、放大和漫游等功能,还可人工订正修改和标注雷雨、锋面和高低压中心等天气分析符号。

本业务支持系统为中期数值预报和其它天气预报、气候监测评价等业务服务的客观化、量化、自动化、可视化创造了良好的运行环境。

6 业务系统的运行情况和预报效果检验

综合上述研究开发各方面形成了中期数值预报实时业务系统流程(图 2),每天实时业务即按此流程运行。

6.1 运行情况

目前在国家气象中心计算机系统上,运行着多个实时数值预报系统,承担了繁重的攻关科研等任务。为保证日常业务按时自动化运行,在 Cyber 系统上研制建立了数值预报业务监视控制子系统,在 LCN 网络支持下,有条不紊地按运行方案定时启动作业,完成资料加工处理和传输,及时将预报送达本中心内外预报服务岗位,并方便值班维护人员监视和处理运行现场异常状况。为了解决计算机网络设备故障,还设计建立了以 Cyber 或 M360 为主机的备份系统。中期数值预报的备份方案因备用计算机运算速度有限,设计了降级备份系统,或降低分辨率,或改全球为半球,或减少同化次数,有关配套环节和接口也作相应变更。备份系统的启用运行和业务系统的恢复切换,实施方案和操作都是很复杂的。

6.2 预报效果检验

附表列出了在 YH-2 巨型机上 T63 中期预报业务系统与 Cyber 上 T42 系统在 1993 年第 4 季度北半球 500hPa 高度场统计检验的季平均结果。

可见 T63 系统在 3d 以后的中期预报,在均方根误差及距平相关系数上优于 T42 系统,T63 系统的有用预报天数到达 5—6d,比 T42 延长 1d 或稍多。

T63 高度场和海平面气压场 96h 预报能力,初步结论是:1993 年 11 月份,对大型环流调整 T63 预报有一定指导意义。长波系统预报路径偏西,强度偏弱,除极涡预报误差较大外,其他有一定参考价值。12 月份,对欧洲中高纬度大型环流形势调整与超长波系统均有预报能力,亚洲南支槽预报可信,对南方的阴雨天气预报可提供决策依据。不足的是阻塞高压预报偏弱,低涡预报偏浅。地面冷高压预报能力较强,对冬半年冷空气强度和活动过程都有较高预报参考价值。对 11 月 1—18 日寒潮天气过程环流形势调整趋势预报基本正确。对 12 月份 5 次冷空气过程均做出可信预报。12 月 1—4 日中等强度冷空气过程预报成功,11—17 日南方阴雨期间南支槽的预报能力较强。预报人员根据 T63 的形势预报加上使用此模式的经验进行人为调整,预计可以得到更准确的预报。

7 结 语

中期数值天气预报是预报 3d 以上大气状态的能力,即科学认识问题。实时业务系统则是将这种能力变成在一定条件和环境下可运行的实时业务,亦即系统工程建设和每天运行的问题,在某种意义上,远比前者复杂。几年实践证明该业务系统,方案设计合理可行,经过研究开发、组合试验、准业务运行、业务运行、发布产品几个阶段,T42L9 方案已在 Cyber 上纳入业务,发布 5d 预报,T63L16 方案在 YH-2 上准业务运行,试发 7d 预报。

最近,国家气象中心将引进比 YH-2 更强的 CRAY 巨型机。中期预报业务系统中的模式分辨率可提高到 T106L19,即水平分辨率约 125km(在赤道附近),垂直方向为 19 层。随着模式分辨率的提高,物理过程参数化方案也将随之调整,有的方案将被新方案所代替,使有效可用预报达到 6—7d。

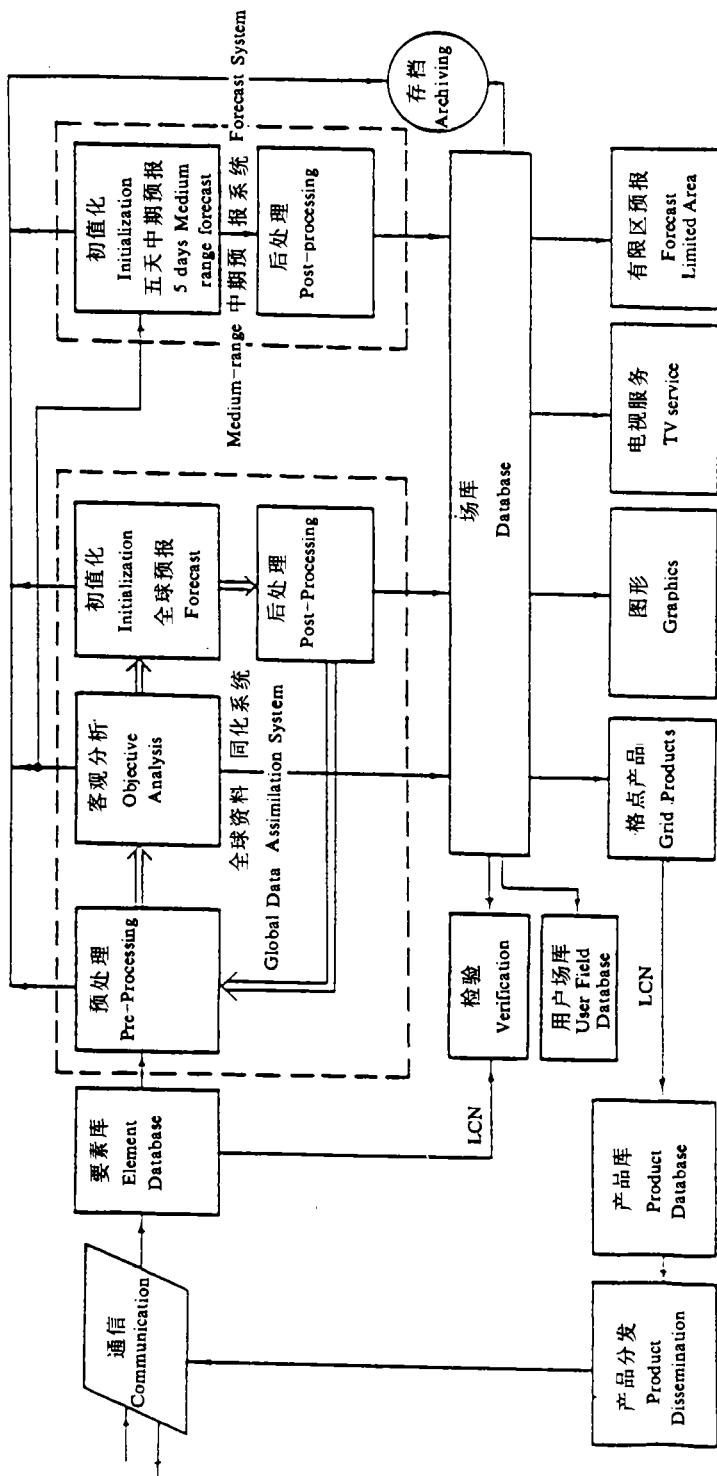


图2 中期数值预报实时业务系统流程

附表 1993 年第 4 季度北半球 500hPa 高度场统计检验

检验项目		预报天数						
		D+1	D+2	D+3	D+4	D+5	D+6	D+7
RMSE	T42	22.8	38.1	53.4	66.7	82.0		
	T63	25.9	37.3	49.4	63.4	75.2	80.8	88.7
A. COR	T42	0.947	0.881	0.788	0.677	0.558		
	T63	0.937	0.877	0.821	0.731	0.635	0.547	0.468

参考文献

- [1] 李泽椿, 梁孟铎, 王祖林, 王春虎等. 中期数值天气预报系统工程工艺扩大初步设计.
- [2] 李泽椿. “七五”国家重点科技攻关中期数值天气预报研究课题总结报告.
- [3] Lorenc A C. A global three-dimensional multivariate statistical interpolation scheme. *Mon Wea Rev.* 1981. 109: 701—721.
- [4] McPherson R D, Bergman K H, Kisilem R E, Rash G F and Gordon D S. The NMC operational global data assimilation system. *Mon Wea Rev.* 1979. 107: 1445—1461.
- [5] 全球气象资料预处理和质量控制方案的实施. 《中期数值天气预报研究》成果汇编 (一). 气象出版社, 1990 年 2 月.
- [6] ECMWF. ECMWF data assimilation scientific documentation. Research Manual 1. ECMWF. 1986. Reading.
- [7] ECMWF. ECMWF forecast model. Adiabatic part. Research Manual 2. ECMWF. 1987. Reading.
- [8] ECMWF. ECMWF forecast model. Physical Parameterization Research Manual 3. ECMWF. 1988. Reading.

MEDIUM-RANGE NUMERICAL WEATHER PREDICTION SYSTEM AT THE NATIONAL METEOROLOGICAL CENTER OF CHINA

Li Zechun

(National Meteorological Center, Beijing, 100081)

Abstract

The operational run of the medium-range Numerical Weather Prediction system requires not only to solve meteorological issues but also to deal with many engineering and technical problems associated with it.

This paper intends to describe the achievements in the research efforts and engineering construction of the system as well as its operational performance and verification outcomes in the process of its construction and installation at the National Meteorological Center.

Key words: Medium-range numerical weather prediction. Operational system. National Meteorological Center.