

二种正规模初值化的比较试验*

王 诗 文

(北京气象中心)

本文用麦申豪尔(Machenauer 1977)的非线性正规模初值化^[1](简称NMI)和动力正规模初值化(简称DNI)案^[2]进行比较试验。试验分别在一层谱模式、多层谱模式以及四维同化系统中进行试验。试验的结果表明:在一层谱模式上NMI比DNI稍好,而在多层谱模式上则DNI比NMI稍好。在四维同化系统对分析的拟合结果进行比较,总的来看DNI稍好于NMI。

1. 全球谱模式的DNI公式

动力正规模初值化方法是在一个 9 层的菱形截断 15 波(R_{15}, L_9)的全球谱模式^[3]上进行试验的,模式方程如下:

$$\dot{\zeta} + fD + 2\Omega V = N_c \quad (1)$$

$$\dot{D} + \nabla^2(\Phi_s + RT_0 q) - f\zeta + 2\Omega u = N_D \quad (2)$$

$$\dot{T} - \left(\frac{RT_0}{c_p} - \frac{\partial T_0}{\partial \sigma}\right)(\bar{D} - \bar{D}^0) - \sigma \frac{\partial T_0}{\partial \sigma} \bar{D} = N_T \quad (3)$$

$$\dot{q} - \bar{D} = N_q \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Phi_s}{\partial \sigma} = -\frac{RT}{\sigma}$$

其中方程(1)到(4)的右端项为非线性项。 $q = \ln p_s$, $\dot{\zeta}$, \dot{D} , \dot{T} , \dot{q} 分别表示 $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$, $\frac{\partial D}{\partial t}$, $\frac{\partial T}{\partial t}$, $\frac{\partial q}{\partial t}$ 。

在DNI中我们首先要计算非线性项即计算(1)到(4)方程的右端项,并且保持这些非线性项为常数,然后用具有选择性阻尼的向前向后差方案来积分模式方程(1)到(4),这个线性积分就相当于NMI迭代。线性积分之后,修改非线性项,再进行线性积分,这样循环足够多的次数就完成了DNI方案。

在DNI中线性积分的时间积分方案与模式本身的时间积分方案无关。在我们用的试验全球谱模式里,时间积分方案是节省计算时间的半隐式蛙跃方案,而在DNI的线性积分中所采用的是向前向后时间积分方案。这个方案包括一步向前,一步向后和一步平均计算。这个方案的阻尼效果是欧拉后差方案的四倍。

具体公式如下:

$$u^*_{n+1} = u_n + \Delta t \left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)_n \quad (5)$$

$$u_n^{**} = u_{n+1} - \Delta t \left(\frac{\partial u^*}{\partial t}\right)_{n+1} \quad (6)$$

$$\bar{u}_n = 3u_n - 2u_n^{**} \quad (7)$$

在我们试验所用的全球谱模式的情况下:向前向后积分次数 $n = 20$, $\Delta t = 420s$ 。

这样整个的DNI积分方案的执行步骤如下:首先计算非线性项并保持为常数,再线性积分20步,修改非线性,再线性积分20步,共循环5次。即计算5次非线性项,并做100次向前向后积分。这样比6小时周期短的正规模几乎被完全滤掉,比48小时周期长的正规模的阻尼非常轻微。例如96小时周期的正

* 本文于1987年10月28日收到,1988年11月2日收到修改稿。

规模的幅度只改变1.2%。

2. 试验结果

1) DNI在正压谱模式^[4](R21)上的试验结果

为了比较DNI与NMI初值化方案的性能，我们首先做一个24小时预报，这个预报的初始场是事先给定的一个标准 ψ 场。我们把这个24小时预报场做为“真实的初始场”，然后置预报的散度场为零，把这样的一个场做为“模式的初始场”。用这个“模式的初始场”分别做DNI和NMI得到二个初值化后的场，再用这两个初值化后的场跟“真实的初始场”一起计算均方根误差。通过均方根误差来看DNI与NMI的初值化性能。

试验分别在平均高度 $\bar{\phi}$ 为1.5km, 5.4km和9.8km上进行。结果用表1给出。

表1 在正压谱模式上DNI与NMI性能的比较

| 均方根误差 变 量 | $\bar{\phi}=1.5\text{ km}$ | | $\bar{\phi}=5.4\text{ km}$ | | $\bar{\phi}=9.8\text{ km}$ | |
|--------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
| | NMI | DNI | NMI | DNI | NMI | DNI |
| 涡度 ζ | 0.1236×10^{-5} | 0.1715×10^{-5} | 0.5004×10^{-6} | 0.4468×10^{-6} | 0.3993×10^{-6} | 0.3235×10^{-6} |
| 散度 D | 0.1787×10^{-5} | 0.2350×10^{-5} | 0.3881×10^{-6} | 0.5212×10^{-6} | 0.3025×10^{-6} | 0.5224×10^{-6} |
| 高度 Z | 0.2826×10^0 | 0.7559×10^{-2} | 0.2886×10^0 | 0.9358×10^{-2} | 0.3039×10^0 | 0.9386×10^{-2} |
| 流函数 ψ | 0.1188×10^1 | 0.6221×10^0 | 0.6270×10^0 | 0.4016×10^0 | 0.5238×10^0 | 0.2860×10^0 |
| 速度势 χ | 0.6364×10^0 | 0.9455×10^0 | 0.2684×10^0 | 0.4459×10^0 | 0.2539×10^0 | 0.6594×10^0 |

从表1上看，DNI的 ζ , z 和 ψ 的均方根误差(RMS)比NMI稍小(ζ 除 $\bar{\phi}=1.5$ 公里外)。而NMI的 D 和 χ 的均方根误差比DNI稍小。因为初始场的误差主要是散度场，因此我们特别重视散度场的均方根误差。从初值化调整的角度来看，在正压谱模式上NMI比DNI稍好。

2) DNI在9层全球谱模式(R_1, L_9)上的试验结果。

同正压谱模式一样，先用9层全球谱模式做一个24小时预报，把这个预报场做为“真实的初始场”，然后置散度场为零，得到一个新的“模式初始场”，再用“模式初始场”分别做DNI和NMI，最后计算均方根误差(RMS)。结果如表2。

表2 在多层谱模式上DNI与NMI性能的比较

| 变 量 | RMS | NMI | DNI |
|---------|-----|----------------------------|----------------------------|
| ζ | | 0.6175846×10^{-6} | 0.9150364×10^{-6} |
| D | | 0.2971670×10^{-5} | 0.2801885×10^{-5} |
| T | | 0.1141741×10^0 | 0.1077367×10^0 |
| Q | | 0.2348812×10^{-1} | 0.2054713×10^{-1} |
| ψ | | 0.5327003×10^0 | 0.5144831×10^0 |
| χ | | 0.2447450×10^1 | 0.2610078×10^1 |
| P_s | | 0.2940425×10^{-3} | 0.2804706×10^{-3} |

从表2上看，DNI的 D, T, Q, ψ, P_s 的均方根误差比NMI小。而NMI的 ζ 和 χ 的均方根误差比DNI小。从初值化的效果来看DNI比NMI好。

为了进一步比较DNI与NMI的初值化效果，我们分别做出在DNI, NMI和没有做任何初值化三种情况下的24小时预报，并从中、低三个纬度带上分别选取一点，制作了地面气压的变化图。即图1—3。从这三张图上看，没做初值化时地面气压变化呈现为一个波动，振幅在3hPa左右，周期为5小时左右。做过DNI以后的预报中，地面气压振荡被消除了。这个结果与做过NMI以后的预报情况非常接近。

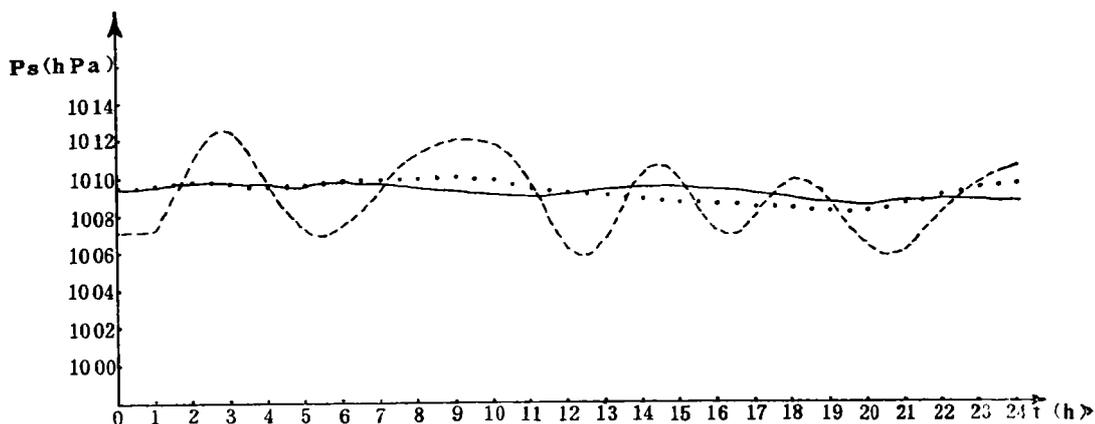


图 1 做DNI(点线),NMI(实线)和没做初值化(虚线)三种情况下高纬度带中一点上的地面气压在24小时预报中的变化图

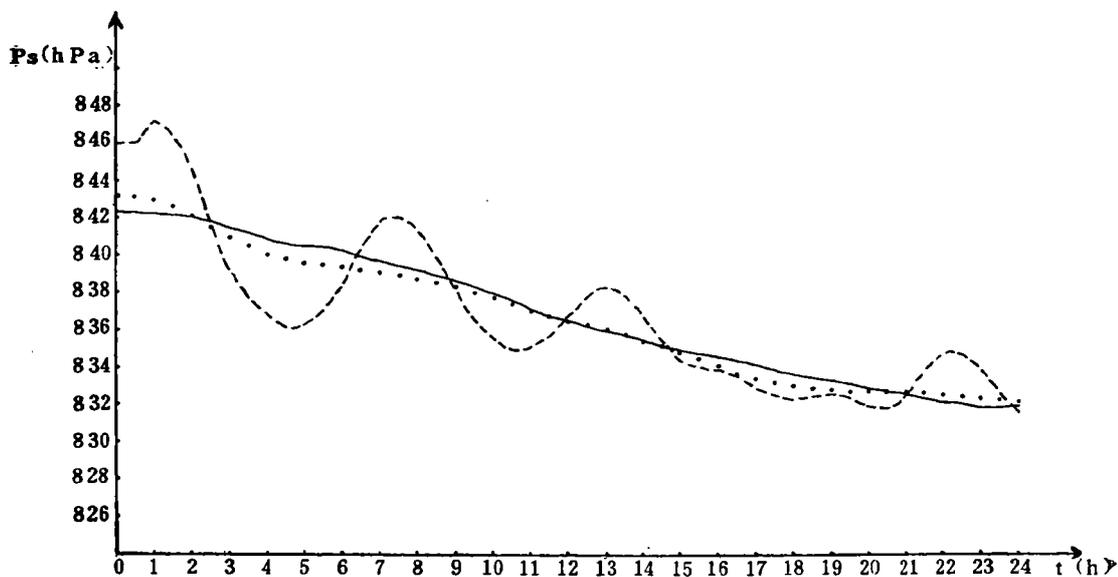


图 2 做DNI(点线),NMI(实线)和没做初值化(虚线)三种情况下中纬度带中一点上的地面气压在24小时预报中的变化图

另外还做出了DNI与NMI的三张差别图(图略),即DNI的初值化场与NMI初值化场相减的图。这些图包括200hPa高度场,500 hPa高度场和地面气压场的差别图,从这些图上可以看出二种初值化方案是有差别的,但差别很小,这也说明这两种方案的初值化效果相差不多。

3) DNI在同化系统上的试验结果

DNI与NMI二种初值化方案分别同化系统上运行。本文主要比较二种初值化方案对分析场的影响,比较两者的分析拟合的均方根误差,即测站的观测值与分析后再插到测站上的分析值之间的均方根误差。

另外地面气压的分析拟合均方根误差NMI为1.279而DNI为1.285。从上面表上看DNI与NMI两种初值化方案对于温度场及地面气压场的分析影响相差不多。对于湿度场和风场的分析DNI要优于NMI。

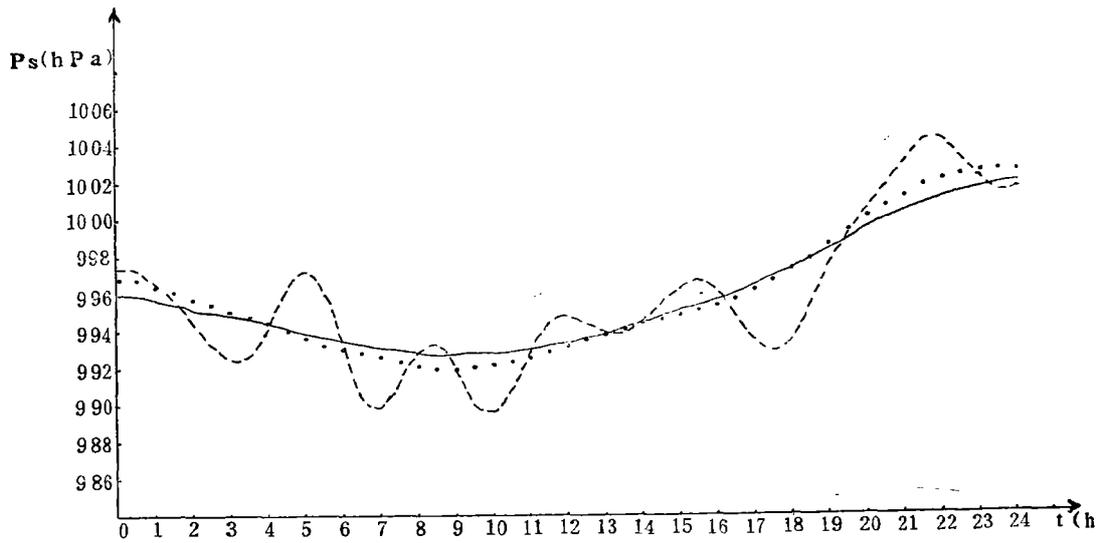


图 3 做DNI(点线),NMI(实线)和没做初值化(虚线)三种情况下低纬度带中一点上的地面气压在24小时预报中的变化图

表 3 温度场的分析拟合均方根误差

| σ 层 | NMI | DNI |
|------------|------|------|
| 0.9911 | 0.54 | 0.55 |
| 0.9259 | 0.56 | 0.55 |
| 0.8114 | 0.54 | 0.53 |
| 0.6639 | 0.53 | 0.51 |
| 0.5 | 0.38 | 0.38 |
| 0.3360 | 0.53 | 0.51 |
| 0.1886 | 0.44 | 0.45 |
| 0.0741 | 1.25 | 1.24 |
| 0.0089 | 0.48 | 0.54 |

表 4 湿度场的分析拟合均方根误差

| σ 层 | NMI | DNI |
|------------|------|------|
| 0.9911 | 0.79 | 0.58 |
| 0.9259 | 0.48 | 0.31 |
| 0.8114 | 0.57 | 0.50 |
| 0.6639 | 0.56 | 0.52 |
| 0.5 | 0.24 | 0.30 |

表 5 风场的分析拟合均方根误差

| 标准等压面 (hPa) | NMI | DNI |
|-------------|------|------|
| 1000 | 3.31 | 3.33 |
| 850 | 3.66 | 3.51 |
| 700 | 3.90 | 3.53 |
| 500 | 3.75 | 3.64 |
| 400 | 4.53 | 4.49 |
| 300 | 4.56 | 4.45 |
| 250 | 6.34 | 6.88 |
| 200 | 5.65 | 5.33 |
| 150 | 6.70 | 6.29 |
| 100 | 7.07 | 6.93 |
| 70 | 3.51 | 3.28 |
| 50 | 5.94 | 5.59 |

参 考 文 献

- [1] Machenhauer, B., On the dynamics of gravity oscillations in a shallow water model, with application to normal mode initialization, *Beitr. Phys. Atmos.*, **50**, 253—271, 1977.
- [2] Masato, sugi., Dynamic normal mode initialization, *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 5, 623—635, 1986.
- [3] Bourke, W., A multi-level spectral model, I. Formulation and hemispheric integrations, *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 10, 687—701, 1974.
- [4] Bourke, W., An efficient one-level primitive equation spectral model, *Mon. Wea. Rev.*, **100**, 683—689, 1972.

A TEST OF COMPARED TWO NORMAL MODE INITIALIZATION SCHEMES

Wang Shiwen

(National Meteorological Center, State Meteorological Administration)

Abstract

The test shows that in a shallow water model the nonlinear normal mode initialization (NMI) is better than dynamic normal mode initialization (DNI). But DNI is better than NMI in multi-level model.

In the assimilation system DNI is better than NMI for analysis fitting.