

# 用数字滤波方法进行数值模式的初始化\*

杨 燕 纪立人

(中国科学院大气物理所, 北京, 100080)

## 摘 要

将数字滤波原理用于 T 42L9 全球谱模式的初始化。选取两个初值进行了实验。通过对模式短时间积分得到的时间序列进行滤波处理, 有效地滤去了初始场中的高频重力波振荡, 保留了其中有天气意义的扰动, 同时对分析场的改变很小。5d 预报的结果说明, 经过初始化后的预报较为平稳, 场较为光滑。对比实验表明, 绝热和非绝热初始化的效果很接近。这种方法简便有效, 是一种实用的初始化方法。

关键词: 数字滤波, 初始化, 全球谱模式。

## 1 引 言

原始方程模式若直接用观测分析场作预报, 由于观测和客观分析过程中的误差造成的质量场与风场之间的不协调, 以及由于数值模式不完善造成的它与观测资料之间的不协调, 往往会激发出大振幅的高频重力波振荡, 影响预报的准确性和稳定性。而且如果用这种预报场作为初始场, 还会干扰下一步的资料同化过程。因此多年来发展出了许多初始化方法来控制这种重力波振荡。例如静力初始化<sup>[1]</sup>、动力初始化<sup>[2]</sup>、线性和非线性正规模式初始化(NNMI)<sup>[3-5]</sup>。其中以 NNMI 方法应用最广泛, 但它也存在一些问题, 比如求模式的正规模式不很方便, 特别是对有限区域模式。另外绝热的 NNMI 方法会显著地削弱热带的散度环流, 而若加入非绝热过程, 又容易使得迭代过程不稳定, 需要经过特别处理。Lynch 等<sup>[6]</sup>提出了一种比较简单的初始化方法, 就是先通过模式积分得到一个时间序列, 然后用数字滤波器对此序列进行处理, 滤去其中的短周期振荡, 得到所需要的初始场。他们将这种方法用于有限区域中尺度模式的初值形成, 取得了较好效果。本文则将它用于 T 42L9 全球谱模式的初始化。实验表明这种方法能有效地滤去初始场中的高频重力波, 并且对初始场的改变非常小, 另外这种方法能够很容易地引入非绝热过程, 因此它是一种很实用的初始化方法。

## 2 数字滤波方案

数字滤波的原理见文献[6]。设 $\{f_n\}$ 为观测的时间序列, 所选的滤波器为:

\* 初稿时间: 1995年4月6日; 修改稿时间: 1996年8月17日。

资助课题: 国家攻关项目 85—906—03 课题。

$$h_n = \left\{ \frac{\sin[n\pi/(N+1)]}{n\pi/(N+1)} \right\} \left[ \frac{\sin(n\theta_c)}{n\pi} \right]$$

其中  $\theta_c = \omega \Delta t$ ,  $\omega$  为截断频率, 与  $\omega$  对应的  $T_c = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi\Delta t}{\theta}$  即为截断周期, 比此周期短的那些扰动都从  $f_n$  中滤掉了。这里取  $T_c$  为 12h, 模式的时间步长  $\Delta t$  为 30min, 则  $\theta_c = \omega \Delta t = \frac{\pi}{12}^\circ$ 。

对于非绝热和耗散过程, 一般来说只能进行正向积分。所以我们先去掉物理过程, 从  $t = 0$  时刻反向积分绝热模式至  $t = -T$  时刻, 然后再加上非绝热过程, 正向积分至  $t = T$  时刻。从  $-T$  到  $T$  这段时间的序列就是  $\{f_n\}$ , 则

$$f_0^* = \sum_{k=-N}^N h_k f_{-k}$$

即为  $t = 0$  时刻经过滤波的初值。这里  $N = T/\Delta t$  为序列总长度。然后就以  $f_0^*$  作为初始场, 继续进行预报。以下称这种方案为 DDFI 方案。

第二种方案是在正向积分时也不引入物理过程, 此方案称为 ADFI1 方案。另外还可以在向后积分至  $t = -T$  时刻后, 再回到  $t = 0$  时刻, 用绝热模式正向积分至  $t = T$ 。这两段序列合起来成为  $\{f_n\}$ , 此方案称为 ADFI2 方案, 它比较省时间。

### 3 数值实验结果

这里给出用 T42L9 全球谱模式作的两个个例实验结果。夏季的个例选取 1992 年 6 月 8 日的全球分析场, 先不经初始化作 5d 预报 (称为 NOI) 实验, 然后用此分析场作了 DDFI, ADFI1, ADFI2 三种初始化的实验。冬季个例选取 1978 年 12 月 25 日的初始场, 作了 NOI 和 DDFI 两个实验, 都报了 5d。

#### 3.1 初始场中 $\frac{\partial p_s^*}{\partial \alpha}$ 及 $\sigma$ 的分布

计算了这几个实验的初始场中的场面气压倾向  $\frac{\partial p_s^*}{\partial \alpha}$  的分布。它能够反映初始场中的重力波振荡的强度。图 1a 和 1b 分别是 NOI 和 DDFI 的结果。图 1a 的未经初始化的分析场中  $\frac{\partial p_s^*}{\partial \alpha}$  的分布很紊乱, 扰动很强且尺度小, 反映出此初始场中包含强的重力波振荡, 这是由于初始的质量场与风场不协调而激发出来的。而图 1b 经过非绝热初始化后的场中, 扰动强度减小了一个量级, 并表现出一定的天气尺度结构。这说明经过滤波后有效地滤去了初始场中的高频和小尺度的扰动。经绝热初始化的两个实验得到的场面气压倾向与图 1b 中差别很小, 说明绝热初始化也很有效。

值得注意的是, 图 1b 中的  $\frac{\partial p_s^*}{\partial \alpha}$  分布是有天气意义的。比如约 (45°N, 180°E) 附近有一较强的负中心, 表明这里气压降低。而不论是观测还是预报的结果都显示, 从 6 月 8 日至 9 日, 在 500hPa 和 700hPa 高度场上, 都有一个较强的低压中心从 180°E 以西的地方东移到 (45°N, 180°E), 并且明显加深, 这与场面气压倾向所显示的一致。这说明经过滤波后保留下来了具有天气意义的变化趋势。

另外, 还分析了 NOI 和 DDFI 两个实验得到的初始时刻 500hPa 垂直速度  $\sigma$  的分布

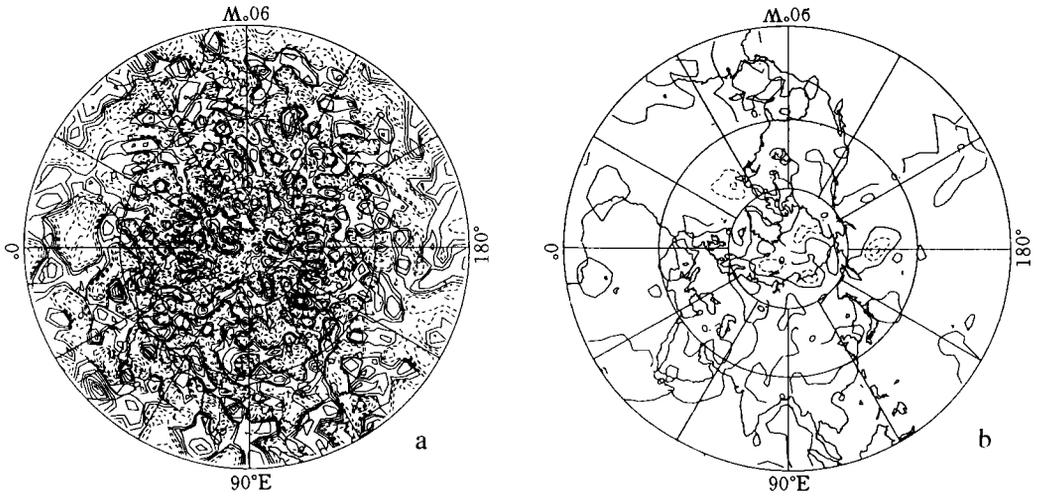


图1 1992年6月8日初始场中的场面气压倾向 $\frac{\partial p_s^*}{\partial t}$ 的分布

(a. NOI的结果; b. 经 DDFI 的结果)

(图略)。未经初始化的结果扰动强度大,而且分布较紊乱,经过 DDFI 后,扰动中心强度减弱,并表现出一定的有组织的结构,一些小尺度的扰动被滤掉了。特别是在热带和副热带,明显比滤波前光滑。但 DDFI 对  $\sigma$  场的改变比对  $\frac{\partial p_s^*}{\partial t}$  场的改变小得多。经绝热初始化后的  $\sigma$  场与经 DDFI 的结果很接近,只是扰动中心略强一些。

1978年12月25日的结果与1992年6月8日类似(图略)。未经初始化的场中,  $\frac{\partial p_s^*}{\partial t}$  的分布极紊乱,看不出任何天气意义,但经非绝热初始化后,扰动强度减小了一个量级以上,而且与天气系统的演变有一定对应。滤波对  $\sigma$  场的改变也比较小。

从中看到,相对于场面气压倾向来讲,DDFI 对初始垂直速度场的削弱作用小得多,并保留了具有天气意义的扰动,这正是所需要的。另外经初始化后对散度场的改变也明显比对垂直速度场的改变大,这说明初始场中的散度风分量更多地是与高频重力波相联系。

### 3.2 统计量的时间演变

在积分过程中,计算了一些有代表性的统计量。从它们的时间演变也可以说明滤波的效果。如图2是全球散度场的均方根( $\text{rmsDIV}$ ) 在6月8日至10日的48h 预报过程中随时间的演变。这个量代表模式中辐散风分量的扰动强度,与重力波的强度对应。其中的 A 线是 DDFI 的结果, B 线是经18h 绝热初始化(ADIF1)的结果, C 线是经12h 绝热初始化(ADIF2)的结果, D 线则是 NOI 的结果。可以看到,初始时刻 NOI 的  $\text{rmsDIV}$  值仅略大于 DDFI(A 线) 的值,但在以后的预报中它增加得很快,而 DDFI 的结果则很平稳地增加。ADIF1, ADIF2 的结果与 DDFI 的结果很接近,但略大一些。大约经过1d 后 NOI 的  $\text{rmsDIV}$  与经过初始化的结果就很接近了。全球涡度的均方根( $\text{rmsVOR}$ ) 演变(图略) 也类似, DDFI 的结果较小且变化平稳,而 NOI 的结果初始阶段的  $\text{rmsVOR}$  非常大,然后逐渐减小。B 和 C 实验中的  $\text{rmsVOR}$  也比 DDFI 的结果大些,说明初始化的时段较短时会保留较多的涡旋

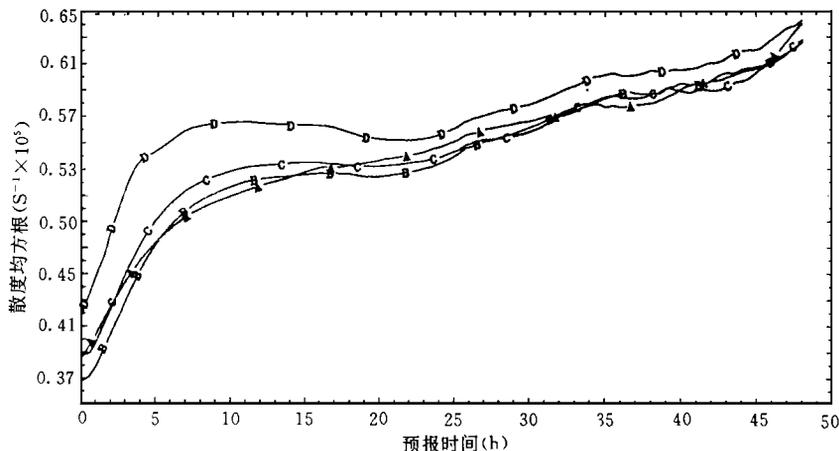


图2 48h 预报过程中全球的散度场均方根随时间的演变

(A 线: DDFI 的结果; B 线: 经 18h 绝热初始化(ADFI1)的结果;

C 线: 经 12h 绝热初始化(ADFI2)的结果; D 线: NOI 的结果)

分量。

图3给出6月8日4个实验中预报的场面气压倾向的绝对值  $\frac{\partial p_s^*}{\partial t}$  的全球平均量随时间的演变。 $\frac{\partial p_s^*}{\partial t}$  代表局地整层质量场的辐合、辐散, 所以全球平均的  $\frac{\partial p_s^*}{\partial t}$  反映的是重力波强度的总体水平, 尤其能够反映重力外波的情况。从图3中可以看到, NOI 的结果(D 线)  $\frac{\partial p_s^*}{\partial t}$  先是升到一个很大的值, 这说明初始场中包含了很强的高频重力波扰动。

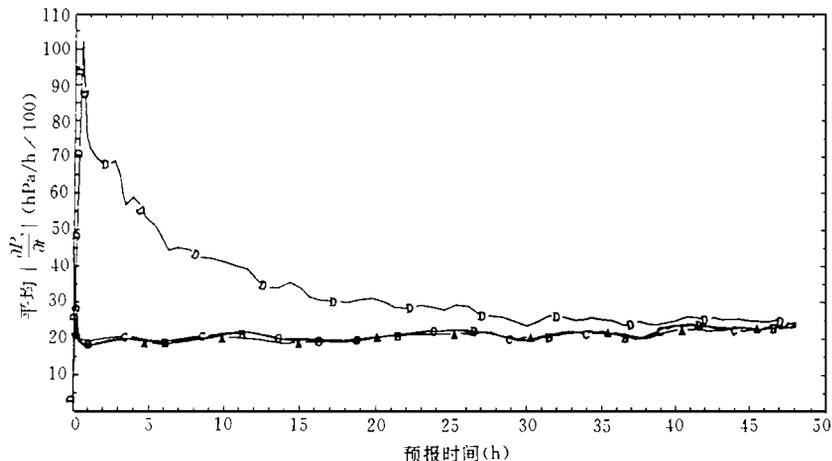


图3 48h 预报中场面气压倾向的绝对值  $\frac{\partial p_s^*}{\partial t}$  的全球平均量随时间的演变

(A 线: DDFI 的结果; B 线: 经 18h 绝热初始化(ADFI1)的结果;

C 线: 经 12h 绝热初始化(ADFI2)的结果; D 线: NOI 的结果)

然后由于模式本身对重力波的衰减作用, 以及模式中风场和质量场的逐渐协调,  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  又很快下降, 但还表现出一定的振荡。相反经初始化后, 开始预报时的  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  大约只有 NOI 结果的 1/5, 以后仅仅略有增加, 演变非常平稳, 表明初始场中的重力波扰动的确被有效地滤去了。经过一段时间预报后 NOI 的结果逐渐接近 DDFI 的结果。

另外, 绝热和非绝热初始化的结果  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  的演变差别极小, 说明它们对于抑制高频重力波振荡有相似的效果, 而绝热的方案可大大节省计算时间, 所以是可取的。

分析一些有代表性的点上的  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  及垂直速度  $\sigma$  随时间的演变, 也都有类似特征。NOI 的结果表现出了很强的短周期振荡, 尤其是在初始阶段, 振荡周期只有 2—3h, 振幅很大。相反经过 DDFI 后的预报,  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  的变化就平稳得多, 周期明显加长。从垂直速度场来看, 滤波后的振荡也比较平缓, 周期加长, 但变化的大致趋势反映出来了。说明经初始化后较好地保留了有天气意义的扰动。6月8日的结果大致相同。

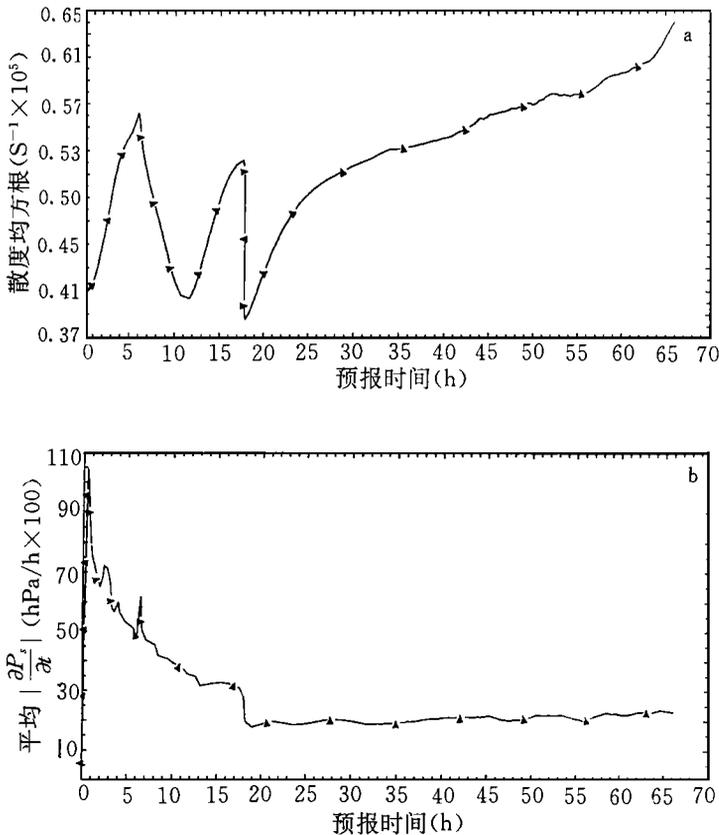


图4 6月8日 DDFI 实验全球的散度场均方根 (rm sDIV) (a) 及全球平均的场面气压倾向的绝对值  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  (b) 的时间演变

为了进一步说明这种方法是如何滤掉高频振荡的, 把 DDFI 实验中的统计量在初始化阶段及48h 预报阶段的变化一起给出。图4a, 4b 就是6月8日 DDFI 实验全球的散度场均方根  $\text{rmsDIV}$  及全球平均的场面气压倾向的绝对值  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  的时间演变。前18h 是初始化阶段, 从18h 以后是预报阶段。从图4a 中看到, 在初始化阶段  $\text{rmsDIV}$  有较强的振荡, 滤波结束后达最小值, 在以后的预报过程中平稳增加。图4b 中在开始进行初始化时,  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  也有非常大的峰值, 然后边振荡边迅速下降。在6h 以后开始非绝热向前积分时, 模式中又激发了扰动, 所以产生了第二个峰值, 以后  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  逐渐减小。18h 滤波后也达最小值, 说明这时的场中高频重力波扰动最小。所以由这个初值进行预报的过程中  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  的变化就一直很平稳。

图5是任意选取的一点(6 N, 180 E)的场面气压倾向  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  在6月8日 DDFI 实验中的初始化阶段(前18h)和预报阶段(后48h)的演变。最初6h  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  的值很大, 从6到18h, 此值有所下降, 但仍存在周期约2h 的高频振荡。到初始化阶段快结束时, 倾向值又进一步减小, 以后就在0的附近振荡, 特别值得注意的是, 在开始预报后振荡的周期明显加长, 达12h 以上。从这张图中可以明显地看出滤波的效果。其它点的情况以及12月25日的情况都与这点类似。总之经过初始化过程确实滤掉了那些高频的大振幅波动。

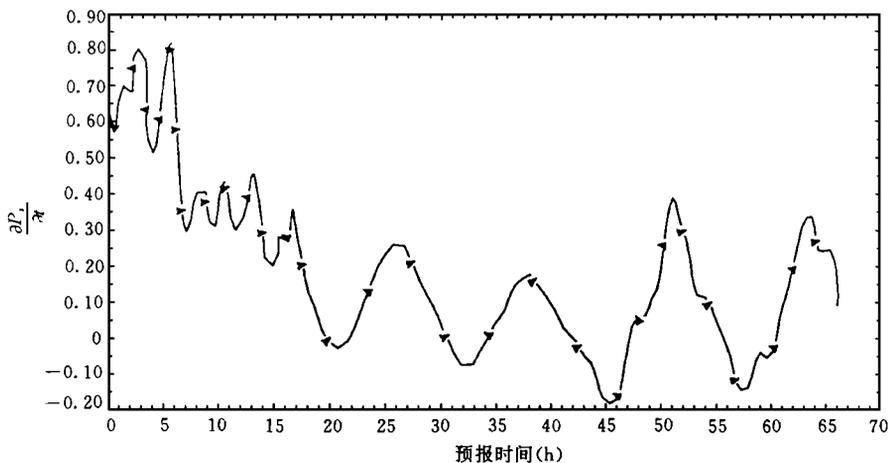


图5 任选点(6 N, 180 E)的场面气压倾向  $\frac{\partial P_s^*}{\partial t}$  在 DDFI 实验中的时间演变

以上所取的截断周期为12h, 相应地为滤波所取的时间序列也是12h。实际上用更短的序列也能达到目的。为此又作了一个实验, 即截断周期仍取12h, 但仅用8h 的序列来滤波, 先绝热向后积分4h, 再用非绝热模式向前积分8h。取这后8h 的时间序列进行滤波。结果表明, 这个方案的滤波效果与前面的 DDFI 实验非常接近, 但初始化的时间节省了1/3。

以上的结果说明, 滤波初始化对于去除初始场中的高频振荡很有效, 而且几种初始化的效果差别不大。

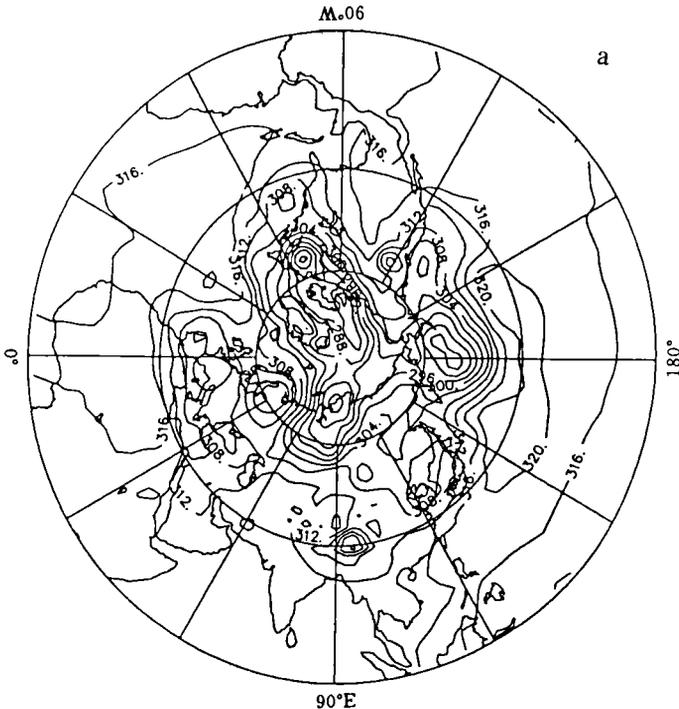
### 3.3 初始化对初始场及预报场的改变

比较两个实验中500hPa 位势高度的观测分析场和经过 DDFI 后的结果(图略), 除了在高原附近和热带略有不同外, 几乎看不出什么差别。滤波前、后各层位势高度场的相关都在0.99以上, 均方根误差也仅有几个位势米。这说明初始化过程在滤掉高频重力波振荡的同时对分析场本身的改变却很小, 尽可能多地保留了观测信息。这正是一个好的初始化方案所应具备的性能。

分别从 DDFI 和 NOI 的初始场作5d 预报。最初3d 的结果非常接近, 几乎看不出什么差别, 以后差别逐渐有所增大。

图6a, 6b 分别是 NOI 和 DDFI 预报的1992年6月13日700hPa 位势高度场(第5天预报), 而6c 则是相应的观测分析场。图6a, 6b 总的来看差别不大, 但图6a 在青藏高原附近报出了一个很深的低涡, 在图6b 中则较弱。而在图6c 的观测场中, 这里仅是一个弱的低压槽。在海平面气压场上差别更加显著, NOI 的结果在青藏高原附近的低涡很深, 经过 DDFI 后的预报结果则弱得多(图略)。另外图6c 中在北美北部的一个较强的低涡则是 NOI 的结果报得更强, 更接近观测事实。以上的预报结果说明, 经过滤波后由于滤去了初始场中的高频扰动, 使得模式的积分比较平稳, 预报的场也较光滑。

1978年12月25日的 NOI 和 DDFI 的预报结果在几天之内差别一直很小, 这与冬季流型的可预报性较好有一定关系。



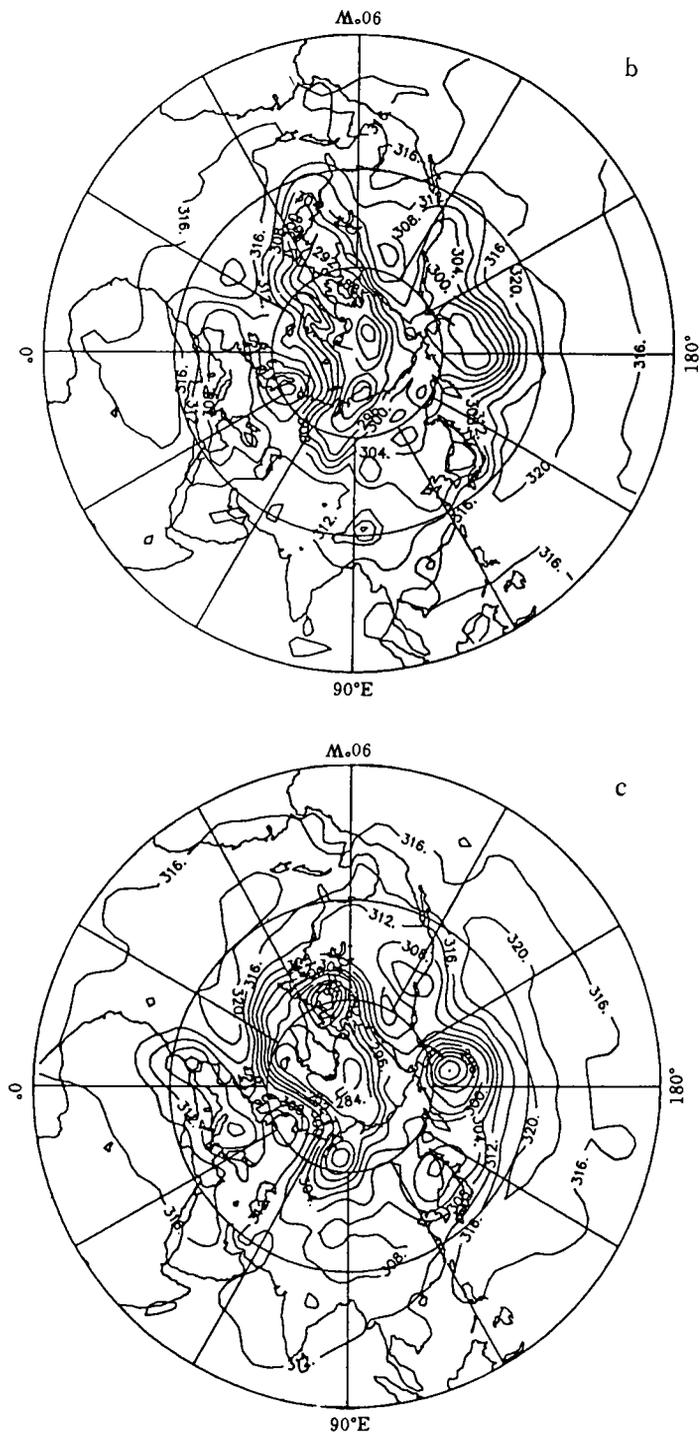


图6 1992年6月13日700hPa位势高度场  
(a. NOI的预报; b. 经过 DDFI 后的预报; c. 观测分析场)

## 4 小 结

本文把数字滤波原理用于 T 42L9 谱模式的初始化, 以滤去初始场中的高频重力波振荡。首先从给定的初值积分一段时间, 得到一时间序列, 然后用滤波器对此序列进行处理, 即可得到所需要的初始场。通过对夏季和冬季两个初值所作的实验, 得到以下结果:

1. 未滤波的分析场计算的场面气压倾向  $\frac{\partial p_s^*}{\partial t}$  场中充满了无规则的小尺度扰动, 而经过滤波后扰动强度减小了约一个量级, 并且其分布表现出了一定的天气尺度结构。500hPa 的垂直速度场也变得较为光滑, 同时其中有天气意义的扰动被保留了下来。初始化对垂直速度场的改变小于对散度场和  $\frac{\partial p_s^*}{\partial t}$  场的改变。

2 分析了全球的涡度、散度的均方根以及场面气压倾向的绝对值等统计量在初始化过程以及随后的预报过程中随时间的变化, 并与未经滤波的结果进行了比较。不经初始化的预报过程中统计量有很强的短周期振荡, 而经过滤波后振荡明显减弱, 周期加长, 统计量的变化平稳得多。

3. 这种滤波方法虽然去除了高频率、小尺度的扰动, 但对初始场本身的改变却非常小, 以后 2—3d 的预报差别也很小。但随着预报时效的延长, 差别有所增大。经初始化后的预报场较为光滑。

4. 对几种初始化方案的比较说明, 在初始化阶段中构造时间序列时用绝热过程和非绝热过程的效果相差不多, 而前者可节省时间。但初始化时段较长时会去掉较多的涡旋分量。

总之这种方法能很有效地去除初始场中的高频重力波振荡, 使模式的质量场和风场更加协调, 同时对分析场本身的改变很小。另外很重要的一点是, 这种方法简便易行, 与具体的模式无关, 而且容易引入物理过程, 因而是一种实用的初始化方法。

致谢: 本工作进行过程中, 曾与广东省气象局薛纪善教授、广州热带海洋气象研究所林俊杰同志进行过有益的讨论, 特此致谢。

## 参考文献

- [ 1 ] Phillips N A. On the problem of initial data for the primitive equations. *Tellus*, 1960, 12: 121– 126.
- [ 2 ] Miyakoda K and Moyer R W. A method of initialization for dynamical weather forecasting. *Tellus*, 1968, 20: 115– 128.
- [ 3 ] Flattery T. Spectral models for global analysis and forecasting. Proc. Sixth AWS Technical Exchange Conference. U. S. Naval Academy, Air Weather Service Tech. Report, 1970, 242: 42– 53.
- [ 4 ] Machenhauer B. On the dynamics of gravity oscillations in a shallow water model with applications to normal mode initialization. *Beitr Phys Atmos*, 1977, 50: 253– 271.
- [ 5 ] Baer F. Adjustment of initial conditions required to suppress gravity oscillations in nonlinear flows. *Beitr Phys Atmos*, 1977, 50: 350– 366.
- [ 6 ] Lynch P and Huang X-Y. Initialization of the HIRLAM model using a digital filter. *Mon Wea Rev*, 1992, 120: 1019– 1034.

# INITIALIZATION OF A NWP MODEL USING DIGITAL FILTERING METHOD

Yang Yan Ji Liren

(*Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica, Beijing, 100080*)

## Abstract

A digital filtering method is used in the initialization of T42L9 global spectral model. The experiments have been done on two initial conditions. Through filtering processes on the time series taken from short-time integrations of the model, the high-frequency gravity wave oscillations have been effectively removed from the initial fields and at the same time, the disturbances which are synoptically significant are reserved. Moreover, the analysed initial fields are little changed by the initialization. The results of five-day forecasts show that, after this initialization, the forecasts are more stable and the forecast fields are smoother. Comparative experiments show that the effectiveness of adiabatic and diabatic initializations are quite similar. This initialization method is not only efficient but also very simple and convenient to implement, so it is a very practical method.

**Key words:** Digital filtering, Initialization, Global spectral model.