

一种改进短期数值预报中 高度场精度的简单方法

潘在桃 王鹏云 徐宝新 任荣彩

(气象科学研究院) (河北省气象台)

提 要

本方法利用积分模式中预报高度场的倾向值和初始时刻的客观分析场的叠加作为最终高度场的预报值,而不是直接预报高度值本身。这样可以减少初始化、垂直内插等误差。初步试验结果表明:本方法预报平均高度场与实况的均方差从2.19减少到1.93位势什米,预报场与实况的相关系数从原来的0.879提高到0.941。

一、引言

分析数值模式产品常会发现,与天气实况相比,模式预报的结果太光滑以至过滤掉小尺度系统。分析其原因,除了与模式的积分部分有关外,还可能在相当程度上与模式的初值处理以及诊断输出有关。数值模式一般不采用 p 坐标,而多采用 σ 或 z 坐标。等压面上的天气资料进入模式积分之前必须垂直内插到模式坐标面上。而输出结果还须再以模式坐标回插到 p 面上以供天气分析使用。这势必大幅度衰减波动的振幅。

另外,在实际预报中,初始场波动太大,常使模式预报的结果发生突变,有时甚至溢出。因此在模式中(尤其是业务模式),不得不损失一些初始场的精度以求在任何情况下能得到较满意的预报。本文提出一个减小初值中垂直方向上内插引起的误差和缓和模式结果突变的简便方法。

二、模式预报误差讨论

数值预报的第一步客观分析所引起的误差,这里称为水平内插误差。第二步把 p 面上资料内插到模式坐标面上(如广泛采用的 σ 坐标),由于垂直方向上层次少,所以垂直内插误差远大于水平内插误差,特别是靠

近边界。内插到 σ 面上后,一般再经过某种方案的初始化,使变量场之间协调。第三步是模式积分。第四步把 σ 面上的积分结果再回插到 p 面上。

由上面讨论可知,数值预报中变量在垂直方向上要经过两次内插,才成为标准等压面上的预报值,肯定存在内插误差。若比较0时刻的预报和初始时刻客观分析结果,则差别甚大。特别是高度场,其值较大而变率较小,插值引起的微小误差将对形势场产生很大的歪曲。

三、改进方案

先把积分之前 σ 面上的高度值即0时刻的预报值 H_0 内插到等压面上,然后用预报时刻(如12或24小时)的高度值 H_1 减去 H_0 作为倾向值 ΔH ,最后把 ΔH 叠加到初始客观分析的高度场 H_{00} 上,得到最终的预报高度 H ,即

$$H = H_{00} + H_1 - H_0 \quad (1)$$

由此可见,积分模式只是用于预报倾向值,而不是高度场本身,这样至少两方面可以减小误差:(1)为使模式能稳定积分,初始客观分析场必须比较光滑而损失的精度。可以作两次客观分析(每一次分析需CPU5—6分钟),一次较光滑供模式积分之用,另一次比

较详细作为初值 H_0 。叠加到倾向值上，这个客观分析可以做得足够精确。(2) 垂直内插引起的系统误差。0时刻和预报时刻在垂直方向上都是按同一种方法插值，它们之间的差值 ΔH 就不再包含二次内插所共有的误差，即系统误差。

总之，这样得到的预报场是由较精确详细的初始场 H_0 和较平滑的倾向值 ΔH 所组成，尽管变化量中的细微结构会漏掉，但初值中细微结构仍保留。

四、模式系统简介

本文采用的模式是移植到气象科学研究院DPS-7机上的美国PSU/NCAR中尺度模式MM2，该模式系统主要由四部分组成。

1. 客观分析。用CRESSMEN[1]逐步订正法把不规则的高空1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200和150hPa以及地面资料内插到规则的网格点上，得到 90×90 km上 v , u , T , q 和 H 值。

2. 初始化。把客观分析后的风场进行整层无辐散处理、消去垂直平均散度，以减少计算不稳定。然后把 p 面上的客观分析值内插到模式平面上，目前一般预报模式多以 $\sigma = (p - p_t) / (p_s - p_t)$ 为垂直坐标，其中 p_t 和 p_s 分别为模式顶部和地面气压。本文中 $p_t = 150$ hPa, $\Delta\sigma = 0.1$ ，垂直方向上 u, v 按线性关系内插， T, q 按对数关系内插， H 由温度通过静力方程诊断如下：

对最低 σ 层

$$H = H_s - \frac{RT_v}{g} \ln \left[\frac{\sigma_L + \frac{p_t}{p_s - p_t}}{1.0 + \frac{p_t}{p_s - p_t}} \right] \quad (2)$$

其中 $\bar{T}_v = T'_{v_s} - (T'_{v_s} - T_{v_L}) \ln [p_s / \frac{1}{2}(p_s + p_L)] / \ln p_s / p_L$, T'_{v_s} 为地面虚温，下标 s 指地面， L 指该 σ 层， H_s 为地形高度。对于其它 σ 层

$$H_L = H_{L-1} - \frac{RT_v}{g} \ln \left[\frac{\sigma_L + \frac{p_t}{p_s - p_t}}{\sigma_{L-1} + \frac{p_t}{p_s - p_t}} \right] \quad (3)$$

其中 $\bar{T}_v = T_{v_{L-1}} - (T_{v_{L-1}} - T_{v_L}) \ln [p_{L-1} / \frac{1}{2}(p_{L-1} + p_L)] / \ln(p_{L-1} / p_L)$

3. 模式主体(积分部分)。该模式是原始方程、静力平衡中尺度模式，其主要控制方程为 σ 坐标系中，通量形式的动量方程，热力学能量方程，质量连续方程，静力平衡方程和水汽连续方程。积云对流采用郭晓岚/Anthes参数化方案。地形为实测的 $1^\circ \times 1^\circ$ 的海拔高度，中心定于 $38^\circ N$, $115^\circ E$ ，边界条件为时变，即用24小时的差值作为边界倾向值，空间差分为总能量守恒格式，时间为带气压平均的中央差分，详见文献[2]。

4. $\sigma \rightarrow p$ 面回插、诊断部分。模式积分输出是在 σ 面上，需要按与初始化中同样的方法把 σ 面上的预报值回插到 p 面上，作为最终的数值预报。同时进行一些变量如垂直速度(ω)和涡度等的诊断。

五、试验结果

利用上面介绍的MM2系统对该改进方案进行试报，由08时探测资料积分12小时预报20时天气。首先连续试验3天：1989年8月9, 10, 11日，该段天气基本无异常。然后又选3个天气调整较快(1989年7月25日)和较异常的个例(1989年8月7日和5日)。

图1给出了8月10日850hPa和11日500hPa H_0 和 H_{00} 之差，10日850hPa在预报区域北部 H_0 值比 H_{00} 偏高达5.5位势什米，而在渤海附近比 H_{00} 偏低-1.6位势什米。11日500hPa H_0 与 H_{00} 之差在预报区北部和中部出现一大片负值区，北中心值达-5.2位势什米，中部的中心值也为-3.0位势什米。可见不同个例的 $H_0 - H_{00}$ 之差变化很大，

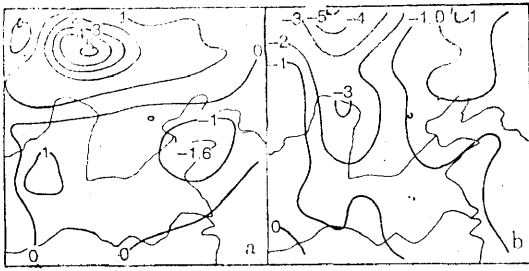


图 1 1989年8月10日850hPa(a)和8月11日500hPa(b)H₀与H₀₀之差值(位势什米)

时正时负。但对同一个例的不同层次差值变化不大(图略)。

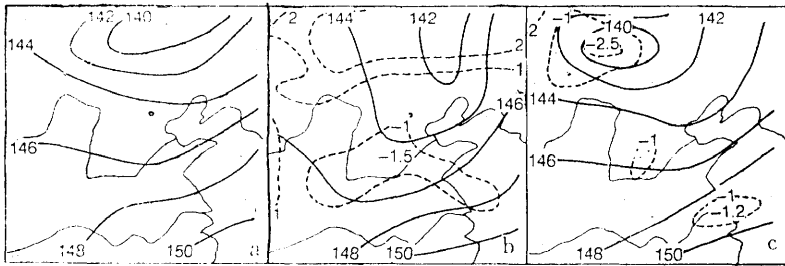


图 2 1989年8月11日20时850hPa实况场(a);未改进方案预报场(b)和改进方案的预报场(c)虚线为相应方案的预报误差(位势什米)

西端位置明显偏南,整个槽线呈东北西南向。京津地区西面的浅槽没有报出来,148线位置报得偏南。改进方案预报的欧亚大槽位置与实况很接近,只是其北段强度报得偏深,成了切断低压。京津地区西面的浅槽现已报出来了,并且位置与实况相近,副高强度报得更接近于实况,148线的位置也较准确。由这两种方案的预报误差(图中虚线)可知,改进前在预报区北部有大片的正2位势什米,中心值大于3位势什米区。在中南部有一片-1位势什米区域,其中心值为-1.5。改进后,北部的正2位势什米区域除东北角以

平滑(影响半径为1000km)和详细(影响半径650km)客观分析场之间也有一定差别,计算表明(图略),平滑分析的初始场有时不仅过滤掉小尺度系统,系统位置也有一定差别,两者数值相差最大时达2—3位势什米。

图2给出了11日850hPa改进前后的预报以及与实况之间的比较。实况上欧亚大横槽从海拉尔之南西伸至沙音山德附近,京津地区西面有一浅槽,副高的148线北伸至青岛、汉口一线。未改进方案预报的欧亚大槽

外都低于1。不过在二连浩特西面出现小片-2区,中南部的-1区也显著减小。10日850hPa未改进方案已经预报得比较成功(见附表)。11日500hPa预报的相对较差。

图3给出了11日500hPa的预报结果。实况场上,副高很强,588线伸到35°N以北,相应地欧亚大槽偏北且较浅,北面最低高度为571位势什米。未改进的预报场欧亚大槽偏深,最低高度为563位势什米,副高强度减弱,588线退至32°N以南;592线已不出现。经改进后,大槽报得不象未改进前那么偏深,最低高度升高到566位势什米,588线

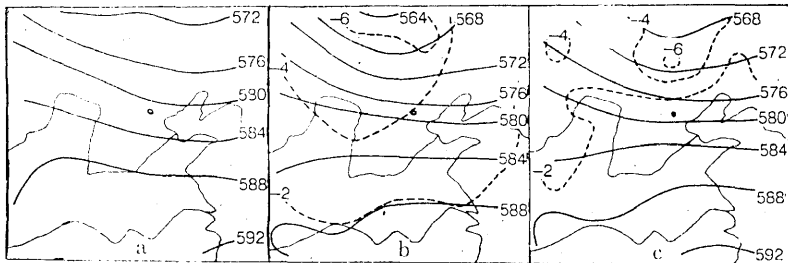


图 3 1989年8月11日20时500hPa实况场(a);未改进方案的预报场(b)和改进方案的预报场(c)虚线为相应方案的预报误差(位势什米)

比原来预报的北伸约两个纬度,接近于实况。改进前预报误差-6,-4,-2区均很大,最大值为-7.9位势什米。改进后各等值线的范围明显缩小,最大为-6.3位势什米。

由此可见,不管原来预报得好坏与否,经改进后预报精度都有所提高。为了定量分析改进方案的效果,我们计算了改进和未改进的预报场与实况之间的均方差 σ 和相关系数 r (见附表)。考虑到位势高度绝对值(或

附表 改进前后预报场与实况场之间的均方差和相关系数等

日期 (月、日)	层次	σ (什米)		σ_v		r		$\Delta\sigma$
		改进前	改进后	改进前	改进后	改进前	改进后	
8.9	850	1.17	1.16	0.0080	0.0078	0.938	0.942	2
	700	1.13	1.06	0.0036	0.0034	0.894	0.908	6
	500	1.48	1.32	0.0025	0.0023	0.955	0.959	11
8.10	850	1.30	0.93	0.0089	0.0064	0.915	0.950	28
	700	1.53	1.34	0.0049	0.0043	0.944	0.944	12
	500	1.81	1.78	0.0031	0.0030	0.971	0.962	2
8.11	850	1.81	1.71	0.013	0.012	0.818	0.822	6
	700	2.16	1.54	0.068	0.049	0.985	0.973	27
	500	3.44	2.45	0.059	0.040	0.989	0.990	29
7.25	850	3.72	3.57	0.026	0.025	0.882	0.892	4
	500	5.69	4.69	0.0097	0.0080	0.952	0.952	18
8.1	350	1.25	0.97	0.0087	0.0067	0.959	0.962	22
	500	2.28	2.20	0.0039	0.0038	0.944	0.947	4
8.5	850	1.31	1.29	0.0091	0.0090	0.952	0.960	2
	500	2.85	2.92	0.0049	0.0050	0.943	0.956	-2

平均值)很大(与其它气象场相比),用类似于求变差系数的方法,取

$$\sigma_v = \sigma / \left(\sum_{i=1}^N H_{0,i} / N \right) \quad (4)$$

衡量预报精度。同时定义改进效果

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma_p - \sigma_A}{\sigma_A} \times 100$$

其中 σ_p 和 σ_A 分别为改进前后的 σ 。计算的 σ , r , σ_v 和 $\Delta\sigma$ 列于附表。在15次/(层)中,除8月5日500hPa的 σ 值从2.85增加到2.92位势

什米外,其余14次中 σ 值均减小。其中,8月10日850hPa,8月11日700hPa和500hPa的 σ 值分别由1.30,2.10,3.44减小为0.93,1.57和2.45位势什米,预报精度分别提高为28%,27%和29%。15次中除8月10日500hPa和8月11日700hPa外,其余13次 r 值均提高。可见经改进后预报场与实况之间不仅平均误差减小,而且形势配置也有所改进。

附表是用平滑的客观分析 H_{00} 作为实况的。对于8月5日500hPa用详细的 H_{00} , σ 值从改进后的2.92进一步减小到2.62位势什米, r 从0.956进一步提高到0.964。

六、结语

本文提出一种提高高度场数值预报精度的简便方法,即用预报的变化量叠加在初始客观分析场上代替模式所预报的高度场。通过6次个例试验,平均预报均方差从2.2减小到1.9位势什米,相关系数从0.89提高到0.94。

积分初始时刻,由于观测误差等,各个场之间可能存在着一定的不平衡(协调),所以0时刻的预报场还不能完全代表真正的0时刻的高度场。要改进这一点,最好是在积分开始之前分别向前和向后积分,等模式稳定后,初始场具有更好的代表性,不过这太费时,有待于今后进一步研究。

另外,本文模式用了9层等压面资料,模式本身10层,应该说垂直分辨率比较高,对于垂直分辨率低于本文的模式,改进的效果会更大。

参考文献

- (1) Gressmen, G. P., An objective analysis scheme, Mon. Wea. Rev., Vol. 87, p367-372, 1959.
- (2) Anthes, R. A., Regional models of atmosphere in middle latitudes, Mon. Wea. Rev., Vol. 111, P1036-1335, 1987.

A simple method to improve geopotential height accuracy in numerical forecasts

Pan Zaitao Wang Pengyun

(Academy of Meteorological Science)

Xu Baoxin Ren Rongcai

(Meteorological Observatory, Hebei Province)

Abstract

A simple method to improve the forecast accuracy of geopotential height in numerical models is described here. The method combines the objectively analysed height field and model-produced height tendency to form a final forecast rather than forecasts the height itself directly. The preliminary results of six tests show that the RMS error of height forecast has been reduced from 2.91 to 1.93 ten meters and correlation coefficient increased from 0.879 to 0.941.