

T63 资料同化中分析增量垂直插值方案及其试验*

沈元芳 丁小良 谢邵成

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

文章介绍了国家气象中心 T63 资料同化系统中分析增量 p - η 坐标变换的垂直插值方案以及与全量插值方案对比试验的结果. 试验表明,增量方案可减小垂直插值误差,提高初值质量,从而对改进资料同化和中期数值天气预报起到一定作用.

关键词: T63 资料同化;分析增量; p - η 坐标变换.

1 引 言

国家气象中心准业务 T63 全球资料同化系统,包括观测资料预处理、客观分析、初始资料的 p - η 坐标变换、非线性正规模式初值化、模式预报和后处理等主要环节. 本文介绍其中 p - η 坐标变换的分析增量垂直插值方案,并通过准业务及并行系统试验,讨论了增量方案对同化和预报的影响.

通常,气压坐标(p)到混合坐标(η)变换的方法是将分析增量加到等压面上的初估场,再将此结果变换到模式的混合坐标层上(全量方案). 而增量方案将分析增量变换到模式的 η 层,再将它们加到初估场上. 和全量方案相比,增量方案有以下几个优点^[1]: (1)分析增量为小量,垂直插值误差较小; (2)在无观测资料的地方不修改预报,这样分析增量也就为零; (3)能保持预报的边界层结构. 在目前的层次分析中,在 900hPa 以下有 3 个模式层(图 1),而与之对应的只有 1 个 p 层($p=1000$ hPa). 当 p 层上分析本身不能提供有关边界层结构的任何信息时,增量方案保留了由分析前 6 小时的模式预报所建立的结构,除非观测资料中有信息保证修改这个结构.

1993年2月20日收到,1993年5月11日收到修改稿.

* 本文由国家《七·五》攻关课题 75-09-01 支持.

2 分析增量的水平谱变换

分析对初估场的订正是观测余差的线性组合,即

$$A_k^a - A_k^g = \sum_{i=1}^N W_i B_i \quad (1)$$

式中, A 是任一气象变量 (z, u, v, RH), B 是观测余差, N 是观测数量, W 是观测权重, 上标 a, g 表示分析值、初估值. 下标 k, i 表示分析点、观测点. 分析变量为 z 或 u, v 时, 使用三维多变量分析; 为 RH 时, 使用三维单变量分析. 使分析的统计误差最小, 则可得到求解最优权重系数 W_i 的 N 组线性方程. 在观测误差标准差、预报误差标准差、以及预报误差和观测误差的相关特征确定后, 即可求得线性方程中的权重系数, 由公式(1) 计算获得分析订正值, 即分析增量.

作为谱模式的初值, 应提供经过谱展处理的分析资料. 对高度 z 和相对湿度 RH 用以下公式计算谱系数:

$$F_n^m = \sum_{j=1}^N F_m(\mu_j) P_n^m(\mu_j) G_j \quad (2)$$

式中, N 为高斯纬圈数, G_j 为高斯权重, 其它均为气象和数学中常用的符号. 而散度和涡度的谱系数可由风场求得^[1]. 然后再对分析增量进行逆谱变换, 对于非速度场, 分析纬度的富氏系数由下式算出:

$$F_m(\mu) = \sum_{n=m}^T F_n^m P_n^m(\mu) \quad (3)$$

式中 T 为谱拟合的三角截断波数. 而风场的富氏系数可通过散度和涡度的球谱系数求得. 式(3) 和风场的富氏系数经富氏反演后, 即可得到分析增量的高斯格点值.

3 分析增量的 p - η 垂直插值方案

T63L16 谱模式采用混合垂直坐标 (η), 这种坐标系统在近地面与通常 σ 坐标相似, 而在平流层平滑减弱为气压坐标^[2]. 图 1 给出这种坐标模式的垂直分布情况.

p - η 变换对分析增量进行, 而不是对全分析场进行. 然后加到谱模式 η 坐标系下的初估场上. 各变量计算方法如下:

(1) 地面气压

假定位势是气压自然对数的二次函数, 则可根据分析等压面层次的高度和地形求地面气压 p_s :

$$\ln p_s = \overline{\ln p} + \frac{\partial(\bar{\Phi} - \Phi_s)}{a + \sqrt{a^2 + 2b(\bar{\Phi} - \Phi_s)}} \quad (4)$$

式中,

$$\overline{\ln p} = \frac{1}{2}(\ln p_k + \ln p_{k-1}), \quad \overline{\Phi} = \frac{1}{2}(\Phi_k + \Phi_{k-1}) + \frac{R}{2} \left[\frac{\partial T}{\partial \ln p} \right] \left[\frac{\ln p_k - \ln p_{k-1}}{2} \right]^2,$$

$$a = \frac{\overline{\partial \Phi}}{\partial \ln p} = - \frac{\Phi_k - \Phi_{k-1}}{\ln p_k - \ln p_{k-1}},$$

$$b = R \frac{\overline{\partial T}}{\partial \ln p} = R \frac{T_k - T_{k-1}}{\ln p_k - \ln p_{k-1}}.$$

上式中, 温度可预先根据静力方程由等压面高度求得, 下标 k 和 $k-1$ 分别表示地形高度上下两层等压面的层次。

于是, 从式(4) 指数运算求出分析后与分析前的地面气压之差, 即增量 δp , 然后加到初估场上, 得到新的 p 值。

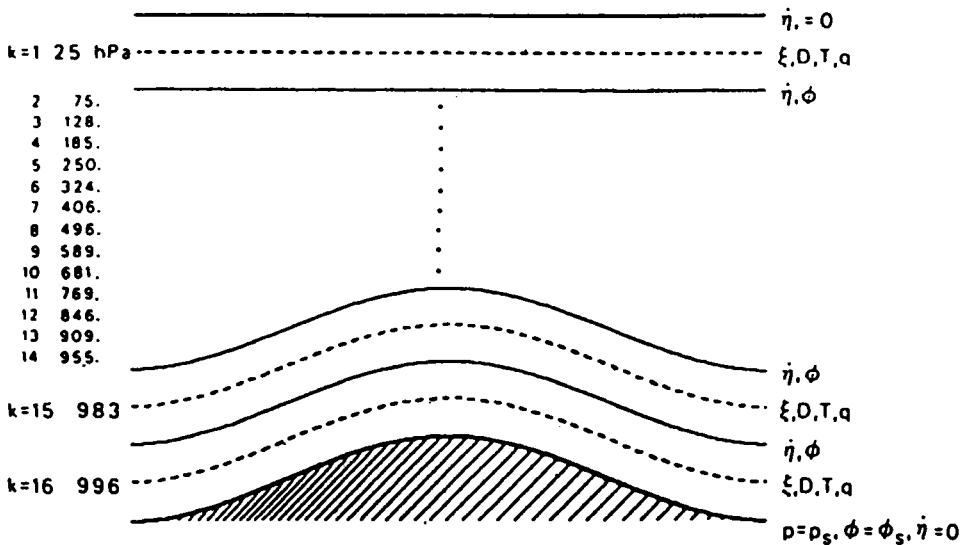


图 1 T63L16 混合坐标谱模式的垂直分层和变量分布
(气压值是根据地面气压为 1000hPa 时计算得到的)

一旦新的 p 值确定, 混合坐标层的新气压值就可根据下式求得:

$$p_{k+\frac{1}{2}} = A_{k+\frac{1}{2}} + B_{k+\frac{1}{2}} p, \quad (k = 0, 1, \dots, K) \quad (5)$$

于是, 分析增量就能变换到各混合坐标层上. 上式中 $A_{k+\frac{1}{2}}$ 和 $B_{k+\frac{1}{2}}$ 由表 1 给出。

(2) 风场

用关于 $\ln p$ 的线性插值, 将风的分析增量插到模式的 η 层上. 位于最底层 1000hPa 以下或最高层 50hPa 以上 η 层的风场增量为零. 然后把风的增量加到初估场上, 得到风场初值。

表1 定义16层业务模式垂直坐标的参数 (单位:Pa)

K	$A_{k+\frac{1}{2}}$	$B_{k+\frac{1}{2}}$
0	0.000000	0.00000000
1	5900.000000	0.000000000
2	9890.518689	0.0017207621
3	14166.306583	0.0131976225
4	17346.064953	0.0422171110
5	19121.151012	0.0937616374
6	19371.235618	0.1695713413
7	18164.473347	0.2680156969
8	15742.184945	0.3842748702
9	12488.052152	0.5108308287
10	8881.824907	0.6382682033
11	5437.540926	0.7563849029
12	2626.257652	0.8556124814
13	783.296588	0.9287462571
14	0.000000	0.9729851852
15	0.000000	0.9922814813
16	0.000000	1.0000000000

(3) 温度

设 $\delta\Phi_1$ 、 $\delta\Phi_2$ 和 p_1 、 p_2 分别为分析等压面上下二层的位势增量和气压值,则可根据静力方程求出分析厚度场的温度增量:

$$\delta T = \frac{1}{R} \frac{\delta\Phi_1 - \delta\Phi_2}{\ln p_1 - \ln p_2} \quad (6)$$

从 δT 转换到混合坐标的温度增量 δT_η ,可采用分数更新的方法(Fractional update),如图2所示.图中 p_b 和 p_t 分别为混合坐标和分析厚度层交界面顶和底的气压, p_1 和 p_2 分别为混合坐标上下界面的气压.则

$$\delta T_\eta = \sum \delta T \frac{\ln p_b - \ln p_i}{\ln p_2 - \ln p_1} \quad (7)$$

上式对 η 层与分析厚度层的交叠部分求和.显然,当 η 层完全包含在厚度层内时, $\delta T_\eta = \delta T$.若某一厚度层与 η 层交叠10%,则 δT 对 δT_η 的贡献为10%.当 η 层部分或者完全落在1000hPa以下时, δT_η 取1000—850hPa厚度层的温度增量.把 δT_η 加到初估场上,就可得到温度初值.

(4) 湿度

首先用关于 $\ln p$ 的线性插值,将相对湿度的分析增量变换到 η 层上,然后加到根据初估场比湿和温度求出的相对湿度上,再根据新的温度和相对湿度,求出比湿初值.

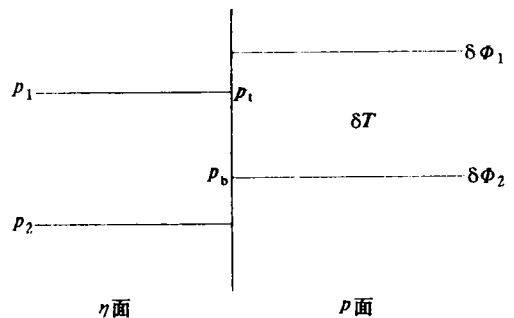


图2 分数更新方法的图解说明

4 试验结果

以下给出 T63 资料同化试验中,增量方案与全量方案对比试验的结果,并讨论它们对资料同化和中期数值预报的影响.

图 3 为 1992 年 9 月 17 日—10 月 2 日 T63 资料同化系统中,每日 12Z 全球散度的均方根.其中 9 月 17—24 日为全量方案,9 月 25 日以后引入增量方案.由图可知,增量方案的分析、初值化和初估值的 RMS 值均比全量方案明显偏低,这种差异显然是插值方案不同引起的.在全量方案中,初估值经 $\eta-p$ 和 $p-\eta$ 二次反相转换,误差较大.而增量方案中,初估值保持不变,仅对作为小量的增量进行 $p-\eta$ 变换,故插值误差较小.另外,全量方案中初值化远离初估值的现象不大合理.而增量方案中分析、初值化和初估值三条曲线的配置正确,变化平稳.尤其,初值化后的同化曲线接近初估值,将初值化的分析作为初值,作 6 小时预报,积分平稳.这些是衡量同化系统稳定性的标准.同时期的并行系统试验(1992 年 9 月 15—17 日)可得到完全相同的结论.

图 4 为 1992 年 9 月 17 日 12Z 全球散度均方根随时间的变化(6 小时预报).由图可知,尽管两种方案在初始几步积分中,均有下降趋势,但积分从第 5 步起,全量方案显著上升,而增量方案趋于平稳.这有力地说明了引入增量方案后,由于初值质量的提高,使同化周期中散度积分平稳,从而改进了资料同化的质量.

资料同化的改善,必然对中期预报产生较大影响.图 5(a,b)为两种方案的 1992 年 9 月 17 日 12Z 北半球 500hPa 的 72 小时预报,图 5(c)为 1992 年 9 月 20 日 12Z 分析场(作

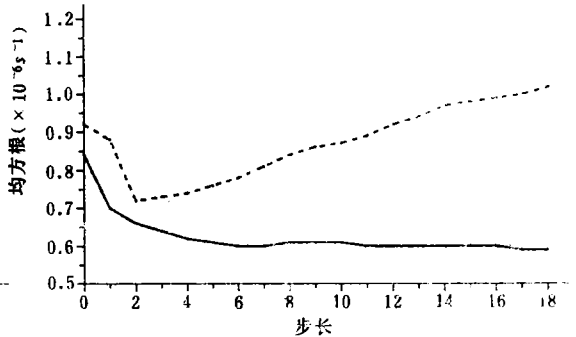
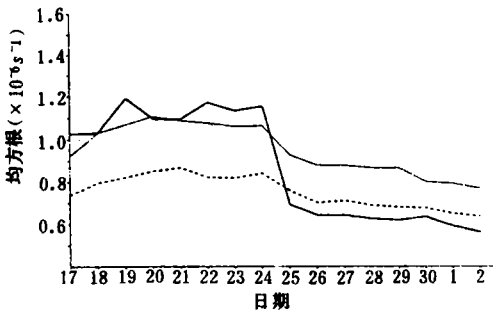


图 3 1992 年 9 月 17 日—10 月 2 日每日 12Z 全球均方根散度(图中细线、点线和粗线分别为分析、初值化和初估值)

图 4 全球均方根散度随时间的变化 (初值日期为 1992 年 9 月 17 日 12Z. 图中实线为增量方案,虚线为全量方案)

为实况图). 由图可知,两种方案在中、高纬度环流形势大致相似,但在低纬有较大差异.这显然是由于低纬及洋面地区缺乏观测资料,分析场很大程度上依赖初估场而引起的.在全量方案中,588 位势什米等值线在 30°N 附近,从北太平洋中部至北非、大西洋,范围较广.另外,在大西洋还有较强的副高单体.而在增量方案中,仅在北太平洋中部有副高单体,和

实况(图 5c)接近. 但北非、大西洋等处的副高偏弱. 对 4—7 天 500hPa 形势预报也有类似的情况(图略).

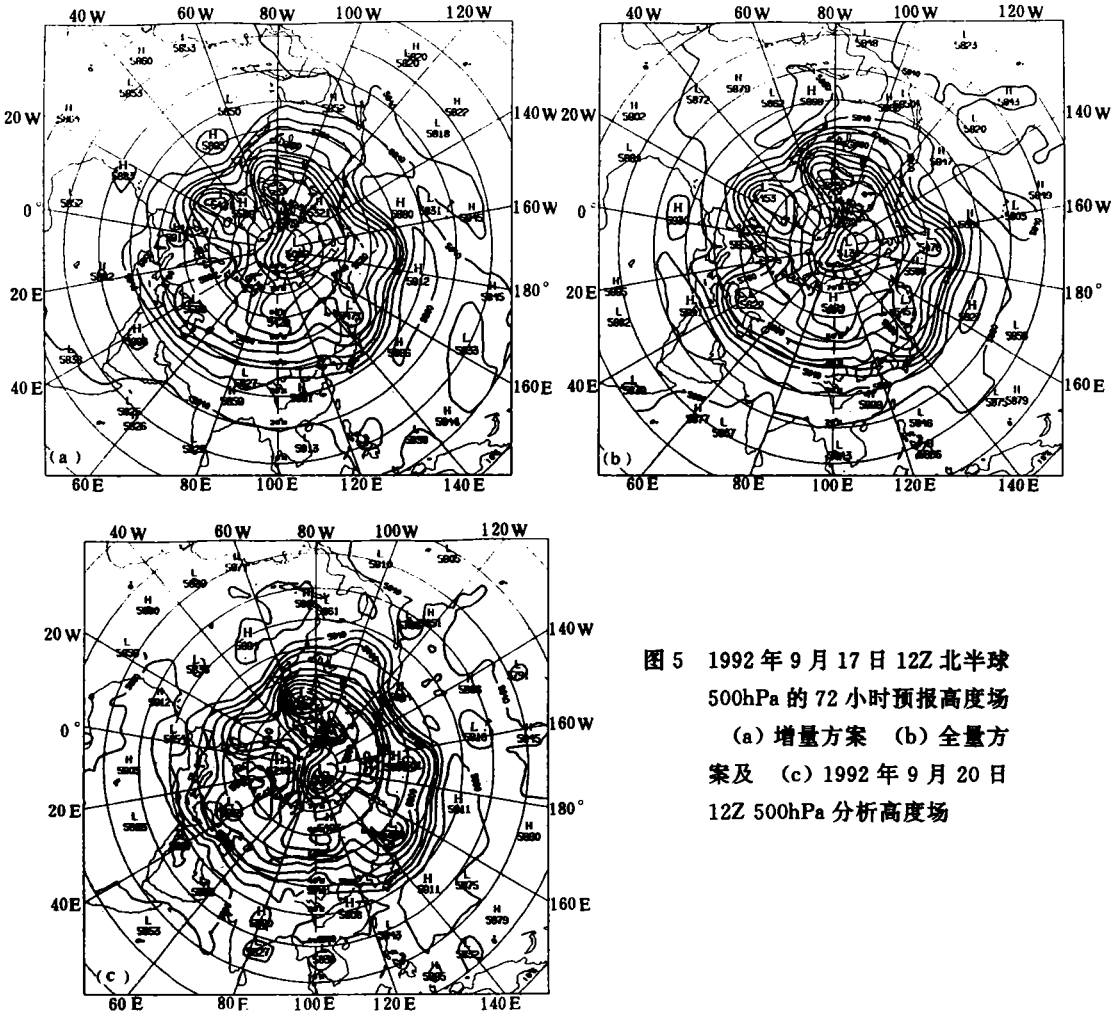


图 5 1992 年 9 月 17 日 12Z 北半球 500hPa 的 72 小时预报高度场 (a) 增量方案 (b) 全量方案及 (c) 1992 年 9 月 20 日 12Z 500hPa 分析高度场

根据以上讨论, 在 T63 资料同化中, 用 $p-\eta$ 增量方案代替全量方案, 可使垂直误差减小, 初值质量提高, 从而能改进资料同化和提高中期预报的准确度.

参 考 文 献

- 1 Lönnerberg P., Shaw D. ECMWF data assimilation Research. Manual 1. 1984.
- 2 Simmons A. J., Burridge D. M. An energy and angular momentum conserving finite-difference scheme and hybrid vertical coordinates. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, **109**: 758—766.

ANALYSIS INCREMENT VERTICAL INTERPOLATION SCHEME IN T63 DATA ASSIMILATION AND ITS EXPERIMENTS

Shen Yuanfang Ding Xiaoliang Xie Shaocheng

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

The analysis increment vertical interpolation scheme with the help of p - η coordinate transformation in T63 data assimilation system in NMC, SMA is described and the comparison results of control test with the ordinary interpolation scheme are presented. It is shown that increment scheme can reduce vertical interpolation error and provide better initial values. Therefore, it plays an important role in improving data assimilation and model forecasting.

Key words: T63 data assimilation, Analysis increment; p - η coordinate transformation.

瓦里关基准观象台正式投入观测

位于青海省西宁市西南 100 多公里的全世界第一个大陆基准站——瓦里关本底观象台 9 月 17 日正式挂牌投入业务观测。这个观象台是由世界气象组织(WMO)和联合国开发计划署(UNDP)共同资助仪器装备,并由中国气象局负责国内配套工程而建成的。它是 WMO 在全球建设 6 个基准站计划中完成最快、质量上乘的第一个基准站,为此受到各国朋友的一致赞赏和好评。它将对 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、氟里昂等温室气体、 O_3 (总量、地面)、气溶胶、降水化学、辐射和气象要素进行长期的科学测量。所获得的资料对研究全球气候变化将提供可靠的科学依据。瓦里关基准站的建成,无疑对我国国民经济发展和环境政策的制订等都将有重要的科学意义。

中国气象科学研究院

(丁国安)