一种区域格点三维变分分析方案
——基本框架和初步试验*

朱宗申 胡 铭
（国家气象中心，北京 100081） P4 A

摘 要 给出一种区域格点三维变分分析方案的基本框架。对方案中阶数巨大的背景场误差协方差矩阵加以处理，选用位势高度和风场非平衡部分的纬向风速、经向风速作为分析变量，减少矩阵阶数；进行变量变换，避免矩阵求逆；然后，采用与最优插值方案相似的水平和垂直方向可分离的理想相关模型，在水平方向上用递归滤波器代替矩阵运算，从而实现变分分析方案的求解。用单个和理想分布观测资料对方案测试、并进行实例试验，得到很好的计算结果。

关键词：三维变分分析；背景场误差协方差矩阵；变量变换；递归滤波

1 引言

气象资料分析的一个重要用途是生成数值天气预报（NWP）模式的初值，它是NWP系统的主要组成部分。客观分析逐步订正法方案[1]首次在NWP业务中应用，至今已有四十多年历史。在此期间，研制了多种资料分析技术方法，最优插值（OI）[2]是其中世界各气象中心业务NWP中使用最广泛、最有成效的一种。最近十余年，一种新的气象资料分析方法——变分方法得到迅速发展，并开始在业务中使用[3,4]。

最优插值方法和三维变分分析方案对求解相同的线性估值问题是等价的两种不同算法[5]。但是，在实际计算时，最优插值通常在一个个小区域，甚至逐个格点进行，而变分方法则是在全场计算完成。因此，后者得到的分析要素场往往更合理、更协调。另外，理论上变分方法可以使用分析变量能够推算的所有观测资料，例如辐射、折射率、降水等等，从而大大增加用于描述气象真实状况所需的信息资料来源。尤为突出的是变分方案从三维推广到四维，能够直接与NWP模式结合，使资料同化中的资料分析和同化模式预报同时完成，获得与预报模式更匹配的初值，明显改进NWP的质量。普遍认为，变分方法是当前气象分析方法中最有发展前景的NWP初值形成方法。

变分方法原理清晰，但是计算量巨大，直接求解非常困难，其中包括对方案中重要的背景场项的处理。在全球谱模式NWP系统的变分方案中，对该项往往通过将变量变换到谱空间，利用正交性来解决这个计算问题[3,4]。本文采用另一种方式，设计了一种区域格点三维变分分析方案，并对该方案进行初步测试和试验，得到很好的结果。

2000–07–19 收到，2001–07–08 收到再改稿
* 国家重点基础研究发展规划项目 G1998040910 资助

2　变分分析方法的基本原理

变分分析方法的基本原理[5]表述如下：

设目标函数 J

$$J(x_a)=\frac{1}{2}[(x_a-x_b)^{\mathrm{T}}B^{-1}(x_a-x_b)]+\frac{1}{2}\{[H(x_a)-Y_o]^{\mathrm{T}}O^{-1}[H(x_a)-Y_o]\}, \tag{1}$$

其中，x_a 和 x_b 分别为分析变量和背景场变量，Y_o 为观测；B 为背景场误差协方差矩阵，O 为观测误差协方差矩阵；H 为观测算子，用于把变量 x_a 从分析空间换算到观测 Y_o 的空间。

对变量 x_a 求目标函数 J 极小，即求梯度

$$\nabla J(x_a)=B^{-1}(x_a-x_b)+\overline{H}^{\mathrm{T}}O^{-1}[H(x_a)-Y_o]=0, \tag{2}$$

可以得到变分分析的解 x_a。式中 $\overline{H}$ 为 H 的切线性算子。

此时，分析结果 x_a 是在给定的背景场误差和观测误差场下，与背景场 x_b 和观测 Y_o 的距离最小，即与背景场和观测拟合最佳。

3　格点变分分析方案的框架

（1）式右端包括两项，第一项为背景场项 J_b，第二项为观测项 J_o。其中的 B 矩阵的阶数量级通常可达 $10^6\times10^6$ 或以上。直接对 B 求逆，参加运算，求目标函数极小的解，在格点 NWP 系统方案中由于计算量过大，往往难以实现。本文将重点研究对它的处理技术。

3.1　变量选取

方案最终要得到的分析结果是位势高度 φ、纬向风速 u 和经向风速 v。由于背景场取自短期 NWP 的结果，所以背景场中质量场和风场的误差是相关的，（1）、（2）式中多变量的误差协方差矩阵 B 的元素 B_{ij} 通常不为零。

将风场分离成平衡部分 $\bar{u}$、$\bar{v}$ 和非平衡部分 u'、v'，即

$$\begin{cases}u=\bar{u}+u',\\ v=\bar{v}+v',\end{cases} \tag{3}$$

其中，$\bar{u}$ 和 $\bar{v}$ 是位势高度的函数，由地转关系或线性平衡方程求得，分别用算子 F_u、F_v 表示

$$\begin{cases}\bar{u}=F_u(\varphi),\\ \bar{v}=F_v(\varphi).\end{cases} \tag{4}$$

设置新的分析变量 w，其为

$$\begin{cases}w_\varphi=\varphi_a-\varphi_b,\\ w_u=u'_a-u'_b,\\ w_v=v'_a-v'_b,\end{cases} \tag{5}$$

考虑背景场风场的非平衡项及与平衡项、质量场互不相关。此时，背景场误差协方差矩阵中不同类型变量间的相关为零，仅保留单变量间的相关部分。

建立新变量 w 的目标函数 J，此时为

$$J(w)= J_{\mathrm{b}}(w_{\varphi})+ J_{\mathrm{b}}(w_{u})+ J_{\mathrm{b}}(w_{v})+ J_{\mathrm{o}}(w_{\varphi},w_{u},w_{v}), \tag{6}$$

其中

$$\begin{cases} J_{\mathrm{b}}(w_{\varphi})= \dfrac{1}{2} w_{\varphi}^{\mathrm{T}} B_{\varphi}^{-1} w_{\varphi}, \\ J_{\mathrm{b}}(w_{u})= \dfrac{1}{2} w_{u}^{\mathrm{T}} B_{u}^{-1} w_{u}, \\ J_{\mathrm{b}}(w_{v})= \dfrac{1}{2} w_{v}^{\mathrm{T}} B_{v}^{-1} w_{v}, \\ J_{\mathrm{o}}(w_{\varphi},w_{u},w_{v})= \dfrac{1}{2}\{[H(w_{\varphi},w_{u},w_{v})- Y_{\mathrm{o}}]^{\mathrm{T}} O^{-1}[H(w_{\varphi},w_{u},w_{v})- Y_{\mathrm{o}}]\}. \end{cases} \tag{7}$$

式中 B_{φ}、B_{u}、B_{v} 分别为位势高度、风场非平衡部分的纬向风速和经向风速的背景场误差协方差矩阵。通过上述分析变量的选取，在多变量 w 的变分分析问题中，多变量背景场误差协方差矩阵的计算，简化为只包括各个变量自相关的单变量误差协方差矩阵 B_{φ}、B_{u} 和 B_{v} 的计算，阶数明显减小。

3.2 无需背景场误差协方差矩阵求逆的方法

(7) 式仍包含难于实现的高阶矩阵 B_{φ}、B_{u} 和 B_{v} 的求逆运算。因此，作如下变量的变换：设

$$Z_{x}= B_{x}^{-1} w_{x}, \quad x= \varphi, u, v \tag{8}$$

将 (8) 式代入 (6)、(7) 式，得到

$$J(Z)= J_{\mathrm{b}}(Z_{\varphi})+ J_{\mathrm{b}}(Z_{u})+ J_{\mathrm{b}}(Z_{v})+ J_{\mathrm{o}}(Z_{\varphi},Z_{u},Z_{v}), \tag{9}$$

其中

$$\begin{cases} J_{\mathrm{b}}(Z_{\varphi})= \dfrac{1}{2} Z_{\varphi}^{\mathrm{T}} B_{\varphi} Z_{\varphi}, \\ J_{\mathrm{b}}(Z_{u})= \dfrac{1}{2} Z_{u}^{\mathrm{T}} B_{u} Z_{u}, \\ J_{\mathrm{b}}(Z_{v})= \dfrac{1}{2} Z_{v}^{\mathrm{T}} B_{v} Z_{v}, \\ J_{\mathrm{o}}(Z_{\varphi},Z_{u},Z_{v})= \dfrac{1}{2}\{[H(Z_{\varphi},Z_{u},Z_{v})- Y_{\mathrm{o}}]^{\mathrm{T}} O^{-1}[H(Z_{\varphi},Z_{u},Z_{v})- Y_{\mathrm{o}}]\}. \end{cases} \tag{10}$$

目标函数 J 对 Z 的梯度为

$$\nabla_{Z} J= (\nabla_{Z_{\varphi}} J, \nabla_{Z_{u}} J, \nabla Z_{v} J)^{\mathrm{T}}, \tag{11}$$

其中

$$\begin{cases} \nabla_{Z_\varphi} J = B_\varphi Z_\varphi + \nabla_{Z_\varphi} J_o(Z_\varphi, Z_u, Z_v), \\ \nabla_{Z_u} J = B_u Z_u + \nabla_{Z_u} J_o(Z_\varphi, Z_u, Z_v), \\ \nabla_{Z_v} J = B_v Z_v + \nabla_{Z_v} J_o(Z_\varphi, Z_u, Z_v). \end{cases} \tag{12}$$

由（10）、（12）式可知，上述变分分析问题避免了对背景场误差协方差矩阵的求逆。一旦求得分析计算变量 Z（Z_φ、Z_u 和 Z_v），根据（8）式和（3）、（4）、（5）式，即可计算得到最终分析结果位势高度场和纬向、经向风速场，

$$\begin{cases} \varphi_a = \varphi_b + B_\varphi Z_\varphi, \\ u_a = u_b + B_u Z_u + F_u(\varphi_a - \varphi_b), \\ v_a = v_b + B_v Z_v + F_v(\varphi_a - \varphi_b). \end{cases} \tag{13}$$

3.3　递归滤波器的应用

（10）、（12）式中依然需要进行十分困难的高阶背景场误差协方差矩阵的运算。为此，采用与最优插值方案相似的理想模型[6]，把这些单变量误差协方差矩阵分离成水平 B_h 和垂直 B_v 两项:

$$B_x = B_{h,x} B_{v,x}, \qquad x = \varphi, u, v \tag{14}$$

其中的水平误差相关采用通常使用的高斯函数型$\exp\left(-\frac{1}{2}\frac{\Delta S^2}{L^2}\right)$，$\Delta S$为两点间的水平距离，$L$ 为水平尺度参数；垂直误差相关取$1/\left(1+K_p \ln^2\frac{p_i}{p_j}\right)$的形式，$K_p$ 为常数系数，p_i、p_j 为两点气压。垂直项阶数较小，直接参与运算；水平项用递归滤波器[7]G 代替矩阵 B_h 的运算。

递归滤波定义为

$$\begin{cases} M_i = \alpha M_{i-1} + (1-\alpha) Z_i, & i = 1, 2, \cdots, I-1, I \\ N_i = \alpha N_{i+1} + (1-\alpha) M_i, & i = I, I-1, \cdots, 2, 1 \end{cases} \tag{15}$$

其中，I 为一维格点场 Z 的格点数，格距为δx；N 为对 Z 经过左右两个方向一次滤波后的值，重复 K 次运算称为 K 次滤波；α 为滤波系数，对高斯型协方差取值为

$$\begin{cases} \alpha = 1 + E - \sqrt{E(E+2)}, \\ E = K\frac{\delta x^2}{L^2}. \end{cases} \tag{16}$$

通过在纬向、经向分别 K 次滤波，可以得到用高斯型协方差矩阵卷积一个两维场相似的结果，使变分分析方案的计算得以实现。此时，（10）和（12）式分别变为

$$\begin{cases} J_b(Z_\varphi)=\dfrac{1}{2}Z_\varphi^T G_\varphi B_{v,\varphi} Z_\varphi, \\ J_b(Z_u)=\dfrac{1}{2}Z_u^T G_u B_{v,u} Z_u, \\ J_b(Z_v)=\dfrac{1}{2}Z_v^T G_v B_{v,v} Z_v, \\ J_o(Z_\varphi,Z_u,Z_v)=\dfrac{1}{2}\{[H(Z_\varphi,Z_u,Z_v)-Y_o]^T O^{-1}[H(Z_\varphi,Z_u,Z_v)-Y_o]\}, \end{cases} \tag{17}$$

$$\begin{cases} \nabla_{Z_\varphi} J=G_\varphi B_{v,\varphi} Z_\varphi+\nabla_{Z_\varphi} J_o(Z_\varphi,Z_u,Z_v), \\ \nabla_{Z_u} J=G_u B_{v,u} Z_u+\nabla_{Z_u} J_o(Z_\varphi,Z_u,Z_v), \\ \nabla_{Z_v} J=G_v B_{v,v} Z_v+\nabla_{Z_v} J_o(Z_\varphi,Z_u,Z_v), \end{cases} \tag{18}$$

分析结果（13）式变为

$$\begin{cases} \varphi_a=\varphi_b+G_\varphi B_{v,\varphi} Z_\varphi, \\ u_a=u_b+G_u B_{v,u} Z_u+F_u(\varphi_a-\varphi_b), \\ v_a=v_b+G_v B_{v,v} Z_v+F_v(\varphi_a-\varphi_b). \end{cases} \tag{19}$$

3.4 变分分析的实现

通过上述方案的分析变量选取、变量变换和递归滤波器的应用，建立了新的目标函数及目标函数梯度，可以用来求得最终的分析结果。变分分析可按如下主要步骤来完成:

（1）计算分析格点背景场的位势高度φ_b、纬向风速u_b和经向风速v_b的值;

（2）按（3）、（4）式求得背景场风场的平衡部分$\bar{u}_b$、$\bar{v}_b$和非平衡部分u'_b、v'_b;

（3）由（9）和（11）式求得目标函数及其梯度，利用极小化方法，求解得到满足目标函数J极小的最佳分析值Z^∞;

（4）最后，利用（19）式，得到位势高度φ和纬向风速u、经向风速v的最终分析场。

4 方案测试和初步试验

利用单个观测和理想均匀分布观测，对这个区域格点变分分析方案测试，并用实测探空资料进行初步试验。

4.1 单个观测的变分分析

4.1.1 一维单变量分析

用单个观测进行单变量一维变分分析，以检验极小化方法和用递归滤波处理背景场协方差矩阵计算的效果。试验中分析场取 31 个格点；背景场值为 2.0，误差协方差为高斯函数型，水平尺度参数为格距的 4 倍，背景场误差方差为 1.0；观测值为 5.0，观测误差方差为 0.5。图 1 给出利用递归滤波求解和直接求解的一维变分分析的结果。

由图 1 可知，随着滤波次数的增加，用递归滤波方法求得的分析结果可以很好地逼近变分方法的真实解。取不同背景场值、观测值及其误差值，可以得出同样的结果。

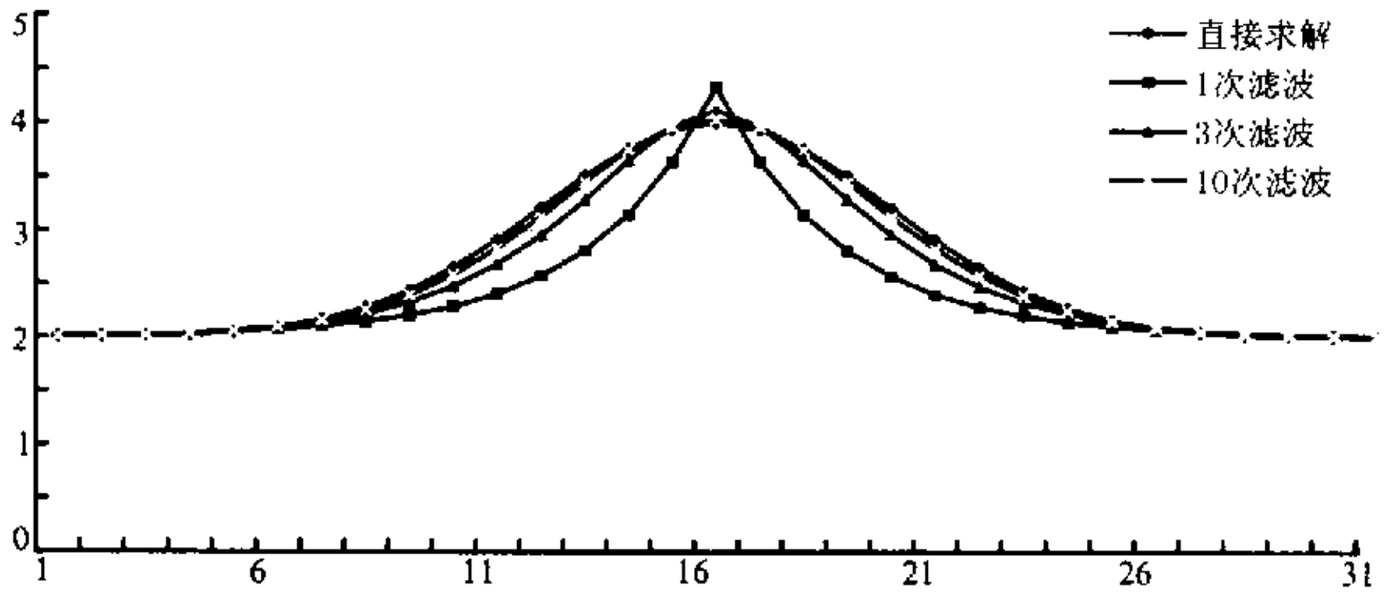

图 1　单个观测滤波求解和直接求解的一维变分分析结果
（横坐标为分析格点，纵坐标为分析值）

4.1.2　二维多变量分析

图 2 给出利用这个变分分析方案以及单个高度（H）、纬向风速（U）或经向风速（V）的观测进行二维多变量变分分析高度场、纬向风速场和经向风速场的结果，观测

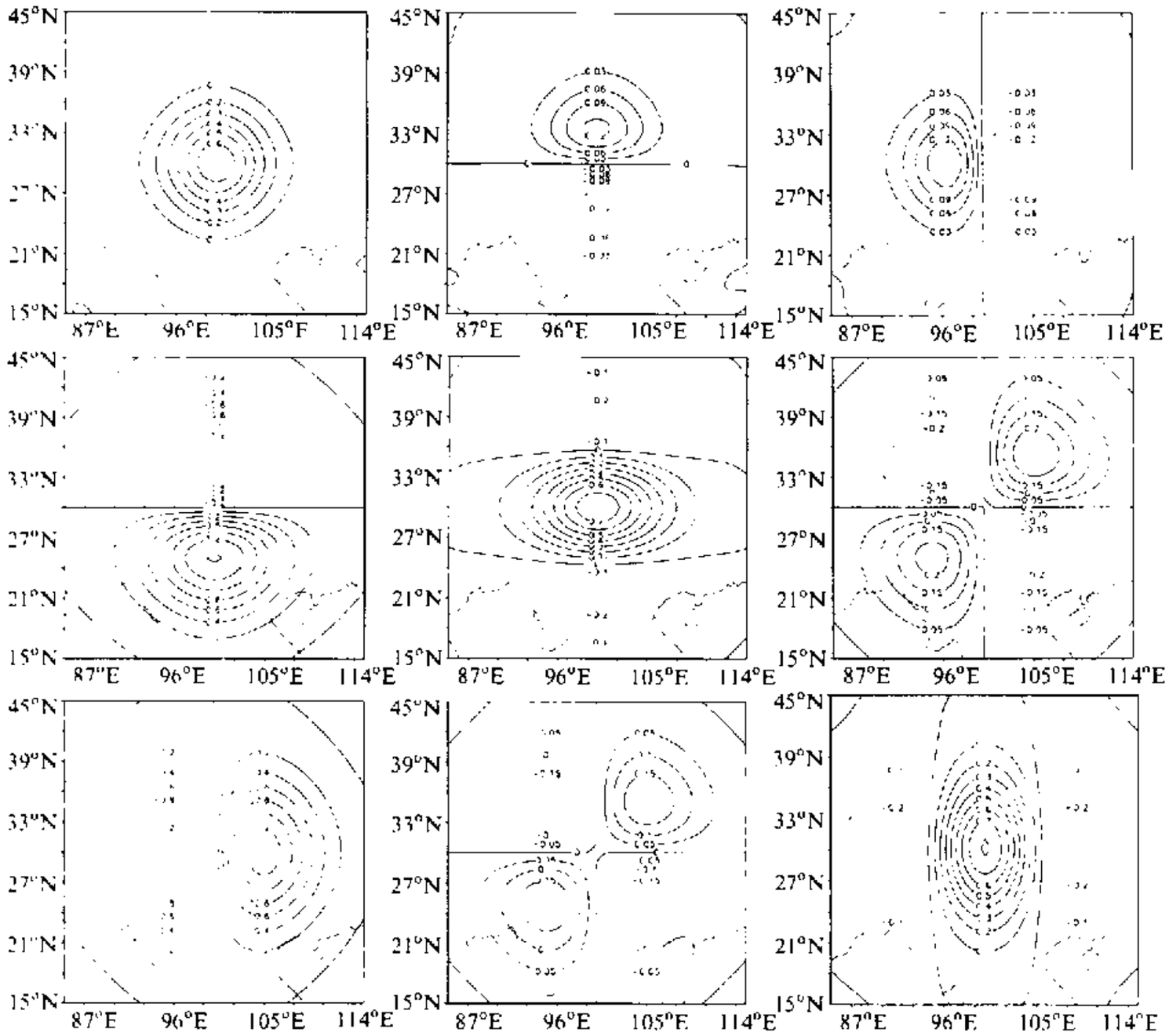

图 2　单个观测二维多变量分析结果
（分析使用的观测：第一行为 H，第二行为 U，第三行为 V；
得到的分析场：第一列为 H，第二列为 U，第三列为 V）

值取单位 1。由图 2 可以看出，变分分析结果与 OI 方案高度和风的背景场误差水平相关模型[8]（图略）的形状结构完全一致（在取值为 1 的单个观测情况下，OI 的分析结果与背景场误差的相关值在结构上是完全相同的，仅在数值上存在$1/(1+\varepsilon^2)$的比例关系，ε 为用背景场误差归一化后的观测误差）。这反映了虽然变分分析方案仅使用单变量的误差协方差矩阵，但通过变量变换方法很好地建立了高度和风场之间合理的多变量相互作用的关系。

4.2 理想分布观测的二维变分分析

在（5～65°N、55～146°E）区域的 1°×1° 经纬度网格，利用国家气象中心（NMC）2000 年 2 月 14 日 1200 UTC 全球 T106 预报系统（以下简称 T106）的 500 hPa 分析场作为背景场，15 日 1200 UTC T106 的 500 hPa 高度、纬向风和经向风的分析格点场隔 4 点取值作为理想观测，进行 500 hPa 二维多变量变分分析。

首先，让高度和风的观测全部参与分析，变分分析很好地再现 T106 的分析结果（图略）。然后，利用高度理想观测进行风场分析和利用风场理想观测进行高度分析，与 T106 的分析比较（图 3）。可以看到，两种方案的分析也非常相似，这个变分分析方案在仅有高度（风）观测时，同样能较好地得到风（高度）场的分析结果。

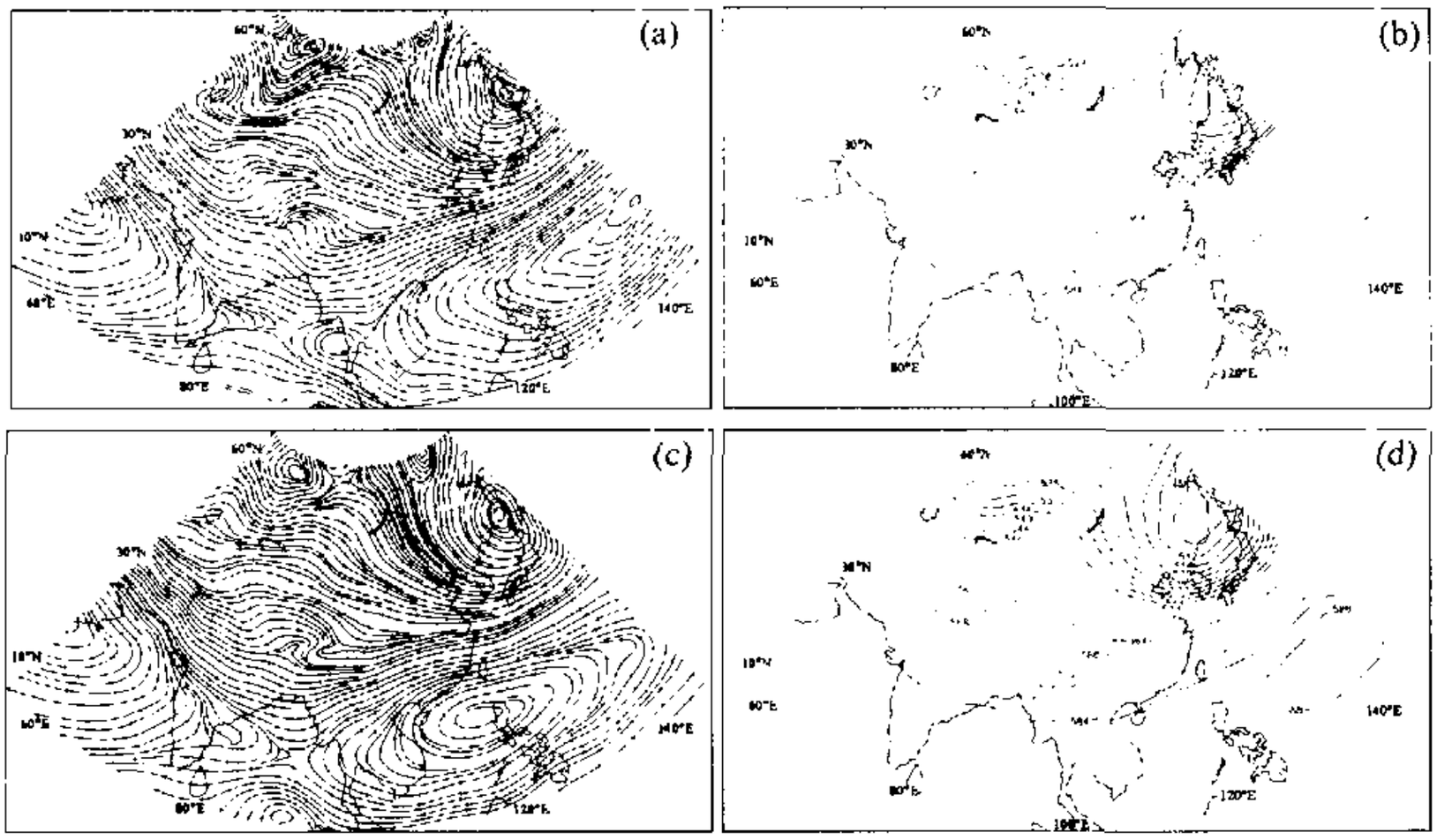

图 3 2000 年 2 月 15 日 1200 UTC 500 hPa 分析场
（a）T106 流场；（b）T106 高度场；（c）二维变分流场；（d）二维变分高度场

4.3 实测探空资料的三维变分分析

采用 4.2 节中相同的水平分析区域和网格，进行 1 000～10 hPa 16 层标准等压面高度和风场的三维变分分析。利用 2000 年 2 月 14 日 1200 UTC T106 的 24 h 预报作为背景场，观测取 15 日 1200 UTC NMC 要素库的探空高度和风资料。将分析结果与采用 OI 方案的 T106 分析（利用更精确的前 6 h 预报作背景场）比较，两者十分接近。图 4 给出

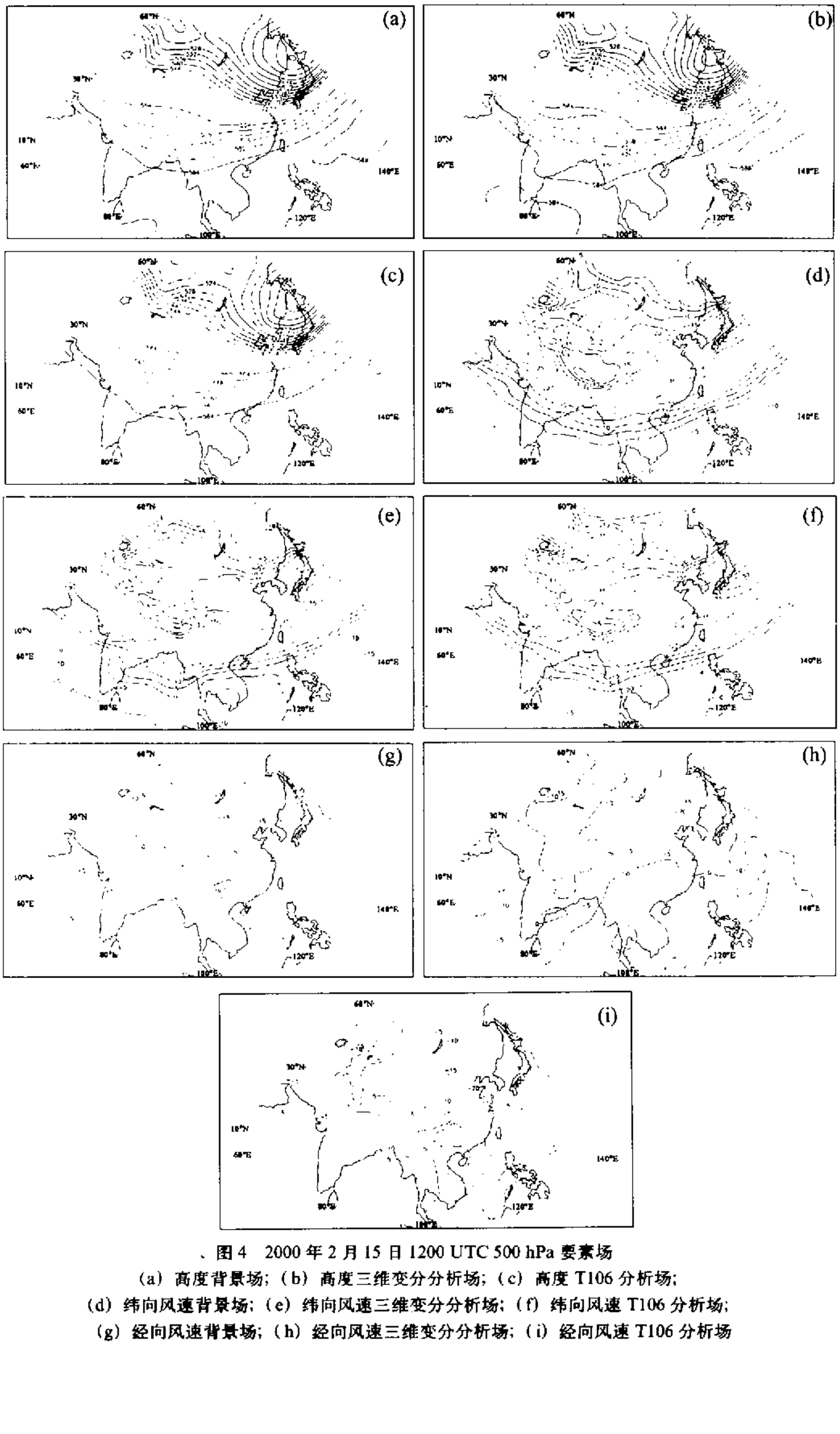

图 4　2000 年 2 月 15 日 1200 UTC 500 hPa 要素场

(a) 高度背景场；(b) 高度三维变分分析场；(c) 高度 T106 分析场；
(d) 纬向风速背景场；(e) 纬向风速三维变分分析场；(f) 纬向风速 T106 分析场；
(g) 经向风速背景场；(h) 经向风速三维变分分析场；(i) 经向风速 T106 分析场

表 1 三维变分分析、T106 分析和背景场与观测拟合的偏差平均值和偏差均方根

层次 hPa	H							U							V						
	样本数	偏差平均值			偏差均方根			样本数	偏差平均值			偏差均方根			样本数	偏差平均值			偏差均方根		
		背景场	3D-Var	T106	背景场	3D-Var	T106		背景场	3D-Var	T106	背景场	3D-Var	T106		背景场	3D-Var	T106	背景场	3D-Var	T106
10	37	−413.6	−371.9	−351.8	484.1	443.5	424.2	31	−1.9	−0.2	−0.5	7.5	5.1	4.6	31	0.1	1.0	0.8	5.7	4.1	4.1
20	129	−94.7	−53.8	−68.8	144.6	109.9	119.8	110	−0.1	0.8	0.5	6.6	5.1	5.0	110	−0.4	0.2	−0.4	5.2	4.2	3.8
30	185	−65.9	−23.7	−46.8	101.1	69.8	80.4	160	−1.3	−0.1	−0.4	5.9	4.2	4.0	160	−0.4	−0.1	−0.5	5.0	4.0	3.6
50	214	−35.1	0.0	−21.8	79.3	54.2	62.6	188	−2.5	−0.5	−0.8	7.1	4.3	4.0	188	−0.4	−0.1	−0.7	5.1	3.8	3.4
70	223	−26.7	4.0	−10.8	68.4	49.2	53.3	196	−1.3	−0.1	−0.6	6.3	4.0	3.9	196	−1.0	−0.2	−1.1	4.8	3.8	3.6
100	257	−29.7	−3.4	−10.0	64.7	43.5	48.1	224	−1.2	0.0	−0.6	6.4	4.4	4.6	224	−0.9	−0.1	−1.1	5.0	3.9	3.9
150	242	−22.7	−3.4	−4.3	52.8	34.2	38.6	211	−1.4	0.0	−0.6	6.4	4.5	4.7	211	−0.1	0.5	−0.5	4.5	3.6	3.4
200	210	−14.3	−2.3	−2.2	44.3	27.5	32.3	182	−2.1	−0.6	−1.2	6.8	4.6	4.2	182	−0.4	0.3	−0.8	4.3	3.2	3.0
250	224	−11.3	0.0	−1.1	44.8	26.4	29.5	191	−1.2	0.1	−0.7	7.2	5.5	5.4	191	0.5	0.8	0.0	4.8	3.8	3.7
300	267	−16.2	−0.7	−3.3	43.0	22.4	26.9	232	−0.4	0.5	−0.2	6.5	5.2	4.6	232	−0.3	0.3	−0.4	4.5	3.9	3.5
400	273	−19.9	−0.8	−3.4	39.8	20.4	22.8	237	−1.3	−0.2	−0.8	6.4	5.3	4.9	237	−0.5	0.2	−0.5	5.3	4.0	3.5
500	331	−16.5	0.9	−1.9	29.8	12.8	14.4	295	−1.2	−0.2	−0.8	7.1	5.8	5.6	295	−0.6	0.2	−0.6	5.6	4.1	3.8
700	314	−14.0	0.3	−3.4	22.6	11.3	14.3	277	−0.8	0.1	−0.2	6.4	5.1	4.8	277	−0.8	0.1	−0.6	5.2	3.9	3.7
850	244	−12.7	2.0	−0.9	20.5	9.5	10.9	209	−0.5	0.0	−0.2	6.3	5.3	5.0	209	−1.3	−0.4	−1.1	5.4	4.2	4.0
925	156	−14.7	−0.3	−0.5	22.6	10.0	12.3	131	−1.3	−0.7	−0.9	6.0	4.6	4.5	131	−1.0	−0.1	−0.9	4.9	3.9	3.8
1000	120	−17.3	−1.7	1.4	23.9	9.3	8.5	102	−0.5	−0.4	−0.5	6.4	5.3	4.8	102	−0.7	0.0	−0.9	4.4	3.4	3.6
总计	3426	−28.9	−7.6	−13.3	76.2	60.1	61.8	2976	−1.2	−0.1	−0.6	6.6	4.9	4.7	2976	−0.5	0.1	−0.6	5.0	3.9	3.6

两种方案分析的 500 hPa 高度和纬向、经向风速场，以及方案使用的背景场。

表 1 是 2000 年 2 月 15 日 1200 UTC 方案使用的背景场、三维变分分析和 T106 分析与探空观测的拟合统计结果。两种方案的风场分析与观测的拟合结果接近；高度分析无论偏差平均值还是偏差均方根，变分分析更接近观测。表 1 还显示，变分方案的分析对背景场作了明显的修正。由表 1 的统计也可以看到：三维变分分析的结果是比较合理的。

5　结束语

本文给出一种区域格点三维变分分析方案的基本框架，主要特点：

(1) 方案的最终分析结果是位势高度、纬向风速和经向风速；

(2) 选取位势高度、风场非平衡部分的纬向风速和经向风速作为变分分析变量，并通过变量变换，明显减小背景场误差协方差矩阵的计算阶数和避免对矩阵直接求逆；

(3) 采用与最优插值方案相似的理想模型，把背景场误差协方差矩阵分离成水平和垂直两项，水平方向使用高斯函数型，并用递归滤波器代替矩阵运算，实现变分分析方案的求解；

(4) 利用探空高度和风的观测资料，观测误差采用与 NMC 业务 OI 方案相同的值。

用单个观测和理想均匀分布观测对方案进行测试，显示方案合理、有效。最后，使用实测探空资料进行初步试验，得到令人满意的分析结果。

上述结果是十分初步的，方案的进一步改进和完善以及在资料同化系统中的试验研究正在开展中。

参 考 文 献

1　Cressman, G. P., An operational objective analysis system, *Mon. Wea. Rev.*, 1959, **87**, 367～374.

2　Gandin, L. S., *Objective Analysis of Meteorological Fields*, Gidrometeorologicheskoe Izdatel'stro, Leningrad, 1963, Translated (1965) from Russian, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 212pp.

3　Parrish, F. D. and C. J. Derber, The national meteorological center's spectral-interpolation analysis system, *Mon. Wea. Rev.*, 1992, **120**, 1747～1763.

4　Courtier, P. et al., The ECMWF implementation of three-dimensional variational assimilation (3D-Var). I: Formulation, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1998, **124**, 1783～1807.

5　Lorenc, A. C., Analysis methods for numerical weather prediction, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1986, **112**, 1177～1194.

6　Rergman, K. H., Multivariate analysis of temperatures and winds using optimum interpolation, *Mon. Wea. Rev.*, 1979, **107**, 1423～1444.

7　Lorenc, A. C., Iterative analysis using covariance function and filters, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1992, **118**, 569～591.

8　Lönnberg, P. And A. Hollingsworth, Meteorological data analysis, ECMWF Lecture Note, No. 2,2, 1984, 1～84.

A Regional Grid Three-Dimensional Variational Analysis Scheme —Basic Construction and Preliminary Tests

Zhu Zongshen and Hu Ming

(*National Meteorological Center, Beijing* 100081)

Abstract The basic construction of a regional grid three-dimensional variational (3D-Var) analysis scheme is described. To deal with the covariance matrix of background errors B, three skills are used. These skills include choosing suitable analysis variables to simplify computations of matrix B, doing a variable transformation to avoid matrix inversion and separating univariate correlation matrix into horizontal and vertical parts to use recursive filter instead of matrix computations in the horizontal. Then 3D-Var analyses can be carried out. This scheme is tested through a single observation, ideal distributed observations and real observation data. The results are very satisfying.

Key words: three-dimensional variational; covariance matrix of background errors; variable transformation; recursive filter