第41卷 第2期 气 象 学 报 Vol. 41, No. 2
1983年5月 ACTA METEOROLOGICA SINICA May, 1983

不同初始风场的预报比较试验*

王诗文 宋青丽

（国家气象局气象科学研究院）

本文以无辐散风$\vec{V}_\psi$及无辐散风$\vec{V}_\psi$与辐散风$\vec{V}_\chi$之和分别作为初始风场，进行了数值天气预报试验，并且进行了比较。

1. 无辐散风$\vec{V}_\psi$的计算方法

取如下形式的非线性平衡方程

$$\nabla^2\psi=-f+\sqrt{f^2+2\nabla^2\phi+\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}-\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}\right)^2+4\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial x\partial y}\right)-2\left(\frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{\partial f}{\partial x}+\frac{\partial\psi}{\partial y}\frac{\partial f}{\partial y}\right)} \tag{1}$$

其中ϕ为位势高度，ψ为流函数，u，v分别为风速的水平分量。

无辐散风的分量由下式求得

$$\begin{cases} u_\psi=-\dfrac{\partial\psi}{\partial y} \\ v_\psi=\dfrac{\partial\psi}{\partial x} \end{cases} \tag{2}$$

把(2)式代入(1)式，并将u_ψ、v_ψ近似地用地转风u_g、v_g代替，则方程(1)变为如下的线性平衡方程：

$$\nabla^2\psi=-f+\sqrt{f^2+2\nabla^2\phi+\left(\frac{\partial v_g}{\partial x}+\frac{\partial u_g}{\partial y}\right)^2-4\frac{\partial u_g}{\partial x}\frac{\partial v_g}{\partial y}-2\left(v_g\frac{\partial f}{\partial x}-u_g\frac{\partial f}{\partial y}\right)}=F \tag{3}$$

用迭代法求解(3)式，第一次可用地转关系式$\psi_0=\frac{1}{f_{55}}\phi$，$f_{55}$是北纬55°度的柯氏参数。要求满足的精确度为$|\psi_n-\psi_{n-1}|_{max}\leqslant10^4$(十米)^2/秒。$n$为迭代次数。

求出流函数ψ之后，再用方程(2)求出无辐散风分量u_ψ，v_ψ。

在北半球范围内采用矩形区域，用正方形网格，(3)式的差分方程为

$$\psi_{i,j}=\frac{1}{4}\left[(\psi_{i+1,j}+\psi_{i-1,j}+\psi_{i,j+1}+\psi_{i,j-1})-\frac{d^2}{m^2}F_{i,j}\right] \tag{4}$$

$$\begin{aligned}F_{i,j}=-f_{i,j}+\Big\{&f^2{}_{i,j}+\frac{2m^2}{d^2}(\phi_{i+1,j}+\phi_{i-1,j}+\phi_{i,j+1}+\phi_{i,j-1}-4\phi_{i,j})+\frac{m^2}{4d^2}(v_{i+1,j}\\&-v_{i-1,j}+u_{i,j-1}-u_{i,j+1})^2-\frac{m^2}{d^2}(v_{i,j-1}-v_{i,j+1})*(u_{i+1,j}-u_{i-1,j})\\&-\frac{m}{d}[v_{i,j}*(f_{i+1,j}-f_{i-1,j})-u_{i,j}*(f_{i,j-1}-f_{i,j+1})]\Big\}^{\frac{1}{2}}\end{aligned} \tag{5}$$

其中m为地图投影放大系数，d为网格距取381公里(60°N)。当(5)式根号内容小于零时

* 本文于1981年6月18日收到，1981年10月23日收到修改稿。

取 $F_{i,j}=-f_{i,j}$。

侧边界条件取刚体边界，边界在最外两圈之间，沿 y 方向的边界满足 $\bar{u}^x=0, \frac{\partial v}{\partial x}=0$, $\frac{\partial \phi}{\partial x}=0$。沿 x 方向上的边界满足 $\bar{v}^y=0, \frac{\partial u}{\partial y}=0, \frac{\partial \phi}{\partial y}=0$。初始时刻 $\psi|_\Gamma=\frac{\phi_{i,j}}{f_{55}}$，$\Gamma$ 为最外圈边界。

计算出200毫巴、500毫巴、700毫巴、850毫巴、和1000毫巴五个标准等压面上的初始无辐散风场。每层一般只需迭代10次左右。

2. 辐散风 $\vec{V}_\chi$ 的计算方法

绝热准地转 ω 方程为

$$\sigma\nabla^2\omega+\bar{f}^2\frac{\partial^2\omega}{\partial p^2}=f\frac{\partial}{\partial p}(\vec{V}\cdot\nabla\zeta_a)-\nabla^2\left(\vec{V}\cdot\nabla\frac{\partial\phi}{\partial p}\right) \tag{6}$$

若只考虑无辐散风 $\vec{V}_\psi$ 则(6)式变为

$$\sigma\nabla^2\omega+\bar{f}^2\frac{\partial^2\omega}{\partial p^2}=f\frac{\partial}{\partial p}J(\psi,\zeta_a)-\nabla^2 J\left(\psi,\frac{\partial\phi}{\partial p}\right) \tag{7}$$

其中 σ 为静力稳定度，ζ_a 为绝对涡度，J 为雅可比。把(4)式求得的流函数 ψ 代入(7)式，用迭代法可以求出各层的垂直速度 ω。ω 方程的迭代初值取为零。边界条件是将最外二圈的 ω 都取为零。要求满足的精确度为 $|\omega_n-\omega_{n-1}|_{\max}\leqslant 5\times10^{-7}$ 毫巴/秒。求四层垂直速度 ω 总共迭代50次左右。

速度势 χ 满足如下连续方程

$$\nabla^2\chi=-\frac{\partial\omega}{\partial p} \tag{8}$$

把解(7)得到的 ω 代入(8)式，求出速度位势 χ 后再用下式：

$$\begin{cases} u_\chi=\dfrac{\partial\chi}{\partial x} \\ v_\chi=\dfrac{\partial\chi}{\partial y} \end{cases} \tag{9}$$

求出辐散风的二个分量。

方程(7)的差分方程为

$$\begin{aligned}\omega_{i,j,k}=&\frac{1}{(4A+2B)}[A*(\omega_{i+1,j,k}+\omega_{i-1,j,k}+\omega_{i,j+1,k}+\\&+\omega_{i,j-1,k})+B*(\omega_{i,j,k+1}+\omega_{i,j,k-1})-\frac{f_{i,j}}{\Delta p}*(Q_{i,j,k+1}-Q_{i,j,k-1})+\\&+\frac{m^2}{d^2}*(S_{i+1,j,k}+S_{i-1,j,k}+S_{i,j+1,k}+S_{i,j-1,k}-4S_{i,j,k})]\end{aligned} \tag{10}$$

其中 $A=\frac{\sigma_k m^2}{d^2}, B=\left(\frac{\bar{f}}{\Delta p}\right)^2$，$\bar{f}$ 表示柯氏参数全场的平均数。S 是 $J\left(\psi,\frac{\partial\phi}{\partial p}\right)$ 的差分形式

$$S=\frac{m^2}{4d^2}*[(\psi_{i+1,j,k}-\psi_{i-1,j,k})*(D_{i,j-1,k}-D_{i,j+1,k})-$$

$$-(\psi_{i,j-1,k}-\psi_{i,j+1,k})*(D_{i+1,j,k}-D_{i-1,j,k})]$$

其中 D 是 $\frac{\partial\phi}{\partial p}$ 的差分形式

$$D=\frac{1}{\Delta p}(\phi_{i,j,k+1}-\phi_{i,j,k-1})$$

因垂直方向为不等距分层，因此 Δp 各层不同。Q 是 $J(\psi,\zeta_a)$ 的差分形式

$$Q=\frac{m^2}{4d^2}*[(\psi_{i+1,j,k}-\psi_{i-1,j,k})*(G_{i,j-1,k}-G_{i,j+1,k})-$$
$$-(\psi_{i,j-1,k}-\psi_{i,j+1,k})*(G_{i+1,j,k}-G_{i-1,j,k})]$$

其中 G 是绝对涡度的差分形式

$$G=\frac{m^2}{d^2}(\psi_{i+1,j,k}+\psi_{i-1,j,k}+\psi_{i,j+1,k}+\psi_{i,j-1,k}-4\psi_{i,j,k})+f_{i,j}$$

(8)式的差分方程为

$$\chi_{i,j,k}=\frac{1}{4}[\chi_{i+1,j,k}+\chi_{i-1,j,k}+\chi_{i,j+1,k}+\chi_{i,j-1,k}+$$
$$+\frac{d^2}{m^2\Delta p}(\omega_{i,j,k+1}-\omega_{i,j,k-1})] \qquad (11)$$

(9)式的差分方程为

$$\begin{cases} u_\chi=\frac{m}{2d}(\chi_{i+1}-\chi_{i-1}) \\ v_\chi=\frac{m}{2d}(\chi_{j-1}-\chi_{j+1}) \end{cases} \qquad (12)$$

3. 预报试验

用实际天气图上的资料，按照上述二种方案计算出初始风场。然后在一个P坐标五层初始方程模式[1]上进行预报试验。

初始场是1979年6月23日20时(北京时)的五个等压面高度场。即200毫巴、500毫巴、700毫巴、850毫巴、1000毫巴。制作了五天预报，因篇幅所限只给出48，72，96小时的实况和预报图。

总起来看，就亚欧大陆来说，初始场是两脊两槽型。尔后几天总的趋势是亚欧大陆天气形势维持、发展以至于发展成为二脊三槽形势。在黄河中上游有一个气旋不断向东北方向移动，北美大槽东移。两种方案基本上报出这种天气演变形势。24小时预报二种方案基本上差不多，方案二(无辐散风加上辐散风初值)只在预报印度东南部闭合低压上比方案一(无辐散风初值)好。对于48,72,96小时预报，方案二比方案一有明显地改进。方案二对低纬系统的预报以及对黄河气旋、北美大槽的移速和强度的预报上比方案一更接近实况。120小时预报二种方案基本上差不多。

4. 结束语

初始方程模式最常用的初始风场是地转风或由平衡方程解出的用流函数 ψ 表示的无辐散风。地转风初始风场计算简单，也具有一定预报效果，但低纬度系统报的很差，副热带高压报的太强[2]。求解非线性平衡方程需要冗长的迭代计算，为此本文采用近似求解

图 1　1979 年 6 月 25 日 20 时 500 毫巴等压面分析图(48 小时实况)

图 2　方案一 48 小时 500 毫巴预报图

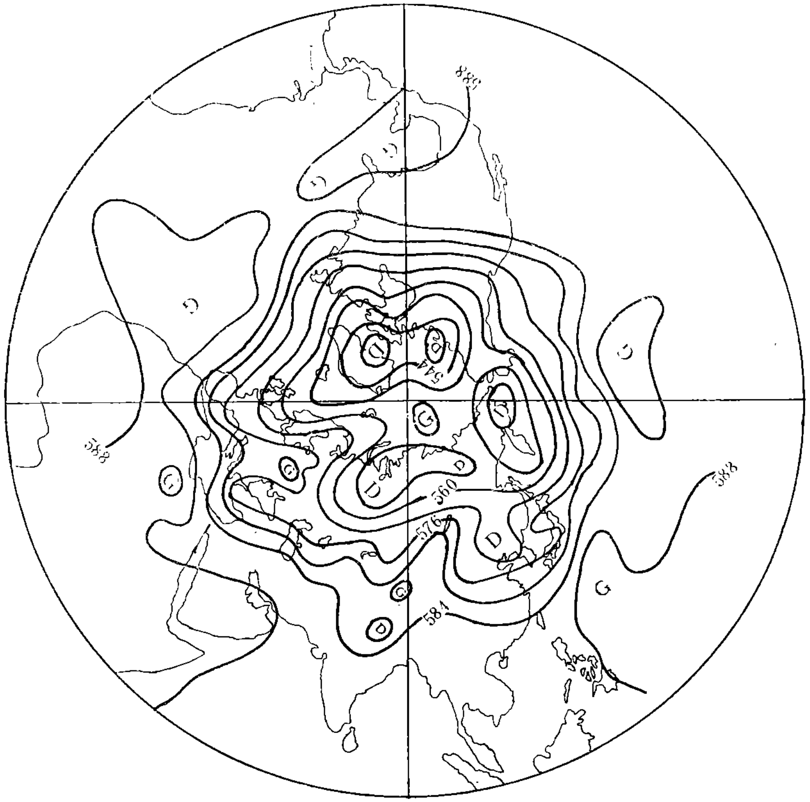

图 3　方案二 48 小时 500 毫巴预报图

图 4　1979 年 6 月 26 日 20 时 500 毫巴等压面分析图(72 小时实况)

图 5　方案一 72 小时 500 毫巴预报图

图 6　方案二 72 小时 500 毫巴预报图

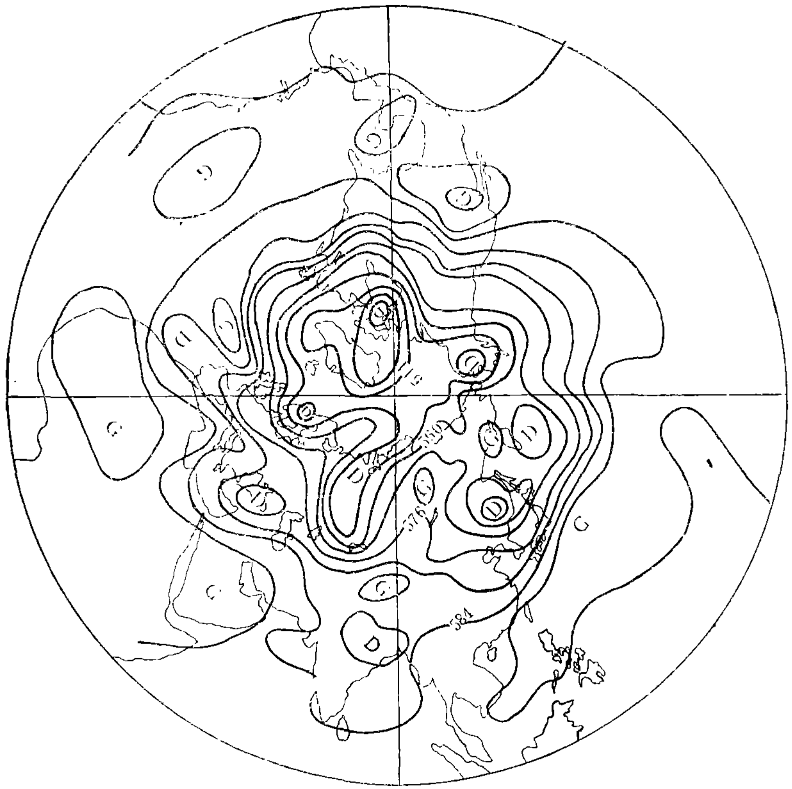

图 7　1979 年 6 月 27 日 20 时 500 毫巴等压面分析图(96 小时实况)

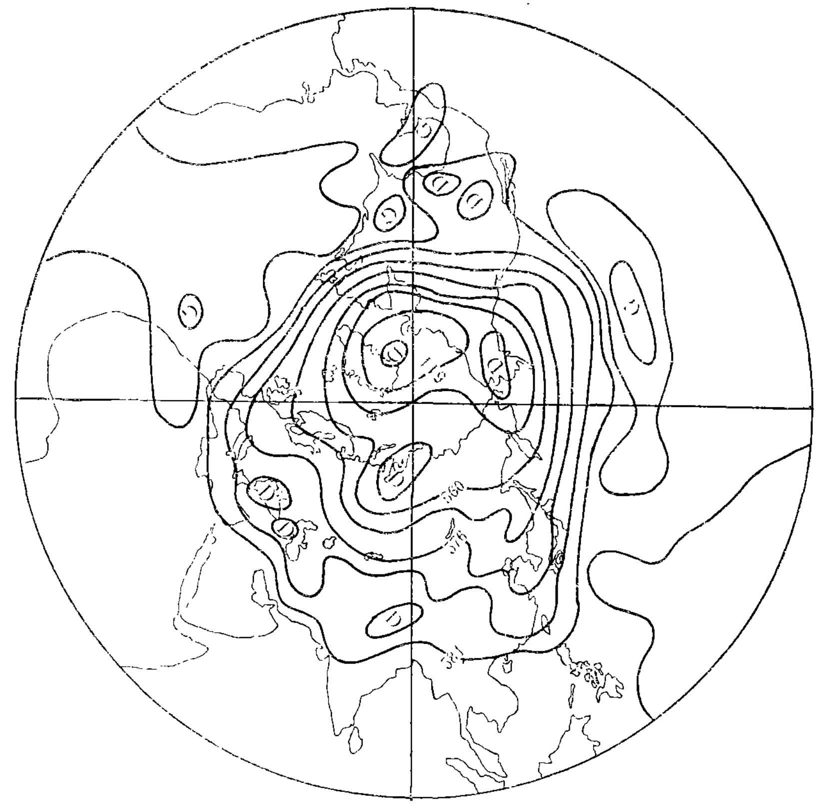

图 8　方案一 96 小时 500 毫巴预报图

图 9　方案二 96 小时 500 毫巴预报图

平衡方程方法，它不仅迭代收敛快，而且低纬度系统的预报效果比地转风初值有明显地改进[2]。

实际的初始风场是有辐散的，为了提高预报的精度必须考虑它。为此本文利用求解准地转 ω 方程得出垂直速度，再求出辐散风，加上解平衡方程得到的无辐散风作为初始风场，使预报结果又有了进一步的改进。

参 考 文 献

[1] 姜达雍、王诗文、张杰英，一个包括多种物理过程作用的原始方程数值模式，《中期数值天气预报文集》，气象出版社，1982。

[2] 王诗文，张杰英，不同初值处理和边值情况下的预报试验，中期数值天气预报文集，气象出版社，1982。