

温度初值确定之合理性与气压梯度力项的计算

沈如金

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文讨论数值试验中两个基本问题: 温度初值确定和气压梯度力的计算。首先比较几种利用静力方程差分解求温度初值方案所引起的误差, 提出一种把等压面高度场插值与静力方程微分结合来求取等 σ 面温度初值的方法, 结果表明用这种方法确定的温度初值及其水平分布和垂直递减率接近实测值。文章又讨论山脉地区气压梯度力计算问题, 表明气压梯度力的计算精度不仅与计算方案有关, 而且与温度初值有很大的关系。利用本文提出的方案得到的温度初值来计算气压梯度力, 误差达到比较满意的精度。

一、引 言

在利用原始方程作数值预报和数值试验时, 初值形成中一个重要问题是温度初值的确定。一般都利用静力方程由等压面(等 σ 面)的高度场推算温度场, 时间积分过程中, 又由温度场求高度场, 这样有助于积分过程中高度场与温度场的协调性。但在实际计算时, 常常用差分形式求解 T 与 ϕ 的转换关系, 显然这会带来一定的计算误差, 尤其在垂直分层较少, 又有地形引入模式时, 不同的差分方案有不同的影响, 有时温度初值竟与实测温度相差达 20°C 之多。这不能不给计算结果的正确性和计算稳定性带来影响。或者结果不合理, 影响理论研究和实际预报的正确性; 或者计算不稳定。积分时间不长, 气象工作者注意到了这个问题, 并提出若干改进办法^[1,2], 如增加垂直分层, 提高模式分辨率, 引进多层资料来确定较少层次的温度初值; 也有用实测温度输入模式。这在一定程度上解决了温度初值问题, 但给计算带来不少困难, 因而上述问题依然没有解决。实际上, 这也是一个大气环流理论的基本问题。由太阳有效辐射强度不均匀性造成的南北向温度差异是大气运动最根本的原动力, 温度初值不正确, 其水平梯度和垂直递减率不合理, 就很难设想会有一个好的计算结果。

众所周知, 山脉对大尺度大气运动有重大影响, 把地形引进数值模式中一般的方法是采用 σ 坐标系, 这时地面与坐标面相重合, 使 P 坐标中通过边界条件所表现的地形影响改为直接由方程中某些项来表示。但出现另一个重要问题是气压梯度力项的计算, 这时

1981年6月13日收到。

气压梯度力表达式中包括两项,这两项的数值都比较大,符号相反,气压梯度力是两个大项的小差,在陡峭的山坡上可以引起很大的误差。现在一般都重视如何设计气压梯度力的计算,使误差减小到可接受的程度,如静力扣除法或插值法。但这是问题的一个方面。另一方面,如果温度初值不合理,或者与所设计的气压梯度力计算方案不对应,仍会产生很大误差,尤其在高原地区。下面,我们将见到有时误差竟达 10 米/秒以上,流场也会受到严重的歪曲。所以温度初值的确定有明显的重要性。

本文首先比较几种不同静力方程差分分解所确定的温度与实测温度分布的差异,提出一种把等压面高度插值与静力方程微分分解结合起来求得 σ 面上温度的方法,结果表明用这种方法得到的温度初值及其水平分布、垂直分布接近实测值。然后讨论用上述温度初值在计算高原地区气压梯度力时所引起的误差,发现气压梯度力的计算对温度场很敏感,利用本文提出的方案所确定的温度初值来计算气压梯度力能得到满意的结果。

二、计算温度初值的几种方案

前面已提到,一般计算温度初值方法是用静力方程差分形式求之。下面我们以 σ 坐标三层模式为例,讨论几种温度初值的计算方案。

由静力方程

$$\frac{\partial \phi}{\partial \ln \sigma} = -RT \quad (1)$$

或

$$\frac{\partial \sigma \phi}{\partial \sigma} = \phi - RT \quad (2)$$

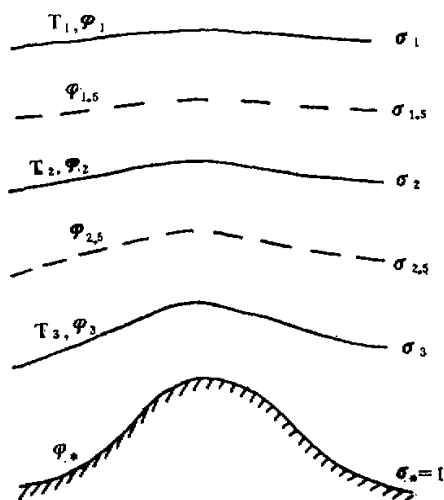


图 1 模式分层示意图

即由 σ 面上的高度场可求得 σ 面上的温度场。

1. 等 σ 面高度场的确定

为了适应数值试验中风压场的协调性, 这里我们简单地用夏季(6—8月)200、500、850mb三个等压面上平均纬向风速廓线(取自[3])和28.7°N纬度上等压面平均高度值, 在28.7°N以北用地转关系, 以南用平衡方程求得59.7°N—44.6°S范围内三个等压面上的高度值。将它们与实测的平均高度值(取自[4])相比较(图略), 两者是很接近的, 一般相差在20位势米以内。差异较大者出现在200mb和500mb高纬度地区, 这主要因为风场和高度场取自不同统计资料所引起的。如200mb 28.7°N以北地区, 文献[3]里的平均纬向风速比文献[4]小, 所以用地转关系计算高度场时, 向北高度值减小较少, 结果在高纬度地区出现计算的高度场值偏大的情况。上述结果也表明, 在中高纬度用地转关系, 低纬度地区用平衡方程, 由风场求高度场基本是合理的, 所得的高度场也是合理的。

由等压面高度场通过下列拉格朗日对数插值公式可求得等 σ 面高度值:

$$\begin{cases} \phi_{\sigma_K} = f(P_*, \phi_{200}, \phi_{500}, \phi_{850}) = a(\ln P_*)^2 + b \ln P_* + c \\ a = c_1 \phi_{200} + c_2 \phi_{500} + c_3 \phi_{850} \\ b = c_1 \phi_{200} \ln \left(\frac{\sigma_K^2}{500 \times 850} \right) + c_2 \phi_{500} \ln \left(\frac{\sigma_K^2}{200 \times 850} \right) + c_3 \phi_{850} \ln \left(\frac{\sigma_K^2}{200 \times 500} \right) \\ c = c_1 \phi_{200} \{ (\ln \sigma_K)^2 - \ln(500 \times 850) \ln \sigma_K + \ln 850 \ln 500 \} \\ \quad + c_2 \phi_{500} \{ (\ln \sigma_K)^2 - \ln(200 \times 850) \ln \sigma_K + \ln 850 \ln 200 \} \\ \quad + c_3 \phi_{850} \{ (\ln \sigma_K)^2 - \ln(200 \times 500) \ln \sigma_K + \ln 200 \ln 500 \} \\ c_1 = (\ln 4.25 \ln 2.5)^{-1} c_2 = -(\ln 2.5 \ln 1.7)^{-1} c_3 = (\ln 1.7 \ln 4.25)^{-1} \end{cases} \quad (3)$$

2. σ 面上温度场的确定

这里给出四种计算等 σ 面上温度值的方案。前三种是利用等 σ 面上高度值取静力方程差分形式, 第四种是直接利用等压面高度值将(3)式与(1)、(2)式结合起来求得 σ 面温度值的静力方程微分方案。模式分层示意图1。

方案一 取如下差分格式:

$$\begin{cases} \phi_K - \phi_{K+1} = -\frac{R}{2} (T_K + T_{K+1}) \left(\ln \frac{\sigma_K}{\sigma_{K+1}} \right) & K = 1, 2 \\ \phi_{2.5} \sigma_{2.5} - \phi_* \sigma_* = (\phi_3 - RT_3)(\sigma_{2.5} - \sigma_*) \end{cases} \quad (4)$$

$\phi_{2.5}$ 是根据对流层下部等 σ 面高度 ϕ_2 、 ϕ_3 和地面海拔高度 ϕ_* 内插得到的。

方案二 最上面一层取(1)式的单向差。其余取(2)式的中央差, 差分格式如下:

$$\begin{cases} \phi_1 - \phi_{1\frac{1}{2}} = -RT_1 \left(\ln \frac{\sigma_1}{\sigma_{1\frac{1}{2}}} \right) \\ T_K = \frac{1}{R} \left[\phi_K - \frac{1}{\Delta\sigma} (\phi_{K+\frac{1}{2}} \sigma_{K+\frac{1}{2}} - \phi_{K-\frac{1}{2}} \sigma_{K-\frac{1}{2}}) \right] & K = 2, 3 \end{cases} \quad (5)$$

$\phi_{1\frac{1}{2}}$ 和 $\phi_{2\frac{1}{2}}$ 是由 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 和 $\phi_*(\phi_{1\frac{1}{2}})$ 内插求得的。

方案三 差分均取中央差形式, 但 $K=1$ 层取与方案一相同, $K=2, 3$, 取与方案

二相同,即

$$\begin{cases} \phi_1 - \phi_2 = -\frac{R}{2} (T_1 + T_2) \left(\ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right) \\ T_K = \frac{1}{R} \left[\phi_K - \frac{1}{\Delta\sigma} (\phi_{K+\frac{1}{2}\sigma_{K+\frac{1}{2}}} - \phi_{K-\frac{1}{2}\sigma_{K-\frac{1}{2}}}) \right] \quad K=2, 3 \end{cases} \quad (6)$$

解(4)、(5)、(6)式即分别得到方案一、二、三所确定的等 σ 面上的温度初值。

方案四 静力方程微分解形式。

前面三种方案都是由静力方程差分形式确定 σ 面上的温度值。本方案则将(1)式和(3)式结合起来,直接由等压面高度场求得等 σ 面上温度值的静力方程微分解的方案¹⁾。这样可以消除因静力方程差分形式所引起的数学误差,而且还可以与气压梯度力项计算联系起来,提高其计算精度。

将(3)式代入(1)式,得

$$\begin{cases} T_\sigma = -\frac{1}{R} \frac{\partial \phi}{\partial \ln \sigma} = \alpha \ln \sigma + \beta \\ \alpha = -\frac{2}{R} (c_1 \phi_{200} + c_2 \phi_{500} + c_3 \phi_{850}) \\ \beta = -\frac{1}{R} \left[c_1 \phi_{200} \ln \left(\frac{P_*^2}{500 \times 850} \right) + c_2 \phi_{500} \ln \left(\frac{P_*^2}{200 \times 850} \right) \right. \\ \quad \left. + c_3 \phi_{850} \ln \left(\frac{P_*^2}{200 \times 500} \right) \right] \end{cases} \quad (7)$$

式中 c_1, c_2, c_3 与(3)式值相同。

所以由 $\phi_{200}, \phi_{500}, \phi_{850}$ 和 P_* 即可求得 σ 面上的温度值。

3. 温度垂直递减率 γ 的计算

$$\gamma = -\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{g}{RT} \frac{\partial T_p}{\partial \ln p} = \frac{g}{RT} \frac{\partial T_\sigma}{\partial \ln \sigma} \quad (8)$$

上述方案一、二、三仍由差分形式计算之:

$$\begin{cases} \gamma_{200-500} = -\frac{g(T_{200} - T_{500})}{\phi_{200} - \phi_{500}} \\ \gamma_{500-850} = -\frac{g(T_{500} - T_{850})}{\phi_{500} - \phi_{850}} \end{cases} \quad p \text{ 坐标中} \quad (9)$$

$\gamma_{200-500}$ 与 $\gamma_{500-850}$ 分别为 200mb—500mb 和 500mb—850mb 层的温度直减率,或

$$\begin{cases} \gamma_{1-2} = -\frac{g(T_1 - T_2)}{\phi_1 - \phi_2} \\ \gamma_{2-3} = -\frac{g(T_2 - T_3)}{\phi_2 - \phi_3} \end{cases} \quad \sigma \text{ 坐标中} \quad (10)$$

γ_{1-2} 和 γ_{2-3} 分别为 σ 坐标中第1层—第2层和第2层—第3层的温度直减率(下

1) 本方案主要是由纪立人同志考虑并设计的。

同)。

第四种方案可以由(7)式代入(8)式计算之:

$$\gamma = \frac{g\alpha}{RT} \quad (11)$$

或

$$\begin{cases} \gamma_{1-2} = \frac{2g\alpha}{R(T_1 + T_2)} \\ \gamma_{2-3} = \frac{2g\alpha}{R(T_2 + T_3)} \end{cases} \quad (12)$$

因为 $T_1 < T_2 < T_3$, 所以 $\gamma_{1-2} > \gamma_{2-3}$, 与夏季实测值一致。

三、四种方案温度值的比较

根据前面四种方案求得的温度廓线与垂直递减率 γ 的分布情况分别见图 2 和图 3。

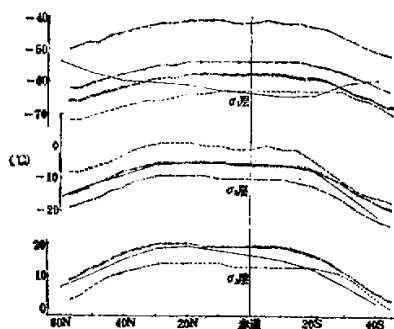


图2 夏季(6—8月)平均温度廓线实测值(实线, 文献[3])及四个方案计算值(虚线, 方案一; 点断线, 方案二; 双点断线, 方案三; 点线, 方案四)

图2同时给出由文献[3]温度廓线内插得到各 σ 面上的温度值。因为 $\gamma_{200-500}$ 和 $\gamma_{500-850}$ 分别与 γ_{1-2} , γ_{2-3} 很接近(图略), 图3给出等压面之间的温度直减率。由图2和图3, 可见:

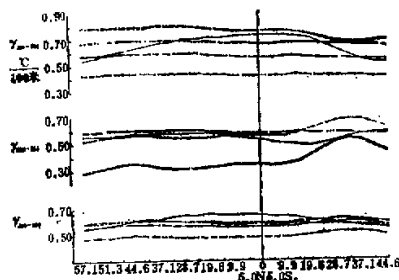


图3 夏季(6—8月)温度垂直递减率分布(图例同图2)

1. 在 σ_1 层, 20°N 以北和 20°S 以南地区四种方案的温度廓线都与实际温度分布趋势相反, 尤其是 40°N 以北中高纬地区。这是因为 σ_1 层较高(约在 169mb 左右), 在中高纬度已处在平流层内, 温度直减率不同于对流层, 而上述四种方案没有反映这种直减率的规律, 保持温度向北向上减小而引起的。在 σ_2 和 σ_3 层, 四种方案求得的温度与实际分布趋势一致, 但数值大小各方案之间有很大的不同。

2. 由方案一求得的温度廓线, 在 σ_1 层, 低纬度地区与实测值接近, 中高纬地区低于实测值, 尤其高纬地区, 计算值偏低 10°C 以上。 σ_2 层的温度廓线虽然与实况相近, 但一般偏高 $5-6^\circ\text{C}$ 。 σ_3 层的温度廓线, 方案一、二、三求得的温度廓线相同, 20°S 以北低于实际值 $5-6^\circ\text{C}$, 20°S 以南偏高 2°C 左右(图 2)。

在上述温度分布下, 对流层上部温度直减率达 $0.7-0.8^\circ\text{C}/100$ 米, 除低纬度地区接近实况外, 一般比实际值大 $0.1-0.2^\circ\text{C}/100$ 米; 而对流层下部, 温度直减率只有 $0.3^\circ\text{C}/100$ 米左右, 远远小于实际值(约为实测值的一半), 反映了这种方案存在的严重缺陷。由热流量方程:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\omega}{\rho g} (\gamma_d - \gamma) + \frac{\dot{Q}}{c_p} \quad (13)$$

由于此时计算的 γ 值偏小, 就相当于放大了垂直运动的作用, 直接影响 $\frac{\partial T}{\partial t}$ 值, 继之影响高度场和风场计算的精确性和稳定。在作实际数值试验计算时^[5], 利用方案一确定的温度初值, 积分不到两天就不稳定了。应该指出, 这种温度直减率的计算误差并非由高度场的误差引起, 主要是温度初值不合理造成的。

3. 方案二求得的温度廓线的最明显特点是 σ_1 层温度偏高太大, 一般有 $15-20^\circ\text{C}$, 在 $20^\circ\text{N}-20^\circ\text{S}$ 之间达 20°C 以上, 这显然是由于静力方程在高层用了单向向前差引起的, 而 σ_2 层的温度又比实况低 4°C 左右, 这样使对流层上部温度直减率偏小, 只有 $0.45^\circ\text{C}/100$ 米左右。对流层下部温度直减率在北半球接近实际值, 南半球略高于实际值。

σ_1 层温度偏高如此之大显然是不合理的。

4. 由方案三得到的温度廓线比方案一、二有所改进。 σ_1 层温度虽然仍偏高(最大约 10°C 左右), 但与方案二相比减小了一半以上; 与方案一相比, 分布比较均匀, 低纬度数值偏大, 而高纬度地区偏小。 σ_2 层温度与方案二相同。 σ_3 层温度与方案一、二相同。这时温度直减率在对流层上部约 $0.6^\circ\text{C}/100$ 米左右, 比方案二约提高了 $0.2^\circ\text{C}/100$ 米; 低层与实况相近, 没有出现方案一那样偏低太大的情形。所以本方案保留了方案一、二的长处, 避免了方案一、二的主要缺陷。相对方案一、二有一定的合理性。实际数值试验表明^[5], 此时计算精度比前两个方案有所提高, 时间积分也可达 5 天左右。但温度廓线与直减率和实况相比仍有较大差异, 下面气压梯度力项计算将表明同样存在不合理性。

5. 方案四采用静力方程微分形式, 避免因差分引起的计算误差。此时 σ_1 层温度误差在四个方案中是最小的, σ_2 和 σ_3 层温度十分接近实测值, 尤其在北半球和对流层中层。温度直减率分布也十分接近实际情况, 对提高计算结果的正确性和增加计算稳定时间有很大帮助。在实际数值试验中^[5], 用这种方案积分 16 天以上仍保持稳定, 计算结果也比较合理。

四、高原地区温度场的计算

1. 理想的孤立的高原地形处理

这里我们取经过平滑的实际地形高度减去 2000 米, 如此时地形高度小于 0, 则以 $z^* = 0$ 处理, 得到理想的孤立的青藏高原地形 (见图 6 中高原范围廓线), 最大地形高度为 2100 米 (33°N , 90°E)。相应的地面气压分布形状与地形相配合, 最低地面气压为 793 毫巴 (下面作气压梯度力项计算比较时仍用这种地形分布)。

2. 孤立青藏高原的温度分布

根据前面四种计算温度初值方案, 求得青藏高原上空等 σ 面上的温度分布, 但是, 因为此时地形是经过处理的理想的孤立的低高度平滑地形 (不是实际地形), 而高度场是由夏季全球纬向平均风速求得的, 并不代表高原夏季实际高度场, 所以很难用计算的 σ 面温度与高原上空实测温度场进行比较。为了考察上述四种方案得到的温度值在“高原”地区是否合理, 这里给出拉萨的夏季温度垂直分布与上述地形最高处 (2100 米, 33°N , 90°E) 温度分布进行的粗略比较 (图 4)。从图上我们看到大致情况与前面平原地区很相似。在

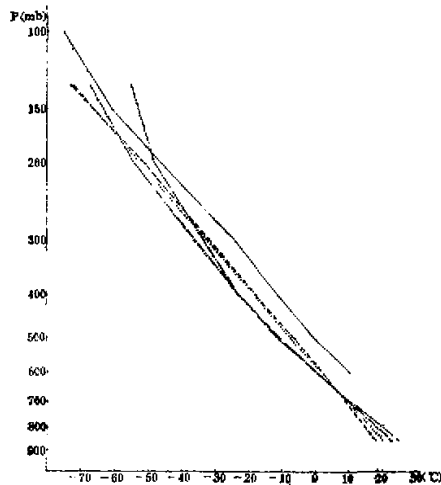


图 4 33°N , 90°E 处计算的温度廓线与拉萨温度上升曲线 (实线)。图例同图 2

对流层高层, 方案二偏高较多, 其它方案相差不多; 对流层中层, 四种方案的温度上升曲线都比拉萨的实测值低 $5-10^\circ\text{C}$, 其中方案一、四相似, 方案二、三相似。方案一、四的温度比方案二、三略高一些。

五、气压梯度力项的计算

σ 坐标中气压梯度力的表达式为:

$$\begin{cases} fV_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} + RT \frac{\partial \ln P_*}{\partial x} \\ -fV_y = \frac{\partial \phi}{\partial y} + RT \frac{\partial \ln P_*}{\partial y} \end{cases} \quad (14)$$

如前所述,因为这时气压梯度力是两大项的小差,在山脉坡度陡处有较大的误差,所以不少人对 σ 坐标中气压梯度力的计算进行处理^[6,7],使计算误差减小到可接受的程度。但值得指出的是气压梯度力的计算对温度场很敏感,下面我们将会见到,虽然气压梯度力计算方案设计比较合理,但当确定的温度场有较大误差时,在山脉地区仍可引起较大的气压梯度力误差。这里引用文献[5]由静力方程插值计算气压梯度力的方法,如图5,0点的气压梯度力为:

$$\begin{aligned} (fV_x)_0 &= \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2\Delta x} \right)_p = \left(\frac{\phi_1 - \phi_3}{2\Delta s} \right)_\sigma \\ &+ \frac{R}{2\Delta s} \left[T_{1m} \ln \left(\frac{P_{*1}}{P_{*0}} \right) \right. \\ &\quad \left. - T_{3m} \ln \left(\frac{P_{*3}}{P_{*0}} \right) \right] \end{aligned} \quad (15)$$

如 T_{1m} 取 $\frac{1}{2}(T_0 + T_1)$, T_{3m} 取 $\frac{1}{2}(T_0 +$

$T_3)$ 作计算,就是 Corby 计算方案^[6](还有不同的 T_{1m} 和 T_{3m} 取法,得到不同气压梯度力值,这将另文讨论)。

这里我们选取与 Corby 一致的方案进行计算,将前面四种方案得到的温度初值代入(15)

式中,得到各方案的气压梯度力——以地转风风速大小表示。并将它与由实测等压面平均纬向风速 u_p (即原给定的初始风场)插值得到的等 σ 面的风速 u_σ 进行比较,用两者差值表示各方案计算的气压梯度力的误差。

由于图的篇幅限制,这里只给出方案二计算的气压梯度力误差在青藏高原附近分布的情况(图6)。我们可以看到,计算的气压梯度力的误差是系统性的,主要在山脉地区,东西风误差呈南北向分布,南北风误差呈东西向分布,0线大致在山脊附近。值得注意的是,作为初始风场的夏季平均纬向风速廓线,由于温度初值确定的不合理,结果在时间积分以前,在山脉地区就隐含着很大的气压梯度力误差(地转偏差)。不仅纬向风分量有了改变,而且有时改变量还是很大的,如方案二中, σ_1 层在山脉北部西风分量减小了,最大减小值达12米/秒以上,而山脉南部西风分量增大(即东风分量减小)更明显,中心达17

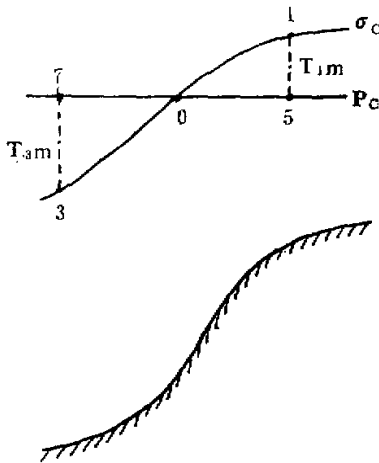


图5 计算气压梯度力方案的示意图。

P_c 为等压面, σ_c 为等 σ 面

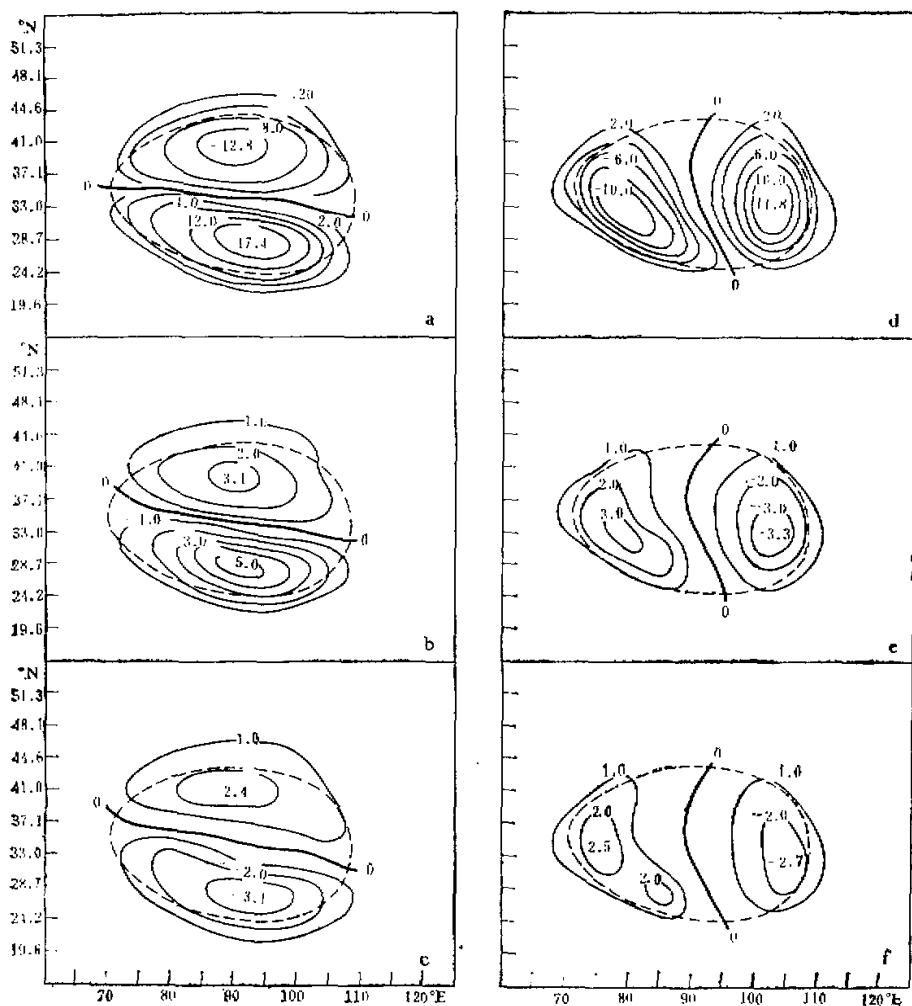


图 6 方案二计算的气压梯度力误差分布单位: 米/秒

a. σ_1 层	} $u_s - u_o$	d. σ_1 层	} v_s
b. σ_2 层		e. σ_2 层	
c. σ_3 层		f. σ_3 层	

米/秒以上; σ_2 层在山脉北部却是西风分量最大增加 3 米/秒以上, 山脉南部西风分量最大减小(东风分量增加) 5 米/秒左右; σ_3 层与 σ_2 层相似, 数值略小一些。而且, 流场的形状也受到严重的歪曲, 原来平直的纬向气流, 此时在山脉地区各层都迭加了一个扰动。方案二中, 在 σ_1 层, 山脉西部地区出现了明显的偏北风, 山脉东部有明显的偏南风, 中心最大风速达 11 米/秒左右, 即有一个明显的经向槽出现在山脉地区的上层。这种扰动的垂直

结构又是不合理的,在图上可以看到, σ_2 层和 σ_3 层都变成了脊区。

方案一和方案三计算的气压梯度力误差分布与图 6 相似(图略),只是数值的符号和大小有所不同。四种温度初值方案计算的气压梯度力误差见表 1。

表 1 四种方案气压梯度力计算误差

方 案	$u_{gs} - u_g$ (米/秒)					
	σ_1 层		σ_2 层		σ_3 层	
	山脉北部	山脉南部	山脉北部	山脉南部	山脉北部	山脉南部
一	西风加大 1 米/秒以上	东风增大 3 米/秒以上	西风减小 2 米/秒以上	西风加大 3 米/秒以上	西风加大 2 米/秒以上	西风减小 3 米/秒以上
二	西风减小 12 米/秒以上	东风减小 17 米/秒以上	西风加大 3 米/秒以上	西风减小约 5 米/秒	(同方案一)	(同方案一)
三	西风减小 3 米/秒以上	东风减小 4 米/秒以上	(同方案二)	(同方案二)	(同方案一)	(同方案一)
四	最大西风减小 0.7 米/秒		最大西风减小 0.4 米/秒		最大西风减小 0.3 米/秒	

方 案	$v_{gs} - v_g$ (米/秒) $v_g = 0$					
	σ_1 层		σ_2 层		σ_3 层	
	山脉西部	山脉东部	山脉西部	山脉东部	山脉西部	山脉东部
一	出现 2 米/秒以上偏南风	出现 2 米/秒以上偏北风	出现 2 米/秒以上偏北风	出现 2 米/秒以上偏南风	出现 2 米/秒以上偏南风	出现 2 米/秒以上偏北风
二	出现 11 米/秒的偏北风	出现 11 米/秒以上偏南风	出现 3 米/秒以上偏南风	出现 3 米/秒以上偏北风	(同方案一)	(同方案一)
三	出现 3 米/秒的偏北风	出现 3 米/秒以上偏南风	(同方案二)	(同方案二)	(同方案一)	(同方案一)
四	0	0	0	0	0	0

方案一计算的气压梯度力误差,在山脉北部西风分量加大,山脉南部东风分量加大,山脉西部出现偏南风,山脉东部出现偏北风,相当于有一个脊出现在山脉地区。 σ_2 层与 σ_1 层情况相反,山脉地区产生了一个虚假槽。 σ_3 层与方案二相同。

方案三计算的气压梯度力误差分布与方案二基本相同,在 σ_1 层误差小于方案二。

方案四在山脉地区表现了明显的优越性,东西风误差最大为 0.7 米/秒,而南北风误差消失,保持原来纬向气流特征(表 1, 图略)。这在(15)式也反映出来,此时,

$$fV_g = \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_g + RT \frac{\partial \ln P^*}{\partial x} = 0.$$

当然,由(15)式计算气压梯度力,对于方案四所确定的温度是有利的(相当于利用 Corby 格式作由(7)式确定的温度初值的气压梯度力计算),方案一、二、三本来也同样具有这种有利条件,可是因为取静力方程差分形式来确定温度初值,造成了温度初值不合理,结果引起了气压梯度力计算的较大误差。是否有适合方案一、二、三温度初值的气压梯度力计算方案,这是需要进一步探讨的。

对于方案四,为了使时间积分过程中保持温度场和高度场的协调,可以将静力方程对时间求微商,由 $\frac{\partial T}{\partial t}$ 求得高度场的时间变化 $\frac{\partial \phi}{\partial t}$, 然后得到各时刻的高度场。

六、结 语

本文讨论了利用原始方程作数值试验时温度初值的形成问题。比较四种利用静力方程确定温度初值方案所引起的误差及它们对于气压梯度力项计算的影响,可以看到温度初值形成问题有明显的重要性。

太阳辐射能是大气运动的原动力,由太阳有效辐射强度不均匀性造成的南北向温度差异对大气环流基本状态的形成为着决定性的作用。如果温度初值不正确,其水平梯度和垂直递减率不合理,就不可能有一个好的计算结果,也影响数值试验的计算稳定性。因此,温度初值的确定必须合理,即要求所确定的温度值及其分布(水平的和垂直的)接近实际值,这样也能保证气压梯度力项的计算达到较好的精确度,这点尤其在山脉地区更为重要。

在山脉地区,气压梯度力项的计算是数值预报和数值试验中又一重要问题。设计一个较好的计算方案,应该考虑方案的物理含义,使之适合于山脉的地形变化,使计算误差减小到可接受的程度,这里同样要考虑温度初值确定的合理性。本文研究表明,虽然都是利用静力方程来确定温度初值,但方案不同,各种方案所确定的温度值可以相差很大,对气压梯度力的计算产生显著的影响。

本文提出一种用等压面高度插值与静力方程微分形式求得等 σ 面上温度值的方案。结果表明用这种方法确定的温度初值及其水平分布和垂直递减率接近实测值,气压梯度力项计算也达到比较满意的精度,实际数值计算也较稳定。

致谢: 本文承蒙纪立人同志热情指导并作讨论,作者表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院大气物理研究所中期预报组, 初始方程数值模式的一个计算格式在有限区域预报的试验, 大气科学, 第1卷, 第3期, 174—179, 1977.
- [2] 许有丰, 初始方程模式中引入实测温度场的初值分析及预报试验, 1979年第二次全国中长期天气预报会议文集.
- [3] Newell, R. E. et al., The General Circulation of the Tropical Atmosphere, Vol. 1, 1972.
- [4] Oort, A. H. et al., Atmospheric Circulation Statistics, 1971.
- [5] 纪立人等, 夏季青藏高原动力、热力影响的数值试验, (待发表)
- [6] Corby, G. A. et al., A general circulation model of the atmosphere suitable for long period integration, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 98, 809—832, 1972.
- [7] Phillips, N. A., Application of Arakawa's energy conserving layer model to operational numerical weather production, U. S. Dept. of Commerce, NMC, office Note 104, 1974.

THE RATIONALITY OF THE INITIALIZATION OF TEMPERATURE AND THE CALCULATION OF PRESSURE GRADIENT TERM

Shen Rujin

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

In this paper, two basic problems in numerical experiment, the initialization of temperature and the calculation of pressure gradient term, are discussed. At first, the errors in the initial temperature computed by difference schemes of the static equation are analysed, and a scheme for the initialization of temperature by means of the derivative of the static equation is introduced. It is found that the temperature field and its horizontal distribution and vertical lapse rate obtained by the derivative scheme are closer to the observed ones. Then the pressure gradient term in a mountain region is calculated for the foregoing initial temperature fields. It is found that the calculation of pressure gradient term is sensitive to the temperature field and that the error due to the uncertainty of the initial temperature obtained by the derivative scheme is less than that by other schemes.