

# NMC 第二代中期数值预报系统误差的动力诊断\*

刘还珠 滕俏彬

(国家气象中心, 北京, 100081)

## 摘 要

利用国家气象中心第二代中期数值预报模式计算了 1 月和 7 月的预报诊断量。计算结果表明, 新一代模式在动力外强迫作用、辐射通量和对流参数化等物理过程方面的改进, 使该模式的预报比第一代模式有了较大的改善, 模式预报的系统误差明显减小。通过对角动量、热量和水汽的经向输送和收支平衡的分析, 认为该模式在地形处理、陆面过程、云辐射和积云对流参数化等物理过程还有待进一步改进。

关键词: T63L16 模式, 系统误差, 动力诊断。

## 1 引 言

对影响天气和气候时空变化的大气环流, 气象学家曾从理论研究、数值模拟和资料分析等 3 种相互联系又彼此不同的途径进行了探讨。40 年来, 许多人利用观测资料从不同的侧面进行了深入的研究。叶笃正和朱抱真<sup>[1]</sup>(1958) 研究了大气角动量和感热分布特征, 首先给出了北半球沿纬圈山脉矩的年变化。Obasi<sup>[2]</sup>(1963) 研究了南半球的角动量输送。Kung(1968), Newton(1971), Oort(1964), 以及 Oort 和 Peixoto<sup>[3~6]</sup>(1974) 研究大气能量循环。Hollonpain<sup>[7]</sup>(1967) 研究角动量通量和平均经圈环流。Mintz(1954), Palmen 和 Vuorela<sup>[8,9]</sup>(1963) 揭示热带和其它地区角动量、水汽及能量收支情况。Lau 等(1981), Oort(1983) 及 Oort 和 Peixoto<sup>[10~12]</sup>(1983) 的统计分析工作侧重于大气环流维持机制的研究。吴国雄和刘还珠<sup>[13]</sup>(1987) 根据欧洲中期数值预报中心(ECMWF) 五年分析资料将基本量按不同波数范围进行分解, 再研究它们的纬向平均分布特征, 得到大气环流的角动量、热量和水份的基本量和输送量, 并得到它们的平均收支, 有助于了解天气尺度和行星尺度波动的不同特征及其在大气环流中的贡献。刘还珠等<sup>[14]</sup>(1987) 还将这一方法针对 ECMWF 的中期模式, 使用不同地形方案进行对比试验, 结果表明新的地形方案(包络地形) 减小了模式的系统误差, 使高层在中期时效内的预报得到明显的改进。张绍晴、刘还珠<sup>[15]</sup>(1995) 曾对国家气象中心(NMC) 中期数值预报模式 T42L9(以下简称 T42) 的预报结果进行平均经圈环流分析, 并运用无加速定理(吴国雄<sup>[16]</sup>, 1989) 对该模式的系统误差进行动力诊断, 得到改进模式物理过程的有益意见。对模式系统误差的动力诊断是运用大气环流知识

\* 初稿时间: 1997 年 7 月 11 日; 修改稿时间: 1997 年 11 月 6 日。

对模式预报进行总体的考查,它是对模式大气认识的深化。实践证明,这有助于对模式物理过程的进一步认识,为改进模式提供了科学的依据。

NMC 第二代中期数值天气预报模式 T63L16(以下简称 T63) 1995 年 6 月正式业务运行。该模式不仅水平分辨率和垂直分辨率比 T42 有较大的提高,而且在模式的初值化、地形处理和物理过程方面都比原模式有显著的改进(皇甫雪官等<sup>[17]</sup>, 1995)。对 T63 模式天气学和统计学的检验,在每月《数值预报产品评价公报》中都有详细的描述。该模式的系统误差分布与 T42 有显著的差别,不但正负误差分布特点不同,而且误差中心量值也明显减小。例如对 500 hPa 96 小时高度场预报误差, T42 在欧洲常年都存在绝对值大于 100 gpm 的负误差中心,而在极地、南亚地域、北太平洋多为正误差,中心值在 40~80 gpm。而 T63 冬季在欧亚大陆中部、极地和北太平洋中部为正误差,中国东部和西太平洋为负误差;夏季 T63 欧亚大陆基本为负误差,极地到北太平洋以正误差为主,其正负误差中心多在 30~60 gpm。为了进一步了解第二代中期数值预报模式的性能和系统误差,现从动力诊断分析入手,运用大气环流方面的知识对 T63 模式冬夏典型月份(1 月和 7 月)预报的结果进行考查,以得到客观的动力评估,提出有待改进的可能途径。文中第 2 节将讨论资料来源和计算方案,第 3 节分析了该模式预报的风场和角动量的输送;第 4 节讨论模式的温度场和感热通量及热量收支;第 5 节分析了模式平均经圈环流;第 6 节给出了模式的水汽分布及通量散度。最后在第 7 节给出对模式总的评价及可能改进的途径。

## 2 资料来源及计算方案

利用 1996 年 1 月和 1996 年 7 月两个月逐日初始化后 T63 00Z 的基本要素  $U, V, T, Z, W, Q$  (作为实况值)和各时对应的 24~168 小时 7 d 的预报要素场(各月每个预报时效都有 31 个样本),按文献[13]逐日计算,然后将逐日结果取 31 d 平均,得到 24~168 小时每隔 24 h 不同预报时效的纬向平均要素值和 1~3, 4~9 波及 1~16 波(作为总扰动值。由于各种余谱在波数 10~15 及 16-截断的值要比波数域 1~3, 4~9 中的相应值小得多<sup>[13]</sup>,故只需算到 16 波即可)的扰动值,并得到它们的经向通量和垂直通量。

根据角动量收支方程:

$$2\pi\alpha^3 \cos^2 \varphi \frac{\partial}{\partial t} [\overline{u}]_{j,k} + 2\pi\alpha^2 [(\overline{uv} \cos^2 \varphi)_{j+1,k} - (\overline{uv} \cos^2 \varphi)_{j-1,k}] \Delta P / 2g + 2\pi\alpha^3 [(\overline{u\omega} \cos^2 \varphi)_{j,k+1} - (\overline{u\omega} \cos^2 \varphi)_{j,k-1}] \Delta \varphi 2g - 4\pi\alpha^3 \overline{\Omega} [\overline{v}] \sin \varphi \cos^2 \varphi_{j,k} \Delta \varphi \Delta P / g = - 2\pi\alpha^2 [(\Psi_E - \Psi_w) \cos \varphi_{j,k} \Delta \varphi \Delta P / g - 2\pi\alpha^3 ([F] \cos^2 \varphi_{j,k} \Delta \varphi \Delta P / g + S = R_a \quad (1)$$

上式左端前 3 项分别表示角动量的加速、角动量的水平通量和垂直通量;第 4 项表示平均经圈环流施加于大气的惯性矩的负值。右端前两项分别为山脉矩及表面摩擦矩;第 3 项代表其它类型的角动量源或汇,这 3 项之和可定义为角动量源。 $R_a$  为左端各项之和,亦称“余差项”。

感热收支方程:

$$\begin{aligned}
& 2\pi\alpha^2 \left[ \cos \varphi_p \frac{\partial \mathcal{T}}{\partial \alpha} \right]_{j,k} \Delta \mathcal{Q} \Delta P / g + 2\pi\alpha c_p [ (\overline{vT} \cos \varphi_{j+1,k} - (\overline{vT} \cos \varphi_{j-1,k}) ] \Delta P / 2g + \\
& 2\pi\alpha^3 c_p [ (\overline{\omega T} \cos \varphi_{j,k+1}) - (\overline{\omega T} \cos \varphi_{j,k-1}) ] \Delta \mathcal{Q} 2g - 2\pi\alpha^2 [ \alpha \omega_{j,k} ] \Delta \mathcal{Q} \Delta P / g = \\
& 2\pi\alpha^2 [ [ Q ] \cos \varphi_{j,k} \Delta \mathcal{Q} \Delta P / g = R_t \quad (2)
\end{aligned}$$

上式左端 4 项分别表示感热的时间变率、感热的水平和垂直通量及平均经圈环流的垂直运动所产生的绝热冷却。余差  $R_t$  为方程左边各项之和, 代表着为保持平衡所需的非绝热加热量。

和水汽收支方程:

$$\begin{aligned}
& 2\pi\alpha^2 \left[ \cos \varphi \frac{\partial \mathcal{Q}}{\partial \alpha} \right]_{j,k} \Delta \mathcal{Q} \Delta P / g + 2\pi\alpha [ (\overline{vq} \cos \varphi_{j+1,k} - (\overline{vq} \cos \varphi_{j-1,k}) ] \Delta P / 2g + \\
& 2\pi\alpha^2 [ (\overline{\omega q} \cos \varphi_{j,k+1}) - (\overline{\omega q} \cos \varphi_{j,k-1}) ] \Delta \mathcal{Q} 2g = 2\pi\alpha^2 [ S \cos \varphi_{j,k} \Delta \mathcal{Q} \Delta P / g = R_q \quad (3)
\end{aligned}$$

上式左端 3 项分别表示水汽的时间变率、水汽的水平通量。余差  $R_q$  表示大气中水汽的源和汇。

可得垂直累计的角动量、热量和水汽量输送的下述表达式:

$$F_a = \frac{1}{g} \int_0^{1000} 2\pi\alpha^2 [ \overline{vu} \cos^2 \varphi ] dp \quad (4)$$

$$F_t = \frac{c_p}{g} \int_0^{1000} 2\pi\alpha [ \overline{vT} \cos \varphi ] dp \quad (5)$$

$$F_q = \frac{1}{g} \int_0^{1000} 2\pi\alpha [ \overline{vq} \cos \varphi ] dp \quad (6)$$

式中对物理量  $A$  和  $B$ , 有

$$\begin{aligned}
\overline{[AB]} &= \overline{[A][B]} + \sum_{i=1}^T \overline{[A_i^* B_i^*]} \\
&= \overline{[A][B]} + \sum_{i=1}^3 \overline{[A_i^* B_i^*]} + \sum_{i=4}^9 \overline{[A_i^* B_i^*]} + \sum_{i=10}^T \overline{[A_i^* B_i^*]}
\end{aligned}$$

其中,  $i$  为波数;  $A^* = A - [A]$  为波动量;  $\bar{A} = (t_2 - t_1)^{-1} \int_{t_1}^{t_2} A dt$ , 表示  $A$  在  $t_1$  至  $t_2$  间的时间平均;

$[A] = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} A d\lambda$  表示  $A$  的纬向平均;  $j$  和  $k$  分别为沿纬向和垂直方向的格点数; 其它为气象上常用符号。

由上述方程可求出 T63 1 月和 7 月不同预报时效的月平均角动量、感热和水汽的分布及它们的水平和垂直的涡动通量散度及其收支和垂直累计值, 最后将预报值计算的结果与对应的实况相比较, 得到不同预报时效的误差场。下面将提取几种重要的物理量进行分析, 以使对 T63 有一个较客观的动力评估。

### 3 模式的风场与角动量输送

模式大气和真实大气内外的动力强迫作用的差异是产生风场预报误差的重要原因。因此,从风场误差分析入手是考查模式物理过程的机械强迫作用的重要方面。图 1 为 T63 1 月和 7 月平均纬向风的实况及各预报时效(这里仅取 48, 96, 144 小时)的误差垂直剖面图。

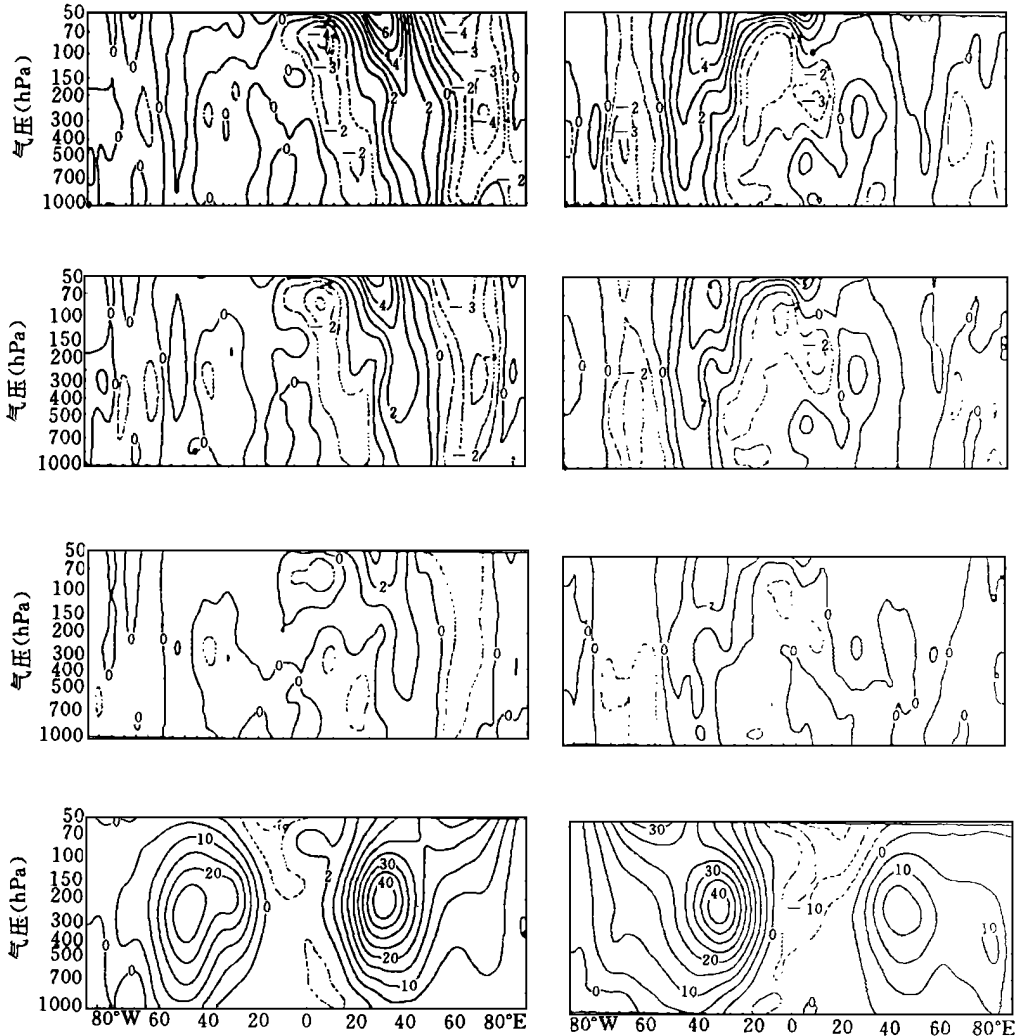


图 1 1996 年 1 月(左)和 7 月(右)纬向月平均西风经向-高度剖面

(图中横坐标为纬度,左侧纵坐标为气压(hPa),自上而下为 T63

模式 144 小时、96 小时、48 小时预报误差和实况;风速单位: m/s)

由图 1 可见,在南北半球对流层上层都存在着与实况相同的西风急流,只是随着预报时效的延长,误差的绝对值加大,特别是 96 小时以前误差增大较快。无论冬夏误差分布的特点是,在高纬( $60 \sim 80^\circ$ )和低纬( $10 \sim 25^\circ$ )为负误差区,它们之间的中纬带为正误差区,

误差值随高度增加而增大,到平流层误差达最大,并且除南半球高纬带冬季外,这种正负误差相间的零线随高度向赤道偏移。极区的误差较小。赤道附近(10°N—10°S)对流层中低层为正误差,其中心偏向夏半球。对流层中层以上呈现较强的负误差,表明这里低层东风报的偏弱,中层以上是西风减弱、东风加强,在平流层中上部达到最强。此外在夏季,北半球对流层顶附近10°~20°N还有-1~-3 m/s的误差中心,说明东风急流在这里报得很强。而将同时期T42风场的预报误差与T63对照发现,最明显的差别存在于冬半球高纬(60°~80°)的负误差区,T42的误差比T63高3~4倍(图略),分析对比可得,T63的预报误差与文献[13]的多年平均的风场分布更为接近。

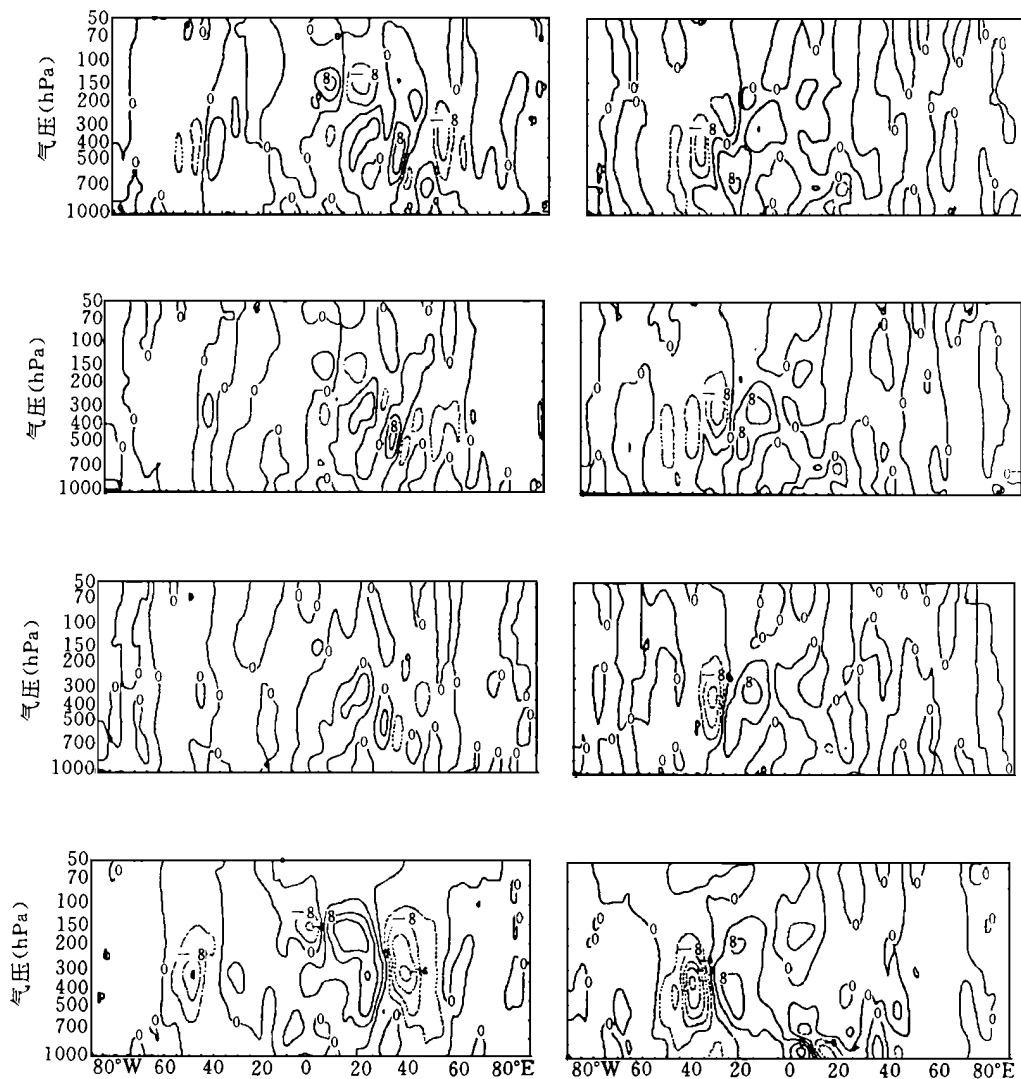


图2 1996年纬向月平均角动量涡动输送散度的经向-高度剖面图

(角动量涡动输送散度单位:  $10^{17} \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$ , 其它说明同图1)

进一步考查中纬带涡动角动量的经向输送,它是将低纬和高纬带制造的角动量向中纬带输送,使大气角动量维持守恒的主要方式。由 T63 涡动角动量垂直累加的经向输送图(图略),可以看到在北半球,向北输送最大带 1 月份是在 25~45°N,南半球向南输送的最大带 7 月份是在 17~37°S,预报与实况差异不大。但北半球高纬带涡动角动量的向南输送比实况偏强,随预报时效增大,角动量向南输送的误差也逐渐增加,在 96 小时误差达最大,其误差量值与 00Z 角动量的向南输送值相当。为了探讨中纬带预报西风偏大的原因,还需从涡动角动量通量散度来分析。

由图 2 可见,无论冬夏在南北半球的中纬带存在着涡动角动量输送的辐合区,副热带地区则是明显的辐散区。在冬半球这种特点更为突出,其辐合(散)值比夏半球大得多,并且随预报时效的延长,中纬带辐合值在 96 小时达最大,这与西风预报误差趋势是一致的。由文献[15]可知,中纬带涡动角动量通量的辐合是造成这里西风加速的主要动力原因,从而形成模式对风预报的误差。

Wallace 等<sup>[18]</sup>(1983)曾对 ECMWF 模式从涡动动能角度分析,认为是过多的地形平滑使模式地形降低而导致了风的系统误差,进而提出了包络地形方案。NMC T63 中考虑了地形重力波拖曳力,当稳定层结气流过山地时,激发的次网格尺度重力波引起动量输送,在垂直输送时又考虑随高度的变化,使地形激发的重力波得到了较合理的抑制。这使 T63 比 T42 在风场的预报方面有了明显的改进。但是由于地形和摩擦等机械动力强迫作用的表达与实际仍有差别,故而仍存在着风场预报的系统误差。

#### 4 感热经向通量及其热量收支

大气主要的直接热源是来自地表,同时大气又向太空发射长波辐射。还由于地表受热的不均匀而产生了热量的水平输送和垂直输送。长期输送的结果形成了全球的基本温度场,由此决定了全球的位势高度分布和风场的分布。因而由模式预报的温度场与实际情况的比较是考查模式预报能力的重要方面。

1 月模式在对流层低层(700 hPa 以下)和南北两极对流层高层(250~100 hPa)存在着过多的冷却(图 3)。此外在平流层上层北半球中纬带和南半球中高纬带也存在着负的温度误差中心。但在平流层低纬带和北半球高纬却存在着过多的增温,尤以北半球高纬随预报时效延长正误差增长明显。这样的温度配置使北半球冬季在平流层低层到对流层上层中纬带的温度梯度加大引起西风增强。然而再往北,由于温度梯度减小而导致北半球极锋减弱,高纬带的西风减小,这与上节西风误差的分析是一致的。

与 T42 同时效的预报相比(图略),T63 在对流层中低层不但误差小得多,而且也不存在着如 T42 在低纬带所出现的较为复杂的误差结构<sup>[15]</sup>(图略),因而使 T63 副热带急流的预报远不如 T42 那么强,而极锋强度也远不如 T42 减弱的那么多。这是由于 T63 模式比较详细地考虑了云和辐射之间相互作用,计算辐射通量时考虑有云和无云时的灰体效应,又考虑了气体效应,因而使得模式温度的预报比较接近实际。

7 月在对流层中低层预报的温度场与 1 月份的误差分布特点一致(图 3),唯在对流层上层 300 hPa 附近南北高纬带分别出现随预报时效延长而加强的负误差中心,这里过强的附加冷却使得高纬水平温度梯度加大而导致中高纬带间西风加强,同时也加大了南北

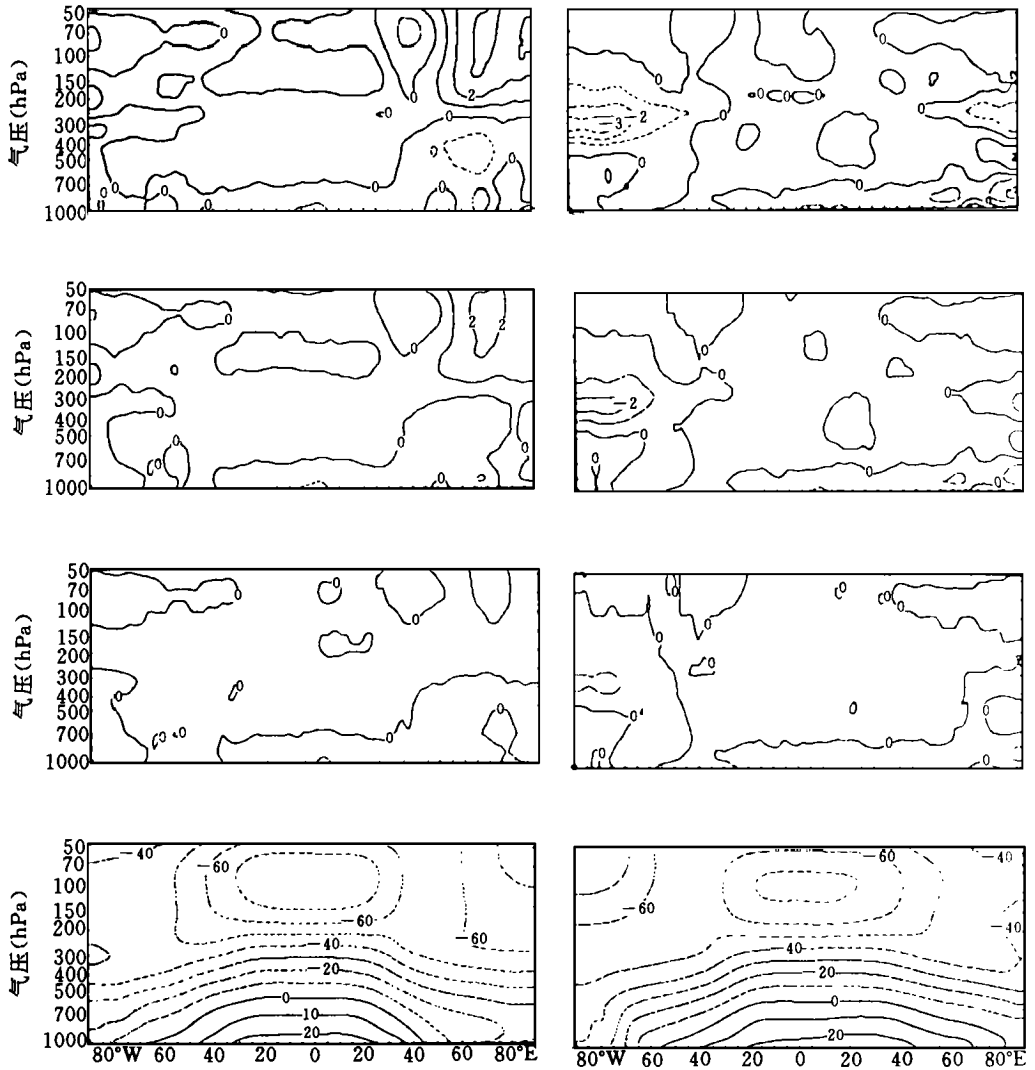


图3 1996年纬向月平均温度经向-高度剖面

(温度单位:  $^{\circ}\text{C}$ , 其它说明同图1)

高纬带在对流层中垂直温度层结的递减率。

感热通量(图略)除了在冬半球由副热带地区为向热带输送的热量外,其它地方均为向极输送,在中高纬带,1~3超长波扮演了向极输送热量的主要角色,而平均经圈环流(MMC)则是低纬带热量输送的主要角色。在7月,热带地区向北半球输送热量,在1月则相反,是由热带向南半球输送热量,这是MMC季节变化的结果。模式预报基本上反映了这一热量输送的特征。但是随着预报时效的延长,7月由热带向北半球输送的热量是减小的,且48h内减小最快。与00Z相比,数值约减小了一倍。在冬季由南半球副热带地区向赤道的热量输送也是减小的,72h内减小得十分显著,由00Z的 $18 \times 10^{12}$  kW减小到 $12 \times 10^{12}$  kW。这在一定程度上反映了MMC的误差,将在下一节进一步讨论。其总的效果是

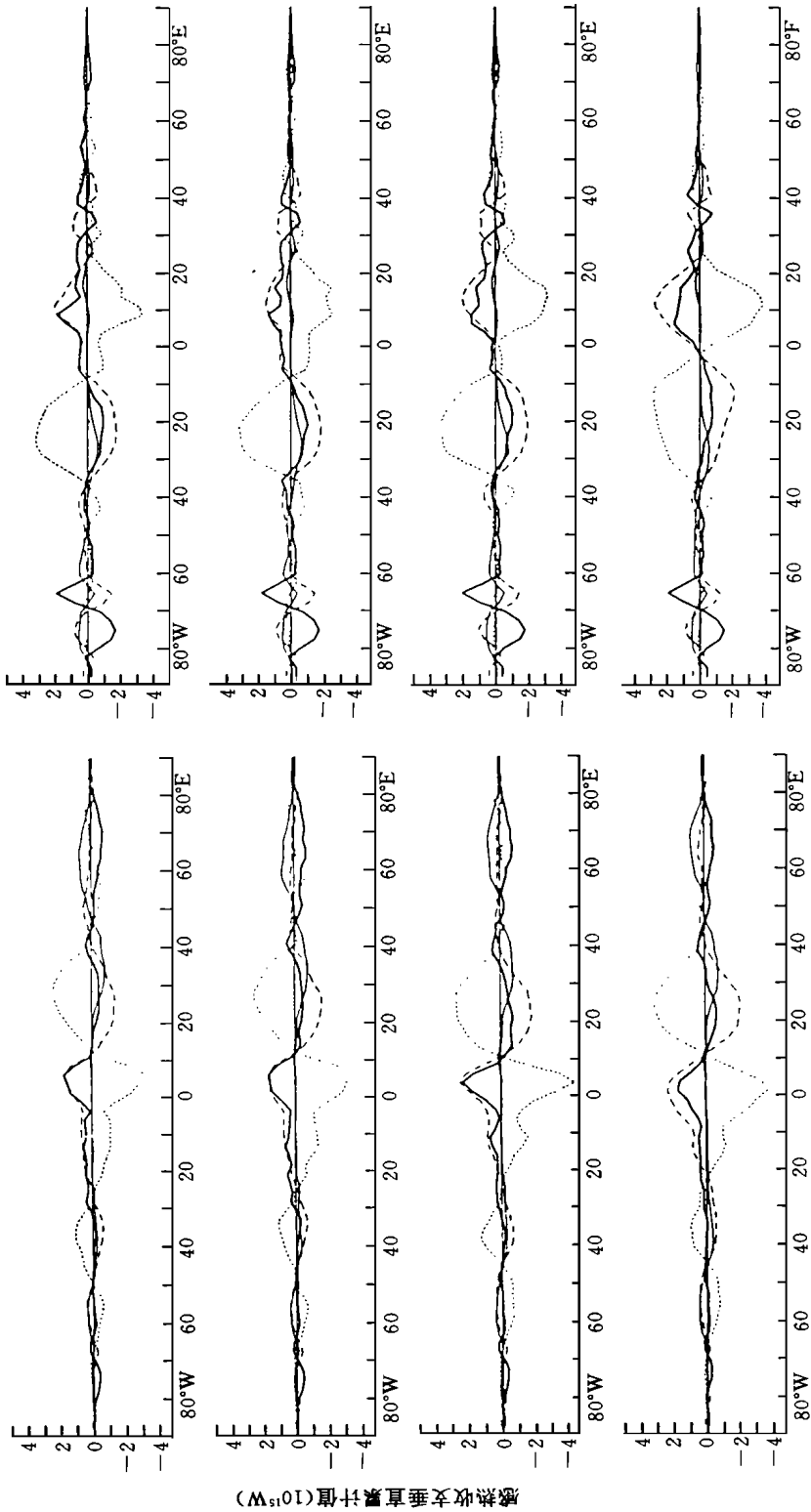


图 4 1996 年 1 月(左)和 7 月(右)纬向月平均感热收支垂直累计分布  
(粗实线为热源(汇);粗点线为水平涡动热量通量散度;细虚线为  
经向平均热量通量散度。自上而下为 T63 模式 144 小时、96 小时、48 小时的预报及实况)



使全球温度的预报在对流层低层(700 hPa 以下)较实况偏低  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右(图 3)。

此外,由平均感热收支垂直累计分布图(图 4)可以看到热源主要在赤道地区及夏半球的低纬带,热汇在冬半球,低纬的热源主要被绝热冷却平衡,中高纬带的热汇主要被涡动感热通量的辐合所平衡。绝热加热在热量收支中起着极为重要的作用,在热带它平衡着非绝热加热和经圈环流输送的热通量,在副热带它平衡着经圈环流和热量涡动水平通量的辐合。由此可见平均经圈环流在热量收支平衡中的作用。T63 的预报从总体上来看,对热量收支的描述与实际情况差异不大,但若从空间分布来看,在低纬带特别是对流层低层预报仍存在着一定的误差。以 1 月份热源(汇)垂直经向分布为例(图略),在  $0\sim 10\text{ }^{\circ}\text{N}$  对流层低层有明显的正误差,其上方对流层上层到平流层又为负误差中心占踞。另外,在北半球副热带地区对流层中下层还有一个附加的热汇中心,这是与同时期垂直上升运动误差分布呈反相,从另一方面反映了感热的收支与 MMC 的密切关系。

## 5 模式的平均经圈环流

文献[16]指出:大气角动量和热量的守恒主要通过 MMC 的调节来实现的。一方面,MMC 的近地水平支平衡着角动量的制造,其上层水平支则平衡着涡动角动量通量的辐合(散),由于 MMC 对大气内外强迫作用十分敏感,通过分析 MMC 可反映大气角动量和热量平衡的偏差。

图 5 为 1 月和 7 月 MMC 的预报的偏差及实况。1 月份质量经向通量正中心偏向北半球,中心位于 400 hPa 附近,达到  $180\times 10^9\text{ kg/s}$ 。而预报的哈得莱环流除仅在对流层低层为正偏差外,其余均为负偏差。在  $30\text{ }^{\circ}\text{N}$  以北出现稍强的中纬带的间接环流和高纬带的直接环流。随预报时效的增加,哈得莱环流明显减弱。与此相反,南半球形成较实况强的直接环流。7 月份,南半球的哈得莱环流中心位于赤道上空 300 hPa 附近,其强度达  $240\times 10^9\text{ kg/s}$ ,随预报时效延长,其中心强度也逐渐减弱。该环流南侧下沉支在对流层中加强显著。

预报的哈得莱环流的偏差可以从经向风和垂直运动的预报误差中寻求出答案,以 96 小时预报误差图为例(见图 5),以 MMC 中心为界在 1 月(7 月)上方经向风为负(正)偏差,其下方为正(负)偏差,两者构成与哈得莱环流反向的环流。同样垂直速度误差在经向高度分布图上(见图 5)也可以发现,在 MMC 环流中心南北两侧出现冬夏反向的正负误差区域分布,由此也构成了与哈得莱环流反向的环流。仅在哈得莱环流下沉支的对流层中,另外还有一个冬季(夏季)为负(正)的误差中心,恰与邻近的正(负)误差区构成了另一支与原哈得莱环流同向的环流,由此可见,预报的 MMC 误差是模式大气经向运动和垂直运动综合的影响结果。进一步分析,则是由于大气地转平衡和热力平衡遭到破坏,为了恢复平衡而激发出的大气被动输送运动。由文献[16]可知,当作用在大气动力和热力的内外强迫作用达到相互平衡时,大气将是无加速运动,否则,当内外强迫作用不平衡时,将激发出经圈环流,从而调整大气中的不平衡。模式大气与真实大气之间的误差就是在它们不断调整过程中产生加速度误差积累而成。因而,由激发的经圈环流的差异,可以推测模式大气动力和热力作用的综合影响所带来的误差。由前所述,模式大气在热带地区激发的哈得莱环流偏弱,表明了低纬带大气受热不足,上升运动偏弱而造成经向质量通量减少。无

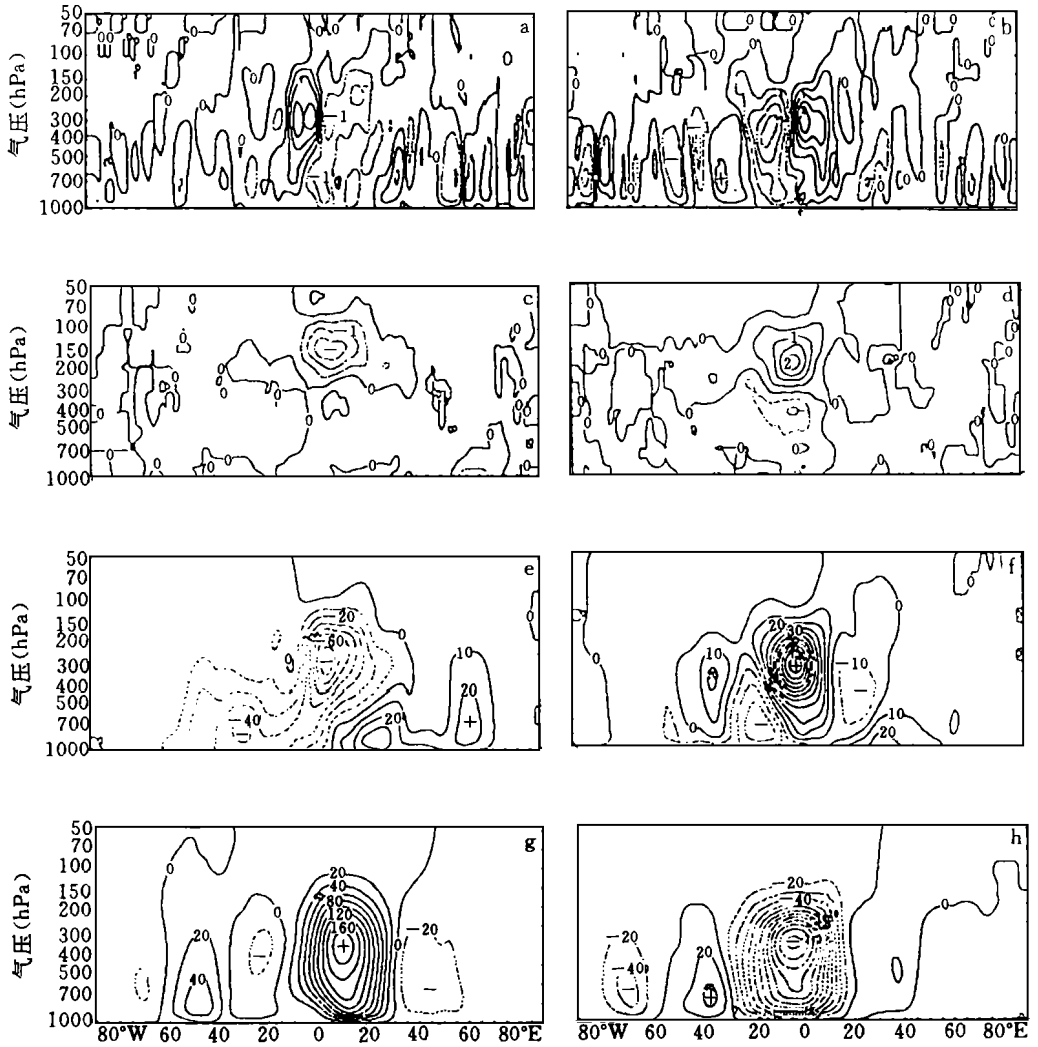


图5 1996年1月(左)、7月(右)垂直风、经向风、  
MMC 96小时预报误差和MMC实况垂直剖面

(a, b. 垂直风预报误差, 单位:  $10^{-4}$ hPa/s, 等值线间隔: 0.5; c, d. 经向风预报误差, 单位: m/s, 等值线间隔: 0.5; e, f. 纬向月平均经向质量通量的预报误差, 单位:  $10^9$ kg/s, 等值线间隔为 10; g, h. 纬向月平均经向质量通量的预报实况, 单位、间隔同 e 和 f)

论在冬夏, 位于哈得莱环流下沉支向极侧、对流层中强度偏大。这里对应着较强的下沉运动, 与中纬带间接环流相连, 形成较强的间接环流偏差, 并且与这里强的水平热量输送的辐散区相对应(图略)。

## 6 模式水汽分布及通量散度

一般大气中水汽主要集中在 500 hPa 以下的大气层中。在冬半球 40° 向赤道一侧为水

气输送的辐散区也是水汽的源, 向极地一侧则为辐合区也是水汽的汇。夏半球水汽通量的辐合区向赤道偏移, 有时可达 25 甚至更偏向赤道。此外, 在水汽通量辐散分布实况图上(图略)还可以看到在赤道上空对流层中上层出现了一个辐散低值区。而且在 7 月份, 这个辐散低值区转为水汽通量的辐合中心, T63 的预报大体上反映了这些特征。由水汽分布和水汽源(汇)的分布图(图略)可以看到, 水汽主要集中在中低纬带的对流层中下层, 无论冬夏在 50 以内的向赤道侧的中低纬带主要为水汽的源, 而向极侧为水汽的汇。在 7 月份 28 ~ 35 N 还存在着另一水汽的汇, 夏季这里为水汽通量辐合区, 与南半球不同, 北半球夏季这一明显的季节特点可能是与北半球夏季季风, 特别是东亚季风密切相关, 它正是与江淮

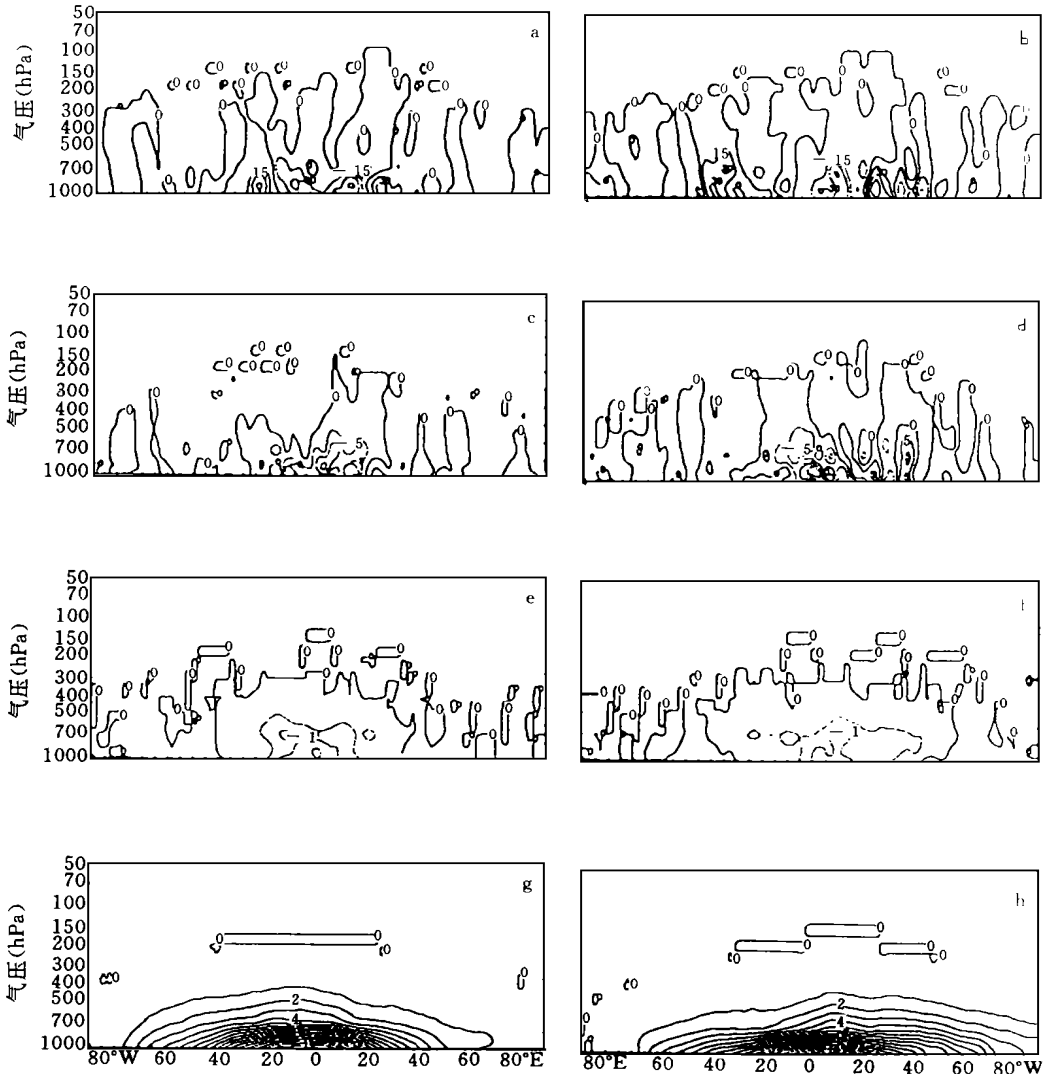


图 6 1996 年 1 月(左)和 7 月(右)纬向月平均水汽收支及比湿经向-高度剖面

(a, b. 为水汽通量散度 96 小时预报误差, 单位:  $10^6 \text{ kg/s}$ ; c, d. 水汽的源(汇)误差

分布, 单位:  $10^7 \text{ kg/s}$ ; e, f. 比湿场 96 小时预报误差, 单位:  $\text{k/kg}$ ; g, h. 比湿场实况)

梅雨发生带相对应。T 63 较好地反映了这一季节特点。

但是随着预报时效的延长,在水汽集中的低纬带 500 hPa 以下,大气中湿度减少(见图 6),前 96 小时预报减小的趋势较快。为了弄清低纬带湿度偏小的原因,图 6 中还给出了经向水汽通量散度的预报误差分布,发现 1 月份南北纬 20° 向赤道一侧以负误差为主,而在副热带区 20°~40° 则是较强的正误差区,表明在低纬带经向水汽通量辐合过多,而在副热带是辐散过多。7 月份南半球仍保留了这一水汽输送分布的特点,但北半球却有较大的变化,30°N 以北以负误差为主,在热带 700 hPa 以下的对流层中下层存在着过多的水汽通量辐合。按理这样的分布特点应使低纬带水汽含量增多而成为水汽的源;但由水汽源(汇)误差分布图可知,这里恰巧相反,是水汽的汇,由此可以推测,在低纬带虽有过多的水汽辐合,但有更多的水汽凝结,也会导致空气的含水量减少,造成这里大气趋向干燥。

## 7 讨 论

综合 T 63 在 1996 年 1 月和 7 月的预报误差,可以得出由于第二代中期数值预报物理过程中引入了地形重力波拖曳力,较细致地处理了短波和长波的辐射过程以及改进积云对流参数化过程,与第一代模式预报相比,T 63 的预报大大地得到了改善,系统误差显著地减小。特别是对西风急流的描述和低纬带温度的预报是相当成功的。

但是 T 63 预报冬半球的西风急流仍较强,通过对 T 63 角动量、热量和水汽的平均状况,经向输送及收支各项的考查,发现这是 T 63 对中纬带角动量经向输送辐合偏强引起的。因而对大地形的处理和地面摩擦的表达等动力的外强迫作用的改善是减小对风场预报误差的主要方面。

模式在对流层上层到平流层的极地温度预报误差较大,可能是模式辐射过程,特别是与南北两极的云和辐射相互作用过程处理不当有关。对近地面层温度报的偏低,反映了对流层低层受热不足,使得上升运动偏弱,经向质量通量输送较小。南北热量交换不足,也使对流层上层中纬带温度梯度加大,风速因而偏大。温度场预报的偏差不仅影响风场的预报,而且也对位势高度场的预报有直接的影响。突出表现在对西太平洋副热带高压的预报,与 T 42 的预报反差较大,T 42 预报副热带高压特别强,而 T 63 则报的偏弱,因此使对流层中低层副热带急流也报的偏弱,往往强降水带北界位置报的偏南。

由水汽经向通量辐散和水汽的源(汇)分布特点分析,可以认为是由于副热带水汽向高纬带输送量过大和在热带地区对流参数化过程中过多的水汽凝结而导致了空气含水量减小,造成低纬带大气偏干燥。因此,要改善大气湿度的预报还有待于对流参数化物理过程的改进。

平均经圈环流是由于动力不平衡和热力不平衡而激发出来的次级被动环流圈。正因为它表示了一个综合的物理意义,所以从中得到大气模式较多的信息量,一方面它反映了大气模式热力结构特别是低纬带受热情况,另一方面它又反映了模式经向运动和垂直运动所产生出来的偏差。因此它是评估模式大气的一个重要的物理量。

## 参考文献

- 1 叶笃正,朱抱真.大气环流的若干基本问题.北京:科学出版社,1958. 160

- 2 Obasi G O P. Poleward flux of atmospheric angular momentum in the Southern Hemisphere. *J Atmos Sci*, 1963, 20(6): 516—528
- 3 Kung E C. On the momentum exchange between the atmosphere and earth over the Northern Hemisphere. *Mon Wea Rev*, 1968, 96: 337—341
- 4 Newton C W. Mountain torques in the global angular momentum balance. *J Atmos Sci*, 1971, 28: 623—628
- 5 Oort A H. On estimates of the atmospheric energy cycle. *Mon Wea Rev*, 1964, 92: 483—493
- 6 Oort A H and Peixoto J P. The annual cycle of the energetics of the atmosphere on a planetary scale. *J Geophys Res*, 1974, 79: 2705—2719
- 7 Holopainen E O. On the mean meridional circulation and the flux of angular momentum over the Northern Hemisphere. *Tellus*, 1967, 19: 1—13
- 8 Mintz Y. The observed zonal circulation of the atmosphere. *Bull Amer Meteor Soc*, 1954, 35: 208—214
- 9 Palmen E and Vuorela L. On the mean meridional circulations in the Northern Hemisphere during the winter season. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1963, 89: 131—138
- 10 Lau N-C and Oort A H. A comparative study of the observed Northern Hemisphere circulation statistics based on GFDL and NMC analyses. Part 1: The time mean fields. *Mon Wea Rev*, 1981, 109: 1380—1403
- 11 Oort A H. Global atmospheric circulation statistics, 1958—1973. NOAA Professional Paper 14, 1983. 180
- 12 Oort A H and Peixoto J P. Global angular momentum and energy balance requirements from observation. *Adv in Geop*, Academic Press, 1983, 25: 355—490
- 13 吴国雄, 刘还珠. 全球大气环流时间平均统计图集. 北京: 气象出版社, 1987. 1~16
- 14 刘还珠, Tibaldi, 吴国雄. ECMWF 预报模式在不同地形方案下的系统误差检验. *气象*, 1987, 13(3): 3~8
- 15 张绍晴, 刘还珠, 吴国雄, 杨云峰. Diagnosis of NWP systematic forecast errors in zonal mean circulation. *Acta Meteor Sinica*, 1995, 9(3): 287—301
- 16 Wu G X and Chen B. Non-acceleration theorem in a primitive equation system. *Adv Atmos Sci*, 1989, 6: 1—20
- 17 皇甫雪官等. 高分辨率的全球环流背景预报模式. 台风、暴雨业务数值预报方法和技术研究. 北京: 气象出版社, 1996. 462—471
- 18 Wallace J M, Tibaldi S and Simmon A J. Reduction of systematic forecasting errors in the ECMWF model through the introduction of an envelope orography. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1983, 109: 683—717

# THE DYNAMICAL DIAGNOSIS OF THE SYSTEMATIC ERRORS OF THE SECOND GENERATION MEDIUM-RANGE NWP MODEL AT CNMC

Liu Huanzhu Teng Qiaobin

(National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing, 100081)

## Abstract

Upon using the dynamic statistics of the atmospheric circulation the monthly mean forecasting fields of January and July of 1996 obtained from the second generation medium-range numerical weather prediction(NWP) model(T63) have been investigated. The results indicate that the new generation model has been improved remarkably in comparison with the old one. The systematic prediction errors of model have been reduced significantly. However there still exist some differences in the distributions in wind, temperature and moisture fields between forecasts and observation.

After having diagnosed the transfers and budgets of angular momentum, heat and water vapour of the T63 model, and compared these with observations, it was suggested that, to improve the model performance, the treatments of orography, land surface processes, cloud radiation and convection parameterization in the model need to be improved further.

**Key words:** T63L16 model, Model systematic errors, Dynamical diagnosis.