

# 参考大气谱方法在国家气象中心谱模式上的应用\*

杨学胜<sup>1)</sup> 陈嘉滨<sup>2)</sup> 孙丽娟<sup>1)</sup>

(国家气象中心, 北京 100081)<sup>1)</sup> (中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)<sup>2)</sup>

## 提 要

参考大气引入中期谱模式, 能有效地减少截谱误差, 提高预报精度. 文章主要叙述了参考大气在国家气象中心业务预报谱模式上的进一步发展. 计算结果表明, 引入参考大气后, T63 预报质量和降水的 TS 评分均有一定程度的提高.

关键词: 截谱误差; 参考大气; 中期预报模式.

## 引 言

大气谱模式目前已广泛成为各国气象业务机构用于制作中期预报、月预报及气候模拟的一种行之有效的方法, 且取得了较为明显的效果.

众所周知, 在截断波数给定的情况下, 谱模式截断误差主要决定于变量的一阶微商大小. 在陡峭地形上空, 如喜马拉雅山南坡, 北美洛基山, 南美安第斯山和南极地区等, 预报模式的  $\sigma$  坐标面变得十分陡峭, 预报变量变化较大. 因此在这些地区产生吉布斯(Gibbs)波<sup>[1]</sup>, 从而引起较大的截断误差. 同时, 气压梯度项由两项组成仍是大项小差, 在这些陡峭的地形上空难于计算准确.

针对这些问题, 前人做了大量的工作<sup>[2][3]</sup>, 国外的一些业务机构也做过多个例子的计算. 他们的结果表明, 当模式分辨率较低时, 该方案能明显改进预报; 当分辨率较高(如 T63)时, 虽然评分提高不大, 但显著地改进了南半球, 特别是南极地区流场预报和赤道地区垂直速度的预报, 得到较为理想的结果.

本文作者将参考大气引入国家气象中心的谱模式<sup>[4]</sup>中, 力图改进其预报质量, 提高预报评分. 与过去不同之处在于如何形成参考大气谱方案的初值资料. 具体作法是在运行预报模式开始时, 将  $\eta$  坐标面的温度  $T$  和地形位势高度  $\phi_s$  的谱系数, 经谱格变换分别计算出温度和地形高度的偏差变量  $T'$  和  $\phi'_s$ , 然后再经格谱变换得到偏差变量的谱系数.

\* 本文为 85-906-03-04 资助项目.

1995-11-07 收到, 1996-07-22 收到再改稿.

# 1 预报方程

## 1.1 坐标系统

气象中心谱模式使用混合坐标,垂直方向取16层,下3层是纯 $\sigma$ 坐标,上2层是 $p$ 坐标,中间是混合坐标.

## 1.2 参考大气

假定参考大气的位势高度 $\bar{\phi}$ 和温度 $\bar{T}$ 满足静力学关系,可推得参考大气的位势高度和温度分布为

$$\bar{T}(p) = T_a + T_b \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{R}{c_p}} \quad (1)$$

$$\bar{\phi}(p) = C_p T_b \left[1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{R}{c_p}}\right] - RT_a \ln\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad (2)$$

其中

$$\bar{T}_a = \frac{c_p c_0^2}{R^2}, T_b = \bar{T}_0 - \frac{c_p c_0^2}{R^2} \quad (3)$$

$$\bar{T}_0 = 288 \text{ K}, p_0 = 1013 \text{ hPa}, \frac{d\bar{T}}{dz} = -0.0065 \text{ }^\circ\text{C/m}$$

实际大气的温度(这里使用虚温)和位势高度分为两部分,即上面定义的参考大气和偏差部分:

$$T_v = \bar{T}(p) + T'_v(\lambda, \mu, p, t) \quad (4)$$

$$\phi = \bar{\phi}(p) + \phi'(\lambda, \mu, p, t) \quad (5)$$

## 1.3 预报方程组

预报方程组采用地形混合坐标,加入参考大气后预报方程可写为:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial(F_v + P_v)}{\partial \lambda} - \frac{1}{a} \frac{\partial(F_u + P_u)}{\partial \mu} + K_\zeta \quad (6)$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial(F_u + P_u)}{\partial \lambda} + \frac{1}{a} \frac{\partial(F_v + P_v)}{\partial \mu} - \nabla^2 G + K_D \quad (7)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\frac{U}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial q}{\partial \lambda} - \frac{V}{a} \frac{\partial q}{\partial \mu} - \dot{\eta} \frac{\partial q}{\partial \eta} + P_q + K_q \quad (8)$$

$$\frac{\partial T'}{\partial t} = -\frac{U}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial T'}{\partial \lambda} - \frac{V}{a} \frac{\partial T'}{\partial \mu} - \dot{\eta} \frac{\partial T'}{\partial \eta} + \left(\frac{R}{c_p} T' + \frac{C^2}{R} + \frac{R}{c_p} T_q\right) \frac{\omega}{p} + P_T + K_T \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial t}\right) + \nabla \cdot (V \frac{\partial p}{\partial \eta}) + \frac{\partial}{\partial \eta} (\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta}) = 0 \quad (10)$$

$$d\phi' = -R_d T'_v d \ln p \quad (11)$$

地面气压倾向方程可由连续方程(11)求得

$$\frac{\partial \ln p_s}{\partial t} = -\frac{1}{p_s} \int_0^1 \nabla \cdot (V \frac{\partial p}{\partial \eta}) d\eta \quad (12)$$

其它符号定义为

$$C^2 = \frac{R_d}{c_{pd}} (R_d \bar{T} - C_{pd} \frac{\partial \bar{T}}{\partial p})$$

$$F_U = (f + \zeta)V - (\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta}) \frac{\partial U}{\partial p} - \frac{R_d T'_v}{a} \frac{\partial \ln p}{\partial \lambda}$$

$$F_V = - (f + \zeta)U - (\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta}) \frac{\partial V}{\partial p} - \frac{R_d T'_v}{a} \frac{\partial \ln p}{\partial \mu} (1 - \mu^2)$$

$$G = \phi' + E, E = \frac{1}{2(1 - \mu^2)} (U^2 + V^2)$$

$$T'_v = T_v - \bar{T}, \quad T_q = q \times T \frac{(\frac{1}{\varepsilon} - 1) - (\delta - 1)}{1 + (\delta - 1)q}$$

其中  $\varepsilon = \frac{R_d}{R_v}$ ,  $\delta = \frac{c_{pv}}{c_{pd}}$ ,  $U = u \cos \theta$ ,  $V = v \cos \theta$ ,  $\theta$  是纬度.

对方程组(6)~(12)在垂直方向上采用有限差分,在水平方向上用谱方法,为三角截断.

## 2 计算结果

由于现行业务的检验系统仅对北半球进行统计检验,现尚无法对加入参考大气后该方案对南半球造成的影响进行分析.

### 2.1 中期预报质量

表 1 为 1995 年 9 月 8 日至 9 月 24 日 T63 模式北半球 500 hPa 高度场预报与客观分析的距平相关系数和均方根检验对比结果,其中 NWP 表示现行日常业务运行结果,RPL 为加入参考大气后的预报结果.

从表中可以看出,加入参考大气后的 T63 模式的预报质量在前 4 天不论是距平相关系数,还是均方根误差都比现行的未加参考大气的 T63 模式预报有改进;但从第 5 天开始业务模式稍好一些.

表 1 北半球 500 hPa 高度场预报与客观分析的检验对比结果

预报时间 (h)	距平相关系数		均方根误差	
	RPL	NWP	RPL	NWP
24	0.9598	0.9596	14.48	14.52
48	0.9057	0.9052	25.99	26.13
72	0.8361	0.8349	36.21	36.38
96	0.7439	0.7429	46.93	47.06
120	0.6597	0.6603	55.32	54.94
144	0.5844	0.5903	62.53	61.98
168	0.4995	0.5021	68.02	68.05

表 2 为 T63 模式北半球 500 hPa 温度场预报与客观分析的距平相关系数和均方根检验对比结果.可以看出,加入参考大气后的 T63 模式的预报质量不论是距平相关系数,还是均方根误差都比现行的未加参考大气的 T63 模式预报有改进.

表 2 北半球 500 hPa 温度场预报与客观分析的检验结果

预报时间 (h)	距平相关系数		均方根误差	
	NWP	RPL	NWP	RPL
24	0.9731	0.9742	0.5	0.5
48	0.9160	0.9218	0.9	0.8
72	0.7224	0.7367	1.0	0.9
96	0.6157	0.6245	1.5	1.4
120	0.5578	0.5713	1.9	1.8
144	0.4874	0.4958	2.8	2.8
168	0.4011	0.4124	3.1	3.1

## 2.2 降水 TS 评分检验

表 3、表 4 分别给出了全国 100 个测站、青藏高原 24 个测站同一时段内 T63 模式 36 h, 60 h 预报 15 个个例平均的降水 TS 评分检验结果. 可以看出, 除了 36 h 10mm 降水外, 不论是全国还是高原地区, 加入参考大气后降水 TS 评分都比业务预报模式有改进.

表 3 全国 100 个测站 36 h, 60 h 降水预报的 TS 评分

降水量级 (mm)	36 h		60 h	
	RPL	NWP	RPL	NWP
1	0.3483	0.3469	0.3474	0.3449
10	0.1899	0.1916	0.1746	0.1738
25	0.1025	0.1019	0.0703	0.0573

表 4 青藏高原 24 个测站 36 h, 60 h 降水预报的 TS 评分

降水量级 (mm)	36 h		60 h	
	RPL	NWP	RPL	NWP
1	0.4839	0.4748	0.4437	0.4276
10	0.1539	0.1917	0.1711	0.2048
25	0.0962	0.0641	0.0873	0.0353

## 3 结 论

总的来看, 在国家气象中心的中期预报模式 T63L16 引入参考大气后, 有效地减少了截谱误差, 提高了包括降水预报在内的模式的预报质量.

但由于检验系统的原因, 目前无法对南半球造成的影响进行估计. 我们拟在全球检验系统建成后, 重新进行试验.

### 参 考 文 献

- 1 Simmons A J and Chen Jiabin. The calculation of geopotential and the pressure gradient in the ECMWF atmospheric model: Influence on the simulation of the polar atmosphere and on temperature analysis. *Quart. J. Roy.*

*Meteor. Soc.*, 1991, **117**: 29~58.

- 2 Chen Jiabin, Ji Liren and Wu Wanli. Designing and test of an improved scheme for global spectral model with reduced truncation error. Short and Medium Range Numerical Weather Prediction Collection, WMO/IUGG NWP Symposium, Tokyo, 4~8 August 1986, 431~440.
- 3 陈嘉滨, 舒静君. 参考大气在中期天气预报和气候模拟中的应用. 大气科学, 1994, **18**: 660~673.
- 4 杨学胜, 乌元康等. 资料同化和中期数值预报. 北京: 气象出版社, 1991. 54~76.

## APPLICATION OF REFERENCE ATMOSPHERE TO THE NMC'S SPECTRAL MODEL

Yang Xuesheng

(*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

Chen Jiabin

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Sun Lijuan

(*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

### Abstract

The reference atmosphere scheme, which is a function of space and time, was presented and introduced into the medium-range forecast model T63L16. The results indicate the forecast quality and the threat-score for precipitation were improved to some extent.

**Key words:** Truncation error; Reference atmosphere; Medium range forecast model.

《应用气象学报》被《中国科学引文索引》收录

《应用气象学报》从 1996 年开始被中国科学引文数据库收录为来源期刊。

中国科学引文数据库利用该库的数据资源已开发出两种产品, 即《中国科学引文索引》(光盘版)和(印刷版)。欲购者请与中科院文献情报中心中国科学引文数据库联系。

电话 (010)62564354 传真: (010)62566846