

全球谱模式不同垂直分层对数值 预报影响的敏感性试验*

骆美霞 张道民 徐飞亚

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

本文用 σ -坐标原始方程全球谱模式, 对1979年1月23日和6月14日两个个例, 采用3种不同的垂直分层方案, 进行了敏感性试验。通过对高度场均方根误差的分析, 发现15层模式对北半球冬季预报效果的改进最明显。当其降低模式最高层高度和减少垂直分辨率时, 预报误差首先从模式上层出现, 然后影响到对流层中、下层, 并指出南、北半球, 冬、夏季不同层次上的预报对模式垂直分层的敏感性存在有差异, 对南、北半球, 冬、夏季的预报可采用不同的垂直分层模式。

南、北半球, 冬、夏季预报敏感性差异的产生同行星尺度波动的水平感热通量的垂直分布、行星尺度波动能量的垂直输送特征有关。

关键词: 全球谱模式; 敏感性试验; 高度场均方根误差。

一、引 言

随着垂直探测技术的发展, 平流层资料的日益增多, 通过增加垂直分辨率和提高模式顶层高度来提高预报准确率, 已为数值预报工作者所重视。Mechoso等^[1]应用UCLA的大气环流模式对北半球冬季不同的个例, 讨论了模式上边界、水平分辨率和垂直厚度对对流层预报的影响, 认为当模式性能较好时, 人为的上边界的影响才显著。

本文的目的是针对中国科学院大气物理研究所设计的 σ -坐标全球谱模式, 探讨作4—5天的数值预报时, 在垂直方向上究竟需要取多少层才较为合适。我们采用了3种不同的垂直分层方案, 对“七·五”攻关项目“中期数值预报”领导小组指定的两个个例(1月23日和6月14日), 分别实行了5天积分, 讨论南、北半球冬季及夏季数值预报对垂直分层的敏感性, 观察提高模式顶层高度, 增加模式的垂直厚度和垂直分辨率对100—1000hPa不同层次上预报效果的改进能力。

二、数值预报模式及试验方案

本文采用的模式是大气物理研究所在欧洲中心谱模式基础上发展而成的包含有地形

1991年3月5日收到, 1991年7月2日收到修改稿。

* 本文是国家“七五”科技攻关项目, 在中期数值天气预报研究课题支持下完成的成果, 已经验收鉴定。

作用的绝热的 σ -坐标全球谱模式^[2,3]. 该模式的特点是将实际大气的温度和位势高度与参考大气的偏差作为预报变量, 这可以有效地减小谱的截断误差. 详细情况见文献[2,3].

模式的垂直分层对 σ 而言是等距的, 即各层的间隔 $\Delta\sigma$ 相同, 不同方案的 $\Delta\sigma$ 彼此不同. 由于 $\sigma=P/P_*$, 这里 P_* 是地面气压, 模式中各层的气压值随地面气压 P_* 而变.

表 1 3种不同垂直分层试验方案

5 层模式(L ₅) (方案 1)			9 层模式(L ₉) (方案 2)			15 层模式(L ₁₅) (方案 3)		
K (层次数)	$\sigma(K)$	P(K) (hPa)	K (层次数)	$\sigma(K)$	P(K) (hPa)	K (层次数)	$\sigma(K)$	P(K) (hPa)
1	0.1	100	1	0.05555	55.55	1	0.03335	33.35
2	0.3	300	2	0.16665	166.65	2	0.1	100.00
3	0.5	500	3	0.27775	277.75	3	0.16665	166.65
4	0.7	700	4	0.38885	388.85	4	0.23335	233.35
5	0.9	900	5	0.5	500.0	5	0.30005	300.05
			6	0.61105	611.05	6	0.3667	366.70
			7	0.72215	722.15	7	0.43335	433.35
			8	0.83325	833.25	8	0.50005	500.05
			9	0.9444	944.4	9	0.5667	566.70
						10	0.63335	633.35
						11	0.70005	700.05
						12	0.7669	766.90
						13	0.83355	833.55
						14	0.90005	900.05
						15	0.9667	966.70

注: 表中的P值是指地面气压 P_* 为1000hPa时同各层 σ 值对应的气压值.

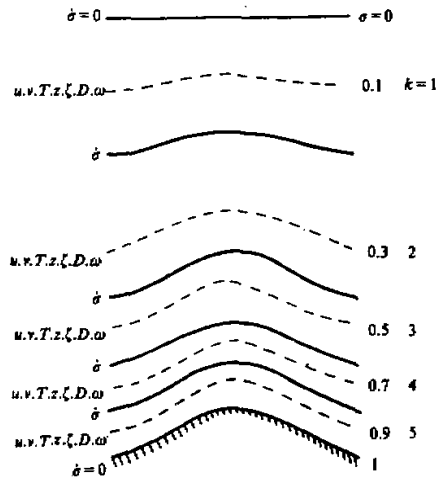


图 1 5 层模式垂直分层及变量垂直分布

表 1 给出了 3 种不同垂直分层方案中各层的 σ 值及其当地面气压 P_* 为 1000hPa 时对应的各层气压值。从表 1 看出 3 种方案的垂直厚度, 模式顶层高度和垂直分辨率是彼此不同的。当地面气压 P_* 为 1000hPa 时, 5 层、9 层和 15 层模式的垂直厚度分别为 900—100hPa, 944.4—55.55hPa, 966.7—33.35hPa, 它们的模式顶层高度分别为 100hPa、55.55hPa 和 33.35hPa。图 1 给出了 5 层模式的垂直分层及变量的垂直分布。3 种方案的水平分辨率相同, 均为三角截断的 21 个波。3 种方案的垂直边界条件相同, 即 大气上界: 模式大气层顶为 0hPa, $\sigma=0$,

地面: $\sigma=0$ 。

本文取实际的地形分布, 最高地形高度为 5400m, 我们用表 1 给出的 3 种不同的垂直分层方案, 以 1979 年 1 月 23 日和 6 月 14 日 12 时的 FGGEIII-b 全球 15 层(10、20、……1000hPa)的 u 、 v 、 z 场为初值, 实行了 5 天积分。

三、试验结果

本文冬、夏两个个例在预报时段内(1 月 23—27 日和 6 月 14—18 日)的平均纬向风的经向垂直分布分别与多年平均的冬季和夏季纬向风的分布相似(见第四节)。作为很初步的讨论, 本文近似将它们分别代表冬季和夏季的平均情况。本文只讨论模式垂直分层对 100—1000hPa 预报的影响。由预报得到的高度场 Z 值, 分别算出北半球和南半球的高度场均方根误差。

1. 对北半球冬季和南半球夏季个例预报的影响

图 2 给出了 1 月 23 日个例高度场均方根误差随预报时间和气压的变化。由于我们没有 1 月 28 日的实测资料, 对于 1 月 23 日个例只给出了 4 天预报的高度场均方根误差。由图 2 a_1 — a_3 看出, 无论 5 层、9 层和 15 层模式的试验结果都表明, 高层误差比低层大, 最大均方根误差出现在高层 100hPa 上。随着预报时间的增加各层预报误差迅速增加, 但高层增加更大。例如 5 层模式积分第 1 天 100hPa 的 $RMS(Z)$ 为 75.71GPM, 到积分第 4 天增加为 271.57GPM。比较图 2 a_1 — a_3 可看出, 9 层和 15 层与 5 层模式相比, 对各层的均方根误差 $RMS(Z)$ 均有明显地降低, 特别是对 100hPa 的 $RMS(Z)$ 降低更多。例如 15 层模式积分第 1 天将 100hPa 的 $RMS(Z)$ 降低为 35.2GPM。积分第 4 天的 $RMS(Z)$ 降为 157.0GPM。从图 3 a_1 — a_3 所示的差值看出, 绝大部分数值为正, 而且高层的差值明显地比低层大, 这表明对于北半球冬季, 9 层和 15 层模式对高层预报的改进更大。由图 3 的 a_1 — a_3 又可看到, 当其降低模式最高层的高度和减少垂直分辨率时, 预报误差首先由高层(100hPa)出现, 然后影响到对流层中、下层。由图 4 则可进一步看出, 对于各个层次的预报都表明, 15 层模式明显地优于 5 层模式, 随着积分时间的增加, 15 层模式对 100hPa 和对流层高层预报的改进是相当明显的, 对中、低层预报的改进不如高层那样明显。这可能说明对于北半球冬季预报, 在绝热条件下, 提高模式最高层在平流层内的高度比增加对流层内的垂直分辨率更重要。另外, 由第 4 天的预报还可以看到, 由 5 层变为 9 层时, 模式只增加了 4 层, 但它对均方根误差的减少量比由 9 层变为 15 层时还大。这表明由 5 层变为 9 层模式对预报改进的效率高, 也说明当模式增加到一定层数后, 再继续增加层数对预报效果的改进程度, 不如在具有较少层数的模式基础上增加相同层数的效率高。

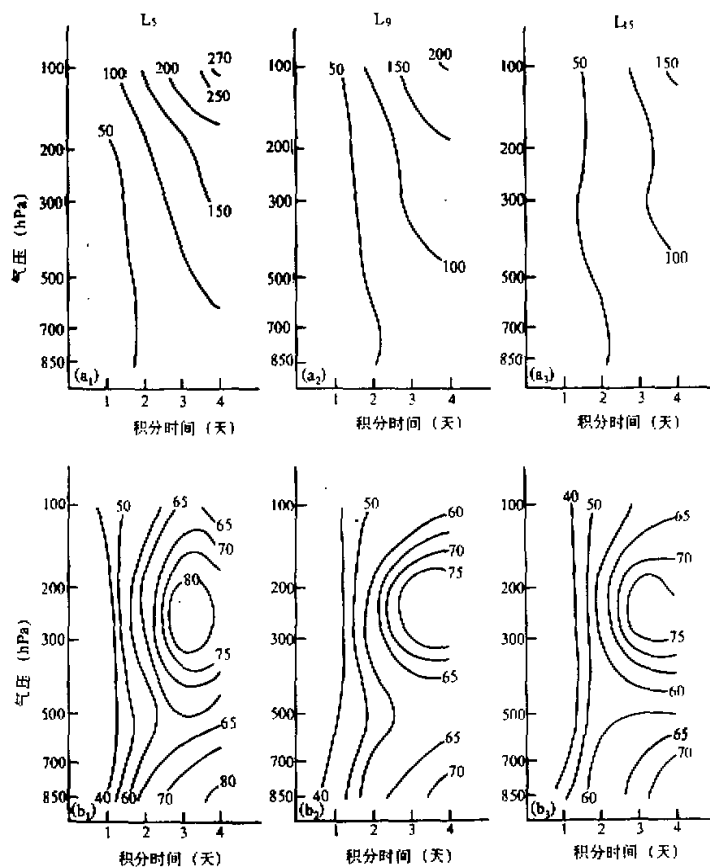


图2 高度场均方根误差的时间—垂直分布

1月23日个例, 左列示5层模式, 中列示9层模式, 右列示15层模式; (a₁)—(a₃)

示北半球平均; (b₁)—(b₃)示南半球平均; 单位: GPM

由图2和图3中b₁—b₃图可以讨论对南半球夏季预报的影响。由图2b₁—b₃看出, 最大误差不在100hPa, 而在200—300hPa之间, 而且对流层低层的误差比100hPa还大, 这与北半球冬季情况不同, 这可能说明夏季对流层内的天气系统尺度小, 比较复杂, 尤其是低层比较难于预报。图3b₁—b₃图进一步给出了各方案之间均方根误差的差值分布。可以看出, 差值虽小, 但绝大部分的数值为正, 这表明9层和15层模式对5层模式预报仍有一定的改进, 只是改进的程度不如北半球冬季明显。值得一提的是, 由图3b₁所示的15层模式与5层模式均方根误差的差值分布看出, 误差的差值在垂直方向上比较均匀。这表明15层模式对对流层中、下层预报改进的程度同100hPa和对流层上层近于相等。这可能显示了对于南半球夏季的预报在对流层内增加垂直分辨率所起的作用很重要。这同南半球夏季对流层内行星尺度波段水平感热通量的垂直分布很不均匀有关。将在第四节中讨论。另外, 由图3b₃看出, 9层与15层模式之间均方根误差的差值很小, 而且100hPa上还为负值, 这表示15层与9层模式的预报效果相差

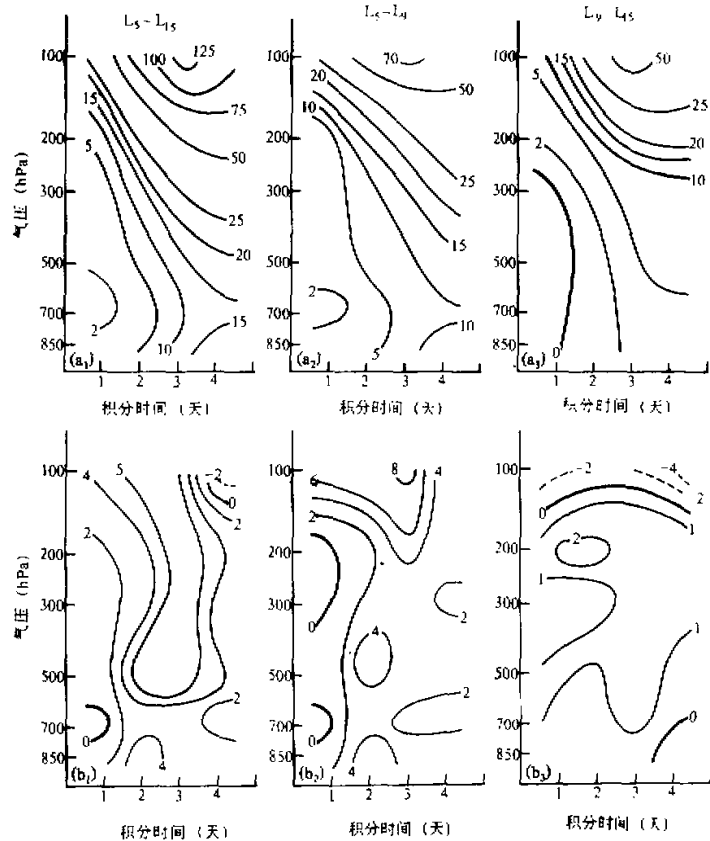


图3 不同试验方案之间高度场均方根误差的差值的时间-垂直分布

1月23日个例, 左列示 $RMS(Z)_{15} - RMS(Z)_{15}$, 中列示 $RMS(Z)_{15} - RMS(Z)_9$, 右列示 $RMS(Z)_9 - RMS(Z)_{15}$; (a₁)—(a₃)示北半球平均; (b₁)—(b₃)示南半球平均; 单位: GPM

不多。这似乎表明, 对于南半球夏季的预报, 模式最高层的高度提高到55.55hPa就足够了, 在改进预报模式时, 重点放在如何增加对流层内的垂直分辨率。

2. 对北半球夏季和南半球冬季个例预报的影响

图5给出了6月14日个例的高度场均方根误差随预报时间和高度的变化。图6进一步给出了不同方案之间高度场均方根误差的差值随预报时间和高度的变化。由图5和图6中的a₁—a₃图可讨论北半球夏季的情况, 图5a₂和5a₃所示的9层模式和15层模式的误差 $RMS(Z)$ 比图5a₁所示的5层模式的预报误差小, 由图6a₁和6a₂看出, 相对5层模式而言, 15层模式(a₁)和9层模式(a₂)对平流层低层100hPa预报的改进明显地比对流层中层大, 这可能显示了提高模式最高层高度所起的作用。对于300hPa3天以后的预报, 9层和15层模式还不如5层模式(图a₁和a₂中的差值为负), 这有待于作进一步的分析。总的看来, 对于北半球夏季, 在绝热条件下增加对流层内的垂直分辨率和提

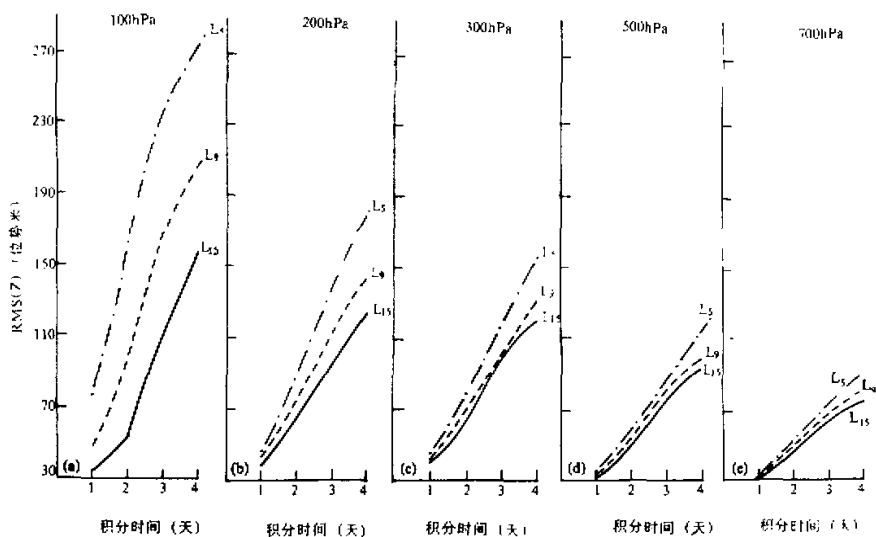


图4 不同等压面上北半球高度场均方根误差随预报时间的变化

1月23日个例，点虚线示5层模式，虚线示9层模式，实线示15层模式，

图(a)一(e)分别示100、200、300、500、700 hPa

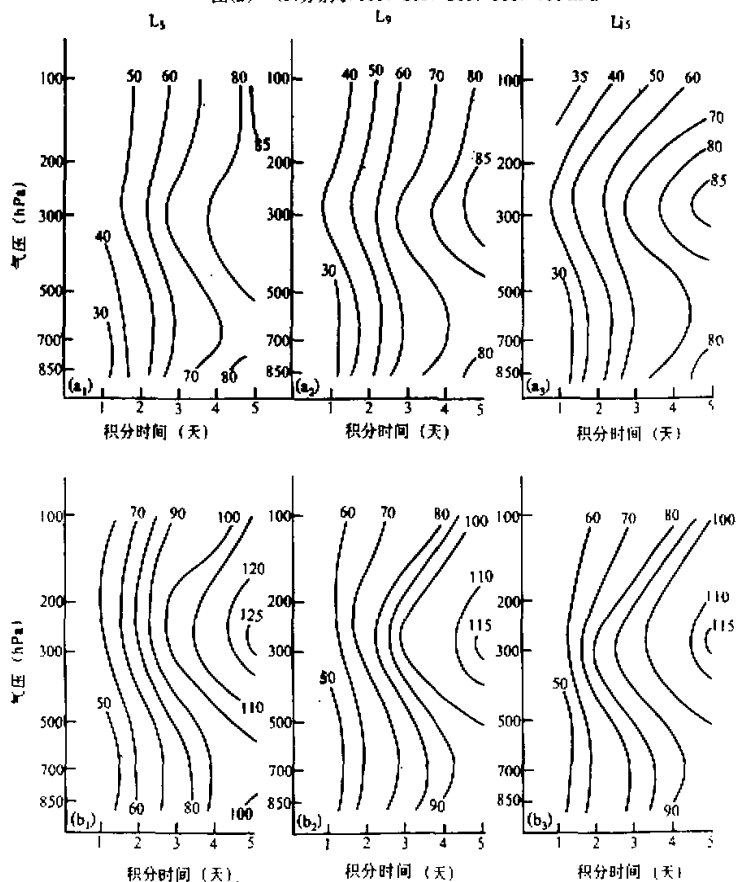


图5 同图2相同，但为6月14日个例

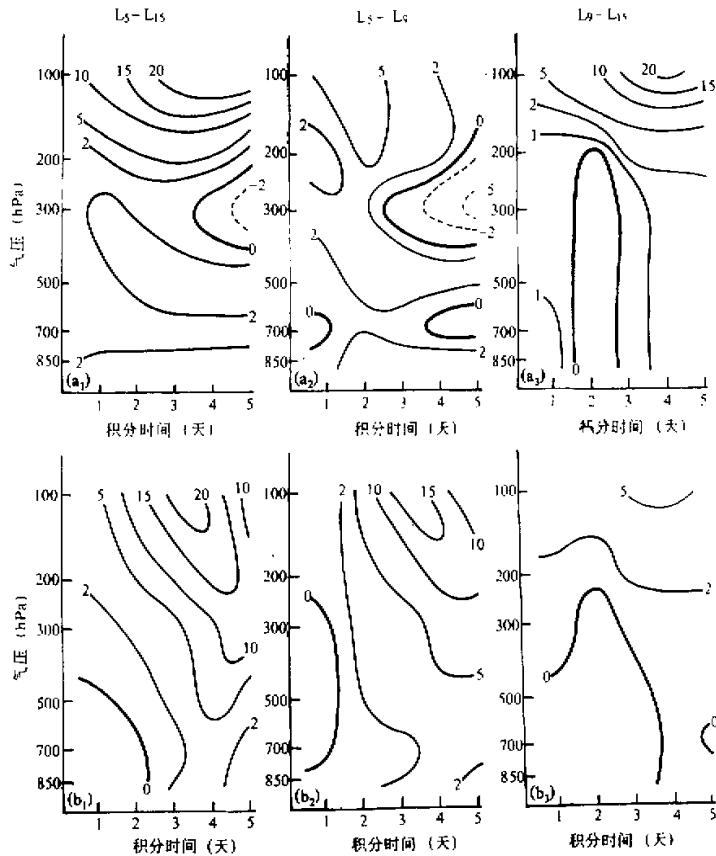


图6 同图3相同, 但为6月14日个例

高模式最高层的高度对流层中层预报的改进甚微, 对流层上层和下层的预报有一定的改进。

由图5和图6中的 $b_1 - b_3$ 图可讨论南半球冬季的情况。由图5中的 $b_1 - b_3$ 看出, 对于南半球冬季, 高度场均方根误差的最大值出现在 300hPa 上, 这与南半球夏季(图 2b₁ - b₃)和北半球夏季(图 5a₁ - a₃)的情况相似。为什么 300hPa 附近误差最大, 有待于作进一步分析。图 6b₁, b₂ 进一步分别给出了 15 层和 9 层相对于 5 层模式减少的误差(或者说是 5 层模式增加的误差)分布图, 图 6b₃ 给出了 15 层相对于 9 层模式减少的误差。由图 6b₁ 和 b₂ 也可以看出, 当降低模式最高层的高度和减少垂直分辨率时, 预报误差也是先从高层出现, 然后逐渐影响到对流层中、下层, 这一点与北半球冬季很相似。但同北半球冬季的情况也存在有差异, 可以看出, 图 6b₁ - b₃ 所示的差值明显地比图 3a₁ - a₃ 所示的差值小, 特别是图 6b₃ 所示的差值很小, 在图 6b₃ 中对流层中、下层还出现了负值。这表明南半球冬季, 在 9 层模式基础上继续提高模式最高层的高度对对流层中、下层预报的改进甚小, 远不如北半球冬季那样明显。这同北半球冬季行星波

(1—3波)正的感热通量(图8)和行星波的振幅(图9)都比南半球冬季强有关。

3. 南、北半球和冬、夏季预报敏感性差异的比较

为了进一步讨论南、北半球和冬、夏季不同层次预报对模式垂直分层敏感性的差异,图7进一步给出了在各个层次上15层模式对5层模式均方根误差减小的百分比数,即 $(RMS(Z)_5 - RMS(Z)_{15}) / RMS(Z)_5$ 。由图7a看出,15层模式对北半球冬季100hPa

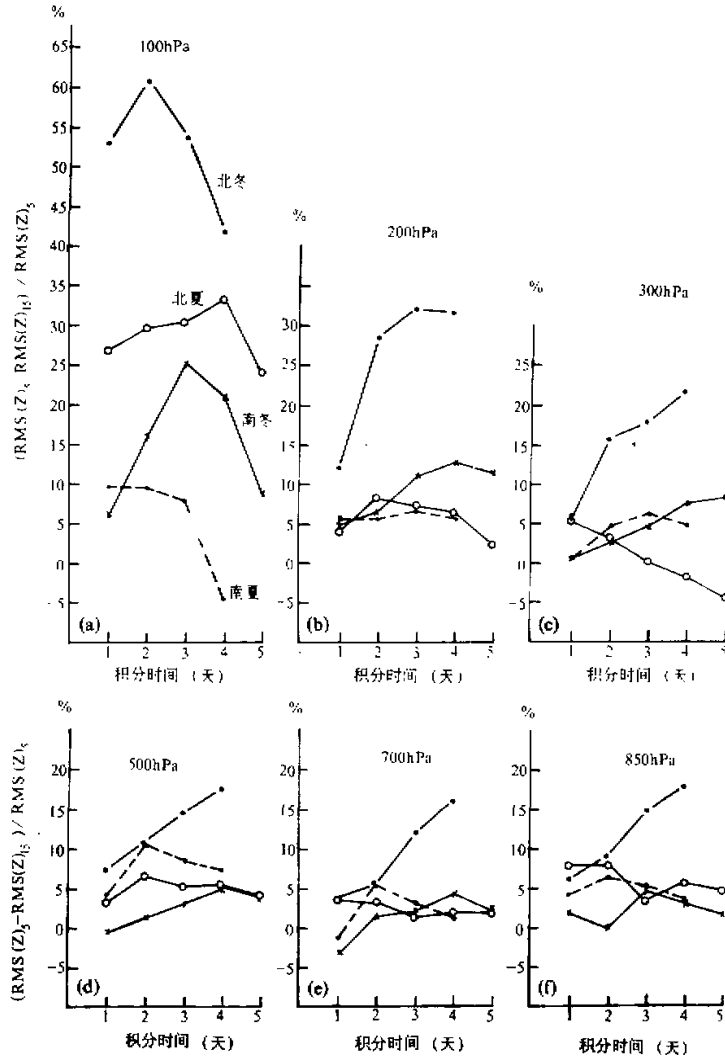


图7 15层模式对5层模式均方根误差减小的百分比数
 $((RMS(Z)_5 - RMS(Z)_{15}) / RMS(Z)_5)$ 随时间的变化

图中— · — · 示北半球冬季, · — · 示北半球夏季,
—— — 示南半球夏季, × — × 示南半球冬季

预报误差的减小是相当显著的,积分第 1 天减少了 53%,第 2 天减少最多(61%),第 3 天和第 4 天分别减少了 54% 和 24%,这是相当可观的数字。对 200、300、500、700 和 850hPa 的预报误差也有明显的减少,例如积分第 4 天对 200—850hPa 的预报误差分别减少了 32%、22%、18%、16% 和 18%。我们也计算了由 5 层变为 9 层及由 9 层变为 15 层模式时对误差减少的百分比数,一般情况下,前者比后者大。

按照对 5 层模式预报误差减小的百分比数愈大则愈敏感的原则,由图 7 可看出,冬、夏季预报的敏感性存在有差异,北半球冬季明显比夏季敏感。这同北半球冬季行星波(1—3 波)正的感热通量明显地比夏季强和正的 Q_1 值(波折射指数平方值)所达到的最高高度(10hPa 以上)比夏季(70 或 50hPa)高有关。本文个例的 Q_1 值表明,行星波 1 在夏季只能向上传播到 70 至 50hPa,而在冬季可传播到 10hPa 以上。这将在第四节讨论。南半球情况比较复杂,对 300hPa 以上的预报(图 7a—c)是南半球冬季比夏季敏感,但对流层中、下层(500—850hPa)的预报(图 7d—f)则相反,是夏季比冬季敏感。这可能同南半球夏季水平感热通量在对流层内的垂直分布很不均匀,正、负相间的多波结构明显(图 8a)有关。由图 7 还可看出,南、北半球预报的敏感性也存在有差异,北半球冬季明显地比南半球冬季敏感。这同北半球冬季行星波的水平感热通量和行星波的振幅明显地比南半球冬季强有关。南、北半球夏季的差异不大(100hPa 除外)。这可能同南半球夏季(图 8a)和北半球夏季(图 8b)水平感热通量垂直分布的多波结构特征都较明显有关。对于 100hPa 和 200hPa 的预报是北半球比南半球敏感(图 7a—b);对于 300—700hPa 的预报是南半球比北半球敏感(图 7c—e);对于 850hPa,北半球稍敏感一点。总的情况是,对于 200hPa 以上的预报,可以说是北半球比南半球敏感,冬季比夏季敏感,但对流层 500hPa 的预报是南半球夏季比南半球冬季和北半球夏季敏感。其中北半球冬季最敏感。以上差异的产生同行星波的水平感热通量的垂直分布,行星波能量的垂直传播特征,以及行星波振幅的强弱不同有关,将在第四节讨论。

四、讨 论

为了考察本文个例的代表性和对上述试验结果作一些初步的讨论与解释,我们利用两个预报时段内(1 月 23—27 日和 6 月 14—18 日)FGGEIII—b 全球 12 层的实测资料 U 、 V 、 T ,进一步计算了纬向平均风 $\overline{[u]}$ 、行星波段的水平感热通量及波数 1 的振幅和波折射指数平方值。本文计算得到的 1 月 23—27 日和 6 月 14—18 日的 5 天平均的纬向平均风 $\overline{[u]}$ (符号“ $[\]$ ”示纬向平均、“ $-$ ”示时间平均)的经向垂直分布(图略)分别同 Newell et al.^[4] 给出的 10—1000hPa 多年平均的冬季(12—2 月)实况和夏季(6—8 月)实况相似。这似乎可以说 1 月 23—27 日个例和 6 月 14—18 日个例不属于异常情况,可近似代表多年平均的冬季和夏季情况。

1. 实测水平感热通量的分布特征

图 8 给出了 5 天平均的行星尺度波动(纬向波数 1—3)水平感热通量 $\overline{[v'T']}$ 的经向垂直分布。由于水平感热通量正比于 $E-P$ 能量通量矢量的垂直分量,正的感热通量表示向北输送热量,向上输送能量。由图 8 可以看出,高纬地区上空正的感热通量比其它地区都大,赤道热带地区上空正的感热通量值非常小。这表明高纬地区上空是由对

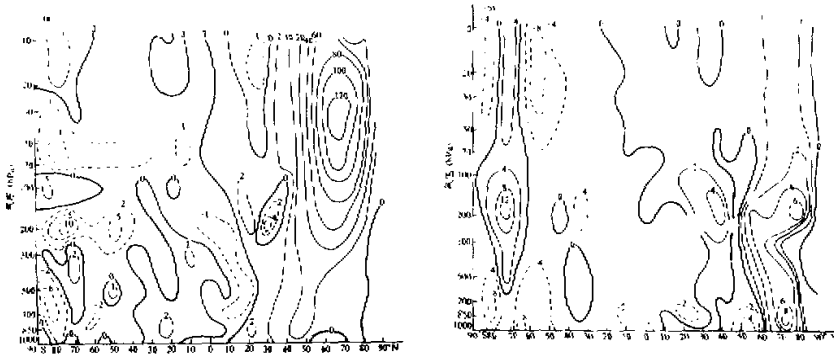


图8 5天平均的行星尺度波动(1—3波)的水平感热通量 $\overline{v'T'}$ 的经向垂直分布
(a) 示1月23—27日, (b) 示6月14—18日, 单位: $K \cdot m/s$

流层向平流层输送能量的通道, 北半球冬季正的感热通量比夏季和南半球冬季强得多, 尤其是平流层, 而且最大中心值的高度比夏季高。北半球冬季个例, 水平感热通量的最大值为 $129 K \cdot m/s$, 位于高纬 $67^\circ N$ 上空 $30 hPa$ 。而南半球冬季, 平流层内的最大值只有 $7 K \cdot m/s$, 位于高纬上空 $10 hPa$, 在对流层内还有一个最大值中心, 中心值为 $12 K \cdot m/s$, 位于 $67^\circ S$ 上空 $200 hPa$ (图 8b)。

对于夏季, 行星波段水平感热通量的最大中心高度比冬季低。北半球夏季(6月14—18日), 感热通量的最大中心高度位于高纬上空 $200 hPa$, 其值为 $7 K \cdot m/s$ (图 8b)。南半球夏季(1月23—27日), 感热通量的最大中心高度位于高纬上空 $100 hPa$, 其值为 $6 K \cdot m/s$ (图 8a)。由图 8 还可看出, 夏季水平感热通量在对流层内的垂直分布很不均匀, 在垂直方向上高、低(北夏)或正、负(南夏)相间的多波结构明显, 在 $200 hPa$ 上有明显的中心, 这表明夏季对流层内的垂直分辨率不能太低, 至少应包含 200 、 300 、 500 、 700 、 $850 hPa$ 在内, 尤其是 $200 hPa$ 不能漏掉, 否则不能很好地描写感热通量的垂直分布特征。

2. 行星波振幅的分布特征

图 9 给出了纬向波数为 1 的行星波振幅的经向垂直分布, 可以看出, 高纬地区上空行星波的振幅明显地比赤道热带地区上空的行星波强。对于北半球冬季(1月23日), 波 1 的振幅明显地比夏季和南半球冬季强, 并且最大振幅中心的高度比夏季高。这可以部分解释为什么北半球冬季对 15 层模式比夏季和南半球冬季都敏感。北半球冬季(1月23日个例), 波数 1 的振幅的最大值为 $1600 GPM$, 位于高纬 $65^\circ N$ 上空 $10 hPa$ (本文没有 $10 hPa$ 以上的资料)。南半球冬季波数 1 的振幅的最大值虽然也在 $10 hPa$ 以上, 但最大振幅值只有 $520 GPM$, 前者是后者的 3 倍。1月24—27日北半球冬季行星波 1 的振幅也都比 6月15—18日强很多(图略)。对于北半球夏季(6月14日), 波数 1 的振幅值的最大中心高度只位于 $100 hPa$ (最大值为 $80 GPM$) 和 $300 hPa$ (最大值为 $200 GPM$)。南半球夏季(1月23日)波 1 振幅的最大中心高度位于 $200 hPa$ (最大值为 $140 GPM$)。

实际上, 图 8 所示的感热通量的分布特征与图 9 所示的行星波振幅的分布特征是内在统一的。

另外, 我们利用 1 月 23—27 日和 6 月 14—18 日的实测纬向风 u , 先算出 5 天时间平均的纬向平均风 U , 这里 U 表示 $\overline{[u]}$ 。然后应用 Matsuno^[5] 的公式由 U 算出波折射指数平方值 Q_1 。Butchart^[6] 和黄荣辉^[7] 指出, Q 值的分布对波的垂直传播起着重要作用, 负的 Q 值, 对波的垂直传播起阻尼作用, 正的、大的 Q 值有利于波的垂直传播。由 Q_1 的经向垂直分布图可知(图略), 北半球夏季, Q_1 值在高纬上空 70hPa 以上为负值, 南半球夏季, Q_1 值在高纬上空 50hPa 以上为负值。而在南、北半球冬季, Q_1 值在高纬上空 10hPa 以上均都为正值。这意味着行星波 1 在夏季只能向上传播到 70 至 50hPa, 而在冬季可传播到 10hPa 以上。

上述水平感热通量、波数 1 的振幅和波折射指数平方值的经向垂直分布特征表明, 对于夏季预报, 对流层内垂直分辨率不能太低, 但模式最高层的高度不需要太高, 只需要超过 200hPa, 最高到 50hPa 就足够了。而对于北半球冬季预报, 模式最高层的高度至少取在 30hPa 附近(水平感热通量的最大中心高度), 最好取在 10hPa 以上(波 1 振幅的

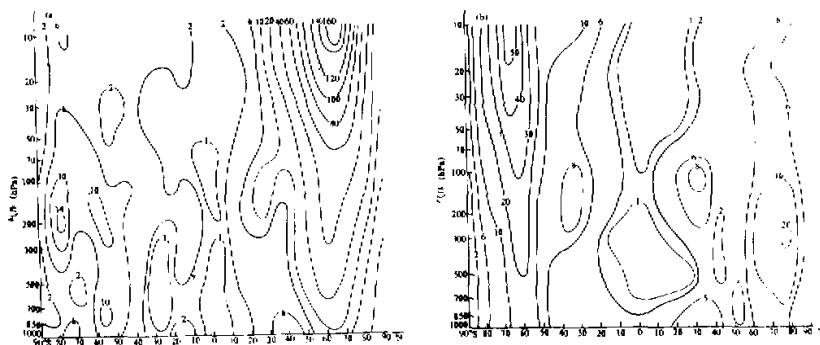


图 9 纬向波数 1 的振幅的经向垂直分布
(a) 示 1 月 23 日, (b) 示 6 月 14 日, 单位: 位势什米

最大中心高度)。否则不能很好描写行星波的特征, 对行星波的预报会产生较大的误差。

根据上述的分布特征和敏感性试验结果, 可以认为对 4—5 天的预报, 对于北半球冬季, 至少需要采用 15 层模式; 对南半球夏季, 9 层模式就足够了; 对北半球夏季, 采用 9 层模式即可; 对南半球冬季, 采用 9 层模式也可以, 但 15 层模式更好。

冬、夏季, 南、北半球预报敏感性差异的产生, 北半球冬季之所以最敏感, 同上述行星波的水平感热通量和振幅的垂直分布, 行星尺度波动能量的垂直输送特征有关。由于水平感热通量同 E—P 能量通量矢量的垂直分量成正比, 正的水平感热通量, 表示向上输送能量。前面分析指出行星波 1 在冬季能向上传播到 10hPa 以上, 在夏季也能传播到 70hPa 以上。5 层模式截止到 100hPa, 对流层内的垂直分辨率也较低, 不能很好描写上述水平感热通量的垂直分布以及波动能量的垂直传播特征。而 15 层模式将模式最高层的高度提高到 30hPa, 与冬季行星波的水平感热通量的最大中心高度(见图 8a)一致, 并增加了对流层内的分辨率, 比 5 层模式能更好地描写行星波的特征以及对流层

对平流层的影响,所以15层模式能明显地减少预报误差,并且由于在北半球冬季由对流层向平流层输送的能量比南半球冬季多,更比夏季多,所以北半球冬季对15层模式最敏感。

另外,前面指出,9层和15层模式对南半球夏季对流层中、下层预报的改进也比较明显,改进的程度同100hPa近于相同,这可能同南半球夏季水平感热通量在对流层内的垂直分布很不均匀有关(图8b),200hPa有明显的负中心,行星波1振幅的最大中心也在200hPa。5层模式的分辨率较低,丢掉了200hPa这一层,而9层和15层模式增加了对流层内的垂直分辨率,能更好地描写感热通量在垂直方向正、负相间的多波结构特征,所以它们对南半球对流层中、下层预报的改进明显。

五、结 语

本文是针对大气物理研究所设计的 σ -坐标全球谱模式进行的敏感性试验,观察改变模式的垂直分层对预报效果改进的能力。为了保证模式垂直差分的精度,我们在垂直方向取等距的间隔,没有作只提高模式最高层高度,最高层以下的垂直分辨率不变,或者是让模式最高层高度不变,只改变垂直分辨率的单因子试验,这需要进行不等距的垂直差分计算,或者采用P- σ 坐标。本文9层和15层模式对预报效果的改进,包含了提高模式最高层高度,增加垂直分辨率以及增加模式厚度的综合作用。

另外,模式的垂直分辨率和水平分辨率有一个协调性问题,本文只作了水平分辨率为21个波的试验,没有进一步作改变水平分辨率的试验。本文的试验结果是在绝热条件下,根据两个个例的计算得到的,只是一个初步的试验结果,今后需进一步讨论非绝热情况和讨论更多的个例。但从本文初步的试验结果也可看到,对于北半球冬季,提高模式最高层高度到平流层中层是十分必要的,至少需要采用15层模式。为了节省计算机时,对不同半球,不同季节,不同层次的预报可以采用不同的垂直分层模式,夏季可用9层模式。

致谢:在工作中间纪立人研究员,陈嘉滨副研究员进行过有益的讨论,计算机室的孙为民同志提供了调FGGEM-b资料的程序,北方交通大学,计算机系89级学生游宏强参加了部分计算和程序设计工作。在此一并感谢。

参 考 文 献

- [1] Mechoso, C. R., M. J. Suarez, K. Yamazaki, A. Kitoh and A. Arakawa, 1986, Numerical forecasts of tropospheric and stratospheric events during the winter of 1979: sensitivity to the model's horizontal resolution and vertical extent, *Advances in Geophysics*, **29**, 375—413.
- [2] Chen Jiabin, Ji Liren and Wu Wanli, 1987, Design and test of an improved scheme for global spectral model with reduction truncation error, *Advances in Atmospheric Sciences*, **4**, 156—168.
- [3] Zhang Daomin, Sheng Hua and Ji Liren, 1990, Development and test of hydrostatic extraction scheme in spectral model, *Advances in Atmospheric Sciences*, **7**, 141—153.
- [4] Newell, R. E., J. W. Kidson, D. G. Vincent and George J. B., 1972, *The General Circulation of the Tropical Atmosphere and Interactions with Extratropical Latitudes*, Vol.1, The MIT Press, London, 36.
- [5] Matsuno, T., 1970, Vertical propagation of stationary planetary waves in the winter Northern Hemisphere, *J. Atmos. Sci.*, **27**, 871—883.

- [6] Batcharem, N., S. A. Clough, T. N. Palmer and P. J. Treveluan, 1982. Simulations of an observed stratospheric warming with quasigeostrophic refractive index as a model diagnostic. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **108**, 475 — 502.
- [7] 黄荣辉, 岸保勘三郎, 1983 年, 关于冬季北半球定常行星波传播另一波导的研究, 中国科学 B 辑, 第 10 期, 940 — 950.

The Sensitivity of Numerical Forecasts to the Model's Vertical Extent in the Global Spectral Model

Luo Meixia, Zhang Daomin and Xu Feiya

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract

In this paper, the Global Spectral Models in coordinate ($T_{21}L_5$, $T_{21}L_9$, $T_{21}L_{15}$) of IAP are used. The effect of the upper boundary and vertical resolution on numerical forecasts is studied by comparing the results of the 15-layer model with the top at 33.3hPa, to those of 9- and 5-layer models with the top at 55.5hPa, and at 100 hPa, respectively. Two cases for 14 June and 23 January 1979 from FGGE data have been chosen as initial fields. Five-day predictions have been made.

The results show that the tropospheric forecasts are more sensitive to changes of the top level altitude and the vertical resolution in winter, while the forecasts in the Northern Hemisphere winter case for 23 January are more sensitive than those in the Southern Hemisphere winter (case for 14 June).

Above differences are mainly due to the following reasons. The vertical distribution of the zonal mean eddy heat flux ($\overline{v'T'}$) for wavenumber 1-3 and the vertical propagation of planetary waves in the Northern Hemisphere winter differ from those in the Southern Hemisphere winter and in summer. The zonal mean northward eddy heat flux ($\overline{v'T'}$) for wavenumber 1-3 in the Northern Hemisphere winter is stronger than that in the Southern Hemisphere winter.

Key words: Global spectral; Sensitivity experiment; Root-mean-square error in geopotential height.