

地形区两种典型气压梯度力计算方法的比较

周天军* 钱永甫

(南京大学大气科学系, 南京 210093)

提 要

试验比较了两种较为典型的地形区气压梯度力计算方法: 一是先在准水平的等压面上计算, 再垂直插值到地形坐标面上的方法, 二是差-微-差方法。初始化分析和预报结果检验都表明, 在减轻地形影响上, 前者的优势在大气上层, 后者则在中下层。

关键词: 地形; 气压梯度力; 计算方法。

引 言

气压梯度力的计算精度问题, 一直是地形坐标系模式中的核心问题。Phillips 提出的 σ 坐标系, 在解决了模式下边界计算困难的同时, 却使得动力方程中最重要的气压梯度力项变成了两个大项的小差。在陡峭地形区极易产生误差, 从而影响模式的预报或模拟结果^[1, 2]。因此, 为提高 σ 坐标系中气压梯度力的计算精度, 人们提出了静力扣除、误差扣除、特殊差分等多种计算方法。目前, 一般认为在等压面上计算气压梯度力最好。在特殊差分格式中, 考虑了大气温压湿分布的各向异性对差分格式的限制, 根据差分变换原理推导出的“差微差”方法^[3]精度也很高。

本文通过对初始风场的诊断分析及一次实际天气过程的预报, 比较了上述两种气压梯度力计算方法。

1 数值模式及试验方案

本文所用模式是一有限域的嵌套细网格原始方程数值预报模式^[4]。模式中考虑了陆-气、水-气的相互作用, 大气内部的动力过程以及地形的动力、热力作用, 水汽饱和引起的大尺度凝结及条件不稳定产生的积云对流凝结释放的潜热, 太阳短波辐射, 地气系统长波辐射, 地面摩擦, 大气内部湍流交换及海陆不同物理特性下垫面所产生的影响等。模式利用 GFDL 地形资料, 初始场利用 ECMWF 资料。

由于气压梯度力本身的量级很小, 不便于直接分析, 且考虑到风场具备实际观测资

* 现址: 中国气象局总体规划研究设计室。
1995-02-24 收到, 1995-05-02 收到修改稿。

料,便于客观比较,故将对气压梯度力的比较转换为风场的对比.本文由两种气压梯度力计算方案得到初值地转风场,并对1983年7月23日至24日的一次天气过程进行了24 h预报试验.先在水平等压面上计算出气压梯度力得到风场,后垂直插值到 σ 面上,简称“PPP”方案;差微差方法简称“DDD”方案.

2 试验结果的分析与讨论

2.1 初始风场诊断分析

比较PPP、DDD两方案的边界层初始风场流线图(图略)发现:在流场结构上,实况位于菲律宾群岛西北洋面的台风气旋性环流,在两者的结果中都得到明显体现;位于甘肃附近的辐合中心,PPP基本可模拟出,但强度较实际偏弱,而DDD未模拟出;从南亚半岛西南风流场上看,前者也优于后者.总的来看,前者受地形的干扰小于后者.

分析各层次的风场流线图(图略)得到:从近地层到100 hPa高层大气,DDD受地形干扰产生的较为杂乱的小的辐散或辐合性环流都不同程度地存在着;在第四个模式层上(约700 hPa),从南亚半岛沿南海到华南一线,DDD流场较PPP要杂乱得多,地形干扰的表现比边界层流场还要显著.另外,从近地层到高层,这些杂乱弱小环流的具体位置逐渐北移,在100 hPa高空主要位于中原地区.

风场环流的差异,在根本上是两种气压梯度力计算结果的差异.而PPP较DDD在减轻地形干扰上更有效一些.究其原因,用 p 坐标系中的气压梯度力计算出风场,后垂直插至地形坐标面,此时地形直接影响的是风场而不是气压梯度.由于风速值本身远大于气压梯度力值,因此,地形对风场造成的相对误差远远小于地形对气压梯度力造成的相对误差.

从边界层风速与实况的差值分布看(图略),PPP的偏差较大,量值在 $-5.0\sim 9.0$ m/s之间.而DDD偏差相对较小,但局部地区如北部湾西部偏差较大,达15.5 m/s.

100 hPa风速与实况的差值图(图略)与边界层风速有明显的差别,PPP的偏差要远小于DDD.前者的偏差在 $+5.0$ m/s左右,而后者则在 10.0 m/s上下,西部局部地区甚至达 39.0 m/s,且出现一个范围较大的偏高区.因此,从风速值上看,PPP的优势主要在大气高层,DDD在中下层且二者间差异极为明显.

2.2 预报结果的分析讨论

分析两方案24 h预报的高度场与实况的相关系数及预报的变高场与实际变高的相关系数(图略),得到两种方案各自的高度场相关系数明显地高于变高场的相关系数,说明模式对形势场的预报优于对倾向变化的预报.在320 hPa以上,PPP的高度场相关系数明显高于DDD;在320 hPa至近地层,情况则相反.300 hPa以上,前者的变高场相关系数高于后者;300 hPa到近地层,情况相反.这说明无论是对高度场的预报还是对倾向变化的预报,在减轻地形的干扰上,在大气上层,前者效果好于后者;在大气中下层,后者较前者更为有效,而且其优势相当突出.

由图1高度场预报误差标准差的垂直分布可见,在300 hPa以上大气层,PPP的误差标准差要小于DDD,但在300 hPa至近地层,情况相反.而且愈接近近地层,二者间

的差异愈大。可见在减轻地形的干扰上，PPP 的优势在大气上层，DDD 的优势在中下层，这和高度场、变高场预报与实况的相关系数的分布情况相一致。

在理论上，两者各自处理地形的优势分别位于大气中下层和上层也是必然的。从两种格式的计算过程来看，DDD 格式的风场与气压场是相互适应的，而 PPP 格式的风场与模式气压场不适应，两者是独立的，预报过程中需互相适应。但在高层，由于用静力方程自下而上重新计算高度，使得误差不断向高层积累，所以

在高层 DDD 初始风场的误差一定比低层大得多。实际上边界层和 100 hPa 风速的分布情况也的确如此，而 PPP 却不存在这一问题。

24 h 预报的 100 hPa 高度场与实况的差值图表明(图略)，两方案的预报结果比实况都偏高 150~200 m，且其高低中心的分布极为接近。从长江中下游向华南至南海中部，预报值与实况的差呈递减趋势，中心值 PPP 由 194 m 减至 160 m，DDD 由 205 m 减至 178 m。偏差较大区域自东向西呈舌状分布，基本上与副高控制区相对应。差值最大在华南上空，最小在南海中部。由图 2 可见，在 850 hPa，两方案预报与实况的差值分布接近相同。从南亚半岛、南海至闽东南都为舌状偏高区，其中心位置在台湾海峡附近海面，PPP 中心为 25.4 m，DDD 为 22.5 m；自西向东沿中原至日本群岛和太平洋是带状的偏低区，各有 3 个低中心，差异最大在青海省一带。由以上分析可知，在大气下层，DDD 的结果明显好于 PPP；在大气上层则相反。

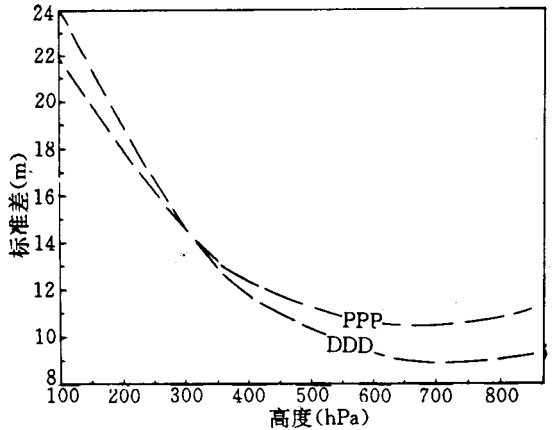


图 1 高度场预报误差的标准差垂直分布(单位: m)

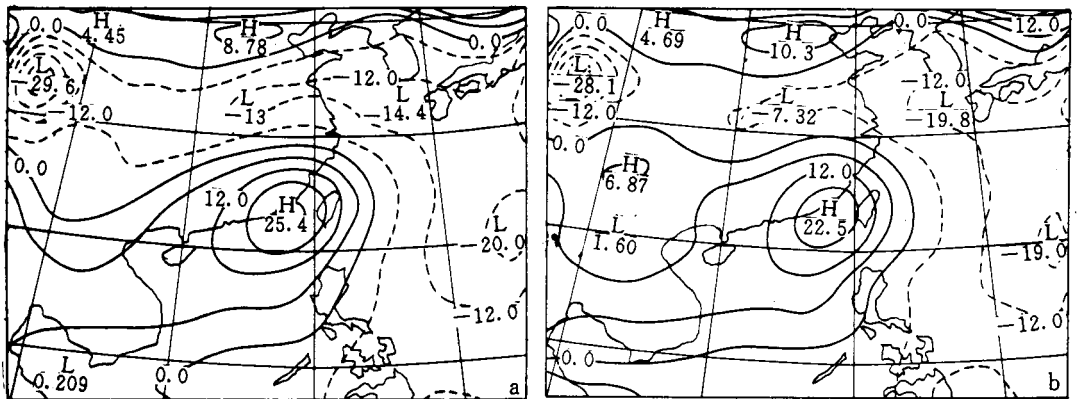


图 2 24 h 预报的 850 hPa 高度场与实况的差值图(a) PPP (b) DDD (单位: m)

3 结 论

(1) 初始化流场诊断分析表明 DDD 受地形影响较大. 从风速值上比较, 在近地层 DDD 偏差较小, 但随着高度的增加, 其误差也逐渐增大, 而 PPP 的偏差则上下变化不大, 在高层其效果明显优于 DDD.

(2) 相关统计、误差分析以及预报高度场与实况差值图的分析比较都表明, 在减轻地形影响上, PPP、DDD 各自的优势分别在大气的上层和中下层.

参 考 文 献

- 1 Sundqvist H. On truncation errors in sigma system models. *Atmosphere*, 1975, **13**: 81~95.
- 2 Sundqvist H. On vertical interpolation and truncation in connection with use of sigma system models. *Atmosphere*, 1976, **14**: 37~52.
- 3 钱永甫, 颜宏. 行星大气中地形效应的数值研究. 北京: 科学出版社, 1988 年. 第二章.
- 4 周天军, 钱永甫. 一个有限区嵌套细网格模式的设计及检验. *热带气象学报*, 1995, **11**: 342~353.

A COMPARISON OF TWO TYPICAL SCHEMES FOR PRESSURE GRADIENT FORCE CALCULATION IN TOPOGRAPHIC AREA

Zhou Tianjun Qian Yongfu

(*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract

Two typical schemes for pressure gradient force (PGF) calculation in topographic area have been compared. One is that PGF of topographic coordinate is got by vertical interpolation from calculation of constant pressure surface, the other is difference-differential-difference scheme. Based on the initial field diagnosis and forecast verification, the results show that the first scheme does better in upper air while the second scheme in lower air for reducing topographic influence.

Key words: Topography; Pressure gradient force; Calculation scheme.