

台风暴雨次天气系统影响因素及扰动传播路径

解以扬

徐祥德

(天津市气象台, 300074)

(中国气象科学研究院)

提 要

研究了台风暴雨次天气、中尺度系统发生、发展的影响因素。数值试验表明,台风外围环流与中纬系统相互作用可促发局地次天气尺度、中尺度系统的新生扰动,造成非均匀分布的台风暴雨云团及雨带,且大地形强迫效应在暴雨系统形成中亦起重要作用。台风环流与地形辐合抬升作用可促发中尺度扰动,并以类似重力波特征的波列路径向外传播。

关键词: 台风暴雨 次天气尺度 中尺度系统 地形辐合抬升

引 言

台风暴雨是一多尺度系统引起的突发性大范围降水现象,其暴雨雨带是中低纬环流相互作用的产物,台风外围环流结构与大地形强迫的相互影响也有显著的作用。近年,雷达、卫星观测揭示出台风环流及其外围存在着几类对称或非对称中尺度雨带。这些中尺度雨带的形成与相对应的中小尺度系统(切变线、辐合线、中低压等)有密切的关系。目前,对于暴雨发生的大尺度动力、热力条件,虽然已有较广泛的研究,但是对于大尺度与中小尺度系统相互作用的物理机制,例如台风外围环流与中纬系统相互作用激发的次天气尺度系统的发生、发展原因尚不清楚。观测事实表明,台风暴雨云团有组织的对流系统在台风外围环流结构中不是随机分布的,中尺度系统及其对流云团、雨带与台风外围环流动力因素有着明显的相互作用,相互制约的关系。本文试图通过中尺度模式的数值试

验及其尺度分离诊断场的分析,揭示台风暴雨成因及其雨带传播特征。

1 数值模拟方案

本文采用中尺度数值模式^[1,2],数值试验范围取 31×25 网格数,垂直层次为地面、850、700、500、400、300、200、150hPa。模式采用兰勃脱保角投影,垂直坐标为 σ 坐标,主要物理过程包括 Kuo-Anthes 积云对流参数化,次网格扩散项,行星边界层物理过程等。

采用1978年7月24日08时实时资料(7805号登陆台风)作为初始场,且选择如下改变模式结构的试验方案:

(1) 方案 A: 模式包括地形因素,粗网格格距 d 为100km。

(2) 方案 B: 模式为区域细网格, $d = 50$ km, 模式包括地形因素。

(3) 方案 C: 模式为区域细网格, $d = 50$ km, 模式去除区域细网格范围的地形。

(4) 方案 D: 模式为区域细网格, $d =$

* 由于应用历史资料,此处仍沿用以前的名称。

50km, 模式去除地形因素, 南边界倾向值放大($\frac{\partial s}{\partial t} \times 4$ 南边界), 其中 $\frac{\partial s}{\partial t} \Big|_{\text{南边界}}$ 表示南侧边界时变倾向值。

以上 A、B、C、D 方案均采用倾向边界嵌套(区域模式侧边界时变倾向值取间隔12小时实测值的时间线性插值)。

2 登陆台风外围环流次天气尺度暴雨系统结构图象的描述

登陆台风暴雨往往是高空西风槽与低空东风扰动的“迭加”, 引起低层强烈辐合, 构成了局地特大暴雨, 因此, 暴雨落区往往与次天气尺度、中尺度系统有很好的相关关系。如何从日常天气图识别或“捕捉”台风暴雨系统将是业务预报的关键问题。同样, 对于数值预报模式模拟场, 由于网格大小的局限性(本质上指提供模式初始场资料的观测网节点密度的限制), 仍存在着数值预报场上如何识别暴雨的次天气尺度系统问题。本文的多尺度滤波方法分离了模拟的台风环流与次天气尺度系统, 突出了登陆台风涡旋结构及其外围台风暴雨系统的各自特征, 使台风外围环流与中高纬系统相互作用产生的新生扰动描述得更为清晰。对比经滤波处理的模拟流场与未滤波场可发现, 后者很难分辨不同尺度的系统结构特征, 而前者(尺度分离的模拟场)不仅登陆台风变性结构清晰, 而且台风外围次天气尺度系统特征亦明显。

由图1可见, 模式积分24小时, 扰动尺度流场变性台风气旋性环流及其尾流扇形辐散型结构显著, 且台风外围环流与中纬天气尺度系统相互作用构成的新生次天气尺度辐合系统亦描述得较为明显, 值得注意的是这些外围次天气尺度系统均与实况暴雨落区对应。

3 侧边界强迫对局地中尺度系统形成的影响效应

台风系统本身产生的暴雨相对集中在台风半径约500km 以内, 而台风外围环流与温

带天气系统相互作用产生的暴雨则可远离台风中心几千公里以外。本文采用方案(B)、(C), 即区域细网格模式, 且采用间隔12小时不同的时变侧边界条件, 其目的在于研究台风外围环流是否可通过区域模式的侧边界影响计算域内环流系统的演变状况或促发次天气尺度扰动的新生。

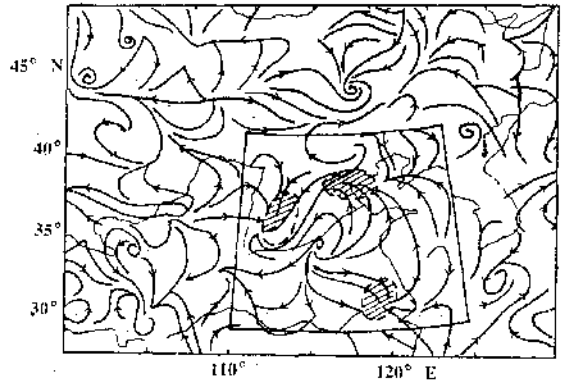


图1 模式积分24小时经尺度分离的模拟流场(方案A)

图2a、b 分别为细网格区域模式积分12小时

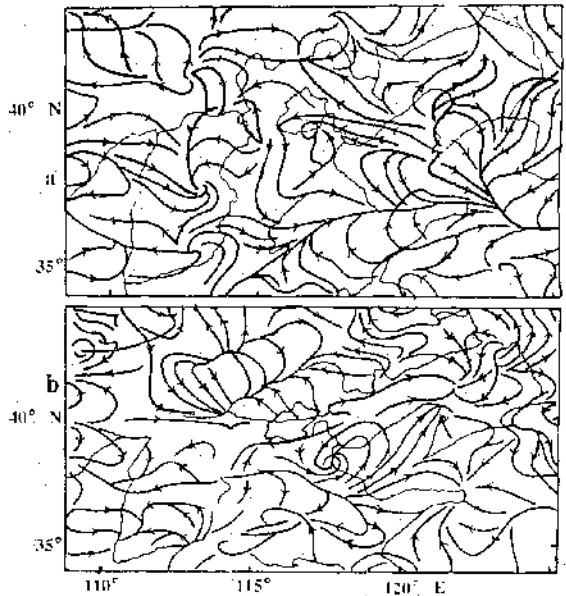


图2 细网格区域模式积分12小时南侧边界倾向不同条件的模拟流场

$$a. \frac{\partial s}{\partial t} \Big|_{L \times 1} \quad b. \frac{\partial s}{\partial t} \Big|_{L \times 4}$$

小时方案(B)、(C)尺度分离的模拟流场,方案(B)与方案(C)的差异条件仅是区域模式南侧边界时变倾向值不同,其比例分别为

$$\frac{\partial s}{\partial t} |_{L(B)} : \frac{\partial s}{\partial t} |_{L(C)} = 1:4$$

这里南侧边界时变倾向值大小反映了南方登陆台风外围环流对某局部区域系统的影响程度。

对比图2(a)与(b),可发现,在两类南侧边界状况下模式积分12小时,模拟流场与暴雨落区均呈显著差异。对应于南侧边界倾向值加大的方案(C),模拟场计算区域内渤海湾西侧低涡明显加强,相应的暴雨落区降水量增大;太行山东侧降水亦加大,而南部山东半岛降水则减少。以上模拟结果表明,若台风外围偏南气流加强,即计算域南侧边界倾向值加大,可导致计算域内台风外围环流与中纬系统或地形强迫的相互作用更为显著,从而促发局地中尺度系统的新生扰动形成,造成非均匀分布的台风暴雨云团及其雨带。这表明计算域内低涡系统强弱状况及其雨带分布对南侧边界动力、热力结构及其输送特征的变化十分敏感。

4 台风暴雨过程地形强迫扰动传播路径

台风暴雨反映了各种尺度系统相互作用的动力、热力机制,其中大尺度环流是产生大范围暴雨的背景,中尺度系统则是局地暴雨形成的主要组织者。例如台风低涡北侧的中尺度低压、对流复合体(MCC)、辐合线、中尺度 β 云团,甚至喇叭口等类地形结构的局地强迫扰动均在台风暴雨发生过程中扮演了重要的角色。对于华北地区,在台风外围低层偏东气流作用下,贯穿华北的燕山、太行山等构成的马蹄状地形结构十分有利于地形辐合抬升与触发中尺度扰动的新生、活跃,且可以构成类似惯性重力内波的波动系统(如图3所示)。

观测分析^[32]表明,通常登陆台风的降雨范围虽然很大,但雨量分布却极不均匀。大部

分测站的降水一般不超过 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,而有些测站的雨量有时却高达 $50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上。中尺度分析中,一般追踪降雨量超过 $10\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的雨区。分析发现,这些中尺度系统水平尺度一般不足 200km ,生命史通常只有几小时至十几小时。这些中尺度系统相对于台风中心的生消部位、移动路径等都有一定的规律。在台风暴雨中,高通滤波常可得到类似惯性重力内波的波动,这类波动对中尺度降雨有触发作用。60年代、70年代初,通过日本暴雨研究计划,发现许多传播的中尺度雨带,从尺度、周期、传播速度和结构上看很相似于重力波,因而主张重力波造成的中尺度垂直运动和地面辐合在启动和组织强风暴或中尺度系统起着重要作用^[4]。本文着重讨论近似南北走向的太行山脉,在登陆台风外围偏东气流的影响下,是否可能作为产生中尺度系统的地形强迫发生源,构成类似冷锋锋面附近赫姆霍茨不稳定波并向外传播。

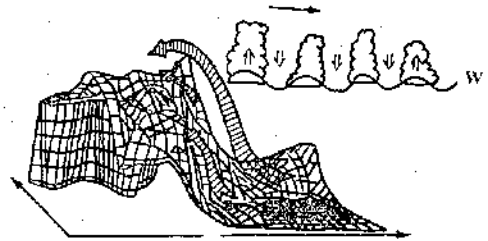


图3 太行山地形及其辐合抬升触发机制,重力波传播图示

图4为模式积分24小时有、无地形尺度分离的模拟涡度偏差场(方案(B)模拟场减去方案(D))。由图4可发现,地形强迫偏差场呈一由太行山东侧出发向东南方向传播的高频经向波列,且传播路径类似“大圆路径”,呈弧型射线。另外,散度偏差场亦呈类似传播路径及其波列。显然,上述偏差场波列特征与登陆台风暴雨雨带波动现象存在着一定联系,且本文选用的个例1978年7月25日08时经尺度分离处理的实况散度场亦有类似自西北(太行山东侧)向东南方向传播的一串“波列”(图

略)。由以上模拟结果可发现,波列路径的发生源位置与太行山地形强迫有关。另外,很有趣的另一模拟结果是,若采用类似方案(A)的粗网格,模式积分12小时有、无地形垂直运动模拟偏差场可描述出这一地形强迫与台风外围偏东气流共同作用下,激发的一对垂直运动“偶结构”(上升、下沉区)。这特征也揭示了中尺度系统波列发生源可能直接与大尺度地形强迫所激发的新生扰动有关的事实(图略)。

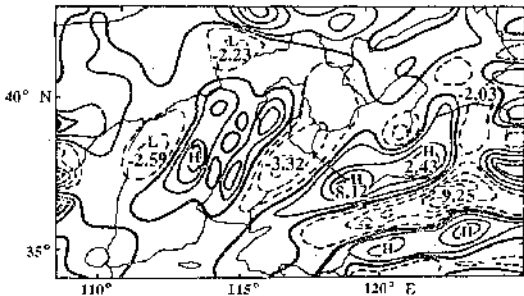


图4 细网格模式积分24小时,850hPa 经度分离的涡度偏差场(即反映地形强迫的偏差场)

5 模式网格对降水模拟效果的影响

台风暴雨的多尺度特征往往给预报工作带来很大的困难,尤其有组织对流云团及其次天气尺度、中小尺度系统构成的局地非均匀强降水亦是目前数值预报急需解决的难题之一。上述模拟结果表明,模式网格变小,可模拟出次天气尺度系统,并可揭示出台风暴雨的中尺度扰动波列系统,并可揭示出台风暴雨的中尺度扰动波列特征。本文将着重讨论模式网格对于台风暴雨落区位置或降水强度的影响问题。本文选取个例实况表明,24小时降水量分布有3个大一暴雨落区,即天津北面(强降水中心位于遵化,日降水量为245mm);太行山东侧河北省西南部地区(强降水中心位于威县,日降水量为79mm);山东省德州附近(日降水量为53mm)。由方案(A)、(B)模拟结果可知,方案(A)(粗网格模式)可模拟出太行山东侧暴雨落区,最大日降水量为27.6mm,但其它两暴雨落区均未模

拟出(图5(a));方案(B)(区域细网格模式)模拟降水场效果明显改进,基本上能模拟出与实况相应的三个暴雨落区,即天津北面暴雨落区,最大日降水模拟总量为60mm,强度偏低,但比粗网格方案已有较大改善;太行山东侧雨带,最大日降水模拟总量为87.3mm,接近实况;山东省北部降水落区,模拟最大日降水量为60mm,亦接近实况。以上模拟结果表明,模式网格大小可能对台风暴雨系统的描述及其雨带特征的模拟效果有显著的影响,这也进一步反映了中尺度、次天气尺度系统在台风暴雨形成过程中的重要作用。

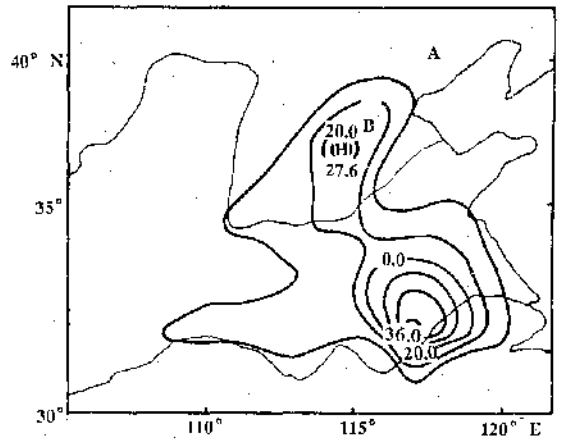


图5a 日降雨量分布粗网格模式模拟图
A区:天津北侧降水落区
B区:太行山东侧落区

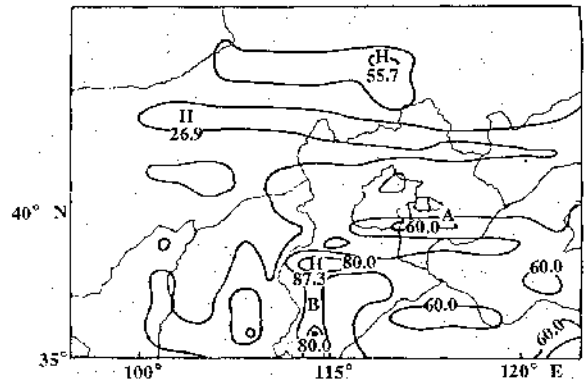


图5b 日降水量分布细网格模式模拟图
A、B区范围同上

(下转第8页)

6 结 语

本文数值试验可以得到如下结论:

(1) 台风外围环流与中纬系统相互作用可促发局地次天气尺度、中尺度系统的新生扰动,造成非均匀分布的台风暴雨雨带。

(2) 地形强迫亦是台风暴雨系统中尺度扰动的促发因素之一。

(3) 台风环流与地形强迫的相互作用所产生的扰源,可以类似重力波特征的波列路径向外传播。

The Effect of Subsynoptical Scale System on the Typhoon Heavy Rain and Disturbance Propagation Track

Xie Yiyang

(Tianjin Meteorological Observatory, 300074)

Xu Xiangde

(Chinese Academy of Meteorological Science)

Abstract

The factors of the generation and development of the mesoscale and Subsynoptical Scale Systems are Studied. Numerical experiments show that the interaction between the circulation of the typhoon outer region and middle latitude synoptical system can trigger off the local disturbance and result in the formation of the cloud cluster and rain belt and the large topographic forcing played an important role. The effect of the tropical cyclones and its lifting of the topographic convergence can cause mesoscale disturbance, propagating in the way such as gravity wave.

Key Words: typhoon-heavy rain mesoscale and subsynoptical scale system topographic forcing

(4) 台风暴雨模拟效果与数值模式侧边界处理、模式网格设计有显著的相关。

参考文献

- 1 Anthes R. A. and T. T. Warner, Development models suitable for air pollution and other mesometeorological studies, *Mon. Wea. Rev.*, 106, 8, 1045—1078, 1978.
- 2 Wang Pengyun(王鹏云), Xu Zixiu(许梓秀) and Pan Zai Tao(潘在桃), A case study of warm sector rainbands in North China. *Adv. Atmos. Sci.*, 7, 3, 354—365, 1990.
- 3 焦佩金、范永祥. TOPEX 期间影响我国的台风暴雨及其中心尺度系统. 台风会议文集. 北京: 气象出版社, 1985.
- 4 丁一汇. 高等天气学. 北京: 气象出版社, 1991.