

太行山地形对“96.8”暴雨影响的数值试验研究^①

徐国强 胡欣

苏华

(河北省气象局, 石家庄 050021)

(河北省城乡建设学校)

提 要

利用 MM4 模式, 设计了 4 种模式地形方案, 讨论了太行山地形对“96.8”暴雨降水量的贡献; 并利用垂直运动和水汽通量等物理量, 探讨了太行山地形对本次暴雨过程增幅作用的机制。结果显示, 太行山地形对本次暴雨过程的降水中心强度及位置有显著影响, 具有 60% 增幅作用。太行山地形对垂直运动及水汽辐合也都具有增幅作用。模式地形越真实, 预报结果越好, 地形越高, 降水增幅作用越明显。

关键词: 太行山 暴雨 增幅作用 数值试验

引 言

1996 年 8 月 3~5 日受 9608 号登陆台风减弱低压外围影响, 河北及山西出现了一次大范围的暴雨过程, 其中河北省中南部降了特大暴雨, 石家庄、邢台两市迎风坡降水在 400mm 以上, 最强降水出现在 8 月 4~5 日, 降水中心在石家庄及西部和西南部(图 1)。这是河北省自 1963 年以来发生的最大一次暴雨过程。

在对这次暴雨的分析中, 许多文章都提到了太行山地形对这次暴雨过程的增幅作用。但大都是定性的叙述。本文试图用数值试验的方法对太行山地形影响暴雨的过程进行较深入的分析, 并定量地给出其对本次暴雨过程的增幅, 最后对太行山地形影响暴雨的机制作了一些探讨。

1 数值模式及试验设计

1.1 数值模式简介

利用美国 PSU/NCAR 的中尺度 MM4 模式, 采用仿地形 σ 坐标, 试验水分循环处理采用的是改进的 Kuo 积云对流参数化方案。

边界采用海绵边界条件。差分网格结构是水平网格取 41×41 , 垂直取 10 层, 网格距为 60km。

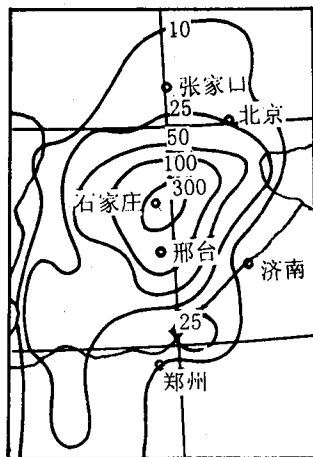


图 1 1996 年 8 月 4 日 08 时~8 月 5 日 08 时
降水实况(单位: mm)

1.2 试验方案设计

地形在数值预报模式中的作用, 已引起

^① 资助课题: 中国气象局“96.8”特大暴雨分析研究

人们广泛注意。丑纪范^[1]指出,地球上各种不同尺度地形,对大气中从行星尺度到次天气尺度的各种不同系统的运动都有着重要作用。王云峰^[2]在数值预报模式中引入地形对实际天气进行预报实验,表明引入地形后,其预报能力有明显的提高。江敦春等^[3]的工作也表明,海南岛对台风降水有明显增幅作用。周天军等^[4]讨论了地形效应对短期数值预报结果的影响。

本文利用MM4中尺度模式,设计了4套地形试验方案,即真实地形、部分真实地

形、半高度地形和均匀地形4种方案。其中真实地形高度资料是从 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的地形高度资料中插值而得,它没有反映出实际地形的主峰高度及特殊地形(如河谷、山口等);部分真实地形就是将太行山东扩至渤海海边,而其它地形保持不变;半高度地形就是将模式区域高度场取为真实地形的一半;均匀地形就是将整个模式区域海拔高度取为10m。图2给出了其中的真实地形和部分真实地形的地形的高度分布。

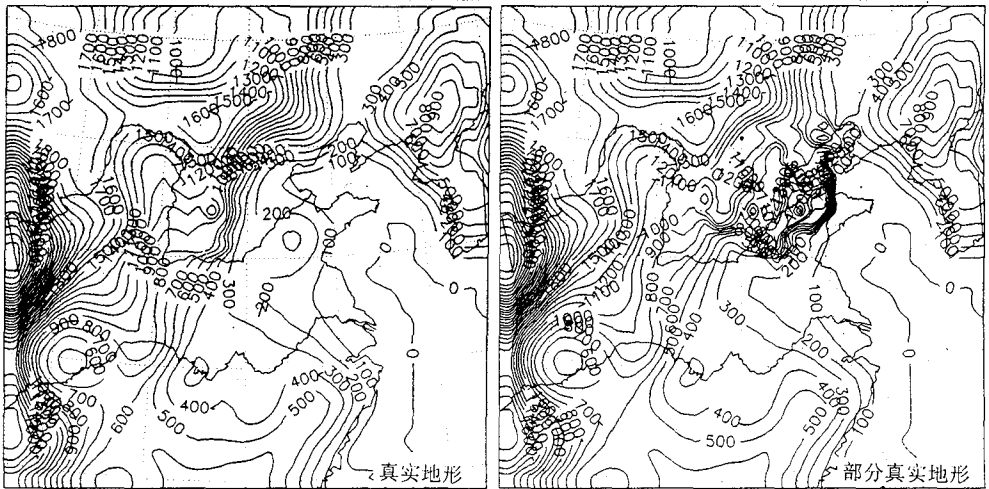


图2 部分试验方案的地形高度分布(单位:m)

本试验所用资料是1996年8月4日08时高空、地面报文资料。预报时效取24小时,即从4日08时至5日08时。这天河北省降雨量最大。

2 试验结果的分析与讨论

2.1 不同地形对降水预报的影响

图3是4种模式地形对应的24小时雨量预报。从图中可看到,真实地形时降水强度及降水中心位置与实况最为接近,中心位置与降水实况吻合,中心强度为186.2mm;部分真实地形时,降水中心位于天津,中心强度为240.6mm;半高度地形时,降水中心位于沧州,中心强度为124.7mm;均匀地形时,降

水中心位于渤海,中心强度为116.4mm。4种方案相比较可分析出如下特点:①太行山地形对降水强度及中心位置影响显著,真实地形时降水中心位置明显优于其它三种方案;②模式地形越高,降水量越大,地形越复杂,雨区结构也越复杂;③真实地形降水中心强度比均匀地形高60%,可见地形对降水有明显的增幅作用。这与人们的经验及前人的研究是一致的。

为了说明太行山地形对暴雨增幅作用的机制,下面分析形成暴雨最重要的要素,垂直运动和水汽输送在真实地形及均匀地形下的情况,以进行对比分析。

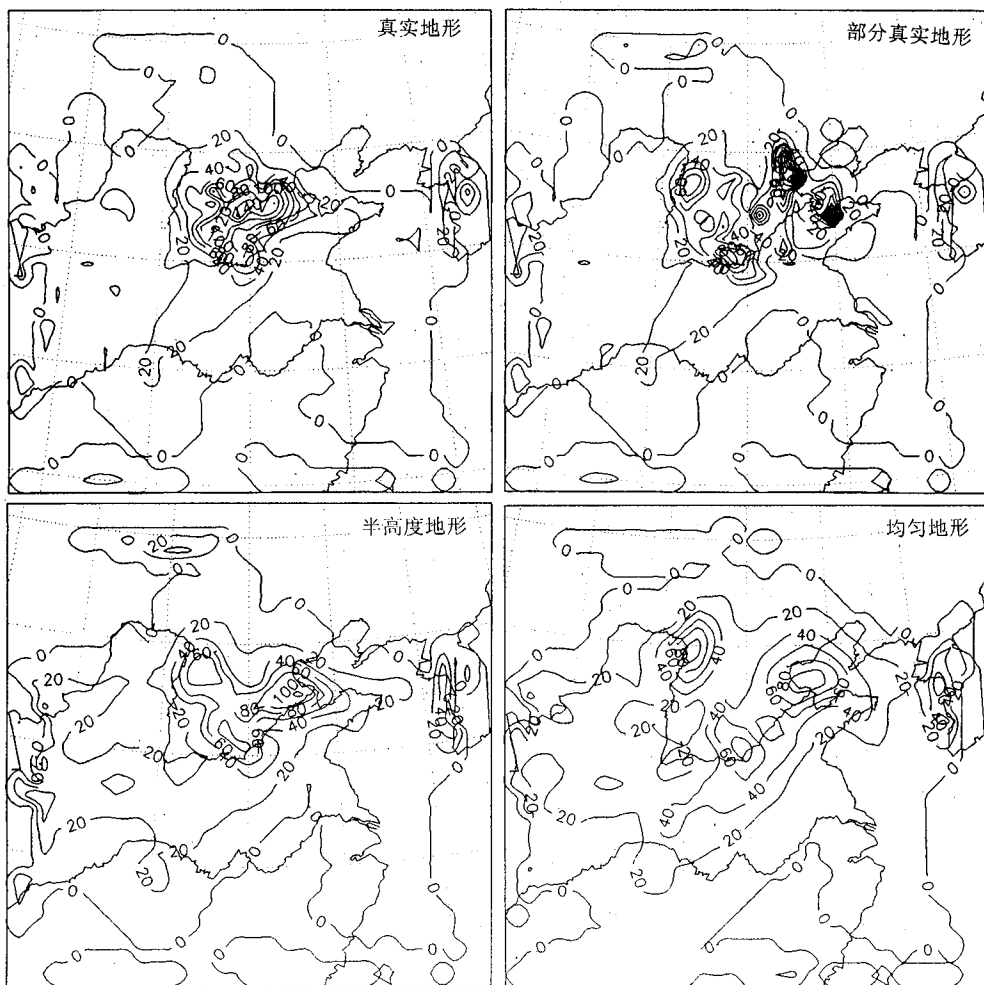


图3 4种试验方案的24小时降水量预报场(单位:mm)

2.2 不同地形对垂直运动的影响

图4为真实地形及均匀地形时700hPa垂直运动的12小时预报场,即8月4日20时的预报量。从图4可得到,真实地形时上升运动中心位于河北省中南部及山西东部,中心为 $-2.6 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$;均匀地形时,上升运动中心位于渤海湾附近,中心为 $-1.6 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,前者比后者上升气流的中心强度高63%左右。与图3比较可得,上升运

动中心基本与各自的降水中心相吻合。

1000hPa散度上(图略),真实地形及均匀地形对应各自的上升运动中心各有一 $-4.8 \times 10^{-5} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $-4.4 \times 10^{-5} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的辐合中心,而100hPa散度分布图(图略)上各有一 $+5.6 \times 10^{-5} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $+3.8 \times 10^{-5} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的高空辐散中心。这说明由于太行山阻挡,使低层辐合、高空辐散增强,从而使上升运动增强。

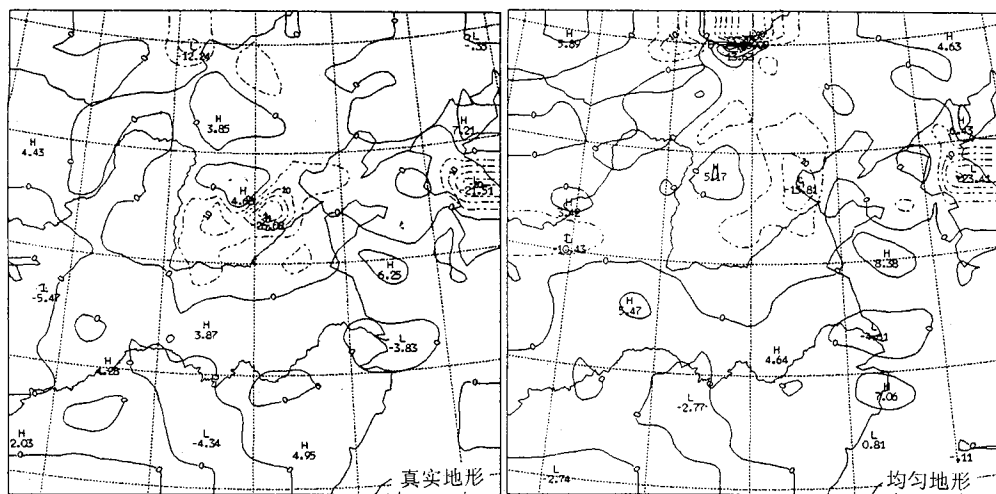


图4 模式积分12小时700hPa垂直运动场(单位: $10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$)

从以上分析可得:降水中心基本位于上升气流中心附近;由于摩擦辐合、气流受山脉阻挡做爬山运动等原因,使太行山对上升运动的贡献是使其增强了约63%,基本与降水的增幅作用量级相当。

2.3 不同地形对水汽通量的影响

图5为真实地形与均匀地形条件下,1000hPa水汽通量12小时预报的空间分布图。

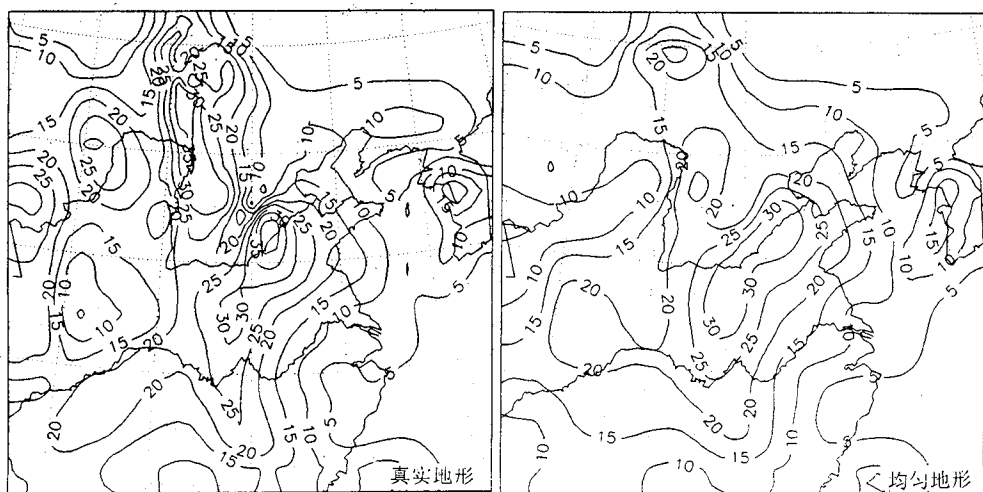


图5 模式积分12小时1000hPa水汽通量分布(单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

由图5(真实地形)可看出,沿太行山有一水汽通量低值区,在河北南部有水汽通量大值区,中心为 $42.5\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,在河北中南部形成了等值线密集带,而700hPa以上基本没有此密集带。河北中南部

已被水汽通量 $\geq 10\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的等值线所包围,这说明暴雨区南部有强的水汽输送,最大水汽通量轴与东南风急流轴平行,即低空急流北上,强的东南风将充沛的水汽输送到暴雨区的低空。850hPa水汽通量

散度图(图略)显示,河北南部有一中心为 $-18.4 \times 10^{-8} \cdot \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽辐合中心。由实况分析可知,此时,本次暴雨过程最强的中尺度对流云团就在石家庄附近,云团中心云顶温度达 -54°C ,造成井陘县出现 $80\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的强降水。

由图5(均匀地形)可知,最大水汽通量轴比真实地形偏东,也不存在等值线密集带,即水汽通量等值线分布较为均匀;其 850hPa 水汽通量散度图(图略)辐合中心强度为 $-14.5 \times 10^{-8} \text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,强度比真实地形弱,中心也偏东。

综上所述,由于受太行山阻挡造成水汽、能量在这里大量堆积,有利于潜在不稳定的建立和发展,造成地形对暴雨的增幅,暴雨中心位于最大水汽通量轴下风方、水汽通量等值线密集带区域、水汽辐合中心附近。

3 结论

通过对“96.8”暴雨过程在不同模式地形下降水、垂直运动及水汽通量模拟结果的研究,可得出如下结果:

(1)太行山地形对降水中心强度及位置

具有显著影响,它对本次暴雨过程具有60%的增幅作用,地形越高,增幅作用越大。

(2)模式的地形越真实,降水模拟效果越好,地形越复杂,雨区结构也越复杂。

(3)降水中心与上升气流中心基本吻合,上升运动越强,降水量越大。太行山地形对本次暴雨过程的上升气流贡献是使其增强了约63%,与降水增幅作用的量级相当。

(4)太行山地形增强了水汽、能量的辐合、堆积,暴雨中心位于水汽通量等值线密集带区域内,水汽辐合中心附近。

致谢:特别感谢朱乾根教授、马瑞勇高级工程师对本文的指导和关心。

参考文献

- 1 丑纪范. 数值模式中处理地形影响的方法和问题. 高原气象, 1989, (8): 114~120.
- 2 王云峰, 钱永甫. 上海业务数值预报模式中地形动力效应试验. 气象科学, 1991, 11(1): 33~46.
- 3 江敦春, 党人庆. 南海台风暴雨的数值试验. 南京大学学报, 自然灾害成因与对策专辑第二册, 1993: 204~210.
- 4 周天军, 钱永甫. 地形效应影响数值预报结果的试验研究. 大气科学, 1996, 20(4): 452~462.

Simulation Study of Taihang Mountain Terrain Effects on Heavy Rain in August 1996

Xu Guoqiang Hu Xin

(Hebei Meteorological Observatory, Shijiazhuang 050021)

Su Hua

(Hebei City and Countryside Construction School)

Abstract

With application of four designed simulation schemes, effects of the Taihang mountain terrain on heavy rain in August 1996 was explored by MM4 model, and the mechanism of the increasing precipitation in terms of some elements such as perpendicular motion, vapor-flux etc. was discussed. The results show that the terrain affects obviously the intensity and location of precipitation cell, increases rainfall by 60%, and favors the upward current and vapor convergence. It is proved that the closer active terrain is, the better the model forecast will be and the higher terrain is, the more obvious precipitation enhancement effect will be.

Key Words: Taihang mountain heavy rain precipitation enhancement effect numerical experiment