

2003年10月风暴潮的形成 及数值模拟分析

李云川¹ 张迎新² 王福侠² 戴念军³ 陈卫丽³

(1. 河北省人工影响天气办公室, 石家庄 050021;
2. 河北省气象台; 3. 民航石家庄空管站气象台)

提 要

2003年10月11日发生在河北省中南部地区的特大暴雨是京津冀近50年来同期所罕见的,同时渤海湾还出现了风暴潮过程。对该过程应用非静力MM5的二重网格双向嵌套进行了全物理过程的数值模拟,并应用天津市多普勒雷达资料和常规气象资料进行了分析研究。结果表明:(1)MM5模式能够较好地模拟出风场、气压场、降水量场,在预报业务实践中有很好地参考价值;(2)海面偏东风的长时间维持,使海水堆积、海平面抬高,加上天文大潮的叠加而引发风暴潮;(3)风暴潮期间速度方位风廓线近地面的E—NE风随时间有增厚现象,在增厚的同时使降水减小,风暴潮发生。

关键词: 特大暴雨 风暴潮 数值模拟

引 言

2003年10月10~12日在华北平原出现了一次特大暴雨和风暴潮过程,此次降水强度之大、范围之广为京津冀近50年来同期所罕见^[1]。据统计,仅在河北省境内过程降水量有73个县市在50~99mm之间;46个县市雨量超过了100mm,其中4个县市超过200mm,其中地面东北大风达 $24.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,海上平台测得最大瞬时风力达 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,且在海上维持了20多小时的10~11级偏东大风,受持续强劲的向岸风和天文大潮的共同作用,再加之暴雨的影响,渤海湾西部沿海水位急增,海水上岸,最高潮位达 5.54m ^[2],11日凌晨和傍晚天津市沿海地区和沧州沿海地区分别出现了风暴潮。大风和风暴潮使沿海的天津、沧州、唐山、秦皇岛市的部分县(市)受灾严重,交通、电力、通讯等设施遭到一定

破坏,直接经济损失2.44亿元,其中农业经济损失9800万元^[3]。

10月10日~11日暴雨、风暴潮过程是由于高空强冷空气和地面西南倒槽共同影响造成的。500hPa蒙古国为一深厚的冷涡,与冷涡中心相伴的冷中心气温达 -40°C ,锋区位于 $42^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 之间,锋区呈东西向。冷涡轴向也为东西向,且冷涡向东发展,以东北路径影响河北省中南部地区,与此同时,地面倒槽发展十分强盛,西南暖湿气流和东北强冷空气交汇、积聚、停滞,使影响系统速度减慢,延长了降水、大风时间,形成这次风暴潮、暴雨天气过程。

1 风暴潮的形成

1.1 天文大潮与风暴潮

据统计^[3]渤海湾天文大潮要比理论上的朔(农历初一)和望(农历十五)日延后2~3

天。这次过程 10 月 11 日为农历九月十六,正值渤海天文大潮。而渤海湾天津塘沽到沧州沿海一带为典型的正规半日潮,天文高潮出现在早晨 5 时和下午 17 时左右。而且, $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的偏东风在渤海维持时间达 13 小时以上,风暴潮产生的几率就越大^[4]。由图 1 可得到:两次风暴高潮出现在 11 日 04 时和 11 日 16 时,最高潮位分别为 5.54m 和 5.04m,与天文潮位是同位相;东风分量与增水曲线、实测风曲线也是同位相,实测风与东风分量和增水曲线则是反位相的;也就是说,风暴潮出现时刻正值海面的风速达最小为 $9.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $7.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (11 日 04~05 时和 17 时),而风暴潮出现前海面为 NE—ENE 风,且风速最大达 $16.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (10 日 23 时)和 $13.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (11 日 14 时),因而偏东风(向岸风)长时间的维持促使了海水的增长和堆积,是风暴潮发生的主要原因,加上天文大潮的叠加而形成风暴潮。另外从增水曲线分析得到,风暴潮出现前 3~5 小时增水曲线有两个相对高值:1.87m(11 日 01 时)和 1.72m(11 日 11 时)。

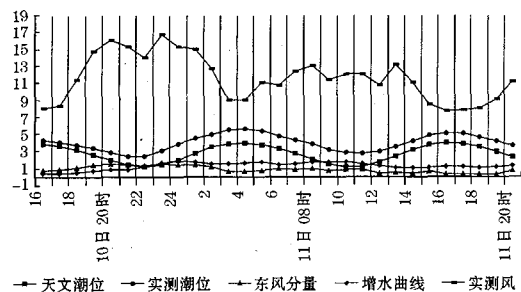


图 1 2003 年 10 月 10~12 日天津滨海逐小时风向风速与港口实测潮位、东风分量、增水曲线、天文潮位的变化曲线图

1.2 多普勒雷达风廓线产品分析

分析天津市气象局提供的 10 日 16 时和 11 日 12 时速度方位风廓线(图略)可见,在降水最大时刻,近地面的 E—ENE 风仅达

0.6km 高度,最大风速为 $26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,在 0.9km 及以上为 SE—SW 风,且在 $1.2\sim 6.7\text{km}$ 之间风速为 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,风向为顺时针旋转,说明从低层到高层存在明显的暖平流,这也是大尺度稳定性降水的条件之一。在风暴潮发生期间,近地面层的 E—NE 风的高度是随时间而增厚,其高度达 1.5km ,而在 1.5km 以上的 SW 风也有明显的减弱趋势,最大风速为 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,且在 4.9km 高度处出现了 NW 风,也就是在此时,降水趋于减弱,风暴潮发生。

1.3 实况风场的分析

图 2a 是 10 月 10 日 20 时 850hPa 的实况风场,该时次正值降水最为集中的时段,该时次的风场主要以 SE 气流为主导,暴雨落区也正好是 SE 气流向 E—NE 气流的转折

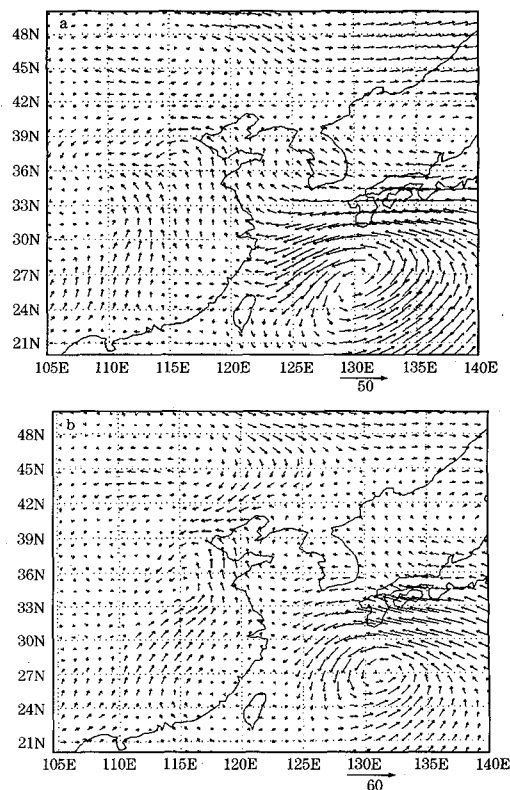


图 2 850hPa 实况风场
a. 10 月 10 日 20 时; b. 10 月 11 日 08 时

点。而在图 2b(11 日 08 时 850hPa 的实况风场)上可看到,在该时次上的风场则是以 NE 气流为主导,风暴潮发生处正好为 E-NE 气流与 SSE 气流交汇处。因而实况风场的分析是日常业务工作中不可忽略,也是不可缺少的一项工作。

2 数值模拟结果分析

中尺度数值预报模式是目前预报强降水的重要手段的发展方向之一。本文对该过程采用非静力 MM5 的二层嵌套网格模式进行了全过程的数值模拟,模式中心为 38°N、110°E;外层格点 53×63,格距为 60km;内层格点 121×109,格距为 20km。垂直方向为 σ 坐标,取 23 层,主要物理过程为:GRELL 积云对流参数化方案、BLACKADAR 高分辨 PBL 方案、DUDHIA 云辐射方案。采用流入

流出侧边界,初估场资料采用了国家气象中心 T213 模式的输出产品,实时观测资料则包括常规地面、探空资料。起报时间是 2003 年 10 月 10 日 08 时,积分时间 48 小时,时间步长 2 分钟。

2.1 气压场模拟结果分析

图 3(a、b)是 10 月 11 日 02 时的气压场实况与 MM5 模拟同一时刻的气压场预报结果图,a、b 两图相比较,可以看出,模式成功地模拟出 40°N 以北的高压呈东西向,且气压梯度大值区位于渤海湾北部,呈东北-西南向,模拟的高压轴向及气压梯度与实况近于一致,只是高压中心强度比实况低了 10hPa;此外,在 30°N、105°E 的低压位置、强度模拟得相当好。由此可见,模式成功地模拟出 2003 年 10 月 11 日风暴潮的形成过程。

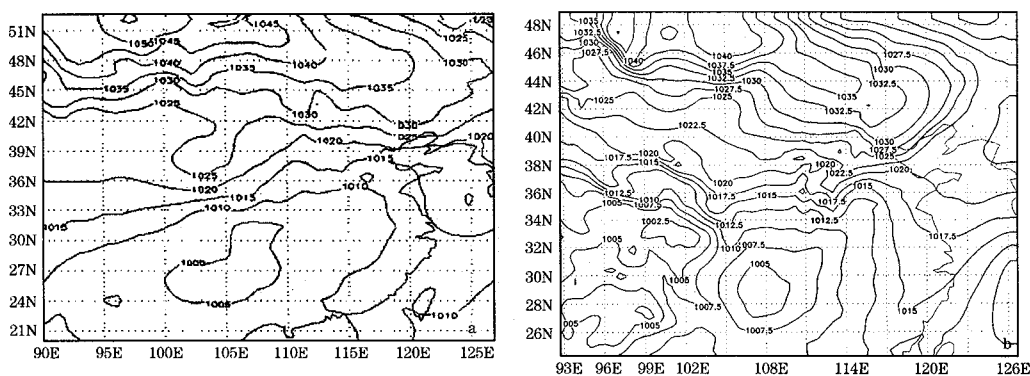


图 3 2003 年 10 月 11 日 02 时气压场

a: 实况,等压线的间隔为 5hPa; b: MM5 预报,等压线的间隔为 2.5hPa

2.2 风场模拟结果分析

图 4(a)为 11 日 08 时 1000 hPa 流场实况图,从图中可看到冷空气自东北平原经渤海湾达暴雨区,渤海湾海域为东-东北风,且风速为最大值;另外在 30°N 以北有一支强劲的东-东南气流与其在暴雨区交汇,在此形成一切变线,为暴雨的形成提供了极好地动力和热力条件。图 4(b)为 11 日 08 时

MM5 模拟的风场,可看到模式较成功地模拟出了两支气流在暴雨区的汇合,只是东北气流陆地大于渤海湾,且气流为东北。

3 结论

(1) MM5 能较好地模拟出风场、气压场,在预报业务实践中有一定的参考价值,为超常规的预报提供了较好地预报依据。

(2) 风暴潮的维持是东北平原南下冷空

气与天文大潮共同作用的结果。

(3)风暴潮出现期间,速度方位风廓线近

地面的 E-NE 风随时间有增厚现象,同时降水趋于减弱。

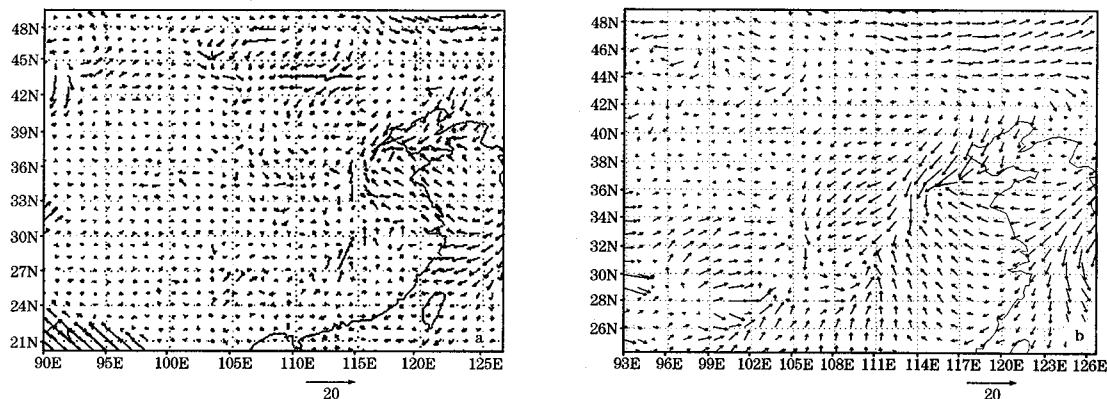


图4 11日08时1000hPa流场

a: 实况; b: MM5 预报

参考文献

1 胡欣,王福侠,景华. 2003年秋季一次大暴雨过程及风暴潮过程成因分析. 天气预报技术文集,北京:气象出版社,2004:247.
 2 赵玉洁,余文韬,徐灵芝. 两次强灾害天气的新一代天气雷达回波对比分析. 天气预报技术文集,北京:气象出版社,2004:243.
 3 胡欣,景华,王福侠等. 渤海湾一次风暴潮的天气成因分析. 气象科技, 2005,33(3):235~239.
 4 马瑞隽. 渤海湾热带气旋风暴潮. 河北气象, 1996, (1): 12.

Analysis of the Formation of a Storm Surge and its Numerical Simulation

Li Yunchuan¹ Zhang Yingxin² Wang Fuxia² Dai Nianjun³ Chen Weili³

(1. Weather Modification Office of Hebei Province, 050021; 2. Meteorological Observatory of Hebei Province; 3. Civil Aviation Observatory of Shijiazhuang)

Abstract

A heavy rain event appeared in the middle and southern area of HeBei Province accompanied with storm surge in Bohai Bay on 11th October 2003. This was very rare in North of China in autumn. Based on the MM5 and Doppler radar data, the event is analyzed. The results show that (1) MM5 is better in simulation of steam field, sea-level pressure field and precipitation. (2) The permanence of eastern wind over Bohai sea resulted in the heap of sea water and the rise of sea level. Folding with chronometer strong tide, the storm surge occurred. (3) The thick layer of E-NE wind near the surface in the period of storm surge was increased, and the meantime precipitation was decreased.

Key Words: heavy rain . storm surge numerical simulation