

地形对山东半岛冬季冷流暴雪影响的一次数值模拟研究

袁海豹, 林曲凤, 石 磊

(山东省烟台市气象局, 山东 264003)

摘要:利用 MM5 数值模式对山东半岛北部 2005 年 12 月 3~4 日暴雪天气进行模拟试验, 研究了山脉地形和渤海对半岛北部冷流暴雪的影响, 实验表明半岛北部的山脉地形对冷流暴雪的落区和强度影响较大, 有山脉地形时降雪强度增大, 降雪中心略北移, 无渤海时没有明显降雪; 同时, 保留地形时的上升运动、低层风场辐合和正涡度区都要比无地形和渤海时大得多。

关键词:山脉地形; 渤海; 冷流暴雪; 数值试验

中图分类号:P426 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2009)03-0053-07

1 引言

山东半岛西部、北部和东南部分别被渤海和黄海所环绕, 大部分为丘陵地带, 在 37.2°N 附近有一条莱山山脉, 从西到东横贯半岛, 走向与半岛北部海岸线近似平行, 山脉高度超过 500m 的有 5 处之多, 地形较为复杂。特殊的地形特点导致山东半岛北部地区冬季多冷流降雪天气, 尤其在强冷空气影响下, 经常有暴雪出现^[1]。

本文以高分辨率 MM5 数值模拟为基础, 通过对比实验的形式, 对 2005 年 12 月 3~4 日发生在山东半岛北部的暴雪天气过程进行数值模拟和分析, 通过改变下界面的地表状态, 来分析地形对降雪强度、位置和动力场等方面的影响^[2-3], 从而更深刻地认识和理解半岛地形对冷流降雪的影响。

2 天气形势和实况概况

2005 年冬季强降雪过程从 12 月 3 日开始到 22 日结束, 持续时间较长。前期天气背景起因于贝加尔湖地区阻塞形势的建立和维持。12 月初开始, 500 hPa 天气形势场上, 西西伯利亚平原地区高压脊在后部暖平流作用下, 不断发展东移, 在中西伯利亚高地形成闭合高压, 和鄂霍茨克海冷涡、乌拉尔山东部低涡一起构成东亚地区阻塞形势, 维持了近半个月。中西伯利亚高压不断有冷空气随脊前东北-西南向横槽东移南下, 乌拉尔山东部低涡和鄂霍茨克海冷涡随之南下影响我国北方地区。横槽和冷涡带来的强冷空气先后在山东半岛汇合, 造成 12 月上中旬山东半岛暴雪天气, 给人民生活和经济生产造成严重影响。

12 月 3~4 日, 随着低槽及其后部冷空气南下, 半岛北部地区开始出现明显降雪, 其中

收稿日期: 2008-10-28

作者简介: 袁海豹(1981-), 男, 助理工程师, 主要从事短期天气预报业务。

烟台6个人工观测站出现大雪，1个站出现暴雪，威海3个人工站出现20 mm以上强降雪，降雪强度在当地较为罕见。

3 实验结果分析

3.1 参数化设计方案

利用NCAR/Penn State中尺度气象模式MM5V3-7-3，对这次过程做数值模拟。中心点选在烟台站(121.25°E，37.5°N)，大区域为120×120，小区域为118×118. 选用FNL资料为模式背景场，将中国气象局下发的12小时一次的常规探空资料，3小时一次的地面资料利用little_r模块插值到背景场上，对初始场和侧边界进行订正，形成模式的初值场和侧边界。采用lambert投影。模式层顶气压取100 hPa,垂直方向为34个不等距sigma层，积分时间为48h，起始时间为北京时间2005年12月3日早8点,结果输出1小时一次。物理参数的选取见表1。

表1 降雪模拟模式参数设置

	大区域 D1	小区域 D2
水平分辨率	18Km	6Km
显式水汽方案	Mix-phase	Reisner 霰
边界层方案	MRF	MRF
辐射方案	云辐射方案	云辐射方案
地表温度方案	五层土壤模式	五层土壤模式
积云参数化方案	Grell	无

保留地形和渤海进行模拟为A。试验采取两种方案。一是完全除去半岛地形(完全除去半岛东部区域山脉地形)，为试验B；三是屏蔽整个渤海(将渤海海面变为陆地)，为实验C。

3.2 对垂直速度和风场的影响

3.2.1 有山脉地形和渤海时的垂直运动分析

分析得出，最强的上升运动位于850 hPa附近。3日08时开始，850 hPa山东半岛北部沿海和海区的上升速度由≤10 cm/s逐渐增强，到下午14时(见图1a)，可以看到半岛北部沿海出现东西带状的垂直上升运动区，最大上升速度中心位于龙口附近，约为89 cm/s，对应的同时刻的500 hPa为-11.1 cm/s的弱下沉运动区。14时之后，带状上升运动区缓慢南压，向陆地逐步推进(见图1b)，同时上升运动区向上逐步扩展到700 hPa附近。在这一过程中，渤海中部有东北—西南向的上升运动区也正在发展南压。18时，从渤海东移的上升运动区东移到半岛西部地区，最大上升速度中心达到85 cm/s。这时可以看到，东西向的带状上升区将要东移出海。到3日20时(见图1d)，半岛西部的条状上升运动中心已经东移到半岛中部并逆转为近于南-北向，其西部地区又发展出一条带状上升运动区。

到4日02时(见图1e)，两块南-北向的带状上升运动区一起缓慢东移，后部的那条逐

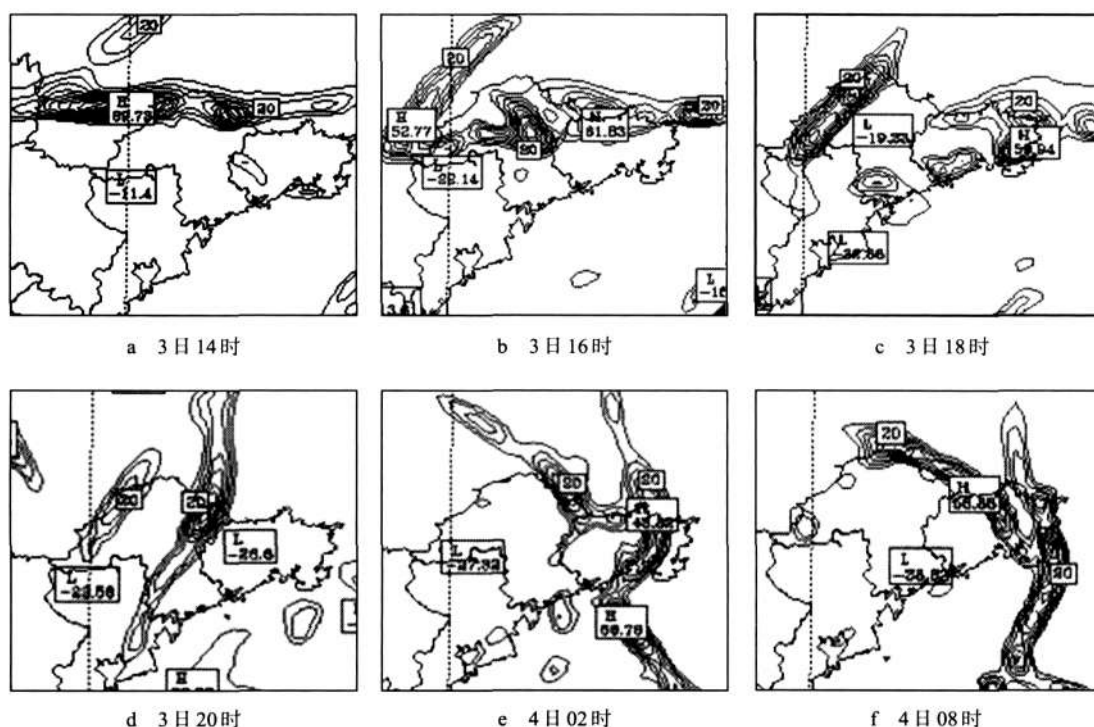


图1 有山脉地形时850 hPa垂直上升速度

渐逆转成西北—东南走向，平行于半岛北部海岸线，与前面的南北向带状上升运动中心相交，并长久地停滞在那里。与强的上升运动区相对应的蓬莱以东到威海地区，3日夜间出现强降雪，其中一直位于强上升运动中心的半岛东部地区，包括荣成、文登两地从3日20时~4日08时的12 h降雪量更是高达17 mm多。

3.2.2 无山脉地形时的垂直速度分析

3日14时图上可看到，与同时刻的有地形的垂直速度区相比(见图2a)无地形时的垂直上升运动区也有两条，但位置相应要略偏南、偏东，上升中心值也相应减小，最大值为75 cm/s，同样的结果见3日16时~20时。3日20时之后，对于半岛北部平行于海岸线的带状垂直上升运动强度要比有地形时弱的多，上升运动区的区域也要小得多。可见山脉地形的阻挡能使半岛北部的上升运动增强。

3.2.3 屏蔽渤海时的垂直速度分析

从模拟结果看，没有形成条状或带状的上升运动区，上升区分布零散无规律，中心值较小，一般在10 cm/s(见图3a-b)。由此可见，冬季海面的加热作用在山脉以北地区气流的上升运动和降雪的形成中起着非常重要的作用。

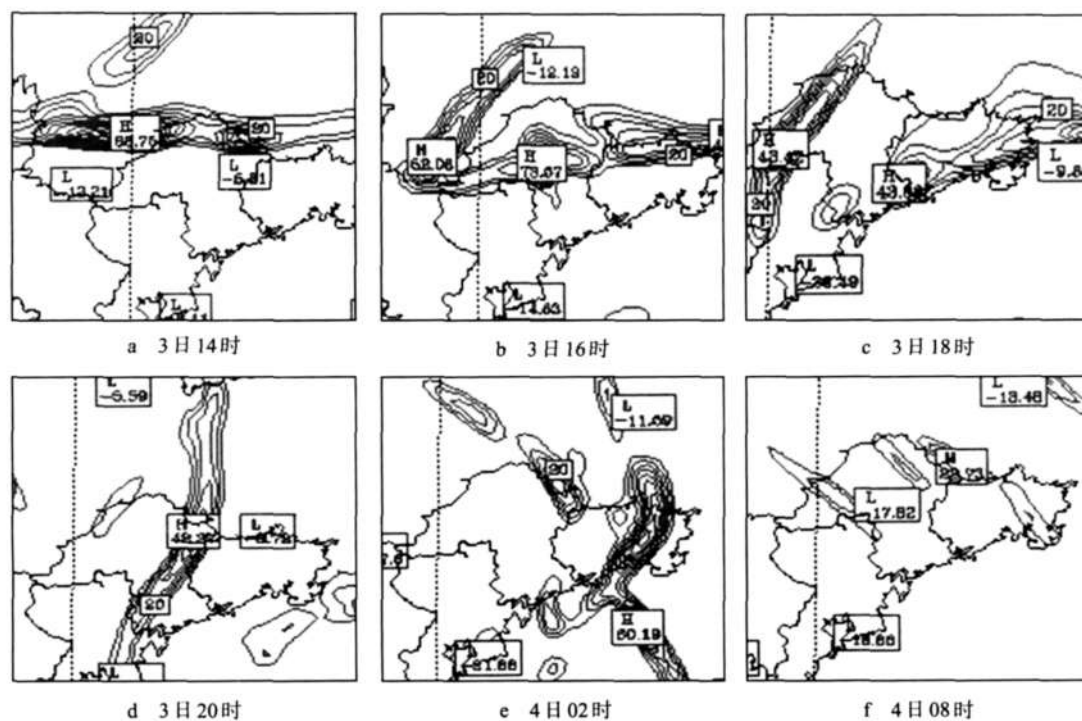


图2 无山脉地形时850 hPa垂直上升速度

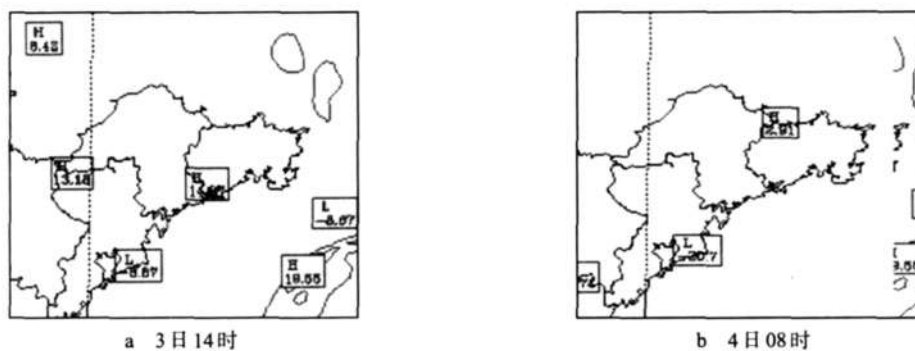


图3 屏蔽渤海时850 hPa垂直上升速度

3.3 对散度场和涡度场的影响

3.3.1 有山脉地形和渤海时的散度场和涡度场分析

各高度层上, 1 000 hPa散度为最大。可看到, 从3日15时开始到20时, 半岛基本在中部地区自西向东出现辐合区, 中心最大值一般在 $-100 \sim -140 \times 10^{-5}/s$ (见图4a), 从3日23时开始到4日08时(见图4b), 在烟台和威海交界处经常存在一个辐合中心, 最大值

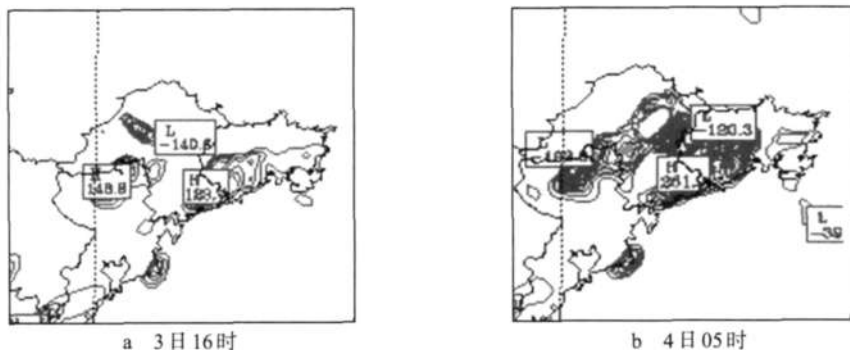


图4 有山脉地形1 000 hPa散度

为 $-190 \times 10^{-5}/s$ 。

从涡度场看，最大涡度也出现在1 000 hPa。3日16时在半岛西部地区出现约 $168 \times 10^{-5}/s$ ，4日04~08时在半岛北部地区出现了 $230 \times 10^{-5}/s$ 以上的正涡度中心值(图略)。由此可见，强降水区基本是与强辐合和正涡度区相对应的。

3.3.2 无山脉地形时的散度场和涡度场分析

无山脉地形时辐合运动最大值相应要比有地形时小得多，3日白天到夜间的最大值仅是 $-60 \times 10^{-5}/s$ 左右。出现辐合区的范围、次数和强度都要比有地形时小得多。同样的，无地形时的正涡度中心值一般都要比有地形时小30%左右。

3.3.3 屏蔽渤海时的散度场和涡度场分析

无渤海时的模拟结果，没有明显的辐合上升和正涡度区。

3.4 降水量分析

保留地形模拟降水结果出现两个降水中心，分别为招远和文登荣成，降水落区与实况基本吻合，但招远这个中心降水量级比实况略偏大(见图5a)。实验B的结果发现降水落区与A相比变化不大，但降水中心略有南移，但降水中心的最大降水量都明显减小(见图5b)。对比试验说明半岛山脉的迎风坡对降水有利，增幅在18%左右。

试验C发现整个半岛无降水(见图5c)，说明渤海对半岛冬季冷流降雪起着决定性的



图5 模拟的过程降水量

作用,冷空气与渤海海气的相互作用是产生降雪启动机制。如果没有渤海,半岛地区冬季特有的冷流降雪很难形成。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 数值模拟实验表明半岛北部的山脉地形对冷流暴雪的落区和强度影响较大,有山脉地形时降雪强度增大,降雪中心略北移;无渤海时没有明显降雪,表明渤海在半岛冬季冷流暴雪中起着至关重要的作用。

(2) 垂直上升运动的强度在有山脉地形要比无山脉地形时要大的多,并且上升运动区域也大;无渤海时上升运动很弱,渤海海面的热力作用对垂直上升运动有重要作用。

(3) 山脉地形存在时散度和涡度都比无山脉地形时要大,无渤海时没有明显的辐合上升和正涡度区。

4.2 讨论

在去掉山脉地形或屏蔽渤海海面之后,相对有真实地形时,一些物理量都有所降低,尤其是屏蔽渤海后,各物理量的变化更为敏感。虽然我们改变地形或者屏蔽渤海后,或者降低了地形的阻挡和摩擦作用,缺少了热源和充足的水汽,但是由于使用的背景场资料是在有实际地形情况下的再分析场,而不是去掉地形或屏蔽渤海后对应的理想场,所以并不能反映在缺少渤海背景下真实的情况。但是,通过这敏感性试验我们可以得到一些非常有用的研究结论,揭示了山脉地形和渤海的存在,对山东半岛冬季的降水起到至关重要的作用。

参考文献:

- [1] 林曲凤,吴增茂,梁玉海等. 山东半岛一次强冷流降雪过程的中尺度特征分析[J]. 中国海洋大学学报.2006, 36 (6):908-914.
- [2] Richard E.Passarelli Jr.and Roscoe R.Braham Jr. The Rle of the Winter Land Breeze in the Formation of Great Lakes Snow Storms. AMS,1981,62:482-492.
- [3] Gregoy S.Forbes and Jonathan H.Merritt.Mesoscaie Vortices over the Great Laks in Wintertime[M]. MWR,1984,112: 377-381.

A Numerical Simulation Study of Effect of Terrain on the Cold-air Snow in Winter in Shandong Peninsula

YUAN Hai-Bao, LIN Qu-Feng, SHI Lei

(1. Yantai Meteorological Office, Shandong Province, 264003 China)

Abstract: By use of the MM5 numerical model, we simulate and analyze the effect of terrain and Bohai Sea on the cold-air snowstorm in northern ShanDong Peninsula on Dec.03-04, 2005. The results show that terrain and Bohai Sea play a very important role in the cold-air snowstorm. The precipitation increases obviously in the upwind direction of mountain, there is no snow falling obviously without Bohai Sea. Also, terrain makes stronger lower layer convergence and positive vorticity area.

Keywords: mountain terrain; Bohai Sea; cold-air snowstorm; numerical test