

1210 号台风“达维”风暴潮分析与数值模拟

韩雪¹, 盛建明¹, 罗锋¹, 刘秋兴², 彭模¹, 梁晓红¹

(1. 江苏省海洋环境监测预报中心, 江苏南京 210036; 2. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘要 1210 号台风“达维”是 1949 年以后登陆我国长江以北地区最强的台风, 给江苏、山东、辽宁等省份带来了较大的损失。在此分析了“达维”台风的过程和风暴增水情况, 利用 ADCIRC 台风风暴潮预报模式对此次过程进行了模拟, 并分析了模拟效果。结果表明, 台风过程最大增水对应的时间不一定是天文高潮; 台风风暴潮数值预报系统对 1210 号台风“达维”的风暴潮过程的预报情况与观测结果比较吻合, 可见该台风风暴潮数值预报系统对此类强度较强且登陆江苏沿海的台风过程的增水过程描述准确, 对江苏沿海台风风暴潮的预报预警有非常重要的参考价值。

关键词 “达维”; 风暴潮; 增水; 数值模拟; ADCIRC 模式

中图分类号 S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)27-09448-04

Analysis and Numerical Simulation of the Storm Surge Caused by Typhoon No. 1210 “Damrey”

HAN Xue¹, SHENG Jian-ming¹, LUO Feng¹ et al (Jiangsu Marline Environmental Monitoring Forecasting Center, Nanjing, Jiangsu 210036)

Abstract No. 1210 typhoon “Damrey” is the strongest typhoon landing in north of Yangtze River after 1949, it has caused a big loss of Jiangsu, Shandong, Liaoning and other provinces. This paper attempts to analyze the process of the typhoon and the characteristics of storm surge based on the data from the marine stations of Jiangsu. Moreover, ADCIRC, the typhoon storm surge prediction model is used to simulate the surge values, and the results are evaluated. The results showed that the corresponding time of the largest water increasing during typhoon process is not necessarily the astronomical tide; the forecasting situation is similar with the observation results, indicating that the numerical prediction system can accurately describe water increasing process of the strong and landing in Jiangsu coastal area typhoon, which has an important reference value for forecasting typhoon storm surge in coastal area of Jiangsu Province.

Key words “Damrey”; Storm surge; Water increasing; Numerical simulation; ADCIRC mode

2012 年第 10 号热带气旋“达维”生成于关岛东北方海面, 7 月 27 日发展为热带低压, 低压中心位于 24.8°N、148.6°E, 向偏西方向移动进入东海, 于 28 日 18:00 起增强为热带风暴并正式编号, 中心位于 26.0°N、146.7°E, 中心附近最大风力 8 级(18 m/s), 继续向偏西方向移动, 强度继续加强。7 月 31 日 08:00 增强为强热带风暴, 8 月 2 日 08:00 升格为台风, 2 日 21:30 左右登陆江苏省盐城响水的陈家港镇, 登陆时中心气压 975 hPa, 中心风力 12 级, 7 级风半径 200 km, 10 级风半径 80 km。8 月 4 日 08:00, 中央气象台将其降格为热带低压, 并在渤海减弱消散。“达维”是近 15 年来首次正面登陆江苏境内的台风, 受此影响, 江苏省中北部沿岸海域出现了 3~4 m 的大浪到巨浪, 江苏辐射沙洲苦水洋浮标测得的最大波高为 3.5 m(图 1); 连云港海域出现了约 180 cm 的风暴增水, 平均风力达 11 级, 瞬时风速达 14 级(图 2)。笔者分析了“达维”台风的过程和风暴增水情况, 利用 ADCIRC 台风风暴潮预报模式对此次过程进行了模拟, 并分析了模拟效果。

1 “达维”过程特点及天气形势分析

1.1 台风特点分析

1.1.1 高纬度生成并西移登陆我国。“达维”是 1949 年以后登陆我国长江以北地区最强的台风, 高纬度生成西行进入黄海登陆我国, 历史少见(图 3)。

1.1.2 强度强、尺度小。2012 年 8 月 1 日 1210 号台风“达维”进入日本西南部海面后强度持续增强, 特别是进入黄海

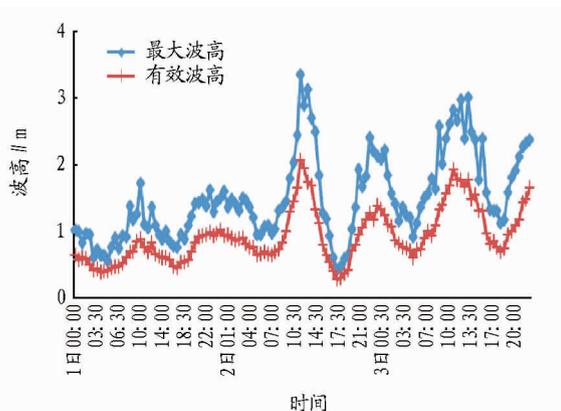


图 1 2012 年 8 月 1~3 日“达维”台风期间江苏辐射沙洲苦水洋浮标测得的最大波高、有效波高

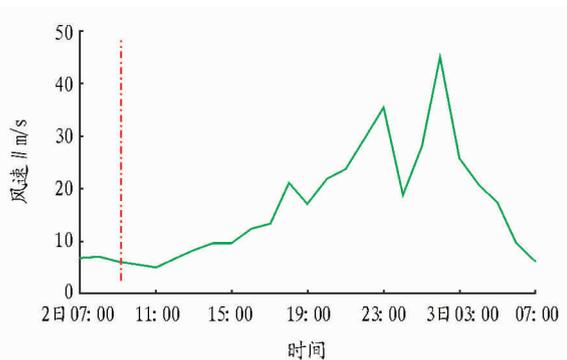


图 2 2012 年 8 月 2~3 日“达维”台风期间连云港站最大风速以后中心风力加强至 40 m/s, 而该台风 7 级风圈半径一直小于 200 km, 比 1209 号台风“苏拉”的 7 级风圈半径(480 km)明显小得多(图 4)。

基金项目 国家海洋公益性行业科研专项(201005006)。

作者简介 韩雪(1982-), 女, 江苏扬州人, 工程师, 硕士, 从事海洋环境预报研究。

收稿日期 2014-08-08

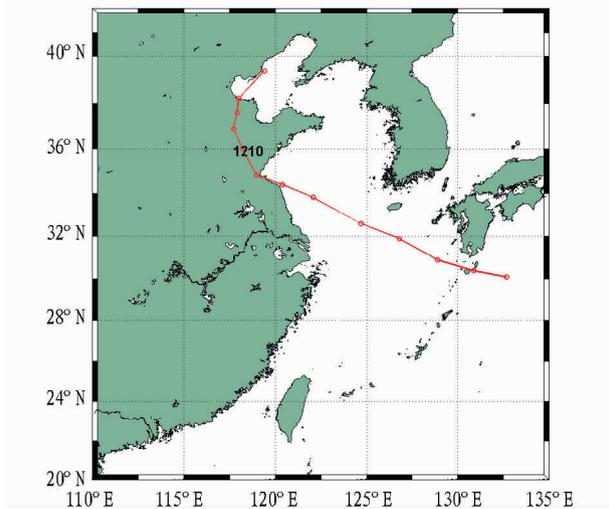
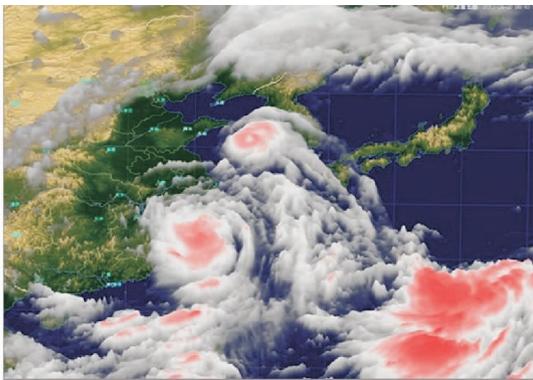


图3 1210号台风“达维”路径

1.1.3 移动速度前慢后快。“达维”生成后,7月28~30日速度较慢,31日起开始加速,并以30~40 km/h的速度快速向西偏北方向移动(图5)。

1.1.4 和1209号台风“苏拉”形成双台风效应。“苏拉”外围的气流使得“达维”以更快的速度登陆江苏,2个台风差不多同时在我国华东沿海登陆(图4)。



注:云图左下位置气旋为“苏拉”,右上位置为“达维”。

图4 2012年8月2日08:30卫星云图

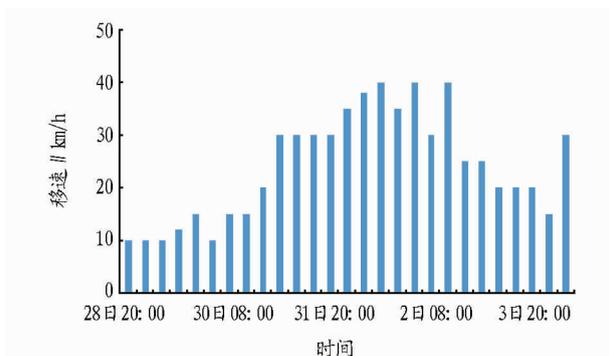


图5 1210台风移速随时间变化

1.2 天气形势分析 1210号台风“达维”生成初期,副热带高压在其北侧,高压脊西伸至100°E附近(图6a₁),台风“达维”在副热带高压边缘东南气流的引导下维持相对稳定的西北偏西路径移动(图6b₁)。从8月2日的500 hPa高空图(图6a₂)分析可知,由于西风槽东移的影响,副热带高压减弱

东退北抬,此时,1209号台风“苏拉”加强为台风,在台湾上空徘徊,在台风内力的作用下向西北方向移动登陆福建省福鼎市秦屿镇沿海一带登陆,而1210号台风“达维”则在副高及“苏拉”的共同作用下飞快地登陆江苏省响水县陈家港镇沿海登陆(图6b₂),登陆时附近最大风力12级。

2 台风“达维”期间江苏沿海风暴增水特征及灾情分析

风暴增水即风暴潮,系指由于强烈的大气扰动,如强风和气压骤变所导致的海面异常升高现象^[1]。分析此次台风影响期间的各测站高潮位与最大增水出现的时间先后顺序(表1)可知,水位达到最高潮位时对应的风暴增水并非过程的最大增水,而出现最大增水时的潮位也未必能达到最高潮位,也就是说高潮位并不一定是和过程最大增水同一时间出现^[2]。1210号台风登陆时,不处于天文潮高潮阶段,没有出现超过警戒潮位的风暴增水(图7),如果台风登陆提前5 h,最大增水赶上高潮时段,对江苏的影响将更为严重。

表1 1210号台风影响潮位站高潮位与最大增水比较

站名	最大潮位			过程最大增水		
	潮时	潮位 cm	最大增水 cm	出现 时间	潮位 cm	最大增水 cm
连云港	8月2日 18:00	600	70	8月3日 00:00	-40	178
吕四	8月3日 00:00	385	80	8月2日 11:00	300	90

台风“达维”期间,江苏省受灾人口402人^[3],损毁房屋233间,水产养殖受灾面积10 210 hm²,损毁码头1座,直接经济损失5.28亿元(表2)。从表2看出虽然台风登陆点为江苏连云港,但1210号台风“达维”对江苏省的灾害影响不如山东等省市大。原因一是由于“达维”的外围云系和冷空气相结合,使得降水加强,加重了灾害。山东等省的灾害是受冷空气和副高西南侧暖湿气流的共同影响,即冷空气降水和台风降水的叠加效应,引起了洪水、泥石流等次生灾害。二是由于江苏省政府及时采取人员转移、船舶回港等措施,转移人口8 760人,有效降低了人员伤亡。

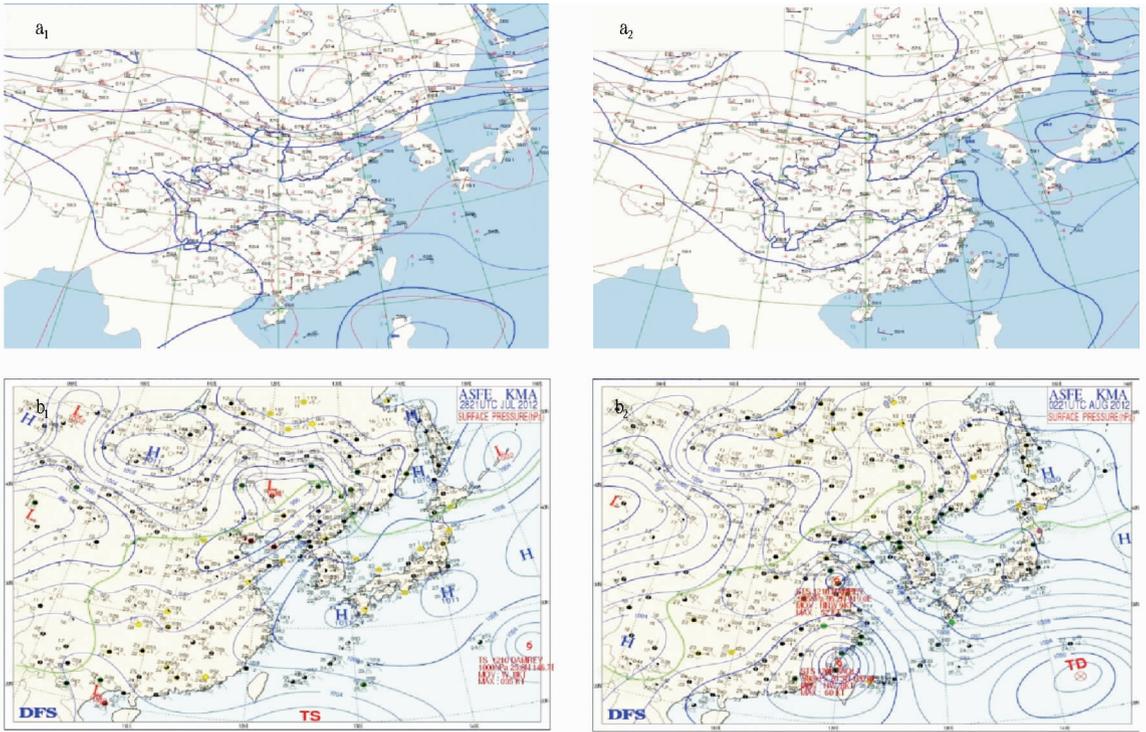
表2 1210号台风“达维”对各省市的灾害影响^[3]

省市	受灾 人口 万人	损毁 房屋 间	水产养殖 受灾面积 hm ²	损毁 码头 座	损毁 船只 艘	直接经 济损失 亿元
江苏省	0.04	233	10 210	1	/	5.28
河北省	23.00	16 000	10 040	2	152	20.44
天津市	/	/	173 000	/	/	0.04
山东省	281.40	17 623	93 160	8	538	15.99

3 数值预报模式检验

针对江苏沿海的水深地形现状,采用了目前被国际上广泛接受的水动力模型——ADCIRC模型模拟了此次台风风暴潮过程,并与风暴潮实况进行了比较。

3.1 数值模式简介 ADCIRC是由美国北卡罗来纳大学的R. A. LUETTICH和美国圣母大学的J. J. WESTERINK教授于1992年研制的基于有限元方法,可以应用于海洋、海岸、河口区域的水动力计算模型^[4-6],该模式有二维和三维2种



注: a₁、b₁ 为 7 月 28 日 20:00; a₂、b₂ 为 8 月 2 日 20:00。

图 6 2012 年 7 月 28 日~8 月 2 日 500 hPa 高空形势(a)和地面形势(b)

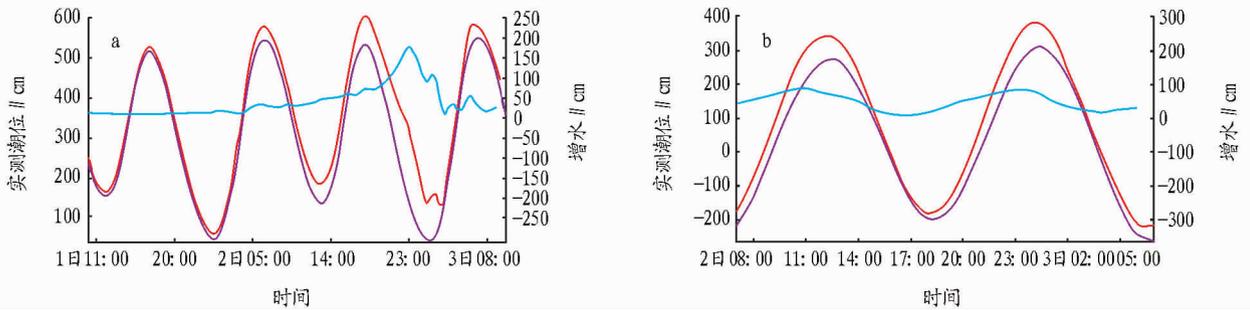


图 7 台风“达维”影响期间的连云港站(a)和吕四站(b)潮位及增水情况实况值

运行方式。该模式采用三角形网格,被美国工程兵部队和美国海军研究实验室广泛应用于各个军港的潮汐、海流和风暴潮预报中。文中采用的是 ADCIRC 二维模型在球坐标系下通过基于垂直平均的原始连续方程和海水动量方程来求解自由表面起伏、二维流速等 3 个变量,即 (ζ, u, v) 。其中,在球坐标系下海水的连续方程为:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial UH}{\partial \lambda} + \frac{1}{R} \frac{\partial VH}{\partial \phi} - \frac{VH \tan \phi}{R} = 0$$

在球坐标系下海水原始动量方程为:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{R \cos \phi} \frac{\partial U}{\partial \lambda} + \frac{V}{R} \frac{\partial H}{\partial \phi} - \left(\frac{U \tan \phi}{R} + f \right) V = - \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left[\frac{P_s}{\rho_0} \right.$$

$$\left. + g(\zeta - \eta) \right] + \frac{\tau_{s\lambda} - \tau_{b\lambda}}{\rho_0 H} + D_\lambda$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{U}{R \cos \phi} \frac{\partial V}{\partial \lambda} + \frac{V}{R} \frac{\partial V}{\partial \phi} + \left(\frac{U \tan \phi}{R} + f \right) U = - \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} \left[\frac{P_s}{\rho_0} + g \right.$$

$$\left. (\zeta - \eta) \right] + \frac{\tau_{s\phi} - \tau_{b\phi}}{\rho_0 H} + D_\phi$$

3.2 模式的检验

台风风暴潮模式主要取决于风场的驱

动,高质量的风场是成功模拟台风风暴潮的基础和关键^[7],在此选用 Holland(1980)台风风场模型^[8]。模型水深数据采用分辨率为 $2^\circ \times 2^\circ$ 的水深数据插值得到,其范围为 $99^\circ \sim 157^\circ E, 5^\circ S \sim 52^\circ N$ 。江苏沿海及其附近水深部分水深数据由最新的水深测量和 908 调查项目得到。该套高分辨率非结构网格的计算区域包括了 504 403 个三角形单元,共计 257 290 个节点。

为了减少甚至避免由于计算区域开边界对模拟结果的影响,在此所做网格的计算边界选取了包括渤海、黄海和部分东海地区的范围,此范围的选取可以将边界条件对风暴潮计算结果的影响减小到最少,且对江苏近岸区域进行了重点加密,考虑到江苏沿海岸线变化较缓慢,同时为了兼顾节省风暴潮数值模式计算时间,故将江苏沿海海域网格分辨率设为 300 m 左右。

计算起始时间为 2012 年 8 月 1 日 08:00,计算未来 72 h 的风暴潮增水情况,从图 8 和表 3 可看出该模式对此次台风风暴潮的模拟效果较好,模拟的日照和连云港最大增水值的

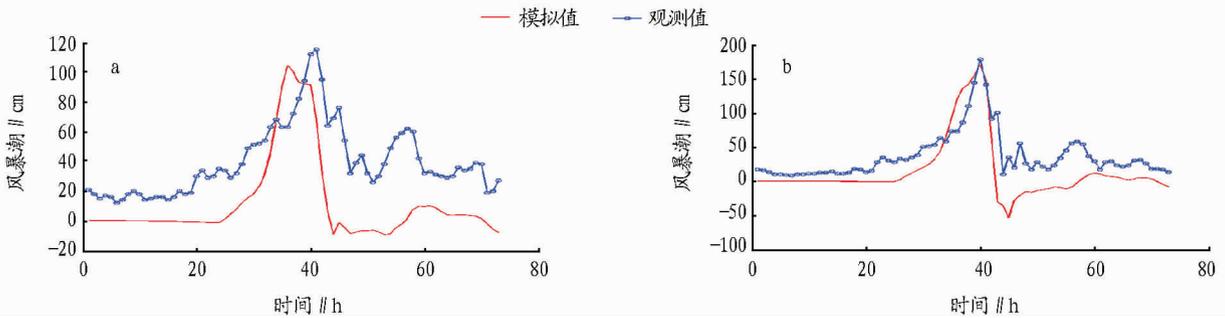


图8 日照站(a)和连云港站(b)过程增水时程曲线

表3 显著台风风暴增水过程预测值与实测值的比较

站名	实测最大增水		预测最大增水		绝对误差/cm	相对误差/%
	数值/cm	时间	数值/cm	时间		
日照	115	8月3日00:00	103	8月2日19:00	12	10.4
连云港	178	8月2日23:00	174	8月2日23:00	4	2.3

时间和强度与实况值较接近。

4 小结和讨论

(1) 1210 号台风“达维”正面登陆江苏沿海,使江苏省遭受较大的经济损失,但由于台风冷空气降水和台风降水的叠加效应以及各种次生灾害的影响,1210 号台风对辽宁等北方省份的影响大于对江苏的影响。

(2) 台风过程最大增水对应的时间不一定是天文大潮,所以作风暴潮预报时不能仅仅简单地将预报的过程最大增水叠加到天文高潮位上,而应该结合预报台风登陆的时间和该时刻的天文潮大小做科学研判。

(3) 台风风暴潮数值预报系统对 1210 号台风“达维”的风暴潮过程的预报情况与观测结果比较吻合,可见该台风风

暴潮数值预报系统对此类强度较强且登陆江苏沿海的台风过程的增水过程描述准确,对江苏沿海台风风暴潮的预报预警有非常重要的参考价值,为江苏的防灾减灾提供了重要的技术支持和保障。

参考文献

- [1] 沙文珏. 风暴潮、浪数值预报[M]. 北京:海洋出版社,2004.
- [2] 王欣睿,孙波涛,陈强,等. 0606 号台风“派比安”风暴潮特征分析与总结[J]. 海洋预报,2008,25(2):99-105.
- [3] 2012 中国海洋灾害公报[R]. 北京:国家海洋局,2012.
- [4] BLAIN C A, WESTERINK J J. The influence of domain size on the response characteristics of a hurricane storm surge model[J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99(9):18467-18479.
- [5] BLAIN C A, WESTERINK J J, LUETTICH J R. Grid convergence studies for the prediction of hurricane storm surge[J]. International Journal For Numerical Methods In Fluids, 1998, 26:369-401.
- [6] BUNYA S, WESTERINK J J, YOSHIMURA S. Discontinuous boundary implementation for the shallow water equations[J]. Int J Number - Meth Fluids, 2005, 47:1451-1468.
- [7] 傅赐福,董剑希,吴少华,等. 渤海典型温带风暴潮数值模拟及改进实验[J]. 海洋预报,2011,28(5):1-8.
- [8] HOLLAND G J. An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes [J]. Mon Wea Rev, 1980, 108:421-427.

(上接第 9447 页)

滴的总质量由 11 76.3 kt 减小至 549.2 kt,减少约 53%,冻滴质量减小主要原因是冻滴碰并过冷水云、雨水及其他粒子的增长量明显减小,特别是碰并雨水产生的冻滴约减小 541.7 kt。催化后冻滴个数增加了 9.0×10^{14} 个,约为非催化云的 2 倍。催化云中冻滴数量增加的主要原因是由于冰晶和雪浓度的大量增加,使尺度较小的过冷雨滴发生接触冻结,活化 AgI 粒子直接与雨滴的接触冻滴。催化云中冻滴总质量减小,冻滴的平均质量和直径的减小,致使霰向雹转化的比例明显降低(表 5)。而 60% 以上冰雹均来自冻滴的转化过程,因此冰雹的总质量和数量均有明显减小,另外还可以看出,冰雹碰并过冷水云的减小也是冰雹总质量减小的主要原因之一。

从以上分析可知,催化使云中冰晶和雪的质量及数量明显增加,冰晶、雪向霰的转化比例增大,转化形成霰的数量和质量均有所增加;霰雹转化比例增加,实际转化成冰雹的质量和数量均有所增加,但由于总霰量及转化比例小,霰量的增加非常有限;冻滴向霰的转化是冰雹生成及质量增加的主要过程,催化后冻滴向霰的转化比例减小致使霰总量的大幅度减小。

5 总结

利用三维冰雹云模式对山东的一次冰雹过程进行了数值模拟,分析了成雹机制并研究了催化防雹。结果表明,冻滴和霰均可以转化成冰雹,地面出现降雹前,霰冻滴数量相差不多,但冻滴向冰雹转化的比例比霰大得多,冰雹主要以冻滴为胚胎。催化使冰晶和雪的质量数量均有所增加,向霰转化的比例增加,霰的质量数量有所增加,霰向冰雹转化的比例有所增加,但由于霰总量及转化比例的有限,对冰雹总形成影响不大,冰雹主要以冻滴为核心增长,催化使冻滴质量减小,数量增加,从而向冰雹转化的比例明显降低,因而使冰雹数量和质量上均减小,催化达到了防雹效果。

参考文献

- [1] 巢纪平,周晓平. 积云动力学[M]. 北京:科学出版社,1964.
- [2] 孔凡轴. 冰雹云三维数值模式模拟研究[D]. 北京:中国科学院大气物理研究所,1991:1-155.
- [3] 洪延超. 三维冰雹云催化数值模式[J]. 气象学报,1998,56(6):641-651.
- [4] 洪延超. 冰雹形成机制和催化防雹机制研究[J]. 气象学报,1999,57(1):30-44.
- [5] 肖辉,王孝波,周非非,等. 强降水云物理过程的三维数值模拟研究[J]. 大气科学,2004,28(3):385-404.