

# 台风麦莎渤海转向的可预报性研究

高拴柱<sup>1</sup> 孟智勇<sup>2</sup> 杨贵名<sup>1</sup>

(1. 国家气象中心,北京 100081; 2. 北京大学)

**提 要:** 利用 MM5 模式研究了 2005 年第 9 号台风“麦莎”在渤海向东北转向路径的可预报性。试验用不同的积云参数化方案、不同的预报时效分别从确定性和集合预报角度对“麦莎”在渤海向东北方向的转向过程做了模拟。结果表明,“麦莎”在渤海的转向可预报时效为 48 小时左右。不同的积云参数化方案对台风麦莎路径的 48 小时预报结果显示台风均转向东北,预示“麦莎”基本不会直接影响北京。60 和 72 小时的预报结果显示, Kuo 和 Betts - Miller 积云参数化方案的台风模拟路径与实况比较接近,而 Grell 和 KeinFritch 积云参数化方案的台风模拟路径却偏向于实际台风位置的西北,台风有可能直接影响北京。研究表明,对于台风麦莎而言,时效超过两天的转向预报可信度较低, Kuo 和 Betts - Miller 积云参数化方案的预报准确性较高。

**关键词:** 台风麦莎 路径 集合预报 可预报性

## Study on the Predictability of the Recurvature of Typhoon Matsa (0509) in Bohai

Gao Shuanzhu<sup>1</sup> Meng Zhiyong<sup>2</sup> Yang Guiming<sup>1</sup>

(1. National Meteorological Center, Beijing 100081; 2. Peking University)

**Abstract:** MM5 through using various cumulus parameterization schemes and various leading times from both deterministic and ensemble forecast points of view. The results show that the simulated tracks with 48h leading time at 1200 UTC on 7 Aug. 2005 with various cumulus parameterization schemes all turn to the northeast and consequently will not have a direct impact on Beijing. When the leading time extends to 60 and 72 hours, the simulated tracks with the predictability of the recurvature of typhoon Matsa (0509) in Bohai on August 9, 2005 was examined with Kuo and Betts-Miller cumulus parameterization schemes are still close to the observations,

本文由国家自然科学基金 NSFC40730948 和国家重点基础研究计划 2009CB421504 资助。

收稿日期: 2008 年 10 月 10 日; 修定稿日期: 2008 年 12 月 11 日

while the simulated storms with Grell and Kain-Fritsch schemes deviate to the northwest of the real track and thus may affect Beijing directly. The better performance of Kuo and Betts-Miller schemes in predicting the sudden turning of Matsa in Bohai is also confirmed in the ensemble forecast. An uncertainty of forecast with Kuo and Betts-Miller cumulus parameterization schemes was observed to be smaller than that with Grell and Kain-Fritsch schemes. The predictability of Matsa sudden turning to the northeast at Bohai could be around 2 days.

**Key Words:** Matsa typhoon track ensemble forecast predictability

## 引 言

在业务部门的台风降水预报中,路径数值预报是一个很重要的参考依据。如果单纯依靠路径数值预报而过早地预报台风降水,则有可能导致预报失败。2005 年 9 号台风麦莎北上过程中北京暴雨预报的落空就是一个典型的例子<sup>[1]</sup>。

“麦莎”于 2005 年 7 月 31 日 12 时(世界时,下同)在菲律宾以东洋面上生成,8 月 2 日 00 时加强成为强热带风暴,2 日 18 时发展为台风,5 日 19 时 40 分在浙江省台州市玉环县登陆,登陆时中心最低气压为 950hPa,近中心最大持续风速  $45\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。“麦莎”的登陆在沿海地区造成了强降水<sup>[2]</sup>。“麦莎”登陆以后继续向西北方向移动,强度逐渐减弱。7 日 00 时在江苏和安徽交界处开始转向东北,12 小时后基本上向北运动。8 日 06 时进入渤海后路径再次发生转折,开始向东和东北方向运动,并于 8 日 23 时 10 分在辽宁省大连市龙王塘镇再次登陆,登陆时中心最低气压为 995hPa,近中心最大持续风速  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。“麦莎”变为热带低气压并逐渐消失,整个过程约为 200 小时。

“麦莎”的路径数值预报,尤其是登陆后的北上路径趋势,各预报中心分歧较大。“麦莎”登陆后路径发生了两次突然转折。第一次是 7 日 00 时在安徽突然折向江苏。第二次是在渤海转向东北。8 月 6 日在“麦莎”行

至安徽省境内时,欧洲中心预测“麦莎”将在渤海湾上西移,日本则预测台风将东移。在这种情况下,气象部门倾向于欧洲中心,预报“麦莎”将于 8—9 日正面袭击北京,北京地区将降暴雨,局部将有 100mm 以上的大暴雨。一时间,京城如临大敌。京郊 4 万人待命转移,17 座病险水库空库迎汛,1000 辆公交救援客车紧急待命,地铁做好了临时封站、短时停运的准备,卫生部门紧急发布汛期水污染预警……此外,北京市还调整成立了 72 个防汛指挥部,全市动员防汛抢险队伍 30 万人,其中驻京部队 3.5 万人,专业抢险队伍 100 多支。首都北京全城严阵以待。然而,“麦莎”却减速并在渤海湾转向了东北,实际的降水开始时间明显偏晚,过程降水量也显著偏少<sup>[1]</sup>。于是天气预报的可信度在京城百姓的心中变为一个大大的问号。李津等<sup>[1]</sup>总结了此次暴雨预报失误的原因,一个重要因素就是过早地依赖路径数值预报。那么,路径数值预报在这个个例中的可信度到底怎么样呢?

一般来讲,大气的可预报性是指大气中有多少成分是可以预测的以及确定性预测的时效有多长。大气和其它不稳定动力系统一样,其可预报性是有限的,即使在模式完美无缺和初始条件近乎完全正确的条件下也是如此<sup>[3]</sup>。大气的可预报性是随尺度变化的,对波数小于 40 的波长而言,大气的可预报性为 2 周左右<sup>[4]</sup>;由于中尺度模式中存在着复杂的不同尺度间的相互作用,其误差的增长机

制还不是十分清楚。中尺度系统的可预报性问题仍是一个尚未解决的问题。1994年,肖天贵等<sup>[5]</sup>利用1949—1987年10~45°N、100~170°E范围内1402条台风路径,对不同季节、不同地理区域、正常路径和异常路径,比较系统地分析了西北太平洋台风路径的可预报性问题,指出台风路径的可预报时间尺度:异常路径为1~2天,正常路径为3~5天。Aberson和Samson 2002年的研究也证实了这一点<sup>[6]</sup>。本文试图通过确定性和集合预报试验对台风麦莎路径在渤海折向东北的可预报性作初步的探讨。

## 1 模式、资料和方法

所用模式为宾夕法尼亚州立大学和美国国家大气研究中心联合研制的非静力中尺度模式MM5第三版本。模式水平方向格点数为120×190,中心点在38°N、115°E,垂直方向27层,格距为30km,物理参数化方案包括Grell积云对流参数化方案,霰(Reisner2)云物理方案,ETA Miller-Yamada行星边界层方案。模式初始场和边界采用1°×1°的NCEP全球预报系统GFS的最后分析资料(FNL)。

集合预报初始集合通过MM5三维变分方法来产生<sup>[7]</sup>。MM5三维变分方法通过极小化分析场与观测和背景场的距离来得到最佳分析场。为了误差极小化计算上的简便,模式变量首先转换为误差不相关的控制变量。MM5的控制变量包括流函数、速度势、非平衡气压和比湿。利用MM5三维变分方法来产生扰动,基本思路是把一组随机产生的控制变量通过经验正交函数和递归滤波转换为模式变量。由于三维变分采用的是增量形式,产生的模式变量增量与扰动基本场叠加就形成了扰动集合样本<sup>[7-8]</sup>。具体来讲,首先遵从平均值为零、标准偏差为1的正态

分布随机产生一组控制变量,然后随机控制变量通过经验正交函数分解和递归滤波转换回模式空间,风和气压平衡部分的扰动量通过线性平衡方程由流函数和势函数求出。总气压的扰动为平衡和非平衡两部分的和。温度的扰动由静力学方程得到。其它变量如垂直速度、云水、雨水、雪水和软雹混合比不做扰动。由于控制变量是随机产生的,重复N次该计算过程即可得到N个样本。这样产生的集合的样本方差是可调的。为了估计台风路径预报的可信度,所用的扰动标准偏差在观测误差范围之内。风的标准偏差约为 $1\text{ m s}^{-1}$ ,温度的标准偏差约为1K。

集合预报样本数的选择目前来讲没有一个固定的标准,从理论上讲,样本数越多越好。考虑到集合的合理性以及计算条件的限制,本文集合样本数为20。

## 2 数值试验和结果分析

### 2.1 确定性预报试验

确定性预报是指单一模式的预报。在确定性预报中,预报模式对不同的物理过程采用某一可选的次网格物理过程参数化方案。各种物理过程参数化方案的不确定性是模式误差的一个重要来源。

积云对流参数化实质上是反映湿对流的统计效果以得到一个闭合的天气预报系统,在中尺度模式中积云尺度和中尺度之间较小的能谱差距使积云对流参数化问题面临很大的困难<sup>[9]</sup>,因而成为中尺度数值预报最大的误差来源<sup>[10]</sup>。积云对流参数化方案一般包括对流触发机制、闭合假定和云模式三个方面。对这三个方面不同的处理形成了多种不同的方案。MM5有7种方案可供选择,在此选取两种隐式描述对流过程的对流调整方案[Anthes-Kuo (“Kuo”)和Betts-Miller (“BM”)]和两种利用云模式直接模拟对流

过程的质量通量方法[ Kain-Fritch (“ KF”)和 Grell]。Kuo 和 BM 方案是把不稳定大气往一个稳定的参考大气温度和湿度廓线调整,不考虑对流的具体结构,因而也就不包含下沉气流。Grell 和 KF 方案则显式地考虑对流结构,因而包含下沉气流。

利用这四种不同的积云对流参数化方案,对模式分别从 6 日 12 时、7 日 00 时和 7 日 12 时作 72、60 和 48 小时的积分到 9 日 12 时来考察不同积云参数化方案和不同的预报时效对台风在渤海湾转向的模拟效果。台风的模拟路径(图 1)表明,对 48 小时的预报而言,四种不同的积云参数化方案对台风的路

径影响比较类似,模拟台风在渤海均转向东北向胶州半岛移动。当预报时效延长至 60 小时时,各方案出现了比较大的分歧。对流调整方案即 Kuo 和 BM 方案的预报与其 48 小时的预报比较接近。而显式描述对流的 Grell 和 KF 方案的模拟台风转向了西北偏北,60 小时的路径预报误差接近 500km。72 小时的预报与 60 小时的预报结果类似。这些模拟结果表明,台风在渤海湾的转向在 48 小时以上时效的预报误差较大。“麦莎”在渤海湾转向东北可能仅有两天的可预报性。Kuo 和 BM 方案对“麦莎”渤海转向的可预报性要大于两天。

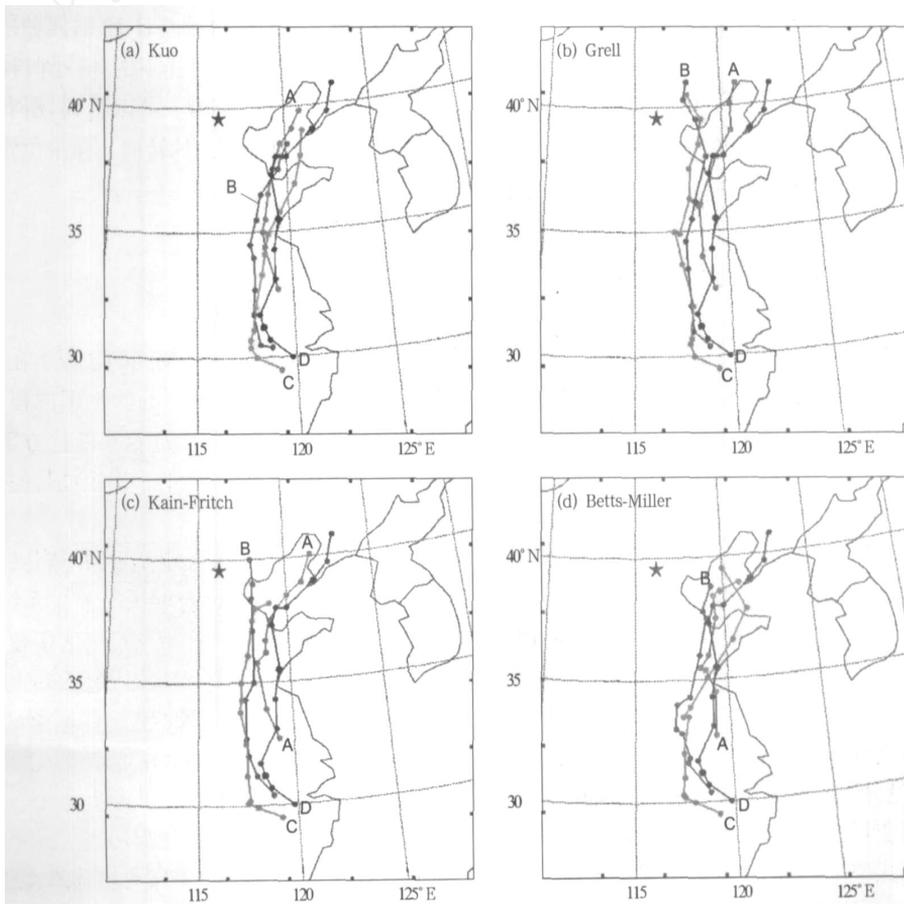


图 1 各方案不同时效的 6 小时间隔的台风模拟路径

A 为从 7 日 12 时开始的 48 小时模拟路径, B 代表从 7 日 00 时开始的 60 小时模拟路径, C 代表从 6 日 12 时开始的 72 小时模拟路径, D 代表从 6 日 12 时到 9 日 12 时的 6 小时间隔的实际路径。星号代表北京所在位置

为了进一步研究不同时效和不同方案所得到的不同路径的原因,分析了各试验在 8 日 12 时台风正处于向东北转向的转折点上时的 500hPa 位势高度的分布特征,发现 KF 和 Grell 方案中副热带高压伸展范围明显比 Kuo 和 BM 方案的偏西偏北(图 2),因而在其引导

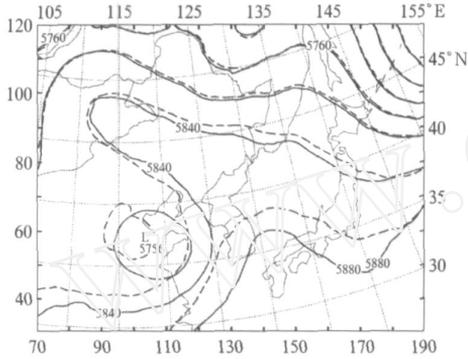


图 2 始于 7 日 00 时的 8 日 12 时的 500hPa 模拟位势高度 (gpm) 实线为 Kuo 方案,短划线为 KF 方案

下台风的路径获得了更多的西北分量。

以上结果表明,时效为 60 和 72 小时的不同积云参数化方案的模拟结果分歧较大。虽然事后分析表明 Kuo 和 BM 的结果比较接近台风的实际路径,然而实际业务预报中如何判断哪一个预报更可信呢? 检查集合预报的发散度就是一种比较有效的方法。

### 2.2 集合预报试验

利用第 1 节所述的方法,以 6 日 12 时、7 日 00 时和 7 日 12 时的美国 NCEP 最后分析资料 FNL 为基础,分别产生了 20 个样本的集合,并分别积分 72、60 和 48 小时。图 3 给出了始于 7 日 12 时积分到 9 日 12 时四种积云参数化方案的所有集合样本的 48 小时模拟台风的中心位置分布图。可以看到,所有方案都报出了台风向东北的转向。预报位置

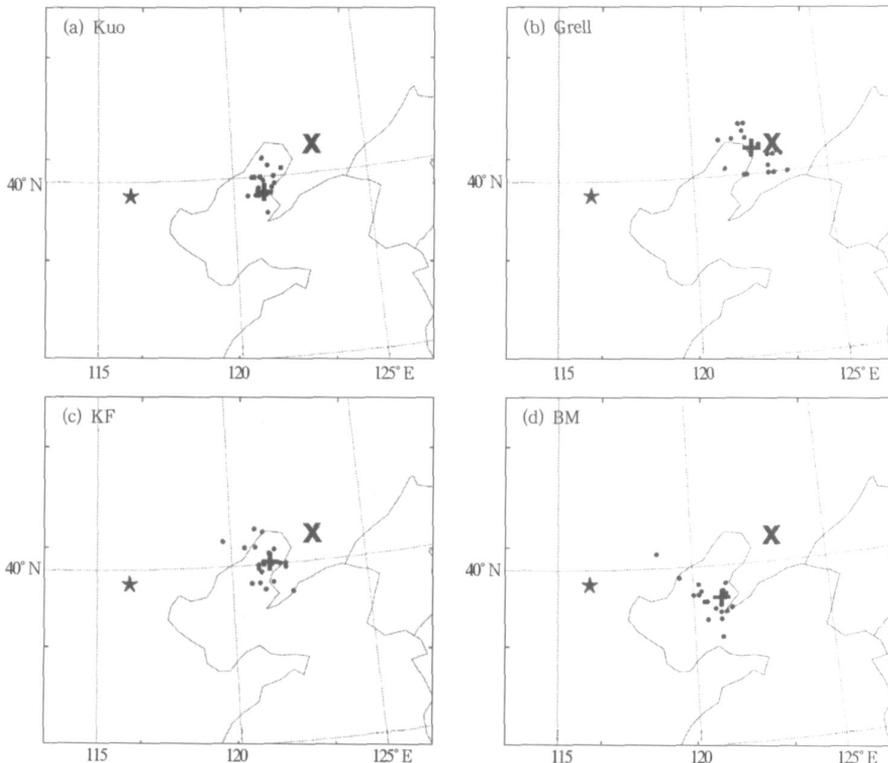


图 3 四种方案模拟的时效为 48 小时的 9 日 12 时的集合各样本的台风位置(圆点)、集合平均的台风位置(加号)、台风的实际位置(叉号)以及北京所在位置(星号)

都比较集中,四个方案的发散度或位置标准差都小于 100km,其中 Kuo 方案的 48 小时集合预报位置标准差仅为 45km。另外,四种方案中所有的样本都位于集合平均位置的大约 200km 以内,北京显然是个离群点。因而“麦莎”不太可能直接影响北京。该结果表明麦莎在渤海湾的转向可以提前 48 小时做出较为准确的预报。

当预报时效延长至 60 小时(图 4),所有四种方案的 9 日 12 时的预报位置的发散度都有所增加。Grell 和 KF 方案增加了将近一倍(表 1),都大于 120km。Kuo 和 BM 方

案的发散度略有增加,但仍然小于 100km。这说明 Kuo 和 BM 方案的预报可信度要高于 Grell 和 KF 方案。Kuo 和 BM 方案 60 小时预报集合平均位置虽比 48 小时偏南,但仍模拟出了向东北的转向,北京的位置依旧明显在集合之外。而 Grell 和 KF 方案的 60 小时集合预报却偏向了西北方向,北京的位置已和其外围样本的模拟台风位置没有什么区别,也就是说北京已包含在集合预报范围之内,台风有了直接影响北京的可能。类似的特征同样可以从始于 6 日 12 时的 72 小时预报结果(图略)中看到。

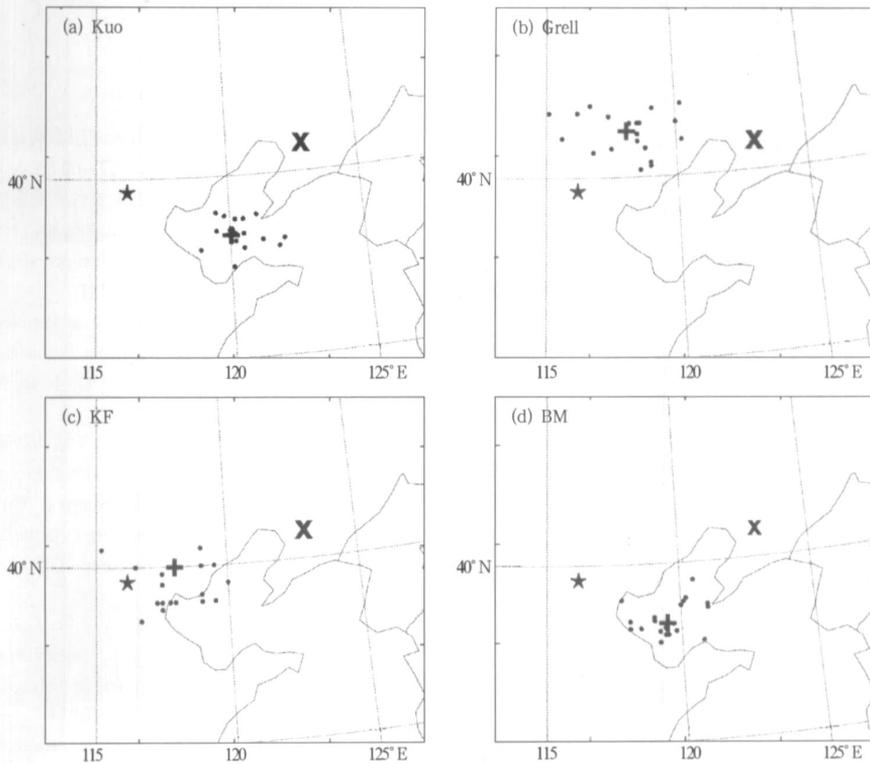


图 4 四种方案模拟的时效为 60 小时的 9 日 12 时的集合各样本的台风位置(圆点)、集合平均的台风位置(加号)、台风的实际位置(叉号)以及北京所在位置(星号)

本节的试验结果进一步证明,就路径走向而言,Kuo 方案的模拟效果最好,且可信度比较高。同样基于对流调整的 BM 方案的模拟效果仅次于 Kuo 方案。这两种方案均

预示“麦莎”影响北京的可能较小。另外两种显式云模式方案的 60 和 72 小时的模拟台风路径比较偏向西北方向,但可信度不大。根据 48 小时各方案的一致性预报可以看出,

表 1 各参数化方案在 9 日 12 时不同预报时效的单一预报  
台风中心位置误差以及集合平均台风中心位置误差和标准差(单位: km)

	Kuo			Cell			KF			BM		
	48h	60h	72h	48h	60h	72h	48h	60h	72h	48h	60h	72h
集合预报误差	209	354	329	73	479	486	184	494	493	288	413	294
单一预报误差	307	362	262	200	490	491	157	497	469	276	412	318
标准差	45	73	81	87	138	134	68	123	113	71	94	90

“麦莎”在渤海湾的右折的可预报性仅为两天左右,与肖天贵等<sup>[5]</sup>的观测研究结果一致。

### 3 结论和讨论

(1) 利用不同的积云参数化方案对台风麦莎路径的模拟有着明显的不同。在这个个例中, Kuo 和 BM 两种对流调整方案的模拟效果好于 Grell 和 KF 方案。

(2) 集合预报结果表明,在这个个例中, Grell 和 KF 方案样本的预报位置发散度比 Kuo 和 BM 方案的大,因而 Grell 和 KF 方案的预报可信度低于 Kuo 和 BM 方案,而且其可信度随预报时效的增加迅速减小。Kuo 和 BM 方案的发散度随时效增加变化不明显,其可信度比较大而且稳定。

(3) 北京对 Kuo 和 BM 方案的任何时效的集合位置来讲都是一个离群点,对 Grell 和 KF 方案的 48 小时的预报也是一个离群点。因而如果做两天以内的预报,“麦莎”基本不会直接影响北京。60 和 72 小时的预报结果 Kuo 和 BM 方案中台风仍转向东北,而 Grell 和 KF 方案中台风表现出直接影响北京的可能性,但其可信度低于 Kuo 和 BM 方案的结果。

总而言之,“麦莎”在渤海湾的右折可预报性约为两天。实际业务预报中需要考虑的因素很多,作为首都的北京市关系重大,这使得预报员在预报决策中尤其要慎重考虑。提前 60~72 小时预报“麦莎”可能影响北京是有依据的,但是基于本来就有很大不确定性的路径预报之上的降水预报不确定性更大,如果能够根据后期的形势预报加以调整效果会好很多<sup>[1]</sup>。

最后想要指出的是,不能仅凭一个个例试验的结果而得到 Kuo 和 BM 方案的结果好于 Grell 和 KF 的普遍结论。不同积云参数化方案的效果还和模式分辨率的高低以及所研究的天气系统有着密切的关系。另外,通过对台风向东北或西北转向的原因分析比较初步,下一步计划通过资料同化手段对“麦莎”在渤海的折向机制作进一步的研究。

### 参考文献

- [1] 李津,王华,郭金兰. 关于台风麦莎影响北京预报失误的思考[J]. 气象, 2007, 33(7): 60-66.
- [2] 何立富,尹洁,陈涛,等. 0509 号台风麦莎的结构与外围暴雨分布特征[J]. 气象, 2006, 32(3): 93-100.
- [3] Lorenz, E. N., Deterministic non-periodic flow[J]. J. Atmos. Sci. 1963, 20: 130-141.
- [4] Simmons, A. J., Mureau, R., & Petroligis, T.. Error growth and predictability estimates for the ECMWF forecasting system[J]. Q. J. R. Meteorol. Soc. 1995, 121: 1739-1771.
- [5] 肖天贵. 西太平洋台风路径动力学结构的研究[D]. 南京气象学院研究生毕业论文, 1994.
- [6] Aberson, S. D., and C. R. Sampson. On the Predictability of Tropical Cyclone Tracks in the Northwest Pacific Basin[J]. Mon. Wea. Rev. 2003, 131: 1491-1497.
- [7] Barker, D. M., W. Huang, Y. - R. Guo, et al. A three-dimensional variational data assimilation system for MM5: Implementation and initial results [J]. Mon. Wea. Rev. 2004, 132, 897-914.
- [8] Barker, D. M.. Southern high-latitude ensemble data assimilation in the Antarctic mesoscale prediction system[J]. Mon. Wea. Rev., 2005, 133: 3431-3449.
- [9] Cotton, W. R., and R. A. Anthes. Storm and cloud dynamics[M]. Academic Press, 1989: 883.
- [10] Molinari, J., and M. Dudek. Parameterization of convective precipitation in mesoscale numerical models: a critical review[J]. Mon. Wea. Rev., 1992, 120: 326-344.