



# 台风“天鹅”对“莫拉克”台风暴雨增幅影响的模拟分析

## 摘要

就2009年8月台风“天鹅”对“莫拉克”台风暴雨增幅的影响问题进行客观分析,并通过WRF数值模拟试验的方式进行研究探讨.利用NCEP/NCAR客观再分析资料分析发现“莫拉克”台风从“天鹅”台风环流中获取正涡度和水汽供应,有利于其台风强度的长期维持,是造成台湾地区超强降水的重要条件之一.进一步运用WRF数值模式对剔除“天鹅”台风的敏感性试验进行诊断分析,发现“天鹅”台风向“莫拉克”台风环流中有正涡度及水汽供应,与客观分析较为一致,最终估算出“莫拉克”台风在台湾地区南部造成的超强降水中有近三成来自于“天鹅”台风的动力和水汽贡献.

## 关键词

莫拉克; 天鹅; WRF 模式; 台湾暴雨

中图分类号 P437

文献标志码 A

收稿日期 2014-05-12

资助项目 水利部公益性行业科研专项基金(20111033)

作者简介

刘俊杰,男,硕士生,研究方向为水文气象. junjie.liu.china@foxmail.com

1 南京信息工程大学 应用水文气象研究院, 南京, 210044

2 南京信息工程大学 水文气象学院, 南京, 210044

3 浙江省余姚市气象局, 余姚, 315400

## 0 引言

我国是遭受台风影响最为严重的国家之一,在台风影响地区常有暴雨或特大暴雨出现,从而引发山体滑坡、泥石流和突发性洪水等严重灾害,其破坏性极强,对社会生活及人民生命财产安全造成极大的威胁,对社会经济建设带来巨大影响.2009年8月8日的08号台风“莫拉克”在台湾地区的超强降水过程百年不遇,其降水量刷新了台湾中南部多处站点历史记录,其中24 h最大降雨量达1 623 mm,过程总雨量3 059 mm;在阿里山地区引发严重山洪、泥石流的灾害,造成高雄甲仙乡小林村500多人遇难的惨剧.在分析“莫拉克”超强降水成因方面,国内外的专家学者已经做了许多分析和研究,总结出很多影响“莫拉克”台风超强降水的因素,如台湾地区中央山脉地形影响;与“莫拉克”台风同时存在的位于南海的“天鹅”台风起到了水汽“接力”作用<sup>[1-2]</sup>以及“莫拉克”期间南海夏季风的异常偏强也有利于其西南水汽通道上的水汽输送等.林炳章等<sup>[3]</sup>运用SDOIF方法(分时段地形增强因子法)<sup>[4]</sup>将“莫拉克”在台湾超强降水分割为地形雨和辐合雨,初步认为阿里山地形因素对“莫拉克”台风降水的影响贡献在45%左右.本文就“天鹅”台风对“莫拉克”台风超强降水水汽“接力”作用方面进行研究,运用数值模拟的方法进行剔除“天鹅”台风的敏感性试验,并重点探讨台风“天鹅”对“莫拉克”在台湾地区超强降水增幅影响的贡献.

## 1 资料介绍

1) 台湾中兴工程顾问公司(Sinotech Engineering Services, Ltd.)提供的台湾全区243站“莫拉克”影响期间实测降水资料;2) 驱动WRF模式运行所用的NCEP/NCAR每日4次的GFS的全球客观分析场资料;3) 上海台风研究所发布的西太平洋台风最佳路径资料;4) 美国JTWC(Joint Typhoon Warning Center)发布的西太平洋台风最佳路径资料;5) NCEP/NCAR客观再分析资料<sup>[5-6]</sup>

## 2 “莫拉克”与“天鹅”台风概况

### 2.1 台风移动路径及发展概况

热带风暴“天鹅”于2009年8月3日20时(北京时,下同)编号,

5日6时20分在广东台山沿海登陆,6日凌晨减弱为热带低压,7日下午又加强为热带风暴,9日6时再次减弱为热带低压,9日17时停止编号.0908号台风“莫拉克”于2009年8月4日生成,5日加强为台风,7日夜间在台湾花莲登陆,9日下午在福建霞浦再次登陆,11日20时减弱为低压,13日14时取消编号<sup>[7]</sup>.图1为“天鹅”和“莫拉克”台风的移动路径.

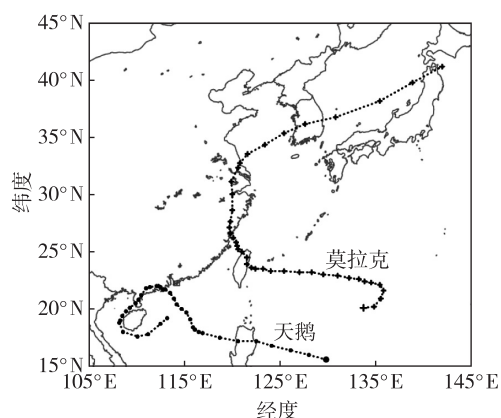


图1 台风“莫拉克”和“天鹅”移动路径  
Fig. 1 Tracks of typhoon Morakot and Goni

## 2.2 强降水及受灾情况介绍

热带风暴“天鹅”具有移动路径曲折多变、移动速度缓慢、影响时间长、累积降雨量大的特点,其中登陆后滞留粤西地区近50 h,是广东省有热带气旋记录以来最长陆地滞留时间.受“天鹅”影响,广东中西部、港澳、广西南部、福建中北部沿海以及海南先后出现暴雨到特大暴雨,过程雨量达50~500 mm,其中海南中北部和广东西部的许多地区累积雨量达500~750 mm,以台山市北陆镇石井水库的755.5 mm为最大.台山、阳江、徐闻、海口和昌江等地均出现日雨量达300~450 mm的情况,持续强降水造成了严重的洪涝灾害和地质灾害.据广东省气象监测记录显示,3—8日20时全省大部分市县都录得25 mm以上的累积降水,平均降水量达108.9 mm,为2009年最大热带气旋过程降水,阳江东平镇录得全省最大累积雨量达703.4 mm,全省有309个气象站录100 mm以上降水.热带风暴“天鹅”在广东省共造成280多万人受灾,死亡7人,直接经济损失达11亿多元人民币<sup>[8]</sup>.在海南,受“天鹅”影响,6日00时—7日08时,北部和西部共有113个自动站雨量超过100 mm,43个自动站雨量超过200 mm,15个自动站雨量超过300 mm,其中临高和海口共有4个自动站

雨量达500 mm以上,分别为临高角542.3 mm、海口污水处理厂518.4 mm、临高东英镇516.9 mm和海口南港火车站511.6 mm,造成海南6人死亡,16人失踪,全省共有7个市县100个乡镇163.4万人受灾,转移人口8.15万人,倒塌房屋1 025间,直接经济损失3.87亿元人民币<sup>[7]</sup>.

台风“莫拉克”于2009年8月6日至10日5时侵袭台湾期间,台湾南部遭遇了50多年以来最强的一次降水天气过程,嘉义县阿里山乡累积雨量高达2 853.5 mm、屏东县尾寮山2 687.5 mm、高雄县御油山2 517 mm、台南县曾文1 943.5 mm,其中屏东县尾寮山、高雄县溪南、高雄县御油山等3处单日累积雨量分别高达1 402、1 301.5和1 283 mm,均超过1997年“安珀”台风为花莲布洛湾降下1 222.5 mm的历史纪录,嘉义县阿里山乡及屏东县尾寮山2日总雨量均超过2 100 mm,也超过1996年“贺伯”台风为嘉义县阿里山乡降下1 986.5 mm的历史纪录,如此之强的罕见特大暴雨造成台湾中南部地区洪水暴发,泥石流等地质灾害泛滥,导致了极其严重的人员伤亡和财产损失<sup>[9]</sup>.表1是“莫拉克”雨量与中国大陆和世界历史暴雨记录对照,足见“莫拉克”台风暴雨之强.

表1 “莫拉克”雨量与中国大陆和世界历史暴雨记录对照  
Table 1 Comparison of rainfall during Morakot with historical heavy rainfall records in the world

位置	日期	历时/h	雨量/mm
新寮(中国台湾)	1967-08-17	24	1 672
莫拉克	<b>2009-08-08</b>	<b>24</b>	<b>1 623</b>
林庄(中国大陆)	1975-08-07	24	1 060
留尼旺岛(法)	1952-03-15	24	1 870*
莫拉克	<b>2009-08-08—09</b>	<b>48</b>	<b>2 361</b>
林庄	1975-08-07—08	48	1 279
留尼旺岛	1952-03-15—17	48	2 500*
莫拉克	<b>2009-08-08—10</b>	<b>72</b>	<b>2 747</b>
林庄	1975-08-06—08	72	1 605
留尼旺岛	1952-03-15—18	72	3 240
留尼旺岛	1980-01-24—27	72	3 241
留尼旺岛	2007-02-24—26	72	3 929*

注:\*为世界雨量记录.

## 3 涡度场、水汽通量场客观分析

在2009年8月8日08时700 hPa的涡度客观分析场(图2a)上,可以明显地看到在台湾地区有一强大的正涡度区,可见“莫拉克”台风强度之强;与此

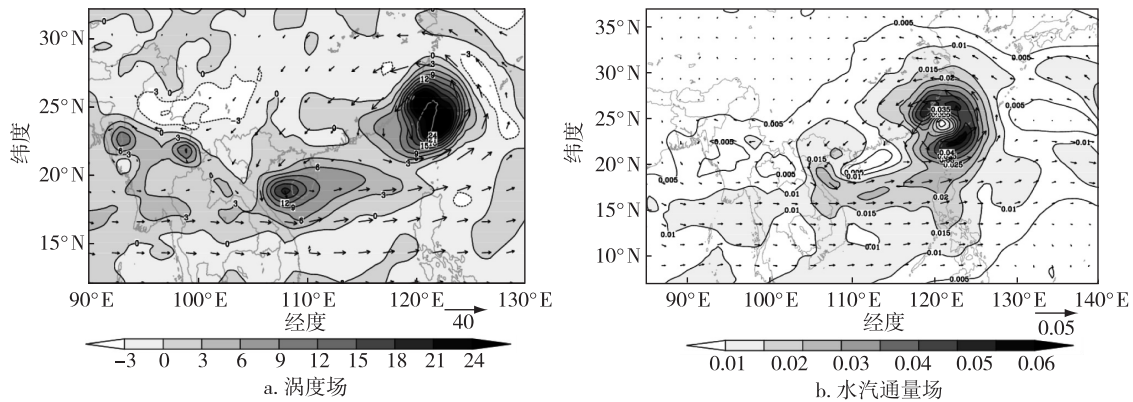


图2 2009年8月8日08时700 hPa 涡度场(单位: $10^{-5} \text{s}^{-1}$ )和水汽通量场(单位: $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ )

Fig. 2 The 700 hPa vorticity field (units in  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ ) and water-vapor flux field (units in  $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ) at 08:00 BT of August 8, 2009

同时,在海南岛有一相对较弱的正涡度中心,与台风“天鹅”对应,且自“天鹅”台风中心涡度区有一正涡度“脊”向东北方向伸展至“莫拉克”台风涡旋内,结合风场和涡度场来看,说明有正涡度自“天鹅”台风向“莫拉克”台风涡旋输送,是“天鹅”台风对“莫拉克”超强降水的动力因子贡献。

分析2009年8月8日08时700 hPa水汽通量客观分析场(图2b),发现自孟加拉湾经中南半岛过南海海域到台湾地区有一条较为明显的水汽输送通道,处于海南岛附近的“天鹅”台风对这条水汽输送通道的维持起到非常重要的“接力”作用。正是有了“天鹅”台风的存在,才能将丰沛的孟加拉湾水汽源源不断的输送至台湾南部区域,这是“天鹅”台风对“莫拉克”台风超强降水的水汽供应贡献。

#### 4 数值模拟分析

通过上述涡度和水汽通量客观分析场的分析,可以确定“天鹅”台风对“莫拉克”台风在台湾地区的超强降水有动力和水汽两个方面的贡献。这些贡献的幅度的大小,有待于进一步研究。因此,本研究运用数值模拟的方法做剔除“天鹅”台风的敏感性对比试验,以此探讨台风“天鹅”对“莫拉克”台风在台湾地区超强降水增幅影响的贡献幅度。

##### 4.1 试验方案设计

采用WRF模式较新的3.4.1版本,未使用嵌套模式,以 $118.9^{\circ}\text{E}$ 、 $20.8^{\circ}\text{N}$ 为中心,模拟区域(图3)网格格点数为 $261 \times 211$ ,网格格距为15 km,积分时间从2009年8月6日08时到2009年8月9日20时,垂直方向分为30个不等距层。通过借鉴孙敏<sup>[10]</sup>、

戴竹君<sup>[11]</sup>、任晨平<sup>[12]</sup>、高辉<sup>[13]</sup>等对台风模拟选取参数化方案的经验以及对各参数化方案的比较,最终确定选取以下参数化方案组合:微物理过程方案采用WSM6-class graupel scheme,积云对流参数化采用由夏威夷大学研发的Tiedtke scheme,边界层方案采用YSU scheme,长、短波辐射参数化方案均采用rrtmg scheme。初始场资料采用NCEP/NCAR每日4次的GFS的全球客观分析场资料,积分时间84 h,积分步长30 s,每小时输出一次计算结果。

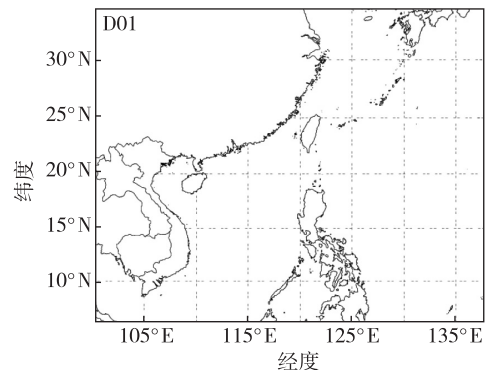


图3 模式模拟区域设置

Fig. 3 Domain configuration of simulation area

将此设置的模拟结果作为控制试验,在不改变以上基本设置和运算环境的前提下,运用WRF模式自带的TC bogus工具将“天鹅”台风滤除,滤除时选取风暴中心位置( $111.4^{\circ}\text{E}$ 、 $22.0^{\circ}\text{N}$ ),该中心位置由上海台风研究所提供的西北太平洋台风最佳路径集中所列的“天鹅”台风在2009年8月6日08时的台风中心位置确定。取最大风速为20 m/s,最大风速半径为25 km(此参数由JTWC提供的台风最佳路径资



料确定).

#### 4.2 控制试验检验分析

由“莫拉克”台风路径实况模拟对比分析(图4a),控制试验模拟的“莫拉克”台风路径及登陆点与实况路径非常相似,控制试验较好地模拟出“莫拉克”台风在台湾东部花莲地区登陆以及出台湾岛后西行北上在台湾海峡维持打转的情形,并且在后期模式累积误差不断增大的情况下,模拟的二次登陆

点与实况也很接近.控制试验也较成功地模拟出“天鹅”台风的移动路径(图4b),其逆时针转向路径与实况路径基本一致.但模拟路径横穿海南岛,这与实况中未登陆近海转向存在一定差异,推断可能与模式区域的选取有关,“天鹅”台风处于模式区域边缘,可能比较容易产生模拟误差.降水模拟方面,实况(图5a)与控制试验(图5b)降水场在量级和空间分布上均较为一致,同时对台湾南部的降水大值中心

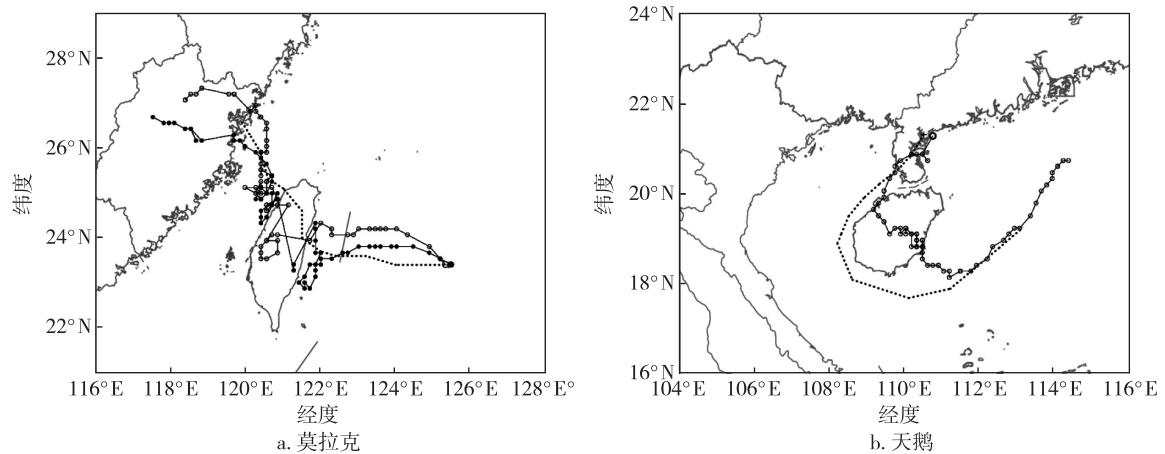


图4 台风“莫拉克”和“天鹅”路径(点线为实况,空心为控制试验,实心为敏感试验)

Fig. 4 Track of typhoon Morakot and Goni (Dotted line for OBS, hollow dot for controlled test, and solid dot for sensitivity test)

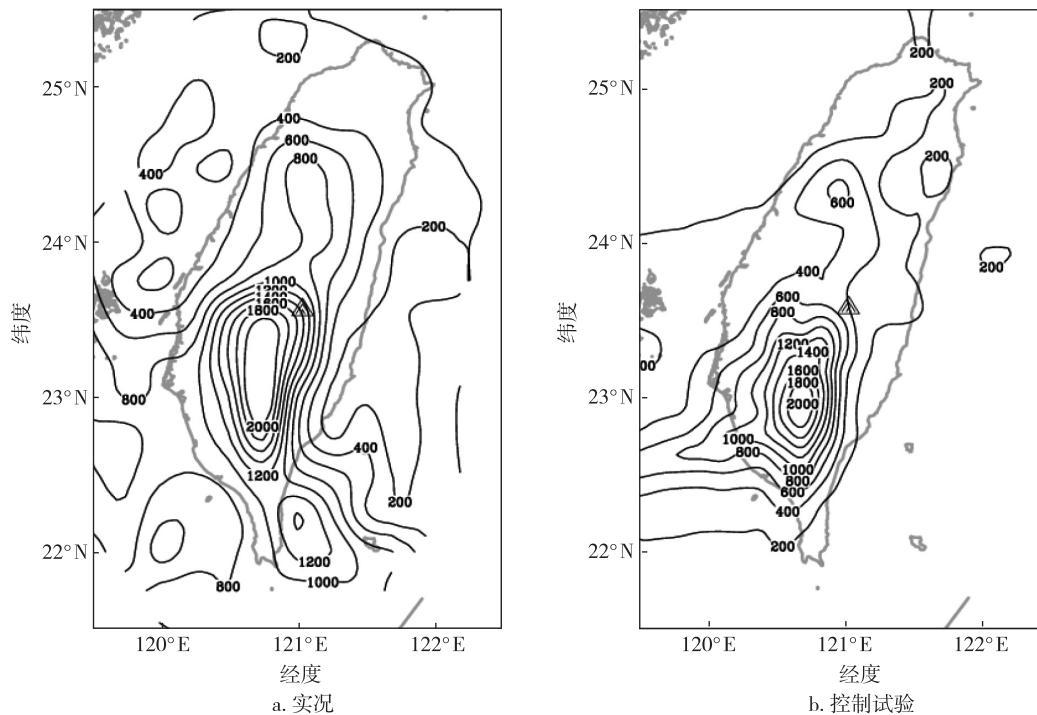


图5 台风“莫拉克”过程累积降水量(单位:mm)

Fig. 5 Cumulative rainfall of typhoon Morakot (units in mm), with for OBS, and for controlled test

的模拟比较到位,且对台湾中北部的弱降水中心模拟效果也比较好.综合路径和降水实况模拟对比分析,控制试验是比较成功的,模拟结果有较好的可信度,可以作为后续敏感性试验的基础.

### 4.3 敏感性试验结果分析

#### 4.3.1 水汽通量场、流场、涡度场试验结果分析

将控制试验的水汽通量场减去敏感性试验的水汽通量场得到“天鹅”台风存在时贡献的水汽通量场(图 6a),发现一条由“天鹅”台风贡献的西南水汽输送通道,对台湾南部的超强降水有较大的水汽贡献.同时,从“天鹅”台风贡献的流场(图 6b)上分析发现“天鹅”台风在南海区域上贡献了一条西南—东北向的气流通道,可将南海的水汽源源不断地输送至台湾地区,增加了输入到“莫拉克”台风的水汽量,对降水起到了一定增幅作用.滤掉“天鹅”台风的

敏感性试验涡度场(图 7b),对比同一时次的控制试验涡度场(图 7a),“莫拉克”台风的西南侧原“天鹅”台风附近的涡度明显减少,涡度输送卷入“莫拉克”也明显减少.“莫拉克”台风从“天鹅”台风环流中获得正涡度和水汽供应,有利于其台风强度的长期维持,是造成台湾地区超强降水的重要条件之一.

#### 4.3.2 台风路径及降水试验结果分析

从“莫拉克”台风路径实况模拟对比图分析得出(图 4a),滤除“天鹅”台风后,“莫拉克”台风的移动路径整体略向南偏,使得敏感性试验的降水模拟结果中出现降水场南移的现象.若将控制试验的降水量场(图 5b)减去敏感性试验的降水量场(图 8a)得到“天鹅”台风存在时贡献的降水量场(图 8b),可估算出“莫拉克”台风在台湾地区南部造成的超强降水中近三成来自于“天鹅”台风的动力和水汽贡献.

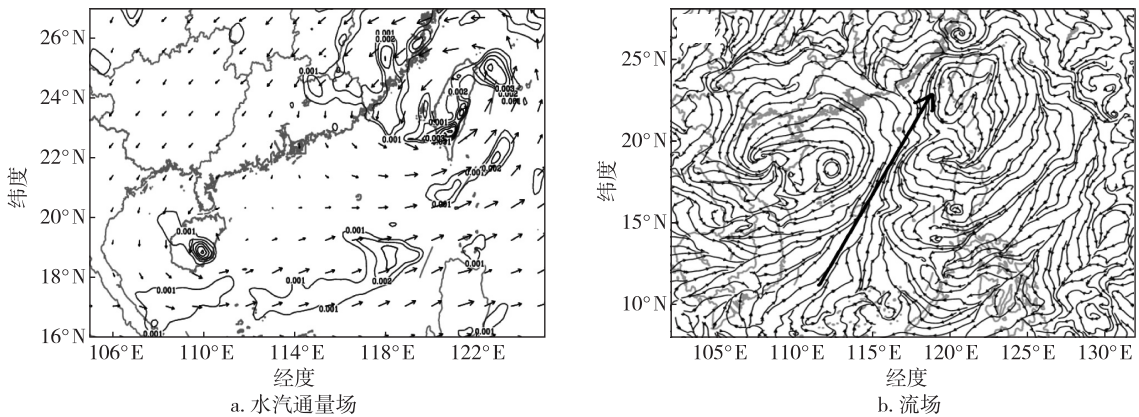


图 6 2009 年 8 月 8 日 08 时台风“天鹅”贡献的水汽通量场(单位: $g/(cm \cdot hPa \cdot s)$ )和流场  
Fig. 6 Contribution of the moisture flux(a, units in  $g/(cm \cdot hPa \cdot s)$ ) and stream(b) from the typhoon Goni to Morakot at 08:00 BT of August 8, 2009

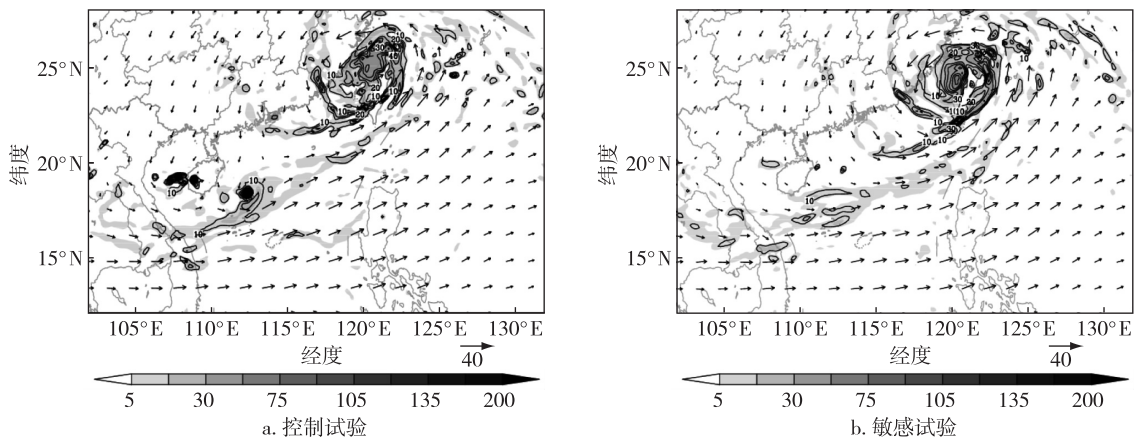


图 7 2009 年 8 月 8 日 08 时涡度场(单位: $10^{-5} s^{-1}$ )  
Fig. 7 The vorticity field at 08:00 BT of August 8, 2009 in controlled trial and sensitivity test (units in  $10^{-5} s^{-1}$ )

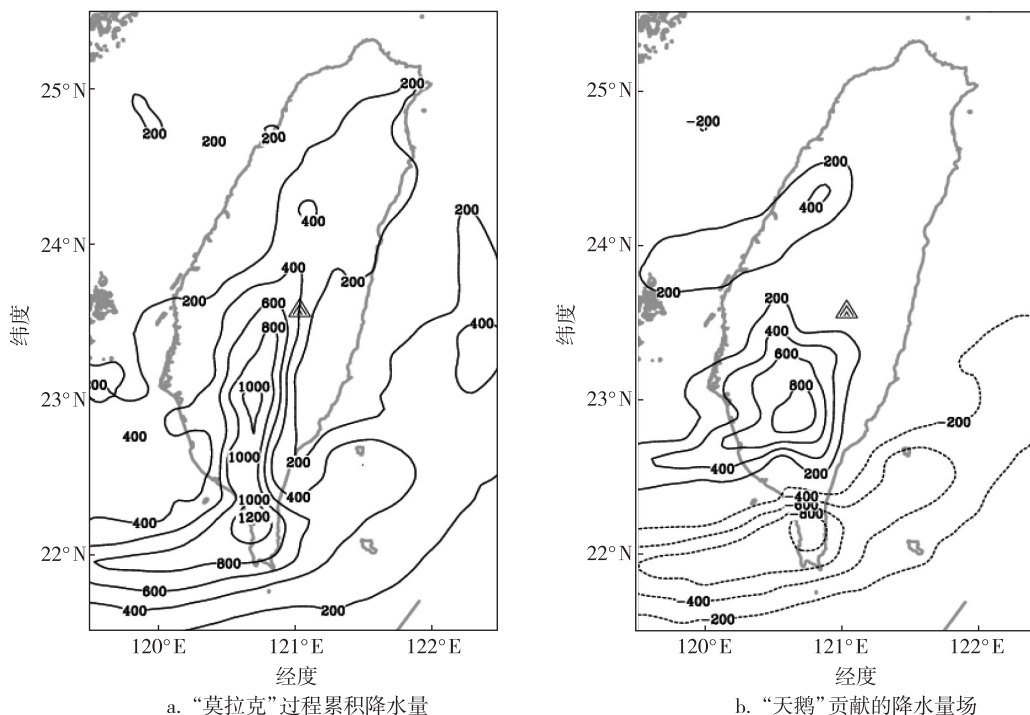


图8 台风“莫拉克”过程累积降水量(敏感试验)和台风“天鹅”贡献的降水量场(单位:mm)

Fig. 8 Cumulative rainfall of typhoon Morakot (units in mm) in sensitivity test, and typhoon Goni's contribution of precipitation(units in mm)

## 5 结论

1) 在中低层涡度场上,存在自台风“天鹅”向台风“莫拉克”涡旋的正涡度输送,是“天鹅”台风对“莫拉克”台风暴雨的动力贡献。

2) 在中低层水汽通量场上,存在自孟加拉湾经中南半岛过南海海域到台湾地区的一条较为明显的水汽输送通道.处于海南岛附近的“天鹅”台风对于这条水汽输送通道的维持起到非常重要的水汽“接力”作用.“天鹅”台风的存在为孟加拉湾水汽源源不断地输送至台湾南部区域提供了有利条件,是“天鹅”台风对“莫拉克”台风超强降水的水汽贡献。

3) 运用WRF数值模式做了剔除“天鹅”台风的敏感性试验进行诊断分析,发现“天鹅”台风向“莫拉克”台风环流中有正涡度及水汽供应,与客观分析较为一致,并大致估算出“莫拉克”台风在台湾地区南部造成的超强降水中有近三成来自于“天鹅”台风的动力和水汽贡献,这与徐祥德等<sup>[14]</sup>的研究结果是比较一致的.结合林炳章等<sup>[3]</sup>的分析结论:“莫拉克”台风在台湾南部造成的超强降水中有近四成五来自于台湾地区中央山脉的地形影响,因此共有近七成多的“莫拉克”致台暴雨成因得以解释;此外,

西北太平洋的水汽入流也对“莫拉克”台风暴雨作出了贡献。

## 参考文献

### References

- [ 1 ] Wu X, Fei J F, Huang X G, et al. A numerical study of the interaction between two simultaneous storms: Goni and Morakot in September 2009[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2012, 29(3): 561-574
- [ 2 ] 徐洪雄, 徐祥德, 陈斌, 等. 双台风生消过程涡旋能量、水汽输送相互影响的三维物理图像[J]. 气象学报, 2013, 71(5): 825-838
- XU Hongxiong, XU Xiangde, CHEN Bin, et al. The structure change and energy moisture transport physical image in the development and decay processes of binary typhoon vortices[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2013, 71(5): 825-838
- [ 3 ] 林炳章, 邵月红, 闫桂霞, 等. 水文气象促进工程水文计算核心课题研究的发展[C]//2012中国水文学术讨论会论文集, 2012: 50-63
- LIN Bingzhang, SHAO Yuehong, YAN Guixia, et al. Hydrometeorological research promotes the development of the core project about engineering hydrology calculation[C]//Proceedings of the 2012 China Symposium on Hydrology, 2012: 50-63
- [ 4 ] 林炳章. 分时段地形增强因子法在山区PMP估算中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 1988, 16(3): 40-52

- LIN Bingzhang. Application of the step-duration orographic intensification factors method to estimation of PMP for mountainous regions [J]. Journal of Hohai University (Natural Science Edition), 1988, 16(3): 40-52
- [ 5 ] 刘宣飞. NCEP/NCAR 40 年再分析资料介绍 [J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(1): 160-164
- LIU Xuanfei. Introduction to 40 years' NCEP/NCAR re-analysis data [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1998, 21(1): 160-164
- [ 6 ] 刘宣飞. NCEP/NCAR 40 年再分析资料介绍 (续) [J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(2): 292-297
- LIU Xuanfei. Introduction to 40 years' NCEP/NCAR re-analysis data (continued) [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1998, 21(2): 292-297
- [ 7 ] 高勇. 2009 年一次三台风 (0907 天鹅, 0908 莫拉克, 0909 艾涛) 过程的模拟分析 [D]. 南京: 南京信息工程大学大气科学学院, 2011
- GAO Yong. Simulation and analysis of three tropical cyclones (Goni, Morakot and Etai Numbered as 0907, 0908 and 0909) in 2009 [D]. Nanjing: School of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science & Technology, 2011
- [ 8 ] 陈训来, 陈元昭, 张蕾, 等. 热带风暴“天鹅”大暴雨数值模拟研究 [C] // 第 27 届中国气象学会年会灾害天气研究与预报分会场论文集, 2010: 421-430
- CHEN Xunlai, CHEN Yuanzhao, ZHANG Lei, et al. Numerical simulation and analysis of Tropical storm Goni (0907) heavy rainfall [C] // Proceedings of Severe Weather Research and Forecasting Session of the 27th Chinese Meteorological Society Annual Meeting, 2010: 421-430
- [ 9 ] 林秀雯. 莫拉克台风降雨分析 [C] // 2009 年海峡两岸气象科学技术研讨会, 2009: 156-160
- LIN Xiuwen. Analysis of heavy rainfall of typhoon Morakot [C] // 2009 Cross-Strait Meteorological Science and Technology Seminar, 2009: 156-160
- [ 10 ] 孙敏. 参数化及资料同化对台风 Morakot 数值模拟的影响 [D]. 南京: 南京大学大气科学学院, 2012
- SUN Min. Impact of physical parameterization schemes and data assimilation on the numerical simulation of typhoon Morakot [D]. Nanjing: School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, 2012
- [ 11 ] 戴竹君. 登陆热带风暴“碧利斯”维持和暴雨增幅与低纬水汽输送的关系及其模拟 [D]. 南京: 南京信息工程大学大气科学学院, 2013
- DAI Zhujun. Diagnosing and simulating the maintenance and intensification of the landfall tropical storm Bilis in association with the vapor transports in lower latitude [D]. Nanjing: School of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science & Technology, 2013
- [ 12 ] 任晨平. 强热带风暴“碧利斯”(0604)暴雨增幅及其云微物理过程数值模拟与诊断 [D]. 南京: 南京信息工程大学大气科学学院, 2013
- REN Chenping. Numerical simulation and diagnosis on torrential rainfall amplification and its cloud microphysics process of severe tropical storm Bilis [D]. Nanjing: School of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science & Technology, 2013
- [ 13 ] 高辉. 西南季风与登陆台风“碧利斯”(0604)耦合的暴雨增幅诊断及其数值模拟 [D]. 南京: 南京信息工程大学大气科学学院, 2011
- GAO Hui. The diagnosis and numerical simulation of increase in torrential rains of southwest monsoon coupling with landing typhoon Bilis (0604) [D]. Nanjing: School of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science & Technology, 2011
- [ 14 ] Xu X D, Lu C, Xu H X, et al. A possible mechanism responsible for exceptional rainfall over Taiwan from typhoon Morakot [J]. Atmospheric Science Letters, 2011, 12(3): 294-299

## Simulation analysis of typhoon Goni's enhancement effect on heavy rainfall in Taiwan by typhoon Morakot

LIU Junjie<sup>1,2</sup> LIN Binzhang<sup>1,2</sup> CHEN Hong<sup>1,2</sup> GAO Yibo<sup>3</sup>

1 Applied Hydrometeorological Research Institute, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 School of Hydrometeorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

3 Yuyao Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Yuyao 315400

**Abstract** The quantitative impact in terms of moisture supply of typhoon Goni on heavy rainfall of typhoon Morakot in Taiwan has been studied in the paper using the weather research and forecasting (WRF) numerical model based on NCEP/NCAR reanalysis data. The numerical analysis indicates that the intensity of typhoon Morakot was enhanced by continuously positive vorticity and water vapor supply from typhoon Goni that kept the persistent power of typhoon Morakot during its lifetime in Taiwan. The results of the simulation are consistent with the observations. Furthermore, a specific experiment of WRF numerical simulation in which typhoon Goni was filtered out was carried out, which shows that the typhoon Goni contributed about 30% in power and water vapor to the heavy rainfall of typhoon Morakot in Taiwan.

**Key words** typhoon Morakot; typhoon Goni; WRF model; heavy rainfall in Taiwan