文章编号:1674-7070(2014)02-0152-06



徐桂妹[1,2]　李丽平[1]

1013号台风“鲸鱼”的台风环流分离方法比较

摘要

台风系统为中α尺度系统,接近大尺度系统.为了研究环境气流与台风的相互作用,需要将台风从环境风场中分离出来.分别采用时间滤波、空间滤波和动力学方法将2010年第13号(1013号)超强台风“鲸鱼”(Megi)从环境风场中分离出来,对比分离得到的台风环境场,结果表明:时间滤波和空间滤波具有相对的随机性,容易留下台风风场的残留,同时也会减弱环境风场,而采用动力学方法可以将台风“Megi”较好地分离出来.3种方法各有优缺点,采用时间滤波可以使风场、高度场和温度场很好地平衡,但是需要较长的时间序列;空间滤波方法,仅采用一个时刻的时间,方法相对简单易用,但是由于台风风场、高度场和温度场的尺度并不相同,采用同一尺度对台风滤波容易造成风场、高度场和温度场的不平衡;动力学滤波方法分离效果较好,但是相对复杂,在低层也容易产生不平衡的现象.

关键词

台风;时间滤波;空间滤波;动力学方法

中图分类号 P445

文献标志码 A

收稿日期 2013-12-04

资助项目 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2013CB430202,2012CB417205)

作者简介

徐桂妹,女,工程师,主要从事气象研究工作.xuguimei2013@163.com

1 南京信息工程大学 大气科学学院,南京,210044

2 福建省南平市气象局,南平,354300

0 引言

台风是天气中最强的系统,属于天气尺度中的中α尺度.台风可以极大地影响天气尺度系统,如使得副高断裂[1]、改变季风涡旋移动方向[2]、与中纬度槽相互作用带来远距离降水[3]等.在研究台风与环境场的作用时需要获得环境场的信息,如在研究台风移动时通常根据距离台风半径6°的地方的平均风场作为台风移动的背景风场,这种背景风场只是一个平均值,只适合简单的台风移动,当涉及到台风与环境场相互作用时就需要获得较为精确的环境场.因为台风的范围很大,且与环境风场混合在一起,因此很难将台风和其环境风场区分开来.

台风分离方法主要包括3种方法.一种为空间分离法,它是在实际业务模拟台风时提出的.台风是一种生于海洋上的剧烈的天气系统,由于海洋上资料缺乏,在分析资料中的台风强度甚至台风位置有时与实际观测不符,因此在模式中对热带风暴进行初始化对于减小路径预报误差十分重要.因台风的移动与初始的位置和强度有关,因此需要将原始的台风去掉而放置进新的接近观测的台风来进行预报.Kurihara等[4-5]在改进GFDL(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)飓风预报系统初始化方案的工作中提出了台风环流的一种空间分离法,这种空间分离方法随后在业务预报中被MM5和HWRF所采用[6].此外,Hsu等[7]用空间分离法来评估台风的存在对季节内振荡和年际变化的贡献,Wang等[3]用空间分离法来研究台风存在与否对远距离降水的影响.第二种方法为时间滤波法,它主要是根据台风和其所在背景场的时间变化不同来区分的.时间滤波法默认台风的环境场变化较慢而台风变化相对较快,因此可以从时间尺度上来区分台风和其背景场,但因其涉及较长时间段,因而在业务中很少使用.第三种方法为动力学方法.前2种方法主要是在单纯的数学方法上做些改变,动力学方法则主要从动力上来区分台风和背景场.台风外围风场与背景场混合在一起,很难区分背景场和台风的边界,但台风的涡度场大小却比背景场高2个量级,可以较好区分环境涡度和台风涡度,利用涡度反演即可得到台风的风场.动力学方法计算较前2种复杂得多,同时还要考虑风场与温度场相平衡的问题,主要应用于WRF模式的台风初始化研究.Davis等[8-9]考虑到动力和热力要相互平衡,提出了位涡反演的思想并应用于天气尺度扰动,该方法在理论上可以

较好地去除台风,但是因为计算相对复杂且有时计算结果会出现不收敛的情况在业务中应用较少.动力学方法结合了数学方法和动力过程,为目前分离台风的主要方向.

1 资料和方法

本文采用 NCEP 提供的 FNL(Final Analysis)2010 年 10 月每 6 h 资料,其水平分辨率为 1°×1°.此外,还采用了 2010 年的 JTWC (Joint Typhoon Warming Center)最佳路径资料集.本文涉及的主要方法有空间分离法、Lanczos 滤波法[3]和动力学台风分离方法.下面对这 3 种方法进行简要介绍.

1.1 台风环流空间分离法

Kurihara 等[4]提出,在模式中对热带风暴进行初始化对于减小路径预报误差十分重要,随之而来的问题就是怎样用更真实的风暴结构和更准确的风暴位置及强度开始积分.对此,Kurihara 等[4]为飓风预报模式设计了特定涡旋初始化方案,该方案采用多次不同系数的 3 点平滑:

$$h_{B\lambda,\varphi} = \bar{h}_{\lambda,\varphi} + K(\bar{h}_{\lambda,\varphi-1} + \bar{h}_{\lambda,\varphi+1} - 2\bar{h}_{\lambda,\varphi}), \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{2}\left(1 - \cos\frac{2\pi}{m}\right)^{-1}, \quad (2)$$

其中,λ,φ 分别代表经度和纬度,K 为 3 点平滑的系数.在 11 次平滑中,m 分别取 2、3、4、2、5、6、7、2、8、9 和 2.采用此方法避免了传统空间滤波方法速度慢的问题.在业务预报中将资料中的台风环流剔除,然后将更为真实的特定涡旋准确加入到剔除台风环流的环境场中作为初始场进行积分.Kurihara 等[5]对之前的初始化方案进行了改进,即在原方案中提取的台风环流呈正圆形,而在改进方案中通过对不同方位选取不同的滤波半径得到一个不规则形的台风环流,这种改进主要是考虑到实际台风环流并不总是正圆形,非对称对台风的移动和强度都有很大影响的情况.此方案主要应用于 GFDL 模式中,并针对1°×1°分辨率的资料,若用较细的分辨率则方法需要进行相应的调整.改进方案可以将波长 9°的波动完全滤去,波长 15°、20°和 30°的波动可以分别降低 82%、60%和 32%.

1.2 Lanczos 滤波法

Lanczos 时间滤波方法,是 Duchon[10]在 1979 年提出的.该方法是根据时间尺度不同将原始场分解为不同时间尺度分量场的滤波方法.台风维持时间几天至十几天不等,因此,在选择 Lanczos 滤波时要考虑台风的时间尺度.本文利用 10 d 低通 Lanczos 滤波将台风环流从原始风场中分离出来.图 1 为 Lanczos 10 d 低通滤波的响应函数.

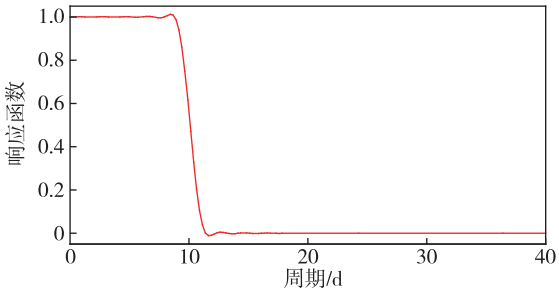


图 1 Lanczos 10 d 低通滤波的响应函数

Fig. 1 Response function of 10 day low pass Lanczos filter

1.3 动力学分离方法

此方法采用 WRF 模式中的 bogus 技术.为了在初始化时造一个强度和大小与实际台风相近的初始场,需要将原来存在的台风去除,然后放入一个人造的台风.该方法主要是利用反演技术.台风分离中一个很难的问题就是台风的风场往往与外界环境的风场融合在一起,难以分开.然而台风的涡度场通常比外界环境场要大 1~2 个数量级,且与周围环境场有比较清楚的界线.因此,利用台风涡度反演得到的风场可以看做是台风的风场.

$$\nabla^2\phi = -2\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial x\partial y}\right)^2 + 2\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + f\nabla^2\psi + \beta\frac{\partial\psi}{\partial y}, \quad (3)$$

$$T = -\frac{1}{R}\frac{\partial\phi}{\partial\ln p}. \quad (4)$$

方程(3)中 ψ 为流函数,可以根据风场得到.根据方程(3)由台风的风场得到台风对应的高度场,进而根据静力平衡,如方程(4)所示,推导出高度场随气压的变化与对应台风的温度场的关系,减去台风风场、高度场和温度场等就可以得到环境场.

2 实验结果分析和对比

本文中用来分离的台风选自 2010 年第 13 号(1013 号)超强台风“Megi”(鲶鱼),它在 10 月 13 日生成,向西移动越过菲律宾后突然北折,进入南海后于 10 月 24 号在广东登陆,生命史历时 12 d.

本实验中选取的台风时刻为“Megi”生成 3 d 后的 2010 年 10 月 16 日.图 2 为此时刻 700 hPa 的风场和高度场.从图 2 中可以看出,台风中心位于 132°E,17.4°N,台风上方为副热带高压,下方为明显的季风涡旋.

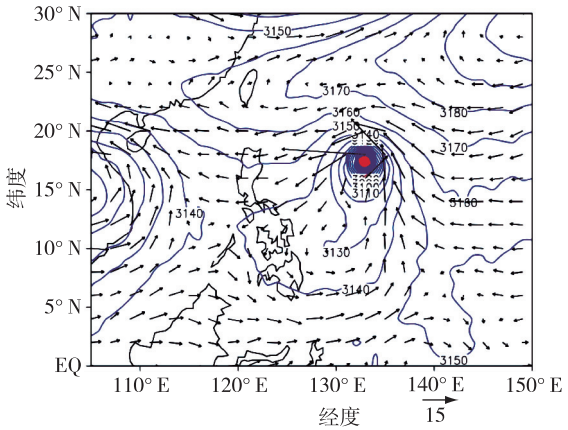


图 2　2010 年 10 月 16 日 700 hPa 风场(箭头;单位:m/s)和高度场(等值线;单位:gpm)

Fig. 2　Wind (vector;units:m/s) and geopotential height field (contour;units:gpm) at 700 hPa on Oct 16, 2010, with red point indicating typhoon position, the same annotation in following figures

2.1　台风水平环境场对比

图 3a、3b 和 3c 分别是用空间滤波、时间滤波和动力学方法得到的环境风场.因为采用滤波方法是对整场进行滤波,所以整场都比较平滑,而用动力学方法则只是将台风去掉保留了大部分环境场的信息.从图 3 中可以看出 3 种方法都可以得到大致相同的环境场,台风位置所在的上方副热带高压和下方的季风涡旋都可以从中得到,然而从图 3a 中看出用空间滤波方法得到的风场,台风上方副高西伸段有所减弱,台风中心附近的台风风场有部分残留,在图 3b 时间滤波中看到滤波得到的季风涡旋闭合不是很明显,在台风所处位置的东西方两侧都存在环境风场明显增大的情况,并且副高向西延伸很弱,在图 3c 中,采用动力学方法去掉台风的结果相对较好,台风风场明显被去除,上方的副热带高压和下方的季风涡旋都得到很好保留,且对环境风场影响较小.只从对风场的去除效果来看,动力学方法比其他 2 种方法的分离效果好.

2.2　台风水平扰动场对比

利用资料的原始场减去滤波得到的环境场可以得到扰动场.定义台风中心附近的风场为台风扰动场.为了更好地得到台风的扰动场,利用高斯平滑将台风的扰动场提取出来.高斯平滑公式为

$$w = \exp\left(\frac{4(r - r_0)^2}{r_0^2}\right). \tag{5}$$

通过高斯平滑,台风风场半径 r_0 内的扰动风场都看做台风的扰动风场,r_0 至 $2r_0$ 范围扰动场乘一系数则看做是台风的扰动场,超出 $2r_0$ 范围台风扰动风场为 0.图 4 为滤出的台风风场和高度场扰动.

从图 4 中可以看出,用动力学方法得到的台风风场其对称性相对较好,而用时间滤波得到的台风扰动场对称性最差.

2.3　台风垂直扰动场对比

图 5 显示了原始和滤去台风得到的扰动高度场和温度场.从图 5a 可以看出在原始场中台风中心附近有很强的高度场扰动,温度场也存在明显的暖心结构.从去除台风的结果中看,3 种方法都可以将台风中心附近的高度场扰动去除.用滤波方法得到的温度场比较平滑,暖心结构也较好地滤去.利用空间滤波在台风中心附近仍存在一个范围比较大的负的高度场扰动,这表明还有部分台风高度场残留(图 5b).时间滤波得到的环境场台风所处位置西侧负的

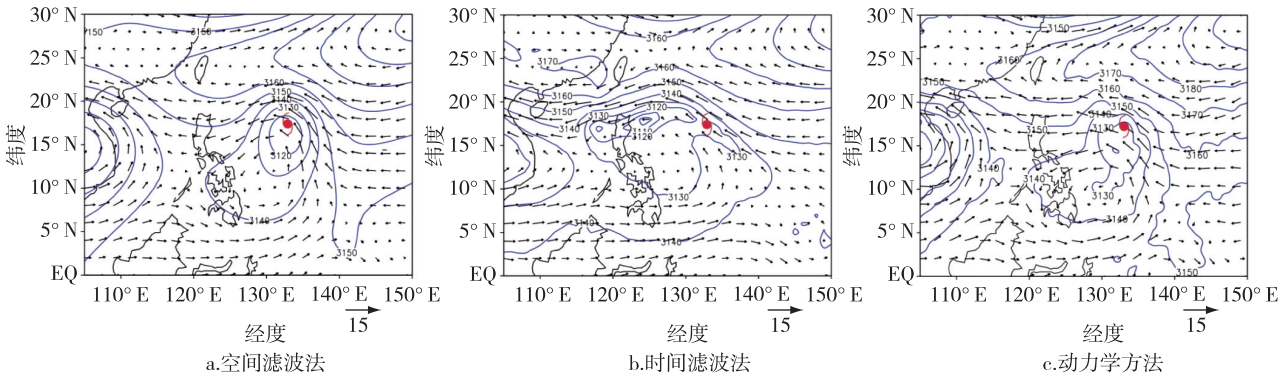


图 3　2010 年 10 月 16 日 700 hPa 台风环境风场(矢量;单位:m/s)和高度场(等值线;单位:gpm)

Fig. 3　The filtered wind (vector; units:m/s) and geopotential height (contour; units: gpm) at 700 hPa on Oct 16, 2010, as the result of space filter , time filter and dynamic method

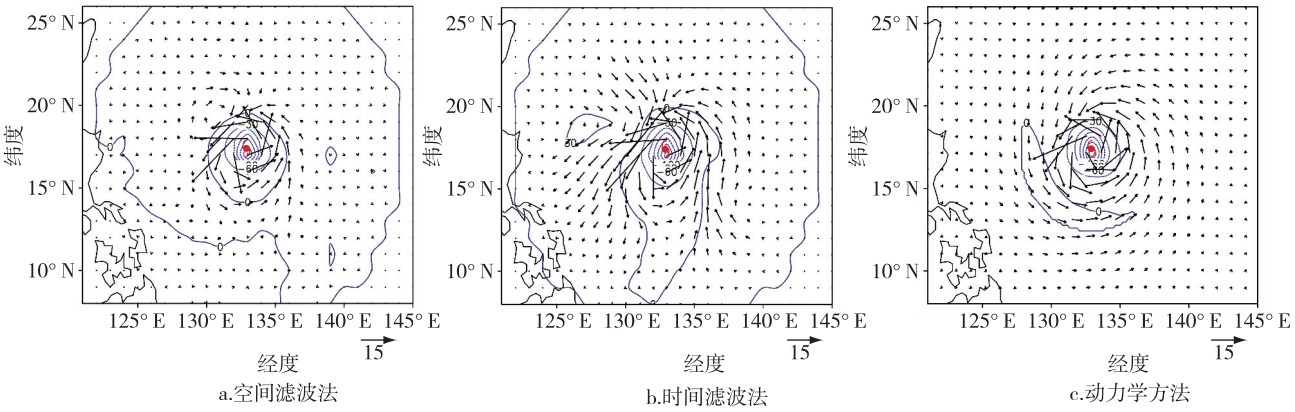


图 4　2010 年 10 月 16 日 700 hPa 台风扰动风场(矢量;单位:m/s)和扰动高度场(等值线;单位:gpm)

Fig. 4　Perturbation wind (vector; units: m/s) and geopotential height (contour; units: gpm) at 700 hPa on Oct 16, 2010, as the result of space filter , time filter and dynamic method

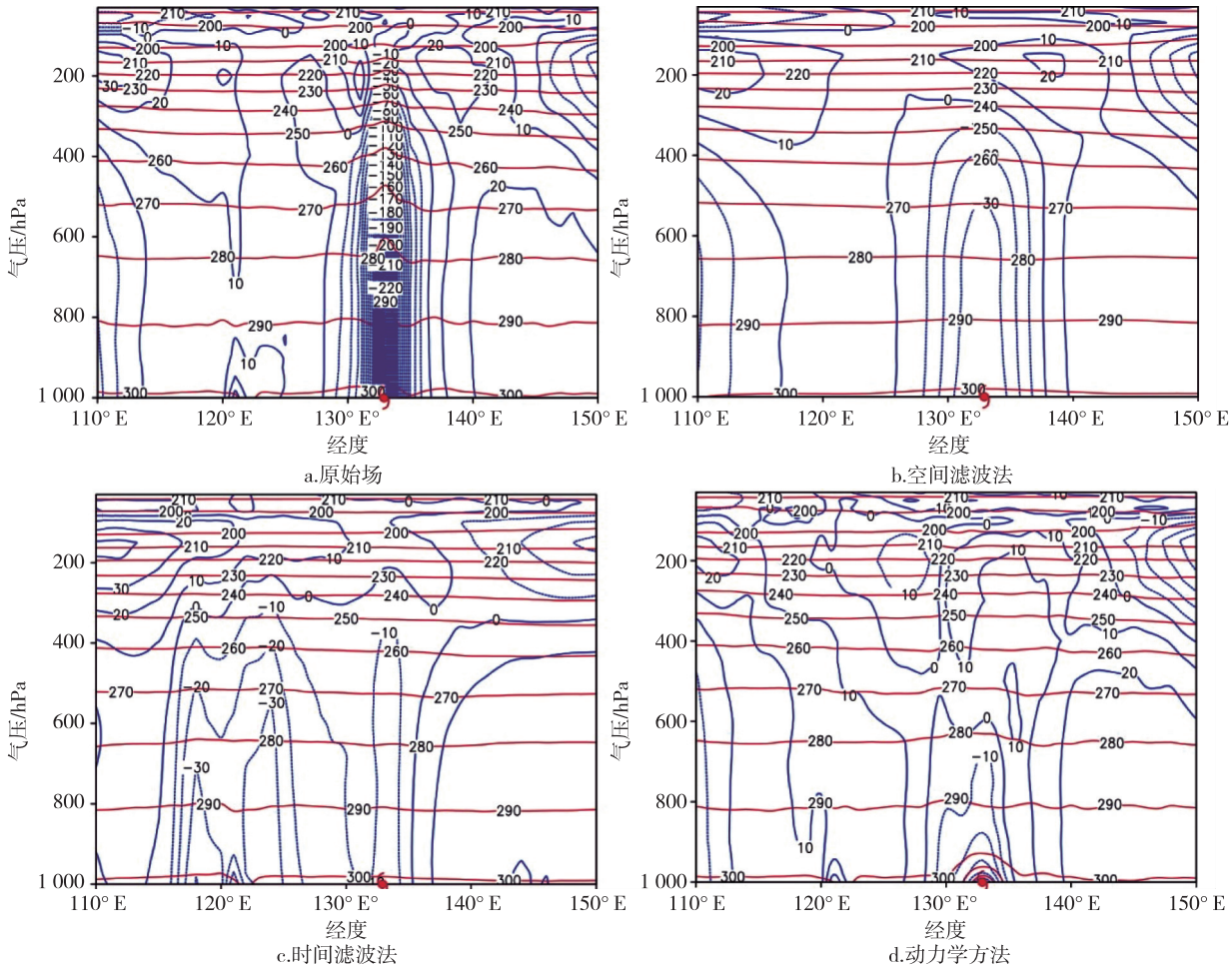


图 5　2010 年 10 月 16 日的扰动高度场(蓝线;单位:gpm)和温度场(红线;单位:K)

Fig. 5　Original and filtered perturbation geopotential height(blue line;units;gpm) and temperature field (red line;units;K) on Oct 16,2010,as the result of space filter,time filter and dynamic method

高度场扰动明显增强(图 5c).动力学去除台风可以　将台风高度场较好地去掉,但是动力学方法也存在

一些其他问题.从图 5d 中看出台风所处位置低层得到一个明显的暖心,这与实际温度场分布(图 2)不一致,这是由于在采用动力方法时,根据非线性平衡方程和静力平衡关系,推导出温度场时导致的不平衡所致.

2.4 环境平均气流对比

台风的移动可以看做是环境平均气流平流的结果,因此环境平均气流与台风的移动速度基本一致.为了更好地对比去掉台风的环境场,将台风所处位置的通过滤波和动力学方法得到的背景风场取出,并对其做整层(850~300 hPa)平均得到的结果与台风移动速度做对比,结果如图 6 所示.3 种方法得到的平均风场与台风移动速度都相近.从环境平均气流与台风的移动速度偏差角度来看,用空间滤波得到的平均风场最接近,时间滤波相差最大.

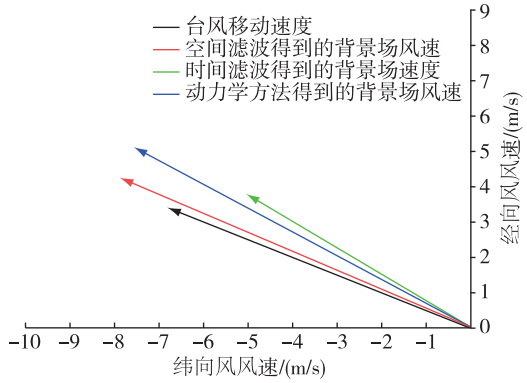


图 6 台风移动速度与其所处位置空间滤波、时间滤波和动力学方法得到的背景场风速比较

Fig. 6 Comparison of the typhoon moving speed, with the background field wind speed at the position of typhoon calculated by space filter, time filter and dynamic method

从 3 种方法比较来看,都存在各自的优缺点.空间滤波和时间滤波都相对简单,且易于操作,但是都会较大地减弱环境风场.从结果来看,空间滤波比时间滤波的效果更好些,并且由于时间滤波需要前后较长的时间段,所以不适用于台风的预报,主要用于气候研究中.在实际业务中,台风初始化 relocation 阶段多采用空间滤波的方法去除台风,此方法操作简单、速度快.动力学方法虽然对台风风场的分离效果较好,但是由于计算相对复杂,且容易产生动力学的不稳定,因此在实际业务中,还需要进一步改进.

3 结论

本文利用 3 种方法,即空间滤波、时间滤波和动力学方法,对 2010 年第 13 号超强台风“Megi”进行去除台风得到台风环境场的实验.对比原始场和分离得到的 2010 年 10 月 16 日“Megi”台风的环境场,得到以下结论:

1) 采用动力学方法对台风风场的分离效果较好,该方法既能明显地去除台风风场,又能较好地保留环境风场.但是,动力学滤波方法计算相对复杂,在低层也容易产生不平衡的现象,需要在实际业务中进一步改进.

2) 采用空间滤波方法对台风风场进行分离时,容易留下台风风场的残留,同时也会减弱环境风场.空间滤波方法仅采用一个时刻的时间,方法相对简单易用,但是由于台风风场、高度场和温度场的尺度并不相同,采用同一尺度对台风滤波容易造成风场、高度场和温度场的不平衡.

3) 采用时间滤波方法对台风风场进行分离时,同样容易留下台风风场的残留,较大地减弱环境风场.采用时间滤波可以使风场、高度场和温度场很好地平衡,但是需要较长的时间序列,不适用于台风的预报.

4) 对比空间滤波和时间滤波结果,前者相对比后者好,这是因为时间滤波要考虑前后时间段的影响,所以对环境场的改变较大.当然这 2 种方法的结果也与采取的空间滤波波长和时间滤波所取的时间段有关.

参考文献

References

[1] Holland G J, Wang Y Q. Baroclinic dynamics of simulated tropical cyclone recurvature [J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1995, 52(4): 410-426

[2] Carr L E, Elsberry R L. Monsoonal interactions leading to sudden tropical cyclone track changes [J]. Monthly Weather Review, 1995, 123(2): 265-290

[3] Wang Y Q, Wang Y Q, Fudeyasu H. The role of typhoon Songda (2004) in producing distantly located heavy rainfall in Japan[J]. Monthly Weather Review, 2009, 137(11): 3699-3716

[4] Kurihara Y, Bender M A, Ross R J. An initialization scheme of hurricane models by vortex specification[J]. Monthly Weather Review, 1993, 121(7): 2030-2045

[5] Kurihara Y, Bender M A, Tuleya R E, et al. Improvements in the GFDL hurricane prediction system[J]. Monthly Weather Review, 1995, 123(9): 2791-2801

[6] Kwon H J, Won S-H, Ahn M-H, et al. GFDL-type typhoon initialization in MM5 [J]. Monthly Weather Review, 2002, 130(12): 2966-2974

[7] Hsu H-H, Hung C-H, Lo A-K, et al. Influence of tropical

cyclones on the estimation of climate variability in the tropical western North Pacific[J]. Journal of Climate, 2008,21(12):2960-2975
[8] Davis C A. Piecewise potential vorticity inversion[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1992, 49(16): 1397-1411
[9] Davis C A, Emanuel K A. Potential vorticity diagnostics of cyclogenesis[J]. Monthly Weather Review, 1991, 119(8):1929-1953
[10] Duchon C E. Lanczos filtering in one and two dimensions[J]. Journal of Applied Meteorology, 1979, 18(8): 1016-1022

Comparisons of different approaches in separating Typhoon Megi (1013) circulation from its environment

XU Guimei[1,2] LI Liping[1]
1 School of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044
2 Nanping Meteorological Bureau of Fujian Province, Nanping 353000

Abstract Typhoon is meso-α scale system and sometimes comparable to large scale system. The isolation of typhoon from the environment flow is an important step in order to investigate the interaction between the environment flow and typhoon circulation. Three methods including time filter, space filter and dynamic method are applied to separate the typhoon Megi (1013) of year 2010 from the environmental flow. The separation results show that, time filter and space filter methods have relative randomness and are somewhat subject to the life cycle and the size of typhoon, which will leave residual typhoon wind to the environmental field, thus weaken the environmental flow; while the dynamic method can well separate the typhoon from the environmental flow. Both advantages and disadvantages exist in the three methods. The time filtered wind field is well balanced with other time filtered fields such as temperature and height. While when using space filter, wind may not be consistent with height due to the different scale between wind, height and temperature field. Nevertheless space filter is relatively simple to use and only need one time series, while time filter needs longer time series, which result in no application of time filter in operational forecasting. Dynamic method is better in performance, but relatively complex and sometimes prone to imbalance in lower level and has much space to improve.

Key words typhoon; time filter; space filter; dynamic method