

MWT方法在分离台风环流中初步应用

赵华睿^{1,2} 吴立广¹ 梁湘三¹

(1 南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室, 南京 210044; 2 大连市气象局, 大连 116001)

摘要: 由于越来越多研究需要从观测或者再分析资料中分离台风环流和环境气流, 尝试将多尺度窗口变换 (multiscale window transform, MWT) 方法应用于分离台风环流, 并与空间分离法和Lanczos滤波法进行了比较。理想化试验表明, MWT方法在用于对台风环流的分离时, 比另外两种方法误差小。当再分析资料中台风强度较强时, 单一分离方法都存在较大的误差。为了减小台风环流分离中的误差, 可以先利用空间分离法初步滤去台风环流, 然后再利用MWT方法或Lanczos滤波法进一步分离台风环流。

关键词: 台风环流, 空间分离法, 多时间尺度环流, 时间滤波

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.06.005

Preliminary Application of the MWT Method to Separate Tropical Cyclone Circulation

Zhao Huarui^{1,2}, Wu Liguang¹, Liang Xiangsan¹

(1 Nanjing University of Information Science and Technology, Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing 210044 2 Dalian Meteorological Bureau, Dalian 116001)

Abstract: More and more researches need to separate tropical cyclone circulation from its environment in the observation and reanalysis data. The multiscale window transform (MWT) method is applied to the separation of tropical cyclone circulation from its environment and compared with tropical cyclone spatial removal technique and Lanczos filter in time. Through using these approaches to idealized wind fields, the MWT method is better than the other two approaches in the separation of tropical cyclone circulation. It is also found that the performance of the combined approach is better than that of individual approaches. In order to obtain better results, the spatial removal technique can be used first to separate tropical cyclone circulation and then the MWT or Lanczos filters in time is used for further separation of tropical cyclone circulation.

Keywords: tropical cyclone circulation, tropical cyclone spatial removal technique, multi-time scale flows, filter in time

0 引言

在西北太平洋热带地区, 台风活动总是伴随不同时间尺度的环境气流, 这些环境气流大致可以分为三类: 周期为40~50或30~60d的Madden-Julian振荡 (MJO) [1-3], 周期为10~20d的准两周振荡[4-8], 以及3~10d的天气尺度扰动[9-10]。环境气流对台风活动的影响一直是台风研究领域的重要课题之一, 许多研究表明, 这些不同时间尺度的热带环流对台风生成、结构强度变化和路径都有重要影响[11-13]。在这些研究中, 经常需要从观测或者再分析资料中分离出台风及其环境气流。例如, Wu等[14]利用Lanczos时间滤波方法 (以下简称Lanczos滤波法) 将风场资料分为20d以

上的MJO尺度分量、10~20d的准两周振荡尺度分量和10d以下的天气尺度分量, 研究低频环流影响东海附近突然北折台风路径的机理。Hsu等[15]利用Kurihara等[16-17]提出的台风环流空间分离法, 研究了台风活动对西北太平洋季节内振荡、年际变化以及季节平均环流的贡献。

为了研究复杂的多时间尺度环流相互作用过程, Liang等[18]提出了一种新的局地多尺度窗口变换的分析方法——multiscale window transform (MWT) 方法, 目前该方法在气象领域的应用还比较少。这个方法的优点在于, 在保证局地能量不变的基础上, 将传统的平均-涡动分离法推广为可用于对三个以上尺度进行分离的方法, 由于利用了多尺度窗口转换, 滤波对象的平均状态不需要是时间上均匀或者是平稳时间序列。MWT方法首先定义代表不同时间或者空间尺度的、相互正交的窗口, 然后利用正交基的尺度转换对各尺度窗口进行重构, 从而得到代表不同时间或

收稿日期: 2013年12月1日; 修回日期: 2014年7月28日
 第一作者: 赵华睿 (1987—), Email: huarui@nuist.edu.cn
 通信作者: 吴立广 (1963—), Email: liguang@nuist.edu.cn
 资助信息: 国家重点基础研究发展计划 (2009CB421503);
 江苏省重点学科建设基金

者空间尺度的分量。MWT方法作为一种时间滤波方法，可以用来分离台风环流。本文的主要目的是介绍MWT方法在台风环流分离方面的应用。

为了评估分离台风及其环境气流方法的效果，将MWT方法与空间分离法和Lanczos滤波法的结果进行比较。虽然，后两种方法已经被广泛用于台风环流的分离，然而对于这些方法分离台风环流的效果仍缺乏了解，为了弥补这方面的不足，研究将通过理想试验来评估这些方法在分离台风环流中的效果。

1 资料和方法

本文主要通过理想试验来讨论台风风场的分离方法，为了能够准确了解这些方法的分离效果，理想场的构造如下：采用不随时间变化的平均风场作为台风活动的背景场，这里选用NCEP提供的FNL一日四次的700hPa风场资料，计算出2004年7—9月平均风场作为背景风场。背景风场的水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，空间范围为 $20^{\circ}\text{S} \sim 50^{\circ}\text{N}$ ， $90^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{W}$ 。为了模拟台风在给定背景风场上活动，利用JTWC最佳路径资料集提供的台风中心位置和台风最大风速，在每6h的背景风场上叠加对称的人造涡旋^[19]，人造涡旋在空间上半径为550km，最大风速位于110km处。

为了方便，这里简要介绍台风环流空间分离法（图1）。首先，用一个简单的三点迭代平滑方法，将原始风场分离为基本场和扰动场两部分，此时台风环流包含在分离出来的扰动场中。然后，以台风中心位置为中心，定义一个空间范围，根据切向风速 $<6\text{m/s}$ 且切向风速的径向梯度 $<4 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$ 或者切向风速 $<3\text{m/s}$ 等滤波条件^[16-17]将台风环流从扰动场中分离出来，扰动场中的剩余部分即为非台风环流，其中空间范围与台风强度有关^[16-17]。最后，将非台风环流并入基本场，这样就分离出台风环流及其环境风场。

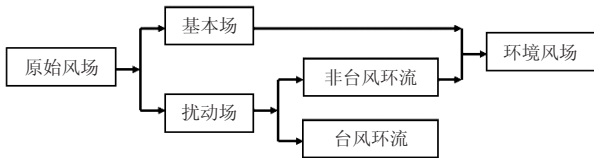


图1 台风环流空间分离法流程图

Liang等^[18]提出的MWT方法在保证局地能量不变的前提下，以Meyer的多分辨率分析为基础，将传统的平均-涡动分离法推广为可用于对三个以上尺度进行分离的方法。该方法通过定义代表不同时间或者空间尺度的、相互正交的窗口，并利用正交基的尺度转换对各尺度窗口进行重构，从而得到代表不同时间或者空间尺度的分量。这与Lanczos滤波法分离出的不同

时间尺度分量相似，前人的工作^[14]中已将Lanczos滤波法用于分离台风环流，因此，与Lanczos滤波法相似的MWT方法对于分离台风环流同样存在适用性。需要指出的是，MWT方法对滤波的周期有一定限制，必须是2的整数次方。为了能够得到天气尺度的台风环流，本文选择MWT方法的截断周期为8d，为了与Lanczos滤波法的效果比较，我们设计的Lanczos低通滤波器的截断周期也为8d。图2所示设计的Lanczos低通滤波器的响应函数，滤波器可以将6d以下的扰动完全滤去，但是周期为6~20d的扰动受到不同程度的歪曲。如果本文定义天气尺度扰动为全风场和低通滤波以后风场的差，周期6~8d的天气尺度扰动会有所削弱。

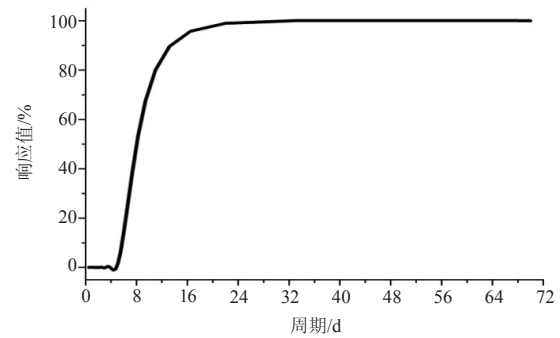


图2 截断周期为8d的Lanczos低通滤波器的响应函数

2 单一方法比较

首先考虑一个强度较弱的热带气旋，资料来自活动在2004年7月12日06时（UTC，下同）—16日12时期间的热带风暴圆规，该热带风暴的生命史为4d多，7月14日18时达到的强度为 23m/s ，中心位于 20.1°N ， 120°E （图3a），台风中心附近的环境风场以偏南风为主（图3b），风速小于 4m/s 。从图3可以看到，三种方法在一定程度上都分离出热带风暴的气旋性环流，但是对应的环境风场与图3b有明显区别。空间分离法得到的环境风场中台风中心附近仍有明显的气旋性环流（图3d），即叠加上去的人造涡旋没有被完全分离出来。在Lanczos滤波法和MWT方法得到的环境风场中（图3f和3h），虽然不像空间分离法那样在环境风场上保留明显气旋性环流，但是台风中心附近的风场存在较为明显的气旋式切变。

为了进一步说明滤波效果，我们计算三种方法得到的环境风场与图3b的差（图4）。空间分离法得到的环境风场与背景风场之间的差异较大，最大差值风速可达 6m/s ，差不多是“圆规”强度的四分之一，差异较大区域出现在台风中心附近半径为 300km 范围内（图4a），这是由于该方法仅对台风中心附近有限区域内风场进行分离。与空间分离法比较，Lanczos滤

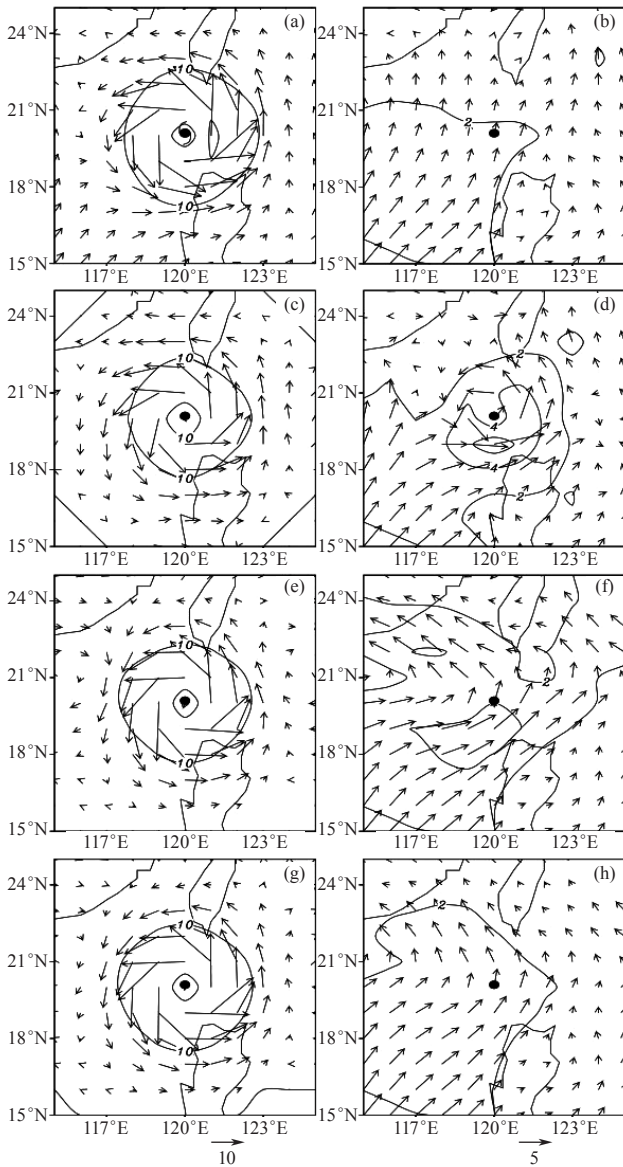


图3 2004年7月14日18时700hPa风场及等风速线(单位: m/s)
 (a) 理想风场, (b) 背景风场, (c)、(d) 分别为空间分离法得到的台风环流和环境风场, (e)、(f) 和 (g)、(h) 分别为 Lanczos滤波法和MWT方法得到的天气尺度风场和环境风场 (台风符号及黑色圆点代表台风中心位置; 图3a, 3c, 3e和3g等值线间隔10m/s, 图3b, 3d, 3f和3h等值线间隔2m/s)

波法和MWT方法得到的环境风场与背景风场之间的差异较小(图4b和4c), 其最大差值风速分别约为3和1m/s, 虽然这两种方法是对整个区域滤波, 但是差异主要出现在路径两侧300km范围内。这种沿路径两侧的误差, 表明了时间滤波的特点, 即结果受到前后时次环流的影响。这个个例表明, 对于较弱的热带气旋, Lanczos滤波法和MWT方法优于空间分离法, 而MWT方法优于Lanczos滤波法。

在西北太平洋上经常观测到双台风活动, 为了考虑台风强度和双台风活动的影响, 我们设计了一个双

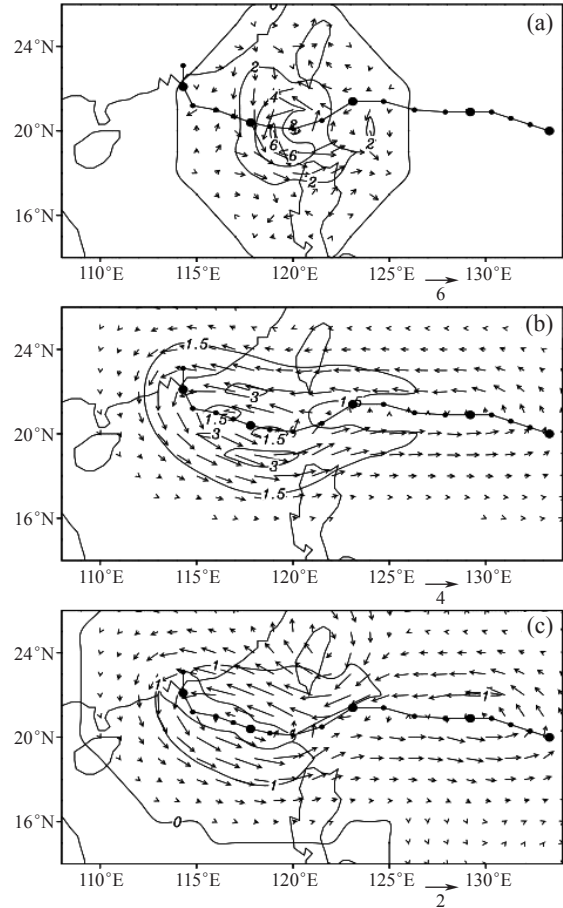


图4 图3中三种方法得到的环境风场与理想背景风场之间的差值风场

(a) 空间分离法, (b) Lanczos滤波法, (c) MWT方法 (等值线表示风速差异的大小, 单位: m/s, 间隔分别为 2, 1.5和1m/s)

台风同时出现的试验。台风个例选取发生在2004年8月的台风暹芭和艾利, 如图5所示, 23日00时台风暹芭强度达到80m/s, 这时台风艾利强度为31m/s, 两个台风中心分别位于15.2°N, 143.7°E处和22.8°N, 126.2°E处。三种方法在一定程度上也都提取出台风中心附近风速较大的气旋式环流作为台风环流, 而相应的环境风场则不同于理想的背景风场。与弱台风情况一样, 空间分离法得到的环境风场主要表现为台风中心附近仍存在气旋式环流, 特别对于东边的超强台风暹芭(图5d)。与空间分离法相比, Lanczos滤波法和MWT方法得到的环境风场误差明显较小(图5f和5h), 但是台风中心遗留的气旋性环流非常明显, 特别是在“暹芭”附近。同样将三种分离台风环流方法得到的环境风场与理想背景风场进行比较(图6)。空间分离法得到的环境风场与背景风场之间的差异较大, 两个台风中心附近最大差值风速分别达到16和8m/s, 这些较大的风速主要出现在台风中心附近300km范围

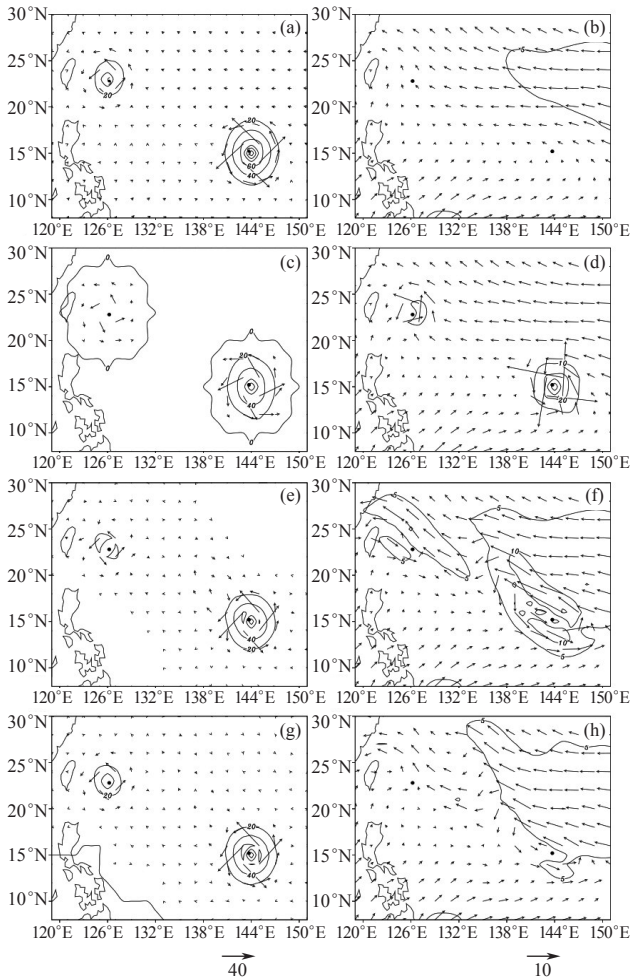


图5 同图3, 但为2004年8月23日00时
(图5a, 5c, 5e和5g等值线间隔20m/s, 图5d等值线间隔10m/s, 图5b, 5f和5h等值线间隔5m/s)

内; Lanczos滤波法得到的环境风场与背景风场之间的差异略小些(图6b), 两个台风中心附近最大差值风速分别约为12和6m/s, MWT方法得到的环境风场与背景风场之间的差异最小(图6c), 两个台风中心附近最大差值风速分别约为6和3m/s, 这两种方法相对较大的差值风速都出现在路径两侧300km范围内。从图6可以看到, 在超强台风存在的条件下, 虽然MWT方法得到的环境风场也比弱台风大, 但是三种方法比较, MWT方法的误差最小。同时, 我们注意到对强台风环流分离时, 三种方法都有较大的误差。对于此双台风个例中的弱台风艾利, 三种方法的分离效果与其对弱台风圆规的分离效果较为相似, 比较而言, 后者分离效果略好些, 这可能与其强度有关, 台风圆规的强度略弱于台风艾利。

3 组合方法比较

从上文分析可以看到, 分离强度较弱的热带风暴

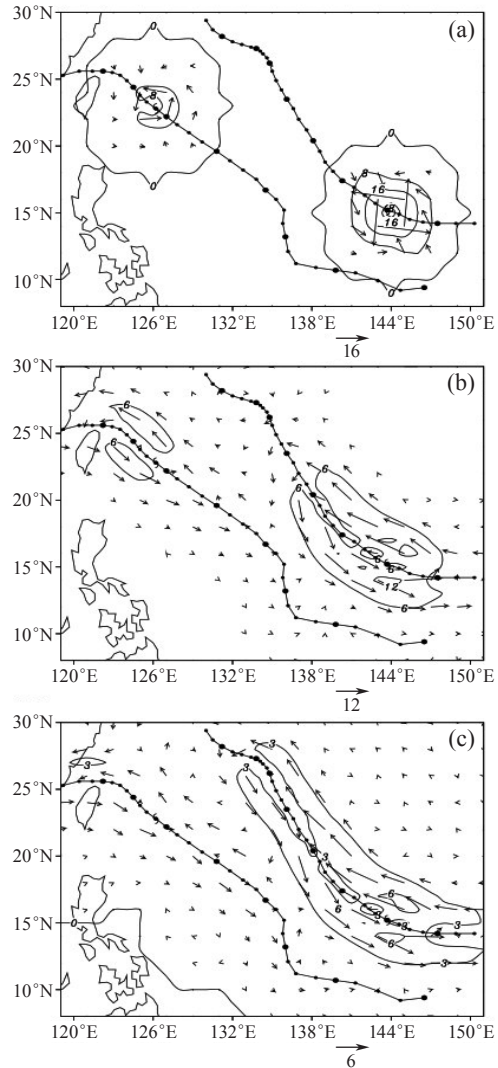


图6 图5中三种方法得到的环境风场与理想背景风场之间的差值风场
(a) 空间分离法, (b) Lanczos滤波法, (c) MWT方法
(等值线表示风速差异的大小, 单位: m/s, 间隔分别为8, 6和3m/s)

环流时, MWT方法的误差较小, 但是当台风强度较大时, 尽管它比其他两种方法误差小, 但是分离效果仍然不是很好。Hsu等^[15]的分析发现, 由于在台风活动期间没有相应强度的反气旋活动, 这种非对称效应不能通过时间滤波中平滑算子来消除。前面的试验提示我们, 可以首先利用空间分离法, 大幅度减弱台风涡旋的强度, 然后再通过时间滤波来分离台风环流及其环境气流。因此, 重复上述的两个试验, 不同之处在于将Lanczos滤波法和MWT方法分别用于经过空间分离法分离后的风场。

图7是单个台风活动个例中7月14日18时分离出来的环境风场和理想风场的差值场。虽然较大的误差仍然出现在台风路径两侧300km范围内, 但是两种组合

方法得到的低频环境风场与背景风场之间的差异都不超过1.5m/s, 明显小于单独使用一种方法时的结果, 在一定程度上减弱了时间滤波法受前后时次环流形势影响而出现的沿路径拉长的风速较大的气旋式环流。图8是对应双台风活动个例中分离出来的环境风场和理想风场的差值场。我们可以发现, 无论是分离出的台风环流还是相应的低频环境风场, 两种组合方法得到的结果都较为相似。组合空间分离法和Lanczos滤波法得到的低频环境风场与背景风场之间的差异最大不超过4.5m/s, 主要出现在台风路径两侧300km范围

内; 组合空间分离法和MWT方法得到的低频环境风场与背景风场之间的差异最大不超过3m/s, 同样出现在台风路径两侧300km范围内。由此可见, 组合方法明显优于单一方法, 空间分离法和MWT方法组合又优于空间分离法和Lanczos滤波法的组合。

4 总结

台风活动于多时间尺度的环境气流中, 为了研究这些环境气流与台风环流的相互作用, 越来越多的研究需要从观测和再分析资料场中将台风环流和环境

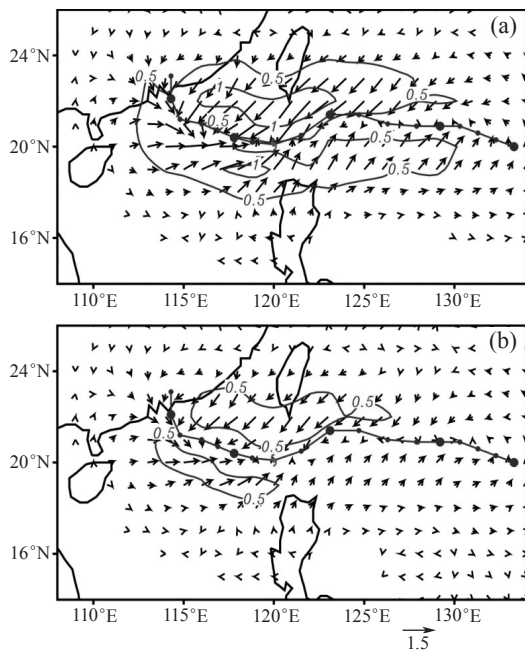


图7 同图4, 但 (a) 为空间分离法和Lanczos滤波法组合, (b) 为空间分离法和MWT方法组合 (等值线表示风速差异的大小, 单位: m/s, 间隔为0.5 m/s)

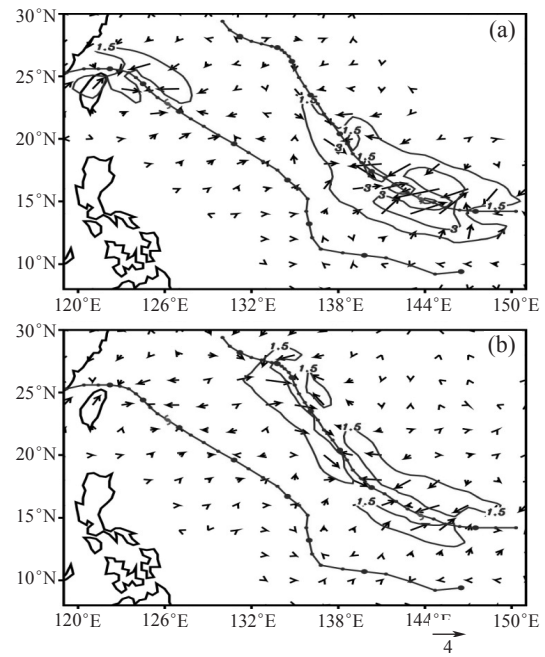


图8 同图6, 但 (a) 为空间分离法和Lanczos滤波法组合, (b) 为空间分离法和MWT方法组合 (等值线表示风速差异的大小, 单位: m/s, 间隔为1.5 m/s)

气流分离开来。本文尝试将MWT方法应用于分离台风环流, 通过理想化试验分析其分离效果, 并与空间分离法和Lanczos滤波法进行了比较, 其优缺点如表1所示。研究表明, MWT方法在用于对台风环流的分离时, 比另外两种方法误差小。当再分析资料中台风强度较强时, 单一分离方法都存在较大的误差。为了减小台风环流分离中的误差, 可以先利用空间分离

法初步滤去部分台风环流, 然后再利用MWT方法或Lanczos滤波法。研究表明, 组合空间分离法和时间滤波法优于单一的台风环流分离方法。研究进一步发现, 通过增加Lanczos滤波法的滤波系数, 可以使该方法的分离结果与MWT方法的分离结果更为接近, 但滤波系数的增加意味着将损失更长时段的资料。需要指出的是, MWT方法在资料序列的长度和滤波频率的选取上都存在一定的限制, 若要去掉这些限制, 则需要对原资料序列进行插值处理, 其分离效果需要进一步研究。

表1 不同台风环流分离方法优缺点对比表

方法	优点	缺点
单一方法		
MWT方法	不会造成资料损失; 误差小于另外两种单一方法	资料序列的长度和滤波频率的选取存在限制
空间分离法	不要求资料具有较长时间序列	误差较大
Lanczos滤波法	误差小于空间分离法, 但大于MWT方法	需要通过损失资料长度来提高滤波效果
时空组合方法	误差小于单一方法	具有参与组合的时间滤波方法的资料限制

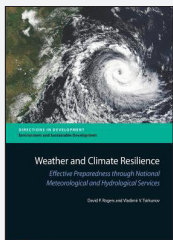
参考文献

- [1] Madden R A, Julian P R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. J Atmos Sci, 1971, 28: 702-708.
- [2] Madden R A, Julian P R. Description of global-scale circulation cells in tropics with a 40-50 day period. J Atmos Sci, 1972, 29:

- 1109–1123.
- [3] Madden R A, Julian P R. Observations of the 40–50-day tropical oscillation: A review. *Mon Wea Rev*, 1994, 122: 814–837.
- [4] Murakami M, Frydrych M. On the preferred period of upper wind fluctuations during the summer monsoon. *J Atmos Sci*, 1974, 31: 1549–1555.
- [5] Murakami M. Cloudiness fluctuations during summer monsoon. *J Meteor Soc Japan*, 1975, 54: 175–181.
- [6] Krishnamurti T N, Ardanuy P. 10 to 20-day westward propagating mode and "Breaks in the Monsoons". *Tellus*, 1980, 32: 15–26.
- [7] Chen T C, Chen J M. The 10–20-day mode of the 1979 Indian monsoon: Its relation with the time variation of monsoon rainfall. *Mon Wea Rev*, 1993, 121: 2465–2482.
- [8] Kiladis G N, Wheeler M. Horizontal and vertical structure of observed tropospheric equatorial Rossby waves. *J Geophys Res*, 1995, 100: 22981–22997.
- [9] Lau K H, Lau N C. Observed structure and propagation characteristics of tropical summertime synoptic scale disturbances. *Mon Wea Rev*, 1990, 118: 1888–1913.
- [10] Chang C P, Chen J, Harr P, et al. Northwestward propagating wave patterns over the tropical western North Pacific during summer. *Mon Wea Rev*, 1996, 124: 2245–2266.
- [11] Gray W M. Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Mon Wea Rev*, 1968, 96: 669–700.
- [12] Emanuel K. A Statistical Analysis of Tropical Cyclone Intensity. *Mon Wea Rev*, 2000, 128: 1139–1152.
- [13] Holland G J. Tropical cyclone motion: Environmental interaction plus a beta effect. *J Atmos Sci*, 1983, 40: 328–342.
- [14] Wu L, Zong H, Liang J. Observational analysis of sudden tropical cyclone track changes in the vicinity of the East China Sea. *J Atmos Sci*, 2011, 68: 3012–3031.
- [15] 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 Climate*, 2008, 21: 2960–2975.
- [16] Kurihara Y, Bender M A, Ross R J. An initialization scheme of hurricane models by vortex specification. *Mon Wea Rev*, 1993, 121: 2030–2045.
- [17] Kurihara Y, Bender M A, Tuleya R E, et al. Improvements in the GFDL hurricane prediction system. *Mon Wea Rev*, 1995, 123: 2791–2801.
- [18] Liang X S, Anderson D G M. Multiscale window transform. *SIAM J. Multiscale Model. Simul*, 2007, 6: 437–467.
- [19] Wang Y. On the bogusing of tropical cyclones in numerical models: The influence of vertical structure. *Meteor Atmos Phys*, 1998, 65: 153–170.

新书架 NEW BOOK

感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆查阅



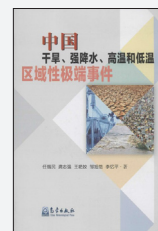
Weather and Climate Resilience:
Effective Preparedness Through National
Meteorological and Hydrological Services
《天气与气候弹性：国家气象与水文部门
有效准备》(丛书)

编著者：David P. Rogers 等
出版者：World Bank Publications
出版年：2013



《竺可桢全集》
编著者：竺可桢

出版者：上海科技教育出版社
出版年：2014



《中国干旱、强降水、高温
和低温：区域性极端事件》

编著者：任福民等
出版者：气象出版社
出版年：2015



《中国应对气候变化的政策
与行动：2014年度报告》

编著者：解振华（主编）
出版者：中国环境出版社
出版年：2015