

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2015.04.015

2013年西北太平洋台风路径集合预报

丁雪霖^{1,2}, 陈永平^{1,2}, 顾茜³

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 江苏省交通规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘要: 基于中国气象局、中国台湾气象局、日本气象厅和美国国家气象局等4个气象预报中心的台风预报资料, 利用加权消除偏差集合方法对2013年发生在西北太平洋的31场台风进行了24 h、48 h和72 h集合预报, 并对预报成果进行误差统计分析。结果表明: 采用静态训练法的集合预报对训练期样本的选择较为敏感, 整体误差波动较大; 而采用动态训练法的集合预报整体误差随训练样本数的增加有减小的趋势, 但当训练样本数达到40后预报误差趋于稳定。对比发现, 在训练期中是否考虑双台风的影响对预报精度影响较大, 去除双台风影响后, 集合预报精度有明显的提高。经综合比较, 就2013年台风而言, 去除双台风影响、滑动训练样本为40的路径集合预报方案为推荐方案。

关键词: 台风路径; 集合预报; 静态训练法; 滑动训练法; 西北太平洋

中图分类号: P444 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2015)04-0361-05

Ensemble forecasts of 2013's typhoon tracks over Northwestern Pacific

DING Xuelin^{1, 2}, CHEN Yongping^{1, 2}, GU Xi³

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Jiangsu Province Communications Planning and Design Institute Limited Company, Nanjing 210014, China)

Abstract: Based on forecast data obtained from the China Meteorological Administration, Taiwan Meteorological Center, Japan Meteorological Agency, and Joint Typhoon Warning Center of the USA, 24-hour, 48-hour, and 72-hour ensemble forecasts of typhoon tracks of 31 typhoons over the Northwestern Pacific in 2013 were conducted using the weighted bias-removed ensemble mean method. Error analysis indicates that the results of ensemble forecasts using the fixed training method with a constant weighting factor are quite sensitive to the selection of training samples, showing significant fluctuation of error for different training samples, while the error of ensemble forecasts using the moving training method with a variable weighting factor shows a declining trend with the increase of the number of training samples and tends to be stable when the number reaches 40. Comparisons show that twin typhoons in the training period have a large influence on the forecast accuracy, and the accuracy is significantly increased by removal of the influence of twin typhoons. Based on comprehensive comparisons of forecast results of 2013's typhoon tracks, the moving training method with 40 training samples and without consideration of twin typhoons in the training period is recommended.

Key words: typhoon track; ensemble forecast; fixed training method; moving training method; Northwestern Pacific

我国沿海所处的西北太平洋经常受到台风的侵扰。台风期间, 在强风和低压的共同作用下, 沿海区域海

收稿日期: 2014-10-08

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201201045); 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室优秀青年基金(20145028112)

作者简介: 丁雪霖(1991—), 女, 江西新余人, 硕士研究生, 主要从事河口海岸及近海工程水动力环境研究。E-mail: dingxl2013@gmail.com

通信作者: 陈永平, 教授。E-mail: ypch@hhu.edu.cn

水快速上涨,极易形成风暴潮灾。为了有效减少台风造成的损失,有必要开展沿海高精度的风暴潮数值预报工作。就风暴潮预报技术而言,水动力计算模式已比较成熟,目前难点在于如何确定合理的台风风场,而这强烈依赖于台风路径的预报是否准确。

在以往对台风路径的数值预报中,由于初值误差、边界误差以及物理参数取值的不确定性,使得不同计算模式的预报结果差异较大^[1-2]。为了克服上述问题,前人提出了基于初值扰动^[3-5]或模式扰动^[6-7]的集合预报方法,即通过不同的初始条件和物理参数甚至不同模式的组合,生成多个组次的集合样本,在统计分析的基础上,给出更加可靠的台风路径预报结果。但是以上方法存在计算成本过高的问题,为此 Krishnamurti 等^[8-9]提出一种多模式超级集合的预报方法,它包含多个独立模式的预报结果,可快速实现多样本的集合化预报,能有效改善风场预报的结果。由于其计算成本低、简单实用,近年来在气象和水文预报中得到广泛的应用^[10-16]。

为了检验多模式超级集合方法在台风路径预报中的效果,本文以 2013 年发生在西北太平洋的 31 场台风为样本,分别采用传统的静态训练法和优化的滑动训练法,对训练期包含和去除双台风事件影响的两种情况分别进行集合预报,并对不同方案的预报误差进行综合比较,以确定优选的预报方案,为未来台风路径集合预报方案的选择提供参考。

1 气象资料与集合预报方法

1.1 气象资料

采用的气象资料包括 2011—2013 年间中国气象局(简称中国台)、中国台湾气象局(简称中国台湾台)、日本气象厅(简称日本台)和美国国家气象局(简称美国台)于台风期间发布的台风路径预报资料和福建水利信息网公布的台风路径实测资料^[17],其中 2011 年、2012 年和 2013 年分别有 21 场、25 场和 31 场台风的资料。预报资料区域选取为西北太平洋海域($0^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{E}$),预报时效为 24 h、48 h 和 72 h。

1.2 预报方法

采用 Krishnamurti 等^[8-9]提出的超级集合预报方法来构造台风的预报路径,即将每个气象预报中心的预报结果作为一种模式,并将台风季节按先后顺序划分为两部分:训练期和预报期,其中训练期内的台风称为训练样本。在训练期,通过对训练样本中各气象中心预报结果的误差进行分析,确定参与各个预报台站的权重系数;在预报期,使用上述权重系数将各个模式预报结果进行加权平均,获得台风的集合预报路径。

1.2.1 预报期

在预报期,基于以上 4 个预报中心的预报值,采用加权消除偏差集合方法^[8]构造集合预报中的台风路径:

$$F_{\text{WEM}} = \sum_{i=1}^N \alpha_i (F_i - \bar{e}_i) \quad (1)$$

式中: F_{WEM} ——加权消除偏差集合预报值; F_i ——第 i 个台站的预报值; $\bar{e}_i$ ——第 i 个台站训练期的平均误差; α_i ——权重系数; N ——参与超级集合的模式总数,本文取为 4。

1.2.2 训练期

在训练期,模式权重系数满足 $\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1$ 。为了使训练期预报误差越小的台站在多模式集合预报中所占权重越大,权重系数取为训练期内各台站预报值平均误差的倒数,其数学表达式为

$$\alpha_i = \frac{E_i}{\sum_{i=1}^N E_i} \quad (2)$$

其中

$$E_i = \frac{1}{\bar{e}_i}$$

对于路径预报效果,采用台风位置平均距离误差(ΔR)来进行检验评估:

$$\Delta R = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M r_k \quad (3)$$

式中: r_k ——第 k 次预报的台风中心位置误差; M ——总预报次数。

采用传统的静态训练法和优化的滑动训练法进行对比。(a)静态训练法:采用固定不变的权重系数,预报期为多场台风。针对预报期内所有的台风,以相同的训练期样本进行训练获得权重,并将该权重用于预报期内所有台风的预报。(b)滑动训练法:采用动态变化的权重系数,预报期为单场台风,训练期取为紧邻预报台风的前 k 场台风。由于训练样本在不断变化,每场预报台风采用的权重系数也将发生动态的调整,其量值与 k 值的大小有关。

2 集合预报结果分析

为了便于各方案比较,对 2013 年发生在西北太平洋的所有台风进行集合预报,通过预报值与实测值的比较,分别对静态训练法和滑动训练法所得到的结果进行误差对比分析。

2.1 基于静态训练法的集合预报误差分析

首先采用静态训练法进行集合预报,分别以不同年份的台风为训练期样本(具体方案见表 1)来确定集合预报的权重系数。考虑到 2012 年存在 2 次明显的双台风事件,而 2013 年台风事件多以单一台风出现,因此在训练样本中设计了 2 个去除双台风影响的方案(A3 和 A5)。根据不同组次的训练结果对 2013 年全年的台风路径分别进行了 24 h、48 h 和 72 h 集合预报,预报结果的误差如表 2 所示。

表 2 2013 全年台风单一台站预报及静态训练集合预报路径误差
Table2 Average errors of forecasts of 2013's typhoon tracks obtained from individual stations and ensemble forecasts using fixed training method

预报时效/ h	预报路径误差/km								
	中国台	中国台湾台	日本台	美国台	A1	A2	A3	A4	A5
24	64.0	64.4	76.5	59.7	57.9	59.7	58.0	59.1	58.1
48	113.2	127.6	141.5	110.2	110.8	115.4	113.1	113.4	111.3
72	195.5	208.9	215.6	184.4	189.4	197.5	189.2	194.3	188.2

对表 2 中 24~72 h 预报时效下各静态训练期超级集合预报组次的误差进行分析,结果表明:

a. 基于静态训练法的集合预报相对于中国台、中国台湾台、日本台和美国台等单一台站的预报而言,在风暴潮业务化预报最关心的 24 h 预报时效中,所有集合化方案预报误差均小于或等于最小的单一台站预报误差,而在 48~72 h 预报时效下,集合化预报方案的预报误差总体上也优于单一台站的预报误差。

b. 对比 A2 和 A3 方案、A4 和 A5 方案可以发现,在训练期中去除双台风事件的影响可有效提高台风路径的预报精度。

c. 由 A1、A3 和 A5 方案的误差比较可知,当以过往年份为训练期进行 2013 年全年台风预报时,以 2011 年为训练期的误差最小,而以 2012 年或 2011 年及 2012 年为训练期得到的误差大小相近,且后者更优。由此看出,当以某一年为训练期对 2013 年全年台风进行预报时,预报结果对训练样本的选取较为敏感,选取不同的样本可能导致预报误差相差较大,选择最优训练样本的难度较大。

2.2 基于滑动训练法的集合预报误差分析

为了选择合理的训练样本,本文提出一系列的基于滑动训练法的集合预报方案(表 3)。在方案比选的过程中,分别采用不同的滑动训练样本数,并考虑训练样本中包含或去除双台风影响的情况,进行

表 1 基于 2013 全年台风静态训练法
集合预报不同方案的训练期

Table 1 Training periods for different schemes of fixed training method for ensemble forecasts of 2013's typhoon tracks

方案编号	训练期
A1	2011 全年
A2	2012 全年
A3	2012 全年(除双台风)
A4	2011 和 2012 全年
A5	2011 和 2012 全年(除双台风)

表 3 2013 全年台风滑动训练法
集合预报不同方案的滑动样本数

Table 3 Numbers of typhoon samples used in different schemes of moving training method for ensemble forecasts of 2013's typhoons

训练期含双台风		训练期除双台风	
方案编号	滑动样本数	方案编号	滑动样本数
C1	10	C1_1	10
C2	15	C2_1	15
C3	20	C3_1	20
C4	25	C4_1	25
C5	30	C5_1	30
C6	35	C6_1	35
C7	40	C7_1	40
C8	45	C8_1	45

了2013 年西北太平洋台风路径的集合预报,预报结果如表 4、表 5 以及图 1 所示。

表 4 2013 年全年台风单一台站预报及滑动训练法超级集合预报路径误差(含双台风)

Table 4 Average errors of forecasts of 2013's typhoon tracks obtained from individual stations and ensemble forecasts using moving training method and considering twin typhoons

预报时效/ h	预报路径误差/km											
	中国台	中国 台湾台	日本台	美国台	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
24	64.0	64.4	76.5	59.7	59.6	58.9	59.2	59.4	58.4	59.0	58.7	59.1
48	113.2	127.6	141.5	110.2	122.4	116.3	116.1	115.5	114.5	116.7	115.0	115.2
72	195.5	208.9	215.6	184.4	207.6	193.5	193.2	195.1	196.0	200.8	195.8	196.0

表 5 2013 年全年台风单一台站预报及滑动训练法超级集合预报路径误差(除双台风)

Table 5 Average errors of forecasts of 2013's typhoon tracks obtained from individual stations and ensemble forecasts using moving training method without considering twin typhoons

预报时效/ h	预报路径误差/km											
	中国台	中国 台湾台	日本台	美国台	C1_1	C2_1	C3_1	C4_1	C5_1	C6_1	C7_1	C8_1
24	64.0	64.4	76.5	59.7	59.6	58.6	59.3	58.9	57.5	58.0	58.1	58.1
48	113.2	127.6	141.5	110.2	122.4	115.5	117.5	113.7	114.0	114.3	112.4	112.0
72	195.5	208.9	215.6	184.4	207.6	196.0	192.5	191.2	191.4	192.0	187.4	189.8

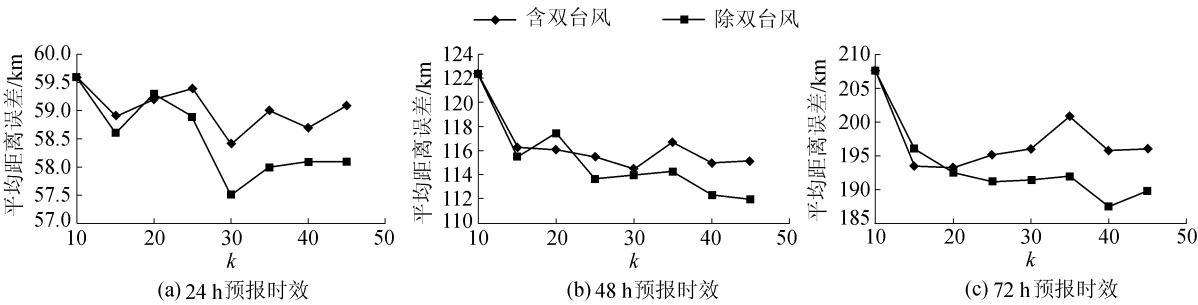


图 1 2013 年全年台风平均距离误差随滑动样本数 k 的变化

Fig. 1 Average distance errors of forecasts of 2013's typhoon tracks changing with number of typhoon samples k in moving training method

对表 4、表 5 和图 1 中 24~72 h 预报时效的误差分析,结果表明:

a. 训练过程中去除双台风事件的影响可有效提高预报结果的精度。从图 1 可以看出,对于滑动训练样本数 $k>20$ 的情况,在 24~72 h 预报时效下所有除双台风方案的预报误差均小于相同训练样本数下的含双台风方案。

b. 动态训练法中训练期样本数对预报结果影响显著。随着 k 值的增加,集合化预报的整体误差有所减少。相对而言,去除双台风影响方案的整体误差随 k 值下降更为明显。

c. 在训练期中去除双台风事件的影响后,当滑动训练样本数 k 达到 40 时预报误差的变化趋于稳定,其整体误差与 A1 方案(静态训练法中的最优方案)相当,其 24 h 预报精度较中国台、中国台湾台、日本台和美国台分别提高了 9.2%、9.8%、24.1%和 2.7%。

通过综合比较,推荐 C7_1(去除双台风影响, $k=40$ 的动态训练方案)为推荐方案,考虑到本文仅选择了 2013 年的台风事件作为研究对象,推荐方案是否具有普适性还有待于在未来的台风路径预报实践中进一步的检验。

3 结 语

本文基于中国气象局、中国台湾气象局、日本气象厅和美国国家气象局 4 个气象预报中心所提供的台风路径预报资料,采用多模式加权消除偏差集合平均方法对 2013 年全年发生在西北太平洋的 31 场台风进行集合化路径预报,其中在样本训练过程中分别采用了传统的静态训练法和优化的滑动训练法。通过对预报结果的对比分析,得到以下结论:

a. 采用加权消除偏差的集合预报方法能够较好地提高预报精度,所得的平均距离误差在 24 h 预报时效中要小于参与集合的各单站预报误差。将训练期样本中的双台风去除后,预报误差明显减少。

b. 在基于静态训练法的集合化预报中,以某一年为训练期的预报对于训练年份的选取较敏感,整体预报误差的波动较大。

c. 在基于滑动训练法的集合化预报中,对于训练样本中不考虑双台风的情况,随着滑动样本数的增加,预报误差呈下降趋势,且下降速度逐渐放缓,当滑动训练样本数 $k > 40$ 时基本趋于不变。综合考虑预报的准确性和可操作性,推荐使用训练期去除双台风影响、训练样本数 $k = 40$ 的滑动训练法来对台风路径进行集合预报。

参考文献:

- [1] 陈静,陈德辉,颜宏. 集合数值预报发展与研究进展[J]. 应用气象学报,2002,13(4):497-507. (CHEN Jing, CHEN Dehui, YAN Hong. A brief review on the development of ensemble prediction system[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2002, 13(4):497-507. (in Chinese))
- [2] 段明铿,王盘兴. 集合预报方法研究及应用进展综述[J]. 南京气象学院学报,2004,27(2):279-288. (DUAN Mingkeng, WANG Panxing. Advances in researches and applications of ensemble prediction[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2004, 27(2):279-288. (in Chinese))
- [3] ZHANG Z, KRISHNAMURTI T N. Ensemble forecasting of hurricane tracks[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1997, 78(12):2785-2795.
- [4] 周霞琼,端义宏,朱永褪. 热带气旋路径集合预报方法研究 I:正压模式结果的初步分析[J]. 热带气象学报,2003,19(1):1-8. (ZHOU Xiaqiong, DUAN Yihong, ZHU Yongti. The ensemble forecasting of tropical cyclone motion I: using a primitive equation barotropic model[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2003, 19(1):1-8. (in Chinese))
- [5] 王晨稀,梁旭东. 热带气旋路径集合预报试验[J]. 应用气象学报, 2007, 18(5):586-593. (WANG Chenxi, LIANG Xudong. Ensemble prediction experiments of tropical cyclone track[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2007, 18(5):586-593. (in Chinese))
- [6] 朱永褪,程戴晖. 热带气旋路径动力释用预报的集合预报方案[J]. 气象科学,2000,20(3):229-238 (ZHU Yongti, CHEN Daihui. An ensemble forecasting scheme of the tropical cyclone track based on dynamic interpretation method[J]. Scientia Meteorological Sinica, 2000, 20(3):229-238 (in Chinese))
- [7] RAO D V B, SRINIVAS D. Multi-physics ensemble prediction of tropical cyclone movement over Bay of Bengal[J]. Natural Hazards, 2014, 70:883-902.
- [8] KRISHNAMURTI T N, KISHTAWAL C M, LAROW T E, et al. Improved weather and seasonal climate forecasts from multimodel superensemble[J]. Science, 1999, 285:1548-1550.
- [9] KRISHNAMURTI T N, KISHTAWAL C M, SHIN D W, et al. Improving tropical precipitation forecasts from a multianalysis superensemble[J]. Journal of Climate, 2000, 13(23):4217-4227.
- [10] KRISHNAMURTI T N, GNANASEELAN C, CHAKRABORTY A. Prediction of the diurnal change using a multimodel superensemble. Part I: Precipitation[J]. Monthly Weather Review, 2007, 135(10):3613-3632.
- [11] 智协飞,林春泽,白永清,等. 北半球中纬度地区地面气温的超级集合预报[J]. 气象科学, 2009, 29(5):569-574. (ZHI Xiefei, LIN Chunze, BAI Yongqing, et al. Superensemble forecasts of the surface temperature in northern hemisphere middle latitudes[J]. Scientia Meteorological Sinica, 2009, 29(5):569-574. (in Chinese))
- [12] 林春泽,智协飞,韩艳,等. 基于 TIGGE 资料的地面气温多模式超级集合预报[J]. 应用气象学报, 2009, 20(6):706-712. (LIN Chunze, ZHI Xiefei, HAN Yan, et al. Multi-model superensemble forecasts of the surface temperature using the TIGGE data[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20(6):706-712. (in Chinese))
- [13] CANE D, BARBARINO S, RENIER L A, et al. Regional climate models downscaling in the Alpine area with multimodel superensemble[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2013, 17(5):2017-2028.
- [14] 廖春花,智协飞,王亚男,等. 超级集合预报在湖南地区的试验分析[J]. 广东气象, 2013, 35(2):21-26. (LIAO Chunhua, ZHI Xiefei, WANG Yanan, et al. Superensemble forecast experiment of the surface temperature in Hunan Province and 500 hPa geopotential height over eurasian area during early 2008[J]. Guangdong Meteorology, 2013, 35(2):21-26. (in Chinese))
- [15] JOHNSON B, KUMAR V, KRISHNAMURTI T N. Rainfall anomaly prediction using statistical downscaling in a multimodel superensemble over tropical South America[J]. Climate Dynamics, 2014, 43(7/8):1731-1752.
- [16] KUMAR V, KRISHNAMURTI T N, FIORINO M, et al. Multimodel superensemble forecasting of tropical cyclones in the Pacific[J]. Monthly Weather Review, 2003, 131(3):574-583.
- [17] 福建水利信息网. 台风路径[EB/OL]. [2014-09-25]. <http://www.fjwater.gov.cn>.