

台风路径集合化预报方法的优化

袁杰颖^{1,2}, 陈永平^{1,2}, 潘毅^{1,2}, 董家根³, 罗俐雅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. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029)

摘 要: 在现有集合化预报方法的基础上, 基于预估偏差的思想设计了一种新的优化方案, 以进一步提高台风路径预报的精度和稳定性。首先以 1307 号台风“苏力”为例进行了单场台风的 24 h 集合预报, 对预报过程中的误差进行了详细分析; 然后对 2013—2015 年发生在西北太平洋的所有台风进行了 24 h、48 h 和 72 h 集合预报, 就其整体误差进行了对比分析。结果表明: 优化预报方案在对单场台风的路径预报中, 其 24 h 集合预报误差相较于美、日、中、台等 4 个气象台站和现有集合预报方案分别减小了 12.88%、18.40%、30.58%、19.44%、33.72%, 各个预报时刻的预报偏差值波动相对较小; 在对 2013—2015 年的多场台风路径预报中, 在 24 h 预报时效下, 优化方案的平均预报误差比现有集合预报方法提高了 2.85%, 而均方差则减小了 10.6%, 说明优化方案在保持与现有预报方案精度相当的基础上, 在预报稳定性上有了较为显著的提高; 48 h 的集合预报误差相比于最好的台站中国台减小了 4.38%, 而 72 h 的集合预报误差与表现最好的中国台的预报误差相当, 且明显小于现有方案的预报误差。

关键词: 台风路径; 集合预报; 预估偏差; 误差修正

中图分类号: P457.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)02-0037-06

1 引言

我国沿海是受台风侵扰最为频繁的地区之一。台风期间, 在强风和低压的作用下, 台风往往会给沿岸地区带来狂风大浪和普遍增水, 对沿岸的防护工程及岸上的人员和财物安全造成严重威胁。为了有效抵御台风的影响, 有必要在沿海区域开展高精度的台风路径预报。近年来, 许多国家的气象预报台站已运用数值模式^[1-2]进行台风预报, 且多采用数值预报的方式, 但由于初值条件、计算参数和离散方法等方面的原因, 预报值和实际值往往存在一定的偏差。为了提高预报精度, 前人提出了基于初值扰动或模式扰动的集合预报方法^[3-4], 通过

不同的初始条件、计算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。考虑到以上方法计算成本过高, Krishnamurti 等^[5-6]提出了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, 并能有效改善风场预报的结果。由于各个独立模式的权重因子对训练期样本选择具有较大的依赖性, 丁雪霖等^[7]提出了一种利用最近多场历史台风预报结果进行动态训练, 并对预报平均误差进行消除的超级集合方法, 通过 2013 年多场台风的检验, 其整体表现明显优于单一模式的预报结果。不过在随后的预报实践中也发现, 在对个别台风的预报过程中, 有

收稿日期: 2016-07-27; 修回日期: 2016-12-01。

基金项目: 江苏省水利科技项目(2015006)。

作者简介: 袁杰颖(1991-), 女, 硕士在读, 从事河口海岸及近海工程水动力环境研究。E-mail: angelineyuan@163.com

通讯作者: 陈永平(1976-), 男, 教授, 博士, 从事河口海岸及近海工程水动力环境研究。E-mail: ypch@hhu.edu.cn

可能出现某些时刻预报误差明显偏大的现象,其主要原因是各个模式对当场台风的预报偏差和历史台风的平均预报偏差未必一致,这使得在平均误差消除的过程中,有可能带来新的预报误差。为了解决这个问题,本文在对现有方法进行了优化,通过对一场台风预报过程中的偏差进行预估,通过动态训练方式不断更新权重因子及预报偏差,在下一次预报时刻对各台站的预报结果进行偏差修正和权重的动态更新,从而得到更加可靠的预报结果。下文将对优化方案所需的基础资料、预报方法以及预报结果进行详细介绍。

2 资料与方法

2.1 气象资料

本文采用的气象资料包括2013—2015年间福建水利信息网(<http://www.fjwater.gov.cn/>)所公布的中国气象局(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台风路径实测资料。其中2013年、2014年和2015年分别有31场、22场和27场台风资料。预报资料区域选取为西北太平洋海域($10^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$),预报时效为24 h、48 h和72 h,每6 h更新一次预报成果。

2.2 方法介绍

如前所述,现有集合预报方法是一种多模式超级集合预报方法。在该方法中,各个气象预报中心的预报结果被作为一种模式参与集合计算。台风季节按先后顺序被划分为两部分:其中,需要进行预报台风的时期称为预报期;进行预报时所考虑的、在预报台风之前发生的历史台风组成的时期称为训练期,对应所考虑的台风称为训练样本。在训练期,各个气象台站对所有训练样本的预报误差进行统计,从而确定各个气象台站在预报期的权重系数和偏差修正值;在预报期,针对每一个预报时刻,采用上述权重系数和误差修正值将各个气象台站的预报结果进行加权平均,并以加权平均所得值作为多模式超级集合预报的结果。在现有预报方案中,为了更加客观反映各台站最新的预报表现,采

用滑动训练的方法,选取紧邻预报台风的前 k 场台风作为训练样本(见图1),动态确定权重系数和需要修正的预报偏差。通过不同 k 值的方案比选,最终选取滑动训练样本数 $k=40$ 、训练期去除“双台风”样本的多模式超级集合预报方案作为未来台风预报的推荐方案^[7]。通过2013年多场台风的检验,现有预报方案的整体精度明显优于单一台站的预报精度,但也存在一定的不足,主要表现为:(1)对历史数据的需求量很大,需要过去前40场台风完整的历史资料;(2)在一场台风的预报过程中,各台站的权重系数保持不变,不能实现权重系数的动态调整;(3)在单场台风某个时刻的预报偏差与历史台风的平均偏差有较大差别,甚至出现符号相反的情形,因此在偏差修正的过程中有可能使得某些时刻集合预报误差明显大于单一台站预报误差的情形。

为了克服以上问题,本文提出一种基于预估偏差的优化方案,该方案的核心思想是假定各台站相邻时刻预报误差的趋势保持基本不变,据此预估各台站下一时刻预报的预报偏差,然后根据该预估偏差对各台站预报结果进行修正,并进行不同台站权重的赋值。其计算方法见图2,利用当前时刻和前一时刻的实测值、预报值加上下一时刻的预报值(一共5个点,图2中绿色表示),来不断更新修正预

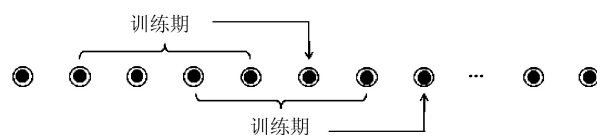


图1 滑动训练法示意图

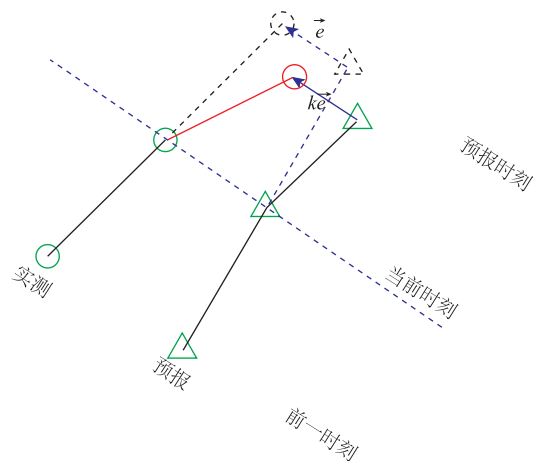


图2 计算预估偏差的示意图

报值(图2中红色表示)。

图2中 \vec{e} 为“预估偏差”。各台站的修正预报值利用“预估偏差”来计算,可写为:

$$\vec{P}_i = \vec{P}_{0i} + k * \vec{e}_i \quad (1)$$

式中: \vec{P}_i 为第*i*个台站修正预报值的位置矢量,包括经度和纬度; \vec{P}_{0i} 为第*i*个台站原始预报值的位置矢量,包括经度和纬度; k 为经验参数; \vec{e}_i 为第*i*个台站对应的预估偏差。

计算得到修正预报值之后,可利用该“预估偏差”来计算每个台站修正预报值的权重,其数学表达式为:

$$\alpha_i = \frac{1/|\vec{e}_i|}{\sum_{i=1}^N (1/|\vec{e}_i|)} \quad (2)$$

式中: α_i 是第*i*个台站的权重系数, N 为参与集合的模式个数,本文取4。

得到了各台站对应的权重系数之后,类似于现有的超级集合预报方案^[7],采用加权集合平均的方法来计算集合化预报结果,即:

$$\vec{P}_e = \sum_{i=1}^N \alpha_i \vec{P}_i \quad (3)$$

式中: \vec{P}_e 为基于预估偏差的集合预报结果。

3 集合预报结果分析

为了掌握优化方案对路径预报精度的改善情

况,本文对2013—2015年发生在西北太平洋的所有台风进行了预报,分别就单场台风的预报过程误差和所有台风的整体预报误差进行了统计分析,下面分别予以介绍。

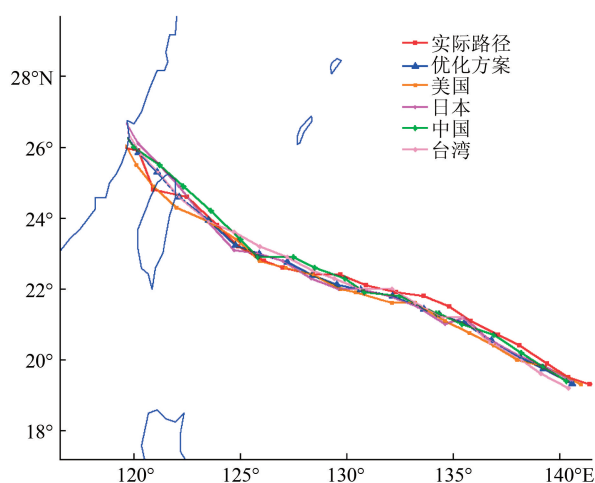
3.1 单场台风的集合预报

考虑到影响我国的超强台风多在东南沿海一线登陆,本文选取1307号台风“苏力”作为单场的典型台风,对优化方案的预报表现进行详细分析。

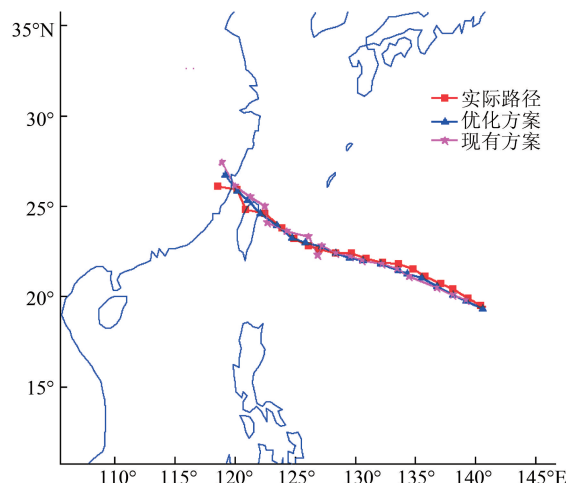
“苏力”台风于2013年7月8日08时(北京时,下同)在中国台湾省台北市东偏南方大约2 500 km的西北太平洋洋面上生成,中心附近最大风力有8级(18 m/s),中心最低气压为1 000 hPa。7月9日02时加强为强热带风暴,08时加强为台风,17时加强为强台风。7月10日加强为超强台风。7月11日开始逐渐减弱。7月13日03时在台湾省新北市与宜兰县交界处登陆。7月13日16时在福建省连江县黄岐半岛沿海再次登陆,17时减弱为强热带风暴,于23时减弱为热带风暴。“苏力”台风具有强度发展快、风力强、正面登陆等特点,强风、暴雨和巨浪给我国台湾和广东地区带来了严重灾害。

根据福建水利信息网所提供的以上4个气象台站的预报资料,分别采用了现有方案和优化方案对“苏力”台风路径进行了集合预报,下面以业务预报中最为关注的24 h预报结果进行对比分析(见图3)。

图3 a为优化方案与4个台站的24 h预报路径



a. 优化方案和4个台站



b. 优化方案和现有方案

图3 24 h预报路径对比图

对比图。从图中可以看出,随着预报时刻的推移,集合化预报的路径越来越趋近于实际路径,路径误差相较于各单一台站明显减小。刚开始时,台风处在孕育初期,路径杂乱无章,无明显规律可循,故集合预报的结果波动较大;随着台风的推移,集合化的预报结果与实际路径越来越贴合,路径偏差很小;台风登陆时,集合预报的位置与实际位置基本一致,而各台站的预报路径与实际路径的偏差波动较大,不如集合预报的结果稳定;

图3b为优化方案与现有方案的24 h预报路径对比图。从图中可以看出,刚开始时现有方案的表现相对更好,这可能是因为现有方案对路径误差的修正是基于历史台风的大量数据的平均,优化方案则是利用前几个时刻的预报值和实测值,所以刚开始波动稍大,但在台风行进过程中,优化方案的路径误差不断修正,表现越来越好,与实际路径逐渐逼近,而现有方案在单场台风中的误差修正值是不变的,因此其预报表现在台风登陆前相对更差一些。

图4为不同预报方案的路径预报平均误差。从图4中可以看出,24 h集合预报的路径误差明显小

于各单一台站,路径预报平均误差相比于美、日、中、台分别减小了12.88%、18.40%、30.58%、19.44%,并且优化方案的路径平均误差比现有方案减小了33.72%。从图3b可以看出,优化方案的台风预报路径走势更加平稳,特别是当台风接近陆地时,预报精度有较大幅度的提高,没有出现明显偏离实际路径的情形。

3.2 2013—2015年台风路径集合预报误差统计

为了探究本论文所提出的优化方案的普适性,对2013—2015年发生在西太平洋海域的所有台风进行24 h、48 h和72 h的集合预报,并且对平均预报误差进行了统计,其中2013、2014、2015年统计的台风数分别为31、22、27,在24 h、48 h和72 h预报时效下的预报误差的结果如图5a、5b、5c所示。

从图5a可以看出,在2013—2015年的台风路径的24 h预报过程中,集合化的整体预报误差小于各单一台站,相较于各台站分别减小了7.67%、13.61%、8.69%、13.47%。需要指出的是,在数据分析过程中,本文对“预估偏差”中的经验系数 k 做了敏感性分析,结果表明:当 k 取0.3的时候,集合化的预报误差最小。从3年的平均误差来看,24 h集合化的结果相比单一台站有了明显的改善,比现有方案也减少了2.85%,说明优化方案整体上保持了与现有预报方案相当的精度。

从图5b、5c可以看出,48 h和72 h预报时效下,优化方案的预报结果相较于各单一台站均有一定程度的改善,48 h的集合预报误差相比于最好的台站中国台减小了4.38%,而72 h的集合预报误差与表现最好的中国台的预报误差相当,且明显小于现有方案的预报误差。

根据优化方案在2013—2015年台风期间的预

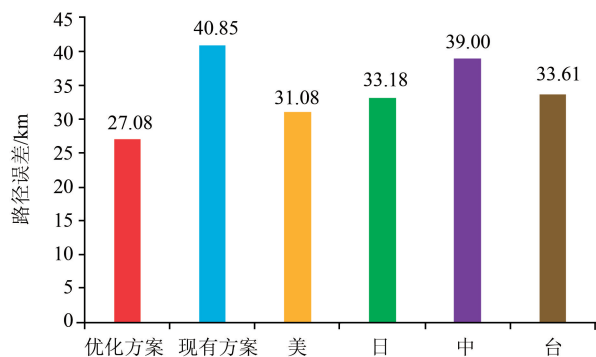


图4 1307号“苏力”台风路径预报平均误差

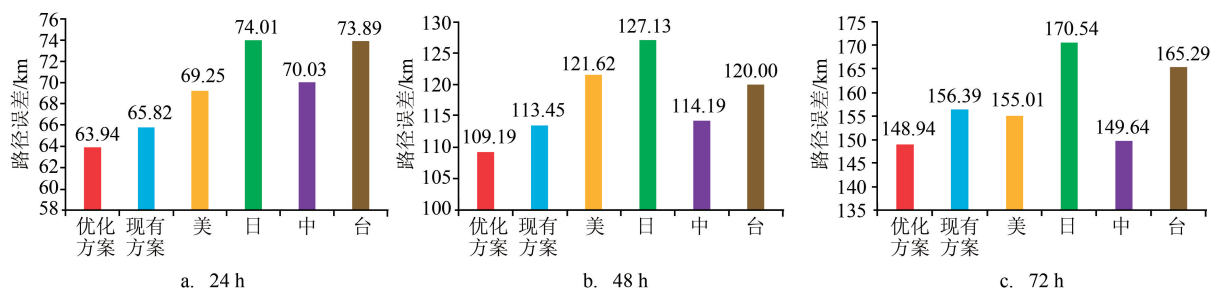


图5 不同预报时效的台风路径预报平均误差

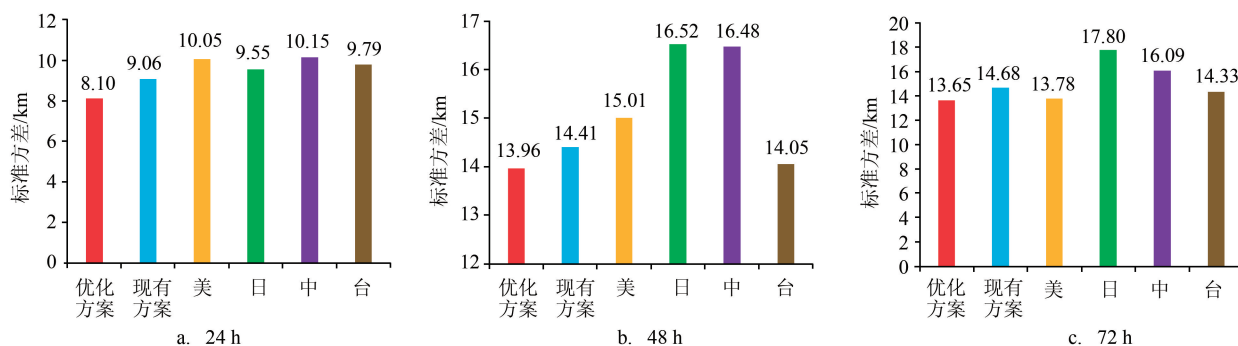


图6 不同预报时效的台风路径预报均方差

报表现,通过计算所有误差的均方差对其预报的稳定性进行定量评判(见图6)。从结果可以看出,24 h下优化预报方案误差的均方差明显减小了10.6%,48 h和72 h下均方差也较单站和现有方案有一定程度的减小。考虑到优化方案预报的整体精度与现有方案的精度大体相当,由此可以推测优化方案可更加有效地避免集合预报在某些时刻出现较大偏差的情形,因此其预报结果也更加稳定、可靠。

4 结语

本文基于中国气象局、中国台湾气象局、日本气象厅和美国气象局等4个预报中心的台风预报资料,引入了预估偏差的思想,利用当前时刻和上一时刻的实测值和预报值的线性延伸来预估下一时刻的预估偏差,进而用此预估偏差来修正预报值和计算权重,得到各台站对应的权重系数,之后采用加权集合平均的方法得到集合化的路径预报值。相比于现有的集合预报方案,本文所提出的优化方案不需要依赖于历史台风,对数据量要求很小,数据的处理比较简单,可操作性强。

通过对比分析单场台风“苏力”的过程预报结果和2013—2015年发生在西北太平洋的所有台风

的整体预报结果可以看出,优化方案可以保持较高的预报精度,且稳定性有较为明显的提高,从总体表现上要优于单一台站和现有的集合预报方案。后续将重点开展基于优化方案的业务化预报工作,希望能在未来台风的集合路径预报实践中发挥重要作用。

参考文献:

- [1] 李泽椿, 陈德辉. 国家气象中心集合数值预报业务系统的发展及应用[J]. 应用气象学报, 2002, 13(1): 1-15.
- [2] 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.
- [3] 段明镒, 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.
- [4] 黄燕燕, 万齐林, 袁金南, 等. 基于BDA扰动法的台风路径集合预报试验研究[J]. 热带气象学报, 2006, 22(1): 49-54.
- [5] Krishnamurti T N, Kishtawal C M, LaRow T E, et al. Improved Weather and Seasonal Climate Forecasts from Multimodel Superensemble[J]. Science, 1999, 285(5433): 1548-1550.
- [6] Zhi X F, Zhang L, Bai Y Q. Application of the Multi-model Ensemble Forecast in the QPF[C]//Proceedings of 2011 International Conference on Information Science and Technology. Nanjing, Jiangsu, China: IEEE, 2011.
- [7] 丁雪霖, 陈永平, 顾茜. 2013年西北太平洋台风路径集合预报[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2015, 43(4): 361-365.

Improvement of ensemble forecast of typhoon track in the Northwestern Pacific

YUAN Jie-ying^{1,2}, CHEN Yong-ping^{1,2}, PAN Yi^{1,2}, DONG Jia-gen³, LUO Li-ya³

(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 Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029 China)

Abstract: Based on the existing super-ensemble forecast method, an improved method is proposed to further improve the typhoon track forecast accuracy and stability, which is relied on the principle of error-estimation ensemble. The performance of the method is examined by the forecasting of 24-hour of a single typhoon, i.e. 'Soulik' (No. 1307), in the region of northwestern Pacific, and the forecast errors are analyzed in detail. After that, the forecast of all the typhoons over the northwestern Pacific from 2013 to 2015 of 24-hour, 48-hour and 72-hour has been conducted by using the improved method to analyze its overall error. The results show that the better accuracy is achieved by the existing method in terms of the single typhoon and the forecast error has reduced by 12.88%、18.40%、30.58%、19.44%、33.72% compared to the results from the four individual forecast centers and the existing method. The deviation of forecast errors is relatively small compared to that of individual forecast centers. In terms of the whole typhoons from 2013 to 2015 of 24-hour, the average overall forecast errors could be reduced by 2.85% by the improved method compared with the existing one while the standard deviation of the errors could be reduced by 10.6%. The ensemble forecast error of 48-hour has reduced by 4.38% compared with the best single center and the 72-hour forecast result is close to the best center and both the results are better than the existing method. It indicates that the improved method could increase the forecast stability remarkably while keeping the same order of accuracy as the existing method.

Key words: typhoon track; ensemble forecast; error-estimation ensemble; error correction