

黄颖,黄小燕,赵华生,等.基于遗传神经网络方法的2309号台风“苏拉”路径和强度预报分析[J].气象研究与应用,2024,45(2):109-113.
HUANG Ying, HUANG Xiaoyan, ZHAO Huasheng, et al. Analysis of the track and intensity of typhoon “Saola” (2309) based on the Genetic Neural Network Method [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(2): 109-113.

基于遗传神经网络方法的2309号台风“苏拉”路径和强度预报分析

黄颖¹, 黄小燕^{1*}, 赵华生¹, 吴玉霜²

(1. 广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022; 2. 广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

摘要:以多种数值预报产品资料为基础,将影响广西的2309号台风“苏拉”作为研究对象,采用广西遗传神经网络台风预报方法,通过综合运用多种智能计算方法与系统降维技术,分析研究台风自身的变化特点及其与环境流场的相互作用,对2309号台风“苏拉”路径、强度预报情况进行分析研究。结果表明,广西遗传神经网络台风预报方法预报精度较高,预报性能稳定,在台风“苏拉”强度预报中有优异的表现,但该方法在路径预报中较其他预报模式误差偏大,未来针对此类前期打转、后期路径稳定西行的台风,将对模型的预报因子及数据挖掘技术进行分析并加以改进,以提高该方法对异常路径台风的预报精度。

关键词:广西神经网络;台风“苏拉”;路径预报;强度预报

中图分类号: P456 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.2.18

台风是影响广西的重要灾害性天气系统之一,平均每年影响广西的台风个数为5个,最多可达到9个。由台风引发的大风、暴雨以及次生灾害,往往会造成严重的经济损失和人员伤亡。台风移动路径和强度的变化十分复杂,受到环境场和系统内部的热力、动力等多种环境因素的综合影响,具有显著的非线性变化特征,是气象预报的重点和难点问题^[1-2]。

近30 a来,随着气象观测技术的发展、计算机性能的提高以及数值预报模式的改进和升级,国内外气象学者开展许多台风研究,建立多种预报模型,使得台风预报时效延长,显著提高台风预报准确率和精细化程度。特别是我国的台风路径预报方面,通过以数值预报产品资料为基础,综合应用多种客观定量预报技术,包括动力统计预报、动力释用预报、神经网络方法、多模式集成预报等,台风的各类

预报指导产品也更为丰富,台风预报业务取得较大的进步。但是不同于台风路径预报水平的大幅度提升,台风强度预报的进展尚不明显^[1-11]。

近十年来,通过借助先进的智能计算方法,研究新的预报精度更高的气象预报模型,已逐渐成为气象、数学和计算机领域的专家和学者们关注的热点^[12-14]。目前,在人工智能技术的发展中常用的智能算法有人工神经网络、进化计算遗传算法、粒子群算法等各种机器学习算法,其中,广西壮族自治区气象科学研究所研发的“广西遗传神经网络台风预报系统”,采用多种台风智能计算集成客观预报模型,为提高台风预报准确率从理论基础、技术方法和工具平台提供科技支撑。该系统每年对西北太平洋生成的台风进行实际预报发布。2023年,利用该系统对影响广西的2304号台风“泰利”、2309号台风“苏拉”、2316号台风“三巴”,都进行及时

收稿日期: 2024-03-25

基金项目: 广西自然科学基金(2023GXNSFAA026414, 2024GXNSFDA010047, 2023GXNSFBA026349)、广西重点研发计划(桂科AB24010085)

第一作者: 黄颖(1983-),高级工程师,主要从事天气预报技术方法研究与应用工作。E-mail: yinger2001@126.com

*通讯作者: 黄小燕(1978-),正高级工程师,主要从事天气预报技术方法研究与应用工作。E-mail: gx_huangxy@163.com

的预报跟踪,并将台风路径、强度预报结果在规定时间内上传至中国气象局,参加全国台风预报广播发布。本文将广西遗传神经网络方法对2309号超强台风“苏拉”路径和强度的预报结果进行分析,为非线性台风客观集成预报建模提供新的构建方法;指出该方法在台风路径、强度预报中的不足,以期为提高智能计算台风预报模型提供有益参考。

1 台风“苏拉”简介及环流分析

2023年第9号台风“苏拉”于8月24日在菲律宾以东洋面生成,26日夜间加强为超强台风级,27日下午减弱为强台风级,于29日下午再次加强为超强台风级,30日夜间移入南海东北部海面,9月2日凌晨以强台风级在广东珠海市南部沿海登陆,同时下

午在广东省阳江市海陵岛再次登陆,3日早上以热带风暴级移入北部湾,17时中央气象台对其停止编号。2309号台风“苏拉”具有强度猛烈、路径诡异复杂的特点,其路径移动为前期打转,而后期路径稳定西行。

图1给出台风“苏拉”强度变化图。由图1可以看出台风“苏拉”强度两次增强,强度最大达到 $62\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,达到超强台风的级别。受台风“苏拉”影响,9月2—4日广西部分地区出现大雨到暴雨、局地大暴雨到特大暴雨,桂东、桂南局地 and 北部湾海面出现大风天气。台风“苏拉”的风雨影响有利有弊,有利的是降雨使水库增蓄,但“苏拉”风雨致使部分道路交通中断、铁路停运、航线停航、电网中断,部分地区农作物受灾。

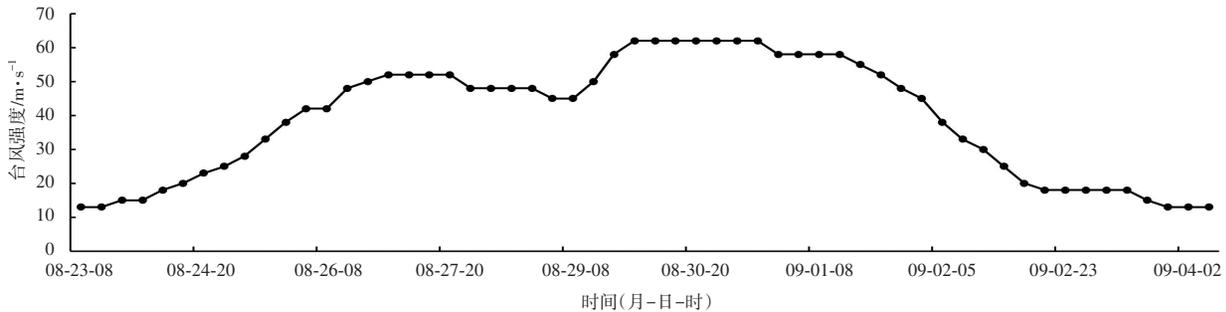


图1 台风“苏拉”(2309)强度变化

台风的移动方向和速度取决于引导气流的方向和大小,而副热带高压、西南季风、西风槽等都是影响台风引导气流的因素。台风“苏拉”周围的环流形势较复杂,前期处于东环副热带高压和西环副热带高压之间,引导气流非常混乱,引导台风走位的气流增多,使台风移动的方向存在诸多可能性,导致“苏拉”失去明确的前进方向。其次,台风“苏拉”还受到台风“海葵”、关岛东侧的热带低压等影响。两个临近的涡旋在合适的距离内可能会对彼此的路径产生直接影响,同时影响台风“苏拉”周围的环境场,从而影响台风“苏拉”的路径走向。环流复杂、系统多共致台风“苏拉”路径难预测^[15]。

2 广西遗传神经网络方法简介

针对台风路径和强度具有显著的复杂性、非线性和时变性特征但又缺乏新的有效预报方法问题,以台风路径、强度为预报研究对象,采用机器学习的智能计算方法,并进一步利用系统降维处理技术,分析研究台风自身的变化特点及其与环境流场

的相互作用,以数值预报模式产品资料为基础,建立“广西遗传神经网络台风预报系统”,为台风业务预报工作提供一种可供实际业务预报应用,有别于传统统计预报方法的非线性人工智能预报系统。

针对影响台风路径和强度前期气候持续预报因子、物理量预报因子数量众多和预报因子的非线性变化特点,以及在模型输入维数相同的情况下,不同的模型输入对预报模型预报性能的影响问题,该系统采用逐步回归方法筛选出一定数量的高相关预报因子作为基本因子外,为了更好地在高维结构空间中提取全部因子的主要变量信息,进一步综合采用等距映射、局部线性嵌入、多维尺度变换等流形学习方法^[16-17]、主成分分析、核主成分分析等数据挖掘方法,从剩余预报因子中提取包含原数据较多信息的因子与前期选入的预报因子一起作为模型输入。通过诊断和控制自变量之间的复共线性关系,对海量的台风预报信息数据进行数据挖掘,从高维预报因子集中提取少数几个包含主要预报信息的特征变量作为台风路径和强度预报模型输

入, 构建网络结构规模小、包含有效信息量大的非线性集合预报模型, 有效提高台风路径和强度客观预报的精度。

在台风路径和强度的预报建模方面, 考虑到 BP 神经网络的网络结构难以确定以及网络极易陷入局部解的问题, 在神经网络的学习过程中引入粒子群算法、遗传算法、模糊算法等优化设计神经网络的网络结构和初始连接权, 以进化后的网络结构和连接权作为新的神经网络结构和初始连接权, 再进行新一轮 BP 神经网络训练, 这种方法避免一般神经网络依靠经验确定网络结构和初始连接权困难, 克服由于神经网络初始权的随机性和网络结构确定过程中所带来的网络振荡, 以及网络极易陷入局部解问题, 建立了基于多种数据挖掘技术的智能计算台风路径和强度集合预报模型。该模型取名为“广西遗传神经网络方法”, 每年参加全国台风预报广播, 对西太平洋和南海台风进行实际的台风气象灾害防灾减灾预报服务工作。

3 广西遗传神经网络方法对台风“苏拉”路径和强度预报分析

广西壮族自治区气象科学研究所研发的“广西遗传神经网络台风预报系统”创新采用多种数据降维处理技术并结合非线性神经网络方法, 有效解决台风异常路径预报困难和强度预报精度偏低的问题, 其路径预报精度逐年稳定提升, 强度预报在国内外各种客观预报方法中排名前列。针对 2309 号台风“苏拉”过程预报服务, 该系统自 8 月 25 日 17 时—9 月 3 日 08 时逐 3 h 滚动发布 6 h 间隔的台风路径、强度预报, 共发布 55 次预报, 其中有效预报次数为 49 次, 最长预报时效为 120 h。现将广西神经网络方法对台风“苏拉”路径和强度预报结果进行分析。

3.1 路径预报结果分析

“广西遗传神经网络台风预报系统”在台风“苏拉”(2309)路径预报中, 24 h 路径预报误差最小为 31.8 km, 最大为 129.4 km; 48 h 路径预报误差最小为 67.5 km, 最大为 209.5 km; 72 h 路径预报误差最小为 136 km, 最大为 312.5 km。图 2 给出广西神经网络方法对台风“苏拉”(2309)12~48 h 路径预报误差分析图。由图 2 可以看出, 广西遗传神经网络方法预报误差随着预报时效的增加而变大。这是因为随着预报时效的增加, 其预报因子所含的有效预报信息减少了, 台风预报模型建模时能够利用的预报信息也

会随着减少, 最终导致了预报误差变大, 但是仔细观察各预报时效的误差变化, 发现总体较为稳定, 预报次数大多分布在误差较小的范围内, 说明广西遗传神经网络方法具有较稳定的台风路径预报能力。

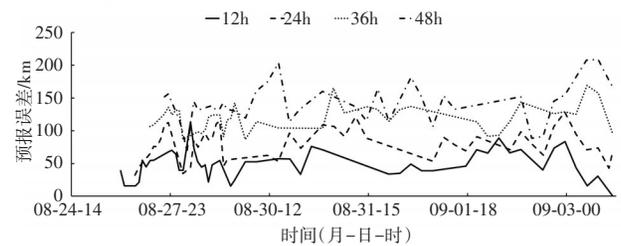


图2 广西遗传神经网络方法对台风“苏拉”(2309)12~48 h 路径预报误差分析

经统计, 12 h、24 h、36 h、48 h 路径预报误差分别为 49.0 km、78.4 km 和 119.3 km 和 140.6 km。此次台风“苏拉”(2309)路径属于前期打转后期路径稳定西行的台风, 广西神经网络方法作为客观预报工具, 具有较好的表现, 路径预报误差结果稳定。图 3 给出 12~48 h 广西神经网络方法对台风“苏拉”(2309)路径预报误差与中央台、韩国模式、日本模式预报误差对比图。从图中可以看出虽然此次预报系统在台风路径上较其他机构的预报误差偏大, 后期考虑针对此类前期打转后期路径稳定西行的台风, 需要对模型的预报因子进行重新调整, 以及采用的预报因子数据挖掘技术进行分析计算并加以改进。

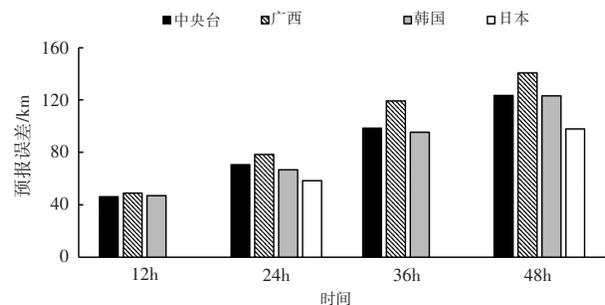


图3 广西神经网络方法对台风“苏拉”(2309)12~48 h 路径预报误差与中央台、韩国模式、日本模式预报误差对比

3.2 强度预报结果分析

“广西遗传神经网络台风预报系统”自 8 月 25 日 17 时起逐 3 h 发布 2309 号台风“苏拉”强度预报。其中 12 h、24 h、36 h、48 h 强度预报误差分别为 $4.13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $5.83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $6.63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $5.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。24 h 强度

预报误差最小为 $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 最大为 $13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; 48 h 强度预报误差最小为 $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 最大为 $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; 72 h 强度预报误差最小为 $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 最大为 $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。图 4 给出 12~48 h 广西遗传神经网络方法对台风“苏拉”(2309) 强度预报误差与中央台、韩国模式、日本模式预报误差对比图。图 5 给出广西遗传神经网络对台风“苏拉”(2309) 12~48 h 强度预报误差分析图。由图 4、图 5 可以看出, 该系统在台风“苏拉”(2309) 强度预报上显示较强的预报能力, 各时效的预报误差比中央台主观、韩国和日本的均相对较小, 预报次数大多分布在误差较小的范围内, 广西遗传神经网络方法在此次台风过程的强度预报中具有较优秀的表现。

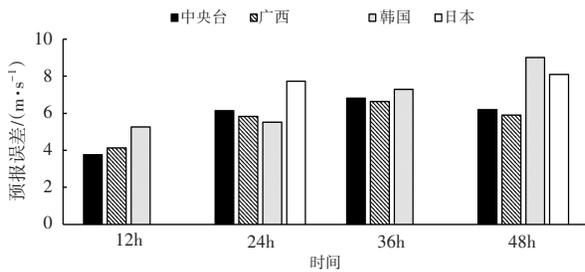


图 4 广西神经网络方法对台风“苏拉”(2309) 12~48 h 强度预报误差与中央台、韩国模式、日本模式预报误差对比

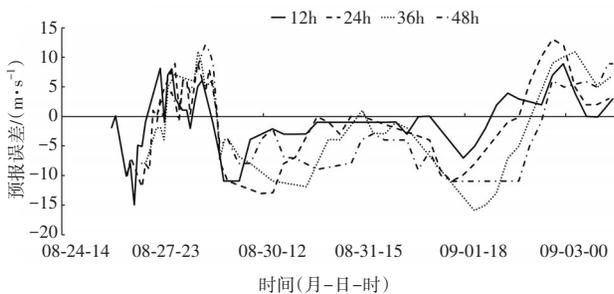


图 5 广西遗传神经网络方法对台风“苏拉”(2309) 12~48 h 强度预报误差分析

4 结论

由于台风路径和强度变化受到环境场天气系统、下垫面状况、上下层气流以及不同尺度运动相互作用等影响, 具有复杂而显著的非线性变化特征, 是一种预报难度很大的重要灾害性天气。本文针对台风气象灾害变化缺乏新的有效预报方法问题, 以 2309 号台风“苏拉”为预报对象, 综合采用多种智能计算方法与系统降维技术, 分析研究台风自

身的变化特点及其与环境流场的相互作用, 以国内外多种数值预报产品资料为基础, 进行智能计算的台风集成预报方法建模研究。一方面采用采用等距映射、局部线性嵌入、核主成分分析等台风路径和强度预报因子数据挖掘技术, 提出台风非线性神经网络客观集合预报模型输入的计算分析新方法。另一方面, 将流形学习的数据挖掘技术与粒子群算法、模糊算法以及机器学习集成方法相结合, 分别建立基于多种数据挖掘算法的智能计算神经网络台风路径和强度集成预报模型, 明显提高台风预报能力。结果表明, 本文采用的广西遗传神经网络方法在台风“苏拉”路径预报中较其他预报模式误差偏大, 后期将对模型的预报因子及数据挖掘技术加以改进, 以提高该方法对异常路径台风的预报性能; 而在台风“苏拉”强度预报中, 该方法预报精度较高, 预报性能稳定, 预报次数大多分布在误差较小的范围内, 可推广应用于其他气象要素预报建模研究。

参考文献:

- [1] 金龙, 黄颖, 姚才, 等. 人工智能技术的热带气旋预报综述(之一)——BP神经网络和集成方法的热带气旋预报研究和业务应用[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(2): 1-6.
- [2] 金龙, 黄颖, 姚才, 等. 人工智能技术的热带气旋预报综述(之二)——流形学习、智能计算及深度学习的热带气旋预报方法[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(4): 5-12.
- [3] 周笑天. 基于混合模式集合预报的台风路径预报优化方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- [4] 陈国民. 西北太平洋台风路径预报性能研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2023.
- [5] 周冠博, 钱奇峰, 吕心艳, 等. 人工智能在台风监测和预报中的探索与展望[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(2): 1-8.
- [6] 杨瑞雯, 曲荣强, 谭政华, 等. 2020年北上台风不同模式的预报误差分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2024, 39(2): 208-215.
- [7] 郝风云. 基于机器学习的南中国海台风预测若干算法比较研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2023.
- [8] WIMMERS A, VELDEN C, COSSUTH J H. Using deep learning to estimate tropical cyclone intensity from satellite passive microwave imagery [J]. Monthly Weather Review, 2019, 147(6): 2261-2282.
- [9] 黄小燕, 金龙. 基于主成分分析的人工智能台风路径预报模型[J]. 大气科学, 2013, 37(5): 1154-1164.

- [10] 黄颖, 金龙, 黄小燕, 等. 基于局部线性嵌入的人工智能台风强度集合预报模型[J]. 气象, 2014, 40(7): 806-815.
- [11] HUANG Y, HUANG X, ZHAO H, et al. The influence of environmental factors on the intensity of typhoon Mirinae in the South China Sea and its forecast analysis [C]//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021.
- [12] 李程怡. 人工智能的关键技术及相关应用[J]. 科技创新与应用, 2020(12):156-157+160.
- [13] 朱玲, 吴心玥. 人工智能在气象领域的应用述评[J]. 广东气象, 2019, 41(1): 35-39.
- [14] 黄颖, 陆虹, 黄小燕, 等. 基于 EOF 和 LSTM 的广西月降水量预测模型研究[J]. 气象研究与应用, 2023, 44(2): 20-26.
- [15] 刘蕊, 专家解读 | “苏拉”路径广受关注台风走位为何难预报? [EB/OL]. (2023-8-30)
- [16] 李鑫, 续婷, 胡红萍, 等. 局部流形学习在 SAR 目标分类中的应用[J]. 现代雷达, 2020, 42(4):33-36, 40.
- [17] 王云艳, 罗冷坤, 王重阳. 基于流形学习的光学遥感图像分类[J]. 计算机工程与科学, 2019, 41(7):1212-1219.

Analysis of the track and intensity of typhoon “Saola” (2309) based on the Genetic Neural Network Method

HUANG Ying¹, HUANG Xiaoyan^{1*}, ZHAO Huasheng¹, WU Yushuang²

(1. Guangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanning 530022, China;

2. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on a variety of numerical forecast products, this paper analyzes the change characteristics of the typhoon “Saola” and its interaction with the environmental flow field through the comprehensive use of a variety of intelligent computing methods and system dimensionality reduction techniques, and then analyses and study the prediction of the track and intensity of typhoon “Saola” (2309) by using the Guangxi Genetic Neural Network Typhoon Forecasting Method (GXGNNTFM). The results show that the GXGNNTFM has high forecasting accuracy and stable forecasting performance, and has excellent performance in predicting the intensity of typhoon “Saola”, but the predicting error of this method in the track forecast is larger than that of the other forecasting models. In the future, for this type of typhoon that rotates in the early stages and steadily moves westward in the late stages, it is necessary to analyze and improve the prediction factors and data mining techniques of the model to improve the accuracy of this method in predicting abnormal typhoon track.

Key words: neural network in Guangxi; typhoon “Saola”; track prediction; intensity prediction