

宋文彬,郑卫江,薛峰,2020. 相似台风智能检索与可视化分析研究[J]. 气象,46(10):1330-1339. Song W B,Zheng W J,Xue F, 2020. Research of intelligent retrieval and visualization of similar typhoons[J]. Meteor Mon,46(10):1330-1339(in Chinese).

相似台风智能检索与可视化分析研究^{*}

宋文彬 郑卫江 薛 峰

国家气象中心,北京 100081

提 要: 利用空间分析及可视化技术,对 1949—2018 年的台风时空变化规律进行相似性智能检索,形成基于空间位置、特征要素、时间规律三个关键指标的综合定量化判定体系,初步建立了统一的判定标准。其中,“路径”相似性判定提出了多项动态拟合与相似离度结合的方法。研究表明:综合定量化判定体系可有效降低单一指标的不确定性。同时,“路径”的动态判定法有效解决了观测点不匹配的问题。以台风山竹(Mangkhut,编号 1822)为例,首先通过数据清洗、特征提取和构建快速索引等检索方法,缩小判定范围,检索出 10 个可能与目标相似的台风,然后利用综合定量化判定方法得到 7 个相似台风。判定过程中实现了基于定制条件的多维度时空数据逐级下钻、定量化综合智能检索以及相似性结果可视化三个目标,为台风预报预警业务提供重要参考。

关键词: 台风,相似性,可视化,定量化

中图分类号: TP39,P436

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2020.10.007

Research of Intelligent Retrieval and Visualization of Similar Typhoons

SONG Wenbin ZHENG Weijiang XUE Feng

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: This study uses a spatial analysis and visualization technology to intelligently and similarly search for the regularity of the temporal and spatial variation of typhoons from 1949 to 2018 to form a comprehensive quantitative judgment system based on three key indicators, which are spatial location, feature elements and temporal rule, and to establish initially a unified judgment standard. According to path similarity determination, the method based on the combination of multiple dynamic fitting curves and similar deviation is proposed. The research results show that the comprehensive quantitative judgment system can effectively reduce the uncertainty of single index. And the dynamic judgment method can effectively solve the problem of observation point mismatch. Take Typhoon Mangkhut (1822) as an example. Firstly, we use retrieval methods as data cleaning, feature extraction and quick retrieval creation to narrow searching range, retrieving 10 possible typhoons with similarity to the target, and then we use the comprehensive quantitative judgment method, confirming 7 similar typhoons. During the judgment process, three targets can be achieved, including the multi-dimensional spatiotemporal data being drilled down step by step based on customized conditions, the quantitative comprehensive intelligent retrieval and the visualization of similarity results. This can provide important reference for typhoon forecast and early warning operation.

Key words: typhoon, similarity, visualization, quantitative determination

^{*} 2017 年气象小型建设项目高时空分辨率气象预报分布式计算能力建设项目资助

2019 年 9 月 24 日收稿; 2020 年 8 月 15 日收修定稿

第一作者:宋文彬,主要从事气象大数据平台研发和气象大数据分析工作. E-mail:songwb@cma.gov.cn

引 言

西北太平洋热带气旋是影响我国东南沿海地区的主要灾害性天气系统之一(石先武和方伟华, 2015; 杨慧等, 2019), 每年约有 7 个台风登陆我国(许映龙等, 2010), 造成较严重的人员伤亡和财产损失(高歌等, 2019)。因此, 相似台风智能检索为气象决策争取到宝贵的应急处理时间(黄东梅等, 2019), 对于保障人民生命和财产安全具有重要意义(秦大河等, 2005; 王秀荣等, 2018)。

目前, 常用的相似台风判定方法集中在时空尺度、台风机理以及致灾因子等方面。其中, 空间尺度主要围绕台风路径(董林等, 2019)、关键位置和移速(移向)相似性(熊祥瑞等, 2017)等方面展开。台风路径相似性研究相对成熟, 常用算法包含: 模式距离、余弦距离和欧氏距离等(黄冬梅等, 2019)。对于非等长时间序列的台风, 可应用利用时间度量空间信息的方法, 例如动态时间弯曲法等; 利用空间度量方法判断路径相似度, 常采用相似离度、缓冲区分析、概化平面曲线等方法。路径预报中相似离度法稍好于其他方法(耿慧, 1996); 时间尺度相似性研究主要围绕台风季节性(竺夏英和宋文玲, 2017)、生命史等方面展开(丁晨晨等, 2019); 台风特征要素相似性, 主要围绕台风伴随的水汽条件、大风、降水、风暴潮等特征展开(梁必骥等, 1995)。以往研究主要存在三个问题: 第一是台风运动受众多因素影响(张国峰等, 2012)并存在高度非线性关系(熊祥瑞等, 2017), 只分析单一指标而忽略指标之间的相关性(王喜娜等, 2014)是导致分析结果无法综合量化统一的重要原因。因此, 将统计学方法与空间分析技术相结合是探索台风要素之间相关性的重要途径(刘勇等, 2006), 也是台风智能化检索设计的关键; 第二是由于台风路径观测点信息不能一一对应, 导致定量化分析困难, 因此, 采用将台风路径控制点投影到目标台风多项式曲线上的方法解决了上述问题; 第三是研究常采用复杂公式和模式运算, 研究结果不直观、可读性较低等问题(龚琳, 2010), 近年来, 通过可视化技术将抽象、冗杂的海量数据以形象化、有序化的结果呈现(赵卓宁等, 2018; 杨承睿等, 2016; 高志鹏等, 2015), 可使数据辨识度显著提升

(胡艳, 2014; 王露等, 2017; Ying et al, 2014)。

相似性台风智能化检索过程中, 选定哪些指标、哪种判定方法以及如何定量化呈现是关键(孙群, 2013)。目前针对影响台风的多维要素的综合性定量分析体系也尚未形成。基于此, 本研究尝试对影响台风相似性的空间位置、特征要素、时间规律三个指标进行分析, 结合 ArcGIS 空间分析工具以及 Tableau 可视化工具建立综合定量化判定体系, 针对路径相似性判定还提出了基于多项动态拟合与相似离度结合的动态判定方法, 实现相似台风智能检索与可视化, 为台风相似性判定业务化应用提供设计思路和算法支持。

1 主要资料

台风数据(本文中所指台风包含热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风在内的有台风编号的热带气旋)包含中国气象局 1949—2018 年西北太平洋热带气旋最佳路径数据集和登陆台风数据集(姜丽黎和余晖, 2019)中的 2 356 个台风样本(其中有 585 个未命名台风)。路径数据监测的时间间隔为 6 h, 包含: 台风编号、经纬度、中心最低气压、中心最大风速等信息。

2 相似台风智能检索

相似台风智能检索包含两个主要环节: 第一个环节是台风数据的自动订正; 第二个环节是台风相似性判定。台风数据的自动订正过程随着台风发展自动迭代更新。在整个过程中, 首先对台风实况数据进行数据清洗: 过滤错误、不完整或者格式不规范的数据。然后, 将清洗后的数据逐条进行格式匹配与转换。转换完成后, 系统通过特征提取的方法, 自动识别台风实况的位置、时间等信息, 用于匹配历史台风库中的位置、时间等, 检索结果推送到相似性对比分析的结果索引表中作进一步判定。最后, 系统依据自动检索结果, 将匹配的历史台风数据提取到服务器中。整个过程均为系统后台自动完成, 不需要人工干预。当用户选择多个关键指标时, 系统通过交互式检索行为, 锁定用户关心的指标, 自动提取缓存中的信息进行台风相似性综合定量化判定。如

果判定过程中的台风仍在发展,系统后台也会依据当前台风状态,自动订正检索结果,达到智能检索的目的。

检索过程中,台风相似性判定方法采用“指标层”“要素层”“统计量层”逐层判定方法,将影响台风的三个关键指标细分为七个判定要素,合计九个统计量,形成层次分明的综合量化判定体系和流程(图1)。由“空间位置”“特征要素”“时间规律”构成的指标层中至少有两个指标相似,即判定两个台风相似。

2.1 空间位置相似性智能检索

缓冲区分析和叠加分析技术是快速检索空间位置的重要方法(刘勇等,2006;邹亮等,2008)。“空间位置”指标中的“关键点”“登陆区域”“路径”要素中至少有两个要素相似时判定该指标相似。在判断台风空间位置相似性时,为提高检索效率,系统首先分析“关键点”和“登陆区域”,如果两要素均不相似,可直接过滤部分不相似台风;如果待判定台风“关键点”不相似而“登陆区域”相似,可以直接过滤此类“路径”相似性极差的台风,缩小搜索范围。

2.1.1 “关键点”相似性判定

缓冲区分析是以“关键点”为圆心,自动检索半径 R 为200 km缓冲区内的其他台风“关键点”,它细分为:“起编位置”“观测点”“强度最大值位置”,这三个统计量中至少有两个相似时判定该要素相似。当“起编位置”和“强度最大值位置”均不相似时,可直接判定“关键点”不相似;存在一个统计量相似时,需进一步判定台风“观测点”,判定时搜索待测台风与目标台风之间距离最小的观测点,如果该点落在缓冲区内,判定为相似的观测点。当待测观测点到目标台风路径上的多个观测点距离相同时(图2),判断除该点外有无距离更小的观测点,如果存在距离更小的点则过滤该点后重新匹配,直到找到与该目标台风“观测点”距离最近的点为止;如果距离相同且已经是距离最近的点时,则将强度值更接近的那个观测点作为相似的“观测点”。

2.1.2 “登陆区域”相似性判定

进入我国24 h警戒线并登陆我国的台风有640个,分布于12个省(区、市)。其中,登陆一次的台风有462个,登陆两次和三次的台风分别有150和26个,登陆四次的台风为Yancy(9012)和Fong-Wong

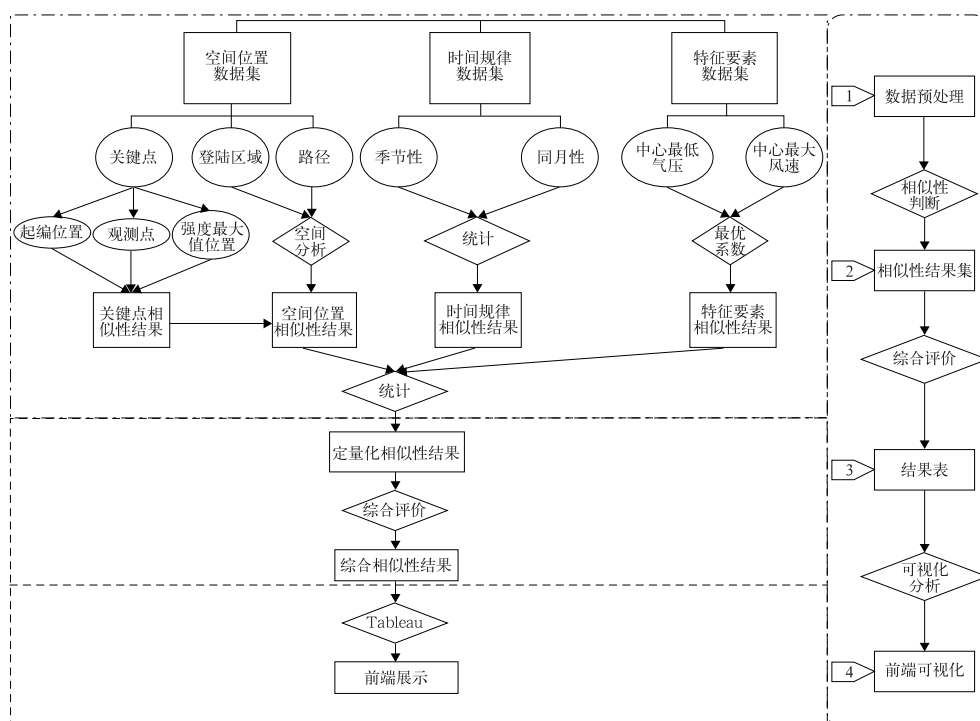


图1 技术流程图

Fig. 1 Technical and operation coordination

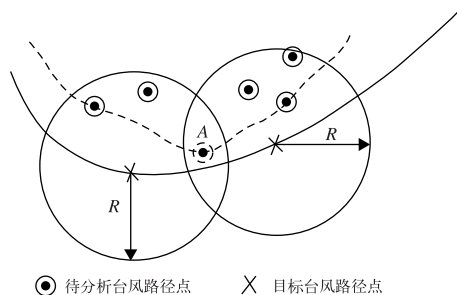


图 2 缓冲区分析原理示意图

Fig. 2 Principle of buffer analysis

(1416)。因此,登陆区域判定时分单次登陆和多次登陆两种情况。单次登陆直接采用空间叠加分析模型,将台风“关键点”与行政区划矢量图层叠加,得到台风登陆各省(区、市)的空间离散点。系统自动识别某区域内离散点数量,数量大于 1 时判定为登陆该区域;台风多次登陆时,“登陆区域”被判定为登陆过的所有省份,只要有一个与待判定台风登陆省份一致,则判定登陆区域相似。

2.1.3 “路径”相似性判定

台风路径动态判定方法是在传统的路径相似性算法基础上将多项式动态拟合曲线与相似离度方法结合,克服了台风路径点离散化严重、观测点数量不一致等问题。

判定过程划分为两个主要步骤:第一步是通过多项式曲线将各台风进行动态拟合,得到该台风路径的多项式曲线;动态拟合曲线的过程中,假设有曲线 i 和 j ,曲线 i 有 M 个观测点,曲线 j 有 N 个观测点,对应的坐标值范围分别为 $[X_{i1}, Y_{i1}], \dots, [X_{iM}, Y_{iM}], [X_{j1}, Y_{j1}], [X_{jN}, Y_{jN}]$,其中 n 表示两条曲线与纵线共同相交的次数和,即 $n=M+N$ 。在 i 曲线上选取横坐标 X_{ik} ,带入到曲线 j 中,得到 Y_{jk} ,然后将 X_{jk} 带入到曲线 i 中,得到 Y_{ik} ,得到两条曲线上所有观测点坐标在另一曲线上的投影(图3),拟

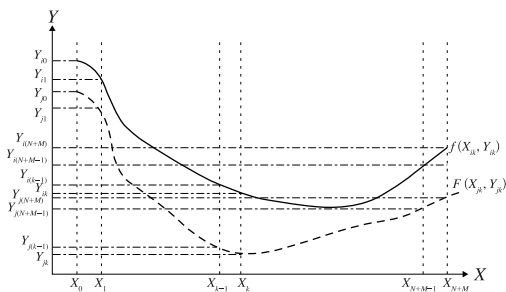


图 3 台风路径曲线位置、形态示意图

Fig. 3 Diagram of typhoon path curve location and shape

合结果使两条台风路径的路径点坐标一一对应。

第二步是依据相似离度法统计路径“形态”和“值”的相似性,形成定量化相似结果(刘勇等,2006)。

D_{ij} 表示两条路径数值差异,其值越小,表示两条曲线数值上越接近。

$$D_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |Y_{ik} - Y_{jk}| \quad (1)$$

两条路径上的形状差异表现为两个样本距平的海明距离(栗健等,2016),它是离散度的反映,值越小,说明曲线形状越相似。计算公式由三步组成,首先求样本观测点差值的平均值,两个台风之间的平均距离决定了两个台风路径的接近程度(张国峰等,2012)。

$$E_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (Y_{ik} - Y_{jk}) \quad (2)$$

式中 E_{ij} 表示两样本所有观测点差值的平均值。然后求对应点差值与均值的离散程度:

$$S_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |(Y_{ik} - Y_{jk}) - E_{ij}| \quad (3)$$

式中 S_{ij} 反映的是对应点差值与均值的离散程度,即形状差异性。最后,通过相似离度 C_{ij} 求得路径形状和数值的差异性。即:

$$C_{ij} = \frac{(S_{ij} + D_{ij})}{2} \quad (4)$$

2.2 时间规律相似性智能检索

当台风发生时,系统自动识别台风起编时间并划分到不同的“季节”和“月份”列表中。进行初级过滤,缩小检索范围。随着台风不断发展,自动修正“月份”信息,进一步缩小检索范围,进而判断是否跨月、跨季节。返回检索结果后,进一步进行时间规律的相似性判定。

“时间规律”指标包含“同月性”和“季节性”,这两个要素中至少有一个相似即判定该指标相似。其中,“季节性”表达的是跨越季节的台风,而针对非跨越季节的台风,需要进一步判断台风的“同月性”。

“季节性”判定,首先将历年立春、立夏、立秋、立冬的日期与台风开始和停止编号的日期进行对照,如果跨越季节,则判定为跨季节台风,当目标台风与待判定台风跨越相同季节,被判定为“季节性”相似;如果没有跨越季节则判定为秋季台风、春季台风、夏季台风或冬季台风之一,当目标台风与待判定台风

属于同一季节时进行“同月性”判定,如果起编和停止编号日期属于相同月份,判定为“同月”台风。判定时如果遇到跨年台风(表 1),则以起编日期为准。

表 1 1949—2018 年跨年台风统计

Table 1 Interannual typhoon data sheet of typhoon spanning years between 1949 and 2018

年份	台风英文名称
1950—1951	Fran
1952—1953	—
1952—1953	Hester
1956—1957	—
1959—1960	Harriet
1964—1965	—
1977—1978	Mary
1978—1979	Alice
1986—1987	Norris
2000—2001	Soulik
2014—2015	Jangmi
2017—2018	Bolaven

2.3 特征要素的相似性智能检索

在特征要素智能检索过程中,随着实况台风不断的发展,特征值随之改变,系统会依据台风报文进行自动订正,从而匹配最新的特征值。

相似性判定中,“特征要素”指标包含“中心最大风速”和“中心最低气压”两个判定要素,至少有一个要素相似即判定该指标相似。

“中心最低气压”和“中心最大风速”,分别以 S_{po} , S_{vt} 表示。通过最优相似系数判断台风单个特征要素的相似性(李开乐, 1986),从“形”“值”两方面进行判定。算法分为三步,第一步判断“形”系数 F_{ij} 。

$$F_{ij} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^m |(x_{ik} - \bar{x}_i) - (x_{jk} - \bar{x}_j)|}{\sum_{k=1}^m |(x_{ik} - \bar{x}_i) + (x_{jk} - \bar{x}_j)|} \quad (5)$$

式中: i, j 为两个样本, F_{ij} 表示两个样本的形系数, x 代表特征要素的值, m 为路径点个数, F_{ij} 的值域为 $[0, 1]$, 值越大时, 形状越相似。第二步判断“值”系数 V_{ij} :

$$V_{ij} = e^{-D_{ij}} \quad (6)$$

$$D_{ij} = \frac{|\bar{x}_i - \bar{x}_j|}{\sum_{k=1}^m (|x_{ik} - \bar{x}_i| + |x_{jk} - \bar{x}_j|) / m} \quad (7)$$

V_{ij} 的值域为 $(0, 1]$, 值越大时, 相似性越高, 差异性越小。第三步判断最优系数 B_{ij} :

$$B_{ij} = \frac{(F_{ij} + V_{ij})}{2} \quad (8)$$

B_{ij} 的值域为 $(0, 1]$, 值越大, 台风单要素的形和值越相近。

3 台风相似性可视化分析

台风强度等相似性的综合可视化结果通过颜色表达, 台风关键点的稀疏和稠密程度侧面反映出移速的变化, 分析结果通过仪表板的交互式数据挖掘技术呈现在前端, 实现“一点多动”的联动效果。

3.1 空间相似可视化分析

在台风登陆我国的 12 个省(区、市)中(表 2), 登陆次数位列前 3 的省份分别为广东、海南和台湾。表中, 登陆次序“1”“2”“3”“4”分别表示历史上该省作为首个、第二、第三、第四个登陆区域被记录在台风数据集中。

判定结果通过台风“登陆区域”相似性可视化结果图(图 4)展示。

台风“关键点”和“路径”通常以“散点”的形式存在, 在空间中以不均匀间隔或簇的形式显示, 通过多

表 2 1949—2018 年各省(区、市)登陆台风的次数、次序和强度

Table 2 Frequency, sequence and intensity of typhoons landing in China's provinces from 1949 to 2018

登陆省 (区、市)	登陆次序	登陆次数/次	登陆时强度等级 最大值	登陆省 (区、市)	登陆次序	登陆次数/次	登陆时强度等级 最大值
广东	1, 2, 3	262	超强台风	辽宁	1, 2, 3	13	强热带风暴
海南	1, 2, 3	162	超强台风	江苏	1, 2	7	台风
台湾	1, 2	148	超强台风	上海	1, 2, 4	6	强热带风暴
福建	1, 2, 3, 4	127	超强台风	上海—浙江	2	2	台风
浙江	1, 2, 3	44	超强台风	浙江—福建	1, 3	2	台风
广西	1, 2, 3	35	强台风	天津	2	1	热带低压
山东	1, 2, 3	20	强热带风暴	浙江—上海	1	1	热带风暴
香港	1, 2	14	台风				

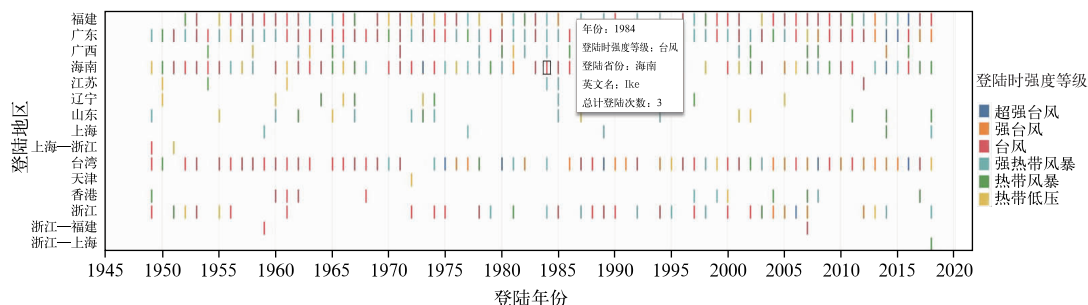


图 4 1949—2018 年登陆台风可视化结果

Fig. 4 Visual results of landing typhoon from 1949 to 2018

项式函数拟合曲线可以有效地将离散点进行量化(图 5),得到易于识别的台风“关键点”和“路径”的可视化近似曲线。

3.2 时间规律相似可视化分析

台风“同季节性”要素判定时,将跨季节台风划分为跨春夏、跨秋冬、跨夏秋、跨冬春四类,跨越“夏—秋”季节性台风数量高达 107 个,跨越“秋—冬”的台风有 57 个,跨越“冬—春”台风有 4 个,跨越“春—夏”台风有 11 个。通过以上四个结果集中进行分析,达到快速检索季节性相似台风的目的。

台风“同月性”要素判定时,显示历史台风在 8—10 月最活跃,活动范围相对集中,搜索出相似台风的概率较高,其他几个月中台风路径较分散且数

量较少,可能会增加相似性判定的难度(图 6)。

3.3 特征要素相似性可视化分析

近 70 年台风中,超强台风风速区主要分布区为 $8^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\sim 151^{\circ}\text{E}$;强台风风速区主要分布在 $10^{\circ}\sim 31^{\circ}\text{N}$ 、 $112^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ (图 7)。可以通过可视化结果快速检索台风强度,提高应急响应处理能力。

3.4 交互式检索和综合可视化

以台风山竹(Mangkhut, 编号:1822)为例,参与分析的台风均为包含编号和名称的历史台风。空间位置指标相似性检索结果中显示有 500 余个台风路径点落在该台风缓冲区内。经筛选最终确认“关键点”要素相似的台风 3 个,分别是台风 Judy(6817)、

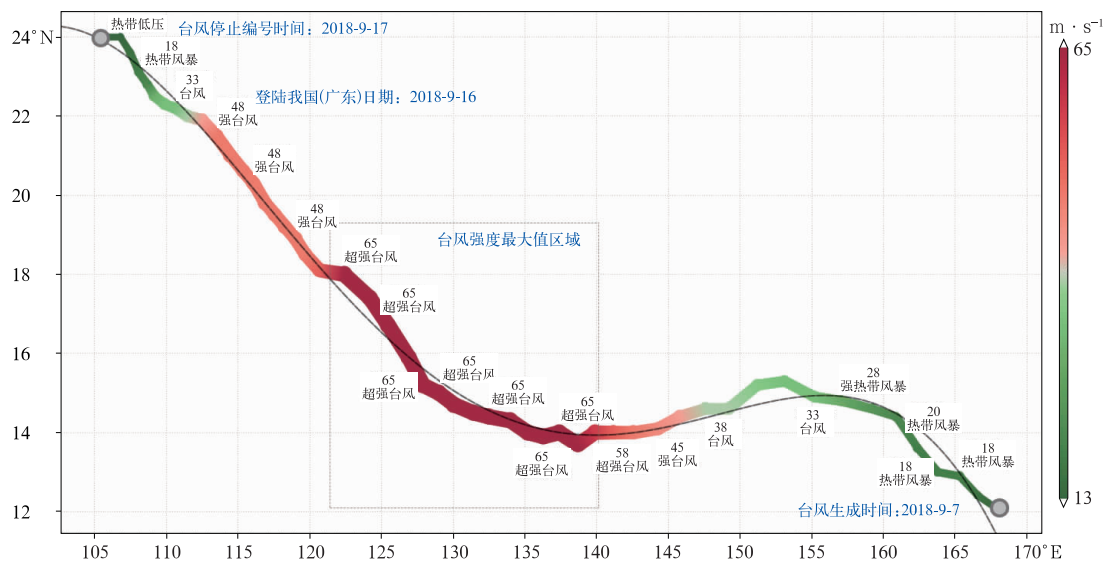


图 5 台风山竹的空间分布可视化结果

(图中数字为风速)

Fig. 5 Visualization results of Typhoon Mangkhut spatial distribution
(Numbers represent wind speed)

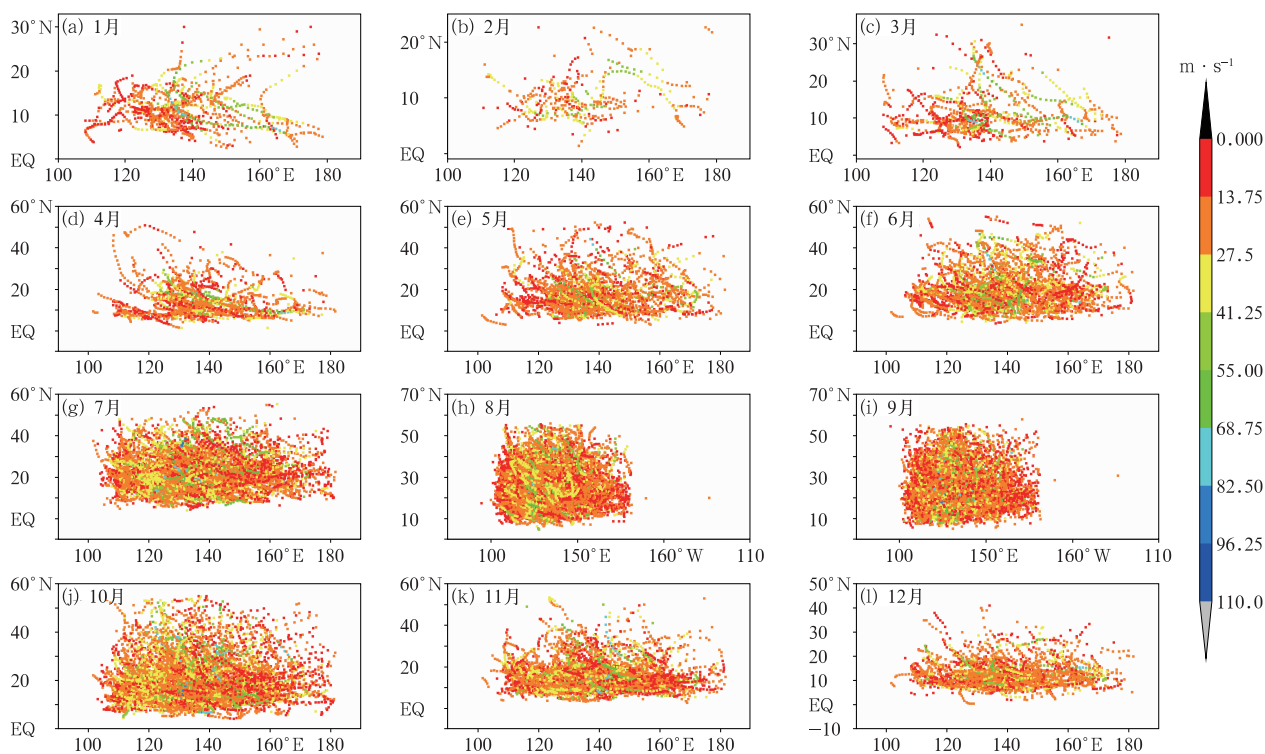


图 6 1949—2018 年台风风速和分布情况的月变化

Fig. 6 Monthly variation of typhoon wind speed and location from 1949 to 2018

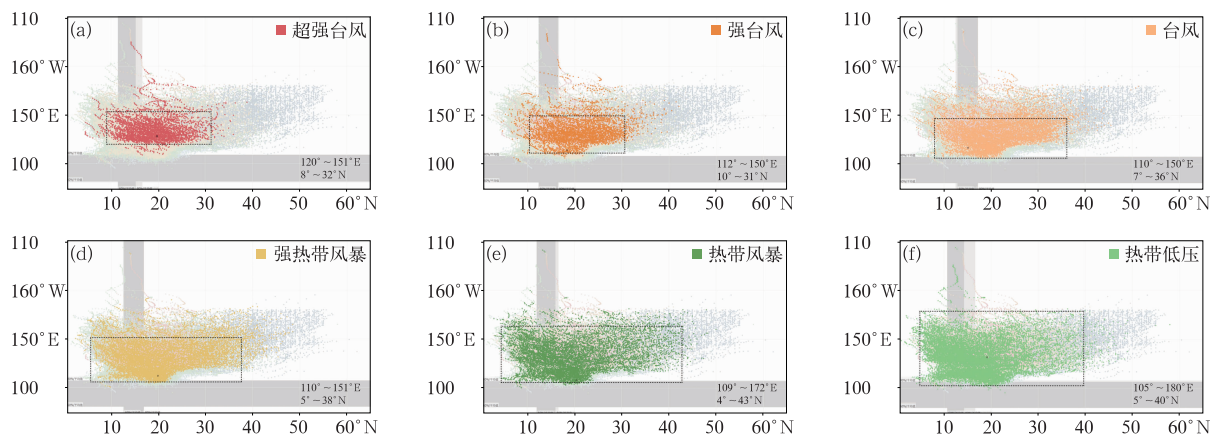


图 7 1949—2018 年台风风力分布区域

Fig. 7 Wind distribution results of typhoon from 1949 to 2018

Seplat(0709)、Peggy(8607);“登陆区域”要素相似的台风有 133 个,即登陆过广东省。以上两个要素均相似的台风为台风 Peggy(8607);一个要素相似的台风有 30 个,这 30 个台风进入路径相似性对比分析中,最终筛选出“空间位置”指标相似性排名在前 10 位的台风(表 3)。

“时间规律”指标相似性检索结果显示台风山竹没有跨越季节,不属于“季节性”相似台风,因此进行“同月性”分析,得到 9 月的台风有 133 个,与目标台风属于同月台风。

“特征要素”指标判定结果显示与台风山竹的中心平均风速和中心最低气压(表 4)相似度排名在前

10 位的台风。

综合定量化判定结果显示,达到“相似”级别的台风有 7 个(表 5)。台风 Peggy(8607)的三个指标

均相似,其他台风均有两个指标相似,分析结果通过可视化的方式呈现(图 8)。

表 3 与台风山竹相似的台风路径相似结果
Table 3 Similarity results of typhoon spatial position similar to Typhoon Mangkhut

序号	台风编号	D_{ij}	E_{ij}	S_{ij}	C_{ij}
1	8607	4.48	2.08	1.16	2.82
2	8515	7.20	-6.51	2.96	5.08
3	1714	8.19	-7.68	2.45	5.32
4	7114	7.74	-0.89	4.31	6.03
5	7011	8.16	-3.62	3.90	6.03
6	1208	8.60	-8.27	3.89	6.25
7	7118	8.13	-2.72	5.00	6.57
8	9803	10.31	-10.26	3.43	6.87
9	0606	11.24	-11.11	3.38	7.31
10	1311	9.97	-8.12	5.01	7.49

表 4 与台风山竹相似的台风平均风速和中心气压相似性结果
Table 4 Average central wind velocity similarity and mean central pressure similarity results similar to Typhoon Mangkhut

序号	台风编号	台风名称	中心平均风速相似性(S_{po})				中心最低气压相似性(S_{vt})			
			F_{ij}	D_{ij}	V_{ij}	B_{ij}	F_{ij}	D_{ij}	V_{ij}	B_{ij}
1	8607	Peggy	0.75	0.38	0.69	0.72	0.75	0.26	0.77	0.76
2	6903	Viola	0.55	0.12	0.89	0.72	0.59	0.16	0.85	0.72
3	1622	Haima	0.55	0.16	0.85	0.70	0.61	0.14	0.87	0.74
4	6416	Sally	0.56	0.22	0.80	0.68	0.75	0.16	0.86	0.80
5	6411	Ida	0.58	0.27	0.76	0.67	0.62	0.55	0.58	0.60
6	9302	Koryn	0.67	0.53	0.59	0.63	0.67	0.55	0.58	0.62
7	7011	Georgia	0.49	0.27	0.76	0.63	0.46	0.43	0.65	0.56
8	7118	Rose	0.43	0.33	0.72	0.58	/	/	/	/
9	7114	Lucy	0.45	0.38	0.69	0.57	0.40	0.39	0.68	0.54
10	1311	Utor	0.47	0.51	0.60	0.53	/	/	/	/
11	1409	Rammasun	/	/	/	/	0.35	0.36	0.70	0.53
12	6814	Elaine	/	/	/	/	0.37	0.40	0.67	0.52

表 5 与台风山竹相似的台风相似性综合判定结果
Table 5 Typhoon similarity comprehensive decision results similar to Mangkhut

编号	台风名称	空间位置			特征要素(B_{ij})		时间规律 (同月性)
		关键点	登陆区域	路径 C_{ij}	中心最低气压	中心最大风速	
8607	Peggy	相似	相似	2.82	0.76	0.72	不相似
7114	Lucy	不相似	相似	6.03	0.54	0.57	不相似
7011	Georgia	不相似	相似	6.03	0.56	0.63	相似
7118	Rose	不相似	相似	6.57	不相似	0.58	不相似
1311	Utor	不相似	相似	7.49	不相似	0.53	不相似
8515	Tess	不相似	相似	5.08	不相似	不相似	相似
6416	Sally	不相似	不相似	不相似	0.8	0.68	相似

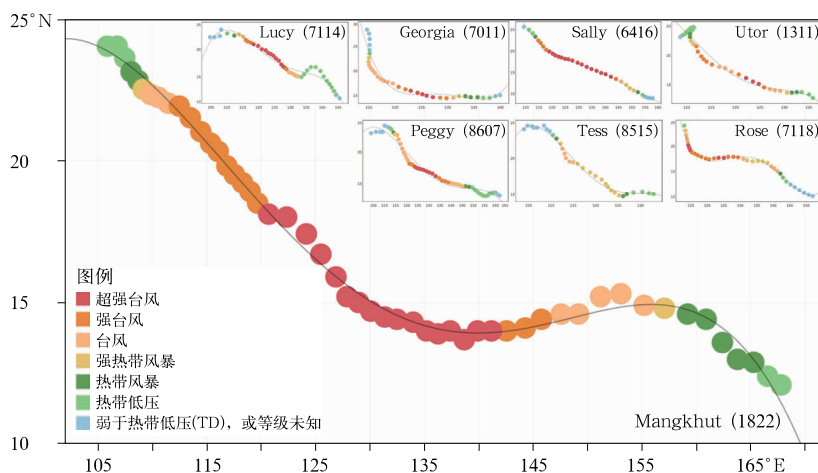


图 8 与台风山竹相似的台风路径-强度可视化结果

Fig. 8 Similar typhoon path intensity display similar to Mangkhut

4 结论与讨论

台风相似性定量化综合判定方法,明确了判定台风相似性的多种要素、判断流程和量化方法。本研究得到如下结论:

(1) 综合定量化台风相似性检索方法考虑了多重要素对台风的影响,有助于统一不同地区决策人员对相似性的判定和对比方法,评价结果更客观。尤其是在台风预报预警业务中,使用该方法可以缩小历史台风的搜索范围,快速检索相似性指标,并以统一量化的方式发送给相关部门,达到警示、防范和预判目的。目前,应用于智能大数据分析平台的台风模块中,帮助辅助决策。

(2) 基于多项动态拟合曲线与相似离度结合的台风路径动态判定方法,以投影的方式实现“相近相似”的判断,解决了台风观测点数量和位置不一致的问题。

(3) 相似性案例分析得到 Peggy(8607)、Lucy(7114)、Georgia(7011)、Rose(7118)、Utor(1311)、Tess(8515)、Sally(6416)与台风山竹相似性较高。

在实际业务中,台风不断地发展变化,同时也会出现很多种可能性,情况也更复杂。因此,本研究中的特征要素是不全面的,实际应用时还要在本研究的基础上解决以下两个问题:(1)台风突然转向的问题。比如 1311 号台风登陆不久后形成路径急转,这个特性与目标台风截然不同,但是路径相似性分析结果未分析出台风转向差异。针对此类突然转向的台风等特殊台风将动态拟合曲线划分成 N 段,分别进行拟合,提高拟合精度,降低由于拟合曲线不准确

带来的台风判定不确定性,这也是相关人员实际业务操作中所需要注意的。(2)台风前进过程中的“角度”问题。比如 7011 号台风登陆广东省后直接向西北方向移动,虽然没有发生急转,但是与目标台风方向发生较大差异,相似性分析中考虑了路径“形”差异,但是并没有将“角度”作为特征要素进行深入研究,导致该台风与目标台风之间的方向性特征差异性没有被分析出来。因此,解决台风运行角度问题造成的不确定性是很有必要的。

参考文献

- 丁晨晨,任福民,邱文玉,等,2019. 基于路径相似的登陆热带气旋降水之动力-统计集合预报模型[J]. 气象,45(1):29-37. Ding C C, Ren F M, Qiu W Y, et al, 2019. A dynamical statistical ensemble forecast model for land-falling tropical cyclone precipitation based on track similarity[J]. Meteor Mon, 45(1):29-37(in Chinese).
- 董林,高拴柱,许映龙,等,2019. 2017 年西北太平洋台风活动特征和预报难点分析[J]. 气象,45(9):1322-1334. Dong L, Gao S Z, Xu Y L, et al, 2019. Analysis of characteristics and forecast difficulties of TCs on Western North Pacific in 2007[J]. Meteor Mon, 45(9):1322-1334(in Chinese).
- 高歌,黄大鹏,赵珊珊,2019. 基于信息扩散方法的中国台风灾害年月尺度风险评估[J]. 气象,45(11):1600-1610. Gao G, Huang D P, Zhao S S, 2019. Annual and monthly risk assessment of typhoon disasters in China based on the information diffusion method[J]. Meteor Mon, 45(11):1600-1610(in Chinese).
- 高志鹏,牛琨,刘杰,2015. 面向大数据的分析技术[J]. 北京邮电大学学报,38(3):1-12. Gao Z P, Niu K, Liu J, 2015. Analytics towards big data[J]. J Beijing Univ Posts Telecommun, 38(3):1-12(in Chinese).
- 耿慧,1996. 热带气旋过程(动态)相似路径选取[J]. 气象,22(2):48-49. Geng H, 1996. The analogous track selection of the tropical cyclone processes[J]. Meteor Mon, 22(2):48-49(in Chinese).

- 龚琳,2010. 基于2.5维面的气象数据可视化技术——以风场数据显
示为例[J]. 测绘科学,35(3):56-57. Gong L,2010. Meteorologi-
cal data visualization technology based on 2.5 dimensional sur-
faces-Taking the wind field data demonstration as the example
[J]. Sci Surveying Mapping,35(3):56-57(in Chinese).
- 胡艳,2014. 数据可视化在新闻报道中的应用前景探析[J]. 西南民族
大学学报(自然科学版),40(5):745-749. Hu Y,2014. The ap-
plication prospect of data visualization in news reporting[J]. J
Southwest Univ for Nationalities(Nat Sci) 40(5):745-749(in
Chinese).
- 黄冬梅,郑霞,赵丹枫,等,2019. 一种多元台风时间序列的相似性度
量方法[J]. 计算机应用研究,36(3):844-850. Huang D M,
Zheng X,Zhao D F,et al,2019. Similarity measure method of
multiple typhoon time series[J]. Appl Res Comput,36(3):844-
850(in Chinese).
- 姜丽黎,余晖,2019. 基于动力相似方法的台风极端降水概率预报研
究[J]. 热带气象学报,35(3):353-364. Jiang L L,Yu H,2019. A
research on the prediction of typhoon extreme precipitation
based on dynamic similitude methods[J]. J Trop Meteor,35(3):
353-364(in Chinese).
- 栗健,方伟华,张晓宁,等,2016. 基于多致灾因子相似的热带气旋检
索方法研究:以风暴潮-海浪灾害预评估为例[J]. 海洋科学,40
(8):49-60. Li J,Fang W H,Zhang X N,et al,2016. Similar
tropical cyclone retrieval method for rapid potential storm surge
and wave disaster loss assessment based on multiple hazard in-
dictors[J]. Mar Sci,40(8):49-60(in Chinese).
- 李开乐,1986. 相似密度及其使用技术[J]. 气象学报,(2):174-183.
Li K L,1986. A new similarity parameter and its application[J].
Acta Meteor Sin,(2):174-183(in Chinese).
- 梁必骥,梁经萍,温之平,1995. 中国台风灾害及其影响的研究[J]. 自
然灾害学报,4(1):84-91. Liang B Q,Liang J P,Wen Z P,1995.
Study of typhoon disasters and its affects in China[J]. J Nat
Dis,4(1):84-91(in Chinese).
- 刘勇,吴必文,王东勇,2006. 一种台风路径相似检索的算法研究[J].
气象,32(7):18-24. Liu Y,Wu B W,Wang D Y,2006. Algo-
rithm study on similarity retrieval of typhoon tracks[J]. Meteor
Mon,32(7):18-24(in Chinese).
- 秦大河,孙鸿烈,孙枢,等,2005. 2005—2020年中国气象事业发
展战略[J]. 地球科学进展,20(3):268-274. Qin D H,Sun H L,Sun
S,et al,2005. The strategy of Chinese meteorological service and
development:2005—2020 [J]. Adv Earth Sci,20(3):268-274
(in Chinese).
- 石先武,方伟华,2015. 1949—2010年西北太平洋热带气旋时空分布
特征分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),51(3):287-
292. Shi X W,Fang W H,2015. Spatiotemporal characteristics
of tropical cyclone in NWP basin between 1949 and 2010[J]. J
Beijing Normal Univ(Nat Sci),51(3):287-292(in Chinese).
- 孙群,2013. 空间数据相似性研究的若干基本问题[J]. 测绘科学技
术学报,30(5):439-442. Sun Q,2013. Research on some funda-
mental issues of spatial data similarity[J]. J Geomat Sci Technol,
30(5):439-442(in Chinese).
- 王露,杨晶晶,黄铭,2017. 基于R语言和Tableau的气象数据可视化
分析[J]. 计算机与网络,43(24):69-71. Wang L,Yang J J,
Huang M,2017. Visualization analysis of meteorological data
based on R language and tableau[J]. Comput Netw,43(24):69-
71(in Chinese).
- 王喜娜,黄华兵,班亚,等,2014. 利用GIS空间分析进行台风相似路
径筛选及预测[J]. 测绘通报,(5):115-118. Wang X N,Huang
H B,Ban Y,et al,2014. Analogy typhoon tracks screening and
forecasting based on GIS spatial analysis[J]. Bull Surv Mapp,
(5):115-118(in Chinese).
- 王秀荣,张立生,李维邦,2018. 台风灾害综合等级评判模型改进及应
用分析[J]. 气象,44(2):304-312. Wang X R,Zhang L S,Li W
B,2018. Improvement and application analysis of the coprehen-
sive grade evaluation model of typhoon disaster[J]. Meteor
Mon,44(2):304-312(in Chinese).
- 熊祥瑞,喻凯,肖琨,2017. 基于气象相似条件的台风路径预测[J]. 测
绘地理信息,42(5):74-76. Xiong X R,Yu K,Xiao K,2017. Pre-
diction of typhoon path based on weather similarity condition
[J]. J Geomat,42(5):74-76(in Chinese).
- 许映龙,张玲,高拴柱,2010. 我国台风预报业务的现状及思考[J]. 气
象,36(7):43-49. Xu Y L,Zhang L,Gao S Z,2010. The advances
and discussions on china operational typhoon forecasting[J].
Meteor Mon,36(7):43-49(in Chinese).
- 杨承睿,任芳,马楠,2016. 试论大数据在气象服务中的应用[J]. 农业
网络信息,(8):53-55. Yang C R,Ren F,Ma N,2016. Discussion
on the application of big data in meteorological service[J]. Agric
Netw Inf,(8):53-55(in Chinese).
- 杨慧,任福民,杨明仁,2019. 不同强度热带气旋对中国降水变化的影
响[J]. 地球科学进展,34(7):747-756. Yang H,Ren F M,Yang
M R,2019. Impact of different intensity tropical cyclones on pre-
cipitation changes in China[J]. Adv Earth Sci,34(7):747-756
(in Chinese).
- 张国峰,张京红,田光辉,等,2012. 台风灾害评估中相似台风的筛选
[J]. 湖北农业科学,51(7):1334-1337. Zhang G F,Zhang J H,
Tian G H,et al,2012. Screening of similar typhoon in assess-
ment of typhoon hazard[J]. Hubei Agric Sci,51(7):1334-1337
(in Chinese).
- 赵卓宁,李湘,舒红平,等,2018. 气象大数据资源汇交可视化分析研
究[J]. 气象科技进展,8(1):203-207,263. Zhao Z N,Li X,Shu
H P,et al,2018. Research on visualization analysis of meteoro-
logical big data collection[J]. Adv Meteor Sci Technol,8(1):
203-207,263(in Chinese).
- 竺夏英,宋文玲,2017. 2016年秋季中国气候特征及其可能成因[J].
气象,43(4):495-500. Zhu X Y,Song W L,2017. Features of cli-
matic anomalies in china during the fall of 2016 and the possible
cause[J]. Meteor Mon,43(4):495-500(in Chinese).
- 邹亮,任爱珠,徐峰,等,2008. 基于GIS空间分析的台风路径预测
[J]. 清华大学学报(自然科学版),48(12):2036-2040. Zou L,
Ren A Z,Xu F,et al,2008. Typhoon track forecasting based on
GIS spatial analyses[J]. J Tsinghua Univ (Sci Technol),48
(12):2036-2040(in Chinese).
- Ying M,Zhang W,Yu H,et al,2014. An overview of the China meteo-
rological administration tropical cyclone database[J]. J Atmos
Oceanic Technol,31(2):287-301.