京津冀地区台风危险性评估 ——基于 Gumbel 分布的分析

李倩^{1,3}, 俞海洋⁴, 李婷⁴, 龙爽^{1,3}, 邵威³, 王瑛^{1,2,3}, 许映军^{1,2,3*}

(1. 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 2. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;
3. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875; 4. 河北省气象灾害防御中心, 石家庄 050021)

摘要: 台风引发的连续暴雨是京津冀地区主要的气象灾害之一, 开展台风危险性评估, 旨在识别台风灾害高风险区, 为京津冀地区台风灾害防灾减灾能力提升和风险管理提供参考。根据 1974–2015 年间影响京津冀地区的台风资料, 选取该地区 148 个国家气象站点的气象数据, 包括最大日降水量、累积降水量及最大风速 3 个指标。借助 Gumbel 分布, 求出各气象站点 5 a、10 a、30 a 及 50 a 一遇水平下的气象指标数值, 利用 ArcGIS 空间插值表征其空间分布, 据此评估京津冀地区台风危险性。结果表明, 50 a 一遇下台风灾害最大日降水最大值为 190.62 mm, 累积降水量最大值为 253.04 mm, 最大风速最大值为 16.81 m/s。其中北京东南部、天津北部、河北省东南沿海地区和大太行山一带的石家庄、邢台、邯郸等地区为高风险区。

关键词: 台风; 危险性评估; 致灾因子; 京津冀

1 引言

台风泛指热带气旋, 包括热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风及强台风。台风灾害会造成人员伤亡、房屋倒塌、农作物减产及道路毁坏等损失(陈佩燕等, 2009)。中国是受台风严重影响的国家之一, 每年 6–10 月是台风灾害的高发期。根据中央气象台台风网的资料, 1997–2016 年间中国共发生台风 540 次, 平均每年 27 次。台风灾害造成的经济损失巨大, 其中广东、福建及浙江等东南沿海地区遭受的影响和损失最为严重, 社会财产和人民安全一直受到重大威胁(陈文方等, 2011; 殷洁等, 2013)。

台风对中国内陆地区的直接影响较小, 但其间接影响却十分广泛且严重(丛春华等, 2011, 2012)。当台风外围环流或倒槽遇上急流、西风槽、冷空气

等西风带系统时, 往往会产生远距离暴雨(程正泉等, 2005), 此类暴雨能影响中国大陆的 27 个省(直辖市、自治区), 发生高频区为环渤海地区和川陕地区(丛春华等, 2012), 由此产生的降水往往比台风本身环流的降水大得多。天气气候分析指出, 在浙闽登陆的台风往往会给华北以至东北地区带来 100 mm 以上的特大暴雨(李江南等, 2003)。1996 年 8 月 3–5 日, 9608 号台风“Herb”从福建省登陆, 由于其减弱成低压并与副热带高压作用, 同时低纬度地区暖湿空气与近地冷空气作用, 导致河北、山西等地出现了“63.8”以来的最强暴雨(江吉喜等, 1997; 任振球, 1997; 孙建华等, 2006), 其中 8 月 4 日河北井陉气象站日降水量高达 413.30 mm, 平山、元氏、石家庄及赞皇等气象站日降水量均超过了 300 mm。2012 年北京“7.21”暴雨也是台风远距离作用的结果。

收稿日期: 2017-09-04; 修订日期: 2018-02-10。

基金项目: 国家重点研发计划支持项目(2017YFC1502505, 2017YFA0604903); 河北省气象与生态环境重点实验室开放基金项目(Z201603H) [Foundation: National Key Research and Development Program of China, No.2017YFC1502505, No.2017YFA0604903; Key Laboratory of Meteorology and Ecological Environment of Hebei Province, No.Z201603H]。

作者简介: 李倩(1992–), 女, 河北保定人, 博士研究生, 主要从事海岸带灾害与资源研究, E-mail: liqian@mail.bnu.edu.cn。

通讯作者: 许映军(1977–), 男, 江苏南通人, 副教授, 博士, 主要从事海岸带灾害与资源研究, E-mail: xyj@bnu.edu.cn。

引用格式: 李倩, 俞海洋, 李婷, 等. 2018. 京津冀地区台风危险性评估: 基于 Gumbel 分布的分析[J]. 地理科学进展, 37(7): 933–945. [Li Q, Yu H Y, Li T, et al. 2018. Hazard assessment of typhoons affecting the Beijing-Tianjin-Hebei region based on Gumbel distribution[J]. Progress in Geography, 37(7): 933–945.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.07.007

果(徐洪雄等, 2014), 1208号台风“Vicente”从广东省登陆, 虽然在空间上并没有直接影响到北方地区, 但台风涡旋的持续水汽输送造成了远距离异常暴雨的发生。此外, 在青藏高原东北侧的陕西等地, 多数极端暴雨也是由台风引起(丛春华等, 2011), 如“77.7”延河大暴雨和“02.6”特大暴雨等。国内学者围绕台风带来的水汽输送过程和天气系统变化展开了研究(井喜等, 2005; 武麦凤等, 2013), 指出台风水汽输送过程会造成内陆地区的暴雨灾害, 并引发次生灾害(高建华等, 1999)。这种台风引发的远距离暴雨灾害, 具有突发性强、降水量大、降水时段集中及影响范围广的特点(单磊等, 2014), 在实际预报中难度大, 容易引发严重的生命财产损失。

京津冀地区是中国的政治、经济、文化及国际交流中心。京津冀协同发展战略的提出, 雄安新区的设立及2022年京张冬奥会的举办, 将为地区发展带来新的机遇与挑战。由此必然要求在新形势下谋求可持续发展的同时, 必须稳步提升防灾减灾能力。2016年12月, 中共中央、国务院发布的《国家综合防灾减灾规划(2016-2020年)》中指出, “十三五”期间主要防灾减灾任务包括: 健全防灾减灾救灾体制机制, 加强灾害监测预报预警与风险防范能力建设等。京津冀地区气象灾害的相关研究众多, 但尚没有对该地区进行台风危险性评估区划的研究。只有全面掌握该地区台风灾害危险性的分布特征, 才能更有针对性地制定预警方案和形成应急响应及防灾减灾机制。

2 数据来源与处理方法

2.1 研究区概况

2.1.1 自然经济概况

京津冀地区位于东经113°04′至119°53′, 北纬36°01′~42°37′。属于温带半湿润半干旱大陆性季风气候, 具有四季分明、雨量集中、日照充足及干湿期明显等特点。地势西北高、东南低, 从西北向东南呈半环状逐级下降。京津冀地区作为中国经济的第三增长极, 是中国的政治文化中心和北方经济中心。2016年京津冀地区GDP合计74612.60亿元, 占全国的10%。2017年4月设立的雄安新区, 作为疏解北京非首都功能的集中承载地, 和推动高质量

发展的全国样板, 对区域协同防灾、减灾能力提出了新的要求。

2.1.2 台风灾害概况

相比福建、广东及浙江等东南沿海地区, 京津冀地区并非台风主要登陆区, 但也受到台风的直接或间接影响(丛春华等, 2011, 2012)。自建国以来, 共有7次台风路径进入京津冀地区。1974-2015年间京津冀地区共受到73次台风的直接或间接影响(图1), 平均每年发生台风约1.7次, 发生月份主要集中在每年的7-9月, 其中8月份发生台风影响频次最多, 为35次。

部分学者针对京津冀地区台风类暴雨及典型台风灾害的天气过程展开了研究, 指出台风过程充沛的水汽输送(张国华等, 2008), 使低纬度地区高温高湿的水汽向华北输送, 并与近地面弱冷空气相互作用, 间接导致了京津冀地区的暴雨灾害, 典型的台风远距离降水过程有0509号“Matsa”(景华等, 2005)和9608号“Herb”(江吉喜等, 1997; 孙建华等, 2006)以及1208号“Vicente”(徐洪雄等, 2014)等。北京受台风影响多会发生大雨以上天气过程, 持续时间以2d为最多, 最长可达5d(丁德平等, 2009)。华北中部和东部夏季降水量与登陆中国台风频数存在显著的正相关(建军等, 2006), 副热带高压、西风槽、湿位涡、环流及地形等因素的影响(景华等, 2005; 何丽华等, 2007; 史得道等, 2016), 是台风造成京津冀地区暴雨的原因。

京津冀地区台风灾害频次虽然很少, 但灾害损失仍不容忽视。如2012年10号台风“Damrey”, 造成河北省受灾人口23万人, 损毁房屋1.60万间, 淹没农田53.90 km², 水产养殖受灾面积100.40 km², 损毁船只152艘, 损毁码头2座, 损毁防波堤4.15 km, 直接经济损失20.44亿元; 天津市水产养殖受灾面积1.73 km, 损毁海堤、护岸0.80 km, 直接经济损失415万元。

2.2 数据来源

台风数据来源于中国气象局上海台风研究所的CMA最佳路径数据集(Ying et al, 2014)及中央气象台台风网, 包括1949-2015年西北太平洋海域热带气旋每6h的中心强度、中心经纬度、中心气压及最大风速等。考虑到气象数据的完整性, 选取1974-2015年的台风数据, 主要包括台风中心位置和观测时间数据。

图1 影响京津冀地区的台风路径分布(1974-2015)

Fig.1 Path distribution of typhoons in the Beijing-Tianjin-Hebei region (1974-2015)

风和雨是台风灾害的直接致灾因子(陈文方等, 2012)。本文选取京津冀地区 148 个国家气象站(图2)的日降水量和最大风速。考虑到数据的完整性, 确定时间序列为 1974-2015 年, 数据来源为河北省气象局和中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。

京津冀地区的边界数据来源于河北省气象灾害防御中心和中国科学院资源环境科学数据中心。数字高程数据“SRTMDEMUTM 90M”来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>), 空间分辨率为 90 m。台风灾害灾情数据来源于《中国气象灾害大典》《河北省志·第10卷自然灾害志》《台风年鉴》《热带气旋年鉴》及河北省气象灾害防御中心提供的灾情资料。

2.3 数据筛选

国内外部分学者在界定影响某地区的台风时, 会根据研究区的大小和形状, 通过划定缓冲圆的方法确定其影响范围, 或者参考台风风圈半径及台风距离气象站点的距离筛选台风。台风外围影响范围从几百千米到上千千米不等, 台风前颶线距台风中心的最远距离约 500 km(埃尔斯本里等, 1994), 如美国学者使用距离颶风中心半径 500 km 的固定圆来定义台风降水(任福民等, 2001); Kunkel 等(2010)认

图2 国家气象站分布

Fig.2 Distribution of national level meteorological stations

为, 台风路径距离研究区经度或纬度在 5° 范围内(约 500 km), 则认为降水与台风系统有关; Zhu 等(2013)以登陆或 500 km 范围内为界定, 分析了德克萨斯州台风降水变化; Malmstadt 等(2010)选取 100 km 的半径界定台风影响, 评估佛罗里达州强颶风的大风灾害风险; Lin 等(2010)划定半径 200 km 的缓冲区, 评估纽约颶风风暴潮风险。陈文方等

(2011)以台风七级风风圈的平均半径353.38 km作为影响半径,评估长三角地区台风风险;韩晖(2005)定义台风中心与任一地面站点的地理距离小于800 km,且该站点当日产生降水,作为界定台风暴雨影响范围。

据此,考虑到京津冀地区直接过境台风次数较少,且台风远距离风雨影响严重,因而在界定影响京津冀地区的台风时,既包括直接过境台风,也包括未登陆京津冀境内但产生风雨影响的台风。界定影响台风的方法参考方伟华等(2011)对中国台风灾害风险评估方法,在台风中心经纬度 5° 范围内(纬度距离约556.60 km,经度距离约438.40 km),如果京津冀地区存在对应的气象站点记录,则认为此次台风过程对京津冀地区产生影响。此外,台风影响筛选还参考了《中国气象灾害大典》《河北省志·第10卷自然灾害志》《台风年鉴》《热带气旋年鉴》。同时考虑水汽输送、副热带高压及台风倒槽(赵宇等, 2008)等间接引发台风远距离暴雨或大风的情况,通过核查台风登陆期间或之后的1~3日内(王新敏等, 2002),京津冀地区气象站点是否存在明显的降水,筛选和整理了1974–2015年间影响京津冀地区的台风数据集。

台风影响时间是指台风过程从影响开始至结束的时间,在此期间气象站点的降水和风速均受到台风过程的影响(方伟华等, 2011)。最大日降水量和累积降水量受影响时间的限制,分别为台风影响过程中的日降水量最大值和日降水累积值。由于冀北高原的张家口地区为河北省大风灾害严重区(孙霞等, 2016),内陆风影响较大(俞海洋等, 2017),对台风大风评估存在干扰。所以在最大风速数据处理时,相应气象站点的最大风速数据需要进行风向筛选,以更好地区分台风引发的大风灾害影响。

风向筛选时,主要考虑以下两方面:一是台风大风主要发生在中国东南沿海地区,台风大风的频数由沿海向内陆迅速减少,强度逐渐减弱(杨玉华等, 2004);二是台风影响多从沿海及河北南部地区开始,影响强度向内陆逐渐减弱。因而根据原始风速分布规律,确定风向筛选方法为:一是对所有站点数据保留风向“ $45^{\circ}\sim 225^{\circ}$ ”的风速数据;二是对张家口市所有台风影响站点保留风向“ $90^{\circ}\sim 180^{\circ}$ ”的风速数据,其他市全部站点保留风向“ $45^{\circ}\sim 225^{\circ}$ ”的

数据。就台风大风原始数据和上述两个风向筛选的结果进行比较,第二种风向筛选方法得出的台风大风空间分布(图3),基本可以排除河北省西北部地区内陆风的干扰。

图3 京津冀地区台风大风风向筛选

Fig.3 Wind direction selection of typhoon-induced strong wind in the Beijing-Tianjin-Hebei region

3 台风危险性评估方法

“区域灾害系统论”观点认为灾害是由孕灾环境、致灾因子以及承灾体综合作用的产物,并提出灾害系统模式。灾害风险评估是对灾害系统进行风险评估,即综合孕灾环境稳定性、致灾因子强度、承灾体脆弱性进行评估(史培军, 1991; 王静爱等, 2003)。灾害危险性用于衡量致灾因子强度,旨在识别灾害高风险区,为防灾减灾和风险防范提供参考。本文围绕台风灾害致灾因子展开台风危险性评估。

极端天气更容易导致严重灾害事件。极值理论是模拟极端事件分布的模型,在气象水文领域得到广泛应用,是基于历史样本分布情况模拟未来极端事件发生的可能性。常用的极值分布理论有经典极值分布模型、广义极值分布模型、广义帕累托分布模型等,其中经典极值分布模型包括极值 I 型(Gumbel分布型)、II 型(柯西分布型)和 III 型(Weibull分布型)。本文采用经典极值理论中的 Gumbel 分布函数,研究台风灾害引起的降水和大风极值分布(方伟华等, 2011; 李颖等, 2013)。Gumbel 分布函数

表达式如下:

$$F(x) = P(X < x) = \exp[-\exp(-x)], \quad -\infty < x < \infty \quad (1)$$

经典极值分布模型中参数估计方法很多,采用经典矩法(方伟华等, 2011)进行参数估计,假设有 N 个极值样本,按照从小到大排列:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_M \leq \dots \leq x_N, \quad M=1, 2, \dots, N \quad (2)$$

则 Gumbel 分布函数可改写为式(3),式中 α 、 u 为待估计参数,经典矩法估算参数表达式如下:

$$F(x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x-u)]\} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \hat{\alpha} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \frac{1}{\sigma_M} \\ \hat{u} = \mu_M - c \frac{\pi}{\sqrt{6}} \sigma_M \end{cases} \quad (4)$$

式中: σ_M 为极大值样本标准差; μ_M 为极大值样本期望值; c 为欧拉常数,取值 0.5772。

超越某个极限发生的可能性为超越概率(Exceeding Probability, EP),假设 X 为连续型随机变量,对于任意实数 x ,小于的累积概率用 $F(X)$ 表示。“百年一遇”是超越概率的具体体现形式,其中“百年”表征重现期(Return period, RP),表达式如下:

$$EP = 1 - F(X) = 1 - P(X < x) = 1 - \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (5)$$

$$RP = \frac{1}{EP} = \frac{1}{1 - F(X)} \quad (6)$$

N 年一遇重现期分位数 Z_N 为:

$$Z_N = u - \frac{\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{RP}\right)\right)}{\alpha} \quad (7)$$

以京津冀地区 148 个国家气象站数据为基础,采用年极值抽样方法,即对每年抽取一个极大值,构建 1974-2015 年间受台风影响的最大日降水量、累积降水量及最大风速数据集。借助 Gumbel 分布函数,计算 5 a、10 a、30 a 及 50 a 一遇水平下,台风灾害对应的最大日降水量、累积降水量及最大风速,通过 ArcGIS 空间插值方法得到京津冀台风危险性空间分布(图4)。

台风灾害危险性主要是对最大日降水量、累积

图4 京津冀地区台风灾害危险性评估技术路线

Fig.4 Technical framework of typhoon hazard assessment in the Beijing-Tianjin-Hebei region

降水量及最大风速进行评估。一次台风过程,上述 3 个指标分别表征不同气象要素的空间分布情况,而台风灾害危险性是上述指标共同作用的结果。熵权系数法是根据指标信息载量的大小确定权重的客观赋权方法(王靖等, 2001),运用熵权系数法评估台风过程各指标所占权重,能客观地评估京津冀地区台风灾害危险性。

以台风灾害最大日降水、累积降水量及最大风速 50a 一遇为例,计算最大日降水量、累积降水量及最大风速表征的台风危险性。为消除不同指标量纲不一致的影响,对不同气象指标的标准化处理,借助熵权系数法求出权重,公式如下:

$$X_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_j} \quad (8)$$

$$f_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (9)$$

$$\begin{cases} e_i = -k \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \\ k = \frac{1}{\ln n}, \text{ 当 } f_{ij} = 0 \text{ 时, 令 } f_{ij} \ln f_{ij} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

$$w_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^m (1 - e_i)} \quad (11)$$

$$H = W_{pre} \times h_{pre} + W_{cum_pre} \times h_{cum_pre} + W_{wind} \times h_{wind} \quad (12)$$

式中: X_{ij} 为气象指标 j 中第 i 个数据标准化值; x_{ij} 为气象指标 j 中第 i 个数据; f_{ij} 为样本 j 中第 i 个数据的比重; e_i 为样本 j 中第 i 个数据的信息熵; w_i 为指标权重; n 为站点数; m 为气象指标数; H 为京津冀地区台风灾害危险性; W_{pre} 、 W_{cum_pre} 及 W_{wind} 分别为最大日降水量、累积降水量及最大风速所占比重; h_{pre} 、 h_{cum_pre} 及 h_{wind} 分别为最大日降水量、累积降水量及最大风速的标准化值。

4 台风危险性评估结果

4.1 降水时空分布特征

台风暴雨是台风灾害最重要的致灾因子,台风过程最大日降水量和累积降水量能反映台风引起的暴雨强度(Goldenberg et al, 2001),表征台风灾害发生时降水的空间分布情况。1974-2015 年间台风降水数据显示(图 5), 1978、1979、1984、1994、1996 及 2005 年台风影响期间站点单日降水量为特大暴

雨年,出现大暴雨年份15年,暴雨年份14年。

根据台风降水危险性评估结果,将京津冀地区台风危险性划分为6个等级。其中,台风灾害引起的降水高危险区主要分布在京津冀地区中东部和西南部的太行山沿线地区(图6)。其中,中东部地区以北京西南部、天津北部、唐山、秦皇岛及廊坊北部为主;太行山沿线以河北省西南部的石家庄、邢台

图5 台风影响下最大日降水量趋势图(1974-2015)

Fig.5 Trend of maximum daily precipitation under typhoon influences (1974-2015)

及邯郸为主要降水区域。50 a一遇台风灾害日最大降水量最高达到190.62 mm。京津冀地区台风引发的连续暴雨高危险区分布在石家庄中西部、唐山、秦皇岛、廊坊北部、天津北部及北京东南部地区(图7),与最大日降水量高危险区分布基本一致。其中,50a一遇台风灾害累积降水量最高达到253.04 mm。

将京津冀地区高程与最大日降水量、累积降水量等值线叠加(图8),可知太行山一带的石家庄、邢台及邯郸等高海拔地区,复杂地形造成的迎风坡、喇叭口等效应,使其成为暴雨和大暴雨的多发区(闫冠华, 2013)。由于地形的抬升和阻挡,能显著增加台风降水(程正泉等, 2005)。例如9608号“Herb”台风,造成河北和山西等地出现大范围暴雨,其中河北省石家庄、邢台等地发生特大暴雨(徐国强等, 1999),两市迎风坡降水均在400 mm以上。其次,唐山和秦皇岛等东部沿海地区,由于水汽输送充

图6 京津冀地区不同重现期台风灾害最大日降水量分布

Fig.6 Distribution of maximum daily precipitation caused by typhoon disasters in the Beijing-Tianjin-Hebei region with different return periods

图7 京津冀地区不同重现期台风灾害累积降水量分布

Fig.7 Distribution of accumulated precipitation caused by typhoon disasters in the Beijing-Tianjin-Hebei region with different return periods

图8 京津冀地区海拔高程和台风灾害降水分布(a. 最大日降水量;b. 累积降水量)

Fig.8 Spatial distribution of elevation and precipitation in the Beijing-Tianjin-Hebei region (a. maximum daily precipitation; b. cumulative precipitation)

足,距海较近,台风扰动更加明显,台风引起的降水也显著增多。

4.2 风速空间分布特征

相比中国东南沿海地区,京津冀地区台风灾害对最大风速的影响较小。50a一遇台风灾害的最大风速最高达到16.81 m/s,约为7级风。风速较大地区分布于东南部地区,其中天津、秦皇岛、唐山、沧州、衡水、邢台及邯郸等市的风速较大(图9)。

4.3 典型台风案例分析

以8408号“Freda”和9608号“Herb”台风作为典型案例进行分析。8408号“Freda”台风为路径到达京津冀地区的7次台风中,过境范围最大、过境距离最长的一次台风灾害。9608号“Herb”台风成为损失严重的台风之一。

8408号“Freda”台风(图10)是1984年8月8日从福建省登陆,途经江西、湖北、河南、山东等地,于

8月10日进入河北和天津境内。此次台风灾害主要影响北京、天津、唐山和秦皇岛等地区。降水高危险区主要集中在台风路径两侧,影响强度向外逐渐减弱。

9608号“Herb”台风(图11a)是1996年8月1日从福建省登陆,途经江西和湖北等地。8月3-5日受其影响河北省发生了“96.8”暴雨灾害。通过分析8月3-5日累积降水量的分布情况(图11b),石家庄、邢台及邯郸等地区发生了特大暴雨,暴雨中心位于石家庄市的西部地区,北京、廊坊保定部分地区也发生暴雨。此次台风造成了京津冀地区远距离降水,形成暴雨灾害。

4.4 台风灾害危险性

利用熵权系数法求出最大日降水、累积降水量及最大风速50 a一遇情况下的台风灾害危险性,最大日降水量、累积降水量及最大风速3个指标的权

图9 京津冀地区不同重现期台风灾害最大风速分布

Fig.9 Maximum wind speed caused by typhoon disasters of different return periods in the Beijing-Tianjin-Hebei region

重分别为46.86%、42.44%及10.70%。借助 ArcGIS 空间插值,以自然断点划分为5个危险性等级,即:极高、高、中、低及极低。京津冀地区台风灾害高危区主要分布于北京东南部、天津北部、唐山、秦皇岛、石家庄及邯郸等地区(图12),与降水高危区分布基本一致。

5 结论与讨论

本文利用京津冀地区148个国家气象站的气象

数据,以及1974–2015年间影响京津冀地区的台风数据,评估京津冀地区台风灾害危险性,主要结论有:

(1) 台风对京津冀地区的影响多为间接影响,表现为大范围、高强度的远距离连续降水,但引发的台风大风并不明显。区内存在2个台风灾害的高危区:一是太行山沿线的石家庄、及邯郸等地区;二是中东部的北京东南部、天津北部及河北省沿海的唐山和秦皇岛等地区,台风引发的暴雨天气多数集中出现在上述两类地区。

(2) 台风灾害5 a、10 a、30 a、50 a一遇的最大日降水最大值分别为68.31 mm、106.52 mm、164.26 mm、190.62 mm,累积降水量最大值依次为82.42 mm、134.07 mm、215.75 mm、253.04 mm,最大风速最高依次为9.90 m/s、12.06 m/s、15.32 m/s、16.81 m/s。

参考以往的研究,本文在选取影响京津冀地区的台风时,以直接过境和虽未登陆境内但产生风雨影响的台风作为影响京津冀的台风数据基础,分析不同重现期的台风降水和台风风速空间分布。考虑到京津冀地区直接过境的台风数据不足,且台风远距离风雨灾害影响严重。因此,未来对京津冀地区台风远距离风雨实际影响的不确定性有待进一步研究。

台风灾害对京津冀地区的降水影响较明显,同时也会引发沿海风暴潮及洪水等次生灾害。灾前

图10 8408号台风累积降水量
Fig.10 Accumulated precipitation of No. 8408 typhoon

图11 9608号台风路径(a)和累积降水量分布(b)
Fig.11 Path (a) and accumulated precipitation distribution (b) of No. 9608 typhoon

图 12 京津冀 50 a 一遇台风危险性

Fig. 12 Typhoon hazard in the Beijing-Tianjin-Hebei region (50 a)

准确预报对于实施精准救灾十分重要,直接影响灾害发生时的应急处理工作,例如人口转移、水库调蓄及物资协调等。了解台风灾害的高危险区,有针对性地制定不同致灾因子强度下的应急预案,着重针对台风灾害高危险区开展重点防范,可以更加有效地进行台风灾害防御。

在京津冀协同发展背景下,提升防灾减灾任务刻不容缓。北京及天津部分地区位于台风灾害高危险区。此外,2016年《河北省新型城镇化与城乡统筹示范区建设规划(2016-2020年)》中提到,石家庄和唐山两大城市作为建设规划的两翼,也是台风灾害高危险区。针对高危险区,不仅要加强台风灾害管理,更要注重台风灾害的预防和治理,例如在基础设施建设时充分考虑灾害强度,衡量承灾体的设计标准,才能进一步提升京津冀地区应对台风灾害的综合能力。此外,雄安新区周边地区亦存在台风暴雨危险区,因而新区规划建设应考虑周边台风暴雨危险因素,防范由暴雨引发的洪涝等其他灾害。现有的台风灾害灾情数据尚不全面,涉及人员伤亡、粮食减产、房屋倒塌、交通毁坏及畜牧养殖业等灾情统计有待进一步加强,以为后续台风灾害防治及研究工作提供数据支持。

参考文献(References)

- 埃尔斯本里, 弗兰克, 霍兰, 等. 1994. 热带气旋全球观[M]. 陈联寿, 董克勤, 金汉良, 等译. 北京: 气象出版社. [Elsberry R L, Frank W M, Holland G J, et al. 1994. Global view of tropical cyclones[M]. Chen L S, Dong K Q, Jin H L, et al. Trans.. Beijing, China: China Meteorological Press.]
- 陈佩燕, 杨玉华, 雷小途, 等. 2009. 我国台风灾害成因分析及灾情预估[J]. 自然灾害学报, 18(1): 64-73. [Chen P Y, Yang Y H, Lei X T, et al. 2009. Cause analysis and preliminary hazard estimate of typhoon disaster in China[J]. Journal of Natural Disasters, 18(1): 64-73.]
- 陈文方, 方建, 徐伟, 等. 2012. 长三角地区台风危险性定量分析[J]. 自然灾害学报, 21(1): 1-8. [Chen W F, Fang J, Xu W, et al. 2012. Quantitative analysis of typhoon hazard in the Yangtze River Delta region[J]. Journal of Natural Disasters, 21(1): 1-8.]
- 陈文方, 徐伟, 史培军. 2011. 长三角地区台风灾害风险评估[J]. 自然灾害学报, 20(4): 77-83. [Chen W F, Xu W, Shi P J. 2011. Risk assessment of typhoon disaster at county level in the Yangtze River Delta of China[J]. Journal of Natural Disasters, 20(4): 77-83.]
- 程正泉, 陈联寿, 徐祥德, 等. 2005. 近 10 年中国台风暴雨研究进展[J]. 气象, 31(12): 3-9. [Cheng Z Q, Chen L S, Xu X D, et al. 2005. Research progression typhoon heavy rainfall in China for last ten years[J]. Meteorological Monthly, 31(12): 3-9.]
- 丛春华, 陈联寿, 雷小途, 等. 2011. 台风远距离暴雨的研究进展[J]. 热带气象学报, 27(2): 264-270. [Cong C H, Chen L S, Lei X T, et al. 2011. An overview on the study of tropical cyclone remote rainfall[J]. Journal of Tropical Meteorology, 27(2): 264-270.]
- 丛春华, 陈联寿, 雷小途, 等. 2012. 热带气旋远距离暴雨的研究[J]. 气象学报, 70(4): 717-727. [Cong C H, Chen L S, Lei X T, et al. 2012. A study on the mechanism of the tropical cyclone remote precipitation[J]. Acta Meteorologica Sinica, 70(4): 717-727.]
- 丁德平, 李英. 2009. 北京地区的台风降水特征研究[J]. 气象学报, 67(5): 864-874. [Ding D P, Li Y. 2009. A study on rainfall features of Beijing associated with typhoons[J]. Acta Meteorologica Sinica, 67(5): 864-874.]
- 方伟华, 王静爱, 史培军. 2011. 综合风险防范: 数据库、风险地图与网络平台[M]. 北京: 科学出版社. [Fang W H, Wang J A, Shi P J. 2011. Integrated risk governance: Data base, risk map and network platform[M]. Beijing, China: Science Press.]

- 高建华, 朱晓东, 余有胜, 等. 1999. 我国沿海地区台风灾害影响研究[J]. 灾害学, (2): 74-78. [Gao J H, Zhu X D, Yu Y S, et al. 1999. Study of the impact of typhoon disaster on coastal region of China[J]. Journal of Catastrophology, (2): 74-78.]
- 韩晖. 2005. 近50年中国台风暴雨研究[D]. 北京: 北京师范大学. [Han H. 2005. A study on typhoon torrential rain over China during the last about 50 years[D]. Beijing, China: Beijing Normal University.]
- 何丽华, 孔凡超, 李江波, 等. 2007. 影响河北两次相似路径台风的湿位涡对比分析[J]. 气象, 33(4): 65-70. [He L H, Kong F C, Li J B, et al. 2007. Analysis of wet potential vorticity of two similar typhoons affecting Hebei Province [J]. Meteorological Monthly, 33(4): 65-70.]
- 建军, 余锦华. 2006. 登陆我国台风与华北夏季降水的相关[J]. 南京气象学院学报, 29(6): 819-826. [Jian J, Yu J H. 2006. Relationship between land falling typhoons and summer precipitation over North China[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 29(6): 819-826.]
- 江吉喜, 项续康. 1997. “96·8”河北特大暴雨成因初探[J]. 气象, 23(7): 19-23. [Jiang J X, Xiang X K. 1997. A primary study of the extreme rainfall event in early august 1996 over Hebei Province[J]. Meteorological Monthly, 23(7): 19-23.]
- 井喜, 贺文彬, 毕旭, 等. 2005. 远距离台风影响陕北突发性暴雨成因分析[J]. 应用气象学报, 16(5): 655-662. [Jing X, He W B, Bi X, et al. 2005. Analysis of the abrupt rainstorm in north Shaanxi in relation to typhoon far away[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 16(5): 655-662.]
- 景华, 李云川. 2005. 经渤海影响河北的4个台风低压的对比分析[C]//中国气象学会2005年年会论文集. 中国气象学会: 4. [Jing H, Li Y C. 2005. Low pressure comparison of four typhoons affecting Hebei Province from Bohai[C]// Zhongguo Qixiang Xuehui 2005 nian nianhui lunwenji. Chinese Meteorological Society: 4.]
- 李江南, 王安宇, 杨兆礼, 等. 2003. 台风暴雨的研究进展[J]. 热带气象学报, (S1): 152-159. [Li J N, Wang A Y, Yang Z L, et al. 2003. Advancement in the study of typhoon rainstorm[J]. Journal of Tropical Meteorology, (S1): 152-159.]
- 李颖, 方伟华. 2013. 热带气旋降水模拟研究进展[J]. 地理科学进展, 32(4): 606-617. [Li Y, Fang W H. 2013. Review on modeling of tropical cyclone rainfall[J]. Progress in Geography, 32(4): 606-617.]
- 任福民, Byron Gleason, David Easterling. 2001. 一种识别热带气旋降水的数值方法[J]. 热带气象学报, 17(3): 308-313. [Ren F M, Byron G, David E. 2001. A numerical technique for partitioning cyclone tropical precipitation[J]. Journal of Tropical Meteorology, 17(3): 308-313.]
- 任振球. 1997. “96.8”河北南部罕见特大暴雨的预测检验和成因分析[J]. 气象, 23(10): 21-26. [Ren Z Q. 1997. Check of the forecast of a rare rainstorm in south area of Hebei Province in 1996[J]. Meteorological Monthly, 23(10): 21-26.]
- 单磊, 谭桂容, 姚叶青, 等. 2014. 一次台风远距离暴雨水汽条件及输送过程研究[J]. 热带气象学报, 30(2): 353-360. [Shan L, Tan G R, Yao Y Q, et al. 2014. On the water vapor condition and moisture transport for a rain caused by a remote tropical cyclone[J]. Journal of Tropical Meteorology, 30(2): 353-360.]
- 史得道, 易笑园, 孙密娜, 等. 2016. 影响天津地区两次北上热带气旋过程对比分析[J]. 气象与环境学报, 32(3): 19-27. [Shi D D, Yi X Y, Sun M N, et al. 2016. Comparative analysis of two northward motion tropical cyclones affecting Tianjin[J]. Journal of Meteorology and Environment, 32(3): 19-27.]
- 史培军. 1991. 灾害研究的理论与实践[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 27(11): 37-42. [Shi P J. 1991. On the theory of disaster research and its practice[J]. Journal of Nanjing University: Natural Science, 27(11): 37-42.]
- 孙建华, 齐琳琳, 赵思雄. 2006. “9608”号台风登陆北上引发北方特大暴雨的中尺度对流系统研究[J]. 气象学报, 64(1): 57-71. [Sun J H, Qi L L, Zhao S X. 2006. A study on the mesoscale convective systems of the severe heavy rainfall in north China by “9608” typhoon[J]. Acta Meteorologica Sinica, 64(1): 57-71.]
- 孙霞, 陈小雷, 俞海洋, 等. 2016. 河北省大风灾害及其危险性区划分析[J]. 中国农学通报, 32(1): 183-187. [Sun X, Chen X L, Yu H Y, et al. 2016. Analysis of wind disaster and its hazard regionalization in Hebei Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 32(1): 183-187.]
- 王靖, 张金锁. 2001. 综合评价中确定权重向量的几种方法比较[J]. 河北工业大学学报, 30(2): 52-57. [Wang J, Zhang J S. 2001. Comparing several methods of assuring weight vector in synthetical evaluation[J]. Journal of Hebei University of Technology, 30(2): 52-57.]
- 王静爱, 史培军, 王瑛, 等. 2003. 基于灾害系统论的《中国自然灾害系统地图集》编制[J]. 自然灾害学报, 12(4): 1-8.

- [Wang J A, Shi P J, Wang Y, et al. 2003. Compilation of "Atlas of Natural Disaster System of China" based on the disaster system theory[J]. Journal of Natural Disasters, 12 (4): 1-8.]
- 王新敏, 赵培娟, 李保生, 等. 2002. 影响河南的登陆台风分析[J]. 河南气象, (2): 14-16. [Wang X M, Zhao P J, Li B S, et al. 2002. Analysis on the landing typhoon of effecting Henan[J]. Meteorology Journal of Henan, (2): 14-16.]
- 武麦凤, 肖湘卉, 曹玲玲, 等. 2013. 两次台风远距离暴雨过程的对比分析[J]. 暴雨灾害, 32(1): 32-37. [Wu M F, Xiao X H, Cao L L, et al. 2013. Comparative analysis on two rainstorm processes affected by distant typhoon[J]. Torrential Rain and Disasters, 32(1): 32-37.]
- 徐国强, 胡欣, 苏华. 1999. 太行山地形对“96.8”暴雨影响的数值试验研究[J]. 气象, 25(7): 3-7. [Xu G Q, Hu X, Su H. 1999. Simulation study of Taihang Mountain terrain effects on heavy rain in august 1996[J]. Meteorological Monthly, 25(7): 3-7.]
- 徐洪雄, 徐祥德, 张胜军, 等. 2014. 台风韦森特对季风水汽流的“转运”效应及其对北京“7·21”暴雨的影响[J]. 大气科学, 38(3): 537-550. [Xu H X, Xu X D, Zhang S J, et al. 2014. Long-range moisture alteration of a typhoon and its impact on Beijing extreme rainfall[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 38(3): 537-550.]
- 闫冠华. 2013. 太行山脉对华北暴雨影响的研究[D]. 南京: 南京信息工程大学. [Yan G H. 2013. Study on the impact of Taihang Mountains on torrential rains in north China[D]. Nanjing, China: Nanjing University of Information Science & Technology.]
- 杨玉华, 雷小途. 2004. 我国登陆台风引起的大风分布特征的初步分析[J]. 热带气象学报, 20(6): 633-642. [Yang Y H, Lei X T. 2004. Statistics of strong wind distribution caused by landfall typhoon in China[J]. Journal of Tropical Meteorology, 20(6): 633-642.]
- 殷洁, 戴尔阜, 吴绍洪. 2013. 中国台风灾害综合风险评估与区划[J]. 地理科学, 33(11): 1370-1376. [Yin J, Dai E F, Wu S H. Integrated risk assessment and zoning of typhoon disasters in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 33(11): 1370-1376.]
- 俞海洋, 李婷, 陈笑娟, 等. 2017. 河北省近30年大风时空分布及成灾特征分析[J]. 灾害学, 32(2): 59-63. [Yu H Y, Li T, Chen X J, et al. 2017. The spatio-temporal distribution and disaster characteristics analysis of the gale in Hebei Province for nearly 30 years[J]. Journal of Catastrophology, 32(2): 59-63.]
- 张国华, 傅昺珊, 张延宾, 等. 2008. “碧利斯”(Bilis)台风远距离影响河北的数值预报检验[J]. 气象科学, 28(S1): 21-25. [Zhang G H, Fu B S, Zhang Y B, et al. 2008. The validation of the numerical forecast for the remote typhoon (Bilis) effect on Hebei[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 28(S1): 21-25.]
- 赵宇, 崔晓鹏, 王建国. 2008. 由台风低压倒槽引发的山东暴雨过程研究[J]. 气象学报, 66(3): 423-436. [Zhao Y, Cui X P, Wang J G. 2008. A study on a heavy rainfall event triggered by inverted typhoon trough in Shandong Province [J]. Acta Meteorologica Sinica, 66(3): 423-436.]
- Goldenberg S B, Landsea C W, Mestas-Nunez A M, et al. 2001. The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications[J]. Science, 293: 474-479.
- Kunkel K E, Easterling D R, Kristovich D A R, et al. 2010. Recent increases in U.S. heavy precipitation associated with tropical cyclones[J]. Geophysical Research Letters, 37 (24): 701-719.
- Lin N, Emanuel K A, Smith J A, et al. 2010. Risk assessment of hurricane storm surge for New York City[J]. Journal of Geophysical Research, 115(D18): 311-319.
- Malmstadt J C, Elsner J B, Jagger T H. 2010. Risk of strong hurricane winds to Florida cities[J]. J.appl.meteor.climatol, 49(10): 2121-2132.
- Ying M, Zhang W, Yu H, et al. 2014. An overview of the China meteorological administration tropical cyclone database [J]. Journal of Atmospheric & Oceanic Technology, 31(2): 287-301.
- Zhu L, Quiring S M. 2013. Variations in tropical cyclone precipitation in Texas (1950 to 2009)[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118(8): 3085-3096.

Hazard assessment of typhoons affecting the Beijing–Tianjin–Hebei region based on Gumbel distribution

LI Qian^{1,3}, YU Haiyang⁴, LI Ting⁴, LONG Shuang^{1,3}, SHAO Wei³, WANG Ying^{1,2,3}, XU Yingjun^{1,2,3*}

(1. Key Laboratory of Environment Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. Hebei Meteorological Disaster Prevention Center, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Continuous rainstorm caused by typhoons is one of the major meteorological disasters in the Beijing–Tianjin–Hebei region. This study focused on the hazard assessment of typhoons, identified the high hazard areas, and provided references for the disaster prevention and mitigation capabilities of typhoons in the Beijing–Tianjin–Hebei region. Based on the typhoons that affected the Beijing–Tianjin–Hebei region from 1974 to 2015, spatial variations of precipitation and wind speed are examined using 42 years of data from 148 meteorological stations, and the spatial distribution patterns are depicted by ArcGIS. Gumbel distribution is used to calculate the values of meteorological parameters at the stations under different return periods (RP 5 a, 10 a, 30 a, 50 a). The results show that the maximum daily precipitation is 190.62 mm, the maximum cumulative precipitation is 253.04 mm, and the maximum wind speed is 16.81 m/s (RP=50 a). Southeastern Beijing, northern Tianjin, southeastern coast of Hebei Province, and the Taihang Mountains are the high hazard areas.

Key words: typhoon; hazard assessment; hazard; Beijing–Tianjin–Hebei region