

金玲, 张欣馨, 陈佩燕, 等. 台风影响下的学校风灾风险评估模型研究——以浦东新区部分沿海学校为例[J]. 灾害学, 2022, 37(2): 54–59, 78. [JIN Ling, ZHANG Xinxin, CHEN Peiyan, et al. Study on Evaluation Model of School Wind Disaster Risk under the Influence of Typhoon[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(2): 54–59, 78. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2022.02.010.]

# 台风影响下的学校风灾风险评估模型研究<sup>\*</sup>

## ——以浦东新区部分沿海学校为例

金玲<sup>1</sup>, 张欣馨<sup>1</sup>, 陈佩燕<sup>2,3</sup>, 顾松强<sup>1</sup>, 陈丽君<sup>1</sup>, 施红<sup>1</sup>, 张丽亚<sup>1</sup>

(1. 上海市浦东新区气象局, 上海 200135; 2. 中国气象局上海台风研究所, 上海 200030;  
3. 中国气象局台风数值预报重点实验室, 上海 200030)

**摘要:** 针对学校气象灾害风险的调查研究, 台风风灾是影响学校安全的重要气象灾害之一, 该文重点研究台风大风学校承灾体自身暴露度脆弱性风险指数的构建方法, 完善原有气象灾害风险评估关注致灾因子的风险评估模式, 通过对沿海学校的大风风险隐患点普查和各隐患点的脆弱性分析, 结合各学校不同气象灾害防御能力现状, 建立基于台风影响下风灾风险计算模型, 形成风灾风险预评估产品。研究结果表明: 本模型方法构建的风险指数可预评估出与实际较为符合的风险级别, 实际应用而言更科学更合理, 可为学校及时采取有针对性的防灾减灾措施提供依据。

**关键词:** 台风风灾; 风险评估; 学校; 评估模型

**中图分类号:** X43; X915.5; P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2022)02–0054–07  
doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2022.02.010

随着社会经济的发展, 气象灾害造成的损失日趋严重, 而其中台风大风更是重大气象灾害之一, 据统计2010—2021年影响浦东新区的台风就有20个。作为气象防灾减灾的重要技术支撑, 气象灾害风险评估管理一直是学术界研究的重大课题, 国内外学者基于灾害性天气的历史影响情况, 开展过气象灾害风险评估<sup>[1–3]</sup>方面研究, 但大多针对致灾因子进行分析评估, 比如大风或是针对单一物体, 如大风影响下的独立柱广告牌<sup>[4]</sup>、工程区台风大风灾害评估方法的研究与应用<sup>[5]</sup>、Risk assessment of typhoon disaster for the Yangtze River Delta of China(中国长江三角洲台风灾害风险评估)<sup>[6]</sup>等, 但针对某一行业单位开展气象动态风险指数研究并且用于指导行业防御指引方面, 目前相关研究国内外尚在初步阶段。根据《上海市气象灾害防御重点单位管理规定》<sup>[7]</sup>, 上海所有学校均为气象灾害防御重点单位, 相较其他气象灾害防御重点单位, 学校本身就具有人员密集以及学生

敏感脆弱性较高的特点, 对于学校的气象灾害风险评估以及防御指引尤为重要。浦东新区2021年第一次自然灾害风险普查数据表明, 5年内有138所学校曾遭遇台风大风灾害, 台风风灾已位居浦东新区沿海学校自然灾害首位, 对学校安全造成重要安全隐患。故本文以浦东新区沿海学校为例, 研究台风影响下的学校大风灾害风险评估技术, 并由此提出学校台风风灾风险预评估服务产品, 以此提升学校防台减灾工作的可行性和实用性。

本文主要研究台风大风致灾因子和学校承灾体本身的脆弱性耦合作用<sup>[8]</sup>, 基于对沿海学校风险案例和现场调查分析, 研究方法采用AHP(层次分析法)<sup>[9]</sup>对学校日常运行风险进行分解并构建算法, 通过中国气象局台风研究所专家意见和数据库数据分析, 确定风灾所对应的风险因素、风险因子及风险指标权重, 制定指标体系。该体系不仅考虑了气象致灾因子的强弱差异, 更多考虑气象致灾因子影响下重点单位的风险点数量和脆弱

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2021–10–03 修回日期: 2022–02–11

基金项目: 2020年度上海台风研究基金项目“基于台风影响下气象灾害防御重点单位风灾动态风险指数技术研究——以浦东沿海地区学校为例”(TFJJ202018)

第一作者简介: 金玲(1984–)女, 汉族, 江苏扬州人, 工程师, 主要从事气象风险评估, 风险预警联动研究。

E-mail: 542712285@qq.com

通讯作者: 陈佩燕(1976–)女, 汉族, 浙江缙云人, 研究员, 主要从事台风预报技术和台风影响评估研究。

E-mail: chenpy@typhoon.org.cn

性等风险因子, 其中风险点的脆弱性更是兼顾财产损失、生命安全和社会影响等重要因素, 形成一整套完整的风险指标体系, 最终计算出风险预评估结果, 并对学校在台风大风影响下形成预评估服务产品, 提供专业防御指引。

## 1 数据与分析方法

已有研究表明, 台风过程极大风速较过程最大风速对台风灾害影响程度更具有指示意义<sup>[10]</sup>, 因此将过程极大风速值及其持续时间作为大风致灾因子, 梳理统计台风大风的极大风速和持续时间, 对部分沿海学校因台风影响下大风风险脆弱性暴露度以及风险防御能力开展普查, 建立这些学校的台风风灾风险隐患数据库, 采用 AHP(层次分析法)以及专家打分法进行风险分析, 制定大风风险指标打分细则, 为台风大风灾害风险指标体系建立做好基础。

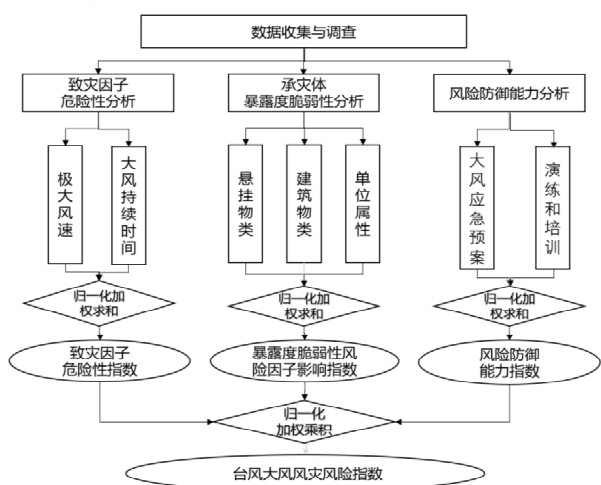


图1 台风大风灾害风险指数分析流程图<sup>[11]</sup>

### 1.1 数据来源

#### 1.1.1 大风致灾因子

基于 2010—2021 年气候公报, 统计每次台风影响浦东期间, 沿海自动气象站风力 8 级及以上 ( $\geq 17.2$  m/s) 的逐小时极大风速。

#### 1.1.2 沿海学校脆弱性暴露度因子

通过风险隐患普查微信小程序开展浦东新区沿海学校脆弱性暴露度因子风险点普查, 建立风灾风险隐患数据库, 包括学校风险隐患点即脆弱性暴露度因子、风灾防御应急能力和历史受灾情况, 并由气象灾害防御专业团队对沿海学校风险隐患普查数据进行现场核查, 确保数据的准确性。

### 1.2 数据分析方法

层次分析法。采用层次分析法制定灾害性天气重点单位风险指标打分细则, 确定各指标权重, 建立气象灾害风险指标体系<sup>[12]</sup>。

根据评估特性, 建立综合二元函数: 根据各

风险隐患点普查数据, 划分各风险指标分级区间。本研究考虑同一等级承灾体脆弱性条件下, 不同风力等级下风险性不同; 同一风力等级条件下, 不同承灾体脆弱性等级风险性也不同。因此建立风力等级和承灾体脆弱性等级的二元函数<sup>[13]</sup>:

$$Q = f(x) \cdot f(y)。(1)$$

式中:  $x$  为风力等级,  $y$  为承灾体脆弱性等级 (本文中以风险隐患点等级表示),  $Q$  表示承灾体脆弱性在对应风力条件下的风险值。

专家打分法。采用专家打分法对不同等级风险隐患点在不同等级风力情况下进行 0~1 标准化打分, 分数越高表示风险越高。防御应急能力采用反向打分, 应急防御能力越好, 风险值越低。

结合风险指标体系、实时灾害性台风天气实况、预警和短临预报, 计算针对学校在台风影响下大风的风险指数。

暴露度脆弱性风险影响指数的估算公式如下所示:

$$R_E = W_{E1} Q_{E1} + W_{E2} Q_{E2} + W_{E3} Q_{E3} + \dots + W_{En} Q_{En}。(2)$$

式中:  $R_E$  为暴露度脆弱性风险影响指数;  $Q_{E1} \dots Q_{En}$  为各风险隐患点 (如高大树木、单位基本属性等) 风险函数, 即致灾因子影响下暴露度脆弱性因子的风险值;  $W_{E1} \dots W_{En}$  为针对各风险隐患点评价指标对应的权重系数, 总和为 1。致灾因子危险性指数、风险防御能力指数同理。

结合风险指标体系、实时灾害性天气实况, 计算重点单位分灾种风险指数和综合气象灾害风险指数。灾害风险评估指数如下式所示:

$$R = W_F R_F + W_E R_E + W_V R_V。(3)$$

式中:  $R$  为气象灾害风险指数;  $R_F$  为致灾因子危险性指数;  $R_E$  为暴露度脆弱性风险因子影响指数;  $R_V$  为风险防御能力指数;  $W_F$  为致灾因子危险性的权重系数;  $W_E$  为风险因子影响权重系数;  $W_V$  为风险防御能力权重系数。其中:

$$W_F + W_E + W_V = 1。(4)$$

根据综合评估结果  $R$  值, 进行风险等级判定。制定指数等级标准, 建立实时动态气象灾害风险指数产品, 为学校及时采取适当的措施提供依据。

## 2 研究方法及其成果

### 2.1 基于统计方法的台风大风灾害风险指标体系的建立

采用 AHP(层次分析法)风险分析与专家打分<sup>[14]</sup>, 结合数值模拟的方法分析台风对影响学校风灾风险指标要素的耦合作用<sup>[15]</sup>, 将实时台风产生的瞬时极大风速、持续时间等作为致灾因子; 从大风可能产生的“高空坠物”以及“倒塌”风险事件考虑<sup>[16]</sup>, 通过调研及风险普查学校内部可能产生风险隐患点作为暴露度脆弱性风险因子, 如“阳

台及室外存放(悬挂)物”、“高大树木”等风险隐患点;学校自身对大风的灾害防御能力的作为数据作为风险防御能力因子,如“台风防御应急预案”“台风应急演练”等,将风险指标因子分为定性指标和定量指标,分析基于台风影响的情况下这些风险隐患点脆弱性的程度以及灾害风险防御能力,建立大风风险指标体系。如表1所示,综合考虑在台风大风影响期间,致灾因子( $B1$ )的影响力、承灾体的暴露度和脆弱性( $B2$ )以及承灾体的防御应急能力( $B3$ ),采用层次分析法构建准则层判断矩阵,对各要素进行两两重要性比较,确定三者的权重分布。该矩阵最大特征值为3.01,一致性指标  $CI=0.007$ ,一致性比率  $CR=0.014$ ,  $CR<0.1$  通过一致性检验,因此得出准则层三个因子的权重,如表2所示。下文各指标层权重均由层次分析法得出,均通过一致性检验。

表1 准则层判断矩阵及权重

	$B1$	$B2$	$B3$	权重	$CR$
$B1$	1	7/5	6	0.55	0.014 通过
$B2$	5/7	1	3	0.35	
$B3$	1/6	1/3	1	0.1	

表2 学校台风大风风险准则层评估模型

准则层名称	权重
致灾因子	0.55
暴露脆弱性因子	0.35
防御应急能力	0.10

### 2.1.1 台风大风致灾因子权重分析

致灾因子是导致灾害发生的触发因素,一般通过大量的样本统计,粗略地估计出区域某种致灾因子的发生周期,不同致灾因子发生的周期不一样,其持续时间也不一样。气象上一般把8级及以上大风( $\geq 17.2$  m/s)作为灾害性大风<sup>[17]</sup>,极大风速反映了大风瞬时可能带来的危害,较极大风速更有指示意义,是台风灾害风险评估的主要致灾因子<sup>[18]</sup>。大风的持续时间也是衡量大风危害的一个方面,本研究统计小时极大风速超过17.2 m/s的累计整小时数作为指标层“持续时间”。本文台风影响下产生的灾害性大风即为致灾因子,故本文将实时台风产生的瞬时极大风速、持续时间等作为致灾因子,根据前期数据收集的近十年台风影响浦东新区历史数据以及从自动站获得上述天数的台风大风数据。表3给出了致灾因子部分考虑的极大风速和大风持续时间两个指标。

表3 致灾因子权重分配表

指标层名称	权重
极大风速	0.70
大风持续时间	0.30

### 2.1.2 沿海学校暴露度脆弱性风险影响因子权重分析

通过微信小程序开展学校风险隐患点实地普

查,建立详细的学校风险隐患数据库,包括隐患点、制度措施隐患和历史受灾情况。其中大风风灾隐患点包括大风高空坠物风险隐患点、大风倒伏风险隐患点;制度措施隐患有:应急预案是否到位、应急物资是否到位等;历史受灾情况包括历史上受各类灾害性天气造成的事件、事故等情况,并由气象灾害防御专业团队对学校风险隐患普查数据进行抽样现场核查,确保数据的准确性,形成台风大风风灾数据库,依据台风大风风灾风险普查数据库获取到承灾体暴露度脆弱性作为建立指标体系的重要内容,考虑的因素一是校园内对风灾敏感的脆弱性单体,如受大风影响可能存在或曾经发生过高空坠落,倒塌风险的物体,如易倒伏树木、未规范安装的空调外机、室外悬挂物、简易或临时建(构)筑物等。二是学校基本情况,如性质、容积率、敏感人群比例、人口密度等。表4给出了承灾体暴露度和脆弱性考虑的三个指标,即悬挂物、建筑类和单位属性。对指标层的三个指标,分别细化到校园内非规范安装的空调外机数量、阳台及室外存放(悬挂)物数量等目标层。

表4 承灾体暴露脆弱性因子指标体系和权重分配

指标层名称	权重	目标层名称	权重
悬挂物	0.40	空调外机	0.20
		阳台及室外存放(悬挂)物	0.25
		户外招牌	0.55
建筑类	0.45	最高建筑物高度	0.30
		高大树木	0.20
		简易建筑	0.50
单位属性	0.15	人口密度	0.20
		容积率	0.25
		学校类别	0.15
		地理位置	0.40

注:空调外机是指非规范安装的空调外机数量;阳台及室外存放(悬挂)物是指阳台及室外存放(悬挂)物的数量(存放物和悬挂物如花盆、花架等);户外招牌是指店招牌和广告牌的数量;高大树木是指高度超过10米、树冠半径超过4米的大树数量;简易建筑是指遮雨、遮阳棚、宣传栏和临时搭建物总数量;人口密度是指总人数除以占地面积(单位:人/平方公里);最高建筑物高度是指单位内最高建筑物的高度(单位:m);容积率是指建筑面积除以占地面积;学校类别是指学校属于幼儿园、小学、中学或者高校;地理位置是指单位周围空旷程度的高低,具体是指单位周围100米以内是否有高于单位的建筑。

### 2.1.3 沿海学校风险防御能力

沿海学校风险防御能力尤为关键,基于对气象防御能力的再理解,共包括6个方面,即制度适应能力、风险识别能力、备灾与应急管理能力、技术与工程防御能力、经济支撑与减灾保障能力、部门联动与社会保障能力<sup>[19]</sup>,以上是承灾体脆弱性的缩减因子,可以通过完善相关制度,建立气象防灾减灾预案和开展应急演练和培训,提高其

灾害防御能力,降低本单位气象灾害风险<sup>[20]</sup>。主要包括:气象灾害防御预案、物资储备、人员培训、应急演练、防御措施等,风险防御能力指标体系及权重见表5。

表5 承灾体风险防御能力指标体系和权重

指标层名称	权重
气象灾害防御应急预案	0.60
开展气象灾害应急演练和防御培训情况	0.40

注:气象灾害应急预案是指气象灾害应急预案中有无大风的内容;开展气象灾害应急演练和防御培训记录是指有无开展气象灾害应急演练和防御培训记录。

## 2.2 风险指数计算及预评估服务产品

制定风险指标打分细则,计算针对学校的大风风险指数,制定指数等级标准<sup>[21]</sup>。结合风险指标体系、实时灾害性天气实况、预警和短临预报,计算学校的动态风灾风险指数,随着承灾体暴露度脆弱性的变化,可形成实时气象灾害风险预评估服务产品<sup>[22]</sup>,为沿海学校防灾减灾及时采取适当的措施提供依据,提升防御能力减少风灾影响<sup>[23]</sup>。根据致灾因子、承灾体暴露脆弱性正向和缩减因子,评估沿海学校台风大风综合评估风险 $R$ 值,按表6进行风险等级判定,根据实际灾情综合评估划分风险指数为五个等级,从高到低依次为Ⅰ级(红色,最高)、Ⅱ级(橙色,次之)、Ⅲ级(黄色,再次)、Ⅳ级(蓝色,低)、Ⅴ级(绿,最低),提出相应防御提示(表7)。根据现有的天气实况,结合评估模型,计算气象灾害风险指数等级,根据等级提出相应风险防御提示,形成预评估产品。

表6 台风大风风险评估等级划分标准






风险指数	0-0.15分	0.15-0.35分	0.35-0.55分	0.55-0.7分	0.7-1分
风险提示等级	V	IV	III	II	I
颜色分级					

表7 风险等级相应防御指引

风险等级	防御指引
V	①检查门窗,加固阳台及室外存放(悬挂)物,妥善安置室外花盆等易落物品。②外出时尽量不要在玻璃门窗、店招牌附近逗留。③学校按照预案,做好大风应对工作。
IV	①检查门窗,加固阳台及室外存放(悬挂)物,妥善安置室外花盆等易落物品。②外出时不要在玻璃门窗、店招牌附近逗留。③加固店招牌。④学校按照预案,做好大风应对工作。
III	①检查门窗,加固阳台及室外存放(悬挂)物,妥善安置室外花盆等易落物品。②外出时不要在玻璃门窗、店招牌附近逗留。③加固店招牌、树木。④学校按照预案,做好大风应对工作。
II	①关好门窗;加固阳台及室外存放(悬挂)物,妥善安置室外花盆等易落物品。②加固所有户外设施、设备(店招牌、树木、简易建筑)。③建议尽量不要外出,必要外出时不要在玻璃门窗、简易建筑、广告牌及数目附近逗留。④建议中小幼儿园学校停课停学。
I	①建议停止户外活动。②关好门窗;加固阳台及室外存放(悬挂)物,妥善安置室外花盆等易落物品。③加固所有户外设施、设备(店招牌、树木、简易建筑)。④必要外出时不要在玻璃门窗、简易建筑、广告牌及高大树木下面逗留。⑤建议所有学校停工停学。

## 2.3 案例分析结果验证

### 2.3.1 沿海学校在2021年台风“烟花”和2014年台风“凤凰”期间风险评估

为了验证台风大风风险模型的合理性,选取5所浦东新区沿海学校,学校1、学校2、学校3、学校4均位于临港,属浦东新区南部沿海区域,学校5位于外高桥,属浦东新区北部沿海区域。表7是5所不同区域沿海学校基于模型的调查数据(5所学校阳台及室外存放物均是0个,地理位置均处于周围100 m以内无高于单位的建筑,故不列为计算考虑)。对应的表8为计算出5所学校大风的风险指数和风险等级以及相应防御指引。

为了验证大风风险模型的准确性,针对2021年台风“烟花”学校3、学校4、和学校5进行实际灾情调查,针对5所学校风险评估结果开展三种不同情况下的分析验证,同时根据台风实际情况以及灾情统计结果以此验证模型结果和灾情是否一致,验证防御指引是否有指导价值。

(1)致灾因子不同情况下,暴露度脆弱性以及防御能力相似情况下的分析验证。学校3为临港地区学校,学校5为外高桥附近学校,2021年台风“烟花”学校3受台风影响的极大风速为34.9 m/s(12级),8级及以上大风持续时间为43 h,学校5受到的极大风为9级,持续时间为25 h。在致灾因子两个指标中,极大风速的大小直接反应了台风大风影响区离学校的远近以及对学校的影响大小,若极大风速较大,那相同台风持续影响的的时间段内,台风的影响力也较大,因此学校3的致灾因子指数远大于学校5,如表9所示。

表 8 浦东新区沿海学校大风模型基本调查表

台风	学校	极大风速/ (m/s)	持续时间/h	空调 外机/ 个	户外 招牌	最高 建筑 物高 度/m	高大 树木/ 棵	简易 建筑/ 个	人口 密度 人/km <sup>2</sup>	容积率	学校 类别	气象 灾害 防御 应急 预案	开展气 象灾害 应急演练 和防御 培训情况
2014 凤凰 (编号 1416)	学校 1	18.8	3	0	10	48	0	7	19 877	0.45	高校	无	无
	学校 2	18.8	3	0	0	57	0	0	13 369	0.37	高校	有	无
2021 烟花 (编号 2106)	学校 3	34.9	43	20	0	19	350	1	59 649.51	0.49	小学	有	有
	学校 4	34.9	43	300	0	18	250	1	23 312.88	0.26	高校	有	无
	学校 5	23.7	25	200	0	22	350	0	36 760.64	0.59	中学	有	有

表 9 台风影响下 5 所学校大风风险评估结果及灾情调查

学校	致灾因子	暴露脆弱性因子	防御应急能力	风险指数 R	风险等级	灾情调查
学校 1	0.1	0.18	0.42	0.16	IV	—
学校 2	0.1	0.07	0.36	0.12	V	—
学校 3	0.88	0.28	0.22	0.6	II	①40 棵树倾倒; ②墙面剥落
学校 4	0.88	0.32	0.54	0.65	II	①15 棵树倾倒; ②有一块屋顶的太阳能 电池板吹落; ③外立面保温损坏
学校 5	0.28	0.14	0.04	0.2	IV	无

由表 8 所见,其中学校 2 和学校 4,学校 3 和学校 5 应急防御能力相同,在暴露脆弱性方面,由公式(1)可知,指标项的分值是极大风和指标项数据的二维函数,不同风力影响下指标项的分值不同,因此学校 3 的防御应急能力风险指数大于学校 5,如表 9 所示。同样的暴露脆弱性情况下,学校 3 的致灾因子大于学校 5,学校 3 和学校 5 相比,学校 3 的空调数远小于学校 5,但学校 3 脆弱性较高(有简易建筑),且学校 3 为小学,小学中敏感人群比重较大,因此综合风力和暴露脆弱性指标后学校 3 的暴露脆弱性风险略高于学校 5。最后学校 3 的风险指数  $R$  为 0.61,学校 5 的风险指数为 0.20,由表 9 可知,学校 3 在 2021 年台风“烟花”影响期间,大风风险等级为 II 级,学校 5 为 IV 级,也由表 9 可知,学校 3 实际存在灾情,学校 5 在此次台风影响期间无受灾情况,与模型得出的风险等级一致,同时由表 7 防御指引可见学校 3 为 II 级风险,其中防御指引包括加固树木、简易建筑等,与灾情风险隐患点情况一致,可见防御指引具有一定指导意义。

(2)暴露度脆弱性不同情况下,致灾因子和防御能力相似情况的分析验证。对比学校 1 和学校 2,两所学校都位于临港地区,故以临港新城站气象自动站数据作为致灾因子数据,2014 年台风“凤凰”影响期间,两所学校受台风影响的极大风速均为 18.8 m/s,小时极大风速超过 17.2 m/s 的累计时长均为 3 h,因此,两所学校的致灾因子的危险性指数一致。对比暴露脆弱性指标,发现学校 1 有

10 个店招牌和 7 个简易建筑,台风影响过程中,风力极大,户外店牌易发生高坠,很容易发生人损物损。同时,简易建筑在台风影响期间,也易被吹毁,造成物损。对比学校 1 和学校 2,可见学校 1 的人口密度和容积率均高于学校 2,一定程度上增加了人损的风险。在最高建筑这一方面,学校 2 高于学校 1,但是两者相差不大。综合分析,学校 1 的暴露脆弱性高于学校 2,由表 9 可知,学校 1 的暴露脆弱性值为 0.18,学校 2 的暴露脆弱性指数值为 0.07,验证了该模型的正确性。在防御应急能力方面,学校 2 有大风应急预案,两所学校均未开展气象灾害应急演练和培训。所以学校 2 的防御应急能力高于学校 1,也验证了表 8 中防御应急能力指数的正确性。

故在相同的致灾因子情况下,学校 1 的暴露脆弱性和防御应急能力指数的值均高于学校 2,台风大风的风险性指数也高于学校 2,根据表 6 沿海学校台风大风风险评估等级划分标准,可以得到 2014 年台风“凤凰”影响期间,学校 1 的大风风险为较低风险,学校 2 的大风风险为低风险。实际台风“凤凰”对上海的风力影响并不大,故两所学校低风险情况与实际相符。

(3)防御应急能力不同情况下,致灾因子和暴露度脆弱性相似情况分析验证。学校 3 和学校 4 均为临港地区的学校,由表 8 可以看到,2021 年台风“烟花”影响期间,两所学校均受到 12 级大风影响,致灾因子风险指数达到了 0.88。暴露脆弱性方面,两所学校差别不大。防御应急能力方面,

学校 3 制定了大风防御应急预案也开展过防御培训, 防御能力高于学校 4, 所以由表 9 也可以看到学校 3 的防御应急风险指数低于学校 4, 最终学校 4 的大风风险指数较高。但由于台风中防御应急的能力有限, 所以在 2021 年台风“烟花”影响过程中, 同在临港地区的学校 3 和学校 4 受致灾因子影响, 大风等级均为 II 级, 为较高风险。结合表 9 灾情数据可见, 学校 3 和学校 4 发生的灾情与表 7 中 II 级风险防御指引“加固所有户外设施、设备(店招牌、树木、简易建筑; 建议尽量不要外出, 必要外出时不要在玻璃门窗、简易建筑、广告牌及数目附近逗留”较为一致, 可见防御指引具有一定指导意义。

### 3 结语

台风大风对学校人员安全、设施安全影响重大, 但因各学校自身情况复杂、影响程度不一、风险普查难度较大, 以往的风险研究更多聚焦致灾因子本身, 而较少结合学校暴露度脆弱性以及防御能力情况, 从而影响风险评估结果。本文借力于风险普查和实例验证的工作背景, 在常规层次分析法的基础上, 研究调查数据与致灾因子的关联函数, 经过充分的大数据分析和专家打分, 构建出相应的风险因子等级标准和指标体系, 最终动态分析得出针对学校的台风大风风险预评估结果, 并提供科学有效的气象防御指引服务产品。

台风影响下学校风灾风险预评估技术研究确定了台风大风风险等级以及相应的防御指引, 并在多次实例验证中分析了台风影响下相关的学校风险隐患因子, 是对学校这一敏感重要行业气象灾害风险评估的重要实践, 为将气象服务融入学校安全治理体系提供了参考建议。

在下一步的工作研究中, 推动气象灾害风险管理<sup>[24]</sup>一是在实际应用中可结合台风期间雷达回波和智能网格预报运用于模型中, 形成气象服务预评估产品; 二是将气象灾害防御指引更多应用于实践过程中, 通过更多的数据输入和实例验证, 进一步完善台风大风风险评估指标和技术模型, 扩大评估应用的对象范围(如覆盖全区、上海市等)和行业领域(如工地、危化场所等); 三是将研究理念和成果应用于其他气象灾害类型(如雷电、高温、暴雨等), 分别建立各灾种特有的风险评估模型, 为评估对象提供全面具体、科学有效的全要素气象灾害风险评估技术方法和防御指引服务产品, 赋能重点行业单位有效减灾, 通过创新发展减少、规避灾害风险。

### 参考文献:

- [1] 陈文方, 徐伟, 史培军. 长三角地区台风灾害风险评估[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(4): 79-85.
- [2] GUO Shujun, The meteorological disaster risk assessment based on the diffusion mechanism[J]. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2012: 123-124.
- [3] 陈海燕, 雷小途, 潘劲松, 等. 气象灾害风险评估业务发展研究[J]. 气象科技进展, 2018, 8(4): 15-21.
- [4] 韩志惠, 谈建国, 方平治, 等. 独立柱广告牌风灾风险评估技术研究[J]. 结构工程师, 2015, 31(6): 107-114.
- [5] 黄世成, 周嘉陵, 程婷, 等. 工程区台风大风灾害评估方法的研究与应用——以苏通大桥为例[J]. 防灾减灾工程学报, 2009, 29(3): 329-334.
- [6] ZHANG Yong, FAN Gaofeng, HE Yue, et al. Risk assessment of typhoon disaster for the Yangtze River Delta of China[J]. Geomatics, Natural Hazards & Risk, 2017: 1580-1591.
- [7] 上海市气象局, 上海市应急管理局. 上海市气象灾害防御重点单位管理规定(沪气发[2020]35号)[Z]. 上海: 上海市气象局, 2020.
- [8] 庞西磊, 黄崇福, 张英菊. 自然灾害动态风险评估的一种基本模式[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 2-6.
- [9] 冯长根, 李杰, 李生才. 层次分析法在中国安全科学研究中的应用[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(6): 2126-2130.
- [10] 上海市气象局. 上海市台风灾害风险评估技术细则[Z]. 上海: 上海市气象局, 2021.
- [11] 江雨田, 王新龙, 孙如飞, 等. 山洪灾害风险分区划分模型构建与应用[J]. 人民长江, 2020, 51(4): 7-13.
- [12] 顾小丽, 陈有利, 钱燕珍, 等. 宁波市台风灾情评估和基于层次分析法的风险评估[J]. 热带气象学报, 2018, 34(04): 489-498.
- [13] 于小兵, 俞显瑞, 吉中会, 等. 基于信息扩散的东南沿海台风灾害风险评估[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 75-79.
- [14] 吉中会, 吴先华. 山洪灾害风险评估的研究进展[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 162-168.
- [15] 朱净莹, 戴强, 蔡俊逸, 等. 基于多智能体的城市洪涝灾害动态脆弱性计算模型构建. 地球信息科学学报[J]. 2021, 23(10): 77-87.
- [16] 杨辰, 潘顺, 严岩. 基于自然语言识别的上海市报警灾情数据识别及其气象灾害特征分析研究. 自然灾害学报, 2021, 30(3): 142-150.
- [17] 张霞, 吴彩霞, 缪燕, 等. 长江口沿海地区灾害性大风的时空分布特征[J]. 广州航海学院学报, 2014, 22(4): 8-10.
- [18] 陈佩燕, 杨玉华, 雷小途, 等. 我国台风灾害成因分析及灾情预估[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 66-75.
- [19] 孔锋. 三论灾害防御能力的基本定义与特征[J]. 灾害学, 2021, 36(1): 69-76.
- [20] 郑传新, 刘远, 李向红, 等. 层次分析法在气象灾害应急管理综合能力综合评价中的应用[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(4): 50-52.
- [21] 徐庆娟, 潘金兰, 刘合香. 基于云模型—风险矩阵的华南台风灾害综合等级评估[J]. 气象与减灾研究, 2020, 43(3): 3-11.
- [22] 王国复. 气象灾害调查与风险评估[J]. 城市与减灾, 2021(2): 5-9.
- [23] 孔锋, 吕丽莉, 王品, 等. 灾害防御能力的基本定义与特征探讨[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 4-7.
- [24] 阙凤敏. 联合国引领国际减灾三十年: 从灾害管理到灾害风险管理(1990-2019年)[J]. 中国减灾, 2020(5): 54-59.

(下转第 78 页)



- [33] TIAN W. A Review of sensitivity analysis methods in building energy analysis [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 20: 411 – 419.
- [34] SALTELLI A, RATTO M, TARANTOLA S, et al. Sensitivity a-

nalysis practices: strategies for model – based inference[J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2006, 91 ( 10 ): 1109 – 1125.

## Analysis of Sensitivity Factors in Coastal Areas for Heavy Rainfall and Flooding

ZHU Li<sup>1,2</sup>, MA Junrong<sup>1</sup> and MA Xiufeng<sup>1</sup>

(1. *School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China;*

2. *APEC Sustainable Energy Center, Tianjin 300000, China)*

**Abstract:** Flood hazard indicators are of various types and are mostly based on literature research and experience. To quantitatively screen the indicators and consider the interaction mechanism between indicators, this paper firstly uses ridge regression, lasso regression and elastic network regression to screen the key indicators of response to disasters. It is found that the density of water supply pipes in built – up areas is the strongest indicator of response to rainfall disaster loss. Secondly, a tree Gaussian process model was constructed to analyze the interactions of the characteristic variables and their respective change trends. It was found that the response of daily domestic water consumption indicator to disaster effect increased nearly four times under the interaction. As the daily domestic water consumption and domestic waste disposal rate increased, the economic loss caused by the disaster increased. Finally, the results were verified by random forest sensitivity. Small changes in sensitivity elements can lead to large changes in economic losses from disasters, so it can be used as a risk consideration grip for flooding in seaside cities. Meanwhile, the sensitivity elements can be used to further analyze the spatial differentiation of cities.

**Key words:** sensitivity; flood risk; disaster; elastic network; coastal area

(上接第 59 页)

## Study on Evaluation Model of School Wind Disaster Risk under the Influence of Typhoon

JIN Ling<sup>1</sup>, ZHANG Xinxin<sup>1</sup>, CHEN Peiyan<sup>2,3</sup>, GU Songqiang<sup>1</sup>, CHEN Lijun<sup>1</sup>,  
SHI Hong<sup>1</sup> and ZHANG Liya<sup>1</sup>

(1. *Shanghai Pudong Meteorological Service, Shanghai 200135, China;*

2. *Shanghai Typhoon Institute of China Meteorological Administration, Shanghai 200030, China;*

3. *Key Laboratory of Numerical Modeling for Tropical Cyclones of China Meteorological Administration, Shanghai 200030, China)*

**Abstract:** Investigation and research on the risk of meteorological disasters in schools, typhoon disaster is one of the important meteorological disasters affecting school safety. This article focuses on the construction method of the dynamic risk index of the exposure vulnerability of some coastal schools in Pudong New Area under the influence of typhoon and gale, which changes the static risk assessment model of the single hazard factor of the strong wind. Based on the general survey of hidden risks of coastal schools and the vulnerability analysis of each hidden risk, combined with the current situation of different meteorological disaster prevention capabilities of each school, a dynamic wind disaster risk calculation model based on the influence of typhoons is established to form a wind disaster risk pre – assessment product. The research results show that the risk index constructed by the dynamic factor model method can pre – evaluate the risk level that is more in line with the actual situation. It is more scientific and reasonable in practical application, and can provide a basis for schools to take timely targeted disaster prevention and mitigation measures.

**Key words:** typhoon disaster; risk evaluation; school; evaluation model