

基于 GIS 的台风灾害损失评估模型研究^{*}

刘少军^{1,2}, 张京红², 何政伟¹, 蔡大鑫², 田光辉²

(1. 成都理工大学 信息工程学院, 四川 成都 610059;

2. 海南省气象科学研究所南海气象防灾减灾重点实验室, 海南 海口 570203)

摘 要: 由于台风灾害所造成的损失有些是无法用精确的数学模型来描述, 其损失可能是一个区间值。为准确及时地了解台风灾害过程中可能造成灾害损失等级的大小, 选择了降水量、降水强度、最大风速、经济易损性作为评价的指标。采用可拓分析方法, 将评价指标及其特征值作为物元, 通过计算综合关联度判断灾害损失的等级; 建立基于 GIS 的台风灾害损失评估模型, 以实现台风灾害的动态评估。

关键词: 台风; 灾害损失; 可拓方法; 评估模型; GIS

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2010)02-0064-04

由于台风会带来狂风和暴雨以及风暴潮, 会给受影响的地区造成巨大的经济损失和人员伤亡, 是全球面临的严重自然灾害之一。随着经济的发展, 台风造成的灾害或经济损失正在急剧上升, 根据德国墨尼黑再保险公司的经济损失数据统计, 全球每年因台风灾害造成的经济损失在逐年增加。可见随着全球经济一体化趋势的加强, 台风灾害对全球经济社会生活的影响日益深远, 其影响范围已超越国界, 成为全球普遍关注的问题^[1]。由于全球变暖, 台风等极端天气事件明显增多, 我国南到海南岛北到辽东半岛的广阔沿海地区, 以及除新疆、青海、甘肃、宁夏等少数几个省份外的内陆地区都在台风袭击的范围之内^[2]。过去 30 年间热带海洋表面温度仅上升了 0.5℃, 但是北大西洋的台风潜在破坏力在该时期几乎翻了一番, 而太平洋西北部台风的潜在破坏力增大了 75%^[3]。要减轻台风灾害, 一方面要建立并发展台风工程学, 加强防御工程设施, 另一方面, 也是最根本的措施, 即准确预报台风。同时, 由于台风是一个动态变化的复杂系统, 其结构、强度、路径、风雨分布等在不同阶段会产生一系列急剧变化, 在不同时刻对同一地点造成的影响也是动态变化的。因此, 加强对台风灾害的动态评估是做好防灾减灾的关键。

1 灾害损失评估方法

自然灾害损失评估是指在掌握丰富的历史与现实灾害数据资料基础上, 运用统计计量分析方法对灾害可能造成的、正在造成的或已经造成的人员伤害与财产或利益损失进行定量的评价与估算, 以准确把握灾害损失现象基本特征的一种灾害统计分析、评价方法^[4], 包括灾害损失预评估、实时评估与灾后评估 3 种。自 1990 年代以来, 灾害等级定量评估方法研究取得了很大的进展。文献[5-6]等提出了定量衡量灾情指标和方法, 文献[7-10]将灾情等级划分看作一个模式识别问题, 可以应用模式识别的有关理论和方法对灾害损失进行评估。但大量定量评估方法存在如下问题: ①评价函数构造复杂, 评价机理不够直观; ②部分评价方法由于其建立的数学基础本身的原因, 影响评估结果的可信度; ③没有考虑灾害损失统计数据本身的精度问题^[11]。由于自然灾害成因机制的复杂性和发生过程的随机性, 灾害发生时常常表现出许多确定的或不确定的信息, 从而使得一些灾害损失无法通过人为定量的方法去衡量; 在灾害损失划分上, 国内也尚未形成一个统一的、公认的评价标准^[12]。对于某一具体地区的

^{*} 收稿日期: 2009-09-21

基金项目: 中国气象局推广项目(CMATG2009MS18); 海南省自然科学基金项目(40884, 409005); 海南省气象科技发展计划项目(HN2008TDB16, HN2008TDA09)

作者简介: 刘少军(1980-), 男, 湖北天门人, 在读博士生, 助理研究员, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究。

E-mail: cduotlsj@163.com

灾害损失而言, 对损失起主要影响的因素一般也具有特殊性, 且许多因素也难以用一个准确值来表示, 往往描述它的数值可能在一定范围内变动, 可能难以得到一个准确的统计值, 只能够作一个粗略的估计, 也就是说所得到的这些评价因素可能是一个区间值^[11]。

可拓方法是我国学者蔡文于 1983 年提出的, 它用形式化工具, 从定性和定量两个角度去研究解决矛盾问题的规律和方法, 其核心内容为物元理论和可拓集合理论, 基本方法是通过建立多指标参数的质量评定模型来完整地反映样本的综合水平^[13]。因此本文将可拓方法应用到台风灾害损失评估中, 通过建立评估模型, 实现台风灾害损失的实时评估。

2 基于 GIS 的台风灾害损失评估模型

台风的破坏力主要由大风、暴雨和风暴潮 3 个因素引起。大风是台风的一个重要致灾因子。暴雨是台风的另一个严重致灾因子, 台风暴雨造成的洪涝灾害是最具危险性的灾害。台风暴雨强度大, 洪水出现频率高, 波及范围广, 来势凶猛, 破坏性极大, 并容易引发滑坡、泥石流等地质灾害。风暴潮是台风灾害中最严重的一个方面, 受灾地区为台风影响到的沿海地带^[14]。台风灾害造成的损失不仅与台风系统及其过程的强度有关, 也与受影响地区的经济发展水平、人口密度和人类活动范围有关^[15]。因此选择了降水量、降水强度、最大风速、经济易损性作为评价的指标, 利用可拓方法, 将评价指标及其特征值作为物元, 通过计算综合关联度判断灾害损失的等级, 根据时间的变化, 可以实现台风灾害的动态评估, 具体工作流程见图 1。

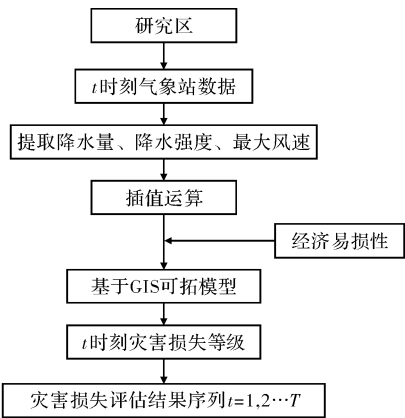


图 1 灾害评估工作流程

2.1 评估因子

由于降水、风数据一般都来自于有限的气象站

点观测, 空间分布受到多种地形因素的影响, 气象观测站点的位置分布及其密度也受到地形条件的制约, 因此必须进行插值生成连续分布的空间信息。

(1) 降水量插值

由于降水的形成和分布是一个复杂的过程, 影响降水的因素很多, 如气象站点的经纬度、站点高程、坡向、坡度、离水体的距离等^[16]。单纯考虑地理地形条件影响下的降水即地形性降水的分布, 其影响是相对常定的, 因此, 可以用多元回归分析方法建立降水与地理地形等影响因子间的关系^[17]。由于在固定的研究区域, 因范围很小, 测站的经纬度与大气环流可不予考虑。对于中、小区域, 地理位置 (λ, φ) 的差异甚小, 可在式中当作常数^[18]。在山区特别是坡地上, 由于空气扰动和阻滞作用, 降水与海拔高度、坡向、坡度有密切的关系, 因此, 考虑山区降水时, 坡度、坡向是不可忽略的因子^[19]。根据当地的实际情况, 为建立一个精确可靠的地形因子与台风过程降水的统计分布模型, 可采用偏最小二乘的多元线性回归统计方法, 建立地形因子与降水分布的关系(式(1))。降水量 $P = P(h, \alpha, \beta)$; h 为地形高程; α, β 分别为坡度和坡向。

$$P = a_0 + a_1 h + a_2 \alpha + a_3 \beta,$$
 (1)

式中: a_0 为常数项; $a_1 \sim a_3$ 为各项的系数。

(2) 降水强度插值

在降水量插值计算分布的基础上, 计算评估时间段内的小时降水强度。

(3) 最大风速插值

地形条件是固定不变的, 风向则随时而异, 故地形倾向与风向间的关系多种多样。影响复杂地形上气流分布的因素很多, 包括环境流场、近地层的物理过程、下垫面特征等^[20]。为准确反映不同站点风速分布的大小, 需要对待测点进行插值处理。为了考虑地形起伏的影响, 通过参考余琦、高阳华等人风场插值的研究结论^[21-22], 采用式(2)进行风场插值。

$$W(r, h) = \frac{1}{(r/r_{\max})^a (h/h_{\max})^b},$$
 (2)

式中: $W(r, h)$ 为不同地形条件下的插值风速; r 为待求点与测站之间的距离; h 为气象测点与待求点之间地形高度变化的总量; 指数 a 和 b 为非负数, 本文采用 $b = 3, a = 2$ 。

(4) 经济易损性

一般认为社会经济条件可以定性反映区域的灾损敏度, 即易损性的高低。台风灾害评估必须考虑社会经济易损性。社会经济易损性主要涉及

经济、人口密度、耕地面积等因素，这三种因素均具有较强区域差异性^[23]。采用人口密度、耕地百分比、工农业产值作为台风灾害的社会经济易损性指标。其计算方法如下：

社会经济综合指标值 = $(A + B + C)/3$ ， (3)
式中： A 为各县(市)人口数与全省人口数之比； B 为各县(市)耕地面积与全省平均耕地面积之比； C 为各县(市)GDP 与全省平均 GDP 之比。按照一定区间分别赋值以作为评价的社会经济易损性指标值，进行栅格化处理，作为一个因子数值图层，参与灾害评估分析。

2.2 可拓评估方法

台风灾害损失评估是在降水量、降水强度、风速和经济易损性等 4 个因子的条件下，利用可拓方法计算不同单元格内的数值，评价台风灾害可能造成的灾害损失等级。可拓模型评估的基本思路是：首先根据历史灾害数据集确定各评估因子特征的经典域和节域；确定各特征的关联函数；然后将待评估的数据带入各数据类中，计算关于各特征的关联度，根据特征的权重系数计算综合关联度；最后与各类别集合的关联度大小进行比较，关联度越大，与某类别的符合程度就越高^[24]。

(1)经典域和节域的确定^[24-26]

定义：
$$R_{oj} = (M_{oj}, C_j, V_{oj}) = \begin{bmatrix} M_{oj} & c_1 & \langle a_{oj1}, b_{oj1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{oj1}, b_{oj2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{oj1}, b_{ojn} \rangle \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式中： M_{oj} 为所划分的第 j 个灾害损失等级； C_i 为台风灾害损失等级 M_{oj} 的第 i 个评价因子； V_{oj} 为 M_{oj} 关于 C_i 所规定的量值范围，即台风灾害损失评价等级中对应的评价因子所取的数据范围－经典域。

设：
$$R_m = (M, C, V_m) = \begin{bmatrix} M & c_1 & V_{m1} \\ & c_2 & V_{m2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & V_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M & c_1 & \langle a_{m11}, b_{m1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{m2}, b_{m2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{mn}, b_{mn} \rangle \end{bmatrix}, \quad (5)$$

式中： M 为台风灾害损失评价等级的全体； V_{mi} 为关于所取的量值范围，即 M 的节域。

(2)待评价物元^[24-26]
对待评估的对象，把所测得的数据或分析结果用物元表示为：

$$R = \begin{bmatrix} m & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix}, \quad (6)$$

式中： m 为具体某一地点的灾害损失评估； v_i 为 m 关于评价因子 c_i 的量值，即待评点收集的具体数据。

(3)确定关联函数^[24-26]
关联度是事物之间、因素之间关联性的量度。关联函数表达了事物具有某种性质的程度，待评灾害损失等级与定义的灾害损失等级的关联函数值 $K_j(v_j)$ 可按式计算：

$$K_j(v_j) = \begin{cases} -\frac{\rho(v_i, V_{oji})}{|V_{oji}|}, & v_i \in V_{oji}; \\ \frac{\rho(v_i, V_{oji})}{\rho(V_i, V_{Mi}) - \rho(v_i, V_{oji})}, & v_i \notin V_{oji}. \end{cases} \quad (7)$$

其中：
$$\rho(v_i, V_{oji}) = \left| v_i - \frac{a_{oji} + b_{oji}}{2} \right| - \frac{b_{oji} - a_{oji}}{2}, \quad (8)$$

$$\rho(v_i, V_{Mi}) = \left| v_i - \frac{a_{Mi} + b_{Mi}}{2} \right| - \frac{b_{Mi} - a_{Mi}}{2}. \quad (9)$$

(4)确定其评价等级
根据式(7)，可分别计算出状态评估的对象 m 中各因素与标准物元模型中等级 j 的关联度为：

$$K_j(m) = \sum_{i=1}^n w_i K_j(v_i), \quad (10)$$

式中： w_i 为各评价因子的权重，其确定方法采用层次分析法。若 $K_{j_0}(m) = \max_{j_0 \in \{1,2,\dots,m\}} K_j(m)$ ，则判定状态下 m 属于灾害损失等级 j_0 。

2.3 评估模型与 GIS 的集成

GIS 在空间数据采集、处理、数据存储与组织、空间查询以及图形交互与显示方面具有强大的功能。台风灾害评估是一个复杂的过程，其数据量大，数据结构复杂，与地理空间数据和属性数据关系密切，而 GIS 又具有功能齐全的空间数据分析和与专业模型相结合的能力，将评估模型与 GIS 结合，既充分利用 GIS 的数据管理能力和空间分析功能，又应用评估模型开展灾害评估工作，无疑具有很强的优越性。由于模型和 GIS 的连接方式可以分为 3 种：松散耦合、紧密耦合和完全集成^[27]。根据台风灾害评估的实际情况，采用完全集成的方法，将 GIS 和评

估模型设计在 ARCGIS 系统内,使用共同的数据模型,并将数据纳入到共同的数据库管理系统中,将灾害评估形成的空间数据,实现可视化。

3 结论

台风灾害所造成的损失是由众多灾害影响因素相互作用的结果,而这些影响因素中有些可以用精确的数学模型来度量,有些则无法用精确的数学模型来描述,它的数值可能在一定范围内变动,因此选择了降水量、降水强度、最大风速、经济易损性作为评价的指标。采用可拓方法建立损失评估模型,通过计算综合关联度判断灾害损失的等级,将评价方法与 GIS 结合起来,充分发挥 GIS 的空间分析功能,实现评估结果的 GIS 显示。

台风灾害损失评估等级的准确性与评价指标的节域范围密切相关,因此节域范围的确定需要根据研究区台风历史资料来确定,以便能更准确评估在不同风雨条件下台风灾害损失的等级的大小。

参考文献:

- [1] 倡长刚,冯强,蔡夕方. 热带气旋及其预测预警技术[J]. 海洋预报, 2008, 25(3): 43-52.
- [2] 曹楚,彭加毅,余锦华. 全球气候变暖背景下登陆我国台风特征的分析[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(4): 455-461.
- [3] Kerry Emanuel. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years [J]. Nature, 2005, 436: 686-688.
- [4] 许飞琼. 灾害损失评估及其系统结构[J]. 灾害学, 1998, 13(3): 80-83.
- [5] 刘华燕,李矩章,赵跃龙. 中国近期自然灾害程度的区域特征[J]. 地理研究, 1995, 9(3): 14-24.
- [6] 吴慧,陈德明,吴胜安,等. 灰色关联分析在热带气旋灾害等级评估中的应用[J]. 热带作物学报, 2009, 30(2): 244-248.

- [7] 孙绍骋. 灾害评估研究内容与方法探讨[J]. 地理科学进展, 2001, 20(2): 121-130.
- [8] 冯利华,赵浩兴,瞿有甜. 灾害等级的综合评价[J]. 灾害学, 2002, 17(4): 16-20.
- [9] 杨仕升. 自然灾害不同灾情的比较方法探讨[J]. 灾害学, 1996, 11(4): 35-38.
- [10] 陈香,沈金瑞,陈静. 灾损指数法在灾害经济损失评估中的应用——以福建台风灾害经济损失趋势分析为例[J]. 灾害学, 2007, 22(2): 31-35.
- [11] 张亦飞,程传国,郝春玲,等. 一种灾害等级的区间数评估模型[J]. 防灾减灾工程学报, 2007, 27(4): 421-424.
- [12] 张传芳,杨春玲. 基于属性区间识别理论的灾害损失等级划分[J]. 数学的实践与认识, 2007, 37(2): 61-66.
- [13] 张京红. 基于多普勒天气雷达技术的区域短临泥石流预报系统——以四川省凉山州为例[D]. 成都: 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 2006.
- [14] 张强. 台风灾害及影响[J]. 中国减灾, 2006(5): 44-45.
- [15] 孟菲,康建成,李卫江,等. 50 年来上海市台风灾害分析及预评估[J]. 灾害学, 2007, 22(4): 71-74.
- [16] 何红艳,郭志华,肖文发. 降水空间插值技术的研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(10): 1187-1191.
- [17] 舒守娟,王元,熊安元. 中国区域地理、地形因子对降水分布影响的估算和分析[J]. 地球物理学报, 2007, 50(6): 1703-1712.
- [18] 陆忠艳,马力,缪启龙,等. 起伏地形下重庆降水精细的空间分布[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(3): 408-412.
- [19] 周锁铨,薛根元,周丽峰,等. 基于 GIS 降水空间分析的逐步插值方法[J]. 气象学报, 2006, 64(1): 100-111.
- [20] 杨振斌,薛桁,桑建国. 复杂地形风能资源评估研究初探[J]. 太阳能学报, 2004, 25(6): 744-748.
- [21] 余琦,刘原中. 复杂地形上的风场内插方法[J]. 辐射防护, 2001, 21(4): 213-218.
- [22] 高阳华,王偃,邱新法,等. 基于 GIS 的复杂地形风能资源模拟研究[J]. 太阳能学报, 2008, 29(2): 163-169.
- [23] 万君,周月华,王迎迎,等. 基于 GIS 的湖北省区域洪涝灾害风险评估方法研究[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(4): 328-333.
- [24] 匡乐红,徐林荣,刘宝琛. 基于可拓方法的泥石流危险性评价[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(5): 1-6.
- [25] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
- [26] 张礼中,林学钰,张永波. 基于 GIS 的地下水质量可拓评价模型[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2008, 27(5): 781-784.
- [27] 黄宏胜. 资源环境模型与 GIS 完全集成[J]. 计算机应用, 2009, 29(S0): 362-365.

Study on Assessment Model of Typhoon Disaster Losses Based on GIS

Liu Shaojun^{1,2}, Zhang Jinghong², He zhengwei¹, Cai Daxin² and Tian Guanghui²

(1. College of Information Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing of South China Sea, Research Institute of Hainan Meteorological Bureau, Haikou 570203, China)

Abstract: Some losses from typhoon disasters could not be described by precise mathematical models, as the losses may be an interval value. In order to know accurately and timely the probable loss degree during a typhoon disaster, precipitation, rainfall intensity, maximum wind velocity and economic vulnerability are chosen as evaluation indexes. By using extension analysis method, evaluation indexes and the characteristic values are considered as matter elements, and the disaster loss degrees are determined by calculation of comprehensive correlative degree. Assessment model of typhoon disaster losses based on GIS is established for dynamic evaluation on typhoon disasters.

Key words: typhoon; disaster losses; extension analysis method; assessment model; GIS