

翁莉, 马林, 徐双凤. 城市暴雨灾害风险评估及防御对策研究——以江苏省南京市为例 [J]. 灾害学, 2015, 30(1): 130 – 134. [Weng li, Ma Lin and Xu Shuangfeng. The Urban Rainstorm Disaster Risk Assessment and Defensive Countermeasure – A Case Study of Nanjing of Jiangsu Province [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(1): 130 – 134.]

城市暴雨灾害风险评估及防御对策研究

——以江苏省南京市为例*

翁莉, 马林, 徐双凤

(南京信息工程大学 经济管理学院, 江苏 南京 210044)

摘要:以江苏省南京市为例,从气象灾害发生维度评估城市暴雨气象灾害风险性。从致灾因子、孕灾环境和承灾体三方面构建南京暴雨灾害风险评价体系,采用2003–2012年统计数据对南京暴雨灾害风险评价指标进行等级划分,构建隶属函数判定评价因素与评价等级的隶属程度,建立二级模糊综合评价模型评估南京暴雨灾害风险,并选取2012年南京暴雨实例进行数据演算,验证该评价模型的有效性,最后提出南京暴雨灾害的防御对策。

关键词:城市暴雨灾害;风险评估;模糊综合评价;防御对策

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)01–0130–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.01.025

我国正处于城市化快速发展的过程中,据中国统计年鉴数据显示:从1990–2012年,中国城市总数从450个增加到658个,城市人口比重由26.41%提升到52.57%,城市人口密度由279人/km²激增到2307人/km²。随着城市规模的日益扩大,城市的“热岛效应”、“狭管效应”等不仅导致了人居环境恶化的问题,而且还加大了气象灾害的危险性。

暴雨是诸多气象灾害中爆发频繁、危害严重的灾害之一,给城市带来了巨大的风险与损失。近年来不少学者对城市暴雨灾害风险评估展开了研究,具体从三个方面展开:①选取评价因子,评估暴雨灾害风险。朱政^[1]利用长沙市暴雨资料、建成区平均高程和城市排水管网等信息从危险性、脆弱性和暴露性三方面评价了暴雨灾害的风险性。姚珍珍^[2]从致灾因子、孕灾环境、承灾体和防灾减灾四个方面构建了暴雨灾害风险评价体系。②建立数学模型,研究评价方法。灰色关联度法^[3]、数理统计法^[4]、加权综合评价法^[5]、复杂网络^[6]、主成份分析法和层次分析法^[7]等理论与方法被广泛地运用在城市暴雨灾害演化过程和风险评估方

面。③考虑灾害风险分布,研究暴雨灾害风险区划。为了给防灾减灾决策提供更精准的治理目标,一些学者^[8–10]构建了基于GIS的暴雨灾害风险评价模型,在此基础上制定区域性的暴雨风险灾害区域规划图。

现有文献对暴雨灾害风险评价进行了深入探讨,取得了一些理论和业务方面的研究成果。然而,在实用性方面,城市暴雨灾害风险评估具有明显的地域特征,需要因地制宜地选择评价因子并进行量化和分级,综合利用历史数据和专家经验以提高评价的精度与速度。基于此,本文以江苏省南京市13个区县为例,从暴雨灾害发生维度对单灾种、区域性的城市暴雨灾害风险展开研究,旨在挖掘南京暴雨灾害风险的发生规律,为南京暴雨灾害风险提供评估方法与防御对策,具有重要的理论和现实意义。

1 南京概况

南京市是江苏省的省会城市,位于中国经济发展最为突出的增长极——长江三角洲地区。从

* 收稿日期:2014–07–29 修回日期:2014–09–11

基金项目:中国气象局气象软科学研究项目“二维视角下的城市气象灾害防御策略研究——以南京暴雨灾害为例”([2014]MC13);教育部人文社科基金项目“时空分异视角下暴雨洪涝灾害快速评估与协同决策研究”(14YJCZH051);江苏省教育厅高校哲社基金项目“非常规突发事件下模糊应急管理机制研究”(2013SJB6300066);江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介:翁莉(1976–),女,江苏靖江人,博士,讲师,主要从事决策气象服务研究。E-mail: gold1028@vip.sina.com

气象条件来看:由于地处北亚热带季风气候区,南京四季分明,降水分布很不稳定,年均降水量为 1 106.5 mm。在梅雨季节和台风的影响下,南京极易爆发雨量大、降水时间持续和危害性强的暴雨。南京暴雨灾害天气主要集中在 6-9 月,这 4 个月的降水量超过全年降水总量的 50% 以上。从自然条件来看:南京地势平坦,以平原、丘陵居多,其中老城区的海拔范围是 3.9~84.9 m。地界内江河湖泊众多,水力资源丰富,水域面积占总面积的 11% 以上。从社会经济条件来看:南京城市化进程迅速,人口密集,是国家工业、制造业和服务业的重要基地,2013 年实现的地区生产总值位列全国第 12 位。综上所述,南京市迫切需要科学评估暴雨灾害风险,加强城市暴雨灾害的防御工作。

2 南京暴雨灾害评价指标及分级标准

2.1 指标体系建立原则

为了让评价结果能够正确、客观地反映出南京暴雨灾害风险的实际情况,设计评价指标应遵循如下的基本原则。

(1)系统性。暴雨灾害是一个复杂的系统,受到致灾因子、孕灾环境和承灾体各个子系统诸多因素的影响,对暴雨灾害风险性的评价不能只考虑某些方面的因素,应该从系统的角度全面、客观地反映出暴雨灾害的综合情况。

(2)实用性。为了减少误差和提高效率,在能够基本保证全面、系统的情况下,设计的暴雨灾害风险评价指标不能过于繁琐与庞杂,应尽可能地清楚、简练和具有代表性,以便于准确、简便地测量和获取数据。

(3)独立性。暴雨灾害风险每个评价指标的内涵应清晰,评价指标之间应尽可能地互相保持独立,尽量避免概念上的重叠或者统计上的相关。

(4)通用可比性。暴雨灾害风险评价指标的内涵与外延应保持相对稳定,既能对暴雨灾害的某个方面进行测量,还能在南京的不同时期以及不同地区之间进行横向比较。

2.2 评价体系及分级标准

城市暴雨灾害风险性的大小取决于“致灾因子的危险性、孕灾环境的暴露性和承灾体的易损性”^[1]。虽然有的研究^[2]将防灾减灾能力也纳入评价体系,但是承灾体的脆弱性与防灾减灾能力存在着较为明显的相关性,即承灾体的经济水平和人口素质越高、其防灾减灾能力越强。因此,根据指标体系建立原则,本文从致灾因子、孕灾环境和承灾体三方面构建南京暴雨灾害风险评估体系。致灾因子选取年均降水量、年暴雨日和 24h 最大降水量三个指标,致灾因子强度越大,暴雨风险性越高;孕灾环境选取平均海拔高程和建成区绿化覆盖率两个指标,平均海拔高程越低、建成区绿化覆盖率越小,城市面临的暴雨灾害风险越高;承灾体选取地均 GDP、人口密度和第一产业产值占比三个指标,地均 GDP 越高、人口密度越大、第一产业产值占比越多,承灾体的易损性就越大,城市暴雨灾害风险性也就越高。

在城市暴雨灾害风险分级过程中,客观上存在着两点。①暴雨灾害风险评价体系中各个指标的物理意义不同,数据的量纲也不一致,需要对原始数据消除指标量纲的影响。对评价指标进行分级处理,通过隶属函数判定评价因素与评价等级的隶属程度是简便且有效的方法。②各个城市的人口规模、地理环境与社会经济背景等存在着明显的差别,暴雨灾害特征也存在着相应的差异,并不具备统一的暴雨灾害风险等级划分标准,必须针对城市自身的特征来制定分级标准。基于以上两点,根据 2003-2012 年南京统计年鉴和暴雨气象数据,运用数理统计的方法,分析南京 13 个区县的暴雨灾害特征,将南京暴雨灾害风险评价指标划分为 5 个等级,具体的评价指标及分级标准见表 1。

表 1 南京暴雨灾害风险评价指标及分级标准

一级指标	二级指标	风险小	风险较小	风险中等	风险较大	风险大
致灾因子	年均降水量/mm	<975	975~1 070	1 070~1 150	1 150~1 345	1 345~2 000
	年暴雨日/d	<2.2	2.2~3.6	3.6~5	5~7	7~15
	24 h 最大降水量/mm	50~70	70~100	100~140	140~200	200~350
孕灾环境	海拔高程/m	85~450	20~85	9~20	4~9	<4
	建成区绿化覆盖率/%	50~80	40~50	30~40	20~30	<20
承灾体	地均 GDP/(亿元/km ²)	<0.16	0.16~0.34	0.34~1.06	1.06~5.18	5.18~20
	人口密度/(人/km ²)	<552	552~1 090	1 090~2 900	2 900~11 160	11 160~29 000
	第一产业产值占比/%	<5	5~8	8~10	10~14	14~20

3 隶属度及权重分配

3.1 隶属度

南京暴雨灾害评价体系中包含了正指标和负指标。对于正指标而言,暴雨灾害评价因素属性值越大,其风险等级越高;对于负指标而言,暴雨灾害评价因素属性值越小,其风险等级越高。为了反映评价因素在多大程度上隶属于某个评价风险等级,现运用隶属度来刻画评价因素对各评价等级的相对隶属程度。根据评价因素数据的分布特征和隶属函数的建立原则,采用较为普遍的梯形隶属函数来描述评价对象的隶属度。

当评价论域端点值 $x_{i+1} > x_i (i = 1, \dots, 4)$ 时,评价因素为正指标,如年均降水量、年暴雨日等指标,其隶属函数为:

$$r_{ij1} = \begin{cases} 1, & 0 < x < x_1; \\ \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1}, & x_1 \leq x \leq x_2; \\ 0, & x > x_2. \end{cases} \quad (1)$$

$$r_{ij2} = \begin{cases} \frac{x}{x_1}, & 0 < x \leq x_1; \\ 1, & x_1 < x < x_2; \\ \frac{x_3 - x}{x_3 - x_2}, & x_2 \leq x \leq x_3; \\ 0, & x > x_3. \end{cases} \quad (2)$$

$$r_{ij3} = \begin{cases} \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, & x_1 \leq x \leq x_2; \\ 1, & x_2 < x < x_3; \\ \frac{x_4 - x}{x_4 - x_3}, & x_3 \leq x \leq x_4; \\ 0, & x < x_1, x > x_4. \end{cases} \quad (3)$$

$$r_{ij4} = \begin{cases} 0, & x < x_2; \\ \frac{x - x_2}{x_3 - x_2}, & x_2 \leq x \leq x_3; \\ 1, & x_3 < x < x_4; \\ \frac{x_5 - x}{x_5 - x_4}, & x_4 \leq x \leq x_5. \end{cases} \quad (4)$$

$$r_{ij5} = \begin{cases} 0, & x < x_3; \\ \frac{x - x_3}{x_4 - x_3}, & x_3 \leq x \leq x_4; \\ 1, & x_4 < x < x_5. \end{cases} \quad (5)$$

当评价论域端点值 $x_{i+1} < x_i (i = 1, \dots, 4)$ 时,评价因素为负指标,如孕灾环境中的海拔高程与建成区绿化覆盖率指标,其隶属函数为:

$$r_{ij1} = \begin{cases} 1, & x_2 \leq x \leq x_1; \\ \frac{x - x_3}{x_2 - x_3}, & x_3 < x < x_2; \\ 0, & x \leq x_3. \end{cases} \quad (6)$$

$$r_{ij2} = \begin{cases} \frac{x_1 - x}{x_1 - x_2}, & x_2 < x < x_1; \\ 1, & x_3 \leq x \leq x_2; \\ \frac{x - x_4}{x_3 - x_4}, & x_4 < x < x_3; \\ 0, & x \leq x_4. \end{cases} \quad (7)$$

$$r_{ij3} = \begin{cases} \frac{x_2 - x}{x_2 - x_3}, & x_3 < x < x_2; \\ 1, & x_4 \leq x \leq x_3; \\ \frac{x - x_5}{x_4 - x_5}, & x_5 < x < x_4; \\ 0, & x \geq x_2, x \leq x_5. \end{cases} \quad (8)$$

$$r_{ij4} = \begin{cases} \frac{x_3 - x}{x_3 - x_4}, & x_4 < x < x_3; \\ 1, & x_5 \leq x \leq x_4; \\ \frac{x}{x_5}, & 0 < x < x_5; \\ 0, & x \geq x_3. \end{cases} \quad (9)$$

$$r_{ij5} = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq x_5; \\ \frac{x_4 - x}{x_4 - x_5}, & x_5 < x < x_4; \\ 0, & x \geq x_4. \end{cases} \quad (10)$$

3.2 权重

通常情况下,不同层次的各个指标因素对暴雨灾害风险的影响程度是不同的,需要设定权重来反映各指标对于整个评价体系的相对重要性。从城市暴雨灾害风险性评估的实践工作出发,组织南京市气象部门专家进行初级评判,得出评价因素的初始权重系数,并进行暴雨实例试算和合理调整,最终确定各因子权重。具体参考权值如表 2 所示。

表 2 南京暴雨灾害风险评价指标的权重分配表

指标		权重	
一级指标 U_i	二级指标 U_{ij}	一级评价 w_{ij}	二级评价 w_i
致灾因子	年均降水量	0.25	0.40
	年暴雨日	0.40	
	24 h 最大降水量	0.35	
孕灾环境	海拔高程	0.60	0.30
	建成区绿化覆盖率	0.40	
承灾体	地均 GDP	0.35	0.30
	人口密度	0.45	
	第一产业产值占比	0.20	

4 南京暴雨灾害风险综合评价模型

南京暴雨灾害风险评价指标的集合为因素集,用二级集合 U 来表示,具体包括一级评价指标集 $\{U_1, U_2, U_3\}$ 、二级评价指标集 $\{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ij}\}$ 。 $i \leq 3, j \leq m$ 。 U_{ij} 到评价集的模糊评价矩阵 R_i 为:

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i15} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i25} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{ij1} & r_{ij2} & \cdots & r_{ij5} \end{bmatrix} \quad (11)$$

根据南京市暴雨灾害风险评价指标体系的特点,进行两层模糊综合评价。先分别对二级指标 U_{ij} 进行一级模糊综合评价,将其评价结果 B_i 组成变化矩阵 R ;再进行二级模糊评价,得出评价结果集 B ,其计算步骤如下。首先,由二级指标开始,由下至上开展一级模糊综合评价:

$$W_i = (w_{i1}, w_{i2}, \cdots, w_{ij}); \quad (12)$$

$$B_i = W_i \circ R_i = (b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, b_{i4}, b_{i5}), i = 1, 2, 3; j = 1, \cdots, m; \quad (13)$$

$$R = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{i1} & b_{i2} & b_{i3} & b_{i4} & b_{i5} \end{bmatrix} \quad (14)$$

其次,开展一级指标的二级模糊综合评价:

$$W = (w_1, w_2, w_3); \quad (15)$$

$$B = W \circ R = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5) \quad (16)$$

5 实例应用

2012 年,南京各区县年降水量在 903.6 ~

1 450 mm, 降雨日数为 122 ~ 152 d, 比往年略偏多。其中,高淳年降水量 1 450 mm, 比常年偏多 1 成。南京日降水量在 50 mm 以上的暴雨日为 2 d (市区) ~ 7 d (高淳), 集中出现在夏季的 7 ~ 8 月。暴雨造成了城市积涝、少数建筑物和工棚倒塌、个别人员伤亡、郊区农作物和房屋设施不同程度受损, 给人民生活带来了严重影响和巨大损失。现选择南京市高淳、溧水、鼓楼与浦口进行暴雨灾害风险分析。其中,高淳与溧水是南京的偏远郊县,鼓楼为经济发达、人口集中的中心区域,浦口位于南京市区的近郊。通过对这四个不同区域的实例演算验证评估模型的可行性,寻找南京市暴雨灾害风险发生规律,为制订防御对策奠定理论基础。将表 3 的实例数据代入南京暴雨灾害风险评估模型,由下至上进行二级模糊综合评价,其演算结果如表 4 所示。

为了便于比较,对最终评价结果去模糊化,给暴雨灾害风险各等级赋予相应分值:1 级 20 分、2 级 40 分、3 级 60 分、4 级 80 分、5 级 100 分。因此,这四个区域的暴雨灾害风险评价得分分别为:高淳 60.563、溧水 55.675、鼓楼 55.541、浦口 52.541。该结果与 2012 年南京暴雨灾害灾情非常吻合。

表 3 2012 年南京暴雨灾害实例数据

地区	致灾因子			孕灾环境		承灾体		
	年均 降水量/mm	年暴雨 日数/d	24 h 最大 降水量/mm	平均海拔 高程/m	建成区绿化 覆盖率/%	地均 GDP/ (亿元/km ²)	人口密度/ (人/km ²)	第一产业 产值占比/%
高淳	1 450	7	157.6	20	41.52	0.46	547	6.5
溧水	1 149.8	3	274	10	42.44	0.34	393	8
鼓楼	917.2	2	126.3	8.9	45.5	18.08	25 748	0.1
浦口	1 104.4	3	115.7	7	43.5	0.5	653	6.7

表 4 实例运算结果

地区	一级评价结果 R					二级评价结果 B				
高淳	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.247 & 0.96 & 0.753 \\ 0.061 & 1 & 0.939 & 0 & 0 \\ 0.55 & 0.938 & 0.45 & 0.583 & 0 \end{bmatrix}$					[0.092 0.293 0.260 0.203 0.152]				
溧水	$\begin{bmatrix} 0.171 & 0.401 & 0.479 & 0.427 & 0.35 \\ 0.098 & 0.455 & 0.902 & 0.545 & 0 \\ 0.45 & 0.87 & 0.55 & 0 & 0 \end{bmatrix}$					[0.123 0.295 0.331 0.177 0.074]				
鼓楼	$\begin{bmatrix} 0.65 & 0.719 & 0.35 & 0.23 & 0 \\ 0.22 & 0.4 & 0.768 & 0.6 & 0.012 \\ 0.2 & 0.004 & 0 & 0.127 & 0.8 \end{bmatrix}$					[0.225 0.238 0.215 0.18 0.142]				
浦口	$\begin{bmatrix} 0.171 & 0.755 & 0.829 & 0.245 & 0 \\ 0.14 & 0.4 & 0.62 & 0.6 & 0.24 \\ 0.452 & 0.922 & 0.548 & 0.078 & 0 \end{bmatrix}$					[0.124 0.349 0.341 0.15 0.036]				

6 南京暴雨灾害风险防御对策

(1) 加强市区承灾能力建设

就南京市而言,人口密度和地均 GDP 是南京郊区的数十倍之多。在遭受相同暴雨侵害时,市区承灾体的易损性要远远高于郊区。因此,要加强市区承灾能力的建设,如增加雨水管网的分布,加大排水管网的泄水能力,加强广场与道路的透水性,加强城市湖泊的雨水自排功能,提高城市绿化覆盖面积等。

(2) 加强预报的及时性与准确性

致灾因子对城市暴雨灾害风险形成的作用程度明显高于孕灾环境和承灾体,因此,要积极防范暴雨灾害致灾因子的危险性。对南京历年暴雨数据进行整理与分析,深入分析南京暴雨形成的机理,挖掘南京暴雨的演化趋势;完善暴雨灾害预报系统,利用雷达、气象卫星等遥感技术与先进设备,增强暴雨预报的及时与准确,争取更多的暴雨灾害防范时间。

(3) 加强暴雨灾害应急能力

加强政府主导作用,整合卫生、交通、公安、气象、广电等多部门的资源,建立各部门联动机制,成立防灾减灾气象应急小组,制定暴雨灾害分级响应程序。灾前充分利用电视、手机、广播等多种方式及时预警,提高灾害信息覆盖范围和市民重视程度,提前做好暴雨灾害防范工作;灾中密切监测灾情,组建抢险队伍,保障救援物质及时发放;灾后及时恢复基础设施,做好防疫和

灾害损失的统计工作。

(4) 培养人们风险防范意识

加强人民群众的科普宣传教育,从社区、企业和农村等多途径普及暴雨灾害知识和应对技能,提高群众暴雨灾害自救互救能力,鼓励其购买气象灾害保险等。

参考文献:

- [1] 朱政,郑伯红,贺清云.城市暴雨灾害的影响程度及对策研究——以长沙市为例[J].自然灾害学报,2011,20(3): 105-112.
- [2] 姚珍珍.暴雨灾害风险评价及预测方法研究——以福建省为例[D].南京:南京信息工程大学,2012: 34-39.
- [3] 刘伟东,扈海波,程丛生,等.灰色关联度方法在大风和暴雨灾害损失评估中的应用[J].气象科技,2007,35(4): 563-566.
- [4] 扈海波,张艳莉.暴雨灾害人员损失风险快速预评估模型[J].灾害学,2014,29(1): 30-36.
- [5] 刘娜.南京市主城区暴雨内涝灾害风险评估[D].南京:南京信息工程大学,2013: 18-26.
- [6] 苏军锋,肖志强,魏邦宪,等.基于GIS的甘肃省陇南市暴雨灾害风险区划[J].干旱气象,2012,30(4): 650-655.
- [7] 孟翠丽,匡朝敏,李莉,等.基于GIS的广西暴雨灾害风险实时评估技术研究[J].中国农学通报,2013,29(26): 184-189.
- [8] 万君.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.
- [9] 莫建飞,陆甲,李艳兰,等.基于GIS的广西农业暴雨洪涝灾害风险评估[J].灾害学,2012,27(1): 38-43.
- [10] 朱伟,陈长坤,纪道溪,等.我国北方城市暴雨灾害演化过程及风险分析[J].灾害学,2011,26(3): 88-91.

The Urban Rainstorm Disaster Risk Assessment and Defensive Measures ——A Case Study of Nanjing of Jiangsu Province

Weng li, Ma Lin and Xu Shuangfeng

(School of Economics & Management, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: From the dimension of meteorological disaster occurrence, Nanjing city is taken as a case to research the urban rainstorm disaster risk. Nanjing rainstorm disaster risk evaluation index system is established, which includes the formative factors, subsequently environment and hazard-affected body. Based on the relevant data from 2003 to 2012, the evaluation indexes are graded. The subordination functions are constructed to judge the degrees of subordination between the evaluation factors and the evaluation grades. The secondary fuzzy comprehensive evaluation model is established for torrential rainstorm disaster risk evaluation. Nanjing rainstorm example in 2012 is selected for data analysis to verify the validity of the model. The relevant defensive countermeasures are put forward.

Key words: urban rainstorm disaster; risk assessment; fuzzy comprehensive evaluation; defensive measures