

基于GIS的太湖流域暴雨洪涝灾害风险量化研究^{*}

于文金¹, 闫永刚¹, 吕海燕¹, 李 芬^{1,2}

(1. 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室, 江苏 南京 210044;

2. 山西省气象局, 山西 太原 030002)

摘 要: 暴雨洪水灾害是威胁人类的区域重要气象灾害, 暴雨风险研究具有重要的现实意义。在GIS/RS技术支撑下, 采用AHP层次分析法和综合指数方法对太湖区域暴雨洪水风险压力进行了量化研究。研究发现: ①由于降水频度高危险性指数为5.5~7.1, 湖西区属于重度危险到极度危险区; 浦东浦西区危险性指数为4.5~5.5, 属于中度危险到重度危险区; 武澄锡区、阳澄淀泖区由于地势低洼, 危险性指数为4.2~5.5, 属于轻度危险到重度危险区; 杭州湾北岸的杭嘉湖区、浙西区受径流影响, 危险指数为2.3~4.8, 属于微度危险到中度危险区。②上海的浦东、浦西区与苏州、无锡、常州、杭州、镇江的脆弱性指数为7~10, 属于重度脆弱到极度脆弱区; 张家港、常熟、太仓、昆山以及浙北地区的湖州、嘉兴等地脆弱性指数为4.8~7.0, 属于中度脆弱到重度脆弱区; 浙西的山区脆弱性指数为1~4.6, 属于微度脆弱到轻度脆弱区。③太湖流域北岸的湖西区、武澄锡区、阳澄淀泖区以及浦东浦西区的综合风险指数较高; 杭嘉湖区次之; 浙西区综合风险最低。

关键词: GIS; 太湖; 暴雨; 洪涝灾害; 风险; 量化

中图分类号: P333.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)04-0001-07

近年来, 在全球变暖的大背景下, 极端天气、气候事件日益增多, 气候灾害造成的损失和影响呈明显上升趋势^[1]。暴雨洪涝灾害作为一种极端天气灾害给人类的生产生活造成极大的危害, 暴雨灾害的风险研究和防范已经成为灾害科学的研究热点问题。我国地处亚洲季风区域, 台风、暴雨和洪水灾害频发, 规模大, 每年造成上千亿元经济损失和数千人死亡。显而易见, 对区域自然灾害风险分析的需求十分迫切。目前, 国内外对风险区划的研究已经取得一定的成就^[2-9], 对自然灾害的影响因子、致灾机理有了比较深刻的研究, 风险研究已经由风险评估走向风险预警, 由风险定性描述向量化研究和风险管理方向发展^[10-12]。但是, 由于灾害的复杂性和不确定性, 暴雨灾害的量化评估和指标选取仍是困扰和制约灾害研究的难题, 本文基于栅格数据的GIS技术, 解决了风险评估中海量信息的提取和处理的问题, 在综合考虑灾害强度和社会因子的基础上, 运用AHP层次分析法和综合指数方法, 对太湖流域地区的暴雨洪涝灾害风险的量化指标体系的建立和风

险因素的提取量化进行了探讨和研究, 为区域暴雨洪灾风险管理提供了有利的例证和相关参数, 为区域防灾减灾提供了科学依据。

1 研究区域

太湖流域位于我国经济较发达的长三角地区(图1), 太湖流域人口占全国总人口的2.9%, 人口密度为978人/km², 为全国平均的7倍, 是我国人口密度最大的地区之一。区域国内生产总值GDP占全国的12%, 人均GDP为全国人均的3倍多, 区内的上海、苏州、无锡、常州、镇江、杭州、嘉兴、湖州在我国的经济发展中占有重要地位。同时, 由于太湖流域地处北亚热带季风区, 春夏之交, 暖湿气流北上, 冷暖气流遭遇形成持续阴雨; 盛夏受副热带高压控制, 天气晴热, 此时常受热带风暴和台风影响, 形成暴雨狂风的灾害天气, 加之地势低平, 暴雨灾害风险极大。20世纪的1931年、1954年、1991年、1999年均发生特大洪水, 引发了严重的洪水灾害, 给该流域

^{*} 收稿日期: 2011-04-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10672052); 淮河流域气象开放研究基金(HRM200802); 河海灾害实验室开放基金(20090024); 南京信息工程大学校基金(20070004)

作者简介: 于文金(1967-), 男, 山东淄博人, 教授, 博士, 研究方向为区域经济开发与可持续发展. E-mail: yuwj@nuist.edu.cn

的生命财产和生态环境造成巨大的损失。随着经济的发展,太湖流域大量湖泊和河道水面被围圈圩垦殖,与水争地,导致暴雨洪涝灾害风险日益加剧。

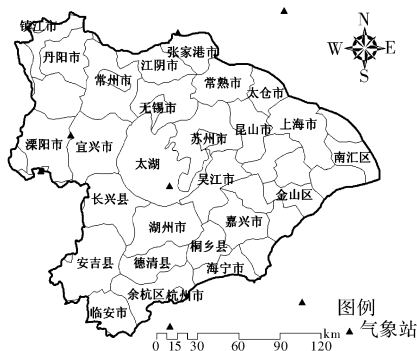


图1 研究区域示意图

2 评价模型的建立与数据来源

2.1 评价指标的选取与确立

区域暴雨风险主要由区域暴雨危险性和区域脆弱性两个方面决定^[13],区域危险性又由灾害强度因子和孕灾环境制约(图2)。引发暴雨洪涝灾害的气象因子主要指降雨强度与频度,一般选择一定时段内的降雨量来表示;垫面对暴雨洪涝灾害的形成过程的影响可分成两个部分,产流和汇流。产流影响因素在径流分布中得到了反映。而汇流影响因素主要取决于地形。如陡峻的地形易于快速汇集径流形成山洪,平坦的地形不易于洪水的排泄而易于形成涝灾,河道汇集洪水易于洪水在空间上的转移等。同时,承灾体的脆弱性也是制约灾害风险的重要因素,一般来讲,脆弱性越强,危险性越大,反之减小。为了既有代表性又简化指标利于运算操作,本文利用主成分分析法确定了以下指标要素:气象要素自然致灾因子,下垫面地形、河网、土地类型等孕灾因子指标,受灾地区的人口状况、经济水平等承灾体脆弱性指标,对太湖流域主要城市的洪涝灾害生态风险进行评价。这里气象灾害强度用暴雨频次和暴雨量表示,径流用径流量和河网密度表示,地形由高程表示,经济指标由单位面积GDP量表示,人口脆弱性指标由单位面积人口数量表示,所有经济数据均以1984年不变价格折算。

2.2 数据来源与处理

本文所使用的数据包括高程数据、全国1:25万土地覆被数据、全国2005年1 km网格人口数

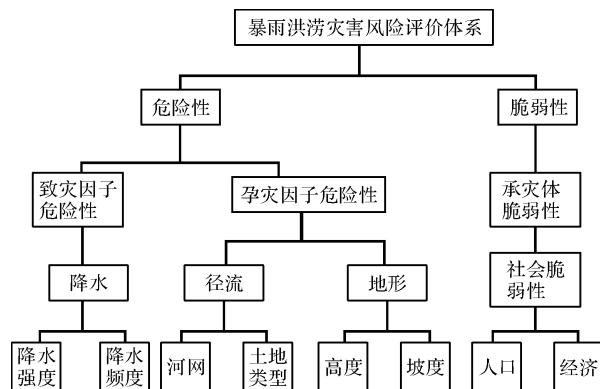


图2 评价指标模型

据、全国2005年1 km网格GDP数据,以上数据均由国家气象局与国家科技基础条件平台建设项目——系统科学数据共享平台(www.geodata.cn)提供,经济数据来自于2010年中国经济统计年鉴和国家统计局网站数据。

由于数据属性和格式的不同,需将其标准化处理。为了使得结果具有可比性,在ARCGIS中通过地图代数工具对数据进行标准化处理。标准化的公式为:

$$x'_i = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \times 10, \quad (1)$$

式中: x_i 为专题指标数据中的统计值或VALUE值; x_{\max} 表示指标数据值中的最大值; x_{\min} 表示指标数据值中的最小值。

研究中将数据统一处理成1 km × 1 km 网格的栅格数据,对降雨栅格数据、土地利用类型数据、河网密度数据、高程数据、坡度等数据进行标准化处理并赋值给每个评价单元;将数据按照对灾害的影响划分本研究采用 geometrical interval 方法对高程、坡度数据进行分级量化,土地利用数据河网数据根据其特性分级量化,并赋予1~10的影响度。等级越高表示该因子的影响性越大。

2.3 指标权重的确定

在暴雨灾害风险评估与区划中,评价因子权重的合理性无疑会影响评价结果的准确性、科学性。权重的确定方法有主观赋权法和客观赋权法两种。目前,暴雨灾害风险评价中用来确定权重的方法主要有专家评分、AHP层次分析、因子分析、特尔非咨询、灰色关联分析、证据权重、统计调查法、序列综合法、隶属函数法等^[14-15],某一单纯确定权重的方法要么主观性太强,要么过于依赖数学模型,得出的权重值不免片面。层次分析法(AHP),在1970年代中期由seaty正式提出,它是一种定性和定量相结合的、系统化、层次化的分析方法。通过分析复杂问题包含的因素及其相互

联系,将问题分解为不同的要素,并将这些要素归并为不同的层次,从而形成多层次结构,在每一层次可按某一规定准则,对该层要素进行逐对比较建立判断矩阵。通过计算判断矩阵的最大特征值和对应的正交化特征向量,得出该层要素对于该准则的权重,在这个基础上计算出各层次要素对于总体目标的组合权重。从而得出不同设想方案的权值,为选择最优方案提供依据。

图 2 建立的 5 层指标评价体系,每一层都有一个或两个评价因素对应上层目标层,根据这些相互影响,相互制约的因素按照它们之间的隶属关系排成 5 层评价结构体系。由于评价指标因素的相互关系,比较分为 5 个等级(极为重要 3,重要很多 2,重要 1.5,稍微重要 1.3,同样重要 1,稍次要 10/13,次要 10/15,次要很多 1/2,极为次要 1/3),建立判别矩阵。

将判断矩阵归一化: $\bar{b}_{ij} = b_{ij} / \sum_{k=1}^n b_{kj} (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

对其求和: $\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \bar{b}_{ij} (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

将向量 $\bar{W} = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]^T$,

归一化: $W_i = \bar{W}_i / \sum_{i=1}^n \bar{W}_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

则 $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$, 即为所求的特征向量。

计算最大特征根: $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$,

式中: $(AW)_i$ 表示向量 AW 的第 i 个分量。

得出各层对上层因子的权重结果如表 1 所示。

表 1 AHP 法确定的指标权重

评价体系		指标选取		目标层权重	
暴雨洪涝灾害风险评价体系	危险性 0.524	致灾因子危害性	降水强度 0.565	0.222	
			1 频度 0.435	0.171	
	孕灾因子危害性 0.476	地形	高度 0.600	0.117	
			0.546 坡度 0.400	0.078	
		径流	河网 0.714	0.116	
			0.455 土地类型 0.286	0.046	
	脆弱性 0.250	承灾体脆弱性 1	人口 0.667	0.167	
		社会脆弱性 1	经济 0.333	0.083	

$CR = CI/RI < 0.1$ 通过一致性检验。

2.4 模型建立

根据灾害发生原理建立暴雨灾害评价模型:

$$R = f(H, V, \dots), \quad (7)$$

式中: R 为暴雨洪涝灾害指数; H 为危险性; V 为脆弱性。危险性的评价模型:

$$H = f(M, P, \dots), \quad (8)$$

式中: H 为风险源的危险性; M 为风险源的变异强度; P 为灾变发生的概率。易损性评价模型:

$$V = f(P, E, \dots), \quad (9)$$

式中: V 为易损性; P 为人口; E 为经济。其次还有破坏损失要素,主要包括损失构成、受灾种类、损毁程度。综合风险评价模型:

$$R = f(H, V) = \sum_{i=1}^n W_i Q_i, \quad (10)$$

式中: R 为暴雨风险指数; W_i 为权重; Q_i 为各因子指标值。

3 暴雨洪灾的指标分析

3.1 致灾因子指标分析

降水强度过大和降水持续时间过长是导致洪涝灾害发生的根本原因。是导致暴雨洪涝灾害的直接因素。太湖流域的暴雨多发生在夏季,梅雨型和台风型暴雨是引发洪涝灾害的根本原因。另外,降水的空间差异也是加重洪灾的原因之一,上游年平均降水约 1 200 mm,下游地区约 1 100 mm,上下游相差 100 mm。根据对历史灾情资料分析,最大日降水量对灾害形成最为相关,故选多年平均最大日降水重现期为 200 年一遇雨量作为反映对暴雨洪灾影响的降水强度指标,多年平均暴雨日数作为降水频度指标。在空间上,ARCGIS 软件将其分别插值成 1 km × 1 km 网格的栅格数据,根据 $x'_i = (x_i - x_{i\min}) / (x_{i\max} - x_{i\min}) \times 10$,通过标准化转换,得到太湖流域降水因子影响度分布,在此为表现数据连续性不对其分级处理(图 3)。研究发现,历史降水强度北部强,南部弱,最强点在中部(图 3a),从降水频度来看,呈现中部低四周高的特点(图 3b)。这种降水强度和频度可能与局部地形因素有关。

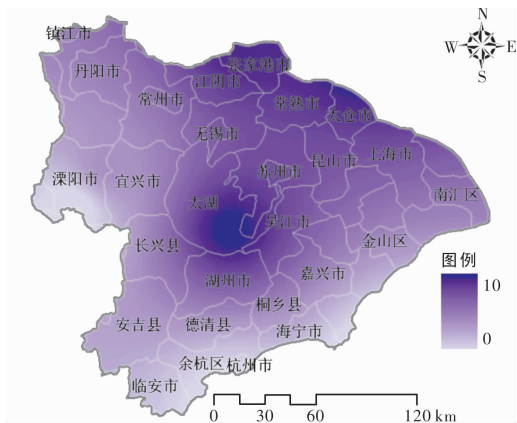
3.2 孕灾因子指标分析

根据径流形成原理,下垫面对暴雨洪水过程的影响可分成两个部分,产流和汇流。产流影响因素在径流分布中得到了反映。而汇流影响因素主要取决于地形。如陡峻的地形易于快速汇集径流形成洪水,平坦的地形不易于洪水的排泄而易于形成涝灾,河道汇集洪水易于洪水在空间上的转移等^[16]。因此,孕灾环境主要由地形与径流因

素决定，本文选取影响汇流的地形高程、坡度与影响径流的河网密度、土地类型等因素作为指示孕灾环境的指标。



(a) 降水强度分布图



(b) 降水频度分布图

图3 降雨强度、频度影响度分布图

3.2.1 地形指标

根据太湖流域多年洪水的具体灾情分析将太湖流域的高程与坡度进行分级(表2、表3)。

表2 高程影响度分级

序号	高程值	影响度
1	-77 ~0	10
2	0 ~1.88	9
3	1.88 ~3.25	8
4	3.25 ~4.63	7
5	4.64 ~11.97	6
6	11.97 ~31.50	5
7	31.51 ~83.52	4
8	83.52 ~222.03	3
9	222.03 ~590.86	2
10	590.86 ~1 573	1

表3 坡度影响度分级

序号	坡度	影响度
1	0 ~0.23	1
2	0.23 ~0.34	2
3	0.34 ~0.57	3
4	0.57 ~1.05	4
5	1.05 ~2.03	5
6	2.03 ~4.03	6
7	4.03 ~8.16	7
8	8.16 ~16.62	8
9	16.63 ~34.01	9
10	34.01 ~69.72	10

研究发现，太湖地区呈现西高东低的局势。太湖流域西面的天目山、莫干山高程在 700 m 以上，最高 1 573 m，山丘区约占整个流域面积的 1/4。茅山、苏锡滨地区为低山丘陵高度在 200 ~ 500 m 左右，但由于坡度较陡，暖湿气流遇到山丘被抬升，形成降雨的有利条件，这是太湖西部区域降水强度和频度较高的原因，遇到强降水年份，极易形成山洪，是太湖流域主要山洪的来源。太湖东部，长江南岸、杭州湾北岸一带地势低平，高度为 4 ~ 6 m，湖东平原地势低洼一般为 2.5 ~ 3 m。坡度的影响与高程的影响度大致相反，但不同区域表现特征不同。太湖流域的西面以及西南的山丘区受高程影响度较低，但是，由于山区坡度较陡受坡度影响度较大，太湖南端杭州湾北岸的高程影响度适中，但是地势却不平缓受坡度的影响仍然较大。锡澄河附近地势较洼，坡度较陡影响度较高。

3.2.2 径流指标

径流是反应下垫面产流的主要参数，也是体现区域洪水分布和流通的重要特征指数，本研究采用河网密度与土地利用类型来反映下垫面的径流因素，从而作为孕灾环境的重要指标。降雨量大，渗透性弱，河网密度低，洪水的危险性就大。利用 ARCGIS 缓冲区分析功能一、二、三级缓冲区，再分别赋予不同影响度(表4)。不同的土地类型对雨水的下渗能力是不一样的，随着城市化进程日益加快，环太湖流域建筑用地迅速增加，城市交通等建设用地占总面积的比例越来越大，城市地面的渗透率越来越低，地面的径流系数相应增大。1991 年大水期间，城市化较高的地区武澄锡地区径流系数高达 0.758，而太湖沿岸的自然区径流系数为 0.664。因此城市化必然导致相同降水

条件下河网密度下降, 径流系数增大, 导致灾害的发生。本文根据文献[17]选取反映不同土地利用类型下渗能力的参数(湿润土壤曲线系数 CN)表示下垫面透水性, 透水性越强 CN 值越小, 根据其透水性设置影响度(表 5)。

表 4 河网影响度分级

序号	缓冲区	缓冲半径/km	影响度
1	一级缓冲区	1	1
2	二级缓冲区	2	3
3	三级缓冲区	3	6
4	其他区		9

表 5 土地类型影响度分级

序号	土地类型	湿润土壤曲线系数	影响度
1	林地	73.75	1
2	草地	84.25	3
3	耕地	86	5
4	城乡、居民用地	86.25	7
5	未利用地	93.75	9
6	水体	100	10

3.3 承灾体指标分析

从洪水灾害脆弱性角度选取了 2010 年的人口密度分布和人均 GDP 指标进行洪水灾害易损性评价。根据人口密度越大、国内生产总值密度越高, 其洪灾易损性也越高的原则, 确定出各因子对洪灾的影响度(表 6、表 7)。

表 6 人口密度影响度分级

序号	人口密度/(人/km ²)	影响度
1	0 ~ 205.23	1
2	205.23 ~ 305.16	2
3	305.16 ~ 510.39	3
4	510.39 ~ 931.84	4
5	931.84 ~ 1 797.28	5
6	1 797.28 ~ 3 574.49	6
7	3 574.49 ~ 7 224.04	7
8	7 224.04 ~ 14 718.48	8
9	14 718.48 ~ 30 108.49	9
10	30 108.49 ~ 61 712.27	10

表 7 经济影响度分级

序号	GDP/(万元/km ²)	影响度
1	0 ~ 356.45	1
2	356.45 ~ 530.02	2
3	530.02 ~ 886.47	3
4	886.47 ~ 1 618.44	4
5	1 618.44 ~ 3 121.55	5
6	3 121.55 ~ 6 208.25	6
7	6 208.25 ~ 12 546.85	7
8	12 546.85 ~ 25 563.32	8
9	25 563.32 ~ 52 292.98	9
10	52 292.98 ~ 107 183.00	10

上海、苏州、无锡、常州、镇江、杭州与一些其他小城市, 是人口、经济最密集的地方, 相应的受灾害影响度也越高。上海的浦东、浦西区经济发展速度在全区最快, 经济密度最高; 其次是苏州、无锡和常州市; 浙西区的经济密度较低。太湖流域的人口密度也以浦东浦西区为最高, 为 2 643 人/km², 其次是武澄锡区, 为 1 545 人/km², 最低为浙西区, 为 296 人/km²。

4 结果分析

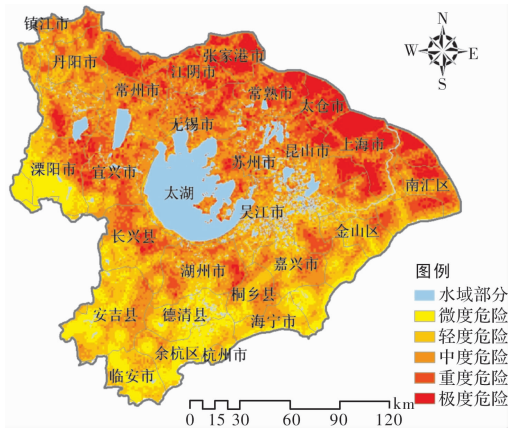
基于 ARCGIS 提供的栅格叠加和空间分析功能支持, 把数据库数据代入相关公式(公式(8)计算危险性评价指数、公式(9)计算脆弱性评价指数、公式(7)计算综合风险指数)计算相关参数, 具体结果见图 3。

研究发现, 由于降水较多降水概率较大导致危险性较高, 危险性指数为 5.5 ~ 7.1, 属于重度危险到极度危险区; 浦东浦西区位于太湖流域下游城市化较高地面的径流系数较高, 因此危险性较高, 危险性指数为 4.5 ~ 5.5, 属于中度危险到重度危险区; 武澄锡区、阳澄淀泖区由于地势低洼, 发生暴雨极易形成涝灾, 危险性指数为 4.2 ~ 5.5, 属于轻度危险到重度危险区; 此外, 从图中明显看出杭州湾北岸的杭嘉湖区、浙西区受径流影响, 危险指数为 2.3 ~ 4.8, 属于微度危险到中度危险区(图 4a)。

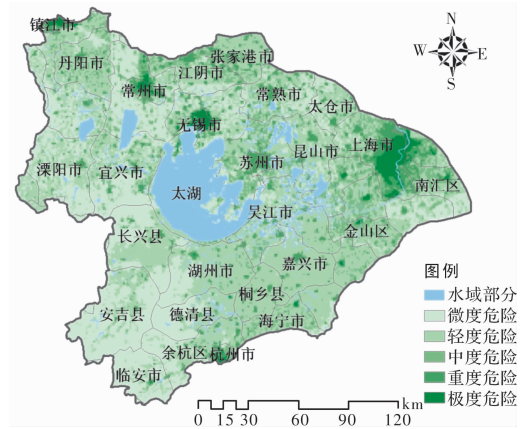
根据经济、人口密度分布密集的地方表征脆弱性高的原则, 研究结果表明, 上海的浦东、浦西区与苏州、无锡、常州、杭州、镇江所对应的脆弱性较高, 脆弱性指数为 7 ~ 10, 属于重度脆弱到极度脆弱区; 苏南的张家港、常熟、太仓、昆山以及浙北地区的湖州、嘉兴等地的经济、人口也相对较密集, 脆弱性相对较高, 脆弱性指数为 4.8 ~ 7.0, 属于中度脆弱到重度脆弱区; 浙西的山区因为地理原因, 人口相对稀少经济也相对较低, 相应的脆弱性也较低, 为 1 ~ 4.6, 属于微度脆弱到轻度脆弱区(图 4b)。总体来看, 城市由于人口集中、经济发展快, 对于暴雨的承载能力低, 脆弱性高; 农村及山区人口较分散, 单位经济量低, 相应的暴雨承载力较高一些, 表现为脆弱性较低。

综合风险的研究结果表明, 太湖流域风险等级高值区主要分布在太湖流域西北部湖西洮涪湖区, 原因在于该区域地势相对平坦, 降雨量充沛, 洪水灾害风险高, 风险指数为 4.6 ~ 6.5, 属于重

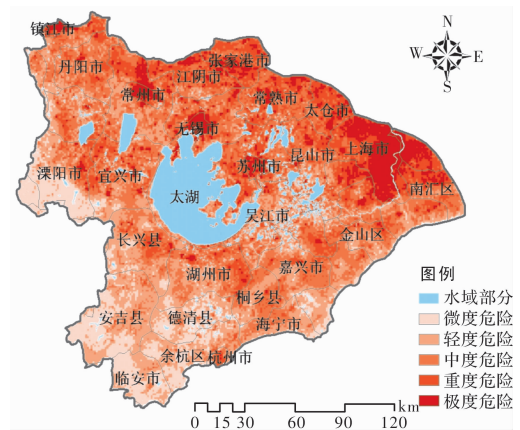
度风险到极度风险区；上海、苏州、无锡、常州、杭州由于经济发达，人口密集，其社会脆弱性较高故而综合风险较高，风险指数为 5.2~7.0，属于重度风险到极度风险区；浙西区，由于茅山天目山等海拔较高，人口密度低，经济也相对较弱，综合风险较低，风险指数为 2.3~4.0，属于微度风险到轻度风险区；杭州湾北岸的杭嘉湖区受径流的影响较大，经济也相对发达，人口密度相对较高，综合风险指数为 4.3~5.0，属于中度风险到重度风险区(图 4c)。总体来看，太湖流域北岸的湖西区、武澄锡区、阳澄淀泖区以及浦东浦西区的综合风险指数较高；杭嘉湖区次之；浙西区综合风险最低。太湖流域主要城市的暴雨综合风险评价结果参见表 8。



(a) 危险性评价图



(b) 脆弱性评价图



(c) 综合风险图

图 4 太湖流域暴雨洪涝灾害评价图

表 8 代表城市计算结果

城市	危险性指数	危险等级	脆弱性指数	脆弱等级	综合风险指数	风险等级
上海	5.48	重度危险	5.74	中度脆弱	5.55	极度风险
嘉兴	4.62	中度危险	3.17	轻度脆弱	4.26	中度风险
湖州	4.77	中度危险	2.80	轻度脆弱	4.28	中度风险
常州	5.03	中度危险	6.25	中度脆弱	5.33	重度风险
无锡	5.08	中度危险	7.21	重度脆弱	5.61	极度风险
苏州	5.00	中度危险	5.85	中度脆弱	5.21	重度风险
宜兴	5.02	中度危险	2.43	微度脆弱	4.37	中度风险
安吉	4.25	轻度危险	1.64	微度脆弱	3.60	轻度风险
长兴	4.76	中度危险	2.13	微度脆弱	4.10	轻度风险

注：以上城市只代表本市区

5 结论

(1)建立的五层暴雨洪涝灾害风险评价模型具有一定的可行性，所得出的结果基本可以反映实际情况，能够基本满足研究需求。

(2)太湖流域风险等级高值区主要分布在太湖流域西北部湖西洮涌湖区，上海、苏州、无锡、常州、杭州由于经济发达人口密集，其社会脆弱

性较高，故而也风险较高。太湖流域北岸的湖西区、武澄锡区、阳澄淀泖区以及浦东浦西区的风险较高；浙西区的风险相对较低。

(3)GIS 技术对暴雨灾害风险评价方面具有易实施、直观的特点。对于提高要素的空间分辨率提供了必要的技术支持。

暴雨灾害形成原因复杂，影响因子众多，限于资料来源、精确程度、理论和方法不够完善，暴雨风险评估的重要参数有待于进一步验证，模

型稳定性有待于提高; 同时, 时间序列的灾害风险演变规律也是今后研究的重要课题。

参考文献:

- [1] 黄荣辉, 杜振彩. 全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及趋势[J]. 自然杂志, 2010, 32(4): 187-195.
- [2] 周成虎, 万庆, 黄诗峰, 等. 基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 15-24.
- [3] 黄诗峰, 徐美, 陈德清. GIS 支持下的河网密度提取及其在洪水危险性分析中的应用[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 129-132.
- [4] DAVIDSON R A, LAMBER K B. Comparing the hurricane disaster risk of U. S. coastal counties [J]. Natural Hazards Review, 2001(8): 132-142.
- [5] 陈华丽, 陈刚, 丁国平. 基于 GIS 的区域洪水灾害风险评价[J]. 人民长江, 2003, 34(6): 49-51.
- [6] 唐川, 朱静. 基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 87-94.
- [7] 张会, 张继权, 韩俊山. 基于 GIS 技术的洪涝灾害风险评估与区划研究[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 141-146.
- [8] 张婧, 郝立生, 许晓光. 基于 GIS 技术的河北省洪涝灾害风险区划与分析[J]. 灾害学, 2009, 24(2): 51-56.
- [9] 莫建飞, 路甲, 李艳兰, 等. 基于 GIS 的广西洪涝灾害孕灾环境敏感性评估[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 33-37.
- [10] Joy Sanyal, Lu X X. GIS-based flood hazard mapping at different administrative scales: A case study in Gangetic West Bengal India[J]. Singapore Journal of Tropical Geography, 2006, 27: 207-220.
- [11] Huang C F, Inoue H. Soft risk maps of natural disasters and their applications to decision-making [J]. Information Sciences, 2007, 177(7): 1583-1592.
- [12] 马清云, 李佳英, 王秀荣, 等. 基于模糊综合评价法的登陆台风灾害影响评估模型[J]. 气象, 2008, 34(05): 20-25.
- [13] 李军玲, 刘忠阳, 邹春辉, 等. 基于 GIS 的河南省洪涝灾害风险评估与区划研究[J]. 气象, 2010, 36(2): 87-92.
- [14] 杨秋珍, 徐明, 李军. 对气象致灾因子危险度诊断方法的探讨[J]. 气象学报, 2010, 68(02): 277-284.
- [15] 张俊香, 黄崇福, 刘旭拢, 等. 台风暴雨灾害风险区划更新实证分析[J]. 灾害学, 2011, 26(1): 99-103.
- [16] 张行南, 罗健, 陈雷, 等. 中国洪水灾害危险程度区划[J]. 水利学报, 2000(3): 1-7.
- [17] 郭跌, 程晓莉, 张全发, 等. 陕西佛坪土地利用对径流变化的影响分析[J]. 人民长江, 2009, 40(24): 26-28.

GIS-based Quantitative Research on the Risk of Rainstorm and Flood Disaster in Taihu Basin

Yu Wenjin¹, Yan Yonggang¹, Lü Haiyan¹ and Li Fen^{1, 2}

(1. Nanjing University of Inforament & Technology, Key Laboratory of Metrological Disaster of Ministry of Education, Nanjing 210044, China; 2. Shanxi Meteorological Bureau, Taiyuan 030002, China)

Abstract: Rainstorm and flood disasters are important regional meteorological disasters that threaten human, therefore rainstorm risk research is practically significant. On GIS/RS technology support, quantitative research on the risk pressure of rainstorm and flood disaster in Taihu Basin is done by using AHP and composite index method. Results show that: ① the west lake, having precipitation frequency risk index as high as 5.5 ~ 7.1, is in severe risk to extremely dangerous area; Pudong Puxi area, having risk index as 4.5 ~ 5.5, belongs to moderate risk to severe risk area; Being low-lying, Wuchengxi and Yang Cheng Dian Mao Districts, are in mild risk to severe risk area with risk index as 4.2 ~ 5.5; Hangzhou Bay in the Hangjiahu area and the western Zhejiang area, affected by run-off, belong to micro-risk to mild risk area with risk index as 2.3 ~ 4.8. ② Pudong and Puxi Districts in Shanghai and Wuxi, Changzhou, Hangzhou and Zhenjiang in Suzhou, having vulnerability index as 7 ~ 10, belongs to severe vulnerable to extremely vulnerable area; Zhangjiagang, Changshu, Taicang, Kunshan and Huzhou, Jiaxing, etc. in northern Zhejiang Province, belongs to mild vulnerable to severe vulnerable area with vulnerability index as 4.8 ~ 7.0; vulnerability index as 1 ~ 4.6, the mountainous area of western Zhejiang is in micro-vulnerable to mild vulnerable area. ③ Composite risk index of the west lake area, Wuchengxi area and Yang Cheng Dian Mao area in the north shore of Taihu Lake and Pudong Puxi area are relatively high, that of Jiaxing-Huzhou area followed and that of the western Zhejiang area is the lowest.

Key words: GIS; Taihu Lake; rainstorm; flood disaster; risk; quantification