

中国短时洪涝灾害危险性评估与验证

马国斌^{1,2}, 蒋卫国^{2,3*}, 李 京^{2,3}, 张 静⁴, 马兰艳⁴, 李加林⁵

(1. 浙江工商大学旅游与城市管理学院, 杭州 310018; 2. 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 3. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 4. 三维信息获取与应用教育部重点实验室, 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 5. 宁波大学海岸带资源与环境研究中心, 宁波 315211)

摘要: 基于自然灾害风险理论、借助 GIS 空间分析功能、采用归一化和层次分析法, 对中国全国范围尺度进行短时洪涝灾害危险性评估。通过对洪涝灾害危险性因子分析, 分别提取当天降雨量、前三天降雨量、地形高程、地形标准差、河湖网络等因素作为评估因子, 提出了各因子危险性指数计算方法, 以及全国洪涝灾害危险性指数计算模型公式, 根据统计分析危险指数的最小值、最大值, 结合历史灾情, 利用阈值分割法确定危险等级分割值为 0.3、0.45 及 0.6, 将洪涝灾害危险等级划分为高危险、中危险、低危险与无危险四个等级, 从而建立类似于天气预报模式的全国洪涝灾害危险性评估模型, 并以 2009 年 9 月 14 日为例进行了洪涝灾害危险等级评估的实际应用。最后, 本文提出了基于昨日灾情的危险性评估结果验证方法, 通过整理同期昨日灾情资料构建灾情数据库, 对 2009 年汛期的洪涝灾害危险性评估结果分别从数量和面积两个角度, 基于县和地市两级行政区划作为验证单元进行验证。验证结果表明, 洪涝灾害危险性评估结果无论是从数量上还是从面积上看均具有较高的正确率, 与实际灾情基本吻合。

关 键 词: 危险性评估; 评估模型; 洪涝灾害

文章编号: 1000-0585(2012)01-0034-13

洪涝灾害是中国最主要的自然灾害之一, 其遭受的洪涝灾害次数之多、洪水损失之大、影响范围之广均居我国各类自然灾害的前列。洪涝灾害危险评价研究是当前的热点研究问题, 国内外很多学者对洪涝灾害危险进行了研究, 并取得了丰硕研究成果。黄诗峰等^[1]、马宗伟等^[2]、Haruyama 等^[3]分别用河网密度、河流形态分维等地貌学特征进行洪涝危险评价; 魏一鸣等^[4]、余钟波等^[5]、彭定志等^[6]、刘贤赵等^[7]、丁志雄^[8]、Anselmo 等^[9]等分别应用 Swarm、HMS、SCS、MIKE-11 等水文模型或自建模型^[10,11,12]对洪水演进进行数值模拟; 而刘新立等^[13]、史培军^[14]、Gerardo 等^[15]则通过对历史灾情统计进行洪涝风险评估; 其他更多学者如周成虎等^[16]、唐川等^[17]、何报寅等^[18]、盛绍学等^[19]通过选取降雨、地形、河网、植被、土地利用类型等相关指标, 计算洪涝灾害综合危险指数对洪水灾害危险进行评价。

收稿日期: 2011-04-15; 修订日期: 2011-10-23

基金项目: 国家自然科学基金 (41171318、41001160); 国家 863 计划 (2009AA12Z124); 国家科技支撑计划 (2008BAC44B03); 国家 973 计划 (2008CB418006); 中央高校基本科研业务费专项资金; 浙江省科技厅公益项目 (2010C33155)

作者简介: 马国斌 (1975-), 男, 浙江磐安人, 博士, 主要从事灾害遥感研究和地理信息系统工程应用研究。
E-mail: mgbcn@sina.com

通讯作者: 蒋卫国 (1976-), 湖南衡阳人, 博士, 讲师, 主要从事遥感与 GIS 在流域湿地洪水灾害与生态环境的应用研究。E-mail: jiangweiguo@bnu.edu.cn

总体而言, 以上研究都从各个不同的角度对洪涝灾害危险性评估进行研究, 但各种评价模型都存在缺点^[20,21,22], 地貌学方法过于片面; 模拟方法对数据和参数要求比较高; 历史灾情法又需要大的灾情样本, 而且历史灾情与未来灾情也不可能完全一致; 综合指数法相对比较全面、实用与合理, 但他对于评价指标的选择目前也还远未成熟。另外, 这些研究主要注重评估的技术过程, 很少对评估结果的验证分析提出具体的方案, 而且研究也主要集中在针对中长期危险性评估, 对类似于天气预报模式对未来一两天内短期洪涝灾害危险性研究也很少, 但对国家行政部门和灾区公众而言, 开展针对短期洪涝灾害危险性的准确评估以便在洪灾发生之前进行临灾预警, 从而能够争取宝贵时间采取必要的防灾、减灾措施, 降低洪涝灾害可能造成的损失, 具有非常重要的实践意义。

1 研究方法与数据来源

短时洪涝灾害危险性评估是指在基于气象预测资料的基础上, 通过选择相应的水文、河网等指标, 建立危险性评估模型, 对于未来 24 小时到 72 小时内可能发生的洪涝灾害进行类似于天气预报模式的危险性评估。

本文的总体研究思路就是根据自然灾害风险理论, 危险性评价从形成洪涝灾害的自然属性出发, 对引起洪涝灾害的致灾因子和孕灾环境因子进行分析、选择及计算, 建立短时危险性评估模型计算危险性指数并进而确定各地发生洪涝灾害的危险性等级。最后, 通过汇总实际上报的“昨日灾情”数据建立灾情数据库, 并分别以县、地市两级行政区划作为验证单元对中国汛期的洪涝灾害危险性进行验证分析。具体流程如图 1 所示。

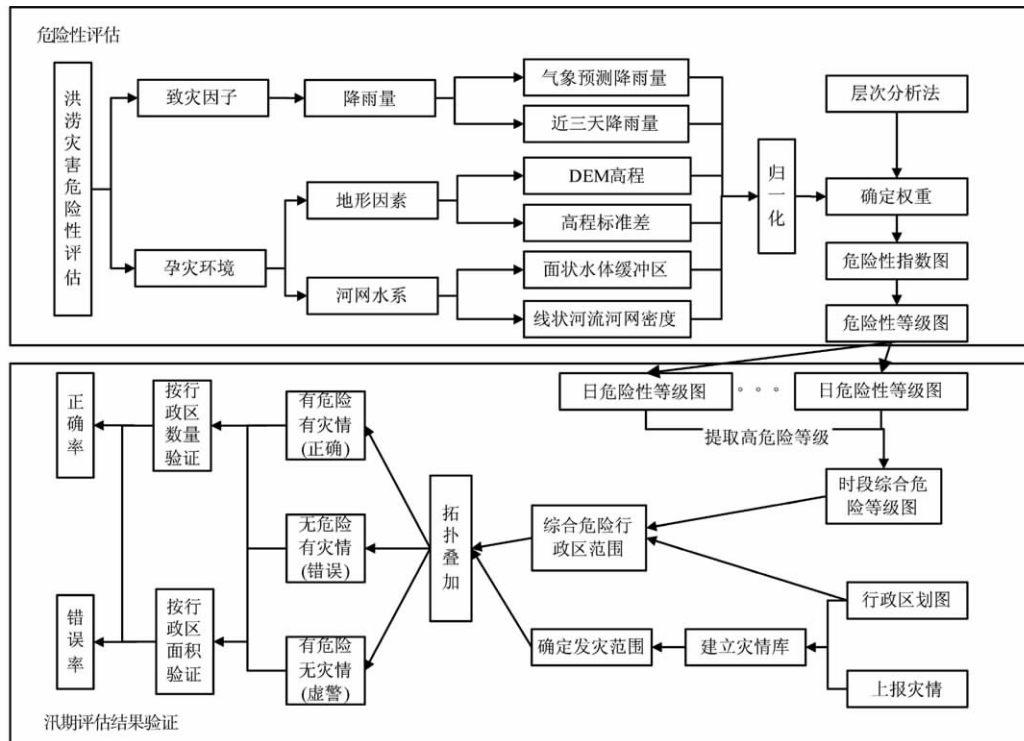


图 1 短期洪涝灾害危险性评估与验证技术流程

Fig. 1 Route of short-term flood hazard assessment and validation

主要数据来源如下:

(1) 全国降雨数据

评估当天降雨数据: 通过对中央气象台发布的未来 24 小时降雨数据矢量化;

近三天降雨数据: 中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/>) 公布的实时日降雨格点数据;

(2) 地形数据

地形数据主要采用有 NASA 发布的 90m 分辨率的 STRM DEM 数据, 直接用于高程的提取和高程标准差的计算。

(3) 河湖数据

河流与湖泊等基础地理数据采用全国 1:100 万的地理信息数据, 主要用于河网密度提取与湖泊缓冲区的计算。

(4) 实际灾情数据

实际灾情数据来自于国家民政部减灾中心汇总的全国各地同期的“昨日灾情”数据, 主要用于对每日洪灾危险评估结果的对比验证。

2 洪涝灾害危险性评估因子计算

2.1 降雨

降雨是暴雨型洪涝灾害的主要致灾因子, 从季节看中国大部分地区的降雨主要发生在 5 月到 10 月之间, 因此洪涝灾害也主要发生在这一时期。评估当天的降雨量对于暴雨型洪涝灾害有着决定性的影响, 评估当天降雨量越大, 降雨强度越高, 发生洪涝灾害的危险性就越高。另一方面, 前期降雨量多少对洪涝灾害危险性也有很大影响, 尤其是一次暴雨持续的时间越长, 强度越大, 发生洪涝灾害的可能性也越高, 有资料表明, 一次性持续暴雨的为 3~4 天^[16]。

因此选择评估当天的降雨量和前三天的累计降雨量作为反映降雨对洪涝灾害危险性的指标, 参考国家气象局对降雨强度的划分标准, 对洪涝灾害的危险性的影响度分别采用如下分段线性归一化公式计算。

评估当天降雨量影响度计算公式为:

$$X_1 = \begin{cases} 0 & P \leq 50 \\ (3P - 50)/400 & 50 < P \leq 150 \\ 1 & P > 150 \end{cases} \quad (1)$$

其中, X_1 为评估当天降雨量对洪涝灾害的影响度, P 为评估当天的预计降雨量。结果如图 2 所示。

前三天累计降雨影响度计算公式为

$$X_2 = \begin{cases} 0 & P_3 < 100 \\ (P_3 - 50)/200 & 100 \leq P_3 < 250 \\ 1 & P_3 \geq 250 \end{cases} \quad (2)$$

其中, X_2 为前三天累计降雨量对洪涝灾害的影响度, P_3 为前三天累计降雨量。

2.2 地形指数

地形对洪水的再分配有着重要的影响, 一方面海拔高度在较大尺度上决定了流域的汇流方向, 水往低处流, 海拔低的地方是流域的汇流区, 因汇聚周边地区的较多径流, 容易

被洪水淹没而成灾,发生洪涝灾害的危险性就高,相反海拔高的地方,一般为流域的产流区,被淹的可能性就低,海拔的高低可以直接从 DEM 中获得。另一方面,地形的起伏状况对洪水的排泄也有较大的影响,地形平坦起伏变化小的地区,因与周边相比落差小甚至接近于 0,洪水排涝不畅而积涝成灾,发生洪灾的危险程度就要高,相反地形起伏大的地方,形成的径流可以很快流走,洪水的危险性也就低,对于地形起伏状况的表达可以通过计算地形标准差来实现^[23]。因此地形因子通过如下归一化公式计算其对洪灾的影响度:

海拔高程影响度计算公式为

$$X_3 = \begin{cases} 1 & H < 0\text{m} \\ 1 - H/1000 & 0 \leq H < 700\text{m} \\ 0.3 & H \geq 700\text{m} \end{cases} \quad (3)$$

其中, X_3 为海拔高程对洪涝灾害的影响度, H 为海拔高程。结果如图 3 所示。

地形标准差影响度计算公式为:

$$X_4 = \begin{cases} 1 - 0.01 \times S & S < 70\text{m} \\ 0.3 & S \geq 70\text{m} \end{cases} \quad (4)$$

X_4 为地形标准差对洪涝灾害的影响度, S 为地形标准差。结果如图 4 所示。

2.3 河湖网络

江河湖库分布对洪涝灾害也具有重要的影响,江、河、湖、库相对于周边往往是地势较低的地区,汇聚了流域内较多的上游来水,是洪涝灾害的多发地区。江河级别越高,水网越密,湖库水域面积越大,汇聚的洪水就越多,其影响的范围就越大,发生洪水危险程度越高。因此,河网密度、河流等级、水体面积乃至距离江、河、湖、库等距离远近,都影响着洪涝灾害的危险性大小。在具体计算中,根据水体面积的不同,对于水体面积较大的湖泊及一、二级河流按面状水域处理,通过 GIS 建立面状缓冲区的方式计算;对于级别较低的其他河流,通过计算河网密度来反映对洪灾的影响。

(1) 面状河湖缓冲区计算

根据距离江河湖库等面状水体越近,洪水危险程度越高的原则,通过建立缓冲区计算洪水危险程度。参考万君等^[23]对湖北洪涝的研究成果,分别建立河湖缓冲区建立的标准(表 1、表 2)。

根据以上表格通过 GIS 工具生成缓冲区,并对不同缓冲区按一级缓冲区为 0.8,二级缓冲区为 0.6,非缓冲区为 0.1 赋值。

(2) 线状河流河网密度计算

河网密度是指单位面积内的河流长度。因不同级别的河流对于洪涝灾害的影响度不同,对线状河流根据等级赋权重后进行河网密度计算^[1],具体计算时采用 ArcGIS

中的 Line Density 工具,其中权重因子按表 3 所示进行赋值。

然后对河网密度采用以下公式进行归一化计算。

$$D = (D_i - 0) / (D_{max} - 0) \quad (5)$$

表 1 面状河流缓冲区距离表

Tab 1 Distance from planar buffer area of rivers

河流级别	一级缓冲区 (km)	二级缓冲区 (km)
干流、一级	8	12
二级支流	6	10

表 2 湖泊缓冲区距离表

Tab 2 Distance from planar buffer area of lakes

水域面积 (100km ²)	一级缓冲区 (km)	二级缓冲 (km)
0.1~1	0.5	1
1~10	2	4
10~20	3	6
≥20	4	8

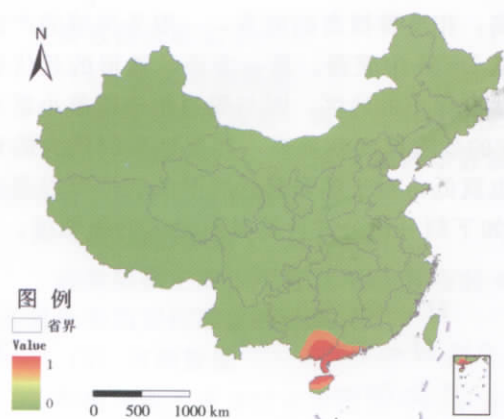


图 2 评估当天降雨量指数分布图

Fig. 2 Map of the precipitation index of the current day

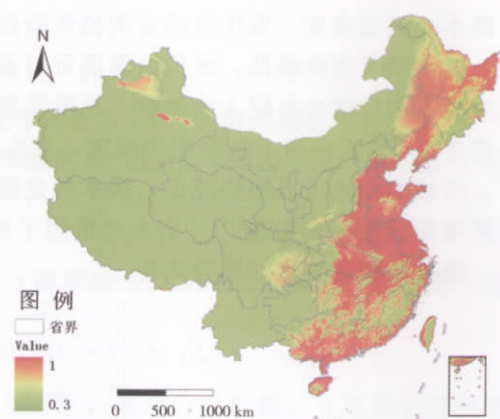


图 3 地形高程指数分布图

Fig. 3 Map of topography altitude index

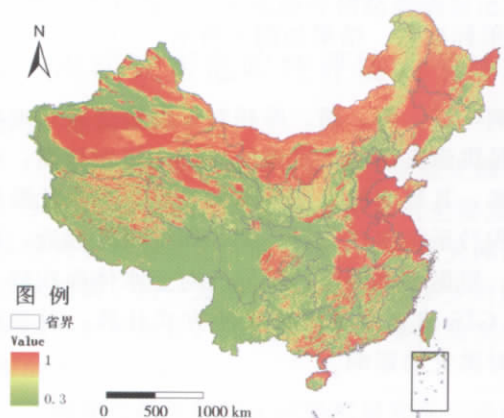


图 4 地形标准差指数分布图

Fig. 4 Map of topography's standard deviation index

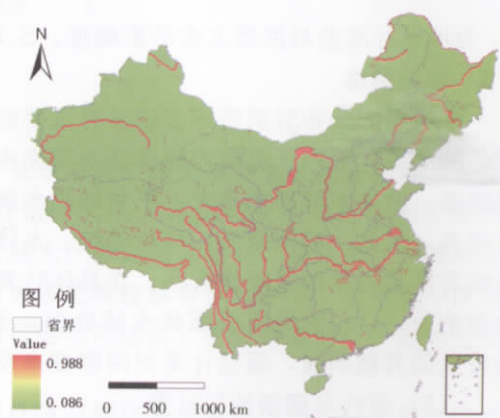


图 5 河湖网络指数分布图

Fig. 5 Map of network index of rivers and lakes

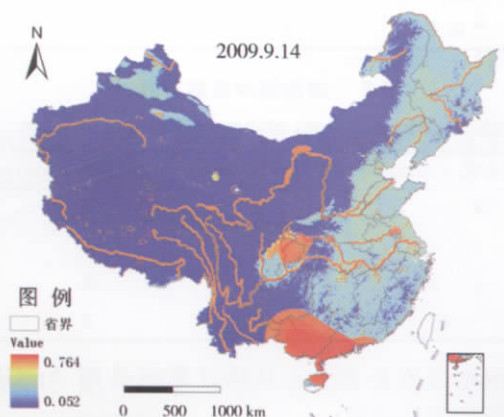


图 6 洪涝灾害危险性指数分布图

Fig. 6 Map of flood disaster hazard index

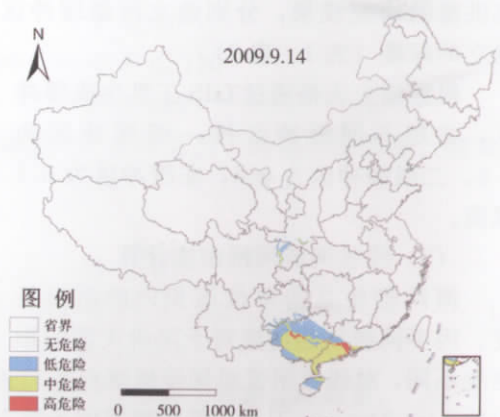


图 7 洪涝灾害危险性等级图

Fig. 7 Map of flood disaster hazard level

表 3 河流等级权重关系表
Tab 3 River level vs. weight

河流等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	其他
权 重	不参与线密度计算		4	3	2	1

其中， D 为归一化的河网密度， D_i 为河网密度， D_{max} 为最大河网密度。

(3) 河湖网络指数的计算

通过 GIS 工具将河网归一化后的河网密度图层与面状水体影响分值图层对比，提取较大者作为河湖指数对洪涝灾害的影响度。如图 5 所示。

3 短时洪涝灾害危险性评估方法

3.1 短时洪涝灾害危险性评估模型

选择 $1000\text{m} \times 1000\text{m}$ 作为计算单元，根据以上各公式对洪涝灾害危险性评估各因子的归一化计算后，再采用层次分析法确定各评价因子的权重，由此建立短时洪涝灾害危险性评估模型：

$$R = W_1 \times X_1 + W_2 \times X_2 + W_3 \times X_3 + W_4 \times X_4 + W_5 \times X_5 \tag{6}$$

其中， W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 、 W_5 为各评估指标因子的权重， X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 分别评估当天降雨量、前三天累计降雨量、河湖网络指数、海拔高程、地形标准差对洪涝灾害的影响度。

3.2 危险性指数计算与危险性等级的划分

在确定了各评估指标因子的权重后，根据短时洪涝灾害危险性评估模型调用评估指标数据进行 GIS 分析计算，即可获得每天的洪涝灾害危险性指数图。再通过一定方法确定 3 个危险性指数分界点，即可将全国每天的洪涝灾害危险性划分为高风险、中风险、低风险与无风险四个等级。

4 结果分析

以 2009 年 9 月 14 日为例，通过 AHP 层次分析法确定评估当天降雨量、前三天累计降雨量、河湖网络指数、海拔高程、地形标准差 5 个指标的权重分别为 0.405、0.195、0.240、0.108、0.052，由此可计算生成评估当天的洪涝灾害危险性指数，如图 6 所示。根据洪涝灾害危险性指数，结合历史灾情数据，将危险性指数与历史灾情数据进行叠加，统计各灾情地区的危险性指数，根据平均危险指数和二倍标准差剔除异常数据后，统计分析危险指数的最小值、最大值，再在对其进行四等分确定 3 个指数分界点的基础上进行综合分析，利用阈值分割法确定危险等级分割值为 0.3、0.45 及 0.6，由此可建立洪涝灾害危险性分级标准（表 4），即可生成相应的洪涝灾害危险等级图，如图 7 所示。

表 4 危险性等级划分关系表
Tab 4 Table of classifying flood hazard

危险性指数	≥ 0.6	$0.45 \sim 0.6$	$0.3 \sim 0.45$	< 0.3
危险性等级	高风险	中风险	低风险	无风险

从图 6 和图 7 可以看出，2009 年 9 月 14 日这一天由于受第 15 号台风巨爵的影响，在

广东省南部、海南北部和广西大部分地区都处于发生洪涝灾害的危险区,尤其是珠江三角洲和河流沿岸为高危险区,这与引起洪涝灾害的降雨、地形、河网分布等因素有关,也与实际统计上报的灾情信息基本吻合。

5 模型验证

对于短时洪涝灾害危险性评估模型的精度通过国家民政部减灾中心提供的主要以地市(少部以县或省)为统计单位的“昨日灾情”上报资料汇总整理来进行验证,因此在实际验证过程中主要以地市和县为单位,对两者通过 GIS 空间分析功能进行拓扑叠加分析,从而可以生成正确评估即“有危险有灾情”,错误评估或遗漏评估即“无危险有灾情”和虚警即“有危险无灾情”三种结果,并对各种结果的行政单元数量与面积进行汇总统计,以确定评估的正确率,从而完成验证计算过程。

洪涝灾害危险性评估开展于洪涝灾害发生之前,而各地灾情统计数据则只能在发生洪涝灾害之后,由地方进行灾情调查、数据收集、逐级上报与汇总,需要经过一定行政流程和周期,因此灾情资料相对于危险性评估结果而言具有一定的滞后性,而且一次洪涝灾情往往都有连续好几天共同组合而成,各地灾情收集上报汇总所需要的周期长短也不同,因此为了实现洪涝灾害危险性评估结果的验证,无法单纯对某天的灾害进行结果验证,只能针对一次灾情或者一个时间段内的危险性评估结果范围与同期的上报灾情资料发生范围的对比进行验证。本文选择 2009 年汛期(即 2009 年 6 月 18 日到 9 月 16 日)对洪涝灾害危险性评估结果进行验证。

5.1 验证单元的确定

在具体评估中,一方面,对于 2009 年汛期,自 2009 年 6 月 18 日开始通过短时洪涝危险性评估模型进行全国范围内的洪涝灾害危险性评估计算,每天都生成一份基于栅格的洪涝灾害危险性指数分布图和洪涝灾害危险性等级图;另一方面,各地汇总的“昨日灾情”上报资料都以行政单位为统计单元,大部分以地市为单位,少量以县与省为单位进行统计汇总。因此,为了实现对评估结果的验证,需要将危险性评估结果转换成县、地市等行政单元为验证单元,与实际灾情统计单元的相统一,在此基础上再通过 GIS 工具对两者进行对比叠加分析,验证危险性评估结果的精度。

5.2 灾情上报数据处理

根据昨日灾情上报资料结合省、市、县全国行政区划,将实际的受灾范围根据发灾时间、上报时间等信息建立受灾范围矢量图层,并同时记录受灾人口、损毁房屋、受灾农作物等灾情信息,构建实际洪涝灾情数据库。如图 8 所示为 2009 年汛期实际上报洪涝灾害分布范围图。

5.3 洪涝灾害危险性评估成果整理

提取统计时段内每天的洪涝灾害危险性评估成果的最高危险等级作为各地的综合评估危险性等级,如图 9 所示为 2009 年 6 月 18 日至 9 月 16 日期间的全国洪涝灾害危险性等级分布图。再提取综合危险性统计图中的具有发生灾害危险(包括低、中、高危险)地区分别与地市,县行政区划图进行空间叠加分析,分别生成基于地市或县为评估单位的洪涝灾害综合危险区评估结果图(图 10、图 11)。

5.4 危险评估成果验证

将同时段内基于县或地市的实际上报灾情分布范围图与洪涝灾害综合危险区评估结果

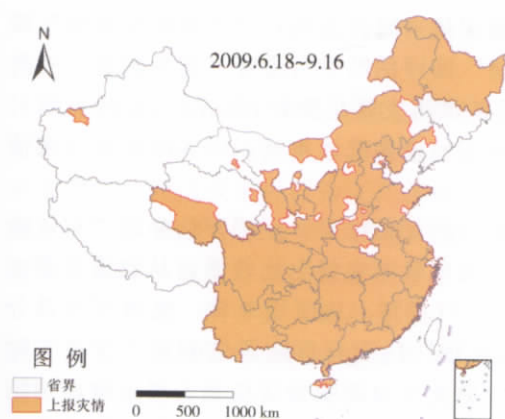


图 8 实际上报洪涝灾害分布范围图

Fig. 8 Map of actual flood disaster

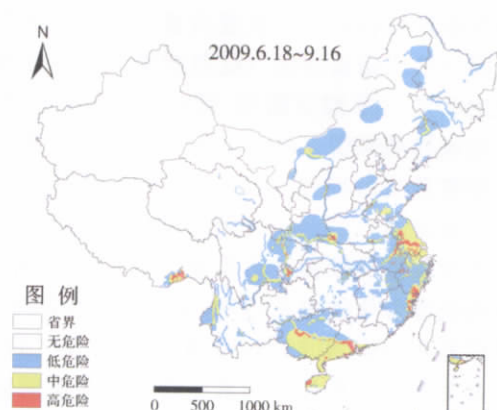


图 9 洪涝灾害综合危险性等级图

Fig. 9 Map of composite flood disaster hazard level

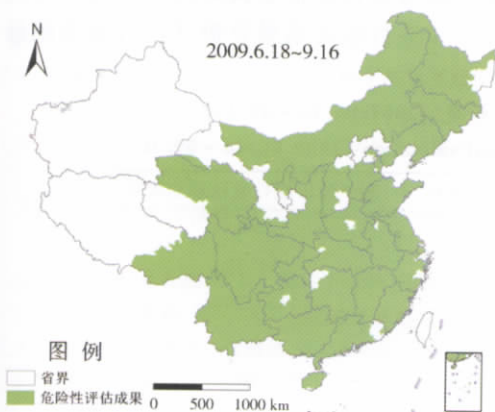


图 10 基于地市的综合危险区评估结果图

Fig. 10 Map of district-based composite flood hazard region of assessment result



图 11 基于县的综合危险区评估结果图

Fig. 11 Map of county-based composite flood hazard region of assessment result

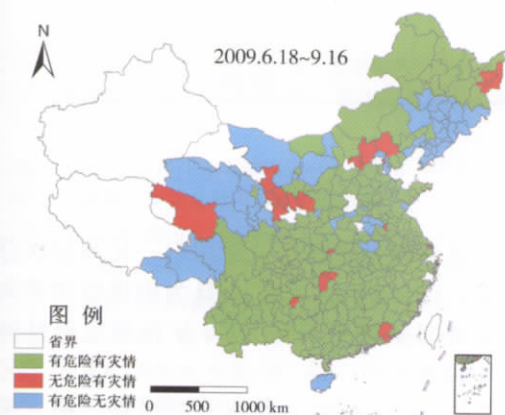


图 12 基于地市的危险性评估结果验证对比

Fig. 12 Map of district-based flood hazard assessment result validation

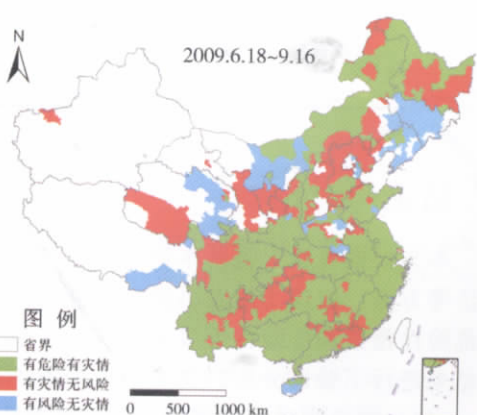


图 13 基于县的危险性评估结果验证对比图

Fig. 13 Map of county-based flood hazard assessment result validation

进行叠加分析,可以生成“有危险有灾情”即正确评估(绿色图斑)、“无危险有灾情”即遗漏评估或错误评估(红色图斑)、“有危险无灾情”即评估结果为虚警(蓝色图斑)三类对比结果,图12、图13所示分别为基于地市与县的洪涝灾害危险性评估结果与实际灾情对比验证的结果图。将以上两图的对比结果分别按县或地市为统计单元,以实际发生的灾情行政数量或面积为基数进行汇总统计,如表5所示。

从表中可以看出,无论是基于县的还是基于地市的评估结果,正确评估率即“有危险有灾情”都比较高,达 $2/3$ 以上,错误评估率即“无危险有灾情”比较低,从数量来看在以地级市为评估单元达 84.2% ,以县为评估单元达 67.7% ,从面积来看,地级市与县分别达到 65.6% 和 89% ;另外,虚警即“有危险无灾情”代表有危险评估的地方没有实际的灾情发生,在评估结果中虚警所占比例比较低,由此可以说明验证结果表明危险评估结果与实际灾情基本吻合。因此自2009年8月开始短时洪涝灾害危险评估模型已被成功应用于国家民政部减灾中心的实际洪涝危险性预报之中。同时,从表中还可以看出基于市的评价结果要比基于县的评价结果正确率高,这主要是因为昨日灾情资料大部分以地级市为统计单位,少量以县为统计单位,从而造成以县为单位进行验证结果分析评价时灾情统计范围被人为扩大。

表5 洪涝灾害危险性评估结果验证统计表(2009.06.18~09.16)

Tah 5 Statistics of flood hazard assessment result validation (2009.06.18~09.16)

		基于县级行政区划的统计	基于地市级行政区划的统计
数量		1318	246
有危险有灾情 (正确评估)	占灾情比%	67.70	84.20
	面积(km^2)	3257231	4332000
	占灾情比%	65.60	89
数量		630	46
无危险有灾情 (错误评估)	占灾情比%	32.30	15.80
	面积(km^2)	1707249	532800
	占灾情比%	34.40	11
数量		173	54
有危险无灾情 (虚警)	占灾情比%	8.90	18.50
	面积(km^2)	783622	1609489
	占灾情比%	15.80	33.10

6 结论与讨论

本文根据自然灾害基本理论,依托地理信息系统空间分析技术,运用归一化和层次分析法等方法,构建了短时洪涝灾害危险性评估模型,以2009年9月14日为例进行洪涝灾害危险性指数和危险性等级的计算,并基于同期的昨日灾情资料对2009年汛期危险性评估结果进行了验证分析。主要结论如下:

(1) 对全国洪涝灾害的危险性影响因素进行了分析,分别选取当天降雨量、前三天降雨量、地形高程、地形标准差、河湖网络等因素作为评价指标,并提出了各因子影响值的计算方法及中国短时洪涝灾害危险性评估模型。

(2) 以2010年9月14日为例,由于受到第15号台风巨爵的影响,在广东省南部、

海南北部和广西大部分地区都处于发生洪涝灾害的危险区，尤其是珠江三角洲和河流沿岸为高危险区。

(3) 提出了基于昨日灾情的短时洪涝灾害危险性验证方法。整理同期昨日灾情统计资料，构建实际灾情数据库，并通过地理信息系统空间分析功能，对 2009 年汛期的洪涝灾害危险性评估成果进行验证，正确评估率即有危险有灾情基于地市为 84.2%，基于县为 67.7%，验证结果表明，洪涝灾害危险性评估结果与实际灾情基本吻合，短时洪涝灾害危险性评估模型已在国家民政部减灾中心的实际洪涝危险性预报得到实际的应用。

另一方面，由于各方面的原因，对于模型还存在着许多有待进一步探讨与改进的问题。例如，降雨资料的精度直接影响危险性评估结果，当前的降雨预报和日降雨格点数据分辨率都不高。另外，大部分昨日灾情资料以地市为单位进行统计，对验证结果尤其是以基于县的验证结果精度影响较大。最后，关于洪涝灾害灾情等级的划分，目前学术界和国家相关部门还没有出台严格、统一的等级划分标准，这为本研究带来一定难度。

参考文献：

- [1] 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. 自然灾害学报,2001,10(4):129~132.
- [2] 马宗伟,许友鹏,李嘉峻. 河流形态的分维及与洪水关系的探讨——以长江中下游为例. 水科学进展,2005,16(4):530~534.
- [3] Haruyama, Shigeko, Ohokura, *et al.* Geomorphological zoning for flood inundation using satellite data. *GeoJournal*, 1996, 38(3): 73~78.
- [4] 魏一鸣,张林鹏,范英. 基于 Swarm 的洪水灾害演化研究. 管理科学学报,2002,5(6):39~46.
- [5] 余钟波,潘峰,梁川,等. 水文模型系统在峨嵋河流域洪水模拟中的应用. 2006,17(5):645~652.
- [6] 彭定志,游进军. 改进的 SCS 模型在流域径流模拟中的应用. 水资源与水工程学报,2006,17(1):20~24.
- [7] 刘贤赵,康绍忠,刘德林,等. 基于地理信息的 SCS 模型及其在黄土高原小流域降雨—径流关系中的应用. 农业工程学报,2005,21(5):93~97.
- [8] 丁志雄,李纪人,李琳. 基于 GIS 格网模型的洪水淹没分析方法. 水利学报,2004,(6):56~60.
- [9] V Anselmo, G Galeati, S Palmieri, *et al.* Flood risk assessment using an integrated hydrological and hydraulic modeling approach. *Journal of Hydrology*, 1996, 175:533~554.
- [10] Tawatchai Tingsanchali, Mohammed Fazlul Karim. Flood hazard and risk analysis in the southwest region of Bangladesh. *Hydrological Process*, 2005, 19: 2055~2069.
- [11] 许有鹏,葛小平,张立峰,等. 东南沿海中小流域平原区洪水淹没模拟. 地理研究,2005,24(1):38~45.
- [12] 杨佩国,杨勤业,吴绍洪,等. 基于数值模拟的黄河下游不同情景溃堤洪水特征. 地理研究,2007,26(2):328~336.
- [13] 刘新立,史培军. 区域水灾风险评估模型研究的理论与实践. 自然灾害学报,2001,10(2):66~72.
- [14] 史培军. 中国自然灾害系统地图集. 北京:科学出版社,2003.
- [15] Gerardo Benito, Michel Lang, Mariano Barriendos, *et al.* Use of systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation. *Review of Scientific Methods. Natural Hazards*, 2004, 31:623~643.
- [16] 周成虎,万庆,黄诗峰,等. 基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究. 地理学报,2000,55(1):15~24.
- [17] 唐川,朱静. 基于 GIS 的山洪灾害风险区划. 地理学报,2005,60(1):87~94.
- [18] 何报寅,张海林,张穗,等. 基于 GIS 的湖北省洪涝灾害危险性评价. 自然灾害学报,2002,14(4):84~89.
- [19] 盛绍学,石磊,刘家福,等. 沿淮湖泊洼地区域暴雨洪涝风险评估. 地理研究,2010,29(3):417~423.
- [20] 魏一鸣,金菊良,杨存建,等. 洪水灾害风险管理理论. 北京:科学出版社,2002. 62~66.
- [21] 毛德华. 洪灾综合风险分析的理论方法与应用研究. 北京:中国水利水电出版社,2009. 5~9.
- [22] 黄大鹏,刘闯,彭顺风. 洪灾风险评价与区划研究进展. 地理科学进展,2007,26(4):11~22.
- [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. 暴雨灾害,2007,26(4):328~333.

Assessment and validation of short-term flood hazards in China

MA Guo-bin^{1,2}, JIANG Wei-guo^{2,3}, LI Jing^{2,3}, ZHANG Jing⁴, MA Lan-yan⁴, LI Jia-lin⁵

(1. College of Tourism and City Management, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China;

2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology,

Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application of Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing, 100048, China;

5. Coastal Resources and Environment Research Center, Ningbo 315211, China)

Abstract: This paper has conducted a short-term national-scale assessment of flood hazards in China based on the theory of natural disaster risks and by means of the powerful spatial analytic tool of GIS, as well as the normalization and analytic hierarchy process. The precipitation of the current day and last three days, topographic elevation, topographic standard deviation, network of rivers and lakes respectively were extracted as assessment factors, the methods of flood hazard factors' computation and the models of flood hazard indexes were advanced, as well as hazard assessment model was built for the national-scale flood hazard. Combined with disasters records, analysis of the minimum and maximum of hazard indexes by statistical method, the flood hazards are divided into four levels: high, medium, low and zero by dividing points of 0.3, 0.45 and 0.6, respectively. Then the model of short-term flood hazard assessment was built and used for a flood hazard assessment on September 14, 2009. It was applied for real-time flood events from June 18 to September 16, 2009 on daily basis. Finally, this paper puts forward the result validation method of flood hazard assessment based on the official report of disaster data. It collects the data from official report of disasters to build the disaster spatial database for the same period of the flood season in 2009, and validates the flood hazard assessment results in the point of view of quantity and area from both county-based and district-based validation unit. And the result shows that the rate of correct assessment (i.e. both the hazards and disasters occurrence) is above 65% for counties as the assessment unit and above 84% for districts as the assessment unit in the point of view of quantity. The validation result reveals that short-term national flood hazard assessment conforms basically to the actual disaster data. This model has been successfully applied to the forecast of flood hazards by the Disaster Alleviation Center under the Ministry of Civil Affairs since August, 2009.

Key words: hazard assessment; assessment model; flood disaster