

基于气象预测数据的中国洪涝灾害危险性评估与预警研究*

马国斌¹, 李 京^{1,2}, 蒋卫国^{1,2}, 张 静³, 马兰艳³

(1. 北京师范大学 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 2. 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; 3. 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)

摘 要: 基于自然灾害风险理论, 借助 GIS 强大的空间分析功能, 采用归一化和层次分析法, 对中国全国范围尺度进行了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 3 d 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了风险等级分割值分别为 0.3、0.45 及 0.6, 将洪涝灾害等级划分为高风险、中风险、低风险与无风险四个等级, 从而建立了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 2010 年 8 月 22 日为例进行了洪涝灾害危险等级评估的实际应用。最后, 基于洪涝灾害的危险性评估的结果, 结合危险区内人口分布、交通设施等基础数据, 生成相应的预警产品。对可能发生的洪涝灾害发出预警与预测, 为危险区人们乃至相关政府管理部门采取有效的防灾、减灾措施提供参考依据。

关键词: 评估模型; 洪涝灾害; 洪涝预警; 地理信息系统

中图分类号: P426.616 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)03-0008-05

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。洪涝灾害风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风险进行了卓有成效的研究, 并取得了丰硕的研究成果。黄诗峰^[1]、马宗伟^[2]、Haruyama^[3]等分别用河网密度、河流形态分维等地貌学特征进行洪涝风险评价; 魏一鸣^[4]、余钟波^[5]、彭定志等^[6-7]、Tawatchai^[8]、Anselm^[9]等分别应用 Swarm、HMS、SCS、MIKE-11 等水文模型或自建模型^[10-13]对洪水演进进行数值模拟; 而李柏年^[14]、刘新立^[15]、史培军^[16]、Gerardo Benito^[17]等则通过灾情统计进行洪涝风险评估; 其他还有很多学者如周成虎^[18]、唐川^[19]、何报寅^[20]、蒋新宇^[21]、莫建飞^[22]、张念强^[23]、刘家福^[24]选取

降雨、地形、河网、植被、土地利用类型等相关指标, 通过计算洪涝灾害综合风险指数对洪水灾害风险进行评价。

总体而言, 以上研究的各种评价模型都存在缺点, 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; 综合指数法对于评价指标的选择目前也还远未成熟。另外, 这些方法主要针对中长期风险评估, 对类似于天气预报模式对未来一两天内短期洪涝灾害风险研究则很少, 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风险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

* 收稿日期: 2010-11-09

基金项目: 国家自然科学基金“洪泛湿地水文生态过程的防洪效应研究”(40701172); 国家“八六三”计划(2009AA12Z124); 国家科技支撑计划(2008BAC44B03)

作者简介: 马国斌(1975-), 男, 浙江磐安人, 博士研究生, 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: mgben@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: jwg@ires.cn

意义。

1 技术路线与数据来源

1.1 技术路线

基于气象预测数据的洪涝灾害危险性评估是指在基于气象预测资料的基础上, 通过选择相应的地形、河网等指标, 建立危险性评估模型, 对于未来 24~72 h 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。

洪涝灾害的危险性评价是从形成洪涝灾害的自然属性角度对形成洪涝灾害的致灾因子和孕灾环境条件进行因子分析和评价分级的过程。

洪涝灾害预警分析是指在洪涝灾害危险性分析的基础上, 再结合交通设施、人口分布、GDP 分布、建筑物分布、农作物分布等通过 GIS 空间分析, 生成一系列洪涝灾害预警产品的过程。

基于气象预测数据洪涝灾害危险性评估与预警研究技术路线如图 1 所示。

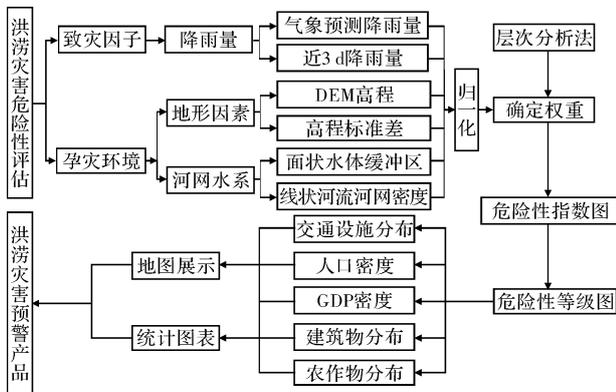


图 1 洪涝灾害危险性评估与预警研究技术路线

1.2 主要数据来源

(1) 降雨数据

评估当天降雨数据: 中央气象台发布的未来 24 h 降雨数据。

近 3 d 降雨数据: 中国气象科学数据共享服务网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 90 m 分辨率的 STRM DEM 数据。

(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。

(4) 交通设施分布

交通设施分布采用全国 1: 100 万的地理信息

数据。

(5) 人口资料与社会经济资料

人口资料与社会经济资料主要来自与全国各省发布的 2007 年统计年鉴。

2 风险评估因子分析与计算

2.1 降雨

降雨是暴雨型洪涝灾害的主要致灾因子, 尤其是评估当天降雨量对洪涝灾害有着决定性的影响, 评估当天的降雨量越大, 发生洪涝灾害的风险就越高; 另一方面, 前期降雨量多少对洪涝灾害风险也有很大影响, 尤其是一次暴雨持续的时间越长, 强度越大, 发生洪涝灾害的风险就越高。有资料表明, 一次性持续暴雨为 3~4 d [18]。因此选择评估当天的降雨量和前 3 d 的降雨量作为反映评估当天对洪灾影响的降雨指标。对于每天评估的降雨因子分别采用如下归一化公式计算其对洪灾的影响度。

(1) 评估当天降雨影响度计算公式为

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

式中: X_1 为当天降雨对洪涝灾害的影响度; P 为评估当天的预计降雨量。

(2) 前 3 d 累计降雨影响度计算公式为

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

式中: X_2 为前 3 d 累计降雨量对洪涝灾害的影响度; P_3 为前 3 d 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, 一方面水往低处流, 海拔越低就越容易被洪水淹没而成灾, 发生洪涝灾害的风险越大, 相反海拔高的地方, 被淹的可能性就越低, 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, 地形起伏越小, 地势越平坦, 洪水不易排泄, 发生洪灾的危险程度就要高, 目前比较通用的算法是通过地形标准差来实现 [23]。

(1) 海拔高程影响度计算公式为

$$X_3 = \begin{cases} 1 - H/1\,000 & , H < 700 \text{ m}; \\ 0.4 & , H \geq 700 \text{ m}. \end{cases} \quad (3)$$

式中： X_3 为海拔高程对洪涝灾害的影响度； H 为海拔高程。

(2) 地形标准差影响度计算公式为

$$X_4 = \begin{cases} 1 - S/16 & , S < 10; \\ 0.4 & , S \geq 10. \end{cases} \quad (4)$$

式中： X_4 为地形标准差对洪涝灾害的影响度； S 为地形标准差。

2.3 河湖网络

洪涝灾害的发生，与河流、湖泊等水系的分布相关，距离江、河、湖、库等越近，则洪水危险程度越高。河流级别越高，水网越密，水域面积越大，其影响范围越大，发生洪涝灾害的危险性也就越大。对于水体面积较大的湖泊及一、二级河流可按面状水域处理，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，则可作为线状水系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，根据文献调研，综合前人经验^[25]，分别建立河湖缓冲区建立的标准(表1、表2)。

表1 面状河流缓冲区距离表

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

水域面积/ (10^2 km^2)	缓冲区宽度/km	
	一级缓冲区	二级缓冲区
0.1~1	0.5	1.0
1~10	2.0	4.0
10~20	3.0	6.0
≥ 20	4.0	8.0

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，其中权重因子如表3所示赋值。

表3 河流等级权重关系表

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	

然后对河网密度采用以下公式进行归一化计算。

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

式中： 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。

通过 GIS 工具将河网归一化的河网密度图层与面状水体对归一化的河网密度与面状水体影响分值对比，提取较大者作为河湖指数对洪涝灾害的影响度。

3 洪涝灾害危险性评估方法

3.1 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，在通过如上所述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。

$$R = W_1 \times X_1 + W_2 \times X_2 + W_3 \times X_3 + W_4 \times X_4 + W_5 \times X_5, \quad (6)$$

式中： W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 、 W_5 、 W_6 为各评估指标因子的权重； X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 分别为评估当天降雨、前 3 d 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 危险性等级的划分

根据以上风险评估模型再通过 GIS 分析计算，即可获得每天的洪涝灾害危险性指数图。在此基础上，通过确定 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 4 个等级区。

4 结果与分析

以我国 2010 年 8 月 22 日为例，通过 AHP 层次分析法确定评估当天降雨、前 3 d 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风险指数，如图 2 所示。通过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风险等级分割值分别为 0.3、0.45 及 0.6(表4)，即可生成相应的洪涝灾害风险等级图，如图 3 所示。

表4 危险性等级划分关系

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

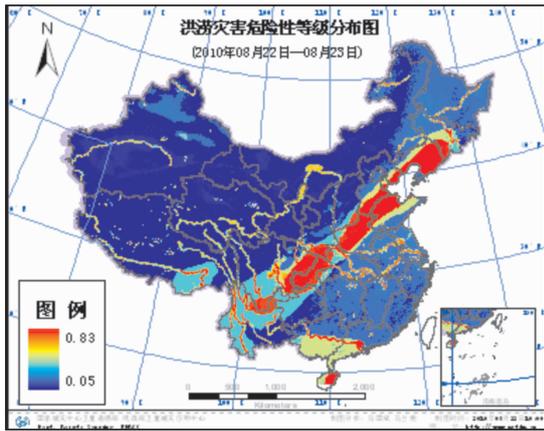


图2 洪涝灾害危险性指数 (2010-08-22)

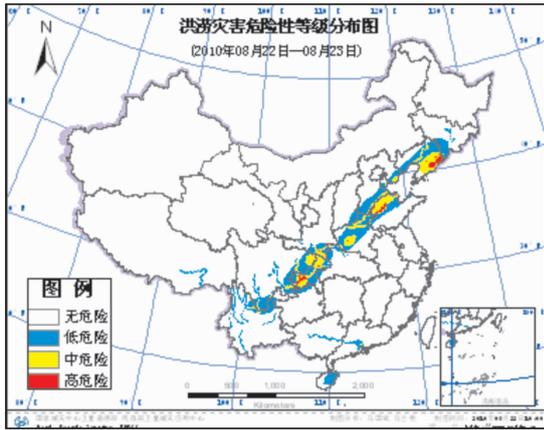


图3 洪涝灾害危险性等级(2010-08-22)

从图2和图3可以看出,2010年8月22日这一天从辽宁到云南一线的各省存在着不同危险性等级的洪涝灾害,其中辽宁东北部、山东西南部及重庆西部为高风险区,这与影响洪涝灾害的降雨、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 洪涝灾害预警

在洪涝灾害的危险性评估结果基础上,结合危险区内人口分布、社会经济条件、交通设施等基础数据,利用 Arcgis 的空间分析功能,以地图或统计图表等的形式对可能发生的洪涝灾害进行预警与预测,从而为相关部门及受影响群众采取必要的防灾、减灾措施提供参考依据,以满足防灾、减灾和灾后救助的需要。

图4所示为2010年8月22日这一天发生的洪涝灾害交通设施预警分布图,在图中可很清楚地看出分别处于高、中、低危险区内的受影响的公路与铁路分布情况。图5则是对这一天存在洪涝灾

害危险的各省区的影响人口进行统计,从统计图中可以看出,这天受灾影响人口最多的主要是河北、河南、辽宁、山东、四川与重庆等,均在280万人以上,尤其是重庆、山东两省都有35万人口处于高风险区中,需要采取紧急措施开展减灾、防灾工作,从而在为这些地区的人们及相关政府部门提前有效地开展减灾、防灾工作提供参考依据。

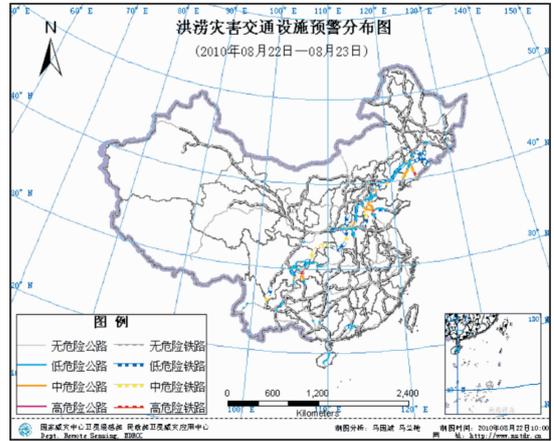


图4 洪涝灾害交通设施预警分布

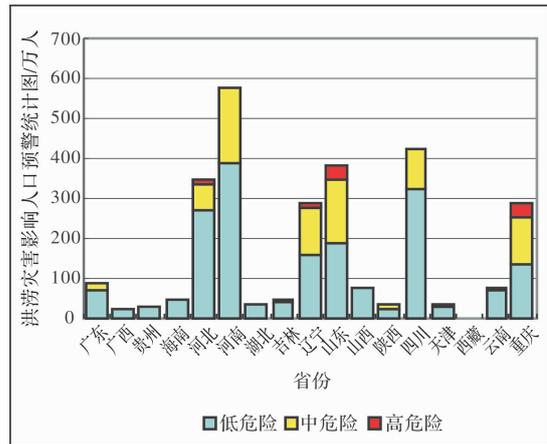


图5 洪涝灾害影响人口预警统计图

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,构建了洪涝灾害危险性分析评估模型,并以2010年8月22日为例进行了洪涝灾害危险性等级的计算和相关预警产品的制作。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,分别以当天降雨量、前3d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,

提出了各因子影响分值的计算方法及中国全国尺度洪涝灾害危险性评估模型。

(2)以2010年8月22日为例,分别进行了洪涝灾害危险性指数和洪涝灾害危险性等级的划分。计算结果表明,从辽宁到云南一线的各省存在着不同危险性等级的洪涝灾害,其中辽宁东北部、山东西南部及重庆西部为高风险区。

(3)在评估结果的基础上,结合全国交通设施分布图、统计年鉴等基础数据进行了相应的风险预警产品的计算。结果表明,重庆、山东两省均有大量人群处于高危险区范围之内,当地人群及有关政府部门需要采取紧急措施开展减灾、防灾工作。

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风险评估结果,当前的降雨预报和日降雨格点数据分辨率都不高。另外,在预警方面人口密度与经济GDP密度均以县为单位进行展布计算,这与实际分布有一定的差距,也会影响预警结果的精度。

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[J]. 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[J]. 水科学进展, 2005, 16(4): 530-534.
- [3] Haruyama, Shigeko, Ohokura, et al. Geomorphological zoning for flood inundation using satellite data[J]. 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[J]. 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[J]. 水科学进展, 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[J]. 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[J]. 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[J]. 水利学报, 2004(6): 56-60.
- [9] Anselmo V, Galeati G, Palmieri S, et al. Flood risk assessment using an integrated hydrological and hydraulic modelling approach [J]. Journal of Hydrology, 1996, 175: 533-554.
- [10] Tawatchai Tingsanchali, Mohammed Fazlul Karim. Flood hazard and risk analysis in the southwest region of Bangladesh [J]. Hydrological Process. 2005, 19: 2055-2069.
- [11] 谭维炎,胡四一,王银堂,等. 长江中游洞庭湖防洪系统水流模拟-I. 建模思路和基本方法[J]. 水科学进展, 1996, 7(4): 336-344.
- [12] 胡四一,王银堂,谭维炎,等. 长江中游洞庭湖防洪系统水流模拟-II. 模型实现与率定检验[J]. 水科学进展, 1996, 7(4): 346-353.
- [13] 陈凯. 基于GIS的洪水淹没评估系统的研究与实现[J]. 灾害学, 2009, 24(3): 35-39.
- [14] 李柏年. 洪涝灾害评价的威尔布尔模型[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 32-36.
- [15] 刘新立,史培军. 区域水灾风险评估模型研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(2): 66-72.
- [16] 史培军. 中国自然灾害系统地图集[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [17] Gerardo Benito, Michel Lang, Mariano Barriendos, et al. Use of systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation[J]. Natural Hazards, 2004, 31: 623-643.
- [18] 周成虎,万庆,黄诗峰,等. 基于GIS的洪涝灾害风险区划研究[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 15-24.
- [19] 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.
- [20] 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[J]. 自然灾害学报, 2002, 14(4): 84-89.
- [21] 蒋新宇,范久波,张继权,等. 基于GIS的松花江干流暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 灾害学, 2009, 24(3): 51-56.
- [22] 莫建飞,陆甲,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, 2009, 25(4): 33-37.
- [23] 张念强. 基于GIS的鄱阳湖地区洪水灾害风险评估[D]. 南昌: 南昌大学, 2006.
- [24] 刘家福. 亚洲暴雨洪灾风险评估技术及风险区划[D]. 北京: 北京师范大学, 2010.
- [25] 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.

(下转第17页)