

王秀荣, 吕终亮, 王莉萍, 等. 2016. 一种简化的暴雨灾害风险及影响评估方法和应用研究——以京津冀“7·21”暴雨事件为例. 气象, 42(2): 213-220.

# 一种简化的暴雨灾害风险及影响评估方法和应用研究 ——以京津冀“7·21”暴雨事件为例<sup>\*1</sup>

王秀荣<sup>1</sup> 吕终亮<sup>1</sup> 王莉萍<sup>1</sup> 蒋卫国<sup>2</sup> 马国斌<sup>3</sup>

1 国家气象中心, 北京 100081

2 北京师范大学, 北京 100875

3 浙江工商大学, 杭州 310018

**提 要:** 文章综合考虑中国区域范围内降雨时空分布特征以及地理地貌等特征, 将全国降雨区划分为 4 大类, 在此基础上, 得出不同降雨类区暴雨致灾因子的强度等级评定方法; 同时, 研究确定了与暴雨灾害密切相关的地形高程、高程标准差、河网密度、土壤类型等环境脆弱性影响要素, 并对各类要素分别进行了分级评定; 将各类环境脆弱性影响要素结合暴雨致灾因子要素, 运用加权求和方法建立了暴雨灾害综合风险评估模型; 并结合 GIS 技术, 将城市、农村人口分布情况、用地等数据叠加到风险分布格局中, 最终分析得出不同风险等级下影响的城市和农村人口数量、土地面积等内容。该评估模型相较于以往其他暴雨风险评估模型, 其适用范围更广, 可以适用于全国范围内的任意区域暴雨灾害风险评估; 实时评估业务能力更强, 将该模型结合降雨实况资料或预报资料可以对全国任意区域降雨灾害综合风险进行事后、跟踪评估或预评估; 评估对象更有针对性, 结合 GIS 技术, 可以针对得出的风险分布结果分别给出不同风险等级范围内的承灾体受影响的定量评估结果。

**关键词:** 暴雨, 致灾因子, 孕灾环境, 灾害风险, 承灾体, 定量评估

**中图分类号:** P456

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.2.009

## Simplified Assessment Method and Application Research of Rainstorm Disaster Risk and Impact ——Using Jing-Jin-Ji “7.21” Heavy Rain as an Example

WANG Xiurong<sup>1</sup> LÜ Zhongliang<sup>1</sup> WANG Liping<sup>1</sup> JIANG Weigu<sup>2</sup> MA Guobin<sup>3</sup>

1 National Meteorological Centre, Beijing 100081

2 Beijing Normal University, Beijing 100875

3 Zhejiang Industry and Commerce University, Hangzhou 310018

**Abstract:** According to the spatio-temporal distribution characteristics of the rainfall and the geographic features, China is divided into four rainfall areas. On this basis, we developed the different assessment methods of the intensity grade of the heavy rains for every rainfall area. At the same time, elevation, standard deviation of elevation, drainage density and soil types have been identified as import controlling factors of the torrential rain disasters, and these factors were respectively classified into different grades. The comprehensive rainstorm disaster risk assessment model is established by weighted summation of the rainfall factors and the selected controlling factors. Based on the model, we further applied GIS to evaluate the number of affected urban and rural residents and land areas in different risk levels. Compared with the

\* 中国工程院重大咨询项目“国家公共安全科技发展战略研究”之“自然灾害加测预警科技发展规划研究”课题(2014-ZD-02)和中国气象局决策气象服务专项共同资助

2015 年 8 月 4 日收稿; 2015 年 11 月 10 日收修定稿

第一作者: 王秀荣, 主要从事气象灾害风险评估与决策气象服务技术研究. Email: wangxr@cma.gov.cn

previous rainstorm risk assessment models, this rainstorm risk assessment model can be applied more widely in any regional rainstorm disaster risk assessment. Moreover, this model has stronger operation ability of pre-assessment, real-time assessment and post-assessment by using real-time or forecast rainfall data. Finally, combined with GIS, this model can achieve quantitative evaluation of the hazard-affected bodies at the different risk levels.

**Key words:** rainstorm, disaster-inducing factors, hazard-inducing environment, disaster risk, hazard-affected bodies, quantitative evaluation

## 引 言

我国是遭受气象灾害非常严重的国家,每年因为气象灾害造成大量经济损失和人员伤亡,其经济损失约占 GDP 的 1%~3%,而暴雨灾害则是我国的主要气象灾害之一。科学预估灾害影响,为政府等部门防灾减灾提供科学决策和参考建议是一项非常有意义的工作。

我国自然灾害评估工作起步较晚,以往多是以地震为代表的地质灾害评估研究;随着社会经济高速发展,占据自然灾害 60%~70%的气象灾害评估工作越来越得到重视。近年来,国内不少学者或专业人员在暴雨等主要灾害性天气的风险评估技术方法方面进行了大量尝试,并取得众多科研成果(彭鹏等,2015)。陈艳秋等(2007),李春梅等(2008),袭祝香等(2009),郑国等(2011),卞洁等(2011),袁慧敏等(2012),张洪玲等(2012),扈海波等(2013;2014),文明章等(2013),张容焱等(2013),卢燕宇等(2015)主要根据历史暴雨及相应灾害案例等资料,采取不同数学方法针对不同区域的暴雨灾害特征等进行了评估研究或风险区划;殷杰等(2009),孟翠丽等(2013),樊高峰等(2012),杨辰等(2015),李兰等(2013),李军玲等(2010)则将 GIS 技术应用于暴雨灾害风险评估研究中,使得灾害风险评估结果的科学性进一步提高。纵观前人成果,各研究方法均有各自的优势及其合理性,为气象灾害风险评估技术的深入研发奠定了基础。但由于大多数模型开发过程中仅考虑的是某一个特定区域的暴雨或特定区域的人文或地理信息特征,因而不能应用于其他地区;而且在有关风险评估研究文献中,多将致灾因子、孕灾环境、承灾体等灾害影响要素通过不同数学方法融合为一个指数后再进行风险评价,而少有定量评价暴雨灾害风险对承灾体影响的评定方法。基于以上存在等问题,研究制订了适合于全国不同区域范

围内的、且在业务上可操作性较强的暴雨灾害综合风险及影响评估模型,以用于提高灾害评估技术业务应用能力和科技支撑水平,更有针对性地做好防灾减灾相关气象保障服务。

## 1 本文资料来源和研究方法

### 1.1 资料来源

本文所用降雨数据为国家信息中心 2410 个测站降水资料;地形数据来自于 NASA 发布的 90m 分辨率 STRM DEM 数据,直接用于高程的提取和高程标准差的计算;水系数据采用全国 1:100 万基础地理信息数据,主要用于河网密度的提取计算;土壤类型数据来自于联合国粮农组织(FAO)和维也纳国际应用分析研究所(IIASA)所构建的世界土壤数据库(Harmonized World Soil Database, HWSD)。

### 1.2 研究方法概述

本文延续文献王莉萍等(2015)的研究成果,即综合考虑中国区域范围内降雨时空分布特征以及地理地貌等特征,将全国降雨区划为 4 大类,并分析得出暴雨致灾因子的强度等级评定方法;然后,研究确定了与暴雨灾害密切相关的高程、高程标准差、河网密度、土壤类型等影响要素的脆弱性风险阈值;在此基础上,结合致灾因子要素,运用加权求和方法建立了暴雨灾害综合风险评估模型;结合 GIS 技术,将全国范围内的城市和农村人口分布及城市和农村用地等数据叠加到暴雨综合风险分布格局中,最终分析得出不同风险等级影响的城市和农村人口数量、土地面积等情况;并重点运用京津冀“7·21”暴雨事件进行了应用检验,同时也应用 2015 年 6 月南方地区发生的几次明显暴雨过程进行了应用检验。

需要说明的是:本研究中,由于将承灾体作为可

能遭受危险的评估对象而不是制造危险的因子,因此,在暴雨风险大小评估技术研发中,首先只考虑致灾因子危险性和孕灾环境脆弱性的影响;同时,考虑到对于某一特定区域,在暴雨一定发生的前提下,致灾因子和孕灾环境两要素导致的灾害风险是存在相互叠加或消弱关系的,也就是说如果致灾因子危险性足够大,但孕灾环境却并不易于暴雨灾害发生,那么其风险性肯定降低,反之,升高;同理,如果致灾因子危险性等级不够大,但环境异常脆弱,那么该地区的暴雨灾害危险性将会较纯粹考虑降雨因素的风险性要高,亦可能会出现较大的暴雨灾害影响。因此,本研究中,将致灾因子和孕灾环境二者风险指数取加权求和之后得到综合风险指数,然后再根据综合指数的相对大小阈值来评估界定综合风险等级更为合理。本研究过程中,笔者等也结合多次历史降雨

过程运用加权求和或加权求积的方法进行了暴雨风险性评估,并对分别的评估结果进行了效果检验,事实证明前者评估效果明显优于后者。

本文中采用的暴雨灾害综合风险评估方法如下所示:

$$F = RSI \times \omega_1 + E \times \omega_2 + S \times \omega_3 + R \times \omega_4 + L \times \omega_5 \quad (1)$$

式中,  $F$  为暴雨灾害综合危险性指数。  $RSI$  为单站点降雨强度综合指数,  $E$  为高程指数,  $S$  为高程标准差指数,  $R$  为河网密度指数,  $L$  为土壤类型指数;  $\omega_1 \sim \omega_5$  分别为各指标权重系数,由层次分析法得出,分别取为:0.5、0.2819、0.0589、0.1317 和 0.0275。根据运算后的结果,并经过多次调试和检验,界定了暴雨灾害极高风险、高风险、较高风险和低风险 4 个等级的指数阈值。阈值界定如表 1 所示。

表 1 暴雨灾害综合风险等级指数阈值界定

暴雨灾害综合风险等级	极高	高	较高	低
综合风险指数范围	<1.5	1.5~2.5	2.5~3.5	>3.5
级别分值	1	2	3	4

然后根据暴雨灾害综合风险划分结果,结合 GIS 技术,对不同风险等级的影响城市、农村人口以

及城市和农村用地面积等做出定量影响评价。

本研究具体技术流程如下图 1 所示。

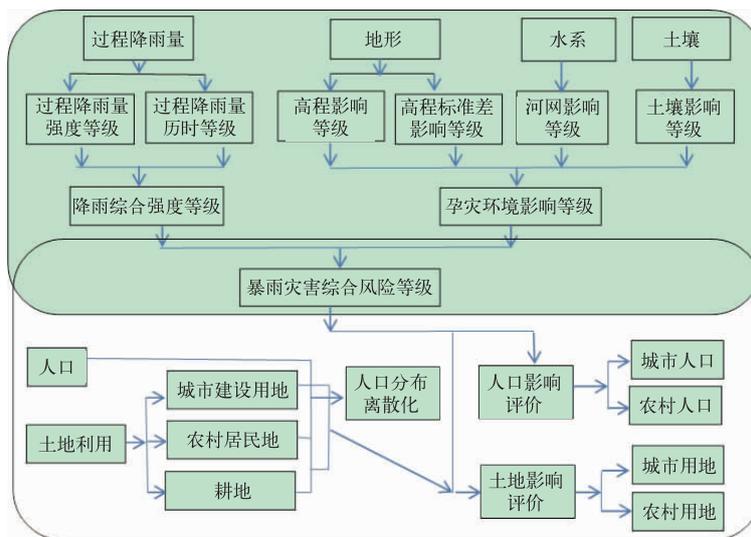


图 1 暴雨灾害综合风险及影响评估技术流程

Fig. 1 Technical process of integrated risk and impact assessment of rainstorm disaster

### 1.2.1 单站点降雨过程综合强度指数(RSI)计算方法

对于区域暴雨灾害影响来讲,天气致灾因子要

有暴雨覆盖范围、暴雨强度、暴雨持续时间等因子决定,而对于单站点来讲,天气致灾因子则主要考虑暴雨强度及持续时间。由于中国地域广袤,地理地貌

等各不相同,因此暴雨致灾的强度或持续时间等阈值不尽相同。基于此原因,通过统计分析,结合中国气象地理区划成果(郭进修等,2006),将中国降雨区划分为4大类,然后统计分析出各降雨类区的降雨强度等级阈值、降雨持续时间等级阈值。在此基础上,分析给出不同等级阈值的指数,并综合考虑此两个评价指数,计算得出单站点降雨过程强度综合指

数。其计算方法为:

$$RSI = I \times T \quad (2)$$

式中, $RSI$ 代表单站降雨综合指数, $I$ 代表降雨强度指数, $T$ 代表降雨时间指数,降雨强度指数和时间指数的具体算法请参见文献(王莉萍等,2015)。

对降雨过程综合强度等级划分的指数临界值如表2所示。

表 2 单站降雨过程综合强度指数分级

Table 2 Integrated intensity index classification of rainfall process at single station

降雨过程综合强度等级	特强	强	较强	中等
单站点降雨过程指数范围	$1 \leq RSI \leq 4$	$4 < RSI \leq 8$	$8 < RSI \leq 12$	$12 < RSI \leq 16$
级别分值	1	2	3	4

### 1.2.2 高程指数(E)算法

根据程维明等(2009)研究,我国的基本地貌类型可通过DEM进行定量提取获得。根据海拔高度不同大致可分为平原( $<30$  m),台地( $>30$  m),丘陵( $<200$  m),小起伏山地( $200 \sim 500$  m),中起伏山地( $500 \sim 1000$  m),大起伏山地( $1000 \sim 2500$  m)和

极大起伏山地( $>2500$  m)。参考该研究成果,并综合考虑我国洪涝灾害主要分布于我国第二、第三阶梯的特点,分别以200、500和1000 m为界,将海拔高程对洪涝灾害的影响划分为4级,并赋以影响分值如表3所示。

表 3 高程指数分级表

Table 3 Terrain height index classification

致灾程度等级	极易发灾	易发灾	较不易发灾	基本不发灾
高程/m	$<200$	$200 \sim 500$	$500 \sim 1000$	$>1000$
级别分值	1	2	3	4

### 1.2.3 高程标准差指数算法

根据隋刚等(2010)研究,当选择合适的栅格空间分辨率,利用高程标准差可较好地反映地形起伏度。其中标准差为0~10地势比较非常平坦,基本

是耕地;10~30为相对平坦的草地,30~50为起伏的丘陵,大于50的基本上都是沟壑纵横的山区。高程标准差分级情况详见表4。

表 4 高程标准差分级表

Table 4 Height standard deviation index classification

致灾程度等级	极易发灾	易发灾	较不易发灾	基本不发灾
高程标准差/m	$<10$	$10 \sim 30$	$30 \sim 50$	$>50$
级别分值	1	2	3	4

### 1.2.4 河网密度指数算法

河网密度是流域结构特征的一个重要指标。河网密度是指一个流域内河流的总长度和流域总面积之比,也可定义为单位面积内河道的总长度。河网密度高的区域,流域径流汇流快,而暴雨转化为地下水的部分相对较小,且洪峰流量也就大,遭遇洪水危险性也较大(黄诗峰等,2001;石林等,2009)。参照黄诗峰等(2001)研究方法,河网密度可用公式表示:

$$D = \frac{L}{A} = \frac{nl}{na} = \frac{l}{a} \quad (3)$$

式中, $L$ 为流域内河流总长度; $A$ 为流域面积; $n$ 为流域内河段总段数; $l$ 为平均河长; $a$ 为平均相邻面积。

在实际计算中,可计算每个网格内的河流长度,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,将1、2、3、4、5和其他级河流分别赋予5、4、3、2、1的权重,具体计算过程采用ArcGIS中的Line Density工具。然后运用线密度计算方法对河网密度进行分析计算,从大到小分别赋以河网危险性指数1、2、3,

4, 分别表示极易发灾、易发灾、较不易发灾和基本不发灾区域(表 5)。

表 5 河网密度分级表

Table 5 River density classification

致灾程度等级	极易发灾	易发灾	较不易发灾	基本不发灾
河网密度/ $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$	0.16~0.33	0.1~0.16	0.05~0.1	0~0.05
级别分值	1	2	3	4

### 1.2.5 土壤类型指数算法

土壤类型不同,其透水性也不相同,当暴雨发生时,将对洪水在地表上的再次分配起到一定的调节作用。在其他几个因子不变的前提下,下渗多即下渗率大则形成径流的水量少,反之下渗少即下渗率小则形成地表径流多,更易引起洪涝灾害。而下渗率的大小与土壤颗粒大小密切相关(郭晓军等, 2012)。

土壤质地是土壤物理性质之一,指土壤中不同大小直径的矿物颗粒的组合状况。HWSD 采用的土壤分类系统为 FAO-90 (The Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO; 即联合国粮食及农业组织),将全球土壤类型中的土壤颗粒按照颗粒大小分为粉砂(直径小于 0.002 mm)、细砂(0.002~0.05 mm)、粗砂(0.05~2 mm)。根据三种颗粒所占比例的不同,HWSD 中将土壤质地分为 13 种类型,如图 2 所示。

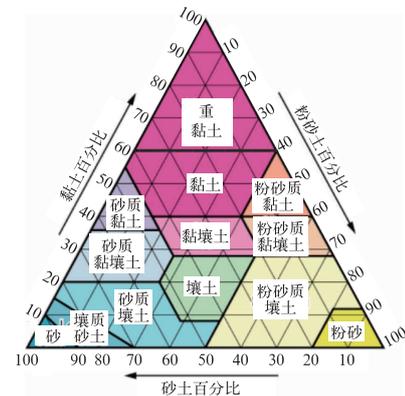


图 2 土壤质地类型与颗粒含量关系图

Fig. 2 Relationship between soil texture type and particle concentration

根据此图及 FAO-90 对各种土壤类型中三种土壤颗粒百分含量的资料,并结合考虑土壤的渗透率和产流能力的大小,将土壤类型对暴雨灾害的影响划分为 4 个级别(表 6):

表 6 土壤类型对产流影响分级表

Table 6 Classification of impact of different soil types on runoff yield disaster

产流等级	极易产流	交易产流	普通产流	不宜产流
土壤类型	黏壤土、粉质黏壤土、砂质黏土、粉质黏土和黏土	砂质黏壤土	粉砂土和壤土	砂土、壤质砂土和砂质壤土
级别分值	1	2	3	4

### 1.2.6 承灾体统计资料的空间化

根据 1.2.1~1.2.5 中各个因子的分析法,应用式(1)计算得出暴雨灾害综合风险划分结果后,还需要对不同风险等级下的影响城市和农村人口以及用地面积等情况做出定量影响评价。对于城市和农村土地利用数据,可以通过 MODIS 遥感影像直接获取后应用 GIS 进行叠加分析;而对于人口数据,则需要进行空间离散化处理,也即是计算其在相应土地利用类型上的分布密度。人口密度的计算公式为:

$$\bar{W}_{ijm} = W_{ij} / A_{ijm} \quad (4)$$

式中,  $\bar{W}_{ijm}$  为第  $i$  个行政县  $j$  类人口在第  $m$  类土地利用类型空间上分布的单位面积数量,即人口分布密度。  $W_{ij}$  为第  $i$  个行政县  $j$  类人口的总和,  $A_{ijm}$  为

第  $i$  个行政县  $j$  类人口的总和所对应的  $m$  类土地利用类型的总面积。

## 2 暴雨灾害综合风险及影响评估应用检验——以京津冀地区“7·21”暴雨为例

### 2.1 暴雨灾害风险及影响评估

#### 2.1.1 降雨实况及降雨综合强度等级评判

2012 年 7 月 21 日 08 时至 23 日 08 时,京津冀地区出现 1951 年以来最强降雨过程。强降雨时段主要出现在 21 日。河北中北部、北京、天津等地大部地区出现暴雨或大暴雨,部分地区出现日降雨量

大于 250 mm 的特大暴雨。气象监测显示,有 17 个国家气象观测站过程累计雨量超过 200 mm,其中河北固安 372 mm,北京房山区的霞云岭 337 mm,门头沟 313 mm(图 3a)。

按照王莉萍等(2015)文献中暴雨区分类评判标准,京津冀地区属于降雨第Ⅲ类区。首先确定该区域的暴雨强度和持续时间以及该降雨类区的上述两

项因子等级阈值,然后运用暴雨灾害综合风险评估模型中致灾因子评判模块计算输出京津冀地区此次暴雨过程综合强度等级分布,结果如图 3b 所示。可见,京津冀中北部大部地区降雨综合强度评价为中等强度以上,其中北京大部地区、河北省保定北部、廊坊、保定北部、及承德地区中东部、秦皇岛西北部、唐山西部等地降雨综合强度等级为特强。

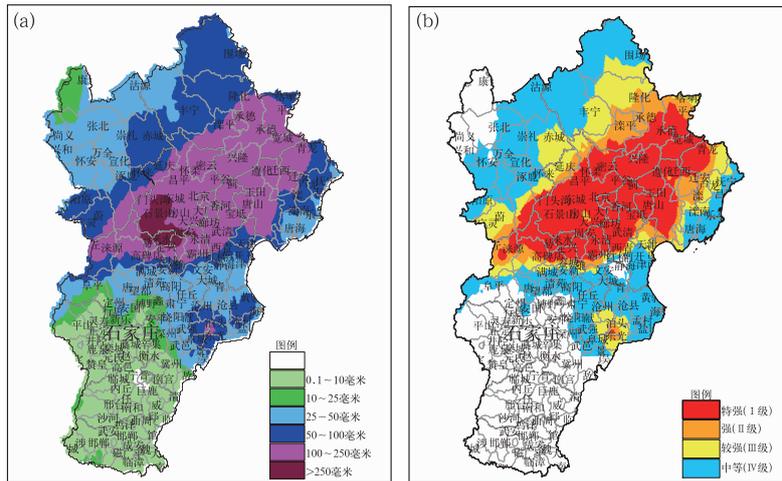


图 3 2012 年 7 月 20 日 08 时至 23 日 08 时京津冀地区  
累计降水量实况(a)及暴雨综合强度等级图(b)

Fig. 3 Cumulative observed rainfall diagram of JING-JIN-JI  
Region (a) and the heavy rain comprehensive intensity distribution (b)  
from 08:00 BT 20 to 08:00 BT 23 July 2012

2. 1. 2 暴雨灾害综合风险评估

将上述降雨综合强度评判输出结果数据结合京津冀地区各地暴雨致灾环境数据(包括高程、高程差、土壤类型、河网密度),应用公式(1)分析计算出此次降雨过程的灾害风险分布,结果如图 4 所示:北京、天津及河北沧州南部、保定北部、承德中南部、秦皇岛西部、唐山中西部等地均出现高等级以上风险,其中北京城区、房山、大兴、通州和石景山东部、门头沟东部、昌平东南部、怀柔东南部、密云南部、平谷西部,河北保定东北部、唐山西部、廊坊,天津西北部等地暴雨风险等级为极高;而对于暴雨综合强度为极强的河北承德中东部、秦皇岛西部、保定西北部,北京门头沟西部,石景山西部等地由于环境因素脆弱性较发生极高风险地区的脆弱性等级低(图略),不利于暴雨灾害的发生,所以综合风险等级降低。

2. 1. 3 暴雨灾害综合影响评估

暴雨灾害综合影响评估是在基于过程降雨的灾害危险性结果的基础上,计算出不同等级风险区范

围内的农用地或城镇用地数量,并根据农业人口和城镇人口的分布密度计算出各自受影响的人数。

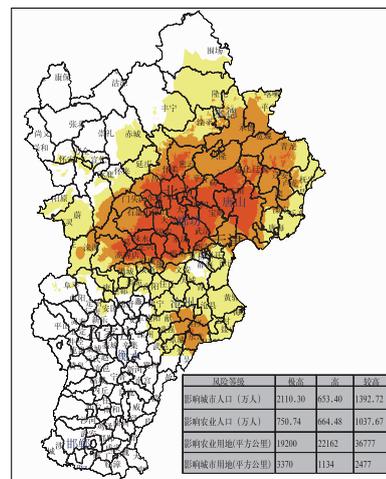


图 4 2012 年 7 月 20 日 08 时至 23 日 08 时  
京津冀地区暴雨灾害综合风险等级评估图  
Fig. 4 Assessment of integrated risk grades  
of rainstorm disaster over the JING-JIN-JI  
Region from 08:00 BT 20 to 08:00 BT 23 July 2012

将暴雨灾害综合风险等级结果同经过离散化处理的人口数据以及经过筛选归类后的农业和城市用地情况进行叠加分析,运用相关技术分析输出不同

暴雨灾害综合风险等级下的影响城市和农村的人口及土地面积情况,详细结果见表7所示。

表7 不同风险等级下影响城市与农村的人口和用地情况  
Table 7 Population and land use situation in urban and rural areas with different risk grades

风险等级	极高	高	较高
影响城市人口/万人	2110.30	653.40	1392.72
影响农村人口/万人	750.74	664.48	1037.67
影响城市用地/km <sup>2</sup>	19200	22162	36777
影响农村用地/km <sup>2</sup>	3370	1134	2477

从表7中可以看出,由于极高风险区主要位于北京、天津等城市人口密集地区,因此该等级下影响城市人口约2110万人,明显高于影响的农村人口(约750万);但由于城市面积远远小于农业面积,因此,极高风险等级下影响的农业用地面积约19200 km<sup>2</sup>,远远高于城市面积(约为3370 km<sup>2</sup>)。

## 2.2 评估结果检验

从以上针对京津冀地区“7·21”暴雨灾害综合风险及影响评估来看,结果基本和事实灾情相符合。京津冀地区此次暴雨过程为该地区61年来最强暴雨及洪涝灾害,尤其北京地区本次降雨总量之多、强度之大、历时之长、局部洪水之巨均是历史罕见(湛芸等,2012;孙军等,2012;周宁芳,2012)。此次降雨过程导致北京全区成灾面积14000 km<sup>2</sup>,160.2万人受灾;全市道路、桥梁、水利工程多处受损,全市民房倒塌10660间多处,几百辆汽车损失严重;全市经济损失116.4亿;并造成79人遇难(王海亮,2012)。遇难人口主要分布于北京西南房山区的拒马河流域、京港澳高速及附近地区,市区内也由于道路积水、漏电等原因出现人员溺亡等事件。在“7·21”特大自然灾害中,房山是重灾区,特大暴雨造成直接经济损失超50亿,区内80%以上人口受灾。

由于北京城区位于平原地带,从地形因素上分析,发生暴雨后,积水不容易排出,由地形引起的暴雨敏感性较高;从地面渗水率来讲,城市区域不透水面积比重较大,不便于积水的下渗和及时排出;当然,由于本次暴雨过程的极端性极强,城市规划中部分防灾设施和防灾能力不足也是造成此次特大暴雨灾害的原因之一。另外,从影响人口数量的角度来看,由于城市地区人口密度大,即体现的灾害风险暴露性也大;因此综合计算出的北京地区暴雨极高风险

区影响人员在城区要普遍高于农村。

## 3 结论与讨论

运用本研究模型,结合中央气象台实时QPF预报产品、降雨实况等资料,针对我国南方地区2015年6月1—3日、13—14日和17—18日发生的几次明显暴雨过程进行了动态跟踪评估和预评估,并进行了多次业务检验,确定本模型对暴雨灾害综合风险和影响评估结果比较合理。目前,经国家气象中心认可,部分输出评估结果已经应用于决策服务材料撰写内容之中,部分评估结果还被用于相关部级联合会商中做了相应会议报告。

暴雨灾害综合风险评估结果可大致反映出暴雨灾害综合风险分布趋势及状况;不同风险等级下影响的城市和农村人口数量及土地面积能够为防灾减灾采取何种程度防御措施提供更定量的参考依据和更针对的决策建议。本研究成果的意义主要表现在以下三个方面:

(1)本研究中,在暴雨致灾因子危险性方面由于已经考虑了暴雨在不同区域的致灾特征,在全国范围内划分了不同的降雨类区,因此该评估模型可以针对全国任意区域暴雨过程的危险性以及可能的灾害影响进行跟踪评估判定。

(2)在全国范围内,结合暴雨预报产品和暴雨实况资料,对任意区域暴雨来临之前、或者暴雨进行中、暴雨结束之后,均可迅速评定可能发生的、正在发生、或者已经发生的暴雨风险等级大小。

(3)结合GIS技术,可以针对分析得出的风险分布结果分别给出不同风险等级范围内影响的城市和农村的人口数量、土地面积等定量影响分析结果。

国家气象中心作为国家级气象业务单位,经常

需要为国务院和党中央提供全国各个区域范围内的重大气象信息保障服务。运用此研究模型可以制作并提供在暂且不考虑各地区防灾减灾能力的前提下的、全国不同区域范围内的、具有业务应用价值的暴雨灾害风险预警和评估产品。

但是,由于受资料获取难度等限制,本研究在承灾体定量评估方面只考虑了城市和农村的人口、土地影响情况,而实际上暴雨灾害的承灾体不仅人口、土地两大类,还应包括不同建筑物、不同行业等内容,即使单就对土地影响来讲,除了城市用地和农村用地之分,还可以分为森林、草原、耕地、水体、旱地、沙漠等多种类别,在后期研究中将进一步增加承灾体数据的种类、提高相应数据的精度。

### 参考文献

- 王海亮. 2012. 北京 7·21 特大暴雨遇难者人数升至 79 人. 人民网. 2012-08-06.
- 卞洁, 李双林, 何金海. 2011. 长江中下游地区洪涝灾害风险性评估. 应用气象学报, 22(5): 604-611.
- 陈艳秋, 袁子鹏, 盛勇, 等. 2007. 辽宁暴雨事件影响的预评估和灾后速评估. 气象科学, 27(6): 626-632.
- 湛芸, 孙军, 徐珺, 等. 2012. 北京 7·21 特大暴雨极端性分析及思考 (一) 观测分析及思考. 气象, 38(10): 1255-1266.
- 程维明, 周成虎, 柴慧霞, 等. 2009. 中国陆地地貌基本形态类型定量提取与分析. 地球信息科学学报, 11(6): 725-736.
- 隋刚, 郝兵元, 彭林. 2010. 利用高程标准差表达地形起伏程度的数据分析. 太原理工大学学报, 41(4): 381-401.
- 樊高峰, 何月, 顾骏强. 2012. 基于 GIS 的浙江省暴雨灾害及其危险性评价. 中国农学通报, 28(32): 293-299.
- 扈海波, 轩春怡, 诸立尚. 2013. 北京地区城市暴雨积涝灾害风险预评估. 应用气象学报, 24(1): 99-108.
- 扈海波, 张艳莉. 2014. 暴雨灾害人员损失风险快速预评估模型. 灾害学, 29(1): 30-36.
- 黄诗峰, 徐美, 陈德清. 2001. 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, 10(4): 129-132.
- 郭进修, 王秀荣, 王维国. 2006. 中国气象地理区划手册. 北京: 气象出版社.
- 郭晓军, 崔鹏, 朱兴华. 2012. 泥石流多发区蒋家沟流域的下渗与产流特点. 山地学报, 30(5): 585-591.
- 李春梅, 刘锦鑫, 潘蔚娟, 等. 2008. 暴雨综合影响指标及其在灾情评估中的应用. 广东气象, 30(4): 1-4.
- 李兰, 周月华, 叶丽梅, 等. 2013 年, 基于 GIS 淹没模型的流域暴雨洪涝风险区划方法. 气象, 39(1): 112-117.
- 李军玲, 刘忠阳, 邹春辉. 2010. 基于 GIS 的河南省洪涝灾害风险评估与区划研究. 气象, 36(2): 87-92.
- 卢燕宇, 田红. 2015. 基于 HBV 模型的淮河流域洪水致灾临界雨量研究. 气象, 41(6): 755-760.
- 孟翠丽, 匡昭敏, 李莉, 等. 2013. 基于 GIS 的广西暴雨灾害风险实时评估技术研究. 中国农学通报, 29(26): 184-189.
- 彭鹏, 张韧, 洪梅, 等. 2015. 气候变化影响与风险评估方法的研究进展. 大气科学学报, 38(2): 155-164.
- 石林, 曾光明, 张硕辅, 等. 2009. 基于 GIS 的复杂河网区域洪水灾害风险评价. 湖南大学学报(自然灾害版), 36(7): 68-72.
- 孙军, 湛芸, 杨舒楠, 等. 2012. 北京 721 特大暴雨极端性分析及思考 (二) 极端性降水成因初探及思考. 气象, 38(10): 1267-1277.
- 王莉萍, 王秀荣, 王维国. 2015. 中国区域降水过程综合强度评估方法研究及应用. 自然灾害学报, 24(2): 186-194.
- 文明章, 林昕, 游立军, 等. 2013. 山洪灾害风险雨量评估方法研究. 气象, 39(10): 1325-1330.
- 杨辰, 王强, 金雪欢, 等. 2015. 基于 GIS 的上海市社区暴雨积涝模拟研究. 自然灾害学报, 24(2): 195-202.
- 袁慧敏, 王秀荣, 范广洲, 等. 2012. 长江中下游沿江地区暴雨过程综合评估模型及应用. 气象, 38(10): 1189-1195.
- 袁祝香, 孙力, 刘实. 2009. 东北地区重大暴雨过程评估方法研究. 灾害学, 24(2): 61-64.
- 殷杰, 尹占娥, 王军, 等. 2009. 基于 GIS 的城市社区暴雨内涝灾害风险评估. 地理与地理信息科学, 25(6): 92-95.
- 张洪玲, 宋丽华, 刘赫男, 等. 2012. 黑龙江省暴雨洪涝灾害风险区划. 中国农业气象, 33(4): 623-629.
- 张容焱, 游立军, 高建芸, 等. 2013. 统计方法与淹没模型结合的山洪灾害风险评估方法及其应用. 气象, 39(12): 1642-1648.
- 郑国, 薛建军, 范广洲, 等. 2011. 淮河上游暴雨事件评估模型. 应用气象学报, 22(6): 753-759.
- 周宁芳. 2012. 2012 年 7 月大气环流和天气分析. 气象, 38(10): 1307-1312.