

洪涝灾害风险监测预警评估综述

廖永丰¹, 聂承静^{2,3}, 杨林生², 李海蓉²

(1. 民政部国家减灾中心, 北京 100053; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:随着全球气候变暖,洪涝灾害愈加频繁,灾害风险监测预警评估作为防灾减灾的重要基础成为当前灾害学研究的核心内容之一。本文在总结国内外灾害研究和应用的基础上,阐述了洪涝灾害风险监测预警评估的概念、内容、评估的基本思路和监测预警的技术方法。本文提出:①应结合中国实际,加强洪涝灾害的基础研究,深入机理层面探索洪涝灾害的孕育、发生机制,以及减少洪涝危险性和承灾体脆弱性分析的不确定性。②以研究技术手段的进步促进洪涝灾害风险监测预警评估的发展,改进传感器性能,提高监测精度;综合多源遥感和各种基础数据;进一步发展“3S”集成技术。

关 键 词:洪涝灾害;风险;监测预警;评估;综述

1 引言

洪涝灾害是世界上发生非常频繁,危害非常严重的自然灾害之一。据统计,目前全球各种自然灾害所造成的损失,洪涝占40%,热带气旋占20%,干旱占15%,地震占15%,其余占10%^[1]。近年来,中国洪涝灾害的发生越来越频繁,强度越来越大,对人类社会、经济、生态环境造成的影响和破坏也越来越严重^[2]。由于对洪涝灾害的发生缺乏足够的思想和物质准备,而导致的灾害损失加重的事件屡见不鲜。因而加强洪涝灾害风险监测预警评估,进行科学的灾害风险管理,具有非常重要的现实意义。

联合国国际减灾战略计划(International Strategy for Disaster Reduction, ISDR),把提高灾害风险意识和加强灾害风险管理作为可持续发展的重要组成部分,进而建立具有较强、较全面的防灾抗灾能力的和谐社会,来减轻灾害对人类、社会、经济与环境造成的损失。灾害风险监测预警评估是灾害风险管理的重要基础,重视对洪涝灾害危险性、承灾体脆弱性的监测,加强灾害预测和评估系统的建设,加强防灾减灾设施的建设是当前防灾工作和灾害研究的当务之急^[3]。欧洲ICT项目(Urban Flood for Environmental Services and Climate Change Ad-

aptation)对于洪涝灾害的首要目标就是建立早期预警系统来监测洪水实时保护系统,确定脆弱地区,预测堤防崩溃和淹没范围,作为决策支持系统,减轻洪水的灾难性影响^[4]。

目前洪涝灾害风险监测预警评估渐趋广泛,越来越多的学科融入到灾害风险评估中,对洪涝灾害的活动要素分析日趋广泛深入,但仍未形成自身完善的理论体系。中国在洪涝灾害风险的概念、评估内容、数学方法的应用、监测预警技术手段等方面仍有许多亟需解决的关键问题。

2 灾害风险监测预警评估的概念

灾害风险是致灾因子与承灾体相互作用的产物。从系统论的观点来看,洪涝与承灾体之间相互作用,相互影响,形成了一个具有一定特征、结构和功能的,复杂地球表层变异系统。它具有不确定性、开放性、动态性、非线性等特征^[5]。

“风险”一词从不同的学科、领域,其定义不同。近几年,风险被逐步引入到自然灾害研究领域。联合国人道主义事务部于1992年公布了自然灾害风险的定义:风险是在一定区域和给定时段内,由于特定的自然灾害而引起的人民生命财产和

收稿日期:2011-10; 修订日期:2012-02.

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q03-01);国家科技支撑计划课题(2008BAK50B05, 2006BAD20B04)。

作者简介:廖永丰(1974-),男,甘肃人,博士,副研究员,主要从事灾害风险评估、灾害管理领域研究。

E-mail: liaoyongfeng@ndrcc.gov.cn

经济活动的期望损失值。为了进行风险大小的比较,人们提出各种风险量化的方法,也称为风险度。对自然灾害风险定义不同,相应的风险度表示也有不同,常见有以下4种^[6]:①风险度(Risk)=危险度(Hazard)×易损度(Vulnerability);②风险度(Risk)=危险度(Hazard)+易损度(Vulnerability)^[7];③风险度(Risk)=概率(Probability)×损失(Loss)^[8-9];④风险度(Risk)=危险度(Hazard)×结果(Consequence)^[10-11]。近年来,随着对自然灾害风险认识的不断深入,国内外学者对联合国国际减灾战略给出的表达式,即“风险度(Risk)=危险度(Hazard)×易损度(Vulnerability)”的认可度最高。

灾害风险监测预警评估是指通过对可能造成威胁或伤害的致灾因子的监测,对处在灾害物理暴露之下潜在受灾对象(生命、财产和人类依赖的环境等)及其脆弱性的分析辨识,从而判定风险的性质、范围和程度^[12]。洪涝灾害风险的监测预警评估是一项在洪涝危险性、承灾体脆弱性及相关的不确定性研究的基础上进行的多因子综合析工作^[13],主要包括对洪涝风险统计特征的辨识、实时险情的监测和预报、损失的评估及其警报发布范围与时机的判断等。洪涝灾害风险监测预警评估能力提高,离不开现代化的雨情、水情、险情、承灾体情况及灾情的监测、通讯及信息处理系统的发展。地球监测技术有助于提高洪涝灾害模型的准确性,还可以用来评估居民财产、基础设施和农作物的损失^[14]。

3 灾害风险监测预警评估内容

结合国内外洪涝灾害风险监测预警研究和应用的现状,洪涝灾害风险监测主要解决的问题可概况为以下3个方面:①动态获取洪涝灾害发生的时间、范围、强度及发展态势、持续时间和影响;②从气候系统内多圈层相互作用出发,对大气圈、水圈、生物圈、岩石圈之间的水分转换及相互作用进行长时间的观测,为洪涝形成机理、变化和致灾规律、预测预警、评估等科学研究和实践应用,提供基本观测资料。③监测洪涝可能发生区承灾体数量、脆弱性等特征。针对洪涝灾害风险,灾害监测主要分为地面台站观测和空中遥感监测^[15],这两种监测手段相互补充和印证,构成完整洪涝监测系统。地面监测主要以水为中心开展^[16-17],监测手段主要以各类设备实时监测为主,同时开展相关的调查工作。其

监测主要考虑气象因素、水文因素、土壤因素、植被因素、人口因素、建筑因素等自然和社会因素。空中监测主要以RS、GIS技术为手段。近年来,空中监测大大提高了中国防洪减灾效率,将在下文中给予详细论述。

21世纪初,“国际减灾战略”提出自然灾害风险评估从致灾因子和承灾体的脆弱性进行分析和评估后,国内外学者多依此提法来进一步界定风险评估的内容。据此理解,洪涝灾害风险评估主要包括以下3项内容^[18]:洪涝危险性评估、承灾体脆弱性评估、灾害风险综合评估。

(1) 洪涝危险性评估,即以洪涝灾害的自然属性为出发点,主要包括洪涝灾害的强度、频率和孕灾环境。孕灾环境是灾害孕育、产生、发展的大环境,包括自然环境和人为环境,孕灾环境的稳定度将直接影响灾害的强度及频度^[19]。近年来,气象数据比较准确和完全,对洪涝灾害的危险性研究也较多^[20-21],但对洪涝灾害的孕育、发生机制的认识仍然不够深入,还存在很大的不确定性。

(2) 承灾体脆弱性评估,是指承灾体受到洪涝灾害风险冲击时的易损程度。承灾体脆弱性主要表现在3个方面:承灾体的物理暴露性、承灾体的敏感性、抗灾减灾能力。虽然目前一致认为脆弱性是造成灾害风险不可或缺的因素^[22],但是关于洪涝灾害脆弱性的认识仍处于起步阶段,仍有许多关键问题尚未得到很好的解决,如洪涝脆弱性的描述,数量化、机制模型等模型化方法的选取等。

(3) 灾害风险综合评估,即在洪涝危险性评估和承灾体脆弱性评估的基础上,对一定危险性的洪涝灾害风险的综合估算。该估算可以是定性的,也可以是定量的;可以是绝对量化的方法,也可以是相对的评估方法^[23]。李开忠等^[24]构建了中国不同区域,受灾人口、紧急转移人口、死亡人口、农作物受灾面积、农作物绝收面积、房屋倒塌以及直接经济损失等7个要素的洪水灾害强度等级损失关系曲线和损失标准,将洪涝灾害风险评估向定量研究推进了一大步。但中国灾害信息统计仍不完善,数据质量有待提高,灾损曲线和损失标准还有待进一步完善。

4 灾害评估的基本思路

洪涝灾害风险监测预警评估主要有以下5个步骤^[25]:①确定灾害风险评估单元。目前国内外洪

涝灾害风险评估单元主要有2类,一是基于面状的矢量评估单元;二是基于点状的栅格评估单元。具体评估单元的确定,主要根据工作所需达到的目标来确定。②确定灾害评估的主要内容。洪涝危险性、承灾体脆弱性、灾害风险综合评估,选择相应的指标并确定各指标的权重。③选择灾害风险评估所需要的数据、图件,建立灾害数据库。洪涝灾害风险监测预警评估数据包括地面台站观测数据、空中遥感监测数据以及是各类基础地理、社会经济以及历史灾情数据^[26]。④构建洪涝灾害危险性、承灾体脆弱性评估模型,在GIS的支持下,利用其空间分析、以及属性数据库操作等功能,对其进行评估。⑤建立洪涝风险综合评估模型,进行灾害风险分等,最后得到灾害综合风险区划并进行预警。其技术路线如图1。

5 灾害风险评估方法与技术手段

5.1 数学评估方法的应用

近年来,有不少学者和研究机构对洪涝灾害风险监测预警评估提出过一些方法,但迄今为止尚未形成统一的综合评估方法^[27-29]。目前常用的数学评

估方法有:特尔菲法、层次分析法、模糊数学法、人工神经网络法、概率模型、灰色系统模型、动力学模型等。下面简单介绍几种:

- (1) 特尔菲法 特尔菲法是在预测领导小组的主持下,就某个科学技术课题向有关专家发出征询意见的调查表,通过匿名函询的方法请专家提出看法,然后由领导小组汇总整理,把整理结果作为参考意见再发给这些专家,进一步分析判断,提出新的论证。优点:匿名性、反馈性、收敛性、统计性,可以发挥专家的智囊团的作用。缺点:预测结果易受专家的主观意识和思维局限性的影响;调查表的设计对预测结果的影响较大。
- (2) 层次分析法 层次分析法是从定性分析到定量分析综合集成的典型的决策分析方法,它将人们对复杂系统的思维过程数学化,将人的主观判断为主的定性分析进行量化,将各种判断要素之间的差异数值化,帮助人们保持思维过程的一致性。洪涝灾害风险评估是一个复杂多层次的问题,利用层次分析法,就可以科学合理地确定各指标的权重,目前已经在洪涝灾害风险评估理论与实践中得到成功应用。
- (3) 模糊综合评估法 模糊数学方法是一种研

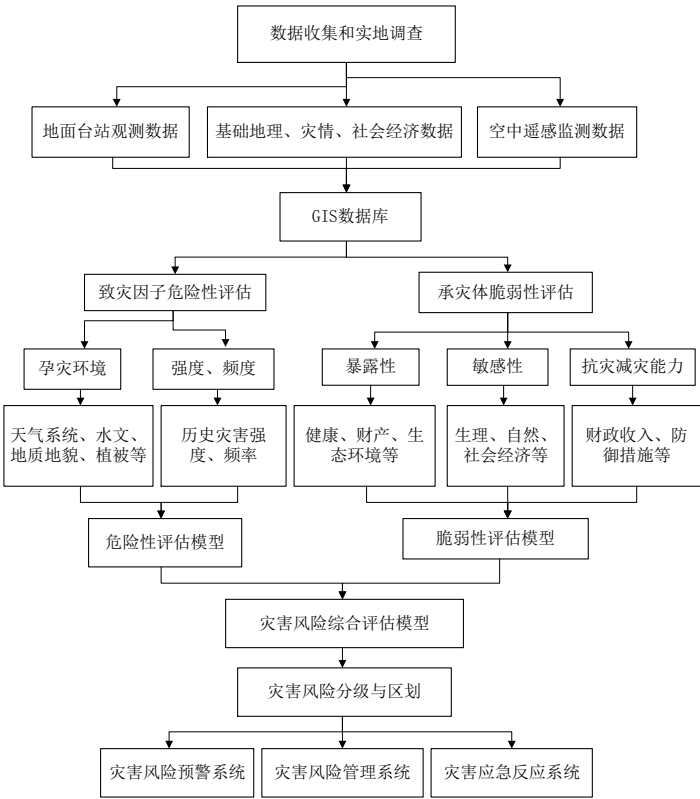


图1 洪涝灾害风险评估系统

Fig.1 The system of risk assessment of flood hazards

究和处理模糊现象的新型数学方法。它以模糊变换理论为基础,以模糊推理为主的定性和定量相结合、精确与非精确相统一。洪涝灾害无论其灾害风险本质、还是风险等级划分都具有模糊性、不确定性,利用模糊数学方法,就能将这些模糊问题量化。王建华^[30]、罗培^[31]等学者将模糊数学引入洪涝灾害风险评估中。

(4) 人工神经网络法 人工神经网络法能够在完全不知道变量和自变量之间确切函数关系式的情况下较好地实现各参数之间的非线性映射,从实例样本中提取特征、获得知识,并通过使用残缺不全的或模糊随机的信息进行不确定性推理和预测。胡亦知^[32]采用BP神经网络模拟专家预测潮位的思维方法,通过大量历史资料自我学习建立台风增水智能预报模型,可为洪涝灾害危险性评估提供了重要依据。

5.2 RS、GIS技术在洪涝灾害风险监测预警评估中的应用

5.2.1 RS、GIS技术应用的原理与优势

随着 RS(Remote Sensing)、GIS(Geographic Information System)、GPS(Global Positioning System)技术的不断发展,“3S”技术越来越多的应用于孕灾环境监测、灾害动态监测、承灾体脆弱性评估^[33]、预报预警、灾害成因分析、灾害调查和灾后评估等多个方面。与传统技术相比,遥感技术在自然灾害监测预警评估中具有独特的优势与潜力,主要体现在快速、准确、客观、灵活机动和系统集成等方面^[34],克服了常规站网监测在空间视野上、时相(天候)和可观察域(波段)方面的限制^[35],可以对洪涝灾害发展的全过程进行监测^[36]。

近年来,遥感技术快速发展,可供选择的遥感数据源种类越来越多。可以根据不同的需求(如监测范围大小、时间紧迫性、监测精度、数据可得性等)选择不同类型的遥感数据^[37]。一般来讲,洪涝灾害遥感监测可在5个级别的数据平台上进行^[38]:气象卫星、星载SAR、机载SAR、中分辨率的MODIS卫星、直升机。近年来发展起来的无人机技术,可为洪涝灾害风险的监测预警评估提供更多的第一手资料。这些不同波段、不同平台的遥感信息,通过一定的数字变换进行信息复合分析,可相互取长补短,相互结合形成洪水灾害的全方位立体监测系统,获取最佳专题信息。世界银行组织在对灾害的研究中,提出了应用多种数据源的融合来研究灾害

风险^[39]。

GIS主要用于数据管理和空间分析等,它可将各种基础地理数据、气象数据、遥感数据、社会经济数据和历史灾情数据等进行综合管理和分析^[40]。GIS在利用栅格数据层建立数学模型,模拟洪涝灾害风险等复杂模糊的自然社会现象及系统过程具有很强优势。

5.2.2 RS、GIS技术的应用

遥感技术在世界各国洪涝灾害监测、预警、评估中得到广泛应用。20世纪80年代,中国发射气象卫星之后,应用气象卫星数据研究天气系统,提高洪涝灾害天气预测预报技术即被列为重点项目,并不断取得进展。“七五”期间水利部遥感技术应用中心主持完成了国家重点科技攻关项目“防洪遥感应用试验”。“八五”期间又建立了具有世界领先技术水平的实时监测洪涝灾害的“机—星—地”信息系统。该系统利用机载侧视雷达快速获取的数据,结合TM数据,通过复合处理,可得到较清晰的TM假彩色合成影像^[41]。“九五”期间,中国科学院等单位完成了“洪涝灾情遥感速报系统”,系统有两种运行模式——灾区宏观监测评估与灾区的重点监测评估,两种模式都能够提供灾情分布、淹没范围、持续时间以及影响程度等灾情信息^[42]。

1998年,长江流域发生新中国成立以来仅次于1954年的全流域特大洪水,东北的嫩江、松花江也同时发生百年一遇的特大洪水。国家遥感中心组织中国科学院遥感应用研究所、水利部遥感技术应用中心、国家卫星气象中心、中国科学院遥感卫星地面站和国家测绘局等单位采用NOAA/AVHRR气象卫星数据、Radarsat卫星SAR数据等,进行了几十次动态监测,利用“机—星—地”信息系统、国家“863”计划机载雷达系统和国家测绘局的航测遥感系统开展了大量的洪涝灾害监测评估工作。各类遥感图像、受灾地区的受淹范围和土地利用专题图以及灾情分析报告等被及时送到国家防汛抗旱总指挥部办公室或通过国家遥感中心送到国务院及相关省市防汛部门,为防洪减灾和救灾以及灾后重建和防洪规划提供了科学依据^[43-44]。

在沿海地区,台风是洪涝灾害的主要致灾因子之一。随着计算机技术发展,国家卫星气象中心^[45]完成了“卫星监测台风信息自动处理系统”,于2001年年初开始在国家卫星气象中心遥感监测服务室经过试运行后正式投入业务运行,并在国家卫星气

象中心遥感监测服务室的“卫星气象与环境监测”网站上实时对外发布。各地区依据中国气象局台风业务规范,建立了台风业务应用和预警系统。如曾明剑^[46],江春发等^[47]分别建立了以江苏省和厦门市为研究区的台风业务应用和预警系统。系统集报文解码、多家预报路径功能显示、预报发布、历史相似性查询、登陆台风“移行路径分类概念模式”、台风中心的云图定位及诸多辅助工具于一体。地图信息的丰富性比较突出,基本达到台风预警的目的。

气象预报是洪涝灾害风险监测预警评估的重要组成部分。目前,数值天气预报已成为现代化气象预报业务的基础和提高准确率的最根本科学途径。国家科技部在“十五”国家重点科技攻关计划中启动了“中国气象数值预报系统技术创新研究”项目,全球资料(特别是卫星资料)三维变分同化和全球谱模式 T213L31 升级为 T639L60 的研发工作取得重大进展,为 2008 年北京奥运会服务的精细模式最高水平分辨率达到 1km。该模式在借鉴国际上几种较先进模式的基础上进行创新,解决了多普勒雷达等资料的变分同化,开发了符合我国天气实际情况的物理过程。中国近年发射的气象卫星“风云三号”,增加了微波遥感器和 250 m 分辨率的红外波段,可实现全球三维、全天候、多光谱、定量气象探测。但用于监测洪涝灾害的传感器,必须要有更高的分辨率,同时要有对水较为敏感的波段,这是“水”研究的基础^[48],中国的气象预报方法和手段取得重大进展,但与国际上先进国家相比,还存在很大的差距^[49]。主要是卫星等非常规观测资料的应用方面还相对落后,如遥感资料分辨率低,模式的发展相对缓慢也是一个很重要因素^[50]。

2007 年 5 月,中国加入了“空间与重大灾害国际宪章”,国际宪章旨在提供一套空间数据接收与交付的标准化系统,并通过授权用户向受到自然或人为灾害影响的地区提供服务。2007 年 7 月民政部国家减灾中心通过“空间和重大灾害国际宪章”获取安徽、四川和重庆洪水灾情的遥感数据,为减灾和救灾提供了具有重要价值的信息^[42]。新技术手段的出现与发展可以给一门学科注入强大的活力,促进其迅速发展。“对地观测系统”已经列入国家中长期科学和技术发展规划战略中,提出以应用为驱动,建立空、天、地一体化对地观测大系统,作为国家地球空间信息基础设施,为洪涝灾害监测预

警评估提供了良好的发展机遇。

6 研究展望

(1) 明确概念、加强基础研究

随着人类社会和科学技术的进步,人类的活动范围不断扩大,洪涝灾害风险评估的内涵和外延不断扩大,因此,应该从更加系统的视角去认识洪涝灾害风险,界定洪涝灾害风险的概念。洪涝灾害作为一门地球科学,其基础研究必须进入机理探索层面,深入研究洪涝灾害的孕育、发生机制,减少洪涝灾害危险性和承灾体脆弱性分析的不确定性。

(2) 加强承灾体脆弱性研究

目前的灾害风险评估多集中在洪涝灾害本身的危险性评估,对承灾体的脆弱性研究还相对滞后。所以,应加强承灾体脆弱性的调查研究,进一步丰富研究方法和模型,摸清承灾体脆弱性现状及其变化趋势。

(3) 改进传感器性能、加强多源遥感和各种基础数据的综合

由于灾害风险信息的多样性、时间需求的紧迫性,以及数据精度的要求,不可能用一种影像来完全满足灾害风险评估的要求,需要多种数据源信息进行耦合。因此,利用多源、多时相遥感影像和各类信息系统,如中国基本国情信息系统、经济信息系统、资源环境信息系统等^[41]来进行灾害风险监测、预警、评估是一种重要的选择。

(4) 进一步发展“3S”集成技术

目前,“3S”集成技术已取得显著成效,RS 影像识别可以在 GIS 支持下改善其精度和判读的准确性,GPS 为用户提供空间定位信息,可及时修正和补充 RS 和 GIS 数据等。面对灾害风险的时效性、定量化、自动化要求,仍有许多方面有待进一步发展,如在遥感影像上自动提取淹没区范围、受灾区的承灾体状况等技术还不成熟。

参考文献

- [1] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评估与管理的数量化方法及其应用. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [2] 王静爱, 史培军, 朱骊, 等. 中国沿海自然灾害及减灾对策. 北京师范大学学报: 自然科学版, 1995, 31(3): 104-109.
- [3] 孙绍骋. 灾害评估研究内容与方法探讨. 地理科学进展, 2001, 20(2): 122-130.

- [4] Gouldby B, Krzhizhanovskaya V, Simm J. Multiscale modelling in real-time flood forecasting systems: From sand grain to dike failure and inundation. *Procedia Computer Science*, 2010, 1(1): 809-809.
- [5] 黄崇福. 自然灾害风险评估理论与实践. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] 刘小艳, 孙娴. 气象灾害风险评估研究进展. *江西农业学报*, 2009, 21(8): 123-125.
- [7] Makrey A. *Disaster Mitigation: A Community Based Approach*. Oxford: Oxfam Professional, 1989.
- [8] Smith K. *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster*. New York: Routledge, 1996.
- [9] IUGS. Quantitative Risk Assessment for Slopes and Landslides: The State of the Art.//Cruden D M, Fell R. *Landslide Risk Assessment*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1997: 3-12.
- [10] Deyle R E, French S P, Olshansky R B. Hazard assessment: The factual basis for planning and mitigation.//Burby R J. *Cooperation with Nature: Confronting Natural Hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities*. Washington D C: Joseph Henry Press, 1998: 116-119.
- [11] Hurst N W. *Risk Assessment: The Human Dimension*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1998.
- [12] 葛全胜, 邹铭, 郑景云, 等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究. 北京: 科学出版社, 2008.
- [13] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评估与管理的数量化方法及其应用. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [14] Waisurasingha C, Aniya M, Hirano A, et al. Application of remote sensing and GIS for improving rice production in flood-prone Areas: A case study in lower Chi-River Basin, Thailand. *Jarq-Japan Agricultural Research Quarterly*, 2008, 42(3): 193-201.
- [15] 周成虎. 洪涝灾害遥感监测研究. *地理研究*, 1993, 12(2): 63-68.
- [16] Pulvirenti L, Chini M, Pierdicca N, et al. Flood monitoring using multi-temporal COSMO-SkyMed data: Image segmentation and signature interpretation. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(4): 990-1002.
- [17] Kuang K S C, Quek S T, Maalej M. Remote flood monitoring system based on plastic optical fibres and wireless motes. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2008, 147(2): 449-455.
- [18] van Manen S E, and Brinkhuis M. Quantitative flood risk assessment for polders. *Reliability Engineering & System Safety*, 2005, 90(2/3): 229-237.
- [19] Kasperson J X, Kasperson R E, Turner B L. *Regions at Risk: Comparisons of Threatened Environments*. Tokyo, New York, Paris: United Nations University Press, 1995.
- [20] Anselmoa V, Galeatib G, Palmieri S, et al. Flood risk assessment using an integrated hydrological and hydraulic modeling approach: A case study. *Journal of Hydrology*, 1996, 175(1-4): 533-554.
- [21] Davidson R A, Lamber K B. Comparing the hurricane disaster risk of U. S. coastal counties. *Natural Hazards Review*, 2001, 2(3): 132-142.
- [22] 周寅康. 自然灾害风险评估初步研究. *自然灾害学报*, 1995, 4(1): 6-11.
- [23] Martinelli L, Zanuttigh B, and Corbau C. Assessment of coastal flooding hazard along the Emilia Romagna littoral, IT. *Coastal Engineering*, 2010, 57(11-12): 1042-1058.
- [24] 蒋卫国, 李京, 陈云浩, 等. 区域洪水灾害风险评估体系(I): 原理与方法. *自然灾害学报*, 2008, 17(6): 53-59.
- [25] Robins C R, Buck B J, Williams A J, et al. Comparison of flood hazard assessments on desert piedmonts and playas: A case study in Ivanpah Valley, Nevada. *Geomorphology*, 2009, 103(4): 520-532.
- [26] Mazzorana B, Comit, F, Volcan C, et al. Determining flood hazard patterns through a combined stochastic-deterministic approach. *Natural Hazards*, 2011, 59(1): 301-316.
- [27] 李海萍, 彭望录, 赵济. 黄淮海平原历史早涝灾害的时间序列分析. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 1995, 31(4): 549-559.
- [28] 陈家其. 从太湖流域 1991 年 6-7 月特大洪涝论水旱规律研究的应用性. *地理学报*, 1992, 47(1): 1-5.
- [29] Xia J Q, Falconer R A, Lin B L, et al. Numerical assessment of flood hazard risk to people and vehicles in flash floods. *Environmental Modelling & Software*, 2011, 26(8): 987-998.
- [30] 王建华. 基于模糊综合评判法的洪水灾害风险评估. *水利科技与经济*, 2009, 15(4): 338-340.
- [31] 罗培. 基于 GIS 和模糊评估法的重庆洪涝灾害风险区划. *西华师范大学学报: 自然科学版*, 2007, 28(2): 165-171.
- [32] 胡亦知. 基于历史资料分析的台风水灾智能预警系统研究. *水文*, 2009, 29(4): 47-51.
- [33] Jain S K, Singh R D, Jain M K, et al. Delineation of flood-prone areas using remote sensing techniques. *Water Resources Management*, 2005, 19(4): 333-347.
- [34] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评估与管理的数量化方法及其应用. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [35] Sharma C S, Behera M D, Mishra A, et al. Assessing flood induced land-cover changes using remote sensing and fuzzy approach in Eastern Gujarat (India). *Water Resources Management*, 2011, 25(13): 3219-3246.

- [36] Marti-Cardona B, Lopez-Martinez C, Dolz-Ripolles J, et al. ASAR polarimetric, multi-incidence angle and multi-temporal characterization of Doñana wetlands for flood extent monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(11): 2802-2815.
- [37] Proud S R, Fensholt R, Rasmussen L V, et al. Rapid response flood detection using the MSG geostationary satellite. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2011, 13(4): 536-544.
- [38] 徐关, 黄诗峰, 李纪人. RS与GIS技术支持下的2003年淮河流域洪涝灾害快速监测与评估. *水利水电技术*, 2004, 35(5): 83-86.
- [39] Dyke G, Gill S, Davies R, et al. Dream project: Applications of earth observations to disaster risk management. *Acta Astronautica*, 2011, 68(1-2): 301-315.
- [40] Zhou Y X, Liu G J, Fu E J, et al. An object-relational prototype of GIS-based disaster database. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2009, 1(1): 1060-1066.
- [41] 戴昌达. 应用航天遥感技术监测评估洪涝灾情. *中国航天*, 1996, (2): 8-12.
- [42] 潘世兵, 李纪人. 遥感技术在水利领域的应用. *中国水利*, 2008(21): 63-66.
- [43] Guo H D. Space borne and airborne SAR for target detection and flood monitoring. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2000, 66(5): 611-617.
- [44] 魏成阶, 王世新. 1998年全国洪涝灾害遥感监测评估的主要成果: 基于网络的洪涝灾情遥感速报系统的应用. *自然灾害学报*, 2000, 9(2): 16-25.
- [45] 张晓虎. 卫星监测台风信息处理系统. *应用气象学报*, 2003, 14(4): 505-509.
- [46] 曾明剑, 于波, 周曾奎, 等. 台风业务应用和预警系统简介. *气象科学*, 2007, 27(4): 451-456.
- [47] 江春发, 王仁谦. 用GIS技术建立台风跟踪预警系统. *华侨大学学报: 自然科学版*, 2003, 24(1): 60-63.
- [48] Kuang K S C, Quek S T, Maalej M. Remote flood monitoring system based on plastic optical fibres and wireless motes. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2008, 147(2): 449-455.
- [49] Klemp, J B, Skamarock W C, Dudhia J. Conservative split-explicit time integration methods for the compressible nonhydrostatic equations. *Monthly Weather Review*, 2007, 135(8): 2897-2913.
- [50] 章国材, 娇梅燕, 李延香, 等. 现代气象预报技术和方法. 北京: 气象出版社, 2007.

An Overview of the Risk Assessment of Flood Disaster

LIAO Yongfeng¹, NIE Chengjing^{2,3}, YANG Linsheng², Li Hairong²

(1. National Disaster Reduction Center of China, Beijing 100053, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Graduate University of CAS, Beijing 100049, China)

Abstract: Along with the global warming, flood disasters occur more frequently. Monitoring, early warning and assessment for disaster risk are an important way to reduce disaster losses. So it is one of the core issues in the current disaster research. On the basis of the analysis of the disaster risk, this paper described the concept, the content of warning and assessment, and ways of assessment and methods of flood disaster warning in China. This paper argued that in order to reduce flood hazard and the uncertainty of vulnerability analysis, we should explore the mechanism of flood disaster. In addition, monitoring technology was so important for risk assessment that we should improve sensor performance to increase accuracy; integrate multi-source remote sensing data; develop the "3S" integrated technology.

Key words: flood disaster; risk; monitoring and warning; assessment

本文引用格式:

廖永丰, 聂承静, 杨林生, 等. 洪涝灾害风险监测预警评估综述. *地理科学进展*, 2012, 31(3): 361-367.