

# 洪水灾害脆弱性研究进展

石勇,许世远,石纯,孙阿丽,王军

(华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室,上海 200062)

**摘要:**洪水灾害是当今世界最严重的自然灾害之一,洪灾经济损失及风险评估是防洪减灾领域的一项基础性工作,而脆弱性的确定是评估模型的关键。文章在对自然灾害脆弱性评估方法总结的基础上,着重对洪水情景模拟中代表脆弱性的灾损率曲线开展探讨,对灾损曲线的起源、建立方法和综合运用的趋势进行研究。国外保险业与政府开展此类工作较早,相比于国外已经取得的丰硕研究成果而言,国内灾损率研究远远不能为决策提供有效的指导,这与我国面临的巨大洪灾风险不相称。政府、保险等部门与科研工作急需结合起来,填补城市洪灾脆弱性研究空白,多参数综合调研,深入各种承灾体内部系统而细致地开展灾损率调查,对于减少未来洪灾影响,具有非常重要的实际意义。

**关键词:**洪水;脆弱性;灾损曲线;风险;经济损失

洪涝是我国最主要的自然灾害,每年造成的经济损失已占国民经济总产值的3.5%左右,特别是在人口和财富聚集的城市,由于城市化进程加快,市政设施等建设跟不上,汛期积水排泄不畅成为普遍的现象。而且,居民生活水平提高使得家庭财产的价值攀升,洪灾带来的损失也逐渐增大,有效的灾害管理迫在眉睫。目前,从传统侧重灾后救援工作转移到灾前的风险管理,“防患于未然”地管理灾害已经在国际社会达成共识,风险评价成为充分而成功的减灾政策和措施运用的必要步骤。围绕洪水风险评估,洪水危险性和脆弱性的探讨成为洪灾研究的热点。目前,洪水危险性的研究较为深入,脆弱性评价的研究还相对薄弱<sup>[1]</sup>,因而成为风险研究有待突破的主要方向。

## 1 洪灾脆弱性相关概念

### 1.1 损失、风险与脆弱性

根据灾情能否用财富来衡量,洪水灾害损失分为有形损失和无形损失,有形损失包括直接损失和间接损失,直接损失是洪水与承灾体物理接触造成

的损失,是目前灾害损失评估的主要组成部分。风险是不同概率(回归周期)灾害导致的损失(图1)。根据不同概率灾害事件的强度参数确定受灾区域,并罗列出该区域暴露的承灾体,由脆弱性衡量这些承灾体在该种强度自然灾害发生时的损失程度<sup>[2]</sup>,最终,受灾区域内所有承灾体损失价值之和即为该区域在当前灾害强度下的灾损,不同概率事件下的灾损即为区域面临洪水灾害的风险<sup>[3-5]</sup>。

### 1.2 自然灾害脆弱性评估

脆弱性衡量承灾体损害的程度,是灾损和风险评估的重要环节,是致灾因子与灾情联系的桥梁。

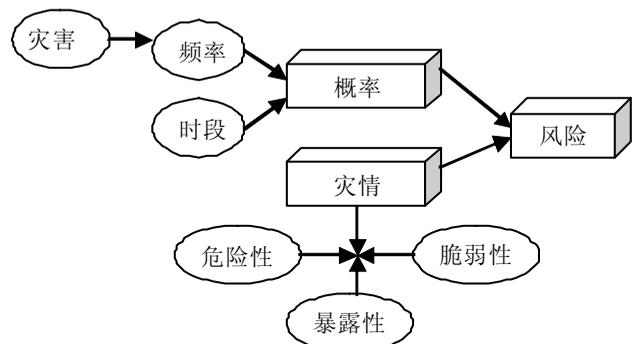


图1 灾害风险分析图

Fig.1 The framework of risk analysis in disasters

收稿日期:2008-11; 修订日期:2009-01.

基金项目:国家自然科学基金重点项目(40730526);国家自然科学基金项目(40571006);上海市重大科技攻关项目(05DZ12007)。

作者简介:石勇(1980-),女,博士研究生,研究方向为环境科学与自然灾害。E-mail:shiyong@ecnu.cn

通讯作者:石纯,E-mail:shi\_chun@163.com

目前,脆弱性定量的方法包括:(1)以全球尺度灾害风险评估的灾害风险指标计划(DRI)<sup>[6,7]</sup>和多发区指标计划(HOTSPOTS)<sup>[7,8]</sup>为首,根据历史灾情,进行死亡率、相对或绝对经济损失率的运算,综合体现宏观区域的脆弱性。(2)基于指标体系:在脆弱性机制和原理不完全明了的情况下,指标合成是目前脆弱性评估的常用方法。美洲计划<sup>[7,9]</sup>开发了4个指数辅助国家决策者评估自然灾害风险,其中普适脆弱性指数(PVI)和风险管理指数(RMI)中都有指标专门评估脆弱性。尔后,针对不同空间尺度的承灾系统,衡量不同灾种的脆弱性指标体系大量涌现<sup>[10-12]</sup>。(3)并非所有历史事件都有数据记录,当指标方法不够规范、评估结果不具备充分可信度时,脆弱性曲线为脆弱性评估提供了新的思路。该方法面对承灾个体,希望从根本上解决脆弱性评估结果粗糙、可操纵性不强等特点,希望通过承灾个体的脆弱性反映区域总体脆弱性特征。

### 1.3 脆弱性曲线

脆弱性曲线创始于1964年,又叫脆弱性函数,或灾损(率)函数或灾损(率)曲线<sup>[13,14]</sup>,衡量不同强度的各灾种与损失(率)之间的关系,以表格或曲线形式表现出来。1968年美国联邦保险机构(FIA)在其所实施的国家洪水保险行动中最早应用脆弱性曲线,展示每增加一个英尺水深,不同类型建筑的损失率变化。

不同强度下的灾害损失随时间和区域变化很大,受区域的地物结构和价值特征影响。而灾害损失率衡量损失值占总价值的比例,更能体现区域受影响的程度且相对较为稳定,具备相似特征的区域或由历史灾情预测未来灾害损失时,已得的灾损率参数均可推广使用。

## 2 国际洪灾脆弱性曲线的研究进展

不同灾种具有不同强度参数,脆弱性曲线因而有不同的表现形式和名称。洪水研究目前发展最为成熟的是水深灾损(率)曲线,水速和洪水淹没时间的灾损(率)曲线也有所拓展,另外一些参数,如污染、沉积、冲刷、风浪、涨水速度等也会对损失(率)产生影响,但还未被深入和系统化地充分研究。

### 2.1 洪灾脆弱性曲线的建立方法

目前的洪灾风险评估中,国际研究领域有两种建立脆弱性曲线的基本方法:

(1)实际损失调查:从实际发生的洪水事件中搜集数据,作为未来洪水损失评估的指导。加拿大在马尼托巴湖区域,基于1997年洪水事件的186个索赔案例建立了脆弱性曲线<sup>[15]</sup>,具体步骤如下:(a)首先,据相似特征对建筑结构分类(包括一层居住用房、多层居住用房、移动房屋和商业/公共/工业建筑等十三种建筑);(b)对每座建筑评估市场价值;(c)以洪水索赔作为损失价值,计算其对于总价值的百分比。加拿大所建曲线涉及三种承灾体类型:地基、房屋结构和财产,其损失率和一层地板之上的洪水高度的关系即构成灾损曲线。USAGE在加利福尼亚也运用了同样的方法。将1997年洪水造成的损失分为三个部分:结构损失、内部财产损失、非物理损失(清扫、医药消费等);损失被表示成总体价值的百分数,通过对140个灾例的调查,得出不同水深的灾损率。该调查主要针对住房,每种房屋结构类型的深度~损失曲线通过回归方程获得<sup>[16]</sup>。另外,USAGE还依据1996-2001年的其他主要洪水事件,构建了有、无地下室两种居住房的脆弱性曲线<sup>[17,18]</sup>。

基于已有灾情建立的脆弱性曲线,与事实较为吻合,但在未发生洪水灾害的区域,无法应用该方法建立灾损曲线。另外,国外建立灾损曲线的过程中,政府机构及保险公司的参与对于大规模的调查和灾损核实是必不可少的。一个区域建立的灾损曲线到另外一个地区的推广应用,因预警时间不同、建筑和财产类型各异而有困难。

(2)由于区域特征不同,实际损失调查法的推广应用受到限制,出现了一种基于假设分析的方法—系统调查法。该方法又可分为两类:一是基于既有数据库,二是基于价值调查,两者都需要将风险载体划分等级。

(a)基于既有数据库:数据库中罗列的承灾个体被划分成大类,再精分成各小类,每个类别都对应发展了脆弱性曲线。通常,建筑物结构损失的估计由现存的有关洪水对建筑材料可能影响的信息来决定,建筑内部财产损失的估计主要依据房主所属社会阶层,从市场手册中查询其各种家电等的占有率。这种方法可使得整个国家范围内洪水易损区的建筑及财产损失具有可比性,但这种对房屋、市场和消费者占有率及社会阶层等信息逐条登记的数据库,并非在所有国家都存在。英国应用该方法<sup>[13]</sup>,按照重要性把承灾体划分为十大类后再细分。因灾

后很难通过实际调查得到精确的灾情数据,他们采用了完全不同的方法,即衡量潜在洪水损失,其中,洪水泛滥区域水深、淹没范围以及建筑内部水深是影响洪水损失的主要变量,洪水持续时间和流速是次要变量。具体评估的内容包括不同泄洪量的洪水强度和影响范围、不同泄洪量对应的概率(回归周期)、不同强度的洪水和损失、流速和损失之间的关系、损失和概率的关系、年期望损失。课题组据分类详尽程度建立了不同级别的脆弱性曲线,使用者可以根据需要进行选择。

(b)基于价值调查:没有已建数据库,实际调查的工作量就较大,该方法仅适用于小范围的局部区域。以建筑为例,在每种类别中选择样本,登录样本的所有财产类别,并根据类型、质量和使用年限估计其目前价值,细化时还可调查每类财产距离地板高度,这个高度可以标准化,普遍推广,以判断不同水位时该类财产的淹水深度。最终,各类所有样本的信息平均化,建立起该类别的脆弱性曲线,用于估算潜在损失。台湾地区基隆河流淹水损害评估模式与相关资料库建立的研究中,苏明道<sup>[19]</sup>等根据政府统计调查结果中所列各项设备,把普及率大于30%的作为内部财产的基本配备,确定这些主要物件类型后,通过大量实地调查,统计各种物件的平均摆放高度(起始高度、顶点高度)和物件平均高度,以确定不同水深时的受淹物件种类及数量。整个过程中都要假设各项设备在两个淹水深度间的损失为连续增加。

## 2.2 国外脆弱性曲线的研究成果

洪涝灾害损失评估的研究在一些发达国家开展得比较早,这些国家洪水保险比较普及,用于计算损失率的历史灾情数据完善,形成了针对不同类型承灾体的脆弱性曲线,其中,土地利用类型、房屋建筑和内部财产是最受关注的三种研究对象,商业、

工厂企业的脆弱性研究也逐渐发展。本文以房屋建筑(包括内部财产)为例,介绍代表性的灾损曲线研究成果,以求对国内研究提供借鉴。

英国洪灾研究中心(FHRC)曾对全国居住用房面临洪灾的脆弱性进行评估,计算出缓慢上升的不同水深下的有形损失。1977年,该中心 Penning~Rowse、Chatterton<sup>[13]</sup>两位学者将建筑分为21类,并分别求出各类建筑在2种延时情况下及4种社会条件中的淹水损失曲线共168条,这是目前研究最为详尽的成果之一,以此为基础,众位学者对其进行补充、修订和完善,至今还被很多科研工作者借鉴、应用。澳大利亚资源与环境研究中心(CRES)发展的 ANUFLOOD 模型<sup>[20]</sup>,专门利用灾损曲线进行居住及商业用房的损失评估,这些曲线主要来源于英国和澳大利亚的洪灾损失统计数据。另外,日本建设部从50年代就开始进行数据调查,构建了面对城市的5条脆弱性曲线,其中居住房屋分为木制和非木质的两类,房屋内部财产也有相应的灾损曲线<sup>[21]</sup>。

随着全球气候变暖,21世纪洪水灾害的频率和强度极大增强,风险评估工作得到了充分重视,科研工作者致力于新一轮脆弱性研究的热潮(表1)。较为典型的例子是,荷兰在综合考虑国家统计局所采用的分类方法和财产承灾特性的基础上,将受淹资产划分为不同的类别,并尽可能建立资产损失类型与国家(地方或部委)统计类型之间的一一对应关系<sup>[22]</sup>,使得每类资产的数量和单位最大可能损失值在相关的文件中可以方便地查阅到。其损失系数(灾损率)根据历史洪灾记录(1953年欧洲大洪水)

表1 21世纪洪灾脆弱性的主要研究成果

Tab.1 The main research result on flood vulnerability in the 21st century

参考文献	洪水类型	地理区域	洪水参数	建筑脆弱性衡量
Elisa (2000)	河流	意大利巴勒莫	深度	损失率
Experian's(2000) <sup>[23]</sup>	洪水	英国	深度(FHRC基础上)	灾损率
Beck et al. (2002)	河流	西欧卢森堡	深度	损失和损失率
Kato and Torii (2002)	风暴潮	日本	深度、沉积深度和持续时间	损失率
Reese and Markau (2002)	风暴潮	德国	深度	损失率
Risk Frontiers (2002)	淡水	澳大利亚	深度	没有考虑损失
Dutta and Herath (2003) <sup>[24]</sup>	洪水	日本	深度	损失率
Penning-Rowse et al(2003) <sup>[25]</sup>	洪水	英国	深度、预警时间和淹没时间	损失、损失率
USACE (2000)	淡水	美国	深度	损失率
Nascimento (2006)	河流	巴西	深度	单位面积损失
Buchele (2006) <sup>[26]</sup>	河流	德国	深度	损失率

建立,对于资料不足而难以建立损失系数函数的类型,则通过征询建筑工程师、企业管理者和经营者的方式来近似确定。

从国外已有研究成果来看,发达国家中,英国和荷兰等西欧国家已形成灾损曲线构建的方法规范,且得以大规模推广使用。美国 USAGE、FEMA 等机构中,灾损数据的搜集及曲线的修正已有完整的运作机制。澳大利亚已经开发出成熟的评估软件,且在商业脆弱性研究方面走在前列。日本的灾损曲线也已为洪灾风险评估提供依据。相比而言,发展中国家虽受洪灾影响最大,但由于社会经济限制,这项工作还处于初步探索阶段。国外的研究过程说明,灾损函数研究必要的条件如下:(1)政府高度重视:大区域乃至全国范围的脆弱性评估而言,政府的支持和合作必不可少。(2)保险工作的协作:灾损的调查与核实工作量很大,一手材料主要来源于保险公司的索赔数据,国内针对自然灾害的保险制度尚不健全,农业保险的发展方向备受争议,城市洪灾易损区除工业、商业外,居民财险利率较高,财产入险率很低,这是目前开展灾损率研究的最大难点。(3)多学科的合作:灾害脆弱性评估涉及多学科,以建筑为例,其洪灾脆弱性评估除需要灾害学家参与外,还需要建筑学家为建筑分类及判断洪水造成的影响提供相关专业知识。

### 2.3 洪灾脆弱性曲线的发展趋势

目前灾害脆弱性研究中,脆弱性曲线的发展呈现综合化趋势,其建立不只使用某一种基本方法,不只考虑灾害的某个参数,同一评估系统也许会使用多种来源的脆弱性曲线,实现综合应用。具体表现如下:

(1)多脆弱性曲线库:美国联邦应急管理署(FEMA)构建的 HAZUS-MH 国际标准方法<sup>[28,29]</sup>和开发的相应软件程序面对不同层面的政府机构,包含了多种自然灾害的潜在损失评估。HAZUS-MH 开发者致力于最为全面的洪水损失评估研究,既包括物理损失、经济损失,又包括社会影响。洪水评估模型中,根据街区环境(楼层高度、工作级别、地板高度、有无地下室等)不同,从系统自带的脆弱性曲线库中选择合适的脆弱性曲线,进行建筑损失的计算。HAZUS-MH 储存的脆弱性曲线主要来自于:(a)联邦保险减灾署(FIMA,从属于 FEMA);(b)美军陆军工程师兵团的水资源处;(c)美国陆军工程师兵团所辖区域的实际调查,包括芝加哥、加尔维斯敦、新奥

尔良、费城、圣保罗和威明顿。

(2)多参数共同考虑:USAGE 不但考虑了水深这一参数,还曾考虑水速。以波特兰区域为例,房屋按照材料被分为木质、石质和钢铁质三类,构建不同水深和水速组合时房屋倒塌的临界曲线<sup>[30]</sup>。HAZUS-MH 曾利用该模型进行建筑的倒塌可能性评估,而后运用一些假设,完善了该灾损曲线,不过仍然只考虑是否倒塌,损失率是 0%或 100%。除研究机构外,还有研究者通过实际调查把水深和洪水淹没时间两个参数结合起来,考虑两者组合对洪水损失的影响<sup>[31]</sup>;加拿大的 Edward A.Mcbean 和 Jack Georrie 等除水深外,同时考虑淹没历时和水流速度,以及预报时间对损失的影响<sup>[32]</sup>。还有学者把水深与水速的乘积作为参数考虑<sup>[33]</sup>,但是缺少坚实的理论基础。

(3)多方法的综合应用:基于历史灾情和基于区域已有数据库两种方法结合起来,可以使脆弱性评估的方法更为完善。数据库提供风险载体的位置及属性信息,历史灾害提供水位数据,用于模拟不同概率的洪水情景,运用 GIS 技术合成承灾体图和洪水情景,得到不同承灾体处的水深,根据承灾体属性选择相应脆弱性曲线,得到其在此情景中相应水位下的损失率,最终得到研究区域在不同情境下的脆弱性分布图。

## 3 国内脆弱性评估的研究进展

我国洪涝灾害风险的研究起步于 20 世纪 80 年代末期,施国庆<sup>[34]</sup>最早对洪灾损失率及其确定方法进行探讨,陈秀万和万庆对洪灾脆弱性评价中灾损率的确定过程进行了系统分析<sup>[35,36]</sup>。国内具体研究仅考虑水深,主要集中在河流洪泛区并着重农业脆弱性研究,由于缺少调查资料,城市家庭财产洪灾损失率主要参照农村家庭财产的分析成果确定。林俊<sup>[37]</sup>从建筑受灾出发,介绍了国外常用的建筑水灾灾损率的分析评估方法,并通过德国建筑水灾数据库 4038 个案例的分析,计算出各种建筑的破坏几率和可能引起的经济损失。除以上大规模实地调查和修正国外灾损率的方法之外,孙雷蕾<sup>[38]</sup>从保险的角度出发,根据历史统计资料和损失计算,得出了城市主要相关行业和居民财产的洪水损失率模型。另外,王艳艳<sup>[39]</sup>构建的洪涝灾害损失评估模型中,作为关键的灾损率是由历史数据、专家经验

或国外相关资料修正三种方法结合来确定的。

国内的很多洪灾损失评估模型中,灾损曲线或是直接引用已有成果,或是淡化处理,因缺乏理论根据或没有方法论基础而缺乏可信度。洪灾的孕灾因素、成灾环境都十分复杂,区域差异大,脆弱性评估薄弱与其研究存在的巨大困难也密切相关:(1)脆弱性随着灾害种类和暴露程度的变化而变化,又可以反过来影响灾害特征和暴露程度;(2)多空间、时间尺度;(3)脆弱性的部分影响因素不可量化或难以测量;(4)承灾体的分布及价值估算工作量巨大,损失价值的核实存在多种不确定性,必然影响脆弱性最终结果;(5)社会经济系统特别是人类的主动性存在,使脆弱性带有很大的偶然性因素;(6)脆弱性评估涉及自然、社会、经济等多领域,但各学科之间的交流与合作远远不够;(7)脆弱性状态无法直接观察到,衡量的标准也很难制定。

## 4 结论与展望

国内洪灾发生频率很高,但基于灾损率的调研工作远远不够,不能为洪灾风险评估提供足够的参考材料。政府、保险与科研工作结合起来,多学科加强交流,深入细致地开展工作,对减轻洪灾日益增长的重大损失具有非常重要的现实意义。在以后的工作中,笔者认为以下几方面应该引起足够重视:(1)暴雨内涝造成的城市洪水灾损率研究。国内对于城市飞速发展形势下洪涝灾害的灾损率特征研究还不够深入,缺乏内在机制的深刻探讨,无法适应现代城市防洪减灾的需要,难以科学准确地评估城市承灾体脆弱性,为城市可持续发展的迫切要求提供保障。(2)集合水深之外其他参数的灾损曲线的发展与灾损曲线库的建立。静水是过于理想化的模型,常常不能适应洪灾的评估,特别是当发生河坝溃决型洪水、山洪等的时候,流速是不可忽略的因素,淹没时间也是应该考虑进去的重要参数。最终,应当建立我国不同类型承灾体的洪灾灾损曲线库,供洪灾风险和损失评估使用。(3)深入到土地利用类型内部的细化调研是灾损曲线的发展趋势。不同社会经济门类的洪水损失特性互有差异,为了与损失率分析相配合,保证评估结果的可靠性与准确性,精细尺度的损失评估中社会经济门类的划分体系要层次分明、细致全面<sup>[38]</sup>。国家水利行业标准《已成防洪工程经济效益分析计算及评价规范》中社会经

济门类的分类已不适合我国经济结构的巨大变化,对全社会各类财产类别细化、建立一个完整的层次体系结构,与损失评估结果中的类别相对应,是开展洪水研究非常必要的任务。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] Berning C. Loss functions for structural flood mitigation measures. *Water SA*, 2001,27(1):35~38.
- [3] Kaplan S, Garrick B J. On the quantitative definition of risk. *Risk Analysis*, 1981,1(1):11~27.
- [4] Hall J W, Dawson R J. A methodology for national-scale flood risk assessment. *Water & Maritime Engineering*, 2003,156(WM3):235~247.
- [5] Grunthal G, Thieken A H, Schwarz J et al. Comparative risk assessment for the city of Cologne, Germany: Storms, foods, earthquakes. *Natural Hazards*, 2006,38(1/2):21~44.
- [6] Pelling M, Maskrey A, Ruiz P. United Nations Development Programme. A Global Report Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. New York: UNDP, 2004, 1~146.
- [7] Pelling M. Visions of risk: A review of international indicators of disaster risk and its management. ISDR/UNDP: King's College, University of London, 2004, 1~56.
- [8] Dilley M, Chen R S, Deichmann U, et al. Natural disaster hotspots: A global risk analysis. Washington DC: Hazard Management Unit, World Bank, 2005, 1~132.
- [9] Cardona O D, Hurtado J E, Chardon A C, et al. Indicators of Disaster Risk and Risk Management Summary Report for WCDR. Program for Latin America and the Caribbean IADB~UNC/IDEA, 2005, 1~47.
- [10] Davidson R. An Urban Earthquake Disaster Risk Index. California: Stanford University,1997.
- [11] King D, MacGregor C. Using social indicators to measure community vulnerability to natural hazards. *Australian Journal of Emergency Management*, 2000,15(3):52~57.
- [12] Lambert K. A Hurricane Disaster Risk Index. North Carolina: University of North Carolina, 2000.
- [13] Penning-Rowsell E C, Chatterton J B. The benefits of flood alleviation: A manual of assessment techniques. Gower Aldershot,1977.
- [14] Smith D I. Flood damage estimation?A review of urban stage-damage curves and loss functions. *Water SA*, 1994,20(3):231~238.
- [15] KGS Group. Red River Basin Stage-damage Curves Update and Preparation of Flood Damage Maps. Final Report, International Joint Commission,2000.
- [16] USACE. Sacramento and San Joaquin River Basin, California. Post-Flood Assessment for 1983, 1986, 1995, and 1997.U.S.Army Corps of Engineers, Sacramento District, 1999.
- [17] USACE. Economic Guidance Memorandum (EGM)01-03,

- Generic Depth-Damage Relationships, U.S. Army Corps of Engineers Memorandum, CECW-PG4, Washington, DC, 2000.
- [18] USACE. Economic Guidance Memorandum (EGM)04~01, Generic Depth-Damage Relationships, U.S. Army Corps of Engineers Memorandum, CECW-PG10, Washington, DC, 2003.
- [19] 苏明道, 张龄方, 林美君等. 国科会专题研究计划成果报告——基隆河流域淹水损害评估模式与相关资料库建立之研究(二). 台北, 国立台湾大学生物环境系统工程学系暨研究所. 2002. <http://ntur.lib.ntu.edu.tw/handle/246246/10732>.
- [20] Gissing A, Blong R. Accounting for variability in commercial flood damage estimation. *Australian Geographer*, 2004, 35(2):209~222.
- [21] MOC (1996). Flood Damage Statistics in Japan. Japan, River Engineering Bureau, Ministry of Construction, 1996.
- [22] Vrisou N, Kok M. Standard method for predicting damage and casualties as a result of floods. The Netherland Delft Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2001, 22~41.
- [23] Experian. Great Britain MOSAIC Descriptions along with Separate Data Tables for Flood Damage. Experian, Nottingham, U.K., 2000.
- [24] Dutta D, Herath S, Musiak K. A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology*, 2003, 277(1): 24~49.
- [25] Penning-Rowsell E, Johnson C. The Benefits of Flood and Coastal Defence: Techniques and Data for 2003. Flood Hazard Research Centre, Middlesex University.
- [26] Buchele B, Kreibich H, Kron A et al. Flood-risk mapping: Contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2006, (6): 485~503.
- [27] Kelman I. Physical Flood Vulnerability of Residential Properties in Coastal, Eastern England. Cambridge: University of Cambridge, 2002.
- [28] FEMA. HAZUS-MH, Flood Model: Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, 2003.
- [29] FEMA. HAZUS-MH, Flood Model: User Manual, Federal Emergency Management Agency, 2003.
- [30] USACE. Business Depth-Damage Analysis Procedures, U. S. Army Corps of Engineers, Engineering Institute for Water Resources, Research Reports 85-R-5, 1985.
- [31] Dutta D, Tingsanchali T. Development of loss functions for urban flood risk analysis in Bangkok. Proceedings of the 2nd International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, ICUS, The University of Tokyo, 2003, 229~238.
- [32] 冯民权, 周孝德, 张根广. 洪灾损失评估的研究进展. *西北水资源与水工程*, 2002, 13(1):33~36.
- [33] Clausen L K. Potential Dam Failure: Estimation of Consequences, and Implications for Planning. Middlesex: Middlesex Polytechnic, 1989.
- [34] 施国庆. 洪灾损失率及其确定方法探讨. *水利经济*, 1990, (2):37~42.
- [35] 陈秀万. 洪水灾害损失评估系统—遥感与 GIS 技术应用研究. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [36] 万庆. 洪水灾害系统分析与评估. 北京: 科学出版社, 1999.
- [37] 林俊. 建筑物水灾破坏经济损失浅析. *建筑技术开发*, 2006, 33(1):107~109.
- [38] 孙雷蕾. 对构建我国洪水保险体系的研究. 天津: 天津大学, 2004.
- [39] 王艳艳, 陆吉康, 郑晓阳等. 上海市洪涝灾害损失评估系统的开发. *灾害学*, 2001, 16(2): 7~13.

## A Review on Development of Vulnerability Assessment of Floods

SHI Yong, XU Shiyuan, SHI Chun, SUN Ali, WANG Jun

(Key Laboratory of Geographic Information Science of Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** Flood is one of the most serious natural disasters in the world. The evaluation on economic loss or risk from flood disasters is the basic task in the domain of flood prevention and disaster reduction, and the research on vulnerability is key to the evaluation. This paper briefly describes the methods of vulnerability assessment, emphasizing on stage-damage curves. The origin, the methods to structure them and the compositive application are discussed then. Compared to the rich research results overseas on the damage curves, the research on vulnerability is far from enough in China yet and the application at a lower level can neither satisfy the demands for decision-support, nor correspond to the high flood risks in China. At present, scientific research, insurance and government should cooperate in the vulnerability investigation in order to reduce the influence of floods.

**Key words:** flood; vulnerability; stage-damage curve; risk; economic loss