

区域洪灾风险评价体系研究^{*}

付意成¹, 魏传江¹, 王启猛², 朱启林¹

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 针对国内外区域洪灾风险评价缺少系统规范体系现状, 基于洪灾生命损失评价、经济损失评价, 构建起以洪灾损失为核心的动态实用性的区域洪灾风险评价体系, 实现由控制洪水向洪水管理转变。给出耦合致灾因子、孕灾环境、承灾体的区域洪灾风险定义, 探讨了基于洪水分析、易损性分析、损失分析的区域洪灾风险评价流程图。针对区域洪灾风险评价不确定性, 从被动破坏损失、主动防御减灾角度提出系统量化的区域洪灾损失经济评价指标, 结合研究体系应用实际, 给出区域洪灾风险评价体系的进一步完善策略。

关键词: 区域洪灾; 风险评价; 损失评价; 被动破坏损失; 主动防御减灾

中图分类号: P333.2; P426.616 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)03-0027-06

1 区域洪灾风险评价

区域洪灾风险作为综合性概念, 涉及到区域特性、自然科学、政治、经济、生活等众多方面, 国内尚没有统一定义。笔者借鉴国内外学者研究成果认为, 区域洪灾风险由区域洪水、概率、损失3方面在条件合适时引发的成灾机制复杂、不可避免的客观自然事件发生的概率, 即指在一定的孕灾环境中, 外力的扰动超过了承灾体的极限荷载, 区域性致灾因子变为现实所造成损失的不确定性。区域洪灾风险的形成体系如图1所示。

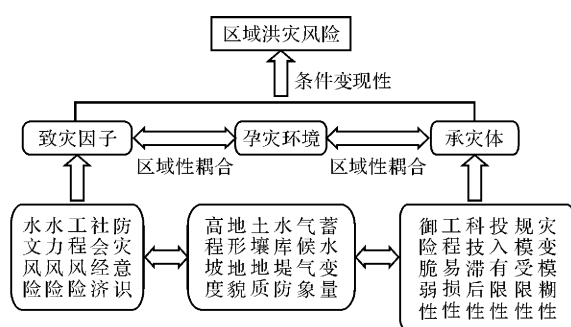


图1 区域洪灾风险形成体系

区域洪灾风险评价针对区域洪灾损失的不确定性, 通过实施限制灾害源、保护易损的承灾体等风险控制技术, 借助多变量函数动态模型使成灾因子评价量化, 提高综合抗御区域洪灾风险的

能力。为充分体现区域洪灾特性及损失评估原则, 针对区域洪灾预评估、洪灾实时评估、灾后评估从风险辨识、风险估计角度给出基于洪水分析、易损性分析、损失分析的区域洪灾风险评价流程(图2)。

2 区域洪灾损失评价

区域洪灾损失评价是区域洪灾风险评价的基础。区域洪灾损失在自然地理、经济社会、人为因素的共同影响下, 具有时空变异性大、孕灾环境和承灾体高维随机性等特点。我们认为在进行区域洪灾损失评价时, 以经济损失为主, 同时兼顾生命和环境损失。在“以人为本”的社会里, 注重人的生命安全, 尽量避免人员伤亡, 设法减少洪水对公众的生命威胁是进行区域洪灾风险评价首先考虑的。

由于区域洪灾的发生在空间层面、时间维度、损失量级上随机性较大, 加之受灾区社会经济的复杂性、经济因素的变异性, 造成区域洪灾损失的不确定性较强。随着现代科学技术的发展, RS、GIS在区域洪灾损失评价中的应用日益加强, 为区域洪灾进程和发展态势监测、洪灾损失调查和救灾服务数据的获取、洪灾和社会特性的空间分析提供条件。我们从有形损失和无形损失角度构建区域洪灾损失评价体系(图3)。

* 收稿日期: 2009-02-19

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAB28B02)

作者简介: 付意成(1983-), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 从事水资源管理及配置研究. E-mail: swfyc@126.com.

貌特征, 工程失效模式); WT 为预警时间, $WT = f(\text{预警预报系统性能, 洪泛区御灾环境})$, $WT = 1.5 \text{ h}$ 为确定 L_{lose} 的界限; LC 为洪泛区的土地利用情况及洪泛区内建筑物的抗洪性能; PAR 为风险人口总数, $PAR = \text{洪泛区面积} \times \text{人口密度}$ (含非常住人口)。

鉴于 FC 、 WT 、 LC 、 PAR 影响因素的随机性和模糊性, 当前计算区域洪灾生命损失的方法尚不成熟, 在初步掌握上述信息的基础上, 借助经验分析法和统计分析法进行估算。

3.1.1 经验分析法

区域间全要素性能差异较大, 到目前为止还没有规范化的综合评价区域洪灾生命损失的方法, 较为通用的是经验分析法。在研究过程中主要采用 Dekay M 法进行区域生命损失的估算^[2]:

$$L_{\text{lose}} \approx 0.075 PAR^{0.56} \cdot \exp[-0.759WT + (3.790 - 2.223WT)FC], \quad (2)$$

通过应用(2)式计算的洪泛研究区人员伤亡的预测值与实际值在误差允许范围内较为接近, 可用于灾前评估研究。但(2)式中, 水力变量 FC 为连续函数, 计算中根据区域地貌特征仅取 0、1 等不连续数值, 并且洪泛区子区间划分范围精度尚有待提高。

3.1.2 统计分析法

为准确计算区域洪灾生命损失, 按照洪泛区地理、居民分布特征将研究区划分为社区、农村等小区域单元。单元生命损失为:

$$L_{\text{life}} = PAR_U \times (1 - P_s), \quad (3)$$

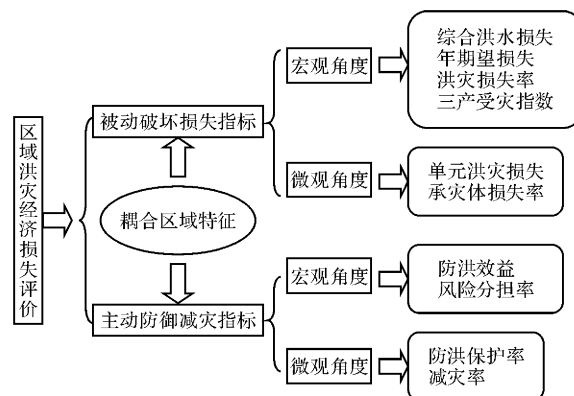
式中: PAR_U 为洪水泛滥时该单元受困风险人口数, $PAR_U = TNR_U \times OAF_U$, 其中, TNR_U 为单元常住人口数, OAF_U 为洪灾发生时该单元实际人口占有率; P_s 为风险人口幸存概率, $P_s = P_j P_d P_i P_a P_e$, 其中, P_j 为作出准确预报的概率, P_d 为及时传播预报的概率, P_i 为居民得到预警的概率, P_a 为居民对预报响应的概率, P_e 为有效离开危险区的概率。

统计分析法将不同时段风险区的人口分布、水力特征、预警体系应急性能综合考虑, 可以比较准确的估算洪泛区生命损失数。但该法需要进行实地调研考察的资料较多, 也有不少不确定性因素及推测假定, 因此计算结果可靠性有待改善。

3.2 区域洪灾经济损失评价体系

洪灾经济损失评估是防洪减灾领域的一项基础性工作^[3]。区域洪灾经济损失构成因子众多、涵盖范围广泛、各影响因素间相互作用机理复杂。借鉴国内外洪灾经济损失评价研究成果, 结合被

动破坏指标、主动防御减灾指标, 从宏观和微观角度使洪灾损失风险数量化, 针对具体的工作实践从区域防护对象抗灾性能、承灾体易损性、减灾效益角度构建起区域洪灾经济损失评价的三层模式(图 5)。



3.2.1 被动破坏损失指标

(1) 综合洪水损失 (L_{DP})

$$L_{DP} = (1 + \alpha)\beta A + C_p + C_e, \quad (4)$$

式中: α 为间接损失系数; β 为单位面积直接损失; A 为受灾面积; C_p 为抗灾费用; C_e 为洪灾造成的生态环境破坏损失。

间接损失系数 α 一般通过对大量洪灾调查资料进行统计分析求得, 区域性、种类性差别较大, 研究过程中农业取 15% ~ 28%, 工业取 16% ~ 35%。 β 与风险调查点的区域位置、经济发展水平、洪水等级、调查时间关系较大, 目前尚且缺少足够的数据进行不同区域洪灾风险 β 的量化表制定, 一般在现场勘察基础上借鉴不同受灾损失物品的经济价值进行粗略估计, 如 1988 年长江洪水损失为 1.9 万元/hm²。 C_e 一般借鉴区域所做的洪灾生态补偿数据作为参考, 也可根据价值等效原理将洪灾所造成环境破坏的不经济性内部化, 按照市场现价对因洪灾引起的缺少某种生态功效导致不能正常活动的损失量化。目前一般采用流域生态补偿值。

(2) 年期期望损失 (EAD)

作为衡量洪灾风险的主要指标, EAD 通常指洪水发生的频率与该频率洪灾所造成损失的积分值, 反映了总体对某一概率区域洪灾损失的承受能力。

$$EAD = \int_{-\infty}^{+\infty} x f_x(x) dx = \sum_{i=1}^n 0.5(L_i + L_{i+1})(P_i - P_{i+1}), (i = 1, 2, \dots, n), \quad (5)$$

式中: x 为洪水概率为 $f(x) dx$ 时的随机损失; $f_x(x)$ 为洪水发生的概率密度函数; L_i 为洪水损失; P_i 为洪水频率, 计算中 P_i 一般取 0.002、0.005、0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0 等。针对洪灾特性, EAD 在实际统计中一般根据获取资料的区域类型依据经验公式进行计算。如长江流域 $EAD_{\text{计算年}}$ 计算公式为^[4]:

$$EAD_{\text{计算年}} = \max \left\{ EAD_{\text{基准年}} \left[1 + \left(\frac{GDP_{\text{计算年}}}{GDP_{\text{基准年}}} - 1 \right) \times 0.417 \right] - \sum_{i=1}^n I_{i,\text{计算年}} \times B_{i,\text{计算年}} \right\}, \quad (6)$$

式中: i 表示计算在区域抗洪救灾中采取的单项措施数; $I_{i,\text{计算年}}$ 为计算年单项 i 的投资; $B_{i,\text{计算年}}$ 为计算年单项 i 的投资效益。

(3) 单元洪灾损失(L_D)

针对区域受灾对象损失计算过程的复杂性, 在建立洪泛区内各类受灾对象与淹没特征关系的基础上, 由统计的各类受灾对象的市场价值计算出分项损失, 汇总得 L_D 。

$$L_D = C_p + (1 + \alpha) \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\beta_{i,j} V_{i,j} + C_{ei,j}), \quad (7)$$

式中, C_p 为抗灾费用; α 为间接损失系数; $\beta_{i,j}$ 、 $V_{i,j}$ 、 $C_{ei,j}$ 分别为第 i 类对象第 j 风险区的损失率、价值、生态环境损失量(补偿量)。实际计算中, 利用 GIS 技术借助电子地图将洪泛区划分为若干在地域上有相似性的洪灾损失计算单元, 再将计算单元按照不同计算指标划分为若干风险区、易损对象, 通过加权求和, 获得区域单元洪灾损失。

(4) 洪灾损失率(FMP)

FMP 指财产受洪灾的损失值与灾前财产原有价值之比, 反映了国民经济对洪水风险的承受能力, 间接体现了洪泛区的经济产值在区域经济产值中的比重。

$$L_s = \frac{\sum_{i=1}^3 S'_i}{\sum_{i=1}^3 S_i} = \frac{(S_{1i} - S_{1f} - F_{1i} + F_{1s} - S'_{1i}) + (S_{2i} - S_{2f}) + (S_{3i} - S_{3f})}{S_{1i} + S_{2i} + S_{3i}}, \quad (10)$$

式中: S_{1i} 、 S_{2i} 、 S_{3i} 为一、二、三产业受灾前的产值, 可采用灾前区域前 3 年的平均产值; S_{1f} 、 S_{2f} 、 S_{3f} 为灾后三产业尚存的产值; F_{1i} 为一产因减灾减少的产值投入; F_{1s} 为一产灾后补种费用; S'_{1i} 为一产补种(作物)产值。

$$FMP = \frac{EAD_{\text{计算年}}}{GDP_{\text{计算年}}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{i,\text{计算年}}}{\sum_{i=1}^n GDP_{i,\text{计算年}}}, \quad (8)$$

式中: $EAD_{\text{计算年}}$ 为计算年期望损失值; $S_{i,\text{计算年}}$ 为风险区第 i 类部门的洪灾损失值, 借鉴《已成防洪工程经济效益分析计算及评价规范》^[5], 将受损部门分为农作物、林业、水产、畜牧业、工程设施、城乡居民家庭财产、企事业单位财产、工矿企业及商业停产损失; $GDP_{i,\text{计算年}}$ 为受灾地区第 i 部门计算年的地区生产总值。

(5) 承灾体破损率

易损性指承灾体受到洪水破坏、伤害、损失的特性, 反映了承灾体本身具有的抵御洪灾的潜在能力。区域洪灾损失评估中建立全面的承灾体易损性指标是洪灾经济损失评价的基础。破损率(LR)就是对承灾体洪水易损性进行的量化分析。

$$LR = \frac{SV}{PV} = 1 - \frac{LV}{PV}, \quad (9)$$

式中: SV 为洪灾后承灾体尚存的某种性能的经济价值; LV 为洪灾中承灾体某种性能价值的损失量; PV 为承灾体某种性能的原有价值。

为提高区域洪灾中承灾体破损率计算的准确性, 研究中根据洪泛区具体的成灾模式, 借助典型洪水调查或科学试验, 针对不同地形地貌、地理环境、经济状况, 考虑洪灾发生时间, 根据承灾体经济价值类型建立洪灾破损率与淹没深度、历时、流速等因素的函数相关关系, 绘制相关曲线图, 便于同区域不同风险区同类型承灾体洪灾破损率的确定。

(6) 三产受灾指数^[6](L_s)

L_s 作为衡量洪灾对区域社会经济、居民生活正常开展干扰程度强弱的相对指标, 易受不确定性因素影响, 建议在研究中采用基于信息扩散的风险估算模型进行处理计算, 弥补研究信息不足、模糊性、参数不确定性问题。

3.2.2 主观防御减灾指标

(1) 防洪保护率(DPR)

DPR 反映了一定标准的防洪工程体系对区域不同量级洪水的消减蓄泄能力。从我国防洪工程体系的现状及规划特点分析, 可将 DPR 划分为规

划洪水保护率(特大洪水损失消减率)($PFPR$)及工程体系年均保护率(工程运行效率)(APR)对洪水风险区的抗灾性能进行评价。

规划洪水保护率($PFPR$)指洪水量级在规划的防御标准范围内, 区域防洪工程体系减少的淹没面积与无防护工程时淹没面积的比值。

$$PFPR = \frac{PPA}{PFA} = \frac{PFA - NFA}{PFA} = 1 - \frac{NFA}{PFA}, \quad (11)$$

式中: PPA 为防护工程减少的区域受灾面积; PFA 为无工程防护时的区域受灾面积; NFA 为有工程防护时区域受灾面积。

工程体系年均保护率(APR)反映了防护工程运行期间区域减少的洪泛区受灾面积(损失资产)与自然条件下洪灾淹没面积(损失资产)的对比, 体现了防护工程体系运行的年均减灾效益。

$$APR = \frac{APA}{AFA} = \frac{AFA - NAFA}{AFA} = 1 - \frac{NAFA}{AFA}, \quad (12)$$

式中: APA 为区域防护工程运行后年均保护面积; AFA 为区域无工程防护时年均受灾面积; $NAFA$ 为区域防护工程运行后年均受灾面积。

1954 年长江特大洪水淹没农田面积 167 万 hm^2 , 灾后由于长江流域加强对防洪堤的建设力度, 若再发生同等规模的洪水, 农田淹没面积仅 39.3 万 hm^2 , 则在这种情况下, $PFPR$ 为 76.4%, APR 则与工程的实际运行年限、减灾能力有关。

(2) 减灾率($FRRR$)

$FRRR$ 反映了区域某一标准的防洪体系相对于低于该标准的工程体系对洪水风险的承载能力, 是衡量防洪工程体系减灾效果的重要指标。

$$FRRR = \frac{READ}{OEAD} = 1 - \frac{PEAD}{OEAD}, \quad (13)$$

式中: $READ$ 为某一标准防洪体系减少的年期望损失; $OEAD$ 为此防洪体系未发挥功效时的年期望损失; $PEAD$ 为在此标准防洪体系运行期间的年期望损失。鉴于区域洪灾年期望损失的难于求解性, 建议研究中采用受淹的面积比、丧失的价值量进行计算。如长江三峡建成后可使中下游的淹没面积由现状年 4.1 万 hm^2 减少到 1.8 万 hm^2 , 则三峡工程在工程体系基础上的减灾率为 55.7%。但考虑到蓄滞洪区、泛洪区的经济发展相对落后, 因此利用面积比计算的减灾率比实际情况偏小^[4]。

(3) 防洪效率率(BLR)

防洪效率率作为基于概率的风险经济方法在防洪决策安全中的具体推广, 可理解为防洪工程

体系产生的减灾值与该体系投入之比。

$$BLR = \frac{TLR}{ARC} = \frac{\sum_{i=1}^n B_{pi}(1+r)^{L-i}}{\sum_{i=1}^n I \times \left(r + \frac{r}{(1+r)^i - 1} \right) + \alpha \times I}, \quad (14)$$

式中: TLR 为年减灾值, 通常指有无防洪工程体系时, 减少的年期望损失, 即“对策”效益与“非对策”效益之和, 研究中通过对区域多年洪灾资料进行统计, 确定工程体系在防洪减灾中的效益比重, 即“对策效益”比重; ARC 为年投入成本与运行费用之和, 实际计算中与工程的总投资预算 I 有关; B_{pi} 为评价期第 i 年的防洪效益; r 为利率, 即社会折现率(一般取 6%~9%); L 为现状水平年; α 为工程年运行费占总预算比例。

(4) 风险分担率(FRD)

FRD 反映了洪泛区灾后恢复能力的高低, 与受灾区本身的经济、物质基础及外界的资助补偿有关。

$$FRD = \frac{FDC}{EAD}, \quad (15)$$

式中: FDC 为灾区获得的年均水灾补偿; EAD 为水灾年期望损失。研究中, FRD 的确定一般借鉴《蓄滞洪区运用补偿暂行办法》^[7] 中对蓄滞洪区的补偿标准、生态补偿中对因洪灾造成生态破坏区域的划定范围。

4 结语

区域洪灾风险评价是一个复杂巨系统, 由许多因子组成, 一些因子是难以定量或不可定量的, 导致区域洪灾风险评价具有相对性和模糊性^[8]。同时, 以往的灾害评价大多侧重于定性的估算, 缺乏定量研究^[9]。借鉴国内外风险评价的研究进展, 考虑到区域洪灾风险的特殊性, 从洪灾损失、防灾减灾角度构建基于洪灾损失的区域洪灾风险评价体系, 普适性较强, 能够为灾后损失的全要素量化评价、经济社会快速发展的快速恢复提供准确的数据参考。

针对上述评价体系, 结合对洪灾风险的实际研究成果, 认为在以后的区域洪灾风险评价中应进一步完善如下工作。

(1) 借助模糊综合评判法、GIS 与 GPS 航拍遥测数据、改进的信息扩散理论、盲数理论, 充分考虑评价因子和评价方法的不确定性, 在进行区

域洪灾风险评价的基础上,结合区域地貌实际特征重新划定洪灾风险等级,构建区域洪灾全要素风险区划,并针对每一个区划建立实时动态水情数据库,为以后区域洪灾风险的数字化量化奠定基础。

(2) 结合区域防洪工程的现状御灾能力,因地制宜的修正区域现行的防洪规划与治水方针,对以往特大洪水流量作为超额洪水量进行修改,注重考虑水土流失损失量,尽快制定区域《防洪减灾法》,减少区域因防护措施欠缺造成的人为洪灾风险。

(3) 针对区域洪灾损失的地域多样性,考虑到我国自身的特殊国情,建立城市和农村有区别的洪灾损失补偿模式,加强御灾能力建设,使不同层次的洪灾损失最小化^[10]。

(4) 针对现行区域洪灾风险图对实时减灾信息反馈的滞后性,将区域洪灾风险图与实时洪水预报及防洪调度系统耦合,同时对区域可以承受的风险标准进行研究,提高洪水风险图辅助实时防洪减灾决策的能力,为区域防洪减灾服务。

参考文献:

- [1] 宋永昌, 由文辉, 王祥荣. 城市生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2000.
- [2] 姜树梅, 范子武, 吴时强. 洪灾风险评估和防洪安全决策[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 111-125.
- [3] 王宝华, 付强, 谢永刚, 等. 国内外洪水灾害经济损失评估方法综述[J]. 灾害学, 2007, 22(3): 95-99.
- [4] 王浩, 秦大庸, 汪党献, 等. 水利与国民经济协调发展研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [5] 中华人民共和国水利部. 已成防洪工程经济效益分析计算及评价规范(SL 206-98)[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [6] 向立云. 洪水风险指标评价体系研究[J]. 水利发展研究, 2004, 4(8): 25-29.
- [7] 中华人民共和国国务院. 蓄滞洪区运用补偿暂行办法(SL 286-2000)[S]. 2000.
- [8] 黄民生, 黄呈橙. 洪灾风险评估等级模型探讨[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 1-5.
- [9] 刘合香, 徐庆娟. 区域洪涝灾害风险的模糊综合评价与预测[J]. 灾害学, 2007, 22(4): 38-42.
- [10] 唐润, 刘朝辉, 王慧敏, 等. 对我国洪灾损失补偿的思考[J]. 人民长江, 2008, 39(13): 25-27.

Study on Regional Flood Risk Assessment System

Fu Yicheng¹, Wei Chuanjiang¹, Wang Qimeng² and Zhu Qilin¹

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: In view of the absence of a standardized system for regional flood risk assessment at home and abroad, a dynamic and practical regional flood risk assessment system with flood losses as a key factor is established based on the assessments of life and economic losses, to realize the transformation from flood control to flood management. Definitions of coupling disaster inducing factors, disaster-breeding environment and disaster bodies in regional flood risk are presented, and a flowchart of regional flood risk assessment based on flood analysis, vulnerability analysis and loss analysis is discussed. In accordance with the uncertainty of regional flood risk assessment, and from the passive damage loss and active disaster prevention and mitigation, system quantized economic evaluation indexes of regional flood losses are put forward. Strategies for further improving the regional flood risk assessment system are proposed in accordance with practical applications of the research system.

Key words: regional flood; risk assessment; loss evaluation; passive damage loss; active disaster prevention and mitigation