

# 洪灾经济损失评估模型研究(II) ——间接经济损失评估

武靖源<sup>1</sup> 韩文秀<sup>1</sup> 徐 杨<sup>2</sup> 周年生<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(天津大学系统工程研究所, 天津 300072)

<sup>2</sup>(天津市水资源研究管理中心, 天津 300074)

**摘要** 根据洪灾区灾后经济运行发展状况, 从综合评价角度, 提出了洪灾间接经济损失评估的方法及数学模型。针对所研究的洪灾区, 建立了地区间投入产出表, 给出了各产业部门的投入-产出约束、交通运输网约束、库存约束、产品需求约束, 以及间接停产损失、产品积压损失、投资溢价损失的计量方法。从国民经济整体效益出发, 建立了计算洪灾间接经济损失下限的多目标优化模型。

**关键词** 洪灾损失 评估模型 间接经济损失

## A Study on the Evaluation Theory and Mathematical Model for Economic Loss of Flood Damage (II) ——Indirect Economic Loss

Wu Jingyuan<sup>1</sup> Han Wenxiu<sup>1</sup> Xu Yang<sup>2</sup> Zhou Niansheng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Institute of Systems Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

<sup>2</sup>(Tianjin Water Resources Research and Management Center, Tianjin 300074)

**Abstract** An evaluation method and a mathematical model for indirect economic loss of flood damage are presented in this paper. According to the region of floodplain, the input-output table is constructed. Input-output constraints, transportation system capacity constraints, storage capacity constraints and product demands constraints of every sector are given. Measurements of indirect cost of shutting down or slowing production, cost of pulling up product and cost of investment premium are suggested. The multiobjective optimal model is given for indirect economic loss of flood damage.

**Keywords** flood damage; evaluation model; indirect economic loss

### 1 引言

洪灾间接经济损失不仅与直接经济损失有关, 而且与灾后是否能够迅速恢复生产能力、形成最佳生产力布局等经济管理体制因素有关。本文依据间接经济损失的可减量与不可减量概念, 建立间接经济损失下限的评估模型。

### 2 地区间投入产出分析

#### 2.1 灾区灾后经济发展模式

本文于1998年1月12日收到

天津市21世纪青年科学基金项目(编号: 963707411)

灾区灾后经济发展模式有以下三种典型类型: 1) 灾后重建时资本和技术迅速涌入, 生产力重新布局, 产业部门比例重新调整, 各种资源得到优化配置, 国民经济发展速度加快。2) 与上述情况相反, 表现出另一种极端情况, 灾后经济发展速度放慢, 洪灾造成的影响很大, 消除缓慢。3) 洪灾对灾区经济发展的影响很小。

本文假设, 灾区灾前、灾后经济运行模式相同, 无经济结构变化。

### 2.2 地区间投入产出表

灾区作为社会经济子系统, 其内部产业间、内部产业与其接壤地区的产业间相互关联。为反映洪灾间接经济损失的空间特征, 构造了地区间价值型投入产出表, 如表 1。

表 1 价值型地区间投入产出表

投入 \ 产出		中间产品						最终产品		总产出	
		区内			区外			区内	区外		
		部 门 1 ...	部 门 ...	部 门 n	部 门 1 ...	部 门 ...	部 门 n				
中间投入	区内	部门 1	$x_{11}^{11}$	...	$x_{1n}^{11}$	$x_{11}^{12}$	...	$x_{1n}^{12}$	$y_1^{11}$	$y_1^{12}$	$x_1^1$
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	部门 2	$x_{21}^{11}$	...	$x_{2n}^{11}$	$x_{21}^{12}$	...	$x_{2n}^{12}$	$y_2^{11}$	$y_2^{12}$	$x_2^1$	
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
区外	部门 1	$x_{11}^{21}$	...	$x_{1n}^{21}$	$x_{11}^{22}$	...	$x_{1n}^{22}$	$y_1^{21}$	$y_1^{22}$	$x_1^2$	
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
...	部门 2	$x_{21}^{21}$	...	$x_{2n}^{21}$	$x_{21}^{22}$	...	$x_{2n}^{22}$	$y_2^{21}$	$y_2^{22}$	$x_2^2$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
小计			$x^{01}$	...	$x_n^{01}$	$x^{02}$	...	$x_n^{02}$			
新创价值	拆旧		$w_1^1$	...	$w_n^1$	$w_1^2$	...	$w_n^2$			
	劳动报酬		$v_1^1$	...	$v_n^1$	$v_1^2$	...	$v_n^2$			
	社会纯收入		$m_1^1$	...	$m_n^1$	$m_1^2$	...	$m_n^2$			
总投入			$x_1^1$	...	$x_n^1$	$x_1^2$	...	$x_n^2$			

为使间接经济损失降到最低限度, 灾后区内外经济系统运行状态应调整到最优状态, 此状态的调整是一多目标问题。据此, 建立间接经济损失下限评估的多目标优化模型。

### 3 投入产出约束方程

应用投入产出方法量化直接经济损失对区内外各产业投入产出的影响。设灾区内外各产业灾前预期年总产出矩阵为  $EN$  及  $EX$ , 灾后区内外各产业总产出减少量矩阵为  $DN$  及  $DX$ , 区内外各产业部门的投入、产出系数矩阵为  $B$  及  $A$ 。灾前区内产业最终产品库存向量  $u$ , 区内外中间投入库存矩阵  $V$  及  $I$ , 灾后区内产业最终产品剩余库存向量  $UA$ , 区内外中间投入剩余库存矩阵  $VA$  及  $IA$ 。灾后年终区内产业最终产品库存向量为  $UF$ , 区内外中间投入库存矩阵  $VF$  及  $IF$ , 区内投入约束方程为:

$$S_{3i} + (n \cdot ne_i - n_i) \cdot E_i = n \cdot A_i \cdot N E - I I_i - G N_i + I N_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

其中:

$$S_{3i} = IV F_i - IV_i, \quad IV F = V F, \quad ivf_{ii} = 0, \quad IV = VA, \quad iv_{ii} = 0$$

$$n = 1 - \frac{T_1 + T_2}{365}, \quad T_1 \text{ 为洪水淹没时间, } T_2 \text{ 为灾后直接停产时间,}$$

$$N E = (ne_1, ne_2, \dots, ne_n)^T, \quad E_i = (e_{1i}, e_{2i}, \dots, e_{ni})^T, \\ ne_i = \sum_{j=1}^{2n+2} en_{ij}, \quad n_i = \sum_{j=1}^{2n+2} dn_{ij}, \quad A_i = \text{diag}(a_{1i}, \dots, a_{ni}),$$

$$I1_i = V_i - VA_i, gn_{ji} = dn_{ji}, j = 1, 2, \dots, n,$$

$IN_i$  为灾后进口区内中间投入替代品数量。

区外对区内产业投入约束方程:

$$S_{4_i} + (n \cdot ne_i - n_i) \cdot F_i = C_i \cdot XE - I2_i - GX_i + IM_i, i = 1, 2, \dots, n$$

其中:

$$S_{4_i} = IF_i - IA_i, F_i = (h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{ni})^T, XE = (xe_1, xe_2, \dots, xe_n)^T$$

$$xe_i = \sum_{j=1}^{2n+2} ex_{ij}, C_i = \text{diag}(c_{1i}, \dots, c_{ni}),$$

$$I2_i = I_i - IA_i gx_{ji} = dx_{ji}, j = 1, 2, \dots, n$$

$MI_i$  为灾后进口区外中间投入替代品数量。

区内产业产品约束方程:

$$ne_i - (n \cdot ne_i - n_i) + ai_i \geq au_i, i = 1, 2, \dots, n$$

其中:

$$K_i = \text{diag}(k_{1i}, \dots, k_{ni}), k_{ij} = e_{ij}, k_{ij} = 1, i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$ai_i = (1, 1, \dots, 1) \cdot (K_i \cdot IN), IN = \left( \sum_{j=1}^n IN_{1j}, \sum_{j=1}^n IN_{2j}, \dots, \sum_{j=1}^n IN_{nj} \right)^T,$$

$$au_i = (1, 1, \dots, 1) \cdot [K_i \cdot (U - UA + I1)], I1 = \left( \sum_{j=1}^n I1_{1j}, \sum_{j=1}^n I1_{2j}, \dots, \sum_{j=1}^n I1_{nj} \right)^T,$$

区外产业产品约束方程:

$$ax_j + am_j \geq gd_j, j = 1, 2, \dots, n$$

其中:

$$ax_j = (1, 1, \dots, 1) \cdot Q_j \left[ \sum_{i=1}^n [(ne_i - n \cdot ne_i + n_i) \cdot H_i - S_{4_i}] \right],$$

$$H_i = (h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{ni})^T, Q_j = \text{diag}(q_{j1}, \dots, q_{jn}), q_{ij} = J_{ij}, q_{ii} = 1, i = 1, 2, \dots, n$$

$$am_j = (1, 1, \dots, 1) \cdot (Q_j \cdot IM), IM = \left( \sum_{j=1}^n IM_{1j}, \sum_{j=1}^n IM_{2j}, \dots, \sum_{j=1}^n IM_{nj} \right)^T,$$

$$gd_j = (1, 1, \dots, 1) \cdot (Q_j \cdot i2), I2 = \left( \sum_{j=1}^n i2_{1j}, \sum_{j=1}^n i2_{2j}, \dots, \sum_{j=1}^n i2_{nj} \right)^T.$$

区外投入产出约束方程:

$$(xe_i - xd_i) \cdot J_i \leq ED_i + II_i, i = 1, 2, \dots, n$$

其中:

$$xd_i = \sum_{j=1}^{2n+2} dx_{ij}, xe_i = \sum_{j=1}^{2n+2} ex_{ij}, J_i = (J_{1i}, J_{2i}, \dots, J_{ni})^T,$$

$$ED_i = D_i \cdot XE - DTX_i, D_i = \text{diag}(d_{1i}, \dots, d_{ni}),$$

$$DTX_i = (dx_{1i+n}, dx_{2i+n}, \dots, dx_{ni+n})^T,$$

$II_i$  为区外  $i$  产业进口区外中间产品替代品数量。

$$(xe_i - xd_i) \cdot G_i \leq ND_i + IO_i, i = 1, 2, \dots, n$$

其中:

$$G_i = (g_{1i}, g_{2i}, \dots, g_{ni})^T, ND_i = n \cdot B_i \cdot NE - DTN_i,$$

$$B_i = \text{diag}(b_{1i}, \dots, b_{ni}), DTN_i = (dn_{1i+n}, dn_{2i+n}, \dots, dn_{ni+n})^T$$

$IO_i$  为区外  $i$  产业进口区内中间投入替代品数量。

#### 4 区内产业库容约束

区内外产业最终产品的单位价值量-体积量转换向量为  $YU$  及  $TI$ , 区内产业库容约束为:

$$UF \geq U, IF \geq I, VF \geq V, s_i \leq sl_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

其中:  $sl_i$  为区内  $i$  产业库存上限,

$$s_i = uf_i \cdot tu_i + if_{vi} + vf_{vi},$$

$$uf_i = ua_i + IY_1^1 + IY_2^2 + n \cdot (en_{i2n+1} + en_{i2n+2}) - dn_{i2n+1} - dn_{i2n+2} - YN_1^1 - YN_2^2,$$

$$if_{vi} = (1, 1, \dots, 1) \cdot (A I_i \cdot T I), A I_i = \text{diag}(if_{1i}, \dots, if_{ni}), \text{同理可得 } vf_{vi},$$

$$vf_{ii} = va_{ii} + in_{ii} + n \cdot en_{ii} - dn_{ii} - (ne_i - n_i) \cdot e_{ii}$$

## 5 交通运输网容量约束

应用运输问题建模方法建立交通运输网容量约束, 本文从略。

## 6 产品需求约束

区内外对区内最终产品需求下限为  $YN^1$  及  $YN^2$ , 因区内最终产品产量低于区内外需求下限需进口的替代品数量为  $IY^1$  及  $IY^2$ , 区内最终产品需求约束:

$$n \cdot en_{i2n+1} - dn_{i2n+1} + iy_i^1 \geq \underline{yn}_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$n \cdot en_{i2n+2} - dn_{i2n+2} + iy_i^2 \geq \underline{yn}_i^2, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

同理可得区外最终产品需求约束, 本文从略。

## 7 间接经济损失下限评估的多目标优化模型

### 7.1 停减产损失

$$\text{区内 } i \text{ 产业停减产损失 } si_i \text{ 为: } si_i = \sum_{j=1}^{2n+2} [en_{ij} - (n \cdot en_{ij} - dn_{ij})], \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

$$\text{区外 } i \text{ 产业停减产损失 } sx_i \text{ 为: } sx_i = \sum_{j=1}^{2n+2} (ex_{ij} - dx_{ij}), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

### 7.2 产品积压损失

设社会折现率为  $is$ , 则区内  $i$  产业产品积压损失  $pu_i$  为:

$$pu_i = \left[ (uf_i - u_i) + \sum_{j=1}^n (vf_{ji} - v_{ji}) + \sum_{j=1}^n (if_{ji} - i_{ji}) \right] \cdot is, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

### 7.3 投资溢价损失

以消费现值为计算单位的投资的影子价格为  $prinv$ , 本文间接经济损失计算以国民生产总值为计量单位, 设国民生产总值中有  $(1-s)$  比例的消费和  $s$  比例的再投资, 修正后的投资影子价格  $prinv$  为:

$$prinv = \frac{prinv}{(1-s) + s \cdot prinv}$$

灾区居民财产直接淹没损失为  $hs$ , 公共设施损失为  $pb$ , 区内各产业最终产品中消费品损失为  $les_i$ , 若  $i$  产业最终产品为消费品, 则  $les_i = (u_i - ua_i)$ , 否则,  $les_i = 0$  投资溢价损失  $inv$  为:

$$inv = \left( hs + pb + \sum_{i=1}^n les_i \right) \cdot prinv.$$

### 7.4 目标函数

根据全国各产业部门最终产品的重要程度, 将区内外  $2n$  个产业分成两大类, 第一类产业的最终产品对国民经济最重要, 第二类次要。设第一类产业共  $s$  个产业部门, 根据  $s$  个产业部门最终产品的重要性分成  $s$  个优先级, 相应于  $r_i$  产业部门的目标函数为该产业最终产品减少量极小化:  $Z_{r_i} = \min (EXPR_{r_i} - DAM_{r_i}), i = 1, 2, \dots, s$  ( $EXPR_{r_i} - DAM_{r_i}$ ) 可为:

$$(EXPR_{r_i} - DAM_{r_i}) = (n \cdot en_{r_i, 2n+1} - dn_{r_i, 2n+1}), (EXPR_{r_i} - DAM_{r_i}) = (n \cdot en_{r_i, 2n+2} - dn_{r_i, 2n+2}),$$

$$(EPX_{r_i} - DAM_{r_i}) = (ex_{r_i, 2n+1} - dx_{r_i, 2n+1}), (EPX_{r_i} - DAM_{r_i}) = (ex_{r_i, 2n+2} - dx_{r_i, 2n+2}).$$

第  $S+1$  级目标函数为全国洪灾造成的间接经济损失极小化:

$$Z_{s+1} = \min \left[ \sum_{i=1}^n (si_i + sx_i + pu_i) + inv \right].$$

### 7.5 非负约束

$$dn_{ij}, dx_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, 2n+2, IN, IO, IM, II, IY^1, IY^2, YX^1, YX^2 \quad 0$$

### 7.6 现状期望损失

直接与间接经济损失总和为现状条件下频率为  $f$  的洪灾总经济损失  $X(F)$ , 现状条件下的期望损失  $l_{so}$  为:  $l_{so} = \int_0^1 X(f) df$ 。将  $f$  离散化, 应用数值积分公式计算。

## 8 结束语

针对洪灾区经济运行的具体情况, 应用地区间投入产出分析, 考虑了各种约束条件, 建立了评估洪灾间接经济损失下限的多目标优化模型。模型反映了间接经济损失不可减量的大小及其时空分布特征, 以及洪灾对灾区经济发展的制约作用, 为防洪规划、防洪调度、防洪决策以及区域可持续发展战略的实施提供了科学依据。

### 参考文献

- 1 Ralph A Wurbs. Optimal Sizing of Flood Damage Reduction Measures Based on Economic Efficiency. Water Resources Development, 1996, 12(1): 5~ 16
- 2 Zolt Zrinji and Donald H Burn. Regional Flood Frequency with Hierarchical Region of Influence. Journal of Water Resources Planning and Management, 1996, 122(4): 245~ 252

(上接第 83 页)

### 参考文献

- 1 程乾生. 属性集和属性综合评价系统. 系统工程理论与实践, 1997, 17(9): 1~ 8
- 2 汪培庄. 模糊集合论及其应用. 上海: 上海科学技术出版社, 1983
- 3 吴望名, 陈永又, 黄金丽. 应用模糊集方法. 北京: 北京师范大学出版社, 1985
- 4 王彩华, 宋连天. 模糊论方法论. 中国建筑工业出版社, 1988
- 5 刘锡荟, 王海燕. 网络模糊随机分析——原理、方法与程序. 电子工业出版社, 1991
- 6 韩太国, 孙立民, 栾昉. 小白粉病的模糊预测研究. 农业系统科学与综合研究, 1996, 12(2): 93~ 95
- 7 严系楼. 模糊综合评判理论在施工进度计划全过程管理中的应用. 系统工程理论与实践, 1997, 17(9): 113~ 117
- 8 路耀华. 吉林省全面质量管理的现状及对策研究. 系统工程理论与实践, 1996, 16(5): 53~ 58
- 9 李建宁. 综合大学教学工作的评价与应用. 系统工程理论与实践, 1996, 16(9): 85~ 89
- 10 刘玉斌. 种植业系统的初步诊断. 2000 年的海伦, 第二册. 系统工程设计, 1984, 10: 54~ 59
- 11 戴天红, 槽曹文. 谷物干燥研究中的模糊数学方法. 农业工程学报, 1996, 12(3): 48~ 51