

文章编号:1000 - 8462(2009)04 - 0529 - 06

# 极端天气事件导致基础设施破坏 间接经济损失评估

胡爱军<sup>1,2</sup> 李 宁<sup>1</sup> 史培军<sup>1</sup> 郭海峰<sup>2</sup> 赵晗萍<sup>1</sup>, 尹新怀<sup>2</sup>

(1. 民政部 / 教育部减灾与应急管理研究院 地表过程与资源生态国家重点实验室 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部  
重点实验室, 中国 北京 100875 2. 湖南省气象局, 中国湖南 长沙 410007)

**摘要** 极端天气事件造成的经济损失包括直接经济损失和间接经济损失。间接经济损失是衡量现代经济系统脆弱性的重要指标, 也是灾后恢复重建的重要参考依据。加强间接经济损失评估具有十分重要的意义。以 2008 年中国南方低温雨雪冰冻灾害为例, 应用非正常投入产出模型对灾害过程中电力和交通基础设施破坏造成的间接经济损失进行了评估。结果显示, 电力、交通等基础设施破坏对经济系统其他产业生产造成严重影响, 影响依据相互关联程度不同而存在差别, 造成总的间接经济损失超过 100 多亿元。因此, 极端天气事件风险分析和应急管理应该把间接经济损失评估纳入其中。非正常投入产出模型为经济系统脆弱性分析以及间接经济损失的估算提供了有力的工具。

**关键词** 低温雨雪冰冻灾害 间接经济损失 故障投入产出模型 风险管理 湖南

中图分类号 X43; F224.9 文献标识码 A

IPCC 第四次评估报告显示, 全球气候变暖是不争的事实, 全球变暖对人类的影响不仅是广泛的, 而且也是很深刻的, 未来热带气旋、强降水等极端天气气候事件将变得更加频繁、更加普遍、更加剧烈<sup>[1]</sup>。近年来, 在我国发生的极端天气事件呈频次增多、强度增大、损失加重的趋势。极端天气事件不仅造成大量人员伤亡, 还会造成重要基础设施特别是生命线系统的破坏, 对经济社会造成严重威胁。现代国民经济体系是一个高度相互依赖的经济系统, 这种相互依赖的形式表现为信息流、物质流和资金流等。而且随着现代经济社会高度发展, 经济产业之间关联度越来越高, 经济系统的脆弱性也越来越大。当电力、交通、金融等重要基础部门遭到极端天气事件灾害袭击时, 将通过产业间相互依赖关系影响到经济系统其他产业, 并呈波及放大效应, 引起各产业部门生产能力下降, 甚至影响到整个经济系统的稳定运行。2008 年中国南方低温雨雪冰冻灾害造成的电力中断和交通中断引发这种间接影响表现得非常显著。

通常把灾害直接造成的物质形态的破坏, 如房屋建筑、基础设施的破坏等, 称之为直接经济损失, 一般以财产的重置成本计算<sup>[2-4]</sup>。把基础设施破坏等

直接经济损失继续引发的生产中断等间接影响, 称为间接经济损失。目前对间接经济损失还没有一个比较统一的定义。Boisvert 定义间接经济损失, 是指由于直接经济损失造成供给瓶颈或者需求减少, 从而在整个经济系统中引起乘数效应或者传播效应导致的损失<sup>[5]</sup>。Brookshire 等把间接经济损失定义为超出直接财产影响之外延伸的损失, 比如收入损失、商品存货损失等等<sup>[2]</sup>。Burrus 等定义间接经济损失是因为商业遭到破坏或者中断导致经济产量下降产生的损失<sup>[6]</sup>。黄渝祥等把间接经济损失定义为灾害造成总经济损失中直接经济损失以外的经济损失, 是灾害引起的间接的对经济的影响, 是一种深层次的经济损失, 同时他把间接经济损失分为停减产损失、中间投入积压经济损失、投资溢价损失<sup>[3]</sup>。徐嵩龄从广义角度将间接经济损失分为社会经济关联型损失、灾害关联型损失、资源关联型损失<sup>[4]</sup>。在我国一般比较重视直接经济损失, 往往忽略了间接经济损失。然而极端事件造成的间接经济损失评估是非常重要的。间接经济损失是刻画自然灾害强度、评估经济社会脆弱性、改善重建决策的重要指标<sup>[7-8]</sup>。

国内学者对间接经济损失评估开展了一些工

收稿时间 2008 - 09 - 21; 修回时间 2009 - 02 - 20

基金项目 国家科技支撑计划课题(编号 2008BAK20B08)和国家科技支撑计划课题(编号 2007BAC29B04)联合资助。

作。如张显东、沈荣芳以哈罗德—多马经济增长模型为基础,估算灾害直接损失对经济增长率的影响<sup>[9]</sup>;于庆东、沈荣芳,钟江荣、林均岐利用灾前灾后GDP的变化计算间接经济损失<sup>[10-11]</sup>;刘希林、赵源利用比例系数法评估了地貌灾害间接经济损失<sup>[12]</sup>;路琼等,林均岐、钟江荣采用投入产出模型计算间接经济损失<sup>[13-14]</sup>。但国内学者在应用投入产出模型计算间接经济损失并没有区分是因为供给原因还是因为需求原因引起的间接经济损失。

国外很多学者采用投入产出模型评估极端事件(如飓风、恐怖袭击、大面积停电事件)造成间接经济损失。如,Cochrane分析地震对区域经济的影响<sup>[15]</sup>,Rose等评价地震导致的电力生命线破坏造成的经济损失<sup>[16]</sup>,Haines等提出了灾前和灾后需求或者供应下降程度来评估灾害破坏重要基础设施造成的间接经济损失<sup>[17-18]</sup>;Anderson等实证分析了美国东北州大面积停电事件产生的间接经济损失<sup>[19]</sup>;Crowther等分析了卡特里娜飓风造成的间接经济损失以及相应的应急策略<sup>[20]</sup>;Lian等研究了极端风险的间接经济损失分析<sup>[21]</sup>。

本文以2008年中国南方极端冰雪灾害为例,在构建非正常投入产出模型的基础上,探讨极端天气事件造成电力、交通等基础设施破坏造成的间接经济损失。

## 1 间接经济损失评估模型

本文所指的间接经济损失定义为,极端天气事件袭击基础产业部门(如电力、交通)后,影响到国民经济系统各个产业部门正常生产经营活动而造成的经济损失。经济系统是各产业部门互相依存关系,电力是很多产业部门的生产动力,另外电力生产也需要其他产业部门产品的投入,这样部门与部门之间形成双向关系,如果电力中断使得电力部门与其他部门之间的链条断裂,自然影响到其他部门的正常生产经营活动,间接经济损失便产生了。瓦西里·列昂节夫(Wassily Leontief)提出的投入产出模型正好能够刻画经济系统各产业部门之间的投入与产出的数量依存关系(图1)。表1是非常典型的投入产出表。

价值型投入产出模型平衡公式(1):

$$X = AX + C \Leftrightarrow \left\{ x_i = \sum_j a_{ij} x_j + c_i \right\} \forall i \quad (1)$$

式中  $a_{ij}$  为直接消耗系数,指生产单位第  $j$  种产品对第  $i$  种产品的直接消耗量,  $x_i$ ,  $x_j$  分别表示产业部门  $i$

和  $j$  的总生产产量,  $c_i$  是指对部门  $i$  生产产品的最终需求。

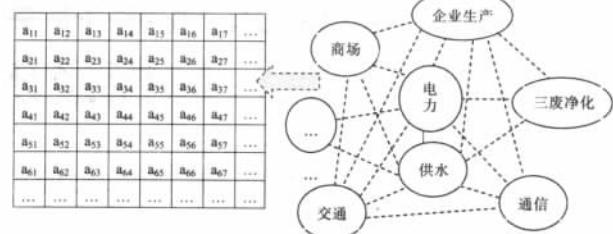


图1 (a) 投入产出技术系数矩阵 A;

(b) 经济系统相互依存关系网状概念图

Fig.1 (a). Input-output technical coefficient matrix A;  
(b)Illustration of interconnected infrastructure sectors

表1 投入产出表  
Tab.1 Input-output table

投入	中 间 产 品					最 终 产 品	总 产 品
	部 门 1	部 门 2	...	...	部 门 n		
中 部 门 1	$x_{11}$	$x_{21}$	...	...	$x_{n1}$	$C_1$	$X_1$
间 部 门 2	$x_{21}$	$x_{22}$	...	...	$x_{2n}$	$C_2$	$X_2$
投 .....	...	...	...	...	$x_{nn}$	$C_n$	$X_n$
入 部 门 n	$x_{n1}$	$x_{n2}$	...	...	$x_{nn}$	$C_n$	$X_n$
增 加 值	$N_1$	$N_2$	...	...	$N_n$		
总 投 入	$X_1$	$X_2$	...	...	$X_n$		

价值型投入产出模型列平衡公式:

$$A^c X + N = X \Leftrightarrow \left\{ a_{ij}^c x_i + n_j = x_j \right\} \forall i, j \quad (2)$$

式中  $a_{ij}^c$  为分配系数矩阵,  $x_j$  表示部门  $j$  总消耗量,  $n_j$  表示部门  $j$  价值增加值(最初投入)。

把非正常程度(Inoperability)定义为系统功能下降程度,反映了在极端天气事件袭击之后基础产业部门系统功能水平下降状况,用  $Q$  表示,即灾后生产能力下降程度与灾前正常生产能力的比值,见公式(3)。

$$Q = (\text{diag}(\hat{X})^{-1} (\hat{X} - \tilde{X})) \quad (3)$$

式中  $\hat{X}$  表示产业部门灾前生产能力,  $\tilde{X}$  表示灾后生产能力。

定义矩阵  $P = (\text{diag}(\hat{X}))^{-1}$ ,根据方程(1),方程(3)可以则转换为:

$$Q = P(\hat{X} - \tilde{X}) = PA(\hat{X} - \tilde{X}) + P(\hat{C} - \tilde{C}) = [PAP^{-1}] [P(\hat{X} - \tilde{X})] + [P(\hat{C} - \tilde{C})] \quad (4)$$

整理之后就可以得到经典的基于需求下降的非正常投入产出模型,见方程(5):

$$Q = A^* Q + C^* \quad (5)$$

式中  $A^* = PAP^{-1} \Leftrightarrow \left\{ a_{ij}^* = a_{ij} \frac{\hat{x}_j}{\tilde{x}_i} \right\}$ , 表示需求依赖矩阵。

阵  $\hat{C}^* = P(\hat{C} - \tilde{C}) \Leftrightarrow \left\{ \hat{c}_i^* = \frac{\hat{c}_i - \tilde{c}_i}{x_i} \right\}$ , 表示需求下降初值。

相应根据方程(2), 把方程(3)可以变换为方程(6), 即得到基于供应下降的非正常投入产出模型:

$$Q = A^{e*} Q + N^* \quad (6)$$

式中  $A^{e*}$ , 表示供应依赖矩阵,  $N^*$  表示供应下降初值。

依据方程(5)或(6), 则可以计算出各产业部门因为极端天气事件袭击某基础部门之后对整个经济系统的波及效应。

间接经济损失是指极端事件袭击使得经济系统没有实现的生产能力, 这样间接经济损失就可以采用方程(7)进行估算:

$$LOSS = \sum_i x_i q_i \quad (7)$$

## 2 低温雨雪冰冻灾害导致电力、交通中断间接经济损失分析

### 2.1 研究区域和数据来源

本文以湖南省为例评估 2008 年低温雨雪冰冻灾害导致电力、交通中断的间接经济损失。湖南省是这次中国南方低温雨雪冰冻灾害受灾最为严重的省份, 灾害影响的时间从 1 月 12 日开始一直持续到 2 月 5 日。湖南位于中国的中部, 总面积 21 万多  $km^2$ , 有京广铁路线和京珠高速公路线都经等交通要道经过。据湖南省民政厅初步统计, 全省共 3 927.7 万人受灾, 因灾倒塌房屋 8.2 万间, 损坏 30 万间, 直接经济损失 680 亿元<sup>[22]</sup>, 极端低温雨雪冰冻灾害一度造成湖南部分地区电力中断, 京珠高速公路交通瘫痪。下面将运用非正常状态投入产出模型评估湖南省电力供应故障、交通阻塞导致的间接经济损失。

数据来源: 电力负荷数据来源于国家电力监管委员会应急管理办公室公开发布的冰雪灾害应急信息快报, 交通运输数据来源于湖南省统计局公布的湖南交通邮电企业主要经济指标, 投入产出表、GDP 增长数据来自湖南省统计局。投入产出表是逢二、七的年份编制, 2007 年的投入产出表正在编制中, 所以采用 2002 年的 42 部门投入产出表。

### 2.2 电力供应中断间接经济损失

电力产业非正常程度用灾后最大电力负荷下降程度占灾前最大电力负荷的比例。依据非正常投

入产出模型可以计算出, 因电力部门故障导致经济系统各产业部门生产能力下降程度(图)。受电力供应故障影响最严重的十个产业部门分别是: 水的生产和供应业, 非金属矿物制品业, 金属冶炼及压延加工业, 金属矿采选业, 化学工业, 电气、机械及器材制造业, 金属制品业, 煤炭开采和洗选业, 卫生、社会保障和社会福利业, 建筑业。

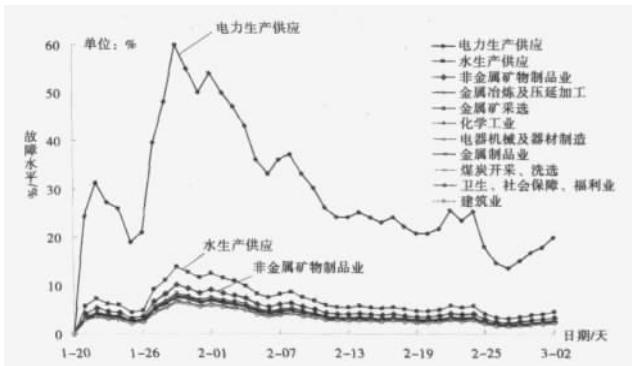


图 2 电力供应故障导致湖南部分产业部门生产能力下降程度(前 10 位)

Fig.2 Top 10 inoperable sectors resulting from perturbation of power sector

根据各产业部门的年总产出, 可以进一步计算估算出电力供应故障带来的间接经济损失。间接经济损失排在前 10 位的产业部门分别是: 建筑业, 金属冶炼及压延加工业, 化学工业, 非金属矿物制品业, 通用、专用设备制造业, 食品制造及烟草加工业, 卫生、社会保障和社会福利业, 交通运输设备制造业, 批发和零售贸易业, 农业(图 3)。因此, 在电力供应故障的 42 天, 造成湖南国民经济的间接损失达 65.2 亿多元。

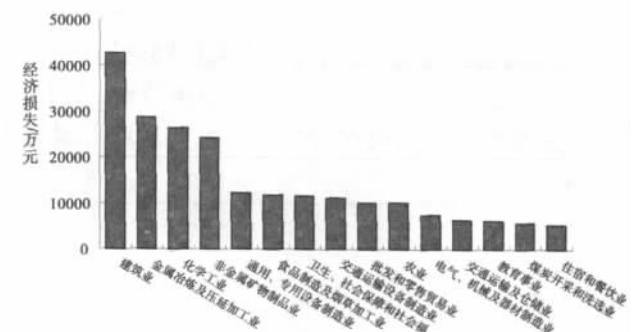


图 3 电力供应故障导致湖南部分产业部门经济损失(前 15 位)

Fig.3 Top 15 sectors to suffer economic loss from perturbation to power sector

### 2.3 交通堵塞间接经济损失

据湖南省统计局发布的交通邮电企业主要经济数据, 2 月货运量下降 6.8%、货运周转量下降 5.5%、客运量下降 22.1%、客运周转量下降 4.6%。

1月份交通堵塞情况要比2月份更加严重。因此,保守估算在1、2月湖南省交通运输业能力平均下降10%。然后根据非正常投入产出模型估算交通运输业生产能力下降对经济系统其他产业部门的影响程度。

依据非正常投入产出模型可以计算出,湖南各产业部门受交通运输阻塞影响的程度(图4)。因交通运输能力下降引发的经济产业部门生产能力下降排在前10位是:旅游业、通信设备、计算机等电子设备制造业、非金属矿采选业、建筑业、金属冶炼及压延加工业、交通运输设备制造业、化学工业、电气、机械及器材制造业、非金属矿物制品业、金属制品业。

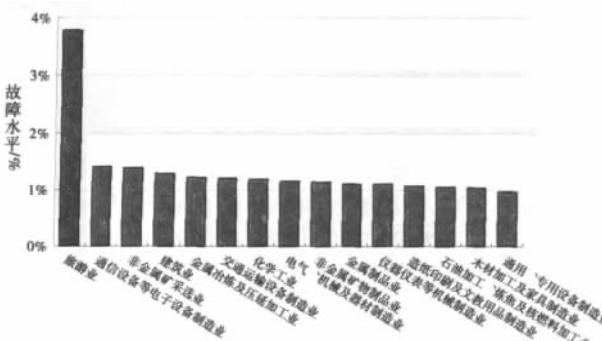


图4 交通运输能力下降导致部分产业部门生产能力下降程度(前15位)

Fig.4 Top 15 inoperable sectors resulting from perturbation of transportation Sector

同样,可以进一步计算估算出交通运输能力下降给各产业部门带来的间接经济损失。间接经济损失排在前10位的产业部门分别是:建筑业、食品制造及烟草加工业、农业、化学工业、金属冶炼及压延加工业、批发和零售贸易业、非金属矿物制品业、交通运输设备制造业、通用、专用设备制造业、卫生、社会保障和社会福利业(图5)。在1、2月份因为

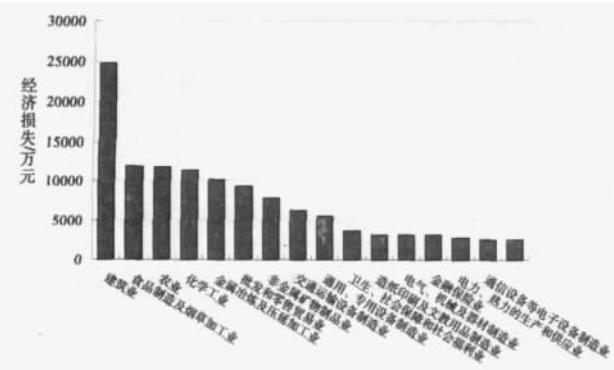


图5 交通运输故障导致湖南部分产业部门经济损失情况(前15位)

Fig.5 Top 15 Sectors to Suffer Economic Loss from perturbation to transportation Sector

交通运输能力下降导致湖南国民经济总的间接经济损失达到39.5亿多元。

### 3 讨论

#### 3.1 极端事件间接经济损失结果分析

从前面对电力供应能力下降和交通运输能力下降导致的间接经济损失分析结果看,总和达到了104.7亿多元,接近直接经济损失的15.4%。由于本文数据来源有限,间接经济损失评估期间电力并没有恢复正常,交通运输阻塞程度估计值偏低,而且没有考虑其他产业自身遭受直接经济损失导致的间接经济损失。因此,极端冰雪灾害事件引发的间接经济损失是巨大的,在评估极端事件灾害影响时应该充分考虑间接经济损失。

另外,综合生产能力下降程度和间接经济损失两个量度,可以进一步分析电力供应能力下降和交通运输能力下降分别对各产业部门的影响程度,为决策者应急响应提供依据。图6是以生产能力下降程度为横轴、间接经济损失为纵轴描述了电力供应能力下降对各产业部门影响程度(图中数字为产业部门代码),深色区域为影响为严重的区域,主要是采矿业、制造业、化学工业、建筑业、卫生、社会保障和社会福利业等,在应急响应过程中以及后面的恢复重建,对这些产业部门也应该予以关注,使其尽快恢复生产,保障国民经济的健康稳定运行。

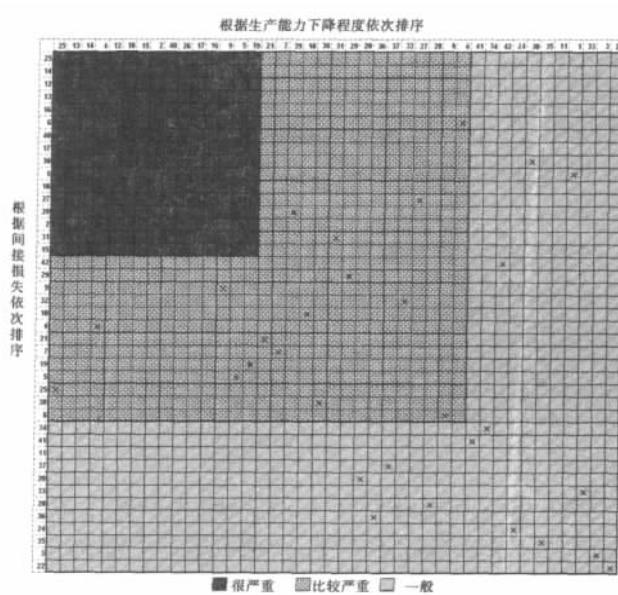


图6 产业部门受电力故障影响程度分析图

Fig.6 Sectors affected in terms of inoperability and economic losses resulting from supply reductions in the power sector

总的来说,在灾害应急管理和恢复重建过程中

要关注间接经济损失评估,而非正常投入产出模型为经济系统相互依赖关系的风险分析以及间接经济损失的估算提供了有力的工具。

### 3.2 间接经济损失评估在极端天气事件应急响应策略中的应用

针对风险管理,Kaplan & Garrick 提出了非常经典的问题,并奠定了定量风险分析的基础<sup>[23]</sup>。这三个问题分别是:①有什么危机?②发生的概率是多少?③造成后果是什么?其后,Haimes 又提出了另外三个经典问题从而确立了定量风险分析的基本任务<sup>[24]</sup>:①风险管理能够做什么?选择那个策略更有效?②根据成本、效益和风险的权衡,应该选择什么策略?③当前这种决策下对未来的影响是什么?本文把间接经济损失评估引入到极端事件应急响应中,提出应急响应策略框架(图 7)。

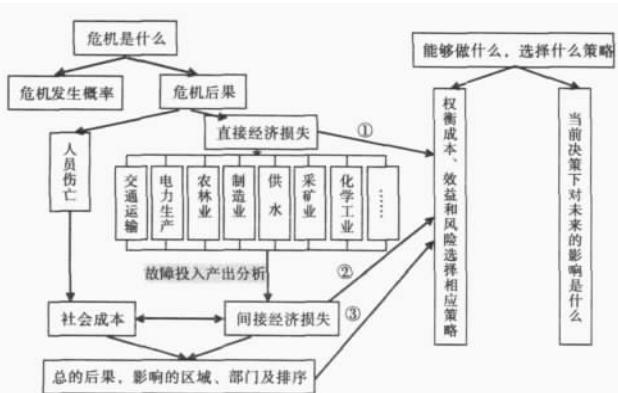


图 7 极端天气气候事件灾害影响评估与  
应急管理策略基本框架图

Fig.7 The framework of extreme weather events impact assessment and emergency management strategy

极端天气事件应急响应首先将根据最初的人员伤亡统计和直接经济损失评估来确定最初的应急响应策略。其次,在极端天气事件应急响应过程中必须关注间接经济损失。极端天气事件导致的直接经济损失正好是间接经济损失评估的输入变量。基于非正常投入产出模型间接经济损失分析结果,可以知道那个部门的不正常运行,对经济系统其他部门正常运行影响最大,同时还可以进一步分析得到,该基础部门的不正常运行对其他产业部门影响程度的依次排序情况以及最后总的间接经济损失大小。这样,通过非正常投入产出模型分析间接经济损失,将为极端天气事件应急响应策略的调整提供重要决策依据。

### 参考文献:

[1] IPCC. Climate Change 2007 Impacts Adaptation and Vulnera-

bility. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007.

- [2] Brookshire, D.S. Chang, S.E. Cochrane, H. Olson, R.A. Rose, A. and Steenson, J. Direct and indirect economic losses from earthquake damage [J]. Earthquake Spectra, 1997, 13(4): 683 - 701.
- [3] 黄渝祥,杨宗跃,邵颖红.灾害间接经济损失的计量[J].灾害学,1994,9(3):7 - 11.
- [4] 徐嵩龄.灾害经济损失概念及产业关联型间接经济损失计量[J].自然灾害学报,1998,7(4):7 - 15.
- [5] Boisvert R. Indirect economic consequences of a catastrophic earthquake. Direct and indirect economic losses from lifeline damage. FEMA Contract EMW - 90 - 3598, Development Technologies Inc., Washington, DC, USA. 1992.
- [6] Burrus R.T.Jr. Dumas, C.F. Farrell, C.H. Hall, W.W. Jr. Impact of low intensity hurricanes on regional economic activity [J]. Natural Hazards Review, 2002, 3(3): 118 - 125.
- [7] Rhinesmith A. The federal budget and federal disaster assistance. Presentation before the Committee on Assessing the Costs of Natural Disasters of the National Research Council, 1997, December 15, Washington, DC.
- [8] Federal Emergency Management Agency. Earthquake Loss Estimation Methodology (HAZUS). National Institute of Building Sciences, Washington DC, 1997.
- [9] 张显东,梅广清.二要素多部门CGE模型的灾害经济研究[J].自然灾害学报,1999,8(1):9 - 15.
- [10] 于庆东,沈荣芳.灾害经济损失评估理论与方法探讨[J].灾害学,1996,11(2):10 - 14.
- [11] 钟江荣,林均岐.地震间接经济损失研究[J].自然灾害学报,2003,12(4):88 - 92.
- [12] 刘希林,赵源.地貌灾害间接经济损失评估:以泥石流灾害为例[J].地理科学进展,2008,27(3):7 - 12.
- [13] 路琼,魏一鸣,范英,徐伟宣.灾害对国民经济影响的定量分析模型及其应用[J].自然灾害学报,2002,11(3):15 - 20.
- [14] 林均岐,钟江荣.地震灾害产业关联损失评估[J].世界地震工程,2007,23(2):37 - 40.
- [15] Cochrane H C. Predicting the Economic Impact of Earthquakes. Social science perspectives on the coming San Francisco earthquake, H C Cochrane, J E Haas, M J Bowden and R W Kates (Editors) Natural Hazards Research Paper No.25 NHRAIC, University of Colorado, Boulder, CO, 1974.
- [16] Rose A, Benavides J, Chang S.E, Szczesniak P, Lim D. The Regional Economic Impact of An Earthquake: Direct and Indirect Effects of Electricity Lifeline Disruptions [J]. Journal of Regional Science, 1997, 37: 437 - 458.
- [17] Haimes Y Y, Horowitz B M, Lambert J H, et al. Inoperability Input-output Model (IIM) For Interdependent Infrastructure Sectors: Theory And Methodology [J]. ASCE Journal of Infrastructure System, 2005, 11(2): 67 - 79.
- [18] Haimes Y Y, Horowitz B M, Lambert J H, et al. Inoperability Input-output Model (IIM) For Interdependent Infrastructure Sectors: Case Studies [J]. ASCE Journal of Infrastructure System, 2005, 11(2): 80 - 92.
- [19] Anderson C W, Santos J R, Haimes Y Y. Risk Modeling Assess-

- ment and Management of The August 2003 Northeast Blackout , presented at the 2004 Society for Risk Analysis Annual Meeting , full report printed by the Center for Risk Management of Engineering Systems ,University of Virginia ,Charlottesville ,VA , 2004.
- [20] Crowther K G ,Haimes Y Y ,aub G T. Systemic Valuation of Strategic Preparedness Through Application of the Inoperability Input-Output Model with Lessons Learned from Hurricane Katrina[J]. Risk Analysis ,2007 ,27(5) :1 345 - 1 364.
- [21] Lian C ,Santos J R ,Haimes Y Y. Extreme Risk Analysis of Interdependent Economic and Infrastructure Sectors [J] . Risk Analysis ,2007 ,27(4) :1 053 - 1 064.
- [22] 关注湖南灾后重建 ,“政府应急能力”成热点之首 [N]. www. hunan.gov.cn ,2008 - 03 - 03.
- [23] Kaplan S ,Garrick B J.On the Quantitative Definition of Risk [J] . Risk Analysis ,1981 ,1(1) :11 - 27.
- [24] Haimes Y Y. Total Risk Management [J] . Risk Analysis ,1991 ,11(2) :169 - 171.

## INDIRECT EFFECTS OF INFRASTRUCTURE DISRUPTIONS CAUSED BY EXTREME WEATHER EVENTS WITH APPLICATION OF THE INOPERABILITY INPUT- OUTPUT MODEL

HU Ai - jun<sup>1,2</sup>, LI Ning<sup>1</sup>, SHI Pei - jun<sup>1</sup>, GUO Hai - feng<sup>2</sup>, ZHAO Han - ping<sup>1</sup>, YIN Xin - huai<sup>2</sup>

(1.State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology;Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China; Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875 ,China;  
 2.Hunan Meteorological Bureau, Changsha 410007, Hunan, China)

**Abstract:** Economic loss caused by extreme weather events includes direct and indirect effects. Indirect loss estimates are Not only are important in identifying the vulnerability of economic system, but also more practical usefulness for improving recovery decisions. The Inoperability Input-Output Model (IIM) is a methodology that can estimate cascading indirect impacts resulted from interdependencies within the economic and infrastructure systems. This paper took the 2008 Large-Scale Snow Disaster in South China as a study, analysed the inoperability and indirect economic loss cause by power supply disturbance and transportation perturbation. The total indirect economic loss is about ten billion RMBs in Hunan province because of the inoperability of power and transportation. Finally, this paper puts forward a extreme events risk assessment and management framework that take interdependency analysis into account through application of IIM. The inoperability Input-Output Model can effiently and inexpensively compute the indirect economic impacts, which can provide some valuable references for emergency management of extreme events.

**Key words:** extreme storm snow;indirect economic loss;inoperability input-output model;risk management; Hunan

**作者简介** 胡爱军(1978—),男,湖南郴州人,博士研究生。主要研究方向为自然灾害风险。E-mail :ningli@ires.cn。