

农业气象灾害对产业经济系统的影响评估^{*}

郭 际^{1,2}, 吴先华^{1,2}, 陈云峰³

(1. 南京信息工程大学 中国制造业发展研究院, 江苏 南京 210044; 2. 南京信息工程大学
经济管理学院, 江苏 南京 210044; 3. 中国气象出版社, 北京 100081)

摘 要:在里昂捷夫的投入产出表的基础上, 充分考虑产业经济系统各子系统之间存在的内在关联性, 提出了静态和动态的投入产出综合评估模型(SMIOM, DMIOM)。以我国2010年度的气象灾害为例, 对模型进行了验证: 计算了静态情形下各产业以及整个产业经济系统的最终产出损失值; 计算了不同恢复期限下的产业经济系统的最终产出损失值; 筛选了对气象灾害较为敏感的产业。

关键词:农业气象灾害; 产业经济系统; 投入产出

中图分类号: X43; F1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)01-0079-04

0 引言

近年来, 气象灾害频发, 促使人们更加关注气象灾害造成的社会经济损失。以往的研究多局限于评估气象灾害对某一产业或某一地区带来的直接损失, 而对评估灾害所带来的综合损失, 尤其是对产业经济系统带来的关联损失的研究较少。

灾害的产业关联损失是灾害间接损失的一种^[1]。在这方面, 国内外学者做了较多的探讨。如 Okuyama^[2]构建了基于连续时间的行业时序关联模型(Sequential Interindustry Model, 简称 SIM)跟踪灾害对生产过程的影响路径。Santos & Haimes^[3]计算了恐怖袭击给基础产业系统带来的综合损失。Lian 等^[4]用“动态非正常投入产出模型”(Dynamic Inoperability Input-output Model)模拟了极端恐怖事件给基础产业系统带来的损失及其恢复过程。Growther 等^[5]评估了 Katrina 飓风给基础产业系统造成的经济损失等。在国内, 徐嵩龄^[1]构建了投入产出系数矩阵, 计算了1990年代中国水旱灾害的间接经济损失。路琮等^[6]用投入产出模型, 计算了农业灾害损失对整个经济系统的影响值。刘希林等^[7]用比例系数法, 评估了泥石流灾害带来的间接经济损失。胡爱军等^[8]借用了 Haimes 等人^[9-10]的“非正常投入产出模型”(Inoperability Input-output Model), 评估了2008年中国南方低温雨雪冰冻灾害对电力和交通基础设施破坏造成的间接经济损失等。另外的研究还如黄渝祥^[11]、王海

滋^[12-14]、吴吉东等^[15]、王飞^[16]、孙慧娜^[17]等。

从以上研究来看, 计算灾害产业静态损失的较多, 计算动态损失的较少; 针对模拟数据的研究较多, 应用实际投入产出表的研究较少, 尤其是针对近年发生的实际农业灾害, 计算其给关联产业带来的间接经济损失的研究更为少见。本文借鉴了 Haimes & Jiang^[18]、Santos & Haimes^[3]、Lian 等^[4]的研究思路, 提出了气象灾害影响产业经济系统的静、动态综合评估投入产出模型。在2007年我国投入产出表数据的基础上, 计算了2010年度农业气象灾害其对我国产业经济系统的关联影响, 得到了富有启示意义的结论。

1 数据说明

投入产出表来自中国国家统计局国民经济核算司2007年编制的《中国投入产出表》^[19], 选用了42部门表的数据。农业灾害的数据来自于国家统计局编制的《中国统计年鉴》(2011)^[20]和气象出版社出版的《中国气象灾害年鉴》(2011)^[21]。

2010年, 中国气候极为异常, 极端高温和强降水事件发生之频繁、强度之强、范围之广历史罕见, 由此造成的损失为本世纪以来之最^[22]。2010年, 农作物总播种面积16 067.5万hm², 受灾面积3 742.59万hm², 成灾面积1 853.81万hm², 绝收面积487万hm²^[22]。根据民政部的定义, 成灾面积是粮食产量低于正常年份产量30%以上的土地面积, 可用以下公式计算得到当年农

^{*} 收稿日期: 2012-04-18 修回日期: 2012-06-01

基金项目: 国家自然科学基金“基于间接经济损失评估的气象灾害跨区域多行业应急联动的机制研究”(71140014); 国家社科基金项目“气象公共服务效益评估方法的创新研究”(11CGL100); 国家软科学研究计划“气象灾害跨区域多行业应急联动的政策研究”(2011GXQ4B025); 教育部人文社科研究项目“气象服务效益评估的方法创新及其应用研究”(09YJC630128); 江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 郭际(1978-), 女, 湖北荆门市人, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为灾害应急管理、危机管理。

E-mail: guoboshi@126.com

作物产量的损失比例:

$$\frac{\text{农作物产量的损失比例} = \frac{\text{成灾面积 } 1\,853.81 \text{ 万 hm}^2 \times 30\% + \text{绝收面积 } 487 \text{ 万 hm}^2}{\text{农作物总播种面积 } 16\,067.5 \text{ 万 hm}^2}}{= 3.764\%} \quad (1)$$

以上结果显然小于实际损失^[6]。由于年鉴中没有林、牧、渔业受气象灾害影响的损失数据,因此可将该值近似看作整个农林牧渔业的损失比例。

2 方法介绍

2.1 列昂捷夫(1951)投入产出矩阵

列昂捷夫^[23]的投入产出表认为,各产业之间的关联性可用公式表示如下:

$$X = AX + C,$$

$$\text{即: } x_i = \sum_j a_{ij}x_j + c_i, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

式中: x_i 表示产业 i 的总产出; 矩阵 A 的系数 a_{ij} 表示产业 i 的投入占产业 j 总的生产所需的比例; c_i 指产业 i 的最终需求。

在此模型的基础上, Haimes & Jiang^[18]提出了非正常投入产出模型(Inoperability I-O model), Haimes^[9-10, 24-25]、Santos & Haimes^[3]、Jiang & Haimes^[26]等运用该模型做了大量的研究。

本文在 Haimes & Jiang^[18]基础上,提出了气象灾害影响产业经济系统的静、动态评价模型,简要介绍如下。

2.2 气象灾害影响产业经济系统的评估模型^①

(1)静态综合评价投入产出模型(SMIOM)。当产业经济系统受到气象灾害的瞬时冲击后,可用静态综合评估投入产出模型(Static Meteorological Disasters Impact I-O Model, 简称 SMIOM)评估灾害带来的综合损失值,表示如下:

$$Q = A^*Q + C^*. \quad (3)$$

式中: Q 表示产业经济系统受到气象灾害影响后的综合损失所占比例。

$$Q = [\text{diag}(\hat{x})]^{-1}[\hat{x} - \tilde{x}] \quad (4)$$

式中: \hat{x}_i 、 \tilde{x}_i 分别为产业 i 的计划产出和减少的产出, $q_i \in [0, 1]$ 。

② C^* 表示由于受到气象灾害的影响后,投入产出表的减少需求所占比例。

$$C = [\text{diag}(\hat{x})]^{-1}[\hat{c} - \tilde{c}], \quad (5)$$

式中: \hat{c}_i 、 \tilde{c}_i 分别为产业 i 的计划需求和减少的需求, $c_i^* \in [0, \frac{\hat{c}_i}{x_i}]$ 。

③ A^* 是依赖矩阵,表示矩阵的列产业的需求减少导致行产业的损失比例。

$$A = [\text{Diag}(\hat{x})]^{-1}[A][\text{Diag}(\hat{x})], \quad (6)$$

式中: 列昂捷夫(1951)技术系数矩阵 A 的元素为 a_{ij} 。

(2)动态综合评价投入产出模型(DMIOM)。考虑到产业经济系统受到气象灾害的瞬时冲击后,有一个恢复其正常产出功能的时期。因此,可以计算恢复期内的产业经济系统的综合损失值。该模型可称为动态综合评估投入产出模型(Dynamic Meteorological Disasters Impact I-O Model, 简称为 DMIOM)。

对产业 i 而言,其总的经济损失 $Q_i(t)$ 可用公式表示如下:

$$Q_i(t) = \hat{x}_{it} \int_{t=0}^T q_i(t) dt. \quad (7)$$

对整个产业经济系统而言, n 个产业的总经济损失 $Q(t)$ 表示如下:

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n \hat{x}_{it} \int_{t=0}^T q_i(t) dt. \quad (8)$$

式中: \hat{x}_{it} 表示产业 i 的单位时间 t 的计划产出值; $q_i(t)$ 表示产业 i 的丧失产出功能的比率; T 为恢复期。

3 计算结果

3.1 针对单一产业的综合损失

2010 年,农林牧渔产业的产值直接减少了 3.764%,即式(5)中的 $c_i^* T = (3.764\%, 0, \dots, 0)$,以《2007 年中国投入产出表》^[19]中的“42 部门投入产出表”、“42 部门使用表”和“42 部门产出表”为基础,计算得到影响程度位列前 10 位的产业。

气象灾害给农林牧渔业造成了 3.764% 的直接损失,由于产业之间的相互关联性,造成该产业的最终产出减少 4.687%; 其他受影响最大的 9 个产业依次为: 食品制造及烟草加工业(0.689%), 石油和天然气开采业(0.594%), 化学工业(0.563%), 综合技术服务业(0.466%), 研究与试验发展(0.409%), 石油加工、炼焦及核燃料加工业(0.380%), 邮政业(0.326%), 电力、热力的生产和供应业(0.312%), 煤炭开采和洗选业(0.283%)。

产业经济系统总的损失值为 5 465.369 亿元^②, 占 2010 年 GDP 总值的 1.251%, 其中,农林牧渔业的最终产出损失为 3 248.978 亿元,其他受影响最大的 9 个产业及其损失依次为: 食品制造及烟草加工业(422.274 亿元)、化学工业(363.847 亿元)、电力、热力的生产和供应业(126.518 亿元)、石油加工、炼焦及核燃料加工业(111.176 亿元)、金属冶炼及压延加工业(94.752 亿元)、交通运输

① 篇幅有限,推导过程做了简化,如有兴趣,可向作者索取。

② 由于考虑到了产业之间的关联性,该值比《中国气象灾害年鉴》(2011)中 2010 年度的直接经济损失 5 097.5 亿元要大。

及仓储业(94.513 亿元)、通用、专用设备制造业(77.838 亿元)、煤炭开采和洗选业(62.656 亿元)、石油和天然气开采业(58.887 亿元)。

按照系统功能损失比率、最终产出损失值两个维度,对所有产业进行排序,系统功能损失比率高、最终产出损失值大的产业,可称为 2010 年度农业灾害的高敏感行业。排在这两个维度前 15 位的行业共有 9 个,依次是:农林牧渔业、食品制造及烟草加工业、石油和天然气开采业、化学工业、综合技术服务业、研究与试验发展、石油加工、炼焦及核燃料加工业、邮政业、电力、热力的生产和供应业、煤炭开采和洗选业、水利、环境和公共设施管理业、交通运输及仓储业、金融业。这 9 个行业的受损失值为 4 866.365 亿元,占总损失值的 89.04%。

3.2 针对多个产业的综合损失

农业气象灾害的影响往往较广,涉及多个产业。这里以两个产业为例进行研究,多个产业的情形可依此类推。

假定 2010 年的农业气象灾害主要给农林牧渔产业及电力、热力的生产和供应业两个行业造成直接损失。农林牧渔产业的直接需求减少了 3.764% 的直接损失,电力、热力的生产和供应业的直接需求减少了 1%^③,即式(5)中的 $c_i^{*T} = (3.764\%, 0, \dots, 1\%, 0, \dots, 0)$,同上理,由于产业之间存在的相互关联性,气象灾害使农林牧渔产业的最终产出减少了 4.707%,给电力、热力的生产和供应业的最终产出减少了 1.904%,其他受影响最大的 8 个产业及其产出减少百分比依次为:石油和天然气开采业(0.864%)、煤炭开采和洗选业(0.848%)、食品制造及烟草加工业(0.711%)、化学工业(0.627%)、综合技术服务业(0.579%)、石油加工、炼焦及核燃料加工业(0.533%)、研究与试验发展(0.495%)、仪器仪表及文化办公用机械制造业(0.431%)。

产业经济系统总的损失值为 7 207.62 亿元^④,占 2010 年 GDP 总值的 1.787%。其中,农林牧渔业的最终产出损失 3 262.935 亿元,电力、热力的生产和供应业的最终产出损失 771.899 亿元;其他

受影响最大的 8 个产业依次为:食品制造及烟草加工业(435.806 亿元)、化学工业(405.378 亿元)、煤炭开采和洗选业(187.559 亿元)、金属冶炼及压延加工业(157.236 亿元)、石油加工、炼焦及核燃料加工业(155.794 亿元)、交通运输及仓储业(118.008 亿元)、通用、专用设备制造业(113.447 亿元)、电气机械及器材制造业(97.453 亿元)。

同上,可筛选出系统功能损失比率、最终产出损失值两个维度都排在前列的行业,限于篇幅,不一一赘述。

3.3 不同恢复期限的综合损失

假定 2010 年度气象灾害主要影响电力、热力的生产和供应业^⑤。设定灾害的初始负面影响为 1%,恢复期为 30d,恢复至原产出 99.99% 的水平。可推导计算得到电力、热力的生产和供应业的日恢复系数:

$$k_{\text{电力,热力的生产和供应业}} = 0.016/\text{d}。 \quad (9)$$

其系统功能恢复曲线为:

$$1 - q_{\text{电力,热力的生产和供应业}}(t) = 1 - e^{-0.016t} \times 0.01。 \quad (10)$$

根据公式(9)、(10),计算得恢复期为 30 d 时,电力、热力的生产和供应业的累积损失值为 44.241 亿元。产业经济系统总的累积产出损失值为 358.142 亿元。

如果将恢复期分别改为 10 d、20 d、60d、90 d,同理可以计算出电力、热力的生产和供应业及整个产业经济系统的累积损失值(表 1)。

从上可见,恢复期越短,产业经济系统累积经济损失越小。恢复期越长,损失越大。但与静态模型损失值相比较,动态损失值要小得多。因为静态模型计算的系统功能损失率为瞬时值,再与产业的年总产出值相乘,默认恢复期为 1 年,因此总损失值偏大。动态模型的系统功能损失率按指数衰减,与产业的日产出值相乘,再按恢复期天数累加,总损失值相对较小。

4 主要结论

本文提出了气象灾害影响产业经济系统的静

表 1 不同恢复期情形下产业经济系统累积经济损失值

恢复期/d	10	20	30	60	90
产业经济系统恢复的比率	0.994 999	0.997 685	0.998 928	0.999 894	0.999 989
电力、热力的生产和供应业累积经济损失值/亿元	5.348	10.972	44.241	91.347	51.348
产业经济系统总的累积经济损失值/亿元	193.784	267.438	358.142	486.583	538.697

③ 笔者手头未能查到电力、热力的生产和供应业因 2010 年度气象灾害造成的直接经济损失比例值,这里暂以 1% 代替,仅为验证模型用。

④ 该值大于《中国气象灾害年鉴》(2011)中的直接经济损失 5 097.5 亿元,也大于单一产业的综合损失 5 465.369 亿元。

⑤ 动态评估模型适用于受到气象灾害后能恢复原功能的产业,这里选用了电力、热力的生产和供应业。

态和动态评价投入产出模型。应用《2007 年中国投入产出表》^[19]等数据,对上述模型进行了验证,主要得到以下结论:

(1)由于产业经济系统内部的关联性,气象灾害给农林牧渔业、电力、热力的生产和供应等产业造成的综合损失大于最初的直接损失。

(2)在动态情形下,恢复期越长,综合损失值越大;动态评估模型计算得出的损失值小于静态评估模型的计算值。因此,灾害发生后,应及时采取灾后重建措施,缩短灾后恢复期,能有效减少灾害的综合损失。另一方面,灾后重建往往能更新受损方的设备、工艺与技术,增加技术创新的机会,促进产业或地区经济的内生增长^[27]。

(3)按照系统功能损失比率、最终产出损失值两个维度对所有产业进行排序,筛选出高敏感行业,这些行业的产出值之和占整个产业经济系统损失值的比例较大,与其他行业的关联性强,可视为产业经济系统中的关键基础性行业,也是灾害发生时应予以重点关注的行业。

参考文献:

- [1] 徐嵩龄. 灾害紧急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(11): 7-15.
- [2] Yasuhide Okuyama. Measuring Economic Impacts of Natural Disasters: Application of Sequential Interindustry Model [D]. Regional Research Institute West Virginia University, 2002.
- [3] Santos J R, Haimes Y Y. Modeling the Demand Reduction Input-output I-O Inoperability Due to Terrorism of Interconnected Infrastructures[J]. Risk Analysis, 2004, 24(6): 1437-1451.
- [4] Chenyang Lian, Yacov Y Haimes. Managing the Risk of Terrorism to Interdependent Infrastructure Systems Through the Dynamic Inoperability Input-Output Model[J]. Systems Engineering, 2006, 9(3): 241-258.
- [5] Crowther K G, Haimes Y Y, and 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): 1345-1364.
- [6] 路琮, 魏一鸣, 范英, 等. 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.
- [7] 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.
- [8] 胡爱军, 李宁, 史培军, 等. 极端天气事件导致基础设施破坏间接经济损失评估[J]. 经济地理, 2009, 29(4): 529-535.
- [9] Y Y Haimes, B M Horowitz, J H Lambert, et al. Inoperability Input-output Model (IIM) for Interdependent Infrastructure Sectors: Theory and Methodology[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2005, 11: 67-79.
- [10] Y Y Haimes, B M Horowitz, J. H. Lambert, et al. Inoperability Input-output Model (IIM) for Interdependent Infrastructure Sectors: Case Study [J]. Journal of Infrastructure Systems, 2005, 11: 80-92.
- [11] 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.
- [12] 王海滋, 黄渝祥. 从供给角度对地震灾害国民经济体系易损性的分析[J]. 灾害学, 1997, 12(3): 18-22.
- [13] 王海滋, 黄渝祥. 地震灾害产业关联间接经济损失评估[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(1): 40-45.
- [14] 王海滋, 肖光先. 从多侧面评估地震灾害的产业关联间接经济损失[J]. 灾害学, 1998, 13(2): 1-5.
- [15] 吴吉东, 李宁, 温玉婷, 等. 自然灾害的影响及间接经济损失评估方法[J]. 地理科学进展, 2009, 28(6): 877-885.
- [16] 王飞. 基于地理空间主体建模的城市自然灾害间接经济损失评估[D]. 上海: 上海师范大学, 2010.
- [17] 孙慧娜. 重大自然灾害统计及间接经济损失评估——基于汶川地震的研究[D]. 成都: 西南财经大学, 2011.
- [18] Y Y Haimes, P Jiang. Leontief-based Model of Risk in Complex Interconnected Infrastructures[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2001, 7: 1-12.
- [19] 中国国家统计局国民经济核算司. 2007 年中国投入产出表[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [20] 中国国家统计局. 2011 年中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [21] 中国气象局. 中国气象灾害年鉴(2011)[M]. 北京: 气象出版社, 2011.
- [22] 新华网. 2010 年中国气象灾害造成的损失为本世纪以来之最[EB/OL]. [2011-11-11]. http://news.xinhuanet.com/society/2011-01/12/c_12973246.htm.
- [23] Leontief W W. Input-output Economics[J]. Sci. Am., 1951(10): 15-21.
- [24] Y Y Haimes. Roadmap for Modeling Risks of Terrorism to the Homeland[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2002, 8: 35-41.
- [25] Y Y Haimes. Risk modeling, Assessment, and Management [M]. 2nd edition, Wiley&Sons, New York, 2004.
- [26] P Jiang, Y Y Haimes. Risk Management for Leontief-based Interdependent Systems [J]. Risk Analysis, 2004, 24: 1215-1229.
- [27] 张弓强. 试论地震灾害对经济社会发展的影响[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 121-124.

Assessment on the Impact of Agricultural Meteorological Disaster on Industrial Economy System

Guo Ji^{1,2}, Wu Xianhua^{1,2} and Chen Yunfeng³

(1. Institute of Manufacturing Development of China, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. School of Economics and Management, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 3. China Meteorological Press, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on Wassily Leontief's input-output table, full account of the intrinsic relevance between the various subsystems in the industrial economy system is taken, and static and dynamic input-output integrated assessment models are proposed. Take the case of the meteorological disasters in china in 2010 to validate this model as followings; calculate the final output losses of all industries and overall industrial economy system in the static case; calculate the final output losses of industrial economy system under different recovery periods; sift and select those industries which are more sensitive to meteorological disasters.

Key words: agricultural meteorological disaster; industrial economy system; input-output