

于小兵, 吴雪婧, 陈虹, 等. 基于灾害 CGE 模型的台风灾害间接经济损失评估——以广东省台风“山竹”为例[J]. 灾害学, 2022, 37(2): 21–28. [YU Xiaobing, WU Xuejing, CHEN Hong, et al. Comprehensive Assessment of Typhoon Disaster Economic Loss Based on Disaster – CGE Model —take Typhoon Mangkhut in Guangdong Province as an example[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(2): 21–28. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2022.02.005.]

基于灾害 CGE 模型的台风灾害间接经济损失评估^{*}

——以广东省台风“山竹”为例

于小兵, 吴雪婧, 陈虹, 吉中会, 王旭明

(南京信息工程大学 管理工程学院, 江苏 南京 210044)

摘 要: 基于 2015 年广东省社会核算矩阵, 构建灾害可计算一般均衡模型, 评估了强台风“山竹”给广东省造成的间接经济损失。模拟结果表明: 从宏观层面看, 台风“山竹”造成的全部损失占当年广东省 GDP 的 2.645%; 居民收入受灾害影响减少了 2.732%, 居民对商品的消费量也随之降低 1.59%; 进口商品量显著下降, 除制造业商品出口价格有轻微上涨外, 其它各类商品出口价格均有不同程度的下跌。从产业层面看, 除采掘业外, 灾后几乎所有行业的产出均有所下降, 其中, 建筑业的下降程度最为显著, 降幅达 2.437%; 与灾前相比, 台风灾害使得各部门的租金率下降, 下降幅度为 0.225%~3.928%。经过参数敏感性分析, 表明所构建的灾害 CGE 模型是稳健的, 模拟结果可为政府后续开展应急管理工作提供参考。

关键词: 台风; 间接经济损失评估; 一般均衡模型; 灾害管理; 台风“山竹”; 广东

中图分类号: X43; X915.5; P42; TU3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2022)02–0021–08

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2022.02.005

近年来, 极端灾害频发给人类社会带来巨大的生命和财产损失。据统计, 2020 年全球共发生 313 次自然灾害, 造成 15 082 人死亡, 直接经济损失高达 1 731.33 亿美元^[1]。防范和减轻灾害风险已成为全人类的共同挑战。我国是世界上自然灾害最严重的国家之一。以台风灾害为例, 平均每年有 7 个左右的台风在我国浙江、广东等沿海发达地区登陆, 造成了巨大的经济损失和人员伤亡情况。因此, 对灾害所造成的损失进行科学合理的评估是开展灾后救助工作、优化灾害风险管理的重要依据。

灾害造成的直接经济损失, 如人员伤亡、家庭财产受损、农作物受灾等, 可在灾后通过调查统计得出^[2]。而间接经济损失是指由直接经济损失迁延作用而派生的其他经济损失, 如因机器设备受损停产造成的损失、上下游关联引发的企业潜在损失^[3–4]。目前, 灾害损失评估工作多围绕直接经济损失展开^[5–8], 间接经济损失则因其“潜在性”较少涉及。但在当代国民经济体系中, 产业部门间存在高度的依赖性, 灾害对其任何一个部分

的影响都会通过产业链传导到其它部分。特别是对于重大自然灾害而言, 间接经济损失涉及的范围更广, 影响更深, 其损失要远高于直接经济损失^[9]。因此, 对间接经济损失的评估有利于提高对灾害损失的认识程度, 优化抗灾救灾资源分配。

间接经济损失评估方法以投入产出 (Input – Output, IO) 模型和可计算一般均衡 (Computable General Equilibrium, CGE) 模型为主^[10–12]。郑德权等^[13]将经济系统对灾害的反应过程划分为损失扩展、损失持续、功能恢复三个阶段, 构建了动态非正常投入产出模型来研究灾害发生不同阶段对经济产出的影响程度。MARIN 等^[14]运用区域投入产出模型模拟了地震、洪水等自然灾害对意大利社会经济造成的冲击。XIE 等^[15]以 CGE 模型为基础对 2008 年特大暴雪灾害造成的间接经济损失进行了评估, 发现暴雪给湖南省造成的间接经济损失高达 50.4 亿元, 远超过直接经济损失。WANG 等^[16]将暴露 – 响应函数与 CGE 模型相结合测算了因大气污染对北京整体经济系统造成的间接经济损失。

^{*} 收稿日期: 2021–10–16 修回日期: 2021–12–22

基金项目: 国家自然科学基金项目(71974100); 江苏高校哲学社会科学研究重大项目(2019SJZDA039); 江苏省自然科学基金面上项目(BK21091402)

第一作者简介: 于小兵(1983–), 男, 汉族, 江苏宿迁人, 博士, 教授, 主要从事灾害与应急管理研究。

E-mail: yuxb111@163.com

通讯作者: 陈虹(1994–), 女, 汉族, 江苏江阴人, 硕士研究生, 主要从事灾害风险管理研究。E-mail: 1509142931@qq.com

IO 模型可以反映经济系统各部门间的关联性,但缺乏对经济本身弹性的考虑^[17]。与之相比,CGE 模型则突破了前者刚性的限制,采用非线性的表达形式,综合考虑了生产要素间的相互替代性以及经济弹性,为损失评估提供了一个灵活的研究框架^[18]。通过对比分析灾害发生前后均衡状态的差异来研究灾害对整个经济系统造成的影响。考虑到台风是我国沿海地区最常见的自然灾害,本文以 2018 年强台风“山竹”为例,构建了广东省灾害 CGE 模型,分别从宏观经济层面和产业层面评估“山竹”对广东省经济系统的影响。本研究扩展了 CGE 模型在台风灾害损失中的应用,也为政府部门灾后重建工作提供了科学参考。

1 研究方法

1.1 CGE 模型介绍

可计算一般均衡模型 (Computable General Equilibrium, CGE) 是将经济学家瓦尔拉斯提出的一般均衡构造变为可反映现实经济特征的实用型分析工具。它以经济学中的一般均衡理论为基础,通过效用函数和利润最大化函数在各个经济主体之间建立起数量联系,进而观察到经济系统部门间的交互作用。CGE 模型利用价格机制将要素市场、产品市场等多个市场相关联,探究国民经济各部门间的连锁效应。目前,该模型已被广泛应用于能源环境政策^[19]、国际贸易^[20]、财政税收^[21]等领域。

1.2 模型构建

1.2.1 基本模型结构

参考潘浩然^[22]的框架,构建了生产部门、居民、政府在内的多部门灾害 CGE 模型,具体包括生产模块、贸易模块、经济主体行为模块、劳动、资本要素模块以及均衡模块。该部分所包含变量众多,为方便起见,统一将其意义解释放置在附录表 1。

(1) 生产模块。本文假设一种生产活动只生产一种对应的商品,如农业部门只生产农业类型的商品。部门的产出直接转化为在市场上流通的相应商品。如图 1 所示,生产函数的第一层为中间投入 U 与增加值 V 合成的总产出函数,其函数形式为恒替代弹性 (CES) 生产函数,如式 (1) 所示。生产函数的第二层分别描述了中间投入和增加值的构成。其中,中间投入品的需求用 Leontief 生产函数表示,各项投入商品间为固定比例关系,如式 (2) 所示。增加值的投入用 C-D 生产函数表示,选择劳动、资本要素作为增加值的构成要素,见式 (3)。

$$X(PS, PRO) = AP(PS, PRO) \times [\beta(PS, PRO) \times U(PS, PRO)^{\frac{1}{\sigma(PS, PRO)}} + \gamma(PS, PRO) \times V(PS, PRO)^{\frac{1}{\sigma(PS, PRO)}}]^{\frac{1}{\sigma(PS, PRO)}}; \quad (1)$$

$$QX(CC, PS, PRO) = ut(CC, PS, PRO) \times U(PS, PRO); \quad (2)$$

$$V(PS, PRO) = AV(PS, PRO) \times L(PS, PRO)^{\gamma_L(PS, PRO)} \times K(PS, PRO)^{\gamma_K(PS, PRO)}. \quad (3)$$

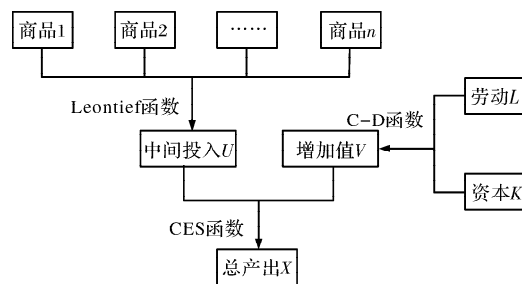


图1 生产模块结构

(2) 贸易模块。与传统的全国 CGE 模型不同,本文重点研究自然灾害对省级地区的经济影响,因此有必要将贸易模块进一步细分为国内其他地区 and 国外两部分 (图 2)。为便于表达与理解,本文将省内自产自销 QD 与流出到省外的商品 $DEXP$ 合成为 $QDDEXP$; 将省内自产自销与国内其他地区流入的商品合成为。在省内产出分配上,采用 CET 函数刻画 $QDDEXP$ 与商品出口 $IEXP$ 之间的替代关系,见式 (4)。在省内商品消费市场上,采用 CES 函数描述 $QDDIMP$ 与进口商品 $IIMP$ 间的相互替代关系,如式 (5) 所示。本文所构建的灾害 CGE 模型为开放经济模型,采用 Armington 方程来刻画省内产品与进口品间的不完全替代关系^[23]。该省进出口量只占世界总量的极小一部分,它的贸易行为对商品的世界价格影响微乎其微。因此,本研究中商品的世界价格为外生变量。

$$Q(CC, PRO) = AT(CC, PRO) \times [\varepsilon(CC, PRO) \times QDDEXP(CC, PRO)^{\frac{1}{\sigma(CC, PRO)}} + (1 - \varepsilon(CC, PRO)) \times IEXP(CC, PRO)^{\frac{1}{\sigma(CC, PRO)}}]^{\frac{1}{\sigma(CC, PRO)}}; \quad (4)$$

$$QC(CC, PRO) = AA(CC, PRO) \times [\delta(CC, PRO) \times QDDIMP(CC, PRO)^{\frac{1}{\sigma(CC, PRO)}} + (1 - \delta(CC, PRO)) \times IIMP(CC, PRO)^{\frac{1}{\sigma(CC, PRO)}}]^{\frac{1}{\sigma(CC, PRO)}}. \quad (5)$$

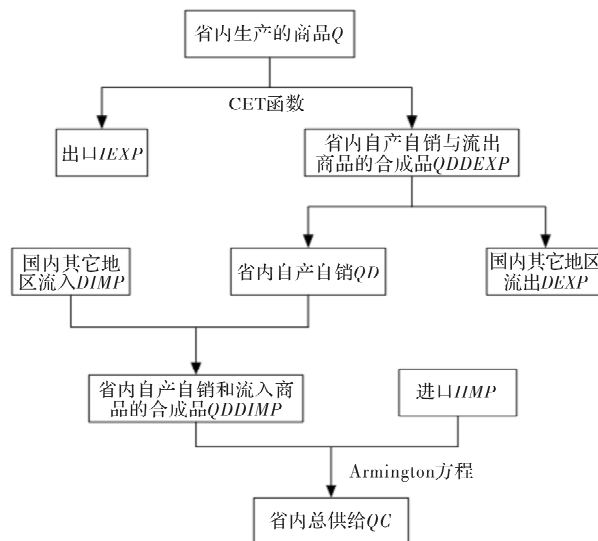


图2 贸易模块结构

(3) 经济主体行为模块。本文构建的经济主体

包括企业、居民、地方政府和中央政府。假设市场为自由竞争市场, 企业只作为价格的接受者, 无权改变商品价格, 价格只受市场供求关系影响。式(6)代表企业资本收入是企业收入的唯一来源。企业支出由企业居民的转移支付和企业储蓄构成, 见式(7)。此外, 居民总收入和总支出构成分别由式(8)、式(9)表示。居民的消费偏好按照 C-D 效用函数实现, 在收入约束下, 居民以自身效用最大化为原则进行商品消费。因本文构建的灾害 CGE 模型为省级的区域模型, 故在此区分地方政府和中央政府。假设商品消费全部由地方政府提供, 因而地方政府的支出由地方政府税收收入、地方消费和地方上交中央这三项组成, 见式(10)。同时, 假设地方政府消费满足 C-D 效用函数, 地方消费在收入的约束下以自身效用最大化为目标。方程(11)、方程(12)分别代表地方政府、中央政府的收入构成函数。中央政府的支出函数如方程(13)所示。

$$FMY(PRO) = FMKY(PRO); \quad (6)$$

$$FMY(PRO) = FMTHH(HH, PRO) + FMS(PRO); \quad (7)$$

$$HHY(HH, PRO) = HHLY(HH, PRO) + HHKY(HH, PRO) + LGTHH(HH, PRO); \quad (8)$$

$$HHE(HH, PRO) = \sum_{cc} HHCM(CC, HH, PRO) + HHS(HH, PRO) + HHTX(HH, PRO); \quad (9)$$

$$LGE(PRO) = \sum_{cc} LGCM(CC, PRO) + LGTHH(HH, PRO) + LGTCG(PRO); \quad (10)$$

$$LGY(PRO) = CGTLG(PRO) + \sum_{ctx} TXTLG(GTX, PRO) + LGINV(PRO); \quad (11)$$

$$CGY(PRO) = LGTCG(PRO) + \sum_{ctx} TXTCG(GTX, PRO); \quad (12)$$

$$CGE(PRO) = CGTLG(PRO) + CGS(PRO). \quad (13)$$

(4) 劳动、资本要素模块。本研究的灾害 CGE 模型采用新古典主义宏观闭合方式, 劳动、资本要素的供应量均由模型外的要素禀赋决定, 属于外生变量。同时, 生产要素可在市场上自由流动, 要素价格和商品价格均由模型内生决定。

$$\sum_{ps} L(PS, PRO) = \bar{L}; \quad (14)$$

$$\sum_{ps} K(PS, PRO) = \bar{K}. \quad (15)$$

(5) 均衡模块。均衡模块主要包括商品供求平衡、生产要素供求平衡、经济主体收支平衡以及储蓄—投资均衡。式(16)代表商品市场出清, 即省内商品总供给等于总需求。方程(17)、方程(18)分别代表劳动、资本要素供求平衡。灾害 CGE 模型中的经济主体收支平衡分别由式(19)至式(22)表示。此外, 本文采用新古典主义闭合, 因而总投资由总储蓄决定, 即储蓄可以全部转化为投资, 如方程(23)所示。

$$QC(CC, PRO) = \sum_{ps} QX(CC, PS, PRO) + HHCM(CC, HH, PRO) + LGCM(CC, PRO) + INV(CC, PRO) + SC(CC, PRO); \quad (16)$$

$$TLY(PRO) = TLE(PRO); \quad (17)$$

$$TKY(PRO) = TKE(PRO); \quad (18)$$

$$HHY(HH, PRO) = HHE(HH, PRO); \quad (19)$$

$$FMY(PRO) = FME(PRO); \quad (20)$$

$$LGY(PRO) = LGC(PRO); \quad (21)$$

$$CGY(PRO) = CGE(PRO); \quad (22)$$

$$TSAV(PRO) = HHS(HH, PRO) + CGS(PRO) + IINV(PRO) + DINV(PRO). \quad (23)$$

1.2.2 灾害冲击对经济的影响

灾害对经济的冲击直接影响到生产部门的产出, 主要表现为农作物产量下降, 服务业营业收入减少, 居民收入受损等^[24]。本研究的灾害 CGE 模型与传统 CGE 模型的区别就在于引入了灾害冲击变量, 为间接经济损失评估充当了中介作用, 见式(24)。在灾害 CGE 模型中, 冲击变量就代表发生的灾害。地震、洪水等灾害对当地的经济系统而言是一个外生事件, 冲击变量的引入打破了当地经济系统原有的均衡状态, 在市场机制的作用下, 灾后经济系统会重新达到新的均衡状态。此时新均衡下的部门产出、要素价格、收入等必定与原先不同, 其中的差异可看作是灾害造成的间接经济损失。

$$X'(PS, PRO) = E(PS, PRO) \times X(PS, PRO). \quad (24)$$

式中: E 为灾害冲击变量; X' 为灾害冲击后的部门产出; X 为灾前的部门产出。

在实证过程中, 将灾害冲击变量 E 具化为灾害冲击参数, 参数值在 0~1 之间。其计算方式如式(25)所示。其中, S' 为生产部门的直接经济损失; S 为该部门当年的总产值。以直接经济损失占总产值的比重代表灾后部门产能下降的程度^[25]。鉴于实证分析中关于台风“山竹”所获灾害损失数据为月度数据, 故在此乘以 1/12, 将月度损失数据进行年化, 转化为年度灾害冲击参数。即灾害发生前, 生产部门按原有效率进行生产; 灾害发生后, 生产部门效率受到影响, 产出发生变化。对应的当地原有的均衡状态也因灾害而随之改变, 灾前与灾后两种均衡状态的转变导致产出、劳动力需求、收入等经济要素发生改变, 本文结果部分各变量的增减幅度值也由此计算得出。

$$E(PS, PRO) = 1 - \frac{1}{12} \times \frac{S'}{S}. \quad (25)$$

2 案例分析

2.1 研究区选择

广东地处我国东南沿海区域, 灾害性天气频繁, 阻碍了当地社会经济的平稳运行。同时, 作为国内经济发展最快, 人口数量最大的省份, 其灾害风险管理不可忽视。而自然灾害损失评估是优化灾害风险管理的重要前提。基于台风为广东最常见的灾害这一事实, 本文选择以 2018 年 9 月 16 日强台风“山竹”为例, 通过灾害 CGE 模型分析“山竹”对广东省经济系统造成的影响。

2.2 数据资料处理

2.2.1 数据来源

以 2015 年为基准年构建广东省社会核算矩阵 (SAM 表)。数据来源包括广东省投入产出表、《中国统计年鉴 2016》《中国财政年鉴 2016》《中国税务年鉴 2016》《广东统计年鉴 2016》。其中, 广东省 2015 年投入产出延长表是编制 SAM 表的重要依据。本模型将 IO 表 42 部门合并为 7 部门, 具体包括农业、采掘业、制造业、建筑业、贸易餐饮住宿业、交通运输业和其它服务业。这样划分的目的主要有两个: 一是考虑到现有台风“山竹”灾害损失资料的不完整性, 无法据此求出 42 部门对应的所有参数, 故合并为 7 部门; 二是更好地突出台风灾害对广东省农业、交通运输业等特定行业的影响。

2.2.2 模型参数估计

模型所包含的参数可以分为三大类: 第一类是替代弹性参数, 该类参数通常选择文献研究法确定, 本文主要参考了郭正权等^[26]、李元龙^[27]、谭显东^[28]的参数估计值。第二类参数可对 SAM 表进行校准估算得到, 如规模参数、份额参数和税率参数等。第三类参数为灾害冲击参数, 针对台风“山竹”给广东省经济系统带来的影响, 选择其中受灾较为严重的“农业”、“贸易餐饮住宿业”、“交通运输业”、“制造业”这四个部门进行间接损失传导模拟分析。据广东省农业农村厅统计, “山竹”重创农牧业生产, 农作物受灾面积达 193 333 hm², 农业直接经济损失约 30 亿元。《广东统计年鉴 2019》中全省第一产业生产总值为 3 831.44 亿元, 根据式 (25) 计算得到农业部门的灾害冲击参数值为 0.999 3。“贸易餐饮住宿业”部门缺乏直接经济损失统计数据, 故使用广东省统计局公布的分行业 1—9 月增加值与 1—8 月增加值差额代替, 该部门全年生产总值达 11 412.96 亿元, 因而“贸易餐饮住宿”部门的全年灾害冲击参数值为 0.997 4。同理, 可推出“交通运输业”、“制造业”的年度灾害冲击参数值分别为 0.996 2 和 0.995 3。

3 结果与讨论

本文将农业、贸易餐饮住宿业、交通运输业、制造业的直接经济损失借助灾害冲击参数引入构建的灾害 CGE 模型中, 进而通过价格机制、供求关系等 CGE 模型所包含的经济学原理开展分析, 评估台风“山竹”给广东省造成的间接经济损失。

3.1 宏观变量的变化

从模拟结果来看, 受“山竹”影响, 广东省居民收入出现下降, 与灾前相比收入减少了 2.732%。对商品的消费量也随之下跌了 1.59%, 如表 1 所示。同样, 收入减少导致居民储蓄额相应下降, 下降幅度达到 2.732%。综上, 居民收入、消费与储蓄这三个宏观变量受台风影响均表现出一定程度的下降。在税收方面, 消费税与增值税

分别减少了 2.051%、2.001%。此外, 经过模拟发现间接税收入与灾前相比则下降了 1.998%, 总税收收入随之下跌了 2.039%, 广东省政府收入下降了 2.159%。与居民消费下降一样, 广东省政府在“山竹”发生后对商品及服务的消费量也下跌了 0.121%。需要指出的是虽然模拟结果显示两者均出现下降现象, 但广东省政府消费下降幅度却远小于居民消费, 仅为后者变化量的 1/13。

表 1 台风“山竹”对宏观经济的影响

变化率		变化率	
居民收入	-2.732	进口商品总量	-1.537
居民消费	-1.590	出口商品总量	-1.405
居民储蓄	-2.732	总投资	-3.243
总税收收入	-2.039	总消费	-1.242
地方政府收入	-2.159	进出口	-0.012
地方政府消费	-0.121	存货增加	-3.243
总资本收入	-2.731	GDP	-2.645

根据模拟结果来看, 强台风“山竹”造成广东省内总投资下降了 3.243%, 总消费减少了 1.242%。除此之外, 进出口商品总额下降了 0.012%。由于广东省的总投资、总消费、进出口均出现下跌情形, 省内生产总值 (GDP) 也下跌了 2.645%。鉴于对外贸易在广东省经济占据重要地位, 本文在此分别从进口价格、进口量、出口价格及出口量这四个方面入手, 模拟评估台风“山竹”给广东省进出口贸易带来的影响。从进口方面看, 本研究构建的灾害 CGE 模型假定国产品和进口品之间满足小国假设, 即进口品价格外在给定, 广东省进口量只占国际贸易很小的一部分, 其变化对进口品的国际价格不产生任何影响, 所以灾后进口品的价格保持不变 (图 3)。此外, 经过模拟发现各类商品的进口量出现了明显的下降, 农业、建筑业、贸易餐饮住宿业和其它服务业的进口量与基准线相比, 下跌幅度超过 4%。从出口方面看, 灾害使得广东省总体出口量下降了 1.405%。除制造业商品出口价格有轻微上涨外, 其它各类商品出口价格均有不同程度的下跌。农业、贸易餐饮住宿业和其它服务业的商品出口价格下跌幅度都突破了 1%, 该模拟结果在一定程度上验证了 GASSEBNER 等^[27]的研究结论, 即自然灾害的发生会造成地区当年进口与出口出现不同程度下降的情况。

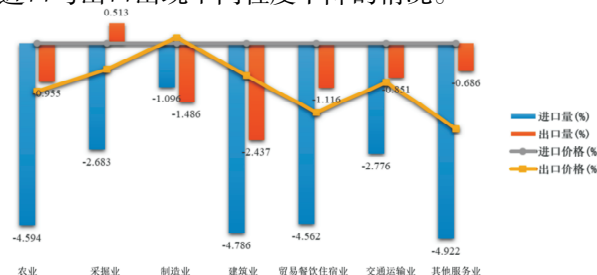


图3 台风“山竹”对广东省进出口的影响

表 2 台风“山竹”对广东省生产部门的影响

	增加值	中间投入	总产出	劳动力投入	资本租赁率	存货增加
农业	0.596	-1.689	-0.955	0.602	-2.156	-2.185
采掘业	0.536	0.498	0.513	2.587	-0.225	-2.703
制造业	0.253	-1.031	-1.486	0.477	-2.276	-3.355
建筑业	-0.843	-2.779	-2.437	-1.220	-3.928	0
贸易餐饮住宿业	-0.269	-1.411	-1.116	-0.405	-3.135	-1.565
交通运输业	0.222	-0.842	-0.851	0.403	-2.350	-2.477
其它服务业	-0.255	-1.275	-0.686	-0.487	-3.215	0

%

3.2 生产部门的变化

从模拟结果来看,除采掘业外,灾后几乎所有行业的总产出都出现了下降的情况(表 2)。其中,农业部门产出值降低了 0.955%。制造业为广东省产业部门的中流砥柱,凭借佛山、东莞、珠海等地的制造业优势,广东经济始终位列前茅。据模型评估结果显示台风“山竹”使制造业产出下降了 1.486%,建筑业产出减少了 2.437%。这可能是因为台风“山竹”高达 14~16 级的风力所带来的强破坏力所致。且建筑业多以露天作业为主,为防范台风风险,境内多个建筑工地全面停工,由此造成产出下降。此外,模拟结果还显示交通运输业产出降低了 0.851%。这是由于台风“山竹”导致的大面积航班取消、广深港高铁和杭深高铁等多条线路停营的结果。

一般而言,生产部门产出下降会导致相应行业的劳动力需求减少,劳动者面临失业危险。但在此次模拟中,劳动力投入的变化并未与部门总产出变化完全一致,部分部门对劳动力的需求反而增加。以农业为例,该部门对劳动力的需求与灾前相比上升了 0.602%。依据熊彼特提出的“创造性”破坏理论,虽然灾害造成区域内原有的有形物质财富受损,但也促进了当地基础设施、生产资料的升级。因此,灾后会重新投入人力物力进行恢复重建工作。台风“山竹”发生后,农业部门需组织人手及时开展清沟排水、补种改种、病虫害防治等工作,由此引起劳动力需求的增加。同样,因台风造成的水利、电力、道路等基础设施受损,灾后也需投入大量劳动力进行修缮重建工作。因此,模拟结果显示交通运输业的劳动力投入灾前相比提高了 0.403%。从资本租赁率来看,灾后七大生产部门的租金率在此次模拟中均发生了显著的下降。除采掘业跌幅小于 1%,农业、制造业、建筑业等产业部门的资本租赁率下降幅度均超过了两个百分点。建筑业和其它服务业这两类原本的存货增加值就为零,引入灾害冲击变量之后,其值仍然保持不变。其余五大类的存货增加值则呈现出明显的下降,其中,制造业的存货增加值降低了 3.355%。

3.3 不确定性讨论

本文通过灾害 CGE 模型对台风“山竹”给广东省造成的经济损失进行了定量评估,但仍然存在一些不确定性。在 CGE 模型中,弹性参数的设置对模拟结果的稳健性有重要影响。为保证广东省灾害 CGE 模型所得结果的稳健性,本文分别对总产出替代弹性参数 σ_{sp} 、进口替代弹性参数 σ_{sa} 、出口替代弹性参数 σ_{st} 进行敏感性检验。参考 MAHMOOD 等^[30]的做法,将 σ_{sp} 在原值的基础上分别扩大、缩小 10%,模拟所得结果如表 3 所示。可知 σ_{sp} 的变化对宏观变量变化的方向没有影响,对其数值有轻微的影响。随着 σ_{sp} 的增大,GDP 的损失幅度将继续增大。当 σ_{sp} 在原值基础上增加 10% 时,GDP 损失变化幅度达到 0.005%。在所有宏观变量中,本地自产自销变动幅度最大,但也不超过 0.09%。至此,可判定总产出替代弹性参数 σ_{sp} 通过了敏感性检验。

表 3 σ_{sp} 的敏感性检验

σ_{sp} 变动幅度	-10	0	+10
居民收入	-2.739	-2.732	-2.726
居民商品消费	-1.595	-1.590	-1.584
广东省政府收入	-2.087	-2.159	-2.230
广东省政府消费	-0.047	-0.121	-0.193
居民所得税	-2.739	-2.732	-2.726
总投资	-3.288	-3.243	-3.199
GDP	-2.640	-2.645	-2.650
广东省内流出	-1.703	-1.791	-1.879
广东省内自产自销	-1.199	-1.289	-1.379

%

进口替代弹性参数 σ_{sa} 进行敏感性检验所得结果如表 4 所示。省内产品与进口品之间的替代弹性参数 σ_{sa} 的变化对模拟结果影响甚微,所有变量均未发生方向性的改变。除总投资变动幅度达到 0.14%,其余宏观变量的变化程度均小于 0.1%。广东省政府消费变动幅度最小,仅在原值基础上变化了 0.008%。由此,可判定进口替代弹性参数 σ_{sa} 通过了敏感性检验,即本文所得模拟结果是稳健的。出口替代弹性参数 σ_{st} 的敏感性检验结果如表 5 所示。值得注意的是在对 σ_{sa} 进行敏感性检验时,发现其变动 10% 对变量造成的影响极其微小,

只发生了 0.000 001% 的变化。因而在对其保留三位小数后, 所得结果看上去与原值完全一致。由此可知, σ_{st} 变动对模拟结果造成的影响几乎为零。

表 4 σ_{sa} 的敏感性检验 %

σ_{sa} 变动幅度	-10	0	+10
居民收入	-2.826	-2.732	-2.663
居民商品消费	-1.612	-1.590	-1.573
广东省政府收入	-2.240	-2.159	-2.101
广东省政府消费	-0.113	-0.121	-0.129
居民所得税	-2.826	-2.732	-2.663
总投资	-3.383	-3.243	-3.136
GDP	-2.737	-2.645	-2.578
广东省内流出	-1.871	-1.791	-1.735
广东省内自产自销	-1.296	-1.289	-1.286

表 5 σ_{st} 的敏感性检验 %

σ_{st} 变动幅度	-10%	0%	+10%
居民收入	-2.732	-2.732	-2.732
居民商品消费	-1.590	-1.590	-1.590
广东省政府收入	-2.159	-2.159	-2.159
广东省政府消费	-0.121	-0.121	-0.121
居民所得税	-2.732	-2.732	-2.732
总投资	-3.243	-3.243	-3.243
GDP	-2.645	-2.645	-2.645
广东省内流出	-1.791	-1.791	-1.791
广东省内自产自销	-1.289	-1.289	-1.289

通过对以上三类参数进行敏感性检验, 发现替代弹性参数的变动对模拟结果的影响十分微小, 在可接受范围内。即本研究所构建的灾害 CGE 模型是稳健的, 参数设置对模拟结果的影响在可控范围内。本文所得结论可为政府开展灾后管理工作提供参考。

4 结论与展望

本文以 2018 年台风“山竹”为例, 运用灾害 CGE 模型评估了台风给广东省造成的间接经济损失。结合模拟所得结果进行分析, 主要结论如下:

(1) 从宏观变量层面看, 模拟发现强台风“山竹”导致广东省生产总值下跌了 2.645%。省内各类商品的进口量受台风影响均出现了明显的下降情况。农业、建筑业、贸易餐饮住宿业和其它服务业的进口量下跌程度尤为突出。就出口量而言, 广东省总体出口量较灾前下跌了 1.405%。除制造业商品出口价格轻微上涨 0.14%, 其余各类商品出口价格均有不同程度的下降。此外, 与灾前相比居民收入减少了 2.732%, 对商品消费量也随之

降低了 1.59%。受山竹影响, 总税收收入也下跌了 2.039%。

(2) 从产业部门层面看, 根据模拟结果显示台风“山竹”对广东省七大行业的产出均有不同程度的影响。其中, 制造业、建筑业、贸易餐饮住宿业的部门产出下降最为明显, 分别下跌了 1.486%、2.437%、1.116%。“山竹”在造成部门产出普遍下降的同时, 却在一定程度上增加了某些部门的劳动力投入人数。农业、采掘业、制造业、交通运输业的劳动力投入与灾前相比分别增加了 0.602%、2.587%、0.477% 和 0.403%。此外, 灾后产业部门的租金率均发生了显著下降, 其中, 建筑业、贸易餐饮住宿业以及其它服务业的资金租赁率下跌幅度均超过 3 个百分点。

灾害对经济的影响具有复杂性和差异性, 不同尺度的灾害给各地区经济系统造成的影响不能一概而论。对于经济基础优越的地区, 灾害可能反而会促进 GDP 的增长。对此, 在后续研究中考考虑将空间因素融入进 CGE 模型中, 研究同一灾害对不同区域经济的影响。最后, 本文仅是对台风灾害给广东省造成的间接经济损失进行了评估, 未来将继续深耕 CGE 模型, 加强对模型可靠性的研究。

参考文献:

- [1] 应急管理部-教育部减灾与应急管理研究院. 2020 年全球自然灾害评估报告 [DB/OL]. [2021-10-20]. <https://www.gddat.cn/WorldInfoSystem/production/BNU/2020-CH.pdf>.
- [2] 袁艺. 自然灾害灾情评估研究与实践进展 [J]. 地球科学进展, 2010, 25(1): 22-32.
- [3] CROWTHER K G, HAIMEIS Y Y, TAUB G. 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.
- [4] 魏章进, 马华铃. 台风灾害间接经济损失评估方法综述 [J]. 灾害学, 2016, 31(1): 157-161.
- [5] 刘春腊, 马丽, 刘卫东. 洪水灾害社会经济损失评估方法研究述评 [J]. 灾害学, 2014, 29(2): 136-141.
- [6] 文世勇, 宋旭, 田原原, 等. 赤潮灾害经济损失评估技术方法 [J]. 灾害学, 2015, 30(1): 25-28.
- [7] 夏蕊芳, 程国庆. LM-BP 神经网络在震后建筑损失评估模型中的应用 [J]. 地震工程学报, 2019, 41(1): 208-214.
- [8] 张会, 李铖, 程炯, 等. 基于“H-E-V”框架的城市洪涝风险评估研究进展 [J]. 地理科学进展, 2019, 38(2): 175-190.
- [9] 吴吉东. 经济学视角的自然灾害损失评估理论与方法评述 [J]. 自然灾害学报, 2018, 27(3): 190-198.
- [10] 刘远, 李宁, 张正涛, 等. 台风“艾云尼”动态间接经济损失评估 [J]. 灾害学, 2019, 34(3): 178-183.
- [11] COCHRANE H. Economic loss: myth and measurement [J]. Disaster Prevention & Management, 2004, 13(4): 290-296.

- [12] THURLOW J, PAUW K, BACHU M, et al. The economic costs of extreme weather events: a hydrometeorological CGE analysis for Malawi[J]. *Environment and Development Economics*, 2011, 16: 177–198.
- [13] 郑德权, 丁云龙, 苗鑫. 基于动态 IIM 模型的经济系统关联型损失评估[J]. *预测*, 2013, 32(5): 44–49.
- [14] MARIN G, MODICA M. Socio-economic exposure to natural disasters [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2017, 64: 57–66.
- [15] XIE W, LI N, LI C H, et al. Quantifying cascading effects triggered by disrupted transportation due to the Great 2008 Chinese Ice Storm: implications for disaster risk management [J]. *Natural Hazards*, 2014, 70(1): 337–352.
- [16] WANG G Z, GU S J, CHEN J B, et al. Assessment of health and economic effects by PM_{2.5} pollution in Beijing: a combined exposure-response and computable general equilibrium analysis[J]. *Environmental Technology*, 2016, 37(24): 3131–3138.
- [17] 李廉水, 蔡洋, 谭玲. 基于动态 CGE 模型的中国暴雨洪涝灾害综合经济损失评估研究[J]. *河海大学学报(哲学社会科学版)*, 2020, 22(1): 28–36.
- [18] ROSE A, GUHA G S. Computable General Equilibrium Modeling of Electric Utility Lifeline Losses from Earthquakes[M]. Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [19] LOFEREN H, Harris R L, Robinson S. A standard computable general equilibrium (CGE) model in GAMS[R]. TMD discussion papers, 2015.
- [20] ITAKURA K. Impact of liberalization and improved connectivity and facilitation in ASEAN [J]. *Journal of Asian Economics*, 2014, 35: 2–11.
- [21] ZHONG M R, LIN Q. An effects analysis of China's metal mineral resource tax reform: a heterogeneous dynamic multi-regional CGE appraisal[J]. *Resources policy*, 2018, 58: 303–313.
- [22] 潘浩然. 可计算一般均衡建模初级教程[M]. 北京: 中国人口出版社, 2016.
- [23] WASCHIK R. Differentiated products, increasing returns to scale and heterogeneous firms in a CGE model of the Australian coal sector [J]. *Energy Economics*, 2015, 51: 521–529.
- [24] PORFIRIEV B. Evaluation of human losses from disasters: the case of the 2010 heat waves and forest fires in Russia [J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2014, 7: 91–99.
- [25] 吴先华, 谭玲, 郭际等. 恢复力减少了灾害的多少损失—基于改进 CGE 模型的实证研究[J]. *管理科学学报*, 2018, 21(7): 66–76.
- [26] 郭正权, 张兴平, 郑宇花. 我国能源—经济—环境系统的碳税政策研究[M]. 北京: 中国经济出版社, 2015.
- [27] 李元龙. 能源环境政策的增长、就业和减排效应: 基于 CGE 模型的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [28] 谭显东. 电力可计算一般均衡模型的构建及应用研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2008.
- [29] MAHMOOD A, MARPAUNG C O P. Carbon pricing and energy efficiency improvement – Why to miss the interaction for developing economies? An illustrative CGE based application to the Pakistan case [J]. *Energy Policy*, 2014, (67): 87–103.
- [30] GASSEBNER M, KECK A, TEH R. Shaken, Not Stirred: The Impact of Disasters on International Trade [J]. *Review of international economics*, 2010, 18(2): 351–368.

Comprehensive Assessment of Typhoon Disaster Economic Loss Based on Disaster-CGE Model——take Typhoon Mangkhut in Guangdong Province as an Example

YU Xiaobing, WU Xuejing, CHEN Hong, JI Zhonghui and WANG Xuming

(School of Management Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on the social accounting matrix of Guangdong Province in 2015, the disaster computable general equilibrium model is used to evaluate the indirect economic losses caused by Super Typhoon “Mangkhut”. The simulation results show that from the macro aspect the total loss caused by Typhoon “Mangkhut” accounts for 2.645% of Guangdong's GDP in that year. Residents' income falls by 2.732% and the consumption of commodity also decreases by 1.59%. The quantity of imported goods decreases significantly. Except for the slight increase in the export price of manufacturing commodity, the prices of other commodities have declined to different degrees. Besides, from the industrial level the output of almost industries has decreased except extractive industries. Typhoon disaster has reduced rental rates in all sectors and the decrease range is 0.225% ~ 3.928%. The parameter sensitivity analysis shows that result is robust, and it can provide reference for the government to carry out the follow-up emergency management.

Key words: typhoon; comprehensive economic loss assessment; CGE model; disaster management; Typhoon “Mangkhut”; Guangdong Province

附录表 1 模型参数

参数	含义	参数	含义
AP	总产出 CES 函数的技术参数	sp	总产出 CES 函数的指数参数
β	总产出 CES 函数中中间投入的份额参数	γ	总产出 CES 函数中增加值投入的份额参数
ut	中间投入的投入产出系数	AV	增加值函数的技术参数
γ_l	增加值的劳动投入参数	γ_k	增加值的资本投入参数
AT	CET 函数的技术参数	ε	CET 函数的份额参数
st	CET 函数的指数参数	sa	Armington 方程的指数参数
AA	Armington 方程的技术参数	δ	Armington 方程的份额参数
X	灾前产出	E	灾害冲击变量
U	中间投入	V	增加值投入
X'	灾后产出	S'	直接经济损失
S	总产值	L	劳动投入量
K	资本投入量	Q	本地生产的商品
$QDDEXP$	本地自产自销与流出商品之和	$IEXP$	出口商品
PS	生产部门	PRO	广东省区域
CC	商品	HH	居民
GTX	总税收	QC	本地市场消费的商品
$QDDIMP$	本地自产自销与流入商品之和	$IIMP$	进口商品
HHY	居民总收入	$HHLY$	居民劳动收入
$HHKY$	居民资本收入	$LGTHH$	地方政府对居民的转移支付
TLE	劳动要素总支出	TKE	资本要素总支出
LGE	地方政府总支出	HHE	居民总支出
$HHCM$	居民消费	HHS	居民储蓄
$HHTX$	个人所得税	FMY	企业总收入
$FMKY$	企业资本收入	FME	企业总支出
$FMTHH$	企业对居民的转移支付	FMS	企业储蓄
LGY	地方政府总收入	$CGTLG$	中央下拨地方
$TXTLG$	地方税收收入	$LGINV$	地方政府投资
CGE	中央政府总支出	CGS	中央政府储蓄
$LGCM$	地方政府消费	$LGTCCG$	地方上交中央
CGY	中央政府总收入	$TXTCCG$	中央税收收入
TLY	劳动要素总收入	SC	存货变动
TKY	资本要素总收入	\bar{L}	劳动要素禀赋
\bar{K}	资本要素禀赋	$TSAV$	社会总储蓄
$IINV$	国外投资	$DINV$	国内其他地区投资
INV	固定资本形成		