

基于投入产出法的洪涝灾害间接经济损失评估 ——以湖北省为例

宁思雨¹, 黄晶¹, 汪志强¹, 王慧敏^{1,2*}

(1. 河海大学管理科学研究所, 南京 211100;

2. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098)

摘要:洪涝灾害对产业系统造成的经济影响既有直接经济损失也有间接经济损失,而间接经济损失远远高于直接经济损失,研究间接经济损失对灾害风险控制具有重要意义。论文基于投入产出模型,利用2016年湖北省洪涝灾害直接经济损失数据,从产业关联视角计算不同洪涝淹没水深下的产业部门间接经济损失。研究结果表明:①随着淹没水深增加,不同产业部门受洪涝灾害冲击引起的直接经济损失与间接经济损失相应增加。②大部分产业部门由于产业关联关系造成的间接经济损失高于直接经济损失;当淹没水深较小时,一些资产较密集的产业部门受洪涝灾害冲击较大,造成的直接经济损失高于间接经济损失。③全社会总直接经济损失与间接经济损失呈非线性关系,且间接经济损失随着直接经济损失增加而增加;当淹没水深大于2.093 m时,间接经济损失约是直接经济损失的1.15倍。

关键词:洪涝灾害;间接经济损失;淹没水深;投入产出模型;湖北省

随着全球气候变化,暴雨洪涝灾害俨然变成全球范围内最严重的自然灾害之一。2018年10月,联合国减灾风险办公室在《*Economic Losses, Poverty and Disasters 1998–2017*》报告中指出,全球91%的重大灾害事件与气候变化相关,其中,洪水是最常发生的灾害之一,占比43.4%。中国洪涝灾害影响也日益严重。据《中国水旱灾害公报(2016)》统计,2011—2016年全国洪涝灾害年均损失达2500多亿元,是过去20 a的2.2倍。仅以2016年湖北省6—7月间发生的洪涝灾害为例,灾害共造成湖北省750.60亿元的直接经济损失,占湖北省当年GDP的2.32%。目前关于洪涝灾害经济损失的研究还只集中在直接经济损失上,而洪涝灾害引发的直接经济损失造成的物价上涨、生产建设资金投入减少、劳动力不足等诸多风险,引起的产业关联间接经济损失将远远超过直接经济损失。但间接经济损失往

往被忽略,这将影响产业经济系统的稳定性和灾后生产恢复力水平的评估。因此,如何评估洪涝灾害冲击造成的间接经济损失,对政府进一步强化基础设施建设、提高受灾区域防灾减灾能力、降低洪涝灾害造成的人员和财产损失,显得尤为重要。

目前对灾害经济损失计算分为直接经济损失和间接经济损失2大类^[1-3]。直接经济损失主要是指由灾害冲击对各类直接暴露的基础设施等有形资产破坏引起的经济损失,属于静态、浅层次的经济损失^[4-6]。学者依据降水量、淹没水深等参数,在历史灾情统计数据或模拟方法的基础上,构建灾害脆弱性评估曲线以研究直接经济损失^[7-11]。间接经济损失是指直接经济损失的后延效应,属于深层次的经济损失^[11,12],影响程度更大、波及范围更广,主要包括因灾害冲击引发的生产系统前后关联产业的停产减产损失^[13-16]。目前关于间接经济损失的研究,学

收稿日期:2019-02-02;修订日期:2019-05-09。

基金项目:国家自然科学基金项目(71601070,91846203,41877526)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 71601070, 91846203 and 41877526.]

第一作者简介:宁思雨(1994—),女,江苏徐州人,硕士生,主要从事洪涝灾害风险管理研究。E-mail: nhawking@hotmail.com

*通信作者简介:王慧敏(1963—),女,山西人,教授,主要从事水资源管理,灾害风险与应急管理。E-mail: hmwang@hhu.edu.cn

引用格式:宁思雨,黄晶,汪志强,等. 基于投入产出法的洪涝灾害间接经济损失评估:以湖北省为例[J]. 地理科学进展, 2020, 39(3): 420-432. [Ning Siyu, Huang Jing, Wang Zhiqiang, et al. Indirect economic losses of flood disaster based on an input-output model: A case study of Hubei Province. Progress in Geography, 2020, 39(3): 420-432.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.03.007

者主要从“存量-流量”和“投入-产出”产业关联的角度,研究洪涝灾害间接经济损失定义、构成结构和评估方法等,以投入产出模型(IO模型)^[17]、可计算一般均衡模型(CGE模型)^[18]2种评估方法为主进行经济损失评估。其中,IO模型是静态模型,以产业链为纽带模拟产业经济系统中投入产出变化关系,能真实反映经济结构。在利用IO模型展开灾害经济损失评估时,主要以分析灾害冲击造成供给、需求变动对产业经济造成的影响^[19-21],进而评估产业链前后向关联产业遭受的经济损失^[20,22-23]。针对洪涝灾害引发的间接经济损失,已有学者考虑以间接经济损失系数角度,评价灾害间接经济损失与直接经济损失存在的关系。同时,还有学者考虑到洪涝灾害淹没水深的变化对不同经济类型承灾体造成的灾害经济损失存在差异^[10,24],及以洪涝灾害淹没水深造成的产业系统经济损失率视角,研究洪涝灾害间接经济损失^[25-27],都主要采用国际上推荐的间接经济损失系数计算。纵观已有研究成果,目前多数研究主要从微观经济和洪涝灾害淹没损失经验数据的角度,评估洪涝灾害冲击造成产业系统供需水平变化引起的经济损失,较少考虑洪涝灾害淹没水深与间接经济损失之间的关系,缺少对产业关联视角下的不同产业部门生产能力变化带来的经济影响评估。

本文为计算因洪涝灾害冲击引起的间接经济损失,从产业关联视角,在直接经济损失数据基础上,利用IO模型开展洪涝灾害的间接经济损失计算,实现不同洪涝灾害淹没水深下的间接经济损失准确评估,为提高洪涝灾害的应急能力和灾后重建决策提供科学依据。

1 研究方法

1.1 IO模型介绍

投入产出模型研究方法最早由美国经济学家瓦·列昂惕夫(W. Leontief)于1936年提出^[28],主要是通过编制投入产出表及以数学模型的方式来体现区域生产关联关系,并研究不同区域生产能力的差异性。在自然灾害经济损失评估研究中,Cochrane^[29]最早将IO模型引入灾害间接经济损失评估中,随后被广泛应用于与灾害损失评估相关的研究。采用IO模型评估经济损失,是假定灾害导致产业部门无法迅速改变与其他产业部门之间的产业

关联关系,即假定投入产出系数不变,利用不变系数重新分配灾害发生后的现有产业生产能力。IO表自身反映了经济系统中投入和产出部门的直接联系。当一个部门产出发生变化,其生产消耗的产品也将会发生动态变化,这种变化将会通过产业关联关系扩散到其他部门,引起停减产损失,并影响其产出水平,即产业关联损失。因此,利用IO模型部门之间明确的内在关联关系,有助于确定洪涝灾害冲击在产业系统中传导带来的间接经济损失影响。

1.2 基于IO模型的间接经济损失计算方法

1.2.1 不同淹没水深下的直接经济损失拟合

为计算间接经济损失,需要先明确不同经济类型的产业部门直接经济损失,但由于直接经济损失数据难以获得,本文通过实地调查和历史统计分析获取不同产业类型的经济损失率,利用多项式拟合函数,构建以水深要素为主的洪涝灾害损失率模型,其中,在同一种产业经济类型中的不同部门使用同一个损失率。结合统计部门的固定资产数额,得到淹没水深下不同产业的直接经济损失。

1.2.2 投入产出基本模型构建

本文假定短期内产业系统保持稳定的投入产出关系,在此基础上对洪涝灾害造成的经济损失进行评估。

在投入产出模型中(表1),行向部门*i*的总需求等于生产过程中消耗使用与最终产品使用的和,列向各部门总供给等于生产过程中投入和各要素增加值的和,且行向的总需求与列向的总投入相等。其中,最终产品是指产业部门可供社会最终需求的产品。

在行列平衡关系可用式(1)、(2)表示,即

$$\sum_j Q_{ij} + Y_i = Q_i \tag{1}$$

$$\sum_i Q_{ij} + Z_j = Q_j \tag{2}$$

总产出=总投入,则表示为:

$$Q_i = Q_j, \sum_j Q_{ij} + Y_i = \sum_i Q_{ij} + Z_j \tag{3}$$

用直接经济消耗系数 a_{ij} 表示各部门投入产出消耗关系,表示某一生产部门对其他生产部门的第一次消耗使用,即各产业部门在生产过程中所使用的对生产资料和各要素的直接消耗。在投入产出表结构中,与总产出和中间消耗的关系可用式(4)表示:

$$a_{ij} = Q_{ij}/Q_i \tag{4}$$

表1 投入产出表结构
Tab.1 The structure of the input-output model

		中间需求				最终需求	总需求
		部门1	部门2	...	部门n		
中间投入	部门1	Q_{11}	Q_{12}	...	Q_{1n}	Y_1	Q_1
	部门2	Q_{21}	Q_{22}	...	Q_{2n}	Y_2	Q_2

	部门n	Q_{n1}	Q_{n2}	...	Q_{nn}	Y_n	Q_n
最终产值	劳动报酬	V_1	V_2	...	V_n		
	社会纯收入	M_1	M_2	...	M_n		
	折旧	D_1	D_2	...	D_n		
	小计	Z_1	Z_2	...	Z_n		
总投入		Q_1	Q_2	...	Q_n		

式中： Q_{ij} 表示中间消耗， Q_i 表示对*i*部门的总产出，在投入产出表结构中为行向之和。因此可将IO模型的行均衡关系表示为：

$$\begin{cases} a_{11}Q_1 + a_{12}Q_2 + \dots + a_{1n}Q_n + y_1 = Q_1 \\ a_{21}Q_1 + a_{22}Q_2 + \dots + a_{2n}Q_n + y_2 = Q_2 \\ \dots \\ a_{n1}Q_1 + a_{n2}Q_2 + \dots + a_{nn}Q_n + y_n = Q_n \end{cases} \quad (5)$$

可将式(5)用矩阵形式表达：

$$AQ + Y = Q \quad (6)$$

*I*为单位矩阵，对矩阵进行整理得到：

$$Q = (I - A)^{-1}Y \quad (7)$$

1.2.3 完全消耗水平下的洪涝灾害间接经济损失模型推导

式(7)称为IO模型的基本数学模型，其中 $(I - A)^{-1}$ 称为列昂惕夫逆矩阵。为评估洪涝灾害所导致的总产量变化，将式(7)变为增量形式表达：

$$\Delta Q = (I - A)^{-1} \Delta Y \quad (8)$$

IO模型以投入产出表行列平衡关系为基础，借助直接消耗系数 a_{ij} 体现产业关联性。但在产业经济系统中，生产过程除了直接消耗关系，还存在间接消耗。以农业部门为例，农业生产活动需要水、电等多部门投入的产品，而电力部门对电的生产过程同样需要消耗水。因此，这部分对水的消耗可以看作农业部门对水的第二次消耗。以此类推，经过第*n*轮消耗，其他产品对水的多次间接消耗，加上农业部门对水的直接消耗，就是对水的完全消耗。其中，完全消耗系数与直接消耗系数之间存在对应关系：

$$B = (I - A)^{-1} - I \quad (9)$$

式中：*B*为完全消耗系数。

因此，总产品损失可表示为：

$$\Delta Q = (B + I) \Delta Y \quad (10)$$

考虑到IO模型对经济损失范畴界定的准确性，若仅将洪涝灾害经济损失界定在最终产品上，则将忽略由于产业关联间接消耗产生的间接经济损失。因此，本文在评估洪涝灾害造成的经济损失时，利用总产出的损耗表示直接经济损失大小。

假定受洪涝灾害影响的部门有*i*个，且其他产业的最终产品消耗水平保持不变，即 $\Delta Y_i = 0$ 。按照式(10)，则全社会总产品产量的变化表示为：

$$\begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_i \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1i} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2i} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{i1} & b_{i2} & \dots & b_{ii} & \dots & b_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{ni} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Y_1 \\ \Delta Y_2 \\ \vdots \\ \Delta Y_i \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta Y_1 \\ \Delta Y_2 \\ \vdots \\ \Delta Y_i \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

得到直接经济损失和最终产品损失之间的关系如式(12)：

$$\Delta Q_1 = b_{11} \Delta Y_1 + b_{12} \Delta Y_2 + \dots + b_{1i} \Delta Y_i + \Delta Y_1$$

$$\vdots$$

$$\Delta Q_i = b_{i1} \Delta Y_1 + b_{i2} \Delta Y_2 + \dots + b_{ii} \Delta Y_i + \Delta Y_i \quad (12)$$

通过式(12)求解得到19个产业部门的总产品关联损失。

$$\Delta Q_j = b_{j1} \Delta Y_1 + b_{j2} \Delta Y_2 + \dots + b_{ji} \Delta Y_i \quad (j = i + 1, \dots, n) \quad (13)$$

利用式(13)的结果，将各部门损失数据求和便可得到全社会总产品产业关联损失，即全社会总的间接经济损失。

1.3 模型假设

为确保IO模型函数形式的唯一性，使用IO模型评估洪涝灾害对社会经济系统造成的经济损失，需要基于以下几个假设：①短期内宏观经济系统中

表2 2016年湖北省19个部门固定资产数额
Tab.2 Assets of 19 sectors in Hubei Province, 2016 (亿元)

序号	部门	固定资产	序号	部门	固定资产
1	农业	1086.49	11	房地产业	6063.74
2	采矿业	329.40	12	租赁服务业	806.37
3	制造业	10522.40	13	科学研究和技术服务业	151.87
4	能源供应业	934.69	14	公共设施管理业	3735.20
5	建筑业	475.46	15	其他服务业	139.16
6	交通运输业	2794.23	16	教育	366.66
7	信息业	150.75	17	卫生和社会工作	269.46
8	批发和零售业	725.27	18	文化、体育和娱乐业	323.91
9	住宿和餐饮业	286.04	19	社会保障	309.77
10	金融业	33.00			

各产业部门关联关系保持不变,洪涝灾害的冲击不会导致产业结构的改变;②产业部门之间的投入与产出呈正相关关系;③假定产业部门的生产不受外部政策和经济因素影响的制约;④每个产业部门按照各自的产业结构和生产流程进行单一生产。

2 研究区域与数据

2.1 研究区域

湖北省位于长江中下游地区,人口密集,是长江经济带、长江中游城市群中易发生洪涝的地区之一^[30-31]。每年梅雨季节,受东亚季风影响,湖北省范围内强降雨增多且频繁,一旦发生洪涝灾害,影响范围广、历时长,给当地生产生活造成严重影响,带来巨额经济财产和人员的损失伤亡。湖北省在2004—2016年13 a的时间里,遭受的洪涝灾害中、小灾等级比重分别为75.9%、24.1%。其中,以2016年6月30日至7月4日的暴雨强降水事件造成的受灾人口及直接经济损失最高,共造成750.60亿元的直接经济损失。

2.2 数据来源与处理

本文中湖北省社会经济和部门数据来源于《湖北省统计年鉴2017》《2012年湖北省投入产出表》《2016年湖北省国民经济和社会发展统计公报》,湖北省洪涝灾害数据来源于《2016中国水旱灾害公报》、中华人民共和国水利部2016年统计数据以及2016年湖北省暴雨灾害事件政府权威报道。在评估洪涝灾害对经济影响时,鉴于各个部门直接经济损失数据出现缺失,本文对各产业部门因洪涝灾害发生导致的直接经济损失进行简化处理,考虑到数据的获取难易程度和产业之间关联关系,本文借鉴

国内外已有研究经验,将42部门合并为19部门,利用各部门固定资产(表2)及其损失比例来估算各部门因灾产生的直接经济损失。

国际上通用的损失统计是以农业、工业、建筑业、商业、服务业、家庭财产、房地产业等7种产业经济类型为单位,因此,本文将这些数据归并为7种产业类型。参考中国水利水电科学研究院“洪水损失评估模型”中推荐的不同产业类型损失率^[32],结合湖北省以及与该省处于类似情况的其他地区洪涝灾害损失率研究成果^[24-26],得到7种产业类型的经济损失率与水深的关系(表3)。

3 结果分析

为进一步研究洪涝灾害淹没水深与经济损失的关系,本文分别探究洪涝灾害不同淹没水深下的经济损失率拟合曲线变化规律以及直接经济损失和间接经济损失随淹没水深的变化规律,并分析直接经济损失和间接经济损失的相关性。

表3 不同产业类型的直接经济损失率与淹没水深的关系
Tab.3 Relationship between direct economic loss rate of various sectors and flood water depth (%)

产业类型	淹没水深				
	0~0.5 m	0.5~1 m	1~2 m	2~3 m	>3 m
农业相关	13	24	55	69	81
工业相关	5	10	15	30	40
建筑业相关	3	5	7	10	20
商业相关	5	10	25	40	50
服务业相关	5	10	15	25	35
家庭财产相关	3	8	30	50	70
房地产业相关	5	15	40	60	80

3.1 洪涝灾害不同淹没水深下的直接经济损失率拟合曲线

本文利用多项式拟合函数,得到不同产业类别在不同淹没水深下的损失率拟合曲线如图1。总的来说,洪涝灾害造成工业、建筑业、商业和服务业的

直接经济损失相对较小,损失率均不超过50%。而农业、家庭财产、房地产业损失较大,其中农业和房地产业损失率超过80%。随着淹没水深的增加,不同产业的损失率增加趋势不尽相同。农业相关产业在淹没水深较小时就出现了较大损失。随着淹

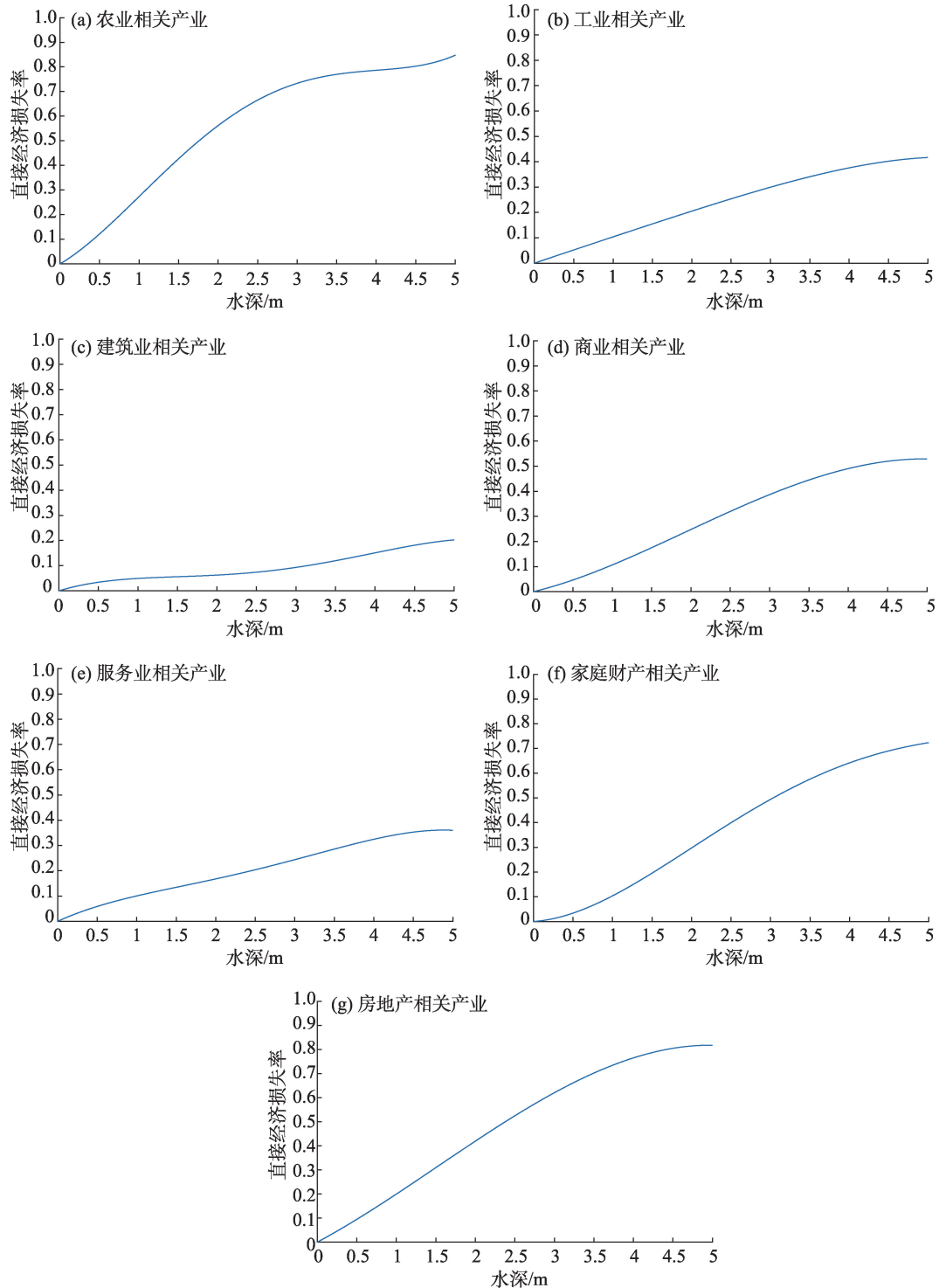


图1 不同产业类型的直接经济损失率拟合曲线

Fig.1 Fitting curves of direct economic loss rate for various sectors

没水深增加,损失迅速加大。当淹没超过2 m时,损失率超过55%,而之后随着水深增加损失率增加变缓。与农业相反,建筑业相关产业在淹没水深较小时,损失较少。当水深超过2 m时,损失率随着水深增加呈明显上升趋势,但由于建筑业的特性,其损失率在所有产业类型中最小为20%。家庭财产和房地产相关产业的直接经济损失率在水深低于0.5 m时较小,随淹没水深的增加持续加大,当水深超过3 m时损失率分别高达70%和80%。工业、服务业和商业相关产业的直接经济损失率也随着淹没水深的增加而增加,但其增加幅度较家庭财产和房地产住宅等相关产业小许多。

3.2 经济损失与淹没水深关系

3.2.1 直接经济损失与淹没水深关系

此次洪涝灾害对全社会造成的直接经济损失如图2所示,随淹没水深的增加,直接经济损失逐渐增加,当淹没水深达到2.093 m时,直接经济损失约为7703亿元,由于基础设施等受洪涝灾害的破坏程度是一定的,洪涝灾害导致基础设施破坏、人员伤亡、房屋损毁等直接经济损失逐渐趋于平缓状态。

随着洪涝灾害淹没水深增加,19个产业部门受灾害冲击造成的直接经济损失均有所增加。其中,制造业、房地产业、公共设施管理业的直接经济损失增长幅度明显高于其他产业部门,而信息业、金融业、其他服务业等部门的直接经济损失增加幅度则处于较低水平。这是因为直接经济损失主要发生在有形实体等基础设施中,而制造业、房地产业和公共设施管理业占用着社会经济系统绝大多数的生产资料和基础设施,固定资产数额密集,且基

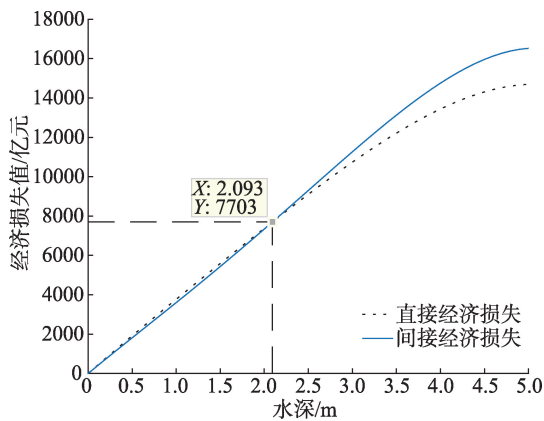


图2 直接经济损失和间接经济损失随淹没水深的变化规律
Fig.2 Change of direct economic losses and indirect economic losses with flood water depth

数巨大,因此灾害破坏产生的直接经济损失较大。对于信息业、金融业和其他服务业等较多依赖科学技术和能力的产业来说,基础设施损坏引发的直接经济损失较小。

3.2.2 间接经济损失与淹没水深关系

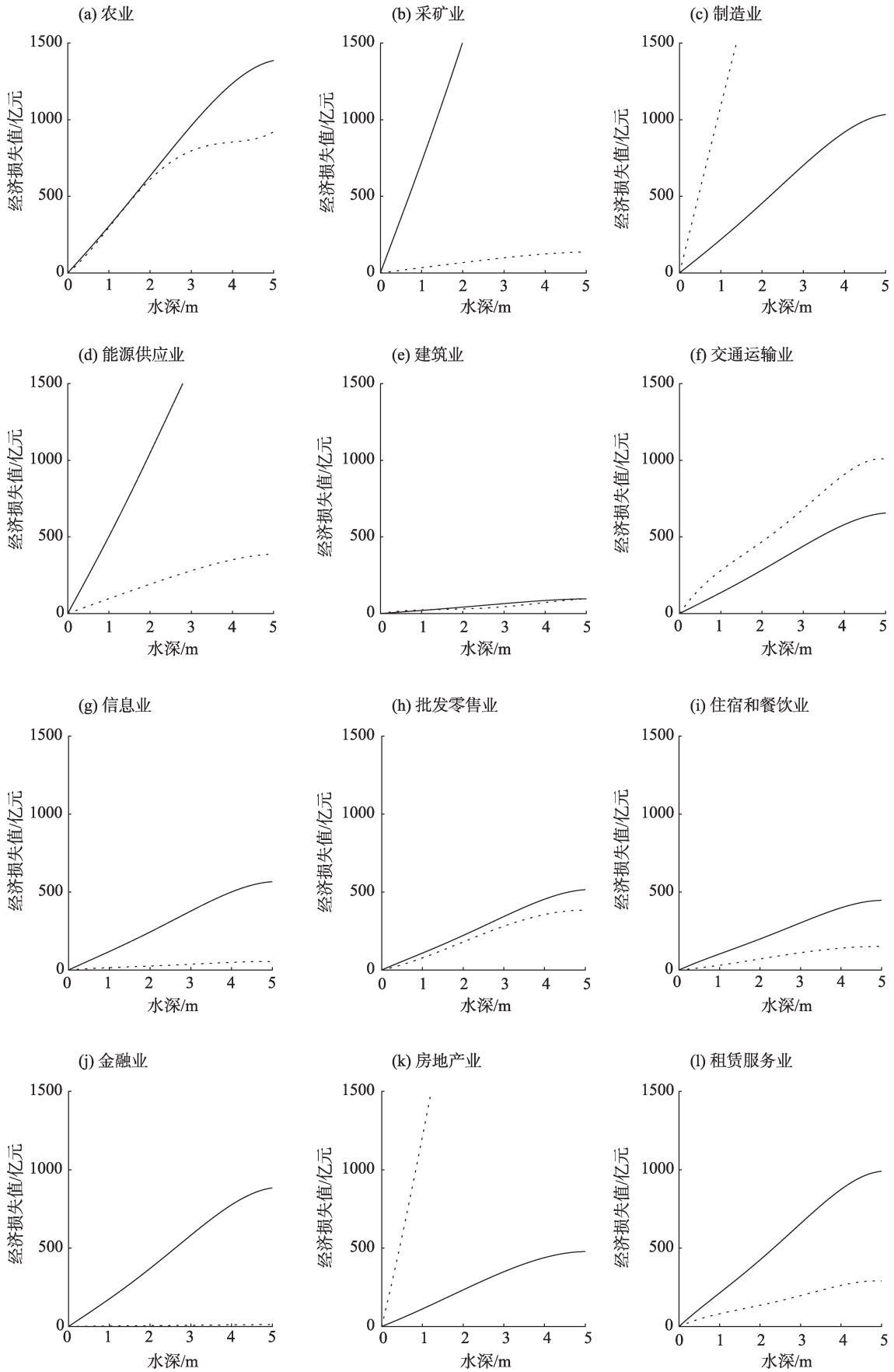
从图3发现,大部分产业间接经济损失远远高于直接经济损失,甚至是其数倍以上。但制造业、房地产业等资产密集产业,因洪涝灾害冲击导致的直接经济损失大于间接经济损失。这是因为洪涝灾害冲击造成的直接经济损失,引起产业链上游产业因生产需求减少而造成巨额生产资料闲置,下游产业则因生产供应得不到满足导致停减产状况的发生,产业经济系统生产节奏因产业关联受到严重破坏,且无法迅速恢复到正常水平,进而导致巨额的间接经济损失。

对图3中湖北省19个产业部门的直接经济损失和间接经济损失大小进行比较,发现随着淹没水深的增加,间接经济损失并非一直高于直接经济损失数额(图4)。当淹没水深未达到2.093 m时,洪涝灾害导致的直接经济损失略高于间接经济损失,但淹没水深超过2.093 m后,间接经济损失增长幅度明显高于直接经济损失,且是直接经济损失的数倍以上。当淹没水深达到2.093 m时,制造业、交通运输业、房地产业、公共设施管理业及卫生和社会工作5个部门的直接经济损失高于间接经济损失,且在此淹没水深下对19个产业部门经济损失分别求和,对比发现全社会总直接经济损失略高于总间接经济损失。

根据式(13)可知,直接经济损失大小与最终产品损失有关。从图5看出,制造业、建筑业、交通运输业、批发和零售业、房地产业、公共设施管理业(水利等)的最终产品损失明显高于其他部门,而能源供应业、卫生和社会工作、社会保障等部门受农业部门灾害传导的影响较小。利用IO模型和结构得到,在总产出保持灾前水平不变的情况下,受灾影响导致生产能力下降,投放到市场中的最终产品也将大幅下降,因此,较之于灾前,灾后总产出水平也相应下降。综上所述,投入产出结构影响了直接经济损失与间接经济损失的关系,使得制造业等产业部门直接经济损失高于间接经济损失。

3.3 总直接与间接经济损失相关性

由直接经济损失与间接经济损失两者的关系可知(图6),间接经济损失随着直接经济损失增加而



续图3

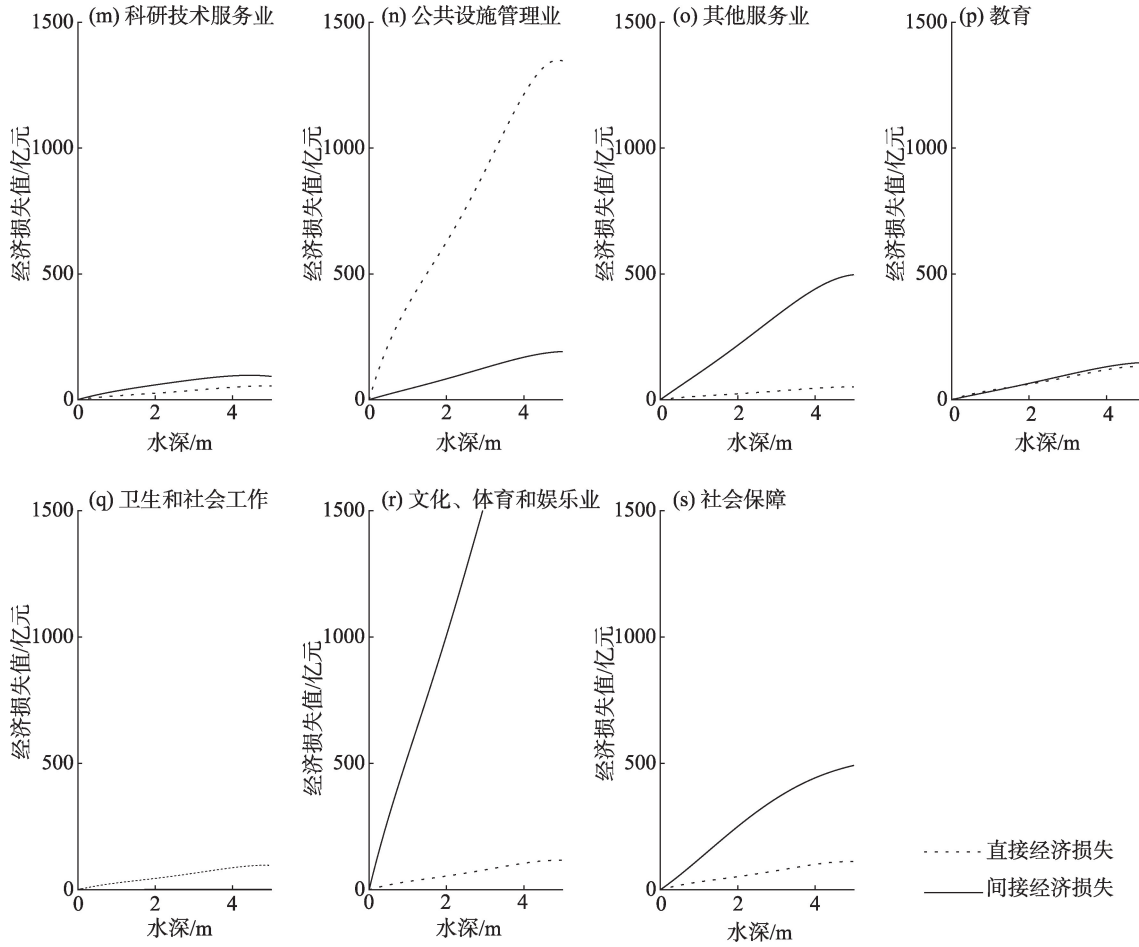


图3 不同淹没水深下的不同产业部门直接经济损失和间接经济损失

Fig.3 Direct economic losses and indirect economic losses at different flood water depth

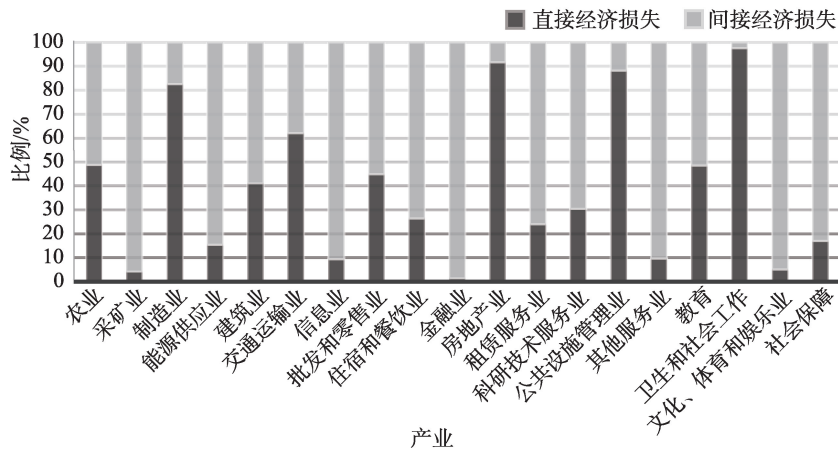
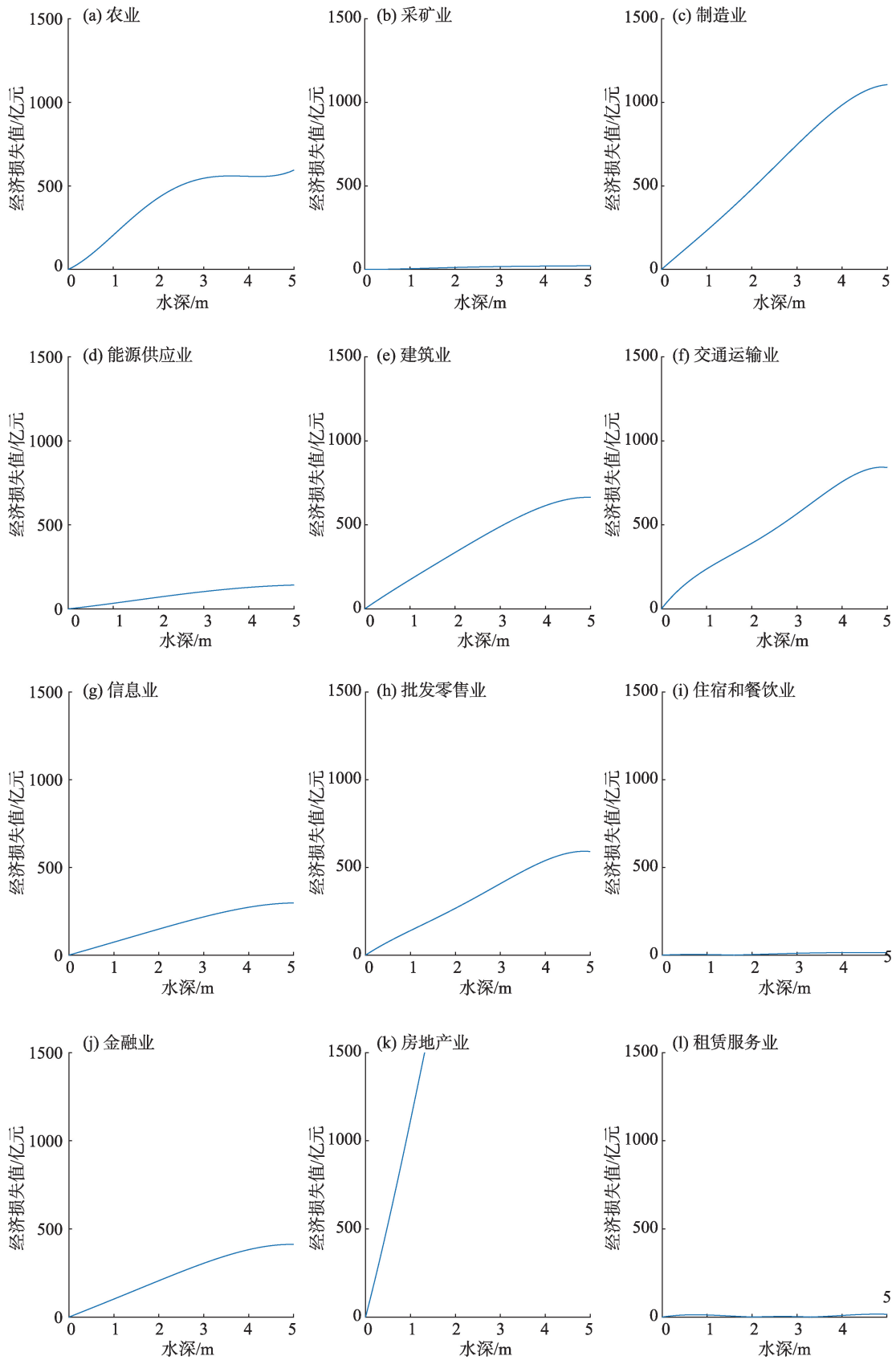


图4 不同产业部门直接经济损失与间接经济损失对比(水深 $d=2.093$ m)

Fig.4 Direct economic losses and indirect economic losses at the level of flood water depth $d = 2.093$ m

增加,二者之间为非线性关系。间接经济损失随着直接经济损失的增长呈现3种变化状态:①淹没水深 $d \leq 1.217$ m时,直接经济损失小于4392亿元,间

接经济损失的增长幅度小于直接经济损失;② $1.217 \text{ m} <$ 淹没水深 $d < 2.093$ m时,间接经济损失呈现快速增长的趋势,但仍小于直接经济损失;③淹



续图5

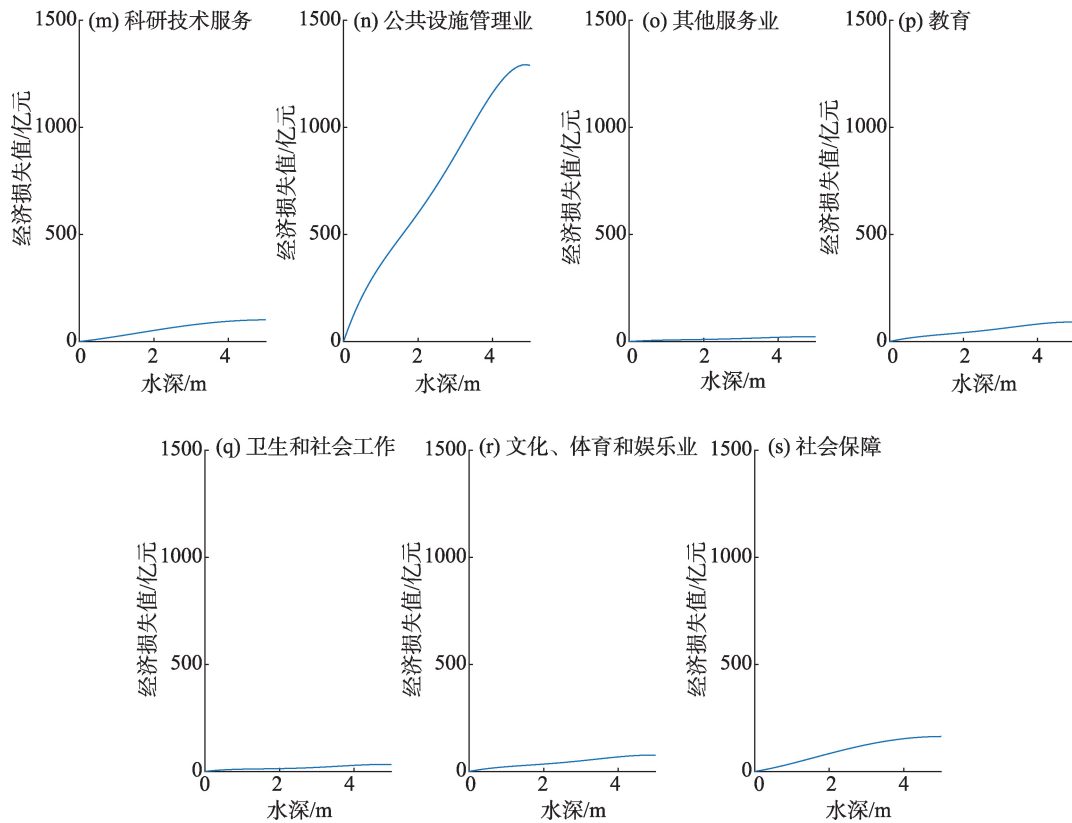


图5 不同水深等级下不同产业部门最终产品损失变化规律

Fig.5 Final product losses in various industrial sectors under different flood water depth

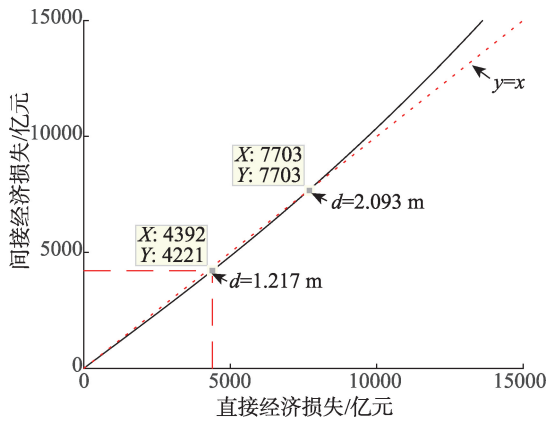


图6 洪涝灾害直接经济损失与间接经济损失相关性
Fig.6 Correlation between direct economic losses and indirect economic losses

没水深 $d \geq 2.093$ m时,间接经济损失开始超过直接经济损失,间接经济损失最大约为直接经济损失的1.15倍。

在初期淹没水深 $d < 1.217$ m时,洪涝灾害冲击主要造成基础设施等有形实体破坏,在此阶段,产业传导关系造成的灾害关联经济损失较小。主要

是因为短期内产业链上下游生产主要依赖自身生产系统的生产存量,对外部依赖的生产需求较小,在此淹没水平下不会影响产业部门基本生产能力。洪涝灾害造成生产活动受到生产能力的限制,出现停产、减产状况,造成前后关联产业生产活动的供给和需求无法得到充分满足,产业关联关系的存在将灾害损失扩散到整个产业链中,造成间接经济损失增加快于直接经济损失。在淹没水深 $d > 2.093$ m时,随着淹没水深不断加深,由于整个产业系统基础设施等资产和生产能力有限,洪涝灾害冲击造成的直接经济损失将趋于平缓。但由于产业关联关系造成的影响,使得生产系统在短期内无法迅速恢复至灾前水平,考虑到灾后重建投入成本和效率水平的影响,间接经济损失将随淹没水深的增加而减少。

4 讨论与结论

洪涝灾害损失率是洪灾直接经济损失评估的关键,确定洪涝灾害不同淹没水深下的灾害损失

率,对准确评估研究区域的经济损失具有重要意义。一方面,由于目前缺少官方统计部门关于洪涝灾害淹没水深下的经济损失率数据,因此,针对不同研究区域产业部门经济属性不同,需根据承灾体和行业特点对灾害损失率展开更进一步研究。另一方面,本文对直接经济损失数据和IO模型应用作了简单处理和假设,并且考虑到多部门受灾数据的不完整性,将湖北省投入产出表中原42部门按照经济属性的特征划分为7种相关产业类型的淹没水深损失率,可能会忽略中小企业部门在洪涝灾害冲击所受的经济影响,对评估结果产生一定偏差。

本文在对湖北省历史灾情数据进行拟合的基础上,提出基于洪涝灾害淹没水深的IO模型,计算不同洪涝灾害淹没水深下的不同经济类型产业因产业关联关系带来的间接经济损失。结果显示:①随洪涝灾害淹没水深增加,不同产业部门受洪涝灾害冲击引起的直接经济损失与间接经济损失也相应增加。②大部分产业部门由于产业关联关系造成的间接经济损失高于直接经济损失,但当淹没水深较小时,一些资产较为密集的产业部门受洪涝灾害冲击较大,造成的直接经济损失高于间接经济损失,如制造业、建筑业、房地产业等资产较密集产业部门。③不同淹没水深下,全社会总的直接经济损失与间接经济损失呈非线性关系,间接经济损失随着直接经济损失增加而增加,间接经济损失最大约是直接经济损失的1.15倍。

本文对2016年湖北省暴雨洪涝灾害进行研究,分析了洪涝灾害冲击带来的经济影响,包括基础设施等损坏引起的直接经济损失和产业关联关系造成的间接经济损失。原本用于正常生产活动的财政资金和人力资源等,在灾后也需投入重建工作中。因此,洪涝灾害间接经济损失的评估,还要考虑用于正常生产的这部分投入资源的成本消耗。另一方面,在间接损失计算基础上,考虑构建不同重建投入的模拟情景,如不同重建投入资金力度、劳动力水平等情景模拟,评估重建投入、重建效率对灾区经济系统恢复时间的影响,也是未来研究的方向。

参考文献(References)

- [1] 李宁,张正涛,陈曦,等.论自然灾害经济损失评估研究的重要性[J].地理科学进展,2017,36(2):256-263. [Li Ning, Zhang Zhengtao, Chen Xi, et al. Importance of economic loss evaluation in natural hazard and disaster research. Progress in Geography, 2017, 36(2): 256-263.]
- [2] 孟晖,李春燕,张若琳,等.京津冀地区县域单元地质灾害风险评估[J].地理科学进展,2017,36(3):327-334. [Meng Hui, Li Chunyan, Zhang Ruolin, et al. Risk assessment of geological hazards for counties and districts of the Beijing-Tianjin-Hebei region. Progress in Geography, 2017, 36(3): 327-334.]
- [3] 李卫江,温家洪,李仙德.产业网络灾害经济损失评估研究进展[J].地理科学进展,2018,37(3):330-341. [Li Weijiang, Wen Jiahong, Li Xiande. Progress of research on economic loss assessment of disasters in industrial networks. Progress in Geography, 2018, 37(3): 330-341.]
- [4] 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. [Wu Jidong, Li Ning, Wen Yuting, et al. Economic impact of natural disaster and indirect economic loss estimation methods. Progress in Geography, 2009, 28(6): 877-885.]
- [5] 吴吉东,李宁.浅析灾害间接经济损失评估的重要性[J].自然灾害学报,2012,21(3):15-21. [Wu Jidong, Li Ning. Elementary discussion about importance of indirect economic loss estimation of disasters. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(3): 15-21.]
- [6] 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):188-196. [Wu Jidong. Critical review on theory and method of natural disaster losses estimation an economic perspective. Journal of Natural Disasters, 2018, 27(3): 188-196.]
- [7] Das S, Lee R. A nontraditional methodology for flood stage damage calculation [J]. Water Resources Bulletin: 1988, 24(6): 1263-1272.
- [8] 程先富,郝丹丹,韩平,等.基于格网数据的巢湖流域洪涝灾害损失评估[J].长江流域资源与环境,2014,23(10):1479-1484. [Cheng Xianfu, Hao Dandan, Han Ping, et al. Flood loss assessment in ChaoHu Basin based on grid data. Resources & Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(10): 1479-1484.]
- [9] 石先武,国志兴,张尧,等.风暴潮灾害脆弱性研究综述[J].地理科学进展,2016,35(7):889-897. [Shi Xianwu, Guo Zhixing, Zhang Yao, et al. A review of research on vulnerability to storm surges. Progress in Geography, 2016, 35(7): 889-897.]
- [10] 姜玲,张伟,刘宇.基于多区域CGE模型的洪灾间接经济损失评估:以长三角流域为例[J].管理评论,2016,28(6):25-31. [Jiang Ling, Zhang Wei, Liu Yu. Assessment of indirect economic loss of flood disaster based on multi-regional CGE model: A case of Yangtze River Delta Basin. Business Review, 2016, 28(6): 25-31.]
- [11] 吴绍洪,高江波,邓浩宇,等.气候变化风险及其定量评估方法[J].地理科学进展,2018,37(1):28-35. [Wu Sha-

- ohong, Gao Jiangbo, Deng Haoyu, et al. Climate change risk and methodology for its quantitative assessment. *Progress in Geography*, 2018, 37(1): 28-35.]
- [12] 李春华, 李宁, 李建, 等. 洪水灾害间接经济损失评估研究进展 [J]. *自然灾害学报*, 2012, 21(2): 19-27. [Li Chunhua, Li Ning, Li Jian, et al. Review of research progress in indirect economic loss estimation of flood damage. *Journal of Natural Disasters*, 2012, 21(2): 19-27.]
- [13] 武靖源, 韩文秀, 徐杨, 等. 洪灾经济损失评估模型研究 (II): 间接经济损失评估 [J]. *系统工程理论与实践*, 1998, 18(12): 84-88. [Wu Jingyuan, Han Wenxiu, Xu Yang, et al. A study on the evaluation theory and mathematical model for economic loss of flood damage (II): Indirect economic loss. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 1998, 18(12): 84-88.]
- [14] Merz B, Kreibich H, Schwarze R, et al. Review article "assessment of economic flood damage" [J]. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 2010, 10(8): 735-740.
- [15] Helbing D. Globally networked risks and how to respond [J]. *Nature*, 2013, 497: 51-59.
- [16] Minamikawa Y, Sato H, Mori F, et al. The indirect cost of natural disasters and an economic definition of macro-economic resilience [R]. Policy Research Working Paper, No. 7357. Washington D C, USA: World Bank, 2015.
- [17] Okuyama Y, Santos J R. Disaster impact and input-output analysis [J]. *Economic Systems Research*, 2014, 26(1): 1-12.
- [18] 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. [Wu Xianhua, Tan Ling, Guo Ji, et al. How much damage does resilience reduce: An empirical study based on improved CGE model. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(7): 66-76.]
- [19] 吴先华, 徐中兵, 袁迎蕾, 等. 台风灾害的关联经济损失评估: 以江苏省为例 [J]. *灾害学*, 2014, 29(2): 77-83. [Wu Xianhua, Xu Zhongbing, Yuan Yinglei, et al. Relational economic loss assessment of typhoon disaster: A case study of Jiangsu Province. *Journal of Catastrophology*, 2014, 29(2): 77-83.]
- [20] 王桂芝, 李霞, 陈纪波, 等. 基于IO模型的多部门暴雨灾害间接经济损失评估: 以北京市“7·21”特大暴雨为例 [J]. *灾害学*, 2015, 30(2): 94-99. [Wang Guizhi, Li Xia, Chen Jibo, et al. The rainstorm indirect economic loss assessment of multi departments based on IO model: A case study on the rainstorm on July, 21st in Beijing. *Journal of Catastrophology*, 2015, 30(2): 94-99.]
- [21] 周蕾, 吴先华, 高歌. 基于MRIO模型的“一带一路”典型国家气象灾害间接经济损失分析: 以2014年中国“威马逊”台风灾害为例 [J]. *自然灾害学报*, 2018, 27(5): 1-11. [Zhou Lei, Wu Xianhua, Gao Ge. Analysis of indirect economic loss of meteorological disasters among the Belt and Road typical countries based on the MRIO model: Taking the China's typhoon Rammasun in 2014 as an example. *Journal of Natural Disasters*, 2018, 27(5): 1-11.]
- [22] Henriet F, Hallegatte S, Tabourier L. Firm-network characteristics and economic robustness to natural disasters [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2012, 36(1): 150-167.
- [23] 张鹏, 李宁, 刘雪琴, 等. 基于投入产出模型的洪涝灾害间接经济损失定量分析 [J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2012, 48(4): 425-431. [Zhang Peng, Li Ning, Liu Xueqin, et al. Quantitative analysis of indirect economic loss to flood disaster based on an input-output model. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2012, 48(4): 425-431.]
- [24] 史瑞琴, 刘宁, 李兰, 等. 暴雨洪涝淹没模型在洪灾损失评估中的应用 [J]. *暴雨灾害*, 2013, 32(4): 379-384. [Shi Ruiqin, Liu Ning, Li Lan, et al. Application of rainstorm and flood inundation model in flood disaster economic loss evaluation. *Torrential Rain and Disasters*, 2013, 32(4): 379-384.]
- [25] 杨帅, 苏筠. 县域暴雨洪涝灾害损失快速评估方法探讨: 以湖南省为例 [J]. *自然灾害学报*, 2014, 23(5): 156-163. [Yang Shuai, Su Yun. Exploration of rapid evaluation method for rainstorm flood losses at county level: A case study of Hunan Province. *Journal of Natural Disasters*, 2014, 23(5): 156-163.]
- [26] 吴先华, 周蕾, 高歌, 等. 考虑防灾减灾能力的洪涝灾害灾损率曲线构建: 以里下河地区的李中镇为例 [J]. *地理科学进展*, 2016, 35(2): 223-231. [Wu Xianhua, Zhou Lei, Gao Ge, et al. Flood depth-damage curves for urban properties considering disaster prevention and mitigation capabilities: Evidence from Lizhong Town Lixiahe region, China. *Progress in Geography*, 2016, 35(2): 223-231.]
- [27] 廖永丰, 赵飞, 邓岚, 等. 城市内涝灾害居民室内财产损失评价模型研究 [J]. *灾害学*, 2017, 32(2): 7-12. [Liao Yongfeng, Zhao Fei, Deng Lan, et al. Research on the urban residential indoor property loss assessment model for urban rainstorm waterlogging. *Journal of Catastrophology*, 2017, 32(2): 7-12.]
- [28] Leontief W. Quantitative input and output relations in the economic systems of the united states [J]. *Review of Economics & Statistics*, 1936, 18(3): 105-125.

- [29] Cochrane H C. Economic impacts of a midwestern earthquake [J]. NCEER Bulletin, 1997, 11(1): 1-5.
- [30] 周悦, 周月华, 叶丽梅, 等. 湖北省旱涝灾害致灾规律的初步研究 [J]. 气象, 2016, 42(2): 221-229. [Zhou Yue, Zhou Yuehua, Ye Limei, et al. Preliminary study on disastrous law of drought and flood in Hubei Province. Meteorological Monthly. 2016, 42(2): 221-229.]
- [31] 岳岩裕, 吴翠红, 毛以伟, 等. 2016年湖北省梅雨期暴雨特征及灾情影响分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(2): 412-420. [Yue Yanyu, Wu Cuihong, Mao Yiwei, et al. Analysis of rainstorm characteristics and disaster influence during the Meiyu Period of 2016 in Hubei Province. Resources & Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(2): 412-420.]
- [32] 丁志雄. 基于RS与GIS的洪涝灾害损失评估技术方法研究 [D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2004. [Ding Zhixiong. Research on the technology method of flood disaster loss assessment based on RS and GIS. Beijing, China: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2004.]

Indirect economic losses of flood disaster based on an input-output model: A case study of Hubei Province

NING Siyu¹, HUANG Jing¹, WANG Zhiqiang¹, WANG Huimin^{1,2*}

(1. Management Science Institute, Hohai University, Nanjing 211100, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Flood disasters cause both direct and indirect economic losses to industrial systems, and indirect economic losses may be much higher than direct economic losses. Studying indirect economic losses is of great significance for disaster risk reduction. Based on the input-output model, this study used the direct economic loss data of flood disasters in Hubei Province in 2016 to evaluate indirect economic losses under different flood water depth, from the perspective of sectorial interconnectedness. The results show that: 1) With the increase of flood water depth, direct economic losses and indirect economic losses increase accordingly. 2) For most industrial sectors, indirect economic losses caused by industrial interconnectedness are higher than direct economic losses. However, when flood water depth is shallow, some industrial sectors with more intensive fixed assets are more affected by flood disasters, resulting in higher direct economic losses. 3) The total indirect economic losses show a nonlinear relationship with the total direct economic losses, but with the same trend. When the flood water depth is greater than 2.093 m, indirect economic losses are about 1.15 times of direct economic losses.

Keywords: flood disaster; indirect economic losses; flood water depth; input-output model; Hubei Province