

杨丽娇, 丁晓楠, 蒋新宇. 洪涝灾害情景下企业停产及恢复时间研究——基于余姚市“菲特”台风受损企业调查数据[J]. 灾害学, 2020, 35(3): 110–117. [YANG Lijiao, DING Xiaonan, JIANG Xinyu. Shutdown and Recovery Time of Enterprises under Flood Disaster Scenario Based on Survival Analysis Model: An empirical study on the damaged enterprises in Yuyao City after Typhoon Fitow [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(3): 110–117. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.03.022.]

# 洪涝灾害情景下企业停产及恢复时间研究<sup>\*</sup>

## ——基于余姚市“菲特”台风受损企业调查数据

杨丽娇, 丁晓楠, 蒋新宇

(武汉理工大学 管理学院, 湖北 武汉 430070)

**摘要:** 损失评估是构建风险曲线、评估风险、计算保险指数的核心内容。当前自然灾害的经济损失评估多以宏观的投入产出表数据作为基础, 采用 I-O 或 CGE 模型估算区域的经济损失。企业作为自然灾害的直接承灾体, 其损失程度评估及恢复过程研究并未受到广泛关注。究其原因: 一方面, 宏观的投入产出数据容易获得, 方法论较为成熟, 经济损失评估过程相对规范化。另一方面, 我国的中小企业供应链较短, 受灾后企业自身及上下游关联企业造成的影响并未受到重视。近些年, 随着供应链、物流产业的迅速发展, 一地区的企业受灾, 造成的“牵一发动全身”的影响已不可忽略。基于此, 该文以台风造成的洪涝灾害为背景, 利用实地调研的微观企业损失数据作为基础, 采用生存分析模型, 构建恢复曲线, 提取造成企业恢复速度降低的因素, 估算企业停产时间。研究结果显示: 相比于降雨强度(传统危险性因素), 企业规模、企业性质等自身因素, 淹没水深是导致企业停产及较难恢复的关键因素。进一步, 当淹没水深超过 0.5 m, 企业停产时间较淹没不足 0.5 m 的企业相比, 延长 7 d; 当淹没水深超过 1 m, 企业停产时间延长至 14 d。同时, 对制造业而言, 除淹没水深外, 设备损毁、库存损毁等因素也是导致恢复期延长的重要因素。结合不同影响因素, 本文定量估算出传统制造业企业的 9 种淹没情景与商业企业的 3 种淹没情景下, 企业的平均停产及恢复时间。研究结果一方面可以预估洪涝灾害情景下, 不同地区企业的损失及恢复率; 另一方面可以为灾后企业应急管理提供有效的政策建议。

**关键词:** 洪涝灾害; 生存分析模型; 恢复曲线估计; 企业停产及恢复过程; 余姚市

**中图分类号:** S42; X43; X915.5; P429    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1000–811X(2020)03–0110–08

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.03.022

暴雨洪涝灾害是造成我国经济损失最严重的自然灾害之一。2018 年“弗罗伦斯”飓风袭击美国东海岸, 大规模强降水导致严重洪涝灾害, 造成财产损失约 200 亿美元<sup>[1]</sup>; 据 2017 年中国生态环境部发布的《2017 中国生态环境状况公报》统计显示, 全国洪涝灾害直接损失达 2 143 亿元<sup>[2]</sup>。全球气候变化导致的极端降雨频率增加及城市化进程加快带来的人口、企业向城市集聚, 洪涝灾害风险进一步增加<sup>[3]</sup>。灾害经济损失评估作为灾害风险管理的核心内容, 其研究的重要性不言而喻。

当前洪涝灾害损失评估研究多以宏观视角, 即将整个区域或区域内的产业部门损失作为整体,

集总式地评估洪涝灾害对区域或者某些行业的影响。其中以 I-O 或 CGE 损失评估模型为代表, 国内外学者开展了大量的研究<sup>[4–9]</sup>。这两类模型可以评估多区域多主体(包括政府、企业及居民)受灾后的损失及波及效应。然而它们也有一些缺陷: 如, 经典的 I-O 模型由于资本及劳动力的线性替代、产业损失率设定的瞬时性, 被认为是过高估计或悲观派模型<sup>[10–11]</sup>。CGE 模型通过非线性函数弥补了线性替代的弱点, 但最近的实证研究发现, CGE 模型同样存在一些弱点, 例如灾后短期内, 产品价格波动难以把握, 而长期产品价格又相对稳定, 又被称为过低估计或乐观派模型<sup>[12]</sup>。因此,

\* 收稿日期: 2019–12–08    修回日期: 2020–03–08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41807504; 41907393); 中央高校基本科研业务费专项资金(2019IVB002, 2019VI032)

第一作者简介: 杨丽娇(1984–), 女, 吉林榆树人, 博士, 副教授, 主要研究方向为自然灾害经济损失评估。

E-mail: yanglj976@163.com

通讯作者: 蒋新宇(1985–), 男, 重庆合川人, 博士, 副教授, 主要研究方向为自然灾害风险管理. E-mail: jxy119@whut.edu.cn

目前以宏观视角评估经济损失波及效应的模型, 其模型精度仍有待进一步提高。

针对宏观层面损失波及效应评估模型精度有待提高的问题, 本文通过考察微观企业损失及恢复过程, 以受 2013 年“菲特”台风袭击浙江余姚受灾企业为例, 利用生存分析模型, 探究灾害危险性与企业恢复性的关系。通过考察不同类型企业停产及恢复的差异性, 评估微观受灾企业的实际损失。本研究, 一方面可以建立洪涝灾害情景下企业风险指数, 另一方面为宏观 I-O 及 CGE 模型提供输入条件, 提高模型估算精度。

## 1 研究区与数据来源

### 1.1 研究区概况

2013 年 10 月 7 日, “菲特”(201323 号)台风于 01:15 登陆浙闽交界处沙埕镇, 最大风力 14 级, 中心最低气压 955 hPa。受“菲特”台风影响, 余姚遭受百年一遇的特大水灾, 最大降雨量达 499.9 mm, 城区 70% 以上被淹, 多处水深超 1.5 m, 普遍积水超过 3 d, 部分区域积水 10 d 以上。据余姚市《2014 年政府工作报告》统计显示, 受灾停产企业超过 2 万家, 余姚市直接经济损失达 227.7 亿元<sup>[13]</sup>。

为定量研究受灾企业停产及恢复时间, 2014 年 3 月, 在北京师范大学、地方政府及志愿者的帮助下, 研究小组历时 20 d, 通过无结构式访谈与调查问卷相结合的方式, 走访余姚市 275 家企业, 收集所需数据。通过分析整理, 本文采用的主要变量包括受灾企业地理位置、雇员数量、雇员复工率、设备损毁、库存损失、受灾淹没水深、淹没时长、生产能力受损率、停产及恢复时间等。

### 1.2 研究数据

研究最终利用 211 家受灾企业样本数据, 根据国民经济行业分类国家标准, 细分为 13 类制造业与 3 类商业。综合考虑样本的可融合性, 进一步将余姚市调研企业样本分为两大类别, 即 159 家传统制造业企业与 62 家商业企业。其中传统制造业包括: 纺织服装、服饰业、文教、工美、体育和娱乐用品制造业、橡胶和塑料制品业、非金属矿物制造业、金属制品业、通用设备制造业、专用设备制造业、汽车制造业、电气机械和器材制造业、仪器仪表制造业、其他制造业、造纸和纸制品业、印刷及记录媒介复制业。商业企业包括: 居民服务业、住宿和餐饮业以及批发零售业。各街道及乡镇的有效样本量分别为: 兰江街道 21 家、梨洲街道 30 家、阳明街道 38 家、凤山街道 33 家、丈亭镇 23 家、河姆渡镇 21 家、马渚镇 23 家及陆埠镇 22 家(图 1)。图 1 中紫色圆点即代表样本点位置及淹没水深范围。

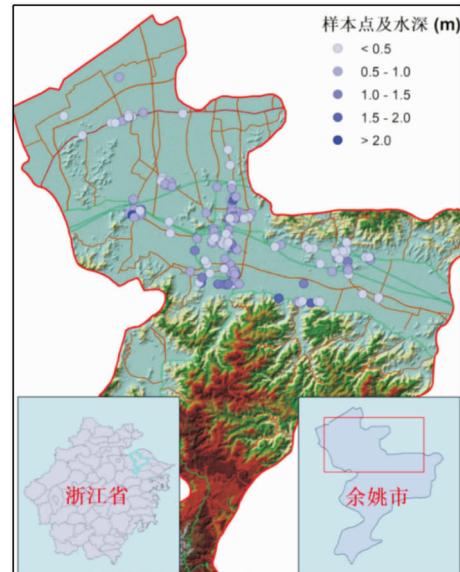


图 1 实地问卷调查样本空间分布

## 2 研究方法

生存分析也被称为风险模型, 是研究生存现象与响应时间数据关系的统计分析方法。该方法已在生物学、医学、保险学、社会学及经济学等学科广泛应用<sup>[14-15]</sup>。自然灾害领域, 许强等利用生存分析中的风险函数定量对比家沟泥石流治理工程的实施与否对泥石流爆发概率的影响<sup>[16]</sup>。

本文中的受灾企业的停产及恢复过程本质上可以理解为一种生存事件。停产时间及恢复时间可视为生存时间, 终点事件即“停产状态”及“恢复状态”结束。先前研究中 YANG L J 等<sup>[17]</sup>初步利用此方法估算了 2000 年日本名古屋特大暴雨灾害中各类受灾企业的停滞情况。然而, 目前, 针对暴雨洪涝灾害情景下我国中小企业受灾及恢复因素的探讨及受灾时间估算的研究仍相对匮乏。

### 2.1 生存分析方法基本原理

生存分析中包含以下四个关键函数: 累计概率密度函数、概率密度函数、生存函数(生存时间大于  $t$  的概率)、危险函数( $t$  时刻尚存活的研究对象死于  $t$  时刻后一瞬间的概率)。记  $T$  代表受灾企业停产时间和恢复时间的随机变量, 则上述四个函数定义为:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(x) dx; \quad (1)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = F'(t); \quad (2)$$

$$S(t) = P(T > t) = 1 - F(t) = \int_t^\infty f(x) dx; \quad (3)$$

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{d \ln S(t)}{dt}. \quad (4)$$

生存分析中的四个关键函数有着密切联系，其中危险函数用于刻画终点事件出现的瞬时可能性，是识别生存分析模型形式的关键。

## 2.2 生存分析模型构建

基于以上四个关键函数，可通过描述法、非参数法(K-M乘积限估计法)、半参数法(Cox风险比例模型)及参数法建立生存时间模型。目前研究生存持续时间影响因素的主流方法为COX比例风险模型。然而该模型基本假设是不同个体任何时间都具有恒定的死亡风险比例。此假设对于研究受灾企业的停产及恢复过程中不同类型企业在任何时间都具有恒定恢复能力，具有局限性。为准确反映各类受灾企业停产及恢复时间实际情况，本文选用参数法。

利用参数法构建模型主要有以下三个步骤：首先，分析受灾企业样本的停产及恢复时间数据分布特征，通过直方图、概率密度图、Q-Q图等判断可能的概率分布函数集合，综合计算各模型的赤池信息准则(AIC值)、贝叶斯信息准则(BIC值)及最大垂直差(D值)等拟合标准，提取生存分析函数库中最优拟合模型。其次，基于现有文献中验证过的企业停产及恢复时间的影响因素，试提取显著性变量。最后，将提取的显著性变量，输入生存分析参数模型，估算模型的参数，估算停产及恢复时间。

为便于读者理解模型的全部构建过程，本文以Weibull模型的构建为例：

Weibull概率密度函数如下：

$$f(t) = k\lambda^{-k}t^{k-1}\exp(-\lambda^{-k}t^k) \quad (5)$$

其中尺度参数 $\lambda$ 和形状参数 $k$ 均大于0。Weibull模型下生存函数 $S(t)$ 及危险函数 $h(t)$ 如下：

$$S(t) = P(T > t) = 1 - F(t) = \exp(-\lambda^{-k}t^k); \quad (6)$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)} = k\lambda^{-k}t^{k-1}. \quad (7)$$

引入具有统计学意义的影响因子 $\ln(\lambda^{-k}) = x^\top\beta$ ，构建包含多因素的Weibull模型：

$$S(t, x) = \exp[-t^k \exp(x^\top\beta)]; \quad (8)$$

$$h(t, x) = kt^{k-1} \exp(x^\top\beta). \quad (9)$$

式中的参数 $k, \beta$ 可以通过最大似然估计来估算：

$$L = \prod_{i=1}^n [S(t_i)]^{1-\delta_i} [f(t_i)]^{\delta_i}. \quad (10)$$

表1 各分布拟合优度值

分布函数	停产时间						恢复时间					
	AIC值		BIC值		D值		AIC值		BIC值		D值	
	传统制造业	其他商业	传统制造业	其他商业	传统制造业	其他商业	传统制造业	其他商业	传统制造业	其他商业	传统制造业	其他商业
韦布尔分布	1037.02	384.70	1043.04	388.86	0.1189	0.1508	1192.51	413.26	1198.53	417.41	0.1037	0.1120
指数分布	1056.66	393.79	1059.67	395.86	0.1229	0.1264	1226.12	528.77	1229.13	530.85	0.1104	0.1974
对数正态分布	1195.42	376.97	1195.42	381.12	0.2109	0.1012	1346.17	445.08	1340.28	449.23	0.1789	0.1984
标准正态分布	1097.17	425.89	1103.19	430.05	0.1935	0.2303	1391.70	596.03	1397.72	600.19	0.2266	0.2312

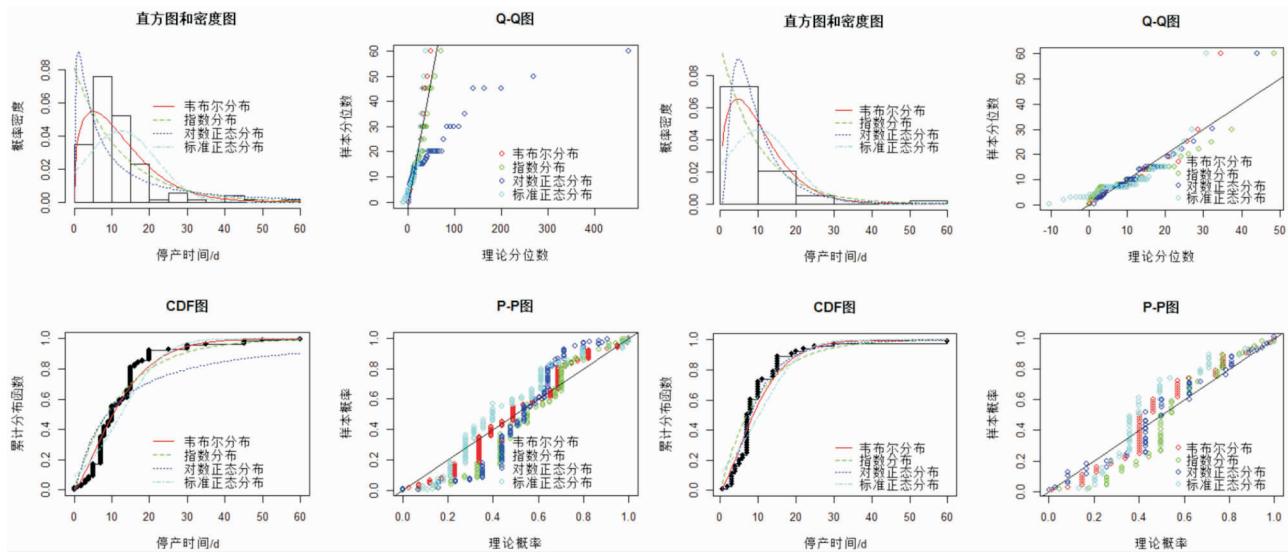


图2 传统制造业(左)和商业企业(右)停产时间不同分布拟合优度图

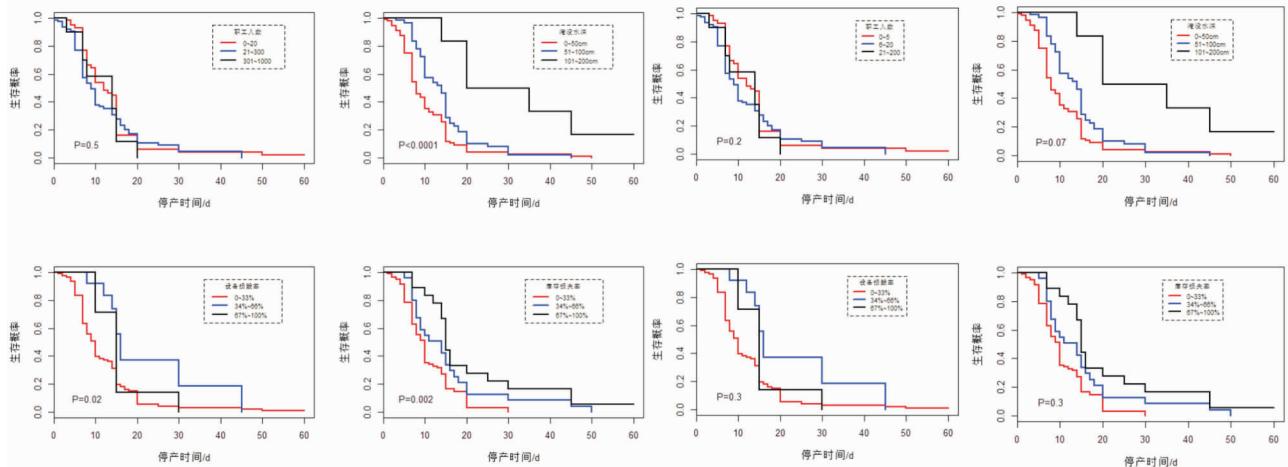


图3 余姚市传统制造业(左)和商业(右)企业停产时间的因素筛选

基于灾害学基本原理, 承灾体对致灾因子的暴露是损失形成的前提, 致灾因子是孕灾环境中造成财产损失、人员伤亡、社会系统混乱的直接因素<sup>[21]</sup>。目前关于暴雨洪涝灾害研究中, 多采用淹没水深反映承灾体遭受的致灾强度。如石勇等研究发现淹没水深是影响受灾区居民住宅损失最关键危险因素<sup>[22]</sup>。通过本次调研初步发现, 所有企业停产及恢复过程同样可由淹没水深因素预测。例如, 受灾较严重的阳明街道, 多数企业停产时间大于7 d, 且其中电器类企业灾损明显。为快速评估不同类型企业损失率, 本文将淹没水深作为重要解释变量, 探究灾害危险性与承灾体脆弱性的关系。

在考察灾害危险性影响因素基础上, 进一步将企业的规模、类型、库存损失状态、产能损失等反映自身属性的变量纳入到解释变量集, 探究其对企业停产及恢复情况的影响。其中, Alesch等研究发现, 以员工人数衡量的企业规模与受灾企业的停产及恢复进程有显著关联, 大规模企业相

比于小规模企业, 其停产及恢复时间较短<sup>[23]</sup>。同时, ZHANG Y等<sup>[24]</sup>及Koks E E等<sup>[25]</sup>的研究发现, 各企业由于自身特性差异, 受自然灾害冲击后固定资产、企业库存损失率存在显著差异, 损失率越大的企业其停产及恢复所需时间越长。本次调研也发现余姚市受灾企业固定资产及库存损失率与停产、恢复时间之间存在显著关联, 例如余姚市多家橡胶塑料制品企业, 设备损毁率超过50%, 其停产时间相较轻度损失企业平均延长7~14 d。另外, Kajitani Y等<sup>[26]</sup>及YANG L J等<sup>[19]</sup>对受灾企业恢复过程研究发现, 几乎所有类型的受灾企业的产能下降率与其恢复周期存在显著关联。此次洪涝灾害, 余姚市企业受灾严重, 半数以上企业灾后直接停产, 产能下降率达100%。综上所述, 本文考虑将职工人数、设备损毁率、库存损失率和产能下降率作为重要解释变量, 探究其对停产及恢复时间的影响。

### 3.2.2 解释变量筛选

首先, 对原始数据进行解释变量筛选, 初步

判断影响余姚市受灾企业停产及恢复时间的显著变量。结果(图3)提示,对传统制造业类型的受灾企业而言,淹没水深、设备损毁率、库存损失率对停产时间影响显著,职工人数的影响不显著;对于传统制造业之外的商业企业而言,仅淹没水深影响相对显著。

对受灾企业恢复时间而言,生产能力受损程度、停产时间的长短也可能对其产生影响<sup>[24]</sup>。因此,相较于停产时间的解释变量选择,增加了产能下降率(capacity)及停产时间(stagnation)作为影响因素。然而,由于样本中商业企业被洪涝灾害冲击后98.36%(共61家)的企业均停产,生产能力受损程度均为100%,使得产能受损率影响分析受限,最终研究商业受灾企业影响因素分析时仅增加了停产时间因素的考量。结果显示:对传统制造业企业的恢复时间而言,淹没水深(inundation)( $P = 0.02$ )、库存损失率(inventory)( $P = 0.007$ )、产能下降率(capacity)( $P = 0.0001$ )、停产时间(stagnation)( $P < 0.0001$ )4个变量显著,职工人数(employee)( $P = 0.2$ )及设备损毁率(equipment)( $P = 0.4$ )不显著。对于商业企业,库存损失(inventory)( $P = 0.006$ )影响因素变量显著。

### 3.3 模型的参数估计

#### 3.3.1 停产时间模型参数估计

在模型及解释变量选择基础上,对于停产时间模型,分别采用传统制造业受灾企业Weibull参数模型、商业受灾企业lognormal参数模型(表2)。将筛选后具有显著性的变量加入到多变量模型,参数估算结果如表2所示。

表2 受灾企业停产时间参数估计结果

(a)传统制造业企业(Weibull)				
变量	系数	标准误差	Z统计量	p值
常数项	2.06527	0.08975	23.01	$<2 \times 10^{-16}$
淹没水深	0.00431	0.00163	2.64	0.0083
设备损毁率	0.00932	0.00310	3.01	0.0026
库存损失率	0.00461	0.00261	1.76	0.0777
Log(1/形状参数)	-0.57725	0.06840	-8.44	$<2 \times 10^{-16}$
卡方检验值	$47.36 (DF=3, P=2.9 \times 10^{-10})$			
(b)商业企业(lognormal)				
变量	系数	标准误差	Z统计量	p值
常数项	1.83743	0.11372	16.16	$<2 \times 10^{-16}$
淹没水深	0.00687	0.00214	3.21	0.0013
Log(尺度参数)	-0.41476	0.09206	-4.51	$6.6 \times 10^{-6}$
卡方检验值	$9.49 (DF=1, P=0.0021)$			

根据所估计的参数值,绘制受灾企业在不同受灾水平下的停产时间概率分布图,预测停产时间。以传统制造业停产时间为例:图4表明余姚市传统制造业企业在3种不同受灾水平下的停产时间概率分布。黑色曲线表示当企业淹没水深在0~0.5 m、固定资产与库存轻度损失情况下的停产时

间概率分布;蓝色曲线则表示当企业淹没水深处于0.51~1 m、固定资产与库存轻度损失情况下的停产时间分布;红色曲线则是当企业淹没水深处于1.1~2 m、固定资产与库存轻度损失时的停产时间分布,通过计算,可得出三种灾损水平下制造业企业平均停产时间为分别为11 d、17 d及23 d;同样,可预测余姚商业企业在不同淹没水深下的停产时间分别为7 d、13 d及16 d。因此在企业获知自身受灾状态(如淹没水深)的情形下,可据此估算本企业可能的停产时间,从而合理安排停产期内的经营策略。

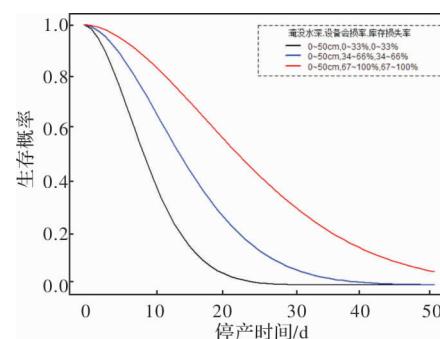


图4 传统制造业停产时间概率分布图

#### 3.3.2 恢复时间模型参数估计

在模型及解释变量选择基础上,对于恢复时间模型,分别采用传统制造业受灾企业Weibull参数模型与商业受灾企业exponential参数模型。将筛选后具有显著性的变量引入到多变量模型,参数估计结果如表3所示。

表3 受灾企业恢复时间参数估计结果

(a)传统制造业企业(weibull)				
变量	系数	标准误差	Z统计量	p值
常数项	-0.2457	0.8969	-0.27	0.7842
停产时间	0.0427	0.0139	3.07	0.0022
库存损失率	0.0104	0.0038	2.74	0.0061
产能下降率	0.0239	0.0088	2.72	0.0066
Log(1/形状参数)	0.0996	0.0727	1.37	0.1703
卡方检验值	$31.44 (DF=3, P=6.9 \times 10^{-7})$			
(b)商业企业(exponential)				
变量	系数	标准误差	Z统计量	p值
常数项	3.1502	0.2216	14.21	$<2 \times 10^{-16}$
库存损失率	0.0118	0.0051	2.31	0.021
卡方检验值	$6.01 (DF=1, P=0.014)$			

与停产时间类似,同样根据所估算的参数值,绘制不同类型企业在各自受灾水平下的恢复时间概率分布图。以传统制造业恢复时间为例:图5表明余姚市传统制造业企业在不同停产状态下所需的恢复时间,黑色曲线表示当企业停产7 d之内、库存与企业产能中度损失情况下的恢复时间概率分布;蓝色曲线则表示当企业停产7~14 d、库存与企业产能中度损失情况下的恢复时间分布;红色

曲线则是当企业停产 14~21 d、库存与企业产能中度损失时的恢复时间分布; 绿色曲线则是当企业停产 21 d 以上、库存与企业产能中度损失时的恢复时间分布。通过计算可得出 4 种灾损水平下制造业企业平均停产时间为 9 d、12 d、16 d 及 34 d。因而企业在预知自身停产状态后, 即可预测可能的恢复期, 据此制定高效恢复措施。

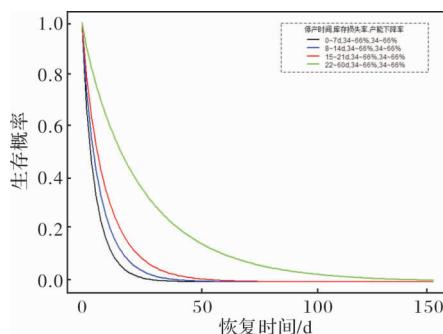


图 5 传统制造业恢复时间概率分布图

最终, 建立多变量的停产时间模型与恢复时间模型, 可预测传统制造业企业与商业企业在多种不同淹没情景下可能的停产时间与恢复时间(如表 4、表 5 所示): 传统制造业企业在 9 种不同淹没水深和不同固定资产及库存损失复合情景下的平均停产时间, 以及其在 9 种不同停产时间、不同产能下降率及库存损失复合情景下的平均恢复时间; 商业企业在 3 种不同淹没情景下的平均停产时间及 3 种不同库存损失情景下的恢复时间。

## 4 结论与展望

本文通过生存分析模型, 利用地方企业受灾数据, 研究洪涝灾害情景下受灾企业停产及恢复时间。通过探究造成企业停产及恢复时间延长的影响因素, 为企业制定针对性洪涝灾害应急、恢复措施提供依据。同时, 利用此模型, 估算不同类型企业不同淹没情景下停产及恢复时间, 有助于进一步估算企业的间接经济损失<sup>[27]</sup>。

本文研究发现:

(1) 对余姚市所有企业而言, 淹没水深是预测受灾企业停产的代表性危险因素。就传统制造业而言, 当淹没水深超过 0.5 m, 企业平均停产时间与水深不足 0.5 m 的企业相比, 延长 7 d; 当淹没水深超过 1 m, 企业平均停产时间, 延长至 14 d, 商业企业亦如此。因此, 企业的地理位置是影响灾后快速恢复、应急救援的重要因素。企业选址时应尽量选择较高地势, 或后期加强企业库房、生产机房的地基防水建设, 重视地形因素。

(2) 除淹没水深外, 设备损毁与库存损失也是导致其不能快速恢复的重要影响因素, 如即使受灾企业淹没水深相同( $\leq 50$  cm), 中度设备损毁及中度库存损失的企业较轻度损失企业停产时间延长 7 d, 重度损失企业则平均延长 15~21 d。进一步, 传统制造业企业恢复时间除受库存损失影响, 还受停产时间与产能损失的影响(见表 3)。

表 4 传统制造业企业多种淹没情景下停产及恢复时间预测结果

设备损毁率& 库存损失率 / 淹没水深	停产时间/d									
	轻度 & 轻度		轻度 & 中度		中度 & 轻度		中度 & 中度		轻度 & 重度	
	0~50 cm	11	12	14	15	14	16	17	21	24
51~100 cm	17	15	17	21	16	20	22	26	29	
101~200 cm	23	24	21	28	25	26	29	31	36	

恢复时间/d

设备损毁率& 库存损失率 / 淹没水深	恢复时间/d									
	轻度 & 轻度		轻度 & 中度		中度 & 轻度		中度 & 中度		轻度 & 重度	
	< 7 d	2	4	3	9	7	5	15	11	19
7~14 d	4	10	6	12	13	7	18	15	21	
15~21 d	6	12	8	16	18	9	20	18	25	
> 21 d	14	20	13	34	27	16	42	35	55	

表 5 商业企业多种淹没情景下停产及恢复时间预测结果

停产时间/d	淹没水深	库存损失率	
		0~33%	34%~66%
	0~50 cm	7	
停产时间/d	51~100 cm	13	38
	101~200 cm	16	60

(3) 此外, 本研究发现受灾企业的生产能力还受到自然环境和人口社会经济等多重因素的影响, 具有较高的不确定性及个体差异性, 但由于样本数量的限制, 未通过显著性检验。后续的研究工作还需在以下方面进行深入: ① 在危险性因素研究方面, 本文致灾因子仅考虑了淹没水深, 后续研究还应进一步考察淹没时间、水流速度等对企业产能、停产及恢复影响。同时, 本研究中以职工人数衡量的企业规模对于其停产和恢复时间无显著影响, 此研究结论与国外学者的研究结论具有一定的差异性, 亟需更多研究样本进一步深入研究; ② 在产业分类方面, 本研究仅划分传统制造业与商业企业两大类, 但各区域不同类型企业特性差异较大, 后续研究需要进行行业细化研究, 使研究结论可为某一类型受灾企业提供服务, 提供更为精确的评估测算结果; ③ 在研究方向上, 本文研究成果可估算不同淹没情景下特定类型企业停产及恢复时间, 未来可在此基础上构建企业尺度洪涝灾害损失评估模型及企业灾害管理策略研究, 增强企业防灾减灾措施的综合性。

**致谢:** 本文在问卷设计, 数据处理过程中, 得到日本京都大学多多纳裕一教授的指导与帮助, 在受灾企业数据调研过程中得到北京师范大学方伟华教授、莫婉媚硕士、余姚市第四中学志愿者教师及学生、余姚市地方受灾企业、当地政府的大力支持, 特此致谢!

## 参考文献:

- [1] EM - DAT. The international disaster database[ DB/OL]. [2019 - 05 - 01]. <http://www.emdat.be/>, 2018.
- [2] 中华人民共和国生态环境部. 2017 中国生态环境状况公报[EB/OL]. (2018 - 5 - 31) [2019 - 05 - 01]. [http://www.mee.gov.cn/gkml/stbjbgw/qt/201805/t20180531\\_442212.htm](http://www.mee.gov.cn/gkml/stbjbgw/qt/201805/t20180531_442212.htm).
- [3] IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [4] Hallegatte S. An adaptive regional input - output model and its application to the assessment of the economic cost of Katrina[J]. Risk Anal, 2008, 28(3): 779 - 799.
- [5] 解伟, 李宁, 胡爱军, 等. 基于 CGE 模型的环境灾害经济影响评估: 以湖南雪灾为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(11): 26 - 31.
- [6] 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.
- [7] XIE W, LI N, WU J, et al. Disaster risk decision: A dynamic computable general equilibrium analysis of regional mitigation investment[J]. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2015, 21(1): 81 - 99.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Hallegatte S. Modeling the role of inventories and heterogeneity in the assessment of the economic costs of natural disasters[J]. Risk Analysis, 2014, 34(1): 152 - 167.
- [11] Okuyama Y. Critical review of methodologies on disaster impact estimation[J]. World Bank - UN Assessment on the Economics of Disaster Risk Reduction, 2013, 53(9): 1689 - 1699.
- [12] Mackenzie C A, Santos J R, Barker K. Measuring changes in international production from a disruption: Case study of the Japanese earthquake and tsunami[J]. International Journal of Production Economics, 2012, 138(2): 293 - 302.
- [13] 余姚市人民政府办公室. 2014 年政府工作报告 [EB/OL]. (2014 - 1 - 30) [2019 - 05 - 01]. [http://www.yy.gov.cn/art/2014/1/30/art\\_21315\\_1662663.html](http://www.yy.gov.cn/art/2014/1/30/art_21315_1662663.html).
- [14] 周信娟, 沈智勇, 阮玉华, 等. 经母婴传播艾滋病患者生存分析[J]. 中国公共卫生, 2018, 34(7): 964 - 967.
- [15] 吴冰, 王重鸣. 小型创业企业生存分析[J]. 科研管理, 2007, 28(5): 41 - 44.
- [16] 许强, 李骅锦, 何雨森, 等. 文家沟泥石流治理工程效果的定量分析评价[J]. 工程地质学报, 2017, 25(4): 1046 - 1056.
- [17] YANG Lijiao, Yoshio Kajitani, Hirokazu Tatano, et al. A methodology for estimating business interruption loss caused by flood disasters: insights from business surveys after Tokai Heavy Rain in Japan[J]. Natural Hazards, 2016, 84(1): 411 - 430.
- [18] 宋英华, 马连隆, 杨丽娇, 等. 基于模糊 BN 的企业业务中断风险分析: 以洪涝灾害情景为例[J]. 中国安全科学学报, 2019(6): 1 - 6.
- [19] 杨丽娇, 蒋新宇, 张继权. 自然灾害情景下社区韧性研究评述[J]. 灾害学, 2019, 34(4): 159 - 164.
- [20] 蒋新宇, 范久波, 张继权, 等. 基于 GIS 的松花江干流暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 灾害学, 2009, 24(3): 51 - 56.
- [21] 史培军, 汪明, 胡小兵, 等. 社会 - 生态系统综合风险防范的凝聚力模式[J]. 地理学报, 2014, 69(6): 863 - 876.
- [22] 石勇. 城市居民住宅的暴雨内涝脆弱性评估——以上海为例[J]. 灾害学, 2015, 30(3): 94 - 98.
- [23] Alesch D J, Holly E Mittler and Nagy R. When small businesses and not-for-profit organizations collide with environmental disasters[C]//Paper presented at the First Annual DPRI - IIASA Meeting on Integrated Disaster Risk Management: Reducing Socio - Economic Vulnerability. Austria, 2001.
- [24] ZHANG Y, Lindell M K, Prater C S. Vulnerability of community businesses to environmental disasters[J]. Disasters, 2009, 33: 38 - 57.
- [25] Koks E E, B Ckarjova M, Moel H, et al. Integrated direct and indirect flood risk modeling: development and sensitivity analysis [J]. Risk Analysis, 2015, 35(5): 882 - 900.
- [26] Kajitani Y, Tatano H. Estimation of production capacity loss rate

- after the Great East Japan Earthquake and tsunami in 2011 [J]. Economic Systems Research, 2014, 26(1): 13–38.
- [27] 黄小莉, 李仙德, 温家洪, 等. 极端洪灾情景下上海汽车制造业经济损失与波及效应评估 [J]. 地理研究, 2017, 36(9): 1801–1816.

## Shutdown and Recovery Time of Enterprises under Flood Disaster Scenario based on Survival Analysis Model: An Empirical Study on the Damaged Enterprises in Yuyao City after Typhoon Fitow

YANG Lijiao, DING Xiaonan and JIANG Xinyu

(School of Management, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The assessment of disaster economic loss is the core content of constructing risk curve, assessing risk and calculating insurance index. At present, the regional economic loss assessment of natural disasters is mostly based on the macro input-output table data by using I-O or CGE models. As the direct bearing body of natural disasters, the research on loss assessment and recovery process of enterprises has not been widely concerned. On the one hand, the macro output data is easy to obtain, the methodology is relatively mature, and the process of economic loss assessment is relatively standardized. On the other hand, the supply chain of small and medium-sized enterprises in China is relatively short, and the impact of the enterprises themselves and the upstream and downstream associated enterprises after the disaster has not been taken seriously. In recent years, with the rapid development of supply chain and logistics industry, enterprises in a region suffered from disasters have caused a great impact on the whole system. Based on this, and taking the flood disaster caused by typhoon as the background, using the micro enterprise level loss data from the field survey as the basis and the survival analysis model, the enterprise shutdown and recovery process model to quantitatively evaluate the reasons for the low recovery rate of enterprises constructed. Meanwhile, different types of enterprises and points out the influence of risk factors on industry differences is compared. The results show that, compared with the rainfall intensity (traditional risk factor), enterprise scale, enterprise nature and other factors, the inundation is the key factor that leads to the shutdown and recovery of enterprises. Further, when the inundation is more than 0.5m, the shutdown time of the enterprise will be extended by one week compared with that of the enterprise submerged less than 0.5m; when the inundation is more than 1m, the shutdown time of the enterprise will be extended to two weeks. Meanwhile, for different types of enterprises, in addition to inundation, equipment damage, inventory damage and other factors have become important factors for the extension of recovery period. Combined with different influencing factors, this paper quantitatively estimates the average downtime and recovery time of traditional manufacturing enterprises under 9 kinds of submergence scenarios and commercial enterprises under 3 kinds of submergence scenarios. The research results can predict the loss and recovery rate of enterprises in different regions under the flood disaster scenario and provide effective policy recommendations for emergency management after the disaster.

**Key words:** flood disaster; survival analysis model; recovery curve estimation; shutdown and recovery process of enterprises; Yuyao City