

基于期权契约的应急物资储备采购模型及策略研究

刘阳¹, 贾顺¹, 田军², 高晓宁³

(1. 山东科技大学 能源与矿业工程学院, 山东 青岛 266590;

2. 西安交通大学 管理学院, 陕西 西安 710049; 3. 郑州大学 信息管理学院, 河南 郑州 450001)

摘要:预先储备数量不足和采购策略不合理是引起灾后应急物资短缺的重要原因,会导致灾民产生痛苦,还阻碍应急物资储备效能的发挥。本研究引入期权契约到政企应急物资供应链中,为政府优先从不同渠道获取所需物资设定不同概率,将灾民随应急物资匮乏时间变化产生的匮乏成本纳入政府的决策考量,构建基于期权契约的应急物资储备采购模型,得出政企应急物资最优储备策略以及应急物资供应链达到协调的条件。模拟政企最优储备量、期权执行价格、政府成本和企业收益的变化趋势,提出改善政府成本和企业收益的应急物资储备采购策略。研究表明,利用期权契约构建的应急物资储备采购模型为实现应急物资柔性供应提供理论支撑,实现应急物资灾前储备和灾后采购供应的有机结合,减轻灾害引起的损失和对灾民的影响,也为政企建立长期合作关系提供决策依据。

关键词:应急物资; 政企合作; 储备采购模型; 渠道协调; 期权契约

中图分类号: TP399

文献标识码: A

文章编号: 1008-7699(2024)06-0064-14

一、引言

我国地域广阔,地形复杂多样,近年来发生了汶川地震、雅安地震、玉树地震、舟曲山洪泥石流等重大地质灾害和“温比亚”“威马逊”等超强台风,对人民群众生命财产安全、经济发展与社会稳定造成了巨大威胁。2010—2022年全国自然灾害统计数据显示,年均受灾2.24亿人次,因灾死亡失踪人数1663人,紧急转移安置受灾群众789.4万人次,直接经济损失达3684.9亿元。突发灾害是以一定概率发生的随机事件,其突发性导致灾后短时间内用于受灾群众救助安置的生活类救灾物资供求严重失衡,需求紧急且数量巨大,因此如何满足非平稳的应急物资需求成为政府提升应急保障能力的关键难题。

应急物资是顺利实施应急救援的基础保障,我国正积极建设立足底线、运转高效的应急资源保障体系,一是储备充足可用的应急物资,二是制定合理的应急物资采购策略,以满足极端情况下的物资峰值需求。国家储备为主、社会力量储备为辅的应急物资储备体系,虽然体现了各级政府对抢险救援的重视,但也很容易造成“政府买单”现象。近年来国家积极倡导应急物资储备社会化,充分发挥企业在应急物资储备供给上的优势,增加应急物资储备种类和数量。应急物资储备社会化要求政府和企业共同承担应急物资储备任务,目前已有诸多学者利用期权契约、数量柔性契约、混合契约等构建应急物资储备采购模型,为不同情境下政企合作提供支撑。对于政府而言,既要保证企业愿意代储应急物资,使之有利可图,也要提出灵活的应急物资储备采购策略,让更多的受灾群众获益。以往研究普遍假设,政府首先调用自身储备的常规应急物资应对突发需求,在常规储备无法满足突发需求的情况下,才会转向执行契约采购以填补物资缺口。然而,在特定情境下这一传统思路应该适时优化调整,如当灾害发生地与企业应急物资储

收稿日期: 2023-09-06

基金项目: 2024年度青岛市社会科学规划研究项目(QDSKL2401106)

作者简介: 刘阳(1991—),男,山东沂水人,山东科技大学能源与矿业工程学院学术副教授,博士。

备库距离较近时,政府应当优先考虑契约采购,以缩短响应时间。因此,将应急物资灾前储备和灾后采购供应相结合,形成一套灵活多变的应急物资储备采购策略,是当前应急救援工作的迫切需要。

在应急管理领域,痛苦是指个体因应急物资短缺、环境持续恶劣等因素产生的主观上的不满意或消极体验^{[1]163}。SABBAGHTORKAN等指出,应急物资供应链与商业供应链的重要差别就是应急物资储备采购策略不以盈利为目的,而是减少灾民痛苦。在受灾环境下,食物、水、医疗用品等物资匮乏会直接威胁到灾民生存和健康,应急物资短缺越严重,灾民表现出的痛苦越明显。^[2]等待物资时间延长也会加剧灾民心理负担甚至引发焦虑、恐惧等负面情绪,进一步放大灾民痛苦。因此,除了考虑物流成本,还需将灾民随应急物资匮乏时间变化产生的痛苦纳入政府的决策考量。目前已有诸多学者对灾民痛苦进行了探索研究,HOLGUÍN-VERAS等调查震后灾民对饮用水的支付意愿,首次将灾民由于饮用水匮乏产生的痛苦表示为匮乏成本,得出了匮乏成本随应急物资匮乏时间的变化关系。^{[3]262}WANG等通过数值评分法得出震后不同时刻灾民由于缺少帐篷、饮用水和药品生成的匮乏水平,发现匮乏水平与物资短缺时间存在S型曲线关系。^{[4]2137}然而,鲜有学者考虑灾民痛苦对应急物资储备采购策略的影响,虽然FAN等分别考虑了低风险、高风险和混合风险地区灾民由于物资短缺产生的匮乏成本,^{[5]270}但是应急物资需求服从均匀分布的假设与现实情况存在较大差距,降低了应急物资储备采购策略的准确性。SHAO等利用激励契约建立了考虑匮乏成本的政企合作应急物流协议模型,以实现应急物资快速运输为目标,没有进一步分析灾民痛苦对应急物资储备采购策略的影响。^{[6]253}

为此,本研究从两个方面改进现有的应急物资储备采购策略:一是为政府优先从不同渠道获取所需物资设定不同的概率,二是将灾民随应急物资匮乏时间变化产生的匮乏成本纳入政府的决策考量,利用期权契约构建应急物资储备采购模型并制定相应策略。本文充分融合应急物资灾前储备和灾后采购供应,弥补了当前应急物资储备采购策略缺少灵活性和对匮乏成本关注较少的不足,有助于推动政企长久合作,激发应急物资储备效能发挥。

二、文献综述

聚焦应急物资储备采购问题,利用期权契约构建融合应急物资灾前储备和灾后采购供应的政企博弈模型,相关研究主要包括以下三个方面。

第一个方面为利用供应链契约构建应急物资储备采购模型。应急物资储备按照物资状态可分为三种:实物储备、生产能力储备、实物+生产能力混合储备。(1)实物储备方面:扈衷权等基于期权契约构建了应急物资储备模型,表明期权契约机制能保证应急物资供应链达到协调及实现政企双赢;^[7]JOHN等构建了期权契约机制下应急物资储备采购模型,给出了应急渠道达到协调与政企实现帕累托改善的条件,并表明政企联合储备应急物资模式有利于提高受灾群众满意水平。^{[8]15}(2)生产能力储备方面:扈衷权等假设政府从企业购买一定量的生产能力期权,有效降低了企业物资库存量与生产成本,有利于维持政企之间稳定的合作关系;^[9]高晓宁等利用收益共享契约构建了应急物资生产能力代储机制,得出政府最优奖惩系数、激励系数和企业最优努力水平。^[10](3)实物+生产能力储备方面:杨曼等构建了应急物资实物和生产能力混合储备下的微分博弈模型,表明相较于成本共担模式,政企协同合作储备模式在降低政府采购成本方面的优势明显,应急物资储备水平有所提升;^[11]扈衷权等假设政府为企业提供一种数量柔性契约,如果企业接受契约则储备一定数量的实物和生产能力,给出了政企达成契约的条件和政企最优决策策略。^[12]此方面研究以建立政企合作模式为目标,为应急物资储备社会化提供了有效指导,但都对政府从不同渠道获取所需物资的顺序进行了限制,只有当政府常规储备物资无法满足突发需求时,契约采购才会被激活,缺少灵活性。

第二个方面是灾后应急物资供应问题研究,研究方法包括整数规划、随机规划、概率统计、系统动力学、博弈论等。薛星群等考虑路网受损对应急物资调度的影响,分析了空运和陆运联合运输的调度问题,

构建了运力和路网通行双重约束下应急物资联合调度优化模型,得到了“直升机+车辆”联合调度方案。^[13]GARRIDO等利用随机规划模型求解了洪涝发生后的应急物流问题,得到了各供应点物资最优储备水平和从供应点运输至受灾区域的物资流量。^[14]^[18]LIU与YE考虑灾情信息更新情形,构建了应急物资配送的多目标随机规划模型,表明灾情信息以贝叶斯概率更新时物资配送决策更合理有效。^[15]单子丹等针对突发卫生事件下应急物资供需失衡难题,利用系统动力学仿真应急物资动态需求过程,表明感染率、接触人数、发现率等指标会直接增加应急物资需求数量,政府应采取严格的疫情防控措施。^[16]此方面研究取得了丰富的成果,为确保应急物资及时供应提供了策略支持,然而未与灾前应急物资储备环节相结合,且未分析灾民痛苦对应急物资采购储备策略的影响。

第三个方面为考虑灾民匮乏水平(匮乏成本)的应急管理。在应急管理中,减轻灾民痛苦无疑是政府管理的核心和重要目标。HOLGUÍN-VERAS等首次提出匮乏成本概念,^[3]^[266]将灾民因应急物资匮乏而经历的痛苦进行量化并表示为匮乏成本,建立了匮乏成本随应急物资匮乏时间的非线性变化关系,为后续优化应急物流目标函数提供了重要借鉴。CANTILLO等、HOLGUÍN-VERAS等通过价值评估法和离散选择法,分别描述了不同场景下灾民对饮用水的支付意愿,表明灾民匮乏水平与物资短缺时间存在指数关系。^[17,18]此外,朱莉等提出以相对剥夺成本描述应急救援公平性,构建应急物资多目标动态调配模型,展示了不同分配策略在提高救援效率、有效性、公平性等方面的优势。^[19]樊彧、王熹徽根据突发灾害发生场景差异性,提出了匮乏成本测算方法并将其融入应急物流目标函数中,制定出贴近实际需要的应急物流方案。^[20]FAN等、SHAO等也尝试将匮乏成本概念引入到政企合作下应急物资储备采购研究中,^[5]^[270]^[6]^[254]但没有考虑政府从不同渠道获取应急物资的灵活性,限制了模型的有效性。

与以往研究对比分析,本文工作的异同点为:

1. 与王熹徽等^[1]^[162]的相同点:以实物形式储备应急物资;利用匮乏成本表示灾民因缺少关键物资产生的痛苦,并将其融入政府目标函数中。主要区别在于:本文将应急物资灾前储备和灾后采购供应相结合,为政府优先从不同渠道获取所需物资设定不同概率;本文将匮乏时间定义为应急物资运输距离与速度之比,研究物资匮乏时间对政企决策和应急物资供应链协调条件的影响。

2. 与扈衷权等^[14]^[18]的相同点:考虑单个企业和单个政府组成的应急物资供应链;应急物资储备采购模型是单周期的。主要区别在于:扈衷权等^[14]^[22]构建基于数量柔性契约的政企博弈模型,本文采用的是期权契约,重点分析政企应急物资储备采购策略以及应急物资供应链协调的条件;本文引入匮乏成本与应急物资匮乏时间和短缺类型的函数关系,建立最小化匮乏成本+物流成本之和的政府目标函数;本文为政府优先从不同渠道获取所需物资设定不同的概率,分析政企应急物资储备库与灾区之间距离对应急物资储备采购策略的影响,扈衷权等没有对此进行研究。

3. 与LIU等^[21]^[1457]的相同点:考虑一对一型政企应急物资供应链;引入期权契约构建应急物资储备采购模型,求解政企最优储备量和应急渠道协调的条件。主要区别在于:本文将灾民随应急物资匮乏时间变化产生的匮乏成本纳入政府的决策考量;假设政府以一定概率优先从企业采购所需物资,不同于LIU等^[21]^[1461]假设政府始终优先调用常规储备物资;本文分析政企应急物资储备库与灾区之间距离对应急物资储备采购策略的影响,LIU等也没有对此进行考虑。

三、问题描述

本研究考虑一个政府和一个企业组成的应急物资供应链系统,分析单种应急物资的储备采购问题。

(一)政企决策内容与顺序

政府和企业的斯塔克尔伯格博弈关系如下,第一阶段:灾前政府筛选一家企业,以批发价格从企业采购一定数量的物资作为常规储备物资(Q),同时为其提供一份期权采购协议并承诺先支付单位期权费用(o)。企业认真考虑是否接受期权采购协议,如果接受则首先满足政府初次订购,然后生产储备一定量

的物资作为额外储备物资 (q)。第二阶段: 假设灾后应急物资实际需求量为 x , 服从 $(0, K)$ 的随机分布, K 为应急物资需求最大量, 概率密度函数和累积分布函数为 $f(x)$ 和 $F(x)$, $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$ 。政府根据应急物资实际需求决定采购顺序和数量, 假设优先从企业采购所需物资概率为 p , 调用自身常规储备物资概率为 $1 - p$ 。对于未被满足的物资需求, 政府会执行即时采购策略, 以价格 M 从其他渠道获取储备物资。同时假设突发灾害发生概率为 θ 。

(二) 假设条件

1. 应急物资常规采购与期权采购的来源相同。^{[8]23} 此假设用于分析单一供应商情况下的应急物资储备采购策略, 从而理解政企合作机制以及政府如何设定定价机制。

2. 参考王熹徽等、^{[1]162} FAN 等、^{[5]271} SHAO 等^{[6]256} 的研究, 建立灾民因物资短缺产生的匮乏成本与应急物资匮乏时间和短缺物资类型之间的函数关系, 可表示为: $g = at^b$, 其中 g 表示单位物资匮乏成本, t 表示物资匮乏时间, a 表示应急物资自然属性(如存储条件, 形状等), b 表示物资需求紧急性。

3. 参考王熹徽等、^{[1]164} FAN 等、^{[5]271}、SHAO 等^{[6]256} 的研究, 假设政府以最小化社会成本(社会成本 = 匮乏成本 + 物流成本)为目的。此假设体现了政府在应急管理中需要权衡的两个重要方面: 一是减轻灾民由于物资匮乏产生的痛苦, 二是控制物流成本。

4. 参考 WANG 等^{[4]2141} 的研究, 灾民对应急物资的需求存在数量差异, 每个灾民需要一个或多个单位的应急物资。为简化模型, 假设一单位应急物资可以满足一个灾民的需要。

5. 假设不考虑道路受损等复杂因素影响, 将运输时间作为衡量应急物资匮乏时间的一个重要指标,^{[20]755} 即 $t = S/u$, 其中 S 表示运输距离, u 表示运输速度。

(三) 符号说明及其约束

文中涉及的符号及含义见表 1。

表 1 符号及其约束条件

符号	含义及约束条件	符号	含义及约束条件
θ	突发灾害发生概率, $0 < \theta \leq 1$	Q	政府应急物资储备量(政府决策变量)
x	灾后应急物资实际需求	q	企业应急物资储备量(企业决策变量)
c	单位生产成本	p	政府优先从企业采购所需物资的概率, $0 \leq p \leq 1$
h	单位储存成本	g	单位物资匮乏成本
ω	单位批发价格	t	应急物资匮乏时间
v	单位残值收益	K	应急物资最大需求量
o	单位期权费用	a	应急物资自然属性参数
e	单位期权执行价格	b	应急物资需求紧急程度
M	政府从其他渠道获取所需的价格	π_{gd}	政府单独储备应急物资模型下的成本函数
S_1	政府应急物资储备库与灾区的距离	π_{fd}	政府单独储备应急物资模型下的企业收益函数
S_2	企业应急物资储备库与灾区的距离	π_{fa}	基于期权契约的应急物资储备采购模型下企业收益函数
S_3	其他渠道与灾区的距离, $S_3 > S_1, S_3 > S_2$	π_{ga}	基于期权契约的应急物资储备采购模型下政府成本函数
u	应急物资运输速度	π_{gs}	供应链系统集中决策下的成本函数

四、基准模型

政府单独储备应急物资是一种管理型库存模式, 表示政府以批发价格从企业采购一定量物资作为常规物资 (Q_d) 并利用此部分物资满足灾后突发物资需求, 产生的成本收益如下:

1. 无论突发灾害是否发生, 政府固定成本为 $(\omega + h)Q_d$ 。

2. 如果突发灾害,根据应急物资实际需求,政府成本包括以下情形:(1)当 $0 < x \leq Q_d$ 时,灾民因物资短缺产生的匮乏成本为 $a(S_1/u)^b x$, 残值收益为 $v(Q_d - x)$; (2)当 $Q_d < x \leq K$ 时,政府紧急采购物资的成本为 $M(x - Q_d)$, 匮乏成本为 $a(S_1/u)^b Q_d + a(S_3/u)^b(x - Q_d)$ 。

3. 如果突发性灾害未发生,政府获得未使用物资的残值收益,为 $(1 - \theta)vQ_d$ 。

综上,政府单独储备应急物资模型下的成本函数

$$\pi_{gd} = (\omega + h)Q_d - (1 - \theta)vQ_d + \theta \left\{ \int_0^{Q_d} [a(S_1/u)^b x - v(Q_d - x)]f(x) dx + \int_{Q_d}^K [a(S_1/u)^b Q_d + (M + a(S_3/u)^b)(x - Q_d)]f(x) dx \right\} \quad (1)$$

利用分部积分法化简式(1),可得

$$\pi_{gd} = (\omega + h - v)Q_d + \theta \left\{ (a(S_1/u)^b + v) \int_0^{Q_d} \bar{F}(x) dx + (M + a(S_3/u)^b) \int_{Q_d}^K \bar{F}(x) dx \right\} \quad (2)$$

对式(2)求解关于 Q_d 的一阶与二阶条件,可得

$$\frac{\partial \pi_{gd}}{\partial Q_d} = \omega + h - v - \theta \{ M - v + a[(S_3/u)^b - (S_1/u)^b] \} (1 - F(Q_d)), \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{gd}}{\partial Q_d^2} = \theta \{ M - v + a[(S_3/u)^b - (S_1/u)^b] \} f(Q_d) > 0. \quad (4)$$

由于 $S_3 > S_1$, 说明式(4)恒大于零,可得政府单独储备模式下的最优储物资备量

$$Q_d^* = F^{-1} \left\{ 1 - \frac{\omega + h - v}{\theta(M - v + a[(S_3/u)^b - (S_1/u)^b])} \right\} \quad (5)$$

五、模型建立

(一)分散决策分析

1. 企业决策分析

根据三(一)节,如果企业接受政府提供的期权采购协议,则首先满足政府初次订购量,然后根据突发物资需求为政府提供所需物资,产生的收益如下:

(1)无论突发灾害是否发生,企业固定收益为 $(\omega - c)Q - (c + h - o)q$ 。

(2)如果突发灾害发生,①当 $0 < x \leq q$ 时,如果政府以概率 p 从企业采购所需物资,企业收益为 $p[ex + (q - x)v] + (1 - p)vq$; ②当 $q < x \leq Q$ 时,企业收益为 $peq + (1 - p)vq$ 。③当 $Q < x \leq Q + q$ 时,企业收益为 $peq + (1 - p)[e(x - Q) + v(Q + q - x)]$ 。④当 $Q + q < x \leq K$ 时,企业收益为 eq 。

(3)如果突发性灾害未发生,企业获得未使用物资的残值收益,为 $(1 - \theta)vq$ 。

综上,基于期权契约的应急物资储备采购模型下企业收益函数

$$\pi_{fa} = (\omega - c)Q - (c + h - o)q + \theta \left\{ \int_0^q [p[ex + (q - x)v] + (1 - p)vq]f(x) dx + \int_q^Q [peq + (1 - p)vq]f(x) dx + \int_Q^{Q+q} [peq + (1 - p)[e(x - Q) + v(Q + q - x)]]f(x) dx + \int_{Q+q}^K eqf(x) dx \right\} + (1 - \theta)vq, \quad (6)$$

化简式(6),可得

$$\pi_{fa} = (\omega - c)Q - (c + h - o - v)q + \theta(e - v) \left[p \int_0^q \bar{F}(x) dx + (1 - p) \int_Q^{Q+q} \bar{F}(x) dx \right]. \quad (7)$$

对式(7)求解关于 q 的一阶与二阶条件,可得

$$\frac{\partial \pi_{fa}}{\partial q} = -(c + h - o - v) + \theta(e - v)[1 - pF(q) - (1 - p)F(Q + q)], \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{fa}}{\partial q^2} = -\theta(e-v)[pf(q) + (1-p)f(Q+q)] < 0. \quad (9)$$

由于式(9)为负值,说明企业利润是关于自身储备决策的凹函数,存在使利润取得最大值的最优储备量,满足:

$$1 - \frac{c+h-o-v}{\theta(e-v)} = pF(q^*) + (1-p)F(Q+q^*). \quad (10)$$

命题 1:企业应急物资最优储备量随期权执行价格、期权价格、突发灾害发生概率和政府从企业采购所需物资概率的增加而增加。

证明:求解 q^* 关于 e, o, θ, p 的一阶条件,得到:

$$\begin{cases} \frac{\partial q^*}{\partial o} = -\frac{\partial^2 \pi_{fa}}{\partial q \partial o} / \frac{\partial^2 \pi_{fa}}{\partial q^2} = \frac{1}{\theta(e-v)(pF(q^*) + (1-p)F(Q+q^*))} > 0 \\ \frac{\partial q^*}{\partial e} = -\frac{\partial^2 \pi_{fa}}{\partial q \partial e} / \frac{\partial^2 \pi_{fa}}{\partial q^2} = \frac{1-pF(q^*) - (1-p)F(Q+q^*)}{(e-v)(pF(q^*) + (1-p)F(Q+q^*))} > 0 \\ \frac{\partial q^*}{\partial \theta} = -\frac{\partial^2 \pi_{fa}}{\partial q \partial \theta} / \frac{\partial^2 \pi_{fa}}{\partial q^2} = \frac{1-pF(q^*) - (1-p)F(Q+q^*)}{\theta(pF(q^*) + (1-p)F(Q+q^*))} > 0 \\ \frac{\partial q^*}{\partial p} = -\frac{\partial^2 \pi_{fa}}{\partial q \partial p} / \frac{\partial^2 \pi_{fa}}{\partial q^2} = \frac{F(Q+q^*) - F(q^*)}{pF(q^*) + (1-p)F(Q+q^*)} > 0 \end{cases} .$$

命题 1 说明,期权价格越大,越能弥补企业为生产应急物资投入的成本,因此企业储备的应急物资越多。突发性灾害发生概率越大,应急物资全部售出的可能性越大,因此企业倾向代储更多的应急物资。政府优先从企业采购所需物资概率越大,单位物资紧急采购价格越高,企业获得的收益越多,因此倾向提高应急物资储备水平。

2. 政府决策分析

明确企业最优决策后,政府根据突发物资实际需求执行不同的采购策略,产生的各类成本如下:

(1)无论突发性灾害是否发生,政府固定成本为 $(\omega+h)Q+oq$ 。

(2)如果突发性灾害发生,政府产生的成本和收益包括以下情形:①当 $0 < x \leq q$ 时,政府从不同渠道采购所需物资的成本为 $p[ex+a(S_2/u)^b x - vQ] + (1-p)[a(S_1/u)^b x - v(Q-x)]$ 。②当 $q < x \leq Q$ 时,政府成本为 $p[eq+a[(S_2/u)^b]q+(S_1/u)^b(x-q)] - v(Q+q-x) + (1-p)[a(S_1/u)^b x - v(Q-x)]$ 。③当 $Q < x \leq Q+q$ 时,政府成本为 $p[eq+a[(S_2/u)^b]q+(S_1/u)^b(x-q)] - v(Q+q-x) + (1-p)[a(S_1/u)^b Q + (e+a(S_2/u)^b)(x-Q)]$ 。④当 $Q+q < x \leq K$ 时,政府成本为 $a(S_1/u)^b Q + (e+a(S_2/u)^b)q + (M+a(S_3/u)^b)(x-Q-q)$ 。

(3)如果突发性灾害未发生,政府获得未使用物资的残值收益,为 $(1-\theta)vQ$ 。

综上,基于期权契约的应急物资储备采购模型下政府成本函数为:

$$\begin{aligned} \pi_{ga} = & (\omega+h)Q+oq - (1-\theta)vQ + \theta \left\{ \int_0^q [p[ex+a(S_2/u)^b x - vQ] + (1-p)[a(S_1/u)^b x - v(Q-x)]] \right. \\ & f(x)dx + \int_q^Q [p[eq+a[(S_2/u)^b]q+(S_1/u)^b(x-q)] - v(Q+q-x)] + \\ & (1-p)[a(S_1/u)^b x - v(Q-x)] f(x)dx + \int_Q^{Q+q} [p[eq+a[(S_2/u)^b]q+(S_1/u)^b(x-q)] - \\ & v(Q+q-x) + (1-p)[a(S_1/u)^b Q + (e+a(S_2/u)^b)(x-Q)]] f(x)dx + \\ & \left. \int_{Q+q}^K [a(S_1/u)^b Q + (e+a(S_2/u)^b)q + (M+a(S_3/u)^b)(x-Q-q)] f(x)dx \right\}. \quad (11) \end{aligned}$$

化简式(11),可得

$$\begin{aligned} \pi_{\text{ga}} = & (\omega + h - v)Q + oq + \theta \left\{ (1 - p)(a(S_1/u)^b + v) \int_0^Q \bar{F}(x) dx + \right. \\ & p(a(S_1/u)^b + v) \int_q^{Q+q} \bar{F}(x) dx + (1 - p)(e + a(S_2/u)^b) \int_Q^{Q+q} \bar{F}(x) dx + \\ & \left. p(e + a(S_2/u)^b) \int_0^q \bar{F}(x) dx + (M + a(S_3/u)^b) \int_{Q+q}^K \bar{F}(x) dx \right\}. \end{aligned} \quad (12)$$

当应急物资供应链达到协调时,政企联合储备应急物资的总量等于供应链集中决策模型下应急物资储备量(Q_s),即 $Q_s = Q + q$ 。对 π_{ga} 求解关于 Q 的一阶与二阶条件,得到:

$$\frac{\partial \pi_{\text{ga}}}{\partial Q} = \omega + h - o - v - \theta \{ e - v + a[(S_2/u)^b - (S_1/u)^b] \} [1 - pF(Q) - (1 - p)F(Q)], \quad (13)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{\text{ga}}}{\partial Q^2} = -\theta \{ e - v + a[(S_2/u)^b - (S_1/u)^b] \} [pf(Q) - (1 - p)f(Q)]. \quad (14)$$

由于很难直接判断式(14)的正负性,因此参考 FAN 等,^{[5]272} LIU 等,^{[21]1459} NIKKHOO 等,^{[22]336} 假设突发物资需求服从均匀分布,变换式(14)得到

$$\frac{\partial^2 \pi_{\text{ga}}}{\partial Q^2} = \frac{\theta(1 - 2p) \{ e - v + a[(S_2/u)^b - (S_1/u)^b] \}}{K}. \quad (15)$$

分以下几种情况进行讨论:

①当 $p \leq \frac{1}{2}$ 和 $e > v + a[(S_1/u)^b - (S_2/u)^b]$ 时,则 $\frac{\partial^2 \pi_{\text{ga}}}{\partial Q^2} > 0$, e 需要满足 $\omega + h < e + o < M$, 则 $\max\{a[(S_1/u)^b - (S_2/u)^b] + v, \omega + h - o\} < e < M - o$ 。

②当 $\frac{1}{2} < p \leq 1$ 和 $e < v + a[(S_1/u)^b - (S_2/u)^b]$ 时,则 $\frac{\partial^2 \pi_{\text{ga}}}{\partial Q^2} > 0$, e 需要满足 $\omega + h < e + o < M$, 则 $\omega + h - o < e < \min\{M - o, v + a[(S_1/u)^b - (S_2/u)^b]\}$ 。

综上,当 $\frac{1}{2} < p \leq 1$ 和 $\omega + h - o < e < \min\{M - o, v + a[(S_1/u)^b - (S_2/u)^b]\}$ 或 $p \leq \frac{1}{2}$ 和 $\max\{a[(S_1/u)^b - (S_2/u)^b] + v, \omega + h - o\} < e < M - o$ 时,基于期权契约的应急物资储备采购模型下政府应急物资最优储备量(Q^*)为

$$Q^* = \frac{K}{(1 - p)^2} \left\{ 1 - p - \frac{\omega + h - o - v}{\theta[e - v + a((S_2/u)^b - (S_1/u)^b)]} + \frac{p(c + h - o - v)}{\theta(e - v)} \right\}. \quad (16)$$

命题 2: 当 $\frac{1}{2} < p \leq 1$ 和 $\omega + h - o < e < \min\{M - o, v + a[(S_1/u)^b - (S_2/u)^b]\}$ 或 $p \leq \frac{1}{2}$ 和 $\max\{a[(S_1/u)^b - (S_2/u)^b] + v, \omega + h - o\} < e < M - o$ 时,基于期权契约的应急物资储备采购模型下政府和企业应急物资最优储备量为

$$\begin{cases} Q^* = \frac{K}{(1 - p)^2} \left\{ 1 - p - \frac{\omega + h - o - v}{\theta[e - v + a((S_2/u)^b - (S_1/u)^b)]} + \frac{p(c + h - o - v)}{\theta(e - v)} \right\} \\ q^* = \frac{K}{(1 - p)} \left\{ \frac{\omega + h - o - v}{\theta[e - v + a((S_2/u)^b - (S_1/u)^b)]} - \frac{c + h - o - v}{\theta(e - v)} \right\} \end{cases}. \quad (17)$$

证明:将式(16)代入式(10),化简即可得出。

命题 2 给出了期权契约机制下政企物资最优储备决策,为保证双方决策具有实际意义,需要满足 $Q^* > 0$ 和 $q^* > 0$ 。

命题 3: 当 $p \leq \frac{1}{2}$ 和 $u \cdot \sqrt[b]{(S_1/u)^b - \frac{e - v}{a}} < S_2 < u \cdot \sqrt[b]{(S_1/u)^b + \frac{(\omega - c)(e - v)}{a(c + h - o - v)}}$ 时,基于期权契约的应急物资储备采购模型下政企决策才具有实际意义。

证明: 求解 $q^* > 0$, 可得 $S_1 > u \cdot \sqrt[b]{(S_2/u)^b - \frac{(\omega - c)(e - v)}{a(c + h - o - v)}}$ (记作 S_1^L)。求解 $Q^* > 0$, 可得 $S_1 < u \cdot \sqrt[b]{\frac{1}{a} \left\{ e^{-v} - \frac{\omega + h - o - v}{\theta[1 - p + p(c + h - o - v)/(\theta(e - v))]} \right\}} + (S_2/u)^b$ (记作 S_1^H)。由命题 2 可知, 当 $\frac{1}{2} < p \leq 1$ 时, 则 $S_1 > u \cdot \sqrt[b]{\frac{e^{-v}}{a}} + (S_2/u)^b$ (记作 S_1^K) 且 $S_1^K > S_1^H$, 因此无法保证 $Q^* > 0$; 当 $p \leq \frac{1}{2}$ 时, 有 $S_2 > u \cdot \sqrt[b]{(S_1/u)^b - \frac{e^{-v}}{a}}$ (记作 S_2^L), 可得 $S_2 < u \cdot \sqrt[b]{(S_1/u)^b + \frac{(\omega - c)(e - v)}{a(c + h - o - v)}}$ (记作 S_2^H)。

命题 3 说明, 当政府从企业优先采购所需物资的概率不超过 50% 时, 即使企业应急物资储备库邻近灾区, 政府也应优先考虑调用自身预储物资。为及时响应突发物资需求, 政府应选择在灾害易发地区附近的企业作为合作伙伴, 预置一定数量的应急物资。这样的企业位置布局能够大幅缩短物资运输时间, 提高救援效率。此外, 双方谈判达成的契约价格也是影响政企合作的关键因素之一, 期权价格越高, 企业获得的利益越大, 也就更有动力代储应急物资, 这种利益驱动机制有助于激发企业的积极性。图 1 展示了政府可接受的企业应急物资储备库与灾区之间的距离范围(阴影部分所示), 既考虑了企业的经济利益和运输成本, 也兼顾了政府在灾害应对方面的需求和期望。

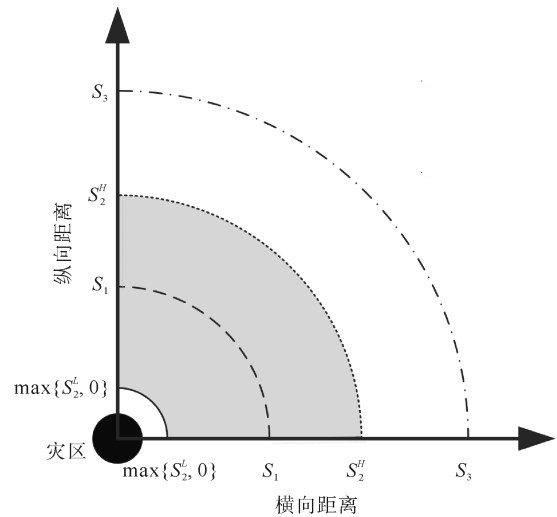


图 1 企业应急物资储备库与灾区的距离范围

(二) 供应链协调分析

供应链集中决策是指政府和企业作为一个整体进行共同决策, 生产一定数量的应急物资作为供应链系统储备量(Q_s), 则整个供应链系统的成本函数

$$\pi_{gs} = (c + h)Q_s - (1 - \theta)vQ_s + \theta \left\{ \int_0^{Q_s} [a(S_1/u)^b x - v(Q_s - x)] f(x) dx + \int_{Q_s}^K [a(S_1/u)^b Q_s + (M + a(S_3/u)^b)(x - Q_s)] f(x) dx \right\}. \quad (18)$$

对式(18)求解关于 Q_s 的一阶与二阶条件, 可得

$$\frac{\partial \pi_{gs}}{\partial Q_s} = c + h - v - \theta \{ M - v + a[(S_3/u)^b - (S_1/u)^b] \} [1 - F(Q_s)], \quad (19)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{gs}}{\partial Q_s^2} = \theta \{ M - v + a[(S_3/u)^b - (S_1/u)^b] \} f(Q_s) > 0. \quad (20)$$

由于式(20)恒大于零, 说明供应链集中决策模式下存在使系统成本最小化的应急物资最优储备量, 得到:

$$Q_s^* = F^{-1} \left\{ 1 - \frac{c + h - v}{\theta [M - v + a((S_3/u)^b - (S_1/u)^b)]} \right\}. \quad (21)$$

命题 4: 当 $e = f(p, o, \dots, S_1, S_2, S_3)$ (使用 e' 表示) 时, 基于期权契约的应急物资储备采购模型实现对应急渠道的协调。

证明: 当应急物资供应链达到协调时, 政企储备应急物资的总量等于集中决策模型下应急物资储备

量,得到 $e=f(p,o,\dots,S_1,S_2,S_3)$,即期权执行价格是关于其他参数的函数。

命题 4 探讨了政府如何依据企业应急物资储备库与灾区距离、期权价格等参数确定一个合适的期权执行价格,以协调应急物资供应链。首先,企业应急物资储备库与灾区距离越近,意味着在灾害发生时应急物资能够越快送达灾区,但这也要求政府为近距离企业提供更具吸引力的期权价格,以激励它们积极参与应急物资储备。其次,期权价格作为双方谈判的核心内容,一个合理的期权价格不仅要能保证企业经济利益,还要确保政府在需要时可以合理价格执行契约采购。下面借助一个数值算例阐述命题 4,相关参数设置如下(数量为件,价格为元/件,速度为 km/h,距离为 km): $\omega=50,c=40,h=1,o=10,M=500,v=10,a=3,b=1.5,\theta=0.3,p=0.3,u=50,S_1=200,S_3=1\ 000,K=30\ 000$ 。假设 $S_2=300$,求解 $Q^*+q^*=Q_s^*$,得到 $e'=278.223$,将 $e=e'$ 代入 S_2^L 和 S_2^H ,得到 $\{S_2^L\}=0$ 和 $S_2^H=651.031\ 3\ \text{km}$,说明 S_2 符合要求。

(三)与基准模型对比分析

有期权契约情景下企业收益与政府成本

$$\pi_{fa}^* = (\omega - c)Q^* - (c + h - o - v)q^* + \theta(e' - v) \left\{ p \int_0^{q^*} \bar{F}(x) dx + (1 - p) \int_{Q^*}^{Q^*+q^*} \bar{F}(x) dx \right\}, \tag{22}$$

$$\begin{aligned} \pi_{ga}^* = & (\omega + h - v)Q^* + oq^* + \theta \left\{ (1 - p)[a(S_1/u)^b + v] \int_0^{Q^*} \bar{F}(x) dx + \right. \\ & p[a(S_1/u)^b + v] \int_{q^*}^{Q^*+q^*} \bar{F}(x) dx + (1 - p)[e' + a(S_2/u)^b] \int_{Q^*}^{Q^*+q^*} \bar{F}(x) dx + \\ & \left. p[e' + a(S_2/u)^b] \int_0^{q^*} \bar{F}(x) dx + [M + a(S_3/u)^b] \int_{Q^*+q^*}^K \bar{F}(x) dx \right\}. \end{aligned} \tag{23}$$

无期权契约情景下企业收益与政府成本

$$\pi_{fd}^* = (\omega - c)Q_d^*, \tag{24}$$

$$\pi_{gd}^* = (\omega + h - v)Q_d^* + \theta \left\{ [a(S_1/u)^b + v] \int_0^{Q_d^*} \bar{F}(x) dx + [M + a(S_3/u)^b] \int_{Q_d^*}^K \bar{F}(x) dx \right\}. \tag{25}$$

直接比较两种不同模型下政府成本和企业收益的难度较大,利用算例绘制变化趋势图是一种直观有效的方法。图 2 为政企应急物资储备量、政府成本和企业收益随 S_2 的变化趋势。

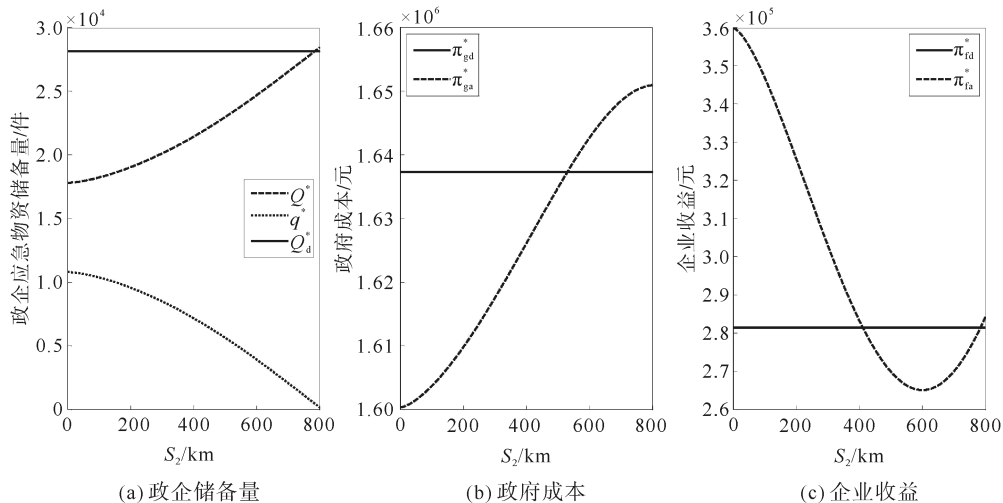


图 2 政企储备量、政府成本与企业收益随 S_2 的变化图

由图 2 看出:

1. 政企契约合作模式下,随着企业应急物资储备库与灾区距离的增加,应急物资运输时间越长,匮乏

成本越高。因此,政府倾向提高自身常规物资储备量,以快速满足突发需求,企业会减少应急物资储备量。

2. 与政府单独储备模式相比,政企契约合作模式并不总是可以增加企业收益和减少政府成本。只有当 $0 < S_2 < 410.8 \text{ km}$ 时,企业收益和政府成本才会得到改善。在此距离范围内,政府会储备更少的应急物资以降低成本,企业也会接受代储一定量的应急物资而获得收益。一旦 $S_2 > 410.8 \text{ km}$,则企业会减少应急物资储备量,以缓解“生产越多,损失越多”的局面。这说明企业应急物资储备库与灾区的距离不宜太远,否则企业从应急物资代储中获得的利润无法起到激励作用,不会接受政府提供的期权采购协议。

3. 需要说明的是,当 $S_2 > 410.8 \text{ km}$ 之后,企业代储应急物资的意愿降低甚至不再接受政府期权契约,政府部门自身也将因为更大规模的成本付出而终止政企契约合作,而优先采用政府单独储备模式。故图 2(c)中企业收益自 $S_2 > 410.8 \text{ km}$ 之后的变化趋势无实际参考意义。

(四) 敏感性分析

1. 期权价格敏感性分析

由于期权价格是政府先行支付给企业的单位物资预定费用,会对期权执行价格产生影响,进而影响政企最优决策、期权执行价格、政府成本和企业收益。因此,绘制政企最优储备决策、期权执行价格、政府成本和企业收益随 o 的变化趋势,如图 3 所示。

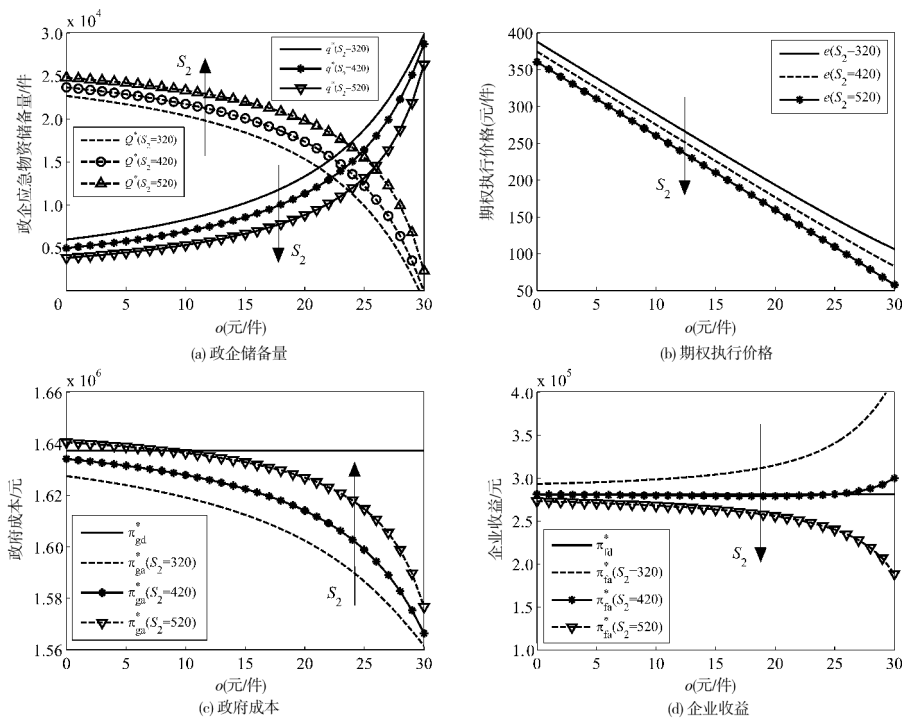


图 3 政企储备量、期权执行价格、政府成本与企业收益随 o 的变化图

由图 3 看出:

(1) 期权执行价格随期权价格的增加而降低,因此,政府倾向降低应急物资储备量,从而以较低价格采购所需物资,成本也越低。为维持应急物资供应链协调,企业倾向增加应急物资储备量。

(2) 与政府单独储备模式相比,政企契约合作模式下政府成本和企业收益能否得到改善和企业应急物资储备库与灾区的距离有关。当企业应急物资储备库与灾区距离较近时,政企契约合作下政府成本随期权价格的增加而减少,且小于政府单独储备模型下的成本;企业收益随期权价格的增加而增加,且大于政府单独储备模型下的企业收益,此时政企都能得到改善。

(3)随着企业应急物资储备库与灾区距离的增加,匮乏成本增加,政府成本随之增加并逐渐超过政企非契约合作下的政府成本。与此同时,随着企业应急物资储备库与灾区距离的增加,企业收益减少并逐渐低于政企非契约合作下的企业收益。由此可见,将应急物资预先布置在灾害易发生地可以减少政府成本,提高企业代储应急物资的积极性。倘若两者之间的距离太远,政府将不会选择这样的企业作为合作伙伴。

2. 政府从企业优先采购概率敏感性分析

为提高应急物资获取柔性,假设政府以一定概率优先从企业采购所需物资,则此概率会对政企最优决策、期权执行价格、政府成本和企业收益产生重要影响,因此对政府从企业优先采购概率进行敏感性分析,如图4所示。

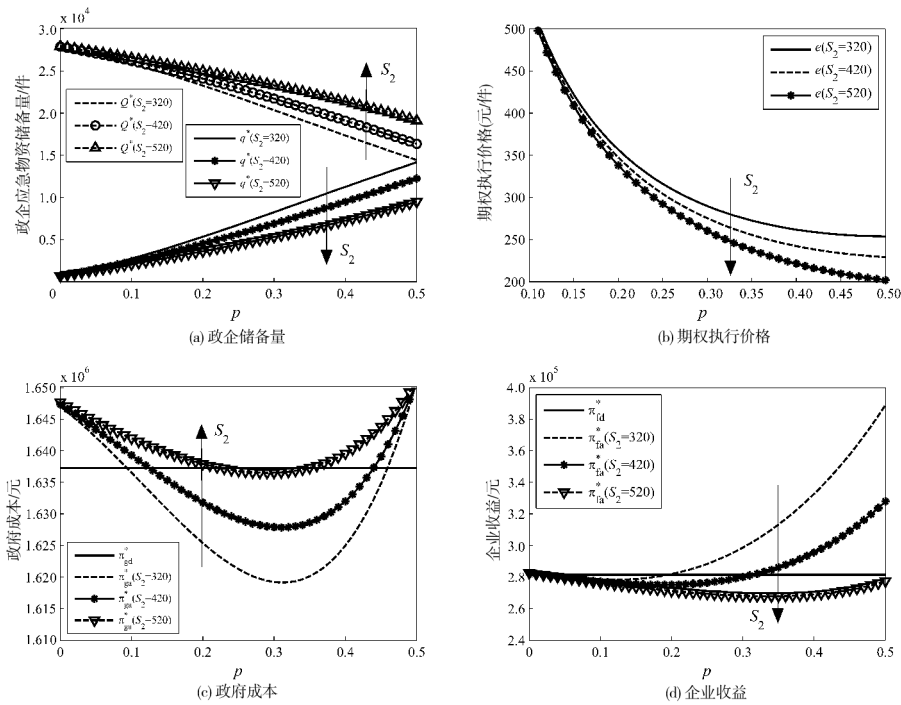


图4 政企储备量、期权执行价格、政府成本与企业收益随 p 的变化图

由图4看出:

(1)随着政府从企业优先采购概率的增加,期权执行价格降低。因此,政府会降低应急物资储备量,利用紧急采购满足突发物资需求,企业会相应增加应急物资代储量。

(2)与政府单独储备模式相比,政企契约合作下政府成本和企业收益能否得到改善和不同渠道优先采购概率有关。当政府从企业优先采购概率较小时,政府倾向预先储备大量应急物资,导致批发成本增加,因此政企契约合作下政府成本大于非契约合作下的政府成本;当政府从企业优先采购概率较大时,政府会降低常规物资储备量,执行契约采购必然会增加采购成本,因此政企契约合作下政府成本也大于非契约合作下的政府成本。由此说明,只有当政府优先从企业采购所需物资概率处于适当水平时,政企才有机会建立契约合作,否则会因一方利益受损而无法达成合作。

(3)随着企业应急物资储备库与灾区距离的增加,灾民因物资短缺产生的痛苦越多,匮乏成本越大,因此,政府成本增加且大于政府单独储备模型下成本的概率增大;随着企业应急物资储备库与灾区距离的增加,企业收益降低并逐渐低于非契约合作下的企业收益。由此可见,企业应急物资储备库与灾区的距离越远,政企达成契约合作的可能性越低,因此政府应选择距灾害易发生地较近的企业作为合作伙伴。

3. 应急物资需求紧急程度敏感性分析

灾民缺少不同类型物资产生的痛苦是不同的,与缺少饮用水相比,缺少药品会使灾民产生更多的痛苦,即匮乏成本还与应急物资需求紧急性有关。因此,对物资不同需求紧急程度下的政企最优决策、期权执行价格、政府成本和企业收益进行敏感性分析,如图 5 所示。

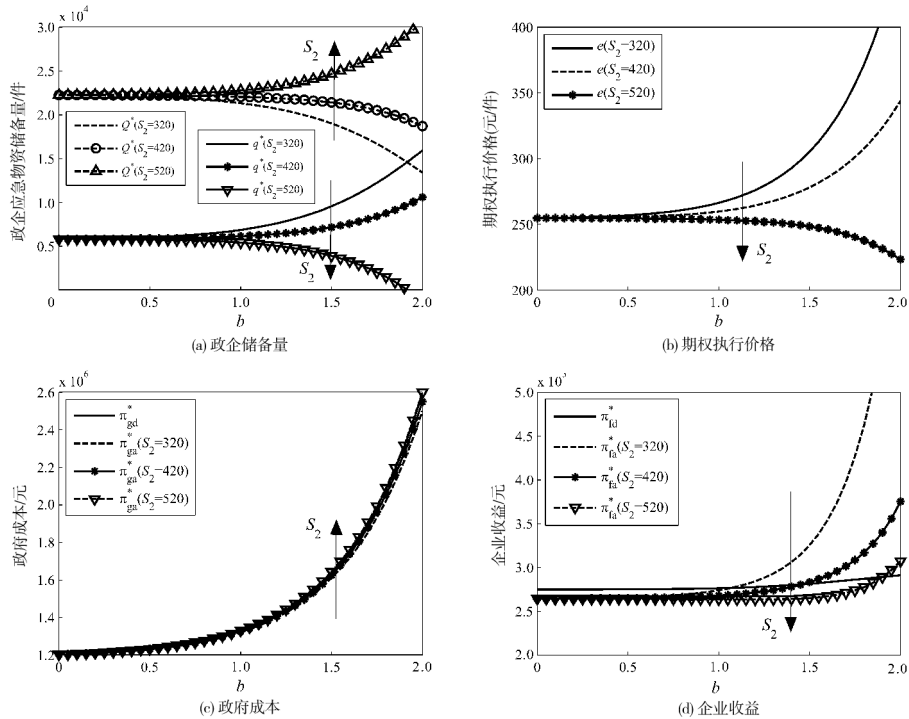


图 5 政企储备量、期权执行价格、政府成本与企业收益随 b 的变化图

由图 5 看出:

(1) 当企业应急物资储备库距离灾区较近时,随着应急物资需求紧迫性的增强,政府采购所需物资的价格随之上扬。这种价格上升趋势激励企业增加应急物资代储量,以满足灾民需求并获取更多收益。随着物资需求紧急程度的提高,匮乏成本相应增加,导致政府成本上涨。当企业应急物资储备库距离灾区较远时,应急物资需求紧急程度会对政企决策产生不同影响。物资需求越紧急,政府越倾向增加常规物资储备量,以及时满足灾区需求。然而,这一策略也会导致批发成本增加,进而增加政府成本,而且由于运输成本上升和灾民需求不确定性,企业会减少应急物资储备量,同时期权执行价格相对较低,最终导致企业收益的降低。

(2) 与政府单独储备模式相比,当应急物资需求紧急程度较低时,基于期权契约的应急物资储备采购模型下的政府成本大于政府单独储备模型下的成本。这是因为企业代储的应急物资较少,政府不得不依靠自己的储备库储备更多的应急物资,导致批发成本大幅增加,企业从双方契约合作中获得的收益也低于政府单独储备模型下的企业收益。

(3) 当应急物资需求紧急程度较高时,企业应急物资储备库与灾区距离越近,企业收益越多且越可能大于政府单独储备模型下的企业收益;当两者之间距离超过一定水平后,期权契约机制下政府成本大于政府单独储备模式下的成本,因此对于需求紧急程度较高的应急物资,政府应该积极与企业开展联合储备工作,保证物资及时供应;对于普通类应急物资,政府可以从市场上紧急采购。

六、结论

本文深入研究应急物资储备采购问题,为不同渠道获取应急物资设定优先采购概率,将灾民随应急物资匮乏时间变化产生的匮乏成本纳入政府决策考量,利用期权契约构建了应急物资储备采购模型。通过数学解析和数值模拟,得到了政企各自的最优应急物资储备量,明确了实现应急物资供应链高效协调的关键条件,并得到以下管理启示:(1)合作伙伴选择。政府应优先考虑位于灾害易发地区附近的企业,以缩短物资到达时间,降低采购成本,从而实现经济效益和社会效益的双赢。(2)合理设定期权契约参数。政府需要权衡各方利益,确保契约参数处于一个既能激励企业积极生产,又不会给企业带来过大负担的区间。(3)精准把握应急物资联合储备与采购策略。政府应高度关注应急物资需求紧急程度,优先将需求紧急、影响重大的应急物资纳入储备计划。合理设定政府从企业优先采购所需物资的概率,避免因采购概率过高而给企业带来过大的压力,或因采购概率过低而影响应急物资供应链的可靠性。本文为解决应急物资储备采购难题提供了更加灵活的契约方案,有助于提升我国应急物资储备整体水平和效能,但也存在以下不足:第一,只聚焦于一对一型政企合作模式,未来可将此扩展为一对多型模式。第二,未来可引入行为经济学和心理学理论和方法,探讨政企不同行为偏好对应急物资储备采购策略的影响。

参考文献:

- [1] 王焘徽,张文鑫,余玉刚,等.考虑灾民痛苦感知的应急避难所选址与物资分配优化[J].中国管理科学,2020,28(12).
- [2] SABBAGHTORKAN M, BATTAR R, HE Q. Prepositioning of assets and supplies in disaster operations management: Review and research gap identification[J]. European journal of operational research, 2020(1): 1-19.
- [3] HOLGUÍN-VERAS J, PÉREZ N, JALLER M, et al. On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models[J]. Journal of operations management, 2013(5).
- [4] WANG X H, WANG X, LIANG L, et al. Estimation of deprivation level functions using a numerical rating scale[J]. Production & operations management, 2017(11).
- [5] FAN Y, WANG X H, ZHU A Q, et al. Measuring the shortage cost through deprivation and envy in collaborating contract between the local authority and the enterprise[J]. International journal of production economics, 2024, 271.
- [6] SHAO J F, FAN Y, WANG X H, et al. Designing a new framework agreement in humanitarian logistics based on deprivation cost functions[J]. International journal of production economics, 2023, 256.
- [7] 扈衷权,田军,冯耕中.基于看跌期权契约的应急物资采购储备模型[J].中国管理科学,2020,28(2):69-79.
- [8] JOHN L, GURUMURTHY A, MATEEN A, et al. Improving the coordination in the humanitarian supply chain: Exploring the role of options contract[J]. Annals of operations research, 2022, 319.
- [9] 扈衷权,田军,冯耕中.基于协议企业生产能力储备的应急物资采购定价模型[J].管理评论,2021,33(9):294-303.
- [10] 高晓宁,田军,冯耕中.政府委托下应急物资生产能力代储系统激励契约设计[J].管理工程学报,2019,33(1):182-188.
- [11] 杨曼,刘德海,李德龙.政企实物-生产能力应急物资储备与采购定价的微分博弈模型[J].管理评论,2023,35(9):274-286.
- [12] 扈衷权,田军,冯耕中,等.协议企业代储模式下应急物资储备策略及采购定价研究[J].系统工程理论与实践,2020,40(3):605-616.
- [13] 薛星群,王旭坪,韩涛,等.考虑通行约束和运力限制的灾后应急物资联合调度优化研究[J].中国管理科学,2020,28(3):21-30.
- [14] GARRIDO R A, LAMAS P, PINO F J. A stochastic programming approach for floods emergency logistics [J]. Transportation research part E: Logistics and transportation review, 2015, 75.
- [15] LIU N, YE Y. Humanitarian logistics planning for natural disaster response with Bayesian information updates[J]. Journal of industrial and management optimization, 2014(3): 665-689.

- [16] 单子丹,盛晨辉,韩香钰,等. 基于 SEIRD 动力学模型的应急物资需求回溯性研究——以武汉市新冠肺炎疫情为例[J]. 运筹与管理,2023,32(6):40-45.
- [17] CANTILLO V, SERRANO I, MACEA L F, et al. Discrete choice approach for assessing deprivation cost in humanitarian relief operations[J]. Socio-economic planning sciences,2018,63:33-46.
- [18] HOLGUÍN-VERAS J, AMAYA-LEAL J, CANTILLO V, et al. Econometric estimation of deprivation cost functions: A contingent valuation experiment[J]. Journal of operations management,2016,45:44-56.
- [19] 朱莉,曹杰,顾珺,等. 公平缓解灾民创伤下的应急物资动态调配研究[J]. 系统工程理论与实践,2020,40(9):2427-2437.
- [20] 樊斌,王熹徽. 不同灾害场景下基于匮乏理论的应急物流决策模型构建与分析[J/OL]. 中国管理科学,1-11[2024-07-24]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023>.
- [21] LIU Y, TIAN J, FENG G Z. Pre-positioning strategies for relief supplies in a relief supply chain[J]. Journal of the operational research society,2022(7).
- [22] NIKKHOO F, BOZORGI-AMIRI A, HEYDARI J. Coordination of relief items procurement in humanitarian logistic based on quantity flexibility contract[J]. International journal of disaster risk reduction,2018,31.

Emergency Supplies Reserve: Its Procurement Model and Strategies Based on the Options Contracts

LIU Yang¹, JIA Shun¹, TIAN Jun², GAO Xiaoning³

(1. College of Energy and Mining Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

3. School of Information Management, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Insufficient emergency reserve and irrational procurement strategies significantly contribute to the shortage of vital post-disaster emergency supplies, which leads to the suffering of victims and hinders the effectiveness of emergency supplies reserve. This study introduces the options contracts into the supply chain of government-enterprise emergency supplies, assigning differential probabilities to prioritize the acquisition channels, and incorporating victims' deprivation costs incurred with deprivation time into the government's decision-making. We have devised a procurement model for emergency reserve grounded in the options contracts, aiming to derive optimal decision strategies and conditions that facilitate coordination within the relief supply chain. Through simulation, we have analyzed the trend in optimal reserve volumes, exercise prices, government costs, and supplier profits. Consequently, we propose comprehensive strategies for emergency reserve and procurement, offering a robust theoretical foundation for achieving flexible emergency material supply. This model seamlessly blends pre-disaster reserve with post-disaster procurement and supply, effectively mitigating disaster-induced losses and minimizing the impact on victims. Furthermore, it provides a decisive basis for fostering long-term, collaborative relationship between the government and suppliers.

Key words: emergency supplies; collaborative relationship between the government and suppliers; reserve procurement model; channel coordination; the options contracts

(责任编辑:魏 霄)