

联合团队存储海上救援物资研究

李成海¹, 胡甚平², 崔建辉³, 王建涛¹

(1. 山东交通职业学院 航海学院, 山东 潍坊 261206; 2. 上海海事大学 商船学院, 上海 201306;
3. 天津理工大学 航海学院, 天津 300191)

摘 要:针对救捞局和民间救助组织联合团队合作存储救援物资的合作机制,分析联合团队合作方之间的博弈关系,构建了联合团队收益模型,运用 Shapley 提出的 Shapley 合作分摊法计算联合团队合作方收益和分配,并对联合团队的稳定性进行分析。通过案例验证分析得出:在联合团队存储救援物资博弈中,救捞局处于主导地位,但只有获取期望的收益,民间救助组织才加入联合团队;当救捞局存储成本大于短缺物资成本时,救捞局选择与民间救助组织合作存储,否则选择短缺物资策略。

关键词:救援物资存储;联合团队;合作博弈;收益分配

中图分类号:U676.8

文献标志码:A

文章编号:2097-0358(2021)4-0053-06

0 引言

随着海上交通事故的频繁发生,海难救助成为学者们的研究热点。救援物资存储问题属于海上应急管理中的救援物资配置,救捞局的救援物资存储需要投入巨大的财力、物力和人力,对于有效期短、存储条件要求高的应急物资,如食品、药材等不宜大量存储,可通过市场保持一定存量,有效减少过期和失效带来的经济损失。救捞局和民间救助组织团队合作存储可以降低救捞局存储成本,民间救助组织也能获得利益。

在应急救援物资存储研究方面,王军对水上救援资源库存及配置,包括配置方式、稳定性和成本分配等进行了研究^[1];丁斌等对政企合作存储进行分析,提出在应用需求量随机变化的情况下,降低存储成本,利用联合博弈分摊政企存储成本和收益^[2];Chen 等系统分析了国家储备、社会捐赠和紧急补充的应急储备体系^[3];白秋颖等通过分析中国应急物流体系现状,提出了完善应急物流体系的措施^[4];刘晋等设计自适应交叉与变异算子对进化速度与质量进行权衡及全局优化,获取最优的分配方案^[5];李季明利用大数据平台对运输和库存及成本进行研究,提出了混合整数规划模型,探索应急物资分配路径^[6]。

从已有的研究成果看出,学者们关于团队合作存储的研究成果不多。本研究在已有研究成果的基础上,分析救捞局和民间救助团队合作存储救援物资的合作机制与合作方之间的博弈关系,建立联合团队收益模型解决收益分配问题,并通过案例验证分析研究成果的可行性。

1 存储人博弈描述

本文的研究对象是海上救援物资的存储,存储人包括救捞局和民间救助组织,存储人可选择是否加入救援物资存储团队。存储人的博弈分为两层,第一层是信息静态各自独立博弈,博弈方成效矩阵如表 1 所示。如果第一层博弈方选择合作,第二层形成一联合子博弈,合作关系如图 1 所示。

表 1 第一层博弈方效益矩阵

救捞局	民间救助组织	
	不合作	合作
不合作	p_1, p_2, \dots, p_m	p_1, p_2, \dots, p_m
合作	p_1, p_2, \dots, p_m	p_1, p_2, \dots, p_m

收稿日期:2021-04-06

作者简介:李成海(1963—),男,山东青岛人,山东交通职业学院督导考核办公室教授,高级船长。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

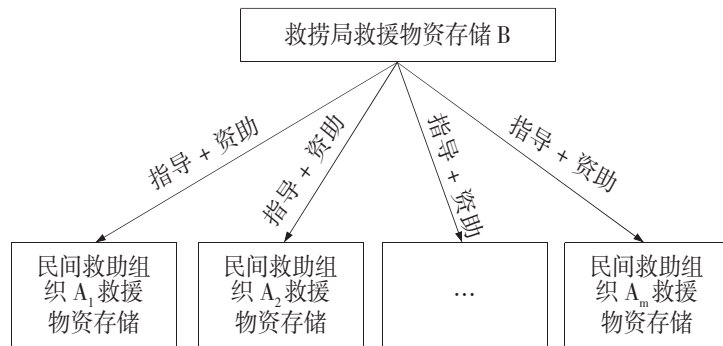


图 1 救捞局和民间救助组织合作关系图

通过成立救援物资存储团队,官方和民间组织合作存储实现彼此节约资金,民间组织通过合作存储获取额外收益,从而实现 $1 + 1 > 2$ 的“合作剩余”的效果。假如海上救援物资存储中救捞局和民间救助组织的物资投入 $X = x_1, x_2, \dots, x_m$,投资效益为 p_x ,救捞局和民间救助组织合作存储实现联合效益应满足^[7]:

$$p_x > p(x_1) + p(x_2) + \dots + p(x_m) \quad (1)$$

救捞局和民间救助组织合作存储的合作剩余:

$$\Delta p = p(x) - (p(x_1) + p(x_2) + \dots + p(x_m)) \quad (2)$$

2 构建合作存储模型

合作存储应具备如下四个条件:海上应急救援物资的存储成本由救捞局承担,收益由合作方平分;运用联合博弈法分配救捞局和民间救助组织的合作收益;救捞局和民间救助组织的权益地位平等;公平合理竞争,民间救助组织间不会形成利益团体和官方主导的救捞局议价。

2.1 构建合作利益模型

$J = 1$ 表示官方主导的救捞局, $i = 1, 2, \dots, I$, 表示候选民间救助组织编号, d_1 表示救捞局购买救援物资的成本, d_2 表示救捞局存储救援物资每天存储的成本, d_3 表示救捞局购买救援物资失效后的处置成本, d_4 表示单位救援物资每天短缺成本。民间救助组织和救捞局合作额外增大了救援物资需求量,同时导致救援物资库存成本加大, d_i^1 表示民间救助组织 i 单位救援物资的生产成本, d_i^2 表示民间救助组织每天存储救援物资的库存成本。民间救助组织可通过市场更新库存,从而减少因救援物资过期或失效引发的损失。 K 表示救援物资的失效期, T 表示救援物资目标存储量, t_i 表示民间救助组织 i 可与救捞局合作的最大物资存储量, x_j 表示救捞局救援物资实际存储量, x_i 表示民间救助组织 i 的救援物资实际存储量。^[8]在已知合作方的前提下,基于上面的变量解释,构建合作利益模型,合作目标函数为:

$$\begin{aligned} \max Z = & T \times [d_2 + \frac{(d_1 + d_3)}{K}] - \\ & \{ \sum_{i=1}^I X_i \times (\frac{d_i^2}{K} + \frac{d_i^1}{K} + [d_2 + \frac{(d_1 + d_3)}{K}] + d_4 \times (T - \sum_{i=1}^I X_i - X_j)) \} \end{aligned} \quad (3)$$

该函数需满足的限制条件为:

$$x_j + \sum_{i=1}^I x_i \leq T \quad (4)$$

$$x_i \leq t_i \quad (5)$$

$$x_i \geq 0 \quad (6)$$

式(3)表示救捞局和民间救助组织合作的收益;式(4)表示救捞局和民间救助组织目标物资存储量大于实际存储量;式(5)表示民间救助组织联合存储的救援物资量小于民间救助组织可提供的存储能力;式(6)表示民间救助组织的救援物资存储量为 0 或正值。

2.2 合作收益的分配

目前, 关于国内外涉及联合博弈分配问题, 大多数学者认为 Shapley 法比较公平、合理。本研究采用 Shapley 法解决救捞局和民间救助组织合作实际救援物资存储收益分配问题。

假如 B 为救援物资实际存储工作, e 表示合作方集合, 若 u 表示 e 的一个子集, 则 $P(B, U)$ 表示 u 方联合完成工作 B 所取得的收益。 $p_i(B)$ 为合作方 i 在 B 工作中获取的收益; $p_i(A)$ 为合作方 i 在 A 工作中的总收益。救捞局和民间救助组织合作存储救援物资应满足 Shapley 法的三个条件^[9-10]。

条件 1: 收益与单位性质无关, 只与合作方的贡献大小有关, h, s 分别代表联合团队有两个合作方, 若 h 与 s 转换且对 B 不影响时, $ph(B) = ps(B)$ 。

条件 2: 全部利润属于共同合作方, $\sum_{(h \in u)} p_h(B) = p(B, U)$ 对所有 $u \subset e$ 均成立, 如有虚拟合作方, 则虚拟合作方没有收益。

条件 3: 如果存在两个工作 B_1 和 B_2 , 则 $ph(B_1, B_2) = ph(B_1) + ph(B_2)$ 对所有 h 成立。

对于 $u \subset e$, $p(B, U)$ 可根据合作收益模型求取, 则 $ph(B)$ 的求解结果为:

$$p_h = \sum_{(u \subseteq e)} \frac{(e-1)! (m-e)!}{m!} [p(u - (h))] \quad (7)$$

式中, e 表示联合团队 u 中合作方的数量, $u - (h)$ 表示联合团队 2 中退出的合作方 h 。 $P(u) - p(u - (h))$ 表示合作方 h 给联合团队 u 的边际收益, 2 不能创造边际效益, 但一定产生边际效益。

2.3 联合团队理性判断

联合团队的稳定性取决于参与合作方所获取的收益。 $D(x_j)$ 表示救捞局的成本函数, 对于救捞局来说, 民间救助组织合作与否, 他都要完成救援物资的存储工作, 救捞局的机会成本 $d(x_j) = 0$; 如果救捞局和民间救助组织合作存储救援物资, 则救捞局从联合团队获取的收益为 $p(x_j) > 0$, 即认为救捞局会参与联合团队。民间救助组织从联合团队中取得收益 $p(x_i)$, 民间救助组织的机会成本为 $d(x_i)$, 主要指民间救助组织与救捞局合作存储救援物资所需投资对应的支付成本。如果满足 $d(x_i) < p(x_i)$, 则认定民间救助组织 i 会加入联合团队^[11-12]。

$$d(x_i) = (d_i^2 + \frac{d_i^1}{K}) \times x_i \times f_i \quad (8)$$

式中, f_i 表示民间救助组织 i 的自身收益率。

联合团队的理性取决于团队的稳定性, 即任何合作方退出联合团队都将引发团队收益的减少, 假如合作方 h 退出联合团队, 导致 $p(x_h) + p((u) - x_h) < p(u)$ 。即, 如果一个联合团队外合作方加入联合团队不能带来联合团队收益, 则合作方不能被联合团队认可和接纳。如果合作方 h 要加入联合团队, 则需实现:

$$p([u, x_h]) > p(x_h) + p(u) \quad (9)$$

3 案例验证分析

3.1 实例分析

本研究选取救援物资中的救生药品为例, 参与方有救捞局和 3 家民间救助组织, 救捞局和民间救助组织有两种方案可供选择, 救捞局和民间救助组织的联合团队有 15 种。参数: d_1 为 60 元, d_2 为 2 元/天, d_3 为 20 元, d_4 为 5 元/天, d_1^1 为 50 元, d_1^2 为 0.9 元/天; d_2^1 为 45 元, d_2^2 为 1.0 元/天; d_3^1 为 50 元, d_3^2 为 1.1 元/天; K 为 30 天, T 为 100 盒, t_1 表示 50 盒, t_2 表示 50 盒, f_1 表示 10%, f_2 表示 12%, f_3 表示 10%。将救捞局和民间救助组织分别进行编号, 救捞局编号为 1, 民间救助组织编号为 2-4, 运用 Matlab 进行编程并计算结果, 获得各方博弈的天收益值, 如表 2 所示。

表 2 联合团队收益值

联合团队	物资/盒	收益/元	联合团队	物资/盒	收益/元
1,2	60,60	44.3	2	0	0
1,3	60,60	47.7	3	0	0
1,4	60,60	34.3	4	0	0
1,2,3	0,60,60	91	2,3	0,0	0
1,3,4	0,60,60	81	2,4	0,0	0
1,2,4	0,60,60	77.1	3,4	0,0	0
1,2,3,4	0,60,60,0	91	2,3,4	0,0,0	0
1	100	0	-	-	-

由表 2 可知,在没有官方主导的救捞局参与的联合团队均没有收益。对表 2 中收益值为正的联合团队,采用 Shapley 法进行收益分配,并对合作方的机会成本求取结果,如表 3 所示。

表 3 机会成本与收益分配

联合团队编号	合作方	存储物资/盒	总收益/元	合作方收益/元	合作方机会成本/元
1	1,2	60,60	44.3	22.7,22.7	0,11.7
2	1,3	60,60	47.7	24.4,24.4	0,13.4
3	1,4	60,60	34.3	17.7,17.7	0,12.7
4	1,2,3	0,60,60	91	46,22.7,24.4	0,11.7,13.4
5	1,3,4	0,60,60	81	41,24.4,17.7	0,13.4,12.7
6	1,2,4	0,60,60	77.7	39.3,22.7,17.7	0,11.7,12.7
7	1,2,3,4	0,60,60,0	91	54.3,14.3,16.0,9.3	0,11.7,13.4,0

分析表 3 可知,从单一合作方角度看,联合团队的机会成本小于所有联合团队中合作方获取的收益,即联合团队满足合作方个体要求;从团体角度联合团队 4 和 7 的收益相同且大于其他合作方,在联合团队 7 中救捞局的综合收益最大。但通过对 4 和 7 对比分析可知,尽管联合团队 7 有第三个民间救助组织的参与,且该组织在联合团队中获得了收益,但由于该组织没有取得机会成本,出现了补助交叉的情况,这对于其他合作方不公平,所以联合团队 7 是不稳定状态。救捞局和民间救助组织合作博弈的结果为形成联合团队 4。

从救捞局和民间救助组织收益分配可以看出,救捞局处于主角地位,收益拿大头,没有救捞局参与的联合团队将失去实际意义。民间救助组织亦有自主选择权,只有联合团队的机会成本小于其获取的收益时,民间救助组织才能加入联合团队。

3.2 收益与成本分析

(1)民间救助收益分析。本研究计算结果分析中假设三个民间救助组织合作方的收益率分别为 11%、13%和 11%,现增加各民间救助组织合作方内部收益率至 13%、16%和 16%,在其他数据不变情况下,计算出表 4 所示的结果。从表 4 可以看出,从单一合作方角度来看,联合团队 3、5、7 收益小于参与联合团队机会成本时将被排除;从联合团队角度来看,联合团队 4 的收益最大,最终博弈形成合作联合团队 4。

增加民间救助组织的机会成本对民间救助组织的吸引力就会下降,甚至出现退出联合团队的情况,这对官方主导的救捞局是不利的。此时,救捞局应该以资金、设备和技术支持民间救助组织,提高其加入联合团队的积极性。

表4 合作方收益结果与成本

联合团队编号	合作方	存储物资/盒	总收益/元	合作方收益/元	合作方机会成本/元
1	1,2	60,60	44.3	22.7,22.7	0,13.8
2	1,3	60,60	47.7	24.4,24.4	0,16.5
3	1,4	60,60	34.3	17.7,17.7	0,18.5
4	1,2,3	0,60,60	91	46,22.7,24.4	0,13.8,16.5
5	1,3,4	0,60,60	81	41,24.4,17.7	0,16.5,18.5
6	1,2,4	0,60,60	77.7	39.3,22.7,17.7	0,13.8,18.5
7	1,2,3,4	0,60,60,0	91	54.3,14.3,16.0,9.3	0,13.8,16.5,0

(2)短缺成本分析。本研究计算结果分析中救援物资的短缺成本为5元/天,救捞局自身存储救援物资的成本4元/天,民间救助组织存储救援物资的成本为3.1元/天、3.1元/天和3.3元/天。假如救援物资的短缺物资成本为3.5元/天,在其他数据不变情况下,计算出表5所示的结果。

从表3和表5对比可以看出,联合团队8表明救捞局可能有短缺物资策略的选择,因为救捞局自身存储的成本大于短缺物资成本,意味着会意外获取收益。由于救捞局自身成本大于短缺物资成本,当联合团队的存储能力小于救援物资需求总量时,救捞局仍然选择部分短缺,而联合团队1、2、3有短缺情况,表5中各联合团队的收益均等于或大于表4对应联合团队收益,因为自身存储救援物资的收益小于救捞局短缺物资而获取的收益。

分析表5可知,短缺物资成本降低导致了民间救助组织自身机会成本大于联合团队中民间救助组织获取的收益,导致民间救助组织不愿意加入联合团队,救捞局和民间救助组织博弈最终形成合作联合团队8,救捞局选择短缺物资。本研究进一步将救援短缺物资成本降至3元,在其他数据不变的情况下,计算结果如表6所示。当民间救助组织存储成本大于短缺救援物资成本时,联合团队无存在意义,救捞局从实际出发会选择短缺救援物资。

表5 合作方收益结果及成本(短缺成本3.5元)

联合团队编号	合作方	存储物资/盒	短缺物资/盒	总收益/元	合作方收益/元	合作方机会成本/元
1	1,2	60,60	60	69.3	60.2,10.2	0,11.7
2	1,3	60,60	60	72.7	61.9,11.9	0,13.4
3	1,4	60,60	60	59.3	55.2,5.2	0,12.7
4	1,2,3	0,60,60	0	91	71,10.2,11.9	0,11.7,13.4
5	1,3,4	0,60,60	0	81	66,11.9,5.2	0,13.4,12.7
6	1,2,4	0,60,60	0	77.7	64,10.2,5.2	0,11.7,12.7
7	1,2,3,4	0,60,60,0	0	91	73.1,8.1,9.8,3.1	0,11.7,13.4,0
8	1	0	100	51	51	0

表6 合作方收益结果及成本(短缺成本3元)

联合团队编号	合作方	存储物资/盒	短缺物资/盒	总收益/元	合作方收益/元
1	1,2	0,0	100	100	100,0
2	1,3	0,0	100	100	100,0
3	1,4	0,0	100	100	100,0
4	1,2,3	0,0,0	100	100	100,0,0
5	1,3,4	0,0,0	100	100	100,0,0
6	1,2,4	0,0,0	100	100	100,0,0
7	1,2,3,4	0,0,0,0	100	100	100,0,0,0
8	1	0	100	100	100

4 结束语

在救捞局和民间救助组织合作存储救援物资博弈中救捞局始终处于主导地位且收益情况与联合团队的组成有关。民间救助组织有加入和退出选择权,当机会成本小于从联合团队获取的收益时,才积极加入联合团队。若增加民间救助组织的机会成本,民间救助组织则没有期望的收益,可能退出团队,这对救捞局不利,此时救捞局可提供资金、设备和技术支持,提高民间救助组织加入联合团队的积极性。当救捞局存储成本大于短缺物资成本时,救捞局会选择与民间救助组织合作存储;当民间救助组织存储成本大于短缺物资成本时,救捞局会选择短缺物资策略。

参考文献:

- [1]王军.水上救援资源优化配置问题研究[D].大连:大连海事大学,2011.
- [2]丁斌,雷秀,孙连禄.应急物资储备方式选择与成本分摊问题[J].北京理工大学学报(社会科学版),2011(6):73-78.
- [3]Chen T,Huang J. Exploratory research on the system of China relief reserve[J].Systems Engineering Procedia,2012(5):99-106.
- [4]白秋颖,高岩.基于公共突发事件的区域应急物流体系优化建议[J].中国储运,2021(3):140-141.
- [5]刘晋,邹瑞,韩琦,等.基于自适应遗传算法的应急物资储备库选址及物资调配优化研究[J].安全与环境学报,2021(1):295-302.
- [6]李季明.大数据服务平台下的应急响应物资调度优化研究[J].软件导刊,2021(2):7-12.
- [7]张聆晔,吕靖,梁孝,等.考虑多事故点的海上重大事故应急物资优化调度[J].系统工程,2021(4):103-114.
- [8]刘晓佳,汪强,李子木,等.海上船舶溢油事故多物资应急调度问题分析[J].中国航海,2020(4):105-109,140.
- [9]朱小林,陈昌定.海上应急资源调度多目标模型优化[J].中国航海,2019(1):56-62.
- [10]王军,陈金晶,陆永祥,等.基于需求链的海上应急物资协同调度方法研究[J].计算机应用研究,2013(6):1727-1730.
- [11]扈衷权,田军,王鹏,等.政企联合储备模式下应急物资储备及采购定价研究[J].系统工程理论与实践,2020(12):3181-3193.
- [12]刘阳,田军,冯耕中,等.基于期权契约的政企联合储备应急物资模型与利润分配机制研究[J].中国管理科学,2020(8):162-171.

(责任编辑:张 利)

Research on Storage of Marine Rescue Materials by the Joint Team

LI Cheng-hai¹, HU Shen-ping², CUI Jian-hui³, WANG Jian-tao¹

(1. School of Navigation, Shandong Transport Vocational College, Weifang 261206, China;

2. Merchant Marine College, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

3. School of Navigation, Tianjin University of Technology, Tianjin 300191, China)

Abstract: In view of the cooperation mechanism of the joint team of the Rescue and Salvage Bureau and the non-governmental rescue organizations to store rescue materials, the game relationship between the partners of the joint team is analyzed, and the joint team benefit model is constructed. The Shapley cooperative allocation method proposed by Shapley is applied to calculate the benefit and distribution of joint team partners. In addition, the stability of the joint team is analyzed. Through case verification, it is concluded that in the game of joint team storage of rescue materials, the Rescue and Salvage Bureau is in a dominant position, but only to obtain the expected benefit, the non-governmental rescue organizations will join the team; when the storage cost of the Rescue and Salvage Bureau is greater than the cost of the shortage materials, the Rescue and Salvage Bureau chooses to cooperate with non-governmental rescue organizations for storage, otherwise the strategy of shortage materials is chosen.

Key words: storage of rescue materials; joint team; cooperative game; benefit distribution