

中文引用格式:赵晨阳. 面向可持续发展的重大灾害应急资源保障能力评价与实证[J]. 中国安全科学学报, 2026, 36(4): 220–227.

英文引用格式:Zhao Chenyang. Evaluation and empirical research on support capability of emergency resources for major disasters oriented to sustainable development[J]. China Safety Science Journal, 2026, 36(4): 220–227.

面向可持续发展的重大灾害应急资源保障能力评价与实证^{*}

赵晨阳 讲师

(洛阳师范学院 智能交通学院, 河南 洛阳 471934)

中图分类号:X913.4

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2026.04.0991

资助项目:河南省高校人文社会科学研究一般项目(2025-ZZJH-028)。

【摘要】 为突破重大灾害下应急资源存在需求缺口大、保障不充分、供应不及时等引发的不可持续问题,针对传统评价指标未涉及社会和环境持续发展因素,首先,利用三重底线可持续发展理论和文献挖掘法,基于应急资源保障经济能力支撑、应急资源保障社会能力支撑、应急资源保障环境能力支撑3个方面,构建综合评价指标体系;然后,通过专家评价修正原有指标,确定最终选定指标;最后,运用灰色关联分析法构建面向可持续发展的重大灾害应急资源保障能力评价模型,并以河南省为例开展应用,验证模型的科学性和有效性。研究结果表明:在综合考虑经济、社会、环境各方面因素情况下,社会支撑力关联度为0.933 90,对应急资源保障能力影响最大。此外,物流业固定资产投资额、社会组织单位数、医疗卫生机构床位数、地区生产总值等指标排名前列,是推动河南应急资源保障的关键影响因素。

【关键词】 可持续发展; 重大灾害; 应急资源保障能力; 三重底线; 灰色关联分析

Evaluation and empirical research on support capability of emergency resources for major disasters oriented to sustainable development

Zhao Chenyang

(School of Intelligent Transportation, Luoyang Normal University, Luoyang Henan 471934, China)

Abstract: To address the unsustainable problems arising from significant demand gaps, inadequate support, and delayed supply of emergency resources in major disasters, and to tackle the limitation of traditional evaluation indicators that overlook social and environmental sustainability, this study was conducted. Firstly, based on the triple bottom line theory of sustainable development and literature mining method, a comprehensive evaluation index system was constructed from three dimensions: economic support capacity, social support capacity, and environmental support capacity for emergency resource support. Then, the original indicators were revised through expert evaluation to determine the final selected indicators. Finally, the grey relational analysis method was applied to construct an evaluation model for emergency resource support capacity in major disasters oriented towards sustainable development. Taking Henan Province as an example, the model was applied to verify its scientificity and effectiveness. The research shows that, when considering various factors such as economy, society, and environment, the correlation degree of social support is 0.933 90, having the strongest impact on emergency resource

* 文章编号:1003-3033(2026)04-0220-08; 收稿日期:2025-11-25; 修稿日期:2026-02-25

support capacity. In addition, indicators such as fixed assets investment in the logistics industry, the number of social organization units, the number of hospital beds in medical and health institutions, and regional GDP rank among the top, making them key influencing factors driving emergency resource support in Henan Province.

Keywords: sustainable development; major disasters; emergency resource support capability; triple bottom line; grey relational analysis

0 引言

我国在改革开放和社会主义现代化建设方面取得了巨大成就,但发展不平衡、不协调、不可持续等矛盾依旧突出^[1]。其中,在公共安全领域,灾害运作管理水平与社会发展需求不适应、不协调的问题最为显著。在重大灾害应对中,常出现某些区域救援资源扎堆甚至过剩、某些应急资源仍存在较大需求缺口,应急资源供给不及时不准确,应急资源储备不足等问题^[2],从而引发各种社会不可持续问题。这要求在灾害运作管理过程中树立可持续的新安全观,提升应急资源保障能力。

当前,对应急资源保障能力的研究多集中在应急资源供应能力、储备能力和应急资源保障关键因素识别上,如赵烜等^[3]聚焦平时和战时影响应急物资供应链保障因素,利用神经网络模型评估了应急物资保障能力。黄国平等^[4]综合考虑响应、质量、成本、柔性等因素,评价应急物流供应商。王付宇等^[5]以公平性最大、损失最小、成本最低为目标,进一步提高应急资源供应能力。伍佳妮等^[6]指出,提高物资捐赠处理效率和管理水平,可提升应急响应及时性,降低政府在储备周期内的期望成本。张建军等^[7]从灾前物流与生产能力规划和灾期生产运作优化等层面分析、总结应急物资保障的关键性问题。

1987年,世界环境与发展委员会首次提出“可持续性”的概念,此后,越来越多的企业在经营中贯彻“三重底线”发展思维^[8]。众多学者将可持续发展理念应用于学术领域,如Pedroso等^[9]认为,环境、社会等方面的可持续发展是提高其可持续发展能力的关键。卢亚丽等^[10]将可持续发展理论运用到水资源调度中,构建了调水工程可持续供应链韧性研究模型。刘伟华等^[11]聚焦产业链供应链可持续发展,提出了产业链供应链可持续发展评价指标体系。目前,已有学者逐渐认识到可持续发展对应急救援的重要性,王妍妍^[12]考虑到救援效率与社会公平,构建了应急资源区域协同优化配置模型。Cao

Cejun等^[13]从社会、经济、环境3个方面建立多目标优化模型,研究了可持续灾害供应链应急组织配置。发现应急资源保障研究绝大多数是从供应、储备及关键环节等方面展开,评价论文中指标建立多是考虑资源公平性,较少基于三重底线视角(即充分考虑社会、经济、环境3方面因素)研究应急资源保障能力。

鉴于此,笔者拟从可持续发展视角出发,围绕三重底线,提炼和分析应急资源保障能力评价指标,利用灰色关联分析法建立评估模型,并进行实证分析,以期对应急救援可持续发展提供参考,提高各区域应急资源保障能力。

1 应急资源保障能力评价指标体系

在重大灾害下,最大程度提高应急资源保障能力的可持续性,对应急救援与应急响应决策中起到举足轻重的作用。三重底线是实现应急资源保障能力可持续发展的前提,因此,需要综合考虑三重底线原则,全面合理地建立评价指标体系。鉴于此,以三重底线原则为基础,从经济因素、社会因素、环境因素3个维度出发,借鉴刘伟华等^[11]在文献分析基础上给出评价指标体系,并综合专家调研访谈结果设计指标体系的方法,来构建应急资源保障能力可持续发展评价指标。

1.1 基于文献视角构建指标体系初步框架

1.1.1 应急资源经济支撑能力

1) 地区生产总值。高的地区生产总值通常意味着可为相关基础设施和应急物资储备提供资金保障^[14]。从而提升重大灾害下应急资源保障能力。

2) 应急物资储备支出。对应急物资储备支出界定聚焦于狭义范畴,特指粮油物资储备支出^[15]。粮油物资储备支出是国民经济核算体系中重要的基础民生类储备项目,其支出规模能够客观反映在应对重大灾害时战略物资的保障水平,符合对于应急物资储备能力评估需求。

3) 物流业固定资产投资额。交通运输、仓储和邮政业固定资产投资额是经济支撑的“硬”基础^[16]。通过完善基础设施、增强保障能力、优化技

术应用和网络协同,能够显著提升突发事件的响应速度和资源调配效率。

4) 城乡居民人均可支配收入。国防减救办在《进一步加强应急抢险救灾物资保障体系和能力建设的指导意见》明确指出鼓励家庭储备。可支配收入越高,家庭应急资源保障能力越强^[17]。

1.1.2 应急资源社会支撑能力

1) 应急物流人员数量。应急物流需要专业的管理人员、技术人员和操作人员,其数量和质量直接决定了应急资源调配的高效快速运行^[18]。考虑到数据的可获得性,打造具有“平时服务、急时应急”双重功能的现代物流运行体系,选取物流业就业人员数量作为参考数据。

2) 医疗卫生机构床位数。充足床位数直接决定了在突发事件中医疗系统最大收治能力^[19]。灾害发生后,各地往往通过快速扩充定点医院床位和建设方舱医院,来缓解医疗资源紧缺问题,进而减轻应急资源保障负担,降低社会群体事件发生。且床位数与患者密切相关,床位量可帮助预判医疗物资需求量,优化应急物资储备和运输投送优先级。

3) 交通运输一般公共预算支出。政府在应急资源保障社会基础建设中扮演着重要角色^[20]。交通运输一般公共预算支出体现了政府通过提供资金支持,协调各方资源,强化社会基础建设,可推动应急资源保障可达性。

1.1.3 应急资源环境支撑能力

1) 新能源汽车保有量。新能源货运汽车在终端污染物排放和能源多样性方面优势显著。目前研究中,姜浩^[21]得出新能源汽车试点政策能促进城市减污降碳。张浩然^[22]发现新能源汽车销量增加促进PM2.5指数显著下降8.26%。且当汽油供应链中断时,新能源汽车可通过分布式充电桩或移动储

能设备维持运行,其保有量对应急环境具有重要支撑作用。

2) 物流业碳排放量。借鉴焦志伦等^[23]提到的方法,将交通运输、仓储和邮政业碳排放量作为物流业碳排放量。此外,目前碳排放数据的获得主要有3种方法:①根据活动清单;②直接监测大气浓度;③通过遥感技术直接获取。联合国政府间气候变化专门委员会清单法规定不同行业或单位的主要碳排放源,并构建子目录,按照能耗排放系数测算各碳排放源的排放量^[23]。文中采用当前最广泛的根据清单测算方法获取数据。

3) 物流业绿色技术水平。即同一地区能源消耗量/物流业增加值,用物流业单位增加值能耗水平表示^[23]。单位产值综合能耗为综合能耗与增加值的比值,单位通常为千克标准煤每万元(kgce/万元)^[24]。文中采用的综合能耗计算方式与国标《综合能耗计算通则》保持一致。

综上,结合三重底线对所得指标的分类,构建基于文献视角的评价指标的初步框架。

1.2 基于专家访谈的指标体系改进

1.2.1 修正指标

在初步框架基础上,对专家进行调研访谈,根据访谈结果进一步修正指标。邀请8位应急领域经验丰富的专家,通过一对一访谈的方式,收集1.1节所提到的应急资源保障能力可持续发展评价指标的真实评价数据,鉴别和修正指标。访谈过程中,若某一指标得到5位及以上(即半数以上)专家认同,则认为指标是重要的,将指标列入指标体系;如果有专家认为需要新增一项评价指标,且该指标得到半数以上专家认同,则可新增到指标体系中。通过专家识别得到的结果见表1。

表 1 专家访谈结果
Table 1 Results of expert interviews

专家评价指标		专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	专家 7	专家 8
应急资源经济支撑力	地区生产总值	√	√	√	×	√	√	√	×
	应急物资储备支出	×	√	√	√	×	√	√	√
	物流业固定资产投资额	√	√	√	√	√	×	√	×
	城乡居民人均可支配收入	√	√	×	×	×	×	√	×
应急资源社会支撑力	应急物流人员数量	√	√	√	√	√	√	√	√
	医疗卫生机构床位数	√	√	×	√	√	×	√	√
	交通运输一般公共预算支出	×	×	√	×	×	√	×	√
应急资源环境支撑能力	新能源汽车保有量	√	×	√	√	√	√	√	×
	物流业碳排放量	√	√	√	×	√	√	×	√
	物流业绿色技术水平	√	√	√	√	√	√	×	√

注:“√”表示专家认同该指标;“×”表示专家不认同该指标。

1.2.2 补充指标

在调研过程中,专家对指标作了补充,认为社会组织在应急资源保障中起到重要作用。社会组织为法律法规登记的社会团体、基金会和社会服务机构^[25]。事实上,社会组织在应急救援中扮演着重要角色,尤其在资源整合、协调响应和社会动员等方面具有不可替代的作用。且在《关于进一步推进社会应急力量健康发展的意见》中进一步强调了社会组织的应急管理中不可或缺性。经过新一轮调研访

谈,该项指标均得到 5 位及以上专家的认同,因此可将其纳入指标体系。

1.2.3 专家反馈

调研访谈结果表明:4 个应急资源经济支撑力因素中有 3 个得到认可;3 个应急资源社会支撑力因素中有 2 个得到认可,可淘汰交通运输一般公共预算支出,新增社会组织数量。3 个应急资源环境支撑力因素一致通过。最终选定指标如图 1 所示。

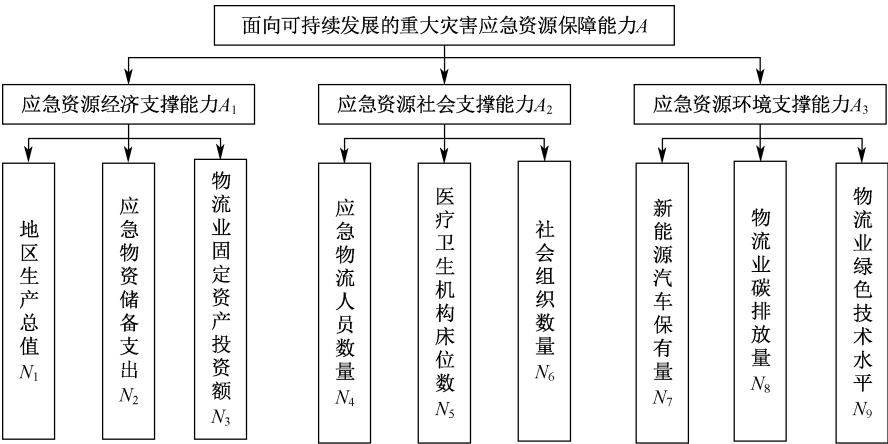


图 1 最终确定评价指标体系

Fig. 1 Finalized evaluation indicator system

2 能力评价模型与实证研究

2.1 应急资源保障能力评价模型适配性分析

目前,因子分析、回归分析是常见的数理统计分析方法,但这些方法往往具有数据量大、样本服从概率分布等特点。邓聚龙于 20 世纪 80 年代提出灰色系统理论后,该理论被广泛应用。灰色关联分析法是利用已知信息确定未知信息,对样本量无严格要求,不需服从任何分布,利用历年有关统计数据列集合关系比较,曲线越接近,关联度就越大,反之越小^[26]。

应急资源保障能力其本身不是单一化指标,需结合可持续发展的 3 个层面综合研究。但在实际调查中,数据获取难度较大。部分数据因涉及国家安全问题,会出现获取困难或统计不完全的情况,数据存在固有缺陷,不适合使用常规数理统计分析方法。灰色关联度适合数据量较少或数据质量较差的时候使用,其通过比较多个指标来确定关键性因素。适用于传统统计方法难以应对的“贫信息”场景。此外,灰色关联度分析法能够解决多个指标之间的影响因素不确定性问题,在实际中易于操作,降低分析难度。因此,尝试运用灰色关联分析法评价研究重

大灾害下应急资源保障能力。

2.2 灰色关联分析评价模型

2.2.1 确定序列

参考序列即反映系统行为特征或发展的数据序列;比较序列即影响系统发展的因素组成的数据序列。设 x_0 为参考序列, x_i 为比较序列, k 为评级对象,共 n 个, i 为评价指标,共 m 个,则:

$$x_0 = \{x_0(k) \mid k = 1, 2, \cdots, n\} \tag{1}$$

$$x_i = \{x_i(k) \mid k = 1, 2, \cdots, n; i = 1, 2, \cdots, m\} \tag{2}$$

式中: $x_0(k)$ 为参考序列第 k 个评级对象值; $x_i(k)$ 为比较序列中指标 i 的第 k 个评级对象值。

2.2.2 无量纲化处理

母序列与子序列量纲若不一致,原始指标数据缺乏直接可比性,需进行标准化处理,减小异常数据的干扰,转变成能够直接比较数据。无量纲化处理方法有均值法、初值法等。文中选取初值法处理:

$$x'_i(k) = \frac{x_i(k)}{x_i(1)} (k = 1, 2, \cdots, n; i = 1, 2, \cdots, m) \tag{3}$$

式中: $x'_i(k)$ 为比较序列中指标 i 的第 k 个评级对象无量纲值; $x_i(1)$ 为比较序列中指标 i 的第 1 个评

级对象值,参考序列无量纲化方法与其相同。

2.2.3 计算差序列

根据处理结果,将两者的数据作差,得到差序列:

$$\Delta_i(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)| \tag{4}$$

式中: $\Delta_i(k)$ 为比较序列中指标 i 的第 k 个评级对象差序列; $x'_0(k)$ 为参考序列第 k 个评级对象无量纲值。

2.2.4 计算极差

即差序列中的最大值与最小值, P 为最大绝对差值, Q 为最小绝对差值:

$$P = \max_i(\max_k(|x'_0(k) - x'_i(k)|)) \tag{5}$$

$$Q = \min_i(\min_k(|x'_0(k) - x'_i(k)|)) \tag{6}$$

2.2.5 计算关联系数

利用灰色关联度公式计算关联系数。其中, ρ 为调节关联系数的一个重要参数,在 $[0,1]$ 内取值,通常取 $\rho=0.5$ 。

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x'_0(k) - x'_i(k)| + \rho \cdot \max_i \max_k |x'_0(k) - x'_i(k)|}{|x'_0(k) - x'_i(k)| + \rho \cdot \max_i \max_k |x'_0(k) - x'_i(k)|} \tag{7}$$

式中 $\zeta_i(k)$ 为指标比较序列 i 的第 k 个评级对象与参考序列关联系数值。

2.2.6 计算灰色关联度并排序

求关联系数平均值。 $\gamma(x_0, x_i)$ 为第 i 个比较序列和参考序列之间的关联度。同时对关联度排序,关联度越大,其影响越大。

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \tag{8}$$

2.3 实证研究

河南省气候存在季节性明显、雨热同期特点,是中国自然灾害高发地之一。2021 年 7 月 17 日—23 日,河南发生严重洪涝灾害。全省共 150 个区县(市)1 478.6 万人受灾,直接经济损失达 1 200.6 亿元。此次灾害暴露出河南应急资源保障存在资源分配失衡、可达性差等问题。文中以河南为实证对象,研究其应急资源保障可持续发展情况。

1) 确定序列。母序列作为参考指标,能够反映动态特征;子序列由多维因素构成。将 1.2.3 节最终确定的 9 类评价指标作为比较序列。通过河南统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国物流年鉴》等文献获取 2018—2023 年评价指标数据。采取 2018—2023 年河南省社会物流总额来作为参考序列,记为 N_0 。河南省社会物流总额可综合反映物流规模,涵盖范围较为广泛,包括农产品、工业品、再生资源等,与应急资源等方面直接相关,且能体现物流系统对突发事件的承受能力。

2) 无量纲化处理。因参考序列与比较序列量纲不一致,原始指标数据缺乏直接可比性,需作标准化处理,减小异常数据干扰,转变成能够直接比较的数据,选取初值法处理。通过式(3)处理后得到新的序列组,见表 2。

3) 计算差序列。根据处理后的结果,将两者的数据作差,得出差序列,通过式(4),求出两者之间的绝对值,见表 3。

表 2 无量纲化处理

Table 2 Dimensionless processing

名称	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
N_0	1.000 0	1.129 4	1.227 1	1.371 3	1.437 9	1.427 1
N_1	1.000 0	1.075 7	1.086 6	1.162 9	1.165 9	1.184 2
N_2	1.000 0	0.989 6	1.499 4	0.858 2	0.883 9	0.893 3
N_3	1.000 0	1.048 0	1.224 1	1.265 7	1.404 9	1.775 8
N_4	1.000 0	1.048 3	1.071 2	1.000 0	0.9211	0.913 5
N_5	1.000 0	1.051 9	1.096 5	1.185 4	1.2362	1.277 6
N_6	1.000 0	1.092 9	1.176 3	1.239 6	1.2590	1.244 5
N_7	1.000 0	1.388 9	2.001 4	3.636 2	5.8321	2.771 4
N_8	1.000 0	0.991 5	1.022 2	1.105 9	1.1910	1.062 1
N_9	1.000 0	0.925 9	1.018 5	0.925 9	0.8704	0.944 4

4) 计算极差。即差序列中的最大值与最小值,从表 3 中可以看出, P 为 4.394 1, Q 为 0。

5) 计算关联系数。 $\rho = 0.5$, 根据 P 、 Q 数值,结合关联系数计算式(7),求出关联系数,见表 4。

6) 计算灰色关联度并排序。由式(8)求得关联系数平均值,得到灰色关联度,并依照关联度进行排序,关联度及排序见表 5。

表 3 差序列所得值

Table 3 Value obtained from the difference sequence

差序列	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
$ \Delta_1 $	0.000 0	0.053 6	0.140 5	0.208 4	0.272 0	0.242 9
$ \Delta_2 $	0.000 0	0.139 7	0.272 3	0.513 1	0.554 1	0.533 8
$ \Delta_3 $	0.000 0	0.081 4	0.003 1	0.105 6	0.033 0	0.348 7
$ \Delta_4 $	0.000 0	0.081 0	0.155 9	0.371 3	0.516 8	0.513 6
$ \Delta_5 $	0.000 0	0.077 4	0.130 7	0.185 9	0.201 8	0.149 5
$ \Delta_6 $	0.000 0	0.036 4	0.050 9	0.131 8	0.178 9	0.182 6
$ \Delta_7 $	0.000 0	0.259 5	0.774 3	2.264 9	4.394 1	1.344 3
$ \Delta_8 $	0.000 0	0.137 8	0.204 9	0.265 4	0.246 9	0.365 0
$ \Delta_9 $	0.000 0	0.203 4	0.208 6	0.445 4	0.567 6	0.482 7

表 4 关联系数所得值

Table 4 Value obtained from correlation coefficient

关联系数	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
ξ_1	1.000 0	0.976 2	0.939 9	0.913 4	0.889 8	0.900 4
ξ_2	1.000 0	0.940 2	0.889 7	0.810 7	0.798 6	0.804 5
ξ_3	1.000 0	0.964 3	0.998 6	0.954 1	0.985 2	0.863 0
ξ_4	1.000 0	0.964 4	0.933 8	0.855 4	0.809 6	0.810 5
ξ_5	1.000 0	0.966 0	0.943 9	0.922 0	0.915 9	0.936 3
ξ_6	1.000 0	0.983 7	0.977 4	0.943 4	0.924 7	0.923 3
ξ_7	1.000 0	0.894 4	0.739 4	0.492 4	0.333 3	0.620 4
ξ_8	1.000 0	0.941 0	0.914 7	0.892 2	0.899 0	0.857 5
ξ_9	1.000 0	0.915 3	0.913 3	0.831 4	0.794 7	0.8199

表 5 关联度及排序

Table 5 Correlation and sorting

关联度	平均值	排序	关联度均值
γ_1	0.936 61	4	0.923 81
γ_2	0.873 96	8	
γ_3	0.960 87	1	
γ_4	0.895 62	6	0.933 90
γ_5	0.947 33	3	
γ_6	0.958 74	2	
γ_7	0.679 98	9	0.825 49
γ_8	0.917 40	5	
γ_9	0.879 10	7	

2.4 数据分析

一般将大于 0.7 的指标叫高关联指标。结果显示:有 8 个指标高于 0.7。其从大到小排序是物流业固定资产投资额、社会组织数量、医疗卫生机构床位数、地区生产总值、物流业碳排放量、应急物流人员数量、物流业绿色技术水平、应急物资储备支出。从经济、社会、环境支撑力 3 个方面分析关联结果,得出社会层面的影响最为明显。

经济支撑力方面,影响河南省应急资源保障能力关联度最高的因素是物流业固定资产投资额(0.960 87),其次为地区生产总值(0.936 61)。经济的提升代表着可以直接转化为应急物流的专项资

金投入。通过完善应急基础设施,建设具有“平时服务、急时应急”双重意义的物流基础至关重要。

社会支撑力方面,关联度最高的是社会组织数量(0.958 74),接着是医疗卫生机构床位数(0.947 33)和应急物流人员数量(0.895 62)。社会组织的加入意味着有更多资源和人员可被调动。可充分发挥在某一领域的专业知识和经验,助力应急救援行动中去。同时还可发挥一定的监督和管理作用,促进应急物流体系的完善。

环境支撑力方面,排序靠前的是物流业碳排放量(0.917 40)。近年来,双碳目标的提出对物流业碳排放量具有一定约束,这直接推动了应急物流绿色转型。倒逼物流业智能化应用,例如新能源运输车辆使用等,为物流行业绿色转型开辟新路径。

2.5 对策建议

2.5.1 完善社会资源储备

应急救援作为一种超常规活动,单纯依赖政府力量难以持续保障长效运转。要满足“全灾种、大应急”的应急资源保障需求,需依托于政府统筹协调功能,动员社会组织参与应急资源保障工作。不断拓宽应急资源多元保障渠道,在不断强化实物储备基础上,创新产能储备、协议储备、社会储备等保障方式,优化资源储备结构。积极鼓励和引导社会

组织、家庭、个人等参与应急物资保障。依法引导社会组织捐赠活动,有序参与应急救援,推动社会应急力量从“数量扩张”向“质量提升”转变。支持社区和居民家庭进行必要资源储备。

2.5.2 提升资源调配能力

依托物流数据开放互联试点等政策优势,建设应急资源信息平台,打通制造业、商贸业等货主企业与政府部门、物流企业等业务系统数据,联合周边地区,实时监控资源的状态、类型、数量等信息,实现储备资源的统一管理,推动应急物资保障的资源共享和供需匹配。探索与大型物流、仓储企业合作机制,促进政府与社会物流、多种运输方式的有效衔接,提升资源集中储备、高效分配、快速集散能力。建立应急资源绿色通道,强化应急资源跨区域通行和优先保障机制,确保应急资源快速运输。

2.5.3 强化绿色技术推广

在“双碳战略”提出后,国家对生态环境的保护也愈发重视。深化应急领域节能减排,推动新技术和新设备的研发应用,推广使用循环包装,促进包装量化和再利用。采用新能源汽车等节能运输工具,减少运输过程中的燃油消耗,从而减少二氧化碳

排放量。利用互联网技术等现代化技术手段,计算更合理的运输路线,减少空驶和拥堵,提高应急资源的运输效率。推动应急物资生产企业强化绿色节能和低碳管理,推广合同能源管理模式,积极开展节能诊断。

3 结 论

1) 从三重底线可持续发展理论出发,构建包括应急资源保障经济能力支撑、应急资源保障社会能力支撑、应急资源保障环境能力支撑 3 方面的初步框架评价指标。通过专家评价修正原有指标,确定最终选定指标,得出 3 个一级指标,9 个二级指标的应急资源保障能力评价体系。

2) 根据应急资源保障的特点,选用灰色关联分析法,并以河南省为例进行重大灾害应急资源保障能力评价研究。通过计算得出经济、社会、环境 3 方面的综合关联度分别为 0.923 81、0.933 90、0.825 49,表明应急资源社会支撑能力最强。此外,物流业固定资产投资额、社会组织单位数、医疗卫生机构床位数、地区生产总值等指标排名前列,是推动河南应急资源保障的关键影响因素。

参 考 文 献

- [1] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗:在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告 [EB/OL]. (2022-10-16). https://www.mofcom.gov.cn/ddesdjsxxpt/wjhb/art/2022/art_38e47fd795f3490a96a7362ed21accab.html.
- [2] 张毅. 考虑需求缺口的应急物资分配机理及运作模式[J]. 中国流通经济, 2021, 35(9): 32-42.
Zhang Yi. Mechanism and operation mode of emergency material distribution with the consideration of demand insufficiency[J]. China Business and Market, 2021, 35(9): 32-42.
- [3] 赵旭, 彭本红, 郑超予. 平战结合的应急物资供应点保障能力的评估[J]. 数学的实践与认识, 2025, 55(5): 259-272.
Zhao Xuan, Peng Benhong, Zheng Chaoyu. Evaluation of the support capability of emergency supplies supply points combining peacetime and wartime[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2025, 55(5): 259-272.
- [4] 英国平, 雷皓翔. 基于云-TOPSIS 法的应急物流供应商综合评价[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(2): 217-224.
Huang Guoping, Lei Haoxiang. Comprehensive evaluation of emergency logistics suppliers based on cloud TOPSIS method [J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(2): 217-224.
- [5] 王付宇, 丁杰, 汪和平, 等. 灾后模糊需求情境下考虑救援公平性的应急物资调度问题模型与算法研究[J]. 管理工程学报, 2023, 37(3): 159-168.
Wang Fuyu, Ding Jie, Wang Heping, et al. Model and algorithm for emergency supply scheduling problem considering rescue fairness under a fuzzy demand situation after a disaster[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2023, 37(3): 159-168.
- [6] 伍佳妮, 刘之敬, 王莹. 期权契约机制下考虑社会捐赠的应急物资混合储备决策 [J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(7): 225-232.
Wu Jiani, Liu Zhijing, Wang Ying. Hybrid reserve decision-making for emergency supplies considering social donations under option contract mechanism[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(7): 225-232.
- [7] 张建军, 周一卓, 霍佳震. 多组织多阶段视角下重大疫情应急物资保障的关键问题与对策探讨 [J]. 江西财经大学学报, 2022(3): 13-24.
Zhang Jianjun, Zhou Yizhuo, Huo Jiazhen. The key issues of the guarantee of emergency supplies against major epidemics and countermeasures from the perspectives of multi-organizations and multi-stages[J]. Journal of Jiangxi University of Finance and Economics, 2022(3): 13-24.
- [8] Elkington J. Partnerships from cannibals with forks: the triple bottom line of 21st-century business[J]. Environmental Quality Management, 1998, 8(1): 37-51.
- [9] Pedrosa C B, Tate W L, Silva A L D, et al. Supplier development adoption: a conceptual model for triple bottom line (TBL) outcomes[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 314: DOI: 10.1016/j.jclepro. 2021.127886.
- [10] 卢亚丽, 樊林芳. 水资源调度数字化对调水工程可持续供应链韧性的影响机制研究[J/OL]. 系统工程理论与实

- 践: 1-28. [2026-02-28]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2267.N.20250605.1434.002>.
- Lu Yali, Fan Linfang. Research on the impact mechanism of water resource scheduling digitalization on the resilience of sustainable supply chains in water diversion projects[J/OL]. Systems Engineering-Theory & Practice; 1-28. [2026-02-28]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2267.N.20250605.1434.002>.
- [11] 刘伟华, 陈晓红, 卢春芳, 等. 产业链供应链可持续发展的评价指标体系设计研究[J]. 工程管理科技前沿, 2024, 43(2): 1-9.
- Liu Weihua, Chen Xiaohong, Lu Chunfang, et al. Research on the design of evaluation index system for sustainable development of industrial chain and supply chain[J]. Frontiers of Science and Technology of Engineering Management, 2024, 43(2): 1-9.
- [12] 王妍妍. 重大突发公共卫生事件应急资源区域协同优化配置研究[J]. 统计与决策, 2023, 39(20): 179-183.
- [13] Cao Cejun, Li Congdong, Yang Qin, et al. Multi-objective optimization model of emergency organization allocation for sustainable disaster supply chain[J]. Sustainability, 2017, 9(11): DOI:10.3390/su9112103.
- [14] 林鹏, 杨晓辉, 郭子雪. 物流产业升级能力评价的改进 TOPSIS 方法及应用研究[J]. 当代经济管理, 2020, 42(11): 24-28.
- Lin Peng, Yang Xiaohui, Guo Zixue. Evaluation of upgrading capacity of logistics industry based on improved TOPSIS method[J]. Contemporary Economic Management, 2020, 42(11): 24-28.
- [15] 王伟, 石雨欣, 宋月, 等. 暴雨-滑坡灾害链应急能力评估: 以粤港澳大湾区为例 [J]. 自然灾害学报, 2024, 33(4): 95-105.
- Wang Wei, Shi Yuxin, Song Yue, et al. Emergency capability assessment of the rainstorm-landslide disaster chain: taking the guangdong-hong kong-macao greater bay area as an example[J]. Journal of Natural Disasters, 2024, 33(4): 95-105.
- [16] 李林汉, 岳一飞, 田卫民. 基于 PCA 与 Markov 残差灰色模型的京津冀物流能力评价和预测[J]. 北京交通大学学报: 社会科学版, 2019, 18(2): 129-142.
- Li Linhan, Yue Yifei, Tian Weimin. Principal component analysis and markov residual grey based evaluation and prediction of logistics capabilities of beijing, tianjin and hebei[J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2019, 18(2): 129-142.
- [17] 郑学召, 张心怡, 童鑫, 等. 陕西省突发公共卫生事件应急能力评价[J]. 西安科技大学学报, 2025, 45(2): 211-223.
- Zheng Xuezhao, Zhang Xinyi, Tong Xin, et al. Evaluation of emergency response capacity of public health emergencies in Shaanxi Province[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2025, 45(2): 211-223.
- [18] 朱芳阳, 谭保华, 王婷婷. 生态位视角下区域物流产业竞争力评价: 以“一带一路”重点省份为例 [J]. 经济与管理, 2019, 33(1): 30-35.
- Zhu Fangyang, Tan Baohua, Wang Tingting. Competitiveness evaluation of regional logistics industry from the perspective of niche [J]. Economy and Management, 2019, 33(1): 30-35.
- [19] 陈恒, 祁宪超, 张妍. 我国区域应急物流反应能力对经济增长的影响效应[J]. 灾害学, 2024, 39(3): 139-147, 172.
- Chen Heng, Qi Xianchao, Zhang Yan, The impact of china's regional emergency logistics response capability on economic growth[J]. Journal of Catastrophology, 2024, 39(3): 139-147, 172.
- [20] 薛阳, 郭世乐, 冯银虎. 长江经济带数字物流与物流高质量发展[J]. 华东经济管理, 2024, 38(3): 23-34.
- Xue Yang, Guo Shile, Feng Yinhu. Coupling and coordination of digital logistics and high-quality logistics development in the Yangtze river economic belt[J]. East China Economic Management, 2024, 38(3): 23-34.
- [21] 姜浩, 邓峰. 新能源汽车试点政策能否助力城市减污降碳协同增效? [J]. 经济经纬, 2025, 42(6): 89-102.
- Jiang Hao, Deng Feng. Can the pilot policy for new energy vehicles help cities achieve synergistic effects in pollution reduction and carbon emission reduction? [J]. Economic Survey, 2025, 42(6): 89-102.
- [22] 张浩然. 新能源汽车对城市空气污染的影响及异质效应[J]. 科技管理研究, 2023, 43(24): 180-187.
- Zhang Haoran. The influence and heterogeneous effects of new energy vehicles on urban air pollution[J]. Science and Technology Management Research, 2023, 43(24): 180-187.
- [23] 焦志伦, 李雯雯, 刘秉谦. 数字经济发展必然减少行业碳排放吗? 来自物流业的新证据[J]. 南开经济研究, 2024(6): 110-128.
- Jiao Zhilun, Li Wenwen, Liu Binglian. Will digital economy reduce industrial carbon emissions? new evidence from China's logistics industry[J]. Nankai Economic Studies, 2024(6): 110-128.
- [24] GB/T 2589—2020 综合能耗计算通则[S].
- GB/T 2589—2020 General rules for calculation of the comprehensive energy consumption[S].
- [25] 徐明, 徐东华. 应急管理对突发公共卫生事件防控质量影响研究: 基于 31 个省际面板数据分析 [J]. 宏观质量研究, 2023, 11(3): 95-104.
- Xu Ming, Xu Donghua. Research on the impact of emergency management capability on the quality of prevention and control of public health emergencies: analysis based on 31 provincial panel data[J]. Journal of Macro-Quality Research, 2023, 11(3): 95-104.
- [26] 谭学瑞, 邓聚龙. 灰色关联分析: 多因素统计分析新方法 [J]. 统计研究, 1995(3): 46-48.



作者简介: 赵晨阳 (1993—), 女, 河南济源人, 硕士, 讲师, 主要从事应急物流、可持续供应链、供应链安全等方面的研究。E-mail: 573987662@qq.com。