



突发公共卫生事件下高速公路应急能力影响因素分析

杨文安*, 龙向阳, 黎志梅

长沙理工大学 交通运输工程学院, 长沙 410114

摘要: 通过文本挖掘、德尔菲法与专家访谈等方式, 识别并提炼出包含高速公路应急预备能力、高速公路应急响应能力、高速公路应急恢复能力三大类 17 个突发公共卫生事件下高速公路应急能力影响因素, 并构建基于序关系-熵权法-决策实验和评价试验 (G1-EW-DEMATEL) 法的影响因素分析模型。通过 G1-EW 主客观赋权法计算得到因素组合权重, 再根据因素之间的全局权重比值构建 DEMATEL 直接影响矩阵和综合影响矩阵, 计算各因素的中心度和原因度, 进而确定了防控信息公开、应急救援指挥与协调、车辆运营恢复、应急物资储备和绿色应急通道设置 5 个关键影响因素, 并提出相应的应对措施。研究成果可以为突发公共卫生事件下开展高速公路应急工作提供新思路, 提升高速公路应急能力。

关键词: 突发公共卫生事件; 高速公路; G1-EW-DEMATEL 法; 应急能力

中图分类号: X928.03

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2025)04-0461-14

引言

近年来, 国内外出现的各类公共卫生事件对人类生命健康和财产安全带来了巨大威胁。一旦暴发公共卫生事件, 将导致各类应急救援物资需求量的急剧增加。在有限人力、物力以及时间限制下, 如何保障应急医疗物资运输和防止公共卫生事件扩散是解决问题的关键。《加快建设交通强国五年行动计划(2023—

2027 年)》^[1]中指出: 要加强交通运输调度指挥系统和应急救援能力建设, 有效提高防灾、减灾、救灾和重大突发公共事件处置保障能力。高速公路是国家交通运输骨干, 在突发公共卫生事件中起着重要的运输作用, 但高速公路上来往人员接触史比较复杂、涉及范围广泛, 容易导致突发公共卫生事件的扩散^[2]。基于此, 提升突发公共卫生事件下高速公路应急能力具有十分重要的现实意义。突发公共卫生事件下高速公

收稿日期: 2024-03-01; **修回日期:** 2024-04-08

作者简介: *杨文安 (1972—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为工程项目管理等。E-mail: 2229274826@qq.com (通讯作者)

龙向阳 (1999—), 男, 硕士研究生, 研究方向为工程项目管理等。

黎志梅 (1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为工程项目管理等。

引用格式: 杨文安, 龙向阳, 黎志梅. 突发公共卫生事件下高速公路应急能力影响因素分析[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2025, 17(4): 461-474. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20240019. CSTR: 32282.14.JES.20240019

YANG W A, LONG X Y, LI Z M. Analysis of Factors Affecting Highway Emergency Response Capacity under Public Health Emergencies[J]. Journal of Engineering Studies, 2025, 17(4): 461-474. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20240019

路应急能力是指高速公路在应急救援物资运输、防止突发公共卫生事件扩散和促进复工复产等方面的能力。

在面对突发公共卫生事件时,我国在某些方面的工作依然存在不足。蔡健平等^[3]指出,在突发公共卫生事件时,医疗物资运输供应得不到准确的保证;张伟静等^[4]指出地方政府强化风险规避意识,导致对一些非高危地区采取非常规管控,应急联动更是呈现出虚化,协调机制不够完善,以致公共卫生事件不能及时有效地得到控制和解决,亟需进一步改善。目前,国内外学者聚焦于突发公共卫生事件下的应急物资救援能力研究:Xia等^[5]为提高突发公共卫生事件中医疗物资周转能力,提出了一种基于人工算法的大规模应急医疗物资调度(EMSS)算法。Chai等^[6]为提高应急物资运输效率,提出了一种基于救援路线行程时间估计的交通应急物资调度方法。胡晓伟等^[7]为了提升在突发公共卫生事件中应急医疗物资运输分配能力,构建了以加权的需求满足率最大化、车辆行驶距离最小化为双目标的应急医疗物资动态分配模型。可以发现上述研究主要从应急物资运输与调度视角出发,对于提升高速公路应急运输能力具有一定的帮助,但突发公共卫生事件后,还要防止卫生事件扩散,保障高速公路的正常通行。刘昱岗等^[2]为了防止突发公共卫生事件扩散,首次提出了出入口关闭控制结合识别点的两阶段高速公路交通控制方案,保障高速公路能够正常运行。郭研等^[8]聚焦于国家颁布的高速公路免费通行政策研究,发现该政策可以促进突发公共卫生事件下的复工复产工作。以上研究主要停留于在突发公共卫生事件背景下提升高速公路某一方面的应急能力研究,而没有综合考虑高速公路关于事前预防、事中响应和事后恢复等各阶段应急能力提升研究。突发公共卫生事件中的高速公路应急能力是应急救援物资运输,防止突发公共卫生事件扩散和促进复工复产等各方面的一个综合能力体现,其能力提升受到公共卫生事件各阶段内容的影响,但目前在这方面的研究相对缺乏。学者们更多关注于突发自然灾害事件背景下的研究,并指出要提升自然灾害下高速公路应急能力,就必须建立科学合理的高速公路应急能力评价指标^[9-11]。而突发公共卫生事件不同于自然灾害事件,其具有扩散性、应急物资的特殊性、信息不确定性等

因素影响^[12],这些因素使得公共卫生事件与自然灾害事件的应急工作内容存在一定程度的差异。而现有研究并没有深入分析这些影响因素以及因素之间的关系,对于提升突发公共卫生事件下的高速公路应急能力难以得出其有效的优化方向,因此要从根源上提升突发公共卫生事件下高速公路的应急能力,可以在自然灾害背景基础上结合公共卫生事件的特点对高速公路应急能力影响因素进行深入研究分析。

对于现有因素分析模型研究而言,大部分学者倾向于采用决策实验和评价试验法(DEMATEL法)进行研究分析,如Alam等^[13]运用DEMATEL法研究COVID-19疫苗供应链面临的挑战;孙逸林等^[14]采用DEMATEL法分析重大燃气管道泄露爆炸事故组织的因素。这些研究得到了不错的成果,但是突发公共卫生事件涉及内容广泛,影响因素关系复杂,仅采用DEMATEL法,专家在判断时可能会出现误差。为了完善这一不足,本文引入基于序关系-熵权法(G1-EW法)的主客观组合权重法^[15],来构建DEMATEL的直接影响矩阵进行研究。

基于此,本文基于文本挖掘、德尔菲法与专家访谈法识别和提炼出相关因素,并构建了序关系-熵权法-决策实验和评价试验(G1-EW-DEMATEL)法对突发公共卫生事件下高速公路应急能力影响因素进行分析,从而掌握关键影响因素,为在突发公共卫生事件后提升高速公路应急能力提供参考。

1 突发公共卫生事件下高速公路应急能力影响因素分析

1.1 高速公路应急能力与划分

应急能力是指面对突发事件时,能够快速高效地做出应急决策,组织开展应急救援工作,尽可能减少事件造成的损失和影响。在面对突发公共卫生事件时,高速公路应急能力主要体现在事前的日常预防能力,事中的应急响应和处置能力以及事后的应急恢复能力。结合应急管理的预防、准备、响应、恢复4个阶段^[16],可将突发公共卫生事件下高速公路应急能力分为高速公路应急预备能力、高速公路应急响应能力、高速公路应急恢复能力,如图1所示。

1.1.1 高速公路应急预备能力 高速公路应急预备能

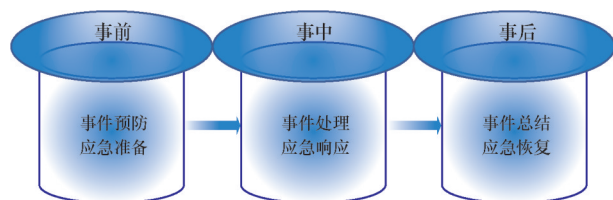


图1 突发公共卫生事件各阶段涉及的高速公路应急能力
Figure 1 Emergency capabilities of highways involved in various stages of sudden public health emergencies

力主要是关于事前预防工作,针对于突发公共卫生事件的突发性和不可预测性等特点,提前做好应急预案和储备应急物资等工作,确保能够在事件发生之后快速有效地开展高速公路应急工作,保障运输能力。

1.1.2 高速公路应急响应能力 高速公路应急响应能力对应于事中阶段的应急响应与处置工作,主要是指保障应急物资、重症病人、日常生活物资运输以及满足人们日常通行的能力。与此同时,针对于突发公共卫生事件的扩散性特点,高速公路各部门应当相互协调,采取交通管控措施,防止卫生事件的进一步扩散,控制事件影响范围。

1.1.3 高速公路应急恢复能力 高速公路应急恢复能力是指在突发公共卫生事件结束时,通过相应措施和政策来恢复高速公路正常运行状态的能力。随着事件结束,相应的交通措施应当解除,并积极采取复产政策,恢复正常的客货运工作,促进复工复产,推动社会经济的复苏。

1.2 影响因素识别与提炼

公共卫生事件的出现,不仅导致社会经济的受损,更是对于国家各个地区和部门应急能力的考验,高速通行能力遭受限制,生活和医疗物资的运输难以得到有效保障,使得公共卫生事件无法得到快速控制。为了科学有效地分析突发公共卫生事件下的高速公路应急能力,首先要找出其相关的影响因素。高速公路应急能力涵盖突发公共卫生事件的各个阶段,与图1相对应。结合突发公共卫生事件的不确定性、紧迫性、危害性等特点,按照因素体系的科学性、系统性、代表性、全面性和独立性,通过文本挖掘、德尔菲法与专家访谈等方法识别和提炼相关因素^[10]首先通过文献主题词查阅,筛选出相关文献共计30篇,

并查阅《突发公共卫生事件交通应急规定》^[17]和《突发公共卫生事件应急条例》^[18]等政策性文件,初步挑选出23个因素,最后再通过德尔菲法和专家访谈法,剔除6个关联性较差的因素,提炼出的相关因素如表1所示^[8-9,19-33]。

1.3 影响因素科学性与合理性验证

为保证所选取因素指标的科学性与合理性,向10位相关领域的专家发放了两份指标体系打分表,共10份问卷调查,并全部收回,回收率为100%。

相关计算过程可参考文献^[34],专家权威系数计算结果如表2所示。

满足专家权威系数 $C_i \geq 0.7$,同时两轮权威系数都大于0.8,说明专家的权威程度较高。

Kendall协调系数(coefficient of coordination, W)结果如表3所示,运用SPSS26对数据进行处理分析,肯德尔协调系数 $W=0.720>0.5$,说明专家意见的一致性与协调性很高,因素指标可信,同时显著性水平为0,说明因素间独立程度较高。

变异系数:本文所有因素指标的变异系数均小于0.25,因篇幅原因不再列出。从整体上看,因素指标波动较小,专家评估协调意见较好。

通过检验专家权威系数、Kendall协调系数以及变异系数可以发现结果都是满足要求的,因此所选的17个因素具备科学性和合理性,能够很好反映突发公共卫生事件下高速公路的应急能力。

2 G1-EW-DEMATEL 影响因素分析模型构建

高速公路应急工作贯穿于整个突发公共卫生事件之中,涉及内容广泛且复杂,其应急能力的提升受到诸多相关因素的影响。为深入剖析这些因素间的相互关系并确定关键影响因素,本文构建了基于G1-EW-DEMATEL法的影响因素分析模型。DEMATEL法可以将因素间的逻辑关系以矩阵形式量化表达,进行因素定量分析,得出中心度和原因度,清晰揭示因素间的因果关系^[13]。该方法在各个领域的影响因素分析研究中得到了广泛应用,且其研究结果也符合实际要

表1 突发公共卫生事件下高速公路应急能力影响因素

Table 1 Factors affecting the emergency response capacity of highways under sudden public health emergencies

一级影响因素	二级影响因素	解释说明	因素来源
高速公路应急预备能力 C_1	应急预案制定 C_{11}	针对突发公共卫生事件的不可预见性制定合理、有效的高速公路应急预案	[19]
	应急物资储备 C_{12}	突发公共卫生事件时对应急物资需求量大, 需提前做好高速应急物资储备工作	[20]
	应急法规制定 C_{13}	通过法制规范保障应急工作有序开展	[21]
	应急救援机构设置 C_{14}	面对突发公共卫生事件的急迫性, 快速展开高速公路应急工作	[22]
	应急培训教育 C_{15}	日常组织职工参与应急培训教育活动, 提高职工应急能力	[23]
高速公路应急响应能力 C_2	高速检查站设置 C_{21}	检查通行车辆人员的健康信息, 防止公共卫生事件从外输入	[24]
	防控信息公开 C_{22}	依法及时、准确公开高速公路防控信息	[25]
	高速服务区防控 C_{23}	做好高速公路服务区防控工作, 防止公共卫生事件扩散	[26]
	应急物资中转站设置 C_{24}	在具备条件的高速公路服务区设立应急物资中转站	[27]
	应急救援指挥与协调 C_{25}	针对突发公共卫生事件的快速扩散性, 各部门协调开展高速公路应急工作	[28]
	绿色应急通道设置 C_{26}	运输应急医疗物资和生活物资, 保障运输车辆快速通行	[29]
	高速公路交通管制 C_{27}	对于情况严重地区, 采取交通管制, 防止公共卫生事件进一步扩散	[30]
	职工健康防护 C_{28}	保护职工身体健康, 保障高速公路应急工作有序开展	[31]
高速公路应急恢复能力 C_3	车辆运营恢复 C_{31}	恢复高速公路客、货运车辆运营, 服务好突发公共卫生事件后的复产复工工作	[32]
	应急救援工作总结 C_{32}	对突发公共卫生事件应急工作的准备、响应、处置等环节执行效果总结	[9]
	奖励与惩罚 C_{33}	根据高速公路各部门员工参与应急工作表现, 给予相应奖励与惩罚	[33]
	高速免费通行政策 C_{34}	为促进复工复产工作, 实行高速公路免费通行政策	[8]

表2 专家权威系数

Table 2 Expert authority factor

调查次数	专家判断依据	专家熟悉程度	权威系数
第一轮	0.91	0.89	0.90
第二轮	0.91	0.87	0.89

表3 Kendall 协调系数检验

Table 3 Kendall coordination coefficient test

调查次数	Kendall 协调系数, W	显著性 p	变异系数 CV_i
第一轮	0.720	0.000	$CV_i \leq 0.25$
第二轮	0.707	0.000	$CV_i \leq 0.25$

注: $CV_i \leq 0.25$ 表示所有因素指标的变异系数均小于 0.25。

求, 但考虑到高速公路应急能力影响因素的多样性和复杂性, 专家在判断时可能会出现误差, 从而影响结果的准确性。为了避免出现这一问题, 本文引入 G1-EW 法进行完善。通过主客观赋权和拉格朗日乘数法可以得到因素的组合权重, 进一步计算因素的全局权

重。这一方法不仅减少了专家判断的主观性, 还确保了权重的科学性和准确性。更重要的是, 利用因素的全局权重可以直接构建出 DEMATEL 所需的直接影响矩阵和综合影响矩阵, 从而避免了因专家判断偏差导致的误差, 进一步增强了模型的可靠性。最后计算出各因素的影响度、被影响度、中心度和原因度, 并进行深入的因素分析, 确定关键影响因素。该模型巧妙地结合了 G1-EW 法和 DEMATEL 法的优势, 保证所得出结果的准确性与科学性。其具体操作过程如图 2 所示。

2.1 基于 G1-EW 法主客观赋权

2.1.1 基于 G1 法主观赋权 G1 法是郭亚军等^[35]在传统的层次分析法基础上提出的一种序关系分析法, 其计算方便直观且不需要进行一致性检验, 计算步骤如下。

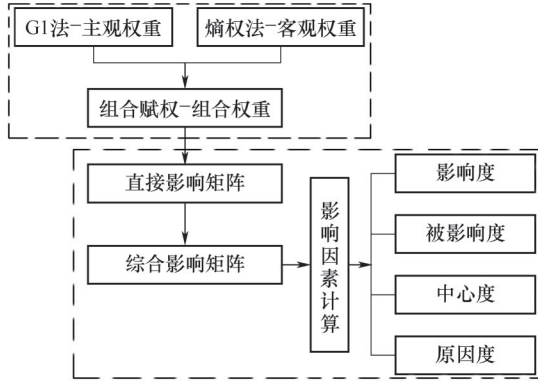


图2 G1-EW-DEMATEL模型

Figure 2 G1-EW-DEMATEL model

(1)确定序关系。由相关领域内的专家对因素间重要性进行排序,并记为 $x_1 \succ x_2 \succ \dots \succ x_m$ 。

(2)确定相邻因素相对重要程度比值。

$$r_k = \frac{\omega_{k-1}}{\omega_k}, k = m, m-1, \dots, 3, 2 \quad (1)$$

式中, ω_k 、 ω_{k-1} 分别为因素 x_k 、 x_{k-1} 的权重系数; r_k 为两个相邻因素的相对重要性比值, r_k 一般由专家进行理性赋值,可以参考文献^[36]进行赋值; m 表示评价因素的数目为 m 个。

(3)权重系数 ω_k 的计算。根据专家给出的 r_k 值,计算第 m 个因素的初始权重:

$$\omega_m = \left(1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i \right)^{-1} \quad (2)$$

$$\omega_{k-1} = r_k \omega_k, k = m, m-1, \dots, 3, 2 \quad (3)$$

(4)群组判断。由于专家对于因素的重要性判断存在一定的主观性。为避免这种影响,可同时邀请 $L(L > 1)$ 位专家对同一个问题进行比较判断,更加客观、合理地给出因素之间的序关系以及相应的理性赋值,最后得出一个合理的“综合权重”。

一般情况下, L 位专家中可能有 $L_1, L_2, \dots, L_h (1 \leq L_s < L (s=1, 2, \dots, h), \sum_{s=1}^h L_s = L)$ 位专家,对于因素 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 给出的序关系为 $x_{k_1}^{(s)} \succ x_{k_2}^{(s)} \succ \dots \succ x_{k_m}^{(s)}, k=1, 2, \dots, L_s; s=1, 2, \dots, h$, 又给出其相对应的理性赋值分别为 $r_{k_j}^{(s)} (k=1, 2, \dots, L_s; s=1, 2, \dots, h)$, 由式(2)可以得出 $x_{k_j}^{(s)}$ 的权重系数 $\omega_{k_j}^{(s)}$, 对每一个 $j(1 \leq j \leq m)$ 将 L_s 个 $\omega_{k_j}^{(s)}$

的算术平均值作为“综合”的计算结果,并记为 $\omega_j^{(s)} (j=1, 2, \dots, m; s=1, 2, \dots, h)$, 即:

$$\omega_j^{(s)} = \frac{1}{L_s} \sum_{k=1}^{L_s} \omega_{k_j}^{(s)}, s=1, 2, \dots, h; j=1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$\omega_j^* = k_1 \omega_j^{(1)} + k_2 \omega_j^{(2)} + \dots + k_h \omega_j^{(h)}, j=1, 2, \dots, m \quad (5)$$

式中, 可以取 $k_s = \frac{L_s}{L} (s=1, 2, \dots, h)$; ω_j^* 为评价因

素 x_j 的权重系数。

2.1.2 基于熵权法客观赋权 熵权法是一种多准则决策分析方法,它是基于指标变异性大小来确定每个决策因素的权重^[37]。通过熵权法进行客观权重计算,可以修正G1法得出的主观权重。具体计算步骤如下。

(1)判断矩阵 A 构建。假定有 n 个评价对象和 m 个评价指标,其构成的判断矩阵为 $A = (a_{ij})_{n \times m}$, 其中 $a_{ij} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$ 为某一评价对象对评价指标做出的评价值。

(2)评价矩阵 A 标准化处理。

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - a_{i,\min}}{a_{i,\max} - a_{i,\min}} \quad (6)$$

式中, r_{ij} 为指标 a_{ij} 经过正向处理后的值; a_{ij} 为矩阵 A 中的原始值; $a_{i,\min}$ 为第 i 个评价对象对第 j 个评价指标的最小评价值; 同理 $a_{i,\max}$ 为其中的最大评价值。

(3)计算各个指标的熵值。

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (7)$$

式中, $p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}}$, 若 $p_{ij}=0$, 则 $\ln p_{ij}=0$ 。

(4)确定权重。

$$v_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}, j=1, 2, \dots, m \quad (8)$$

式中, $v_j \in [0, 1]$, 且 $\sum_{j=1}^m v_j = 1$ 。

2.1.3 确定组合权重 因为G1法与EW法计算出的单一权重都有一定的局限性和片面性,为了使得出的权重更加合理与准确,采用拉格朗日乘数法优化二者的组合权重,如式(9)所示。

$$w_j = \frac{\sqrt{\omega_j^* v_j}}{\sum_{j=1}^m \sqrt{\omega_j^* v_j}} \quad (9)$$

式中, w_j 为第 j 项评价指标的组合权重系数。

2.1.4 全局权重计算 根据 G1-EW 法和拉格朗日乘数法得到的组合权重来计算因素的全局权重, 首先将一级因素的组合权重向量记为 W , 其下层的二级因素组合权重向量为 $W_b (b=1, 2, \dots, m)$ 。则各因素的全局权重 W' 为:

$$W' = W^T \times W_b \quad (10)$$

式中, W 为一级因素的组合权重; $W_b (b=1, 2, \dots, m)$ 为各一级因素所对应的二级因素组合权重。

2.2 基于 DEMATEL 因素分析模型

2.2.1 影响矩阵构建 根据 G1 和 EW 法得出的各影响因素全局权重比值来构建直接影响矩阵 R , 如式(11):

$$R = (r_{ij})_{n \times n}, (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n) \quad (11)$$

式中, $r_{ii} = 0, r_{ij} = W_{ij} / W'_{ij}$, 表示某一因素权重与另一因素权重比值。

标准化直接影响矩阵 X

$$X = R / \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n r_{ij} = (x_{ij})_{n \times n} \quad (12)$$

综合影响矩阵 T

$$T = X(I - X)^{-1} \quad (13)$$

式中, I 为单位矩阵。

2.2.2 计算影响度 D_i 与被影响度 C_i , 中心度 H_i 和原因度 M_i

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

$$C_i = \sum_{j=1}^n t_{ji} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (15)$$

$$H_i = D_i + C_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (16)$$

$$M_i = D_i - C_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (17)$$

3 实例分析

由于突发公共卫生事件具有不可预见性和破坏性, 往往在短时间内难以精准地掌握大量的应急救援

信息, 这无疑给人民的生命财产以及社会的稳定发展造成了巨大的威胁。因此, 在有限的信息条件下, 如何迅速做出决策, 对于防止卫生事件的进一步扩散、提升高速公路应急能力而言, 具有至关重要的现实意义。应急决策作为突发公共卫生事件下开展应急救援工作的核心环节, 通常由一个应急决策群体所构成, 以便对全局态势进行把控。因此, 本文组织了一个由 10 位相关领域的专家构成的临时应急决策群体, 结合突发公共卫生事件背景, 各位专家首先根据 G1 法确定各层因素的序关系, 并对相邻因素之间的相对重要程度进行赋值, 再对各因素指标的重要性进行打分, 确保整个过程的公平、公正与合理。这样不仅保证了研究结果的准确性与科学性, 也为应急救援工作提供了有力的决策支持。

3.1 因素权重计算

3.1.1 基于 G1 法主观赋权 以因素 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} 、 C_{14} 、 C_{15} 为例, 根据式(2)~式(5)对专家给出的序关系和理性赋值进行处理, 最后经过群组判断法得到相应各因素“综合”权重。

例如, 其中一位专家对于二级因素 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} 、 C_{14} 、 C_{15} 给出的序关系为: $C_{12}^* \succ C_{11}^* \succ C_{15}^* \succ C_{14}^* \succ C_{13}^*$, 记为 $x_1 \succ x_2 \succ x_3 \succ x_4 \succ x_5$, 并给出相应的理性赋值: $r_2 = 1.2$ 、 $r_3 = 1.3$ 、 $r_4 = 1.2$ 、 $r_5 = 1.3$ 。由式(2)~式(3)可计算出因素 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} 、 C_{14} 、 C_{15} 的权重分别为: $\omega_1 = 0.2437$ 、 $\omega_2 = 0.2924$ 、 $\omega_3 = 0.1202$ 、 $\omega_4 = 0.1562$ 、 $\omega_5 = 0.1875$ 。

再结合剩余专家给出的理性赋值进行计算, 通过式(4)~式(5)群组判断法得出因素权重的综合结果: $\omega_{11} = 0.2362$ 、 $\omega_{12} = 0.2830$ 、 $\omega_{13} = 0.1209$ 、 $\omega_{14} = 0.1507$ 、 $\omega_{15} = 0.2093$ 。

通过群组判断得出的“综合”权重系数, 可以一定程度上减少专家的主观影响。其主观权重见表 5。

3.1.2 基于熵权法客观赋权 应急决策群体的 10 位专家分别以分值[0~100]对因素指标重要性进行打分评价, 以二级因素 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} 、 C_{14} 、 C_{15} 为例, 评价结果见表 4。根据式(6)~式(8)对表 4 内的数据进行相应处理, 计算得出因素 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} 、 C_{14} 、 C_{15} 的客观权重为: $\omega_{11} = 0.1234$ 、 $\omega_{12} = 0.2692$ 、 $\omega_{13} =$

0.1636、 $\omega_{14}=0.2453$ 、 $\omega_{15}=0.1986$ 。最后计算出各因素的客观权重，如表5所示。

表4 部分二级指标评价结果

Table 4 Results of the evaluation of selected secondary indicators

评价主体	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}
专家1	92	93	82	87	93
专家2	90	97	85	88	93
专家3	90	95	90	95	94
专家4	93	92	91	95	90
专家5	89	93	88	93	96
专家6	93	94	89	86	88
专家7	92	93	87	92	90
专家8	92	94	90	91	93
专家9	93	95	86	93	92
专家10	82	96	90	94	95

3.1.3 拉格朗日乘数法计算组合权重 通过式(9)计算出所有因素的组合权重见表5。

3.1.4 全局权重计算 根据式(10)计算全局权重系数 W'

$$W'=(0.0505,0.0816,0.0416,0.0569,0.0603,0.0473,0.0874,0.0641,0.0453,0.0839,0.0398,0.0489,0.0439,0.0827,0.0524,0.0402,0.0732)$$

(18)

3.2 基于DEMATEL法因素分析

根据上面各因素的全局权重系数，通过式(11)计算得到直接影响矩阵。由于篇幅原因，不在此处列出直接影响矩阵。

通过式(12)~式(13)运用 EXCEL 中的 MINVERSE 和 MMULT 矩阵计算函数，得到综合影响矩阵，见表6。

根据综合影响矩阵 T 结合式(14)~式(15)计算影响度 D_i 和被影响度 C_i 。最后通过式(16)~式(17)可以得出中心度 H_i 和原因度 M_i ，并按照中心度进行排序，计算结果如表7所示。

根据表7数据，绘制了突发公共卫生事件下高速公路应急能力影响因素原因结果图，如图3所示。模型的结果分析如下。

(1)通过 G1-EW-DEMATEL 组合模型，计算出了影响因素的中心度和原因度。在表7中，首先根据中

表5 指标权重汇总

Table 5 Summary of indicator weights

一级因素层	一级因素层权重			二级因素层	二级因素层权重		
	主观	客观	组合		主观	客观	组合
C_1	0.3098	0.2701	0.2909	C_{11}	0.2362	0.1234	0.1736
				C_{12}	0.2830	0.2692	0.2807
				C_{13}	0.1209	0.1636	0.1430
				C_{14}	0.1507	0.2453	0.1955
				C_{15}	0.2093	0.1986	0.2073
C_2	0.4097	0.5120	0.4606	C_{21}	0.1034	0.0943	0.1026
				C_{22}	0.2080	0.1605	0.1898
				C_{23}	0.1590	0.1128	0.1391
				C_{24}	0.0615	0.1459	0.0984
				C_{25}	0.2383	0.1292	0.1822
				C_{26}	0.0757	0.0915	0.0864
				C_{27}	0.1027	0.1019	0.1062
				C_{28}	0.0513	0.1641	0.0953
C_3	0.2804	0.2178	0.2485	C_{31}	0.3461	0.3176	0.3327
				C_{32}	0.2066	0.2140	0.2110
				C_{33}	0.1847	0.1408	0.1618
				C_{34}	0.2626	0.3276	0.2944

表6 综合影响矩阵

Table 6 Integrated impact matrix

影响因素	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	C_{27}	C_{28}	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}
C_{11}	0.0581	0.0587	0.1152	0.0843	0.0795	0.1015	0.0548	0.0748	0.1058	0.0571	0.1205	0.0980	0.1092	0.0580	0.0914	0.1192	0.0655
C_{12}	0.1535	0.0581	0.1864	0.1363	0.1286	0.1641	0.0887	0.1210	0.1711	0.0924	0.1948	0.1585	0.1766	0.0938	0.1478	0.1928	0.1060
C_{13}	0.0782	0.0484	0.0581	0.0695	0.0655	0.0836	0.0452	0.0617	0.0872	0.0471	0.0993	0.0808	0.0900	0.0478	0.0753	0.0982	0.0540
C_{14}	0.1070	0.0661	0.1298	0.0581	0.0895	0.1143	0.0618	0.0843	0.1192	0.0644	0.1357	0.1104	0.1230	0.0653	0.1030	0.1343	0.0738
C_{15}	0.1134	0.0701	0.1376	0.1007	0.0581	0.1212	0.0655	0.0894	0.1263	0.0682	0.1439	0.1171	0.1305	0.0693	0.1092	0.1424	0.0783
C_{21}	0.0889	0.0550	0.1079	0.0789	0.0744	0.0581	0.0513	0.0700	0.0990	0.0535	0.1128	0.0917	0.1022	0.0543	0.0856	0.1116	0.0613
C_{22}	0.1644	0.1017	0.1995	0.1459	0.1376	0.1756	0.0581	0.1296	0.1831	0.0989	0.2086	0.1697	0.1891	0.1004	0.1583	0.2064	0.1135
C_{23}	0.1205	0.0745	0.1462	0.1070	0.1009	0.1287	0.0696	0.0581	0.1342	0.0725	0.1529	0.1244	0.1386	0.0736	0.1160	0.1513	0.0831
C_{24}	0.0852	0.0527	0.1034	0.0757	0.0714	0.0911	0.0492	0.0672	0.0581	0.0513	0.1081	0.0880	0.0980	0.0520	0.0821	0.1070	0.0588
C_{25}	0.1578	0.0976	0.1915	0.1401	0.1321	0.1686	0.0911	0.1244	0.1758	0.0581	0.2002	0.1629	0.1815	0.0964	0.1520	0.1982	0.1089
C_{26}	0.0748	0.0463	0.0908	0.0664	0.0627	0.0800	0.0432	0.0590	0.0834	0.0450	0.0581	0.0772	0.0861	0.0457	0.0721	0.0940	0.0516
C_{27}	0.0920	0.0569	0.1116	0.0817	0.0770	0.0983	0.0531	0.0725	0.1025	0.0553	0.1167	0.0581	0.1058	0.0562	0.0886	0.1155	0.0635
C_{28}	0.0825	0.0510	0.1002	0.0733	0.0691	0.0882	0.0477	0.0651	0.0920	0.0497	0.1047	0.0852	0.0581	0.0504	0.0795	0.1036	0.0570
C_{31}	0.1555	0.0961	0.1887	0.1380	0.1302	0.1661	0.0898	0.1225	0.1732	0.0936	0.1973	0.1605	0.1789	0.0581	0.1497	0.1952	0.1073
C_{32}	0.0986	0.0610	0.1197	0.0875	0.0826	0.1054	0.0570	0.0777	0.1099	0.0593	0.1251	0.1018	0.1134	0.0602	0.0581	0.1238	0.0681
C_{33}	0.0756	0.0468	0.0918	0.0671	0.0633	0.0808	0.0437	0.0596	0.0842	0.0455	0.0959	0.0781	0.0870	0.0462	0.0728	0.0581	0.0522
C_{34}	0.1376	0.0851	0.1670	0.1221	0.1152	0.1470	0.0795	0.1084	0.1533	0.0828	0.1746	0.1420	0.1583	0.0840	0.1325	0.1728	0.0581

表7 DEMATEL 计算结果
Table 7 DEMATEL calculation results

影响因素	D_i	C_i	H_i	M_i	中心度排序	因素属性
C_{11}	1.4518	1.8437	3.2954	-0.3919	14	结果因素
C_{12}	2.3704	1.1260	3.4964	1.2443	4	原因因素
C_{13}	1.1896	2.2456	3.4352	-1.0559	7	结果因素
C_{14}	1.6399	1.6326	3.2726	0.0073	17	原因因素
C_{15}	1.7411	1.5376	3.2787	0.2035	16	原因因素
C_{21}	1.3564	1.9724	3.3288	-0.6161	11	结果因素
C_{22}	2.5405	1.0493	3.5898	1.4912	1	原因因素
C_{23}	1.8520	1.4452	3.2972	0.4068	13	原因因素
C_{24}	1.2993	2.0582	3.3575	-0.7588	10	结果因素
C_{25}	2.4373	1.0946	3.5319	1.3427	2	原因因素
C_{26}	1.1364	2.3492	3.4856	-1.2128	5	结果因素
C_{27}	1.4053	1.9043	3.3096	-0.4991	12	结果因素
C_{28}	1.2572	2.1263	3.3836	-0.8691	8	结果因素
C_{31}	2.4008	1.1115	3.5123	1.2893	3	原因因素
C_{32}	1.5091	1.7739	3.2830	-0.2648	15	结果因素
C_{33}	1.1486	2.3245	3.4732	-1.1759	6	结果因素
C_{34}	2.1202	1.2609	3.3811	0.8592	9	原因因素

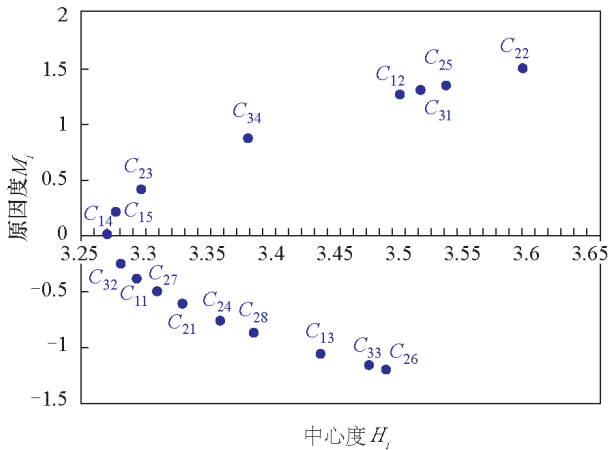


图3 各影响因素的原因结果
Figure 3 Reasons and results of various influencing factors

心度大小进行了相应的排序, 同时根据原因度的正负将影响因素分为结果因素($M_i < 0$)和原因因素($M_i > 0$), 并绘制了各影响因素的原因结果关系图。中心度越大, 说明该因素对于高速公路应急能力影响越大。在这 17 个影响因素中排在前列的为: 防控信息公开

C_{22} 、应急救援指挥与协调 C_{25} 、车辆运营恢复 C_{31} 、应急物资储备 C_{12} 和绿色应急通道设置 C_{26} , 充分说明了这 5 个因素在提升高速公路应急能力方面的关键作用。在突发公共卫生事件发生时, 高速公路不仅需要确保应急物资的及时运输和应急工作的有效展开, 还需要迅速恢复运营。因此, 这些因素的重要性不容忽视, 必须给予高度关注。对于应急救援机构设置 C_{14} 、应急培训教育 C_{15} 、应急救援工作总结 C_{32} 、应急预案制定 C_{11} 和高速服务区防控 C_{23} 这 5 个因素的中心度排在整个因素体系的最后面, 说明它们在整体因素体系之中的影响程度相对较小, 但并不意味着它们不重要, 如应急培训教育因素虽然排名靠后, 但是如果日常工作中, 忽视了对员工的应急教育培训, 可能会导致员工在应对突发公共卫生事件时缺乏必要的应急意识和能力, 从而影响高速公路应急工作的有效展开, 对于高速公路应急能力提升产生负面影响。因此, 在提升高速公路应急能力时, 不仅要关注那些中心度高的关键影响因素, 还要对排名靠后的因素给予足够的重视。通过加强应急培训教育、完善应急预案制定、优化高速服务区防控等因素, 可以全面提升高速公路的应急能力, 确保在突发公共卫生事件发生时能够迅速、有效地应对。同时还应注重各因素之间的相互作用和关系, 通过系统优化和协同作用, 实现高速公路应急能力的整体提升。

(2)从表 7 和图 3 中可以看出, C_{12} 、 C_{14} 、 C_{15} 、 C_{22} 、 C_{23} 、 C_{25} 、 C_{31} 、 C_{34} 这 8 个因素 $M_i > 0$, 表明这 8 个因素是属于原因型影响因素, 即这些因素不仅直接对突发公共卫生事件下高速公路应急能力产生作用, 还会影响其他结果型因素。例如, 应急救援机构设置这一原因型影响因素, 对于高速公路应急响应阶段的工作具有很大的影响, 作为应急工作的“大脑”, 它指挥各项工作的顺利开展, 如设置绿色应急通道、高速检查站等。因此, 对这些原因型影响因素进行深入研究和重点分析是尤为重要的。与此同时, 其余 9 个因素的 $M_i < 0$, 这表示它们属于结果型影响因素。这些因素是由其他多个原因因素共同作用所产生的结果。尽管它们不像原因型因素那样会直接产生影响作用, 但其在整个高速公路应急能力系统中也扮演着不可忽视的角色, 对系统的稳定性产生一定程度的

影响。

因此, 对于这些核心因素进行分阶段重点控制, 是提升突发公共卫生事件下高速公路应急能力的关键措施。

(1)在事前, 高速公路应急预备能力阶段, 应急物资储备是一大重要因素, 其是开展高速公路应急工作的基础。国家疾控局在深入总结新冠肺炎疫情防控经验后明确指出, 在面对突发公共卫生事件时, 应当加强应急队伍演练, 做好相关物资储备工作。对于高速公路应急预备阶段而言, 提前做好相关应急物资的储备工作, 能够有助于保障应急工作顺利开展, 从而提升高速公路的应急预备能力。

(2)在事中, 高速公路应急响应能力阶段, 应急救援指挥与协调是关系到高速公路在面对突发公共卫生事件时能否及时有效开展应急工作的重要因素。因此, 应当建立一个完备的应急指挥体系, 同时在日常工作中要加强各部门间的应急演练, 增加彼此间的配合度, 运用好大数据和互联网, 保障真实情况发生时, 能够流畅地协调各项工作。绿色应急通道设置可以保障应急车辆快速通过, 做好应急物资的运输工作, 提高高速公路救援物资运输能力。防控信息公开对于高速公路防控管理工作是至关重要的, 可以提前了解高速公路上相关防控措施, 保障高速公路道路的畅通, 提高高速公路防止公共卫生事件扩散的能力, 缩小公共卫生事件的扩散范围。

(3)在事后, 高速公路应急恢复能力阶段, 车辆运营恢复是针对突发公共卫生事件后期高速公路的恢复工作。在公共卫生事件的影响下, 高速公路通行能力下降。在事件得到解决之后, 重点把握车辆运营恢复工作, 保障客货运车辆恢复通行对于促进复工复产和社会经济复苏具有重要作用。

从突发公共卫生事件的整个阶段来看, 高速公路在各个方面都起着至关重要的作用, 所以应当重点把握5个关键影响因素, 从而提升高速公路的整体应急能力。

4 结论与展望

本文在突发公共卫生事件背景下, 基于G1-EW-DEMATEL方法分析了高速公路应急能力的相关影响因素, 得出如下结论。

通过文献研究、德尔菲法和专家访谈等多种方法得到了高速公路应急预备能力、高速公路应急响应能力和高速公路应急恢复能力三大类17个影响因素。并与实际情况相结合, 对这些影响因素进行了深入分析和优化, 验证了所选因素的科学性与合理性。为日后构建相关的因素体系研究, 保障高速公路的安全、高效、稳定运行提供了科学、合理的参考依据。基于此, 通过构建G1-EW-DEMATEL因素分析模型, 揭示了突发公共卫生事件下高速公路应急能力影响因素相互间的关系及其重要程度, 并得到防控信息公开、应急救援指挥与协调、车辆运营恢复、应急物资储备和绿色应急通道设置5个关键影响因素。根据事件发展的不同阶段提出相对应的措施, 旨在提高高速公路应急能力的效率和效果, 确保在类似情况下能够科学、有效地做出决策和安排。这不仅有助于提升高速公路应急管理的整体水平, 也为日后应对类似突发公共卫生事件提供了重要的参考和借鉴。

但本研究采用一个团队进行实例分析, 对于突发公共卫生事件这个大背景来说, 存在一定的不足, 未来可以结合大数据、物联网、人工智能等科学技术针对某一具体案例, 采取多个团队、综合比较的形式, 进行更加深入的研究, 将研究结果更好地应用于现实之中。另外, 本研究主要针对于突发公共卫生事件这个大背景展开, 鉴于卫生事件的特性, 其形势会随时间推移而不断演变。因此, 在日后的研究工作中, 可以聚焦于中国情境最新动态进行分析, 通过互联网和人工智能等方式收集最新的信息动态, 保证研究过程与时俱进, 为制定有效的应对策略提供科学依据。

参考文献

- [1] 中国交通新闻网. «加快建设交通强国五年行动计划(2023—2027年)»解读[EB/OL]. [2023-04-20]. <https://www.mot.gov.cn/>

- jiaotongyaowen/202304/t20230420_3805468.html.
- China Communications News. Interpretation of the *Five-Year Action Plan for Accelerating the Construction of a Strong Transportation Country* (2023—2027)[EB/OL].[2023-04-20]. https://www.mot.gov.cn/jiaotongyaowen/202304/t20230420_3805468.html.
- [2] 刘昱岗, 唐李莹, 郑帅, 等. 突发传染性公共卫生事件下高速公路管控研究[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(9): 179-187.
- Liu Y G, Tang L Y, Zheng S, et al. Research on highway traffic control strategy under circumstance of infectious public health emergency [J]. China Safety Science Journal, 2020, 30(9): 179-187.
- [3] 蔡健平, 王晶. "平疫结合"的突发公共卫生事件医疗物资储备体系建设研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(6): 107-115.
- Cai J P, Wang J. Peacetime and epidemic combination medical materials reserve system for public health emergencies[J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(6): 107-115.
- [4] 张伟静, 周密. 突发公共卫生事件的应急管理研究: 基于中央和地方政策的比较分析[J]. 经济社会体制比较, 2022(1): 127-138.
- Zhang W J, Zhou M. Research on emergency management of public health emergencies: A comparative analysis based on central and local government policies[J]. Comparative Economic & Social Systems, 2022(1): 127-138.
- [5] Xia H S, Sun Z L, Wang Y, et al. Emergency medical supplies scheduling during public health emergencies: Algorithm design based on AI techniques[J]. International Journal of Production Research, 2023: 1-23.
- [6] Chai G, Cao J D, Huang W, et al. Optimized traffic emergency resource scheduling using time varying rescue route travel time[J]. Neurocomputing, 2018, 275: 1567-1575.
- [7] 胡晓伟, 宋浪, 杨滨毓, 等. 重大突发公共卫生事件下城市应急医疗物资优化调度研究[J]. 中国公路学报, 2020, 33(11): 55-64.
- Hu X W, Song L, Yang B Y, et al. Optimal matching of urban emergency medical supplies under major public health events[J]. China Journal of Highway and Transport, 2020, 33(11): 55-64.
- [8] 郭研, 张芯悦, 方达. 新冠疫情下高速公路免费政策对复工复产的影响: 基于物流大数据的分析[J]. 经济科学, 2021(5): 114-129.
- Guo Y, Zhang X Y, Fang D. Impact of the free highway policy on the resumption of work and production under COVID-19: Based on big data of logistics[J]. Economic Science, 2021(5): 114-129.
- [9] 段宗涛, 郑西彬, 李莹, 等. 高速公路应急救援能力评价体系[J]. 交通信息与安全, 2014, 32(3): 94-98, 104.
- Duan Z T, Zheng X B, Li Y, et al. An evaluation method of the capacity of emergency response of freeway system[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2014, 32(3): 94-98, 104.
- [10] 杨雪, 仝凤鸣, 宋爱峰, 等. 高速公路突发事件应急管理能力评价研究[J]. 公路, 2019, 64(7): 184-192.
- Yang X, Tong F M, Song A F, et al. Evaluation and study of expressway emergency management capability[J]. Highway, 2019, 64(7): 184-192.
- [11] 李俊捷, 姚欣怡, 陈钉均, 等. 跨区域综合交通应急救援预案评估指标选取[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(S2): 185-190.
- Li J J, Yao X Y, Chen D J, et al. Selection of evaluation index for cross-regional comprehensive traffic emergency rescue plan[J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(S2): 185-190.
- [12] 葛洪磊, 刘南. 重大传染病疫情演化情境下应急物资配置决策建模分析: 以新冠疫情为例[J]. 管理工程学报, 2020, 34(3): 214-222.
- Ge H L, Liu N. Modeling of emergency materials allocation decision-making problems based on the evolution scenarios of serious infectious disease: A case of COVID-19[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2020, 34(3): 214-222.
- [13] Alam S T, Ahmed S, Ali S M, et al. Challenges to COVID-19 vaccine supply chain: Implications for sustainable development goals[J]. International Journal of Production Economics, 2021, 239: 108193.
- [14] 孙逸林, 郑小强, 刘险峰, 等. 重大燃气管道泄漏爆炸事故组织因素定量分析方法研究[J]. 安全与环境学报, 2022, 22(5): 2677-2684.
- Sun Y L, Zheng X Q, Liu X F, et al. Research on quantitative analysis approach for deep organizational causes of serious leakage and explosion accident of gas pipeline[J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(5): 2677-2684.
- [15] 张渺. G1-EW组合赋权云模型下地铁运营安全风险评价[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(6): 163-170.
- Zhang M. Risk assessment of metro operation based on G1-EW combination weighting cloud model[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(6): 163-170.
- [16] 刘德海, 于倩, 马晓南, 等. 基于最小偏差组合权重的突发事件应急能力评价模型[J]. 中国管理科学, 2014, 22(11): 79-86.
- Liu D H, Yu Q, Ma X N, et al. Combination weight model of emergency ability evaluation with minimum deviation[J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(11): 79-86.
- [17] 中国政府网. 关于《突发公共卫生事件交通应急规定》[EB/OL].[2004-05-01]. <http://www.nhc.gov.cn/yjb/s3580/200804/b8cc5eb02c7947c29f1406a35acf5283.shtml>.

- Chinese Government Website. Regulations on Emergency Transportation Response to Public Health Emergencies[EB/OL]. [2004-05-01]. <http://www.nhc.gov.cn/yjb/s3580/200804/b8cc5eb02c7947c29f1406a35acf5283.shtml>.
- [18] 中国政府网. 关于《突发公共卫生事件应急条例》[EB/OL]. [2003-05-09]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content_6399.htm. Chinese Government Website. Regulations on Emergency Response to Public Health Emergencies[EB/OL]. [2003-05-09]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content_6399.htm.
- [19] 张辉, 刘远立, 陈春花, 等. 全球性公共卫生危机治理: 趋势与重点[J]. 管理科学学报, 2021, 24(8): 133-146.
Zhang H, Liu Y L, Chen C H, et al. Global public health crisis governance: trend and emphasis[J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(8): 133-146.
- [20] 孙翊, 吴静, 刘昌新, 等. 加快推进我国应急物资储备治理体系现代化[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(6): 724-731.
Sun Y, Wu J, Liu C X, et al. Accelerating construction of innovative country to promote modernization of China's emergency supplies reserve system[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(6): 724-731.
- [21] 马茂冬, 韩尧, 张倩. 基于模糊层次分析法的应急能力评估方法探讨[J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5(2): 98-102.
Ma M D, Han Y, Zhang Q. Evaluation method of emergency response capabilities based on FAHP[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2009, 5(2): 98-102.
- [22] 习近平. 全面提高依法防控依法治理能力 健全国家公共卫生应急管理体系[J]. 求是, 2020(5): 1-2.
Xi J P. Improve the ability of prevention, control and governance in accordance with the law in an all-round way and improve the national public health emergency management system[J]. Qiushi, 2020(5): 1-2.
- [23] 姜长云, 姜惠宸. 新冠疫情防控对国家应急管理体系和能力的检视[J]. 管理世界, 2020, 36(8): 8-18, 31, 19.
Jiang C Y, Jiang H C. The examination of the prevention and control of COVID-19 epidemic on national emergency management and capacity[J]. Management World, 2020, 36(8): 8-18, 31, 19.
- [24] 陈楚宣, 胡坚柱, 沈达扬, 等. 直面冲击, 争取支持, 谋划应对[J]. 中国公路, 2020(8): 22-25.
Chen C X, Hu J Z, Shen D Y, et al. Face the impact directly, strive for support, and plan to deal with it[J]. China Highway, 2020(8): 22-25.
- [25] 姚金伟, 张兰心. 中国应对新冠疫情防控政策研究: 基于国家治理现代化的视角[J]. 人文杂志, 2022(3): 33-42.
Yao J W, Zhang L X. Research on China's policies of COVID-19 epidemic prevention and control: From the perspective of state governance modernization[J]. The Journal of Humanities, 2022(3): 33-42.
- [26] 陈如红. 统筹疫情防控和高速公路经营协调发展分析: 以江苏高速公路经营管理中心为例[J]. 现代管理科学, 2022(6): 105-110.
Chen R H. Analysis on coordinated development of epidemic prevention and control and expressway management: Taking Jiangsu expressway management center as an example[J]. Modern Management Science, 2022(6): 105-110.
- [27] 杨思洛, 莫莹莹, 程濂. 危机管理视角下我国新冠疫情防控政策文本量化研究[J]. 情报理论与实践, 2022, 45(10): 82-89, 61.
Yang S L, Mo Y Y, Cheng M. Textual and quantitative research on China's policies against COVID-19 from the perspective of crisis management[J]. Information Studies (Theory & Application), 2022, 45(10): 82-89, 61.
- [28] 徐世田, 张阳, 浦立娜, 等. 基于物元模型的高速公路应急救援系统评价研究[J]. 公路, 2013, 58(2): 129-134.
Xu S T, Zhang Y, Pu L N, et al. Evaluation of expressway in emergency rescue capabilities based on cloud matter element model[J]. Highway, 2013, 58(2): 129-134.
- [29] 金卫健, 徐浩, 黄传峰, 等. 基于前景理论的大规模传染病疫情应急管理决策研究[J]. 中国管理科学, 2023, 31(10): 225-233.
Jin W J, Xu H, Huang C F, et al. Research on emergency management decision of large-scale epidemic based on prospect theory[J]. Chinese Journal of Management Science, 2023, 31(10): 225-233.
- [30] 贾兴利, 周吴啸, 韩兴家, 等. 交通管控措施对市域新冠疫情传播的阻断效果分析[J]. 中国公路学报, 2022, 35(1): 252-262.
Jia X L, Zhou W X, Han X J, et al. Blocking effects of traffic control measures on COVID-19 transmission in city territories[J]. China Journal of Highway and Transport, 2022, 35(1): 252-262.
- [31] 关于在有效防控疫情的同时积极有序推进复工复产的指导意见[J]. 中国工运, 2020(5): 48, 52.
Guiding opinions on actively and orderly promoting the resumption of work and production while effectively preventing and controlling the epidemic situation[J]. Chinese Workers' Movement, 2020(5): 48, 52.
- [32] 陈钊均, 孙运豪, 李俊捷, 等. 重大疫情下铁路应急救援能力评估指标体系构建[J]. 交通运输工程学报, 2020, 20(3): 129-138.
Chen D J, Sun Y H, Li J J, et al. Construction of evaluation index system for emergency rescue capacity of rail transit under serious epidemic situation[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2020, 20(3): 129-138.
- [33] 郭昕曜, 彭伟功, 景国勋, 等. 集成ISM-AHP-SD的机场场面交通冲突风险管控策略效果分析[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(2): 341-350.
Guo X Y, Peng W G, Jing G X, et al. Effectiveness of the risk management and control strategy of airport surface traffic conflict by integrated with ISM-AHP-SD[J]. Journal of Safety and Environment, 2023, 23(2): 341-350.

- [34] 查国清, 徐亚妮, 徐文杰, 等. 大安全视角下高校安全教育体系评价指标和评价方法[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(8): 199-208.
Zha G Q, Xu Y N, Xu W J, et al. Evaluation indicators and methods for safety education system in colleges and universities from perspective of macro-safety[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2023, 19(8): 199-208.
- [35] 陈陌, 郭亚军, 于振明. 改进型序关系分析法及其应用[J]. 系统管理学报, 2011, 20(3): 352-355.
Chen M, Guo Y J, Yu Z M. An improved method for rank correlation analysis and its application[J]. Journal of Systems & Management, 2011, 20(3): 352-355.
- [36] 类淑菊, 孙佳, 李彤, 等. 基于 G_1 法的飞行疲劳风险模糊综合评判方法研究[J]. 安全与环境学报, 2013, 13(4): 244-249.
Lei S J, Sun J, Li T, et al. On fuzzy comprehensive evaluation on the flight fatigue risk based on G_1 method[J]. Journal of Safety and Environment, 2013, 13(4): 244-249.
- [37] 刘纪坤, 王佳茹, 王翠霞. 改进组合赋权-云模型下的地铁站突发事件应急能力评价[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(5): 1398-1406.
Liu J K, Wang J R, Wang C X. Evaluation of emergency response capability of metro station emergency under improved combination weighting- cloud model[J]. Journal of Safety and Environment, 2023, 23(5): 1398-1406.

Analysis of Factors Affecting Highway Emergency Response Capacity under Public Health Emergencies

YANG Wenan*, LONG Xiangyang, LI Zhimei

School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China

Highlights

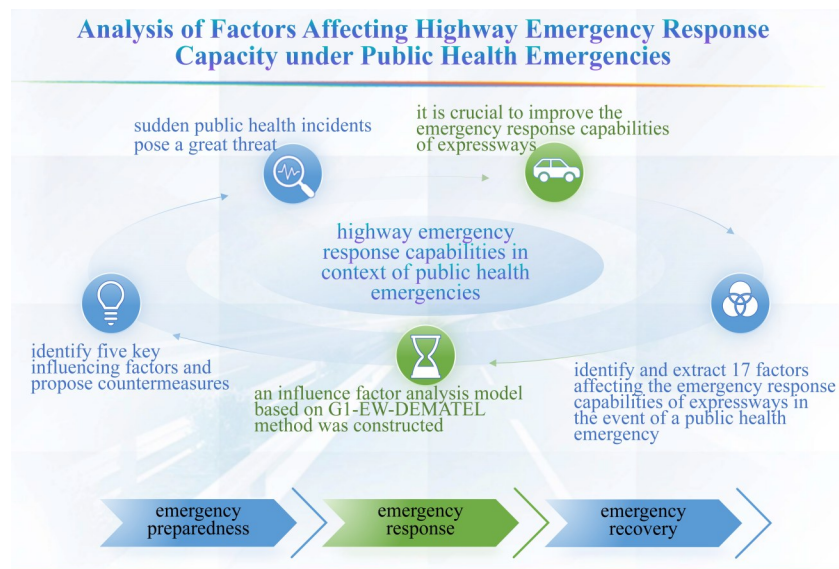
Improving the emergency response capabilities of expressways during public health emergencies is crucial to reducing economic losses to the public.

This study identified and refined 17 factors affecting the emergency response capabilities of expressways during sudden public health incidents.

This study constructed an influence factor analysis model based on the G1-EW-DEMATEL method and conducted factor research.

This study identified five key influencing factors: prevention and control information disclosure, emergency rescue command and coordination, vehicle operation recovery, emergency material reserves, and the establishment of green emergency channels.

Graphical Abstract



Abstract: In recent years, public health incidents have occurred frequently both domestically and internationally, posing a severe challenge to the world's emergency response capabilities. To improve the emergency response capabilities of highways in the event of public health emergencies, reduce public health threats and economic losses. This article divides sudden public health incidents into three stages: Before, during, and after the event. Combined with the four processes of prevention, preparation,

response, and recovery in emergency management, the emergency capacity of highways is divided into emergency preparedness capacity, emergency response capacity, and emergency recovery capacity, corresponding to each stage of public health incidents. Based on the wide range, urgency, unpredictability, harmfulness, and complexity of sudden public health emergencies, relevant literature and policy documents were consulted through text mining, Delphi method, and expert interviews. Finally, 17 factors affecting the emergency response capacity of highways under sudden public health emergencies were identified and extracted. And the scientific and rationality of the 17 influencing factors were verified through expert authority coefficient and Kendall coordination coefficient tests. A factor analysis model based on the order relationship entropy weight method decision experiment and evaluation experiment method was constructed. Firstly, the subjective and objective weights of the factors were calculated using the G1-EW subjective and objective weighting method, and then the combination weights of the factors were calculated using the Lagrange multiplier method. Based on the global weight ratio between the factors, a DEMATEL direct impact matrix can be constructed to obtain a comprehensive impact matrix, Calculate the centrality and causality of each factor. In this study, a temporary emergency decision-making group was formed by inviting 10 experts from relevant fields. Each expert evaluated and ranked the importance of 17 factors based on the principles of fairness, impartiality, and reasonableness. Finally, the various values of each factor were calculated through the constructed model, and 8 causal factors (causal degree greater than 0) were classified based on the causal degree values. These factors have a significant impact on other factors and 9 outcome factors (with a causal degree less than 0) indicate that these influencing factors are more influenced by other factors. According to the order of centrality, five key influencing factors are identified: prevention and control information disclosure, emergency rescue command and coordination, vehicle operation recovery, emergency material reserves, and green emergency channel setting. The establishment of these key factors plays a very important role in improving the emergency response capacity of highways under sudden public health emergencies. Based on the three different stages of sudden public health emergencies, the focus is on controlling these five key factors, and propose corresponding response measures for each stage. The 17 influencing factors identified through research and analysis in this article can provide scientific and reasonable reference basis for future research and analysis of related factors. At the same time, the proposed analysis model can provide a new idea for the selection of factor research methods in the future. The research results can provide theoretical support for improving the emergency response capacity of highways in the event of public health emergencies in the future, and apply theoretical knowledge to practice.

Keywords: public health emergencies; motorways; G1-EW-DEMATEL method; emergency capability