

基于N-K模型的生鲜电商冷链物流风险耦合度量研究

李昕鸿¹, 杨中华^{1,2}, 刘邹洲¹

¹武汉科技大学管理学院, 湖北 武汉

²武汉科技大学服务科学与工程研究中心, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年5月9日; 录用日期: 2025年5月28日; 发布日期: 2025年6月27日

摘要

生鲜电商的发展离不开冷链物流, 然而现阶段我国冷链物流环节相对薄弱, 这制约了生鲜电商的健康发展, 因此本文研究冷链物流中各种潜在风险因素的耦合特性, 为生鲜电商冷链物流行业的发展和消费者的消费安全提供参考。基于LDA主题模型对冷链物流系统中的风险因素进行识别, 构建冷链物流风险指标体系, 运用N-K模型进行耦合度量。研究发现: 冷链物流风险共包括人员、设备、管理和环境等4类风险要素, 其中设备因素和管理因素在整个冷链物流系统中, 存在风险耦合性是最大的, 也是对冷链物流系统的安全运作威胁最大的耦合风险类型, 应尽量减小设备-管理因素间内部风险耦合, 最后基于评估结果向生鲜电商行业提出冷链物流风险控制措施。

关键词

生鲜电商, 冷链物流, LDA, N-K模型, 耦合风险

Study on Risk Coupling Measurement of Cold Chain Logistics in Fresh E-Commerce Based on N-K Model

Xinhong Li¹, Zhonghua Yang^{1,2}, Zouzhu Liu¹

¹School of Management, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei

²Service Science and Engineering Research Center, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei

Received: May 9th, 2025; accepted: May 28th, 2025; published: Jun. 27th, 2025

文章引用: 李昕鸿, 杨中华, 刘邹洲. 基于 N-K 模型的生鲜电商冷链物流风险耦合度量研究[J]. 电子商务评论, 2025, 14(6): 2882-2894. DOI: 10.12677/ecl.2025.1462065

Abstract

The development of fresh e-commerce cannot do without cold chain logistics. However, at this stage, China's cold chain logistics sector is relatively weak, which hinders the healthy development of fresh e-commerce. Therefore, this paper studies the coupling characteristics of various potential risk factors in cold chain logistics to provide reference for the development of the cold chain logistics industry for fresh e-commerce and consumer safety. Based on the LDA topic model, risk factors in the cold chain logistics system are identified, and a cold chain logistics risk indicator system is constructed. The N-K model is used to measure coupling degree. The study finds that cold chain logistics risks include four categories: personnel, equipment, management, and environment. Among these, equipment and management factors have the greatest risk coupling within the entire cold chain logistics system, posing the most significant threat to the safe operation of the cold chain logistics system. Efforts should be made to minimize internal risk coupling between equipment and management factors. Finally, based on the evaluation results, control measures for cold chain logistics risks are proposed for the fresh e-commerce industry.

Keywords

Fresh E-Commerce, Cold Chain Logistics, LDA, N-K Model, Coupling Risk

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

冷链物流是支撑生鲜电商发展的基础设施，确保在持续冷冻或冷藏条件下将生鲜产品从生产端配送到消费者手中的低温物流服务业态，进而减少货损并保证食品的安全质量[1]。生鲜电商的发展离不开冷链物流，然而现阶段我国冷链物流环节相对薄弱，这制约了生鲜电商的健康发展。

风险识别是冷链物流中风险管理的第一步，可以帮助生鲜电商企业管理人员认识所面临的各种风险以及分析风险事故发生的潜在原因，保证冷链物流的安全运作。刘明菲等[2]运用决策实验室分析法(DEMATEL)和解释结构模型(ISM)相结合，对生鲜冷链前置仓物流服务质量风险因素的影响程度进行量化研究。高齐圣等[3]基于 LDA-fsQFD 模型方法，有效识别公众对农产品的绿色消费需求和期望，进而转化为供应链中的关键风险预警信息。张喜才等[4]将故障树和贝叶斯方法相结合，从系统的角度对冷链物流的薄弱环节进行识别。Hong B [5]等采用贝叶斯网络进行建模和模拟对整个冷链物流系统和风险事件进行了分析，并对主要因素进行敏感性分析。张浩等[6]构建基于改进突变级数法的农产品冷链物流风险评估模型，分析了风险评估流程，降低了评估过程中决策分析的主观性。申笑宇等[7]构建以“人-物-管-机-技-环”为基础的生鲜电商前置仓冷链物流断链风险影响因素体系，研究了影响因素的因果属性、层次网络结构和权重。

目前对于冷链物流中风险的相互作用和关联性的研究还相对较少，但可以参考在建筑工程、交通运输以及安全生产等其他行业中关于风险相互作用的研究成果，以便更全面地评估和管理冷链物流过程中的风险。潘红伟等[8]运用 N-K 模型构建隧道施工风险耦合模型，揭示隧道施工事故多风险因素间的耦合效应。Hai 等[9]通过 Dirichlet 分配算法、N-K 模型和系统动力学，模拟了综合管廊事故风险的动态演化

过程,用于确定对综合管廊影响最大的耦合关系。沈洁等[10]采用 N-K 模型和社会网络模型进行了风险因素耦合分析和风险因素关系可视化,为了提高物流仓储的安全风险管理水平。崔秀芳等[11]引入融合 N-K 模型的复杂网络研究船舶自沉事故风险耦合,定量分析了船舶自沉风险因素间的影响关系,并识别了导致船舶自沉事故的关键因素。王意如等[12]提出 N-K 模型和贝叶斯网络(BN)模型相结合的一种新的定量分析方法,分析了船舶载运汽车火灾事故风险的耦合性。

从国内外研究来看,现有文献关于冷链物流风险的指标体系大多都是根据相关文献分析完成,风险指标的识别上具有较强的主观性,同时现有风险耦合方面的研究大部分集中于建设工程、交通运输、安全事故等领域,耦合视角下的冷链物流风险研究内容仍需完善。因此,本文利用与冷链物流相关事故案例数据构建冷链物流的动态耦合风险评估模型,基于 LDA 主题模型进行文本数据分析,构建冷链物流风险因素指标体系,并利用 N-K 模型来测量冷链物流风险因素耦合风险值,识别关键风险耦合因素,为生鲜电商的冷链物流探索有效的安全风险管控措施提供一定的理论支持。

2. 冷链物流风险因素识别

冷链物流是利用温控、保鲜等技术工艺和冷库、冷藏车、冷藏箱等设施设备,确保冷链产品在初加工、储存、运输、流通加工、销售、配送等全过程始终处于规定温度环境下的专业物流。冷链物流的流程如图 1 所示:

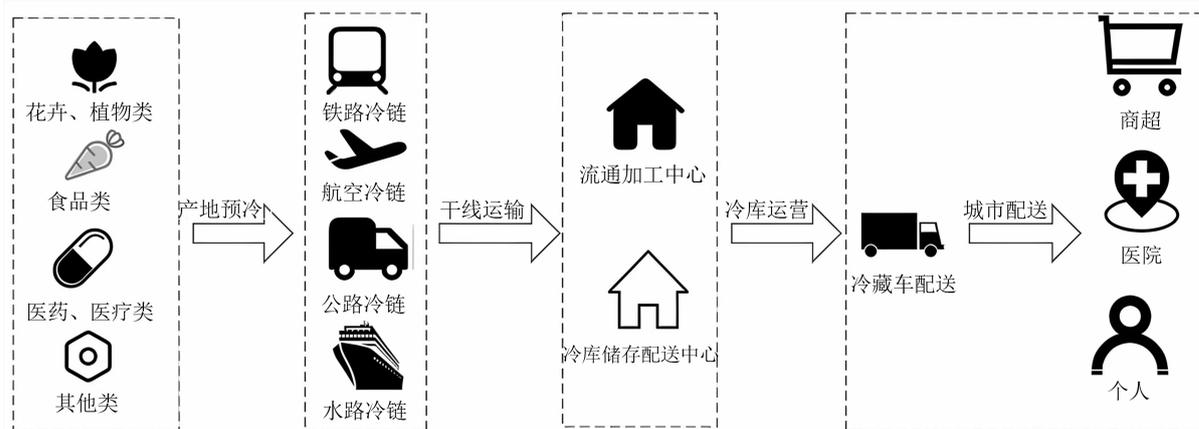


Figure 1. Main operation flow chart of cold chain logistics

图 1. 冷链物流主要作业流程图

本研究在应急管理局、安全管理网和中国行政处罚文书网收集 2013 年至 2023 年的冷链物流相关事故调查报告和处罚文书共 186 个文本,并进行文本预处理得到有效的文本数据,部分文本数据见表 1,运用 LDA 主题模型对文本数据进行主题提取和标识,识别冷链物流风险因素并构建冷链物流风险指标体系。

Table 1. Partial investigation reports and penalty documents

表 1. 部分调查报告和处罚文书

序号	事故调查报告/行政处罚主体	事故原因/行政处罚内容	耦合类型
1	柘城县冷链物流有限公司	货物保护措施不到位 超限运输	人员 设备
2	浙江川程冷链物流有限公司	违法超限运输	人员 设备
3	上海众友冷藏股份有限公司	消防设施设置不符合标准	设备 环境

续表

4	台州市椒江双龙冷冻厂	未采取措施消除事故隐患、作业环境存在危险因素	管理 环境
5	北京金也冷藏保鲜科技有限公司	消防设施、器材失效 未按规定进行电气防火安全检测	设备 环境
6	徐闻县润绿果菜保鲜服务有限公司	安全设备缺少维护保养和定期检测、安全设备养护 记录信息制度不健全、安全生产教育和培训不足	人员 管理 设备
7	大连市新长兴市场“2021.12.31” 冷库火灾事故调查报告	违法建设冷库，违规使用易燃保温材料，违规动火 作业。	人员 设备 环境
8	杭州市高速公路“2017.10.2”冷藏 车爆炸事故调查报告	车厢温度监控装置缺乏，驾驶员安全意识不足，缺 少冷藏车运输专业知识，应急处理能力不足。	人员 设备

2.1. LDA 主题分析概述

LDA 是由 Blei 等人提出的一种无监督机器学习算法，用于从大规模文本中识别和提取主题信息，通过词汇概率来表示主题，概率最高的词汇通常能很好地反映该主题的含义[13]。其中，文档可以被视为由一个或多个服从概率分布的主题混合形成的概率分布，而主题则是单词项的概率分布，其遵循如公式(1)所示概率方程[14]，公式中的字母符号参考表 2。

$$p(\varphi, \theta, Z, W | \alpha, \beta) = \prod_{k=1}^K p(\varphi_k | \beta) \prod_{m=1}^M p(\theta_m | \alpha) \left(\prod_{n=1}^N p(Z_{m,k} | \theta_m) p(W_{m,n} | \varphi_k, Z_{m,n}) \right) \quad (1)$$

Table 2. LDA topic analysis symbol meaning

表 2. LDA 主题分析符号含义

符号	含义
α	表示主题狄利克雷先验参数
β	表示主题词狄利克雷先验参数
θ_m	表示第 m 个文档的主题分布， $\theta_m \sim \text{Dir}(\alpha)$
φ_k	表示第 k 个主题的词项分布， $\varphi_k \sim \text{Dir}(\beta)$
$Z_{m,k}$	表示第 m 个文档的第 k 个主题
$W_{m,n}$	表示第 m 个文档的第 n 个词项
N_m	表示第 m 篇文档的词项总数
M	表示所有文档个数
K	表示主题个数

2.2. 基于 LDA 的主题分析

本文利用 Python 实现了 LDA 主题建模，计算 LDA 模型的困惑度以确定主题数量，构建冷链物流风险指标体系。本研究对冷链物流领域事故调查报告以及行政处罚文书进行文本挖掘，以求识别出冷链物流风险因素，主要内容为文本分词、词频分析、主题数确定和 LDA 主题分析等。

(1) 文本分词

在处理事故调查报告和行政处罚文书的文本分析时，这些文档往往包含了大量与冷链物流风险因素直接相关性不强的信息，数量众多且属于非结构化的文本类型数据，在专注于风险因素的研究中，可能会降低数据分析的效率和准确性。因此，需要通过人工或自动化工具对原始文本进行筛选，去除那些对于风险因素识别的贡献较小的部分，只保留与冷链物流事故的直接原因和违法事实相关的内容，将文本内容冗长和语句重复等内容进行精炼。本研究采用 jieba 分词工具包对事故调查报告进行文本分词处理，选择适合文本分析的精确模式进行分词。

(2) 词频分析

分词之后，需要进行剔除虚词和意义不大的词项，剔除方法采用创建停用词词典进行过滤。之后采用 wordcloud 工具包对词频统计结果进行可视化分析展示，得到的冷链物流风险因素词云图，如图 2 所示。



Figure 2. Word cloud of risk factors of cold chain logistics

图 2. 冷链物流风险因素词云图

在词云图中，字体的大小和词的出现频率是成正比关系的：出现次数越多的词，其字体就越大。这意味着，如果一个词在文档中出现得越频繁，它可能代表的安全隐患就越严重。另一方面，词云图中离得越近的词，它们在文档中的相关性就越强。

(3) 主题数确定

本文采用经典指标困惑度来辅助确定合理的主题数目。通常，困惑度越低，模型的准确性越高。困惑度随主题数目变化时的曲线如图 3 所示。使用 Python 调用 pyLDAvis 工具包，得到冷链物流风险因素主题结果可视化结果图，如图 4 所示。

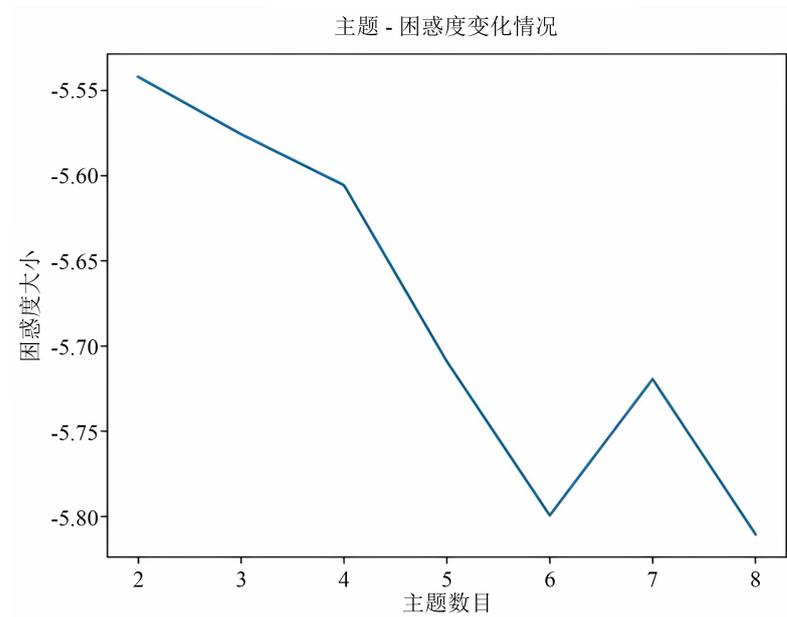


Figure 3. LDA topic number confusion
图 3. LDA 主题数目困惑度

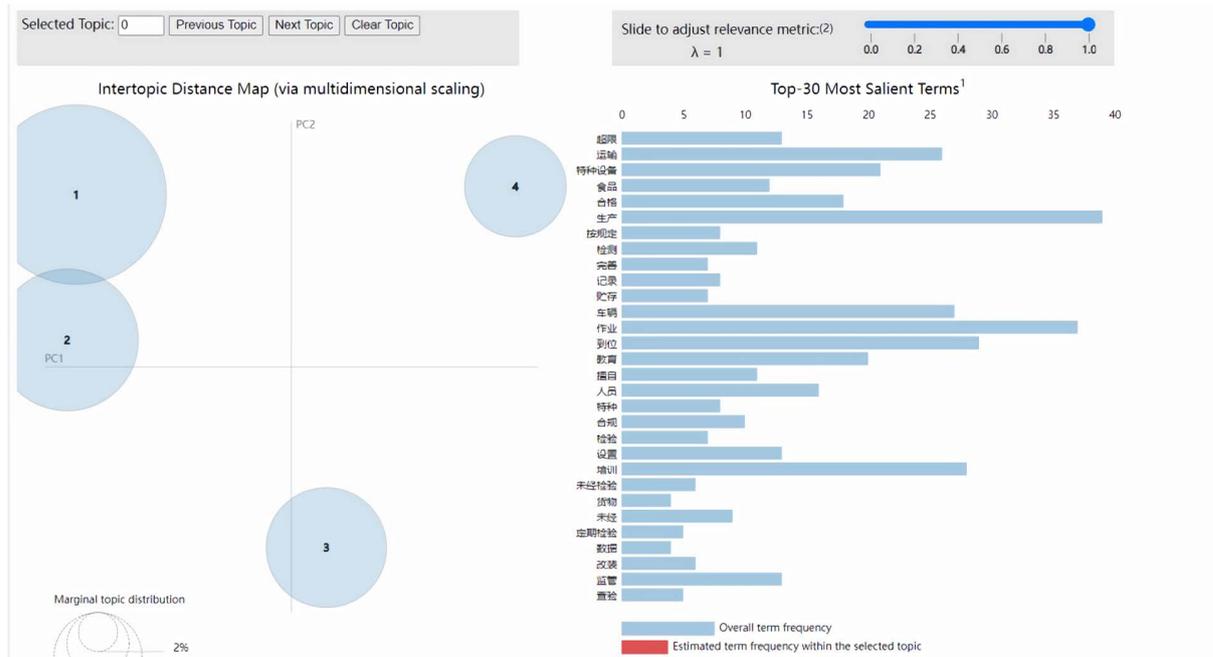


Figure 4. Visualized results of the theme results of cold chain logistics risk factors
图 4. 冷链物流风险因素主题结果可视化结果

从图 3 中可以分析出，主题数目取得越大准确度越高，但是主题数过大时词项聚类效果不明显，数目过小则会造成某个主题成分复杂。综合前文进行词云图分析显示结果，可以大致看出安全风险涉及到人员、管理、设备、环境等方面，本研究确定主题数目为 4。从图 4 可以分析出，当主题数目为 4 时，出现主题重叠的情况很小，说明主题区别较为明显。

基于上述分析，本研究确定主题数目为 4 个，各个主题的词项如表 3 所示。

Table 3. Composition of LDA topic analysis terms
表 3. LDA 主题分析词项构成

主题序号	主题词项
Topic1	作业 生产 培训 教育 人员 安全意识 特种 从业人员 制度 符合 员工 缺少 风险 操作规程 合格 上岗 制冷 辨识 建立 操作 驾驶员 未经 监测 擅自 意识 维护 包装 违规操作
Topic2	超限 运输 食品 完善 记录 贮存 货物 数据 制冷 保护措施 冷库 保鲜 合规 信息 冷链 采取措施 车辆 特种设备 消除 查验 包装 超过 装置 冷藏车 改装 标准 总体 限定
Topic3	到位 驾驶员 生产 无证 作业 应急 设置 监管 管理 培训 健全 落实 运输 标志 管理人员 负责人 教育 缺少 责任 警示 预案 操作规程 规章制度 监管部门 失效 职责 排查
Topic4	合格 检测 按规定 设计 合规 检验 未经检验 未经 食用 定期检验 农产品 维护 缺乏 事故隐患 查验 制度 运输 缺失 食品 管理 进货 供货 证明 食品安全 超过 环境 设备 制定 管理制度

2.3. 冷链物流风险因素体系构建

通过 LDA 主题分析从文本数据中抽取到 4 个安全风险主题, 将冷链物流一级风险因素分为“人员”、“设备”、“管理”和“环境”四个主题, 再根据 LDA 主题分析结果, 回归事故调查报告和行政处罚文书, 并参考冷链物流运作规范国家标准文件, 设立内容适用、数量适宜的因素, 共得到冷链物流风险 21 个, 经过分类可以得到冷链物流风险指标体系如表 4 所示。

Table 4. Index system of risk factors in cold chain logistics
表 4. 冷链物流风险因素指标体系

因素编码	安全风险因素
人员因素(r)	r1 人员操作失误
	r2 作业流程不规范
	r3 冷链意识不足
	r4 专业知识缺乏
	r5 安全意识薄弱
设备因素(s)	s1 运输设备存在缺陷
	s2 信息系统不完善
	s3 维修保养不到位
	s4 包装材料不合格
	s5 配套设施老化
	s6 制冷设备故障
	s7 保鲜措施不足
管理因素(g)	g1 运输监管不到位
	g2 劳动组织管理松懈
	g3 应急措施不完备
	g4 管理制度不健全
	g5 管理人员责任感低
环境因素(h)	h1 检验检疫不合格
	h2 作业环境不合格
	h3 货物被污染
	h4 政策监管不力

3. 冷链物流风险耦合模型构建

3.1. N-K 模型概述

N-K 模型最初源于美国遗传学家 Sewall Wright 的适应性景观理论, 该理论研究生物有机体的进化。Kauffman 结合 Wright 提出的适应性景观概念, 将生物有机体视为由基因组成的复杂系统, 并设计了一种结构化的模拟方法, 即 N-K 模型[15]。N-K 模型非常适合用来探究系统各组成部分之间的交互作用是如何塑造整个系统的适应能力。

公式如公式(2)所示[16]。

$$T(r, s, g, h) = \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D P_{a,b,c,d} \times \log_2 \left[\frac{P_{a,b,c,d}}{P_{a\dots} \times P_{b\dots} \times P_{c\dots} \times P_{d\dots}} \right] \quad (2)$$

式中: $a=1, \dots, A$; $b=1, \dots, B$; $c=1, \dots, C$; $d=1, \dots, D$ 。

$P_{a,b,c,d}$ 表示当因素 A 处于 a 状态、因素 B 处于 b 状态、因素 C 处于 c 状态、因素 D 处于 d 状态下耦合风险产生的概率。T 值越大, 耦合程度越强, 则该耦合风险发生后引发风险事故的概率就越大。

3.2. 冷链物流风险耦合模型构建

冷链物流系统包含人员、设备、管理和环境四个风险组件。根据每个组件是否突破自身的防御系统, 它们可以分为 0 和 1 状态, 0 表示未突破自身的防御系统, 即未发生; 1 表示已突破自身的防御系统, 即发生[17]。本文采用 N-K 模型来评估冷链物流系统中多种风险因素相互作用的复杂程度。通过测量“人员”、“设备”、“管理”和“环境”所对应的风险之间的相互信息量 T, 对风险因素之间的耦合强度进行量化。

(1) 对于双因素风险耦合的计算

冷链物流系统中, 双因素风险耦合主要表现为人-设因素风险耦合、人-管风险因素耦合、人-环风险因素耦合、设备-管理风险因素耦合、管-环风险因素耦合以及设-管风险因素耦合, 分别用符号 $T_{12}(r, s)$, $T_{13}(r, g)$, $T_{14}(r, h)$, $T_{23}(s, g)$, $T_{24}(s, h)$, $T_{34}(g, h)$ 表示:

$$T_{12}(r, s) = \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B P_{ab\dots} \times \log_2 \left(\frac{P_{ab\dots}}{P_{a\dots} \times P_{b\dots}} \right) \quad (3)$$

$$T_{13}(r, g) = \sum_{a=1}^A \sum_{c=1}^C P_{ac\dots} \times \log_2 \left(\frac{P_{ac\dots}}{P_{a\dots} \times P_{c\dots}} \right) \quad (4)$$

$$T_{14}(r, h) = \sum_{a=1}^A \sum_{d=1}^D P_{ad\dots} \times \log_2 \left(\frac{P_{ad\dots}}{P_{a\dots} \times P_{d\dots}} \right) \quad (5)$$

$$T_{23}(s, g) = \sum_{b=1}^B \sum_{c=1}^C P_{bc\dots} \times \log_2 \left(\frac{P_{bc\dots}}{P_{b\dots} \times P_{c\dots}} \right) \quad (6)$$

$$T_{24}(s, h) = \sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D P_{bd\dots} \times \log_2 \left(\frac{P_{bd\dots}}{P_{b\dots} \times P_{d\dots}} \right) \quad (7)$$

$$T_{34}(g, h) = \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D P_{cd\dots} \times \log_2 \left(\frac{P_{cd\dots}}{P_{c\dots} \times P_{d\dots}} \right) \quad (8)$$

(2) 对于多因素风险耦合的计算

冷链物流系统中, 多因素风险耦合主要表现为人-设-管风险因素耦合、人-设-环风险因素耦合、

人-管-环风险因素耦合、设-管-环风险因素耦合、人-设-管-环分别用符号 $T_{123}(r, s, g)$ 、 $T_{124}(r, s, h)$ 、 $T_{134}(r, g, h)$ 、 $T_{234}(s, g, h)$ 、 $T_{1234}(r, s, g, h)$ 表示：

$$T_{123}(r, s, g) = \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{c=1}^C P_{abc} \times \log_2 \left[\frac{P_{abc}}{P_{a..} \times P_{b..} \times P_{..c}} \right] \quad (9)$$

$$T_{124}(r, s, h) = \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D P_{abd} \times \log_2 \left[\frac{P_{abd}}{P_{a..} \times P_{b..} \times P_{..d}} \right] \quad (10)$$

$$T_{134}(r, g, h) = \sum_{a=1}^A \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D P_{acd} \times \log_2 \left[\frac{P_{acd}}{P_{a..} \times P_{..c} \times P_{..d}} \right] \quad (11)$$

$$T_{234}(s, g, h) = \sum_{b=1}^B \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D P_{bcd} \times \log_2 \left[\frac{P_{bcd}}{P_{b..} \times P_{..c} \times P_{..d}} \right] \quad (12)$$

$$T_{1234}(r, s, g, h) = \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D P_{abcd} \times \log_2 \left[\frac{P_{abcd}}{P_{a..} \times P_{b..} \times P_{..c} \times P_{..d}} \right] \quad (13)$$

3.3. 风险因素耦合强度的计算

根据在应急管理局、安全管理网和中国行政处罚文书网收集 2013 年至 2023 年的冷链物流相关事故调查报告和处罚文书共 186 个文本数据案例，结合耦合风险分类对文本数据进行详细划分并统计不同类型因素耦合频次，统计结果如表 5 所示。表格中的耦合因素按照人员-设备-管理-环境依次排序，数字 1 表示发生，数字 0 表示未发生，例如：0110 表示设备和管理发生，人员和环境未发生，依此类推。

Table 5. Frequency statistics of risk coupling factors in cold chain logistics

表 5. 冷链物流风险耦合因素频次统计

单因素耦合	耦合因素	0000	1000	0100	0010	0001	
	频次	0	7	25	10	2	
	概率(P)	0	0.0376	0.1344	0.0538	0.0108	
双因素耦合	耦合因素	1100	1010	1001	0110	0101	0011
	频次	22	6	0	35	17	16
	概率(P)	0.1183	0.0323	0	0.1882	0.0914	0.0860
多因素耦合	耦合因素	1110	1101	1011	0111	1111	
	频次	18	3	3	10	12	
	概率(P)	0.0968	0.0161	0.0161	0.0538	0.0645	

在冷链物流风险耦合因素频次统计的基础上，可以进一步计算单因素耦合、双因素耦合和多因素耦合在不同情况下发生的概率。

(1) 单因素耦合不同情况下发生的概率

$P_{0..} = P_{0000} + P_{0100} + P_{0010} + P_{0001} + P_{0110} + P_{0101} + P_{0011} + P_{0111} = 0.6184$ ；同理可计算其他耦合情况概率，结果统计见表 6。

(2) 双因素耦合不同情况下发生的概率

$P_{00..} = P_{0000} + P_{0010} + P_{0001} + P_{0011} = 0.1506$ ；同理可计算其他耦合情况概率，结果统计见表 7。

Table 6. Single factor coupling probability**表 6.** 单因素耦合发生概率

$P_{0..}$	$P_{1..}$	$P_{0.}$	$P_{1.}$	$P_{.0}$	$P_{.1}$	$P_{.0}$	$P_{.1}$
0.6184	0.3817	0.2366	0.7635	0.4086	0.5915	0.6614	0.3387

Table 7. Probability of occurrence of two-factor coupling**表 7.** 双因素耦合发生概率

$P_{00..}$	$P_{01..}$	$P_{10..}$	$P_{11..}$	$P_{0.0}$	$P_{0.1}$	$P_{1.0}$	$P_{1.1}$
0.1506	0.4678	0.0860	0.2957	0.2366	0.3818	0.1720	0.2097
$P_{.00}$	$P_{.01}$	$P_{.10}$	$P_{.11}$	$P_{00.}$	$P_{10.}$	$P_{01.}$	$P_{11.}$
0.3764	0.2420	0.2850	0.0967	0.0484	0.3602	0.1882	0.4033
P_{00}	P_{10}	P_{01}	P_{11}	P_{00}	P_{10}	P_{01}	P_{11}
0.1237	0.5377	0.1129	0.2258	0.2903	0.3711	0.1183	0.2204

(3) 多因素耦合不同情况下发生的概率

$P_{000.} = P_{0000} + P_{0001} = 0.0108$ ；同理可计算其他耦合情况概率，结果统计见表 8。

Table 8. Multi-factor coupling probability**表 8.** 多因素耦合发生概率

$P_{000.}$	$P_{100.}$	$P_{010.}$	$P_{001.}$	$P_{110.}$	$P_{101.}$	$P_{011.}$	$P_{111.}$
0.0108	0.0376	0.2258	0.1398	0.1344	0.0484	0.2420	0.1613
$P_{.000}$	$P_{.100}$	$P_{.010}$	$P_{.001}$	$P_{.110}$	$P_{.101}$	$P_{.011}$	$P_{.111}$
0.0376	0.2527	0.0861	0.0108	0.2850	0.1075	0.1021	0.1183
$P_{0.00}$	$P_{1.00}$	$P_{0.10}$	$P_{0.01}$	$P_{1.10}$	$P_{1.01}$	$P_{0.11}$	$P_{1.11}$
0.1344	0.1559	0.2420	0.1022	0.1291	0.0161	0.1398	0.0806
$P_{00.0}$	$P_{10.0}$	$P_{01.0}$	$P_{00.1}$	$P_{11.0}$	$P_{10.1}$	$P_{01.1}$	$P_{11.1}$
0.0538	0.0699	0.3226	0.0968	0.2151	0.0161	0.1452	0.0806

将表 5~7 数据代入上述对应的不同耦合类型公式进行计算，先对不同耦合情况的概率进行计算，将已知数据代入公式(3)~(13)进行风险耦合值 T 值的计算，最终得到耦合风险值见表 9。

Table 9. Coupling risk values**表 9.** 耦合风险值

$T_{12}(r,s)$	$T_{13}(r,g)$	$T_{14}(r,h)$	$T_{23}(s,g)$	$T_{24}(s,h)$	$T_{34}(g,h)$
0.0002	0.0031	0.0147	0.041	0.0184	0.0053
$T_{123}(r,s,g)$	$T_{124}(r,s,h)$	$T_{134}(r,g,h)$	$T_{234}(s,g,h)$	$T_{1234}(r,s,g,h)$	
0.0734	0.0543	0.0527	0.0714	0.1856	

3.4. 结果分析

由计算结果将上述不同情况下的耦合风险值大小进行排序：

$$T_{1234}(r, s, g, h) > T_{123}(r, s, g) > T_{234}(s, g, h) > T_{124}(r, s, h) > T_{134}(r, g, h) \\ > T_{23}(s, g) > T_{24}(s, h) > T_{14}(r, h) > T_{34}(g, h) > T_{13}(r, g) > T_{12}(r, s)$$

为了更直观地观察不同情况下风险耦合值之间的差异，绘制风险因素耦合值条形统计图如图 5 所示。

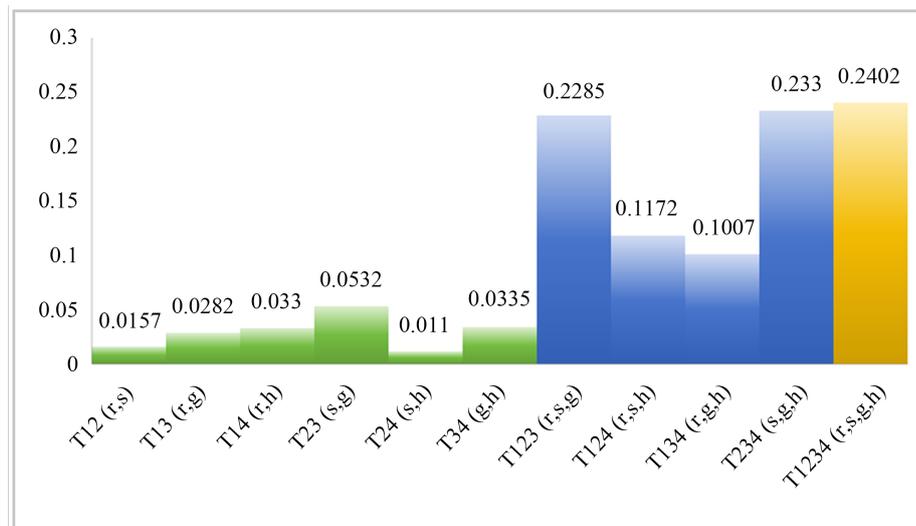


Figure 5. Statistical diagram of risk factor coupling value
图 5. 风险因素耦合值统计图

观察图 5 可以看出：

(1) 多因素耦合风险值普遍比双因素耦合风险值要大。在 4 个风险因素参与的耦合作用下造成的冷链物流风险最大，其次是 3 个风险因素参与的耦合作用。在冷链物流风险事故中参与耦合的因素越多，事故发生的风险耦合值越大：四因素风险耦合大于三因素风险耦合，三因素风险耦合大于双因素风险耦合。

(2) 在三因素风险耦合中，人员 - 设备 - 管理因素参与的耦合作用造成冷链物流风险最大，其次是设备 - 管理 - 环境因素和人员 - 设备 - 环境因素参与的相互耦合作用，造成冷链物流风险最小的是人员 - 管理 - 环境因素参与的相互耦合作用。导致冷链物流事故发生的前 3 个风险耦合形式都有设备因素的参与，说明冷链物流风险事故发生的主要原因是设备因素。在冷链物流全过程中，时常会遇到运输设备、制冷设备、保温设备等的老化、损坏等情况，这些设备问题本身都极易直接导致冷链物流风险事故的发生，当与其他因素耦合情况下，发生冷链物流风险事故的危险性会更大。

(3) 在双因素耦合风险中，设备 - 管理耦合风险值是最大的，其次为设备 - 环境、人员 - 环境、管理 - 环境、人员 - 管理、人员 - 设备耦合风险值最小。这也表明设备因素和管理因素是对冷链物流系统的安全运作威胁最大的耦合风险类型，应尽量减小设备-管理因素间内部风险耦合。

分析结果可以发现，三因素风险耦合和双因素耦合中，设备因素和管理因素参与的耦合类型风险值都是最大的，在冷链物流过程中应尽可能避免设备因素和管理因素与其他风险因素之间的耦合作用。

4. 冷链物流耦合风险控制策略

基于以上研究识别出的关键耦合因素，本文提出针对性的冷链物流风险管控策略，为生鲜电商的冷链物流风险管控提供更精准的指导。

(1) 提高运输途中的监测技术：通过应用 RFID 标签和 GPS 技术对冷藏链中的货物和运输工具进行

实时监控。

(2) 制定健全的管理规章制度：对各个环节作出包括温度、清洁卫生、保质期等在内的关于物品保护的具体要求。

(3) 制定完备的应急措施预案：设备故障、异常天气和交通情况、冷藏车出现交通事故等在内所有可能遇到的意外情况，制定完善的应急处理措施，并将意外情况由于应急不到位带来损失的主体责任明确到个人。

(4) 保障运输设备的低温环境：使用符合国家标准的冷藏车进行运输，冷藏运输车辆配备有先进的控制系统，允许司机在途中灵活地调整货舱内的温度，确保货物持续处在最佳保存条件下。

(5) 严格把控保温包材质量：在选择保温材料时，必须严格把控质量，使用具有阻燃性与环保型的保温材料。

5. 研究结论

本文基于 186 份冷链物流领域的事故调查报告和行政处罚文书，利用 LDA 算法进行文本挖掘建立了冷链物流风险指标体系，运用 N-K 模型进行耦合度度量研究。结果表明：冷链物流风险共包括人员、设备、管理和环境等 4 类风险要素，其中设备因素和管理因素在整个冷链物流系统中存在风险耦合性是最大的，也是对冷链物流系统的安全运作威胁最大的耦合风险类型，应尽量减小设备 - 管理因素间内部风险耦合。因此，生鲜电商在冷链物流系统运作过程中，要避免多因素耦合作用，同时要提高运输途中的监测技术、制定健全的管理规章制度和完备的应急措施预案、保障运输设备的低温环境、严格把控保温包材质量。基于以上研究结论结合生鲜电商行业实际情况提出的冷链物流风险耦合控制策略，为生鲜电商行业的发展和消费者的消费安全提供参考。

参考文献

- [1] 东方, 依绍华, 秦小辉. 社区生鲜零售商业发展冷链物流的现实逻辑、关键问题与对策建议——基于消费新需求与服务提升双视域[J]. 当代经济管理, 2021, 43(11): 27-34.
- [2] 刘明菲, 陈威. 基于集成 DEMATEL-ISM 的生鲜冷链前置仓物流服务质量风险影响因素研究[J]. 安全与环境工程, 2020, 27(1): 118-125.
- [3] 高齐圣, 袁震, 欧阳道中. 基于 LDA-fsQFD 的农产品供应链风险预警信息识别[J/OL]. 情报杂志, 1-10. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=SyD34uTtguAOTpIEWkJ8z_9ywcwi0_1AMLdf3tU-Uob288AEm426KMOCTRnWVpXXJPYRA6457O5JJj3gWWHyVZFeQvrI_Qtc726t-0am9LUg-wlUJ19Qf7tPUgm_63zF-cOiH05gXlQ7xkj8SUZj8wAZ4hZ9hVix7TpqF43mtgE=&uniplatform=NZKPT, 2025-05-04.
- [4] 张喜才, 霍迪. 中国生鲜农产品冷链物流薄弱环节梳理及对策研究[J]. 农业经济与管理, 2021(3): 93-102.
- [5] Hong, B., Shao, B., Guo, J., Fu, J., Li, C. and Zhu, B. (2023) Dynamic Bayesian Network Risk Probability Evolution for Third-Party Damage of Natural Gas Pipelines. *Applied Energy*, **333**, Article 120620. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120620>
- [6] 张浩, 邱斌, 唐孟娇, 等. 基于改进突变级数法的农产品冷链物流风险评估模型[J]. 系统工程学报, 2018, 33(3): 412-421.
- [7] 申笑宇, 赵悦. 生鲜电商前置仓冷链物流断链风险影响因素研究[J]. 安全与环境工程, 2023, 30(1): 9-18.
- [8] 潘红伟, 郭德赛, 宋战平, 等. 基于 N-K 模型的隧道施工事故多风险因素耦合分析[J]. 隧道建设(中英文), 2022, 42(9): 1537-1545.
- [9] Hai, N., Gong, D., Liu, S. and Dai, Z. (2022) Dynamic Coupling Risk Assessment Model of Utility Tunnels Based on Multimethod Fusion. *Reliability Engineering & System Safety*, **228**, Article 108773. <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108773>
- [10] 沈洁, 王丽萍, 肖文慧, 等. 基于 N-K 和 SNA 模型的物流仓储安全风险因素分析[J]. 安全, 2024, 45(4): 35-41.
- [11] 崔秀芳, 邵志鹏, 赖炜祺, 等. 融合 N-K 模型的复杂网络船舶自沉事故风险因素耦合分析[J]. 安全与环境学报,

- 2024, 24(9): 3307-3314.
- [12] 王意如, 王彦富, 乔健, 等. 基于 N-K 模型和贝叶斯网络的船舶载运汽车火灾风险耦合分析[J]. 消防科学与技术, 2025, 44(4): 439-447.
- [13] Jelodar, H., Wang, Y., Yuan, C., Feng, X., Jiang, X., Li, Y., *et al.* (2018) Latent Dirichlet Allocation (LDA) and Topic Modeling: Models, Applications, a Survey. *Multimedia Tools and Applications*, **78**, 15169-15211. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6894-4>
- [14] 韩亚楠, 刘建伟, 罗雄麟. 概率主题模型综述[J]. 计算机学报, 2021, 44(6): 1095-1139.
- [15] Zhang, W. and Zhang, Y. (2023) Research on Coupling Mechanism of Intelligent Ship Navigation Risk Factors Based on N-K Model. *Journal of Marine Science and Technology*, **28**, 195-207. <https://doi.org/10.1007/s00773-022-00919-0>
- [16] Wang, Y., Wang, X., Geng, X., Lv, L. and Sun, R. (2022) Analysis of Key Risks in Fresh Products Supply Chain Logistics Based on the N-K/SNA Model. *IEEE Access*, **10**, 130097-130109. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3227772>
- [17] Yan, H., Zheng, Z., Huang, H., Zhou, X., Tang, Y. and Hu, P. (2022) Risk Coupling Evaluation of Social Stability of Major Engineering Based on N-K Model. *Buildings*, **12**, Article 702. <https://doi.org/10.3390/buildings12060702>