

# 基于扎根理论的危化品企业仓储风险评价 ——以H危化品公司为例

葛梦瑶

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2024年4月21日; 录用日期: 2024年6月22日; 发布日期: 2024年6月29日

## 摘要

危化品仓储事故后果严重, 开展危化品企业仓储风险评价意义重大。本研究评价工作包括危化品仓储风险因素识别、风险因素权重计算和基于模糊综合评价的实证研究。本文首先运用扎根理论对108起典型危化品仓储事故调查报告逐级编码, 构建了包含5个核心范畴、21个主范畴和52个初始范畴的风险因素体系。接着利用层次分析法求得各级风险因素权重, 并以H危化品公司为例开展实证研究, 利用模糊综合评价法对该公司仓储风险等级进行评估, 得出其风险等级低的结论。

## 关键词

扎根理论, 危化品仓储, 层次分析法, 模糊综合评价

# Warehouse Risk Assessment of Hazardous Chemical Enterprises Based on Grounded Theory

## —A Case Study of H Hazardous Chemical Company

Mengyao Ge

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Apr. 21<sup>st</sup>, 2024; accepted: Jun. 22<sup>nd</sup>, 2024; published: Jun. 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

The consequences of hazardous chemical storage accidents are serious, and conducting risk assessments for hazardous chemical enterprise storage is of great significance. The evaluation work

of this study includes identification of risk factors for hazardous chemical storage, calculation of risk factor weights, and empirical research based on fuzzy comprehensive evaluation. This article first applies grounded theory to code the investigation reports of 108 typical hazardous chemical storage accidents step by step, and constructs a risk factor system that includes 5 core categories, 21 main categories, and 52 initial categories. Then, the Analytic Hierarchy Process is used to obtain the weights of risk factors at all levels, and an empirical study is conducted using H Hazardous Chemicals Company as an example. The fuzzy comprehensive evaluation method is used to evaluate the warehouse risk level of the company, and the conclusion is drawn that its risk level is low.

## Keywords

Grounded Theory, Hazardous Chemical Warehousing, Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Comprehensive Evaluation

Copyright © 2024 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

我国危险化学品的种类和仓储规模不断扩大,带来巨大的经济效益的同时也存在安全隐患。危险化学品本身具有易燃性、爆炸性和毒性等特点,储存过程中一旦发生事故后果十分严重。2020年8月5日,国务院安委会办公室、应急管理部召开会议,提出要以港口、码头、物流仓库、化工园区等为重点,立即开展全国危化品储存安全专项检查整治[1]。2021年9月11日,应急管理部发布了《化学品储罐区安全风险评估整治工作通知》;2022年8月30日,应急管理部对危化品储存仓库安全管理提出了“六必须”[2]。然而,我国危化品仓储建设与管理目前仍不完善,存在设施数量短缺、监管不足、安全意识不足、作业人员操作不规范等隐患[3][4][5][6][7]。在此背景下,开展危化品仓储风险因素识别与风险评价尤为必要。

综合梳理危化品仓储风险研究成果发现,危化品仓储安全已引起学界广泛关注与探讨。Yong C, Dehao Z.利用模糊综合评价法分析了港口危险化学品储存区火灾爆炸原因[8];李岩也针对危化品仓储火灾与爆炸事故开展风险耦合特性分析[9];张岩从人、物、环境方面进行危化品仓储安全影响因素分析,并开发了危化品仓储安全状态监测和预警系统[10];马国乐通过石化企业实证研究,分析其仓储作业的九大风险因素,并利用风险矩阵评估了企业风险等级[11];宋玉梅,熊乾则考虑将“互联网+”技术应用于危化品仓储安全管理[12]。然而,目前缺少对于危化品仓储事故原因的全面细化的归纳分析,本文致力于通过对大量典型危化品仓储事故案例扎根分析,总结出一套危化品企业仓储事故影响因素体系,并利用层次分析法确定因素权重,最后利用模糊综合评价法对H公司仓储风险水平进行评价。以期为危化品企业提高风险识别和事故预防能力提供可靠的理论贡献。

## 2. 基于扎根理论的危化品仓储风险因素识别

### 2.1. 扎根理论概述

扎根理论是质性研究方法的一种,其基本思想是围绕研究问题,以经验事实为依据对原始资料中的概念进行归纳,并进一步提炼相关概念和分析其相互关系,自下而上建立一套实质理论[13]。扎根理论的研究方法包括文献分析、典型案例分析、实地调研访谈等。扎根步骤包括:开放式编码、主轴式编码、

选择式编码和理论饱和度检验，在对新的资料编码后不再出现新范畴时认为理论达到饱和，最终构建以核心范畴为核心、主范畴为维度、初始范畴为指标的理论框架。文本利用典型案例的分析的方式构建危化品仓储风险因素体系，收集到的事故报告数量多、描述详尽，可以达到理论饱和。

2.2. 事故数据来源与分类

本文选取了 2004 年~2024 年间的 108 起典型危化品仓储事故，收集详细事故调查报告资料，报告中须包含事故发生时间地点、伤亡情况、事故经过、详细事故原因分析(直接、间接)等。本文是以危化品企业管理视角探讨其仓储风险因素，因此仅选取事故报告中对于企业自身相关原因的文本描述，政府和其他相关机构管理因素、地形气候等环境因素等暂不做探讨。

本文案例数据来源主要有：中华人民共和国应急管理部、安全管理网、国家危险化学品安全公共服务互联网平台(NRCC)、中国化学品安全协会官方网站、以及各地应急管理部通报、网页新闻报道等。

表 1 是部分事故调查报告相关数据节选。

Table 1. Summary of accident investigation report data (excerpt)

表 1. 事故调查报告数据汇总(节选)

| 发生时间      | 事件名称                      | 伤亡情况    | 事故原因原始语句                                                             |
|-----------|---------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------|
| 2016/4/25 | 江西樟江化工有限公司“4·25”爆燃事故      | 3 死，1 伤 | 技术顾问未制止操作人员的事故应急不当处置；未取得消防部门消防设计审核意见和建设部门施工许可，擅自开工建设；企业未设置安全生产管理机构   |
| 2017/4/6  | 重庆亚特高级润滑油有限公司“4·6”较大爆炸事故  | 3 死     | 清罐作业人员未进行充分通风换气；违章使用非防爆的移动泵和插线板；未配备专职安全生产管理人员；公司非法从事燃油料勾兑、调和、除质的生产行为 |
| 2018/5/12 | 上海赛科石油化工有限公司“5·12”苯罐燃烧爆炸  | 6 死     | 作业内容发生重大变化后，施工方案未变更；未及时消除生产安全事故隐患，未认真检查安全防范措施的落实；作业人员未佩戴标准的劳动防护用品    |
| 2022/6/18 | 上海石化“6·18”火灾事故            | 1 死，1 伤 | 老旧装置安全风险专项评估不到位；未能有效督促从业人员严格执行本单位的安全生产规章制度及操作规程，公司相关部门检查监督不够         |
| 2023/6/5  | 河南南阳旭日保护材料有限公司“6·5”较大爆燃事故 | 4 死     | 因原料储存仓库漏雨，仓库内堆放的电石灰、镁矿粉、铝粒等物质遇水释放出氢气、乙炔等可燃气体；作业人员用角磨机切割棚顶产生电火花       |

Table 2. Classification of accident investigation report

表 2. 事故调查报告分类

| 事故类型  | 三级编码案例 | 饱和度检验案例 | 总计(起) |
|-------|--------|---------|-------|
| 爆炸事故  | 41     | 10      | 51    |
| 泄漏事故  | 12     | 2       | 14    |
| 火灾事故  | 23     | 5       | 28    |
| 窒息事故  | 5      | 1       | 6     |
| 中毒事故  | 7      | 2       | 9     |
| 总计(起) | 88     | 20      | 108   |

为了确保扎根理论所构建的风险因素理论框架科学完整，需要对编码结果进行饱和度检验[14]。对

108 份事故报告按照事故类型进行分类，并按一定比例选取编码案例与饱和度检验案例，最终选取 88 份案例报告作为编码资料，其余 20 份案例报告作为理论饱和度检验资料。事故调查报告按事故类型分类如表 2 所示。

2.3. 三级编码

2.3.1. 开放式编码

扎根理论编码过程包含三级编码，首先进行一级编码，即开放式编码(Open Coding)，需要从原始资料中对原始语句进行类属识别并对概念进行命名。以按比例选取后的 88 份危化品仓储事故调查报告为编码资料一一提取出其中描写事故原因的原始文本，分别将每个案例事故原因概念化，接着将近似的概念进行合并，最终提炼出 52 个初始概念，即初始范畴。部分编码过程如表 3 所示。

Table 3. Open coding process (excerpt)  
表 3. 开放式编码过程(节选)

| 初始范畴   | 概念化       | 原始语句                          |
|--------|-----------|-------------------------------|
| 设备老化失效 | 备用设备失效    | 备用设备不能随时启动切换                  |
|        | 设备老化      | 法兰垫片老化导致液态羰基铁发生泄漏自燃           |
| 技能经验不足 | 施工人员无经验   | 现场四名均是新进厂施工的人员，缺乏在化工企业施工的经验   |
|        | 操作人员技能不全  | 操作人员安全操作技能掌握不全面               |
|        | 无应急处置经验   | 各相关负责人对突发事件无预防性措施，缺乏专业化处置经验   |
|        | 员工缺乏专业技能  | 重要岗位员工缺乏专业知识技能，未取得特种作业证       |
|        | 缺乏必要安全知识  | 操作人员缺乏化工安全的基本知识，不掌握本岗位的安全操作技能 |
| 人员违规操作 | 风险识别能力不足  | 对静电危害认识不足，未辨识维修过程中可能存在的危险有害因素 |
|        | 施工人员违规操作  | 外包施工人员违规操作                    |
|        | 操作员违反作业规程 | 仪表操作人员没有按照操作规程将 DAM 管线远程开关阀关闭 |
|        | 外包人员违规操作  | 外包施工人员违规操作                    |
|        | 负责人违规指挥   | 存在现场管理混乱、违章指挥、违规操作等行为         |

2.3.2. 主轴式编码

接着进行第二级编码，即主轴式编码(Axial Coding)，需要找出初始范畴风险因素之间的联系，对其进行概念类属的归类，在归类时要充分考虑研究对象的特点和原始资料语境。

对 52 个初始范畴因素反复比较，发现它们并不是独立的，分析它们之间的联系，根据逻辑关系、从属关系等归纳成更高级别的 21 个相对独立的事故影响因素，即 21 个主范畴因素。

2.3.3. 选择式编码

最后进行第三级编码，即选择式编码(Selective Coding)，需要对已经归类好的概念类属进行进一步地核心归类，核心类属应当是一个比较宽泛的理论范围，就有集中性，将最大量的概念类属囊括在内，在核心类属归纳完成之后，理论框架也已初步形成。

对 21 个主范畴因素进一步提炼和分类归纳，得出最终的 5 个核心范畴，分别为设施设备管理、人员安全行为管理、企业日常安全管理、作业现场管理和应急救援管理。

2.3.4. 理论饱和度检验

通过所选案例中预留的 20 份调查报告作为新增原始资料对得出的编码结果进行饱和度检验。按照上

述步骤，继续对这 20 份资料文本一一进行概念化和逐级编码，发现并没有出现新的范畴与关系，也就是说这 20 份案例对应的编码结果从属于前文 88 份案例编码结果。因此，本文对危化品仓储事故影响因素的归纳已达到理论饱和。

最后构建包含 5 个核心范畴，21 个主范畴和 52 个初始范畴的危化品仓储风险因素理论体系如图 1 所示。

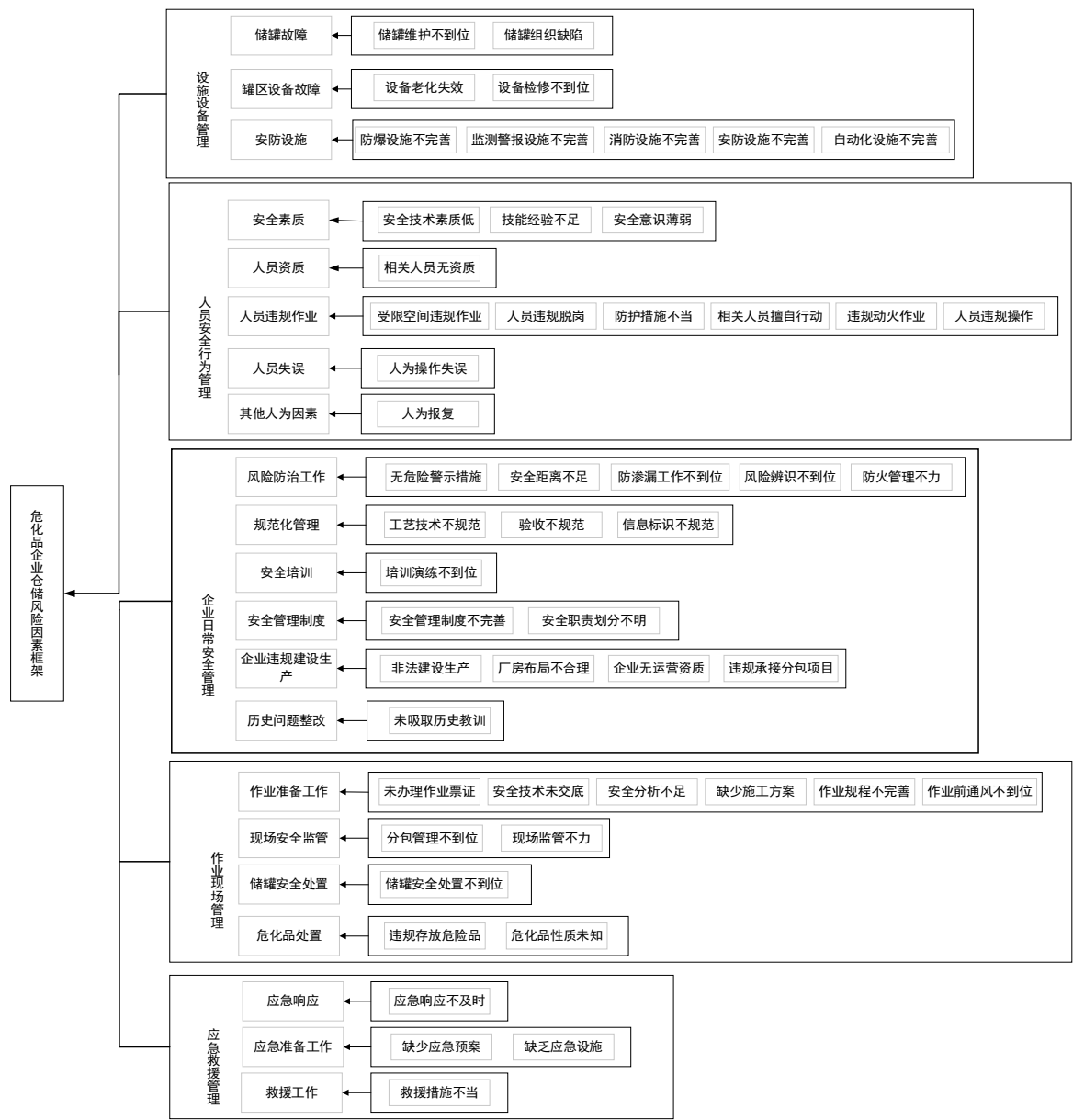


Figure 1. Framework of risk factors for hazardous chemical storage  
图 1. 危化品仓储风险因素框架

### 3. 基于层次分析法的风险因素权重确定

层次分析法(AHP)由运筹学家萨帝于 20 世纪 70 年代初提出，是一种半定量的方法，将定性分析与定

量分析相结合,弥补了定量分析的不足[15]。层次分析法具有系统性、实用性、简洁性、灵活性等优点[16],将研究问题分解成若干组成元素,并且将不同元素之间的相互影响与从属关系考虑进去,构建一个层次清晰的结构模型,结果明确,适用于各种现实系统。

### 3.1. 递阶层次结构模型构建

依据前文所得扎根理论模型三级编码结果,构建危化品仓储风险因素递阶层次结构模型。以“危化品仓储风险因素”作为顶层目标层,并包含5个一级因素指标,即五大核心范畴因素,和21个二级因素指标,即主范畴因素。根据从属关系构建的危化品仓储风险因素递阶层次结构模型如图2所示。

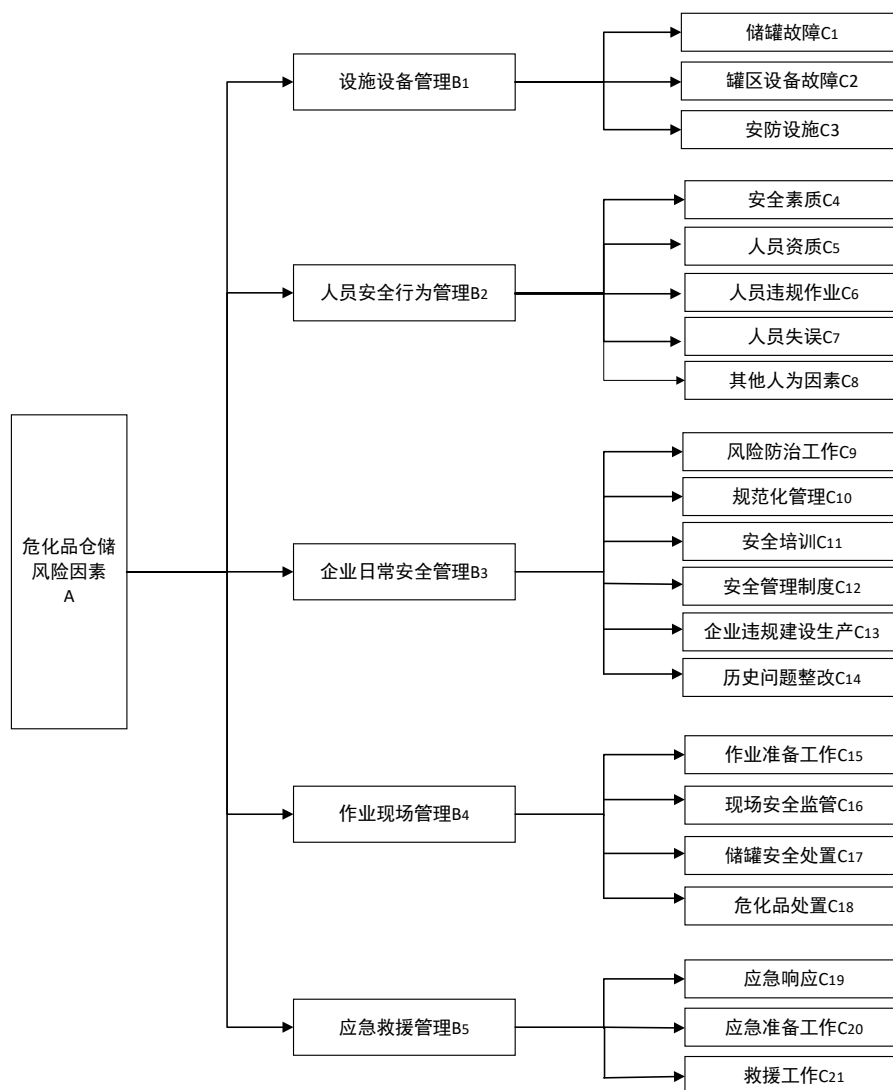


Figure 2. A hierarchical structure model of risk factors for hazardous chemical storage  
图2. 危化品仓储风险因素递阶层次结构模型

### 3.2. 风险因素权重计算

#### 3.2.1. 构造两两比较的判断矩阵

以问卷调查的形式,成立专家组对 layers 因素重要度进行打分。为了尽可能地减少不同类型因素之间

相互比较的难度,采用因素间两两比较的相对尺度以提高准确度。即通过对不同因素两两比较其重要性打分,打分准则选择 1~9 分标度法。记  $a_{ij}$  为因素  $i$  与因素  $j$  重要度之比,  $n$  为单一准则下因素个数,即判断矩阵阶数。则单一准则下构造的判断矩阵为:

$$A = (a_{ij})_{n \times n}, (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

本次接受问卷调查的对象共 100 名,包括高校相关研究领域教授与 H 危化品公司操作人员、安全员、安全负责人等,共发放 100 份问卷,收回 100 份问卷,其中有效问卷 94 份,问卷有效率达 94%。共得到 6 个判断矩阵如下:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 & 1/2 & 2 \\ 2 & 1 & 1/2 & 1 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 2 & 4 \\ 2 & 1 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/3 & 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1 & 3 & 7 \\ 1/5 & 1 & 1/4 & 1 & 3 \\ 1 & 4 & 1 & 3 & 7 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/3 & 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 2 & 1 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1 & 1/2 & 1/3 & 1 & 2 \\ 1/2 & 2 & 1 & 1/2 & 2 & 3 \\ 1 & 3 & 2 & 1 & 4 & 6 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 1/4 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/2 & 1/3 & 1/6 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 3 \\ 1/2 & 1 & 3 & 3 \\ 1/4 & 1/3 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad A_5 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 3 \\ 2 & 1 & 4 \\ 1/3 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}$$

### 3.2.2. 权重计算

因素权重是指每个因素对于上一级因素的相对重要性,本文利用算术平均法计算各级因素权重,先对判断矩阵按列归一化处理,公式如下:

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

再计算每一行的平均值,即可得到每个因素的权重值,公式如下:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij}, (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

计算得到一个一级指标判断矩阵权重向量,和五个二级指标判断矩阵权重向量,汇总结果见表 4。

### 3.3.3. 一致性检验

为了检验打分结果是否科学可靠,判断打分结果是否存在相互矛盾,需要进行一致性检验。需引入最大特征值定义:  $n$  阶判断矩阵  $A$  与特征向量的乘积等于矩阵乘以某个值  $\lambda_{\max}$ , 即  $AW = A\lambda_{\max}$ , 该值即为最大特征值。最大特征值的近似计算公式如下:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{nw_i} \quad (4)$$

矩阵一致性检验系数 CR 计算公式为:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

式中, CI 为一致性指标,计算公式如下:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

(6)

Table 4. Summary of weight calculation results  
表 4. 权重计算结果汇总

| 目标层       | 一级风险因素                    | 权重系数  | 二级风险因素                   | 权重系数  |
|-----------|---------------------------|-------|--------------------------|-------|
| 危化品仓储风险因素 | 设施设备管理因素 B <sub>1</sub>   | 0.123 | 储罐故障 C <sub>1</sub>      | 0.548 |
|           |                           |       | 罐区设备故障 C <sub>2</sub>    | 0.211 |
|           |                           |       | 安防设施 C <sub>3</sub>      | 0.241 |
|           | 人员安全行为管理因素 B <sub>2</sub> | 0.217 | 安全素质 C <sub>4</sub>      | 0.375 |
|           |                           |       | 人员资质 C <sub>5</sub>      | 0.104 |
|           |                           |       | 人员违规作业 C <sub>6</sub>    | 0.356 |
|           |                           |       | 人员失误 C <sub>7</sub>      | 0.120 |
|           |                           |       | 其他人为因素 C <sub>8</sub>    | 0.045 |
|           | 企业日常安全管理因素 B <sub>3</sub> | 0.377 | 风险防治工作 C <sub>9</sub>    | 0.310 |
|           |                           |       | 规范化管理 C <sub>10</sub>    | 0.086 |
|           |                           |       | 安全培训 C <sub>11</sub>     | 0.160 |
|           |                           |       | 安全管理制度 C <sub>12</sub>   | 0.307 |
|           |                           |       | 企业违规建设生产 C <sub>13</sub> | 0.080 |
|           |                           |       | 历史问题整改 C <sub>14</sub>   | 0.057 |
|           |                           |       | 作业准备工作 C <sub>15</sub>   | 0.461 |
|           | 作业现场管理因素 B <sub>4</sub>   | 0.200 | 现场安全监管 C <sub>16</sub>   | 0.305 |
|           |                           |       | 储罐安全处置 C <sub>17</sub>   | 0.112 |
|           |                           |       | 危化品处置 C <sub>18</sub>    | 0.122 |
|           | 应急救援管理因素 B <sub>5</sub>   | 0.082 | 应急准备工作 C <sub>19</sub>   | 0.320 |
|           |                           |       | 应急响应 C <sub>20</sub>     | 0.557 |
|           |                           |       | 救援工作 C <sub>21</sub>     | 0.123 |

RI 为随机一致性指标，其值可通过查询表 5 获得。

Table 5. Standard value of RI  
表 5. 随机一致性指标标准值

| 阶数   | 1 | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI 值 | 0 | 0 | 0.52 | 0.89 | 1.12 | 1.26 | 1.36 | 1.41 | 1.46 | 0.49 |

若 CR < 0.1，则一致性检验通过，判断矩阵构造合理，所求权重值也视为合理。

计算得到一致性检验结果汇总表格如表 6 所示。

由表 6 可知 CR 值均小于 0.1，则一致性检验通过，表 4 即为最终权重值。

Table 6. Summary of consistency test results  
表 6. 一致性检验结果汇总

| 一致性检验结果        |                  |       |      |        |      |
|----------------|------------------|-------|------|--------|------|
| 风险因素           | $\lambda_{\max}$ | CI 值  | RI 值 | CR 值   | 检验结果 |
| A              | 5.049            | 0.012 | 1.12 | 0.0107 | 通过   |
| B <sub>1</sub> | 3.018            | 0.009 | 0.52 | 0.0173 | 通过   |
| B <sub>2</sub> | 5.056            | 0.014 | 1.12 | 0.0125 | 通过   |
| B <sub>3</sub> | 6.073            | 0.015 | 1.26 | 0.012  | 通过   |
| B <sub>4</sub> | 4.046            | 0.015 | 0.89 | 0.0169 | 通过   |
| B <sub>5</sub> | 3.018            | 0.009 | 0.52 | 0.0173 | 通过   |

4. 基于模糊综合评价的 H 公司实证研究

4.1. 模糊综合评价概述

模糊综合评价法(FCE)是以模糊数学为理论基础的综合评价方法,用于解决受到多种因素制约的非确定性现实问题,在层次分析法确定因素权重的基础上,依据模糊数学中的“最大隶属度”原则对难以量化的问题和模糊概念进行定量评价[17]。模糊综合评价法既依托于人的专业知识与主观经验判断,同时又运用科学严谨的数学理论,二者结合使得评价结果清晰、系统性强,应用非常广泛。

4.2. H 危化品公司简介

H 危化品公司是一家省重点国有物流企业,该公司整合优势物流资源,拥有完善的仓储设施。港口目前共拥有各类危化品储罐 21 个,包括 6 个万方储罐,储存能力达 10 万立方。主要储存化学品包括甲醇、乙醇、醋酸、液体二氧化碳、液态硫磺等,其中,甲醇、乙醇、醋酸属重大危险源。本文以 H 危化品公司仓储风险水平评价为实证研究目标,具有典型性,能够为众多危化品企业提高风险识别能力、降低仓储事故发生概率提供理论支持。

4.3. 基于 FCE 的 H 公司仓储风险水平评价

危化品仓储风险水平评价需要考虑的风险因素较多,若要对众多元素分配权重,则每个风险因素的权值都很小,为了解决这些难题,可将因素划分为两个层级,即采用二级模糊综合评价的方法进行本研究综合评价。为了获取 H 公司仓储风险现状相关资料,研究者深入现场调研,并成立专家小组开展访谈,并发放问卷获取数据开展 H 公司仓储风险等级评价。具体评价步骤如下文。

4.3.1. 确定因素集

基于扎根理论编码结果和层次分析构建的递阶层次结构模型,将 5 个一级评价因素(核心范畴概念)细分为包含 21 个二级评价因素(主范畴概念)的因素层,这些二级因素能够直观地描述风险环节,具有可操作性。

第一级因素集如下:

$U = \{\text{设施设备管理 } U_1, \text{ 人员安全行为管理 } U_2, \text{ 企业日常安全管理 } U_3, \text{ 作业现场管理 } U_4, \text{ 应急救援管理 } U_5\}$ 。

第二级因素集如下:

设施设备管理  $U_1 = \{\text{储罐故障 } u_{11}, \text{ 罐区设备故障 } u_{12}, \text{ 安防设施 } u_{13}\}$ ;

人员安全行为管理  $U_2 = \{\text{安全素质 } u_{21}, \text{人员资质 } u_{22}, \text{人员违规作业 } u_{23}, \text{人员失误 } u_{24}, \text{其他人为因素 } u_{25}\}$ ;

企业日常安全管理  $U_3 = \{\text{风险防治工作 } u_{31}, \text{规范化管理 } u_{32}, \text{安全培训 } u_{33}, \text{安全管理制度 } u_{34}, \text{企业违规建设生产 } u_{35}, \text{历史问题整改 } u_{36}\}$ ;

作业现场管理  $U_4 = \{\text{作业准备工作 } u_{41}, \text{现场安全监管 } u_{42}, \text{储罐安全处置 } u_{43}, \text{危化品处置 } u_{44}\}$ ;

应急救援管理  $U_5 = \{\text{应急响应 } u_{51}, \text{应急准备工作 } u_{52}, \text{救援工作 } u_{53}\}$ 。

#### 4.3.2. 确定评价集

根据危化品仓储风险因素的特点, 本研究选择李克特五级量表法来衡量各因素的风险大小, 将危化品仓储风险水平划分为 5 个等级:

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{\text{低, 较低, 中等, 较高, 高}\}$$

#### 4.3.3. 构建模糊评价矩阵

本研究共邀请了 15 位来自 H 危化品公司港口罐区的相关从业人员成立专家小组, 包括 1 位安全总监、1 位安全部长、1 位副部长、4 位安全员以及 8 位罐区操作人员。以问卷调查的形式请专家们依据对 H 公司危化品仓储风险管理现状的了解如实对每个因素的风险等级进行判断, 对五个评价等级进行勾选。整理结果后得到每个二级风险因素对应每个评价等级的选择人数, 对其归一化处理后得到总体模糊判断矩阵  $R$ , 并根据因素集划分得到单因素评价矩阵  $R_1 \sim R_5$ 。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.47 & 0.46 & 0.07 & 0.00 & 0.00 \\ 0.47 & 0.33 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \\ 0.33 & 0.33 & 0.27 & 0.07 & 0.00 \end{bmatrix} \quad R_2 = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.53 & 0.07 & 0.07 & 0.00 \\ 0.53 & 0.40 & 0.07 & 0.00 & 0.00 \\ 0.47 & 0.26 & 0.20 & 0.07 & 0.00 \\ 0.40 & 0.53 & 0.07 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.40 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.67 & 0.20 & 0.13 & 0.00 & 0.00 \\ 0.73 & 0.27 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.33 & 0.60 & 0.07 & 0.00 & 0.00 \\ 0.53 & 0.40 & 0.07 & 0.00 & 0.00 \\ 0.73 & 0.20 & 0.07 & 0.00 & 0.00 \\ 0.20 & 0.40 & 0.27 & 0.13 & 0.00 \end{bmatrix} \quad R_4 = \begin{bmatrix} 0.53 & 0.40 & 0.07 & 0.00 & 0.00 \\ 0.26 & 0.60 & 0.07 & 0.07 & 0.00 \\ 0.33 & 0.47 & 0.13 & 0.07 & 0.00 \\ 0.27 & 0.33 & 0.27 & 0.13 & 0.00 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.53 & 0.40 & 0.07 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.33 & 0.07 & 0.00 & 0.00 \\ 0.33 & 0.60 & 0.07 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

#### 4.3.4. 评价结果

利用层次分析得到的风险因素权重与评价矩阵作合成运算, 进行单因素模糊综合评价, 公式如下:

$$B_i = W_i \cdot R_i \quad (i=1, 2, \dots, 5) \quad (7)$$

计算得到各二级风险因素评判向量, 综合单因素评价结果得到总评价矩阵如下:

$$R = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0.436 & 0.401 & 0.146 & 0.017 & 0.000 \\ 0.421 & 0.415 & 0.113 & 0.051 & 0.000 \\ 0.556 & 0.343 & 0.094 & 0.007 & 0.000 \\ 0.394 & 0.460 & 0.101 & 0.045 & 0.000 \\ 0.544 & 0.386 & 0.070 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

前文已求出一级风险因素权重为  $W=(0.123, 0.217, 0.377, 0.200, 0.082)$ ，计算得到综合评价结果：

$$B=W \cdot R=(0.478 \quad 0.393 \quad 0.104 \quad 0.025 \quad 0.000)$$

依据最大隶属度原则，一级风险因素对于评价等级“低”的隶属度最大，为 0.478。由此可知，H 公司危化品仓储风险等级为“低”。这表示该公司危化品仓储环节处于较安全的状态，暂时不需要采取风险控制措施。

## 5. 结论

危化品企业仓储风险评价是安全生产重要一环，本文利用扎根理论、层次分析法与模糊综合评价法进行了风险因素的识别与 H 危化品公司风险水平评价，主要得出以下结论。

1) 利用扎根理论对 108 起历史危化品仓储事故调查报告进行三级编码和理论饱和度检验，构建了包含 5 个核心范畴、21 个主范畴和 52 个初始范畴的风险因素框架。

2) 利用层次分析法构建了包含 5 个一级因素指标和 21 个二级因素指标的递阶层次结构模型，并通过问卷调查获取重要度打分数据，计算各级因素权重。

3) 在实地调研的基础上，通过问卷调查与深入访谈获得相关数据，结合模糊综合评价法对 H 危化品公司仓储风险水平进行实证研究，得出其风险等级低的结论。

## 参考文献

- [1] 肖方. 国务院安委办、应急管理部召开专题会议部署开展全国危化品储存安全专项检查整治[J]. 中国消防, 2020(8): 8-9.
- [2] 危化品储存仓库安全管理“六必须”[J]. 安全与健康, 2022(10): 78.
- [3] Yang, D.D., Zheng, Y., Peng, K., et al. (2022) Characteristics and Statistical Analysis of Large and above Hazardous Chemical Accidents in China from 2000 to 2020. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article No. 15603. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315603>
- [4] Wang, B., Li, D. and Wu, C. (2020) Characteristics of Hazardous Chemical Accidents during Hot Season in China from 1989 to 2019: A Statistical Investigation. *Safety Science*, **129**, Article ID: 104788. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104788>
- [5] TaikenLina, 郝皓. 从天津港“8.12”事故看化工物流企业仓储安全管理[J]. 物流科技, 2017, 40(5): 153-155.
- [6] 程海峰, 张旭东. 危化品仓库的安全设计措施[J]. 化工管理, 2018(8): 127+129.
- [7] 董鲁燕. 瀚坤能源油品仓储安全管理改进策略研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2020.
- [8] Chang, Y. and Zhang, D.H. (2022) Causation Analysis of Fire Explosion in the Port's Hazardous Chemicals Storage Area Based on FTA-AHP. *Process Safety Progress*, **42**, 96-104. <https://doi.org/10.1002/prs.12419>
- [9] 李岩. 危化品仓储燃爆事故风险耦合特性与对策措施分析[D]: [硕士学位论文]. 湘潭: 湖南科技大学, 2019.
- [10] 张岩. 危化品仓储安全状态监测与预警系统[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京石油化工学院, 2020.
- [11] 马国乐. 石化企业危化品仓储风险评估及对策研究[J]. 中国经贸导刊(中), 2020(10): 128-130.
- [12] 宋玉梅, 熊乾. 互联网+背景下, 危化品物流安全管理体系的构建与思考[J]. 中国储运, 2022(6): 198-199.
- [13] 吴毅, 吴刚, 马颂歌. 扎根理论的起源、流派与应用方法述评——基于工作场所学习的案例分析[J]. 远程教育杂志, 2016, 35(3): 32-41.
- [14] 杨莉萍, 亓立东, 张博. 质性研究中的资料饱和及其判定[J]. 心理科学进展, 2022, 30(3): 511-521.
- [15] 张辉. 基于层次分析法的建筑施工安全管理分析[J]. 建筑技术开发, 2023, 50(8): 119-122.
- [16] 黄辉, 徐浩, 胡红亮, 等. 基于 AHP-模糊综合评价法的海上风电场施工吊装作业安全风险评价[J]. 工业安全与环保, 2023, 49(11): 15-19.
- [17] 陈丽, 周宏. 基于模糊综合评价和主成分分析法的岩溶流域水资源承载力评价[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(6): 159-173.