

化学品船接运危险化学品的安全评估及改进措施

胡东昕¹, 胡聿理²

(1. 江苏海事职业技术学院 航海技术学院, 江苏 南京 211170; 2. 上海海事大学 交通运输学院, 上海 201306)

摘 要:随着我国化学品进出口贸易规模的持续扩大,对液体化学品船的运输需求也逐年递增,由此带来的航运安全风险问题也备受重视。根据项目风险控制理论设计化学品船接运危险品的风险评价指标,运用层次法和模糊数据评价法对危险品接运实施综合评价,化学品船公司根据评析的结论开展针对性管理改进,对辅助接运决策、保障运输安全起到重要作用。

关键词:化学品船;风险控制;层次分析法

中图分类号:U698.3

文献标志码:A

文章编号:1671-9891(2020)3-0055-05

0 引言

化学品船辅有控制、加热、透气、检测、警报等系统,载货的可选择性较广泛。船运的化学品多为危险品,有的产品还具有毒性、易燃性和腐蚀性。因此有必要对所接运危险品进行安全方面的综合评估。国内外船运危险品研究领域,运用模糊层次分析对航运组织进行优化,在持续降低航运风险方面起到了积极的作用。对化学品船接运危险化学品的安全评估项目的研究是建立在充分调研的基础上,应用层次分析法(Alytic Hierarchy Process,简称 AHP)和模糊数学分析(Fuzzy Mathematics Analysis,简称 FMA)构建接运体系模型,并通过试算结论采取降低风险的措施。这一工作方法加强了评估结果在改善安全管理体系上的应用,为相关船公司提高船舶运输安全水平、降低事故发生概率做出了有益的探索。

1 化学品船公司安全生产中存在的隐患

化学品船公司因运价长期低迷,经营状况普遍不佳,因此不断压缩管理成本已成为行业的普遍现象,由此产生的典型安全生产隐患问题有:对内部管理投入严重不足,导致船队运营管理体系化建设落后;对船舶的油泵、机械、管件甚至消防设施维修保养不力,导致船舶的安全性能降低;对内外部联动应急响应机制建设不重视,使危险化学品运输安全管控流于形式;对非重点岗位船员进行危险化学品防护系统培训控制不严,部分船岸从业人员的技能和素质达不到船舶安全运营的要求。

2 运用 AHP 和 FMA 方法对接运的安全实施综合评估

2.1 接运工作的指标体系及 AHP 模型建立

定性指标选取应考虑目的性、全面性、可行性、稳定性及与评价方法相协调,定量指标则要选取满足完整性、一致性、可行性、准确性、具有区分度等因素^[1]。在接运构建船舶运输风险体系指标时,项目组采取了定性和定量指标选取相结合的办法,使指标建立的原则性和规范性得到了充分体现。

危险品运输风险评估的指标选取应充分考虑运输参与人员、运输工具本身、运输的外部环境等要素^[2]。根据载运危险品的运输特点,船舶接运危险品风险指标体系如图 1 所示, A_{11} 到 A_{18} 为人员子系统,表征了船岸人员能力、水平对受载船舶的各影响因素; A_{21} 到 A_{25} 为船舶子系统,描绘了船舶技术状态和货物特性对受载货物的各影响因素; A_{31} 到 A_{33} 为环境子系统,体现出船上作业环境和航行自然条件对安全航行的各影响因素; A_{41} 到 A_{47} 为管理子系统,反映船舶管理能力和货物状态控制能力对安全管控的各影响因素。

收稿日期:2020-04-30

作者简介:胡东昕(1970—),男,江苏无锡人,江苏海事职业技术学院航海技术学院高级经济师,硕士。

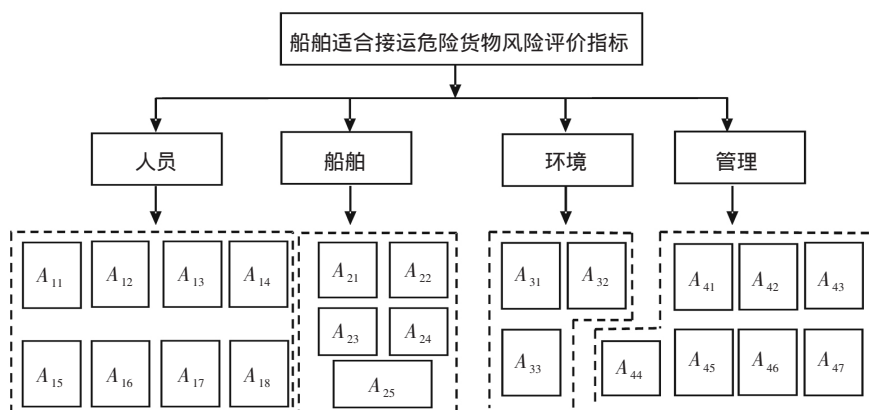


图1 船舶接运危险品的风险评价体系

层次分析的架构搭建是把复杂系统分解为多个因素,依据支配关系分解层级,层层分解构成树状结构^[3]。在指标体系搭建完成的基础上,确定项目的目标层为接运危险货物风险,准则层为人员、船舶、环境、管理四个子系统,指标层为四个子系统内的22个影响因素,模型如图2所示。

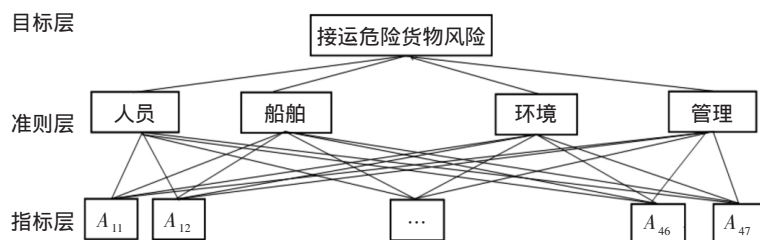


图2 接运危险货物风险 AHP 模型

2.2 层次分析模型判断矩阵构建及权重排序求解

第一步,建立判断矩阵。假设 AHP 模型的某一层 n 包含有用 p_{ij} 表示第 i 因素与第 j 素的重要性比较结果,则该层级的判断矩阵 A 可表示为一个 $n \times n$ 的矩阵:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & 1 & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \ddots & 1 & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

矩阵中 p_{ij} 对 p_{ji} 的相对重要性取值的意义表示为 $p_{ij} = 1$ 时 p_i 和 p_j 相同重要, $p_{ij} = 3$ 时 p_i 比 p_j 稍微重要, $p_{ij} = 5$ 时 p_i 比 p_j 明显重要, $p_{ij} = 7$ 时 p_i 比 p_j 强烈重要, $p_{ij} = 9$ 时 p_i 比 p_j 极端重要。当 $p_{ij} = (2, 4, \dots, 8)$ 表示为重要性等级介于 $p_{ij} = (1, 3, \dots, 9)$ 之间,同时 $p_{ji} = 1/p_{ij}$,即取为倒数。

第二步,分级矩阵参量赋值。因评估工作的需要,船公司邀请了企业内外部的专家对准则层四个因素两两对比进行打分,也对基于各准则层下二级指标之间的各因素实施两两对比的比值估分。然后评估小组运用加权平均法对获得的各项数据进行汇总处理,并建立起一级参量的因素比较矩阵和以一级参量为准则的对应各二级参量的重要性比较矩阵。

第三步,对特征向量、特征根和权重进行运算。层次结构排序反映运算判断矩阵的对应特征向量与特征根的状况,对于矩阵 A ,运算符合方程式 $AW = \lambda_{\max} * W$,其中 λ_{\max} 是矩阵 A 的最大特征根,参数 W 为相对于 λ_{\max} 归一化处理的特征类向量,参数 W 相应分量 W_i 为对应要素的单序计算权重。

风险评估运算矩阵对应的最大特征根 λ_{\max} 与其相应的特征向量 W 运算方法多用“方根法”实施,其运算流程为:先计算判断矩阵相应每一行元素对应乘积 $A_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} (i = 1, 2, \dots, n)$,再计算 A_i 的 N 次方根 \bar{W}_i ,

对相量 $\vec{W}_l = (\vec{W}_1, \vec{W}_2, \dots, \vec{W}_l)^T$ 作归一化处理, $W_i = \frac{\vec{W}_l}{\sum_{i=1}^n \vec{W}_l} (i = 1, 2, \dots, n)$, 所取得的 $(\vec{W}_1, \vec{W}_2, \dots, \vec{W}_l)^T$ 就

是所需要的权重结果, 最后计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{n * w_i}$, 其中 $(AW)_i$ 是向量 AW 对应的第 i 向量的分量。

第四步, 实施矩阵一致性检验。矩阵一致性运算参数 CI , 其表达式为 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$, 通过常用随机一致性指标 RI 取值表, 取得 9 阶矩阵一致性参数 RI 为 1.47, 代入公式 $CR = \frac{CI}{RI}$, 当 $CR < 0.1$ 时, 说明矩阵一致性可得, 专家的判断数据和权重具有参考价值, 各因素权重可以被使用。

第五步, 实施权重合成。采用权重合成进行综合评价, 可以在很大程度上避免部分因素的干扰, 使最终得到的权重计算结果更加准确^[4]。在获得各层级的相对权重后, 就可以通过不同层级的权重相乘取得各个层级的合成权重, 对合成权重的排序结果将作为后续制定整改方案的理论依据。

2.3 模糊综合评价法对船舶受载货物的等级评价

对受载船舶进行安全管理的目的是为了管控风险, 因此在“适载”评估分析过程中可以找出安全隐患和现状的缺点, 并据此采取措施以保障船舶在航次运营过程中的全面安全^[5]。运用模糊数据分析法将层次的评估结果与相应的评语集结合起来分析, 能够对受载船舶接运目标危险货物的适合运输程度做出优、良、中、差几个等级的评价结论。

第一步, 确定模糊综合影响因素集, 因素集是以影响评价对象的多种因素为元素组成的集合, 通常用 U 表示, 即 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, 这里的影响因素集合应与层次模型准则层相对应, 形成的集合为 $U = \{\text{人员水平, 船舶状态, 环境影响, 管理能力}\}$ 。

第二步, 确定因素评价集, 评价集是对评价对象做出的多种评价集合的总体, 通常用 C 表示, 即 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$, 这里的评价集合与适合运输程度相对应, 形成集合为 $C = \{\text{优, 良, 中, 差}\}$ 。

第三步, 对 U 集合每一个因素根据 C 判断集中的等级指标进行模糊评判, 得到的判断矩阵 R 如下:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \vdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 r_{ij} 表示 U_i 关于 C_j 的隶属度。由此 (U, C, R) 构成一个模糊综合评判模型。在确定各因素重要性指标后, 可同时记权数 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 且满足 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, 再合成 $\bar{B} = A * R = (\bar{b}_1, \bar{b}_2, \dots, \bar{b}_m)$ 。

第四步, 经归一化后, 得 $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 。

3 综合分析法在化学品船运载苯酚模糊评价上的验证

3.1 安全风险评估指标体系构建

船评估小组向有关船岸管理和操作人员发出多份调查问卷, 并用加权平均法对获取数据开展权重计算, 经矩阵运算取得有关人员、船舶、环境、管理的权重向量 $W_i = (0.31, 0.23, 0.25, 0.33)$, 经过归一化处理 $(AW)_i = (1.31, 0.889, 0.51, 1.43)$ 。此时 $CR < 0.1$, 通过一致性检验, 权重显示有效。

3.2 对应总参量的合成权重结果

在获取子系统和各子系统项下各因素对比重要性排序结果后, 合成权重排序计算结果如表 1 所示。

表 1 风险参量的合成权重

一级参量	二级参量	对上一级参量权重	对应总参量的权重	排序
A_1 人员	A_{11} 岸上人员对货物的认识	0.08	0.0264	17
	A_{12} 岸上船管对货物操作的风险意识	0.34	0.1063	1
	A_{13} 船上高级船员的经验水平	0.16	0.0489	8
	A_{14} 水手长及甲板水手的操作水平	0.10	0.0314	16
	A_{15} 船员培训和技能考察	0.11	0.0342	14
	A_{16} 船管公司的船员管理标准	0.11	0.0334	15
	A_{17} 机务人员对设备管理的重视	0.04	0.0125	21
	A_{18} 委托租家的安全管理水平	0.06	0.0187	20
A_2 船舶	A_{21} 船舶维护保养状况	0.09	0.0208	18
	A_{22} 舱壁状态	0.27	0.0628	5
	A_{23} 船龄	0.29	0.0673	3
	A_{24} 货物性质	0.18	0.0417	10
	A_{25} 管线接头气密性	0.18	0.0414	11
A_3 环境	A_{31} 气象环境	0.16	0.0201	19
	A_{32} 码头环境	0.30	0.0364	12
	A_{33} 船上工作环境	0.54	0.0660	4
A_4 管理	A_{41} 货物管理体系	0.15	0.0505	7
	A_{42} 危险货品操作计划	0.14	0.0461	9
	A_{43} 危险化学品货物操作指导	0.16	0.0541	6
	A_{44} 应急管理及演习	0.11	0.0354	13
	A_{45} 通过“大油”公司检查	0.12	0.0402	11
	A_{46} 日常安全监管	0.26	0.0838	2
	A_{47} 事故报告及分析	0.07	0.0219	18

3.3 参量对评估集的隶属度矢量及各层评估结果

船公司评估小组将岸上管理人员和船上操作人员对指标的调查结果进行汇总,将收集到的信息实施归一化处理,以此获得各参量对评估集的隶属度矢量 R_i (R_1 对 R_{1a} ($a = 1, 2, \dots, 8$), R_2 对 R_{2b} ($b = 1, 2, \dots, 5$), R_3 对 R_{3d} ($d = 1, 2, \dots, 7$)) 的比较矩阵。根据将单要素判别结果与权重建立矩阵,以第一层评估结果为准测,矩阵计算得评估结果和分数如表 2 所示。同理进行第二层评价,最后利用重心反模糊化得到 $M = 75.28$,表示受载船舶评价等级为良。

表 2 基于第一层的评估结果

第一层评估结果	R_1	R_2	R_3	R_4	对应评级分数
R_1 人员	0.18	0.32	0.35	0.11	0.03
R_2 船舶	0.29	0.33	0.18	0.13	0.09
R_3 环境	0.26	0.56	0.18	0.00	0.00
R_4 管理	0.14	0.33	0.47	0.03	0.00
对应评级分数	95	82.5	67.5	50	20

4 化学品船运载苯酚风险控制措施及方案

根据评估结论实施针对性的管理改进,将有助于解决突出问题、系统性和隐蔽性问题。化学品船运

载苯酚风险控制措施制定和方案设计应聚焦人员、船舶、环境和管理体系四个方面。(1)在人员方面需要配备有承运该类货品经验的船长和高级船员、水手长,以提高操船的安全程度,接运前应聘请有苯酚运输成功案例的专家对船员实施全员上岗培训,以保证机务管理完全适应苯酚运输的要求。(2)在船舶方面船岸管理人员必须清醒地认识到船舶的甲板部分需要加大保养力度,对于船龄较大的船舶,装货过程中应该选派专业人员上船指导,在有经验的港口船长协助下实施全程监控的装卸作业,保证船舶自身始终处于安全状态。(3)在环境方面鉴于评估选取的时间和空间通常处于气象环境、地理环境和船上工作条件评估等级的“安全区域”,可能造成被评估船舶在环境要素上的安全参量数值处于“过度乐观”状态。因此在接运危险化学品的首次开航前需对航次路径气候、航线航路综合环境、船上的生活设施设备进行“保守谨慎”分析。(4)在管理体系方面运输苯酚是一项风险较大的工作,为了降低风险、提升管理水平,船上人员应严格按照货品的特性进行配载及装卸作业,并对甲板等关键设备进行重点养护,岸上人员则应在文件管理、操控计划制作、船货实时监控等方面加大“管”和“控”的力度,船岸协同形成完整、高效的营运安全体系。

5 结束语

对适合运输的船舶、货品进行风险评价是非常有必要的,在评估基础上针对性地采取措施,有助于保障运输船舶的安全航行。在接运决策阶段判断货物是否适合装运时,运用这一工作体系可以对销售、商务人员的接货、报价、制定航次运输契约等工作起到辅助决策作用。在船舶运营过程控制阶段,运用这一工作体系,可以帮助船岸管理人员从多角度、多方位实施管理制度、管理能力和管理效能的改进和提升。同时,该方法选取了层次分析法和模糊综合评价法来构造化学品船接运危险品风险评价模型具备了广泛实用性,船公司可以将这一工作方法运用到不同船舶接运不同化工产品运输实践工作中去。

参考文献:

- [1]黄珍,牛最荣,赵霞,等.甘肃高效灌溉项目绩效评估体系构建[J].人民黄河,2020(3):155-159.
- [2]Caliendo C, De Guglielmo M L. Quantitative Risk Analysis on the Transport of Dangerous Goods Through a Bi-Directional Road Tunnel[J]. *Risk Analysis*, 2017(1):116-129.
- [3]郭凤鸣.层次分析法模型选择的思考[J].系统工程理论与实践,1997(9):54-58.
- [4]孟江南,张晓虎.基于合成权重分析法的配电变压器状态模糊综合评估[J].电工技术,2019(4):31-33.
- [5]刘会纳,吕靖.基于改进模糊评价法的航运公司船舶安全管理评价[J].中国水运,2019(3):25-26.

(责任编辑 张 利)

Safety Assessment and Improvement Measures for Chemical Tankers Receiving and Transporting Dangerous Chemicals

HU Dong-xin¹, HU Yu-li²

(1. School of Maritime Technology, Jiangsu Maritime Institute, Nanjing 211170, China;

2. School of Transportation, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: With the continuous expansion of the scale of China's chemical import and export trade, the transportation demand for liquid chemical tankers has also been increasing year by year, and the shipping safety risks caused by this have also received significant attention. According to project risk control theory, the risk evaluation index for receiving and transporting dangerous chemicals by chemical tankers is designed, and the Analytic Hierarchy Process and fuzzy data evaluation method are applied to implement comprehensive evaluation on receiving and transporting dangerous goods. Chemical shipping companies carry out specific management improvement based on analytical results, which plays an important role in assisting transport decision-making and ensuring transport safety.

Key words: chemical tanker; risk control; analytic hierarchy process