

大件运输船运输过程中的风险因素及安全评价

赵少林, 孙钰婷, 黄滢宇, 刘峻赫
重庆交通大学, 重庆 400074
DOI: 10.61369/ME.2024070028

摘 要 : 本文以大件运输船运输过程中的风险因素为基础, 从人员因素、船舶因素、环境因素、货物因素及管理因素五个方面进行分析, 选取模糊层次分析法建立了大件运输船舶运输过程中的评价指标体系, 并以某实船为例进行评价分析。得出结论, 大件运输船舶运输过程中的控制难点主要为人员因素的控制, 另外还有船舶因素中的维护保养状态、环境因素中的通航密度和能见度、管理因素中的船员配备及培训等。

关 键 词 : 大件运输船; 风险因素; 安全评价; 模糊层次分析法

Risk factors and Safety Assessment During the Transportation Process of Large Cargo Ships

Zhao Shaolin, Sun Yuting, Huang Yingyu, Liu Junhe
Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074

Abstract : Based on the risk factors in the transportation process of large cargo transport ships, this paper analyzes from five aspects: personnel factors, ship factors, environmental factors, cargo factors and management factors. The fuzzy analytic hierarchy process is selected to establish the evaluation index system in the transportation process of large cargo transport ships, and a certain actual ship is taken as an example for evaluation and analysis. It is concluded that the control difficulties in the transportation process of large cargo ships mainly lie in the control of personnel factors. In addition, there are also maintenance and upkeep status among ship factors, navigation density and visibility among environmental factors, and crew allocation and training among management factors.

Keywords : large cargo transport vessel; risk factors; safety assessment; fuzzy analytic hierarchy process

引言

随着“一带一路”战略的实施, 我国基建、装备制造、能源、工程等行业巨头纷纷扬帆出海, 国际工程物流对大件运输的需求日益增长。^[1]然而大件货物海上运输具有超大货值、超级复杂、超高风险等特点, 随着国家和航运企业对安全生产工作的愈加重视, 合理识别影响大件运输船舶装运过程中的安全影响因素, 及安全评价显得尤为重要。

现已有较多学者对船舶及货物装运过程的风险因素、安全评价开展了研究。田佰军等人根据潮汐、货物、车辆、驳船、码头等不同因素, 对驳船滚动装载的方法进行了分析, 提出了相应的计算方法, 并参考有关规范和运输实践的要求, 设计了滚动装货方案, 实践验证了该方案的有效性。^[2]针对目前内河航道危险品运输风险评估指标选取不全面、评估过程复杂、主观因素较多等问题, 王少雄等人建立了一套新的评估指标体系, 并对评估指标进行了优化, 在环境因素中增加船舶流量、桥梁等影响因素基础上, 通过引入熵权法、专家权重因子对评价结果的影响, 从而提高了最后评价的准确性和可靠性。^[3]许玲等人利用云转换的数据驱动方法, 确定了各评估指标所对应的加权云层, 利用云交换规则对各评估指标进行量化评估, 可以对集装箱货轮的危险度进行合理的评估与诊断。^[4]通过文献表明, 已有多理论方法应用到船舶装运过程中的安全评价, 但对于大件运输船的安全评价研究还相对较少, 本文的研究有助于为大件运输船舶装运安全风险提供理论支撑。

一、大件运输船装运过程中风险因素识别

通过文献^[5-9]，整理总结了大件运输船舶的定义、特征等数据资料，结合其装运过程以及水域等特点，对大件运输船装运过程中风险因素进行了分析，主要有以下几个方面。

1. 人员因素。人的行为在一定情况下对系统正确性或成功性的不良影响。主要包含心理素质、业务能力和安全意识三个因素。
2. 船舶因素。作为大件运输船，其结构性能等因素直接影响着装运过程中的安全，主要考虑包含船龄、船体结构、维护保养状态三个因素。
3. 环境因素。主要分为工作环境和自然环境两种。工作环境主要考虑通航密度、航道条件和港口条件；而自然环境主要考虑能见度、波浪和风力。
4. 货物因素。主要包含装卸和系固两个方面。
5. 管理因素。主要包含船员配备及培训、监督与检查、安全管理制度三个方面。

二、大件运输船安全评价模型建立

（一）建立评价指标集

指标集是衡量目标的各种指标的集合，它决定了模糊综合评估的科学性和合理性。它可以表示为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ ，其中， U_i ($i=1, 2, \dots, n$) 是若干影响指标。表1.1所示是大件运输船运输过程中的安全评价层次模型指标集。

表1.1 大件运输船舶运输过程中的安全评价指标

一级指标	二级指标	三级指标	评价指标内容
人员因素 U_1	心理素质 U_{11}		心理状况，不良情绪驾驶水平、船员技术水平、设备操作、装运过程智慧与管理
	业务能力 U_{12}		
	安全意识 U_{13}		
船舶因素 U_2	维护保养状态 U_{21}		电子设备、机械设备、船体磨损与开裂状况、船体结构、机械装置、设备、零部件等的检查、维护和修理
	船体结构 U_{22}		
	船龄 U_{23}		
环境因素 U_3	工作环境 U_{31}	通航密度 U_{311}	船舶或船队通过数量、航道宽窄情况、码头情况
		航道条件 U_{312}	
		港口条件 U_{313}	
	自然环境 U_{32}	能见度 U_{321} 波浪 U_{322} 风力 U_{323}	驾驶员视线情况、波浪的高度、风力的等级均能够影响船舶航行
货物因素 U_4	装卸 U_{41}		船舶稳性和横倾角、焊接情况、系固锁具强度
	系固 U_{42}		
管理因素 U_5	船员配备及培训 U_{51}		职业道德素质和业务技能培训、及时开展监督与检查工作、定期检查制度和设备设施维护制度
	监督与检查 U_{52}		
	安全管理制度 U_{53}		

第一层指标集可表示为 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\}$ ，即：

$U = \{\text{人员因素 } U_1, \text{船舶因素 } U_2, \text{环境因素 } U_3, \text{货物因素 } U_4, \text{管理因素 } U_5\}$

第二层指标集可表示为 $U_i = \{U_{i1}U_{i1}, \dots, U_{ij}U_{ij}\}$ ，式中的 i 是一级指

数的序数， j 是二级指数的序数。首先把 U 的指数划分为几个子因子，如： $U_1 = \{\text{心理素质 } U_{11}, \text{业务能力 } U_{12}, \text{安全意识 } U_{13}\}$

（二）确定指标权重

评价指标的权重是指量化指标的影响作用，其权重的确定是建立评估系统的一个关键环节。本文采用层次分析法按层级形式表达出来，并通过定性定量相结合的方法进行分析，该方法对样本数据的要求较低，采用定量表示各指标的权重，也是一种有效的多目标决策方法。通过确定各个因子之间的关系，构造一个二二对比来构造判断矩阵 $A = (U_{ij})_{n \times n}$ ，即：

$$A = \begin{bmatrix} a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

其中 a_{ij} 为指标 i 与 j 相对于上层直属目标元素的重要性比较。判断矩阵中的元素 a_{ij} 的赋值含义见表1.2。

表1.2 重要性标度

标度	含义
1	u_i 与 u_j 具有相同的重要性
3	u_i 比 u_j 稍重要
5	u_i 比 u_j 重要
7	u_i 比 u_j 强烈重要
9	u_i 比 u_j 极端重要
2, 4, 6, 8	u_i 和 u_j 重要性之比介于以上相邻两者之间

如指标 a_i 的重要性不及 a_j ， a_{ij} 取值为 $1/m$ ， m 为 $1 \sim 9$ ，一般 a_{ij} 为 a_{ji} 的倒数。

针对前述所分析的影响因素，采取在线问卷调查方式对航运院校、船员和从事相关工作人员进行问卷调查，用加权平均法统计并整理后建立了如表1.3至1.10各因素判断矩阵。

表1.3 判断矩阵

大件运输船舶风险	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
人员因素 U_1	1	3	3	5	3
船舶因素 U_2	1/3	1	3	4	2
环境因素 U_3	1/3	1/3	1	4	3
货物因素 U_4	1/5	1/4	1/4	1	1/2
管理因素 U_5	1/3	1/2	1/3	2	1

表1.4 判断矩阵

人员因素 U_1	U_{11}	U_{12}	U_{13}
心理素质 U_{11}	1	2	1/2
业务能力 U_{12}	1/2	1	1/3
安全意识 U_{13}	2	3	1

表1.5 判断矩阵

船舶因素 U_2	U_{21}	U_{22}	U_{23}
维护保养状态 U_{21}	1	3	2
船体结构 U_{22}	1/3	1	1/3
船龄 U_{23}	1/2	3	1

表1.6 判断矩阵

环境因素 U_3	U_{31}	U_{32}
工作环境 U_{31}	1	3
自然环境 U_{32}	1/3	1

表 1.7 判断矩阵

工作环境 U_{31}	U_{311}	U_{312}	U_{313}
通航密度 U_{311}	1	2	4
航道条件 U_{312}	1/2	1	3
港口条件 U_{313}	1/4	1/3	1

表 1.8 判断矩阵

自然环境 U_{32}	U_{321}	U_{322}	U_{323}
能见度 U_{321}	1	3	3
波浪 U_{323}	1/3	1	2
风力 U_{323}	1/3	1/2	1

表 1.9 判断矩阵

货物因素 U_4	U_{41}	U_{42}
装卸 U_{41}	1	2
系固 U_{42}	1/2	1

表 1.10 判断矩阵

管理因素 U_5	U_{51}	U_{52}	U_{53}
船员配备及培训 U_{51}	1	2	4
监督与检查 U_{52}	1/2	1	5
安全管理制度 U_{53}	1/4	1/5	1

层次分析法在建立判断矩阵后要计算权重向量 ω 和最大特征根, $\lambda_{\max}$ 再进行检验数据的合理性, 即为一致性检验。具体步骤如下:

计算判断矩阵 R 的最大特征根 $\lambda_{\max}$;

计算一致性指标 CI:

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

其中, $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵 R 的最大特征根, n 为 R 的阶数。

查表 1.11 得到 RI 的“随机一致性指标”。

表 1.11 随机一致性指标的取值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

计算“一致性比率” CR:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

在 $CR < 0.1$ 的情况下, 采用一致性检验方法计算结果为通过, 说明层次分析中各个层次要素权重的分布是合理的; 在 $CR > 0.1$ 的情况下, 说明层次分析中各个层级的权重系数分配不合理, 必须对决策矩阵的元素进行调整, 从而对权重因子进行再分配。

表 1.12 各评价指标权重

一级指标 U_i	权重值	二级指标 U_{ij}	权重值	三级指标 U_{ijk}	权重值
人员因素 U_1	0.414	心理素质 U_{11}	0.297		
		业务能力 U_{12}	0.164		
		安全意识 U_{13}	0.539		
船舶因素 U_2	0.241	维护保养状态 U_{21}	0.525		
		船体结构 U_{22}	0.142		
		船龄 U_{23}	0.334		

环境因素 U_3	0.183	工作环境 U_{31}	0.750	通航密度 U_{311}	0.557
				航道条件 U_{312}	0.320
				港口条件 U_{313}	0.123
	0.250	自然环境 U_{32}	0.250	能见度 U_{321}	0.589
				波浪 U_{322}	0.252
				风力 U_{323}	0.159
货物因素 U_4	0.058	装卸 U_{41}	0.667		
		系固 U_{42}	0.333		
管理因素 U_5	0.105	船员配备及培训 U_{51}	0.532		
		监督与检查 U_{52}	0.366		
		安全管理制度 U_{53}	0.102		

(三) 建立评价集

评价集是对被评估对象所给出评估结果的集合, 评估对象既可以是各个评估指标, 也可以是总体评估目标。^[10]评价集包含目标得分、模糊评价语、目标评价等级和目标评价集, 评价集可划分为多个层次, 并依据评分结果迅速确定相应的评价等级。用评价集的方式, 通过评估集合, 可以清晰、直观地反映评估结果。

本文将二级指标评级集分为五个等级, 分别为很好、好、较好、一般和差, 详见表 1.13。评价大件运输船舶安全评价等级分为 5 个等级, 即 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\} = \{0 \sim 0.5, 0.5 \sim 2.0, 2.0 \sim 3.5, 3.5 \sim 4.5, 4.5 \sim 5.0\}$ 来表示油船溢油的风险等级。各评价等级相应的量化值可表示为 $V = \{\text{很安全, 安全, 一般安全, 不安全, 很不安全}\}$ 。

表 1.13 二级指标评价集

指标得分	≥ 9	9~8	8~7	7~6	≤ 6
模糊评价语	很好	好	较好	一般	差

(四) 模糊综合评价

模糊综合评价的过程通常可划分为以下 5 个阶段:

第一阶段, 确定评估目标的广义范围, 根据实际评估目标, 判定评价指标的数目, 同时在论域内的数目与评价指数的数目相等, 例如, 评估目标有 P 个指数, 那么论域 $U = \{U_1, U_2, U_3, \dots, U_P\}$ 。

第二阶段, 确定评语等级论域, $V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_P\}$, 也是一个层次的集合, 每个层次都有一个模糊的子集。

第三阶段, 在确定评价等级论域之后, 通过建立模糊关系矩阵 R, 需要对被评事物从每个因素 u_i ($i = 1, 2, 3, \dots, P$) 上逐个量化, 确定单因素在被评事物中的等级模糊子集隶属度 $(R|u_i)$, 得到模糊关系矩阵 R:

$$R = \begin{bmatrix} R|u_1 \\ R|u_2 \\ \vdots \\ R|u_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & r_{pm} \end{bmatrix}$$

第四阶段, 确定各指标权重向量, 在模糊综合评判中, 权重向量表现为 $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_p)$ 。在模糊关系矩阵 R 中, 包

含了权重向量 R。

第五阶段, 将模糊综合评判的结果矢量进行合成, 并将该方法的权重向量 A 和模糊关系矩阵 R 相结合, 并求出了 B 的模糊综合评判结果。

$$A \cdot R = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_p) \\ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & r_{pm} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_m) = B$$

三、实例分析

通过船讯网平台找到一艘大件运输船作为案例分析, 航速 9.5 节, 船长 165 米, 型宽 48 米, 型深 9.28 米, 结构吃水 6.30 米。当日风速等级为 3 级, 浪高 0.2 米, 能见度大于 10 千米。

根据前述所建立的安全评价模型, 组织专家对该轮的安全评价指标进行打分, 根据打分分值参照二级指标评价集得到对应的模糊评价语, 并将专家打分进行统计, 总结出二级指标评价矩阵, 最后进行计算分析。

将上述各评价指标的专家评价表进行归一化处理后得到对应的评价矩阵:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ B_3 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B_4 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.1 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ B_5 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B_6 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

根据前述所介绍的方式建立模型, 进行模糊综合评价。

第一级评价:

工作环境 $U_{31} = \{\text{通航密度 } U_{311}, \text{航道条件 } U_{312}, \text{港口条件 } U_{313}\}$

$$R_3(U_{31}) = (1.671, 0.961, 0.368) \times \begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ = (2.029, 0.504, 0.300, 0.167, 0)$$

自然环境 $U_{32} = \{\text{能见度 } U_{321}, \text{波浪 } U_{322}, \text{风力 } U_{323}\}$

$$R_3(U_{32}) = (1.767, 0.756, 0.478) \times \begin{bmatrix} 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.1 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ = (2.202, 0.376, 0.348, 0.076, 0)$$

第二级评价:

人员因素 $U_1 = \{\text{心理素质 } U_{11}, \text{业务能力 } U_{12}, \text{安全意识 } U_{13}\}$

$$R_2(U_1) = (0.892, 0.491, 1.617) \times \begin{bmatrix} 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ = (2.140, 0.511, 0.300, 0.049, 0)$$

船舶因素 $U_2 = \{\text{维护保养状态 } U_{21}, \text{船体结构 } U_{22}, \text{船龄 } U_{23}\}$

$$R_2(U_2) = (1.574, 0.425, 1.001) \times \begin{bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ = (1.815, 0.785, 0.400, 0, 0)$$

环境因素 $U_3 = \{\text{工作环境 } U_{31}, \text{自然环境 } U_{32}\}$

$$R_2(U_3) = (1.500, 0.500) \times \begin{bmatrix} 2.0290 & 0.5039 & 0.3000 & 0.1671 & 0 \\ 2.2018 & 0.3757 & 0.3479 & 0.0756 & 0 \end{bmatrix} \\ = (4.144, 0.944, 0.624, 0.288, 0)$$

货物因素 $U_4 = \{\text{装卸 } U_{41}, \text{系固 } U_{42}\}$

$$R_2(U_4) = (1.333, 0.667) \times \begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ = (1.226, 0.400, 0.200, 0.133, 0)$$

管理因素 $U_5 = \{\text{船员配备及培训 } U_{51}, \text{监督与检查 } U_{52}, \text{安全管理制度 } U_{53}\}$

$$R_2(U_5) = (1.596, 1.098, 0.305) \times \begin{bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ = (1.849, 0.740, 0.300, 0.110, 0)$$

第三级评价:

大件运输船舶风险 $U = \{\text{人员因素 } U_1, \text{船舶因素 } U_2, \text{环境因素 } U_3, \text{货物因素 } U_4, \text{管理因素 } U_5\}$

$$R_1(U) = (2.069, 1.204, 0.915, 0.288, 0.524)$$

$$\times \begin{bmatrix} 2.140 & 0.511 & 0.300 & 0.049 & 0 \\ 1.815 & 0.785 & 0.400 & 0 & 0 \\ 4.144 & 0.944 & 0.624 & 0.288 & 0 \\ 1.226 & 0.400 & 0.200 & 0.133 & 0 \\ 1.849 & 0.740 & 0.300 & 0.110 & 0 \end{bmatrix} \\ = (11.727, 3.369, 1.888, 0.461, 0)$$

得到总评价的结果用线性加权平均法求出最终的评判结果。即:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \times V_i}{\sum_{i=1}^n U_i} = 1.49$$

经过计算, 该轮的安全评价值为 1.49, 该轮属于安全等级。

四、结论

本文得出的结论是, 大件运输船舶运输过程中的安全评价分析的控制重点是对人员因素的控制, 加强对船舶维护保养和船员配备及培训, 同时对航行水域的相关环境进行提前预判, 这对于大件运输船舶装运过程中的风险控制具有现实指导意义。

参考文献

- [1] 仲凌. “一带一路”视阈下中小国际货运代理企业的发展战略研究——以连云港 M 公司为例 [D]. 湖北工业大学, 2019.
- [2] 王洪贵, 叶正兵, 田佰军. 平板驳船滚动装卸重大件货物方案设计 [J]. 航海工程, 2018, 47(03): 46-51.
- [3] 王少雄, 张明文. 改进的层次模糊分析法在内河航道危险货物运输风险评估中的应用 [J]. 水运管理, 2022, 44(03): 4-7+33.
- [4] 许玲, 胡基平, 轩少永, 吴建军, 傅俊杰. 集装箱船舶货物运输风险云评价方法 [J]. 中国航海, 2014, 37(04): 69-73+78.
- [5] Jiali Wang, Qingnian Zhang. Model and Algorithm Design for Cargo Shipping Safety Based on Fuzzy- Precise Bayesian Network [J]. Journal of Networks, 2014, 9(8).
- [6] 何静, 王少雄, 昌雪玲, 张明文, 吕植勇. 基于层次-模糊分析法的内河航道危险货物运输风险评估研究 [J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2021, 22(02): 28-33.
- [7] 贾鑫, 吴敏. 超大件货物海上运输的风险识别及应对 [J]. 物流工程与管理, 2019, 41(10): 154-156.
- [8] 张泓怡. 重大件运输船的安全风险管控及经济效益的平衡 [J]. 冶金管理, 2021(07): 141-142.
- [9] 苏晨, 谢新连, 马梦知, 李晓君. 大件运输船舶发展现状与动态 [J]. 船舶工程, 2012, 34(03): 1-5.
- [10] 刘越琪, 肖心远, 李怀俊, 王敏. 基于层次分析和模糊综合评价法的危险品运输安全评价研究 [J]. 广东交通职业技术学院学报, 2011, 10(04): 16-19+49.