

Risk Assessment of Ship Navigation Based on Fuzzy Network Analysis Method

Wei Jin Wang

CCCC Guangzhou Dredging Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

Ship navigation is a complex and uncertain system influenced by multiple factors. This paper adopts the fuzzy network analysis method to study the risk assessment of ship navigation. Firstly, based on relevant literature and survey results, risk factors in the ship navigation system are selected and divided into five primary indicators and sixteen secondary indicators to establish a set of risk assessment factors. Secondly, based on the network analysis method and fuzzy comprehensive evaluation method, an F-ANP ship navigation risk evaluation model is established. Index importance pairwise evaluation data is obtained through questionnaire survey method, and triangular fuzzy number transformation questionnaire data is introduced for group decision-making aggregation to reduce data subjectivity. A pairwise judgment matrix of factors is constructed to obtain the weight of factors after mutual influence. Based on the investigation of single factor membership degree, fuzzy operators are used to determine the final evaluation result.

Keywords

navigation risks; network analysis method; fuzzy comprehensive evaluation; triangular fuzzy number

基于模糊网络分析法的船舶航行风险评价

汪维晋

中交广州航道局有限公司, 中国·广东广州 510000

摘要

船舶航行是一个受多因素影响的复杂的不确定性系统, 论文采用模糊网络分析法对船舶航行风险评价进行研究。首先, 综合相关文献及调查成果, 选取船舶航行系统中的风险因素, 并将其分为五个一级指标和十六个二级指标, 建立风险评价因素集。其次, 基于网络分析法和模糊综合评价法建立F-ANP船舶航行风险评价模型, 通过问卷调查法获取指标重要度两两评价数据, 引入三角模糊数转化问卷数据进行群决策集结, 降低数据主观性, 构造因素两两判断矩阵, 从而得出因素相互影响后的权重, 并根据对单因素隶属度的调查, 使用模糊算子确定最终评价结果。

关键词

航行风险; 网络分析法; 模糊综合评价; 三角模糊数

1 引言

论文通过对某一给定船舶航行系统进行模拟评价, 并与传统的层次分析法结果进行对比分析, 验证了论文 F-ANP 模型的有效性, 据此提出相关决策建议。既考虑了船舶航行系统的模糊性、复杂性与不确定性, 又兼顾了各风险因素间的相互影响关系, 为船舶航行风险评价和决策提供一定理论依据。

2 研究现状

2.1 船舶航行风险研究现状

船舶航行受到内部以及外界各类因素的影响, 整个船舶航行体系具有相当大的复杂性和不确定性, 可能面对的风

险也是不确定的, 但都会造成一定的人身或财产损害, 因此研究船舶航行风险意义重大。对于船舶航行风险的研究, 中国学者笔耕不辍, 在不断丰富和发展的过程中, 评估方法层出不穷, 并拓展到不同细分领域, 为船舶航行风险评价提供了很好的理论参考。

万子谦基于贝叶斯网络 (Bayesian Networks), 建立一种船舶航行风险评估模型, 并进行模拟评估。该文将船舶航行系统概括为管理控制、环境因素、人为因素和应急反应等大类, 并细分为 40 个具体的风险因素, 从而构建等级全息模型进行研究^[1]。

李壮等人对船舶北极水域航行风险进行研究, 通过客观监控数据, 考虑海冰对船舶航行的影响, 基于贝叶斯理论提出一种动态风险评估方法。并通过分析船舶在北极水域航行时的各种风险因素, 基于控制理论构建北极东北航道船舶航行风险评价模型。

【作者简介】汪维晋 (1998-), 男, 中国山东济南人, 本科, 助理工程师, 从事海事及船舶安全管理研究。

2.2 模糊网络分析法研究现状

在解决复杂性、模糊性的问题时，模糊网络分析法是较为实用的决策方法。我国学者将其运用在不同领域，如航运业、航空业、建筑施工、铁路交通、公司管理决策等，并进行相应的融合与改进，涌现出许多研究成果，使其理论基础与模型不断发展补充，为后续研究打下坚实基础。

3 模糊网络分析法理论

网络分析法是层次分析法的延伸与拓展，层次分析法和网络分析法是对难以完全定量的复杂系统做出决策的模型和方法。

网络分析法考虑到因素相互的影响与作用问题，完善并拓展了传统的层次分析法。而模糊网络分析法由网络分析法结合模糊综合评价，引入单因素评价的隶属度，能够根据评价结果和评价集较为客观地反映系统现状。

3.1 网络分析法的步骤

3.1.1 建立系统的网络结构模型

建立系统的网络结构模型就是将复杂的系统问题分解为元素，根据各元素的属性归类分组，进而形成控制层和网络层。若网络层元素只存在外部的层次支配关系，在内部并没有互相影响时，这种结构的权重排序同传统的 AHP 方法一致^[2]。

3.1.2 确定因素重要性标度

AHP 和 ANP 方法的重要步骤是通过调查问卷对系统内各因素的重要性做出比较，这种比较一般是两两进行的，从而根据比较结果构造判断矩阵求取权重。获取重要性数据往往用一些数值标度表示，也有用语言表示，但数值标度更便于进一步运算处理，常用的数值标度方法为 1-9 标度法和 1-5 标度法，实际上，根据决策者调查思路不同，数值标度可以任意选取。以 1-9 标度法为例，其具体含义为：

- 1：两元素相比具有同等重要性。
- 3：两元素相比，前者比后者稍微重要。
- 5：两元素相比，前者比后者明显重要。
- 7：两元素相比，前者比后者强烈重要。
- 9：两元素相比，前者比后者极端重要。

2、4、6、8：上述两相邻判断中值，如 4 为属于稍微重要与明显重要之间。

倒数：

若 a_{ij} 为元素 i 与 j 的重要性之比，则存在 $a_{ji}=1/a_{ij}$ 。

ANP 法需以直接优势度和间接优势度比较分别构造判断矩阵，直接优势度是指同一层次下两个影响因素以某一准则（一般为上一层次）进行两两比较，间接优势度是指在某一层次下两个影响因素对第三个影响因素的影响程度进行两两比较，间接优势度可以反映因素之间互相影响的情况，若以上文的数值标度进行比较，则两因素反向比较只需取倒数即可。

3.2 三角模糊数理论

3.2.1 三角模糊数介绍

三角模糊数可以表示为 $M=(l, m, u)$ ，其中 $l \leq m \leq u$ ， l 和 u 分别是 M 的上界与下界， m 是 M 的中值。在三角模糊数中， l 和 u 表示判断的模糊程度， $u-l$ 越大说明模糊程度越大， $u-l$ 越小表示模糊程度越小，当 $l=m=u$ 时， M 表示确定实数。

3.2.2 三角模糊转化标度

三角模糊数的转化标度是多种多样的，为降低调查对象在比较时的难度，增加数据的可靠性，论文省略了常规 1-9 标度法中的中间标度，用语言重要性表示权重时，其对应的三角模糊标度可以参考表 1。

表 1 重要性语言标度

重要性语言标度	三角模糊标度	普通数值标度	三角模糊倒数标度	普通数值倒数标度
同等重要	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	5	$(\frac{2}{3}, 1, 2)$	5
稍微重要	$(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$	6	$(\frac{2}{7}, \frac{1}{3}, \frac{3}{5})$	4
明显重要	$(\frac{9}{2}, 5, \frac{11}{2})$	7	$(\frac{2}{11}, \frac{1}{5}, \frac{2}{9})$	3
非常重要	$(\frac{13}{2}, 7, \frac{15}{2})$	8	$(\frac{2}{15}, \frac{1}{7}, \frac{2}{13})$	2
绝对重要	$(\frac{17}{2}, 9, \frac{19}{2})$	9	$(\frac{2}{19}, \frac{1}{9}, \frac{2}{17})$	1

3.3 模糊综合评价法

模糊综合评价对于现实问题中的各影响因素，决策者往往不能使用精确的数字对其进行描述或定义，只能用模糊的语言来进行大致表达，比如速度很快、进步缓慢、十分重要等。而模糊综合评价能够将定性语言与定量的数值结合起来，通过决策者的调查研究，得出关于该模糊事件的评价结果^[3]。

4 基于 F-ANP 船舶航行风险评价模型的建立

4.1 风险评价因素

要评价船舶在航行时的风险，就需要找出影响船舶航行的各种因素，进而建立风险评价模型的因素集。因素的选择应实事求是，符合客观规律，不宜过少，会影响评价的准确性；也不宜过多，会使判断矩阵不易通过一致性检验。

通过大量阅读文献发现，不少学者基本将船舶航行总结为人、船、环境、管理组成的系统，但研究的侧重点不尽相同，但主要侧重对人为因素和环境因素的考虑。

4.2 船舶航行风险评价 F-ANP 模型

基于上文选取风险评价指标，结合模糊网络分析法，构造船舶航行风险评价 F-ANP 模型，箭头表示对被指向的指标可能存在影响或反馈，其中网络层内部各二级指标因素也是互相影响作用的，人为因素、环境因素、船舶硬件、船

舶软件、管理因素互相影响。

4.3 F-ANP 模型模拟验证

论文在前文的基础上,给定一特殊船舶航行系统 S ,对船舶 A 从港口 B 驶向港口 C 的航行过程进行模拟风险评价。

船舶 A 为船龄 13 年,总吨 30000GT 的集装箱船,其船舶主机及各电子系统经检修已正常工作,船舶电子海图等软件系统未更新,船壳保护层久未保养。

各船员都已取得适任证书,身体健康,未有任何传染性疾病。

港口 B 至港口 C 段航线,日船舶流量约为 3000 艘次,平均能见度小于 5 海里,海流流速受盛行风影响较快。

船公司管理良好,无不良报告,月平均事故小于 1 次;辖区海事管理机构月均接海上险情 15 起,距岸 50 海里内重要海域应急到达时间大于 120 分钟,海上人命救助成功率为 85.77%。

4.4 评价结果验证与对比分析

本章使用船舶航行风险评价 F-ANP 模型对某一给定的特殊船舶航行系统 S 进行模拟运算,根据加权平均原则得出最终评价结果为 3.3787,对应风险介于“风险一般”与“风险较高”之间。

通过使用传统 F-AHP 方法对同一特殊船舶航行系统 S 进行船舶航行风险评价,得到最终评价结果为 3.3242,对应风险介于“风险一般”与“风险较高”之间。

由此可得,论文基于模糊网络分析法的模型和传统模糊层次分析法的最终评价结果基本相同。对于该系统 S ,其航行风险处于一般到较高之间,需要决策者进一步分析研究,找出薄弱环节,提出相应防范策略和建议。两者评价结果相差 0.0545,相对误差 1.63%,基本验证了模型的有效性,可以应用到实际决策操作中。

在 F-ANP 运算和 F-AHP 运算的结果中,人为因素的权重都在该系统一级指标的权重排序中居于首位,充分说明了在船舶航行中人为因素的重要性;同时这也符合传统的事故致因理论和现实认知,人的不安全行为或失误往往是导致事故发生的主要原因。因此,在实际生产活动中,无法对船舶各风险因素作出进一步排查分析时,决策者应当先从人为因素出发,如提高船员操作技能水平、增强船员工作的责任心、责任感。关注船员的身体健康与心理健康等,进而降低船舶航行中发生事故的概。

不考虑因素互相影响的情况下,即层次分析法所得结果中,一级指标的权重排序为人为因素(0.2875),船舶软件(0.2676),船舶硬件(0.2659),环境因素(0.1492),管理因素(0.0389);而考虑因素互相影响后,即本文方法所得结果中,一级指标的权重排序变为人为因素(0.2493),船舶硬件(0.2409),管理因素(0.2294),环境因素(0.1604),船舶软件(0.1200)。其中管理因素权重提升最大,在实际生产作业中,考虑到管理因素(包括船公司管理和海事机构

管理)对人为、船舶硬件和软件都有一定的指导和决定作用,而且正确的航线决策能够较好地规避不良环境所带来的风险,因此考虑因素互相影响的权重排名更加符合实际。

对于人为因素,不考虑因素互相影响的权重排序为技术能力(0.5989),负责程度(0.2006),健康状态(0.2006),考虑因素互相影响后的权重排序为技术能力(0.1286),负责程度(0.5630),健康状态(0.3084)。我们往往认为技术能力是维护系统正常进程的最重要因素,但实际上船员的责任心和实际健康状态都对其实际表现有较大影响,一定程度上限制了技术能力的发挥,事故的应对与避免往往不需要异于常人的优秀能力,而是取决于对某个岗位的负责程度,能否及早发现异常,防微杜渐是避免事故降低风险的最好方法。

对于环境因素,在考虑因素互相影响后,能见度和海流权重都有所上升,交通密度权重下降,且能见度所占权重最大。这是因为能见度和海流等气候因素都对交通密度有较大影响,在不良天气时海域的通航船舶都将减少,因此应当注意能见度对船舶航行的影响,加强恶劣天气的预警工作,实时掌握海域雾情,保障船舶在能见度不良时的信息交互。

对于船舶因素,两种方法所得到的权重排序相同,船舶硬件排序为主机、船体强度、船舶吨位、船龄,且主机和船体强度远大于其他两项因素,这是因为船舶的主发动机和船体是船舶航行的基础,也是最重要组成。虽然排序没有变,但是考虑因素互相影响后,船龄和船舶吨位的权重都有上升,船龄和船舶吨位都会间接地影响船的适航状态,且船龄越大,船舶发动机、船体出现隐患的概率就会越大。

对于管理因素,两种方法中海事管理均排在首位,可见海事机构的管理与指导对船舶航行的重要性。

5 结语

船舶航行风险评价是研究海上交通安全的重要组成部分,运用合理的评价方法和数据能够有效地分析船舶状态,及时排查风险,防微杜渐,将发生事故的可能性降到最低。

以往的风险评价往往以某一特定元素,如针对人为因素、环境因素中的自然与交通环境,或局限于某一特定环境,如船舶过桥、港口水域、极地航行、船舶建造过程,对系统的模糊性问题往往直接套用专家意见,无论是使用层次分析法还是网络分析法都无法较好地刻画系统里各影响因素的互相作用关系,影响评价的准确性,所以需要全方面综合考虑。

参考文献

- [1] 万子谦.船舶航行风险的识别、过滤与评估研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2017.
- [2] 李壮,付姗姗,高郭平等.海冰影响下船舶北极水域航行风险评估方法[J].交通信息与安全,2020,38(3):92-98.
- [3] 钟婉婷.基于模糊网络分析法的水利水电工程施工风险分析[J].水电站机电技术,2020,43(11):177-178.