

基于 AHP-DEA 方法的船舶监督精准化评价体系研究

陈爱娟^{1,2,3,4}, 郑彭军^{1,2,3,4*}

(1.宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211; 2.宁波港航物流服务体系协同创新中心, 浙江 宁波 315211;

3.国家道路交通安全管理工程技术研究中心 宁波大学分中心, 浙江 宁波 315211;

4.现代城市交通技术江苏高校协同创新中心, 江苏 南京 210096)

摘要: 为了优化海事监管资源配置, 提高船舶安全监督管理水平, 实现船舶监督精准化, 通过层次分析法筛选指标, 建立了评价指标体系. 在此基础上, 分析并改进了现有层次分析法(AHP)和数据包络法(DEA)集成方法的不足, 建立了基于 AHP-DEA 方法的船舶监督精准化评价体系, 实现了船舶风险程度以及船舶监督优先等级的排序和分类. 最后运用改进的 AHP-DEA 方法进行了案例分析, 并将结果与现有的船舶监督评价体系的评价结果作了对比, 验证了该方法的有效性和优越性.

关键词: 船舶监督; 精准化; 评价指标; AHP-DEA

中图分类号: U692.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 04-0116-05

“船舶监督”是指海事管理机构对船舶、船员及其从事的相关活动是否符合法律法规、行政法规、我国缔结或者加入的有关国际公约以及我国加入的区域性合作组织的规定, 依法实施的的安全管理和监督检查活动. 上述“船舶”是指中国籍船舶及水上设施(以下统称“船舶”)以及航行、停泊、作业于我国管辖水域的外国籍船舶^[1]. 在政府深入推进职能转变、简政放权的形势下, 船舶签证的取消, 减弱了目前海事管理机构对船舶进行普查的方式和效果, 致使海事监管模式的新一轮调整, 需要进一步集中和合理分配海事监管资源. 由于现场执法资源有限, 船舶监督精准化问题亟待解决, 因此需要建立科学的船舶监督精准化评价体系.

现行的船舶监督精准化评价体系只是将船舶分成3类, 对于同类船舶不能进一步区分其优先监督次序. 然而船舶监督精准化是选择出相对应优先检查的船舶, 若能实现对船舶的风险程度进行排序, 则能区分其优先监督顺序, 从而进一步优化海事监管资源配置.

目前国内外的相关研究主要是采用以决策者

主观判断为主的评价方法(以下简称主观评价法)和以客观数据为基础的评价方法(以下简称客观评价法)对船舶监督精准化评价体系进行改进^[2-4]. 主观评价法主要有层次分析法、模糊综合评价法等, 反映了决策者的偏好, 但在某种程度上又过分依赖决策者主观判断; 客观评价法^[5-7]主要有BP神经网络法、支持向量机理论、贝叶斯网络法以及综合安全评估法等, 这些方法都在一定程度上对船舶监督精准化评价体系进行了改进, 且各有优势, 但不能反映决策者的偏好, 可能会出现结果与实际情况不相符的现象.

层次分析法(AHP)与数据包络法(DEA)相结合的方法, 是既能体现决策者主观判断又能考虑客观数据的方法, 国内外许多学者将这两种方法有效地集成起来, 并在多目标评价中得以应用. 目前将AHP-DEA集成起来的方式主要有4种, 其中有1种集成方式适用于多指标的船舶监督精准评价体系, 其具体集成方式为: 利用AHP方法计算出各类因素的权重 w_i , 其中 $i=1, 2, \dots, \alpha$; 再运用DEA计算各类指标 D_j 的绩效值 θ_{ij} ; 最后利用公式 $\theta_j = \sum_{i=1}^{\alpha} \theta_{ij} w_i$,

收稿日期: 2018-03-20.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.lg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 欧盟地平线 2020 计划项目 (690713); 国家自然科学基金 (51408321); 浙江省自然科学基金 (LY15E080013); 宁波市自然科学基金 (2016A610233).

第一作者: 陈爱娟 (1992-), 女, 山东聊城人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 港航技术与管理工程. E-mail: 1021109855@qq.com

*通信作者: 郑彭军 (1965-), 男, 浙江宁波人, 教授, 主要研究方向: 港航技术与管理工程. E-mail: zhengpengjun@nbu.edu.cn

$j=1,2,\dots,n$ 计算出综合有效值 θ_j 。上述对 θ_{ij} 加权求和计算 θ_j 是假定一级指标对船舶安全影响相同,然而实际情况是 $\sum_{j=1}^n \theta_{ij}$ 不等,即表示一级指标对船舶安全的影响不同,因此需要改进。本文提出的改进方案是将 θ_{ij} 归一化,然后建立一种基于AHP-DEA方法的船舶监督精准化评价体系,并通过案例分析验证该评价方法的有效性和优越性。

1 研究方法

层次分析法^[8]是将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。数据包络分析^[9]是1978年由Charnes和Cooper创建的一个对多投入,多产出的多个决策单元(Decision Making Unit, DMU)的效率评价方法。国内外学者将AHP与DEA集成起来的方式主要有4种:(1)把AHP作为约束锥的DEA方法^[10],该集成方式需要运用AHP方法判断所有指标的权重,当指标较多时,会给主观判断带来很大的困难,也容易造成判断矩阵不符合一致性。(2)把所有决策单元两两组成一组,构造一个两两效率值比较的判断矩阵,运用AHP计算其特征向量,并根据特征向量实现排序^[11],这种集成方式适用于指标较少的模型,若指标较多,只有两个决策单元的情况下,容易造成绝大部分的效率值是1,导致得到的结果可靠性不高。(3)计算出AHP权重评价价值 w 以及DEA有效值 θ ,并引入偏好系数 α ,运用公式 $A = \alpha w + (1 - \alpha)\theta$ 得到综合评价价值^[12],该集成方式与(1)相同,需要通过主观判断得到所有指标的权重,不适用于指标较多的模型。(4)利用AHP方法计算出各类因素的权重 w_i ,然后运用DEA计算出各类指标 D_i 的绩效值 θ_{ij} ,最后利用公式 $\theta_j = \sum_{i=1}^n \theta_{ij} w_i$ 计算出综合有效值 θ_j ^[13-15]。考虑到船舶监督评价指标体系共有两级指标,其中一级指标(即各类指标)较少,容易进行主观判断,可通过专家评价确定统一接受的权重;二级指标较多,无法确定统一接受权重,可通过DEA方法得到二级指标的最优权重,从而解决这一问题。

综上所述,由于船舶监督评价涉及到指标较多,只有第4种集成方式比较适用于船舶监督精准化评价体系。但是对 θ_{ij} 加权求和计算 θ_j 是在假定一级指标对船舶安全影响相同基础上进行的,然

而 $\sum_{j=1}^n \theta_{ij}$ 不等,表示一级指标对船舶安全的影响不同,因此存在矛盾,需要对其改进。

2 模型的构建

2.1 评价指标的筛选

考虑到影响船舶监督精准化的评价因素错综繁杂,我们基于层次性、重要性、系统性等原则,采用层次分析法结合专家咨询法确定评价指标的权重值,进而筛选确定评价指标。其中专家有16位,主要包括船长、船东、海事局管理人员、船舶监督处人员、教授、其他人员等。

基于AHP思想进行指标筛选的步骤为^[16]:(1)建立层次结构。借鉴各区域备忘录和各国船旗国监督检查的经验,并结合船舶监督实际情况,初步选取评价指标与评价因子,并建立初步的指标体系。目标层A,即船舶监督精准化评价;一级指标层B,包括船舶方面的指标、船公司方面的指标、船员方面的指标、船级社方面的指标、船旗国方面的指标以及认可组织方面指标;二级指标层C,共有19个评价因子。(2)构造判断矩阵。(3)计算层次B指标的权重及一致性检验,其中 $P_{CR}=0.0749 < 0.1$,表明满足一致性要求;B层指标的权重值依次为船舶方面为0.424、船公司方面为0.255、船员方面为0.151、船旗国方面为0.087、认可组织方面为0.052以及船级社方面为0.031。可以看出,船舶方面指标对船舶监督精准化的影响最大;船公司对于船舶、船员的科学有效管理,在提高船舶安全性方面起着积极作用,由此船公司方面的指标是船舶监督需着重考虑的因素。有统计资料表明^[17],所有的海难事故中约有80%与人为因素有关,所以船员方面的指标也较为重要;其他指标所占权重较小。因此,综合分析并结合国内外船舶监督精准化评价体系的研究结果,最终筛选B层评价指标为船舶、船公司、船员三方面指标,构建的指标体系见表1。

船舶监督精准化评价指标体系包含两级指标,一级指标包括船舶、船公司和船员;二级指标有15个评价指标,涵盖了影响船舶监督的主要因素,其中是否被评为安全诚信船舶、是否为重点跟踪船型、是否被评为安全诚信船公司、是否被评为安全诚信船长这4项指标反映了船舶安全情况,设为输出指标;其他11项指标是影响船舶安全的因素,

设为输入指标.

表1 船舶监督精准化评价指标体系

目标层	准则层	指标层
船舶监督精准化评价	船舶方面指标	过去36个月事故承担主要责任及以上责任次数; 过去36个月受行政处罚次数; 过去36个月缺陷数超过4的检查次数; 过去3年年被滞留数; 是否被评为安全诚信船舶; 是否为重点跟踪船型
	船公司方面指标	滞留指数; 平均缺陷数; 过去36个月公司所有船舶发生水上交通事故达到重大及以上级别的次数; 过去36个月公司所有船舶受行政处罚次数; 是否被评为安全诚信船公司
	船员方面指标	是否被评为安全诚信船长; 船员违法扣分的平均分数; 船员更换频率

2.2 船舶监督精准化评价体系的建立

假设对港口内 n 艘船舶进行评价, 建立的指标体系中共有两级指标, 其中一级指标有 α 个, 即 α 类指标, 每类指标下有 β_i 个二级指标, 其中有 m_i 个输入指标和 s_i 个输出指标 ($i=1,2,\dots,\alpha$), x_{ij} 和 y_{ri} 为第 j 艘船舶第 i 类指标中第 l 个输入指标和第 r 个输出指标的指标值; v_l 和 u_r 为输入指标和输出指标的权重变量; 在对应的生产可能集满足平凡性、凸性、锥形、无效性和最小性假设的情况下, 针对第 j 艘船舶第 i 类指标的决策单元 D_{ij} 进行效率评估, 以第 j 艘船舶第 i 类指标的 D_{ij} 的效率指数为目标, 以所有决策单元的效率指数为约束, 可建立如下线性规划模型:

$$\min[\theta_{ij} - \varepsilon(\hat{e}^T S_i^- + e^T S_r^+)], j=1,2,\dots,n, \quad (1)$$

$$\hat{e}^T = (11\cdots 1) \in E_m, e^T = (11\cdots 1) \in E_s, \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + S_i^- = \theta_{ij} x_{i0}, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - S_r^+ = y_{r0}, \\ \lambda_j \geq 0, \\ S_i^- \geq 0, S_r^+ \geq 0, \\ l=1,2,\dots,m, r=1,2,\dots,s, \end{cases} \quad (3)$$

式中: S_i^- 为松弛变量; S_r^+ 为剩余变量; ε 为非阿基米德无穷小量; x_{i0} 和 y_{r0} 分别为被评价的某艘船舶第 i 类指标中第 l 个输入和第 r 个输出指标值; θ_{ij} 为第 j 艘船舶第 i 类指标的相对有效值.

θ_{ij} 值的大小表示某一艘船舶的二级指标对该船舶安全的影响程度, 若 $\theta_{ij} = 1$, 且 $S_i^- = S_r^+ = 0$, 则该艘船舶的二级指标为 DEA 有效, 表明该艘船舶的二级指标对船舶安全的影响正好落在有效生产前沿面上, 在该二级指标下所有被评价的船舶中其安全相对有效性最高. 若 $\theta_{ij} < 1$, 则该艘船舶的二级指标为非 DEA 有效, 表明该艘船舶的二级指标对船舶安全的影响处在有效生产前沿面包络之内, 未达到最安全状态. 在所有被评价的船舶中, 其 θ_{ij} 值均介于 0 到 1 之间, 该值越大, 说明该船舶的二级指标对船舶安全相对有效性越高, 安全性越好, 反之亦然.

若要实现第 j 艘船舶在考虑所有指标下的安全性排序, 则需求出 θ_j . 针对 $\sum_{j=1}^n \theta_{ij}$ 不相等问题, 即不满足一级指标对船舶安全影响相同的假设条件, 本文提出的改进方案是将 θ_{ij} 归一化, 即:

$$\bar{\theta}_{ij} = \theta_{ij} / \sum_{j=1}^n \theta_{ij}, \quad (4)$$

式中: $\sum_{j=1}^n \bar{\theta}_{ij} = 1$ 满足假定条件, $\bar{\theta}_{ij}$ 可表示二级指标对船舶安全影响程度的相对大小, 然后依据公式:

$$\theta_j = \sum_{i=1}^{\alpha} \bar{\theta}_{ij} w_i, \quad (5)$$

得到第 j 艘船舶安全的相对有效值 θ_j , 表示第 j 艘船舶安全程度, 即 θ_j 越小, 船舶风险越高, 船舶监督优先等级越高. 其中一级指标的权重 w_i 为:

$$w_i = \frac{\sqrt[\alpha]{\prod_{\rho=1}^{\alpha} b_{i\rho}}}{\sum_{\rho=1}^{\alpha} \sqrt[\alpha]{\prod_{\rho=1}^{\alpha} b_{i\rho}}}, \quad (6)$$

式中: $b_{i\rho}$ 为一级指标相对重要性量化值, $w = (w_1, w_2, \dots, w_{\alpha})^T$ 为判断矩阵的特征向量, 一级指标判断矩阵 A 的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 为:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^{\alpha} \frac{(Aw)_i}{w_i}, \quad (7)$$

这需要根据公式 $P_{CI} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 求出一致性指标 P_{CI} , 并根据公式 $P_{CR} = P_{CI} / P_{RI}$ 求出检验系数 P_{CR} , 其中一致性指标需要根据矩阵阶数查表得到. 若 $P_{CR} < 0.1$, 则表明结果符合一致性, 否则需重新调整判断矩阵.

3 实例研究

选取 22 艘船舶($n=22$)作为实验样本, 通过走访海事部门搜集相关资料, 登录船舶管理系统动态 2.0, 在综合业务系统、船舶登记系统、船员管理系统、二级数据库、企业机构查询功能中查询, 最终获取船舶相关指标值数据. 通过查阅相关文献[5-7]以及征求 16 位航运专家意见, 得到一级指标的判断矩阵($\alpha=3$), 并计算出一级指标的权值 w_i 、最大特征值 $\lambda_{\max}$ 、一致性指标 P_{CI} , 查表得到一级指标判断矩阵的一致性指标 P_{RI} , 并计算出检验系数 P_{CR} , 经验证符合一致性要求. 计算得到的各指标见表 2.

表 2 计算所得的各类指标					
指标	w_i	$\lambda_{\max}$	P_{CI}	P_{RI}	P_{CR}
船舶	0.615				
船公司	0.268	3.074	0.037	0.52	0.071<0.1
船员	0.117				

在已知 w_i 及各指标值基础上, 以 DEAP 2.1 软件为工具, 运用 C^2R 模型计算第 j 艘船舶($j=1, 2, \dots, n$)第 i 类指标($i=1, 2, \dots, \alpha$)相对有效值 θ_{ij} , 并结合 w_i 得到第 j 艘船舶的相对有效值 θ_j , 根据 θ_j 的大小对船舶风险程度进行排序, 并将 0.008 和 0.1 设为分界点, 将船舶分成高风险、中等风险、低风险船舶, 从而满足了船舶监督精准化的需求. 为了验证该方法的有效性和优越性, 分别采用模糊综合评价法(Fuzzy Comprehensive Evaluation, FCE)、我国船旗国监督(Flag State Control, FSC)检查新选船机制以及东京备忘录新检查机制(New Inspection Regime, NIR)对船舶进行评价. 对 22 艘船舶采用另 3 种方法进行船舶评价, 评价结果见表 3.

通过对比 AHP-DEA 与 FCE 方法的结果可知, 第 5、18、20 艘船舶结果不一致, 第 18 艘船被评为安全诚信船舶, 且 3 年内没有被滞留, 所属船公司为安全诚信船公司, 应属于低风险船舶; 第 20 艘船被评为安全诚信船、所属船公司为安全诚信船公司, 且船长为安全诚信船长, 应属于低风险船舶. 由此可以说明 AHP-DEA 方法的分类更为合理, 同时相较与 FCE 法, AHP-DEA 法客观性更强, 减少了结果的偶然性. 通过对比 AHP-DEA 与 FSC 法发现, 第 12、15 艘船舶结果不一致, 第 12 艘船应该属于低风险船舶, 理由与第 20 艘船舶相同, 由此

说明 AHP-DEA 法的分类更合理. 通过对比 AHP-DEA 与 NIR 法的结果可知, 第 3、14 艘船舶结果不一致, 这 2 艘船舶发生过事故, 且被行政处罚过, 不应属于低风险船舶, 说明 AHP-DEA 法的分类更合理. 同时, AHP-DEA 法可根据 θ_j 的大小对船舶排序, 体现了该方法的优越性.

表 3 船舶评价结果对比						
编号	AHP-DEA 法			FCE 法	FSC 法	NIR 法
	θ_j	排序	分类			
1	0.003 838	1	高	高	高	高
2	0.157 208	22	低	低	低	低
3	0.068 092	17	中等	中等	中等	低
4	0.062 256	14	中等	中等	中等	中等
5	0.008 788	7	中等	高	中等	中等
6	0.050 026	13	中等	中等	中等	中等
7	0.005 863	5	高	高	高	高
8	0.029 860	12	中等	中等	中等	中等
9	0.065 832	16	中等	中等	中等	中等
10	0.005 553	4	高	高	高	高
11	0.004 591	3	高	高	高	高
12	0.117 646	21	低	低	中等	低
13	0.010 550	9	中等	中等	中等	中等
14	0.065 557	15	中等	中等	中等	低
15	0.007 743	6	高	高	中等	高
16	0.115 008	20	低	低	低	低
17	0.024 872	11	中等	中等	中等	中等
18	0.084 832	18	中等	低	中等	中等
19	0.010 868	10	中等	中等	中等	中等
20	0.087 545	19	中等	低	中等	中等
21	0.004 106	2	高	高	高	高
22	0.009 364	8	中等	中等	中等	中等

4 结论

本文提出了一种基于 AHP-DEA 方法的船舶监督精准化评价体系, 并改进了 AHP 与 DEA 集成方式中不适合船舶监督精准化评价体系的部分. 改进的 AHP-DEA 方法既可反映决策者偏好, 又不过分依赖决策者主观判断, 不需建立输入和输出指标间的生产函数关系, 不需重复评价指标权重, 减少了工作量, 且步骤简单、计算方便. 与传统的 FCE、FSC、NIR 评价方法相比, 改进的 AHP-DEA 方法具有更强的有效性和优越性. 该方法可以满足

足船舶监督精准化的需求,既能对船舶监督优先等级排序,也可根据风险程度对船舶分类,因此对船舶监督有一定的实用价值.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 中华人民共和国船舶安全监督规则[EB/OL]. [2017-12-01]. http://zfxgk.weihaigov.cn/xxgk/jcms_files/jcms1/web16/site/art/2017/6/22/art_831_209936.html.
- [2] 李正莲. 港口国监督选船系统研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2008.
- [3] 陈雷, 王广宇. 中国籍非国际航行船舶安全检查选船机制[J]. 中国海事, 2009(3):42-46.
- [4] Hanninen M, Kujala P. Bayesian network modeling of port state control in inspection findings and ship accident involvement[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 3(7):62-74.
- [5] 魏栋, 陈露玲, 曾青山, 等. 基于神经网络的 FSC 检查选船模型研究[J]. 中国海事, 2010(8):43-46.
- [6] 孙忠华. 港口国监控选船新模型研究[J]. 中国海事, 2012(4):71-75.
- [7] 孙巍. 制定科学选船机制完善港口国监督[J]. 中国水运, 2010(5):34-35.
- [8] 谢合亮, 靳志伟, 吴智魁. 基于 AHP 的商业银行内部控制评价研究[J]. 财会通讯, 2013(6):75-76.
- [9] 柳顺, 杜树新. 基于数据包络分析的模糊综合评价方法[J]. 模糊系统与数学, 2010, 24(3):93-98.
- [10] 林济铿, 蒋越梅. 基于 DEA/AHP 模型的电力系统黑启动有效方案评估[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(15):65-69.
- [11] 徐临, 郭亚涛, 李吉栋. 基于 AHP-DEA 模型的小额贷款公司风险评价研究[J]. 农村金融研究, 2007(3):31-34.
- [12] 周方涛. 基于 AHP-DEA 方法的区域科技创业人才生态系统评价研究[J]. 管理工程学报, 2013, 27(1):8-13.
- [13] 张士昌, 周伟杰. 供应链竞争力综合评价 AHP-DEA 模型[J]. 价值工程, 2008(7):70-73.
- [14] Rezaie V, Ahmad T, Maan N. Ranking the multiple intelligences of people with epilepsy using analytical hierarchy process and data envelopment analysis[J]. Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence, 2013, 5(2):98-106.
- [15] Kasap Y, Kiris S. An AHP-DEA approach for evaluating electricity generation firms of OECD countries[J]. Energy Sources, 2013, 8(2):200-208.
- [16] 尚豫新, 高明辰. 层次分析法在中国电力企业培训评估中的应用[J]. 经济视角, 2011(7):21-22.
- [17] 欧阳. 基于关联规则挖掘和集对分析的海船船员适任性评价方法研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2015.

Research on the evaluation system of precise ship supervision based on AHP-DEA method

CHEN Ai-juan^{1,2,3,4}, ZHENG Peng-jun^{1,2,3,4*}

(1. Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Ningbo Collaborative Innovation Center for Port and Shipping Services System, Ningbo 315211, China;

3. National Traffic Management Engineering & Technology Research Centre Ningbo University Sub-Centre, Ningbo 315211, China;

4. Jiangsu Province Collaborative Innovation Center for Modern Urban Traffic Technologies, Nanjing 210096, China)

Abstract: Due to the limited resources of on-site law enforcement, in order to optimize the allocation of marine regulatory resources and improve the level of ship safety supervision and management in our country, this paper filters the indicators which covered the main factors that affect the safety of ship by analytic hierarchy process, and establishes the evaluation index system. On this basis, the paper analyzes the deficiencies of the existing integration methods of AHP and DEA, improves the integration method and establishes an evaluation system of precise ship supervision based on AHP-DEA method. The case analysis was carried out by this method. The results were compared with those which are based on existing evaluation system of precise ship supervision, which verified the validity and superiority of the proposed method.

Key words: ship supervision; precision; evaluation index; AHP-DEA

(责任编辑 史小丽)