

长江干线船舶航行营运工况影响因素

喻露, 王志芳

(中国船级社武汉规范研究所, 湖北 武汉 430022)

摘要: 针对长江干线船舶营运工况面临的复杂环境影响问题, 对长江干线船舶不同航段营运工况的影响因素及其影响程度进行了识别和评价, 采用层次分析法, 从水文环境、气象环境、航道条件和其他因素四个方面构建了由 14 个因素组成的船舶营运工况影响因素层次模型, 并结合专家调研打分的方式确定了各因素的权重值。系统地分析了长江干线实际航道、气象、水文环境特性以及各因素权重分布情况, 说明计算权重值具有一定合理性, 计算结果可以为确定船舶营运主机工况提供依据。

关键词: 长江干线; 船舶营运工况; 影响因素; 层次分析; 影响程度

中图分类号: U676.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 10—0077—03

为应对气候变化问题, 我国提出了“双碳”战略目标, 为降低我国内河航运温室气体排放, 交通运输部已强制要求 2012 年 7 月 1 日及以后建造的新船必须满足船舶能效设计指数 EEDI 要求^[1], 但内河航道环境复杂、通航建筑多、气象水文变化大、水深受季节影响大, 受此特点影响, 内河船舶在航行过程中, 主机工况往往处于非设计状态且不同航段上差异大, 这导致不同航段船舶能源消耗及污染物排放也相差较大。

为此, 中国船级社开展了船舶营运智能能效管理系统研究, 为了给该系统提供技术支撑, 提高船舶营运能效, 需深入开展船舶营运工况影响因素识别及关联性研究。考虑到长江干线船舶从数量吨位看最能代表内河船舶, 本文针对长江干线航行船舶, 采用层次分析法结合专家打分确定营运工况的影响因素权重, 再通过长江干线不同航段特征分析各因素影响程度合理性, 为船舶营运中能耗排放评估研究提供参考。

1 主机营运工况影响因素的层次模型

长江干线是一个涉及复杂航道、气象、水文的动态环境。本文通过分析文献^[2]及调研内河船舶船长和轮机长, 识别船舶在长江干线航行营运工况受流速、水深水位、风、能见度、航道条件等因素影响。针对上述影响因素, 运用层次分析法建立长江干线船舶营运工况影响因素层次模型, 如图 1 所示。

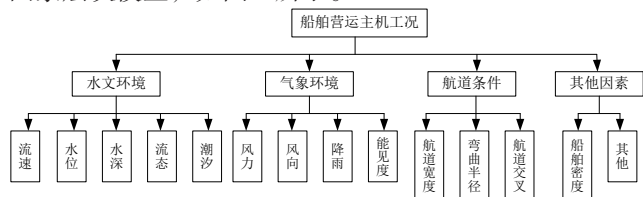


图 1 长江干线船舶营运工况影响因素层次模型

2 影响因素权重的确定

针对长江干线船舶营运工况影响因素面临的不确定性问题, 本文在图 1 构建模型基础上, 采用层次分析法结合专家调研法^[3]对长江干线船舶营运工况影响因素权重计算, 识别影响船舶营运工况的重要因素。

2.1 单个专家权重的确定

本文评价范围整个长江干线, 故邀请了长江干线上运营不同船型的 15 位船长和轮机长对图 1 中模型各层指标影响程度进行打分。考虑到长江干线上中下游航道环境的差异性, 在调研问卷中将长江干线分为重庆以上、重庆至三峡大坝前、两坝间、宜昌至武汉及武汉以下 5 个航段, 针对每个航段分别展开客观评价。采用 1 ~ 9 标度法^[4], 以某位船长打分结果为例, 根据水文环境、气象环境、航道条件和其他对船舶营运主机工况的影响程度打分, 得出第 1 层指标判断矩阵 A_1 为:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 9 & 5 \\ 0.2 & 1 & 5 & 5 \\ 0.1111 & 0.2 & 1 & 1 \\ 0.2 & 0.2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

根据层次分析法原理, 对式 (1) 进行归一化处理, 并检验其一致性。得到该矩阵特征权重向量为:

$$w = (0.6335, 0.2372, 0.058, 0.0712)^T, \lambda_{\max} = 4.2588, CR = 0.0969 \quad (2)$$

满足一致性要求。同理, 得到第 2 层指标评价矩阵及对应特征权重向量如下。

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 9 & 5 & 7 \\ 0.1111 & 1 & 1 & 1 \\ 0.2 & 1 & 1 & 3 \\ 0.1429 & 1 & 0.3333 & 1 \end{bmatrix} w = (0.6801, 0.0955, 0.1473, 0.077)^T \quad (3)$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 6.4239 & 6.4239 & 7.5761 \\ 0.1557 & 1 & 2.4239 & 4.4239 \\ 0.1557 & 0.4126 & 1 & 3.4239 \\ 0.132 & 0.226 & 0.2921 & 1 \end{bmatrix} w = (0.6691, 0.1766, 0.1055, 0.0488)^T \quad (4)$$

$$B_3 = \begin{Bmatrix} 1 & 7 & 7 \\ 1 & 1 & 7 \\ 0.1429 & 0.1429 & 1 \end{Bmatrix} \quad w = (0.4667, 0.4667, 0.0667)^T \quad (5)$$

$$B_4 = \begin{Bmatrix} 1 & 7 \\ 0.1429 & 1 \end{Bmatrix} \quad w = (0.875, 0.125)^T \quad (6)$$

每层矩阵的特征向量是该组指标对其上层中某元素的权重向量, 下层指标权重总排序为上层矩阵权重与下层矩阵权重之积。根据每层特征向量计算各指标总权重结果见图 2。

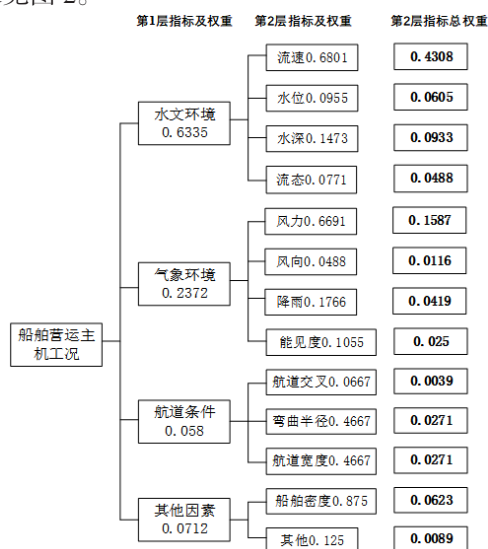


图2 第2层指标权重总排序

2.2 专家合成权重的确定

按照上节得到不同航段不同专家指标权重结果后, 采用算术均值法集结专家结果得到各要素权重值。计算公式如下, 最终得到长江干线各航段各因素的影响权重值 (见图 3、4)。

$$\left(\sum_{k=1}^n w_i^k \right) / n \quad (7)$$

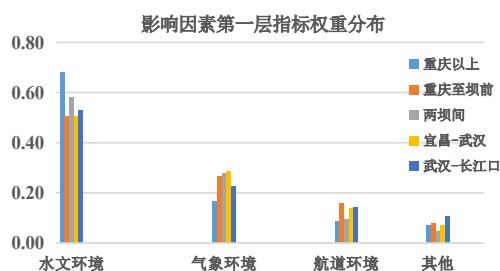


图3 长江干线船舶营运工况影响因素第一层指标权重

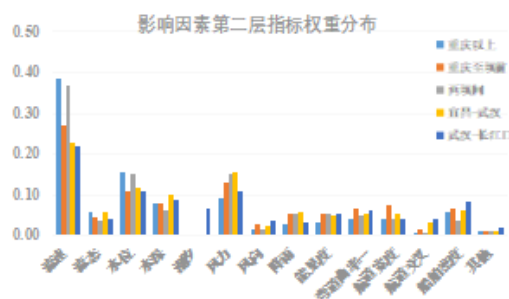


图4 长江干线船舶主机营运工况影响因素第二层指标权重

2.3 权重结果分析

2.3.1 第一层指标

从图 3 指标权重分布看, 长江干线船舶主机工况影响因素中, 影响程度最大的是水文环境, 权重在 0.5 以上; 其次是气象环境, 权重在 0.2 左右; 然后是航道环境和其他因素。

2.3.2 流速、水深、水位、风力

从图 4 权重分布看, 长江干线船舶主机营运工况最大影响因素为流速、水深、水位以及风力, 其中流速对主机工况影响最大, 在重庆以上、两坝间特殊航段甚至超过 0.35。

长江上游航道是典型的山区河流航道, 其中, 宜宾合江门至重庆江津红花碛为山区天然航道, 航道弯曲狭窄, 滩多流急, 流态紊乱, 流速对船舶营运工况影响最大, 一些船舶甚至需要借助推船上滩; 重庆江津红花碛至涪陵为变动回水区航道, 涪陵至三峡大坝为常年库区航道, 回水变动区航道随着三峡水库水位调度呈现库区航道和天然航道的特征, 当水位在 145 以下时属于自然航道, 容易出现水浅、流急、弯多、滩险, 对船舶营运工况影响很大; 两坝间属于常年自然航道, 随着三峡通航流量变化, 水流速度变化巨大, 洪水期间出现滩多流急, 打不起舵容易出事故; 长江中下游水文条件相对较好, 但是部分中游航段枯水期浅滩会增多, 下游临近长江口水域条件变得复杂。因此, 长江干线流速对主机功率影响很大, 上游部分航段流速影响程度比中下游航道更大。长江干线流速受季节水深变化影响 (枯水期间易形成浅滩、急滩), 且分季节水深变化对船舶装载及主机工况影响很大。

另外, 长江上游多为山区航道, 除去一些特殊位置, 一般风力较小且风向多顺着航道, 较利于船舶航行; 中下游大风天气增多, 且由于风力对水流作用, 可能导致船舶出现风浪失速, 因此风力的影响是上游航道小于中

下游航道。

2.3.3 航道条件、潮汐、船舶密度

从图4看,航道环境、潮汐、船舶密度等因素对船舶主机工况也有一定影响,其中航道环境总权重达到0.1~0.15,下游潮汐权重达到0.0656,下游船舶密度权重达到0.0845。长江上游航道宽度、曲率半径比中下游小,上游船舶航行时对航道关注度比下游高。船长们反映由于上游航道较窄,部分航段出现船舶交汇概率高导致船舶密度偏高,影响船舶航行。下游航段随着近十几年来船舶数量不断增长,船舶密度对航行影响很大(见图5)。另外,南京至上海航线涨落潮对船舶营运工况影响也很大。

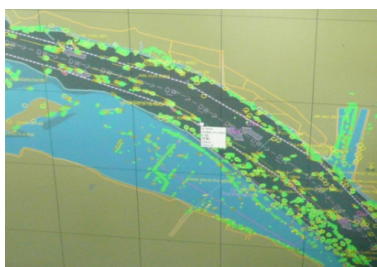


图5 长江下游船舶航行 AIS 图

2.3.4 能见度、降雨

从图4分布看,降雨、能见度等因素对船舶主机工况也有一定影响,两者权重值达到0.05~0.1。通过对2019年11月至2020年10月期间海事局公开的长江干线安全预警及暴雨预警情况统计分析,长江干线辖区内中上游暴雨次数较多,宜昌、荆州、黄石的暴雨预警次数较多;长江全线均有较高的大雾频率,重庆、武汉以及荆州的大雾预警次数较多。多位船长表示上中游航线暴雨天气对船舶航行有影响,重庆至九江航道范围内船舶经常扎雾影响船舶航行。

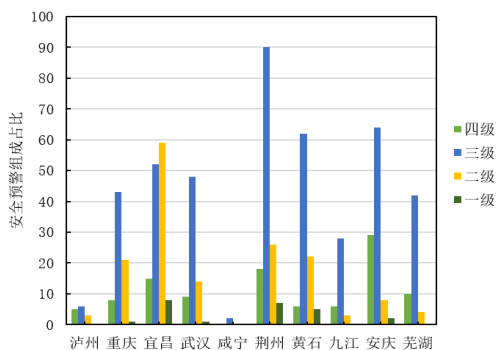


图6 全年安全预警空间分布特征示意图

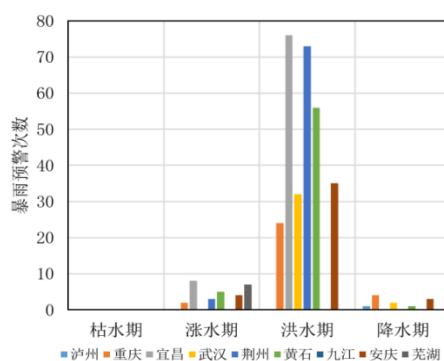


图7 全年各辖区暴雨安全预警次数示意图

3 结论

(1) 本文利用层次分析法结合专家打分,得到了长江干线船舶不同航段营运工况影响因素权重值,并识别出船舶营运工况影响程度依次是水文环境、气象环境、航道环境和其他;在全部影响因素中,影响程度最大是流速、水位水深、风力,在确定船舶营运工况时应优先关注影响程度较高因素。

(2) 本文根据长江航道特点,分别对不同航段船舶主机工况的影响因素权重进行了计算和分析;对长江干线航道、气象、水文环境特性的分析,说明了本研究权重计算结果具有一定合理性,可以为分析船舶营运主机工况提供依据,为研究提高船舶营运状况下节能减排效益提供新思路。

参考文献:

- [1] 交通运输部公告2012年第13号.内河运输船舶标准船型指标体系[S].北京:中华人民共和国交通运输部,2012.
- [2] 王在忠.内河船舶分段航速节能优化研究[D].大连:大连海事大学,2014.
- [3] 张吉军.模糊层次分析法(FAHP)[J].模糊系统与数学,2000,14(2):80-88.
- [4] 骆正清,杨善林.层次分析法中几种标度的比较[J].系统工程理论与实践,2004,24(9):51-60.

基金项目:“绿色智能内河船舶创新”专项(工信部装函[2019]358号)