

基于 GIS 的船闸故障风险区域划分研究

邹俊杰

(江苏省交通运输厅港航事业发展中心, 江苏 南京 210029)

摘要: 船闸是航道通航的重要节点, 一旦发生故障导致停航直接影响航道通航效率。为保证对船闸故障风险的应急管理, 本文以江苏为例, 在分析船闸故障影响因素的基础上, 通过层次分析法建立单个船闸的风险值分析模型。同时考虑到建设成本, 利用 GIS 的核密度分析法, 在全省范围内划分风险区域, 在风险较大的区域集中布置省级船闸应急保障基地。

关键词: 船闸; 故障风险; GIS; 核密度分析

中图分类号: U641

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 08—0108—04

江苏省内河水运发展条件优越, 规划省干线航道里程 4010 公里。通航环境复杂, 全省干线航道网涉及长江、淮河、太湖和沂沭泗水系, 共计建设有交通管理船闸 42 座。随着运输结构调整的推进, 江苏内河水运在综合交通运输体系中地位愈发重要。2021 年, 全省干线航道仍然维持较为繁忙的水平, 船闸过闸总量保持高位水平, 共过闸船舶 291.7 万艘次, 过闸货物 22.9 亿吨, 开启 74.8 万闸次。为进一步保障正常船闸运行, 提升水上应急保障能力^[1], 需对单个船闸可能出现故障的风险做定量分析, 并在空间上划定故障风险较为集中的区域, 以用有限的资金提供最高效的应急保障力量。

1 船闸故障类型及主要影响因素分析

1.1 船闸主要故障类型及特征

通过对江苏省现有船闸的实地调研, 目前船闸故障可大致分为水下故障、机械故障、电气故障三大类, 反

映在故障现象上大多为闸、阀门不能正常启闭、出现异响、通信与电力异常、控制系统失灵等情况。

(1) 水下故障呈现“数量占比多、专业要求高”的特征, 该类故障占比约 55%, 常见情况为闸、阀门构件脱落、砂石混凝土、树根形成的水下障碍物引起闸阀门启闭异常。故障的处理较为简单, 需要清除水下碍航物, 但需要专业的潜水员下水手动作业。

(2) 机械故障呈现“数量占比中等、处理难度大”的特征, 该类故障占比约 30%, 常见情况为闸、阀门及构件故障, 一般为闸门节杆弯曲、阀门阀件损坏以及油箱漏油等故障, 以及由于水位上涨、暴雨造成的机械进水失灵。故障的处理相对复杂, 处理时间长, 对船闸影响较大, 需要机械专业人员或者厂家技术人员进行处理。

(3) 电气故障呈现“数量占比少、处理难度适中”的特征, 该类故障占比约 15%, 常见情况为电气控制系统故障, PLC 构件或模块损坏, 开关或电缆等供电系统

高强度铝合金, 减轻重量。此方法将检测支架由“刚性”连接改为“柔性”连接, 既能提高检测传感器的感应距离, 又能保护检测开关避免检测传感器损坏。

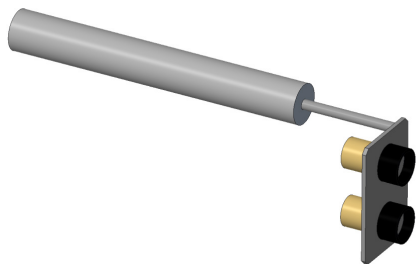


图 5 新检测支架设计图

5 结束语

三峡升船机密封框信号检测装置作为密封框运行状态的重要监护设备, 工作环境复杂, 受影响因素多。本文主要目的在于分析造成对接密封框位置检测信号丢失与位置检测开关损坏的原因, 并提出对应优化建议, 以期为运行维护人员提供一定的思路和启发。

参考文献:

[1] 段惠玲. 三峡升船机承船厢门驱动、防撞装置和间隙密封框装置驱动 (上下游侧) 4# 液压系统 [Z]. 太重榆液液压系统公司, 2014.

烧毁。故障的处理相对简单,大多仅需更换损坏的模块,但部分故障较为隐蔽的情况需厂家技术人员进行处理。

1.2 船闸发生故障的主要影响因素

通过对船闸常见的水下故障、机械故障、电气故障的分析,故障发生的影响因素主要有船闸的运行、周边的通航环境、自身设备状况等3大类。

(1) 船闸运行方面,具体表现为船闸开放闸次、船闸通过船舶大小、船闸未来年运行状态。船闸开放闸次越多,对应通过船舶数量越多,进而使得机械使用频次、磨损情况、掉落碍航物的可能越大,易发生水下故障、机械故障、电气故障。船闸通过船舶的吨位越大,使得船舶碰撞闸门等情况下发生水下故障或机械故障的概率越高,也使得修复难度、修复时间越长。此外未来年船闸位于江苏省干线航道主通道上,会使得开发闸次、通过船舶吨级越大,对应船闸发生故障的可能性越高。

(2) 船闸通航环境方面,具体表现为船闸设计水头差、船闸周边水系情况。船闸设计水头差越大,对应船闸、阀门在每次启闭中承受的外界力越大,对相关构件磨损越大,一旦发生故障的维修难度也越大,易引发水下故障、机械故障。船闸周边水系情况,主要是江苏沿江、沿海口门船闸受潮汐的影响,受力情况更为复杂,更易引发相关故障。

(3) 船闸设备状况方面,具体表现为船闸建设(大修)的年份,船闸建设(大修)年份越近的船闸,其供电设施、电气模块越为先进,其自身发生故障的概率越小。

2 单个船闸故障风险值计算模型

2.1 层次结构模型建立

通过层次分析法,将可能造成船闸故障风险的主要因素进行分组,每组视为1个层级,并将各层级视为目标层、第一准则层和第二准则层,进而构建了船闸故障风险影响因素层级结构模型。本文结合前文船闸发生故障的主要影响因素,从船闸运行风险、船闸通航环境风险、船闸设备状况风险3个层次构建了6个指标。

表1: 船闸故障风险大小影响因素层次结构模型

目标层	第一准则层	第二准则层
各船闸故障风险大小 U	船闸运行风险 u_1	船闸现状每年开放闸次数 u_{11}
		船闸现状每年通过船舶的平均吨位大小 u_{12}
		船闸未来年船舶运行情况 u_{13}
	船闸通航环境风险 u_2	船闸水头差 u_{21}
		船闸是否位于沿江沿海口门处 u_{22}
	船闸设备状况风险 u_3	建设(大修)年代 u_3

2.2 指标权重计算

测算指标权重的确定可通过统计方法、成对比较方法、熵值法、AHP方法和专家估测法等等。其中,专家估测法渗入专家主观意识较多;运用熵值法与AHP法工作量较大,但所得结果较为客观。结合观测点布设方案评价指标体系,采用AHP方法确定评价指标的权重。

在层次分析法中,判断矩阵的权数可通过求出正规化的特征向量而得,采用算术平均法。计算步骤如下:

(1) 将判断矩阵的每一列正规化

$$\overline{p_{ij}} = \frac{p_{ij}}{\sum_{i=1}^n p_{ij}} (i, j=1, 2, \dots, n)$$

(2) 按每一行进行加总

$$\overline{W_i} = \sum_{j=1}^n \overline{p_{ij}}, (i=1, 2, \dots, n)$$

(3) 在正规化加总后的 $\overline{W_i}$,得权值 W_i

$$W_i = \frac{\overline{W_i}}{\sum_{i=1}^n \overline{W_i}}, (i=1, 2, \dots, n)$$

为了检验一致性,在各判断矩阵获得相应因素的全值后,需计算 $\lambda_{\max}$, CI

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i}$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$$

式中: 为判断矩阵,为中各评价指标的两两比较值,表示向量的第*i*个分量。查找相对应的平均一致性指标进行一致性检验,通过一致性检验后,最终可获得各层次因素权重。

表2 船闸故障风险大小影响因素权重

目标层		第一准则层		第二准则层	
指标名称	特征向量权重	指标名称	特征向量权重	指标名称	特征向量权重
各船闸故障风险大小 U	1	船闸运行风险 u_1	0.4	船闸现状每年开放闸次数 u_{11}	0.3
				船闸现状每年通过船舶的平均吨位大小 u_{12}	0.2
				船闸未来年船舶运行情况 u_{13}	0.5
		船闸通航环境风险 u_2	0.4	船闸水头差 u_{21}	0.8
				船闸是否位于沿江沿海口门处 u_{22}	0.2
		船闸设备状况风险 u_3	0.2	建设年代 u_3	1

2.3 指标计算方法

在上述指标的计算中,充分考虑指标与风险之间的相关关系,并采用定量计算与定性分析的方式对各指标进行数值化计算,各类指标的数据均来自于官方统计数据或规划,具备一定的公正性。各项指标计算具体计算方法如下:

(1) 船闸现状每年开放闸次数 u_{11} 的分值: 某船闸 2020 年开放闸次数 / 全省船闸 2020 年开放闸次数量的最大值 $\times$ 该指标的权重。

(2) 船闸现状每年通过船舶的平均吨位大小 u_{12} 的分值: 通过基础分与增项分求和。其中基础分得分为该指标权重 $\times 0.6$; 增项分通过所有船闸平均吨位的差值计算而得,得分为 (某船闸 2020 年通过船舶的平均吨位 - 全省船闸通过船舶平均吨位的最小值) $\times$ [(该指标权重 $\times 0.4$) / (全省船闸通过船舶平均吨位的最大值 - 全省船闸通过船舶平均吨位的最小值)]。

(3) 船闸未来年船舶运行情况 u_{13} 的分值: 若为二级主通道得分为该指标权重 $\times 1$; 若为三级主通道得分为该指标权重 $\times 0.8$; 若为三级次通道得分为该指标权重 $\times 0.6$ 。

(4) 船闸水头差 u_{21} 的分值: 通过基础分与增项分求和。其中基础分 = 该指标权重 $\times 0.6$; 增项分通过所有船闸水头的差值计算而得,得分为 (某船闸的水头 - 全省所有船闸水头的最小值) $\times$ [(该指标权重 $\times 0.4$) / (全省所有船闸水头的最大值 - 全省所有船闸水头的最小值)]。

(5) 船闸是否位于沿江沿海口门处 u_{22} : 若为口门船闸得分为该指标权重 $\times 1$; 若不是口门船闸得分为该指标权重 $\times 0$ 。

(6) 建设年代 u_3 : 各线船闸建设年代对应分值,最高分为该指标权重。其中“2000 年 ~ 至今”得分为指标权重 $\times 0.25$ 、“1980 年 ~ 1999 年”得分为指标权重 $\times 0.5$ 、“1979 年之前”得分为指标权重 $\times 0.75$ 。

表 2 各指标计算方式及数据来源

因素	指标名称	计算方式	数据来源
船闸运行	现状年开放闸次数 u_{11}	定量	交通船闸统计数据
	现状年通过船舶的平均吨位大小 u_{12}	定量	交通船闸统计数据
	未来年船舶运行情况 u_{13}	定性	《江苏省干线航道网规划(2017~2035)》
船闸通航环境	船闸水头差 u_{21}	定量	交通船闸统计数据
船闸设备状况	船闸是否位于沿江沿海口门处 u_{22}	定性	船闸实际位置
	建设年代 u_3	定量	船闸竣工资料

2.4 计算结果

结合上述分析,以 100 分制对全省 42 座船闸发生故障风险大小进行计算,结果表明全省船闸因运行强度、地理位置等因素的不同,船闸之间的风险值相差较大,各风险值区间范围内船闸数量分布均匀。其中风险值在 40~50 之间的船闸有 10 个,在 51~60 之间的船闸有 10 个,在 61~70 之间的船闸有 8 个,在 71~80 之间的船闸有 8 个,在 80~85 之间的船闸有 6 个。

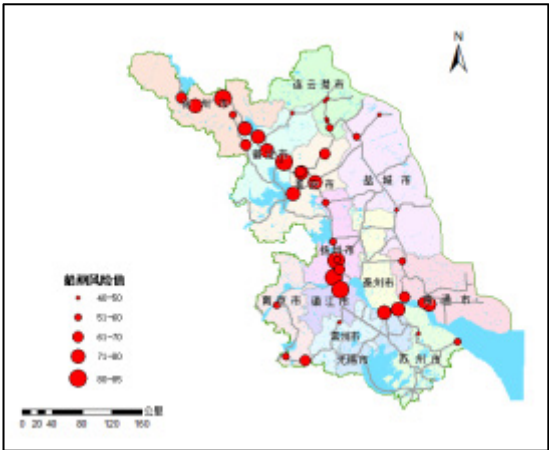


图 1 全省 42 座船闸风险值大小示意图

3 全省船闸故障风险区域划分

江苏水网密布,各市均有船闸分布,但近期全省应急资金有限,需在全省范围内选择船闸风险分布较为集中区域布置应急力量,以能快速有效地效应对可能发生的故障。在风险区域的划分上,充分考虑现有船闸空间位置的分布,同时结合各船闸计算出的风险值大小,利用 GIS 中的核密度估计^[5](kernel density estimation, KDE)在空间进行分析,划定风险区域。

3.1 分析方法

核密度估计是在概率论中用来估计未知的密度函数,属于非参数检验方法之一。KDE 以每个样本点 $i(x, y)$ 的位置为中心,通过核密度函数计算每个样本点在指定范围内(半径为 h 的圆)各个网格单元的密度贡献值,距中心处样本点距离越近密度越大,随着距离衰减,到范围边缘处密度为 0。

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n \text{pop}iK\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

本文研究用核密度估计法分析江苏省船闸风险聚集范围,根据各区域密度数值的不同划分船闸风险区域,其中为各船闸的风险计算值大小, h 为 50 公里。

3.2 划分结果

全省交通船闸风险空间分布主要呈现“集聚分布、层次分明”的特征，全省形成了4个相对集聚的区域，分别为扬州区域、南通区域、淮安-宿迁区域、连云港区域。

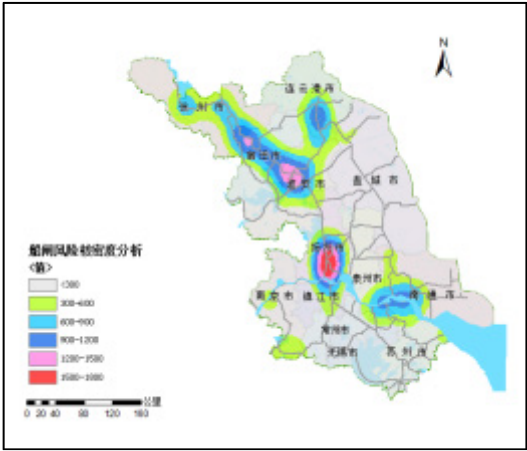


图2 全省船闸风险核密度空间分布图

3.3 船闸风险区域划分

结合交通船闸风险空间分布的特征，将扬州区域、南通区域、淮安-宿迁区域、连云港区域的4个区域划分为全省风险防范重点区域，建议由省级港航部门指导建设，承担自身及周边区域较大事件的处理。

4 研究结论

(1) 利用层次分析法构建船闸故障风险计算指标

体系，更加清楚地分析了船闸不同运行指标对故障风险的影响，从而全面、客观、长远地量化表示，能够为决策提供直观的依据。

(2) 利用GIS模型，构建全省航道、船闸模型，能够使用空间数据分析风险集中区域，进而划分重点防范区，能够有效地减少规划过程中的随意性和不准确性，具有客观性、合理性和科学性。

参考文献：

[1] 倪鹏. 风险管理技术在三峡船闸通航安全应急响应关键技术研究中的应用 [D]. 北京邮电大学, 2008.

[2] 刘尚. 基于空间句法和GIS网络分析法的城市消防站布局优化研究 [D]. 合肥工业大学, 2019.

[3] 刘建华, 汪映红, 邹开明, 颜舜, 杨贵荣. 基于多层次模糊评价法的船闸引航道基坑开挖风险评估 [J]. 水运工程, 2019(03):10-15. DOI:10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20190301.018.

[4] 阮超宇, 卢新. 船闸风险评估方法研究 [J]. 中国水运, 2021(06):43-44. DOI:10.13646/j.cnki.42-1395/u.2021.06.014.

[5] 张玉韩, 吴尚昆, 张寿庭, 王成福, 赵玉. 中国矿产资源基地划定指标体系构建与应用——以铁矿为例 [J]. 自然资源学报, 2021, 36(11):2825-2835.

