

中文引用格式:李嵘,刘清,王磊,等. 基于 SNA-BN 的三峡船闸预约调度模式社会风险评估[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(8): 148–155.

英文引用格式:LI Rong, LIU Qing, WANG Lei, et al. Social risk assessment of Three Gorges lock scheduling mode based on SNA-BN[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(8): 148–155.

基于 SNA-BN 的三峡船闸预约调度模式 社会风险评估*

李嵘^{1,2}讲师, 刘清^{1,3}教授, 王磊^{**1,3}副教授,
钟悦¹, 兰毓峰⁴高级经济师, 南航⁴高级经济师

(1 武汉理工大学 交通与物流工程学院, 湖北 武汉 430063; 2 浙江交通职业技术学院
科研处, 浙江 杭州 311100; 3 水路交通控制全国重点实验室, 湖北 武汉 430063;
4 长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443000)

中图分类号: X913.4 文献标志码: A DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.08.1600

基金项目: 云南省交通运输厅综合交通科技创新及示范项目(YNZC2024-G3-04393-YNZZ-0391); 国家自然科学基金
基金资助(51979214); 浙江省教育厅一般科研项目(Y202456429); 交通运输部长江航务管理局研究项目
(202302hx0043)。

【摘要】 为提升三峡船闸智能化水平及风险承载能力, 首先, 采用社会网络分析(SNA)方法识别并提取三峡船闸预约调度的利益相关方, 通过点度中心度、中介中心度和接近中心度这3种中心性指标表征利益相关方的网络特征, 并从合法性、合理性、可行性、可控性4个维度构建评价指标体系; 其次, 根据指标间的潜在耦合关系, 运用贝叶斯网络(BN)构建三峡船闸预约调度模式社会风险评估模型, 以量化各指标作用的方向与强度; 最后, 通过敏感性分析识别影响社会稳定性的关键因素。结果表明: 三峡船闸预约调度模式下的社会风险等级处于较低水平; 评价指标体系中的4个准则指标对综合社会风险的影响强度排序为: 合法性>可控性>可行性>合理性; 规则修订、审批及发布的合规性, 负面舆论易发性, 群体性事件易发性, 预约成功率, 安全管理策略覆盖度等指标是影响总体社会风险的关键因素。

【关键词】 社会网络分析(SNA); 贝叶斯网络(BN); 三峡船闸; 预约调度; 社会风险评估;
利益相关方

Social risk assessment of Three Gorges lock scheduling mode based on SNA-BN

LI Rong^{1,2}, LIU Qing^{1,3}, WANG Lei^{1,3}, ZHONG Yue¹, LAN Yufeng⁴, NAN Hang⁴

(1 School of Transportation and Logistics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei 430063, China; 2 Scientific Research Department, Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou Zhejiang 311100, China; 3 State Key Laboratory of Maritime Technology and Safety, Wuhan Hubei 430063, China; 4 Three Gorges Navigation Authority, Yichang Hubei 443000, China)

* 文章编号: 1003-3033(2025)08-0148-08; 收稿日期: 2025-04-16; 修稿日期: 2025-06-12

** 通信作者: 王磊(1986—), 男, 湖北洪湖人, 博士, 副教授, 主要从事交通运输风险管理、交通运输系统优化与决策方面的研究。E-mail: wl175345973@whut.edu.cn.

Abstract: To enhance the intelligent level and risk-bearing capacity of three gorges locks, first, SNA was used for stakeholder identification and extraction for Three Gorges lock reservation scheduling. Stakeholder network characteristics were characterized by three centrality indicators: degree centrality, betweenness centrality, and closeness centrality. An assessment index system was construct from four dimensions: legality, rationality, feasibility and controllability. Then, based on the potential coupling relationship between the indicators, a BN was used to construct a social risk assessment model for the Three Gorges lock reservation and scheduling mode to quantify the direction and intensity of the role of each indicator. Finally, key factors affecting social stability were identified through a sensitivity analysis. The results show that the social risk level under the scheduling mode of the Three Gorges lock is low. The order of influence of the four first-level indicators on the overall social risk is legality, controllability, feasibility, and rationality. The compliance with rule revision, approval, and issuance, the vulnerability of negative public opinion, the vulnerability of mass incidents, the success rate of appointment, and the coverage of security management strategy are the key factors affecting the overall social risk.

Keywords: social network analysis (SNA); Bayesian network (BN); Three Gorges ship lock; scheduled scheduling; social risk assessment; stakeholder

0 引言

三峡船闸作为长江航道上的关键控制节点,船舶过闸资源供需失衡问题突出,已成为制约长江中上游航道通航效率的瓶颈。预约制作为一种需求响应式交通调度模式,可有效缓解因船舶聚集引发的通航安全问题,并提升船舶过闸体验^[1]。因此,系统且科学地评估三峡船闸预约调度模式的社会风险水平,对于缓船舶过闸供需矛盾、提升长江航运智能化水平具有重要意义。

重大决策的社会风险评估包含决策成效评价(判断预期目标的完成度)和决策外溢效应评价(分析决策在目标之外造成的社会影响)^[2]。目前,社会风险评估在水运工程领域应用已较为成熟。董海波等^[3]基于频率-死亡人数曲线,开展长江典型船舶社会风险可接受衡准研究。梁昀等^[4]通过识别重要利益相关者行为,剖析三门峡水库决策和上海杨浦大桥收费决策中的社会风险。MILAD 等^[5]采用社会网络分析(Social Network Analysis, SNA)的方法,通过指标中心性评估配水网络能源收集问题中利益相关方的合作关系及社会网络冲突风险。江新等^[6]构建系统动力学模型,探究敏感性水利工程建设对局部社会稳定的冲击。蒋军等^[7]研究完全预约模式下三峡船闸的通航调度方法。赵建伟等^[8]采用集成解释结构-贝叶斯网络(Bayesian Network, BN)的方法解析内河船舶航行风险因素的关联性及层级结构。付珊珊等^[9]运用 BN 模型研究多因素耦合下长江口水域交通事故致因链。然而,现有研究仍存在

明显局限:①缺乏对各利益相关方社会风险叠加效应和耦合效应的客观量化方法;②难以表征不同评价维度下社会面风险因子的相互作用关系。

鉴于此,笔者拟基于三峡船闸调度的各利益相关方视角,构建预约调度模式的社会风险评价指标体系,通过引入 BN 模型,确定社会风险等级,辨识风险关键因素,量化复杂场景下社会面风险因子的作用方向与强度,以期预约调度模式引发的社会风险防控提供理论支撑,为通航管理部门引导航运企业科学合理过闸提供决策支持。

1 三峡船闸预约调度利益相关方分析

1.1 三峡船闸预约调度模式内涵

船舶积压的根本原因在于特定时段内船闸服务供给能力与船舶过闸需求的失衡,需通过动态调控优化船舶待闸时序,以缓解坝区拥堵。预约调度模式通过分类配置预约资源,调控不同船型在全天各时段的到达时限和过闸顺序,从而赋予船舶过闸时间可预期性,实现通航流量的“削峰填谷”。

三峡船闸预约调度模式涉及预约份额分配、船舶预约、水域联控、锚泊安检、定序过闸等关键流程。相较于现行排队制,预约制能有效平衡重点船舶和普通船舶的通航需求,提升通航资源配置效率,减少船舶因排队等待造成的时间损耗,在增强过闸时间可预期性的同时,保障调度规则调整的渐进性与平稳性。

1.2 利益相关方识别

从船舶通过三峡船闸的业务流程切入,借助

SNA 提取利益相关方^[10]信息。船舶作为船闸的服务对象及调度核心,其在三峡调度水域内的动态航行过程构成分析基础。其中,SNA 的位置取向体现为航道、港口、锚泊位、船闸的静态顺序,SNA 的关系取向则体现为船舶在过闸各阶段的自然航行与业务操作中与外部形成的交互关系。基于 SNA 视角,构建利益相关方网络,如图 1 所示。

在 SNA 中,当部分行动者间关系紧密并形成次级团体时,此类团体被定义为凝聚子群^[11]。凝聚子群分析聚焦于网络中该子群的数量及子群内部成员的关系特征。由图 1 可知:三峡船闸预约调度的利益相关方主要包括 3 个子群:管理职能部门、船公司和物流企业。利益相关方的子群关联关系和 SNA 网络结构中心性分析见表 1 和表 2。

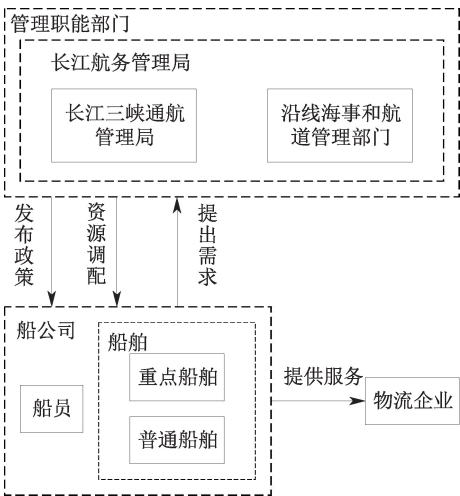


图 1 利益相关方网络
Fig. 1 Network of stakeholders

表 1 利益相关方子群关联关系

Table 1 Stakeholder subgroup association relationship

利益相关方	子群成员	关联关系
管理职能部门	通航管理部门	通航管理部门拥有对船公司发布政策信息和调配资源的权力,负责规范船闸预约调度,保障船舶过坝安全、畅通、高效、有序,以发挥三峡工程的航运效益
	沿线海事和航道管理部门	航道、海事及锚泊地系统管理部门作为优化模式实施的监督与执行单位,负责违约处理、船舶精准管控、关键水域边界管控、锚泊管理等
船公司	船舶	船舶作为承运主体,有向管理职能部门提出需求的权利,并向物流企业提供服务;贯穿船舶过闸业务全流程,调度模式的调整优化对不同船型的运输周期、过闸体验、待闸时间等关键生产因素存在直接影响
	船员	船员作为一线工作人员,负责船舶航行安全、货物管理、预约申报等;待闸时间的变动直接影响航运企业的周转成本和船员的工作周期与日常生活
物流企业	货主	物流企业作为购买航运服务的货主,强烈关注货物运输时效性,运输周期的变动直接影响其成本管理与生产经营决策

表 2 利益相关方网络结构中心性分析

Table 2 Centrality analysis of stakeholder network structure

利益相关方	点度中心度		中介中心度		接近中心度	
	中心度值	排序	中心度值	排序	中心度值	排序
长江三峡通航管理局	12	3	56.34	1	31.21	4
船公司	16	2	15.84	4	89.81	1
过闸船舶	22	1	5.21	6	85.54	2
物流企业	6	4	8.95	5	48.36	3
海事部门	3	5	35.29	2	5.23	5
航道部门	2	6	29.65	3	2.48	6

由表 2 可知:点度中心度均值为 10.17,过闸船舶、船公司和长江三峡通航管理局的点度中心度均高于均值,表明这 3 类主体处于网络核心位置,对系统的控制能力及与其他节点的交互性较强;中介中心度均值为 25.21,长江三峡通航管理局、海事部门和航道部门的中介中心度均高于均值,表明管理部

门对运输要素的政策影响力突出,在利益相关方间承担“桥梁”角色;接近中心度均值为 43.77,船公司、过闸船舶、物流企业的接近中心度超过均值,表明这 3 类主体与其他节点建立关联的概率较高,有助于提升物流运输的周转效率。

2 社会风险评估模型构建

2.1 社会风险评价指标体系构建

为确保三峡船闸预约调度模式社会风险评价指标体系的科学性与客观性,参照《国家发展改革委重大固定资产投资项目社会稳定风险评估暂行办

法》^[12],提炼出合法性、合理性、可行性和可控性 4 个准则评价指标。二级指标则基于预约模式的特征和利益相关方的关注重点,按准则指标维度进行细分与归类,构建三峡船闸预约调度模式社会风险评价指标体系,如图 2 所示。

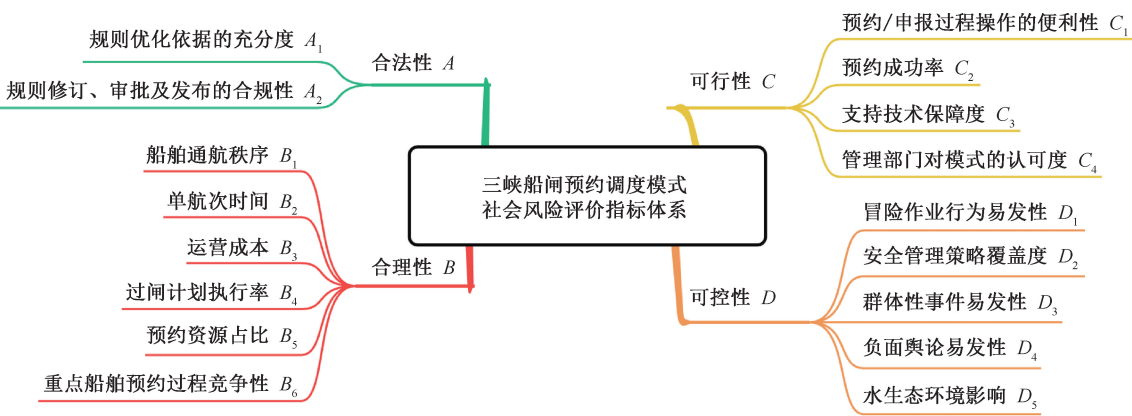


图 2 三峡船闸预约调度模式社会风险评价指标体系

Fig. 2 Social risk evaluation index system of Three Gorges lock scheduling rules

2.2 BN 拓扑结构

BN 是复杂情景下不确定性推理的有效工具^[13],通过节点间的因果或依赖关系构建网络拓扑结构,并借助参数学习推导节点的条件概率分布。

BN 结构表现为有向无环图 G ,可表示为 $G = (v, e)$, 其中, v 为随机变量的集合, e 为有向边的集合。在样本数据驱动的结构学习基础上,结合水运安全领域专家经验确定 BN 的节点属性与结构关系。该融合方法可有效降低多因素共同作用下的网络结构复杂度,提高模型的准确性与适配度。

三峡船闸预约调度模式社会风险的评价指标体系由 1 个目标变量、4 个准则指标和 17 个二级指标构成。其中,4 个准则指标节点直接作用于综合风险水平,且合法性与可控性间存在因果关系;二级指标可能隶属于不同维度,指标间也存在相互关系,如预约成功率可反映重点船舶预约过程的竞争性。据此构建三峡船闸预约调度模式社会风险的 BN 拓扑结构如图 3 所示。

节点随机变量的联合概率分布 $P(X)$ 为:

$$P(X) = \prod_{i=1}^n P(X_i | P_a(X_i)) \tag{1}$$

式中: $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 为 BN 中随机变量的集合; $P_a(X_i)$ 为节点 X_i 的父节点集合,表示给定父节点条件下节点 X_i 的概率。

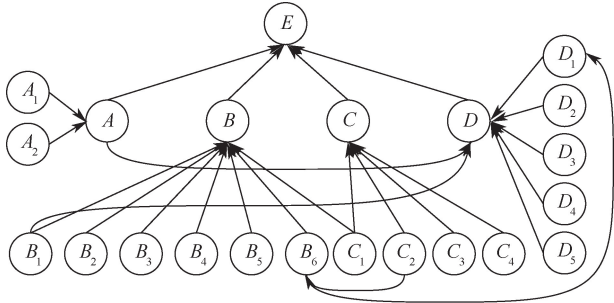


图 3 BN 拓扑结构

Fig. 3 BN topology

2.3 基于 EM 的参数学习

基于有向无环图 G 和数据集 D 计算节点的条件概率。由于受调查者态度存在主观性,导致数据分布未知且存在缺失值,不适用 BN 常规参数估计方法(最大后验估计)。因此,采用最大期望(Expectation Maximization, EM)算法进行参数学习,EM 算法作为一种迭代优化算法^[13],对存在隐变量或缺失数据的概率模型具有较好的拟合效果,通过条件概率期望计算和最大化函数这 2 个步骤的交替执行,迭代至收敛。具体步骤如下:

1) 采用极大似然估计拟合非缺失问卷数据 D , 得出模型参数值 θ 。

$$L(\theta) = \sum_{i=1}^D \ln p(X_i | \theta_i) = \sum_{i=1}^D \ln \sum p(X_i, z_i | \theta_i) \tag{2}$$

式中: $L(\theta)$ 为似然函数值; $p(X_i | \theta_i)$ 为参数 θ_i 条件下观测数据 X_i 的概率; z_i 为 X_i 在不同分布时的缺失值。

2) 基于参数值 θ 对缺失数据 z 进行参数估计。

$$Q_i(z_i) = p(z_i | X_i, \theta_i) \tag{3}$$

式中: Q_i 为隐变量 z_i 的分布; $p(z_i | X_i, \theta_i)$ 为在 X_i 和 θ_i 确定的条件下 z_i 的概率。

3) 汇总缺失数据 z 的估计值与非缺失问卷数据 D , 再次估计参数值 θ , 并不断迭代至收敛, 最终得到 θ 参数标定的结果。

$$\theta_i = \operatorname{argmax}_{\theta_i} \sum_i \sum_{z_i} Q_i(z_i) \ln \frac{p(X_i, z_i, \theta_i)}{Q_i(z_i)} \tag{4}$$

2.4 指标敏感性分析

BN 的敏感性分析可量化节点间的依赖程度, 表征各因素对目标节点的影响程度。

根据 BN 中目标节点的后验概率分布, 求导网络中的指标, 计算如下:

$$S_p = \frac{\partial P(Y = y | e)}{\partial \theta_p} \tag{5}$$

式中: S_p 为网络指标精度对选定目标后验概率的重要程度, 值越大, 表明 θ_p 对目标后验概率的影响越显著; $P(Y = y | e)$ 为在给定证据条件 e 时, 随机变量 Y 取值 y 的后验概率; θ_p 为待分析参数。

以 GeNIe2.0 软件为 BN 模型训练的开发环境, 利用内置的参数训练模块及敏感性分析模块, 求解各节点的概率值及敏感性指标。

3 基于三峡船闸的实例验证

3.1 问卷数据采集与处理

参照水利工程社会稳定风险评估的等级划分原则^[14], 三峡船闸预约调度模式的社会风险水平可划分为低风险(1级)、较低风险(2级)、一般风险(3级)、较高风险(4级)和高风险(5级), 具体见表3。与社会风险级别对应, 评价指标按5级状态划分, 直观反映利益相关方对预约调度模式的态度。

三峡船闸预约调度模式已试运行近半年, 期间通过面向航运企业、通航主管部门等利益相关方的问卷调查收集样本数据。问卷采用李克特五级量表设计, 其问题选项与 BN 结构中节点的 State1—State5 这5级状态相对应, 且与表3中的风险等级依次对应。经筛选剔除无效问卷后, 最终获得173份有效问卷, 其中8份存在部分选项缺失, 占总样本量的4.62%。经过处理后的部分样本数据见表4。

表3 社会风险等级

Table 3 Social risk level

等级	说明	风险程度
1	预约调度模式对调度管理与船舶通航具有显著促进作用, 获多数利益相关方支持	低风险
2	预约调度模式对调度管理与船舶通航具有一定促进作用, 但部分调度规则和管理模式有待优化	较低风险
3	预约调度模式对调度管理与船舶通航存在一定影响, 多数利益相关方支持, 但少数持异议, 可通过有效措施防范化解矛盾	一般风险
4	预约调度模式对调度管理与船舶通航存在不利影响, 部分利益相关方异议强烈, 可能引发矛盾	较高风险
5	预约调度模式对调度管理与船舶通航存在显著不利影响, 多数利益相关方异议特别强烈, 可能引发大规模群体性事件	高风险

表4 处理后的部分样本数据

Table 4 Processed sample data

样本	节点						
	A	A ₁	A ₂	...	B	...	E
1	State2	State2	State3	...	State1	...	State1
2	State1	State1	State2	...	State1	...	State1
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮		⋮
172	State3	State1	State5	...	—	...	State3
173	State1	State1	State2	...	State4	...	State4

3.2 风险等级评估

采用 GeNIe2.0 软件构建 BN 结构, 将处理后的样本数据输入模型, 通过内置参数训练模块选择 EM 算法进行参数学习, 得到经过参数训练的 BN 模型(图4)。节点不同状态的概率值可反映模式变化下三峡船闸的社会风险水平。由图4可知: 三峡船闸预约调度模式的综合社会风险处于2级(较低风险)概率最高, 达54.8%; 其2级指标(合法性、合理性、可行性及可控性)风险同样处于2级(较低风险)的概率最高。针对三峡船闸预约调度模式社会风险评估构建的 BN 属于中小型网络, GeNIe2.0 软件的推理结果具有稳定性。

3.3 BN 模型的后验概率推理

首先, 在 GeNIe 软件中输入目标节点状态($E = \text{State5}$, $P = 100\%$), 即三峡船闸预约调度模式社会风险处于5级(高风险)水平。其次, 更新网络条件概率, 可得到其余未被赋值节点的状态概率变化情况,

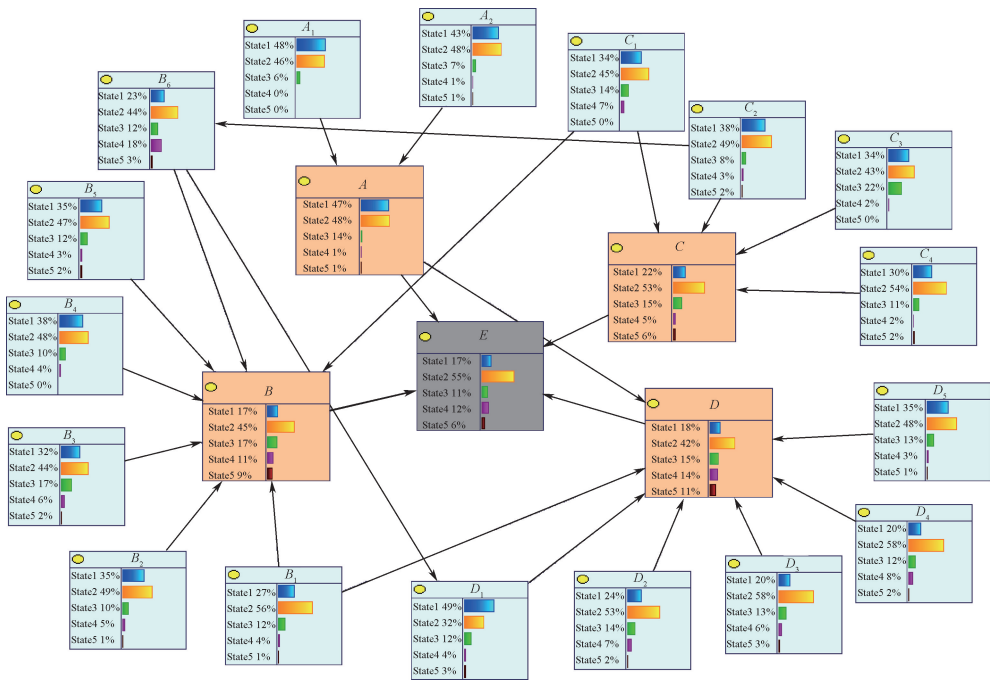


图 4 经过参数训练的 BN 模型

Fig.4 BN model with parameter training

其中准则节点的状态概率的变化趋势见表 5。由表 5 可知:准则节点的合法性和可控性风险等级由 2 级升至 4 级(较高风险),合理性和可行性风险等级由 2 级变化为 3 级(一般风险);合法性 4—5 级风险概率的变化幅度最大(超过 2 000%),表明其对综合社会风险有较强影响;4 个准则节点对综合社会风险的影响强弱排序为:合法性>可控性>可行性>合理性。

表 5 准则节点概率变化趋势(高风险状态)

Table 5 Change trend of criterion node probability (high risk state)

节点	风险等级	条件概率	后验推理概率	变化趋势/%
A	1	46.6	10.2	-78
	2	47.8	18.9	-60
	3	3.6	24.9	592
	4	1.1	25.7	2 236
	5	0.9	20.3	2 156
B	1	17.5	12.6	-28
	2	44.5	28.4	-36
	3	17.2	34.3	99
	4	11.3	13.5	19
	5	9.5	11.2	18
C	1	21.8	13.3	-39
	2	53.2	25.3	-52
	3	14.7	37.3	154
	4	5.4	14.3	165
	5	4.9	9.8	100

续表 5

节点	风险等级	条件概率	后验推理概率	变化趋势/%
D	1	18.2	8.2	-55
	2	42	19.4	-54
	3	15.2	24.6	62
	4	13.7	26.3	92
	5	10.9	21.5	97

3.4 指标敏感性分析

借助 GeNIe2.0 软件的敏感性分析模块,计算三峡船闸预约调度模式社会风险指标的敏感性值,值越大,表明对应节点对综合风险的影响贡献度越高。以综合风险 E 为目标节点开展敏感性分析,各节点敏感性指标值排序如图 5 所示,指标数值均经标准化处理。

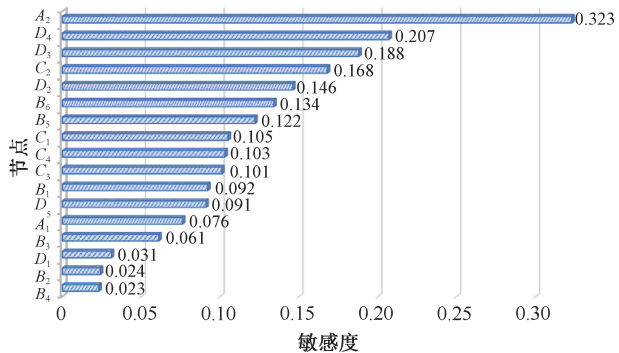


图 5 节点敏感性指标值排序

Fig.5 Ranking of node sensitivity index value

由图 5 可知:敏感性排名前 5 的指标为: A_2 规则修订、审批及发布的合规性, D_4 负面舆论易发性, D_3 群体性事件易发性, C_2 预约成功率, D_2 安全管理策略覆盖度。由于现行通航及安全管理办法与优化后的预约模式存在适配滞后性,易引发船舶久约不中、预约资源垄断等问题,进而激化社会矛盾,诱发舆情危机、群体性事件等风险。因此,模式在修订、审批及发布环节应严格遵循相关法律法规及行政管理条例,广泛征求社会各界意见,通过公众媒体和行业内部渠道及时开展宣讲与公示,并在落地实施前完善条例漏洞,建立健全管理保障机制。

同时,三峡船闸管理责任主体应重点关注坝区安全可控性、船舶预约成功率等关键问题,通过校核船舶综合优先级,提升通航管理、海事航道等单位的协同效能,推动优化后的预约模式适配社会经济发展进程中绝大多数利益相关方的需求,从而防范负面舆论扩散和群体性事件发生。对于敏感性指标排序相对靠后的因素,也需针对性采取风险缓释措施。

4 结 论

- 1) 三峡船闸预约调度的利益相关方主要包括管理职能部门、船公司和物流企业这 3 个子群。
- 2) 三峡预约调度模式的社会风险处于较低水平(2 级),4 个准则指标对总体社会风险影响的强弱排序为:合法性>可控性>可行性>合理性。
- 3) 根据敏感性分析结果可知:规则修订和审批及发布的合规性、负面舆论易发性、群体性事件易发性、预约成功率、安全管理策略覆盖度等因素是影响总体社会风险的关键因素。
- 4) 因不同船闸在通航条件、调度规则和区位等方面存在显著异质性,模型尚无法为单级、梯级船闸等多类型船闸的各类调度模式建立统一的社会风险评估体系。未来研究将围绕内河船闸通过能力约束、船舶待闸阈值、事故风险传导机制等普遍特征,扩大样本至不同流域、等级船闸,构建适配不同航运管理需求的风险评估框架;同时,考虑引入多智能体仿真与准则融合的动态耦合算法,开展跨场景适用性验证,以提高模型的通用性与科学性。

参 考 文 献

[1] 高攀,刘顺,赵旭,等. 绿色通航视域下过坝船舶预约调度双目标优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2022, 22(5):293-299,336.
GAO Pan, LIU Shun, ZHAO Xu, et al. Bi-objective optimization of ship dam-passing appointment scheduling considering green navigation[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2022, 22(5):293-299, 336.

[2] 陈琛,施国庆. 公共政策社会影响评估的价值观变革与方法论创新[J]. 江苏社会科学,2024(2):103-111,243.
CHEN Chen, SHI Guoqing. Value transformation and methodological innovation in social impact assessment of public policies [J]. Jiangsu Social Sciences, 2024(2):103-111,243.

[3] 董海波,王西召,顾学康,等. 长江典型船舶社会风险可接受衡准研究[J]. 中国安全科学学报,2024,34(4):33-41.
DONG Haibo, WANG Xizhao, GU Xuekang, et al. Study on societal risk acceptance criteria of typical ships in Yangtze river[J]. China Safety Science Journal,2024,34(4):33-41.

[4] 梁昀,薛耀文. 基于利益相关者视角的重大决策社会风险评估研究[J]. 经济问题,2012(9):62-65.
LIANG Yun, XUE Yaowen. An assessment of social risk in major policy decisions: a study based on the perspective of stakeholder[J]. On Economic Problems,2012(9):62-65.

[5] MILAD L, REZA K, RAMIZ B Z. Evaluating energy harvesting from water distribution networks using combined stakeholder and social network analysis[J]. Energy Strategy Reviews,2023,49: DOI: 10.1016/j.esr.2023.101158.

[6] 江新,李雪莲,吴静涵,等. 敏感性水利工程社会稳定风险演化 SD 模型[J]. 中国安全科学学报,2021,31(4):

18-26.

JIANG Xin, LI Xuelian, WU Jinghan, et al. SD model of social stability risk evolution for sensitive water conservancy projects[J]. China Safety Science Journal,2021,31(4): 18-26.

[7] 蒋军,林丽,马志明,等. 完全预约模式下船闸通航调度方法分析[J]. 船海工程,2024,53(3):131-136.

JIANG Jun, LIN Li, MA Zhiming, et al. Analysis of navigation scheduling method of shiplock under full reservation mode[J]. Ship & Ocean Engineering,2024,53(3):131-136.

[8] 赵建伟,谢磊,杨洋,等. 基于 ISM-BN 的内河船舶航行风险因素研究[J]. 中国安全科学学报,2022,32(8):37-44.

ZHAO Jianwei, XIE Lei, YANG Yang, et al. An ISM-BN based research on navigation risk factors of inland waterway vessels[J]. China Safety Science Journal,2022,32(8):37-44.

[9] 付珊珊,张悦,席永涛,等. 多因素耦合下长江口水域交通事故致因链分析[J]. 中国安全科学学报,2023,33(3):60-67.

FU Shanshan, ZHANG Yue, XI Yongtao, et al. Causal chain of maritime accidents in Yangtze river estuary considering coupling effects of multi-risk factors[J]. China Safety Science Journal,2023,33(3):60-67.

[10] SENA O, JUAN A, VANIA S, et al. Stakeholder diversity and collaborative innovation: integrating the resource-based view with stakeholder theory[J]. Journal of Business Research,2023,164:DOI: 10. 1016/j. jbusres. 2023. 113955.

[11] POONAM R, DEVENDRA T, BHATIA M P S. Sociocentric SNA on fuzzy graph social network model[J]. Soft Computing,2023,27(18): 13 201-13 216.

[12] 国家发展和改革委员会. 重大固定资产投资项目社会稳定风险评估暂行办法[Z]. 2012-08-12.

[13] KOUAM G. Bayesian networks in project management: a scoping review [J]. Expert Systems with Applications, 2023,214: DOI: 10. 1016/j. eswa. 2022. 119214.

[14] 王波,黄德春,华坚,等. 水利工程建设社会稳定风险评估与实证研究[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(4):149-154.

WANG Bo, HUANG Dechun, HUA Jian, et al. Research on the social stability risk assessment and empirical analysis of hydraulic engineering construction[J]. China Population, Resources and Environment,2015,25(4):149-154.

作者简介： 李 嵘 （1995—）,男,浙江东阳人,博士研究生,讲师,主要研究方向为交通运输系统优化、安全管理等。E-mail:335147@ whut. edu. cn。

