

# LEC 法在三峡通航安全风险评估中的应用研究

覃盼<sup>1</sup>, 梁锴<sup>1</sup>, 翁大涛<sup>2</sup>

(1. 长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443002; 2. 交通运输部科学研究院, 北京 100029)

**摘要:** 为进一步提升三峡通航安全风险管理和治理能力, 结合三峡通航实际和特点, 开展三峡通航安全全面风险辨识, 选用条件危险性评价法 (LEC) 进行安全风险评估, 形成安全风险分级分类管控清单, 确定“载运危险货物船舶泄漏中毒、火灾爆炸风险”、“客渡船火灾、倾覆风险”、“通航建筑物断航风险”、“船舶漂流撞坝风险”4项风险为三峡通航重大安全风险。

**关键词:** 三峡通航; 安全风险; 风险辨识; 风险评估; LEC 法

**中图分类号:** X951      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1006—7973 (2021) 12—0019—03

三峡通航水域有三峡和葛洲坝两大世界级枢纽、一座升船机、两坝船闸、三个港区、四处桥区、六个交通管制区和八处大型锚地。三峡通航具有“四高”、“三难”、“两特殊”的特点, 事关国家战略安全、物流通道畅通和沿江百姓民生, 在长江经济带发展中具有举足轻重的地位。三峡河段通航环境较差, 待闸船舶数量居高不下、作业频繁, 船舶过坝流程复杂, 交通组织较难; “四客一危”重点船舶、“三大一调”重点环境、“三期七节”重点时段每年呈现不同的特点, 存在各种潜在风险。系统开展风险辨识和评估, 将为三峡通航安全管理工作提供理论和技术支撑, 对进一步提升三峡通航安全管理水平和治理能力具有重要意义。

风险辨识是风险管理的基础, 它是对潜在风险以及客观存在的风险进行系统归类和全面识别, 对各种风险进行全面了解是预测危险可能造成危害的前提条件<sup>[1]</sup>。风险评估有很多方法, 如人工神经网络<sup>[2]</sup>、条件危险性评价法 (LEC 法)<sup>[3]</sup>、贝叶斯网络<sup>[4]</sup>、蒙特卡罗仿真<sup>[5]</sup>、层次分析法<sup>[6]</sup>等, 而 LEC 法是建立在实际经验的基础上, 合理打分, 根据最后的分值或概率风险与严重程度乘积进行分级, 该方法简单易行、可操作性强且还能依据分值有一个明确的级别, 因而受到广泛应用。因此, 笔者将根据安全风险辨识和评估理论基础, 结合三峡通航辖区实践, 对三峡通航安全风险进行辨识, 并基于 LEC 法开展三峡通航安全风险评估工作, 得出三峡通航重大安全风险。

## 1 三峡通航安全风险辨识

在安全风险辨识过程中, 结合三峡通航职能业务, 将船舶进入辖区到离开的整个活动过程分为不同的流程, 根据不同的业务流程, 逐个进行分析, 从而形成不同类别风险, 主要分为以下四类: ①船舶航行类, ②船舶锚泊类, ③船舶进出闸 (机) 类, ④其他。

(1) 船舶航行类。如船舶淌航、船舶失控、船舶

航行碰撞、危险品船舶航行、船舶漂流撞坝、石碑弯道渡船航行、汛期两坝间船舶上行困难、异常气象条件下船舶航行和枯水期三江动态吃水控制等。

(2) 船舶锚泊类。如山体滑坡、异常气象下船舶锚地待闸、沙湾锚地船舶抵坡丁靠、船舶进出锚地、危险品锚地船舶待闸、船舶走锚和船舶靠离泊作业等。

(3) 船舶进出闸 (机) 类。如客船过闸 (机) 时发生火灾倾覆、在闸 (机) 内缆绳崩断、异常气象下船舶进出闸 (机)、管理人员操作失误、船舶操作失误或违章操作、超尺寸船舶过闸、进出闸 (机) 航速过快、危险品船舶过闸、三峡船闸相邻闸室高水位输水、船舶因素导致通航建筑物断航、升船机船厢水位短时变幅过大等。

(4) 其他类。如水域污染、异物进入闸 (机) 内、通航建筑物自身原因导致断航风险、设备故障等。

## 2 LEC 风险评估方法

条件危险性评价法 (LEC) 是对具有潜在危险性作业环境中的风险源进行半定量的安全评价方法。该方法中, 风险等级主要由风险事件发生的可能性 (L)、暴露于危险环境的频繁程度 (E)、后果严重程度 (C) 决定<sup>[7]</sup>。

条件危险性评价法 (LEC):  $D=L \times E \times C$  (1)

式中: D 为风险值及风险等级; L 为风险事件发生的可能性; E 为暴露于危险环境的频繁程度; C 为风险事件可能导致的后果。

### 2.1 可能性指标分级

(1) 可能性指标确定方法。针对近年来突发事件发生情况频次数据, 并根据最新辨识到的主要致险因素, 结合实践经验, 进行风险事件发生可能性评价, 并通过可能性判断标准, 进行风险事件发生可能性评分。

(2) 可能性分级标准。可能性统一划分为五个级别 (见表 1)。

表1 总体路径节点通过能力

可能性 (L)	分值
极高	5 < L ≤ 10
高	3 < L ≤ 5
中等	2 < L ≤ 3
较低	1 < L ≤ 2
低	0.5 < L ≤ 1
极低	0 < L ≤ 0.5

## 2.2 频繁程度分级

(1) 频繁程度指标确定方法。针对近年来突发事件发生频次数据,并根据最新辨识到的主要致险因素,结合工作记录,进行船舶、人员或作业等暴露于危险环境的频繁程度评价,并通过频繁程度判断标准,进行频繁程度评分。

(2) 频繁程度分级标准。频繁程度划分为五个级别(见表2)。

表2 频繁程度分级标准

频繁程度 (E)	分值
连续出现	5 < E ≤ 10
每天出现	3 < E ≤ 5
每周出现	2 < E ≤ 3
每月出现	1 < E ≤ 2
每年出现	0.5 < E ≤ 1
非常罕见	0 < E ≤ 0.5

## 2.3 后果严重程度分级标准

(1) 后果严重程度指标确定方法。针对不同风险,分析风险事件发生后,可能造成的最大人员伤亡、经济损失、环境污染、社会影响,综合参考历史上类似事件后果损失,根据后果严重程度判断标准,进行后果严重程度指标评分。

(2) 后果严重程度分级标准。后果严重程度划分为四个级别:特别严重、严重、较严重、不严重。后果严重程度分级标准(见表3)。

## 2.4 频繁程度分级

根据一旦发生风险事件,可能引起的人员伤亡、环境破坏、负面社会影响程度、经济损失,将风险等级分为四级(见表4),分别是重大、较大、一般、较小。

表3 后果严重程度分级标准

可能导致的后果 (C)	分值
特别严重	8 < C ≤ 16
严重	4 < C ≤ 8
较严重	2 < C ≤ 4
不严重	1 < C ≤ 2

表4 风险等级分值及对应的风险等级表

风险等级	风险等级分值
重大风险	55 < 分值
较大风险	20 < 分值 ≤ 55
一般风险	5 < 分值 ≤ 20
较小风险	分值 ≤ 5

## 3 三峡通航安全风险评估

根据上述风险评估方法,组织对辨识的风险进行评分,确定风险的等级。

### 3.1 船舶航行风险

船舶航行风险主要包括危险品船舶航行、石碑弯道渡船航行、船舶漂流撞坝、船舶淌航、船舶失控、不遵

守通航秩序、船舶航行碰撞、船舶上行困难、异常气象条件下船舶航行、三江动态吃水控制等10类风险,具体风险评估(见表5):

表5 船舶航行风险评估表

序号	风险名称	致险因素	可能导致的典型事故险情	风险等级				
				等级	D	L	E	C
1	危险品船舶航行	突发大风大雾、流量或水位突变	爆炸、溢油、碰撞、触损、触礁、搁浅、沉船等	重大	76.5	1	8.5	9
2	石碑弯道渡船航行	船舶频繁交叉会遇	船舶碰撞、触礁、倾覆	重大	64	1	8	8
3	船舶漂流撞坝	船舶在两坝坝前水域由于大风、大流量、机器故障、操作不当等原因导致船舶失控而漂流撞坝	沉船、大坝受损等	重大	63	1	7	9
4	船舶淌航	船舶间未保持安全距离	碰撞、触损、触礁、搁浅、沉船等	一般	18	2	3	3
5	船舶失控	动力设备故障	碰撞、触损、触礁、搁浅、沉船等	一般	18	3	3	2
6	不遵守通航秩序	违章追越、错走航路	碰撞、触损、触礁、搁浅、沉船等	一般	9	1	3	3
7	船舶航行碰撞	操纵受限	船舶碰撞	较大	25	1	5	5
8	船舶上行困难	流量陡涨、计划调整不及时	碰撞、溢油、触损、触礁、搁浅、沉船等	较大	18	1	6	3
9	异常气象条件下船舶航行	突发大风大雾	碰撞、溢油、触损、触礁、搁浅、沉船等	一般	12	2	3	2
10	三江动态吃水控制	流量陡降、计划调整不及时	碰撞、溢油、触损、触礁、搁浅、沉船等	一般	9	1	3	3

### 3.2 船舶锚泊风险

船舶锚泊风险主要包括危险品锚地船舶待闸、山体滑坡、异常气象下船舶锚地待闸、沙湾锚地船舶抵坡丁靠、船舶进出锚地、船舶走锚和船舶靠离泊作业等7类风险,具体风险评估(见表6):

表6 船舶锚泊风险评估表

序号	风险名称	致险因素	可能导致的典型事故险情	风险等级				
				等级	D	L	E	C
1	危险品锚地船舶待闸	明火管控不到位,危险品货物化学性质不稳定、管理不当、操作不合规	火灾或爆炸事故造成人员伤亡或水域环境污染等交通事故	重大	100	2	5	10
2	山体滑坡	库水位变动、持续大雨天气	自然灾害引起人员伤亡、直接经济损失或者水域环境污染等交通事故	一般	16	2	1	8
3	异常气象下船舶锚地待闸	大风天气、汛期大流量、锚地地质松软、船舶抛锚方式不当、锚链未得力	发生碰撞事故、触礁事故、自沉事故、人员伤亡、直接经济损失或者水域环境污染等交通事故	较大	20	1.5	4	5
4	沙湾锚地船舶抵坡丁靠	沙湾锚地水位陡降、船舶驾驶员未及时调整船位和系缆、水下废弃地牛没有清除	发生搁浅事故、触礁事故、触损事故、浪损事故、自沉事故	一般	12	1	2	6
5	船舶进出锚地	船舶与周围船舶联系不紧密	发生碰撞事故	较小	1.5	0.5	1	3
6	船舶走锚	水位变化	船舶走锚	一般	10	1	5	2
7	船舶靠离泊作业	船舶驾驶员操作不当、指泊人员指令不清、标志船发生故障	发生碰撞事故、触礁事故	较小	5	1	1	5

### 3.3 船舶进出闸(机)风险

船舶进出闸(机)风险主要包括危险品船舶过闸、通航建筑物断航、客船过闸(机)时发生火灾倾覆、在闸(机)内缆绳崩断、异常气象下船舶进出闸(机)、管理人员操作失误、船舶操作失误或违章操作、超尺寸船舶过闸、进出闸(机)航速过快、三峡船闸相邻闸室高水位输水、升船机船厢水位短时变幅过大等12类风险,具体风险评估(见表7):

表7 船舶进出闸(机)风险评估表

序号	风险名称	致险因素	可能导致的典型事故险情	风险等级				
				等级	D	L	E	C
1	危险品船舶过闸	危险物品化学性质不稳定、管理不当、操作不合规、违规动火作业、自然灾害	泄露中毒、火灾爆炸	重大	75	5	1.5	10
2	通航建筑物断航	船舶违规申报、机器故障、操作不当等原因在闸室或引航道沉没、卡阻导致船闸故障	通航建筑物长时间断航	重大	81	2	4.5	9
3	客船过闸(机)时发生火灾、倾覆	船闸低水位时发生火灾,人员疏散不及时	群死群伤	重大	60	1	6	10
4	在闸(机)内缆绳崩断	缆绳崩断	船舶或船闸受损、人员伤亡	较大	48	8	1	6
5	异常气象下船舶进出闸(机)	大风大雾	碰撞事故	一般	12	3	2	2
6	管理人员操作失误	人员安全意识与应急技能欠缺	碰撞事故	一般	13.5	1	1.5	9
7	船舶操作失误或违章操作	人员安全意识与应急技能因素	碰撞事故	较大	24	2	2	6
8	超尺寸船舶过闸	管理不规范	碰撞事故	一般	6	1	1	6
9	进出闸(机)航速过快	船员未按规定控制航速	碰撞事故	一般	9	2	3	1.5
10	三峡船闸相邻闸室高水位输水	人员安全与应急技能因素	漫水事故、直接经济损失	一般	12	1	1.5	8
11	升船机船厢水位短时变幅过大	流量变幅过大、水情预报不准	船厢超重或失重、船舶搁浅、设备受损	一般	18	2	3	3

### 3.4 其他风险

其他风险主要为通航建筑物断航风险、水域污染、异物进入闸(机)内、设备故障等4类风险,具体风险评估(见表8):

表8 其他风险评估表

序号	风险名称	致险因素	可能导致的典型事故险情	风险等级				
				等级	D	L	E	C
1	通航建筑物断航	设备设施运行维护不到位导致船闸故障,短时无法修复	长时间断航	重大	81	4	3	9
2	水域污染	船舶污染物违规处理	水域污染	一般	6	3	1	2
3	异物进入闸(机)内	船舶锚链、靠把、轮胎、钢缆等附件掉入门库区域,或漂浮物流入闸内	设备受损、停航	较大	48	8	1	6
4	设备故障	设施设备安全可靠因素	船舶受损、停航	一般	18	2	3	3

## 4 三峡通航重大安全风险

根据三峡通航安全风险评估结果,综合考虑风险事件可能引起的人员伤亡、环境破坏、负面社会影响程度、经济损失等,结合三峡通航实际及咨询行业专家意见,最终确定“载运危险货物船舶泄露中毒、火灾爆炸风险”、“客渡船火灾、倾覆风险”、“通航建筑物断航风险”、“船舶漂流撞坝风险”4项风险为三峡通航重大安全风险。

(1) 载运危险货物船舶泄露中毒、火灾爆炸风险。易燃易爆危险品船舶在锚地待闸期间由于毗邻陆域明火管控不到位、危险品货物化学性质不稳定、管理不当、操作不合规等原因会导致火灾、爆炸或泄露,造成重大环境污染及人员伤亡;易燃易爆危险品船舶在过闸期间由于危险品货物化学性质不稳定、管理不当、操作不合规、违规动火作业、自然灾害等原因导致火灾爆炸,造成人员伤亡;汛期危化品船舶通过两坝间由于三峡下泄流量陡增应急操作不当等原因导致船舶倾覆、碰撞、搁浅,造成重大环境污染、人员伤亡。

(2) 过闸客船及客渡船火灾、倾覆风险。客船通

过葛洲坝船闸、三峡船闸在低水位时发生火灾,人员疏散不及时导致群死群伤;石牌水域渡船由于恶劣天气、操作不当等发生倾覆导致群死群伤。

(3) 通航建筑物断航风险。船舶违规申报、机器故障、操作不当等原因在闸室或引航道沉没、卡阻导致船闸故障,造成船闸长时间停航;通航建筑物设备设施运行维护不到位导致船闸故障,造成船闸长时间停航。

(4) 船舶漂流撞坝风险。船舶在两坝坝前水域由于大风、大流量、机器故障、操作不当等原因导致船舶失控而漂流撞坝造成坝体损坏。

## 5 结论

(1) 结合三峡通航业务流程,将三峡通航安全风险分为四类:船舶航行类;船舶锚泊类;船舶进出闸(机)类;其他。每一类风险包含许多具体表现形式,通过全面风险辨识,识别风险32项。

(2) 对于每项风险,分析了风险致险因素和可能导致事故险情,并选用LEC法对辨识的32项三峡通航安全风险进行评估,确定各类风险等级。

(3) 根据风险评估结果,在合并同类风险的基础上,最终确定“载运危险货物船舶泄露中毒、火灾爆炸风险”、“客渡船火灾、倾覆风险”、“通航建筑物断航风险”、“船舶漂流撞坝风险”4项风险为三峡通航重大安全风险。针对重大风险,必须采取一整套措施降低风险,如加大安全管理力量、资金投入、巡航和检查力度等。

## 参考文献:

- [1] 覃晓萍. 地铁盾构法施工安全风险识别与评估[D]. 广西大学, 2019.
- [2] 周荣义, 钟岸, 任竞舟, 等. 基于主成分分析和神经网络的事前预测方法及应用[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(7):55-60.
- [3] LEC法在重要输电通道风险评估中的应用研究
- [4] 周俊华, 陈先桥, 张笛, 等. 基于贝叶斯网络的内河航道拥堵预警系统设计[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2013(03):53-56.
- [5] 胡基平, 黄常海, 张浩. 基于云模型的海上交通系统风险蒙特卡罗仿真[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(4):20.
- [6] 张笛, 严新平, 张金奋, 等. 基于模糊层次分析法的枯水期长江通航风险评价研究[J]. 交通信息与安全, 2013(03):82-86.
- [7] 肖潇, 邵哲平, 黄炳南, 等. LEC法在通航安全影响论证与评估中的运用[J]. 集美大学学报(自然版), 2014, 19(2):118-121.

基金项目: 交通运输行业重点科技项目清单项目(2020-MS3-097)。