

船舶机舱火灾事故人因致因分析研究

李成海¹, 赵卫健¹, 刘杰¹, 胡甚平²

(1. 山东交通职业学院, 山东 潍坊 261206; 2. 上海海事大学商船学院, 上海 200120)

摘要:从船舶安全出发, 必须预防和减少火灾事故的发生。采用事故树分析法, 选取船舶机舱易失火区位为研究对象, 在充分考虑因船舶设备、装备等硬件效能下降及船员人因致因失误所引发的船舶火灾事故危险的前提下, 构建船舶火灾事故树, 对导致船舶火灾事故顶事件的事态树最小割集求解, 运用最小割集收集的信息, 对船舶机舱火灾事故的 15 个基本元素中的人因致因影响因素进行定量和定性分析, 并总结出致因因素影响结果。根据分析结果提出船舶机舱火灾事故预防和减少人因致因因素的建议, 船舶设备设计应符合人类工程学理论, 以降低船舶机舱火灾事故的发生。

关键词:船舶火灾事故; 人因致因因素; 事故树; 安全管理

中图分类号: U675.95 **文献标识码:** A

0 引言

船舶安全从系统工程学角度, 是由“人、机和环境”组成的复杂系统中各致因因素相互作用造成的, 即由人和物的不安全或环境氛围引发的。

根据日本海上保安厅统计, 90% 的海上交通事故是由人因致因因素引发的, 人因致因失误是系统性多因素导致的^[1]。因此, 应及时客观辨识船员操作人因致因失误风险并采取相应的措施, 以预防或减少船舶海事事故的发生。

人因致因因素指人员选择、人员培训等人因因素领域中的应用、人员操作评估和辅助手段等与人类特性相关事实的主体。因为船舶海事事故人因致因因素复杂且众多, 业界专家通常把人因致因因素分为五个方面以便于研究^[2], 即船舶技术层面的研究 (含: 船舶设计、维护、保养、人类工程学、船舶改造和安装等), 人员状态层面的研究 (含: 任职条件、人员数量和组成、工作语言、文化背景和医疗条件等), 船员培训层面的研究 (含: 基本安全知识、技能、安全培训、熟悉程序等), 船舶管理层面的研究 (含: 人员

职责、工作方法、安全意识、计划、措施、指导书和安全检查等), 船舶工作条件及环境层面的研究 (含有: 工作时间、休息时间、人员伤害、防护措施、人机界面等)。这五个方面不仅有内在联系, 也有其各自的特点, 所以研究船舶机舱火灾事故人因致因因素的方法应符合实际和其特点^[3]。

1 运用事故树分析法定性分析

事故树分析法是最常用的可靠分析方法, 特别对于复杂而综合的系统进行分析更具可靠性。该方法在多个领域广泛应用, 但大多研究没有重视人因致因因素, 因而存在局限性和片面性^[4]。

本研究在充分考虑了硬件效能降低和人因致因失误的前提下, 以海船船舶容易失火区位为例, 通过构建火灾事故树研究人因致因因素对顶事件造成的影响^[5], 以建立有效技术规则、船舶检测法规和行之有效的管理体系来预防或减少船舶火灾事故的发生。

1.1 选择事故顶事件

事故顶事件指希望永不发生的事件。选择事

收稿日期: 2022—09—29

第一作者简介: 李成海 (1965—), 男, 副教授, 高级船长

基金项目: 国家重点研发计划项目: “在航船舶安全风险辨识与防控平台” (2019YFB1600602)

故顶事件应充分考虑高度可能且有致命杀伤力的事件。从海上船舶安全角度出发,“船舶失火事故”为可能发生但又最不希望发生的事故^[6],本研究选取“船舶失火事故”作为构建事故树顶事件。

1.2 确认故障树范围

在设定了界限的条件下,明确故障树范围。确认可忽视的发生概率小的事故和在一定条件下一定发生的事故,从而确认初始系统的状态^[7]。基本事故分为:

- 1) 人因致因因素导致发生的事故;
- 2) 硬件效能降低导致发生的事故;
- 3) 环境因素导致的事故。

本研究充分考虑人因致因因素和硬件效能降低导致的基本事故,假定分析系统构成处于两种状态,即常态及应急^[8];假定构成部分各事故是独立的,并忽视环境因素及不可抗力因素导致的事故。

运用常用的手工建树法,从顶事件依序寻找各层级事故引发因素,直到分解到底事件得到火灾事故树^[9],如图1。 A_1 为常态, A_2 为预警系统失败, A_3 为船员吸烟, A_4 为船上电气焊作业, A_5 为其他人为引发的火源, A_6 为船舶产生的油污, A_7 为船舶油路渗漏, A_8 为排风排烟设备故障, A_9 为船舶电气设备短路, A_{10} 为船舶电气设备产生电火花, A_{11} 为设备绝缘失效, A_{12} 为设备热表面, A_{13} 为高功率大灯, A_{14} 为电流引发的线路过热, A_{15} 为其他方面的热表面^[10]。

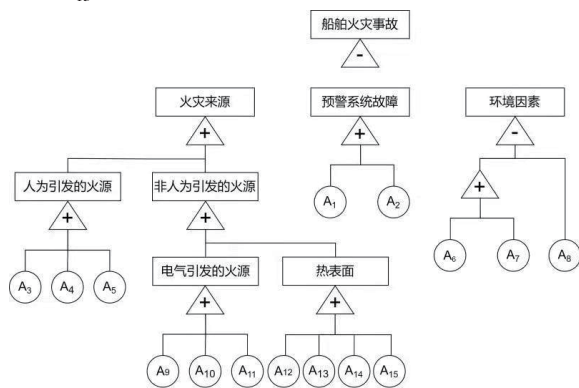


图1 船舶火灾事故树

Fig. 1 ship fire accident tree

1.3 求取火灾事故最小割集

采用定性分析的方法求取事故树最小割集。因为整个最小割集可以反映系统的整体事故模式,所以整个最小割集称为系统事故谱^[11]。通过分析系统事故谱找到薄弱环节,从而提高系统的

安全性。采用富塞尔理论得到“船舶机舱火灾事故树”最小割集^[12]:

$\langle A_1, A_3, A_6, A_8 \rangle; \langle A_1, A_4, A_6, A_8 \rangle; \langle A_1, A_5, A_6, A_8 \rangle; \langle A_1, A_3, A_7, A_8 \rangle; \langle A_1, A_4, A_7, A_8 \rangle; \langle A_1, A_5, A_7, A_8 \rangle; \langle A_2, A_3, A_6, A_8 \rangle; \langle A_2, A_4, A_6, A_8 \rangle; \langle A_2, A_5, A_6, A_8 \rangle; \langle A_2, A_3, A_7, A_8 \rangle; \langle A_2, A_4, A_7, A_8 \rangle; \langle A_2, A_5, A_7, A_8 \rangle; \langle A_1, A_6, A_8, A_9 \rangle; \langle A_1, A_6, A_8, A_{10} \rangle; \langle A_1, A_6, A_8, A_{11} \rangle; \langle A_1, A_6, A_8, A_{12} \rangle; \langle A_1, A_6, A_8, A_{13} \rangle; \langle A_1, A_6, A_8, A_{14} \rangle; \langle A_1, A_6, A_8, A_{15} \rangle; \langle A_1, A_7, A_8, A_9 \rangle; \langle A_1, A_7, A_8, A_{10} \rangle; \langle A_1, A_7, A_8, A_{11} \rangle; \langle A_1, A_7, A_8, A_{12} \rangle; \langle A_1, A_7, A_8, A_{13} \rangle; \langle A_1, A_7, A_8, A_{14} \rangle; \langle A_1, A_7, A_8, A_{15} \rangle; \langle A_2, A_6, A_8, A_9 \rangle; \langle A_2, A_6, A_8, A_{10} \rangle; \langle A_2, A_6, A_8, A_{11} \rangle; \langle A_2, A_6, A_8, A_{12} \rangle; \langle A_2, A_6, A_8, A_{13} \rangle; \langle A_2, A_6, A_8, A_{14} \rangle; \langle A_2, A_6, A_8, A_{15} \rangle; \langle A_2, A_7, A_8, A_9 \rangle; \langle A_2, A_7, A_8, A_{10} \rangle; \langle A_2, A_7, A_8, A_{11} \rangle; \langle A_2, A_7, A_8, A_{12} \rangle; \langle A_2, A_7, A_8, A_{13} \rangle; \langle A_2, A_7, A_8, A_{14} \rangle; \langle A_2, A_7, A_8, A_{15} \rangle$

最小割集总数40组,如有任一最小割集发生,则顶事故一定发生,这有利于掌握船舶发生事故规律。为预防和减少船舶事故发生,应运用最小割集收集更多可靠且全面的信息,并依据信息采取行之有效的措施。

2 人因致因船舶机舱火灾事故分析

依据上述理论,将船舶机舱火灾顶事件的15个基本元素中的人因致因影响因素总结在表1中^[13]。 B_1 为船舶技术层面, B_2 为船员状态层面, B_3 为船员培训层面, B_4 为船舶管理层面, B_5 为船舶工作条件及环境;0代表无关,1代表有关。

表1 船舶基本事故和人因致因的关系

Table 1 relationship between basic ship accidents and human causes

基本事故	人因致因失误	B_5	B_4	B_3	B_2	B_1
A_1	未处理的易燃物	0	1	0	0	1
A_2	警报系统故障	1	1	1	0	1
A_3	船员吸烟	1	1	1	0	0
A_4	电气焊作业	1	1	1	0	0
A_5	撞击产生火花	1	1	1	0	0
A_6	船舶产生的油污	0	1	1	0	1
A_7	船舶油路渗漏	0	1	0	0	1
A_8	排风排烟设备故障	0	1	0	0	1
A_9	电器设备短路	0	1	0	1	1
A_{10}	电气设备产生电火花	0	1	1	0	1
A_{11}	设备绝缘失效	0	1	1	1	1
A_{12}	设备热表面	0	0	0	0	1
A_{13}	高效率大灯	0	0	0	0	1
A_{14}	线路过热	0	1	1	1	1
A_{15}	其他热表面	0	0	0	0	1

从表1可知,船舶火灾顶事故的15个基本事故可进一步分解为39个由人因致因因素组成的基本事故。其中,船舶技术层面有12项,占比约31%;船员状况层面3项,占比约7.6%;船员培训层面8项,占比约21%;船舶管理层面12项,占比约31%;船舶工作条件及环境4项,占比约10%。

3 预防和减少人因致因因素的建议

船舶火灾事故涉及的人因致因因素有:船舶技术层面的船舶设计、维护、保养及安装等;人员状态层面的任职条件、人员数量和组成、工作语言及医疗条件等^[14];船员培训层面的基本安全

知识和安全技能理论;船舶管理层面的职责、方法、计划、方案、措施、检查和意识;船舶工作条件及环境层面人类工程原理。其中人类工程设计是促进船舶安全的主要前提。

人类工程理论分为微观和宏观工程学,这门学科涉及人员心理因素和生理因素。微观工程学侧重于“人—机”界面;宏观工程学则侧重于系统和主要子系统的规划和布局。一个好的规划符合人类工程的工作、生活环境,有利于操作,可减少工作强度或失误^[15]。

该方法适用于人因因素的设备设计和规划,设备检测标准和程序、设备操作说明书的制定,船舶设备设施设计规划及检测标准、程序。设备操作涉及人因致因因素研究中,重点强调船舶设备、设施工作条件及环境中人和自然的融合。

以船舶设计消防阀安装位置为例,从有利于灭火操作的角度出发,消防阀应安装在易于接近和操作的位置,另外还应考虑到:

(1) 消防阀位置应置于操作人所站立适宜高度的平面上,且阀手柄的排列与操作人站立平面平行或垂直;

(2) 消防阀四周有适当的空间便于操作且能释放操作力量;

(3) 操作阀是直手柄或手轮,手轮直径大小取决于一只手或两只手操作;

(4) 装备了阀位指示器的消防阀指示器应有合适的排列和位置。

从人类工程角度,考虑了消防阀可操作性的上述因素,在设计消防阀控制位置时,应:

(1) 直径 $\geq 152\text{mm}$ 操作手轮可设计为双手操作式,直径 $< 152\text{mm}$ 手轮可设计为单手操作式。

(2) 应急阀设置在甲板格栅以上;不得已设计位于甲板格栅以下的阀,手柄应平行或垂直于人员站立平面且手操平面 $\geq 304\text{mm}$;当控制阀直径 $> 508\text{mm}$,手柄或手轮与操作人站立平面 $< 1951\text{mm}$ 高度;靠近人行通道的球阀应设计为定向,便于推或拉操作且关闭时手柄不影响通道人员通行。

(3) 便于操作人出入,阀手柄或手轮四周应有 $> 76\text{mm}$ 间隔;操作人与前面阀手柄有 $\geq 608\text{mm}$ 的间隔;阀位应不必站在如管子、扶手等物体上即可操作。

(4) 操作手轮应顺时针方向关闭,逆时针

方向开;机械式阀开度指示应使操作人从工作位置方便观看。

通过人机界面研究对船舶设备检验程序修改:船舶设备检验标准特别符合人类工程学要求,船舶设备使用说明书内容应包括在检验标准中,船舶设备设计标准应满足训练内容的要求,以保证船员能熟悉自己的职责。

4 结束语

为了预防或减少船舶火灾事故的发生,本研究选取“船舶失火事故”作为船舶事故树顶事件,在充分考虑了船舶设备、装备等硬件效能下降及船员人因致因因素失误的基础上,以船舶机舱作为易失火部位为研究对象,通过事故树研究对人因致因的船舶技术层面、船员状态层面、船员培训层面、船员管理层面和船舶工作条件及环境进行分析,得出船舶事故人因致因各层面占比的结论。最后提出了基于人类工程理论的船舶设备设计建议,通过“人—机”界面研究,以期达到预防和减少人因致因因素导致船舶海事事故的发生。

参考文献:

- [1] 胡存,王恒,董庆丰.基于视频识别技术的机舱火警快速预警定位系统设计与实现[J]. 科学技术创新,2021,(28):82-84.
- [2] Han Huimin et al. Research on Ship Fire Monitoring and Alarm System[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021,(1).
- [3] Wang Likun et al. Critical risk factors in ship fire accidents[J]. Maritime Policy & Management, 2021, 48(6): 895-913.
- [4] 林颖毅,江凌,葛晓峰.浅谈如何做好船舶火灾灭火[J]. 现代职业安全,2021,(04):76-77.
- [5] Yu Zhou and Ruiqing Zhang. Knowledge Map Analysis of Ship Fire Research[J]. International Core Journal of Engineering, 2021,7(1).
- [6] 夏德斌,李亚东,丁彬,辛鹏,杨洋.基于支持向量机的多传感器船舶火灾探测技术[J]. 造船技术,2020,(06):28-30.
- [7] Tong Zhang. Investigation and Research Report on Ship Fire[J]. World Scientific Research Journal, 2020, 6(9).
- [8] 孙婷婷,李军,苏楠.基于LSTM网络的船舶

- 机舱火灾多特征融合探测[J]. 消防科学与技术, 2020,39(07):985-988.
- [9] Byeol Kim and Kwang-Il Hwang. Text mining techniques to identify causes and hazards of ship fire accidents[J]. Journal of Advanced Marine Engineering and Technology, 2020, 44(2) : 189-195.
- [10] 付姗姗, 宋倩, 庄慧, 章长江. 基于 Tripod-Beta 模型的船舶火灾事故风险分析[J]. 安全与环境学报, 2020,20(01):9-19.
- [11] 方明树. 船舶火灾的成因及防控策略[J]. 消防界 (电子版),2020,6(02):34.
- [12] 方鸿强, 贾佳, 陆守香. 船舶火灾风险评估研究现状及发展趋势[J]. 船海工程, 2018, 47(06):72-76.
- [13] 沈惠忠. 浅析船舶火灾特点及处置对策[J]. 水上消防, 2018,(06):36-40.
- [14] 夏晓东. 浅析部分船舶火灾事故原因及施救对策[J]. 水上消防, 2018,(05):16-20.
- [15] 薛周. 船舶火灾事故的预防和控制[J]. 中国远洋海运, 2018,(04):60-61.

Analysis and Study on Human Causes of Fire Accidents in Ship Engine Room

LI Cheng—hai¹, ZHAO Wei—jian¹, LIU Jie¹, HU Shen—ping²

(1.Shandong Transport Vocational College, Weifang 261206, China; 2.Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: For the sake of ship safety, it is necessary to prevent and reduce the occurrence of fire accidents. In this study, the fault tree analysis method is used to select the fire-prone area of the ship engine room as the research object. through the construction of the ship fire accident tree on the decline of the efficiency of the ship equipment, equipment and other hardware and the risk of the ship fire accident caused by the human error of the crew, by solving the minimum cut set of the fault tree leading to the top event of the ship fire, the information collected by the minimum cut set is used. This paper makes a quantitative and qualitative analysis of the influencing factors of human causes among the 15 basic elements of ship engine room fire accidents, and summarizes the results of the influencing factors. Finally, the paper puts forward some suggestions on the prevention of fire accidents in ship engine room and the reduction of human factors, from the design of ship equipment in accordance with the theory of ergonomics, in order to reduce the occurrence of fire accidents in ship engine room.

Keywords: ship fire accident; human factor; fault tree; safety management