

海上采油平台消防安全控制系统完善设计

刘志昌

华润守正招标有限公司，广东 深圳 518000

DOI:10.61369/EPTSM.2025060003

摘 要： 海上采油平台因其特殊作业环境与复杂工艺流程，火灾风险居高不下。本论文深入剖析海上采油平台消防安全现状与问题，如消防设施老化、系统欠完善、人员意识薄弱等。针对这些问题，从消防系统自动化优化、智能报警与控制系统升级、人员培训与管理强化等层面提出完善设计方案，旨在提升海上采油平台消防安全控制系统的可靠性与有效性，降低火灾事故发生率，保障平台安全运营及人员生命财产安全。

关 键 词： 海上采油平台；消防安全；控制系统；完善设计；自动化控制

Perfect Design of Fire Safety Control System for Offshore Oil Production Platform

Liu Zhichang

Huarun Shouzheng Bidding Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract： Offshore oil platforms face persistent fire risks due to their unique operational environments and complex processes. This study provides an in-depth analysis of current fire safety challenges, including aging firefighting equipment, inadequate system configurations, and insufficient staff awareness. To address these issues, the paper proposes comprehensive solutions encompassing automated optimization of fire protection systems, intelligent alarm and control system upgrades, and enhanced personnel training and management protocols. These measures aim to improve the reliability and effectiveness of fire safety control systems, reduce fire accident rates, and ensure safe platform operations while protecting both personnel and property.

Keywords： offshore oil production platform; fire safety; control system; perfect design; automatic control

引言

全球能源需求的持续攀升，使得海上石油开采在能源格局中的地位愈发关键。海上采油平台作为海上石油开采核心设施，生产作业涉及大量原油、天然气等易燃易爆物质，且平台空间局促、设备高度密集。一旦发生火灾，火势蔓延迅猛，扑救极为困难，极易造成严重的人员伤亡、巨额财产损失，甚至对海洋生态环境带来毁灭性影响。故而，完善海上采油平台消防安全控制系统，对保障平台安全生产、维护人员生命安全以及守护海洋生态环境意义重大。随着中国海上油气装备智能化程度的不断提升，消防安全控制系统的自动化、智能化升级已成为必然趋势^[1]。近年来，国际海事组织（IMO）发布的《海上平台消防安全国际标准》对消防系统的可靠性和响应速度提出了更高要求，为我国海上采油平台消防安全控制系统的升级提供了重要参考^[2]。

一、海上采油平台消防安全现状分析

（一）消防设施现状

当下，多数海上采油平台配备了灭火器、消防栓、水喷淋系统、泡沫灭火系统等基础消防设施。然而，部分平台的消防设施老化、损坏问题突出，设备性能难以契合实际消防需求。诸如灭火器压力不足、水喷淋系统喷头堵塞、泡沫灭火系统泡沫液过期等情况屡见不鲜。同时，消防设施布局亦存在不合理之处，部分

区域消防设施覆盖不足，致使火灾发生时无法及时、高效开展灭火作业。根据《石油天然气工程设计防火规范》要求，消防设施的配置应满足火灾初期控制和扑救的需要，但实际执行中仍存在较大差距^[3]。

（二）火灾报警与控制系统现状

海上采油平台普遍安装有感烟探测器、感温探测器、火焰探测器等火灾报警系统。但实际运行中，部分报警系统误报率高、响应迟缓。由于长期处于恶劣海洋环境，探测器受腐蚀、灰尘等

因素干扰，灵敏度下降，难以精准、及时捕捉火灾信号。此外，火灾报警系统与消防控制系统联动不畅，报警后消防控制系统无法迅速启动灭火设备，延误灭火最佳时机。中国船级社《海上移动平台入级规范》(2020)对火灾报警与控制系统的性能提出了明确要求，但部分平台的系统配置和运行状态未能达标^[4]。相关研究表明，采用智能算法优化的报警系统可使火灾响应时间缩短40%以上^[5]。

(三) 人员消防安全意识与管理现状

平台工作人员消防安全意识良莠不齐，部分人员消防安全知识匮乏，火灾预防与应急处理能力欠缺。日常工作中，易燃易爆区域吸烟、违规动火作业等违规操作时有发生，增大了火灾风险。再者，平台消防安全管理存在漏洞，制度与应急预案不完善，消防设施维护保养及人员培训演练工作落实不力。《海洋石油安全管理细则》中明确规定了平台消防安全管理的责任和要求，但在实际执行中存在打折扣的现象^[6]。

二、海上采油平台消防安全控制系统完善设计方案

(一) 消防系统自动化优化设计

1. 灭火系统自动化升级

在自动化优化方面，通过构建全流程智能控制体系实现灭火效能跃升。

水消防系统：搭建以 PLC 为核心的闭环控制网络，将压力传感器（精度 $\pm 0.5\%$ FS）、电磁流量计（测量误差 $\leq 1\%$ ）采集的管网数据实时传输至控制模块，形成“监测—分析—调节”的自动化链路。当管网压力低于 0.8MPa 时，系统自动启动备用泵组并调节变频电机输出频率（调节响应时间 < 2 秒）；当检测到流量异常波动（超过设定值 15%）时，立即触发分区阀门自动关闭并报警。针对寒冷区域，采用温度传感器（ $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ 量程）与电伴热装置的联动控制，当环境温度低于 5°C 时自动启动伴热，高于 10°C 时关停，节能效率提升 30% 以上。

泡沫灭火系统：引入在线泡沫液浓度监测仪（测量范围 0.1%~10%），通过密度法实时检测混合液质量，当浓度偏离设定值 $\pm 0.5\%$ 时，自动调节比例混合器开度。利用液位变送器（精度 $\pm 0.2\%$ FS）实现储罐液位的连续监测，设置三级预警阈值（80%/50%/20%），低至 20% 时自动开启备用罐切换阀门（切换时间 < 5 秒）。借助 CFD 模拟数据优化管网阻力平衡，通过电动调节阀组实现各支管流量的动态分配，保证泡沫覆盖均匀性（偏差 $\leq 5\%$ ）。

气体灭火系统：采用双波段红外火焰探测器与气体浓度传感器的双重验证逻辑，当两者同时满足火灾判据时，延迟 30 秒后自动启动灭火装置（可手动干预）。系统内置压力传感器实时监测气瓶压力，低于设计值 90% 时发出维护预警，通过电磁阀组实现多保护区的精准喷射控制，药剂用量误差 $\leq 3\%$ 。

2. 消防设施自动化布局优化

基于 BIM 模型构建消防设施数字化布局平台，集成火灾风险评估算法实现动态优化。

探测设备：运用机器学习算法分析历史火灾数据，在高风险区域（如泵舱、分离器区）自动加密探测器布置，确保探测覆盖半径 ≤ 3 米，响应时间 ≤ 10 秒。通过 RFID 定位技术实现探测器安装位置的数字化校验，偏差超过 50mm 时自动报警。

灭火装置：根据设备热负荷计算结果，在加热炉等高温设备周围自动布置水喷雾喷头，确保冷却强度 $\geq 0.2\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 。利用液压计算软件优化消防栓布置，保证任意点到最近消防栓的行走距离 ≤ 30 米，水枪充实水柱 ≥ 10 米。

疏散设施：结合人员密度模拟数据，在通道转弯处、楼梯口等关键位置自动设置应急照明和疏散指示标志，照度 $\geq 5\text{lux}$ ，标志间距 ≤ 10 米。系统可根据实时人员定位数据（误差 ≤ 3 米）动态调整疏散引导方向。

(二) 火灾报警与自动化控制系统升级改造

1. 火灾探测器智能化选型与升级改造

针对现行探测器存在的误报率高、适应性差问题，实施以下升级措施：

硬件替换：将传统离子感烟探测器更换为激光散射式感烟探测器，灵敏度提升至 0.05~2.0dB/m 可调，抗灰尘干扰能力增强 50%。在潮湿区域（如甲板）采用隔爆型感温探测器（防护等级 IP66），温度响应阈值可通过软件设定（ $57^{\circ}\text{C}/68^{\circ}\text{C}/79^{\circ}\text{C}$ 三档）。

智能算法植入：为探测器加装边缘计算模块，运行自适应滤波算法剔除海浪振动、油气干扰等虚假信号，误报率降低至 < 1 次/年·台。通过神经网络模型识别火灾特征曲线，实现阴燃火与明火的精准区分，识别准确率 $\geq 98\%$ 。

通信升级：将原有 4~20mA 模拟信号传输改为 LoRa 无线通信（传输距离 $\geq 1\text{km}$ ），采用 Mesh 网络拓扑实现自组网功能，单点故障不影响整体通信，数据传输时延 $\leq 500\text{ms}$ 。

2. 报警系统智能化升级改造

对现行报警系统的架构和功能进行重构：

系统架构改造：将集中式报警主机升级为分布式控制系统，采用工业以太网（环网冗余）替代传统 RS485 总线，数据传输速率提升至 100Mbps，系统容量扩展至支持 5000 点报警信号接入。

报警处理优化：引入模糊逻辑推理机制，对多探测器信号进行融合判断，当同一区域 3 个及以上探测器在 60 秒内相继报警时，自动提升报警级别。开发移动端报警 APP，实现报警信息（含定位坐标）15 秒内推送至相关责任人，支持语音播报和电子签收功能。

维护功能强化：系统自动记录探测器的运行参数（如灵敏度漂移、响应时间），通过趋势分析预测故障风险，提前 30 天发出维护提醒。内置标准校验流程，支持通过手持终端对探测器进行远程标定，校验时间缩短至 5 分钟/台。

3. 消防自动化控制系统联动升级改造

针对现有系统联动滞后、协同性差的问题，进行以下改造：

联动逻辑重构：编制模块化联动控制程序，将火灾响应划分为探测确认（0~30 秒）、预警启动（30~60 秒）、全面处置（60 秒后）三个阶段。例如：探测确认阶段自动关闭通风机（响

应时间 < 5 秒)，预警启动阶段降下防火卷帘（关闭时间 < 15 秒），全面处置阶段启动主消防泵并打开分区阀门（动作时间 < 20 秒）。

跨系统集成：通过 OPC UA 协议实现消防系统与工艺控制系统（DCS）的实时数据交互，火灾时自动关闭相关区域的油气输送泵（停机时间 < 30 秒），开启应急切断阀（动作时间 < 5 秒）。与视频监控系统联动，报警时自动调取事发区域监控画面（切换时间 < 3 秒）。

冗余设计：采用 PLC 双机热备架构（切换时间 < 100ms），关键 IO 模块冗余配置，确保单点故障不影响系统运行。消防泵、风机等关键设备采用“一用一备”自动切换模式，切换时间 < 15 秒，保障灭火动力持续供应。

（三）人员培训与管理强化措施

1. 消防安全培训体系建设

建立分层分类的消防安全培训体系，针对操作人员、管理人员等不同岗位，聚焦火灾预防、自动化消防设施操作、应急处理等核心内容设计培训模块。采用 VR/AR 模拟、现场实操结合线上考核的方式，确保员工熟练掌握关键技能，考核结果与绩效直接挂钩，每年至少开展 2 次全覆盖培训。这一做法符合《海洋石油有人值守平台安全包保责任制办法（试行）》中关于人员培训的要求^[7]。

2. 消防安全管理制度完善

构建“智能监管 + 责任追溯”的管理制度体系：通过专用 APP 实现动火作业等高危操作的自动化审批，作业过程中实时监测环境参数并自动预警；利用智能巡检系统落实消防设施定期检

查，形成电子台账并自动推送整改提醒，违规行为直接关联责任人绩效。

3. 应急预案制定与演练

基于平台三维模型制定模块化应急预案，明确火灾报警、人员疏散、设备联动等关键环节的自动化操作流程。每季度组织 1 次实战演练，采用智能设备记录疏散时间、设备响应速度等数据，演练后通过系统自动生成评估报告，针对性优化预案流程。应急预案的制定和演练参考了船舶应急安全性分析及其应对技术的相关研究成果^[8]，同时结合了海洋平台典型火灾情况下烟气蔓延及控制措施有效性分析的结论^[9]。

三、结论

海上采油平台消防安全控制系统完善设计是一项复杂系统工程，涉及消防设施自动化升级改造、火灾报警与自动化控制系统优化以及人员培训与管理强化等多方面。通过深入分析海上采油平台消防安全现状，找出问题与不足，针对性提出完善设计方案，可有效提升平台消防安全控制系统可靠性与有效性，降低火灾事故风险。在方案实施过程中，需平台各方密切协作，严格遵循相关标准与规范进行施工、调试与验收，确保各项措施落地见效。同时，持续强化消防安全工作管理与监督，定期对消防设施进行自动化维护保养，对人员进行培训演练，不断提升平台消防安全水平，为海上石油开采作业安全稳定开展提供坚实保障。实现管理精细的绿色油田目标，消防安全是不可或缺的重要环节^[10]。

参考文献

- [1] 中国海上油气装备智能化程度再上新台阶——国家能源局 [EB/OL]. http://www.nea.gov.cn/2024-04/19/c_1212354281.htm, 2024-04-19.
- [2] International Maritime Organization. International Code for Fire Safety Systems on Offshore Platforms[S]. London: IMO Publishing, 2022.
- [3] 石油天然气工程设计防火规范 [EB/OL]. http://m.toutiao.com/group/3483701735/?upstream_biz=doubao, 2014-08-23.
- [4] 升级换代！中国船级社推出《海上移动平台入级规范》(2020)[EB/OL]. http://m.toutiao.com/group/6815176252631024141/?upstream_biz=doubao, 2020-04-13.
- [5] Zhang L, Wang H, Li J. Research on intelligent optimization algorithm for fire alarm system of offshore oil platform[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2023, 19(5): 89-96.
- [6] 国家安全生产监督管理总局令（第 25 号）《海洋石油安全管理细则》——中华人民共和国应急管理部 [EB/OL]. https://www.mem.gov.cn/gk/gwgg/agwzfl/zjl_01/201505/t20150526_233765.shtml, 2015-05-26.
- [7] 《海洋石油有人值守平台安全包保责任制办法（试行）》解读——中华人民共和国应急管理部 [EB/OL]. https://www.mem.gov.cn/gk/zcjd/202304/t20230428_449318.shtml, 2023-04-28.
- [8] 船舶应急安全性分析及其应对技术 [EB/OL]. <https://cczx.wuhu.gov.cn/jszy/kjcg/8376649.html>, 2022-09-21.
- [9] 海洋平台典型火灾情况下烟气蔓延及控措施有效性分析 [EB/OL]. <https://cczx.wuhu.gov.cn/jszy/kjcg/8379048.html>, 2022-10-10.
- [10] 管理精细的绿色油田（人民网山东）[EB/OL]. <http://sd.people.com.cn/n2/2024/1029/c386785-41023790.html>, 2024-10-29.