

化学品船舶安全监控系统

章 艺, 曾 力, 柳学杨

武汉船用机械有限责任公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年11月8日; 录用日期: 2023年12月8日; 发布日期: 2023年12月18日

摘 要

化学品船的运输品类涉及到多种易燃、易爆、有毒等危险物质, 一旦发生泄漏等事故, 对船员和环境的危害极其严重, 因此对船舶的安全性及其各状态的监测提出了更高要求。本文据此提出并开发了一套安全监控系统, 旨在对化学品船在货物装卸以及航道运输过程中的状态进行实时监控分析与报警, 以降低安全事故发生的概率。此安全监控系统基于成熟的工业互联网平台开发了船端应用和岸基应用, 通过智能化手段, 实现了对化学品船在货物运输和装卸过程中的人员状态、货物状态、设备状态、作业环境以及船岸安全协同的实时监控。该系统具备船端管理人员报警信息数据统计及分析功能, 可实现船端管理人员的综合评价; 另外, 系统集成了CCTV视频系统, 用于对船舶作业人员的行为识别分析。本文提出的系统能够提高化学品船运输的安全性和可靠性, 对于异常情况会给出相应的报警提示, 指导作业人员最快做出对应措施, 减少了潜在的安全风险, 提高了船舶人员和环境的安全指数, 具有实际使用意义。

关键词

化学品船舶, 安全监控, 异常报警, 船岸协同

Safety Monitoring System for Chemical Ships

Yi Zhang, Li Zeng, Xueyang Liu

Wuhan Marine Machinery Plant Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: Nov. 8th, 2023; accepted: Dec. 8th, 2023; published: Dec. 18th, 2023

Abstract

Chemical ships transport a variety of flammable, explosive, toxic and other hazardous substances, and in the event of a leakage or other accidents, the hazards to the crew and the environment are extremely serious, so the safety of the ship and the monitoring of its various states have been put forward to a higher level of requirements. Accordingly, this paper proposes and develops a safety monitoring system, aiming at real-time monitoring, analyzing and alarming the status of chemical ships during cargo loading and unloading as well as waterway transportation, in order to reduce the

probability of safety accidents. Based on the mature industrial Internet platform, this safety monitoring system has developed ship-side and shore-based applications, and realized real-time monitoring of personnel status, cargo status, equipment status, operating environment and ship-shore safety coordination during cargo transportation and loading/unloading of chemical ships through intelligent means. The system has the function of data statistics and analysis of alarm information of ship-side management personnel, which can realize the comprehensive evaluation of ship-side management personnel; in addition, the system integrates the CCTV video system, which is used for the behavioral identification and analysis of the ship's operating personnel. The system proposed in this paper can improve the safety and reliability of chemical ship transportation, give corresponding alarm prompts for abnormal situations, guide operators to make corresponding measures as soon as possible, reduce potential safety risks, improve the safety index of ship personnel and environment, and have practical significance.

Keywords

Chemicals Ships, Safety Monitoring, Anomaly Alarms, Ship-Shore Synergy

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着全球贸易和化学品运输需求的增加,保障化学品船舶的安全性成为一个重要的挑战。化学品船舶运输着易燃、易爆、有毒等危险物质,一旦发生事故,可能导致灾难性的后果,对人员、环境和财产造成严重威胁。因此,开发高效可靠的安全监控系统,以及确保作业人员的安全和船舶的正常运行至关重要。在很多情景下,作业人员已无法获取各舱室的化学品状态数据,即传统的人工监控方式已经无法满足对船舶安全性的高要求。随着物联网技术[1][2]的发展和智能化船舶[3]的大趋势,基于传感器技术[4][5]、网络传输技术和视频监控等技术而开发的化学品船舶安全监控系统应运而生。

综合国内外研究现状,发现大多数工作重点研究了确定性条件下的危险化学品运输事故风险,但通常对于人的操作行为和日常管理等众多不确定因素作了简化处理。实际上,危险化学品事故的发生在很大程度上是受到不确定性因素的影响,因此在研究过程中深入考虑不确定性因素以及适应性学习和系统涌现将使安全监管更符合实际。危险化学品作业环节较多,如装卸、运输、存储等任何单一环节存在隐患就可能导致系统整体发生重大事故,而在某一作业环节中还涉及多个操作主体,如液化危险品装卸就至少包括船舶、码头和罐区三个相对独立的操作方。因此,危险化学品作业环节的通畅衔接和操作主体的沟通协调则是安全监管与应急处置的关键。化学品的危险性大小除了与其固有的危害性有密切关系之外,还取决于它的蒸气压、水溶性、粘度、装卸形式等客观因素,而目前大多数的船装检测设备都是相对独立的,采集到的数据具有零碎、分散、不易查阅的特点,不利于工作人员统一分析和协调。

基于上述需求和不足,本论文设计和研究开发了一种化学品船安全监控系统,该系统通过传感器采集监测化学品船舶在货物装卸和航道运输时各舱室的温度、压力、液位等关键数据,并通过数据汇总分析和判断,将各舱室和相关作业各个阶段的监测数据直观地统一收集展现,实现对异常情况的及时发现和报警措施的执行[6]。此外,系统还配备视频监控功能,能够实时监控化学品船舶上的作业人员的在岗状态和精神状态,有助于预防人为因素引起的事故和操作错误,进一步提高船舶安全性和操作效率。同时与岸基系统相互协同工作[7],岸基人员可同时查看多艘船舶的在线状态和运行状态,便捷了化学品船

船舶的统一管理和调度。我们期望该安全监控系统能够为化学品船舶的运行提供更强的安全保障，提高化学品船舶运输的安全性和效率，保护人员生命和环境的安全。

2. 监控系统设计方案

2.1. 总体架构分析与设计

基于国内外研究现状和实船调研，总结了如下几项目前迫切需要研究和解决的问题：

1) 人员安全：船员数量与素质均呈下降趋势、船员成本呈上升趋势，一者不能满足特殊多样的散装化学品运输工作要求，另一方面也导致船东的成本增大，以一艘 2400 吨小型化学品船为例，每年的船员成本约占该船管理成本的 70%，迫切需求实现智能化操作而减少人力成本，为船东带来可观的运营成本下降。

2) 作业安全：化学品是一种高危险性货品，易燃易爆有毒液体、可燃有毒气体聚集，对船员的技能水平、船舶管理水平提出了较高的要求，因人为错误带来的安全事故时有发生，导致人员伤亡、货舱严重损毁、甚至带来严重的生态污染。迫切需要在装卸货、洗舱等化学品作业的主要环节，通过智能化来取代人员操作，减少人为错误的发生概率，保障化学品船舶营运安全性。

3) 航行安全：化学品船特别是内贸化学品船，高频作业，通航于近洋、长江水域等复杂水域，是交通运输部门监控的重点，一旦发生船损，将导致严重的生态污染，十分有必要整合 AIS 信息、包括渔船等小目标的安全预警，开发辅助智能航行功能，实现船舶避碰，提升船舶航行安全保障和事故险情的预防预控能力。

4) 货物损耗：化学品属于高价值量的货品，具有反应性、自身反应、热敏感性等特性，装卸货、洗舱作业过程十分复杂，因船员主观判断、实践经验差异，无法保证作业过程的统一性和作业效果的均一性，极有可能出现不同程度的货损。一旦发生货损，船期耽误、货物损失造成的经济损失非常巨大，迫切需要通过智能化取代人工操作来保证作业过程的统一性和作业效果的均一性。

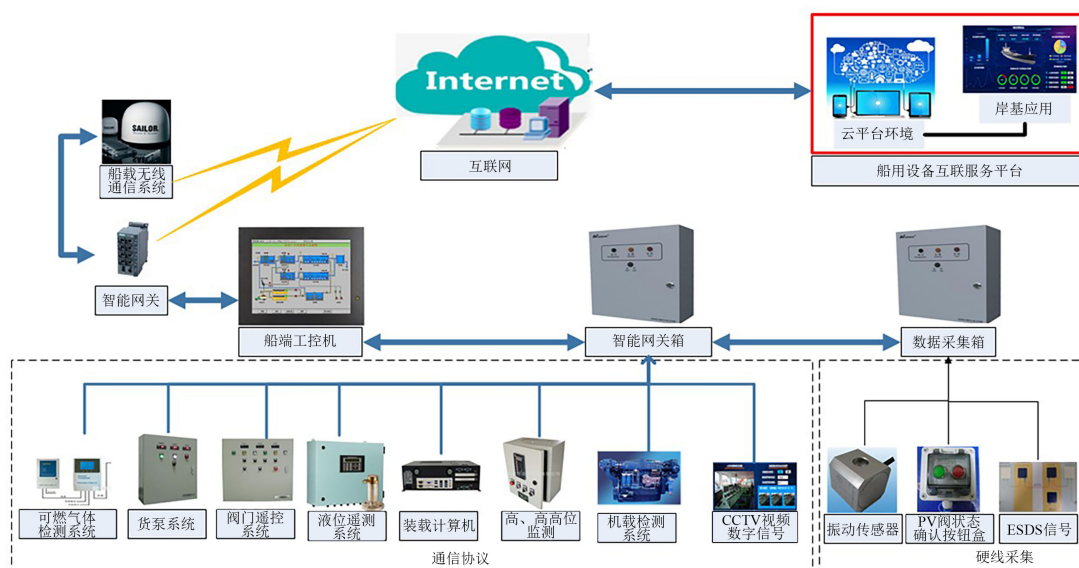


Figure 1. Overall system architecture diagram

图 1. 系统整体架构图

针对危险化学品运输和管理特点，注重经济性和实用性原则，以打造最清洁、最安全的化学品船为

目标,完善和深化化学品船关键智能系统,建立船岸一体的运维管理系统,提高运营效率与安全性、降低运营成本,大幅降低安全事故发生率,我们研究设计了“化学品船舶安全监控系统”。系统以“1个平台+N个应用”为总体开发原则,基于工业互联网平台的集成开发环境,借助工业互联网平台泛在连接、云化服务、知识积累、应用创新的特性开发功能应用,从而支撑设备泛在连接和应用的高效配置。安全监控系统是一个船岸一体的软硬件系统,包括岸基应用和船端应用两部分,通过船载的海事卫星或系统自带的4G通信模块进行船岸之间的数据交互。安全监控系统船端应用通过系统配置的信号采集箱与船端其他系统实现集成,进行系统运行所需设备状态数据的采集。对于具备通信协议实现通信的设备,通过系统之间的通信接口实现监控数据点位的采集;对于无通信协议的设备,通过新增数据采集箱,利用PLC输入模块实现监控数据点位的采集。该安全监控系统的整体架构如图1所示。

2.2. 软件功能设计

按照问题分析、系统功能需求和模块化设计的思想原则,根据安全监控系统所监控的对象来进行功能模块的划分,安全监控系统的软件功能模块设计如表1所示,主要包含:

1) 人员状态监控模块(船/岸):

船员在岗瞌睡、擅自离岗等违规行为,往往是造成货物运输和装卸重大安全事故的主要原因,本模块主要实现操作人员的在岗出勤及精神状态实时监控及异常报警。

2) 货物与设备状态监控模块(船/岸):

化学品船所运输的货物特性不尽相同,对运输和装卸作业过程均有着相对苛刻的要求,如货物的保温、货舱液位高度等。同时,化学品船在港口装卸货作业时涉及的作业环节较多,如装卸货、压载、洗舱、惰化、通风等作业,完成以上作业的所需设备也相对较多。保证货物在运输和装卸过程中的安全状态,监控货物的直观特征属性是避免货物产生货损最有效的手段,本模块实现了对货物的温度、压力以及液位等状态的实时监控及异常报警。另外,本模块从安全的角度分析设备的状态监控项目,以可能产生安全隐患的设备故障来确定设备的安全监控要素,主要实现了对洗舱机、压载泵、货泵等设备的健康状态监测及异常报警。

3) 作业安全监控模块(船/岸):

作业过程中,特别是货舱装卸货和管路阀门操作,都存在一定的潜在危险,作业安全监控功能能够实时监测阀门状态,并与预设的状态进行比对,从而及时发现异常情况并及时报警,有助于避免意外事故的发生,保障作业人员和船舶的安全。

4) 作业环境监控模块(船/岸):

化学品船在港口装卸货作业,所面对的作业环境相对复杂,安全隐患无处不在,因环境因素造成的安全事故也时有发生,如人员违规出入危险区域、船员不按正确方式穿戴劳保用品、使用手机、打火机等作业,往往是造成人员伤亡危险事故的主要因素,此外船舶倾斜、可燃气体超限等隐患未及时发现,均可能造成严重的安全事故。通过本模块主要实现船上危险区域、船舶姿态、固定式可燃气体等状态监测及异常报警。

5) 船岸协同监控模块(船/岸):

对于化学品船在港口装卸货作业时,需实时关注ESDS系统状态,以避免因突发情况出现的安全事故,通过本系统主要实现ESDE系统的状态监测及异常报警。

6) 综合信息管理:

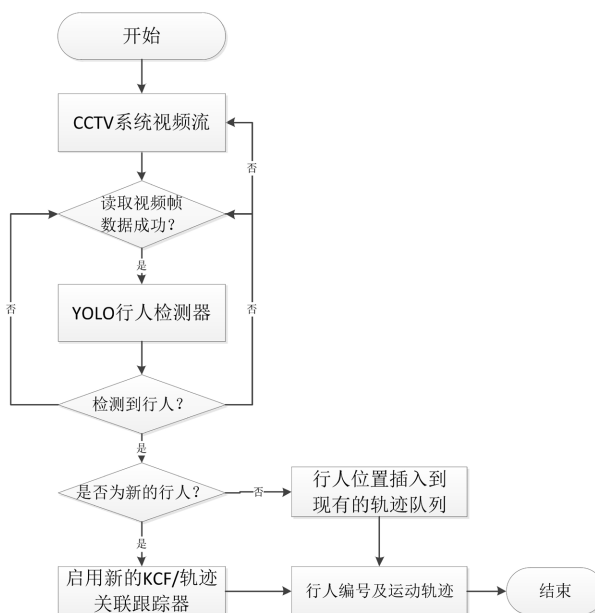
船端:通过此功能实现船端报警信息的综合展示,同时对异常报警实施船端管理人员责任的划定。
岸基:基于船端的数据积累,进行船端管理人员的综合评价。

Table 1. Security monitoring system software function module table**表 1.** 安全监控系统软件功能模块表

模块	子模块	主要功能说明
安全监控船端应用	通用管理	资源、权限及其他基础功能管理
	人员状态监控	实现人员脱岗和睡觉的实时监控
	货物状态监控	货舱温度、压力、液位、高位/高高位、阀门状态等实时监控
	设备状态监控	液货泵出口压力、洗舱泵/压载泵进出口压力和 PV 阀状态确认等实时监控
	作业环境监控	集管区、船舶姿态、可燃气体的实时监控
	船岸安全协同	ESDS 状态确认
	综合信息管理	综合显示报警信息及报警申诉
安全监控岸基应用	远程通用管理	资源、权限及其他基础功能管理
	远程人员状态监控	远程多船的人员脱岗和瞌睡的实时监控
	远程货物状态监控	远程多船的货舱环境和高位/高高位实时监控
	远程设备状态监控	远程多船的液货泵出口压力、洗舱泵/压载泵进出口压力和 PV 阀状态确认等实时监控
	远程作业环境监控	远程多船的集管区、船舶姿态、可燃气体的实时监控
	远程船岸安全协同	远程 ESDS 状态信息显示
	远程综合信息管理	基于船端数据积累, 进行船端管理人员的综合评价; 并对船端报警申诉进行处理。

3. 安全监控软件主要模块实现

3.1. 人员安全监控实现方法

**Figure 2.** Personnel on-boarding monitoring flowchart**图 2.** 人员在岗监测流程图

人员状态监控功能设计主要针对人员在岗出勤状态和人员在岗精神状态分别进行实时监控，并对异常情况进行报警提示。该功能可以确保船舶上的工作人员按时到岗，并减少人员空缺引起的安全风险，早期发现人员缺席、延迟到岗或非流程进入危险区域的情况，及时采取补救措施，确保船舶作业的正常运行。另外通过精神状态监测可以及时发现疲劳、注意力不集中或其他不适宜工作的情况，这些因素都是导致事故发生的常见因素，及时干预和提醒作业人员可以减少因人为因素引起的事故风险。

人员在岗出勤状态监控面向驾驶室和货控室的操作人员，监控其在工作时有无出现离岗的情况，主要包含实时视频监控显示及报警历史查询显示等功能区域。通过接口调用获取船上 CCTV 系统实时视频流，并在应用系统中划分独立的显示界面区域，进行货控室/驾驶室实时视频显示。然后通过人员行为识别分析软件模块中的人员身体追踪技术对视频进行逻辑运算及处理，以判断人员是否在岗。图 2 展示了该模块检测人员在岗的逻辑流程图。

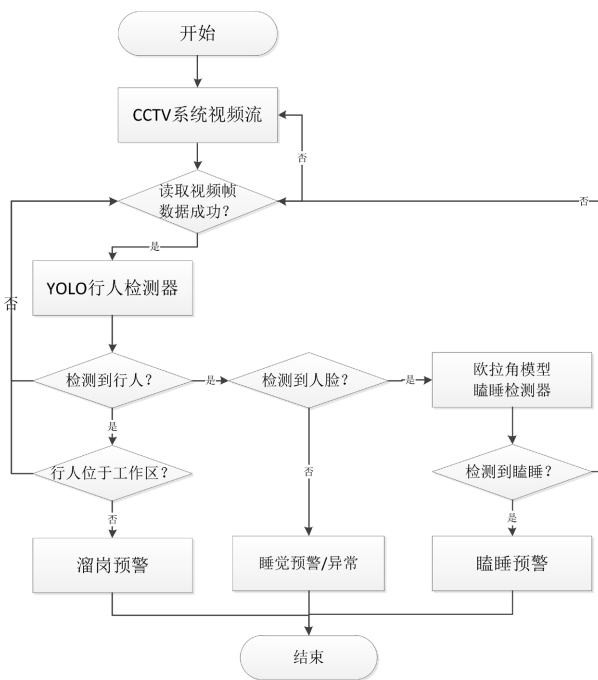


Figure 3. Personnel abnormal behavior detection flowchart
图 3. 人员异常行为检测流程图

人员在岗精神状态监控面向驾驶室和货控室的操作人员，监控其在工作时有无出现瞌睡的情况，主要包含实时视频监控显示状态及报警历史查询显示等功能区域。通过接口调用获取船上 CCTV 系统实时视频流，并在应用系统中划分独立的显示界面区域，进行货控室/驾驶室实时视频显示。然后通过人员行为识别分析软件模块中的人脸面部识别技术对视频进行逻辑运算及处理，以判断人员是否在岗瞌睡。该功能具体从人脸朝向、位置、瞳孔朝向、眼睛开合度、眨眼频率、瞳孔收缩率等数据入手，通过分析这些数据，实时地计算出工作人员的精神状态，对瞌睡行为进行提醒预警。图 3 展示了该模块检测人员异常行为的逻辑流程图。

3.2. 货舱及设备状态安全监控实现方法

货物与设备状态监控主要监测液货舱的压力、货物温度、高位/高高位、容量等信息，并监测核心液货作业设备货泵、洗舱泵和压载泵的进出口压力，以及主机转速、PV 阀状态反馈等信号，从而判断货品

运输和设备运行的安全状态，直观展现各货舱货物或设备异常报警情况。

通过查看货舱与设备的监控界面，操作人员可以随时清楚地知道各个舱室的压力、温度、液位等参数以及泵机的转速、电流等运行状态。该系统根据采集到的状态信号针对性地进行货舱或设备运行状态显示及异常报警。图4展示了货舱温度、液位、压力、高位以及高高位信号的处理流程图。

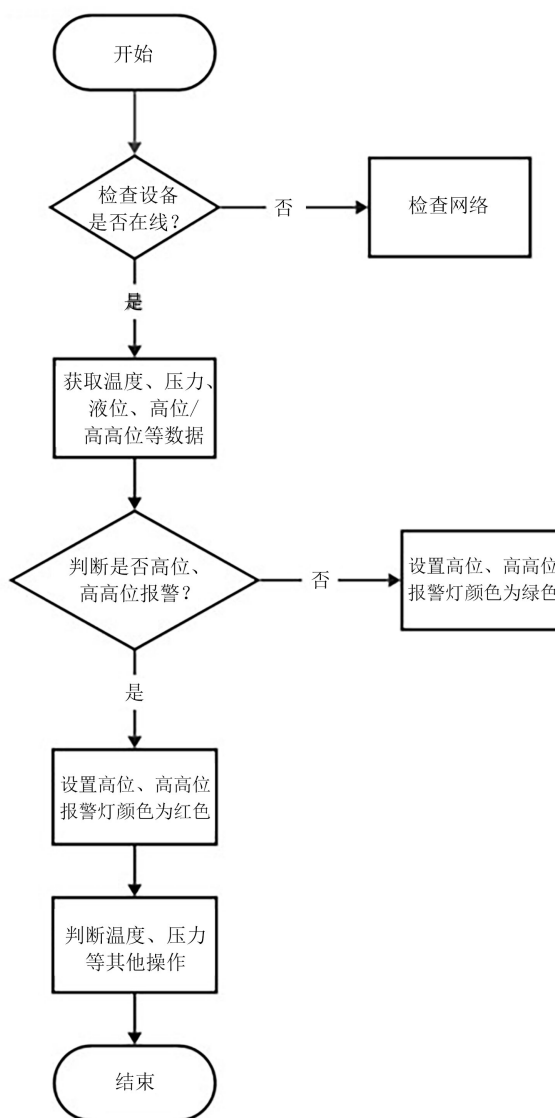


Figure 4. Equipment status processing flow chart
图4. 设备状态处理流程图

3.3. 装卸货作业安全监控实现方法

装卸货作业安全监控面对作业过程可能存在的误操作安全隐患，通过预设作业流程与实际作业过程的比对，分析装卸货作业的安全性。船舶靠港作业前，依据大副的作业计划，在系统进行货舱装卸货设置及流程设置，作业过程中启动安全监控功能，分析实际作业流程的一致性。

系统将实时监测的阀门状态与已设置的阀门状态进行比对，进而判断阀门工作状态正确性及异常报警，从而确保作业按照预期进行，图5展示了装卸货作业时阀门状态监控的逻辑流程图。

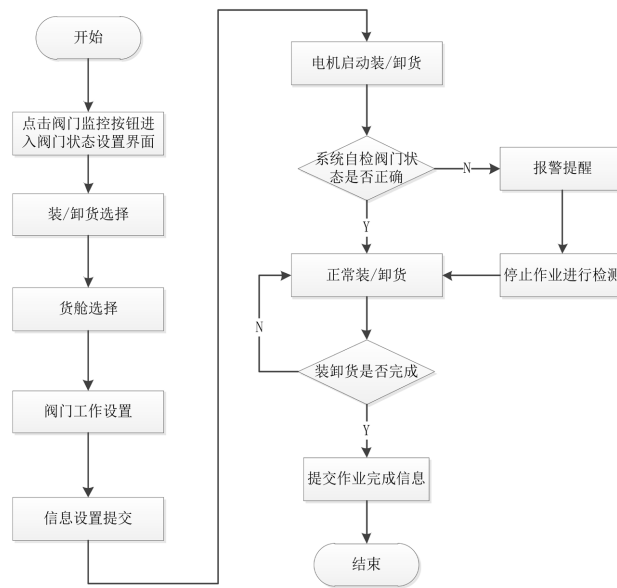


Figure 5. Valve status monitoring flowchart
图 5. 阀门状态监控流程图

3.4. 报警处理流程

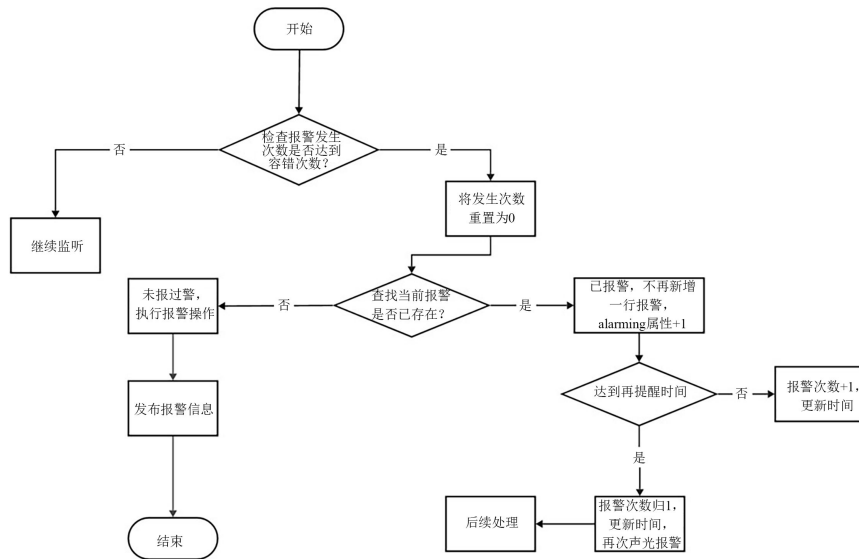


Figure 6. Alarm processing flow chart
图 6. 报警处理流程图

报警设置容错次数可以在判断异常情况时提供一定的灵活性和可靠性。在监控系统中，可能会出现一些短暂的异常或误报警的情况，在某些情况下单次异常并不代表真正的问题，可能是由于临时的干扰或短暂的不稳定情况引起的，如果没有容错次数，系统只要检测到一次异常就会立即报警，这将导致频繁的误报警情况发生。

系统通过设置容错次数，检测到连续的异常情况达到容错阈值条件则触发报警，图 6 展示了检测到异常情况时的报警处理流程图。

4. 结语

本论文设计开发了一种应用于化学品运输船舶的安全监控系统，该系统可以实时监测化学品船舶各舱室的温度、压力、液位等关键数据，通过数据分析和算法模型来识别异常情况，并采取相应的报警措施，有助于预防潜在的安全风险和事故发生。此外，系统还利用视频监控功能监测作业人员的在岗状态和精神状态，避免无人在岗和疲劳上岗，可避免由于人为因素导致的作业安全风险隐患。最重要的是，船基系统与岸基系统相互协同，实现了数据和指令的实时传输与交互，为管理人员提供了全面的信息支持和决策依据，此安全监控系统为化学品船舶作业提供了重要的安全保障和风险管理手段。在未来的研究中，我们将进一步深入探索系统的性能优化和技术创新，改进数据采集的精度和可靠性，加强数据分析和算法模型的研究，提高系统的灵敏度和预测性能。

参考文献

- [1] 王敬启, 裴险峰, 张扬, 等. 基于物联网技术的电厂安全监控预警平台[J]. 设备管理与维修, 2023(8): 120-121.
- [2] 梁野, 张贺, 石刚, 等. 基于工业物联网技术的机械加工设备在线监测系统的研究[J]. 智能制造, 2023(5): 81-86.
- [3] 白丽荣. 智能船舶关键技术未来趋势[J]. 中国船检, 2022(4): 69-73.
- [4] 祝能, 陈实, 蔡玉良, 等. 传感器数据在船舶数字化中的应用价值与挑战[J]. 中国造船, 2019, 60(3): 209-223.
- [5] 张亮亮, 许艳华. 传感器在舰船通信系统中的应用[J]. 舰船科学技术, 2020, 42(24): 139-141.
- [6] 许正文. 远洋渔业船舶机舱监测报警系统关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2023.
- [7] 周毅, 李萌, 张海涛, 等. 船岸一体化数据管理系统的网络安全技术[J]. 船海工程, 2021, 50(3): 73-76.