

Research on Artificial Intelligence Digital Early Warning System for Hazardous Chemical Storage

Xiezhong Chen

Laboratory for AI-Powered Financial Technologies, Hong Kong, 310014, China

Abstract

Hazardous chemicals have chemical, biological, and physical properties, and are prone to accidents such as combustion, explosion, and poisoning during production, storage, and transportation. The management of hazardous chemical storage is extremely important. The management of hazardous chemical storage is different from that of ordinary storage. Once there is a mistake in storage management, it will cause irreparable losses. The management of hazardous chemical storage used to mainly rely on manual inspection, without real-time monitoring, analysis, evaluation, and early warning of the safety status of hazardous chemical storage through artificial intelligence digitization. Therefore, studying the monitoring and early warning system of artificial intelligence digital safety status in hazardous chemical storage has extremely important strategic and practical significance.

Keywords

artificial intelligence; digitization; hazardous chemical storage; early warning model

危化品仓储人工智能数字化预警系统研究

陈燮中

人工智能金融科技实验室, 中国·香港 310014

摘要

危化品具有化学、生物和物理特性,在生产、仓储、转运中容易造成燃烧、爆炸、中毒等事故。危化品仓储管理是极其重要的。危化品仓储的管理与普通仓储的管理不同,一旦仓库的管理出现纰漏,将会造成不可弥补的损失。危化品仓储管理,以前主要靠人工检查方式进行,没有对危化品仓储安全状态进行人工智能数字化的实时监测、分析、评估和预警。因此,研究危化品仓储人工智能数字化安全状态的监测和预警系统具有极其重要的战略意义和现实意义。

关键词

人工智能; 数字化; 危化品仓储; 预警模型

1 引言

论文以人工智能数字化为切入点,分析、研究和评估了影响危化品仓储安全性的必须做好的5个重要因素:

①要建立人工智能数字化危化品仓储安全状态实时动态监测和预警模型。

②要从人、物和环境三个维度进行分析研究和评估。

③要计算各状态变量的危险性的发生率。

④要设计建立机理模型和开展层次分析法。

⑤要实时监测储罐(堆垛)之间的红外温度、仓库环境、距离三个变量安全状态。

论文以人工智能数字化为指导,分析、研究和设计了危化品仓储实时监测和即时预警系统的4个方面:

①及时查询危化品仓储的危化品相关参数、数量、尺

寸和包装方式。

②利用人工智能数字化储罐(堆垛)定位数据和数字化技术实时监测储罐的安全距离。

③及时监测危化品仓储的湿度、温度、含氧浓度和储罐(堆垛)的距离。

④利用人工智能数字化的可视化和参数分析,达到监测和预警目的。

所以,危化品仓储实行人工智能数字化以后,及时掌握监测参数和危化品仓储安全状态风险等级。实现了危化品仓储的监测和预警,有效提高了危化品仓储的可靠性和安全性,防止危化品仓储的事故发生。

2 调研背景

2.1 选题背景与研究意义

全球经济的高速发展推动化工行业跨入了迅猛的发展时期,化工原材料供应量急剧上升,促使全球危化品总量的生产、贮存飞速增加。化工行业发展的同时也带来了一些隐

【作者简介】陈燮中(1950-),男,中国浙江余姚人,博士,高级经济师,从事人工智能研究。

患,危化品存在有害性、具有易燃易爆等特性,因而危化品在生产、运输、装卸以及贮存监管等过程中都存在巨大的安全隐患,任何环节一旦失去有效监测发生问题,都将严重威胁人民的生命和巨大的财产安全。

以2015年8月在中国天津港发生的特大化工爆炸事故为例(如图1所示),正是由于危险化学品仓库出现危化品堆垛接连爆炸,遇难者165人,失联8人,本次事故造成经济损失高达68.66亿元。



图1 天津滨港“8·12”特大爆炸事故

对于危化品仓储状态目前的预警水平,预警技术还是停留在简单的阈值报警层面,从而导致经常发生预警不准确、不及时、过报、误报、漏报的现象。此外,目前的预警系统还未实现整体人工智能数字化信息实时传输,因此无法有效并全面地监控风险,预警数字化数据也无法获取,从而增大救援工作难度,还会增加二次事故引发的可能性。因此,现急需解决的问题在于建立人工智能数字化的,实时有效的监测与预警模型相结合,采用最新技术实现危化品仓储的监测预警系统。

目前,随着全球科技革命进程加快,信息技术日新月异,数字化发展正在步入一个崭新的阶段。以人工智能、物联网、数字化等新技术的不断出现及应用,使云平台、5G应用等为代表的新一代技术正在加速向各领域渗透,推动了企业、用户、机器设备乃至产业链与价值链各环节的全面改革和发展。

化学工业是中国国民经济中非常重要的基础性产业,化工产品是国民经济发展的必需资源,化工仓储作为产业链上不可或缺的一环,在化工品流通过程中发挥着举足轻重的作用,也逐渐成为各产业间互联依赖的重要纽带。受物联网、RFID(射频识别)、5G等新技术的影响,危化品仓储行业也正在由传统的现场管理、人工操作模式不断向以自动化、信息化和智能化为主要特征的智慧仓储时代转型。因此,在这种背景下,如何紧跟信息化深入发展的大趋势,开拓符合企业自身发展的信息资源,将人工智能数字化与企业最佳运营、降本增效、绿色发展等有效结合,是当下的重要的研究课题。

2.2 中国和其他国家危化品仓储人工智能数字化预警系统的现状

2.2.1 危化品仓储人工智能数字化预警的现状

现有的各类危化品仓储的监测,主要包括以下三个方

面的监测系统。

① ZigBee 技术的危化品仓储的环境监测系统。

ZigBee 连接技术建立在 IEEE 802.15.4 标准上,具有容量大、时延短、低成本、低功耗、安全可靠等技术特性。ZigBee 技术可以达到有效监测多数室内监测系统的环境参数,缺乏多参数综合评估,只能对单一参数报警,对于危化品仓储安全状态缺少人工智能数字化预警。

② 视频技术的应用。

通过监测危化品存储区域,以判断仓库中危化品是否处于安全状态。一是采用常规的视频监控系统,在危化品仓储区安置多个摄像头,用人工监测对危化品监控画面进行管理,此方法不仅效率低,还容易由工作人员疏漏造成安全事故,局限性较大。二是采用智能视频监控手段,利用算法解析,依托数字化视觉技术,获取原始图像的相关数字化信息,提前设定好报警设置,实现报警数据实时分析,真正实现了智能化、自动化的管理目标,相比传统的监控系统,智能视频实现了机器换人,达到 4h 监测。

智能化视觉对危化品油罐(堆垛)采用单目视觉方法对目标距离进行测量和物体的定位,利用时序拍摄方法解决危化品的遮挡问题,对危化品油罐(堆垛)距离的监测,借助三维重构的方式还原危化品的贮存环境,进行定位和测距。两者都存在不足,无法完全做到瞬时、准确和系统化的监测。

目前大多数算法应用到实际的危化品仓库中还存在一定的难度,想要通过视频系统监测危化品的仓储安全,还需要更成熟的算法和硬件平台。此外,如何在危化品仓库中合理放置摄像头,也是需要考虑的问题^[1]。

③ 室内距离定位技术的监测系统。

通过危化品仓储室内和储罐(堆垛)接收定位节点发出的信号源,采用超算分析获取待测物体的位置定位数据。该技术应用到化工领域,可以在仓储的危化品中安置信号源,通过定位技术,获取油罐(堆垛)的位置定位,结合油罐(堆垛)尺寸信息和仓库信息,计算出油罐(堆垛)的五距信息,模拟绘制出危化品仓储的虚拟场景,进行危化品的可视化监测。

目前的危化品仓储常规的监测预警,主要是靠传感器采集、视频监控和定位技术。但这些常规的监测预警手段越来越不适应危化品仓储区湿度、压力、温度的变化,增加了危险的系数。目前还是缺乏一个多方位、多维度的监测预警系统来预警危化品仓储的整体安全。

2.2.2 基本概念导入

① 信息化。

信息化是以现代通信、网络、数据库技术为基础,可以互联互通,将个别的信息转化为集成的信息,供特定人群工作、学习、辅助决策等。现代信息技术可以更大限度地提高各种行为的效率。

②智慧化。

智慧化是物联网、云计算、人工智能数字化等信息技术和先进管理技术的融合，服务于生产、管理、服务等活动的各个环节，具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能特征。智慧化的本质是建立“虚拟大脑”系统，实现人机环境系统之间的交互作用最优化^[2]。

③自动化。

自动化是指机器设备、系统或过程（生产、管理过程）在没有人或较少人的直接参与下，按照人的要求，经过自动检测、信息处理、分析判断、操纵控制，实现预期目标的过程。“无人干预”“可按照程序或指令自动运作”“延伸人类功能器官”是自动化最为明显的几个特征。采用自动化技术不仅可以把人从繁重的体力劳动、部分脑力劳动以及恶劣、危险的工作环境中解放出来，而且能扩展人的器官功能，极大地提高劳动生产率。自动化是分析、组织和控制作业过程的基本方式。

④智慧危化品仓储。

危化品仓储的智慧主要体现在库区运营监控、安全预警、信息处理、作业处理等一体化建设，充分利用人工智能、云计算、物联网、大数据等手段，结合危化品仓储的所有信息化，建立互联互通的油库信息网络，对危化品仓储环境、人、设备等多方面要素进行全面分析评估，为危化品仓储管理提供智能决策依据及手段，为企业提供危化品仓储安全的信息化过程^[3]。

2.3 中国和其他国家危化品仓储油罐（堆垛）自动化发展的现状

2.3.1 危化品仓储油罐（堆垛）业务及自动化系统概述

油罐（堆垛）是石油化工行业中非常重要的储运设施，是化工行业中运输、配送、仓储供应链中不可缺少的一部分，是化工行业中供方和需方的交易环节。危化品仓储区只要为化工产品生产加工企业和贸易企业提供专业化化工码头货物存储、装卸、期货交割、保税货物出入仓物流、过驳运输等各项服务，如图2所示。

危化品仓储的业务经营及生产管理过程离不开各种仪

器仪表、安全监控设备、报警联动等基础硬件设施，其自动化系统是通过控制系统（基于PLC/DCS/SCADA/SIS等）。

危化品仓储自动化系统一般由三方面组成：

①执行层（现场层）：由现场仪表、数据采集机构、数据监测器组成。实现功能：完成数据的采集，使控制层目的得以实现。

②控制层（中间层）：由数据处理、现场控制（如批量控制、现场调节回路）系统等组成。实现功能：各种参数收集与指示、控制、报警、连锁和动作等，如对油品的计量及实现定量装车、装船等。

③管理层（网络层）：由工厂管理系统（如ERP、SAP等）组成。实现功能：生产数据上传至ERP系统、物流监控等更上层系统；互联网远程监控生产。

2.3.2 中国危化品油罐（堆垛）监测和预警的现状

中国危化品油罐（堆垛）自动化系统已从简单的单回路控制发展到多回路先进控制的仓储自动化阶段。

目前中国危化品仓储自动化程度有以下几类：

①简单现场仪表，完全手工操作。

②单回路控制，通过二次表进行简单调节，没有专门的仪表控制室和仪表电源。

③配置有毒/可燃报警系统、定量装车和PLC系统，自动化程度较低。

④具有配置完全的自动化系统，装备了SIS、SCADA、DCS系统等，自动化程度比较高，具有国际先进水平。

2.3.3 其他国家危化品油罐（堆垛）自动化发展的现状

先进发达国家对危化品仓储的监测和预警，发展得比较早，美国、欧洲和日本等国家很早就投入大量资金，对危化品仓储进行信息化和自动化建设。对计量、装卸、环境和管理统计等方面逐步实行信息化、自动化、数字化，通过信息技术，将数据运用到危化品仓储的监测和预警中。

发达国家危化品仓储区都有严格的监测和预警要求：

①控制、监测和预警系统由具有资质的设计公司设计，并有资质的安装公司安装，以保证质量。

②安装由其他国家知名企业生产的控制、监测和预警

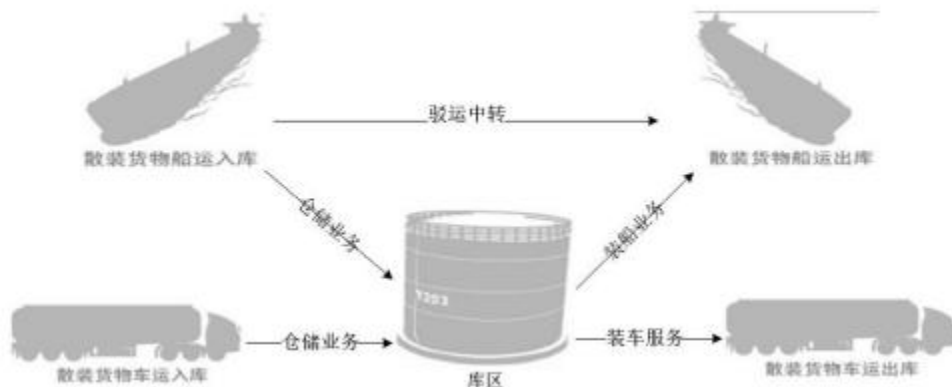


图2 油罐（堆垛）的主要业务模式

系统。

③充分利用人工智能数字化技术，最大程度地利用机器人进行操作，提高自动化和安全性。

④分清 SIS 和 DCS 等系统的分工范围，保证监测的稳定性和预警的安全性。

⑤各系统有序紧密相联，数据监测可靠，预警信息及准确安全。

⑥监测、维护、调试要有标准化、规范化。

⑦操作系统要电脑化、自动化、信息化、人机设计人性化。

2.4 危化品仓储的人工智能数字化现状

2.4.1 危化品仓储的人工智能数字化预警系统现状

近年来，发生多起危化品在存储过程中安全事故，也将化工企业存在缺乏预警信息化系统、生产及仓储预警方法落后、管理混乱安全风险等问题表现出来了，要采取人工智能数字化技术，实现安全生产、运输、存储的，提高危险化学品安全预警的智能化、信息化水平非常有必要。

可以通过人工智能数字化技术，设计危化品油罐(堆垛)安全距离监测与即时预警系统，获取点、线、面的信息，通过云计算测出相对应的五距信息^[4]。

危化品仓储一定要定时按规范进行风险评估，利用人工智能数字化技术结合改进的古斯塔夫法，对风险因子进行计算，及时调整风险评估指标等相应的预警风险等级，在实践中不断完善危化品仓储的监测和预警参数。

2.4.2 危化品仓储的人工智能数字化安全评估现状

全球危化品生产量、贮存量飞速增加，随之要考虑的就是危化品的仓储，对个人、企业和国家都面临着安全问题的考验。解决危化品仓储的监测和预警问题，可以通过以下几种安全方法进行评估：

①要根据人工智能数字化技术，对危化品仓储实行全监测、全预警，通过大数据云计算，测算出影响安全因素的数据，并进行分析、研究、评估和建立危化品仓储的监测和预警系统。

②通过大数据，根据叠加原理，经过分析、论证和评估，计算出危化品危险因子的相互影响、作用和风险，及时监测和预警，防止事故的发生。

③通过对危化品仓储的分析，结合现有的研究成果和专家的建议，筛选出安全预警指标，利用层次分析法(AHP)和熵权法，计算出各指标的权重值，建立安全预警模型。

④建立安全预警标准化管理系统，通过指数模型的建立，设定预警阈值，根据企业的不同管理需求调整程序，判断出企业的安全情况，进行有效准确的安全预警。

⑤危化品仓储的监测和预警，可采用K均值聚类的办法，建立指数模型，设计预警数值，随时评估出危化品仓储的安全状态，进行准确有效的监测和预警。

⑥利用安全预警相关技术和理论，获取危化品仓储安

全的影响因素，通过构建ISM模型，基于多级模糊综合评价方法，结合安全预警指标体系，建立综合评价模型。

3 建立危化品仓储人工智能数字化预警模型

3.1 人工智能数字化在危化品仓储中的应用

人工智能数字化危化品仓储由多种因素决定。

主要体现在人为、环境、管理和物质，目前有27个预警评估指标。要建立危化品仓储预警评估模型。对人为因素、环境、化学品性能、管理状况4大类的27项预警指标，在实践中要不断总结经验，根据不同参数，建立危化品安全预警评估模型。

同时根据预警模型的定量定性指标，开展随机监测、动态监测的方法，提高危化品预警的安全性和可靠性^[5]。

安全评估指标有定量的和定性的方法，对于风险的评估未达到实时监控的，要定期开展检查，对危化品仓储的安全监控可靠性不高的要作调整。

危化品仓储人工智能数字化状态，应该通过“环境因素、物的状态、人的行为”三个维度来判断属于危险、临界、安全的哪一种状态；监测的多个动态可预警指标由三个维度分解得到，融合多参数实时监测危化品仓储的状态，当监测预警到达临界状态之前，对危化品仓储各种不良指标预警，在发生隐患之前，要进行彻底清理，如图3所示。

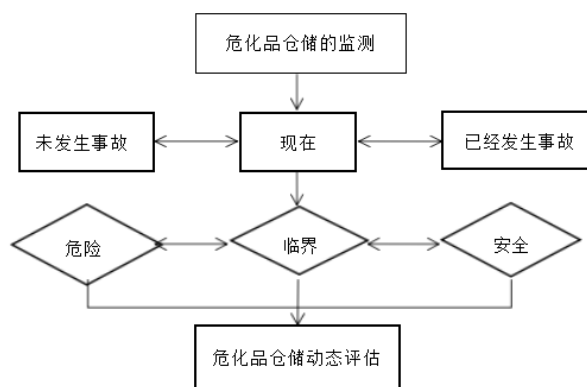


图3 危化品仓储预警原理图

根据危化品的化学和物理的反应机理，结合以上对仓储安全状态的分析，分别对人的因素、环境状况、物的形态这三个因素做以下分析：

①环境状况。

影响危化品仓储的主要环境因素有温度、烟雾浓度、湿度、含氧浓度等，最关键的因素是温度。有些危化品自身具有较强的反应特性，在储存中受外界温度升高的影响，容易引起氧化、聚合、分解等物理化学反应，反应产生热量，会导致了环境温度的持续升高，如此反复，当危化品达到自燃点时就会引发自燃的情况。因此有效控制危化品因自燃爆炸，对环境温度的实时监测就尤为重要。

②物的形态。

危化品的是通过热能的方式释放能量，当危化品释放

能量的速率大于能量的流失速率，就会积聚热量，危化品的温度会不断上升，当达到温度极限值时，就会发生危化品起火，甚至爆炸，给国家和人民的财产造成重大的损失。所以实时监控危化品的温度是有效控制危化品事故的手段之一。

③人的行为。

在危化品仓储管理中，职工的知识水平、执行力、规范操作、制度规章、专业管理、定期培训等，哪一方面都很重要，如果做的不规范，就会留下隐患，造成损失。同时也要重视“五距”，即罐距、墙距、灯距、柱距、顶距等，虽然距离过近不会立即发生危险，但长时间贮存就会产生安全隐患，一旦发生事故，造成的灾害是巨大的。所以，利用罐距评估危化品的安全状态是一项重要指标，避免造成二次事故。安全的罐距能够防止危化品温度过高产生反应，同时降低火情发生时火势蔓延的速度。要实时监测“五距”，同时要加强对职工现场操作的安全性和规范性教育。

3.2 危化品仓储人工智能数字化预警模型

3.2.1 危化品仓储人工智能数字化预警研究

预警研究，主要是根据监测的预警数据，即时评估库区的安全状态，在危化品仓储触及风险的时候，提前进行预警。

人工智能数字化预警并不是简单地比较各项预警参数和数据，需要根据各预警参数和数据，在预警系统的参数中，计算出相互影响下各因素的预警值，从而建立和完成危化品仓储的预警评价模型。

安全状态预警原理，如图4所示。

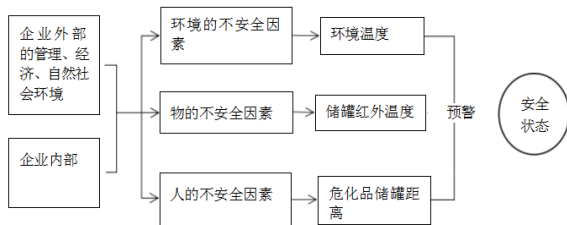


图4 人工智能数字化预警原理图

根据以上人工智能数字化预警原理，利用预警指标构建危化品仓储安全评估动态模型和危化品仓储安全状态的三个维度预警指标的危险性概率，得出各危险性概率与预警指标参数的关系，参考传统安全评价的方法和原理，采用AHP法得出各参数所占权重，计算多参相互数影响后的数值，对危化品仓储的安全状态预警进行综合分析的评估，确定安全状态的风险等级，最终实现危化品仓储安全状态的动态预警。

3.2.2 危化品仓储安全状态人工智能数字化危险性概率算法

中国和其他国家危化品仓储发生的重大安全事故的调查报告指出，导致危化品仓储发生的危险因素是相互影响，有时是单独发生，情况各不相同，错综复杂。尤其是温度的升高对危化品仓储发生的危害最大，由于集中释放热能，当

热能聚积到极限值，最终会引发火灾或爆炸^[6]。

因此，风险概率引起的预警指标应从危化品的物理、化学性质出发，参考参与化学反应和物理关系的发生条件，有机结合各种因素，对化学反应性质进行分析，采用多指标综合评价的方法进行统计，用数字化方法进行量化，得出预警指标与风险概率的函数关系，判断预警指标的风险概率值。然而，危险化学品的种类很多，如气体、液体、固体等，它们大多以液体储罐的形式储存。危化品仓储以灾情最严重的爆炸品为研究对象，进行风险概率分析。各预警指标的风险概率主要由物理因素的几个不同维度，采用无量纲方法计算危化品仓储的风险概率。

第一，危化品仓储油罐（堆垛）距离与危险性概率安全关系。

危化品仓储，储油罐（堆垛）之间的安全距离十分重要，当危化品仓储油罐（堆垛）距离过近，危化品总量集中过多，会产生积聚热量的风险，所以危化品仓储的储罐距离，对危化品仓储的安全至关重要。危化品仓储油罐（堆垛）最近油罐（堆垛）距离，表示为d，罐距越小，危险性概率越大。通过计算得出危险性概率的大小：

可以选择降正态分布函数的无量纲化模型：

$$z_1 = f_1(d) = \begin{cases} 1 & d \leq a \\ e^{-k(d-a)^n} & d > a(k > 0) \end{cases} \quad (1)$$

式中：d油罐（堆垛）间的最近距离，k、a、n为待定系数。f₁(d)罐距的无量纲危险性概率指标值。罐距的危险性概率曲线如图5所示。

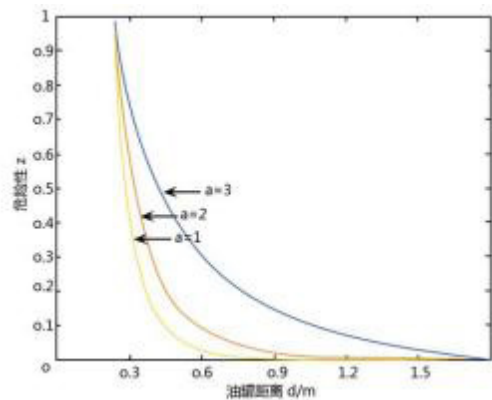


图5 罐距的危险性概率曲线图

第二，危化品仓储红外温度与危险性概率的关系。

如表1所示，危化品仓储油罐（堆垛）体本身温度就是红外温度，温度升高热能增加，风险增加，升温值与危险性概率成正比，升温值变化越大，危险性概率越高^[7]。

表1 升温值 ΔT 与危险性的关系

危险性	ΔT (°C)
低	< 50
中	50~200
高	> 200

同时可以用升正态分布函数表示红外温度与危险性概率相互之间的关联:

$$z_2 = f_2(\Delta T) = \begin{cases} 0 & \Delta T \leq a \\ 1 - e^{-k(\Delta T - a)^n} & \Delta T > a (k > 0) \end{cases} \quad (2)$$

式中: ΔT 为自身温度的温升值, a 、 k 、 n 为待定系数。 $f_2(\Delta T)$ 表示油罐(堆垛)红外温度无量纲危险性概率指标值。

通过计算可以得到危化品仓储油罐(堆垛)红外温度与危险性概率曲线如图6所示。

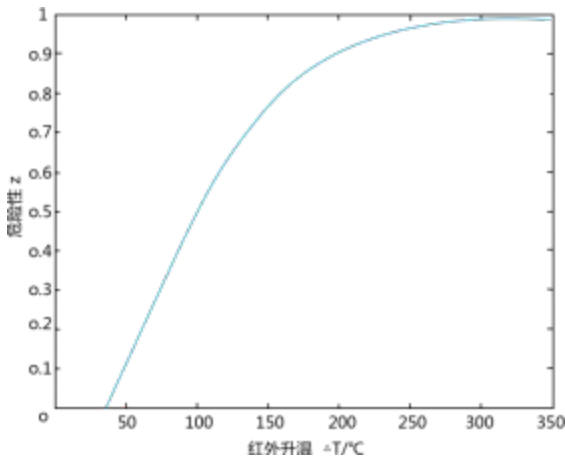


图6 危化品仓储油罐(堆垛)红外温度的危险性概率曲线图

第三, 危化品仓储环境温度与危险性概率的关系。

环境温度对危化品仓储的影响较大, 当环境温度过高, 危化品仓储的危化品在到达自燃的最低温度, 会引起自燃发生火灾; 危化品受热积聚能量较强, 在环境温度不断升高的状况下, 内部会发生物理化学剧变, 当积聚的能量达到极限值时, 就会产生爆炸。

从正态分布函数中可以看到, 危化品仓储环境温度与危险性概率呈正相关。即:

$$z_3 = f_3(T) = \begin{cases} 0 & T \leq a \\ 1 - e^{-k(T-a)^n} & T > a (k > 0) \end{cases} \quad (3)$$

式中: T 表示环境温度值, a 、 k 、 n 为待定系数。 $f_3(T)$ 表示环境温度无量纲危险性概率指标值。

在危化品仓储环境温度 T 假定在 $25^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 时, 危化品的危险系数不会因为环境温度的上升而产生大的危险概率; 当环境温度高于 50°C 时, 危险系数为 0.9 , 当温度为 35°C 时, 危险系数为 0.5 , 属于中等; 当环境温度为 25°C 时, 危险系数较低, 为 0.1 , 属于较低概率。

我们通过公式可以得出危化品仓储环境温度与危险性概率之间的关系:

$$z_3 = f_3(T) = \begin{cases} 0 & T \leq a \\ 1 - e^{-0.059(T-23.305)^{1.426}} & T > a (k > 0) \end{cases} \quad (4)$$

危化品仓储环境温度与危险性之间的关系如图7所示, 所以, 要建立危化品仓储的预警模型。

①要建立: 警指标集 $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ 。

②要建立预警系数与危险性概率关系式: $z_k = f_k(x_k)$ 。

③得出各预警系数的占比: $w_k (0 \leq w_k \leq 1)$, $Q = \sum_{k=1}^n w_k z_k (k=1, 2, \dots, n)$ 。

④得出危化品仓储安全状态的方程式为:

$$Q = \sum_{k=1}^n w_k z_k = \sum_{k=1}^n w_k f_k(x_k) \quad (5)$$

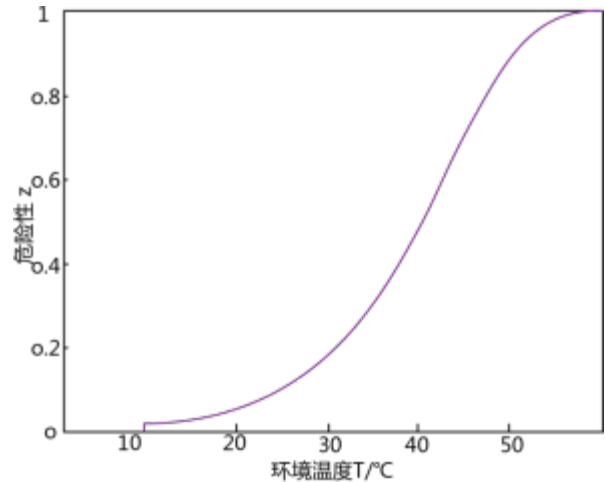


图7 危化品仓储环境温度与危险性概率之间的关系图

3.2.3 危化品仓储安全状态人工智能数字化各权重因素影响

在危化品仓储的仓储中, 影响危化品仓储的预警参数很多, 我们用人工智能数字化技术对各种参数的影响做比较分析, 计算出预警模型中各预警参数的影响比重, 使该预警模型更加准确。采用 AHP 层次分析法, 可以计算出预警模型中各预警参数的相对权重值^[8]。

运用构造判断矩阵法, 假定危险性概率(A)为目标层, 影响系数为油罐(堆垛)距离(B1)、油罐(堆垛)红外温度(B2)和仓储环境温度(B3)。通过对各项预警参数进行分析研究和计算, 得出危化品仓储各关联参数数值的预警矩阵表, 如表2所示。

表2 危化品仓储各关联参数数值

A	B1	B2	B3
B1	1	1/2	1/2
B2	2	1	2
B3	2	1/2	1

3.2.4 危化品仓储安全状态人工智能数字化预警模型

根据分析预警参数, 危化品危险性的概率还和各占有的比例有关, 占有的预警模型表达式为:

$$Q = ZW = W_1 Z_1 + W_2 Z_2 + W_3 Z_3 = 0.0102 Z_1 + 0.643 Z_2 + 0.255 Z_3 \quad (6)$$

式中, Q 表示危险性概率大小, 取值^[0,1], 即 $Q \in [0,1]$ 。

对于每一类危化品都有对应的危险性概率数值, 由于危化品的种类众多, 无法根据 Q 值判断实时的危化品储存的安全情况, 需对数值进行分级, 建立等级, 评估危化品仓

储的预警情况。

3.3 总结分析

危化品仓储的预警,根据“人的行为、物的形态、环境变化”三大因素,对危化品仓储的影响,通过人工智能大数据等对三大因素的监测,可以得到危化品仓储的预警参数。

通过对预警参数的计算得出危险性概率,并通过层次分析法、非线性模糊处理法,对危化品仓储的风险等级进行评估^[9,10]。从而得到危化品仓储的预警模型,及时掌握危化品仓储的瞬时变动情况,以保证危化品仓储的绝对安全。

4 危化品仓储人工智能数字化安全状态监测与预警系统设计

经过分析、研究,如何在现有的自动化基础上进行升级改造,将带有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等新型功能智慧化管控平台应用于生产、管理、服务等活动的各个环节是当务之急,也是努力方向。其中自感知、自执行功能是由自动化系统配合实施的;自决策、自学习、自适应等是智能化系统要解决的问题,要充分利用当今的大数据、云平台、APP、5G技术等推动该系统的建设。

目前需要建设危化品仓储人工智能数字化层面的集成一体化的信息化管理系统,具体包括了以下方向。

4.1 危化品仓储生产管理系统人工智能数字化

以储运过程自动化系统为核心,建设基于现有基础自动化为依托的智能调度管理系统,危化品各库区统一一套系统,库区内可允许根据库情作适应性修改。该系统向上与智能化业务系统连接,向下与现有的基础自动化系统连接,真正起到承上启下的作用,相当于现代版的MES系统(指制造企业生产过程执行管理系统)。此外,建设化工交换坑软管连接自动识别系统,让生产调度过程可视化,广泛应用智能化物流技术和设施设备^[11]。

4.2 危化品仓储安全生产信息管理系统人工智能数字化

建设安全生产信息管理系统,由三部分组成:

①打造安监平台,并将现有的门禁控制系统、岗位巡检自动化系统、周界报警自动化系统、视频监控系统纳入系统统一管理。安监平台以定位及轨迹跟踪分析系统为核心,对内部人员、外部人员、车辆等实现库区内自动定位与跟踪,采用电子围栏进行区域管理,实现库内人员动态显示与管理。

②打造SIS系统(安全仪表系统),包括紧急切断控制系统、连锁保护控制系统、火灾及可燃气体报警系统。

③打造消防自动化系统,含有消防水稳压控制、火灾监测与报警、一键自动喷泡沫系统、一键自动喷水系统。

在安全监控系统智能化建设中,要合理地利用信息技术将有关系统进行整合,要设计智能联动系统实现过程可视

化,结合现场建模、利用大数据有关技术进行数据分析,为安全生产提供一个可视化平台^[12]。

4.3 危化品仓储环保系统人工智能数字化

在现有的设备(油气回收、污水处理等)增加必要的传感设备、变送设备、执行设备等实现过程数据的远传、智能化分析与展示、远程控制等功能。

4.4 危化品仓储设备管理系统人工智能数字化

建立设备管理系统,实现各库区设备智能管理,为设备的维修保养、备件管理、设备的更新等建立数据库,提高库区整体管理水平。包括动设备、静设备和资产管理。

4.5 智能语言视频系统应用人工智能数字化

探索在服务窗口、装卸车作业、权限区域风险识别等过程中使用智能语音提醒功能的设备,如装卸车流速超速提醒、非权限人进入禁止区域警告等。目前该技术是成熟的。

4.6 危化品仓储智能管控一体化平台人工智能数字化(互联网+管理+3D场景)

打造危化品物流中心,实现集人工智能数字化管控一体化中心、生产调度指挥中心、应急指挥中心、对外展示中心(接待为主)、数据服务中心五个方面的功能一体的智慧平台,危化品仓储库区为用户、客户等提供服务^[13]。

4.7 危化品仓储人工智能数字化应用

机器人、智能视频、5G应用、人脸识别等人工智能数字化应用是前沿技术,随着人工智能技术的不断发展,必将在仓储行业广泛使用,因此开展将这些技术应用在仓储物流系统的探索是非常关键和必要的。建议在智能视频及人脸识别方面首先开展探索。

5 危化品仓储人工智能数字化安全状态监测与预警测试

5.1 危化品仓储人工智能数字化系统模拟测试

5.1.1 危化品仓储人工智能数字化系统登录测试

进入危化品监测系统,选择用户级别注册并填写用户名和密码登录。只有管理员权限的账号可以修改和删除用户信息。

5.1.2 危化品仓储人工智能数字化数据获取测试

监测系统运行后,通过传感器,在系统界面显示硬件平台获取的数据,显示界面分隔为两个部分,左侧根据实时接收数据展示储罐五距定位信息,右侧自动监测报警信息,根据实际情况提示库区的安全状态^[14]。

5.1.3 危化品仓储人工智能数据场景监控模块

在危化品安全状态监测系统导入场景模型,建立储罐模型,模拟危化品仓储测试场景,系统运行堆垛模块,智能数据获取罐距信息,实现监测画面的监控。

5.1.4 危化品仓储人工智能数字化信息管理模块

①危化品油罐(堆垛)信息录入。

运行危化品监测系统后,选择库存系统可通过新增录

入危化品的详细信息,填写入库时间、编号、品名、供应商等,确认无误后,单击确认并保存,系统根据预设自动将危化品摆放完整。

入库单查询界面输入查询时间可以查询库区所有的危化品入库信息,选择单条记录查看具体的危化品详情明细。

②入库情况汇总功能。

选择入库情况汇总,选择编号汇总及时间,可查看汇总出危化品总累计数量和金额。同样,危化品作业输出后,可选择相应的登记出库、出库单查询、出库明细、出库情况汇总操作出库信息。管理员可对职工保存的出入库信息进行新增、修改和删除,有效监管危化品仓储信息。

5.2 人工智能数字化危化品仓储安全状态监测与预警测试

在人工智能数据化监测系统建立储罐模型,导入库区场景,库区体积 $18\text{m} \times 9\text{m} \times 4.2\text{m}$,测试预警系统,入库第三类易燃液体 2-二甲基丁烷,体积 $1.08\text{m} \times 0.86\text{m} \times 1.96\text{m}$,根据变量数据,监测系统对危化品的安全状态进行预警。

初始状态下的系统界面,指示灯为绿色,安全等级为安全。

危化品安全监测系统运行后,危化品入库码放,可以看到随着危化品参数的变动,监测系统界面五距的报警信息、环境报警信息随之发生实时变化,仓库的安全状态由安全转为较安全^[15]。

图8、图9、图10分别为危化品储罐红外温度、库区环境温度、储罐间距在油罐(堆垛)变化下,随时间推移,监测系统监测的动态曲线图。

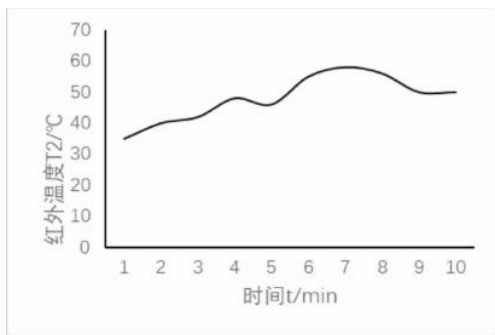


图8 储罐红外温度监测动态图

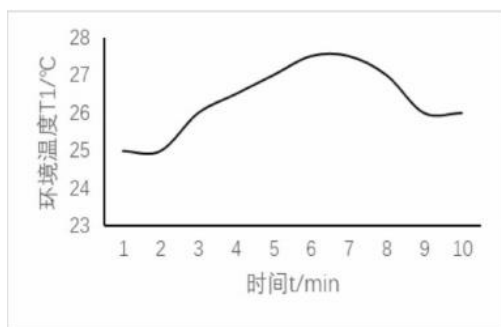


图9 危化品仓储环境温度监测动态图

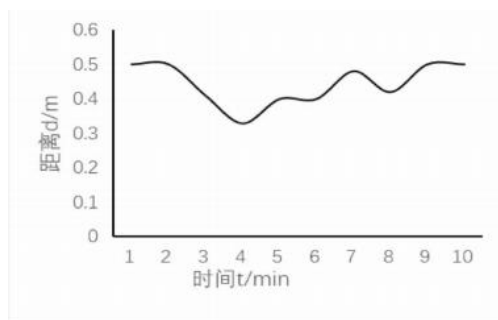


图10 储罐间距监测动态图

在相应参数发生变化时,随时间推移,安全预警系统所反映危化品仓库安全状态等级变化图,如图11所示。

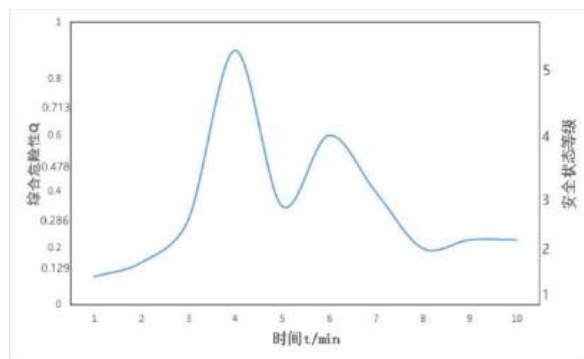


图11 安全风险状态等级动态图

通过本次危化品自动化预警模拟监测,可以得出以下结论:当仓库在初始化阶段,储罐红外温度为 35°C ,仓库环境温度为 25°C ,油罐(堆垛)间距 0.5m 时,得出危险性概率 Q 值为 $0.1 < 0.1288$,安全状态等级为 I 安全,指示灯为绿色。当 Q 值介于 0.1288 与 0.2862 之间时,系统显示安全状态等级为 II 较安全,指示灯为绿色;当 Q 值介于 0.2862 与 0.4784 之间时,显示安全状态等级变成 III 一般危险,此时指示灯变化为红色;当 Q 值介于 0.4784 与 0.7132 之间,显示安全状态等级变成 IV 较危险,指示灯显示红色伴随警报声;当 Q 值介于 0.7132 与 1 之间,显示安全状态等级变成 V 极危险,指示灯闪烁红灯伴随警报声。

由此得出,本次预警模型对于危化品仓储参数变化,可进行实时监测与预警危化品的安全状态。

5.3 总结分析

论文对危化品仓储监测系统进行人工智能数字化模拟测试,对场景模块、储罐模块等分别测试。根据测试结果,系统在导入变量后,监测系统可视化监管库区状况,在不同的参数状态下,实现实时、准确无误的监测与提示预警。

6 危化品仓储人工智能数字化预警系统的结论和展望

6.1 结论

目前的危化品仓储的常规监测已不能满足日益增长的危化品产品的增加,进出频繁的危化品风险的实时监测和预

警、产生预警信息不准确、预警报警不及时、数据汇总不系统等问题。为了解决危化品仓储的安全隐患,本研究报告用人工智能数字化等技术,汇合危化品仓储的各项参数,研究、设计了有效的预警模型,并进行了验证。

本研究报告的主要贡献如下:

第一,根据危化品仓储的“人的行为、物的状态、环境变化”三个维度,把有关的参数都列为监测目标,根据监测数据和危化品安全仓储的要求,以三个动态可监测的数据为目标,并通过人工智能数字化分析危化品发生危险的物理化学模型,根据预警参数与危险性概率的关系及其占比,建立了多参数融合预警模型,提高了危化品仓储预警的及时性和准确性。

第二,设计了人工智能数字化危化品仓储安全的预警系统,预警系统把信息查询、数据采集、场景监测、安全状态预警等利用人工智能数字化超宽带室内定位技术和 ZigBee 技术,实现危化品仓储监测参数的实时采集。场景监测模块利用实时油罐和堆垛定位数据和三维重构技术等,还原危化品仓储油罐和堆垛的位置,使危化品仓储的油罐(堆垛)现场可视化,并实时了解掌握危化品的安全距离。危化品仓储的人工智能数字化管理和及时可查询的有关信息模块,保证了危化品仓储的油罐(堆垛)等危化品的准确、瞬时预警。

6.2 展望

论文完成了危化品仓储人工智能数字化预警系统的监测信息采集、信息处理等功能设计,但随着市场为危化品需求的增加,危化品仓储的预警系统还需要进一步的研究、探索和提高。

其一,随着科学技术的创新发展、监测预警技术也要不断地提高,监测预警系统要及时完善和更新^[16]。

其二,危化品仓储人工智能数字化监测和预警系统的最重要的“人、物和环境”的三个维度的参数,随着人员素质的提高,危化品货物的种类增加和仓储环境的变化,都会对监测和预警带来不确定性,还要不断收集“人的行为、物的状态和环境变化”三个维度的参数,不断提高监测和预警的精确度和准确率。

参考文献

[1] 余红标,翁志达.危化品企业工业互联网建设与安全风险动态监测预警系统的融合[J].中国应急管理,2019(7):2.

- [2] 冯庚.基于WEB的智能油库信息管理系统设计与实现[D].成都:电子科技大学,2016.
- [3] 党昊驰.浅谈石油化工智能化工厂在企业安全生产中的应用[J].石油化工自动化,2021,57(S1):107-110.
- [4] 田娜.新一代信息技术助推油库企业数字化转型升级[J].当代石油石化,2021,29(9):5.
- [5] 苏俊全.基于Lab VIEW和U WB位的危化品智能仓储系统研究[D].天津:天津理工大学,2021.
- [6] 秦腾飞,葛广英,张如如,等.基于物联网的仓库环境监测系统[J].现代电子技术,2018,41(10):5.
- [7] 戴波,周泽或,张岩,等.危化品仓储堆垛安全距离监测系统设计与实现[J].化工学报,2019,70(2):9.
- [8] 张晓鹏.危化品基地安全预警评价模型构建研究与应用[D].舟山:浙江海洋大学,2017.
- [9] 孙毅.基于可拓理论的石油化工码头储罐区安全预警模型研究[D].天津:天津理工大学,2015.
- [10] 赵来军,钱莹,胡庆米,等.2006年至2017年中国危险化学品事故分析[R].2018.
- [11] Jaclyn Elizabeth R Santos, Franz Nicolas N Alfonso, Fernando C Mendizabal Jr, et al.建立化学和危险废物盘存系统[J].化学品健康与安全,2011.
- [12] Basher R .Outcome document: Chairs summary of the Second Session Global Platform for Disaster Risk Reduction[J]. Atmospheric Ozone,2009(32):387-391.
- [13] Quansah J E, Engel B, Rochon G L .Early Warning Systems: A Review[J].Journal of terrestrial observation, 2010(2).
- [14] 石峰,张保存,杜九懿,等.基于CPS危险化学品风险监控预警系统关键技术研究[J].辽宁石油化工大学学报,2020(6):40.
- [15] Flávio E. A. Horita,João Porto de Albuquerque, Marchezini V ,et al.A qualitative analysis of the early warning process in disaster management[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction,2016(5):22-31.
- [16] 朱长龙,蒋俊成,袁雄军.可燃材料泄漏后着火概率[C]//安全科技研究国际学术研讨会,2012.

致谢

在此感谢 InnoHK、香港特别行政区政府及人工智能金融科技实验室对本研究的支持。