

危险化学品储运检测中智能化仪表的开发与应用研究

吕行 王维栋 李云坤

山东天弘化学有限公司

摘要：随着危险化学品储运的不断发展，确保储运过程中的安全性愈发重要。智能化仪表技术的应用在实时监测和防控化学品泄漏方面展现了巨大潜力。本文介绍了危险化学品储运检测技术的基本要求，特别是智能化仪表在温度、湿度、气体浓度等关键参数监测中的应用。通过分析不同存储条件对危险化学品泄漏的影响，结合实际案例，研究了智能化仪表如何提高储运安全性并降低事故风险。

关键词：危险化学品；储运检测；智能化仪表；环境监测

危险化学品的储运管理是化工产业链中的关键环节，其安全性直接影响人员、环境及设施的整体安全水平。传统的储运安全管理主要依赖人工巡检与常规报警系统，随着化工产业规模的扩大和储运环境的日益复杂，传统手段的滞后性与局限性逐渐显现，难以满足现代安全管理的需求。

智能化仪表技术的兴起，为危险化学品的储运安全管理提供了更为精准、高效的解决方案。通过集成先进的传感技术、数据分析系统及自动控制技术，智能化仪表能够实时监测储运过程中的温度、湿度、压力、气体浓度等关键参数，并基于大数据与人工智能算法进行趋势分析与异常预警。一旦检测到潜在的安全风险，系统可立即启动应急响应机制，如自动切断阀门、调整通风系统或报警提示，从而在事故发生前采取有效干预措施。

本文将围绕智能化仪表在危险化学品储运检测中的应用现状、核心技术及其对安全管理的影响展开探讨，为提升危险化学品储运的智能化水平提供理

论支撑与技术参考。

1 危险化学品储运检测技术概述

1.1 危险化学品的分类与特性

根据《危险化学品安全管理条例》，危险化学品可分为爆炸品、压缩气体、易燃液体、易燃固体、有毒物质和腐蚀性物质等多个类别。不同类别的化学品具有各自独特的物理化学特性，其危害形式和储运要求也各不相同。爆炸品（如硝化甘油）在受热或受冲击时极易发生剧烈爆炸；压缩气体在温度升高时可能因容器受压过大而发生物理爆炸；易燃液体挥发性强，极易在空气中形成爆炸性混合物，一旦遇到明火或静电放电，即可能发生燃烧或爆炸；腐蚀性物质不仅可能对金属设备造成腐蚀，还可能对皮肤和呼吸道产生严重损害。

不同类别的危险化学品在储运过程中需要采取相应的安全管理措施。对于易燃液体，需采用防爆储罐并保持良好的通风条件，以防止可燃气体聚集；有毒物质（如氰化物、甲醛）则需配备专用泄漏检测仪和应急处理设备，以降

低人员暴露风险；腐蚀性化学品的储罐与输送管道应采用耐腐蚀材料，并定期进行防腐检测，以防止泄漏和设备损坏。准确把握危险化学品的分类与特性，并依据其物理化学特性采取针对性的储运安全策略，是减少事故发生、保障人员和环境安全的核心前提。

1.2 储运检测的基本要求

危险化学品储运检测的基本要求包括实时性、准确性、稳定性和耐用性。检测设备须具备高精度，及时发现潜在的危险，如泄漏、温度异常和压力变化，并减少误报。设备必须在复杂环境中长期稳定运行，具备抗干扰能力。智能化检测系统应支持数据存储与分析，提供决策支持，并符合相关法规标准。系统还应易于操作，并能实现各模块的无缝连接，提高整体效率和安全性。

在储运过程中，除了监测常规环境因素外，爆炸或其他事故引发的压力波也是需要特别关注的重大风险。爆炸或其他化学反应所产生的震波会对储存设施和周边环境造成巨大影响。特别是在危险化学品的储存区域，一旦发生爆

炸，压力波可能会对储罐和周围设施造成严重损害。了解不同压力波强度对储罐和周围环境的影响至关重要。

图1展示了2000 m³球形储罐受爆炸损坏后震波的超压图。图1中详细描绘了震波超压区域，标明了不同压力波强度对储罐和周围环境的影响范围^[1]。图中的蓝色和红色圆圈分别表示震波达到特定压力值的区域，帮助分析爆炸可能造成的安全风险。

1.3 智能化仪表的应用现状

智能化仪表在危险化学品储运检测中的应用日益普及，主要包括智能传感器、数据采集系统、无线通信模块和智能控制平台。可以实时监控温度、湿度、压力和气体浓度等关键参数，并在异常情况下触发报警。智能化仪表能够进行数据远程传输和集中管理。图2展示了在不同存储条件下，温度、湿度对气体浓度的影响^[2]。通过实时监测这些

环境因素，可以有效预防因环境条件变化导致的化学品泄漏事故，确保储运过程中的安全性。

2 智能化仪表技术基础

2.1 定义与特点

智能化仪表是集成先进传感技术、数据处理、通信和智能控制的测量与监控设备。与传统仪表相比，它具备自动化和智能化特性，能够自主采集、处理和分析数据，减少人工操作，提高监测效率和准确性。内置智能算法可自动识别异常并触发报警或控制措施。仪表具备高实时性和精度，能迅速响应储运环境的变化，提前发现潜在风险，预防事故发生。

通过无线通信模块，仪表可实现数据的远程传输和监控，支持云平台数据分析和优化，提升管理水平。智能化仪表具备模块化设计，能根据不同需求

灵活配置和扩展，适应多样化的监测需求。采用高质量传感器和耐用外壳，确保在恶劣环境下长期稳定运行。智能化仪表提升了危险化学品储运检测的自动化、智能化和精确化水平，是现代安全管理的重要工具。

2.2 关键技术与发展趋势

智能化仪表的发展依赖于多项关键技术。传感技术决定了数据采集的准确性，微机电系统（MEMS）传感器以其体积小、功耗低等优势广泛应用，未来将朝着高灵敏度和多功能集成方向发展。数据处理与分析技术借助物联网和大数据，实现了本地数据分析和智能预警，未来将更注重实时性和智能化。无线通信技术如5G、LoRa和NB-IoT提供高效、稳定的数据传输，支持设备互联互通。能源管理技术通过低功耗设计和能量采集技术延长设备使用寿命，未来将更注重绿色环保和自主供电能力。随着智能仪表应用的扩大，数据安全技术如加密和身份认证至关重要，确保数据完整性和机密性。系统集成和模块化设计提高了仪表的集成度和灵活性，满足不同储运环境需求。

在危险化学品储运检测中，智能化仪表不仅包括传感器和监测系统，还涉及安全控制装置，如紧急切断阀（ESD, Emergency Shut-off Valve）。紧急切断阀在化工储运系统中发挥至关重要的作用，其核心功能是当检测到异常压力、泄漏或温度变化时，迅速切断物料输送通道，防止事故扩大。智能化紧急切断阀结合了压力传感器、远程控制系统和自动执行机构，可实现快速响应，提高储运过程的安全性。如图3所示，该阀门内部由主轴、阀板、密封装置和控制机构组成，能够根据入口压力（红色区域）、大气压力（蓝色区域）和出口压力（黄色区域）的变化自动调整开关状态，确保系统的稳定运行。

紧急切断阀的发展方向将集中在智能化、远程控制、高效密封和抗极端

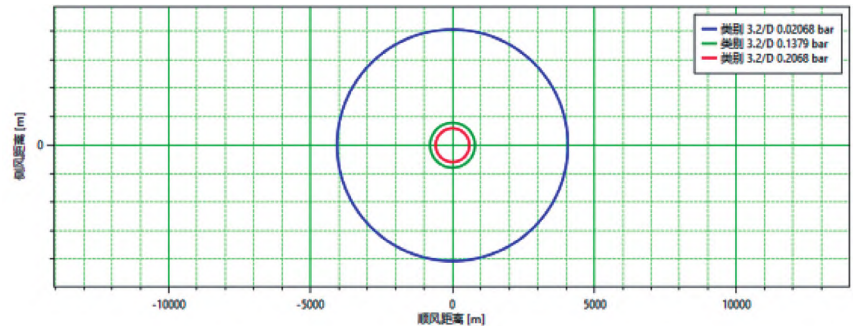


图1 2000 m³球罐受损爆炸后冲击波超压图

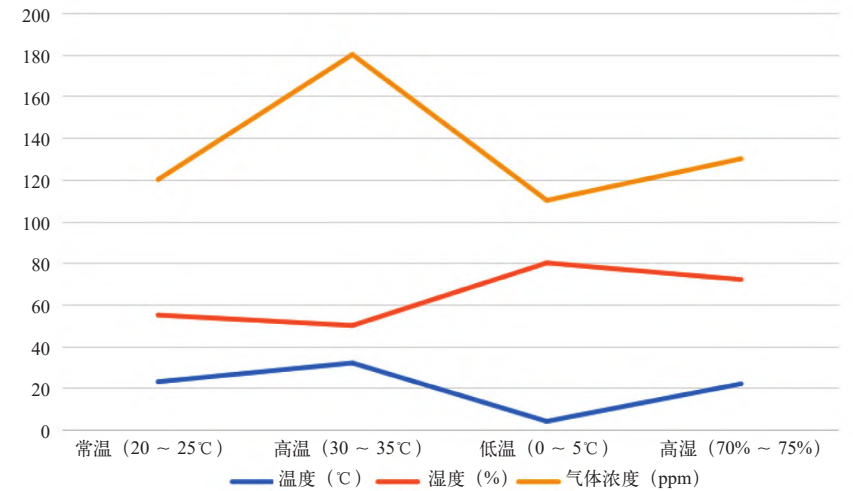


图2 不同储存条件下危险化学品泄漏检测结果

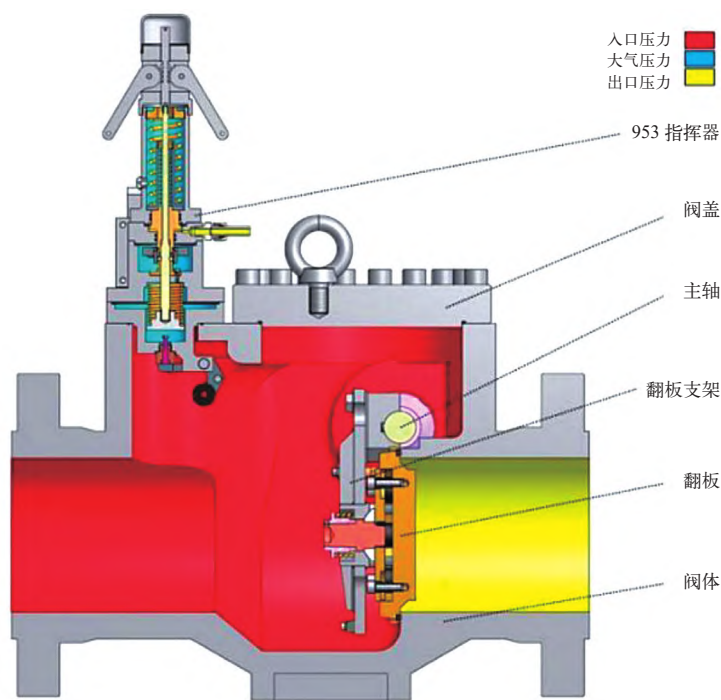


图 3 紧急切断阀结构图

环境能力等方面。结合 AI 算法和大数据分析，智能切断阀可基于历史数据进行预测性维护，提高系统可靠性。结合先进的材料科学，如耐腐蚀合金和自修复涂层，将进一步提升阀门在高压、高温及腐蚀性介质环境中的耐用性。智能化仪表与紧急切断装置的结合，推动了危险化学品储运系统的数字化、智能化和安全管理发展，为现代化工行业的高效安全管理奠定了技术基础。

3 智能化仪表的开发

3.1 需求分析

在危险化学品储运检测中，智能化仪表的开发需要从多个方面进行需求分析。明确监测参数，如温度、湿度、压力和气体浓度等，这些对于预防事故至关重要。仪表须具备高灵敏度和快速响应能力，确保实时性和准确性，以便及时发出警报并减少风险。设备的稳定性和耐用性也是关键，必须能在高温、低温、潮湿或腐蚀性环境下稳定运行。

智能仪表需要具备强大的数据采集、传输和分析能力，支持集中存储和

管理数据，为决策提供依据。系统的可扩展性和模块化设计也是必要的，以应对不同的储运场景和化学品类型。操作界面应简便直观，减少人为错误。需求分析阶段应综合考虑性能、环境适应性、数据管理和用户体验等因素，为仪表的开发提供依据。

3.2 系统设计

在完成需求分析后，智能化仪表的系统设计阶段需针对具体需求制定详细的设计方案。系统设计包括硬件设计、软件设计和通信架构设计三个主要部分。硬件设计需选用高精度传感器和可靠的控制单元，以确保数据采集的准确性和系统的稳定性。传感器的选择应根据监测参数的不同而有所区别，温度传感器须具备快速响应和宽温度范围，气体浓度传感器须具备高灵敏度和选择性。控制单元则须具备强大的数据处理能力和多接口支持，以便与各类传感器和通信模块无缝连接。软件设计是系统设计的重要组成部分。

智能化仪表的软件系统应包括数据采集、数据处理、报警管理和用户界

面等模块。数据采集模块负责实时获取传感器数据，并进行初步处理和滤波。数据处理模块则利用先进的算法对数据进行深度分析，如趋势预测和异常检测，以实现智能预警功能^[3]。报警管理模块需要根据设定的阈值和规则，及时发出警报并记录相关事件。用户界面应设计简洁直观，提供实时数据展示、历史数据查询和系统配置等功能，提升用户的操作体验。

通信架构设计需确保数据的高效传输和系统的远程管理能力。系统应采用先进的无线通信技术，如 5G、LoRa 或 NB-IoT，以实现大规模设备的互联互通和数据的实时传输。通信协议的选择也需考虑数据的安全性和传输的可靠性，确保监测数据在传输过程中不被篡改或丢失。系统设计还需考虑能源管理，通过低功耗设计和能量采集技术，延长设备的使用寿命，减少维护成本。系统设计阶段需综合考虑硬件选型、软件功能和通信架构，以构建一个高效、可靠且智能化的监测系统，满足危险化学品储运检测的各项需求。

3.3 系统集成与测试

完成系统设计后，系统集成与测试阶段是确保智能化仪表功能完善和性能稳定的关键环节。在系统集成过程中，首先需将各个硬件模块（如传感器、控制单元、通信模块等）进行有机组合，确保各组件之间的兼容性和协同工作。此过程包括硬件的物理连接、接口协议的匹配以及电源管理的优化。为了实现高效地集成，通常采用模块化设计方法，将不同功能的模块进行标准化接口设计，便于快速组装和更换。软件系统的集成也需同步进行，确保数据采集、处理和传输功能在整体系统中无缝衔接。

系统集成完成后，需进行全面的测试，以验证系统在实际应用中的性能和可靠性。测试阶段包括功能测试、性能测试和环境适应性测试。功能测试主要检查各项功能模块是否按设计要求正

常运行,如数据采集的准确性、报警机制的及时性以及用户界面的响应速度。性能测试则评估系统在高负荷条件下的表现,如多参数同时监测时的数据处理能力和通信系统的稳定性。环境适应性测试需要模拟实际储运环境中的各种极端条件,如高温、低温、高湿和有腐蚀性气体等,检验系统在恶劣环境下的稳定性和耐久性。

系统的安全性测试也是不可或缺的一部分,需确保数据传输的加密性和系统的抗攻击能力,防止数据泄漏和恶意攻击。通过一系列严格的测试,可以发现并解决系统设计和集成过程中存在的问题,优化系统性能,提升整体可靠性^[4]。经过系统集成与测试的智能化仪表应具备稳定、高效、智能和安全的特点,能够在实际危险化学品储运检测中发挥重要作用,保障安全管理的有效实施。

4 智能化仪表在危险化学品储运检测中的应用

4.1 应用场景

智能化仪表在危险化学品的储存与运输过程中具有广泛的应用场景,涵盖了从仓储设施到运输车辆的各个环节。在仓储环节,智能化仪表能够实时监测储存环境中的温度、湿度、压力以及有害气体浓度等关键参数,确保化学品在适宜的条件下存放,防止因环境因素引发的化学反应或泄漏事故。在大型化工仓库中,智能温湿度传感器能够连续监控仓库内的气候变化,自动调节通风系统,维持稳定的储存环境。

在运输环节,智能化仪表通过安装在运输车辆上的传感器,实时监控运输过程中的振动、倾斜、温度和压力等情况,确保化学品在运输过程中的安全性和完整性。智能化仪表还广泛应用于应急响应和事故预防系统中,能够在发生泄漏或其他突发事件时,迅速检测并报警,启动应急预案,减少事故损失。

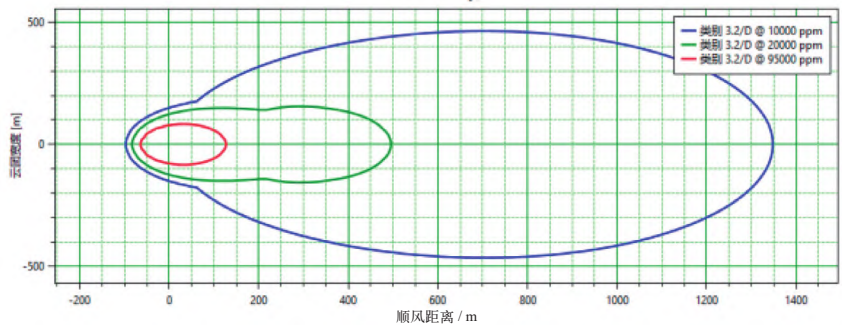


图4 液化气球罐受损完全破裂后液化气峰值浓度

在环境监测方面,智能化仪表能够对运输路线和周边环境进行实时监控,及时发现潜在的环境风险,保障周边居民和生态环境的安全。

4.2 应用案例

在实际应用中,智能化仪表在多个危险化学品储运项目中取得了显著成效。以某大型化工企业的液氨储存系统为例,该企业采用了智能温湿度传感器和气体泄漏检测仪表,实现了对储罐环境的全方位监控。传感器实时采集温度、湿度和氨气浓度数据,通过无线网络传输至中央控制平台,系统能够自动识别异常数据并触发报警,及时启动通风和冷却系统,防止氨气泄漏和储罐过热。

为了进一步理解化学品泄漏的风险,图4展示了液化球形储罐完全破裂后,气体的扩散情况。图中展示了不同浓度的气体如何扩展至周围区域,帮助识别潜在的高风险区域^[5]。在储运过程中,监测气体泄漏并及时处理至关重要,以避免对人员和环境造成严重影响。

5 结语

智能化仪表技术为危险化学品储运安全管理提供了有效的解决方案。通过实时监控储运过程中环境变化及气体浓度,智能化仪表能够提前预警潜在风险,帮助企业减少事故发生的概率,保护人员生命安全及环境健康。智能化仪表的普及与应用仍面临着设备稳定性、数据安全性和系统兼容性等挑战。

随着技术的不断进步,智能化仪表将在危险化学品储运领域的应用得到

进一步加强,推动安全管理水平的提升。针对当前技术面临的挑战,未来需要加强智能化仪表的研发力度,提升其在复杂环境下的稳定性与可靠性。数据安全技术将成为保障系统正常运行的关键,确保监测数据的完整性和机密性。智能化仪表将为危险化学品储运安全管理带来革命性的改变,并为应对未来日益严峻的安全管理任务提供有力支持。

参考文献:

- [1] 皇甫军红. 化工危险品储运安全管理探析——评《危险化学品储运》[J]. 应用化工, 2024, 53 (10): 2520.
- [2] 闫长岭. 基于事故风险的危险化学品汽车装卸安全管理浅析[J]. 流程工业, 2024(09): 18-20.
- [3] 张传刚. 油库危险化学品储运中自动化技术的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44 (02): 171-173.
- [4] 郑宇. 油气储运基地突发事件风险转嫁演变及应急机制研究[D]. 杭州: 浙江海洋大学, 2023.
- [5] 王文浩. 危险化学品重大危险源的风险管控与环境安全设计[D]. 天津: 天津工业大学, 2023.