

# 化工储罐区本质安全设计原则及风险防控技术创新研究

尹忠 (南通意特化工有限公司, 江苏 南通 226532)

**摘要:** 储罐区是化工企业中存放危化品的场所, 属于危险源, 其安全管理直接关系到企业的安全生产和公众安全。目前, 该区域一般存在布局设置不合理、检测技术落后、风险预警机制不完备等情况, 亟须从本质安全原则出发, 运用新技术进行安全管理控制。本文首先通过分析其功能、分类和在安全体系中的关键作用提出其功能重构、从工艺源头降低事故发生的概率、构筑设施安全保障能力、开展信息化管理策略的设计原则, 并详细探讨多元感知智能监控、数字孪生体实时危险识别、自主控制紧急响应和全流程风险信息循环处理四个技术发展路径, 以此提升化工企业储罐区的本质安全水平与防灾减灾能力。

**关键词:** 化工储罐区; 本质安全; 风险防控; 数字孪生; 多源传感

**中图分类号:** TE8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 036-0124-03

## Research on the principle of intrinsic safety design and risk prevention and control technology innovation in chemical storage tank area

Yin Zhong (Nantong Yite Chemical Co., LTD., Nantong Jiangsu 226532, China)

**Abstract:** The storage area for hazardous chemicals in chemical enterprises is a critical location, classified as a hazard source. Its safety management directly impacts the enterprise's production safety and public safety. Currently, this area often suffers from unreasonable layout, outdated detection technology, and an incomplete risk warning system. There is an urgent need to adopt new technologies for safety management based on the principle of intrinsic safety. This article first analyzes the functions, classification, and key roles of the storage area within the safety system, proposing principles for functional restructuring, reducing the probability of accidents at the process level, enhancing facility safety, and implementing information management strategies. It then explores four technical development paths: multi-sensor intelligent monitoring, real-time danger identification through digital twins, autonomous control emergency response, and full-process risk information circulation processing, all aimed at improving the intrinsic safety level and disaster prevention and mitigation capabilities of the storage area in chemical enterprises.

**Key words:** chemical storage tank area; intrinsic safety; risk prevention and control; digital twin; multi-source sensing

### 1 化工储罐区概述

#### 1.1 化工储罐区的功能

化工储罐区是化工工业的重要单元, 承担着生产、仓储 (包括原材料、中间体、成品及辅助液体的存放) 各种化学品的储存, 承载着对各类化学品的接收和暂存、再转运和暂时储存, 化学产品储存和运输货物的功能。它的位置、存放方式对化工生产的连续性、安全性有着非常重要的作用。除了保证在生产过程中的原材料的不间断地提供以外, 还有分类分储的作用。泵房、管道、上/下料区的结合, 来满足最终过程的产品收放, 期间考虑效率及安全, 需要相应的防止泄漏、监控仪器仪表、通排风及防火等装置。它会是一个合理的规划、完善的服务系统来保证化工生产安全、绿色及智能化的运行, 并成为前期的一道重要的安全生产大型风险管理控制的关键。

#### 1.2 典型储罐类型

对于化工储罐区来说, 主要储存的化学产品类型根据储存物性质、需求量大小和厂区内生产条件而定, 主要包含卧式储罐、立式储罐、球罐、浮顶罐和低温

罐等。立式固定顶储罐用于储存相对稳定的产品原料, 结构简单, 造价较低, 是大多数储罐区配备的基本储罐。浮顶罐主要用于储存易蒸发产品, 如汽油或苯类, 能减少蒸汽挥发量, 有利于安全及环保。球罐适合储存承受压力较大且危险性大或易燃易爆的物质, 一般应位于整个储罐区最核心的重点防护区域, 具有高强结构、严密密封性。低温罐适用于储存液化天然气、液氧等低温产品, 对保温、密封的性能要求都很高。不同性质的储罐按功能区和安全距离科学地在储罐内部做布局设计, 确保作业过程流畅性、实现安全隔离、利于火灾逃生, 体现了储罐区安全规划及管理系统的充分性。

#### 1.3 储罐区在化工安全体系中的关键地位

储罐区在化工企业安全体系中属于重要安全区域之一, 由于储存有大量易燃易爆且有毒液体, 因此, 储罐区域是主要风险区域且事故发生危险程度高, 是最主要的预防控制区域, 它包括规划、设计、建设、运行、监控与应急处置计划, 因此对于公司的安全运行有着重要的影响, 一旦此处发生泄漏、火灾或爆炸,

可能引起一系列后果，涉及周边生产单元一直到更大范围的灾难。因此储罐区是化工安全框架中心部位的系统，通过实施个性化的管理办法、分类的防范手段、智能化监测方法等手段，提供储罐区的可靠安全状态。它既是重要的化工物流中间环节，又是保护工厂与员工安全的安全防火墙。同时，储罐区又是化工企业应急体系优先控制目标，因此设有灭火车、水雾系统、事故池、事故逃生线，以增强对突发事件的反应能力、人员与设备的安全防护。

## 2 化工储罐区本质安全的设计原则

### 2.1 空间布局与安全距离控制原则

化工储罐区的空间布局对于预防及应对突发事件非常重要，决定了其操作安全，要避免火灾和泄漏事故的蔓延，需要重视储罐之间的防火间距，储罐与生产装置、厂房、道路和风向等因素的影响及逃生路线等等。在华南某大型石化企业扩建项目的方案设计中，新增储罐区按照物质分类放置各类储罐，设置了防火墙、单独放空管和排液沟。高密度原料桶及低密度产品桶设置了足够防火间距，设置了风雨报警装置以保障一旦事故发生不会扩大火势顺风蔓延。各个储罐之间设置必要的防火间距和满足消防和设备检修的通道，能够提高事故应急反应效率。其储罐区的空间布置原则为预防爆炸方向、预防泄漏方向及防火分区，通过分层次布局以最大程度控制事故蔓延，提高本质安全。

### 2.2 工艺流程优化与源头减灾原则

在实现化工储罐区的本质安全方面，有一个重要的途径就是通过工艺风险控制来降低危险源的显露度和进行源头灾害控制。例如，在东北某化工厂园区改造项目中，以往采用传统集散式管道布置方案，管道布置凌乱、维护维修不便、隐性泄漏点较多。改造中他们采用区段分散传输模式，每个储罐采用独立运输管道、泵组及连锁阀门，工艺流程设计遵循“最优流道+最少接头”，避免过多连接，高温、高压物料先进行一级冷凝处理后装入储罐，从根源降低储存物质状态能的水平。同时设有双向止逆阀和实时压力监测控制系统，对超压风险和倒流风险进行实时掌控，新的操作流程实现最大程度上降低储罐内的主要危险因素，运储过程更加平稳，泄漏、超压等常规事故的频次极大减少，从而实现了从设计层面控制危险能量源。

### 2.3 设备本质安全与自动控制集成原则

实现储罐区设备层面的本质安全需从选材、结构形式、防爆等级、自动化联控系统等方面进行综合考虑。以华东某乙烯建设项目的配套储罐区为例，综合采用了全防腐型双层储罐+真空夹套的设计，提高了

液体储存稳定性的同时降低了液体挥发事故隐患。采用的泵及阀门均为防爆及抗静电装置，并有专门的接地系统，从火灾源头上解决安全问题。并且配套采用自动化控制手段，将全部关键装置的状态数据集成到中心集控平台中，如液位、温度、压力、流量等，实现了装置故障的事故预测。其中中心集控系统具有联锁保护功能，当液位超限或者压力异常时，系统自动开启紧急切断阀、停泵，避免事故的进一步扩大。因此，储罐区以合适的设备为基底，通过自动控制手段加以实施，以储罐区为基础建立起一个多层级的风险防范体系，实现了本质安全层面的安全提高和效益提升。

### 2.4 信息可视化与安全管理一体化原则

对于危险物品储存场所——储罐区，需要采用信息化手段去提升场所的可视化管理及对风险的研判。在山东某精细化工企业的智慧储罐区建设中，通过基于地理信息系统(GIS)的三维构建、视频数据接入、应急联动搭建了“可视化+管理一体化”的安全运营模式。所有储罐数据被实时地记录于系统中，包括了液位报警、火警检测和泄漏检测等信息，也通过边缘计算节点将告警送回到平台，平台可通过数字显示看板实时监控每一个储罐的信息。可结合企业实际情况模拟出事故场景和逃生路线，同时结合风向考虑泄露范围作为现场指挥参考，同时还可以将员工的位置数据与工作岗位进行绑定，采用人员超限报警、电子围栏等手段进行关键区域的准入、操作权限的映射、行为控制，降低违章行为的发生。使得安全管理由被动到主动地转变，可以辅助形成全覆盖、全过程、全时段的动态联动体系。

## 3 化工储罐区风险防控技术的创新路径

### 3.1 基于多源传感的智能监测系统创新路径

储罐区作为重大危险源，则需要对全过程参数进行不间断地监测与预警，对异常工况及时做出响应。通过对温度、压力、液位、可燃有毒气体的浓度以及火花探测器等多元信息的综合运用，形成一个全面的风险预警系统。针对江苏某化工企业的甲醇存储单元，项目团队布置了含有分布式光纤温场监控仪、红外可燃气体传感器、激光液位计和人工智能视觉分析摄像头在内的全套综合解决方案，保障该仓库全时段的运行工况监测。每个传感器都接入到中央处理器上，一旦发现参数出现异常变动时，中央处理器都会进行数据之间的对比从而判断其是否在安全范围内。在某泄漏预警案例中，系统通过对液面下降速率与罐区气体浓度变化的综合对比，发现了底层的小型泄漏点并发出局部遮断处理指令，避免了恶性后果的发生。这种多元融合不仅可以拓宽监测覆盖面、提高监控精确度，

还可以依托 AI 算法不断自主进化报警算法,为储罐区构筑起前置式风险防线。

### 3.2 融合数字孪生的动态风险识别技术创新路径

数字孪生技术可用于化工库区动态风险识别与预测,是一种能够实现实物设备的实时虚拟建模,进而观察、管理储罐系统行为的技术。在北方某石化厂成品油储罐区,该企业建立了一个以 BIM+IoT 为核心的数字孪生模型,包括储罐材质、罐体容量、以往运行记录、压力测算影响变量等相关数据。该数字孪生模型基于实体罐的行为实时更新,通过 SCADA、传感网络接收液位变化、罐壁压力、外界温度等数据来驱动模型运行。当数值异常时,可触发类似事故后果的模型仿真及其传播路径预测。一次储罐区变压器受雷击接地电流异常,模型可在 2min 前预测变压器接头过热的风险,并指导操作员断电预防事故。数字化孪生技术可使库区安全事故由“滞后响应”到“动态预测”,提高了反应时效性和预防能力,成为将来可靠的安全保证手段。

### 3.3 应急联动系统的智能化协同控制创新路径

在高危化工储罐区,传统应急响应往往存在信息不对称、响应延迟、系统割裂等问题,制约应急处置效率。智能化协同控制的应急联动系统能够结合各类传感器输入信号、执行机构、人员及通讯体系,实现快速、准确、高效地响应。一储区处于滨海园区的苯类储存仓,系统采用“集中监控+局部响应”应急模式,任一警戒值偏离报警值就自动启动联动响应:出口入口气动阀关闭、泡沫灭火设施开启、备用电源切换、事故围堰坝口自动打开等。面对储罐法兰口泄漏事故,2min 时间内便完成各层次信息的获取,30 名人员按部就班到达事故现场,同时无人机的巡视视频实时传输至指挥室,提供全局性的监控视野。该技术摆脱储罐区应急的单点模式,实现“系统联动、人机协同”的闭环管控格局,显著提升了应急响应速度与现场协调性。系统可将不同事故类型、风险等级与处置流程固化为标准化指令模板,当触发条件满足时自动匹配对应方案,并向相关岗位推送操作指令与安全提示,减少人为判断偏差。同时,联动平台可根据实时监测数据动态调整响应策略,例如结合风向、扩散模型和人员定位信息,对警戒区域进行自适应修正,优化人员疏散与资源调配路径。通过将应急演练数据与真实事件数据纳入系统学习模块,不断修正响应参数与协同逻辑,使应急处置能力随运行时间提升,从而形成持续优化能力的智能应急保障体系。

### 3.4 全过程风险数据闭环管理的平台构建创新路径

储罐区风险管理不应仅聚焦事故响应阶段,应建

立规划—运转—预警—评估—改善的完整信息反馈循环系统。山东某大型合成化工企业一个新存储项目实施过程中,该企业自主开发一套存储区风险信息反馈循环系统,集成和融合设计数据库、运转数据、维护记录、历史缺陷清单和事件仿真平台,实现了风险信息统一采集及闭环跟踪。可结合存储设备长周期变化创建故障预判模型,通过不同来源的对比发现隐性风险事件。某个储罐频发的某种控制点的压力突变现象,该系统会自动识别为“可能是疲劳风险点”,通知维护班组提前更换那个部位的管道元件。也可以回顾风险事件,异常和改进事件都将自动计入风险案例,以供日后学习及系统更新。还可对接第三方的监管接口,实现在线实时申报备案及合规性审核。全过程数据闭环系统让储罐区的风险管理从被动应对转向主动控制,实现真正意义上的“可查、可管、可控”。

## 4 结语

在行业安全管理日益严格的背景下,化工储罐区作为易燃易爆物质集中存储的重要区域,通过提升其基本安全设计水平及防范其潜在危险已经成为化工储罐区域的基本任务和稳定生产运营、生态保护长治久安的前提,要通过充分地改进空间布局、工艺流程和设备本质安全提升空间区域的抗风险能力,并通过有效部署科技技术手段,结合多源感知、数字孪生、智能联动与全过程数据平台等前沿技术等手段提升化工储罐区潜在隐患辨识及风险防范的能力,从被动应对向防患未然转变,从单兵作战向系统协作转变。长远看,推进技术整合与机制改革,提升更高阶、更高效、可持续的储罐区本质安全防线。

### 参考文献:

- [1] 李国永,李启清,刘正纲,et al. 完整性管理方法在服役储罐中的研究与应用 [J]. 化工安全与环境,2022,35(37):5-5.
- [2] 王超平. 化工机电设备中自动化控制系统的应用 [J]. 工程建设(维泽科技),2022,5(6):31-33.
- [3] 王丽荆,雷李国明. 外贴式液位计在一氧化碳储罐的应用 [J]. 仪器仪表用户,2022,29(11):106-109.
- [4] 邹雄,刘纪昌,刘振学,等. 危化品覆土罐的设计优化 [J]. 当代化工研究,2023(23):169-172.
- [5] 刘鹏程,黄旭,蔡亮. 大型油库本质安全设计与管理技术探讨 [J]. 石油和化工设备,2022,25(12):155-157.

### 作者简介:

尹忠(1977.10-),男,汉族,江苏如皋,大学本科,工程师,研究方向:化工企业安全管理及安全运用。