

# 安全仪表系统在成品油与化工品罐区中的应用研究

刘 阳（深圳天阳工程设计有限公司，广东 深圳 518001）

**摘要：**成品油/化工品具有一定的存储危险性，易在罐区发生重大事故，直接威胁财产安全与人身安全，且会造成环境污染，为贯彻安全生产基本国策，应在成品油/化工品罐区应用安全仪表系统。基于此，本文首先阐述了安全仪表系统在成品油/化工品罐区中的回路配置及设计原则，并以某成品油/化工品罐区为实例展开安全仪表系统具体应用分析，从而确保成品油的安全性。

**关键词：**安全仪表系统；成品油罐区；化工品罐区；应用

《落实大型油气存储基地安全风险管控措施工作方案》于2022年被正式发布，为化工产业强化成品油/化工品存储的安全性提出了较高要求，且要求化工企业尽快完成成品油/化工品罐区的安全风险整改作业。面对该形势，化工企业为提高自身安全程度，消除潜在安全隐患，防止因整改不当而被执法处理，均纷纷引入安全仪表系统，用于加强对成品油/化工品罐区的安全管理。

## 1 安全仪表系统在成品油/化工品罐区中的回路配置及设计原则

### 1.1 回路配置

成品油/化工品罐区是化工企业安全风险较高的关键地区，为更好地贯彻《落实大型油气存储基地安全风险管控措施工作方案》，应对安全仪表系统的运行回路进行科学设置，要求安全仪表系统能够实现独立运行，在保障安全可靠基础上，在一定程度上减少中间环节，此外，考虑到安全仪表系统在成品油/化工品罐区中运行时可能发生内部故障问题，故还要求安全仪表系统具备较高的故障安全性，即使发生故障也可安全应对，并基于设计预定方式由故障状态转入安全状态<sup>[1]</sup>。

从开关量测量仪表角度来看，在正常工况下，开关量测量仪表触点闭合，若出现故障而进入异常工况，该仪表触点断开，若有必要，可按照“三取二”、“二取二”、“二取一”的方式配备开关量测量仪表。从传感器角度来看，要求安全仪表系统能够在传感器出现断线、CPU故障、断电等常见故障时仍可执行联锁操作而进入安全状态。从最终元件角度来看，最终元件在运行期间的出现信号中断、断电等问题时，要求安全仪表系统具备故障安全性，使最终元件可恢复安全状态。总而言之，对成品油/化工品罐区的安全仪表系统配置回路时，应从故障安全性角度出发，要求

安全仪表系统能够在各类异常状态下触发联结操作，由此良好应对异常问题，保障成品油/化工品罐区的安全性。

### 1.2 设计原则

安全仪表系统在设计时，应确保安全仪表系统能够采取多种措施应对安全风险。安全完整性水平是指在特定条件特定时间内，安全仪表系统能够正常发挥其安全功能的重要指标。按照功能安全国际标准IEC61508来看，成品油/化工品罐区的安全仪表系统在设计与应用时，应明确其安全完整性等级。安全完整性等级由每小时失效概率、平均失效概率两个指标构成，具体可见表1，结合表1可见，安全完整性等级越高，则安全仪表系统在成品油/化工品罐区运行期间出现安全功能失效的概率越低，因此，化工企业在设计成品油/化工品罐区安全仪表系统时，应结合实际情况确定安全完整性等级<sup>[2]</sup>。

表1 安全完整性等级

安全完整性等级	平均失效概率	每小时失效概率
1	$\geq 10^{-2}$ 且 $< 10^{-1}$	$\geq 10^{-6}$ 且 $< 10^{-5}$
2	$\geq 10^{-3}$ 且 $< 10^{-2}$	$\geq 10^{-7}$ 且 $< 10^{-6}$
3	$\geq 10^{-4}$ 且 $< 10^{-3}$	$\geq 10^{-8}$ 且 $< 10^{-7}$
4	$\geq 10^{-5}$ 且 $< 10^{-4}$	$\geq 10^{-9}$ 且 $< 10^{-8}$

## 2 基于某成品油/化工品罐区案例的安全仪表系统应用分析

### 2.1 案例概况

为增强该次研究的现实意义，选取某成品油/化工品罐区为实例具体分析安全仪表系统的应用情况。所选案例罐区主要用于存储丙烯化工品，采用球罐进

行存储,是案例石化企业的聚丙烯物料供应单元。该丙烯化工品罐区在物料输送时以1.75MPa为压力标准,采用升压器完成输送,在该罐区中,当压力达到1.9MPa后,则会触发球罐安全阀。该石化企业在最初建设期间,在各台丙烯化工品球罐中安装设置了自动控制阀,将自动控制阀与丙烯化工品球罐高高液位联锁,当丙烯化工品球罐出现冒罐、超压等现象,则会依托该联锁结构而触发自动控制阀。在该石化企业罐区内原配备雷达液位计、双法兰液位计,但雷达液位计在识别液位时存在不精准现象,易出现液位误差,故将原有的雷达液位计更换为双法兰液位计(其结构如图1所示),并将该液位计与自动控制阀联锁。但从实际运用角度来看,双法兰液位计同样具有液位识别误差,故在一定程度上影响了丙烯化工品罐区的安全性<sup>[3]</sup>。

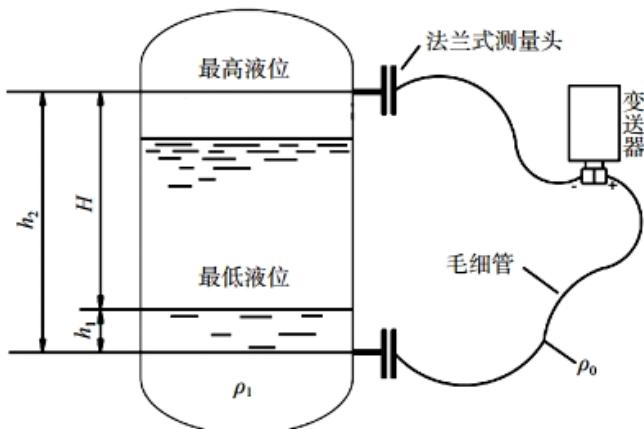


图1 双法兰液位计结构

## 2.2 安全隐患

案例石化企业丙烯化工品罐区存在一定安全隐患,使该企业产生了安全仪表系统改造应用需求。对现有安全隐患进行总结,如下所示:

### 2.2.1 缺乏紧急切断

案例石化企业在丙烯化工品球罐设计之初,其将自动控制阀视为联锁阀门,无法实现远程紧急切断,若需远程切断,需提前取消联锁功能。当丙烯化工品球罐在存储期间出现外围管线泄露等问题,球罐的自动控制阀不会针对泄露问题进行切断操作,若需操作需额外执行联锁摘除动作,由此直接影响了泄露安全问题应对的第一时机。

### 2.2.2 未认证自动控制阀门安全完整性等级

《石油化工安全仪表系统设计规范》、《落实大型油气存储基地安全风险管控措施工作方案》均明确

指出,石油化工企业罐区必须配备安全仪表系统,且需完成安全仪表系统的安全完整性等级确定,并要求丙烯化工品罐区安全仪表上系统的安全完整性等级至少需为2级。但在案例石化企业中,其所配备的自动控制联锁阀门并未认证安全完整性,自动控制阀门参数存在不达标隐患。

### 2.2.3 无独立安全仪表系统

《化工危险化学品生产经营单位重大生产安全事故隐患判别标准》中指出,若成品油/化工品属于剧毒液体、液化气体、毒性气体,则必须配备独立的安全仪表系统。但因案例石化企业丙烯化工品罐区建设较早,其安全仪表系统(即自动控制联锁阀门)与DCS日常操作系统共用一个控制系统,并未及时将自动控制联锁阀门单独划分运行。由此可见,案例石化企业丙烯化工品罐区不具备独立安全仪表系统,由此产生了安全隐患。在安全仪表系统与日常操作系统共同运行时,若日常操作系统故障,或出现网络波动情况,则无法及时触发自动控制联锁阀门而实现有效控制,甚至出现误动作现象<sup>[4]</sup>。

## 2.3 安全仪表系统的优化应用

案例化工企业为解决安全仪表系统现有问题,对安全仪表系统进行改造优化。

### 2.3.1 改造紧急切断阀

《化工危险化学品生产经营单位重大生产安全事故隐患判别标准》下发后,案例化工企业按照文件指导进行丙烯化工品罐区安全隐患整改,改造现有的安全仪表系统,用于消除重大安全风险,整体思路是通过改造丙烯化工品球罐底部进料阀与球罐液位计而优化安全仪表系统,增设2003高高液位警报联锁,一旦出现高高液位则立即将丙烯化工品球罐进料线切断。对案例化工企业安全仪表系统的紧急切断阀改造细节进行总结,如下所示:

优化液位计体系,将原有的16台双法兰差压液位计其中的8台更换为伺服液位计,将其安装至丙烯化工品球罐顶部,同时新增电子远传系统,用于保障液位计设备的数据传输效果。

经上述安全风险隐患分析可知,因缺乏紧急切断而导致丙烯化工品罐区存在安全隐患,为解决该问题,在安全仪表系统紧急切断阀改造过程中,在更换丙烯化工品球罐底部进口线的同时,新增27台紧急切断阀,用于完善丙烯化工品罐区的安全仪表系统。案例化工企业通过综合比选,最终选择中德自控科技所生产的

铸钢材质气动阀门，该气动阀门共有两个规格，其一为 DN150，其二为 DN100，泄漏等级、压力等级分别为 Class VI、300LB，此外，该气动阀门符合美标闸阀 API60 标准，除此之外，中德自控科技铸钢材质气动阀门的限位开关与电磁阀的防护等级、防爆等级分别为 P65、EExd II CT4，从安全完整性等级角度来看，该阀门满足表 1 所示的安全完整性 2 级。为保障该气动阀门的紧急切断效果，进一步增设 200 ~ 250℃ 熔点的易熔塞。在紧急切断阀正式运用之前，对其全行程关闭时间进行判定，发现 DN150、DN100 两种规格的气动阀门的关闭时间为 6s、4s。

为确保紧急切断阀改造效果，将丙烯化工品球罐阀门开关信号、储罐液位信号均引入改造后的安全仪表系统内，而将阀门回讯信号归至 DCS 日常操作系统内，以此实现不同阀门的分离。此外，为进一步强化丙烯化工品球罐阀门紧急切断效果，满足《化工危险化学品生产经营单位重大生产安全事故隐患判别标准》要求，在丙烯化工品球罐底部增设现场紧急切断按钮，将其设置在入口线阀门周边，以便现场人员进行紧急切断处理。

### 2.3.2 配备独立系统

《化工危险化学品生产经营单位重大生产安全事故隐患判别标准》指出，对于重大安全隐患需独立设置安全仪表系统，丙烯化工品符合该标准，案例石化企业在安全隐患治理期间，按照该标准而额外增设一套完整的独立安全仪表系统，全方位监视与把控丙烯化工品球罐的内部液位参数，用于判断是否存在安全风险，若出现高高液位现象，则应及时中断进出料阀门，杜绝安全隐患，防止出现财产与人员损失。在案例化工企业中，其针对丙烯化工品罐区所增设的安全仪表系统具有较高可靠，可独立于其他系统运行，当发现安全隐患时可第一时间进行紧急切断，其他系统不会对该过程产生干扰。

新增系统已完成安全完整性等级认证，符合表 1 所示的安全完整性 3 级，从结构角度来看，新增安全仪表系统机柜内配备电路开关、通信模块、电源模块、I/O 模件、中央处理器，硬件结构完整，能够在丙烯化工品球罐出现安全隐患时独立完成紧急切断与安全保护，同时触发警报信号，以便相关人员进一步检查处理。当丙烯化工品球罐出现安全隐患并触发安全仪表系统的紧急切断后，将会直接完成记录，形成档案进行归档。

### 2.3.3 紧急切断联结

结合上述分析可知，受到双法兰液位计检查精度的影响，易出现丙烯化工品球罐液位检测不精确现象，此时则会导致误报警问题。案例化工企业为解决该现象，不仅对部分双法兰液位计进行更换，还采用“三取二”方式将所有液位计信号与紧急切断阀联锁，借助该联结关系而实现安全隐患第一时间切断。

### 2.4 安全仪表系统的实际应用

在整个安全仪表系统中，基于“三取二”联锁保障了紧急切断阀的安全完整性等级，丙烯化工品储罐内配备多种液位计，若其中两台现实液位已达安全警戒线（85%），则会判定该丙烯化工品储罐已达液位上限，不可继续进料，此时将会触发紧急切断阀门，此外，若丙烯化工品球罐外部管线出现泄露问题，同样可借助该安全仪表系统进行紧急停车，实现远程操作。从安全完整性等级角度来看，改造后的安全仪表系统所运用的阀门符合安全完整性 2 级标准，增搭建的安全仪表系统满足 3 级标准，且在紧急切断阀联锁方面，所选用的“三取二”联锁同样满足安全完整性 2 级标准，由此可见，案例化工企业改造后的安全仪表系统能够良好保障成品油/化工品罐区安全运行要求。

## 3 结束语

安全仪表系统是否有效运行可直接影响成品油/化工品罐区的安全性，是保障化工产业安全发展的关键环节，在该情况下，化工企业应在成品油/化工品存储内单独设置一套完整的安全仪表系统，按照《落实大型油气存储基地安全风险管控措施工作方案》文件做好紧急切断阀的整改，借助安全仪表系统而降低安全风险发生概率。

## 参考文献：

- [1] 陈荣刚, 王卫益, 施辉. 安全仪表系统在成品油/化工品罐区中的应用与分析 [J]. 石油化工自动化, 2024, 60(1):100-102+104.
- [2] 柴金柱. 安全仪表系统 (SIS) 在丙烯罐区的应用与分析 [J]. 石油化工安全环保技术, 2022, 38(03):43-47+66+7.
- [3] 王丽君. 石油化工罐区安全仪表系统的 SIL 验证 [J]. 石油化工自动化, 2021, 57(S1):29-34.
- [4] 周亮. 液态烃球罐区安全仪表系统的风险评估与改进 [J]. 石油化工技术与经济, 2020, 36(02):36-40.