

油气管道站场 SIS 系统设置研究

王 凯 (中海油气(泰州)石化有限公司, 江苏 泰州 225300)

摘 要: 油气管道站场面临着复杂工况与高风险特性, 做好安全防护工作十分必要。SIS 系统是一种有效的安全防护机制, 可预防事故发生, 保证人员、设备与环境安全, 在油气管道站场环境下有着较大应用价值。本文简要介绍 SIS 系统的结构与特点, 探讨该系统在油气管道站场应用场景下该如何设置, 以优化设备运行与维护效果, 同时对 SIS 系统展开经济性分析, 致力于寻找投资与效益的平衡。

关键词: 油气管道; SIS 系统; 基本过程控制系统

0 引言

油气管道站场是石油天然气输送网络的核心枢纽, 承担着储存、处理、分配等重要职能, 其运行的安全性和可靠性直接关系到能源供应的连续性, 也关系到周边社区与自然环境的安全。随着社会经济发展, 人们在安全生产及环保方面的意识不断增强, 尤其是在高风险、高排放的石化及煤化工等行业, 对设备安全防护功能有着越来越高的要求^[1]。在此背景下, 安全仪表系统(SIS)的应用受到相关人员的密切关注。

SIS 系统是通过深入研究国际标准及相关实践, 从原有的过程控制系统(PCS)中分离出来的一套专门用于联锁保护的新体系, 可在软件与硬件层面上实现独立运作, 为工业设施提供更为可靠的安全屏障。同时, 科学设置 SIS 系统还有助于降低成本、延长设备维护周期, 是提升企业经济效益的重要途径。

1 SIS 系统概述

1.1 结构组成

SIS 系统实质上是一种控制机制, 可控制一个或多个安全仪表, 确保其功能得以有效实现, 常用于生产活动中可能出现的各种风险情景。该系统架构主要由三大组件构成: 测量部件、逻辑控制器与执行部件, 其中测量部件主要为各类传感器, 负责收集现场数据, 如温度、压力、流量等关键参数; 逻辑控制器负责根据预设的安全逻辑算法判断是否触发安全动作; 执行机构则负责执行安全防护指令, 如关闭阀门、启动应急设备等^[2]。硬件设备配合必要的软件系统, 可持续监测关键工艺变量, 达到安全防护作用。此系统通常需要与基本过程控制系统(例如分布式控制系统, 即 DCS)进行信息交互, 二者协同工作, 形成统一的仪表控制系统, 共同管理生产设施的运行。当 SIS 系统在工艺流程或生产设备中探测到潜在的危险信号或不利条件时, 可立即触发系统中预设好的安全程序, 发

出停机、关阀或其他紧急防护指令, 将生产工艺或整套装备回归至稳定且安全的状态, 从而预防安全事故的发生, 或最小化事故影响, 有效确保周围作业人员、装置设备以及自然环境的安全健康。

1.2 优势特点

SIS 系统在故障预测、标准化建设、全面自检、灵活配置与端到端的安全保障等方面都有着独特优势。该系统利用敏锐的感知系统, 可持续监控复杂且高危的作业环境, 精准识别潜在的安全隐患, 确保储运设施、管线和设备的安全运行。同时该系统拥有强大的自检功能, 其诊断覆盖范围广泛, 能够准确检测系统内部大部分问题, 确保故障被及时发现并处理。在设计方面, SIS 系统也有着强大的灵活性, 采用冗余逻辑表决技术, 集成了输入、逻辑处理与输出三个主要组件。尤其是可编程类型的 SIS, 其应用程序易于调整, 可根据工程需求灵活变更软件配置, 实现定制化的安全策略。SIS 注重传感器到执行器之间的完整路径安全, 配备了完善的 I/O 断线、短路等异常状况监测机制, 确保数据传输与执行环节的安全性^[3]。为了保证安全标准的统一与有效性, SIS 系统在研发之初就严格遵照国际认可的安全规范, 经过权威第三方机构的严格审查与认证, 只有获得相应资质, 才能正式应用于实际场景中。

2 SIS 系统在油气管道站场中的应用

油气管道站场的覆盖面广, 设备设施布局较为分散, 需要监测的指标主要包含压力、温度、流速及液位等方面, 可采用专用检测器件直接获取, 无需额外借助化工领域的辅助手段。相比化工厂的高密度控制, 油气管道站场的控制回路较少, 通常围绕压力、变频控制展开, 更注重效率与稳定。例如, 化工行业中制氧车间的控制回路数量可达两千以上, 其参数收集与调控方式繁复, 且对保护标准有着极高要求, 一般在

表 1 安全完整性等级

标准	ISA-S84.01	IEC61508	DIN V19520(TÜV)	PFD	说明
安全等级	SIL.1	SIL.1	AK1	10 ⁻¹ ~10 ⁻²	仅对少量的财产和简单的生产和产品进行保护
			AK2		
			AK3		
	SIL.2	SIL.2	AK4	10 ⁻² ~10 ⁻³	对大量的财产和复杂的生产和产品进行保护
	SIL.3	SIL.3	AK5	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴	对工厂的财产、全体员工的生命和整个社区的安全进行保护
			AK6		
		SIL.4	AK7	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵	避免灾难性（例如核事故）会对整个社区形成巨大冲击的事故
			AK8		

设计初期即确定安全完整性等级（SIL）为二级^[4]。相比之下，管道站点通常包含八个 PID（比例—积分—微分）控制回路，主要采用压力、变频单向或双向调节等方式，操作较简单。而在整个运输过程中，主要需要监测管道压力的变化，避免泄漏、超压等安全隐患。参照 SIL 等级列表（如表 1），结合输油管线的构造特色、运营属性及设计分析，将其安全完整性等级定位为一级，此等级更能贴合管道的设计、运维及检修的实际需求，既确保了必要的安全保障，又兼顾了经济合理性和操作便利性^[5]。

3 油气管道站场 SIS 系统的设置

3.1 总体原则

油气管道站场中，安全仪表系统（SIS）的合理设置至关重要，它直接关系到站场的整体安全性能与运营效率。设置 SIS 系统时，首先需针对油气管道站场这一应用场景展开危险与可操作性分析（HAZOP），明确其潜在风险与可能发生的事故情景，并根据分析结果确定安全仪表功能（SIF）各回路所对应的最低 SIL 等级。基于 SIL 分级结果进行 SIF 回路设计，包括传感器的选择、逻辑控制单元的配置以及执行机构的选定，确保整个 SIS 系统的 SIL 评级至少匹配最高的 SIF 回路需求。

同时，油气管道站场 SIS 系统设置中还要遵循以下原则：

- ①在监测到预设临界状态时，SIS 应立即介入行动，引导受控进程进入预先定义的安全状况；
- ② SIS 设计须采取故障安全构架，一旦执行安全功能，除非经过人为确认重置，否则不应自动重启或恢复运行；

③需配备与 SIL 等级相适应的故障诊断能力，涵盖从发现、记录到解决的全过程；

④诊断范畴应覆盖整个系统，包括信号感知组件、逻辑处理中心与动作执行部件在内的所有模块；

⑤在进行诸如打印输出、程序调整或界面展示等活动时，系统仍需保持实时数据采集与控制指令传输的功能不间断^[6]。

3.2 传感器设置

对于 SIL2 级别的 SIS 系统，其传感器需独立配置，特别是在油气管道站场内涉及爆炸风险区域，宜选择具备防爆特性的型号。根据 IEC 61511 国际标准指导下的选型规范，传感器连线与装配过程中，需采取有效措施防止信号失真，例如引入安全栅隔离、电缆屏蔽处理等，适当时增设多重传感器布局，以增加容错空间，从而增强系统的稳健性与持久服务力。传感器单元需具备自我监控与故障自检功能，能够捕捉并传达状态反馈及诊断提示，同时还应内置特定故障安全属性，譬如非零最小输出信号、断电自动回撤至安全状态等功能。考虑到工艺装置核心区域的检测元件乃 SIS 体系的关键构成，设计阶段要高度重视检测元件的品质与耐用性，确保其在各种恶劣条件下稳定无误地运作。

3.3 逻辑控制器设置

设置 SIS 系统时，其控制单元需选用获得 SIL 认证的可编程逻辑控制器（PLC）或是专门的安全控制器。例如，多数油气管道站场的 SIS 系统按 SIL2 标准构建，其逻辑控制器及其附属的硬件、软件与通信网络，都必须经由权威机构验证，确保符合 SIL2 安全完整性要求，才能有效构筑起高度可靠且具故障安全保障的体

系。控制器硬件应采用模组式架构，便于后续扩展与功能强化，其中心控制模块则依托先进处理器技术打造，以支撑复杂的运算与决策需求。这种配置不仅保证了系统的基础稳定性，也为未来的升级留足空间，符合现代化工业自动化控制的发展趋势。

3.4 执行机构设置

油气管道站场的 SIS 系统执行机构的主要构件为切断阀，可在出现异常情况时快速切断油气输送，隔离故障部位，其驱动方式主要包含气动、气液复合及电力驱动三类。各类驱动模式均可胜任安全指令的实施，不过，执行器件还需达到一定的技术规格。以气动型为例，当作为故障安全型执行器使用时，可选用气动单效应回归型或配储气罐的结构，以确保存储足够的能量来关闭阀门，在出现异常情况时实现即时密封。此外，此类执行机构需要获取相应的 SIL 资格认证，证实其在紧急状态下可靠关闭的能力，符合安全完整性等级的标准要求。

3.5 集成与接口管理

完成 SIS 系统设置后，需将 SIS 与现有的 PCS 系统、火灾气体探测系统（FGS）等其他安全相关系统集成，建立有效的信息交换通道，保证各系统间的高效协作。此外，还需制定详细的维护计划，定期检查系统健康状况，及时更换老化或损坏的部件，保持系统处于最佳工作状态，同时预留足够的备件，以便快速应对突发事件。

3.6 注意事项

在化工及煤化工领域中，SIS 系统的应用日渐广泛，其技术也日益成熟，但不同应用场景下的监测需求不同，站场作业与化工生产的控制特征有着显著差异，在设置 SIS 系统时，要避免盲目照搬化工及煤化工生产中的 SIS 设计理念，否则容易造成油气站场 SIS 系统的功能失衡，既不利于安全生产，也不利于资源的有效配置。

例如，过分强调提升 SIS 的功能安全等级，而忽略了系统的可用性需求，因忽视设备的正常运转率与维护便捷性，反而影响了日常操作的流畅度与长期稳定性；或是设计中过于注重控制器组件的选择与配置，轻视了现场测量仪器和执行机构的设计选型，导致前端感知与末端执行环节的性能匹配不佳，无法有效地将控制命令转化为具体行动，从而削弱了整体系统的效果与响应速度。

又如，在设置 SIS 系统时，只注重系统自身的功

能特性，过分重视硬件配置，而忽略安全生命周期各个阶段的工作，如前期的 HAZOP 分析、安全需求规格书（SRS）以及后期的运作维护规程，均会增加系统风险。设置 SIS 系统时必须认识到，系统的失效隐患并非仅来源于硬件与软件的内在缺陷，更可能源自设计疏漏与管理体系的不健全。因此，保证 SIS 效能的关键在于整合各个环节的力量，确保从规划、实施到维保全过程的精细化管理，同时加强人员培训与资质评估，实现软硬兼施、内外兼顾的全方位安全保障体系。

4 油气管道站场 SIS 系统的经济性分析

油气管道站场 SIS 系统的经济性分析主要可从成本和经济效益方面展开，评估其总成本与收益比，确保安全投入的价值最大化。SIS 系统应用成本主要包含硬件采购、系统设计、软件许可、网络搭建、集成调试等初始投资以及后期功能检查、参数校准、备件更换、技术升级、故障维修等运行维护成本。而经济效益方面，SIS 系统无法为油气管道站场直接创造经济价值，但可有效预防故障发生，减少意外停工时间，维持油气管道站场的连续稳定运行，降低故障造成的物料损失、维修费用、违规罚金、声誉损失等，具有较高的潜在经济效益。

在进行安全仪表回路的设计与选型时，应全面考虑测量单元、逻辑控制单元及执行单元三大核心组件，确保三者间高度协同，同时将设计贯穿于整个安全生命周期，详细考虑各阶段的设计规划、工程实施，直至最终的操作与维护，实现全程参与与深度融入。在选型设计时，要在满足功能安全等级的基础上寻找最佳平衡点，既确保系统的必要防护水平，也防止不必要的过度设计。过度设计虽能短期内提供更高层次的安全冗余，却可能伴随高昂的成本代价，包括初始投资、运行能耗及维护费用的增加。因此，理想的设计方案应在保证功能安全性的前提下，追求性价比最大化，避免资源浪费，实现经济与安全效益的双重优化。

在油气管道站场环境下，SIS 系统的设置与应用，将涉及到工艺系统、仪表系统、通信设施、电力自动化系统等多个子模块，并提出更为严苛的技术标准，导致初期投资额度增加。相较于独立配置一套专门的 SIS 系统，采用集成化的策略，即将原有各项保护措施与工艺系统、过程控制紧密融合，能够避免重复建设，降低运维复杂度。根据油气管道压力保护特点，可采用 SIS 系统与 PCS 系统整合的策略，做好压力控

制和超压保护系统设计,辅以工艺优化、应急机制、安全管理等综合措施,通过深度融合各方面优势,形成互补效应,规避单一行业规范的局限。一方面,可以有效避免因“过保护”引发的问题;另一方面,系统架构的优化重组有利于强化运营效率,减少维护负担,从而在保证安全的前提下,提升整体的可靠性和成本效益。

5 结语

SIS 系统在化工等行业的应用日益广泛,同时也推动了输油管道站场安全体系的优化升级。在油气管道站场环境下,设置 SIS 系统时需考虑其需求与特点合理进行设置,提高检测元件选型要求,明确控制部件、执行部件的安全完整性等级,在设计初期至后续运维全过程,深化危险与可操作性研究,并做好维护管理,确保 SIS 效能的充分发挥。

参考文献:

[1] 刁宇,李秋娟,刘朝阳,等.油气管道安全仪表系统

检验测试方法[J].油气储运,2024,43(08):144-151.

[2] 朱云飞,张硕.安全仪表系统提升油气管道装置安全性探析[J].中国设备工程,2021(08):101-102.

[3] 王文,金天保,祖明栋.基于 LOAP 分析油气管道站场 SIL 评级的研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(21):3-5.

[4] 焦春锋.安全仪表系统在输油气管道中的应用[J].化工管理,2019(17):59.

[5] 张冠宇.天然气管道站场安全仪表系统的设计与实现[J].自动化博览,2020,37(12):82-86.

[6] 付超,陈晓,朱凯云.安全仪表系统在天然气管道压气站中的应用分析[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(18):111-112.

作者简介:

王凯(1988-),男,汉族,山东泰安人,本科,工程师,研究方向:仪表控制系统管理。

