

石化企业仪表控制系统常见的安全隐患探析

李长寿 张素君

山东欣鹏安全技术咨询有限公司

摘要：为了确保仪表控制系统在监测和控制石化生产过程中关键参数方面的准确性和稳定性，对某石化企业现有的仪表自动控制装置进行专项安全诊断。通过资料对比与现场勘察两种方式对石化企业现有的安全仪表装置涉及的软件界面、控制逻辑、检测执行元件等内外部件产生的安全隐患进行监督检查并进行归纳分析。结果发现该企业在仪表控制技术领域产生的安全隐患中 82% 集中在生产现场区域，DCS 报警和 SIS 系统类安全隐患数量占全部隐患数量的 55%。最终总结出石化企业仪表控制系统在日常运行中可能产生的隐患类型及改进措施。

关键词：仪表控制系统；DCS 系统；SIS 系统；检测报警；安全诊断

石化行业是国民经济的支柱产业，全国大型石化项目的投入规划和建设依然持续增长。石化企业生产过程涉及大量的化工反应、物料输送和能源转化等高频环节，生产一线具有高温高压、易燃易爆、有毒有害、连续作业以及链长面广等特点，生产经营活动固有风险高，重特重大事故依然呈现出高发频发的严峻势头^[1]。

在生产工艺复杂和操作条件苛刻的影响下，仪表自动控制技术呈现出的精细化和智能化大大提高了生产过程的稳定性和可靠性，具有针对性的安全仪表系统还可以提高石化企业运行的安全性，为了排除生产过程中潜在的危险，在生产过程的每一个环节都要进行监控，并设置危险报警和联锁停车等自控措施^[2]。安全仪表系统是石油化工装置保护层中最后一道主动保护措施，已被广泛地推广和应用^[3]。

另一方面，安全仪表系统自身的传感器、逻辑运算器和最终执行元件在操作过程中也面临着全生命周期的

安全风险，很容易因被忽略而发生故障，也是整个石化设备实现安全运行的薄弱环节。

1 监督检查情况

山东省某石化企业成立于 2016 年 9 月，注册资本 45 亿元，已建成大型混合芳烃及配套工程项目，包括 420 万 t/a 渣油脱蜡、230 万 t/a 延迟焦化、4 万 m³/h 制氢、150 万 t/a 混合芳烃加氢、3 万 t/a 硫磺回收等装置、200 万 t/a 对二甲苯、260 万 t/a 重油加氢裂化和 250 万 t/a PTA 项目。地方国资部门为了落实安全生产“三管三必须”监管责任，组织对该石化企业的生产装置和储存设施涉及的仪表控制装置进行了全面诊断。

安全诊断共计发现涉及仪表控制系统的安全隐患有 82 条，其中安全管理资料方面存在 15 条，安全生产现场方面存在 67 条。安全管理资料方面存在的安全隐患主要体现在安全操作规程和运行记录方面存在不足。安全生

产现场方面存在安全隐患主要体现在警示标识、仪表或控制阀、气体报警器、DCS 报警、SIS 联锁、SIS 系统电气以及 SIS 系统软件等方面存在不安全状态。该石化企业仪表控制系统领域诊断出的安全隐患情况见表 1。企业仪表控制系统领域诊断出的各类型安全隐患数量百分比情况如图 1 所示。

通过对图 1 的分析可知，企业在仪表控制系统领域产生的安全隐患中 82% 集中在生产现场区域，其中 DCS 报警和 SIS 系统类安全隐患数量占全部隐患数量的 55%，其中 SIS 系统产生的安全隐患种类最多，整体数量的百分比最大。另一方面，DCS 报警方面产生的安全隐患数量在所有安全隐患具体类别中占比最大。此外，仪表、控制阀、气体报警器等系统末端检测和执行元件方面产生的安全隐患数量占比之和高达 20%，同样应该被重视。

2 安全隐患分析情况

对于石化企业来说，定期组织开

表 1 企业仪表控制系统领域的安全隐患情况一览表

序号	安全隐患领域		安全隐患具体类别	隐患数量	隐患主要涉及内容
1	安全管理	安全规程	安全规程不健全	6	安全规程和工艺卡片相关规定不相符；两者中缺少监控指标或与 DCS 控制实际设置的指标不相符
2		运行记录	运行记录不完整	9	运行记录缺少明确的结果、签字，甚至存在错误结论
3		警示标识	警示标识有缺失	6	关键阀门和压力表无位号及检验标识
4		仪表或控制阀	仪表缺失或异常	5	仪表设置不全，指示错误或偏差
5			控制阀设置不合理	5	控制阀缺失，防腐等管理不到位
6		气体报警器	气体报警器安装、检验不规范	7	气体报警器安装位置不合理；检验机构的检验资质缺失及报告不准确
7	生产现场	DCS 报警	DCS 系统高低报警、参数、报警分析等不到位	21	DCS 系统缺失高高、低低报警设置；报警参数和数字单位设置不合理；没有报警后的分析过程及处理结果
8			SIS 联锁缺失	12	储罐或设备未设置某项联锁
9			SIS 联锁未投用	5	储罐或设备联锁未投用或未及时维修
10		SIS 系统	SIS 系统电气接线、接地不规范	4	SIS 系统接地极没有连接到机柜间地板下的接地板上；接线盒电缆接头缺少密封接头
11			SIS 系统软件功能不齐全	4	软件上的历史曲线功能未开放；软件画面显示不全面

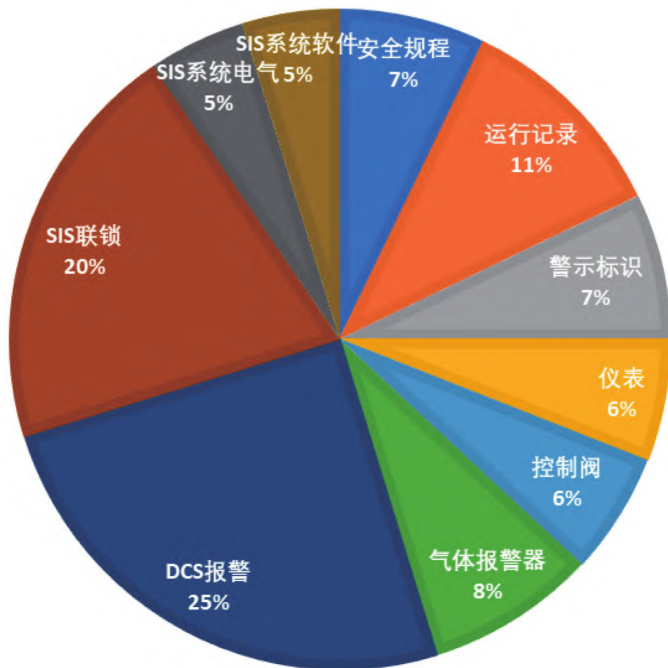


图 1 安全仪表领域各类型安全隐患数量百分占比

展仪表自动化设备预防性维护是保障仪表自动化设备能够长期处于稳定运行的关键条件。但是目前很多石化企业在进行该项工作时，检修周期存在着严重的滞后性，往往是等到设备真正出现损失或故障之后才开始维护和检修^[4]。这为仪表控制系统留下了潜在的安全隐患。

2.1 安全管理领域典型隐患分析

该企业安全仪表系统表现出的安

全管理领域的突出问题主要体现在安全操作规程不规范和安全运行记录不完整等方面。安全操作规程不规范主要体现在安全规程、工艺卡片、DCS 控制等 3 个方面对工艺安全运行参数规定的相互矛盾，更甚者缺少关键性的监控指标，无法实现 DCS 控制系统对生产装置中的流量、压力、温度等参数的精准控制。如：加氢裂化装置安全操作规程中的工艺指标与实

际执行不符，且无变更手续；工艺指标 DCS 报警上下限设置不合理，系统压力 0203-PICA-11202 控制指标为“16.3±0.1 MPa”，但 DCS 高报警值设置为 17.17 MPa，报警起不到预期目的。工艺技术文件中有工艺报警台账，但 DCS 系统中却未进行设置。

另一方面，安全运行记录方面的安全隐患数量在安全管理领域占比 60% 以上，常常表现在运行记录缺少明确的结果、签字，甚至存在错误结论。主要原因表现在相关人员的工作不认真，执行不到位。如：芳烃装置 0265-C-801 单机试车报警 / 联锁调试记录，没有明确出调试结果是否合格，缺少监理单位、施工单位签字盖章。220 万 t/a 连续重整联锁 / PLC 回路号 0211-C-202 调试记录中防喘振阀打开操作项，无确认、复位、调试结果结论。

2.2 生产现场领域典型隐患分析

该企业安全仪表系统表现出的生产现场领域的突出问题主要体现在警示标识、仪表或控制阀、气体报警器、DCS 报警、SIS 系统等方面。当前石油化工装置普遍配置了相应的 SIS 系统，但目前 SIS 系统在设计、安装、操作和维护管理等阶段，还存在危险与风险分析不足、选型设置不当、冗余容

错不合理等问题^[5]。在所有的安全隐患中以 SIS 系统产生的安全隐患类型和数量最多, 隐患的隐蔽性最强, 这说明按照安全要求规范和维护体系中规定的对 SIS 系统进行定期测试和检查是至关重要的^[6]。SIS 系统产生的安全隐患通常体现在 SIS 联锁缺失、SIS 联锁未投用、SIS 系统电气接线或接地不规范、SIS 系统软件功能不齐全等方面。其中 SIS 联锁缺失产生的安全隐患数量占整个系统产生安全隐患总量的 48%: 如液氨罐构成二级重大危险源, 但未设置独立的安全仪表系统; 加裂装置氢气压缩机缓冲罐没有液位联锁; 柴油加氢反应进料未设置流量低低联锁, 存在流量假指示(实际已低于最小流量)。SIS 联锁未投用主要表现在联锁已建立但未正常使用: 如液化烃罐区部分储罐联锁未投用, 紧急切断阀处于关闭状态; 加氢裂化装置联锁回路摘除管理不到位, 联锁回路“0203-UZ-PID212”处于摘除状态, 但无摘除手续, 且当天夜班交接班的记录为该回路依然在正常使用。SIS 系统电气接线或接地不规范主要体现在爆炸环境中接线盒电缆接头缺少密封接头, 穿线管与现场仪表间未采用挠性连接管做过度保护; SIS 系统接地极没有连接到机柜间地板下接地板上。SIS 系统软件功能不齐全主要表现在系统中可燃有毒气体历史曲线功能没有开发或者未对操作人员开放; 缺少二级报警到消防的报警及现场局域报警的功能。

DCS 系统在石化装置生产过程中对各个测量点起到监控作用, 并在被测参数一旦出现较大波动时能够较好地操作人员给予提示, 随着报警数量的泛滥, 对于报警的优化和管理等问题越来越突出。DCS 报警产生的安全隐患数量在安全隐患类别中数量最多, 常常表现在 DCS 系统存在大量的缺失高高、低低报警设置; 报警参数和数字单位设置不合理; 缺少报警后的

分析过程及处理结果, 且以上问题存在较多的重复性。如柴油加氢循环机 C102 一级密封气泄漏流量未设置高报或高高报警, 存在干气密封损坏, 泄漏流量无提示可能导致循环机停机风险; 柴油加氢装置 DCS 报警值设置不合理: 重沸炉出口温度 TIC20507, 工艺卡片为 255 ~ 290℃, 安全操作规程为 275 ~ 310℃, 高报警为 300℃; 联锁逻辑中加热炉分支流量单位为 Nm³/h, 而 DCS 中指示为 t/h, 流量单位不统一。260 万 t/a 重油加氢裂化压缩机 DCS 报警系统中, 9 月 20 ~ 21 日位号 M0203-LIA-14202L 润滑油液位出现低报警, 处理不及时, 没有原因分析、风险分析及应急预防措施。

气体报警器、仪表和控制阀等控制系统末端探测或执行元件方面产生的安全隐患数量占比之和高达全部安全隐患数量的 20%, 此类检测、执行元件设置产生的安全隐患具有显而易见的特点, 比较容易被发现和整改。按照规定, 气体检测报警系统应独立于其他系统, 需要将可燃气体二级报警信号、可燃气体和有毒气体检测报警控制单元的故障信号送至消防控制室^[7]。

气体报警器产生的安全隐患表现在气体报警器安装位置不合理; 检验机构的检验资质和报告不准确。如: 加裂装置氢气压缩机厂房中, 压缩机上部可燃气体报警器安装时传感器没有朝下; 可燃有毒气体检定第三方机构资质缺少授权附件、授权区域, 及在检定证书上没有注明检定时用的标准气体。

仪表和阀门表现出的安全隐患主要体现在仪表设置不全、指示错误或偏差; 控制阀设置不合理、防腐等管理不到位。如: 现场较多仪表指示错误或有明显偏差; 加氢裂化装置原料过滤器出入口差压仪表中出口压力取压点不规范。预处理系统的原料泵和注水泵出口有单向阀, 未采用两个不同类型、

不同生产厂家的单向阀。硫磺联合装置最北侧液氨储罐切断阀由单作用变为双作用, 失去故障安全性功能。警示标识方面存在的安全隐患较为单一, 主要集中在关键阀门、压力表等元件缺少位号或检验标识等信息。

3 结语

仪表联锁系统作为过程控制领域的安全保护层中的重要一环, 是安全风险的重要组成部分。通过对该石化企业安全仪表装置的安全诊断, 为该石化企业开展安全生产开出“良方”, 同时也为各级监管部门对大型石化企业开展安全监督提供了成熟的指导经验。

参考文献:

- [1] 李长寿, 张素君. 石油化工企业过程安全文化建设要素的思考[J]. 化工安全与环境, 2024, 37(04):31-34.
- [2] 胡平杰, 刘彦臣. 现役装置安全仪表系统的设计策略评述[J]. 化工自动化及仪表, 2019, 46(08):603-609.
- [3] 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(01):100-102+104.
- [4] 王珠, 吴岩松, 王少贤, 等. 炼化装置中检测仪表与执行机构的异常诊断[J]. 化工自动化及仪表, 2023, 50(01):88-94.
- [5] 邓锐, 刘美佳, 平洋, 等. 安全仪表系统 SIL 定级及 LOPA 的应用研究[J]. 石油化工自动化, 2023, 59(01):57-60.
- [6] 方来华, 时训先, 刘硕, 等. 安全仪表系统全寿命期信息安全策略研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(S2):33-40.
- [7] 马文礼, 谢翼南, 刘俊生, 等. 加氢装置 DCS 报警管理分析软件的开发与应用[J]. 石油化工自动化, 2020(5):54-56.