

液化气储罐区防爆仪表柜的安全隐患与升级路径研究

蔡铭

上海东方能源有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i11.5025

[摘要] 针对在液化气储罐区所存在的防爆仪表柜方面的信号传输存在误差、设备出现老化且与防爆等级不相符等安全方面的隐患,本研究对风险的形成原因进行系统的分析,基于就地进行显示以及信号直接采集理念,提出了包含现场仪表硬件开展升级、仪表柜进行防爆化改造以及分步实施的策略等内容的系统升级的路径。研究结合具体的工程方面的实例,从作业进行审批、过程实施控制一直到组织开展验收,全面地阐述在易燃易爆的特殊区域之内的安全以及工程管理方面的实践。结果显示,该综合性的升级改造方案能够有效地提升仪表系统的可靠程度、确保防爆方面的安全,为同类的老旧设施的技术进行更新以及风险管理提供具有可操作性的参考。

[关键词] 液化气储罐; 防爆仪表柜; 安全隐患; 升级改造; 工程管理

中图分类号: U469.75 **文献标识码:** A

Study on safety hidden trouble and upgrading path of explosion-proof instrument cabinet in liquefied gas storage tank area

Ming Cai

Shanghai Dongfang Energy Co., Ltd.

[Abstract] Aiming at the potential safety hazards in explosion-proof instrument cabinets in liquefied gas storage area, such as signal transmission error, aging of equipment and non-conformity with explosion-proof grade, this study systematically analyzes the causes of the risks, and based on the concept of on-site display and direct signal acquisition, puts forward a system upgrade path, including on-site instrument hardware upgrade, instrument cabinets explosion-proof transformation and step-by-step implementation strategy. Combined with specific engineering examples, the study comprehensively expounds the practice of safety and engineering management in special flammable and explosive areas, from operation approval, process implementation control to organization acceptance. The results show that the comprehensive upgrading scheme can effectively improve the reliability of the instrument system, ensure the explosion-proof safety, and provide an operable reference for the technical update and risk management of similar old facilities.

[Key words] liquefied gas storage tank; Explosion-proof instrument cabinet; Security risks; Upgrade and transformation; Engineering Management

引言

液化气作为城市方面重要的能源,储存安全是极为重要的。储罐区当中的压力、温度、液位等仪表,对罐体状态进行实时监控、对安全生产予以保障的核心性质的感官,可靠性直接决定了风险预警以及处置的时效性。然而,国内有很多在早期进行建设的液化气储配站,仪表系统普遍都面临着设备服役的周期比较长、技术架构比较落后等共性问题,具体的表现现场仪表以及二次显示系统老化的情况十分严重,信号传输的环节比较多从而导致数据容易受到干扰而失真,关键的元

器件停产难以进行维修和更换。更为突出的安全隐患在于,部分仪表控制柜的防爆等级和实际安装区域的危险等级并不相符,设备本体不符合现行的防爆规范要求,构成了潜在的风险源。不但影响生产数据的准确性以及操作的便捷性,更对罐区长期的安全稳定运行构成了严峻的挑战,进行系统性的评估以及升级已刻不容缓。

1 液化气储罐区防爆仪表柜的安全隐患分析

1.1 信号传输误差与数据失真

现有仪表系统的架构设计存在固有缺陷,数据流经路径冗

表1 仪表系统分步升级实施计划表

改造阶段	实施区域	涉及储罐/仪表数量	主要工作内容	计划/完成时间
一期工程	卧罐区	6台储罐, 12台仪表	更新为带就地显示的智能变送器, 敷设新信号电缆至PLC。	2021年(已完成)
二期工程	球罐区及泵房	2台球罐, 约6台仪表; 1套系统控制柜	球罐仪表更新, 安装防爆过渡控制箱, 取消所有二次显示仪表, 全系统整合。	2025年3月完成

表2 防爆电气安装工程主要危险因素及控制措施

序号	作业活动	危险因素	可能导致后果	控制措施
1	焊接接地装置	电焊工无有效操作证	触电、火灾	作业前核查特种作业操作证, 持证上岗。
2	接地沟挖掘	未佩戴防护用品	机械伤害	作业人员必须穿戴安全帽、防砸鞋、手套。
3	操作砂轮机	砂轮片破裂、火花飞溅	人身伤害	使用前检查砂轮机防护罩完好, 操作者佩戴防护面罩。
4	使用移动电具	电线绝缘老化破损	人员触电	每日使用前检查, 绝缘电阻不小于2MΩ, 破损立即更换。

长且环节复杂。现场安装的压力变送器、温度传感器及液位计作为一次传感单元, 其采集的模拟或数字信号需经过数十至上百兆电缆传输至位于独立泵房内的仪表控制柜。信号在长距离传输中易受现场电机、变频器等强电磁设备的干扰, 导致信号衰减或畸变^[1]。仪表控制柜内的信号转换模块与数显表作为二次仪表, 负责对接收信号进行转换与显示。实际运行中, 监控室上位机显示的储罐压力、液位数值与操作人员现场巡检读取的玻璃板液位计、弹簧管压力表示值存在可察偏差, 偏差范围可能达到量程的2%至5%。

1.2 设备老化与配件停产

浦东储配管理中心罐区仪表系统的核心控制设备已持续运行约20年, 远超一般电子元器件的设计寿命。仪表控制柜内的信号隔离器、模数转换模块、数字显示仪表等电子元件普遍存在老化现象, 表现为元件性能漂移、响应速度下降及故障率升高。老化导致温度示值出现阶梯式跳跃、压力信号输出不稳定等随机性故障频发。更为严峻的困境源于配件供应链的中断。原设备制造商已迭代产品数代, 柜内使用的特定型号数显表、专用信号调理板卡等关键配件早已停产。备件库存储备耗尽后, 现场维

修陷入无件可换的窘境。维修人员被迫采用不同型号器件进行替代, 常需自行改造线路与接口, 匹配调试耗时漫长, 一次故障处理时间可能从数小时延长至数天。

1.3 防爆等级不符与区域错位

安全隐患中最为严重的是设备防爆性能与安装环境危险等级的严重不匹配, 依据爆炸危险环境电力装置设计规范, 存在液化石油气泄漏可能的储罐区及其毗邻的泵房区域, 应被明确划分为爆炸性危险区域, 该区域内安装的所有电气设备必须满足相应的防爆等级要求。现状是, 位于泵房操作室内的仪表控制柜整体为普通工业柜体, 防护等级仅为IP54, 不具备任何防爆认证^[2]。柜门内侧密集排布的信号端子排完全裸露, 电源线路与信号线路未进行本安隔离处理。设备运行时, 柜内继电器、开关电源等元件可能产生电火花或形成表面高温。

2 基于“就地显示与信号直采”的仪表系统升级路径设计

2.1 储罐区现场仪表的硬件与通讯升级

升级路径的核心起点是现场测量层硬件的全面换代, 针对卧罐区, 将原无显示功能的模拟变送器更换为集成了高亮度液

晶屏的智能变送器,例如压力变送器选用精度达0.075%FS、带本地数显的型号,温度变送器采用铂电阻Pt100输入、显示分辨率0.1°C的装置,液位计则升级为具备电容或雷达测量原理并带现场显示的智能仪表。这些新仪表直接安装于储罐本体预留的接口上,压力与温度变送器通过引压管移位至罐侧方同一高度并排安装,操作人员在巡检距离储罐5m处即可清晰读取压力、温度、液位等具体数值。

2.2 仪表控制柜的防爆化与功能简化改造

系统架构改造的关键在于对中间层仪表控制柜的彻底革新,具体方案是拆除原位于泵房内的非防爆仪表控制柜,在原位或就近安装一台经过国家防爆认证的“隔爆兼本安型”过渡防爆控制箱,其防爆标志为Ex d[ia]IIC T4 Gb,防护等级达到IP65^[3]。控制箱内部结构极大简化,核心部件仅为若干路为现场仪表供电的24VDC本安型开关电源、用于信号隔离与分配的安全栅或信号隔离器,原控制柜内所有的数字显示表头、信号处理模块被移除。

2.3 分步实施策略与阶段性效果

整个升级工程遵循分阶段、与设备大修窗口期结合的稳健策略执行,第一阶段改造与2021年卧罐更新项目同步实施,利用储罐置换制造的窗口完成了6台新卧罐共计12台现场仪表的安装与调试,并敷设了通往控制室的信号新电缆。此阶段已验证了“就地显示”与“信号直采”技术的可行性,运行数据显示,监控系统与现场表计读数偏差稳定在0.5%以内,故障报警及时率100%。第二阶段改造计划与球罐的法定开罐检查周期(通常为6-10年)同步进行,在实际执行中,该阶段与2024年浦东储配管理中心对2台400m³球罐及6台100m³卧罐进行的全面开罐检查工程结合实施,仪表系统分步升级实施计划见表1。

3 升级工程的安全与工程管理实践

3.1 基于作业审批的风险前置管控

在易燃易爆区域实施改造工程,必须执行严格的作业审批制度以实现风险的前置识别与管控。以浦东储配管理中心泵房防爆配电箱安装工程为例,项目启动前需在线填报《检修作业审批表》。申请人必须明确申报施工所涉及的全部危险作业类型,包括临时用电、动火作业、高处作业等,任何未经申报的作业严禁实施^[4]。审批流程的核心是完成详尽的风险辨识,该项目共辨识出14项具体危险源,其中8项被列为重要危险源。重要危险源包括检修作业无审批表、特种作业人员无证上岗、施工人员携带火种进入防爆区、临时用电线路绝缘不良、非电工违规接线、动火前未进行可燃气体检测、高处作业未系安全带等。

3.2 施工过程中的安全与质量控制要点

施工阶段的管理焦点集中于对已识别风险的控制措施执行

与工艺质量的符合性验证,安全控制方面,对动火、临时用电等特殊作业实行许可证管理,动火前60分钟内需使用便携式气体检测仪对作业点周边1m范围内进行测爆,可燃气体浓度必须低于其爆炸下限的10%。所有入场人员,如电焊工、电工,必须经过审核并持有在有效期内的特种作业操作资格证书。现场配备的安全器具必须满足最低配置要求,包括每人1顶安全帽、1条安全带、1双绝缘鞋、1副绝缘手套。在防爆区域施工,所有安装的设备与材料必须具有国家认可的防爆合格证,防爆配电箱的铭牌上需清晰标注“Ex d e IIC T4 Gb”等防爆标志与防爆合格证号。质量控制则依赖预定的控制点计划。材料进场被设为记录确认点,需核查防爆配电箱、镀锌管、防爆软管的合格证与检验报告,防爆电气安装工程主要危险因素及控制措施如表2所示。

3.3 工程实施的组织与验收

升级工程的成功实施依赖于从商务到技术的全流程组织与闭环管理,项目始于严格的合同审批流程,合同明确约定工程范围、48,503.47元的固定单价、2025年2月28日至3月30日的工期,并指定上海尚时机电安装工程有限公司为承包商^[5]。施工组织阶段,承包商依据审批的《电气安装施工方案》配置资源,现场投入1名电焊工、2名电工、1名辅助工和1名施工员,配备电焊机、充电电锤、万用表等专用机具与仪器。方案特别强调,涉及主电源切换的1#至3#配电箱安装必须在甲方工艺装置停工的3天窗口期内完成。工程竣工后,依据《工程竣工验收单》组织验收。

4 结论

文章对液化气储罐区老旧的防爆仪表柜,在信号传输方面、设备老化方面以及防爆合规性方面所存在的深层安全隐患,进行了系统的剖析,然后设计出了一套以“就地显示与信号直采”作为核心内容、包含分步实施策略的技术升级的路径。文章不但提供了从现场仪表硬件进行换代直到系统架构进行优化的具体技术方案,而且通过非常详实的工程案例,完整地呈现出了在极端危险的环境之下,如何通过严格的作业审批、过程控制以及组织验收来实现安全改造的全流程管理实践。其成果为国内大量存在类似问题的老旧化工、燃气储配设施开展具有针对性的、风险处于受控状态的技术更新以及安全治理,提供了具有高度可操作性方法论参考以及实证范例。

[参考文献]

- [1]洪陈.液化石油气储罐区泄漏事故应急处置技术与装备优化[J].中国石油和化工标准与质量,2026,46(04):22-24.
- [2]邹牛洋.低温检测自动泡沫发生装置在LNG储罐泄漏保护中的应用[J].城市燃气,2026,(01):26-31.
- [3]杨洋.液化天然气储罐仪表选型及储罐安全监控措施[J].模具制造,2025,25(10):252-254.

[4]张因桐.一种使用MidasFEANX分析轻度泄露工况下全容式LNG储罐外罐热力学性能的方法[J].石化技术,2025,32(9):224-226.

[5]孙建中,陈威.动载下多孔隔热层泄漏船舶LNG储罐热质传递研究[J].舰船科学技术,2025,47(13):18-24.

作者简介:

蔡铭(1993--),男,汉族,上海市人,大学本科,研究方向:燃气管理。