

天然气储运过程中的安全隐患识别与防范对策

侯雄飞 (中石化天然气分公司浙江天然气销售中心, 浙江 杭州 310000)

摘要: 在全球能源结构低碳化转型进程中, 天然气作为高能量密度过渡能源, 其消费量持续增长驱动储运网络向高压、大管径、跨区域方向迭代, 配套长输管道、LNG接收站、高压储罐等基础设施规模扩容。本文对天然气储运过程中的输气站场和LNG槽车运输两个重点环节进行研究, 在明确具体安全隐患的基础上, 提出相应的隐患识别方法和防范措施, 旨在为天然气储运过程中的安全管控提供实践参考。

关键词: 天然气储运; 安全隐患; LNG槽车

中图分类号: TQ **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 021-0154-03

Identification and prevention measures of safety hazards in natural gas storage and transportation process

Hou Xiongfei(Sinopec Natural Gas Branch Zhejiang Natural Gas Sales Center.Hangzhou Zhejiang 310000, China)

Abstract: In the process of low-carbon transformation of the global energy structure, natural gas, as a high energy density transitional energy, continues to grow in consumption, driving the storage and transportation network to iterate towards high pressure, large pipe diameter, and cross regional directions, supporting the expansion of infrastructure such as long-distance pipelines, LNG receiving stations, and high-pressure storage tanks. This article studies the two key links in the natural gas storage and transportation process: gas transmission stations and LNG tanker transportation. Based on a clear understanding of specific safety hazards, corresponding hazard identification methods and preventive measures are proposed, aiming to provide practical reference for safety control in the natural gas storage and transportation process.

Keywords: natural gas storage and transportation; hidden danger; LNG tanker truck

1 天然气输气站场安全隐患识别与防范

1.1 安全隐患

1.1.1 设备老化与腐蚀问题

天然气输气站场作为储运网络的核心枢纽, 承担着气体加压、调压、过滤及分输等关键职能, 其直接关系到整个供气系统安全^[2]。然而, 站场内设备密集、工艺流程复杂, 加之长期高压高负荷运行, 导致安全隐患呈现多样性与隐蔽性特征。其中以设备老化与腐蚀问题的安全隐患最为常见。站场内的管道、阀门等设备在长期运行中, 受天然气组分、环境温湿度变化、土壤电解质等因素影响, 易发生化学腐蚀、电化学腐蚀或应力腐蚀。例如, 埋地管道外壁因土壤酸碱度失衡或杂散电流干扰, 可能形成局部腐蚀穿孔。此外, LNG站场中的低温储罐及附属管线, 由于长期极端工况下, 材料易因冷脆效应出现韧性下降。

1.1.2 操作失误与人为因素

天然气输气站场的自动化程度虽逐步提高, 但关键环节仍需人工干预, 操作流程的规范性与人员素质直接影响安全水平。一方面, 站场作业涉及压力调节、阀门切换等高风险操作, 若操作人员对流程不熟悉、误判仪表参数或未严格执行操作票制度, 均可能触发连锁反应。例如, 误读流量计数据可能延误泄漏判断, 扩大事故影响范围。另一方面, 人员安全意识薄弱、

疲劳作业或应急处置能力不足, 也会加剧风险^[3]。即未按规定穿戴防静电装备进入防爆区域, 可能因静电火花引燃泄漏气体。在此基础上的管理制度执行不到位, 包括巡检流于形式、交接班信息记录缺失或第三方施工监管疏漏, 也可能因人为疏漏导致隐患积累, 最终演变为系统性风险。

1.2 识别方法

1.2.1 定期检查法

在天然气储运过程中的气站场节点, 定期检查法是对内部安全隐患的主要识别方法, 通过预设周期对站场设备、设施及作业环境进行系统性检测, 以发现潜在缺陷或异常状态的标准化方法。核心在于通过技术手段量化设备性能指标, 结合历史数据对比分析, 实现隐患的早期预警。

具体包括对于管道、阀门等关键设备采用的分级检查机制, 即在日常巡检侧重于目视检查设备外观、仪表读数、密封点泄漏情况, 利用可燃气体检测仪对法兰接口等易泄漏部位进行实时监测; 在月度或季度借助红外热成像仪等工具, 对管道壁厚、腐蚀深度、应力集中区域进行无损检测。在这基础上配合建立设备全生命周期电子档案。

1.2.2 行为观察法

行为观察法聚焦于人员操作规范性、安全意识及

应急处置能力的动态评估,通过直接观察和流程回溯,识别人为因素引发的天然气输气站场潜在风险。其中的操作流程观察需要覆盖站场核心作业环节——阀门启闭、压力调节、设备启停等高风险操作,重点核查操作人员是否严格执行操作票制度、双人确认机制及连锁保护程序。

同步通过视频监控回放或现场跟班记录,发现未按规程佩戴防护装备、跨越安全警戒线、误触紧急停车按钮等违规行为。对于天然气输气站场中的第三方施工或交叉作业场景,通过旁站监督与作业许可核查,发现未批先动、安全交底流于形式等管理漏洞。值得注意的是,行为观察需与安全文化评估相结合,通过匿名问卷调查或访谈,了解员工对安全规程的认知程度、汇报隐患的主动性,以及疲劳作业、心理压力等隐性风险因素,从而全面识别人为失误的深层诱因。

1.3 防范措施

1.3.1 维护与更新设备

设备安全是天然气输气站场安全平稳运行的基础,对此需要建立预防性维护为主和故障维修为辅的管理模式。具体依据设备类型与工况制定分级维护计划,例如对压缩机等核心设备,按年度、季度、月度周期开展预防性检测,并在此技术上建立设备服役年限评估标准,对超期服役或性能劣化严重的设施,例如使用超过 15 年的压力容器、出现裂纹的法兰组件进行强制更换,同步引入双相不锈钢管道等新型耐腐蚀材料提升设备可靠性,以及采取对埋地管道外壁实施 3PE 防腐层修复、在站场工艺区加装阴极保护系统并定期检测保护电位等防腐技术。其中,针对 LNG 低温储罐等特殊设备,则需每半年检测真空夹层密封性,每年通过氦质谱检漏仪排查保冷层泄漏点,并利用建筑信息模型技术模拟极端工况下的设备应力分布,优化结构设计。此外,建立备品备件动态管理库,保证关键部件的储备量与型号匹配,避免因配件短缺增加风险。

1.3.2 加强员工的培训

天然气输气站场安全隐患在人为因素方面的本质防控需通过系统性培训与行为规范实现能力强化。首要环节是实施分岗位和分层级的培训体系,针对新员工上岗前完成至少规定学时的理论培训与跟班实操,重点掌握站场工艺流程、设备操作规范等内容;在岗员工每年需参与不少于 24 学时的复训,内容涵盖新技术应用、典型事故案例复盘及法规标准更新解读。在持续培训基础上,强化高风险作业的模拟演练,每月组织压力调节、泄漏处置、火灾扑救等场景的实战演练,训练人员应急响应速度与决策能力,并在每季

度开展盲演考核。为提高人员的安全意识,还需推行安全积分制,将隐患排查数量、应急演练表现与绩效奖金挂钩,激发员工主动性。

同时,针对第三方施工人员,需在入场前完成安全交底并签订风险告知书,施工中由站场监护人员全程监督动火、高空等特殊作业流程,保障其符合站场安全管理规定。

2 LNG 槽车运输的安全隐患识别与防范

2.1 安全隐患

2.1.1 车辆设备故障

LNG 槽车作为液化天然气运输的核心载体,其本质安全直接关系到沿途人员、环境以及能源供应的稳定性。由于 LNG 具有 -162°C 的深冷特性与易燃易爆风险,其运输槽车的罐体、管路系统以及安全附件长期处于低温高压交变工况,设备性能劣化风险显著^[4]。其中,罐体作为多层真空绝热结构,若因制造缺陷或外力碰撞可导致真空夹层密封失效,绝热性能下降将引发 LNG 蒸发率异常升高,罐内压力骤增可能触发安全阀频繁起跳甚至超压破裂。

安全附件失效同样不容忽视,压力表、液位计因结霜可能导致数据失真,紧急切断阀若因杂质卡阻或电路故障无法响应,导致在事故时将丧失紧急隔离能力。此外,如制动失灵等车辆行驶系统隐患可能直接引发侧翻或追尾事故,导致罐体结构受损并引发 LNG 泄漏。

2.1.2 道路交通条件与外部环境的影响

LNG 槽车的运输安全同样高度依赖路况条件与外部环境稳定性。在复杂路况中,连续弯道、陡坡路段易导致罐体内液体晃动产生冲击力,可能削弱罐体与底盘连接部件的结构强度,加之颠簸路面长期作用也会加速管路焊缝疲劳,增加开裂风险。而极端天气影响更为严峻,例如高温环境可能造成罐体保冷层性能衰减,致使蒸发气生成量超出设计处理能力,暴雨或冰雪天气则导致路面湿滑、能见度降低,增加车辆失控概率。

此外,社会交通环境中的突发风险,其他车辆违规变道、隧道内交通事故可能迫使槽车紧急制动或碰撞,若罐体后防护装置强度不足,撞击能量将直接传导至阀门区域,引发 LNG 泄漏。在山区或人口密集区域运输时,如临近火源、未避开地质灾害频发路段等路线规划不合理会进一步放大事故后果,导致火灾、爆炸或环境污染等次生灾害。

2.2 识别方法

2.2.1 实时监控技术

基于物联网的实时监控系统是识别 LNG 槽车设备

安全隐患的核心手段。其中的车载终端通过压力传感器、温度传感器、液位计等设备,持续采集罐体压力、液相温度等关键参数,并经 4G/5G 网络传输至监控平台,与预设安全阈值进行实时比对,一旦超限立即触发声光报警并定位车辆位置^[5]。针对管路密封性隐患,通过安装激光甲烷检测仪与红外气体成像仪,实时扫描车辆焊缝等易泄漏点,同步配合气体浓度变化图谱识别微泄漏。针对 LNG 槽车行驶系统状态的安全监控则依托车载诊断系统,实时监测发动机转速、制动效能、轮胎胎压等参数,结合三轴加速度传感器分析车辆颠簸、急刹车等异常工况,预判悬挂系统疲劳或制动失效风险。

2.2.2 路线评估法

运输路线的科学评估是规避 LNG 槽车运输过程中外部环境风险的关键。和性思路是在运输目的地下,基于地理信息系统建立路线风险评估模型,整合以往历史交通事故数据、地质灾害分布、气象预警信息及人口密度图层,对拟选路线进行风险等级划分。例如,对连续弯道超过 10 个/百公里或途经山体滑坡高发区的路段自动标记为高风险;临近学校、医院等人员密集区的路线需额外增设安全缓冲区。在此基础上结合实时天气与路况评估,通过接入交通管理部门的拥堵信息与气象局降水预报,识别暴雨和冰雪等极端天气并计算替代路线的安全系数与时间成本。此外,通过市政工程数据接口获取道路挖掘、限高架设置等动态信息识别运输过程中的第三方施工区域,识别可能风险并提前调整路线以避免碰撞风险。

2.3 防范措施

2.3.1 强化车辆检测

针对 LNG 槽车运输中的安全风险,需要构建设备可靠、人员规范、路线可控的安全防线。在运输车辆方面需要加检测力度,驾驶员每日出车前需执行“三检三查”流程:检查罐体真空度监测仪表数值是否处于绿色区间($\leq 3\text{Pa}$),核查紧急切断阀手动触发功能是否正常,测试制动系统响应时间是否低于 0.3 秒;使用便携式可燃气体检测仪进行泄漏扫描,确认浓度低于 20%LEL(爆炸下限)。

在每行驶 5000km 或月末,需将槽车送至指定维修中心开展专业检测,例如使用内窥镜探查罐内壁腐蚀或裂纹,使用扭矩扳手复紧所有管路螺栓至标准值并更换低温密封垫片。针对行驶系统,还需每季度进行轮毂轴承润滑保养、轮胎花纹深度检测及制动气路气压泄漏测试。突发故障应急处置方面,随车需配备低温堵漏夹具、防爆应急照明灯等,以便应对可能风险。

2.3.2 优化运输路线

LNG 槽车运输安全隐患在运输路径方面的预防措施主要通过标准化操作流程与人员协同管理实现。天然气调度中心在 LNG 槽车运输任务派发前需执行三级路线审核,其中由调度员根据公司《固定路线清单》选择基础路线,清单明确标注禁止通行区域、强制限速路段及推荐停靠点,随后的二级审核由安全管理员核对路线是否符合《危险货物运输道路管理规定》,保障避开法律明令禁止的敏感区域,最后由运输组长结合历史事故案例库,剔除近三年内发生过危化品车辆事故的路段,完成三级审核。

针对跨省或夜间运输任务,实行双驾驶员+安全员跟车制度,安全员负责监督驾驶员每 2h 轮换休息,并在进入复杂路况前复述操作要点。此外,每季度组织运输、安保、维修部门联合演练,模拟槽车在陡坡路段制动失效场景,训练驾驶员反应并协同维修人员 30min 内抵达现场处置。

3 结语

在天然气储运全链条中,基于联用分析的系统性风险识别、以声发射检测与红外热成像为核心的设备状态监测、结合 GPS/INS 数据融合的 LNG 槽车动态轨迹追踪,构成多维度安全隐患防控体系。展望未来,还需深化数字孪生技术与 PHM 故障预测模型的集成应用,构建基于区块链的分布式储运安全数据库,同时,完善氢能运输场景下甲烷-氢气混合输送的相容性研究,将成为保障新型能源输送网络本质安全的关键技术突破方向,为构建更加安全供应链提供理论支撑与实践范式。

参考文献:

- [1] 林晓朋,胡建,曲广顺.石油化工企业油气储运工程安全性问题的探究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(05):84-86.
- [2] 魏洁,乔小伟.液化天然气储运安全技术和管理措施[J].山东化工,2024,53(01):235-237.
- [3] 刘华.石油天然气管道储运的安全管理探讨[J].石化技术,2023,30(08):135-137.
- [4] 马晓茜,廖艳芬.液化天然气储运与利用中的几个关键问题[J].石油与天然气化工,2005,34(5):5.
- [5] 赵龙,王博.石油天然气生产储运中安全管理策略研究[J].化工管理,2015(22):2.

作者简介:

侯雄飞(1982-),男,汉族,陕西省宝鸡市人,本科,工程师,研究方向:维抢修现场安全管理、天然气储运设备设施维修。