

液化天然气场站重大危险源管理探讨

陈磊 (哈密新捷燃气有限责任公司, 新疆维 哈密 839000)

摘要: 本文围绕液化天然气 (LNG) 场站重大危险源的管理展开系统研究, 重点分析了 LNG 物料的低温深冷、易燃易爆及蒸发扩散等危险特性, 探讨其在储存与运输过程中可能引发的安全风险。在此基础上, 提出构建基于过程的安全管理体系, 涵盖本质安全设计、设备完整性管理、智能监控预警等关键环节, 并针对当前管理中存在的难点问题, 提出一系列管控策略与优化建议, 旨在提升液化天然气场站的整体安全水平与应急响应能力。

关键词: 液化天然气场站; 危险源管理; 难点问题; 应对策略

中图分类号: TE88 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 004-0148-03

Discussion on the management of major hazard sources in liquefied natural gas stations

Chen Lei (Hami Xinjie Gas Co., Ltd., Hami City Xinjiang Uygur Autonomous Region 839000, China)

Abstract: This article conducts a systematic study on the management of major hazard sources in liquefied natural gas (LNG) stations, focusing on analyzing the hazardous characteristics of LNG materials, such as low temperature cryogenicity, flammability, explosiveness, and evaporation diffusion. It explores the potential safety risks that may arise during storage and transportation. Based on this, a process-based safety management system is proposed, covering key aspects such as intrinsic safety design, equipment integrity management, and intelligent monitoring and early warning. In addition, a series of control strategies and optimization suggestions are proposed to address the current difficulties in management, aiming to enhance the overall safety level and emergency response capability of LNG stations.

Keywords: LNG station; hazard source management; difficult problems; countermeasures

液化天然气场站作为能源中转与分配的关键节点, 其内部危险源具有隐蔽性强、后果严重等特点, 一旦失控可能引发连锁事故, 对社会经济与公共安全造成严重影响。因此, 深入探讨液化天然气场站重大危险源的管理机制, 对于贯彻落实现有法规要求, 推动行业高质量发展、防范系统性风险具有深远意义。

1 液化天然气场站危险源管理的重要性

液化天然气作为清洁能源转型的关键载体, 其供应稳定性直接关系到国家能源安全, 而场站作为接收、储存和分拨的核心枢纽, 一旦发生重大事故, 将导致区域能源供应中断。同时, 液化天然气场站事故具有低概率、高后果的显著特征, 1 万立方米液化天然气储罐泄漏引发的蒸汽云爆炸, 冲击波超压可达 0.2MPa, 破坏半径超 500m, 足以摧毁周边三公里内的民用建筑。不仅如此, 液化天然气场站火灾持续燃烧产生的热辐射通量超过 25kW/m² 时, 可引发二级烧伤。《安全生产法》《危险化学品安全管理条例》等法规明确要求, 液化天然气场站必须实施重大危险源辨识与分级管控。通过强化危险源管理, 可建立安全缓冲区、优化应急疏散路径, 保障公共安全与城市运行, 并有效降低场站非计划停运风险。近年来, 国家相关部门高度重视液化天然气场站危险源管理体系的优化完善, 在

危险源识别与评估等方面制定并实施诸多宏观政策, 为保障能源安全与企业可持续发展奠定坚实基础。

2 液化天然气物料危险特性分析

2.1 低温深冷特性

液化天然气在常压下以 -162℃ 的深冷状态储存, 远低于人体安全阈值, 且碳钢和普通橡胶密封件等材料在低温下的力学性能会发生显著变化, 加剧风险源管理难度。若液化天然气储罐或管道存在微裂纹, 则低温下的裂纹扩展速率较常温会提升 10 倍以上, 极有可能因局部应力集中而引发突发性泄漏。操作人员接触泄漏的液化天然气时, 皮肤在瞬间即可形成深度冻伤。同时, 低温会导致阀门、法兰等连接件收缩, 预紧力下降, 增加泄漏概率。

2.2 易燃易爆特性

液化天然气主要成分为甲烷, 其爆炸极限为 5%~15%, 最小点火能仅 0.28mJ。当液化天然气泄漏气化后, 甲烷与空气混合形成可燃云团, 遇静电、明火或高温表面即可引发爆炸。液化天然气泄漏后吸热气化, 1kg 液化天然气在 15℃ 环境下可气化为 1340L 甲烷气体, 短时间内形成高浓度可燃区, 而且密闭空间内甲烷积聚至爆炸下限时, 1% 的泄漏量即可引发灾难性后果。在点火源方面, 除明火外, 机械摩擦、电气火花、

静电放电可能成为点火源。

2.3 蒸发与扩散特性

液化天然气泄漏后往往会经历三个阶段，即快速蒸发期、稳定蒸发期和残留液池期。在泄漏初期，液化天然气与地面接触吸热，蒸发速率达 $10\text{--}20\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，形成高浓度甲烷云团。随着温度升高，蒸发速率缓慢下降，且云团扩散受风速影响显著，而未完全蒸发的液化天然气则会形成液池，持续蒸发时间可达数小时。在无风条件下，甲烷云团呈球形扩散，一分钟内的影响半径达 20m ，但在有风条件下，云团沿下风向延伸，十分钟内影响半径可达 200m ，形成相应可燃区。

3 液化天然气场站重大危险源安全管理体系构建

3.1 基于过程的安全管理理念

按照基于过程的安全管理理念要求，液化天然气场站危险源管理应从危险辨识环节开始，对危险隐患进行评估，在该过程中可充分利用协同优化的处理方法，以提高危险源应对的主动性。正如前文所述，液化天然气场站风险的隐蔽性较强，且爆发时的速度较快，尤其是任何一处的细微隐患均有可能造成严重安全事故。因此，重大危险源安全管理体系的构建应充分立足以上特点与实际，引入实时监测技术，随时监测相关数据是否偏离事先预设的安全阈值。在监测中，若发现数据偏差大，则由系统自动生成预警信息。比如，对于储罐泄露危险，可利用基于过程的安全管理理念，模拟危险事件发生时的气体扩散状态，辅助进行应对处置。

3.2 关键技术环节的安全控制

3.2.1 设计与本质安全

设计环节是液化天然气场站危险源安全体系的前期环节，需要根据场站功能和布局等条件，按照本质安全优先的原则要求，优化场站工艺布局，合理选择最为安全与适宜的设备类型，并严格按照技术规范制定操作流程。只有这样，才能从设计环节这一源头上降低场站潜在安全风险。根据《危险化学品重大危险源辨识》等规范要求，在储罐区与办公区之间设置足够的安全保护距离，并对低温泵等设备配置备用系统，使其即便在故障状态下依旧能够良好运转。同时，考虑到 LNG 具有超低温特性，应尽量选择耐低温的设备设材料，并为之配备保温层，防止温度变化而造成的气体泄露或扩散等危险事件。

3.2.2 设备完整性管理

传统设备管理往往对定期检验与故障后维修具有较强依赖，而完整性管理则通过实时监测技术捕捉设备早期劣化信号，为提前应对处置危险事件提供参考。对此，可依据《压力容器定期检验规则》，在储罐、

管道等关键设备部署应变传感器、声发射检测仪，实时监测裂纹扩展、腐蚀速率等参数，并整合分布式控制系统、安全仪表系统与巡检数据等，构建设备健康指数。当设备健康指数低于阈值时，系统自动触发预警并生成维护工单。对于腐蚀速率预测，可利用电化学阻抗谱技术监测管道内壁腐蚀，结合计算流体动力学模拟 LNG 流动对管壁的冲刷作用，预测剩余寿命。

3.2.3 操作与维护安全

操作规程是保障液化天然气场站安全运行的第一道防线，应严格按照相关技术要求，从风险分析与事故案例学习角度出发，将操作步骤、安全要点、应急措施转化为可执行的流程文件。以 LNG 储罐充装操作为例，可在预冷阶段利用氮气预冷管道与储罐，控制降温速率 $\leq 5^\circ\text{C}/\text{h}$ ，防止因热应力导致设备变形或密封失效。在充装中，控制充装速率 $\leq 0.5\text{m}/\text{s}$ ，并实时监测储罐液位与压力，当液位达到 90% 时自动触发高液位报警，并停止充装。充装完成后，由操作员与监护员共同检查阀门状态，防止误操作导致阀门内漏。在操作中，要求操作员做好低温防护，在接触 LNG 设备前佩戴防寒手套、护目镜与防静电工作服，以防冻伤与静电积聚。

3.3 监控与预警系统

部署高精度传感器网络，覆盖储罐、管道、阀门等关键设备，实时采集温度、压力、液位、可燃气体浓度、有毒气体浓度等参数，并采用光纤等有线与 5G 等无线混合传输方式，实现工艺参数、连锁报警等数据的 24h 动态传输。构建分布式数据中心，集成 SCADA 系统、视频监控系统、火灾报警系统等多源数据，对生产数据与运营数据进行深度融合。运用专家系统、数据挖掘、模糊理论等技术开发智能预警模块，建立事故预报数学模型，由系统自动分析压力、流量等参数的实时值与历史数据，通过趋势曲线功能快速定位故障演变趋势。

4 液化天然气场站重大危险源管控策略

4.1 深化风险评估与动态分级管控机制

对于液化天然气场站而言，开展风险评估时，首先要全面且细致地找出设备、设施、工艺流程、作业环境等各方面存在的危险隐患因素。同时，还要考虑到自然灾害，如地震、洪水等对场站可能产生的影响，以及操作失误等人为因素所引发的风险。在识别出上述危险隐患因素后，根据场站实际需求选择科学评估方法，对风险展开定量或者定性分析。在实践中，可供选择的评估方法较多，比如安全检查表法、预先危险性分析、故障树分析法等。在划分风险等级时，需要关注事故发生的可能性和后果严重程度等，将风险

等级划分成重大风险、较大风险、一般风险和低风险等四个级别。其中，重大风险源一旦发生事故，极有可能造成严重的人员伤亡和巨大的财产损失，因而要被作为重点管控对象。而低风险源，则采取常规监控措施就既可。场站风险不断变化，危险源风险等级也应该采取动态调整方式，定期复查和更新。

4.2 推动数字化技术融入危险源监控

在液化天然气场站日常运营中，传统人工巡检方式存在很多弊端，其往往通过简单仪表监控方式进行，部分情形下难以做到实时、全面地了解重大危险源情况，容易遗漏部分潜在问题。而传感器网络等技术方法的创新发展，则在本领域展现出巨大优势，可实时采集并传输温度、压力、液位、可燃气体浓度等参数，即便是参数出现了极其微小的变化，同样能被捕捉到，进而辅助管理人员消除潜在安全隐患。引入物联网技术，把传感器、各类设备及管理系统连接起来，实现互联互通和数据共享。比如，当可燃气体传感器检测到有泄漏情况发生时，物联网系统会自动启动通风设备，关闭与之相关的阀门，同时发出警报信息。

4.3 加强人员培训与行为安全管理

在当前液化天然气场站运行中，具体作业人员始终发挥着不可替代的关键作用，其安全意识与实操技能状况关系到危险源管理的整体效果。从以往液化天然气场站的安全事故来看，部分事故是源于内部人员意识淡薄、技能弱化。可见，强化对液化天然气场站人员的培训与行为安全管理，势在必行。一方面，应定期组织液化天然气场站人员参加专项培训，帮助其建立过硬的专业技能体系，使其能够全面了解液化天然气的危险状态，对危险源管理中的各类应急状况有所了解，掌握各项事故问题的处理规范。针对装卸操作或设备启停等场站的关键环节，则应开展强化培训，由更高水平的专业技术人员对其进行现场教学，手把手地让其知道如何才能更加安全地完成现场操作。在液化天然气场站的特定区域建立模拟场地，以真实化的方式模拟各类突发危险事故，让场站人员参加应急演练，以此提高应急技能。

4.4 构建多方协同的应急联动体系

液化天然气场站危险源管理效果的取得需要多方协同，只有在更多层面上深度整合多方能力，才能取得最为理想的危险源管理效果。对此，场站作为危险源管理的直接责任主体，应建立系统完善的危险源管理目标体系，明确不同岗位在危险源管理中的职责，细化工作流程与工作规范，确保危险事故发生时能够第一时间参与应对处置。政府主管部门则应严格落实监督责任，定期对天然气场站危险源管理成效开展监

督，由专业技术人员开展现场检查，消除来自于现场操作层面的潜在危险源隐患。消防部门同样在液化天然气场站应急事故中扮演重要角色，应配备齐全的防火服、呼吸器等器材和设备，一旦接到天然气泄漏等警报信息，则第一时间利用专业技术和设备进行堵漏。

4.5 完善安全管理绩效评价与持续改进机制

随着液化天然气场站危险源管理要求的提高，如何定期进行安全管理绩效评价，成为工作实践中的重要抓手。安全管理绩效评价应首先突出实时性，即采取实时化的评价方法对液化天然气场站危险源管理效果进行评价，精准查找场站在危险源管理中存在的短板问题，并采取针对性措施予以消除。应对液化天然气场站的整体安全状态进行定量评估，利用事故发生率等各类数据指标得出评估结论，并以此为基础，开展后续各类整改活动。引入数字模拟技术，对液化天然气场站危险源进行动态模拟，由技术人员观察并分析其中潜在的危险源，以更加精准全面地开展安全管理活动。适时引入第三方评估，以确保对液化天然气场站安全绩效评价结果的客观性，避免主观意识干扰。

5 结语

液化天然气场站重大危险源管理是一项系统工程，涉及技术、管理、人员与文化等多个维度。强化本质安全理念、完善设备监测体系、规范作业流程并推动智能预警技术的应用，可有效提升场站的风险防控能力。随着物联网、大数据等新一代信息技术的深度融合，液化天然气场站安全管理将朝着更加精准、智能的方向发展。因此，应持续优化管理体系、夯实安全基础，在保障能源供应的同时，实现安全与发展的协调统一，为构建韧性城市与可持续能源体系提供坚实支撑。

参考文献：

- [1] 肖飞,余进,林睿南,等.天然气场站泄漏危险区域划分方法及装置和存储介质:中国,CN 116976232A[P].2025-02-11.
- [2] 姚琪,刘洪威.天然气场站火灾危险性及其消防管理探析[J].消防界(电子版),2023,9(21):13-15.
- [3] 黄治豪.浅谈液化天然气储配站安全管理对策[J].轻工科技,2025(03):190-193.
- [4] 张斌,陈刚,李向荣,等.基于天然气场站巡检机器人系统的多维度传感器集成检测应用[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(17):101-103.
- [5] 张少锋.天然气管道巡检与泄漏探测智能自主系统设计[J].设备管理与维修,2025(12):51-54.

作者简介：

陈磊(1985.09—),男,汉族,江苏徐州人,本科,工程师,研究方向:天然气场站安全管理。