

LNG 接收站工控安全现状与措施分析

李德超（中海福建天然气有限责任公司，福建 莆田 351158）

摘要：为了保证 LNG 接收站运行的安全，提高工控安全系数，针对 LNG 接收站工控安全进行了研究。鉴于 LNG 属性特殊，且接收站工控涉及诸多细节，因此当前的接收站工控安全备受重视，虽然在实践中积累了一定经验，但是不能忽视潜在的危险。此次研究主要为明确 LNG 接收站的工控创新方向，运用理论分析与文献资料等方法，探索更科学、有效的安全措施，以期为未来研究提供参考。

关键词：LNG 接收站；翻滚现象；卸料系统；BOG 处理

中图分类号：TE88 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 034-0139-03

Analysis of the Current Situation and Measures of Industrial Control Security in LNG Receiving Stations

Li Dechao (CNOOC - FUJIAN LNG Co., Ltd., Putian Fujian 351158, China)

Abstract: To ensure the safe operation of LNG receiving terminals and enhance the industrial control security coefficient, this study focuses on the industrial control security of LNG receiving terminals. Given the unique properties of LNG and the numerous details involved in the industrial control of receiving terminals, the current industrial control security of receiving terminals is highly valued. Although certain experience has been accumulated in practice, potential risks cannot be ignored. This research aims to clarify the innovative direction of industrial control in LNG receiving terminals. By employing theoretical analysis and literature review methods, it explores more scientific and effective safety measures, with the expectation of providing references for future research.

Keywords: LNG receiving terminal; rollover phenomenon; unloading system; BOG treatment

LNG 接收站工控安全现状的分析与研究，是提高天然气输送安全的重要基础。结合我国近些年 LNG 开发现状，预计未来短时期天然气消费将达到 $2200 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，为满足不断增长的消费需求，巩固现有的天然气输出供应基础上，必须拓展接收途径。目前我国的 LNG 接收站虽然数量有限，但是已经形成较完善的运行体系，随着多地规划建设数量增加，必须重视工控安全现状的分析，并采取有效措施，基于安全防控特点与危害控制注意事项等，创新接收站工控安全思维，提高安全水平。

1 LNG 接收站工艺流程介绍

LNG 接收站工控安全水平的提高，必须对工艺流程有全面的了解，这样才能深层次优化工控安全细节，科学排除工控安全风险。LNG 接收站的核心在于保证接收储存、液体加压、气态外输、BOG 处理等，整个流程涉及多项工艺，并且对安全要求极高。图 1 为某 LNG 接收站工艺流程示意图，结合图 1 对 LNG 接收站有更详细的认识。

因为 LNG 属于低温液体，工艺运行中受到温度低、易敏感、气液膨胀比大等影响，一旦控制、密封处理

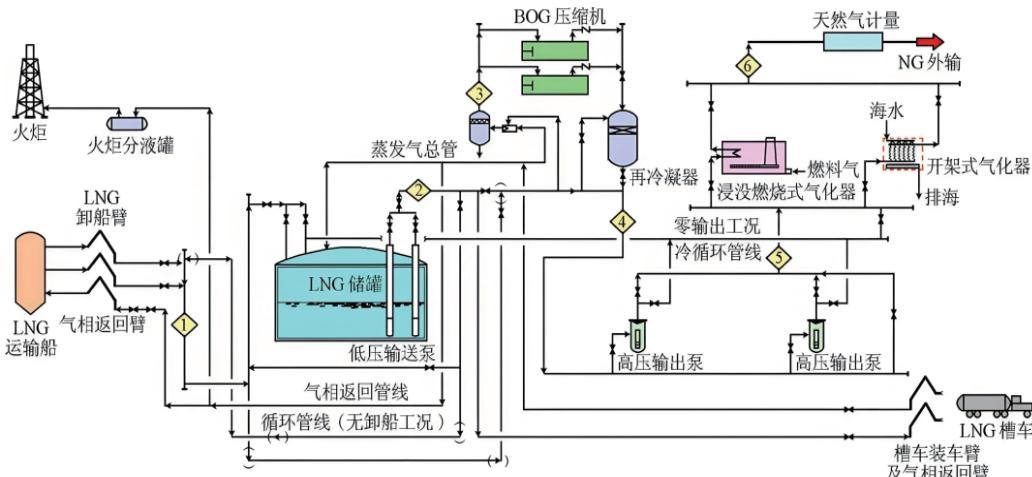


图 1 某 LNG 接收站工艺流程示意图

不当，必然会增加爆炸风险。所以 LNG 工艺设置了压 力平衡功能，利用再冷凝及高压补气等技术维持系统 平衡，提高安全性^[1]。蒸发气具体处理中，涉及两种工艺， 其一为直接输出工艺；其二为再冷凝工艺。目前再冷 凝工艺应用广泛，并且在 LNG 接收站运行中有效控制 了压缩功，在一定程度上健全了接收工艺体系^[2]。

2 LNG 接收站工控安全现状分析

2.1 LNG 翻滚现象分析

LNG 储罐卸料过程中，受到密度不同的影响会出 现翻滚现象，LNG 翻滚期间会短时间产生蒸发气。 LNG 的混合、单一来源等在储罐内均会形成分层，输 送工艺中 LNG 会散发热量，随着热量的集聚在储罐内 形成自然对流并循环。储罐内的分层 LNG 中，温度高 的在输送中逐渐靠近罐壁，流动方向向上，流动过程 中吸收储罐内热量，温度低的在输送中流动方向向下， 回补罐内热量，借此在储罐内形成循环。但是实际输送 期间，LNG 分层密度不同，密度较小的 LNG 层不 仅热量释放速度快，而且对流正常。LNG 分层密度较 大的热量释放速度慢，因为处于低层位置，不能获得 良好的循环释放条件，所以会在低层位置完成对流^[3]。 一旦低层 LNG 密度在温度上升影响下变小，分层会持 续上升，直至升至最上层，压力迅速减小，LNG 转化为过 饱和液体，那么液体内的热量会短瞬间爆发，继 而引发液体翻滚。

2.2 LNG 管喷与冷凝锤击现象分析

管喷现象的出现，主要因为 LNG 储罐输出过程中， 部分管道与水平面处于垂直状态，充入 LNG 后沿着输 送方向逐渐接近顶端位置，这期间管道温度会逐渐升 高，所以需要利用自喷的方式加快管道清空速度。虽然管喷是 LNG 输出过程中的自发现象，但是会在短期 内造成管道压力增加，而且还会循环出现，短瞬猛烈的 压力冲击可能会对管道造成破坏。

冷凝锤击现象的出现，主要原因在于 LNG 接收站 长期运行，各类管道均始终处于带压状态，接收站的 泄放口顺利泄压后，产生冷凝锤击效应^[4]。随着冷凝 锤击效应的频繁出现，接收站管道结构受到影响压力 异常，会直接威胁管道的密封性与安全性。

2.3 LNG 泄漏现象分析

接收站工控安全现状研究中，泄漏始终是工控安 全关注的重点。一旦发生泄漏，会产生诸多安全威胁， 造成人体冻伤，甚至还会出现窒息，接触明火，会迅 速点燃，同时产生热辐射，危害周围环境安全。正 因如此，泄漏研究持续深入，并不断创新工控方式。 LNG 接收站工控中，泄漏现象分析主要包括以下方面： ①阀门填料区域。LNG 输送过程中，需时刻观察装置

温度变化，若低于操作温度，阀门装置金属位置热胀 冷缩下出现降温收缩，如未及时采取措施，便会增加 填料泄漏风险。②输送管道区域。接收站输送管道是 关键组成，输送管道包括基础管道、外包保温层等， 输送过程中压力与温度变化影响导致管道收缩，衔接 位置、法兰连接位置渗漏风险增加^[5]。③取样与气相 管道区域。卸料及外输工艺需运用专业取样技术，天 然气属性特殊，取样操作时技术人员必须注意防护， 一旦接触泄漏介质，必然会威胁到人体安全。

3 LNG 接收站工控安全优化措施

为了更好地保障 LNG 接收站工控的安全，必须巩 固现有工控安全的基础，不断创新工控思路与安全措 施，借此去构筑更全面的安全控制屏障。基于某地区 LNG 接收站为对象，根据 LNG 接收站工控安全现状， 从以下方面创新工控安全优化措施。

3.1 升级 LNG 接收站工控安全系统

LNG 接收站工控安全屏障的构建，要对安全监测 系统进行升级。主要包括两个方面，其一是建立接收 站雷电检测预警系统；其二是构建工控安全智能化管 控平台。接收站雷电检测预警系统实现雷电实时监测， 具体功能包括：雷电临近预警、雷电特征及参数实时 探测、雷电历史数据统计等。雷电探测模块包括：多普 勒雷达、大气电场仪、闪电定位系统。其中，多普 勒雷达与闪电定位系统可与属地气象服务中心共享。 综合卫星、雷达、闪电定位、大气电场等监测资料及 航道气象数据，对 LNG 接收站工控风险预判更智慧， 真正实现 15km 范围内提前时间不低于 10min 对雷电 活动实时监测、预警，并采取预防控制措施，保障接 收站运行安全。

工控安全智能化管控平台利用数字化集成技术， 将重大危险源、设备在线振动监测、储罐珍珠岩监测、 DRT 非破坏式保温管道检测等系统有效融合，对接工 控系统，实时监测 LNG 储罐、装卸区等重大危险源区 域的可燃气体检测信号及压力、温度、液位实时信号； 利用在线振动监测技术，诊断动设备故障、预知性维 修，保障安全；采用分布式光纤测温系统，实时、直 接监测珍珠岩沉降情况，精准判断 LNG 接收站储罐保 冷状况；融合 DRT 非破坏式保温管道检测系统可以全 面排查 LNG 输送管道的保冷性，避免站内管道保冷失 效导致 LNG 蒸发量加大，产生大量 BOG，从而造成工 控压力失效。

3.2 升级 LNG 接收站 BOG 处理系统

BOG 处理工艺是保证 LNG 接收站装置安全稳定 运行的基本条件。因为 LNG 的特殊性与 LNG 接收站 工控复杂流程，经过适当冷却与液化处理，LNG 储存

中受到压力、温度的影响，产生大量 BOG，如果 BOG 处理不当，会持续升高储罐内部压力，导致 LNG 接收站装置运行受到影响，储罐压力不稳定。BOG 的有效处理，能够很好的保证装置运行安全，还能够提高 LNG 利用率。

BOG 处理中，LNG 储罐内部气体的体积逐渐降低，储存空间扩大，储量增加的同时，储罐的经济价值随之提高。BOG 处理工藝主要包括三种方法，其一是再冷凝法；其二为吸附法；其三为压缩法。再冷凝法中，运用压缩机对 LNG 储罐中 BOG 进行加压，并应用过冷的 LNG 对 BOG 重新液化，借此最大程度回收 BOG。吸附法中，运用专业吸附剂对 BOG 进行吸附，收集其中的轻烃成分，将 BOG 成功分离。压缩法与再冷凝法操作相似，借助压缩机加压的方式处理 BOG，随后对其进行冷却液化。因为此次 LNG 接收站规模较大，所以选择再冷凝法进行 BOG 处理。

3.3 加大接收站危险源探测预警力度

LNG 接收站工控中，增加危险探测器的安装数量，分别对 LNG 接收站中的气体波动、烟雾情况、温度变化、氧气情况等进行探测，一旦发现异常现象及时预警，方便操作人员第一时间采取有效措施，严格把控接收站工控安全。以危险探测器为载体，打造可燃气体探测与火焰探测、组合探测等系统，全方面监测 LNG 接收站的状态。根据 LNG 接收站特点与工控需求，在可能泄漏位置增加感应器安装数量，并定期调整设置探测系数。

可燃气体探测系统中，因为 LNG 易燃易爆，所以需根据 LNG 储罐容积与储量、燃烧系数、爆炸系数等进行综合计算，如果 LNG 中可燃气体参数接近感应器探测参数临界值，立即发出危险预警，将潜在危险的不利影响控制到最低。若感应器探测中，可燃气体参数超过临界值，LNG 接收站会自动停止运行，以此保证 LNG 接收站的安全。感应器安装区域的不同，探测器敏感度、参数设置有明显差异。气体探测器、温度探测器、烟雾探测器、综合探测器等探测方向、探测系数、安装布局等都需要结合具体需要具体布置。

3.4 LNG 接收站工控消防系统升级

因为 LNG 一旦泄漏爆炸，产生的威胁不可预估，加上 LNG 易燃易爆、易蒸发，所以必须按照需要升级消防系统。消防系统升级，严格遵循“最大程度阻隔气源、最大力度预防泄漏”的原则，对 LNG 接收站进行全面范围、多角度冷却保护，防止 LNG 爆炸灾害的发生。若 LNG 接收站出现泄漏现象，消防系统可根据实际情况对泄漏情况进行防控，采取有效方法将泄漏 LNG 引入安全区域并处理，尽量缩小燃烧范围。LNG

接收站消防系统中，主要包括以下消防设施：①消防泵房；②消防栓；③高架水炮；④固定消防喷淋；⑤固定分隔保护水幕；⑥固定高倍数泡沫系统；⑦固定干粉灭火系统。

此次 LNG 接收站工控安全模式创新中，对消防系统的覆盖范围进行拓展，目的在于提升消防系统控制等级，提高消防安全水平。固定式消防水幕与喷淋系统，覆盖接收站的 LNG 码头、登船梯、输送管廊、气液收集罐、储罐罐顶、进出料管线、气化区与压缩区输送管线、BOG 压缩机厂房等，由固定水幕分隔保护系统、固定喷淋保护系统控制监测。LNG 接收站所应用的消防水炮主要划分为三类，其一是固定式消防水炮；其二是远程控制消防水炮；其三是移动式消防水炮。对于大型设备与不易移动的机械区域，安装规定数量的固定式消防水炮，水炮与设备、工艺区域、储存区域的距离需 $\geq 13m$ 。远程控制水炮与固定式消防水炮的距离需 $\geq 15m$ ，固定式消防水炮预测危险后立即启动，远程控制水炮会随时判断消防风险等级，达到规定等级立即远程启动，增加消防控制力度。消防系统的控制中心，实时解析火灾报警采集数据，自动控制火灾消防启动信号，并采取对应的消防方案进行消防控制。

4 结束语

综上所述，通过对 LNG 接收站工控安全现状分析，积极提炼接收站工控经验，并整理了 LNG 接收站工控的现状与存在的风险。在此基础上，重新梳理 LNG 接收站工控思路，适应 LNG 接收站建设数量增加、工控安全等级提高等需求与挑战，升级接收站工控安全系统，打造更健全、完善的危险源探测体系，优化改进接收站消防系统等，借此达到提高 LNG 接收站工控安全质量，保障稳定运行的目的。

参考文献：

- [1] 冯招招, 林素辉, 边远, 等. LNG 接收站数智系统的开发 [J]. 化工管理, 2025(04):89-94+136.
- [2] 张学亮, 周秋芳, 郭正飞, 等. LNG 接收站工控安全现状分析与对策 [J]. 中国仪器仪表, 2025(01):39-43.
- [3] 贺叔滢, 郑文培, 王旭, 等. 基于 LDA 的 LNG 接收站安全隐患主题研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2024,20(S1):121-126.
- [4] 张凯. LNG 接收站安全动态风险预警评估体系构建策略探究 [J]. 石化技术, 2024,31(10):302-304.
- [5] 朱祖超, 崔宝玲, 张光, 等. LNG 储运安全保障技术发展与展望 [J]. 流体机械, 2024,52(09):84-97.

作者简介：

李德超（1985-），男，汉族，辽宁铁岭人，本科，中级工程师，研究方向：化工安全管理。