

液化石油气装卸臂风险分析及预防对策

王小强（中石油昆仑燃气有限公司成都液化气储配库，四川 成都 610100）

摘要：本研究把液化石油气装卸臂当作研究对象，着重于它的安全运作关键要素，全面剖析潜在危险的种类及其形成原因，针对泄漏，火灾爆炸，机械失效，管理缺陷这些主要危险因素展开深入探究，创建起包含设计改良，技术革新，运作把控，应急应对的多层面危险防范体系，希望给企业给予科学有效的危险防范策略，改进本质安全性，保证能源储运系统的稳定高效运转。

关键词：液化石油气；装卸臂；风险；预防对策

中图分类号：TE88 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 027-0127-03

Risk Analysis and Preventive Measures for LPG Loading and Unloading Arms

Wang Xiaoqiang (Chengdu LPG Storage and Distribution Depot, PetroChina Kunlun Gas Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610100, China)

Abstract: This study focuses on LPG loading and unloading arms as the research subject, emphasizing the critical factors for their safe operation. It conducts a comprehensive analysis of potential hazard types and their causes, delving into major risk factors such as leaks, fire and explosion, mechanical failure, and management deficiencies. A multi-layered hazard prevention system is established, encompassing design improvements, technological innovation, operational control, and emergency response. The aim is to provide enterprises with scientifically effective hazard prevention strategies, enhance intrinsic safety, and ensure the stable and efficient operation of energy storage and transportation systems.

Keywords: liquefied petroleum gas (LPG); loading and unloading arms; risk; preventive measures

深入剖析装卸臂运行风险并给出应对策略，有着重要的理论意义和现实意义，从技术角度看，装卸臂包含旋转接头密封，多向自由度调节，紧急脱离等复杂结构，它的故障模式常常带有隐蔽性和突发性的特点；从管理角度看，作业环境高度危险，工艺规程严格，这使得维护疏忽或者操作失误成为潜藏的安全隐患，目前的研究大多聚焦于单个设备的技术改良，缺少对“人-机-环-管”全链条风险的整体性探究，亟须联系工程实际提炼出可操作的综合风险管理方案。

1 液化石油气装卸臂安全运行的重要性

1.1 保障人员与设施安全的基石

液化石油气装卸臂的安全运行对于保障人员生命安全及设备完好性起着重要作用，液化石油气由于其高度易燃易爆的特性，在操作过程中一旦出现泄漏现象，挥发出来的气体与点火源相遇时会立即发生激烈的化学反应，进而造成爆炸或者火灾等严重的安全事故。

装卸臂作为连接储罐与运输工具的关键部分，由于其结构较为复杂并且密封性要求极高，任何一个旋转接头出现故障、软管破裂或是阀门泄漏等情况都有可能变成重大的安全隐患，成为潜在的风险因素。这类事故危险性极高，危及现场操作人员和周围人员生命安全，而且会造成无法挽回的身体伤害，猛烈的爆炸冲击波和高温火焰不但会损坏装卸设备，而且还会对邻近储罐，管线，建筑物产生连锁反应，引发严重

的经济损失和功能障碍，保证装卸臂一直处在安全可控的状态，避免泄漏和失效的风险，这是防止出现灾难性后果，保护核心资产和人员安全的关键步骤，其重要性不容忽视。

1.2 维持生产运营连续性的关键

液化石油气的装卸臂是否安全可靠，这是生产过程中确保生产流程高效进行的核心要素所在，作为连接存储与运输体系之间的桥梁，其最重要的作用就是物料的运输，而一旦发生各种事故（比如严重的泄露、由于火灾而导致设备受损或者紧急停机）就会直接切断物流链路上的一环，这就很可能导致装卸过程完全停下来，从而使得当下的运输计划被彻底破坏，而且还会出现一系列连锁反应：在上游供应商方面，因为缺少了上游的供应原材料，所以就有可能会造成他们不得不减少产量，最严重的时候可能会导致工厂直接停工；至于在下游消费者这边来说，则会面临无法按时收到产品交付的情况，市场上的需求也就相应地陷入了一个供应紧缺的状态^[1]。

事故后的调查、设备检修、技术升级或者安全防护之类的操作常常会致使作业中断时间明显增长，这类事情也许会造成生产安排出现混乱状况、合同执行时间推迟并且产生巨额的经济损失等一系列连锁反应，进而给企业的经营运作带来很大的干扰，要想保证装卸臂一直处在高效稳定的工作状态当中，并且尽量减小那些意外停止运行的危险情况发生，这就变成

保证生产过程持续性发展、推动供应链稳定并达成预期经济效益的关键因素之一。

2 液化石油气装卸臂运行中的主要风险分析

2.1 泄漏风险

液化石油气装卸臂运行期间，泄漏被看作是一种非常关键而且危险性极大的风险因素，造成这种现象的根本原因大多归结于设备核心部件的失效或者损坏，旋转接头里的密封元件，比如橡胶圈，因为长时间的磨损，材料的老化以及化学腐蚀而渐渐失去功能，金属软管在不断弯曲的时候也许会形成疲劳裂纹，或者由于受到外力冲击，腐蚀等缘由而破裂，控制物料流动的阀门，它的阀杆密封件或者内部阀座密封面容易被磨损，杂质卡住或者启闭不严所影响，进而引发内漏或者外漏，法兰衔接之处如果垫片失效或者螺栓松动就会变成潜藏的泄漏危险。

设备主体管道或者支撑结构如果存在未被察觉的腐蚀减薄情况以及制造缺陷，在受到压力载荷或者外部应力影响时，破裂及泄漏的风险就会显著加大，液化石油气从这类隐患处泄漏出来之后，容易在低洼地带或者通风条件不佳的空间里积聚成高浓度的可燃气体区，这些地方表面上看似隐蔽，实际上却蕴含着巨大的危险性，如此高度易燃易爆的气体云团仅仅需要一点点火能量（比如静电放电，操作性明火或者高温表面），就能立刻引发剧烈的爆炸和严重的火灾事故，泄漏还会直接造成作业人员中毒或者窒息，准确地找出并控制住潜在的泄漏源头，这是防止装卸臂安全事故的关键工作之一。

2.2 火灾爆炸风险

液化石油气装卸臂运行期间，火灾爆炸风险被普遍认为是泄漏之后最严重的安全威胁之一，其潜在危害不可轻视，气体从泄漏口逸出并迅速气化扩散之时，极易与空气形成可燃性混合物，进而引发剧烈燃烧或者爆炸^[2]。此时，作业现场存在诸多潜在点火源，设备或者操作人员在作业过程里产生的静电如果不能及时泄放，可能会积累到足以产生电弧放电的临界值，作业区域里违规用火的行为，像吸烟，擅自开展明火作业，这些都属于直接而且明显的点火风险，而且，电气设备运行过程中产生的电火花或者过热表面，由于选型不当或者防爆功能失灵，也可能是点燃泄漏气体的重要诱因。

2.3 维护管理缺失风险

液化石油气装卸臂在运行过程中存在较深层次隐患与潜在风险，根源还是运维管理体系存在问题，很多隐患产生自缺乏设备全生命周期管理意识，也就是未按照相关制度严格执行定期保养维护，旋转接头密

封件由于长时间老化磨损而不及时换掉，金属软管发生疲劳裂纹或者腐蚀情况也被搁置不顾，阀门填料松动或者内漏这些问题一直不见好转，某些必要的检测程序更是走过场了，这样会造成管线壁厚度变小，焊缝瑕疵以及损害等情况不容易被识别出来。在涉及主要安全设施的部分，特别是像紧急切断阀以及气体泄露检测装置这种非常重要的东西上，如果没有实施定时的功能性测试与校对，那它就容易失灵或者出错，在突发事故中发挥不了作用^[3]。

维修备品备件里，密封材料以及关键承压部件的质量把控若有疏忽之处，再加上存储环境不佳，就有可能引发新的故障风险，从深层看，操作维护人员由于缺乏系统的、连续的专业培训和技能认证，对于设备运行机理的认识比较浅显，对操作规程的理解也不够深刻，而且对潜在风险的识别能力较差，这样就会造成实际作业时经常出现误操作，或者在日常巡检维护过程中忽略重要的隐患，这种管理上的缺陷往往会使最初小小的缺陷慢慢积累成重大的安全隐患，从而可能引发泄漏、火灾乃至爆炸之类的严重事故，其背后的根本原因就是人的失误和制度上的漏洞。

3 液化石油气装卸臂风险的预防对策

3.1 泄漏监测与报警

为了防止液化石油气装卸臂关键部件产生的安全隐患，建立一个高效可靠的泄漏监测和预警系统是很必要的。这个系统应该着重在高风险区域，比如旋转接头密封处，阀门填料密封区域，法兰连接点以及软管周围这些地方布置固定的可燃气体探测设备，从而达到对作业环境气体浓度实施即时动态监测的目的。所采用的探测装置要有辨别特定液化石油气挥发性组分的功能，在检测到数据超标的时候可以启动多级联动反应机制，首先是激活现场的声光报警装置，然后通过通信网络给有关人员发出警报消息，促使他们尽快采取应急处理手段，以此来阻止潜在事故的发生^[4]。

这个系统把报警信号同装卸臂安全联锁机制融合起来，报警一触发，就会自动运行预先设定好的程序或者立即将指令传送给操作人员，引导他们马上打开紧急切断阀来阻止物料流通，从根本上遏制泄漏范围的进一步扩大，这种监测预警和应急处置协同运作的方式，给早期察觉泄漏隐患，尽快采取防范措施并防止可燃气体积聚到爆炸极限创造了宝贵的时机，成了防止泄漏事故变成火灾或者爆炸的关键技术保障。

3.2 防火防爆

想要应对液化石油气装卸臂运作过程里存在的火爆炸危害状况，就必须构筑起多层次的主动防护系统，

重中之重是要对作业范畴内的各种潜在着火源加以整体掌控，利用物理隔绝手段阻断它们同可燃气体相接触的可能性，首要的任务就是明确危险范围，在这一范围内强制执行使用符合防爆标准的电气设备以及仪表，还要定时巡视并且予以保养，从而防止因为电流或者机器过热而造成火花点燃的事故，针对静电防护的问题同样不能马虎对待，必须保证装卸臂和相关装置之间设置良好的静电连接状态，经常检测接地电阻数值，让静电能够得到安全的释放，对于液化石油气运输的速度也要进行合理的把控，避免因为快速流淌或者喷洒所造成的静电积蓄情况发生，明火方面更应该加以重视，严禁在装卸区域内有任何的吸烟行为，并且全面杜绝未经许可的动火作业活动。

对于无法避免的雷电危险，要创建并完善防直击雷系统（避雷针、避雷带或者网格），也要给电气设备装上防感应雷的保护装置，在设备运作期间，对那些容易引发火花的摩擦和撞击之处，要采用隔离防护手段或者选用低火花材质的工具，作为应急响应的最后一道防线，在装卸地点安排足够的手动灭火器，并且根据实际状况增添固定式的消防设施（水炮、水雾系统或者泡沫灭火装置），这样就能做到及时处理初起的火灾，这个全方位的防护体系目标是彻底消除潜在的点火源，就算发生故障也能够迅速反应，以此来最大程度地减小火灾爆炸事故的发生几率以及造成的损害程度。

3.3 维护保养与检验检测对策

要想有效地防范液化石油气装卸臂所潜藏的安全隐患，创建并严格执行一套系统的维护保养以及检测评价机制就变得非常关键，这是保证设备长时间稳定运行的关键所在，也是积极发现并排除潜在故障的有效路径，制订全面的预防性维修计划是第一步，要细致地安排各种检修任务的具体内容，执行周期和技术标准，针对旋转接头和轴承这类关键活动部件，要定时添加或者替换专用润滑油，对法兰连接处的螺栓加以紧固以免发生松动现象，按照使用寿命以及实际工况及时更换易损件，像橡胶密封圈，密封填料之类的东西，还要依照相关法律条文以及设备特性来开展强制性的专门检查，这既包含对整套或者分段装置实施压力检测，评判其承受压力的能力，又包含执行严厉的气密性检测，查找微小的泄漏迹象，那些承担着重荷或者容易遭受侵蚀的关键部分，比如旋转接头外壳，支撑结构焊缝，管道弯头等地方，就需要利用超声波探伤，磁粉检测这些不会损坏物体的检查技术，仔细查看用肉眼看不到的内部瑕疵，裂纹扩展，局部变薄或者材质改变等情况^[5]。

安全装置的功能验证是保证系统可靠性的关键步骤，就紧急切断阀的启闭响应特性与稳定性、可燃气体探测器的灵敏度及报警阈值的准确性等核心参数而言，要制订出周期性的检测计划并形成详细的记录，创建起完备的设备技术档案，把安装调试、日常运维、定期检测的数据以及故障修理、部件替换等信息汇总起来，从而给设备状况评判和持续改良给予科学的支撑，这个系统的定期检查机制目的在于尽早察觉潜藏的危险，保证装卸臂一直处在安全可控制的运作范围之内。

4 小结

液化石油气装卸臂安全运行直接关系着人的生命安全和设备运行状态，也影响生产持续，这使得其风险管理成了非常复杂的过程，根据研究发现，导致泄漏事故出现的原因大多在于密封不良，材料变质过期以及接合部松弛等状况，上述因素极有可能带来火灾或者爆炸的风险，与此同时点火源控制不到位、定期检测缺乏以及工作人员技能不达标也会增大这种可能性，针对这些情形，应当形成一种由技术手段，管理办法以及应对方法相结合的全方位防控方案，在技术层面上要改进基础性安全设计要素（像采取双层密封结构并增设紧急脱离装置之类的做法），还要健全泄漏预报体系，把自动切断动作加入联动流程之内，施行静电防护措施从而消除发生爆炸的可能性；从管理角度看，则可制订常规操作标准规范，实行周期性保养安排策略，加强重要部分如无损伤检测评价项目等方面的品质控制力度，而且改善职员的技艺水平并培养应急反应技巧；至于应急准备工作当中，就要编写专门的危机预案文本，时常执行实际模拟演习活动，从而保证在意外情况到来的时候可以及时作出回应并且妥善处置各种危险事物。

参考文献：

- [1] 肖鹏, 张伟刚. 低温 LPG 装卸臂风险分析及预防对策 [J]. 中国特种设备安全, 2022, 38(03):42-45.
- [2] 郭少宏, 曹福想, 姚勇. 液化石油气站装卸连接装置改造的安全隐患分析 [J]. 中国特种设备安全, 2020, 36(03):62-66.
- [3] 邵自豪, 孙嘉航, 蔡彦楠, 等. 液化石油气装卸系统存在的问题及改善办法 [J]. 科技资讯, 2019, 17(04):73-74.
- [4] 汤胜利. 石化企业液化石油气装卸系统存在的问题及治理 [J]. 安全、健康和环境, 2018, 18(03):17-21.
- [5] 宋广钢, 万云飞. 冷冻液化石油气码头卸船工艺设计要点 [J]. 山东交通科技, 2016(04):110-112.