

低温储罐的安全检测与维护策略

韩晔飞（中国石化海南炼油化工有限公司，海南 儋州 578001）

摘要：安全检测与维护是低温储罐安全运行的根本保障。本文针对低温储罐的安全问题，从以下几个方面进行了系统阐述，分析了低温液体的危险特性，包括物理、化学和环境影响等方面；介绍了低温储罐的安全使用要点，如操作规程、安全设施设备、应急措施与预案等；详细论述了低温储罐的安全检测内容和方法，包括结构完整性、密封性、保温性能等检测，以及风险评估与预测；探讨了低温储罐的维护策略，包括维护内容与措施、维护管理与培训等。通过全面把控各个环节，最大限度降低安全风险，延长储罐使用寿命，实现安全高效运行。

关键词：低温储罐；安全检测；维护策略；风险评估；应急预案

随着科技的不断进步，极端低温条件下的储存和运输需求日益增长，低温储罐作为关键设备备受关注。这些储存着低温乙烯和低温丙烷等低温液体的储罐，不仅对能源、航空航天、医疗卫生等领域发挥着重要作用，同时也潜藏着诸多安全隐患。低温液体的特殊物理化学性质，如极低沸点、高密度、易燃易爆等，给储罐的安全运行带来了巨大挑战。一旦发生泄漏或失控，将造成严重的人员伤亡和环境污染。因此，制定科学合理的安全检测与维护策略，对于确保低温储罐的可靠运行至关重要。

1 低温液体的危险特性分析

1.1 低温液体的物理特性

低温液体通常指在常温下呈液态的物质，其沸点和熔点远低于常温。这些液体具有独特的物理特性，对于安全储存和使用至关重要。低温液体的沸点和熔点较低，这意味着它们在常温下容易发生相变。例如，低温乙烯的沸点为 -103.9°C ，低温丙烷的沸点为 -42.1°C 。这种极低的沸点使得低温液体在常温下极易蒸发，因此必须采取特殊的储存和操作措施，以防止大量蒸发和能量损失。低温液体通常具有较高的密度。以液态乙烯为例，其密度为 $0.57\text{g}/\text{cm}^3$ ，比水的密度高出约 81%。高密度意味着在相同体积下，液态乙烯的质量更大，因此在储存和运输过程中需要更强的结构支撑。此外，低温液体的热传导性较高，这使得它们能够快速吸收或释放热量。当低温液体接触到常温物体时，会迅速吸收热量而发生沸腾，从而产生大量蒸汽。这种快速的热交换过程可能导致严重的冻伤或结构损坏。

1.2 低温液体的化学特性

低温液体不仅具有独特的物理特性，还具有一些

特殊的化学特性，可能带来潜在安全风险。一些低温液体如液态乙烯、液态丙烷极度易燃，操作时必须远离火源，并采取严格防火措施。这些低温液体虽不具有腐蚀性或毒性，但也需要确保良好的通风条件。部分低温液体如液态乙烯、液态丙烷与某些材料接触会发生剧烈化学反应，如与某些塑料或橡胶会发生溶解或劣化反应。因此在选择储存和输送材料时，必须谨慎考虑化学相容性，避免使用会被这些低温液体腐蚀或溶解的材料。此外，液态乙烯和液态丙烷的沸点极低，在常温下很容易迅速蒸发成气体，体积会迅速膨胀数百倍。因此储存这些低温液体的容器必须具备足够的强度，以防止由于液化气体快速蒸发而导致的容器破裂。运输这些低温液体时也需要采取特殊的安全预防措施，避免发生泄漏导致灾难性后果。低温液体的这些特殊化学特性给安全储存和使用带来了诸多挑战，操作人员必须充分了解并采取适当的安全防护措施，如隔离、通风、个人防护等，才能最大程度降低风险。

1.3 低温液体的环境影响

低温液体在泄漏或事故情况下，可能会对环境造成严重的污染和破坏。低温液体泄漏会导致空气污染。当这些液体暴露在空气中时，会迅速蒸发并形成大量冷凝雾气。这些雾气不仅会降低空气质量，而且还可能含有有毒或腐蚀性气体，对人体健康和生态系统构成威胁。例如，低温乙烯和低温丙烷泄漏会释放出易燃易爆的气体，若遇明火或静电火花很容易引发火灾或爆炸。当这些低温液体泄漏流入河流、湖泊或地下水时，会导致水体温度骤降，严重影响水生生物的生存环境。一些低温烃类液体本身具有一定毒性，会破坏水体质量。此外，当这些液体渗入土壤时，会凝固并形成冰层，破坏土壤结构和通气性，影响农作物生

长。若发生较大规模的泄漏，乙烯和丙烷气体会大量释放到大气中，导致局部区域空气中这些易燃气体浓度升高，构成潜在的火灾和爆炸风险。同时，这些气体也会对人体呼吸系统造成不同程度刺激。长期大量吸入可能引发中毒症状。

2 低温储罐安全使用要点

2.1 操作规程与培训

低温储罐的安全操作规程应涵盖装卸、储存、监测和维护等各个环节。装卸时必须严格遵守预冷、缓冲、压力控制等步骤，避免温压剧烈变化导致安全隐患。储存期间需持续监测液位、压力、温度等参数，设置报警阈值，一旦异常立即采取应对措施。压力控制是操作重中之重。由于低温液体极易蒸发，必须配备可靠的压力释放系统如安全阀、卸压管线等，并定期排放蒸汽，控制储罐内压力在安全范围。此外，温度监控也不可或缺，需采用多层绝热结构减少热量传递，安装精确温度传感器，根据温度变化适时补充低温液体维持所需低温状态。操作人员培训也至关重要，必须全面掌握低温液体危险特性、储罐工作原理、操作步骤、安全防护措施等知识，并定期进行应急演练，确保一旦发生事故能够迅速正确应对。严格执行操作规程并加强人员培训，是确保低温储罐安全使用的基础，操作人员须具备扎实专业知识和应急处置能力，才能最大限度预防和控制各种安全风险。

2.2 安全设施与设备

低温储罐必须配备完善的安全设施设备，以确保可靠安全运行。其中安全阀是最重要的防护装置，能在压力达到预设值时自动开启释放过量蒸汽，防止压力继续积聚。压力表和温度计是监测储罐运行状态的关键仪表。准确的压力读数为调节压力提供了重要依据，温度计用于监控内部温度变化，决定是否需要补充低温液体。储罐还应配备泄漏检测系统，实时监测周围气体浓度，一旦发现异常立即报警，让操作人员及时采取应对措施，防止泄漏造成资源损失和安全威胁。除此之外，储罐还需要配备防火、防爆、通风等辅助系统，以及个人防护用品、应急装备等。另外，在储罐设计、建造和使用过程中，必须充分考虑各种安全因素，合理配置必要的安全设施设备，并制定严格的维护保养制度，才能最大限度降低风险，保障人员和设备安全。

2.3 应急措施与预案

低温储罐一旦发生泄漏、火灾等紧急情况，必须

制定完善的应急措施和预案，确保工作人员能够第一时间作出正确反应，将危害降至最低。发生泄漏时，操作人员要立即切断泄漏源、控制泄漏量，疏散周围人员、划定安全区域，防止中毒或冻伤。如泄漏量较大，需启动报警机制，请求支援。后续需对泄漏物进行收集、中和、吸收等操作，防止污染扩散。如果泄漏物进入水体或下水道，需采取堵截、导流等措施，并彻底清理受污染区域。整个过程中必须佩戴防护装备，避免直接接触有毒物质。如果发生火灾时，要立即启动消防设备，疏散人员、切断火源。由于低温液体可能助燃其他物质，灭火时要选择合适的灭火介质，避免与低温液体剧烈反应。无论泄漏还是火灾，现场指挥人员都要根据事态发展及时调整应急措施，必要时请求外部救援力量介入。事故结束后要对全过程进行总结并分析原因，以用来修订完善应急预案，为下次应对做好准备。应急预案还应包括事故报告、善后处理、补偿赔付等环节，以降低事故造成的经济损失和社会影响。同时要定期组织应急演练，增强全体人员的应急意识和实战能力。

3 低温储罐的安全检测

3.1 检测内容与方法

低温储罐的安全检测内容应当涵盖结构完整性、密封性、保温性能以及安全附件等方面。结构完整性检测主要采用目视检查和无损检测方法，如射线检测、超声波检测等，评估储罐的承压能力和使用寿命。密封性检测包括压力试验和检漏，能够发现储罐本体或连接处的微小泄漏点。保温性能检测则通过监测储罐内外壁温差，评估绝热层的状况。此外，还需定期检查安全阀、压力表、温度计等附件的工作状态。检测的频率和方式需根据储罐的使用年限、介质特性、环境条件等因素制定合理的检测计划。新投用储罐可适当放宽检测频率，老旧储罐则需加大检测力度。检测结果须及时记录存档，作为评估储罐使用状况的重要依据。全面、系统的安全检测是确保低温储罐长期安全运行的重要保障。只有对各个环节都进行严格把控，才能最大限度地降低安全风险，延长储罐使用寿命。

3.2 风险评估与预测

低温储罐的安全运行事关重大，必须进行全面的风险评估和预测，识别潜在危险因素并采取有效预防措施。主要风险因素包括材料老化、腐蚀、应力集中等。评估和预测风险可采用故障树分析、失效模式与影响分析等方法，通过绘制逻辑图或分析失效模式对储罐

功能的影响程度,识别潜在危险事件及其逻辑关系。还可结合有限元分析、断裂力学分析等数值模拟手段,对储罐应力应变状态、裂纹扩展行为进行定量预测,并利用现场检测数据为评估提供依据。基于风险评估结果,可制定相应的预防措施和维护策略,如更换高性能材料、采用抗腐蚀材料或阴极保护、优化结构设计消除应力集中等。同时,还需制定详细的检修计划,定期检测发现并消除隐患。一旦发现严重风险,要及时采取局部修复、更换部件或停用储罐等措施,避免重大事故发生。全面的风险评估和预测有助于及时发现并控制各种潜在危险,制定有效的预防维护策略,从而确保低温储罐的安全可靠运行。

3.3 检测周期与频率

制定低温储罐检测计划时,需综合考虑储罐使用年限、介质特性、环境条件等因素。新投用储罐可适当放宽检测频率,老旧储罐则需加大检测力度,建议每年至少进行一次全面检测。储存腐蚀性介质或位于恶劣环境中的储罐,检测频率也应适当提高。可制定定期检测和不定期检测相结合的计划。定期检测针对常规检查项目,如密封性、保温性能等,周期可设为半年或一年;不定期检测则侧重全面结构完整性评估,如无损检测、水压试验等,周期可根据实际情况调整。遇特殊情况如储罐受损、环境变化等,也需及时进行临时性检测。科学合理的检测频率不仅可确保储罐安全运行,还可延长使用寿命,降低维护成本。制定检测计划时须全面考虑各种影响因素,并根据检测结果及时调整,达到事故预防和经济效益的最佳平衡。

4 低温储罐的维护策略

4.1 维护内容与措施

低温储罐的维护内容应涵盖日常巡检、定期保养和紧急维修等多个环节,并制定相应的操作规程。日常巡检包括检查压力表、温度计、安全阀等仪表读数,储罐本体及管线外观,周围环境卫生等,一旦发现异常及时采取应对措施。定期保养需对储罐各部件进行拆卸检查,如安全阀校验、法兰密封检查、绝热层完整性检查等,并对储罐本体进行无损检测、水压试验等,评估结构完整性,同时检修辅助系统确保正常运转。紧急维修根据故障或事故性质采取更换部件、局部修复、全面检修等措施,过程中须严格遵守操作规程,确保人员和设备安全。操作人员必须具备扎实专业知识和丰富经验,熟悉储罐原理和特性,严格执行安全规程,佩戴防护用品,做好防护和应急准备。完

善的维护策略是确保低温储罐长期安全运行的重要保障,将各个环节贯穿始终,严格执行各项操作规程,最大限度降低故障风险,延长储罐使用寿命。

4.2 维护管理与培训

建立完善的维护管理制度和人员培训体系是确保低温储罐维护工作高效规范运行的关键。在维护管理方面,需制定详细的维护计划和操作流程,明确各环节工作内容、时间安排、人员分工等;建立完善的维护记录系统,准确记录每次维护情况,为决策提供依据;建立严格的质量控制和考核机制,引入第三方评估审核,将维护质量与人员薪酬待遇挂钩。

在人员培训方面,维护人员需掌握扎实的专业理论知识和丰富的实操经验,培训内容包括低温液体特性、储罐原理、操作规程、安全防护措施等,并加强实践训练环节,采取课堂教学、现场演示、模拟操作等多种形式,定期组织考核。对新人员安排老员工传帮带,帮助快速掌握实际操作技能。同时加强安全意识培养,通过案例分析、应急演练等,使其深刻认识违规操作的严重后果,自觉遵守各项安全规程。完善的维护管理制度和人员培训体系,可提高维护质量,降低安全风险,为低温储罐的安全高效运行提供坚实的人力资源保障。

5 结束语

低温储罐的安全问题关乎能源供给、科研发展乃至公众安全,决不容许有丝毫疏忽。本文所阐述的安全检测与维护策略,为相关从业者提供了理论指导和实践参考。但随着科技的发展和应用领域的拓展,低温储罐面临的挑战也将日益复杂。未来需要不断完善检测手段,优化维护流程,加强人员培训,并及时吸收新的科研成果,与时俱进。还应当加强行业内的交流合作,建立统一的安全标准和应急响应机制,形成合力共同维护低温储罐的安全运行。

参考文献:

- [1] 李星.LNG低温储罐开发技术研究[J].化工管理,2024(05):83-86.
- [2] 魏洁,乔小伟.超低温储罐液化天然气储罐的应用和技术安全[J].山东化工,2024,53(03):246-247+251.
- [3] 孙长生.低温LPG储罐开罐安全技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(24):33-35.
- [4] 王全扣.LNG低温储罐内罐壁板焊接质量控制分析[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(20):37-39.