

# LNG 加气站低温存储设备的维护与故障诊断技术

毛新苗（中国石化销售股份有限公司四川成都石油分公司，四川 成都 610000）

**摘要：**通过深入探讨 LNG 加气站低温存储设备的维护与故障诊断技术，旨在提高 LNG 加气站的安全运行效率。本文对 LNG 低温储罐、低温潜液泵、气化器等核心设备结构、工作原理及常见故障进行分析，总结了针对性的维护与故障诊断方法。同时不仅阐述了设备维护的重要性，还提出了基于实际操作的故障诊断流程和技术手段，为 LNG 加气站的安全管理和设备维护提供了科学依据和实用指导。

**关键词：**LNG 加气站；低温存储；设备维护；故障诊断

随着全球能源结构转型和环保意识提升，天然气作为清洁高效能源应用日广。液化天然气（LNG）是加气站重要的存储和输送方式，对整个能源供给具有重要意义。液化天然气站工艺装置的平稳运行直接关系到天然气使用的安全。但由于该装置在低温、高频的条件下工作，导致其失效现象频繁发生，严重制约了其安全运营。因此需要对液化天然气加气站的工艺设备结构、工作原理和常见故障进行分析，并对其进行维修和故障进行归纳，以保证加气站的安全性。

## 1 LNG 加气站低温存储设备概述

作为存储、运输液化天然气的装置，液化天然气储罐属于低温压力容器。其中 LNG 低温储罐的设计温度为  $-196^{\circ}\text{C}$ ，出口气体的工作温度不得比周围气温低  $10^{\circ}\text{C}$ 。储罐由内胆、外壳、隔热层、管道及阀门等部分构成，内胆由耐低温、密封性好的不锈钢材质制造，而外壳为碳素钢，对设备具有一定的防护功能。其隔热层一般采用珍珠沙等隔热材质，并采用负压技术降低热传导，保证 LNG 的低温贮存。另外低温液泵是将液化天然气从贮罐内抽取并增压送入下一个工艺环节的动力源，具有良好的耐低温以及绝热效果，并且具有良好的气密性和电气安全性，其结构上采用的是将发动机与泵体完全浸入到低温流体中，达到零泄漏、无油润滑的目的。气化器则是 LNG 的重要加热装置，其工作过程中采用诸如气体、水浴等热介质与 LNG 发生换热，从而实现液化气体的高效蒸发增压或放散，其性能好坏关系到整体工艺应急保障安全性。

## 2 LNG 加气站低温存储设备的维护技术

### 2.1 LNG 低温储罐的维护

液化天然气低温存储设备的隔热效果很大程度上依赖于它的真空状态。所以对储罐进行周期性真空检查，对日常维修十分必要。一般而言，推荐两年一次的真空检查。目前的测试手段主要是利用真空计或真

空度测量仪器。当出现负压降低时，要立即对其进行排气，以确保其绝缘性。

在进行负压操作时要注意：首先要保证储罐低温，也就是说储罐内的 LNG 已经被清空；其次要保证抽气装置的联接牢固，防止气体泄漏；在抽气期间要不断监控真空变化情况，以保证满足真空度要求<sup>[1]</sup>。

绝热层作为液化天然气低温存储设备的关键部件，它的保温性能将会对存储设备的隔热性能产生很大的影响。所以要对隔热层进行周期性检修。其检测的重点是保温材料的厚度、密度、均匀度及有无破损和潮湿。如果绝缘材料出现老化、损坏等现象，要立即进行替换或修理。

在保温隔热层的替换和维修中，首先要考虑到选用与原有隔热层具有同样特性的隔热材料；其次在进行换装或修理时，要尽量防止损坏贮液罐的内胆及壳体；另外在更换或维修完毕后，要对其进行真空测试，以保证其隔热能力满足使用条件。

在 LNG 深冷存储设备中，阀、管是连通各构件的重要通路，其工作状态的好坏关系到整个存储设备的安全生产。所以对阀门及管道的日常检测与维修必不可少。对阀门进行的检测，重点是阀门的密封性、开关的灵活性、管道连接的可靠性以及是否有泄漏。如果发现有缺陷或危险的管道，要立即进行替换或修理。

在进行阀门及管道的替换或维修时，要考虑到下列事项：首先选用与原来的阀门及管道具有同样的特性；其次在进行换装或修理时，要尽量防止损坏贮液罐的内胆及壳体；并且在替换或修理完毕之后，要对其进行水压试验和泄漏试验，以确定其工作特性。

### 2.2 低温潜液泵的维护

作为 LNG 站的核心动力源，低温潜液泵的正常运转是保障 LNG 持续供给的关键。所以也要对低温潜液泵进行常规检修，包括对泵体外观进行检测以及电机

运行状况、密封性、轴承磨损情况等。如有损坏或潜在危险，要立即予以替换或修理。

对其进行维护时要遵循下列原则：首先根据使用手册规定，定期进行保养、巡检；其次在进行替换或维修时，要注意不能损坏低温潜液泵本体；在换装或修理完毕后，要做试运转及各项功能试验，以保证低温潜液泵的工作状态满足使用要求。

为达到准确的流量调整，一般使用变频调速。所以对变频调速系统的维修也是一个很大的问题。维修工作的重点是清洗、散热、参数设定和检修等。如出现任何不正常的情况，都要立即修理或替换<sup>[2]</sup>。

对变频调速系统进行维修时，要考虑到如下问题：首先要保证变频调速系统所处的位置要满足一定的条件，如粉尘、潮湿、高温等；其次在进行换料和维修时，要尽量防止对变频器的电器设备产生损坏；在换装或修理完毕后，要对其进行相关的参数设定及功能试验，以保证其工作状态满足使用要求。

### 2.3 气化器的维护

气化器在生产中经常出现结冰的情况，如不进行有效的清除将严重降低其气化效果。所以对气化器的日常清洗、解冻是重中之重。对其进行清洗的主要手段有：温水清洗和机械除霜。清洗、除霜时要小心，以免损坏气化器，保证气化器内干燥无水。其工作特性不仅关系到 LNG 卸液输送系统的稳定性，还关系到应急处置安全保障性能，所以对气化器的运行状况进行周期性监控与调试。首要对气化器的气化效果进行监控，并对气化器出口压力及温度进行监控。若无温度及压力参数，简易方法也可通过结霜情况及气化放空时，放空管处天然气白雾飘散状态判断。如果发生气化器的功能衰退或出现其他不正常的情况，要立即修理或替换。

在调节气化器特性时，要考虑如下问题：首先要保证气化器出入口的压力与温度满足规定；其次调节时不能损坏气化器；在调试完毕之后，还要对气化器进行试验，以确定气化器的工作状态是否满足设计指标。

## 3 LNG 加气站低温存储设备的故障诊断技术

### 3.1 LNG 低温储罐的故障诊断

在 LNG 低温储罐中，真空失效是其最易发生的一种失效形式，其特点是罐壁表面结霜、冒汗或压力上升。通过分析造成这种现象的原因，最终认为是由于绝缘层损坏，抽真空不完全，或者是泄漏所致。在对

真空的故障进行诊断时，可用真空表或微波真空仪等仪器来测量。如果出现真空降低，则要对隔热层、阀门、管道等零件进行检查，看看有没有损坏或泄漏。

在 LNG 低温贮罐中液面不正常是又一种常见的失效形式，其最突出的特点就是液面高度不精确和液面高度不稳定。故障的产生是由于液位仪的失效，管道的泄漏或阀的操作失误所引起。在判断液面不正常的故障时，应先对液面高度计的工作状况进行判断，并确定其是否正确、可信。如果液位计处于良好状态，应对管道、阀门等组件进行检测，看看有没有泄漏或者操作故障。

### 3.2 低温潜液泵的故障诊断

低温潜液泵不起动是其普遍存在的一种故障，其特点是电动机不能正常工作或者。故障的产生有电源故障、电动机故障、变频器故障、泵本体阻塞、液位不足等。在判断不能起动的问题时，应先对电源及电动机的运行状况进行检测，确定其电力供应及运行情况。如动力及电流均无异常，应再对各零件如变频器及泵壳有无损坏或阻塞。

低温潜液泵的另外一种失效形式就是泵的出口压力不够或者是流量的剧烈波动。造成这种现象的原因有泵体磨损，密封件泄漏，变频器参数设定不合理，管道阻力增大，泵体潜液深度不足等。在判断漏液的原因时，应先对泵、密封的工作状况进行检测，确定有无漏损。如发现泵本体及密封状态良好，应再对传感器的参数设定及管道电阻进行检测。

### 3.3 气化器的故障诊断

气化过程中最易出现的问题就是 LNG 气化不足，放空点位排放温度不达标。通过分析造成这种现象的原因，认为是由于结霜严重、换热面积变小、或者是没有足够的热量所致。在对气化效率降低的原因进行分析时，应先对气化器表面的霜层进行观察，确定其是否有必要清洗或解冻。如果出现了正常的结霜现象，应再进行其他方面的检测，如换热区域、加热源等。

泄漏是气化器的又一个潜在失效形式，其特点是在气化器附近产生气体异味和雾状燃气，可能进一步造成重大的安全事故。造成这种现象的主要因素是气化器本体损坏，密封圈老化或联接管道的松脱。日常巡检，应该携带便携式可燃气体检测仪来确定气化器附近有无气体泄漏。一旦发生泄漏，要及时按下急停按钮，关闭有关阀门，并疏散人员，再逐步进行管道卸压、针对性的维修恢复。其次要对气化器本体、密

封件和连接管道等各部位进行认真的检测，看看有没有损坏、老化或松动。发现泄漏点后要立即修理或替换，以保证气化器的密封性和安全性。

## 4 LNG 加气站低温存储设备维护与故障诊断的综合策略

### 4.1 建立完善的维护管理体系

要保证 LNG 加气站的安全可靠，就需要建立一套完整、细致、高效的维修和管理系统。本系统的重点是制订一份详尽的维修方案，包括各主要的维修保养方案，方案涵盖水箱、气化器、泵组等，并对维修工作的具体内容、实施频率和需要的经费进行详细说明。维修规划既要超前考虑，又要考虑到设备的损耗、老化等问题，还要有弹性，可以依据设备的实际工作情况，及时做出相应的调节。

维修方案中有必要确定维修人员和维修循环。对各种设施要有专人进行维修，以保证维修工作的持续、专业。另外要考虑到设备种类、使用频率和周围的环境等，对维修时间进行适当设置，从而避免由于维修而引起的资源的浪费和由于维修不当而引起的设备失效。

在维修系统中要有一个完整的维修纪录和文件。对维修过程进行详尽记录，包括维修过程、发现的问题、采取的措施、维修效果等，为以后的维修工作积累有价值的资料。该数据不但可以对装备的运行状态进行跟踪，而且可以对装备发生失效时的故障进行分析和判断。

### 4.2 引入智能化监测与诊断技术

随着科学技术的进步，智能监控和故障诊断已越来越多地被运用于各个行业。将该方法应用到 LNG 加气站的低温存储设备中，可以有效地监控其运行状况，并进行故障报警。

在系统中加装了各种传感器及监控装置，实现温度、压力和流量等关键参数的在线测量。并将采集的信息通过网络传送至中心控制中心或云端，以便对其进行实时的分析与处理。通过对实验结果的分析，结合相应的计算方法，能够实时地检测出系统中存在的异常状态以及可能出现的异常现象，例如温度异常升高、压力波动过大等。

将智能技术与专家系统相结合，能够实现对设备的故障的自动检测与预报。在此基础上提出基于计算机模拟技术的诊断方法。而人工智能算法能够利用机器学习、深度学习等方法，实现对装备工作状况的智能化分析与预报，从而为装备的维修提供理论基础。

通过引进智能监控和故障诊断方法，可以有效地改善 LNG 加气站的维修工作效率和精度。通过对系统进行在线监控与报警，能够对系统中出现的各种问题进行检测和处理，防止由于故障扩散而造成严重的安全问题和财产损失。另外智能系统还可以降低维修工人的劳动强度，提升维修工作的效率与品质。

### 4.3 建立应急响应机制

虽然对 LNG 加气站进行了多种维修与检修，但是 LNG 加气站的低温存储设备还是有出现意外的情况。这就要求我们要有一个良好的突发事件反应系统，以保证在突发事件中能够快速有效地做出反应。

首先要建立完善的突发事件应对计划，确定突发事件的处理程序及职责划分。在此基础上提出一套适用于 LNG 泄漏、火灾、爆炸等多种突发事件的应急预案。并进一步细化各应急处置团队的责任与任务，保证突发事件发生后，快速有效地开展救援工作。其次要准备好紧急情况下所需的器材，包括灭火器材、防护器材等。这些器材及材料须储存在容易接触的地方，并定时检修及保养，以保证其在突发状况下仍能使用。

在此基础上开展突发事件的日常训练，提升突发事件应急响应团队的应对与协调能力。紧急救援演习通过模拟真实的故障或事故场景，使救援队伍能够在实际情况下训练并提高自身的应变能力。通过训练可以增强突发事件应急响应团队对突发事件计划的了解与把握，提升其职业素质与实践技能。通过不断的演练和培训打造出一支高素质、专业化的应急响应团队，为 LNG 加气站的安全运行提供有力保障。

综上所述，本文通过对 LNG 加气站低温存储设备的维护与故障诊断技术的深入探讨，总结了设备维护的重要性以及针对性的维护与故障诊断方法。建立完善的维护管理体系、引入智能化监测与诊断技术以及建立应急响应机制等综合策略的实施，对于提高 LNG 加气站的安全运行效率具有重要意义。未来随着科技的不断进步和 LNG 加气站的不断发展，低温存储设备的维护与故障诊断技术将进一步完善和优化，为 LNG 加气站的安全运行提供更加有力的保障。

### 参考文献：

- [1] 王大庆,于海鸿,罗婷婷,王晓黎,梁平.考虑不确定性的 LNG 低温储罐可靠性建模与分析[J].低温工程,2024(05):87-97.
- [2] 张金川.LNG 储罐 06Ni9DR 钢焊接裂纹技术分析[J].科技视界,2024,14(27):66-68.