

试析国产 LNG 低温潜液泵现状及应用建议

王 伟 (中石油江苏液化天然气有限公司, 江苏 南通 226001)

摘 要: 近些年来, 我国国民经济的飞速发展, 对能源的需求也愈来愈旺盛。本文进一步阐述了国产 LNG 潜液泵与主要特点, LNG 泵和国外的产业现状对比以及国产 LNG 泵使用时的注意事项等。

关键词: 国产 LNG 低温潜液泵; 现状; 使用建议

1 引言

LNG 工业中的潜液式 LNG 低温泵, 具有许多传统泵 (分体式离心泵) 无法比的优势。优点主要体现在: 泵提完全浸没在液体中, 工作噪声非常小; 不含转动轴封, 泵内有密封系统使电机和电缆与液体隔绝; 电机不受潮湿、腐蚀的影响, 其绝缘不会因为温度变化而恶化; 消除了可燃气体与空气接触的可能, 保证了安全性; 平衡机构的设计使轴承的使用寿命和大修周期延长; 叶轮和轴承通过液体自润滑, 不需要附加的润滑油系统; 无需使用防爆电机。正是由于有着诸多优点, 潜液式 LNG 泵在 LNG 工业得到了广泛应用。潜液式 LNG 低温泵在 LNG 接收站的应用主要有大型 LNG 储罐内低压泵和外输增压用的高压泵。尽管潜液式 LNG 低温泵有着上述诸多优点, 但在实际使用中仍存在许多问题。下面简要分析部分国内 LNG 接收站投运以来, 潜液式 LNG 低温泵出现的问题及解决办法。

2 国产 LNG 潜液泵与主要特点

2.1 潜液泵工作原理

液体自泵底部吸入, 经入口滤网进入泵内, 在泵内能量逐级增加 (一级叶轮段和二级叶轮段的内部分别装有叶轮), 而后经电机端盖、导流管, 最后在出口电机段汇集并向上吐出。

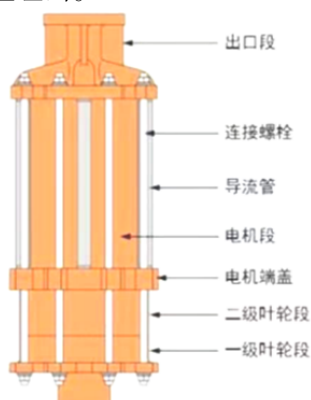


图 1 结构特征及工作原理

2.2 结构组成

泵与电机采用无轴封、潜液式设计、置于密闭泵池内使用, 可确保无泄漏运行, 电机也无需采取防爆措施, 安全性好, 也避免了介质损失, 同时便于泵快速启动。

2.3 应用领域

① LNG 接收站、LNG 加气站及中转站; ②低温液

体贮罐间输送 (LNG、LN₂、LAr); ③低温瓶、槽车和贮罐的充装 (LNG、LN₂、LAr)。

2.4 主要特点

①潜液泵属于无密封结构泵, 杜绝了轴封泄漏的风险, 由于潜液电机浸在 LNG 液体中与氧气隔绝, 不存在爆炸风险, 属本质安全型设备; ②潜液电机通过 LNG 冷却, 温度场稳定, 其绝缘性能不会因温度升高而受影响; ③整个泵体完全浸没在液体中, 工作时噪声低; ④将电动机与叶轮共轴安装, 结构简单, 可靠性高; ⑤泵内置平衡机构可有效平衡轴向力, 延长了轴承的使用寿命; ⑥轴承通过介质自身润滑, 不需要设计额外的润滑油系统。

3 国产 LNG 泵和国外的产业现状对比

目前我国正在大力发展的 LNG 产业, 主要是布局在沿海地区如广东、福建、辽宁和浙江等多地。根据国家制定的发展规划, 我国天然气工业将在今后的 20 年得到一个高速发展的黄金时期, 而其核心部件 LNG 泵也将在我国得到广泛的应用。因此对 LNG 泵相关知识的掌握无论是对于泵的使用者还是设计制造部门都是十分有益和必要的。目前, 我国已经建好投用和正在建设的 LNG 接收站、液化厂装置中, LNG 罐内潜液泵、LNG 高压潜液泵全部采用进口 Nikkiso、Ebara 等国外产品, 其生产供应也基本为美国和日本等少数工业发达国家所垄断, 它们拥有比较成熟的研发技术和先进的制造工艺, 生产的低温潜液泵性能优越且可靠稳定。例如 Nikkiso、Ebara 等国外公司在 20 世纪 60 年代就已开始从事相关产品研究, 在该领域积累了大量的技术, 当前它们又将技术发展定位在朝着大型、高效、节能的技术方向发展。但是, 目前国内相应的研究却很少, LNG 潜液泵的相关技术储备几乎为零, 只有少数的几家企业在相关的领域如低温电缆和低温电绝缘材料进行了前期的理论研究工作。

4 国产 LNG 泵主要问题点

4.1 管路清洁不彻底的问题

高压泵的进口管线, 如果在施工和投产前吹扫不彻底, 管线内有焊渣等残留, 会冲破进口滤网进入泵罐内, 严重时造成泵内部件磨损或折断。如国内某接收站的高压泵全部出现问题, 进口滤网损坏, 入口导流器、扩压器、轴承等不同程度的损坏, 维修费用接近新泵费用。而从施工开始就非常重视管线的清洁和干燥工作的 LNG

接收站, 高压泵投用后基本未出现由于杂质进入泵罐内造成内件损伤的情况, 保证了高压泵的平稳运行。

LNG 泵运行在 LNG 工厂混合冷剂饱和状态 (泡点状态) 附近, 因其结构形式 (多级立式离心泵) 易于引发的常规的运行问题多为: 主轴磨损、轴向窜量、机械密封频繁而严重泄露 (有工厂故障严重时每个月更换 1 副甚至更多机械密封, 且发生过密封泄露引发的液态烃泄露造成的现场事故) 等。应西北某 LNG 工厂的邀请, 我们团队于 2019 年 -2020 年派遣工艺及动设备专家对该装置进行了现场实际检测后发现, 设压缩机级间冷剂泵关键零部件主轴磨损严重、轴套破损, 导致该设备完全不能运行, 如图 2 所示。



图 2

4.2 挥发气排气不畅出现的问题

高压泵安装在泵罐内, 运行时必然会产生热量, 导致一部分 LNG 挥发变成 BOG, 通过排气管线, BOG 可以回到再冷凝器, 也可以回到储罐。投运初期, 考虑到回气到储罐会造成更多的挥发气, 流程通常切换到再冷凝器。但在夏季气化外输量较小的情况下, 泵罐液位波动较大。改变流程回气直接到 LNG 储罐, 泵罐液位平稳。分析原因, 再冷凝器内压力通常 $\geq 0.6\text{MPa}$, 而储罐压力一般只有十几千帕斯卡, BOG 进入容器必须略高于该容器内的压力, 进入储罐要比进入再冷凝器容易得多, BOG 不在泵罐内积压, 液位就稳定了。

根据该泵的问题, 同时考虑装置复产等的时间要求, 不易进行大的改动 (改变泵的选型或是驱动方案而解决机械密封问题), 我们制定了针对性的解决方案: 第一, 保证原安装尺寸不变的情况下, 在原冷却剂泵结构上改造增加滑动轴承组件减小对泵轴的磨损。第二, 冷却剂液下泵部件改造包括: ①与进出口管路连接的壳体考虑到成本因素, 不重新加工, 在原基础上改造; ②泵体密封环、叶轮密封环全部更换; ③原泵中的滑动轴承、轴套全部更换; ④泵体与泵头之间的接管部分按结构需要重新制作; ⑤泵轴、滑动轴承部件等按改进后的设计进行增补; ⑥机械密封部件由仍由工厂提供, 并对其质量负责。

如此, 改造后可以保证原产品技术参数、安装尺寸不变的同时达到保护主轴不被磨损, 提高摩擦副的自润滑性, 降低维修成本的效果。

5 国产 LNG 泵使用时的注意事项

虽然低温潜液泵有许多优点, 但是由于其特殊的低温工况和封闭的工作环境, 一旦使用时操作不当, 仍然

会造成许多不必要的麻烦。低温潜液泵在使用时要注意以下几点:

5.1 罐体内管线对泵的安装及性能的影响

一是泵井设计对泵安装的影响, 泵井与泵既要保持一定的安全距离和同心度, 又要与罐底保持一定的垂直度, 以便泵的安装和液体输送; 二是罐的人口管线布置对泵性能的影响, 在罐体设计时要考虑罐体入口管线的位置, 如果入口管线离泵井太近, 当低位注入液体时, 进入罐内的热流体会影响泵的汽蚀余量。

5.2 泵启动前的排气

大多数泵井都有可以将气体排到罐顶的排出管线来平衡罐和泵井之间的压力。要确定管线内没有低点困液阻碍正常排气, 当罐内液体处于低液位时要尤其注意这一点。如果罐内液体在低位时泵井压力太高, 泵井的底部和泵内就会没有液体, 造成泵无法正常启动。

5.3 泵的监测和保护

罐内泵一般都应设有振动监测系统。监测泵体振动的压电式加速度传感器一般浸没在低温液体中, 固定在泵壳外部。这种监测系统安装困难, 稳定性不高。监测罐内泵最好的方式是利用 DCS 的趋势预测能力。要定期检查电机的电流、泵的流量和压力等指标, 查看各项数据的变化趋势来确定泵的性能。如果以上指标出现明显异常, 则表明该单元需要维修。为了保护泵的运行, 要在电力系统继电器设置电流过低或者过高的保护装置。电流过低表明泵吸入压力下降; 电流过高表明机械故障或者电机电缆故障。除此之外, 还需要考虑泵入口压力和流量过低的保护功能。

5.4 泵的可靠性

为了确保泵安全稳定运行, 要确保按照相关规程对泵进行操作, 以防产生汽蚀现象; 要让泵尽可能运行在额定流量或最佳效率点附近并确保输送介质的洁净, 以提升泵的性能、延长泵运行周期。

6 总结语

我国作为能源的消费大国, 对能源的需求量在不断增加, 而作为储量丰富, 清静环保的天然气的开发。目前, 我国各个接收站、液化厂用 LNG 低温潜液泵完全依靠进口, 价格十分昂贵, 为了节省外汇, 节约成本, 提高国内装备制造业的设计、制造、加工能力, 需要实现 LNG 低温潜液泵的国产化。

参考文献:

- [1] 余春浩, 郝鹏飞. LNG 低温潜液泵的国产化现状 [J]. 通用机械, 2018(11):16-18+33.
- [2] 江海斌, 万学丽, 景宏亮. 我国 LNG 低温潜液泵现状及国产化情况分析 [J]. 通用机械, 2014(11):54-56+60.
- [3] 张智伟, 施卫东, 张德胜, 等. 基于热流固耦合的 LNG 低温潜液泵转子部件模态分析 [J]. 排灌机械工程学报, 2019, 37(3):211-215.
- [4] 杜方鑫, 黄书才. 基于低温潜液泵动态特性的结构优化设计研究 [J]. 现代制造工程, 2019(12):129-134.