

LNG 接收站重要设备国产化的应用

周思思（中石油江苏液化天然气有限公司，江苏 南通 226001）

摘要：LNG 接收站早期由国内外工程公司联合设计建造，引入 LNG 接收站之初，由于 LNG 为超低温介质，使用条件严苛，需要配套耐低温材料和设备。但液化天然气（LNG）接收站关键技术装备如高低压泵、海水泵、BOG 压缩机 / 增压机、ORV、SCV、LNG 卸料臂、装车撬等核心设备被国外厂家高度垄断，导致接收站项目投资居高不下、设备采购价格及周期难以掌控、后期设备运维困难等问题长期以来都客观存在。近年来，国内 LNG 相关企业通过技术改造、产学研合作等方式，开展 LNG 设备和材料自主化研究，基本实现了 LNG 接收站核心设备国产化，增强了 LNG 接收站建设的主动性和灵活性，同时也高效推动了国内 LNG 接收站主机设备及备品备件制造的快速发展。并且对 LNG 成套技术进行了多项改进，不仅提升了接收站气化效率和能力，还引入多个国产自主可控设备，并形成了标准化接收站成套设计与技术文件。

关键词：LNG 接收站；设备国产化；标准化；核心设备；关键技术

0 引言

LNG 接收站的主要功能是接收、储存和再气化，并通过天然气管网向城市燃气和电厂等用户供气。液化天然气接收站通常包括卸料系统、储存系统、蒸发气 BOG 处理系统、LNG 输送系统、LNG 气化、公用工程和支持系统等。截止 2022 年，全国已投运 LNG 接收站（含储备库）23 座，接卸能力 9220 万 t/a，储罐 85 座，总容积 1260 万方。全国扩建 LNG 接收站 8 座，新建 LNG 接收站 21 座，新增接卸能力 10910 万 t/a，储罐 117 个，总容积 2536 万方。LNG 接收站的处理能力是由码头接收能力、储罐周转能力、外输设施能力三者中最小值决定的，在不断增长的天然气需求下，LNG 接收站向着规模化方向发展，千万吨级处理能力接收站不断涌现。随着 LNG 接收站数量不断增多以及规模不断扩大，对低温设备需求也同样急速增长，也为相关设备的国产化产品提供了可观的应用空间。

1 重要设备简介

1.1 低压泵

接收站储罐内的低压泵一般为电动立式潜液离心泵，低压泵从储罐底部吸入 LNG，输出的 LNG 进入再冷凝器和高压泵，由气化器进行气化后外输，部分 LNG 进行卸料总管的循环保冷和装车。

LNG 低压泵主要由导流器、扩散器、电动机、主轴、轴承以及推力平衡结构等组成。其中的泵选用离心式结构具有离心泵所具有的转速高、体积小、结构简单等特点。潜液泵中的导流器是用来减少 LNG 在吸入口处的阻力，这样液体可在较低的压力和液位下工作，还可以防止产生汽蚀；潜液泵在工作当中会产生

一定的离心力而这部分离心力可以由泵中的扩散器叶片来实现，由于扩散器和流体是对称的；潜液泵中的核心部件电动机由于浸没在 LNG 中，电动机能够被直接冷却且处在无氧环境中十分安全，但是由于潜液泵电缆处于低温中，需要采用特殊设计和耐低温的材料（聚四氟乙烯）才能使电缆在 -200℃ 的保持良好的状态下工作，因此无需使用防爆电动机了。此外潜液泵中的轴承由于处在极低温的环境中且无法得到有效的外部润滑，因而所选用的材料是比较特殊的氮化硅陶瓷球轴承，具有的在运行中不断打磨自身的效果。

国外厂家有美国 EBARA、美国 JC CARTER（已经被 NIKKISO 收购）、日本 NIKKISO、法国 Cryostar 等，国内厂家主要是大连深蓝、杭州新亚、上海阿波罗、湖南耐普、北京长征天民等公司。大连深蓝生产的低温泵安装在中海油天津浮式 LNG 接收站以及平湖 LNG 接收站，并且应用良好。杭州新亚与北京长征天民生产的低温低压泵各有一台安装在如东 LNG 接收站内，目前运行情况欠佳，存在压力不足、震动偏大等问题。如东 LNG 接收站储罐还安装了 3 台 1200m³/h 的 JC CARTER 装船泵，但装船泵在储罐液位低于 12m 时，运行振动非常大，无法正常运行。中石化青岛 LNG 接收站使用 JC CARTER 高压泵，运行 3000h 后泵轴及轴承磨损非常严重。EBARA、NIKKISO 低压泵在使用过程中状态都非常好。

1.2 高压泵

高压泵是用于将来自于低压输出总管的液化天然气加压并输送至高压输出总管，再通过 ORV 或 SCV 气化等增压设备外输。

高压泵启动后叶轮在驱动电机的带动下高速旋转,在叶片之间的液体受到叶片的推力,产生旋转运动,动能和压能不断增加,液体旋转产生离心力,在离心力的作用下,液体不断从叶轮中心流向四周,通过扩压管收集排出高压液体。因为需要的出口压力比较高,通常采用多级泵。

国外厂家有美国 EBARA、美国 JC CARTER (已经被 NIKKISO 收购)、日本 NIKKISO 等,由于高压泵出口压力较大,技术要求较高。目前,国内厂家主要是大连深蓝一家公司在生产,并且在如东 LNG 接收站已有应用,前期运行出现震动偏大,扬程不足等问题,经返厂改进后,已经运行 6000 多个小时,状态良好。京唐接收站使用的 NIKKISO 高压泵,一期高压泵叶轮结构设计不合理,在使用一段时间后破损,其中有一台返厂维修,另外几台在现场维修。改造后可以都可以正常使用。

1.3 海水泵

海水泵的结构是竖轴、湿坑型的单机泵。叶轮是混流型,壳体是扩散碗型。泵轴之间通过壳型联轴器连接。泵轴承是无缝橡胶型,通过外部生产水进行润滑。轴向推力轴承支撑转子重量,该轴的密封形式是无石棉的填料密封。电机是安装在独立的钢结构上,通过油脂润滑的齿轮式联轴器连接在泵上。

国外厂家主要有德国 TERMOWEC CANICA、德国 KSB、美国 FLOWSERVE、美国 XYLEM、日本 TORISHIMA、日本 EBARA、意大利 HANSA-TMP 等,国内海水泵生产厂家主要是上海泉凯、上海阿波罗,湖南长泵,湖南耐普等公司。湖南耐普海水泵在江苏如东、京唐两家接收站有实际应用案例,而湖南长泵在大连接接收站也有应用。

湖南耐普国产的海水泵在唐山安装在泵房内,江苏现场露天安装,所以海水泵设计时没有考虑露天使用润滑油箱的密封性,雨水进入润滑油箱导致润滑油缺失磨损止推轴承,但经厂家改进后可以满足生产要求。如东 LNG 接收站国产海水泵使用的是国产 ABB 的电机,相同使用环境下,电机绕组温度比进口 ABB 电机高 20℃ 左右。江苏夏季运行时,电机绕组温度超过高报警值 120℃。京唐接收站海水泵使用的是南阳电机厂生产的电机,存在着电机注脂不畅的问题,导致润滑脂老化,电机运行时绕组温度高。

海水泵冷却水系统的使用情况主要受制于接收站所在的海水水域的水质情况,水质较差的水域,海水

泵冷却水系统采用海水冷却,则需要设计额外的过滤系统,无论是国产还是进口海水泵,原厂家配置的冷却水系统满足不了生产需要。京唐接收站海水泵冷却水系统进行了改造,还增加了过滤功能,目前使用海水冷却。如东 LNG 接收站因为水质很差,目前使用淡水冷却。

1.4 BOG 压缩机 / 增压机

LNG 接收站一般使用往复式活塞压缩机,用于回收接收站产生的 BOG 气体,控制 LNG 储罐气相空间压力。每台压缩机有两级气缸,每级气缸入口和出口设置有缓冲罐,并配置了独立的润滑油系统,同时搭配冷却水系统,用于压缩机系统的换热。国外厂家有日本 IHI、日本 KOBE STEEL、瑞士 BURCKHARDT、美国 DRESSER-RAND 等,国内生产厂家主要有浙江强盛、中石化洛阳工程有限公司、沈阳远大(已被瑞士 BURCKHARDT 收购)。沈阳远大生产的低温压缩机应用在泰安 LNG 液化厂,平稳运行过 3 个多月,但因液化厂停产没有更长时间运行过,运行状态需要进一步跟踪。同时平湖 LNG 应用三台低温压缩机,运行状态良好,但是受限于入口温度要求,只有入口温度达到一定后才能启机运行。

江苏如东与大连接接收站增压机使用的是沈阳远大压缩机厂生产的压缩机,唐山接收站使用的是无锡压缩机厂生产的压缩机,使用过程三家集中存在的问题是压缩机运行过程中振动较大,导致压缩机的引压管道磨损漏气。唐山接收站出现过一级后列缓冲罐与机体连接的短接焊缝撕裂,后短接加固后,出现一级后列缓冲罐裂缝。大连接接收站出现过一级进口管线撕裂的现象。

1.5 ORV

ORV 由装有传热管的垂直管板组成,LNG 在传热管内流动,海水在传热管外部流动,传热管内的 LNG 通过海水加热后气化外输。

国外厂家主要是日本两家产品,国内目前已经有四家厂商可以生产国产 ORV,各性能参数基本都能满足生产需要。中船重工 725 研究所生产的 ORV 在现场使用出现涂层脱落的现象,涂层脱落的原因需要进一步研究确认。川空在京唐接收站安装的 ORV,相同能力的 ORV 换热面积比进口 ORV 大,换热管高度比进口 ORV 长,使用效果与进口相当。江苏中圣生产的 ORV 在中海油海南 LNG 接收站使用,运行中某一负荷下,会产生共振,厂家解释共振的原因是 ORV

入口管线产生的共振,与设备无关。甘肃兰科与江苏中圣生产的 ORV 在中石化广西北海 LNG 接收站安装了两台 ORV,效果一般。

国产 ORV 还面临一个问题就是涂层使用几年减薄需要重新喷涂,目前国产厂家没有在现场成功喷涂的先例。国内目前只有广东东华隆为大鹏 LNG 接收站成功喷涂过 5 台 ORV,但东华隆只能独立完成神户制钢 ORV 的涂层喷涂,针对其他厂家生产的 ORV,仍需要生产厂家的技术支持。

1.6 SCV

SCV 运行时,空气与燃料气在燃烧器内按比例混合后完全燃烧,燃烧后的高温烟气从烟气分布支管上的排气孔喷射到水浴池中,在水浴中形成大量的气泡,迅速上升加热并搅动水浴,烟气与水直接接触换热,湍动的水浴再通过浸没在水中的换热管加热管内的流体,使管内的 LNG 气化。换热后的废气从烟囱排放大气,而燃烧产生的水则从溢流口排出。

国外厂家有德国 SELAS-LINDE、韩国 WONIL T&I、日本 SUMITOMO 等,目前国内 SCV 的生产厂家有两家,江苏中圣与辽河热采。辽河热采的 SCV 在如东 LNG 现场使用,设备的能力与运行状况基本与进口 SCV 一致,点火成功率较高,但局部腐蚀比较严重,如风机房内的排风扇、风管出口管架及法兰、燃料气管线、燃烧器顶部。可能的原因是材料使用标准低或者防腐处理效果不好。江苏中圣生产的 SCV 已经在 2018 年年初中石化青岛 LNG 接收站试运投产,调试中出现风机啸叫,噪音偏大等问题,空燃配比不合适,PID 自动调节不能很好跟踪负荷变化等问题,解决后可以正常运行,但目前依然存在燃料气管线、风机出口碳钢管线腐蚀较为严重,仪表设计没有考虑冗余等问题。

京唐接收站使用的是住友 SCV,如东和大连 LNG 接收站使用的是林德 SCV。住友 SCV 风机出口的调节阀通过阀板的角度的来控制空气的分配,阀门振动较大,个别设备运行 120t/h 以上时,啸叫声音很大。林德 SCV 保护联锁很多,运行中易出现仪表波动联锁停车,后将入口可燃气体、水浴液位等改成二选二联锁逻辑后,运行稳定性有所提高。大连 LNG 接收站 SCV 前期点火成功率不高,点火枪改造后成功率较高。

1.7 装车撬

国产装车撬的技术已经比较成熟,国产装车撬的程控设计更便于操作。但是国产装车撬的阀门及管线锈蚀较为严重。国产及进口装车撬的静电接地夹使用

一段时间后故障率都较高,京唐接收站对静电接地夹全部进行更换,使用效果很好,建议在设计采购阶段,注意选用性能良好的静电接地夹。

如东、大连、京唐 LNG 接收站装车撬在设计阶段都没有考虑拉断功能,根据《移动式压力容器充装许可规则》要求,装车撬需要有防止拉脱的保护装置,建议后建项目在装车撬采购阶段考虑拉断保护功能。

2 总结

从流程上看,LNG 接收站工艺并不复杂,但其中包含很多高科技技术。对设备的保冷、材质、防泄漏等方面要求极高。国产设备和材料的性能、质量、耐用性仍有待改善和提高。比如,江苏 LNG 接收站设备系统自 2010 年建成投产运行至今已有 13 年时间,采用的阀门、管道连接、容器等装备的密封件老化日益严重,泄漏事故频发,阀门中的大部分零件为进口产品,备件价格昂贵、采购周期长、服务不及时等问题非常突出。大型 LNG 接收站关键设备和材料国产化势在必行。通过对 LNG 卸料臂、高低压泵、海水泵、ORV、SCV、BOG 压缩机/增压机、装车撬等关键设备国内研究及制造水平现状的分析可见,目前 LNG 接收站核心技术设备和材料的国产化程度已有显著提高,打破了我国在 LNG 装备方面长期依赖进口的局面,大幅降低了采购成本,同时也带动了国内加工制造业的发展。LNG 关键设备由最初的完全依赖进口转变为目前的绝大部分国产、极少数进口。自主产品不仅在各项关键指标方面可与进口产品比肩,而且在价格、供货周期和后期运营维护上优势明显,为保障国家能源安全奠定了坚实的技术基础。

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):4.
- [2] 渠沛然.LNG 设备国产化进程加速[J].中国能源报 2021(11):24-26.
- [3] 李龙煊.LNG 接收站核心设备及关键材料国产化的进展研究[J].现代化工经济和信息化,2017,04(36):11-15.
- [4] 徐静静,杜光,胡超.LNG 接收站关键设备及材料应用的现状和国产化分析[J].石油和化工设备,2020,23(10):25-27.

作者简介:

周思思(1995-),女,汉族,湖北孝感人,本科,助理工程师,研究方向:LNG 接收站生产运行。