

LNG-FSRU 再气化模块高压管系气体强度试验研究

潘小军¹, 张 林², 黄芳武³

(1. 南通中集太平洋海洋工程有限公司 总经理室, 江苏 启东 226251;

2. 南通中集太平洋海洋工程有限公司 海工设计部, 江苏 启东 226251; 3. 武汉理工大学 交通学院, 湖北 武汉 430063)

摘 要: LNG 再气化模块为 LNG-FSRU 船型的核心装置, 其高压管系的强度试验是整个装置建造的关键节点。通过液氮增压并汽化作为高压试验气源的工艺, 相比传统的清水介质, 不仅缩短了试验周期, 减少了试验工序和专用工装的使用, 降低了系统干燥所需的人工和材料费用投入, 同时也降低了整个装置后期运行时的风险。

关键词: LNG 再气化模块; FSRU; 高压管系; 气体强度试验

中图分类号: U664.84

文献标志码: A

文章编号: 1671-9891(2020)4-0033-04

0 引言

LNG-FSRU(Liquefied Natural Gas-Floating Storage and Regasification Unit, 即“浮式 LNG 存储及再气化装置”)是集液化天然气接收、转运、再气化等多种功能于一体的大型特种装备^[1], 是全球的热点船型。该船型具有投资小、建造周期短、受地理条件限制少等优势, 尤其在 2014 年油价大跌以来海工市场低迷的环境下, FSRU 市场相对活跃^[2], 为岸上的居民区、工业区及发电站等源源不断地提供天然气。LNG 再气化模块是整个 FSRU 的核心设备, 为了适应不同用户及管网或不同租赁方对天然气压力的需求, 往往需要提高再气化模块的产气压力。目前已知的 LNG-FSRU 再气化模块的设计压力已达 170 bar, 根据船级社规范要求, 系统强度试验压力为设计压力的 1.5 倍即 255 bar, 而 LNG 的低温特性又使得管路的连接方式以对焊为主, 仅在设备接口处有少许法兰, 需要在整个系统完工后才能进行强度试验, 这对试验方法提出了较高的要求。通过液氮增压并汽化, 作为高压试验气源气体试验方法, 安全快捷地完成了整个强度试验。

1 LNG 再气化模块

LNG 再气化模块是 LNG-FSRU 的关键装备, 其作用是将 LNG 货舱泵输出的 LNG 进行加压汽化, 并满足对外输送条件。由于 LNG 的设计温度为 -163 ℃, 低温的液体一旦泄漏就会造成巨大的人员和财产损失, 因此, 《液化天然气浮式储存和再气化装置构造与设备规范》明确要求系统的法兰数量要维持最少^[3], LNG 再气化模块系统设计时, 除非必要全部使用对焊的连接方式, 这就需要使用大量对焊阀件, 如: 对焊蝶阀、球阀、止回阀、闸阀和控制阀等。LNG 再气化模块设计紧凑, 若以水为试验介质势必会导致系统内积水无法排出, 即使后期采取真空干燥的方法也会耗费很多时间, 因此为了加快进度, 有时候必须将阀件拆解以排出系统内的积水, 这不仅增加了工作量, 还需要额外的人工费用及更换垫片等材料费。LNG 再气化模块的低温管道系统通常分为三种, 各类管道系统的管内介质、管子等级、试验介质、设计压力及强度试验压力如表 1 所示。LNG 高压管路系统如图 1 所示。

表 1 LNG 再气化模块系统压力分类

管路系统类型	管内介质	管子等级	试验介质	设计压力/bar	强度试验压力/bar
1	低压 LNG, BOG 及透气管系管路	SS150	氮气	10.0	15.0
2	丙烷管路	SS300	氮气	21.0	31.5
3	高压 LNG/CNG 管路	SS1500	氮气	170.0	255.0

收稿日期: 2020-07-03

作者简介: 潘小军(1978—), 男, 湖南邵阳人, 南通中集太平洋海洋工程有限公司总经理室工程师, 硕士。

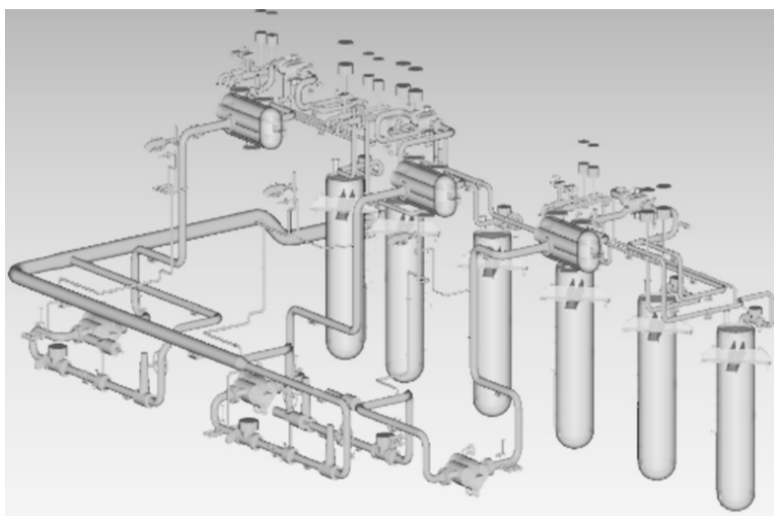


图1 LNG 高压管系

2 LNG-FSRU 再气化模块系统试验气源

按照相关标准,系统类型1和2如果使用气体做强度试验属于高压气体试验,但国内主要船厂经过多年的实践,使用氮气瓶组作为气源,可以安全可控地完成40 bar以下的气体强度试验,操作也相对简单。但通常氮气瓶组的最高压力在200 bar(船厂使用的氮气瓶组压力通常在150 bar左右)以下,无法作为系统类型3的气源。被试验系统容积较大,约 20 m^3 ,若使用氮气增压气泵,会由于压缩机的排量较小、压力高而使得泵的效率降低,从而延长试验时间,增加试验的风险。经过对比,本研究决定采用可调速的液氮低温往复泵作为加压泵,将液氮槽车输出的低压液氮进行加压,然后输送到空气汽化器,将高压液氮汽化成高压氮气。汽化器的处理能力需要根据试验系统的大小来确定,通常汽化后的氮气温度与环境温度差值要控制在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,这样就得到了强度试验所需要的高压氮气源。高压氮气源流程如图2所示。

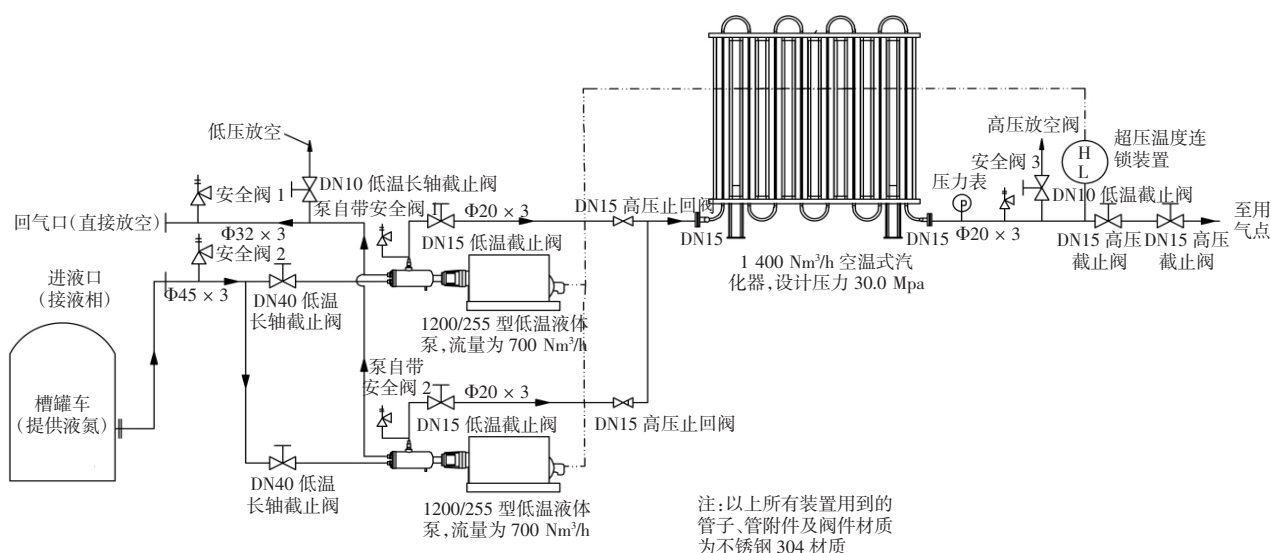


图2 高压氮气源流程图

3 LNG 再气化模块高压管系气体强度试验程序

试验前,高压管系应已按照模块规格书和相关图纸要求制造并安装结束,现场焊接的焊缝无损探伤等检验已认可,管路系统安装完整并固定。安环部门要规划出试验区域,设立警告标志,安排专人监控,并配发防噪音装备;质管部门做好试验所需的设备及仪表的标定工作。

将试验系统接通,液氮增压泵的安全保护功能测试完毕后,可以启动增压泵向被试验系统内注入氮气,步骤如图3所示。

(1)试验管路第一次加压至5 bar,停泵,用肥皂水检查整个被实验系统的焊缝及法兰连接处,看是否有泄漏;如有,泄压至0 bar并修复。

(2)加压至5 bar 检查不泄漏后,启动增压泵继续加压至25.5 bar,再次用肥皂水检查整个管路的泄漏情况,如有,泄压至0 bar并修复。

(3)加压至25.5 bar 检查不泄漏后,启动增压泵继续加压至51 bar,稳压10 min,此时试验人员不可进入试验区域,可在安全区域外通过压力传感器数值的变化来确定系统是否泄漏。

(4)管路正常后,继续加压分别至76.5 bar、102 bar、127.5 bar、153 bar、178.5 bar、204 bar、229.5 bar,直至255 bar,每增加到一个压力值,稳压5 min,管路正常后方可进行再次加压。最终试验压力255 bar时需稳压10 min。在整个试验过程中,试验人员不可进入试验区域,可通过压力传感器观察、记录压力表的数值变化,并做好对比,如果发现数据有较大差距,应尽快排查恢复正常。因系统内的阀件在工厂做泄漏试验时的压力为1.1倍设计压力,故当试验压力大于1.1倍设计压力时,阀杆填料和阀座处会有少量泄漏,压力传感器记录仪显示的压力会有所下降,这属于正常现象。

(5)255 bar 压力下稳压结束后,管路系统通过氮气汽化器旁的放空阀开始缓慢泄压,并分别在220 bar、170 bar、120 bar、50 bar 几个点关阀稳压至少2 min,直至系统压力降到1 bar 时,试验人员及第三方船检进入模块用肥皂水检查所有管道焊缝的情况,看是否有泄漏,并做好相关记录。

(6)脱开液氮槽车,打开汽化器及液氮增压往复泵的排空泄放阀,以免封闭空间内的液氮汽化后产生爆炸危险。

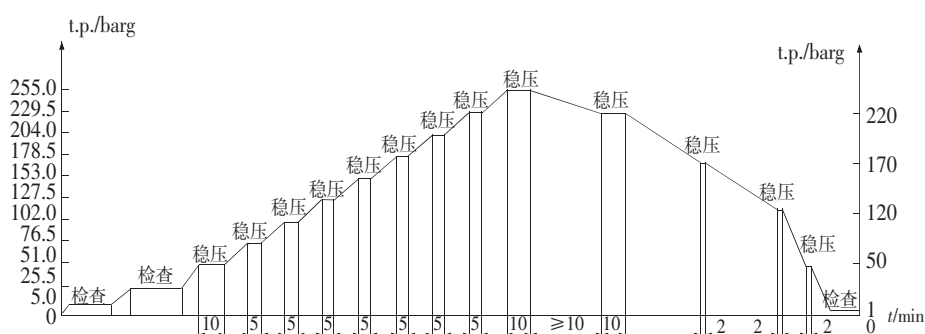


图3 高压试验步骤

4 LNG 再气化模块高压管系气体强度试验总结

气体具有可压缩性,因此以气体作为试验介质的危险性远高于液体。LNG 再气化模块的高压管系强度试验必须时刻将安全摆在第一位,并做好相应的预案,对原材料及制造过程进行严格的监管、对每一条焊缝都要做严格的无损检测,以确保其满足设计要求。

液氮槽车及升压汽化装置应放置在安全区域内,相关操作人员与模块之间有隔离物,比如墙体等。模块升压超过25.5 bar 之后,不允许人员进入模块内部,模块内的试验压力通过预先安置在模块内摄像探头及压力传感器读取。在模块泄压时,参加试验人员应在安全区域内,戴好防噪音耳塞,并都处在泄压的上风区域。

气压试验在LNG 再气化模块建造中有很多优势。通过精心准备和严格把控操作流程,试验风险总体可控,为高压系统的强度试验提供一种高效率的解决方案,也为其他类似模块系统的试验提供相关经验参考。

5 结束语

利用增压设备对低压液氮增压,再使用汽化装置将液氮转化为高压气体作为试验介质,从而完成再气化模块超高压试验的新型工艺,在做好安全和其他各项准备工作的前提下,通过严格管控、严密实施,可大大节省试验成本,包括周期、人工、材料、工装、后期维护投入等,且试验风险总体可控。该工艺无论对业主还

是建造方,无论是项目管理还是现场生产管理,都较为方便,并且对提升企业核心竞争力和产品接单概率也大有益处。该工艺已在南通中集太平洋海洋工程有限公司近十套再气化模块产品建造过程中得到成功应用,并获业主的高度认可。实践证明,该工艺具备较强的适用性和可推广性,可为其他类型的海工功能处理模块提供可借鉴经验。

参考文献:

- [1]我国首款大型液化天然气存储和再气化装备船下水[J].环境技术,2020(2):1-2.
- [2]张拼.LNG 浮式气化装置(FSRU)组块设计[J].石油工程建设,2020(3):33-37.
- [3]中国船级社.液化天然气浮式储存和再气化装置构造与设备规范[R].北京:中国船级社,2018:29.

(责任编辑:张 利)

Experimental Research on Gas Strength Test of High Pressure Piping System of LNG-FSRU Regasification Module

PAN Xiao-jun¹, ZHANG Lin², HUANG Fang-wu³

(1. General Manager's Office, Nantong CIMC Pacific Ocean Engineering Co., Ltd., Qidong 226251, China;

2. Ocean Engineering Design Department, Nantong CIMC Pacific Ocean Engineering Co., Ltd.,

Qidong 226251, China;

3. School of Transportation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: The LNG regasification module is the core device of a LNG-FSRU ship, and the strength test of the high-pressure piping system is a key node in the construction of the entire device. The process of pressurizing and vaporizing liquid nitrogen as a high-pressure test gas source not only shortens the test period, but also reduces the use of test procedures and special tooling, and the labor and material costs required for system drying compared to traditional clean water media. Meanwhile, it also reduces the risk of the later operation of the entire device.

Key words: LNG regasification module; FSRU; high pressure piping system; gas strength test

本刊声明

为了适应我国信息化建设的需要,扩大本刊及作者知识信息交流渠道,实现期刊编辑、出版工作的网络化,本刊已加入《中国期刊网》《中国学术期刊(光盘版)》全文数据库、《万方数据——数字化期刊群》和《中国科技期刊数据库》。本刊录用的文章,在上述数据库中的著作权使用费,已包含在本刊稿酬内一次性给付,不再另付。如作者不同意,请在来稿时特别声明,本刊将作适当处理。

《南通航运职业技术学院学报》编辑部