

液化天然气船舶加注站安全运行研究

冯 敏 (中国石化天然气销售分公司第四质量环保监督中心, 广东 广州 510308)

程新求 (中石油昆仑燃气有限公司广东分公司, 广东 广州 510308)

摘要: 国内某内河 LNG 船舶加注站建设项目, 建设 3000 吨级加注泊位 1 个, 趸船上设 2 座 250m³ 液化天然气储罐, 总容量 500m³。LNG 年加注量 0.81 万 t; 油品年加注量 0.45 万 t。本文结合该项目建设运营经验, 对其建设及运营期间存在的问题提出解决措施, 为国内 LNG 船舶加注技术的安全发展提供参考。

关键词: LNG 船舶安全; 运营; 加注技术

近年来, 随着我国航运的迅速发展, 燃油消耗的不断增长, 碳排放污染等环境问题日益突出。液化天然气 (简称 LNG) 作为船舶燃料使用, 对改善大气环境减轻水体污染、降低船舶运输成本有着至关重要的作用。本文结合国内内河 LNG 船舶加注站的建设与运营, 对实现 LNG 船舶加注站安全路径提出解决路径和思路。

1 建设项目简况

本工程位于肇庆港德庆港区, 石井水泥码头下游, 建设一座 LNG (油气合建) 趸船加注站, 其中: 建设 3000 吨级加注泊位 1 个 (结构按靠泊 5000 吨级船舶设计), 趸船上设 2 座 250m³ LNG 储罐, 总容量 500m³; 油舱容量 2018m³。LNG 年加注量 0.81 万 t; 油品年加注量 0.5 万 t。

2 LNG 工艺

本 LNG 加注站工艺流程主要包括卸车流程、加注流程、增压流程和卸压流程。

2.1 加注流程

储罐中的 LNG 通过泵加压经流量计计量后通过加注臂给 LNG 燃料动力船加注 LNG。该过程需要将 LNG 动力船燃料罐内的气体进行回收, 回收的主要目的是对 LNG 动力船燃料罐进行降压, 方便泵后液体注入, 同时提高储存效率。加注流程如下:

液相: 趸船 LNG 储罐→泵→趸船管线→计量系统→加注臂→LNG 燃料动力船。

气相: LNG 燃料动力船→加注臂→计量系统→趸船气相管线→趸船 LNG 储罐。

LNG 储罐工作压力一般为 0.8MPa, 通过加注泵后加注压力为 1.15MPa。

2.2 增压流程

当 LNG 储罐压力低于设定值时, 一部分 LNG 液体进入增压气化器气化, 气化后的气体返回到储

罐顶部, 达到储罐增压的目的。

2.3 卸压流程

在正常运行过程中, 储罐中的液体同时在不断的蒸发和汽化, 这部分汽化了的气体如不及时排出, 储罐压力会越来越大。但是当储罐的气体排放量大于一定量时, 又造成较大浪费, 所以在本站储罐压力高出正常工作压力且小于排放压力时, 利用低温泵打循环, 通过上进液口对储罐进行降压。当储罐压力继续升高时, 压力达到调节阀设定压力时, 调节阀打开, 释放储罐中的气体至 BOG 缓冲罐, 进行回收利用。只有当储罐压力超高, 来不及降压或者其他特殊情况下, 储罐压力达到安全阀设定值时, 安全阀打开, 释放储罐中的气体至安全放散, 降低储罐压力, 保证储罐安全。

3 关键风险分析

3.1 船舶靠、离泊危险

船舶靠、离泊安全是本工程安全运营的一个重要组成部分, 船舶在靠、离泊作业过程中会对码头产生撞击、挤靠、摩擦等作用, 靠、离泊不当会对码头、船体以及设备与设施产生危害影响。

3.1.1 影响船舶靠离泊的危险因素

影响船舶靠离泊的危险因素很多, 主要包括: ①风力的大小与方向; ②流速的大小与流向; ③水域交通流量; ④船舶本身的操纵性能。

3.1.2 船舶靠离泊安全分析

①风是影响船舶靠离泊作业安全的主要因素。船舶满载时, 侧向受风面积较大, 所受的风力也很大。由于靠离泊时船舶航速较小, 风对船舶的影响明显, 一方面使船舶向下风向产生较大漂移, 另一方面使船舶产生偏转。因此, 必须依靠拖轮的辅助操纵才能保证船舶靠离泊的安全; ②潮流是影响船舶靠离泊的重要因素。船舶急流调头时, 船舶向下游漂移。因此, 必须选择合适的调头位置, 才能保

证船舶调头后的靠泊安全；③船舶在各种不利的风浪流条件下，只有配备必要的拖轮，并正确操纵，才能保证船舶靠离泊作业的安全。

3.2 火灾、爆炸

LNG 及其蒸发产生的天然气的最主要成分为甲烷。LNG 属于液化烃，为甲 A 类火灾危险物质，甲烷气体属于甲类可燃气体，它们均属于高度易燃易爆物质。LNG 火灾的特点是火焰传播速度较快；质量燃烧速率大（地上和水上燃烧速率分别达到 $0.106\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 和 $0.258\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ ，约为汽油 2 倍；火焰温度高、辐射热强；易形成大面积火灾；具有复燃、复爆性；难于扑灭。LNG 储罐区储罐总容积为 500m^3 ，单罐容积为 250m^3 ，油舱容积为 2018m^3 ，根据《船舶液化天然气加注站设计标准》（GB/T 51312-2018）本工程船舶液化气加注站等级为一级。火灾危险性定为甲 A 类，存在火灾、爆炸的危险。应按照相关要求选择防爆电气设备。如果装卸易燃物料过程中因设备泄漏跑冒、装卸时逸散可燃蒸气，遇明火、撞击火花、静电放电、雷电、烟囱飞火等点火源，有导致火灾爆炸的危险。

3.3 中毒、窒息

LNG 无毒，但空气中 LNG 含量过高或氧含量不足时，对人体产生窒息作用。

在项目中使用到氮气，如果发生泄漏，空气中氮气含量过高，使吸入气氧分压下降，引起缺氧窒息。吸入氮气浓度不太高时，最初表现为胸闷、气短、疲软无力；继而有烦躁不安、极度兴奋、乱跑、叫喊、神情恍惚、步态不稳，称之为“氮酩酊”，可进入昏睡或昏迷状态。吸入高浓度，患者可迅速昏迷、因呼吸和心跳停止而死亡。

3.4 触电伤害

3.4.1 电气伤害

港区内用电设备用电量较大，系统线路覆盖面广、沿途距离长、敷设方式多样，而且作业环境特殊，具有潮湿、高温、带金属外壳的设备较多，容易造成电气设备与线路的腐蚀、外皮损坏，引发触电伤人事故。此外，电气设备接地、接零设计不合理，作业人员违章操作等原因，也会导致触电事故的发生。另外，电工违章作业引起的自身伤害和其他人员伤害也是触电伤害。

3.4.2 雷击伤害

本工程码头前沿的架空管线、照明灯、设施的防雷装置失效，在雷雨天存在着被雷击的危险。由于雷电具有电流很大、电压很高、冲击性很强的特

点，一旦被雷电击中，不但可能损坏生产设备和设施，造成大规模停电，而且还会导致火灾和爆炸，造成人员伤亡事故。

3.5 物体打击

由于船体结构复杂，在船体高处平面作业时，如果操作人员不慎使工具、零件等掉落，可对周围低处作业人员造成物体打击伤害。此外，如果检修工具、物料等摆放不合理，杂物坠落等原因也会对人员造成物体打击伤害或损坏设备。船舶靠泊过程未严格按照操作规程作业，抛掷缆绳；未按规程系解缆均可能造成人员受物体打击。船舶使用不合格缆绳，发生断缆可能造成人员物体打击。吹扫作业期间未按操作规程作业，未做好卸压可能造成盲板或其他紧固件、构件飞出造成物体打击。码头设施拆装时未按操作规程作业，抛掷工具器件可能造成物体打击。

3.6 重大危险源辨识

表 1 重大危险源临界量辨识

序号	设备类型	设备参数	数量	q_n : 储存量 (t)	$q_{总}$: 储存量 (t)	Q: 临界量 (t)	$q/Q > 1$
1	储罐	250m^3	2 个	225	225.4	50	是
2	管道	DN100	1 条 (取 100m 计算)	0.35			
3	管道	DN500	1 条 (取 100m 计算)	0.09			

依据《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）重大危险源的分级指标计算公式为：

$$R = \alpha \cdot \beta \cdot q_{总} / Q$$

调研可知，厂区边界向外扩展 500m 范围内常住人口数量为大于 100， α 取 2。

查《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）表 4 可知，此处 β 取 1.5。

经计算：

$$R = \alpha \cdot \beta \cdot q_{总} / Q = 2 \times 1.5 \times 225.4 / 50 = 13.5$$

查《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）表 6 可知， $10 \leq R < 50$ ，本工程重大危险等级为三级。

4 安全措施

4.1 总平面布置

针对 LNG 船舶加注，总平面布置应符合以下要求。内河液化天然气加注码头的平面布置应统筹考虑到港的各类船舶航行、调头、靠离泊、待泊、防台等要求，适应液化天然气受注船频繁进出港的要求。液化天然气受注船进行加注时的允许风力不应超过 6 级。内河液化天然气加注码头泊位长度、码头前沿设计高程、码头前沿停泊水域和回旋水域的设计尺度和设计水深应按现行行业标准 JTS 166-2020《河港总体设计规范》。内河液化天然气加注

码头长度和码头前沿设计顶高程应满足加注作业的要求。液化天然气受注船加注作业期间,加注口周边 25m 半径范围内不应进行与加注无关的活动。

4.2 装卸储运工艺及设备设施

装卸储运工艺及设备设施为关键的工艺设施,其安全可靠性直接影响加注站的安全运行,为此应采取以下措施:加注工艺应根据液化天然气受注船的船型进行设计,满足船舶加注、计量、吹扫、置换、检修、安全和环保等要求。加注工艺应考虑蒸发气回收处理。设备应配备防静电装置,并采取防火花的措施。工艺管道的流通能力应满足正常加注作业所需的最大流量要求,设计流速应根据管系刚度、水击分析等因素合理确定,且不宜大于 7m/s。加注码头应设置具有数据传输接口的计量装置。加注臂或者低温软管与码头液化天然气液相管道连接处应设置紧急切断阀和止回阀,与码头气相管道连接处应设置紧急切断阀。在液体管路上的两个切断阀之间应设置安全阀,泄压排放的气体应集中接入放散管放空处理。热膨胀安全泄放阀的设定压力不应小于管道的最大操作压力,且不应大于管道的设计压力。放散管系统设计尚应符合现行国家标准《石油天然气工程设计与防火规范》(GB 50183)的有关规定。液化天然气液相及气相管道应设置温度和压力检测仪表远传仪表宜具有就地显示功能。

4.3 安防监控系统

内河液化天然气加注码头应设置视频监控系统,受注船和加注口周边 25m 范围均应在监控系统覆盖范围内。设置通信与助航设施,防爆型甚高频无线电话以及报警和紧急切断系统。内河液化天然气加注码头的加注区及其他潜在泄漏区应设置可燃气体泄漏检测报警系统和低温报警系统。

4.4 消防系统设置

按照《内河液化天然气加注码头设计规范》、《火灾自动报警设计规范》及《供配电系统设计规范》(GB 50052)等有关规定要求细化消防系统设计。内河液化天然气加注码头所配备的消防设施,应能满足扑救码头火灾的要求。消防负荷、通信控制等负荷按一级负荷供电,工艺及主要动力设备、应急照明按二级负荷供电,其余负荷按三级负荷供电。消防用电设备应采用专用的供电回路供电,并应在最末一级配电装置或配电箱处自动切换,其配电线路应采用耐火铜芯电缆。内河液化天然气加注码头应设置火灾报警系统。本项目消防水量为 15L/s,持续时间 3h,一次火灾消防用水量 162m³。沿引桥设置室外消火栓,并配备消防箱,水龙带,水枪等。

4.5 防雷防静电措施

依据现行国家标准《建筑物防雷设计规范》(GB 50057)《石油与石油设施雷电安全规范》(GB 15599)及《石油化工企业静电接地设计规范》(SH 3097)等有关规定做好设备、管道以及附属设施的防雷接地工作。防雷电感应将站内所有设备、管道、构架、平台、电缆金属外皮等金属物均接到接地装置上。防止静电火花最根本的方法是设备管道作良好的接地,设备每台两处接地,管道每隔 25m 接地一次,法兰、阀门之间作电气跨接。在码头区入口处及加注区附近设置消除人体静电装置,在泊位两端设供船舶跨接用的船岸等电位连接装置。

4.6 爆炸危险区域措施

LNG 加注码头装卸的物料有可能形成爆炸性气体混合物;且码头加注区等处存在诸如工艺阀门、法兰等释放源,因此码头加注区及紧急切断阀等处为爆炸性气体危险区域。在爆炸性气体危险区域范围内,电气设备均按相应的爆炸危险区域等级配置,防爆等级 Exd II B T4。考虑到化工码头的防爆要求,使用及安装在爆炸危险场所的自动电话、无线对讲机、工业电视监控系统的云台及摄像机、广播呼叫系统室外话站等通信设备均采用防爆设备。通信线路的接头也应进行防爆处理。

4.7 应急措施

设立独立的 SCADA 系统,对关键的阀门进行 ESD 连锁,确保发生大量泄漏的情况下能够快速实现关键阀门的切断,为应急处置赢得时间。站内配置关键的应急装备,如防爆工器具、正压式呼吸器、长管呼吸器、快速堵漏器、应急发电机、消防战斗服等,定期开展应急演练,人员和装备处于应急状态。

5 结语

本文从目前的在建的一座加气站入手,对 LNG 船舶加注站存在的风险进行了分析,提出了针对性的安全措施,从设计、施工及后期运行上保证了 LNG 船舶加注站安全可控,为 LNG 船舶加注站的安全发展提供了可参考的建议。

参考文献:

- [1] 董素军. 液化煤层气 (LNG) 在城镇燃气中的应用 [J]. 城市建设理论研究, 2012(01).
- [2] 石兵. 关于内河船用 LNG 加注站建设的思考 [J]. 中国海事, 2013(26).

作者简介:

冯敏 (1971-), 女, 汉族, 云南昆明人, 大学本科, 中级, 研究方向: 安全环保。