

内河 LNG 加注码头应用前景及工艺系统分析

林佐轮

(湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410008)

摘要: 内河推广 LNG 清洁能源步伐正在加快, 除大力推动 LNG 动力船舶建造和改造外, LNG 加注码头设计和建设工作正全面铺开。本文从经济性角度分析了内河 LNG 加注码头的市场应用前景, 结合已建成的某 LNG 加注码头设计经验, 分析了内河 LNG 加注码头基本的平面布置、加注工艺类型及工艺系统设计重点, 提出经济可靠的工程应用方案, 可为内河其它 LNG 加注码头设计提供参考。

关键词: 内河; 液化天然气 (LNG); 油气加注; 加注工艺

中图分类号: U656.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 07—0134—03

内河水运积极推广 LNG 清洁能源步伐正在加快, 除大力推动 LNG 动力船舶建造和改造外, LNG 加注码头设计和建设工作正全面铺开。水上 LNG 加注码头属于危险品码头, 安全责任大, 涉及影响因素较多, 码头设计除需充分考虑其安全、防洪、通航和环保等专项问题外, 更要重视其核心的工艺加注和补给系统的设计。

1 国内外 LNG 船舶和加注码头现状及趋势分析

(1) 国外 LNG 船舶起步早、规模不大。据英国 SEA-LNG 在 2020 年 2 月发布数据, 全球有 175 艘 LNG 动力海船, 在造 203 艘, 另有 141 艘 LNG 动力预留船在运行或在造订单上^[1], 主要为集装箱运输船、客渡船和滚装船。

(2) 根据 2020 年 12 月 22 日《中国交通的可持续发展》白皮书: 我国已建成 290 多艘 LNG 动力船, 大部分已投运, 主要航行于长江、京杭运河及黄浦江等水域。

(3) 预计到 2025 年长江水系 LNG 动力船舶的加注需求量将达到 199.1 万 t, 船舶规模达 19040 艘^[2]。

(4) 长江、京杭运河及西江航线共规划有 74 座 LNG 加注码头, 其中, 长江 45 座, 京杭运河 19 座, 西江 10 座^[3]。

(5) 截止 2021 年 12 月底, 国内已建成内河 LNG 加注码头达 22 个, 其中长江已建成 9 座, 见表 1, 另有多座 LNG 加注码头已开工建设。其余内河航线建成的多座 LNG 加注站受 LNG 动力船舶限制, 目前基本还未实质投入使用。

表 1 长江已建成的液化天然气加注码头表

序号	港口名称	港区	项目名称	加注方式	状态
1	上海港	浦东老港	上海浦东老港内河加注站	岸基	已投运
2	镇江港	高桥港区	镇江港润祥液化天然气加注站码头	岸基	已投运
3	南京港	八卦洲	南京八卦洲加注站	趸船	已投运
4	芜湖港	三山港区	芜湖长江 LNG 船舶加注站	岸基	已投运
5	芜湖港	新沟黄兴圩	芜湖中长燃新沟 LNG 油气合一加注站	趸船	已投运
6	九江港	湖口港区	九江港湖口港区 LNG 加注码头	趸船	已建成
7	岳阳港	云溪港区	岳阳港云溪港区 LNG 加注码头工程	趸船	已建成
8	宜昌港	大坝库区	秭归 LNG 加注码头	岸基	已建成
9	重庆港	主城港区	重庆麻柳加注站	岸基	已投运

2 LNG 加注码头的问题分析

(1) 受市场价格因素影响, 航运企业新建改造 LNG 动力船舶的意愿不足, 船舶保有量较少, LNG 加注码头工程投资大, 运行成本高, 整体发展缓慢。

(2) LNG 加注码头敏感性较高, 安全责任大, 建设运营涉及部门多, 各部门对 LNG 使用管理认识不一、审批依据不完善, 客观上造成 LNG 加注码头建设运营审批困难。

(3) 现有港口总体规划大多未考虑 LNG 加注码头功能及其规划方案, 需加快推进港口总体规划的调整。

3 内河 LNG 加注码头补液、加注工艺

补液、加注工艺系统是内河 LNG 加注码头的核心, 补液工艺主要依托 LNG 储罐、运输船或罐车三种补给

方式完成；加注工艺则依托 LNG 储罐、加注泵撬、真空绝热管、BOG 系统、储罐调压系统、放散系统、吹扫装置等设备联合完成。

3.1 加注方式

目前，LNG 加注码头加注工艺分为四种方式：罐车加注、岸基加注、趸船加注、LNG 加注船加注^[4]，其优缺点见表 2。

表 2 加注模式优缺点对比

类别	罐车加注	岸基加注	趸船加注	LNG 加注船加注
优点	机动性好；投资和操作成本低；适合小型加注	固定，利于风险控制；适合大型、快速加注	相对固定，投资省；适合于大水位差	机动性好；效率高；适合大型、海上加注
缺点	加注量小、效率低、及时性较差	占用岸站空间，投资高	需占用岸站空间，补液和加注需分开进行	港池内操作性差；投资操作成本高

其中，罐车加注其加注能力小，一般只在陆域储罐未建成之前作为过渡的一种加注形式；LNG 加注船加注工艺方式受安全监管和航道条件限制，可操作性差，在内河无实际应用案例；我国内河已建成 LNG 加注码头主要为岸基加注（储罐位于陆域）、趸船加注（储罐位于趸船）两种工艺加注形式，LNG 主要加注码头典型结构形式见图 1。



图 1 罐车加注（左）、岸基加注（中）和趸船加注（右）

内河 LNG 加注码头加注方式的选择与其泊位等级和水位差密切相关。以长江干流为例，芜湖港以下至长江口通航船舶大多在 10000 吨级以上，其最大水位落差 12m 左右且低水位工况维持时间较短，为保证加注工艺操作的便捷性和靠泊的安全性，其下游 LNG 加注码头优先采用直立式码头，配合岸基加注方式；芜湖以上至重庆段，通航船舶大多在 10000 吨级以下，其最大水位落差达 18m 左右^[5]，大多码头优先采用加注操作性好、投资省的浮式趸船结构，采用的加注工艺方式既有趸船加注，也有岸基加注。

3.2 加注、补液及扫线工艺流程

(1) 趸船加注：LNG 罐车→卸车平台卸车撬（含计量）→引桥真空绝热管线→真空软管→趸船真空绝热管线→趸船 LNG 储罐→加注泵撬（含计量）→液相和

气相真空绝热管线及闸阀系统→真空软管加注连接（软管吊/加注臂）→货船。趸船码头可通过水上 LNG 运输船和陆上补给。其工艺流程见图 2。

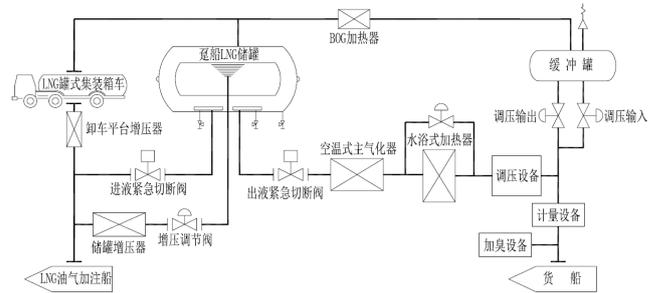


图 2 趸船加注及补液工艺流程图

(2) 岸基加注：LNG 罐车/管道→潜液泵→码头陆域 LNG 储罐→引桥真空绝热管线→码头平台→加液泵撬（含计量）→真空软管连接（软管吊/加注臂）→货船。岸基加注不应从水上补给^[6]。

(3) 扫线流程：卸车前先用氮气将工艺管道内部空气惰化，再通过 BOG 系统将低压天然气吹扫置换管内氮气，置换完毕再进行卸车补液操作；卸车完毕后通过 BOG 系统将低压天然气吹扫管内残液至 LNG 储罐，再利用氮气吹扫置换 BOG 气体，置换完毕后方可拆卸加注或卸车用软管。

3.3 LNG 储罐容积确定

趸船 LNG 储罐容积大小取决于日均 LNG 气源补给量和加注需求量。由于 LNG 加注特殊性，从安全角度考虑，补给和加注不能同时进行，LNG 加注作业只能在白天进行，作业按 12 小时计；LNG 罐车补给在晚间进行，作业按 9 小时计。

(1) 日均补给量。LNG 罐车容积约为 50m³/辆，计算装卸率 0.8 后加注量为 40m³/辆，一般情况下卸完 1 辆车约 1.5 小时，每天单线最多装卸 6 辆，单线日均补给量 240m³。

(2) 单船加注量。载货量 500 ~ 5000 吨运输船，柴油机总功率 300 ~ 1700kW；按柴油机总功率计算燃油消耗量 $Q_Z = T \times N_{eZ} \times g_{eZ} \times 10^{-6} (t)$ ；式中：T 为连续航行时间，取 24h； N_{eZ} 为柴油机总功率； g_{eZ} 为柴油机燃油消耗率，一般取 220g/kW.h，则油耗为 1.584 ~ 8.98t，换算后 500 ~ 5000DWT 货船按 300 公里行程所需 LNG 为 2.82 ~ 16m³，考虑充装率及余量后，载货量 500 ~ 5000DWT 受注船 LNG 储罐一般取 5 ~ 20m³ 较为合理。

(3) 单船加注时间。由于受注船 LNG 储罐（以 10 ~ 15m³ 为例）进料管径约 40 ~ 50mm，加注流速过快，易引起静电，一般选用流量 20 ~ 30m³/h 加注泵，可将 LNG 纯加注时间控制在 20 ~ 30 分钟，单船完成加注和

靠离泊作业控制在 1 小时内较为合理。

(4) 日均加注量。按白天 12 小时工作计, 每天可加注 500 ~ 5000DWT 的船舶 12 艘次, 加注量在 60 ~ 240m³/天。

(5) LNG 储罐容积比较: ①当泊位为 500 ~ 1000 吨级时, 单个 LNG 加注码头日均加气量约 60 ~ 80m³, 配 100m³ 储罐较为经济。②当泊位为 1000 ~ 3000 吨级时, 单个 LNG 加注码头日均加气量约 80 ~ 180m³, 配 200m³ 储罐较为经济。③当泊位为 3000 ~ 5000 吨级时, 单个 LNG 加注码头日均加气量约 180 ~ 240m³, 配 300m³ 储罐较为经济。④当泊位为 5000 ~ 10000 吨级时, 单个 LNG 加注码头日均加气量约 240 ~ 360m³, 配 500m³ 储罐较为经济。

3.4 趸船加注工艺管线及设备的布置

内河某趸船 LNG 加注码头工艺平面布置见图 3, 该 LNG 加注趸船平面尺寸 65×12×3.2×1.6 m (长×宽×型深×吃水)。考虑过渡期的影响, 该趸船具备油气加注双重功能, 考虑安全性和补给的可操作性, 其柴油均从水上油船补给, 油舱容量 395m³; LNG 既可从岸上罐车补给, 又可从水上 LNG 船舶补给, 趸船 LNG 储罐容积 2×100m³, 年加注 LNG 能力 1.6 万 m³, 柴油 1 万 m³。

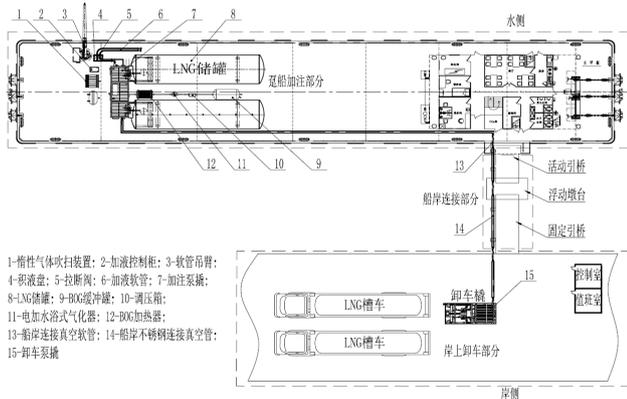


图 3 内河某趸船 LNG 加注码头工艺平面布置图

LNG 趸船加注码头的核心工艺系统包含三部分: 趸船加注、船岸连接、岸上卸车。其中, 趸船加注主要包括 1 惰性气体吹扫装置、2 控制柜、3 软管吊臂、4 积液盘、5 拉断阀、6 加注软管、7 加注泵撬、8 LNG 储罐、(9-12) LNG 回收调压装置、13 不锈钢真空绝热管路和阀门等核心部件, LNG 燃气回收调压装置布置于两个 LNG 储罐中间, 节约空间; 船岸连接主要包括 (13-14) 不锈钢真空绝热管路及吹扫管线; 岸上卸车包括卸车泵撬 (含计量) 和控制柜等。

4 结论

内河水运推广 LNG 加注码头建设是实现碳达峰的

重要举措。LNG 加注码头补液和加注工艺是其核心内容, 选用的加注方式决定了其建设的投资成本和适应性的问题。

(1) 内河 LNG 动力船舶燃料市场价格、燃烧热值均占明显优势, 新建 LNG 动力船舶吨级越大, 经济性越明显, LNG 加注码头市场前景广阔。

(2) 内河 LNG 加注码头水位差小于等于 12m 时, 建议采用岸基加注的直立式码头方案; 水位差大于 12m 时, 建议采用趸船加注的浮码头结构方案。

(3) 趸船加注码头 LNG 储罐容积建议在泊位等级为 500 ~ 1000 吨级时, 配置 100m³; 在 1000 ~ 3000 吨级时, 配置 200m³; 在 3000 ~ 5000 吨级时, 配置 300m³; 在 5000 ~ 10000 吨级时, 配置 500m³ 较为经济。

(4) 趸船加注码头工艺可为同类型码头设计提供参考。

参考文献:

- [1] 李洋钢, 应业炬, 郁惠民. LNG 运输及加注型船舶研发现状与进展 [J]. 中国水运, 2021, 08: 100-103.
- [2] 韩新强. 长江水系 LNG 动力船舶的规模及加注量需求预测 [J]. 油气储运, 2020.
- [3] 交通运输部办公厅. 关于印发长江干线京杭运河西江航运干线液化天然气加注码头布局方案 (2017-2025 年) 的通知 [L]. 2017-07-31.
- [4] 鲁亮, 刘森儿, 卢俊, 刘小波. 内河 LNG 岸基加注站船岸 LNG 输送速度研究 [J]. 中国水运, 2019 (04).
- [5] 代雯强, 杨珩. 内河 LNG 加注需求及加注站布局选址 [J]. 水运管理, 2019(04).
- [6] 李岳洋, 刘波涛, 王飞. 内河小型 LNG 加注船货物系统设计研究与应用 [J]. 江苏船舶, 2018 (02).

