

双燃料船舶首次在中国修造船企业实施船对船LNG加注的安全管控全景解析

——以“达飞·萨德”轮23000TEU集装箱船LNG加注项目为例

吕亮亮

上海中远海运重工有限公司 上海 201913

摘要：全球航运业绿色低碳转型背景下，液化天然气（LNG）成为船舶替代燃料核心选择。2025年6月，上海中远海运重工完成国内修造船企业首例船对船LNG加注作业，标志着中国修造船行业首次在修船场景下实现超大型双燃料船舶燃料补给能力。本次作业面临修船厂区交叉作业、明火环境、空间受限等特殊挑战，首次将《水上液化天然气加注作业安全监督管理办法》（海危防〔2021〕148号）与《液化天然气燃料水上加注作业安全规程》（GB 42283—2022）全面落地于修船场景。

本文以“达飞·萨德”轮（23000TEU LNG双燃料集装箱船）项目为研究对象，构建“组织-区域-风险-应急-协同”“五位一体”安全管控体系。结合作业流程、关键参数与实操数据，解析管控体系核心要点，对比国际标准与国内实践差异，提炼修造船厂环境下的特殊管控要求，为同类高风险作业提供技术支持，助力航运业“双碳”目标实现。

关键词：LNG船对船加注；双燃料船舶；修造船企业；安全管控体系；应急响应；风险预防

1 引言

1.1 研究背景

全球“双碳”目标推动航运业能源替代，国际天然气联盟（IGU）2024年报告显示，全球LNG动力船舶超800艘，23000TEU级集装箱船占比超15%。2021年《水上液化天然气加注作业安全监督管理办法》明确报告、安全距离、人员资质等要求；2023年《液化天然气燃料水上加注作业安全规程》（GB 42283—2022）细化爆炸危险区划分、ESD系统等技术标准。但两者聚焦码头、锚地场景，未覆盖修船厂区特殊性，应用存在局限。修造船厂存在空间有限、作业交叉、人员设备密集等独特挑战，国内缺乏实践经验。2025年6月上海中远海运重工“达飞·萨德”轮加注项目，突破技术瓶颈，填补国内空白。

1.2 研究意义

理论上，整合多要素完善LNG加注管控理论，为标准制定提供依据；实践上，提炼可复制规范，解决国内修造船企业“无标准可依”困境，推动维修与加注一体化服务能力提升。

1.3 研究内容与技术路线

本文以“达飞·萨德”轮LNG船对船加注项目为核心案例，采用“背景-流程-体系-验证-展望”框架，阐述项目概况与流程，构建并解析“五位一体”管控体系，

验证实施效果，提出未来方向。技术路线为：项目背景分析→作业流程梳理→安全管控体系构建→实施效果验证→经验总结与展望。

2 项目概况与作业流程

2.1 项目参与方与核心设备参数

2.1.1 受注船：“达飞·萨德”轮

23000TEU LNG双燃料集装箱船，船长399.9m，船宽61.3m，LNG燃料舱为GTT薄膜型（容积18600m³，设计温度-163℃），加注系统接口管径8”（DN200），最大流量1100m³/h，本次进厂进行燃料系统维护等工程。

2.1.2 加注船：“淮河能源启航”轮

国内最大LNG加注船，舱容13850m³，船长130.0m，配备2台浸没式货泵（单台流量500m³/h）、1台再液化装置（950kg/h），设计航速13节。

2.1.3 主要参与方

项目涉及四方核心主体，分工明确且协同紧密：

• 甲方（上海中远海运重工）：负责提供作业场地（1号码头）、协调厂区资源、制定总体作业计划、统一指挥现场操作；

• 乙方（中船恒宇）：承担燃料舱氮气置换、空气化、预冷等前期准备工作，负责槽车加注阶段操作；

• 丙方（上港能源）：负责“淮河能源启航”轮运营与船对船加注作业，包括软管连接、气密测试、LNG

输送等核心环节；

• 丁方（达飞船方）：配合完成受注船系统检查、舱内气体监测、船员操作培训，保障船舶燃料系统合规性。

2.2 作业流程与时间规划

本次加注作业分为槽车加注与船舶加注两个阶段，总耗时约150小时，各阶段流程与时间分配如下：

2.2.1 槽车加注阶段（100小时）

该阶段为船对船加注奠定基础，核心目标是完成燃料舱与管路的预处理，具体流程：

氮气置换（24h）→空气化（12h）→天然气置换（12h）→预冷（48h）→管路检查（4h）

2.2.2 船舶加注阶段（50小时）

该阶段为核心作业环节，由“淮河能源启航”轮与“达飞·萨德”轮协同完成，具体流程与时间分配如下：

加注船靠泊（2h）→光缆与软管连接（1.5h）→气密测试与惰化（1h）→ESD测试（0.5h）→管路预冷（3h）→LNG加注（40h）→吹扫与拆管（2h）→加注船离泊（0.5h）

2.3 作业环境与同步作业管控

作业位于上海中远海运重工1号码头，遵循SGMF同步作业要求：暂停吊装、维修等作业；人员持许可证，配备防静电装备；仅保留防爆设备；道路与水域设置警戒区，海事管制。

3 安全管控体系构建

3.1 组织指挥体系设计

3.1.1 三级组织架构

加注总指挥部：总指挥（加注船船长）统筹审批，协调四方资源；专业小组：设保卫警戒、系泊监测、安全监督、应急救援、技术支持、后勤保障六个组，分工明确；现场班组：执行具体操作，反馈实时情况。

3.1.2 沟通协调机制

- 日常沟通：防爆对讲机（VHF CH16）；
- 例会沟通：每日8点四方协调会；
- 应急沟通：VHF CH17频道，总指挥统一指令。

3.2 区域划分与管控措施

依《液化天然气码头设计规范》（JTS 165-2021），分三级区域。

在危险区（加注站等周围3~5米）内仅允许使用防爆设备，人员须穿着防静电服并携带可燃气体检测仪，严禁明火，特级动火需隔离，并设置4台精度 $\leq 0.1\%$ LEL的探测器每10秒采集数据；限制区（如受注船甲板）人员须持通行证且禁带火种，非必要设备停用，禁止堆放危险品，并使用红色阻隔带及中英警示牌进行隔离；警戒

区（码头400米范围）设置路障并安排拖轮警戒，禁止无关人员停留，预留5米应急通道并布置监控。

3.3 风险识别与预防措施

3.3.1 风险识别与等级

采用LEC法识别十大风险，I级（极高）为LNG泄漏、火灾；II级（高）为碰撞、系泊失效等。在作业过程中主要存在以下风险：其中危害程度最高的I级风险包括因软管、法兰等设备损坏导致的LNG泄漏，以及泄漏的LNG遇火源引发的火灾；同时还需防范II级风险，例如船舶之间或与过往船只发生碰撞、系泊缆绳断裂导致船舶位移，以及人员吸入高浓度气体造成的窒息危险。

3.3.2 关键风险预防措施

- LNG泄漏：加注前100%查设备，控吊装速度 $\leq 0.5\text{m/s}$ ，每15分钟肥皂水检漏；
- 火灾：禁明火，防静电（接地电阻 $\leq 10\Omega$ ），备抗醇灭火器，启用再液化装置；
- 碰撞：缆绳安全系数 ≥ 6 ，海事航警，靠泊速度 $\leq 0.2\text{m/s}$ ；
- 窒息：强制通风（风量 $\geq 1000\text{m}^3/\text{h}$ ），每30分钟测气体，人员配呼吸器。

3.4 应急响应机制

依据《生产安全事故应急预案管理办法》，结合项目风险特点，构建“四级应急响应+专项处置+资源保障”的应急响应体系，确保突发事件快速、有效处置。

3.4.1 应急响应分级

根据事故严重程度，将突发事件分为四级，明确响应主体与处置流程：

IV级（一般）：轻微泄漏，现场组织处置；III级（较大）：小范围泄漏，专业组长响应；II级（重大）：大量泄漏、小型火灾，副总指挥协调；I级（特别重大）：舱破裂、大火，总指挥启动社会联动。

3.4.2 专项应急处置方案

针对十大风险中的高风险事件，制定专项处置流程，以“LNG泄漏引发火灾”为例，处置步骤如下：

1分钟内：按ESD停作业，报指挥部；3分钟内：应急组用抗醇灭火器灭火，开水幕；5分钟内：关阀门断供应，堵漏；10分钟内：疏散人员，救伤员；30分钟后：吹扫检测，评估恢复。

3.4.3 应急资源保障

物资：低温防冻服（2套）、呼吸器（4套）、探测器（6台）、消防车（2辆）等；人员：10名持证应急人员，每季度演练，联动医院；通信：防爆对讲机，应急电话，备份救援号码。

3.5 多方协同与责任划分

3.5.1 四方核心职责

• 甲方：负责提供合规作业场地，包括清理障碍、布设隔离与警示设施；统筹协调厂区应急车辆、起重设备和电力供应等资源；组织四方应急演练并监督作业安全；同时实施人员车辆管控，办理动火及临时用电等作业许可。

• 乙方：负责制定氮气置换、天然气置换及预冷等作业方案，并报甲方审批后执行；同时负责合规槽车的调度与操作，提供预处理过程中的技术支持，并承担与槽车相关事故的现场应急处置。

• 丙方：负责“淮河能源启航”轮的运营管理，确保其适航性与船员持证上岗；负责制定并执行船对船加注作业全流程方案，实时监测加注关键参数以确保操作规范，并承担加注船相关事故的现场处置。

• 丁方：负责提供“达飞·萨德”轮技术资料并配合制定作业方案；承担受注船船员培训，确保其熟悉加注流程与应急操作；负责监测燃料舱关键参数并及时反馈异常；配合完成燃料舱预处理及软管对接与拆管作业。

3.5.2 协同机制

联合会议：作业前启动会、中协调会、后总结会；信息共享：微信群与共享文档，SSL链路传数据；联合演练：作业前模拟泄漏、火灾场景。

4 实施效果与经验总结

4.1 实施效果

项目于2025年6月18-19日完成，加注5020m³LNG，耗时48小时（低于计划）：

• 安全：无超标报警，缆力20-45kN，舱压0.3-0.6barG；

• 质量：LNG纯度 $\geq 99.5\%$ ，舱温-132℃；

• 效率：平均流量980m³/h，接近设计流量。

项目获达飞感谢信，列为上海“绿色航运示范项目”。

4.2 关键成功经验

• 技术：控预冷温降 $\leq 10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，用PID调流量，双重泄漏监测；

• 管理：作业前风险评估与培训，作业中“定点+流动”监督，作业后复盘；

• 协同：明确四方职责，共享资源，多渠道沟通。

4.3 存在的问题与改进方向

• 问题：槽车调度慢，应急演练缺复合场景，监测有盲区；

• 改进：建槽车调度平台，增复合场景演练（VR模拟），装无线传感器。

5 结论与展望

5.1 研究结论

修造船厂需“五位一体”管控体系，组织为核心，区域为基础，风险为关键，应急为保障，协同为支撑；预冷温降 $\leq 10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、舱压 $\leq 5.0\text{bar}$ 等为安全关键，三级区域管控隔离风险；四方协同与应急联动可应对复杂环境，保障安全。

5.2 未来展望

随着航运业绿色转型加速，甲醇、氨等新型低碳燃料船舶将逐步普及，修造船企业燃料加注业务面临新挑战与机遇，未来可从以下方向开展研究与实践：

（1）多燃料管控：针对甲醇、氨燃料特性，调整防控措施，建兼容加注码头；

（2）智能化应用：用数字孪生、AI监测、无人操作，提升管控效率；

（3）完善标准：联合机构制定《修造船厂LNG船对船加注安全规程》，推动行业规范。

参考文献

[1]中国船级社.LNG燃料加注作业指南[M].北京：人民交通出版社,2024.

[2]中华人民共和国海事局.水上液化天然气加注作业安全监督管理办法（海危防〔2021〕148号）[Z].2021.

[3]国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.液化天然气燃料水上加注作业安全规程（GB42283—2022）[S].北京：中国标准出版社,2022.

[4]上海中远海运重工.“达飞·萨德”轮23000TEU集装箱船LNG加注项目作业方案[Z].2025.