

LNG 加注船 - 船加注风险分析研究

刘 松 (中海石油气电集团有限责任公司浙江分公司, 浙江 宁波 315800)

摘 要: 随着航运业对绿色能源船舶发展的重视, LNG 燃料动力船舶的飞速发展已见成效。LNG 燃料加注船 - 船加注方式灵活性好且加注效率高, 可以快速满足我国 LNG 动力船的加注需求。本文对 LNG 加注船 - 船加注风险进行了系统的风险分析, 明确了不同加注阶段存在的风险, 针对性地提出了安全保障措施, 为 LNG 燃料加注船 - 船加注的实际运营提供助力。

关键词: LNG 加注船; 船舶; 风险分析; 安全保障

0 引言

在国际经济快速发展的背景下, 能源的缺乏和结构不合理等问题日益增强, 而 LNG 作为世界三大能源支柱之一, 由于其热值高、不含硫、燃烧清洁、排放较低, 逐渐发展为绿色环保型船舶的首选燃料。随着采用 LNG 作为燃料的船舶不断问世, 技术也逐渐成熟, 未来也能够可持续的缓解经济快速发展和能源逐渐匮乏的矛盾, 并且极大的降低国内关于煤炭和燃油这类对环境有污染危害的燃料消耗, 有着十分重要的意义。

LNG 燃料加注船 - 船加注方式有着灵活性好、加注效率高、可海上加注等优点, 能够快捷、灵活地解决我国沿海地区 LNG 动力船只对清洁能源的需求, 随着

LNG 动力船舶日益发展以及天然气的广泛利用, LNG 燃料加注船是实现这一能源革命必不可少的重要手段。

1 LNG 船 - 船加注作业

加注船兼具清洁燃料运输及加注功能, 可在码头或锚地为受注船提供加注服务, 并且可以开展加注同步作业, 是目前沿海 LNG 加注主流方式。

1.1 LNG 加注同步作业

同步作业概念提出是由于 LNG 加注耗时较长, 如果受注船能够在 LNG 燃料加注的同时进行装卸货作业, 就能明显减少船舶停靠港时间, 从而降低船舶运营成本, 提高周转效率。

1.2 加注船加注作业流程

加注船加注作业流程如图 1 所示。

1.2.1 抵港过程

抵港过程包括, 加注船驶抵加注地点、受注船驶抵加注地点、信息确认。加注船驶抵加注地点, 加注船于补液码头进行液货舱补液操作, 保证装载的清洁燃料满足加注量需求。加注船应按照国家法规要求、航行规则、进港及靠泊要求、海事、交管要求、水文气象要求等安全驶抵加注地点。待加注船、受注船均驶抵加注地点后, 双方应对加注条件等信息进行确认, 内容包括但不限于气象、通信、照明条件及注意事项。

1.2.2 加注前作业检查

加注前作业检查可分为 LNG 加注兼容性和安全性评估两部分, 包括消防、人员、设备、生活区开口、安全通道、通信系统检查。并召开作业前会议, 商定加注作业计划。同步作业在加注前会议商定后方可开展, 并按风险评估要求进行检查确认。

1.2.3 加注作业过程

加注作业过程包括, 加注管路连接, 管路惰化、泄漏测试和驱气, 预冷操作, 加注操作, 吹扫操作, 惰化等。管路惰化一般以氮气为介质, 通过加注船上

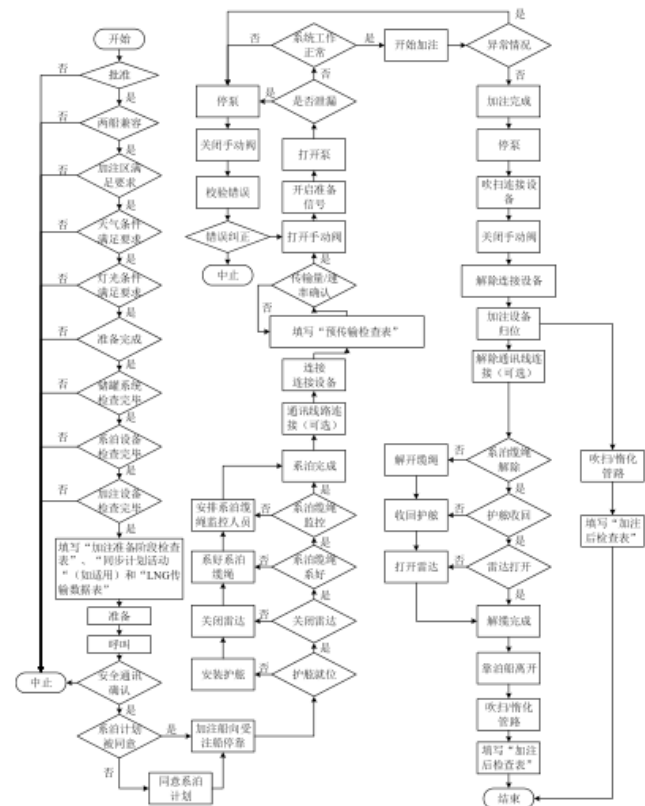


图 1 加注船加注作业流程

的氮气发生器获取。

为缩短加注作业时间，加注船可以在加注连接前，提前对加注管路进行惰化和预冷操作。

1.2.4 加注完成后操作

加注阶段从加注船与受注船安全连接完成、加注船 LNG 加注阀门打开开始，到加注作业结束、加注船加注阀门关闭终止。加注完成后操作包括，关闭阀件及设备、断开加注连接管系、断开有线通信连接、文件填写及记录。并召开加注完成后会议。

2 LNG 加注船监管标准

2.1 国内外法规、规范

国际海事组织（IMO）早在 2005 年就已经制定并公布了以 LNG 为船舶核心能源动力的有关规定，例如：国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则（IGC code），IMO IGC Code 主要针对目标为载运气体的船舶，对于现实上载运 LNG 行驶的 LNG 动力船和 LNG 加注船也同样合适；海事安全委员会（Maritime Safety Committee, MSC）于 2009 年 6 月制定并发布了气体燃料指南（IGF code）。如果所设计的小型 LNG 加注船配备的主机为纯气机或双燃料主机，以 LNG 作为动力能源，该类型的船舶的动力体系和能源有别于普通情况，那么除了要求达到一般船舶设计、制造需要依照的规范、规则的规定以外，还必须达到其他专门针对船用 LNG 燃料和 LNG 主机的规定及标准。

中国船级社以国际已有的公约、规范为参考依据，已为相关船舶提供明确的规范和标准为目的，在 2015 年发布了《液化天然气燃料加注船舶规范》，在 2017 年发布了《液化天然气燃料加注作业指南》并与 2021 年进行修订更新，中国海事局也于 2016 年发布了《液化天然气燃料加注船舶法定检验暂行规则》（2016）等。

对于加注船，《水上液化天然气加注作业安全监督管理办法》（海危防〔2019〕490 号）》第五条明确，加注船应当经中华人民共和国海事局授权或者认可的船舶检验机构检验合格，取得相应的检验证书和文书，并依法进行船舶登记。LNG 加注船按照《液化天然气燃料加注船舶法定检验暂行规则》（2016）和《液化天然气燃料加注船舶规范》（2015）进行检验登记并取得适装证书即可。《船舶载运危险货物安全监督管理规定》（以下简称《规定》）第三十五条第二款明确，载运散装液化天然气船舶及载运其他具有低闪点特性的气态燃料的船舶，进出沿海港口和在港停泊、作业，应当通过开展专题论证，确定护航、安全距离、应急锚地、安全警示标志等安全保障措施。

2.2 行业标准、通则

加注 LNG 燃料事实上是 LNG 传输的一种形式，因此国际气体船运输与码头经营者协会（Society of International Gas Tanker & Terminal Operator Ltd, SIGTTO）的船对船运输指南（液态气体）Ship-to-Ship Transfer Guide（Liquefied Gases）对 LNG 加注船及其相关作业步骤起教辅作用。虽然国际气体船运输与码头经营者协会 SIGTTO 制定的这一则指南面对的教辅对象是大规模的 LNG 输送过程（从 LNG 运输船传导到陆地接收终端或 LNG 运输类船舶与船舶互相输送），但对 LNG 加注船进行 LNG 加注作业应该有一定程度上的基础教辅功能和作业步骤上的借鉴价值。

目前，国内外的 LNG 加注船或概念船的设计和钻研范畴内，无论其主机能源使用的是纯气燃料还是油气混合型燃料，船舶发动机能源的组成因素都是同时包括 LNG 和柴油的。在设计 LNG 加注船整体和它补给作业的整个操作程序时，思考 LNG 补给的同时也要思考柴油的补给。因此，石油公司国际海事论坛（Oil Companies International Marine Forum, OCIMF）发布的船对船运输指南（石油）Ship-to-Ship Transfer Guide（Petroleum）也被归入适用于 LNG 加注船的指南。

3 LNG 加注船风险分析

加注船加注主要在沿海装卸货码头或锚地利用加注船为受注船提供燃料加注服务。在沿海装卸货码头进行加注时，燃料加注与装卸货同步作业在提高船舶的运营效率也增加了新的风险。另外，锚地加注也具有其特有的风险事件。通常，沿海加注中，加注作业受风、流、潮汐等气象条件的影响更为巨大，由于船舶的动量较大，都将造成受注船舶与加注船的相对运行，造成受注船舶与加注船发生碰撞的可能。通过柔性连接系统（软管和吊机结合方式）进行加注，可以有效降低过程中船舶相对运动带来的部分风险，该加注方式具体存在的风险为：

3.1 受注船靠泊系泊阶段

加注船靠泊受注船失败、加注船与受注船之间缆绳失效、加注船与受注船之间发生碰撞、受注船与其他过往船舶发生碰撞、受注船发生火灾或爆炸、加注船发生火灾或爆炸、高空坠物、锚地加注的受注船发生走锚。

3.2 加注系统连接与准备阶段

加注设施与受注船之间软管吊接失败、加注软管连接不当、加注设施与受注船之间软管连接失效、受注船与加注船之间存在不同电位、加注作业前管路干

燥惰化不足、加注系统预冷不足、加注设施与受注船之间通讯失效、人为操作失误、船船之间人员转运方式不当。

3.3 加注阶段

软/硬管发生破裂、阀件/接头及附件等发生泄漏、高空物体坠落撞击加注设备、受注船作业引入火源、加注船与受注船吃水发生变化、同步作业时加注作业与装卸货的作业区域重叠、加注系统及燃料舱超压、加注系统堵塞、加注系统流速过快、加注管路振动、燃料泵/压缩机/热交换器等失效、船舶失电导致船舶驱动源失效、船舶控制系统失效、加注系统仪表失效、操作不当、受注船与加注船之间缆绳失效、人员冻伤(LNG、液氨)、人员逃生受阻、锚地加注中锚地来往船只引入火源、受注船走锚。加注同步作业时,还可能存在着掉箱风险,导致掉箱的主要因素包括:吊具失效,导致集装箱掉落;集装箱船舶装卸操作、压载水管理操作失误引起船舶横倾,导致堆层坍塌;集装箱自身系固失效导致堆层坍塌或集装箱掉落。

3.4 加注完成断开与离泊阶段

加注完成后管路吹扫不足、加注作业前管路惰化不足、加注完成后软管拆卸失败、加注设施与受注船之间软管吊接失败、加注船离泊受注船失败、加注设施与受注船之间通讯失效、人为操作失误、人员冻伤、船船之间人员转运不当。

4 LNG 加注船安全保障措施建议

LNG 燃料泄露挥发有机率形成可燃气云,被明火引燃导致火灾或爆炸等事故,另外超低温 LNG 燃料(零下 162℃)还会损伤船体、伤害人员,因此 LNG 加注必须制定有效的安全保障措施。结合 LNG 加注船的作业和船型特点,可以从船舶技术、船公司管理、加注作业规范化、船员的能力和资质建设要求等方面制定风险控制措施。

4.1 船舶技术

完善的船舶设计,考虑采用良好和特殊的建造工艺。合理设计 LNG 运输处和 LNG 加注船的船舶布置,对于不同区域和处所应设有合适的安全距离,其应满足 IMO《国际散装运输液化气体船舶构造与设备规则》的有关要求。

4.2 船公司管理

LNG 加注船公司应建立完善的设备管理制度,以便保证船舶按照有关规定、规则以及公司可能制定的任何附加要求进行维护。具体的生产设备应有专人负责,定期维护保养。

4.3 船公司应制定详细的加注操作规程

该操作规程应根据不同加注阶段制定出详细的检查表,要对人员进行严格的理论和操作培训。操作人员进行加注前、中、后,严格执行检查表的各项内容。同时,对于 LNG 船对船加注作业,加注作业负责人应有充分认识,加注作业前应至少对可能存在风险的内容予以确认。加注方案的制定主体应包括加注船、受注船和港口管理单位,且各方应当严格按照方案规定的内容实施。

4.4 加强 LNG 加注船船员能力和资质建设

LNG 加注船公司需在 LNG 加注船上配备具有资质和能力的船员,并建立和保持可能需要的相关培训,加注船上进行低温液体操作的人员都应该装备有个人防护设备。受注船公司应按照不低于海事局颁发的最低配员证书配备船员。船员应进行与其职责匹配、符合相关规定的培训,并取得相应的证书。

4.5 制定安全距离及应急预案

LNG 加注船的加注作业对于周围的作业环境要求较高,各港口管理单位根据港口条件不同,对 LNG 货物作业环境的要求也存在一定差异。通常 LNG 船舶在进行加注作业时应根据安全距离制定一个作业安全区。每一艘加注船在加注作业时均应有一个安全间距,安全间距用于提醒过往船舶勿靠近或停泊加注作业区域。在进行加注作业前,作业负责人应充分明确本船的安全间距。因此,每艘加注船均应进行安全间距评估。

4.6 安全监控系统

针对 LNG 燃料使用存在的爆炸、低温等隐患,分析船上 LNG 燃料存储、供给等过程中的风险,基于此设计船舶 LNG 燃料安全监控系统,通过监测燃料舱等区域的温度、气体浓度或其他参数,使系统具备过程的实时监控和事故报警功能。

5 结语

利用加注船为受注船提供 LNG 燃料加注服务,具有机动性好、操作灵活等优点,适合为各种类型的受注船进行加注。按照加注过程的四个阶段进行划分,加注船加注 LNG 燃料存在不同特点的风险。通过从船舶技术、船公司管理、加注作业规范化、船员的能力和资质建设要求等方面制定安全保障措施,能够实现 LNG 加注船-船加注的风险可控。

参考文献:

- [1] 翁雨波.船用替代燃料应用前景[J].中国船检,2019(08):46-49.
- [2] 张波,周毅,李萌,等.LNG 船对船加注系统设计[J].天津科技,2022,49(09):53-56.