

复杂工况下 LNG 船货物回收转运技术研究

邱永吉

(交通运输部烟台打捞局, 山东烟台 264000)

摘要: 针对 LNG 船事故中 LNG 回收转运难的问题, 开展了复杂工况下 LNG 船货物回收转运技术的研究。分析当前 LNG 船货物回收转运的主要思路和方法, 对比不同回收转运系统的特点及适用性, 选择更具普适性的回收转运系统加以深入研究, 制定不同工况下 LNG 船货物回收转运方案, 分析研究其中的关键操作与难点。通过本文的研究, 为解决 LNG 船货物回收转运的问题提供应对策略及深入研究的参考思路, 对于提高救捞系统危化品处置能力具有重要的意义。

关键词: LNG 船; LNG 回收转运; 回收转运系统; 复杂工况

中图分类号: U674.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 02—0138—03

近年来, 海上 LNG 运输产业愈发壮大, 高技术带来高回报的同时也增加了高风险。由于 LNG 特殊的理化性质, 使得 LNG 船一旦发生泄漏甚至燃烧、爆炸等事故时, 其对人员、财产和海洋环境带来的影响和安全威胁将是巨大的。在 LNG 船破损、泄漏事故恶化前, 对 LNG 船泄漏的及时封堵和货物的安全回收转运是最重要的。通过对 LNG 船货物回收转运现状的分析和转运系统的对比, 结合海上施工特点, 制定科学合理的 LNG 回收转运方案, 并对其中的关键操作和难点进行分析, 为可能发生的 LNG 船应急救助提供重要的技术参考。

1 回收转运 LNG 的研究现状

由于 LNG 船的高技术特点, 目前还没有出现较严重的海上事故, 因此对 LNG 船货物的回收转运主要还处于研究阶段。目前的研究进展表明, 针对根据不同的事故特点和海况, LNG 船货物转运回收主要有两种方式: 码头回收转运和海上回收转运。

1.1 码头回收转运

当被救助的 LNG 船距离 LNG 接货码头较近时, 在 LNG 船事故危险性较低的情况下, 可考虑 LNG 船靠码头, 直接采用加注/接收站的卸料臂系统进行回收, 回收方式与接收站卸料过程基本相同。采用码头回收转运 LNG 的优势在于设备准备时间短、工作速度快、效率高, 但其局限性在于需考虑事故的危险性, 因为事故船距离码头的 LNG 存储容器较近, 一旦发生爆炸等事故, 其连锁反应将异常巨大。

1.2 海上回收转运

海上回收转运是指因现场情况 LNG 船需要在海上进行回收转运的方式, 受现场海况和危险程度等作业条件影响可以分为并靠转运方式和串靠转运方式。

1.2.1 并靠转运方式

并靠转运, 即转运船舶与 LNG 船舷侧并靠进行转运回收 LNG, 并靠转运系统一种是刚性输送臂转运系统, 类似于 LNG 接收站卸料臂系统, 此类系统便于操控, 自动化程度高, 但是结构形式复杂, 改造工作量大, 且

船体的相对运动可能导致输送臂连接处发生泄漏, 存在火灾、爆炸等风险。另一种柔性软管式转运系统则采用了一种柔性的低温软管进行并靠转运, 可以降低船体的相对运动对转运安全性的影响。该系统同时结合刚性臂和柔性管的技术特点, 可提升 LNG 传输系统的灵活性, 并且该系统的改造方式更简单, 结构相对简单。

1.2.2 串靠转运方式

串靠转运, 即转运船舶与被转运船舶艏艉串靠进行转运回收 LNG, 两船前后布置或者前后斜向错位布置, 两者之间的距离较大。串靠转运依靠漂浮时低温软管连接两船艏艉或舷侧进行转运, 可以有效克服海况恶劣, 两船安全距离大的难题, 但这种方式传输距离远、输送管线长、投资多, 在技术上存在一定的风险。

采用海上回收转运 LNG 的优势在于其事故风险的影响程度和范围可以被控制降低, 对于附近人员、财产的威胁可以规避减轻, 但海上情况更加复杂, 不论是救助保障、设备安装、操作都更加困难, 海况的影响也较为明显。

2 回收转运系统对比分析

2.1 回收转运系统概况

目前 LNG 回收转运系统主要可分为两种类型: 刚性输送臂式和柔性软管式转运系统。

(1) 刚性输送臂转运系统, 其结构形式与 LNG 接收岸站中的卸料系统相似, 主要由输送臂本体、紧急脱离装置和控制系统组成。输送臂设备主要由快速接头法兰、回转接头、臂架系统、平衡配重系统、立柱等组成, 其基本结构如图 1 所示。刚性输送臂设计、制造和检验的难点主要在材料深冷处理、旋转接头设计及低温动态试验、紧急脱离装置设计及可靠性和快速连接接头可靠性等方面。

(2) 柔性软管式转运系统可以提高 LNG 转运的灵活性, 其主要由以下部分组成: 应急释放系统 (ERS)、LNG 低温柔性软管、Y 型三通接头、快速接头 (QC/DC)、软管鞍座、液压动力单元及控制站 (HPU)、



图1 刚性输送臂基本结构图



图2 柔性软管式转运系统

船舶距离检测器（VSD）。其结构形式如图2所示。柔性软管式转运系统的难点主要在低温软管的尺寸与最小弯曲半径、快速接头操作性、应急释放系统可靠性等方面。

2.2 不同回收转运系统优劣性分析与对比

2.2.1 工作频率对比

柔性软管由于其工作原理和使用方式的原因，一般工作频率在20~30d，使用寿命最大5年（BVNR 620 2.7.1要求），在使用频率更高的情况下寿命会适当缩减。

刚性输送臂结构强度较好，工作频率约2~15d，在 $H_s \leq 2.0m$ 的极限海况下可正常工作，装有靶向装置的刚性输送臂甚至可以适应 $H_s \leq 5.0m$ 的极限海况。其使用寿命20~25年。

2.2.2 操作性能对比

操作方式上，刚性运输臂具有较好的遥控操作性，能减少较多的人工操作并且在操作连接上更为简便，柔性软管则在连接时相对更为繁琐。但柔性软管也有其优势：制作周期短，质量轻，从而对船体甲板加强无特别要求，运输方便，海运、空运均可，同等要求下价格也较装卸臂低约40%。

2.2.3 安全性对比

刚性输送臂和柔性软管转运在多年的LNG船加注和卸载应用中均被证明具有较高的安全性，如防止LNG大量泄漏的快速连接/断开耦合装置、应急释放系统等。从可能发生危险的角度考虑，柔性软管的操作上可能会有软管断开后的坠落风险，但整体上来讲风险有限。

2.2.4 适用性对比

刚性运输臂由于其刚性结构和尺寸的原因，更多地适用于两船间并靠转运或船岸转运，但是在海况较差的情况下，其适应船体相对运动的能力会明显受到限制，不利于高海况下的转运，且刚性输送臂对于转运船舶的结构要求和改造技术要求都较高，造价相对较高，也不利于灵活转移使用；相比之下，柔性软管的制作周期较短，质量轻，从而对搭载平台无特别要求，同等要求下价格也较装卸臂低约40%，并且运输方便，海运、陆运均可，使其可以同时适用于码头和海上回收转运，由于软管的长度更长、管系柔软，可以使两船并靠、串靠转运或船岸转运时的距离更大，使得两船或船岸间的安全距离更大，还可以更好地满足恶劣海况下的安全转运。

综合以上分析对比，两类转运系统有各自的优劣势和适用性，但基于LNG的快速安全回收转运以及全区域覆盖能力的角度来看，柔性软管式转运系统将更加适用于LNG的回收转运。

3 复杂工况下LNG回收转运方案

3.1 码头回收转运LNG方案

当LNG船发生事故后符合码头转运的要求，可以将LNG船靠码头进行LNG转运，若现场码头为LNG加注或接收码头，在安全条件和作业条件允许的情况下，可直接利用码头的卸料臂系统进行LNG货物的转运回收，回收方式与LNG船卸货方式相同（见图3）。

若LNG船靠泊的码头不具备直接回收转运LNG的条件，则启用LNG接收容器对LNG船的货物进行回收转运，接收系统从陆地运至码头边进行转运回收作业，回收方式为：

（1）接收设备运至现场就位。通过陆运的方式将接收设备运至码头现场并进行安装测试。

（2）准备工作。对LNG接收容器进行预冷却，使其温度达到接收要求。

（3）连接柔性软管。使用小吊机设备将柔性软管靠船端吊至LNG船卸货管路处进行管路和ESD设备连接。

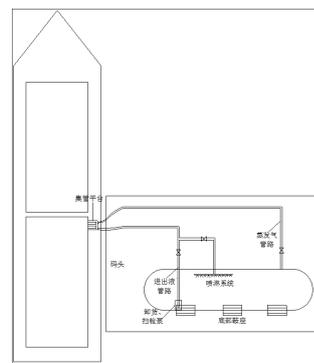


图3 码头软管连接图

（4）LNG货物转运。柔性软管连接完成后，现场确认达到卸货条件后开始进行LNG货物的转运，通过

LNG 船的卸货泵和扫舱泵对需要转运的 LNG 货物进行排送转运。装卸货的过程中应注意密切观察 LNG 船和接收容器上监测设备的运行情况及监测结果。

(5) 卸货完成。检查卸货情况, 确认卸货完成后, 将软性软管及 ESD 等连接设备拆除并关闭 LNG 船的卸货装置和管路阀门, 完成货物回收转运。

3.2 海上运输中回收转运 LNG 方案

当 LNG 船在海上发生事故需要进行 LNG 货物转运回收时, 如果不具备靠近码头进行回收转运的条件, 则需要海上进行 LNG 货物转运回收(见图 4), 为适应海况变化, 可采用更稳妥的船对船串靠连接的方式, 回收方式为:

(1) 转运回收船就位及准备。转运回收船靠在 LNG 船一定距离以外的侧方或后方, 一般为 LNG 船集管平台一侧或船艉后。在此之前, 转运回收船上的接收设备可预先进行冷却和准备工作。

(2) 连接柔性软管。由于转运回收船与 LNG 船有一定距离, 因此要依靠辅助拖轮将软管连至 LNG 船, 集管平台处, 由船上人员进行柔性软管等设备的连接。

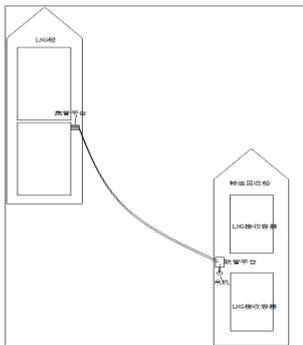


图 4 软管串靠连接图

(3) LNG 货物转运。柔性软管连接完成后, 现场确认达到卸货条件后, 开始进行 LNG 货物的转运, 通过 LNG 船的卸货泵和扫舱泵对需要转运的 LNG 货物进行排送转运。装卸货的过程中应注意密切观察 LNG 船和转运回收船上监测设备的运行情况及监测结果。

(4) 卸货完成后设备拆除。检查卸货情况, 确认卸货完成后, 将软性软管等设备拆除, 并关闭 LNG 船的卸货装置和管路阀门, 通过辅助拖轮将软管设备回收至转运回收船上, 回收转运完毕, 船舶、人员复原。

4 关键操作、难点及其解决方案

4.1 软管的选配

在不同工况下的 LNG 回收方案中, 软管的使用方式主要有两种, 一是近距离卸货时舷边吊提, 二是长距离卸货时软管主体漂浮于海面。相比较之下, 后者需要软管有一定的浮力储备(如连接浮漂, 外层增加浮力层等), 操作和工艺上更复杂, 但是其适用性更强, 可以适用于不同的卸货方案中。因此软管的选配以漂浮式软

管更为合适, 软管长度要留有一定余量, 满足大部分情况下的使用要求, 同时可以配备一套近距离回收转运时所用的长度小的软管。

4.2 软管接头连接方式

软管接头选取快速接头, 尽可能减少连接操作时间, 在连接软管接头时, 若 LNG 船与转运回收船并靠, 则可直接通过接收船舷边吊机吊提软管进行连接。若软管需长距离连接, 则需要通过拖轮拖带漂浮式软管同时接收船释放软管的方式, 将软管拖至 LNG 船舷侧, 利用拖轮小吊机吊提软管接头至 LNG 船卸货区进行连接。

4.3 软管快速中断操作方式

当 LNG 转运回收过程中发生突发、紧急情况时, 需要快速切断软管连接。当 LNG 船与转运回收船并靠时, 可以直接连接应急释放系统, 实现快速应急释放软管的能力。当两船距离较大无法连接应急释放系统, 则需在发生突发、紧急情况时, 根据现场作业条件, 关闭 LNG 船货舱阀门后, 首选断开 LNG 船端的接头使两船分离, 否则选择断开转运回收船端的接头。

4.4 卸货泵的使用

一般情况下, LNG 转运回收时第一选择是使用货舱内的卸货系统, 其卸货速度快, 卸货效果好, 且便于操作。但是当 LNG 船发生事故无法使用卸货系统或者转运中途卸货系统故障时, 需要外部卸货泵进行卸货, 考虑在回收转运船软管接头端备有一台真空抽吸泵, 在 LNG 船卸货系统无法使用时, 真空抽吸泵工作, 将 LNG 转运回收。

5 结语

针对 LNG 船货物回收转运的难题, 开展了复杂工况下 LNG 船货物回收转运技术的一系列研究, 重点关注并研究了 LNG 回收转运的方式和主要应用的设备, 结合海上应急救助经验, 制定了具有参考性的 LNG 回收转运方案。研究成果不仅对于 LNG 船事故的救助有较大的参考价值, 对于更深层次的海上危化品应急救助技术的研究和装备的开发生产也具有指导意义, 有助于我国救捞系统应急救助方面的相关技术和工艺的提升和完善。

参考文献:

- [1] 刘利伟. 岸基船用 LNG 装卸臂机构分析与控制研究[D]. 燕山大学, 2017.
- [2] 王长振. LNG 船装卸货管路系统分析[D]. 上海交通大学, 2011.
- [3] 叶冬青, 季腾, 刘禹霆. 基于某大型 LNG-FSRU 船的驳运系统应急释放技术探究[J]. 船舶物资与市场, 2019(06):28-31.
- [4] 林剑彬, 胡超. LNG 接收站船舶卸货作业风险分析与对策[J]. 安全、健康和环境, 2017, 17(06):11-14.