



浮式储存及再气化装置(FSRU) 码头特点及其设计要点

宋伟华, 李恬, 程晗怿, 张勇, 覃杰

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 随着 LNG 调峰需求日益增强, FSRU 码头作为一种灵活有效的方案受到青睐。但我国仅有一个 FSRU 码头, 鲜有相关研究。总结 FSRU 码头特点, 系统展现 FSRU 码头的 4 种类型; 结合某 17 万 m³FSRU 船, 与常规 LNG 码头的平面设计进行对比, 详细论述 FSRU 码头设计要点。结果表明, FSRU 码头具有选址相对容易、建设周期短、建造投资少、运营灵活等优点; 设计要点包含确定项目产品要求、确定 FSRU 船舶参数、工作平台、靠船墩和系缆墩的布置设计等方面。

关键词: FSRU 码头; 管汇; 工作平台; 靠船墩; 系缆墩

中图分类号: U 652.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)04-0039-05

Characteristics and design points of FSRU terminal

SONG Wei-hua, LI Tian, CHENG Han-yi, ZHANG Yong, QIN Jie

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: With the increasing demand for LNG peak shaving, the FSRU terminal is favored as a flexible and effective solution. However, there is only one FSRU terminal in China and there are few relevant studies. We summarize the characteristics of the FSRU terminal, display systematically four types of FSRU terminal, apply a 170,000 m³ FSRU ship to compare with the layout of the conventional LNG terminal, and discuss the design points of the FSRU terminal. The results show that the advantages of the FSRU terminal have relatively easy site selection, short construction period, less construction investment, and flexible operation. The design points include determining the product requirements of the project, determining the FSRU ship parameters, the working platform, and the breasting dolphins and mooring dolphins design.

Keywords: FSRU terminal; manifold; working platform; breasting dolphin; mooring dolphin

随着我国环保要求的不断提高、相关政策不断出台, 作为清洁能源的液化天然气(liquefied natural gas, LNG)成为能源界的新宠。其中, 接收站是 LNG 进口的重要环节, 主要分为两大类: 1) 传统类型的陆地接收站; 2) 近海的接收终端, 即浮式 LNG 接收站。浮式 LNG 接收站最常见的形式为浮式 LNG 储存再气化装置(floating storage and regasification unit, FSRU)。自 2005 年世界上第一座 FSRU 投入运营以来, FSRU 因其前期投资少、

建设周期短、选址灵活等优点而受到市场的青睐。目前, 许多国家已通过 FSRU 实现进口 LNG, 如孟加拉国 70% 的能源依赖天然气, 该国于 2018 年 8 月通过一艘 13.8 万 m³ 的“Excellence”号 FSRU 完成了进口第一批天然气, 成为世界上第 42 个进口 LNG 的国家。

随着我国季节性和地区性用气量差异的增大, LNG 调峰需求日益增强。尤其是 2017 年, 我国北方大面积推行“煤改气”政策, 整个采暖季期间,

北方地区和全国的天然气缺口分别在 48 亿和 113 亿 m³左右。基于这种调峰需求, FSRU 码头可作为临时措施, 从一定程度上解决用气矛盾, 即在有调峰需求的地方兴建 FSRU 码头, 将码头高压天然气管线接入当地管网。FSRU 船可作为移动支援船, 根据需要在沿海各港口间调度, 达到调峰的目的。

高飞等^[1]针对 FSRU 市场的全球发展现状及趋势进行分析; 黄河等^[2]以缅甸 FSRU 码头为例, 研究船舶并靠和双侧靠泊的动态系泊; 孔友南等^[3]研究 FSRU 码头双船系泊布置的优化设计; 罗天一等^[4]给出双船并靠 FSRU 码头平面的设计方法。但鲜有针对 FSRU 码头进行较为系统介绍的研究。

目前, 我国在建和已建传统陆地接收站的配套 LNG 码头超过 20 个, 但仅在天津港建成一座 FRSU 码头。因此, 针对 FSRU 码头的研究很有必要。本文通过介绍 FSRU 码头的特点、类型和设计要点, 供港口工程设计人员参考。

1 FSRU 码头特点

1.1 优点

自 2005 年第一艘 FSRU 交付以来, 全球已有 27 艘 FSRU 建成交付, 世界上共有 18 个国家建设了 FSRU 码头, 其中 11 个国家只选择 FSRU 作为

LNG 的接收终端。与传统陆上 LNG 端相比, FSRU 码头具有以下优点:

1) 选址相对容易。传统类型的陆地接收站需要大面积的陆域作为罐区及配套设施用地。在环境友好型社会的潮流下, 人们对这种潜在危险的工程愈发担心, 使得同时满足陆域建设用地和海域码头建设的选址越来越少。同时, 地方政府对此类工程的审批也提高了要求。因此, FSRU 码头凭借不需要陆域罐区和配套设施支撑的特点, 可根据适合 FSRU 船舶停靠的码头而灵活选址。

2) 建设周期短。传统类型的陆地接收站除常规的 LNG 接卸码头外, 还包括陆域储罐和配套设施。其中, 陆域储罐作为整个工程的核心占据了大部分的建设期。通常, 传统陆地接收站的建设周期为 48~60 个月, 而不需要陆域储罐和配套设施支撑的 FSRU 码头建设周期仅为 27~36 个月(含新建 FSRU 船); 对于通过改造现有 LNG 船为 FSRU 船的工程, 建设周期可压缩至 18~24 个月; 如果从市场上租用 FSRU 船, 则项目建设周期还可进一步压缩至 14~18 个月。

3) 建造投资少。相比传统陆地接收站, FSRU 的项目投资能降低 40%~50%。以 18 万 m³ 储存、年气化 300 万 t 的工程为例, 传统陆地接收站和新建 FSRU 项目投资分别为 7.5 亿和 4.5 亿美元, 见表 1。

表 1 传统陆地接收站和新建 FSRU 项目投资对比

类型	接卸码头	工艺管线	18 万 m ³ 储罐	FSRU 船	处理装置	共用设施	岸上接口	直接费 总支出	不可 预见费	业主(船东) 自身费用	费用支 总计
传统陆地接收站	0.80	1.00	1.80	-	1.00	0.60	-	5.20	1.56	0.74	7.50
新建 FSRU 项目	0.80	-	包含在 FSRU 费 用里	包含在 改 造的 费 用更 低)	250 (改 造的 费 用更 低)	包含在 FSRU 费 用里	包含在 FSRU 费 用里	0.30	3.60	0.36	4.50

4) 运营灵活。如开篇所述, 我国季节性和地区性用气量差异较大。FSRU 船自身具备完整的接收和气化能力, 可作为移动支援船, 根据需要在沿海各港口间调度, 达到调峰的目的, 保障整体用气强度的平衡。

1.2 局限性

1) 较难全天候作业。常规陆地接收站受天气影响较小, 通常可全天候作业。而 FSRU 船是系泊在码头, 当风浪条件超出限制, 出于安全考虑, 通常会暂停 FSRU 船的运营, 这会对下游供气稳

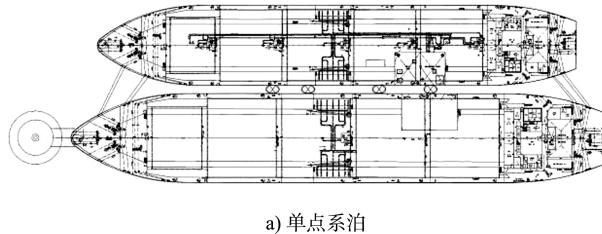
定性造成一定影响。

2) 运营安全性较差。常规陆地接收站的 LNG 接卸码头仅短期停靠 1 艘 LNG 船。而 FSRU 码头则长期停靠 1 艘 FSRU 船, 且频繁存在 LNG 船靠泊 FSRU 船的双船并靠情况, 从系泊安全和船舶自身安全角度, 存在一定的运营安全风险。

3) LNG 泄漏风险较高。常规陆地接收站将 LNG 存储于混凝土罐体中, 安全性高。而 FSRU 码头是将 LNG 长期存储于船舱, 船舱比混凝土罐体更容易出现泄漏风险。

2 FSRU 码头类型

目前 FSRU 码头类型主要包括单点系泊、并靠、背靠和顺靠 4 种类型, 各类型的平面图见图 1。



a) 单点系泊

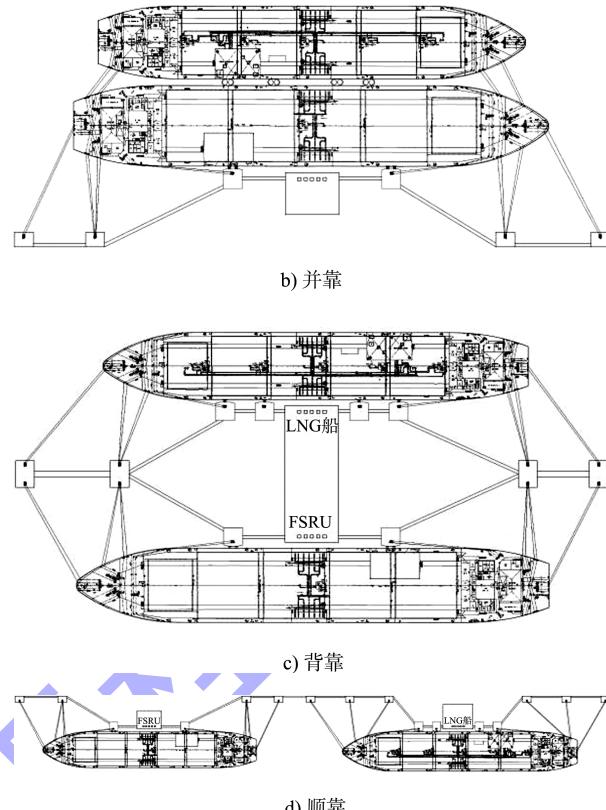


图 1 FSRU 码头类型

各类型 FSRU 码头都是因地制宜, 具有一定的适用场景, 其优缺点见表 2。其中, 最为常见的类型是 FSRU 和 LNG 船并靠。

表 2 各类型 FSRU 码头优缺点对比

码头类型	优点	缺点
单点系泊	不需要码头结构, 水域选址更为灵活	占用水域面积大
并靠	只需要一座码头结构, 工艺设施简单	两船并靠系泊较为复杂, 对船舶运营安全要求高
背靠	两个码头独立操作, 且具有一定距离, 安全性高	两座码头造价高, 工艺设施造价高, 占用水域面积较大
顺靠	与背靠优点相同	两座码头造价高, 工艺设施造价高

3 FSRU 码头设计要点

3.1 选址要求

FSRU 码头与常规的 LNG 码头设计有一定的相似之处, 但也有其特点, 以 FSRU 和 LNG 船并靠模式为例, 分析此类 FSRU 码头的设计要点。因 FSRU 长期系泊在码头, 为保证运营的稳定性和供气的连续性, FSRU 码头的选址应能保证 FSRU 全年具有尽量多的运营时间, 宜选在风浪流条件较好的位置。同时, 不宜选在周边有船舶频繁通行的位置(如主航道附近), 减少 FSRU 码头与其他船舶或码

头的互相影响, 保证码头运营的安全性。

3.2 确定项目产品要求

FSRU 作为一种 LNG 的储存和气化设施, 除提供高压气态天然气外, 还可兼顾液态天然气的分销。如果后方仅需要高压天然气产品, 则码头工作平台所需面积较小。如果后方需要同时兼顾输出气态和液态天然气, 工作平台上将同时布置多台 LNG 装卸臂、回气臂和高压天然气输气臂及相关管道, 码头工作平台面积将明显增大。同时, 还应确认天然气接收方对天然气温度、压力和流

量的要求，以作为码头工艺设备、管道的设计基础，这对工艺设计至关重要。因此，确定项目产品要求是设计工作的基础。

3.3 确定 FSRU 船舶参数

通常，LNG 码头的设计船型是一个船型范围，例如，国内 LNG 码头大多停靠 8.0 万~26.6 万 m^3 LNG 船。然而，FSRU 码头通常是针对为专门新建、改造或已经签订长期租约的 FSRU 船进行设计建造。其中，与码头设计最为相关的船舶参数有：(气态或液态)管汇距水线的高度、管汇中线与船舶中线的距离位置、接口数量和间距、船舶是否配置高完整性压力保护系统 (HIPPS) 等。FSRU 所配备的安全系统不尽相同，若 FSRU 未配备 HIPPS，则码头需要考虑配备相应设施。反之，若已配备 HIPPS，则码头安全设施较为简单。是否配备该系统将影响码头工作平台尺度和工艺设

施造价。

决定码头平面布置最为重要的参数是 FSRU 船上气态管汇的位置。一般情况下，无论是 LNG 船、油船或化工品船，其管汇均位于船舶中线附近，码头工作平台也位于泊位中线。但 FSRU 的船舶中线附近被 LNG 管汇占据，其高压天然气管汇通常离船舶中线较远，且两个接口的间距也较大。以三星重工设计的某 17 万 m^3 FSRU 船为例，船舶平面见图 2。可以看出，两个高压天然气管汇的中心间距为 4 m，且距离船舶中心的距离达到 35 m，这对 FSRU 码头工作平台及输气臂设计影响巨大。因此，码头工作平台位置和尺寸需要根据特定的 FSRU 进行设计，且码头对不同的 FSRU 不具备普遍适应性。另外此 FSRU 船舶仅在右舷侧布置 10 个一柱两钩的快速脱缆钩，即 FSRU 左舷停靠码头，右舷作为 LNG 船的停靠界面。

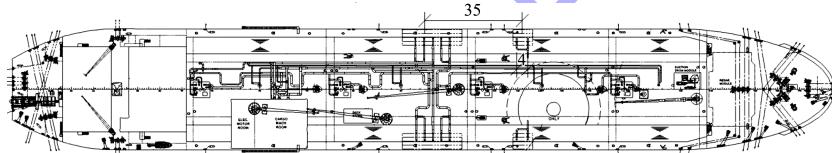
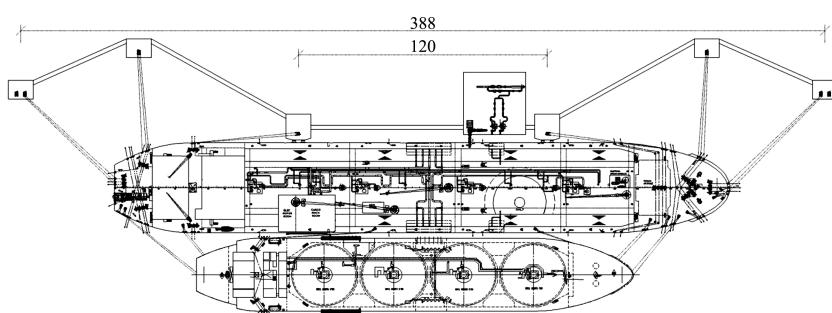


图 2 17 万 m^3 FSRU 船舶平面图 (单位: m)

3.4 工作平台布置设计

以某 17 万 m^3 FSRU 船为例，确定项目产品仅为高压气态天然气，设计并靠船型为 8.0 万~26.6 万 m^3 LNG 船的码头，8.0 万、26.6 万 m^3 LNG 船与 17.0 万 m^3 FSRU 船并靠时的系缆布置见图 3。可以看出：1) 因 FSRU 仅在右侧布置有快速脱缆

钩，故 FSRU 左舷停靠码头，右侧停靠 LNG 船；2) 因 FSRU 高压天然气管汇偏离船舶中心 35 m，致使工作平台位置明显偏向船首方向；3) 因项目产品仅为高压气态天然气，工作平台上仅布置了 2 个输气臂(一备一用)。



a) 8.0 万 m^3 LNG 船与 17.0 万 m^3 FSRU 船

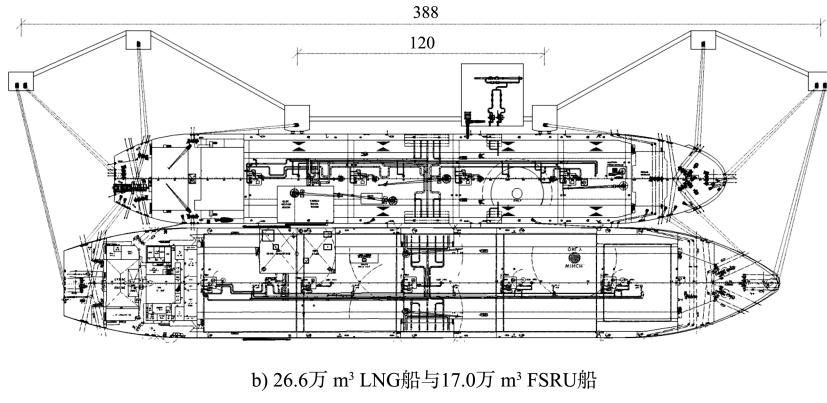


图3 两船并靠时的系缆布置 (单位: m)

3.5 靠船墩布置设计

中国的《海港总体设计规范》^[5]5.4.22.1节规定, 蝶形泊位通常设置2个靠船墩, 两墩中心间距可为设计船长的30%~45%, 兼靠船型范围较大时, 可增设辅助靠船墩。

英国的BS 6349-4:2014^[6]4.4.3节和*Mooring Equipment Guidelines*^[7]的1.11.1节要求, 两个靠船墩中心间距应为设计船长的0.25~0.40倍。

对于FSRU码头, 靠船墩布置设计应注意3点: 1)因靠泊船型为特定的FSRU船舶, 不存在兼靠其他船型的情况, 只设置2个靠船墩即可。2)FSRU船舶长期停靠码头, 并对供气稳定性有着极高的要求。因此, 建议每个靠船墩上布置两个护舷, 保证其中一个护舷在损坏的前提下, FSRU船仍能安全停靠在码头。3)靠船墩位置和间距应该根据FSRU船舶的船体平直段进行设计, 在保证船体平直段与护舷能有效接触的前提下, 尽可能最大化靠船墩间距, 可有效抑制船舶回转运动, 提高船舶系泊稳定性。图2中靠船墩间距按设计船长的0.4倍设计, 即120 m。

3.6 系缆墩设计

《海港总体设计规范》5.4.22节规定, 单个蝶形布置泊位长度可取1.1~1.3倍设计船长。因此, 规范中提及, 码头艏艉缆与码头前沿线水平夹角可取45°~75°, 横缆尽量垂直码头前沿线; 对于船舶纵向受力较大时, 可根据主受力方向适当减小艏缆或艉缆角度。各缆绳长度尽量接近,

艏艉缆可取35~60 m, 横缆可取30~50 m。因FSRU码头须兼顾FSRU和LNG船的系泊, 与常规LNG码头系缆墩设计相比具有一定的区别: 1)系缆墩主要服务于FSRU船, 与常规LNG码头兼靠较大范围船型的情况不同。因此, 码头左右各布置2个系缆墩即可满足系泊要求。2)因考虑兼顾LNG船的系泊, 最外侧两个系缆墩的间距尽量取大。图2中的最外侧两个系缆墩的间距按1.3倍17.0万m³FSRU船长设计, 取388 m, 并分别安装2套一柱三钩的快速脱缆钩, 在保证FSRU船良好系缆的情况下, 兼顾大型LNG船首尾系统。3)最外侧两个系缆墩与码头前沿线间距要相应减小, 在满足艏艉缆与码头前沿线水平夹角45°和艏艉缆长度60 m的前提下, 尽可能缩短LNG船首尾缆的长度, 增强并靠LNG船的系泊稳定性。

4 结语

1)FSRU码头具有选址相对容易、建设周期短、建造投资少、运营灵活等优点。同时, 也有较难全天候作业、运营安全性较差、LNG泄漏风险较高的局限性。

2)FSRU码头类型主要有单点系泊、并靠、背靠和顺靠4种类型。

3)FSRU码头设计要点包含选址要求、确定项目产品要求、确定FSRU船舶参数、工作平台、靠船墩和系缆墩的布置设计方面。

(下转第69页)