

LNG 罐箱多式联运监控系统研究

马御风^{1,2}, 周世良¹, 赵殿鹏³, 吴俊¹, 李晓飏¹

(1. 重庆交通大学 西南水运工程科学研究所, 重庆 400016;

2. 重庆西科水运工程咨询有限公司, 重庆 400016;

3. 浙江省交通工程管理中心, 浙江 杭州 311215)

摘要: 针对 LNG 罐箱多式联运的运输模式, 分析多式联运过程中的风险, 提出一种 LNG 罐箱多式联运监控系统。该系统利用各种传感器实时采集罐箱参数, 通过无线通讯技术传输数据, 为用户提供数据查询、状态分析、智能报警等功能。实现对 LNG 罐箱从生产方到终端用户的全流程监控, 提高 LNG 罐箱在整个运输过程中的安全性。

关键词: LNG; 罐式集装箱; 多式联运; 监控系统

中图分类号: [U695.3] **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 08—0037—04

1 引言

天然气是一种重要的清洁能源, 我国的天然气消费量逐年增长。2021 年我国天然气消费量为 3726 亿立方米, 进口量为 1675 亿立方米, 同比增长 19.9%。其中, 液化天然气 (以下简称 LNG) 进口量占天然气总进口量的 65%, 通过管道方式的进口量占比为 35%。

LNG 运输方式主要有船舶、铁路、公路、管道等, LNG 罐式集装箱多式联运为 LNG 运输提供了一种新模式。LNG 罐式集装箱 (以下简称 LNG 罐箱) 是一种 LNG 储运设备, 将真空绝热低温液体储罐安置于集装箱框架内。采用国际通用的集装箱标准外形尺寸, 便于堆码排列, 可利用轮船、火车、汽车等多种运输工具进

行运输。国外对 LNG 罐箱的应用相对较早, 日本在上世纪末就尝试用低温罐箱进行 LNG 运输, 美国、挪威、葡萄牙等欧美国家也有 LNG 罐箱运输相关的应用^[1]。国内对 LNG 罐箱的研究可追溯到 2002 年, 当时新疆广汇建设了一条铁路专线和 LNG 罐箱配套设施。2013 年, 国家铁路总公司在青藏铁路格拉段开展 LNG 罐箱运输试验。2018 年, 中国海油组织了国内首次 LNG 罐箱运输作业。2019 年, 搭载着 24 个 LNG 罐箱的运输船顺利抵达南京龙潭港, 标志着我国首次 LNG 罐箱江海联运的成功^[2]。2020 年, 自马来西亚启航的中国籍“泛舟 6”轮载运着 205 个 LNG 罐箱, 安全靠泊烟台龙口港, 这是国内首次成功开展整船载运 LNG 罐箱进口业务^[3]。

参考文献:

- [1] 丁艳婷, 卢琛琛. “大思政”背景下课程思政建设的探索与思考——以宿迁学院为例 [J]. 公关世界, 2022(02):31-32.
- [2] 章翔. “三全育人”视域下大学体育俱乐部课程思政建设的学理基础与践行路径 [J]. 体育学刊, 2022,29(01):118-123.
- [3] 潘传姣. 高校课程思政教学改革的问题意识探思 [J]. 大学, 2022(03):96-99.
- [4] 张慧. 立德树人视域下的高校课程思政建设 [J]. 湖北开放职业学院学报, 2022,35(02):80-81.
- [5] 黄山力. 论课程思政的标准普适性与客观性 [J]. 中国标准化, 2022(02):173-175.
- [6] 肖忠优, 范玲俐, 邵新蓓. 三全育人视域下高校课程

思政建设探索——以江西环境工程职业学院为例 [J]. 产业与科技论坛, 2022,21(03):255-256.

[7] 刘影. 新时代高校课程思政建设实施路径探究 [J]. 黑龙江教育 (理论与实践), 2022(01):62-63.

[8] 蒲清平, 何丽玲. 新时代高校课程思政教学提质增效的实践路径 [J]. 思想教育研究, 2022(01):109-114.

[9] 柳建安, 闵淑辉, 廖凯. 专业课程思政教学评价体系构建的研究 [J]. 黑龙江教育 (高教研究与评估), 2022(01):26-27.

基金项目: 教育部产学合作协同育人项目 (202102490030), 山东建筑大学教学项目 (XJG2021017), 山东建筑大学本科课程思政示范项目 (KCSZ0012021009)。

2 LNG 罐箱多式联运模式

2.1 LNG 罐箱多式联运的流程

传统 LNG 运输方式利用专用船舶、火车、槽车等进行运输,属于散装运输。利用标准罐箱进行运输是一种较新的 LNG 物流模式,属于包装运输。进口 LNG 时,供应商将充装了 LNG 的罐箱运输至出发港口,然后吊装至集装箱船上,与其它货物混装运输或者整船单独运输。到达目的港口后再通过水路、公路、铁路等方式运抵终端用户处或临时堆存^[4]。LNG 罐箱多式联运的主要流程如图 1 所示。

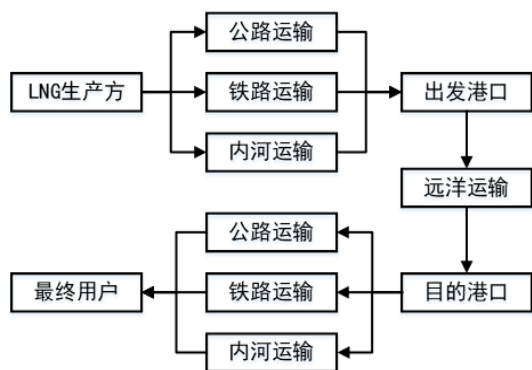


图 1 LNG 罐箱多式联运流程

2.2 LNG 罐箱多式联运的特点

传统运输模式需要自建或租用大型 LNG 运输船、专用码头、LNG 接收站和其它相关设施。LNG 罐箱多式联运模式只需采购标准罐箱,利用集装箱车船或对通用车船予以改造后进行运输。传统模式多为整单大批量运输,LNG 罐箱模式适应多单小批量的情况。传统模式下每次变换运输工具时,都需要对 LNG 进行卸载和充注,耗时较长作业繁琐。新模式下变换运输工具时只需对罐箱吊装和固定即可,耗时短,作业简单。此外,LNG 罐箱在运抵用户处后可脱离运输车体独立使用或作为临时存储设施,使用更灵活。

与传统 LNG 运输模式相比,LNG 罐箱多式联运具有投资规模小、建设周期短、周转方便、运输使用灵活等特点。适合小批量的 LNG 进口运输,也能适应天然气需求季节性变化的特性,弥补传统 LNG 运输模式的不足。

2.3 LNG 罐箱多式联运的风险

LNG 的主要成分为甲烷,其发生泄漏时会由于汽化产生局部低温,对设备和人员造成伤害。其汽化后与空气混合遇点火源则可能发生燃烧或爆炸。LNG 罐箱储运过程中的风险主要有以下几点:

(1) 罐箱本身的安全风险。罐箱由于自身结构、

材料、制造工艺等原因,可能产生罐箱变形、压力增高、泄漏等问题。

(2) 罐箱装卸过程中的安全风险。港口集装箱装卸作业在露天进行,受风、雾、雷电、波浪、照明等影响比较明显。人员的操作、配合和设备的安全性能也是影响作业安全的重要因素。这些因素的综合作用可能导致装卸过程中出现罐箱碰撞、坠落等情况。

(3) 运输过程中的安全风险。LNG 罐箱在公路和铁路运输过程中受道路、天气、车辆、驾驶员等多种因素影响,可能出现罐箱刮擦、碰撞、侧翻、甩落等状况。在水路运输过程中由于风浪、积载和隔离不当等原因,也可能造成罐箱破损、坠落、火灾等。

(4) 堆放存储时的安全风险。LNG 罐箱具备“宜运宜储”的特点,但是在临时堆载和作为临时存储设备时,不规范堆载可能造成罐体受压发生变形破损,从而导致 LNG 泄漏。

(5) LNG 充卸过程的安全风险。LNG 罐箱终端使用现场情况复杂多变,使用人员操作和管理水平参差不齐,容易发生 LNG 罐箱阀门法兰泄漏、安全阀意外开启、软管脱落等事故。

3 LNG 罐箱多式联运监控系统

3.1 系统总体方案

LNG 罐箱多式联运监控系统利用传感器、无线通讯、数据库、互联网等技术,实现对罐箱从 LNG 生产方到最终用户的运输过程全流程实时监控。

系统主要由罐箱监测设备和监控平台两部分组成。监测设备安装在 LNG 罐箱上,每一套设备都与罐箱唯一对应。利用各种传感器采集罐箱相关参数,并将所有数据通过蜂窝网络或卫星通讯的方式发送到监控平台。监控平台对所有 LNG 罐箱的数据提供存储、分析、查询、报警等功能。LNG 罐箱多式联运监控系统总体方案如图 2 所示。

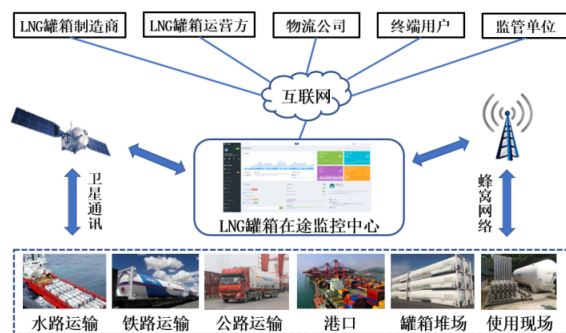


图 2 LNG 罐箱多式联运监控系统总体方案

3.2 罐箱监测设备

罐箱监测设备主要由温度检测、压力 / 液位检测、倾角检测、加速度检测、气体检测等模块构成。

3.2.1 温度检测

罐箱内部温度利用防爆型工业级温度变送器进行检测，变送器通过法兰安装于储罐中。传感器测量范围下限低于 LNG 的沸点，具有较快响应速度和较高的防护防爆等级。

3.2.2 压力 / 液位检测

利用集成的压力检测模块检测罐箱内部的气相和液相压力，压力感应核心采用单晶硅技术，具有稳定性好、精度高、耐过压冲击等优点。由一个传感器完成压力数据采集，能最大限度减化安装调试、提高现场使用效率、尽可能减少罐体引管接头数量、降低泄漏、提高罐箱安全性。

LNG 液位检测通常采用压差式液位仪表、超声液位计和电容式液位计等方式。LNG 的低温特性导致传感器容易损坏，且需要增加线路。可根据 LNG 气化、沸腾及膨胀等基本深冷特性，通过对 LNG 比重、罐箱内部空间形状、温度、气相压力、液相压力等非接触性数据进行综合计算分析，从而获得罐箱内 LNG 的液位高度。

3.2.3 倾角检测

倾角检测用于判断罐箱在储运过程中是否发生翻转、倾覆等，通过在罐箱上安装倾角测量仪来实现。倾角测量仪的传感器单元由两个线倾角仪正交构成，线倾角仪的核心是两个敏感方向相互正交放置的一维 MEMS 微加速度计。

3.2.4 加速度检测

LNG 罐箱运输过程中可能发生运输工具的碰撞，或者在装卸罐箱过程中发生撞击和跌落等，这些都可能

3.2.5 可燃气体检测

导致罐箱产生变形甚至破损。采用基于 MEMS 硅微加工技术的压阻式加速度传感器，通过预先设置加速度报警阈值，可在罐箱发生不同程度的撞击时进行分级报警。

目前可燃气体传感器大都采用热催化、电化学或红外线技术。前两种主要通过气体与化学感应材料的反应检测气体浓度，该方式易受其它气体干扰，漏报、误报情况严重。而且需要定期对传感器进行标定，其使用寿命也比较短。采用红外线方式的产品容易受环境影响，

检测准确率较低，检测反应速度也比较慢。

激光气体检测技术利用不同物质对特定波长的光波有最大吸收的原理，具有防干扰性强，使用周期长，检测精度高，无需再标定或更换传感元件等优点。采用激光传感器对 LNG 罐箱周围环境中的甲烷气体进行检测，能够很好地满足 LNG 罐箱的储运特性。

3.2.6 罐箱定位

罐箱定位采用 GPS 或北斗系统，通过定位芯片获取罐箱实时位置，并可通过历史位置信息绘制移动轨迹。

表 1 传感器参数

传感器类型	量程	检测精度	输出形式
温度	-200~85℃	0.1%FS	4~20mA
压力	0~5MP	0.5%FS	4~20mA
加速度	±500g	0.02g	4~20mA
倾角	±90°	0.1°	RS485
可燃气体	0~5000ppm	≤1ppm	RS485
定位	/	< 10m	RS485

3.3 罐箱监控平台

LNG 罐箱监控平台可以为用户提供其权限范围内的所有罐箱状态，实现高效综合监控和管理调度。监控平台的核心功能包括：对运输、转储、使用过程中的每一个罐箱状态的掌握，对罐箱异常情况的分析报警，对罐箱历史数据的查询与分析。还可以利用数据挖掘等大数据技术，对 LNG 罐箱本身状况做出评估预判，以提高安全性，做到防患于未然。满足 LNG 供应渠道的多样化，实现从 LNG 上游供应源到 LNG 终端用户全过程的监控和管理。

LNG 罐箱监控平台架构主要包括采集层、传输层、数据层和应用层。

（1）采集层：主要由 LNG 罐箱监测设备构成，基于模块化、标准化设计，用于获取罐箱状态数据。

（2）传输层：提供罐箱监测设备的网络接口接入，支持不同的通讯方式。当罐箱处于通讯条件较好的环境中时，可以利用蜂窝网络实现数据传输；当通讯条件较差，如远洋、深山等情况，可通过组建局域网，将多个罐箱的数据汇总处理后通过海事卫星或北斗短报文等方式进行传输。

（3）数据层：提供各类数据的存储、分析、管理和共享分发服务及关系数据、规则引擎等算法工具支撑，

由基础数据库、业务数据库、共享数据库、规则数据库等组成。

(4) 应用层：利用罐箱监测设备采集的数据，结合多式联运具体业务需求，为用户（罐箱制造商、罐箱运营方、物流公司、终端用户、监管部门等）提供基于不同数据要素、时间跨度与表现形式的系列化监控服务与数据展现，如罐箱监测、智能预警、使用管理等综合性服务。

监控平台采用 B/S 模式，该模式客户端具有同一性，将系统功能实现的核心部分放在服务器上，只有少数业务逻辑在前端实现，简化系统的开发、维护和使用。平台针对不同功能设计相应的功能界面，且面对不同用户开放不同权限，各用户在自身权限范围内实现对罐箱的监控。监控平台部分功能界面如图 3 所示。

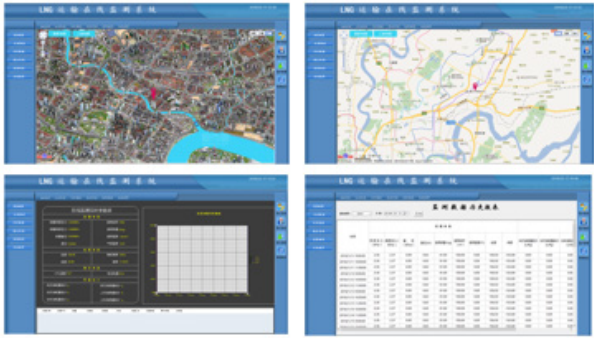


图 3 罐箱监控平台界面



4 结束语

随着 LNG 罐箱多式联运物流模式的发展，LNG 罐箱的市场存量会越来越大，对这些罐箱状态的监控十分必要。本文针对多式联运的特点，提出一种 LNG 罐箱多式联运监控系统，该系统通过在罐箱上安装监测设备获取罐箱状态参数，利用无线通讯方式将数据发送到服务器，并通过监控平台为用户提供罐箱状态查询、智能报警、综合管理等功能。解决 LNG 罐箱监控难题，提高其储运安全性。

参考文献：

[1] 银飞 .LNG 罐箱业务发展现状及前景探思 [J]. 质量与市场 ,2021(9):169-170.
[2] 梁严,周淑慧,王占黎,等 .LNG 罐式集装箱发展现状及前景 [J]. 国际石油经济 ,2019,027(006):65-74.
[3] 王思佳 .LNG 罐箱运输成长记 [J]. 中国船检 ,2021(12):24-27.
[4] 王舸,文习之,孙磊,等 .LNG 罐箱海陆联运的经济性分析 [J]. 上海煤气 ,2020(2):12-16.

基金项目：重庆市交通局科技项目 (No.2020-08)