

液化天然气管道设计研究

孙修远 (康泰斯(上海)化学工程有限公司, 上海 200120)

摘要: 全球经济发展引发能源消耗过度, 导致温室气体排放剧增。全球变暖是显著的气候变化后果, 主要因碳排放量增加所致。人类活动改变全球气候, 引发诸多问题。为应对气候变化, 各国政府制定禁煤、禁油时间表。我国设定“双碳”目标, 旨在 2030 年实现碳排放峰值, 2060 年实现碳中和。因此, 物流运输减排成为关键任务, 清洁能源是实现碳减排的重要途径。

关键词: 液化天然气; 管道设计; 设计研究

0 引言

液化天然气是一种清洁、高效的能源形式, 被广泛应用于工业生产、航运、交通运输等领域。随着能源需求的增长和环境保护意识的提高, 液化天然气作为一种清洁能源备受关注。然而, 液化天然气的运输和储存需要先进的设施和技术支持, 而液化天然气管道作为其主要的输送方式之一, 其设计与建设具有重要意义。

1 液化天然气管道设计的必要性

1.1 能源需求的增长

人口增长和工业化正在推动全球能源需求的快速增长。随着各国和地区的继续发展, 需要可靠和可负担得起的能源变得更加迫切。天然气, 特别是液化天然气的形式, 已经成为满足其不断增长的需求的一种有价值的解决方案。天然气被认为是煤炭和石油等其他化石燃料的一种更清洁的替代品, 因为其在燃烧时产生的排放量更少。使得对于那些希望减少碳足迹和遵守环境法规的国家来说, 其是有吸引力的选择。此外, 天然气以其高能量密度而闻名, 意味着少量的气体产生大量的能量^[1]。

液化天然气的关键优势之一是其能够在其液化状态下进行长距离运输。使得天然气资源丰富的国家将其资源出口到那些可能无法使用传统管道的地区。建立液化天然气终端和再气化设施, 接收液化天然气运输, 并将气体转化为气体状态进行分配, 能源需求的增长, 加上采用天然气和液化天然气作为更清洁和更高效的能源, 突出设计和建造液化天然气管道, 以促进天然气从生产地点流向最终用户的重要性。通过投资于液化天然气基础设施, 各国满足其能源需求, 减少排放, 并刺激经济增长。

1.2 能源运输的安全与效率

确保能源运输的安全和效率, 特别是在处理液化天然气等危险货物时, 对社区和环境的福祉至关重要。在

液化天然气管道的设计阶段进行彻底的风险评估, 帮助识别潜在的危害, 并制定适当的安全措施, 以降低风险。遵守政府机构和行业组织制定的安全法规和标准, 是保证 LNG 管道安全运行的关键。制定全面的应急响应计划, 包括泄漏检测、泄漏控制和疏散程序的协议, 帮助尽量减少事故的影响。为参与液化天然气管道运营和维护的员工提供定期培训, 以及进行日常检查和维护, 对于确保基础设施的持续安全至关重要。

设计 LNG 管道路线, 减少距离, 避开环境敏感区域, 优化运输物流, 可提高效率, 降低运输成本。采用泄漏检测系统、自动监测装置、管道优化软件等先进技术, 提高 LNG 运输效率。利用液化天然气终端和再气化设施中的能源回收系统, 有助于降低能源消耗, 提高整体系统效率。利益相关者之间的协作, 包括管道运营商、监管者和当地社区, 有助于简化流程, 改善沟通, 并最终提高能源运输系统的效率。通过在液化天然气管道的设计和运营中优先考虑安全和效率, 确保能源资源的可靠和可持续的运输, 同时尽量减少对公共安全和环境的风险^[2]。

1.3 环境保护与气候变化

环境保护和应对气候变化是能源部门的关键考虑因素, 与煤炭和石油相比, 天然气被认为是一种更清洁的化石燃料, 因为其在燃烧进行能源生产时会产生更少的温室气体排放、二氧化硫和氮氧化物。在发电和工业过程中使用天然气帮助降低总体排放和改善空气质量。与卡车或船舶等其他运输方式相比, 通过液化天然气管道运输天然气以其在运输过程中减少排放方面的效率而闻名。通过液化天然气的运输, 液化天然气管道帮助减少泄漏, 并减轻与运输相关的环境风险。对天然气和液化天然气的使用也鼓励向清洁能源和技术的过渡。天然气作为太阳能和风能等间歇性可再生能源的可靠备份, 有助于稳定电网, 减少对更多

碳密集型燃料的依赖。

通过取代在发电和工业过程中使用煤炭和石油，天然气帮助减少碳排放，减缓气候变化的步伐。向清洁能源的转变与全球为实现《巴黎协定》等国际协定中概述的减排目标所作的努力相一致。将天然气和液化天然气管道纳入能源组合，通过提供通往低碳和可再生能源的桥梁，从而支持更可持续的能源转型。其转变帮助各国实现其气候目标，同时确保能源安全和经济发展，天然气和液化天然气管道的使用在减少排放、改善空气质量和应对气候变化方面发挥重要作用。通过优先考虑环境保护和可持续能源实践，能源部门为后代创造更绿色、更清洁的未来做出贡献。

2 液化天然气管道设计的关键技术

2.1 LNG 装置设备布置

典型的液化天然气设施中的工艺设备以类似方形豆腐块的结构方式排列，设备通过中央监督画廊设置。工艺设备通常沿着工艺单元按顺序排列，放置在设备的两级上，各种管道安装在管架上，便于工艺介质昼夜的连续流动，确保工厂的正常运行。为适应安全措施，LNG 工艺设施一般采用有特定要求的环形消防通道，其中设备两侧的防火道路必须超过 120m。通过利用设备内的管廊作为通道，应保持至少 4.5m 的足够间隙，以允许消防车通行。通道的底部标高通常应设置为至少 6m，以确保作为工艺介质运输路线和安全通道的可达性。液化天然气工厂内的各种操作，如进气压力、制冷剂压缩、循环气体回流和防锅炉处理，需要使用压缩机，压缩机可集中在 1 至 2 个压缩机室，以便有效管理。符合建筑防火规范，特别是 GB50016 标准，对于工艺设施内的结构设计非常重要，并规定特定的防火等级的建筑面积限制等。LNG 净化处理单元通常采用塔的吸收和解吸过程来进行净化的目的，塔被战略性地放置在设备内的管道画廊旁边。空气冷却器等传热元件位于塔的顶部，考虑到空气冷却器柱的支撑要求和调整柱间距的必要性，

以方便结构设计。如 SH3011-2011 指南所述，确保空气冷却器排放流量不相互干扰，防止 2011 指南中出现热空气循环的风险^[3]。如图 1 所示。

在液化天然气工厂制冷压缩过程中，通常使用空气冷却器来满足环境保护的要求。为便于实现这一点，压缩机装置通常与框架一起布置在外部，而空气冷却器位于制冷剂分离罐上方的框架的顶层。在许多液化天然气设施中观察到的普遍问题是在空气冷却器下液化烃设备的布置不当，违反 SH3011-2011 第 5.5.3 条的规范。为掌握决这一问题，建议为框架使用混凝土结构，而不是钢制的网板，以尽量减少空气冷却器对框架的破坏性影响，对混凝土平台上方的空气冷却器的隔离保护，有助于满足 SH3011 的要求。在 LNG 设施的净化过程中，天然气在冷箱中发生相变，将气体转化为液体。冷箱本质上是多通道热交换器，包裹在充满绝缘珠砂的方形外壳中。外壳类似于三角形三脚架，在安装和未来维护期间需要填充，通常通过底部孔进行卸载。结构支撑应提供在壳体的四个腿下方，考虑支撑高度，以使其能够在冷箱下正常进入和通过。鉴于冷箱属于低温设备，安装围堰是必要的。本设备底部设有法兰连接件和控制阀，根据 GB50183.10.3.3.3 的要求，存在潜在的泄漏风险。作为预防措施，通常安装收集系统以减少潜在的泄漏，系统的容量设计为容纳事故来源 10 分钟内预期的最大泄漏。

在液化天然气设施中，加热炉在为气体净化过程和其他必要的操作提供热量方面起着至关重要的作用。通常，加热炉是该设施中的主要消防设备，并配备有烟囱。通常是诸如气体净化或重型锅炉加热等活动的唯一热源。一些液化天然气设施可能包括多个加热器，其中专门用于为塔重锅炉提供蒸汽，另专门用于额外的加热目的，如中央供暖。或者，利用热油炉，以热油作为热源载体来加热介质。加热炉，作为消防设备，必须遵守安全准则和规定，包括 GB50160 中概

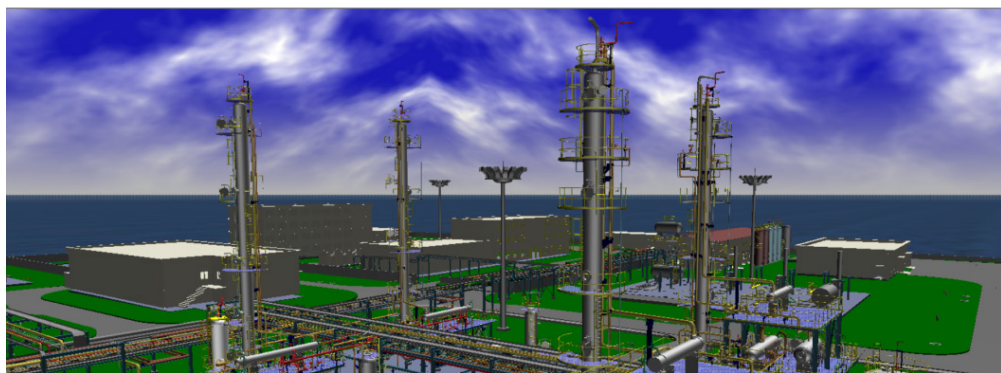


图 1 全场效果图

述的规定加热炉与设施内其他设备之间需要保持的安全距离。这些安全距离通常是相当大的,强调需要在炉膛周围有足够的间距,以确保消防安全和防止潜在的危险。因此,加热炉通常战略性地位于工艺装置区域内,以确保必要的安全间距,并加强液化天然气设施的整体消防安全措施^[4]。

2.2 管道布置

在液化天然气(LNG)设施中,管道布置是一项至关重要的任务,涉及到将各种工艺设备和系统连接起来,确保介质能够安全、高效地流动。合理的管道布置不仅能提高设备的运行效率,还能降低维护成本,减少潜在的安全风险,管道布置需要考虑到工艺流程的顺序和设备的布局。管道应尽可能短且直,以减少流体的阻力损失和能量消耗。同时,管道的走向应尽可能避免过多的弯曲和交叉,以减少流体在管道中的摩擦和磨损。

为方便设备的日常检查和维护,管道应尽可能避免穿越设备的操作区域。此外,对于需要频繁维修或更换的设备,其连接的管道应设计有适当的柔性,以便在设备拆卸或更换时能够方便地拆卸或连接管道,管道布置还需要考虑到安全和环保要求。例如,对于可能产生泄漏的管道,应设置相应的泄漏检测和报警系统,以便及时发现并处理泄漏问题。同时,对于可能对环境造成污染的管道,应设置相应的防护措施,如设置围堰或泄漏收集系统等,管道布置还需要考虑到管道的支撑和固定。为确保管道的稳定性和安全性,应对管道进行适当的支撑和固定。支撑和固定的方式应根据管道的材质、直径、壁厚、压力等因素进行选择和设计。在液化天然气设施的管道布置中,需要综合考虑工艺流程、设备布局、操作维护、安全环保以及管道支撑和固定等多个因素。通过合理的管道布置,确保液化天然气设施的安全、高效和稳定运行。

2.3 管道及保温材料选材

在液化天然气(LNG)设施中,管道及保温材料的选材是至关重要的。这些材料不仅直接影响到设备的运行效率和安全性,还关系到设施的长期维护和环保性能。因此,在选择管道及保温材料时,需要综合考虑多种因素,包括材料的性能、环境适应性、成本效益等。对于管道材料,常用的有碳钢、不锈钢和合金钢等。碳钢具有良好的机械性能和加工性能,成本相对较低,因此在LNG设施中得到广泛应用。然而,碳钢在低温环境下易发生脆化,需要采取相应的防腐和保温措施。不锈钢具有较好的耐腐蚀性和低温韧性,

适用于对材料要求较高的场合。合金钢则具有更高的强度和韧性,适用于极端环境下的使用。保温材料的选择同样重要。LNG设施的管道需要进行良好的保温,以减少能量损失和防止低温冻害。常用的保温材料包括硅酸盐、聚氨酯、玻璃棉等。硅酸盐具有良好的保温性能和防火性能,适用于对保温要求较高的场合。聚氨酯具有优异的保温性能和抗老化性能,但在某些环境下可能存在环保问题。玻璃棉则具有良好的保温性能和吸声性能,适用于对噪音控制有要求的场合^[5]。

在选择管道及保温材料时,还需要考虑到材料的环境适应性。LNG设施通常运行在低温环境下,因此所选材料应具有良好的低温韧性和耐腐蚀性。此外,材料的抗老化性能、耐磨损性能以及抗化学腐蚀性能等也需要考虑。成本效益也是选材过程中不可忽视的因素。在满足性能要求的前提下,应尽量选择成本较低的材料,以降低设施的总体投资成本。同时,还需要考虑到材料的维护成本和使用寿命等因素,在液化天然气设施的管道及保温材料选材过程中,需要综合考虑材料的性能、环境适应性、成本效益等多个因素。通过合理的选材,确保设施的安全、高效和稳定运行,同时降低维护成本和环保风险。

3 结束语

综上所述,液化天然气管道设计研究是必不可少的,其满足能源需求的增长、提高能源运输的安全与效率、保护环境并应对气候变化挑战。关键技术包括材料选择与管道设计、耐水力设计以及安全监测与应急处理。通过持续的研究和技术创新,液化天然气管道设计将不断优化,为清洁能源的推广和可持续发展做出积极贡献。

参考文献:

- [1] 田焘,卢俊文,湛立宁,等.液化天然气低温管道保冷效果的控制方法探讨[J].化工装备技术,2023,44(3):9-13.
- [2] 高振,王晓博,赵思思,等.液化天然气管道在线检验方法探索与实践[J].石油化工腐蚀与防护,2022,39(1):7.
- [3] 郭宏亮,卢俊文,湛立宁,等.液化天然气低温管道焊接缺陷分析及预防措施[J].化工装备技术,2023,44(2):25-29.
- [4] 师海斌,陈小华,唐超,等.基于SCADA的长输天然气管道110kV输变电系统继电保护研究与设计[J].电器工业,2023(5):41-44.
- [5] 常悦.天然气管道设计常见问题的探讨[J].智能城市应用,2023,6(6):18-20.