

油气储运 LNG 接收站模拟系统及方法

薛龙

国家管网集团大连液化天然气有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i6.16815

[摘要] 本文详细阐述了油气储运LNG接收站模拟系统及方法。模拟系统采用分层分布式架构,涵盖数据采集、模型计算、人机交互和数据存储层,硬件由服务器、工作站等构成,软件包括操作系统、模拟平台和数据库管理系统。功能模块包含工艺流程、设备性能、控制策略模拟及数据分析与评估。模拟方法涉及工艺流程、设备性能、控制策略的模拟及结果分析与优化,通过数学模型、特性曲线拟合、控制理论应用、结果可视化等手段,为LNG接收站的规划、运营等提供科学依据和技术支持。

[关键词] 油气储运; LNG接收站; 模拟系统; 方法

中图分类号: TE863 文献标识码: A

Simulation System and Method for LNG Terminal in Oil and Gas Storage and Transportation

Long Xue

PipeChina Dalian LNG Co., Ltd.

[Abstract] This paper elaborates on the simulation system and method for LNG (Liquefied Natural Gas) terminal in oil and gas storage and transportation. The simulation system adopts a hierarchical and distributed architecture, covering data acquisition, model calculation, human-computer interaction, and data storage layers. Its hardware consists of servers, workstations, etc., while the software includes operating systems, simulation platforms, and database management systems. The functional modules comprise process flow simulation, equipment performance simulation, control strategy simulation, as well as data analysis and evaluation. The simulation method involves simulating process flows, equipment performance, and control strategies, along with result analysis and optimization. Through mathematical modeling, characteristic curve fitting, application of control theories, and result visualization, this system and method provide scientific basis and technical support for the planning, operation, and other aspects of LNG terminals.

[Key words] Oil and Gas Storage and Transportation; LNG Terminal; Simulation System; Method

引言

在能源转型的关键时期,液化天然气(LNG)作为清洁能源的重要组成部分,其储运与接收站的高效安全运营至关重要。油气储运LNG接收站模拟系统及方法的研究应运而生,旨在通过分层分布式架构的模拟系统,结合先进的软硬件架构,实现对LNG接收站工艺流程、设备性能、控制策略的全面模拟与分析。本文将深入探讨该模拟系统的架构设计、功能模块及模拟方法,为LNG接收站的优化运行和管理决策提供科学依据与技术支撑。

1 油气储运LNG接收站模拟系统架构

1.1 总体架构

LNG接收站模拟系统采用分层分布式架构,由数据采集层、模型计算层、人机交互层和数据存储层构成。数据采集层承担实时采集任务,聚焦于LNG接收站内各类工艺参数与设备状态信息,这些信息是模拟系统运行的基础数据支撑,确保系统能获取真

实、全面的现场情况。模型计算层依据数据采集层所收集的数据,结合预设模型展开模拟计算。通过严谨的算法和逻辑,对LNG接收站的运行过程进行模拟分析,为系统提供科学合理的计算结果。人机交互层为用户搭建操作界面,实现用户与模拟系统之间的有效交互。用户可通过该界面输入指令、查看模拟结果等,增强系统使用的便捷性和灵活性。数据存储层负责存储模拟过程中的各类数据,涵盖原始采集数据、中间计算结果以及最终模拟结论等。这些数据不仅为当前模拟分析提供依据,还可供后续进行深入的数据挖掘、趋势分析以及问题追溯,为LNG接收站的优化运行和管理决策提供有力的数据支持。

1.2 硬件架构

LNG接收站模拟系统硬件架构由服务器、工作站、网络设备等构成。服务器作为核心硬件之一,承担着运行模拟模型与存储数据的关键任务。其具备高性能计算能力,能快速处理模拟过程

中复杂的计算逻辑,确保模拟结果的准确性和及时性;同时拥有大容量存储空间,可长期保存模拟产生的各类数据,为后续的数据分析、模型优化提供丰富资料。工作站为用户提供操作终端,用户通过工作站与模拟系统进行交互,能够方便地输入模拟参数、启动模拟任务,并及时查看模拟结果。网络设备在硬件架构中起着数据传输枢纽的作用,它确保数据在数据采集层、模型计算层、人机交互层和数据存储层之间稳定传输。通过高效稳定的网络连接,各层之间能够实时交换数据,保证模拟系统整体运行的协调性和一致性,使得整个LNG接收站模拟系统能够准确、流畅地运行,为LNG接收站的规划、设计、运营和管理提供可靠的硬件支持。

1.3 软件架构

LNG接收站模拟系统软件架构涵盖操作系统、模拟软件平台以及数据库管理系统。操作系统作为基础支撑,为整个模拟系统搭建起运行环境,它负责管理计算机硬件与软件资源,提供基本的输入输出、进程调度、内存管理等功能,确保模拟系统各组件能够在稳定的环境中启动和运行,是软件架构得以正常运转的底层保障。模拟软件平台是软件架构的核心所在,承担着对LNG接收站工艺流程和设备性能进行模拟计算的重任^[1]。它依据预设的算法和模型,对LNG接收站从卸料、储存到气化外输等各个环节进行精确模拟,能够反映出不同工况下系统的运行状态和性能指标,为接收站的设计优化、操作指导提供科学依据。数据库管理系统则专注于模拟数据的管理和存储,它对模拟过程中产生的海量数据进行高效组织、分类和存储,支持数据的快速检索和调用,既方便在模拟过程中实时获取历史数据以辅助计算,也为后续对模拟结果进行深入分析和挖掘提供了数据基础,保障了模拟系统数据的完整性和可用性。

2 油气储运LNG接收站模拟系统功能模块

2.1 工艺流程模拟模块

LNG接收站模拟系统的工艺流程模拟模块涵盖卸料、储存、再气化流程模拟。卸料流程模拟聚焦于LNG运输船与接收站间的卸料环节,涉及卸料臂操作、卸料流量控制以及LNG成分分析。此模拟通过对不同工况下卸料流程的呈现,能够明确卸料操作参数的优化方向,保障卸料过程既安全又高效。储存流程模拟针对LNG储罐的储存过程展开,包含储罐内温度、压力、液位的变化情况,以及LNG可能出现的分层和翻滚现象。借助该模拟分析,可制定出科学合理的储存策略,有效避免储罐出现异常状况。再气化流程模拟则着重于LNG的再气化过程,涵盖气化器操作、气化温度与压力的控制,以及天然气的外输。通过模拟,可对再气化流程参数进行优化调整,进而提高气化效率,确保天然气能够稳定供应。

2.2 设备性能模拟模块

(1) 储罐性能模拟通过构建热力学和力学模型,对储罐在不同工况下的温度、压力、应力分布等情况进行模拟。基于此模拟结果,可全面评估储罐的安全性与可靠性,为储罐的维护和检修工作提供精准依据,保障储罐长期稳定运行。(2) 气化器性能

模拟着重于模拟气化器的传热和流动过程,深入分析气化器的气化效率、出口温度和压力等关键参数。依据这些分析结果,能够针对性地优化气化器的操作条件,进而提高气化器的性能,确保再气化过程高效进行。(3) 泵和压缩机性能模拟主要针对LNG输送泵和天然气压缩机的性能展开,模拟内容包括流量、扬程、功率等参数的变化情况。通过该模拟,可合理选择和配置泵和压缩机,使设备在最佳工况下运行,既能满足LNG接收站的工艺需求,又能降低设备能耗,提高整个接收站的经济性和运行效率。

2.3 控制策略模拟模块

自动控制系统模拟聚焦于LNG接收站的自动控制体系,涉及温度、压力、液位等关键参数的控制回路。通过构建精确的模拟模型,可全面验证控制策略的有效性与稳定性。依据模拟结果,能对控制参数进行针对性优化,使接收站的自动化水平得以提升,进而实现更精准、高效的过程控制,保障接收站稳定运行。安全保护系统模拟则着重于模拟安全保护系统在紧急状况下的动作过程,涵盖紧急切断、消防系统启动等关键环节。借助该模拟,可深入评估安全保护系统的可靠性,明确系统在不同紧急场景下的响应能力与效果。一旦接收站出现紧急情况,可靠的安全保护系统能够及时、准确地采取措施,有效避免事故扩大,切实保障接收站的人员安全、设备完好以及环境不受污染,为LNG接收站的安全运营筑牢坚实防线,确保其在各种工况下都能安全稳定运行。

2.4 数据分析与评估模块

数据统计分析主要针对模拟过程中产生的各类数据进行处理,计算平均值、标准差、最大值、最小值等统计量。通过对这些数据的深入分析,能够清晰地了解接收站在不同工况下的运行状况,准确把握各项性能指标的变化趋势,例如各工艺环节的温度、压力波动范围,设备运行的效率区间等,为全面掌握接收站运行情况提供数据支撑。性能评估则依据数据统计分析的结果,对LNG接收站的运行性能展开综合评估,涵盖能源利用效率、设备可靠性等关键方面。通过评估能源利用效率,可明确接收站在能量转换和利用过程中的优势与不足;对设备可靠性的评估,能提前发现设备潜在的故障风险^[2]。这些评估结果为接收站的优化运行和改进提供了极具价值的参考,有助于制定针对性地维护计划、优化操作流程,进而提升接收站的整体运行效能,保障其安全、稳定、高效地运行。

3 油气储运LNG接收站模拟方法

3.1 工艺流程模拟方法

建立数学模型是基础,依据LNG接收站的工艺流程和物理原理,构建包含质量守恒、能量守恒、动量守恒等方程的数学模型,通过求解这些方程,能够精准模拟工艺流程的运行情况,清晰呈现各环节物质和能量的变化。参数设置与调整是关键环节,需根据实际工况和设计要求,合理设定模拟模型的初始参数和边界条件。在模拟过程中,依据模拟结果对参数进行动态调整,确保模拟结果与实际情况高度吻合,提高模拟的准确性和可靠性。工

况模拟则进一步拓展了模拟的深度和广度,通过模拟正常工况、异常工况、紧急工况等不同场景,深入分析接收站在各种工况下的运行特性,如设备负荷变化、工艺参数波动等,基于这些分析结果,可制定针对性的应对措施,为接收站的安全稳定运行提供有力保障,有效提升接收站应对不同情况的能力。

3.2 设备性能模拟方法

LNG接收站设备性能模拟方法包含设备特性曲线拟合、有限元分析以及实验验证。设备特性曲线拟合是基础步骤,先收集设备在多种工况下的性能数据,再运用曲线拟合技术建立设备的特性曲线。借助该曲线,可精准模拟设备在不同工况下的性能参数,如流量、压力、效率等,为设备运行状态评估提供依据。有限元分析针对复杂设备结构展开,通过构建设备的有限元模型,深入剖析设备在受力、传热等情况下的性能表现。该模型能细致模拟设备内部的应力分布、温度变化等,帮助发现设备潜在的结构问题和性能缺陷,为设备优化设计提供指导。实验验证是确保模拟方法准确可靠的关键环节,将模拟结果与实际设备的实验数据进行对比。若两者吻合度高,则证明模拟方法有效;若存在偏差,需对模拟方法进行调整优化。通过实验验证,可不断提高设备性能模拟的精度,为LNG接收站设备的选型、运行和维护提供科学、准确的技术支持。

3.3 控制策略模拟方法

LNG接收站控制策略模拟方法主要涵盖控制理论应用、仿真软件模拟以及硬件在环仿真。控制理论应用方面,借助经典控制理论和现代控制理论,依据LNG接收站自动控制系统的需求,精心设计控制策略。设计完成后,通过模拟来验证控制策略的有效性,依据模拟反馈结果对控制参数进行优化调整,以确保控制策略能精准实现温度、压力、液位等参数的控制目标,保障接收站的稳定运行。仿真软件模拟利用专业的仿真软件,如MATLAB/Simu link等,对控制策略展开模拟。该软件能构建精确的控制系统模型,直观地展示控制系统的动态响应过程,包括系统在不同输入下的输出变化、响应时间等,帮助设计人员深入理解控制策略的运行机制,及时发现潜在问题并进行改进。硬件在环仿真将实际的控制器与模拟的设备模型相结合,进行逼真的

模拟测试。这种方式进一步提高了控制策略模拟的真实性和可靠性,能更准确地评估控制器在实际工作环境中的性能,为控制策略的最终应用提供有力保障,确保LNG接收站自动控制系统安全、高效运行。

3.4 模拟结果分析与优化方法

结果可视化是将模拟所得数据转化为图表、曲线等形式呈现,这种直观展示方式能让用户迅速把握模拟情况,清晰地看到不同工艺环节或设备在模拟过程中的参数变化,如温度、压力随时间的波动,流量在不同工况下的数值等,为后续分析提供清晰基础。敏感性分析聚焦于模拟结果对各参数的敏感程度。通过分析确定关键参数,这些参数对接收站运行性能影响显著。明确关键参数后,有针对性地调整它们,能更高效地优化接收站运行性能,例如调整某个影响气化效率的关键参数,可提升整体气化效果。多目标优化综合考虑多个目标函数,涵盖能源消耗、运行成本、安全性等方面^[3]。采用多目标优化算法,在多个目标间寻求平衡,对接收站运行参数进行优化,此方法可使接收站在降低能源消耗和运行成本的同时,保障运行安全性,实现整体运行效益的最大化。

4 结语

综上所述,油气储运LNG接收站模拟系统及方法对于提升LNG接收站的安全、高效运行具有重大意义。通过分层分布式架构的模拟系统,结合功能全面的各模块以及多样化的模拟方法,能够精准模拟工艺流程、设备性能与控制策略等。这不仅有助于深入分析接收站运行特性,及时发现问题并优化,还能为接收站的规划、设计、运营和管理提供科学依据,推动LNG接收站向更安全、更经济、更高效的方向发展。

[参考文献]

- [1]王志展.油气储运工艺流程模拟系统及方法[J].区域治理,2020(37):144.
- [2]徐波,段林杰,戴梦,等.LNG全运输系统运行可靠度计算方法[J].油气储运,2020,39(1):48-53.
- [3]杨文刚,杨元春,高玮,等.LNG储罐预冷温度变化规律算法研究[J].中国海上油气,2024,36(4):230-238.