

甲醇燃料加注站的系统设计与安全性能评估

庞傲

上海中远海运重工有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i6.16776

[摘要] 本文聚焦于集装箱船双燃料甲醇加注站的系统设计与安全性能评估。通过深入剖析甲醇燃料的理化特性和船舶加注的特殊要求,详细阐述了加注站系统设计的原则与要点,并构建了适用于船舶的安全性能评估体系。从设备安全、工艺安全、环境安全、管理安全等多个维度出发,提出提升船舶甲醇燃料加注站系统安全性的对策。通过强化设计阶段安全管控、完善设备全生命周期管理、加强运营安全管理以及推动技术创新应用等措施,为集装箱船双燃料甲醇加注站的安全运营提供有力保障。

[关键词] 甲醇燃料加注站; 系统设计; 安全性能评估

中图分类号: TQ517.4 文献标识码: A

Methanol fuel refueling station system design and safety performance evaluation

Ao Pang

COSCO SHIPPING Heavy Industry (Shanghai) Co., Ltd.

[Abstract] This paper focuses on the system design and safety performance evaluation of dual-fuel methanol bunkering stations for container ships. By conducting an in-depth analysis of the physicochemical properties of methanol fuel and the specific requirements for ship bunkering, it elaborates on the principles and key points of bunkering station system design and establishes a safety performance evaluation framework applicable to ships. From multiple dimensions, including equipment safety, process safety, environmental safety, and management safety, measures to enhance the safety of methanol bunkering station systems for ships are proposed. By strengthening safety control during the design phase, improving equipment lifecycle management, enhancing operational safety management, and promoting technological innovation and application, this study provides robust support for the safe operation of dual-fuel methanol bunkering stations for container ships.

[Key words] methanol fuel filling station; system design; safety performance evaluation

引言

随着能源结构转型和环保政策在航运领域的加强,甲醇燃料作为一种清洁、高效的替代能源,在集装箱船等船舶上的应用日益广泛。集装箱船双燃料甲醇加注站作为船舶燃料供应的关键节点,其系统设计与安全性能直接关系到船舶燃料供应的安全性和可靠性。因此,对船舶甲醇燃料加注站的系统设计进行深入研究并开展安全性能评估具有重要意义。本文将从船舶加注站的系统设计出发,探讨提升其安全性能的方法,以保障船舶甲醇燃料加注站的安全运营。

1 甲醇燃料加注站系统设计相关概述

1.1 甲醇燃料的理化特性与船舶加注要求

甲醇是一种无色透明、易挥发的液体,具有较强的溶解性与腐蚀性,沸点约为64.7°C,闪点约为12°C,爆炸极限为6.7%~36.5%。这些特性决定了在船舶储存、输送和加注过程中需特别注意防泄漏、防腐蚀和防火防爆。从船舶加注要求来看,由于甲醇的腐蚀

性,加注系统的管道、阀门等部件需选用耐腐蚀性材料,如不锈钢或特种工程塑料。因甲醇易挥发,加注过程中要保证加注设备的密封性,减少挥发损耗与安全隐患。同时,船舶加注站需配备有效的通风设施,避免甲醇蒸气在船舱等有限空间内积聚。此外,甲醇加注的流量、压力等参数需精准控制,以确保加注效率与计量准确性,满足船舶航行需求。

1.2 船舶加注站系统设计的基本原则

船舶加注站系统设计需遵循安全可靠原则,这是首要原则。所有设计环节都应以保障船舶和船员安全为核心,如合理设置防火间距、配备完善的安全防护设施等,从源头降低安全风险。技术先进原则也不可或缺,应采用成熟、先进的技术与设备,如智能化的加注设备、高效的泄漏检测系统等,提升加注站的自动化水平与运营效率。经济合理原则要求在满足安全与功能需求的前提下,优化设计方案,控制建设与运营成本,如合理规划船上加注区域布局、优化设备选型等,实现经济效益最大化。环保

达标原则同样重要,需考虑甲醇燃料可能对船舶环境和海洋环境造成的影响,设计相应的废气、废水处理系统,确保加注站的运营符合环保标准^[1]。

2 甲醇燃料加注站的系统设计要点

2.1 工艺系统设计

工艺系统是船舶加注站的核心系统,主要包括驳运管路系统、加注系统与卸船系统。在船舶上,甲醇并非储存在传统的储罐中,而是储存在特设的甲醇储存舱内。甲醇储存舱的选型与设计需结合船舶的规模、航行需求以及甲醇的消耗量来确定。对于大型集装箱船,由于甲醇热值较低,所需储存量相对较大,因此需设计有足够容量的储存舱。储存舱的内表面应采用特殊的防腐涂层处理,以确保其耐甲醇腐蚀性能,钢板材质也需符合相关标准要求,以保证储存安全。驳运管路系统负责将岸基或燃料补给船上的甲醇燃料通过专用管道输送至船舶的甲醇储存舱。管路的管径需根据加注流量精确计算确定,以确保输送效率。管路的走向规划应尽量短直,减少弯头与阀门数量,以降低阻力与泄漏风险。连接方式主要采用焊接,以确保连接处的紧密性;仅在连接阀门和设备时,才使用法兰连接,并确保法兰连接处的密封性能。管道还需进行防腐处理,以延长使用寿命。加注系统中,加注设备的选型需满足甲醇加注流量与精度要求,流量误差应严格控制在 $\pm 0.5\%$ 以内。加注设备的布置需充分考虑船舶的空间限制和操作便利性,确保其位于便于操作且不影响船舶正常航行的位置。加注枪与软管需适配甲醇燃料,加注枪的密封件应采用耐甲醇材料,软管则需具备耐腐蚀性与抗静电性能,长度需满足船舶加注操作的需求。卸船系统设计中,卸船接口采用快速接头,便于与运输船的连接,并需具备良好的密封性以防止甲醇泄漏。卸船泵选用容积式泵,其流量与扬程需根据卸船需求精确选定。卸船流程采用密闭卸船方式,以减少甲醇挥发,并设置防静电接地装置,确保卸船过程中的接地良好,防止静电火花引发安全事故。

2.2 设备系统选型与布置

在设备选型方面,加注设备应选用具有防爆功能且计量精度高的产品。这些设备的材质需耐甲醇腐蚀,以确保在长期使用中的稳定性和可靠性。同时,驳运管路系统中的泵、阀门等关键部件也需选用符合甲醇燃料特性的产品。在设备布置上,应充分考虑船舶的实际布局和操作需求。加注设备应布置在便于操作且不影响船舶正常航行的位置,并设置明显的操作标识以提高操作效率。同时,各设备之间的布置需便于日常维护和检修工作的进行,预留足够的空间以便船员进行必要的检查和维修操作。此外,虽然船舶上不再设置储罐,但甲醇储存舱与加注设备、船上重要舱室之间仍需保持足够的防火间距,以确保在紧急情况下的安全。

2.3 辅助系统设计

2.3.1 消防系统设计

船舶消防系统需配备足够的灭火设备,如干粉灭火器、泡沫灭火器等,灭火器应布置在船上易取用的位置,且数量需根据船

舶规模确定。同时,船上需设置消防栓,消防栓的布置应保证水枪的有效射程覆盖船上加注区域。对于储油罐区,可设置固定式泡沫灭火系统,当发生火灾时能快速喷射泡沫覆盖油罐表面,隔绝氧气灭火。另外,船上需设置消防水泵房与消防水池,确保消防用水的供应。

2.3.2 防静电与防雷系统设计

防静电系统方面,船上的设备、管道等需进行接地处理,接地电阻应不大于 4Ω ,以将静电及时导入大地。加注设备与油舱之间需设置静电接地连接线,在加注过程中保持连接,防止静电积聚产生火花。防雷系统需安装避雷针或避雷带,避雷针的保护范围应覆盖整个加注区域,避雷带需沿船上相关建筑物顶部敷设。同时,防雷接地与防静电接地可共用接地装置,但需确保接地可靠^[2]。

2.3.3 通风与废气处理系统设计

通风系统主要用于降低加注区域甲醇蒸气浓度,加注区与甲醇储存舱周边需设置机械通风装置,通风次数应不小于每小时12次;通风装置进风口需设置在低处(甲醇蒸气易积聚区域),出风口设置在高处,形成有效空气对流,促进甲醇蒸气排出。废气处理系统针对加注过程中产生的少量甲醇废气,采用活性炭吸附法进行处理,活性炭吸附装置需定期更换活性炭,确保处理效果;处理后的废气需经检测达标后才能排放,避免对船舶环境与海洋环境造成污染。

2.3.4 电气系统设计

电气系统设计需符合防爆要求,船上的电气设备如灯具、开关等需选用防爆型产品,安装位置需远离易燃区域。供电系统需设置应急电源,当主电源中断时,应急电源能保证船上关键设备如加注设备、通风装置等的正常运行。另外,电气线路的敷设需穿管保护,避免线路老化破损产生电火花,线路接头需做好密封处理,防止甲醇蒸气进入。

3 甲醇燃料加注站安全性能评估体系构建

3.1 安全性能评估指标体系

安全性能评估指标体系可从设备安全、工艺安全、环境安全、管理安全等方面构建。设备安全指标包括设备故障率、设备防爆等级、管道密封性等;工艺安全指标涵盖卸船速率、加注压力稳定性、储存舱液位控制精度等;环境安全指标有舱内甲醇蒸气浓度、废气处理达标率、废水排放指标等;管理安全指标包括安全管理制度完善度、人员培训合格率、应急演练频率等。在选取指标时,需确保指标具有科学性与可操作性,能全面反映船舶加注站的安全性能。同时,可根据指标的重要程度赋予不同的权重,以便进行综合评估。

3.2 安全性能评估方法

常用的安全性能评估方法有安全检查表法、故障树分析法(FTA)、风险矩阵法等。安全检查表法是根据相关船舶规范与标准,制定详细的检查项目清单,通过现场检查对各项指标进行打分,判断加注站的安全状况,该方法操作简单、直观,但主观性较强;故障树分析法是通过构建故障树,分析导致事故发生各种

因素及其逻辑关系,找出系统的薄弱环节,该方法能深入分析事故原因,适用于复杂系统的安全评估,但构建故障树需要专业知识;风险矩阵法是结合事故发生的可能性与后果严重程度,对风险进行等级划分,确定风险的优先级,该方法能直观地展示风险状况,便于制定风险控制措施。在实际应用中,可结合多种评估方法,以提高评估结果的准确性^[3]。

4 提升甲醇燃料加注站系统安全性的对策

4.1 强化设计阶段的安全管控

设计阶段需严格遵循相关船舶规范与标准,确保系统设计的合规性。在设计前,收集与船舶加注站相关的规范、标准及政策文件,组织设计人员进行学习,明确设计要求。设计过程中,安排专人进行规范符合性检查,对关键环节进行审核。引入第三方设计审核机制,选择具有资质与经验的第三方机构对设计方案进行审核,从安全、技术、经济等方面进行全面评估,提出审核意见与改进建议,设计单位根据审核意见对方案进行优化完善。加强对设计人员的专业培训,提高其对甲醇燃料特性与船舶安全设计要求的认知。培训内容包括甲醇的理化特性、船舶加注站设计规范、安全防护技术等,采用理论教学与案例分析相结合的方式,定期组织设计人员参加培训与交流活动,提升设计水平。

4.2 完善设备全生命周期管理

建立设备全生命周期管理制度,涵盖设备采购、安装、调试、运行、维护、报废等环节。设备采购时,选择具有资质、信誉良好的供应商,对设备进行严格的质量检验,确保设备符合设计要求与相关标准。设备安装与调试需由专业人员进行,严格按照安装规范与调试方案操作,安装调试完成后进行验收,验收合格方可投入使用。定期对设备进行检测与维护,制定设备维护计划,明确维护周期、维护内容与责任人。日常维护包括清洁、润滑、紧固等;定期检测包括性能检测、腐蚀检测、防爆性能检测等,对检测中发现的问题及时进行维修或更换,确保设备处于良好运行状态。及时更换老化、损坏设备,根据设备的使用寿命与运行状况,制定设备更换计划,对达到使用年限或性能下降无法满足要求的设备,及时进行更换,避免因设备老化、损坏导致安全事故。

4.3 加强运营过程中的安全管理

制定完善的操作规程,明确加注、卸船、设备维护等各项操作的步骤、要求与注意事项,操作规程需结合船舶的实际情况与甲醇燃料的特性制定,确保具有可操作性。对操作人员进行专业培训与考核,培训内容包括操作规程、安全知识、应急处置技能

等,培训结束后进行考核,考核合格方可上岗;定期组织操作人员进行复训,巩固培训内容,提升操作技能与安全意识。建立日常巡查与定期安全检查制度,日常巡查由操作人员负责,每天对船舶加注站的设备、管道、安全设施等进行检查,记录巡查情况;定期安全检查每月至少进行一次,由安全管理人员牵头,组织相关人员进行全面检查,对发现的安全隐患及时进行整改,跟踪整改情况^[4]。加强应急演练,制定详细的应急演练计划,定期组织泄漏、火灾、爆炸等场景的应急演练,演练内容包括报警、疏散、初期火灾扑救、设备应急处置等。演练结束后,进行总结与评估,分析存在的问题与不足,对应急预案与演练计划进行优化完善,提高人员应急处置能力。

4.4 推动技术创新与应用

为了进一步提升船舶甲醇燃料加注站的安全性,应加大对安全技术的研发投入。研发工作应聚焦于高可靠性的泄漏检测技术和智能化的监控系统,这些技术将能够实时、精确地监测加注站的运行状态,及时发现潜在的泄漏风险,从而提升加注站的安全监测水平。同时,积极推广应用耐腐蚀材料、防爆设备等先进技术与产品,以提高整个加注系统的抗风险能力。另外,还可以利用物联网、大数据等前沿技术,构建加注站的远程监控平台,实现对加注站运行状态的实时监测与预警,确保能够迅速发现并处理任何异常情况,从而提升加注站的安全管理效率。

5 结束语

综上所述,集装箱船双燃料甲醇加注站的系统设计与安全性能评估是一个复杂而重要的课题。通过科学的系统设计和全面的安全性能评估,可以有效提升加注站的安全性和可靠性。未来,随着技术的不断进步和航运业对清洁能源需求的增加,甲醇燃料加注站的设计和安全性能评估将面临更多挑战和机遇。需要持续关注船舶甲醇燃料加注站的发展动态,不断推动技术创新和应用,为甲醇燃料在航运领域的广泛应用提供更加安全、可靠的保障。

[参考文献]

- [1]梅冠军,孙瑞,胡成龙,等.船舶甲醇燃料加注站的设计应用[J].船舶物资与市场,2024,32(4):47-50.
- [2]龚旭诚.集装箱船甲醇加注站区域围壁设计及气体扩散分析[J].船舶与海洋工程,2024,40(4):40-45.
- [3]李智,魏同,王馨铁,等.船用甲醇燃料的应用与分析[J].绿色科技,2025,27(6):269-274,280.
- [4]贾广付,张卫前.甲醇燃料船舶发展现状与路径[J].中国海事,2025(5):47-50.