

PE-RT 管道在船舶领域的应用实践

张伟娇 陶岳杰 汤理梁 车优飞 (临海伟星新型建材有限公司, 浙江 临海 317000)

摘要: 本文根据船舶行业的管道发展及应用场景需求, 重点介绍船用塑料管道的标准和技术要求, 以及 PE-RT 管道系统在船舶领域的相关应用技术创新。

关键词: 船舶管路系统; PE-RT 管道系统; 应用技术

Abstract: According to the requirements of pipeline development and application scenarios in the ship industry, this paper focuses on the standards and technical requirements of marine plastic pipelines, as well as the related application technology innovation of PE-RT pipeline system in the ship field.

Keywords: ship piping system; PE-RT piping system; application technology

1 船舶管道市场概况

船舶犹如一座“漂浮的城市”, 联系着世界各地的经济和文化, 是世界经济发展的助推器之一。船舶制造是制造行业的重要组成部分, 随着世界船舶制造的格局变化, 中国已经成为世界造船第一大国。2020 年伊始新冠疫情对船舶工业的影响较大, 从新造船市场需求看, 此次疫情导致的新造船需求短期大幅下滑, 但市场将稳步恢复至正常水平。

管道工程是船舶制造的重要部分, 据调查统计, 船舶管路施工安装时间约占造船总工时的 8-12%, 各种管路在船舶舾装中也占据了相当份额的比例。因此, 船舶上的管路也被比喻为船舶的血管, 承担输送蒸汽、水和油等介质, 在船舶中扮演着相当重要的角色。

1993 年 11 月 4 日, 基于海运业对非金属管道的需求增加, 以及现有规定中没有关于塑料管道和强化塑料管道布置系统的具体要求, 国际海事组织海事安全委员会通过了《船上使用塑料管道指南》(下文简称《指南》)。并在 2010 年 11 月 16 日, 国际海事组织海上安全委员会 88 次会议上, 通过了第 313 号关于《船上使用塑料管道指南》(A.753 (18) 决议) 修正案的决议, 进一步完善推进塑料管道在船舶领域中的应用。

对照规范基于 SOLAS 公约对于管子耐火性能及其使用处所做出的规定 (参见《钢质海船入级与建造规范》2001, 第三篇 1.4.3 及其表格), 目前塑料管可使用在非机器处所中的某些非重要管路系统中。具体包括: 各类船舶和离岸设备的冷热水、黑水和灰水、压载系统、空调制冷以及水处理等多个领域 (烟气洗涤管道产品)。据调查, 目前管道在船舶上的总占比约为 10%, 包括玻璃钢管、金属管、塑料管。其中,

塑料管道因重量更轻、安装更便捷、在使用期内的维护成本更低等优势, 不断获得船舶设计人员和船东的青睐, 塑料管道的应用和占比在不断扩大。

2 船舶塑料管道的需求特性

2.1 认证及技术规范

不同于民用其他领域, 管道应用在船舶各个系统中, 首先应取得各国船级社的资质认证。目前全球范围有涉及的船级社认证有中国船级社 (CCS)、美国船级社 (ABS)、挪威-德国船级社 (DNV-GL)、法国船级社 (BV)、英国劳氏船级社 (LR)、日本船级社 (NK)、意大利船级社 (RINA) 等。国际海事组织通过 (IMO) 的 A.753 (18) 决议的附录 1《指南》为塑料管在船舶上的使用提供认可依据, 并制定了相关标准来认可塑料材料的使用。

塑料管道进入船舶领域技术门槛较高, 在《指南》中的材料设计特性和认可中, 对船用塑料管的压力、强度、温度、抗冲击、疲劳强度等内容进行了详细说明, 并对耐火、低播焰性、烟气及毒性、导电性、防火涂覆等内容进行了规定 (如表 1 所示)。同时, 《指南》对管路的支撑、外部载荷、安装、检验、防火和水密舱壁的穿舱、管路修复等涉及塑料管路安装、质量控制等内容进行了规定和解释。除指南要求的规范要求外, 船用具体产品的生产检验技术要求按照船级社接受的国家或国际标准来执行。

2.2 船舶管道应用场景需求分析

船舶是一幢移动的建筑, 在世界各地海域间穿梭。船用管道系统的工作场景较为苛刻, 船用管道的选用要同时兼顾安全性、卫生性、抗振性以及施工安装的便捷性。

船舶长期在海上航行, 舱内温湿度较高, 耐海水

腐蚀是船舶管道首要解决的问题。船舶最早使用的是金属管道,如不锈钢管、镀锌钢管、紫铜管等,使用寿命一般在5-10年。而船舶的服务周期一般在30年左右,因此在船舶的生命周期内需要更换3次管道,维护成本较高。除了管道本身要具备防腐问题,同时也要考虑整个管路系统配件的耐腐蚀性开发。

船舶在海上复杂环境中航行,经常会遇到船体颠簸倾斜,船舶管道轴线偏差、支撑框架破坏、水流冲击或脉动等所引起的管道异常振动问题。强烈的管道振动会使管道附件发生松动和断裂,特别是管道连接部位和管道与附件的连接部位,如管道支承等处。一旦管道发生严重的振动,甚至破裂,轻则造成泄漏,重则因破裂而引起爆炸,环境也会受到严重的影响。因而船舶管道系统的振动问题是一个不容忽视的重要问题,它直接影响着船舶的运行安全。国际航线的船舶,温度骤然变化等时能够保证管路系统正常工作。当遇上寒冷天气气温骤降时船舶上的一些管道就会结冰,因此无法正常运行,这在不可预测的海洋中无疑是非常致命的。

对于船上的工作人员和游客来讲,饮用水管道的卫生性能是基本需求。国际航行船舶饮用水由于水源、输水和储水条件的特殊性,存在多种被污染的可能性。细菌的滋生会在管道内形成生物膜,对水质造成二次污染,降低供水设备的使用寿命。在饮用水管道有生

物膜的环境中,细菌每30min就可以繁殖一次,特别是在夜间细菌数量会激增,严重影响了船员的健康。

3 基于应用需求的船用 PE-RT 管道开发

3.1 PE-RT 管道的选型及性能优势

船舶生活区上建的供水管系可分为饮水系统、洗涤水系统和卫生水系统,管径在 dn20-63 之间,与民用建筑供水管十分相似,不同之处在于支路多、供水温差大(运动的建筑)且安装操作空间小。在民用建筑给水管道中使用最多较成熟的则是 PP-R、PE-RT、PB、PEX 四类材料,从实际应用的角度比较而言:PEX 和铝塑复合管只能采用机械式连接,而且 PEX 管挤出生产过程中不容易在线控制交联度;PB 有较高的耐压性能,但生产后需要很长的结晶期,生产过程不易控制,施工时需要特别保护 PB 管,以防止由于刚性低而导致划伤;PP-R 易出现低温脆性,导致耐冲击性能差,管道抗振性能差。PE-RT 因其特殊的分子结构,除具备聚乙烯管道的一切物理性能,耐腐蚀性、韧性好、抗冻耐应力开裂强,还具有较高的耐热性,可在 70℃ 以内长期使用,在 -40℃ 低温环境下可以正常施工。尤其是第二代 PE-RT 的性能在一代的基础上,材料耐温耐压性及焊接性能能有了进一步的提升,在建筑给水、集中供热及温泉输送等领域有了广泛的应用。

近年无 PE-RT 论是上游在原料牌号开发,还是

表 1 CCS 船级社认证技术要求

测试项目	技术要求	测试方法
内压	短期爆破压力不低于公称压力的 4 倍	ASTM D1599
	长期静液压 (20℃、1000h) 的破坏压力不低于 2.5 倍公称压力	ISO 1167
外压	在 20℃ 环境温度条件下,将 50cm 长度测试试样的管段封闭,置入大尺寸的管道中,大管道两端再封闭,往大管道中打入水压,施加负载为:管内承受抽真空 (-0.1MPa) 和管外承受 0.3MPa 压力,保压 1h 无损坏	ASTM D 2924
外部负荷试验	110mm 直径管在跨度 6m 中间施 100kg 载荷下保持 5min,无破裂损坏	CCS《材料与焊接规范》(2018) 第 2 篇第 4 章第 2 节 4.2.4.2
导电性	导水管:体积电阻率 $\leq 0.1\text{M}\Omega/\text{m}$;非导水管:体积电阻率 $> 0.1\text{M}\Omega/\text{m}$	ASTM D257
耐冲击性	冲击试验后试样按 2.5 倍的公称压力液压试验、保持 1h,无损坏	ASTM D2444 & ISO 1167 or GB/T 6111
维卡软化温度	$\geq 80^\circ\text{C}$	ISO306
轴向拉伸强度	$\geq 16\text{MPa}$	GB/T 8804 或 ISO 6259
平行板外载性能	无破坏、不开裂	GB/T 9647
邵氏硬度	≥ 50	GB/T 2411
老化	将试样在 150℃ 温度下加热 60min,热变形温度变化 $\leq 5^\circ\text{C}$ 为合格	GB/T 6671 或 GB/T 16422.2
疲劳	常温下进行循环压力冲击试验,压力循环 1~1.5MPa,次数 1 万次,频率至少 30 次/min,热变形温度变化不大于 5℃ 为合格	ISO 10508
低播焰性	被测试的样条一段固定,试样保持水平,自由端暴露在指定气体火焰 30s,测量和记录燃烧的长度和时间,火源撤离后,火焰即灭或燃烧前沿未达 25mm 标线	ASTM D635
烟气及毒性	在一定时间内记录烟密度及各个气体含量。 样品暴露在 25 或 50kW/m ² 辐射热源条件下进行测试。 通过对 CO ₂ 、CO、HF、HCl、HCN、NO ₂ 、SO ₂ 、HBr 这八种气体来分析毒性	IMO 2010 FTP Code Part 5

下游生产技术及行业标准体系等方面都有了长足的发展,在下游应用中越来越广泛,众多材料中脱颖而出。

国外乔治费歇尔最早将 PE-RT 用于船舶管道系统,经过应用实践,PE-RT 管道系统具有较多的性能优势,包括:①柔性好,施工时可随(舱壁)形敷设;②管接头在船舶运行时抗振性能好;③内壁光滑,水流阻力小,输送流体能力比同管径金属管大 30%;④安装简便、可靠,采用先进的热熔承插/对焊连接法,而形成完全封闭的防渗系统;⑤较好的环境耐适应性(耐低温)性能,适合船舶在世界各地运行。

3.2 船用 PE-RT 管道系统选型及生产制造

考虑到船用管道系统对轻量化及安全可靠性要求较高,我们选用耐压、耐热性能更优的 PE-RT II 型管道材料。PE-RT II 型船用塑料管道,产品主要规格范围为 dn20~110,产品选型及检验执行标准 GB/T28799-2020《冷热水用耐热聚乙烯(PE-RT)管道系统》。根据船舶给水管道的使用工况要求,管材选用 S3.2 系列,管件考虑到接头的抗振性和焊接安全性,选择 S2.5 系列进行配套。

在生产制造方面,为了进一步提升管路的卫生性能,降低管道内细菌滋生形成生物膜,减少管路频繁冲洗带来的不利影响,管材采用了低粗糙度生产技术。主要通过改造螺杆结构保障熔体塑化的完好,同时配合芯摸镀膜技术进一步提升内表面的光滑度。设备改进后的管材内表面粗糙度,经过测试为原先生产的 1/10,可有效降低管材结垢,提升管道服役期间的输水能力。

3.3 船舶管路设计

船舶管路的设计、制作加工、施工安装等一系列环节,都是高技术要求的工程。船舶管路系统极为复杂,尤其是大型邮轮,与建筑工程相比,船舶施工作业面更加狭小,机电管线排布更加紧凑。为了将供水管路系统和其他电气、暖通等管路干扰降到最小,我们需要根据船厂提供的设计图纸对管道进行二次深化设计。通过二次深化设计,明确穿舱套管预留情况及装配断管形式。同时为了便于船厂进行管路模拟,我们对 PE-RT 管路系统中管材、管件及相关装配件均建立了三维模型。

根据大型邮轮建造的相关规范及技术规程要求,大量的管材焊接操作不在船坞中开展,因此管路的预制率要求较高。我们借鉴建筑装配式装修的经验,通过二次深化设计,对管路进行分解,形成标准化的组

件和模块,并通过工厂化预制的方式,提升了船厂机电安装的效率和可靠性,降低了在船上作业的空间要求。PE-RT 管道的柔韧性,对于走廊等长距离的预制,可以采用定长和盘管的方式提供,减少焊接点。对于舱内短距离组件,在穿舱角度及在装配安装配合公差上,PE-RT 因其柔韧性具有更大的调整空间。

3.4 船舶管道安装技术

除了提供合格的管材和管件,我们还需要为客户提供便捷、可靠的施工安装技术以及后续管道系统的维修技术服务。PE-RT II 型焊接性能遵循了高密度 PE100 管道材料的焊接理论和操作规范要求,可适用于热熔承插、热熔对接。为了解决不同施工点位安装需求及后期维护的便捷性,同步开发了专用快插管件技术、PE-RT 小口径电熔管件。

另一方面,为了提升管道与舱体的安装可靠性和效率,同时降低冲击和振动对管接头的不利影响,进一步研究并提供了管道吊装固定技术、法兰预紧防松退技术,交叉施工塑料管道现场防护方法

4 结论

在船舶管道实际设计中,要综合考虑输送介质、运行工况、施工、价格等多方面因素。船舶上建供排水系统虽在整个船舶管系中占比较小,但关系到船员的工作和生活健康和后期的运行维护成本。PE-RT 管道系统在产品性能优势的基础上,结合船舶管路的特殊特性需求,重点解决安全性和施工便捷性。相信随着行业技术和产品标准的不断进步,后续 PE-RT 管道在船舶领域的应用会越来越广泛,也将进一步推动 PE 类及其他功能新型塑料管道在船舶压载、黑水和灰水、空调制冷以及水处理的系统应用。塑料管道厂家也将进一步加大船舶行业认证及技术规范的研究,加强更加注重系统解决方案的打造,从产品设计、系统集成及施工安装运维等维度为船舶制造行业赋能。

参考文献:

- [1] 王满昌. 塑料管道在船舶工程中的应用 [J]. 造船技术, 2018(6):24-26.
- [2] 顾军. 浅析船舶管路安装 [J]. 民营科技, 2013(10):98-98.
- [3] 陈振耀. 塑料管道的技术特性与进展 [J]. 上海塑料, 2002(4):4.
- [4] 张东顺, 张波, 李沙沙. 浅析船舶管道安装的基本要求 [J]. 城市建设理论研究, 2014(29):596-597.
- [5] 李全昆, 金承泽, 郭小英. 塑料管在船舶上建区域管路系统中的应用 [J]. 船海工程, 2019, 48(2):4.