

# 集装箱船总体舾装设计中的人机工程学应用研究

李 洋

江南造船(集团)有限责任公司 上海 201913

**摘要:** 全球航运业蓬勃发展, 集装箱船向大型化、智能化加速演进。总体舾装设计是船舶设计关键, 其合理性影响船员作业安全、运营效率与船舶竞争力。人机工程学以“人-机-环境”协同为核心, 为解决传统舾装忽视船员需求的问题提供科学依据。本文以集装箱船总体舾装设计为对象, 梳理人机工程学理论及应用原则, 明确舾装范围与传统设计缺陷, 分析其在甲板、舱室、机舱的应用路径, 构建评估体系, 旨在提供优化方案, 提升船员体验, 推动船舶设计转型, 助力航运业高质量发展。

**关键词:** 集装箱船; 总体舾装设计; 人机工程学; 应用研究

引言: 国际贸易一体化背景下, 集装箱船因运量大、效率高成为航运核心载体。船舶大型化使船员作业环境更复杂, 舾装设计人性化需求凸显。传统舾装设计侧重船舶结构与功能, 常忽视船员生理心理特性, 引发作业空间小、操作不便等问题, 降低运营效率且存安全隐患。人机工程学作为交叉学科, 能衔接人的需求与船舶设计, 在航空、汽车领域应用成熟, 但在集装箱船舾装设计应用碎片化。故本文聚焦此应用, 挖掘痛点、探索路径, 对提升船员福祉、保障安全及推动设计升级意义重大。

## 1 人机工程学基础理论

### 1.1 人机工程学的定义

人机工程学是一门融合心理学、生理学、工程学等多学科知识的交叉学科, 核心定义为研究“人-机-环境”系统中三者相互作用与协调匹配的规律, 以实现系统效能最优、人员安全舒适的学科。其本质是通过科学分析人的生理结构、心理特征及作业需求, 优化机器与环境设计, 使机器功能与人体特性高度适配, 环境条件符合人体耐受范围。与传统工程设计侧重机器性能不同, 人机工程学将“人”置于核心地位, 强调设计需围绕人的能力极限与作业习惯展开。在船舶领域, 这一学科聚焦船员与船舶设备、航行环境的协同关系, 通过量化人体尺寸、动作幅度、认知能力等参数, 为舾装设计提供量化的科学依据, 从根源上解决人与设备、环境的适配矛盾。

### 1.2 人机工程学的主要研究内容

人机工程学的研究内容围绕“人-机-环境”系统展开, 形成多维度、多层次的研究体系。首先是人体特性研究, 涵盖人体测量学数据(如身高、臂长等静态尺寸, 动作范围等动态参数)、生理机能(如肌肉疲劳极限、心肺功能耐受度)及心理特性(如注意力集中时长、应激

反应模式), 这些数据是设计适配性的基础。其次是机器与设备设计优化, 针对设备的操作界面、布局位置、操控力度等进行设计, 确保船员操作便捷、省力, 减少误操作风险。再者是环境因素研究, 分析温度、湿度、噪声、振动、照明等环境参数对人体的影响, 制定符合人体耐受的环境标准<sup>[1]</sup>。最后是系统整体优化, 通过分析人、机、环境间的相互作用, 构建协同模型, 实现系统整体效能最大化, 例如通过优化作业流程与设备布局, 减少船员无效动作, 提升作业效率。

### 1.3 人机工程学在船舶设计中的应用原则

人机工程学在船舶设计中应用需遵循四大核心原则, 以确保设计科学实用。一是以人为本原则, 将船员的安全与舒适作为首要目标, 设计前需充分调研船员作业场景与需求, 避免以设备性能为唯一导向。例如舱室布局需考虑船员生活习惯, 减少不必要的移动消耗。二是功能适配原则, 设备设计与布局需匹配船员生理与认知能力, 操作界面简洁直观, 操控力度符合人体肌肉发力特性, 避免设计超出人体极限的操作动作。三是环境协同原则, 船舶航行环境复杂, 设计需适应高温、高湿、颠簸等特殊条件, 如甲板设备需设置防滑装置, 舱室需具备良好的降噪减振功能。四是动态优化原则, 结合船员反馈与航运技术发展, 对设计持续迭代, 例如随着船员结构变化, 及时调整设备尺寸与操作方式, 确保应用效果始终适配实际需求。

## 2 集装箱船总体舾装设计概述

### 2.1 集装箱船的特点

集装箱船作为专用货运船舶, 具有鲜明的结构与运营特点, 这些特点直接决定了其舾装设计的特殊需求。结构上, 为提升装载量, 集装箱船采用大开口货舱设计, 上层建筑多位于船尾, 甲板空间被大量集装箱堆放区域占

据,导致甲板作业空间分散且受限。运营上,船舶航行周期长,船员需在有限空间内完成驾驶、装卸、维护等多样化作业,且作业环境受海洋气象影响大,面临高温、高湿、风浪颠簸等复杂条件。此外,集装箱船大型化趋势明显,万吨级以上船舶日益增多,船员作业范围扩大,设备数量与复杂度提升,对操作便捷性与安全性要求更高。同时,智能化设备的应用使船员从体力作业向监控操作转变,对舱室与控制室的设计提出了更高的人机适配需求。这些特点决定了集装箱船舾装设计必须兼顾空间利用与人员作业需求。

## 2.2 总体舾装设计的范围与内容

集装箱船总体舾装设计作为一项覆盖船舶全区域的系统性工程,其范围极为广泛,全面涵盖了甲板区域、舱室区域以及机舱区域,内容更是涉及设备安装、空间规划、环境优化等多个关键方面,对船舶的整体性能与运营效率起着至关重要的作用。甲板舾装是其中的核心部分,包含系泊设备,像缆桩、绞车等,它们是船舶停靠时的关键固定装置;起货设备用于货物的装卸;护栏保障船员在甲板作业时的人身安全;通道标识则为船员提供清晰的行动指引。在设计过程中,必须紧密结合甲板的作业流程,科学规划设备布局,以此确保装卸作业的高效进行以及维护作业的便捷与安全;舱室舾装又可细分为居住舱室与作业舱室,居住舱室包括船员卧室、餐厅、卫生间等,设计时需充分考虑居住舒适性,为船员营造一个温馨、舒适的休息环境。作业舱室如驾驶室、集控室,涉及操控台、显示设备等的布局,这些布局的合理性直接影响着船舶的航行安全与监控效率。机舱舾装涵盖动力设备、管线系统、维修平台等,在设计时既要满足动力设备的正常运行需求,又要为船员提供充足的维护作业空间<sup>[2]</sup>。此外,总体舾装还包括电气舾装的线路布置、消防舾装的设施配置等,各部分相互关联、协同作用,共同构成了船舶运营的基础保障体系。

## 2.3 传统舾装设计存在的问题

传统集装箱船舾装设计受“重功能、轻人文”理念影响,存在诸多与船员需求脱节的问题,制约了船舶运营效能与船员福祉。在甲板舾装中,设备布局多基于船舶结构而非作业流程,导致船员操作路径过长,部分设备操作空间狭小,需采用弯腰、踮脚等不舒适姿势作业,增加肌肉疲劳与安全风险。舱室舾装方面,居住舱室空间紧凑,家具布局不合理,储物空间不足,且噪声与振动控制不佳,影响船员休息质量;驾驶室操控台设备密集,显示界面杂乱,船员易出现视觉疲劳与操作误判。机舱舾装中,管线与设备布置混乱,维修通道狭窄,部

分维护点需船员钻入设备间隙作业,既不便又危险。此外,传统设计缺乏个性化考量,未充分兼顾不同身高、体型船员的需求,且未建立科学的评估反馈机制,设计缺陷难以及时优化。

## 3 人机工程学在集装箱船总体舾装设计中的具体应用

### 3.1 甲板舾装设计中的人机工程学应用

在集装箱船的甲板舾装设计里,人机工程学的应用核心在于围绕船员的作业流程,对空间和设备布局进行科学优化。依据人体测量数据,将常用的系泊设备、工具存放箱等合理布置在船员站立操作时手臂容易触及的范围,把设备高度精准控制在1.2 - 1.5米,这样能避免船员频繁弯腰或者抬臂,降低劳动强度。操作手柄采用贴合手掌弧度的曲面设计,让船员握持时感觉舒适,发力也更加便捷,同时将操作力度设定在5 - 10N这一人体最优发力区间。甲板通道宽度按照两人并行的标准,设计为1.8米以上,并且采用防滑耐磨的材料铺设,通道两侧设置高度1.2米的护栏,护栏间距既保证防护效果,又兼顾抓握的舒适性。针对集装箱装卸作业,在甲板作业区域设置可调节高度的防滑平台,平台高度能在0.3 - 0.8米之间灵活调整,以适配不同身高船员的作业姿势<sup>[3]</sup>。另外,在设备周边设置清晰醒目的视觉标识和操作指引,标识的字体大小和颜色对比符合视觉识别规律,确保船员能够快速准确地获取信息。

### 3.2 舱室舾装设计中的人机工程学应用

在舱室舾装设计方面,人机工程学的应用聚焦于实现居住舒适性与作业便捷性的双重目标。居住舱室按照人均居住面积不低于3.5平方米的标准进行设计,卧室采用“睡眠 - 储物 - 办公”的功能分区模式。床铺宽度设定为0.8 - 1米,长度根据船员的平均身高预留0.2米的冗余,床头设置可调节的阅读灯和便捷的充电接口。座椅与书桌的高度依据人体坐姿尺寸进行设计,座椅配备腰靠和扶手,能有效减少船员久坐产生的疲劳。卫生间采用干湿分离的设计方式,洗漱台高度为0.85米,镜面倾斜5°,避免反光影响使用。马桶旁设置扶手,提升使用的安全性。驾驶室作为核心作业舱室,采用弧形操控台布局,确保船员视野无死角,常用的操控按钮布置在手臂自然下垂可及的扇形区域内,显示屏幕的亮度和对比度能够根据外界光线自动调节,避免强光刺眼。集控室设置可旋转调节的座椅,操作台的高度和倾角符合坐姿操作习惯,有效减少船员颈椎和腰椎的压力。

### 3.3 机舱舾装设计中的人机工程学应用

在机舱舾装设计中,人机工程学重点致力于解决设备维护的便捷性和作业安全性问题。基于船员维护作业

的流程,将高频检修的设备布置在地面以上1-1.8米的核心操作区,避免船员进行高空或俯身作业,降低安全风险。设备间距按照“一人操作+一人辅助”的空间需求进行设计,最小操作空间不小于0.8米,维修通道宽度不低于1.2米,通道地面设置防滑纹路和反光标识,保障船员行走安全。机舱内设置可移动检修平台,平台高度调节范围为0.5-2米,配备折叠护栏和防滑踏板,方便船员进行不同高度的设备检修。管线布置遵循“上走管、下走线”的原则,避免管线穿越作业区域,同时管线标识采用颜色和文字的双重标识方式,便于船员快速识别。此外,机舱内安装智能降噪装置,将噪声控制在85分贝以下,还设置局部通风系统,针对高温设备区域强化散热,确保作业环境温度维持在18-28℃的舒适区间,减少船员的疲劳感。

#### 4 集装箱船总体舾装设计中人机工程学应用的评估方法

##### 4.1 主观评估方法

主观评估方法聚焦于船员的直观感受与经验判断,以此为核心来评估人机工程学在集装箱船总体舾装设计中的应用效果。它主要通过系统化的调研来收集船员的反馈信息。常用的具体方法有问卷调查法和访谈法。在问卷设计方面,会围绕作业舒适性、操作便捷性、环境适应性等关键维度,精心设置量化评分题(1-5分)以及开放问答题。这些题目全面覆盖甲板、舱室、机舱等所有舾装区域,确保评估的全面性。同时,为保证样本的代表性,调研对象会选取不同工龄、身高体型的船员。访谈法则采用一对一深度交流的形式,针对问卷中高分与低分的项目,深入询问背后的原因,像操作设备时的发力感受、舱室睡眠质量受哪些因素影响等。另外,主观疲劳评价法也是重要手段,船员填写疲劳量表(如NASA-TLX量表),从体力需求、精神需求等多个维度评估作业后的疲劳程度。主观评估需构建反馈闭环,将收集到的意见分类整理,使其成为设计优化的直接依据,切实提升评估的实用价值<sup>[4]</sup>。

##### 4.2 客观评估方法

客观评估方法借助科学仪器与严谨的数据统计,对

人机工程学在集装箱船总体舾装设计中的应用效果进行量化分析,具备客观性与精准性的显著特点。生理指标监测是其中的核心手段,通过让船员佩戴生理传感设备,能够实时采集他们在作业时的心率、血氧饱和度、肌电信号等关键数据。一旦发现心率持续超过100次/分钟或者肌电信号出现异常波动,就表明作业强度过高或者作业姿势不合理。作业效率测试则通过记录船员完成特定任务的时间与准确率,例如系泊作业完成时间、设备操作误判率等,通过对比人机工程学优化前后的差异,量化评估其提升效果。环境参数检测利用噪声仪、温湿度计、振动测试仪等专业设备,对舱室、甲板、机舱的环境指标进行实时监测,以此验证是否符合人机工程学标准。此外,人因仿真技术也发挥着重要作用,通过虚拟人模型模拟船员作业过程,深入分析操作动作的合理性,提前发现设计中潜在的人机适配问题。

#### 结束语

本文深入探讨人机工程学在集装箱船总体舾装设计中的应用,梳理理论,明确其价值,结合船特点与传统缺陷,从甲板、舱室、机舱提出应用路径,构建评估体系。研究显示,融入人机工程学能优化船员作业环境,提升操作便捷与安全性,降低疲劳和风险。但集装箱船智能化发展会使人机交互模式改变,未来要探索其与智能设备的融合,建立动态优化机制,持续完善设计。相信深度应用人机工程学,能推动集装箱船设计更人性化、高效化,助力航运业发展。

#### 参考文献

- [1]王春雨,蒋祖华,吉永军,王福华,黄咏文,薛梅.船舶舾装设计经验知识图谱的自动构建方法[J].机械设计与研究,2021,37(04):163-169+181.
- [2]张少华,栾学峰,郑德康等.船舶舾装设计中的人机工程学应用[J].船舶物资与市场,2021,29(07):75-76+79.
- [3]庞龙.现代船舶舾装设计与制造效率提升研究[J].船舶物资与市场,2023,31(03):65-67.
- [4]沈立刚,刘新东.船舶舾装件自动化、智能化生产设计与制造研究[J].广东造船,2021,40(03):59-62.