

Research on Optimal Spatial Layout Design of Crew Accommodation Areas in VLCCs Based on Human Factors Engineering

Zheng Zhang Jun Lu Chaoxia Zhang

Shanghai Waigaoqiao Shipbuilding Co., Ltd., Shanghai, 200137, China

Abstract

The spatial layout of the crew accommodation area in VLCCs directly affects the work efficiency, safety, and comfort of the crew. Therefore, optimized design holds significant engineering value. This paper investigates the functional composition and existing spatial layout of the crew accommodation area in VLCCs, analyzes the key technologies for layout optimization, including the spatial configuration of living compartments, traffic flow planning, lighting system design, noise environment control, and internal environment optimization. It also proposes an optimized design scheme based on human factors engineering. The research findings can provide technical guidance for the design of crew accommodation areas in VLCCs, improve space utilization, optimize human-machine interaction to enhance crew comfort and work safety, and offer reference value for the future optimization of human factors engineering in intelligent ships and the improvement of shipbuilding standards.

Keywords

VLCC; human factor engineering; space layout optimization; crew accommodation area

基于人因工程的超大型油轮船员居住区空间布局优化设计研究

张征 陆军 张朝霞

上海外高桥造船有限公司, 中国·上海 200137

摘要

超大型油轮船员居住区空间布局直接影响船员工作效率、安全性和舒适度, 优化设计具有重要工程价值。文章研究了超大型油轮船员居住区的功能组成和现有空间布局, 分析了布局优化的关键技术, 包括生活舱室空间配置、交通流线规划、照明系统设计、声环境控制及内部环境优化, 并提出了基于人因工程的优化设计方案。研究结果可为超大型油轮的船员居住区设计提供技术指导, 提高空间利用率, 优化人机交互以提升船员居住舒适度和作业安全性, 对未来智能船舶人因工程优化及船舶建造标准的完善具有参考价值。

关键词

超大型油轮; 人因工程; 空间布局优化; 船员居住区

1 引言

超大型油轮长期航行于远洋环境, 船员需在有限的居住区内完成工作、休息与生活, 空间布局的合理性直接影响工作效率、安全性与舒适度。现有设计多以功能堆叠为主, 缺乏人因工程优化, 导致舱室空间利用率低、动线交叉复杂、照明与声环境控制不佳, 影响船员身心健康与工作稳定性。对于上述问题来研究居住区的功能划分、流线组织、环境控制等优化策略, 并结合人因工程分析船员的行为模式和使用需求, 来提出科学合理的设计方法。优化方案涵盖舱室空间

配置、通行动线优化、光环境与声环境控制、内饰材料与色彩设计, 提升居住舒适度与安全性, 为超大型油轮居住区优化提供工程指导, 并为未来智能船舶的居住空间设计提供理论与实践依据。

2 超大型油轮船员居住区空间布局现状分析

超大型油轮船员居住区通常包括卧舱、休息区、餐厅、健身房、洗衣房以及公共娱乐设施, 各区域按照功能需求进行划分。卧舱根据职级配置不同面积和设施, 船长和高级船员配备独立卧舱, 普通船员一般为双人或四人舱, 内部包含床铺、书桌、储物柜和卫生间^[1]。休息区布置沙发、影音设备, 为船员提供社交与放松空间。餐厅一般设有集中就餐区并配备送餐窗口、餐桌椅和厨房操作间, 以满足日常供餐需求。

【作者简介】张征(1979-), 男, 中国安徽芜湖人, 本科, 高级工程师, 从事船舶内舾装研究。

健身房面积受限,主要布置跑步机、力量训练设备和自由重量器械。各功能区运用集中布置方式,利用船体内部分层设置来实现垂直分区,以此提高舱内设备的布置效率。

空间布局受限于船体结构,内部动线组织主要依赖走廊和舱梯连接各功能区。现有布局中船员日常通行路径较长,高频使用区域易出现流线交叉。应急情况下狭窄通道和有限出口可能影响人员撤离,空间利用率受制于固定舱室设计,部分区域功能划分单一,难以适应不同任务需求^[2]。船员在长期航行过程中面临高噪声、低照度、空气流通受限等问题,会影响休息质量和心理状态。高频使用区域如卧舱、餐厅和健身房需要优化空间布局,提升照明、通风和降噪水平,减少工作与休息区域相互干扰,来增强船员的长期居住适应性。

3 基于人因工程的船员居住区空间布局优化原则与方法

3.1 船员工作与生活需求的人因工程分析

船员在长时间航行期间,需要在高强度工作与有限的休息环境之间转换。工作期间,机舱操作、甲板作业和驾驶室值班对人员反应速度、注意力集中度和身体耐力提出要求^[3]。长时间的高噪声环境、低照度操作空间以及空气质量受限的工作区域,可能导致作业效率降低和疲劳积累。休息时,舱室布局、床铺舒适度、空气流动性和噪声隔离直接影响睡眠质量。夜班轮换制度要求居住区具备较强的隔音能力,避免舱室之间的噪声干扰。照明系统需满足昼夜节律调节需求,在休息时间提供低亮度柔和光线,在工作前阶段增强蓝光波段,提高觉醒度。空气流通系统应维持稳定的温湿度控制,减少CO₂累积,提升居住舒适性。

3.2 居住区空间优化的原则与评价标准

优化居住区空间布局需遵循功能集成、高效流线、舒适性和安全性四项核心原则,功能集成要求减少低利用率区域,以此提高空间兼容性,休息区可兼作社交空间以及健身房可结合储物功能^[4]。高效流线优化动线设计,减少船员在不同区域间的步行距离,并降低交叉流线干扰。舒适性优化包括降低舱室噪声、改善照明质量、增强通风系统,提高居住体验。安全性优化涉及逃生通道设置、紧急照明布置和防火分区规划,以提升紧急状态下的撤离效率。

当前船员居住区的功能集成度较低,公共区域占比偏少,舱室空间利用率有待提高。步行距离和流线交叉比例超出合理范围,影响日常通行和应急响应效率。噪声水平和CO₂浓度超过舒适性标准,导致休息质量下降。优化设计应提升舱室空间配置,调整公区面积比例,缩短主要动线,提高隔音与通风效果,同时优化紧急撤离通道的宽度和照明覆盖率。

3.3 居住区空间优化的工程设计方法

舱室模块化设计运用标准化单元布局,以此提高空间

兼容性和可调整性,模块单元包括折叠式床铺、嵌入式储物柜、可转换桌椅,减少固定家具对空间的占用^[5]。空间仿真分析技术优化动线布局,基于人员日常行为模拟计算不同路径方案,来减少交叉流线以及降低步行距离。计算流体动力学(CFD)用于评估通风系统,优化送风口和排风口位置,提高空气流动效率以及降低CO₂累积。人体工程学测评应用于舱室内部布置,调整床铺高度、座椅角度、光源照射角度,减少长时间使用导致的身体疲劳。结合不同优化方法来提升居住区的空间适应性,提高人员在有限环境内的舒适性和工作状态稳定性。

4 超大型油轮船员居住区优化设计方案

4.1 生活舱室空间布局

舱室面积配置需根据职级和使用需求进行调整,船长与高级船员舱室面积不少于9 m²,普通船员舱室不低于6 m²,并优化床铺、储物和活动区域的比例。嵌入式储物柜结合墙体结构,提高存储效率,床铺结构运用可折叠式,日间收起增加活动空间,舱室角落布置多功能桌椅并提供办公和休闲功能^[6]。卫生间运用一体化防水结构,优化排水坡度以避免积水。模块化布局方式采用标准化舱室单元,可根据人员编制调整配置。

动线设计优化舱室内部通行路径,舱门开口方向需避免对向开门干扰,以及床铺和桌椅布置需保证最小通行宽度不低于0.8米。通风系统运用顶部送风、侧墙回风方式,来提高空气循环效率以减少CO₂和湿度积聚。噪声控制使用双层壁板结构,隔离机械振动,床头区域增加软包吸音材料以提高休息舒适度。

4.2 交通流线规划

船员日常通行动线优化需减少高频区域的流线交叉,提高通行顺畅度。水平通道优化布置,使居住区、餐饮区和休闲区之间的主要通道宽度不低于1.2米,减少人员交汇拥堵。走廊采用直线布局,降低拐角数量,避免通行盲区,提高步行效率。垂直通道采用舱梯与电梯组合方案,舱梯间距不超过20米,提升楼层间通行便利性。楼梯扶手采用防滑材质,踏步宽度不低于25厘米,符合船舶行进中稳定性需求。

4.3 照明与声环境控制

自然照明的优化设计需通过增加舷窗和透光板面积,提升光线的渗透率,尤其在舱室内最深处设置透明或半透明材料的墙面。舱内光照强度根据功能区不同需求进行调节,卧舱照明需提供柔和的光线,避免强光照射造成不适。公共区域使用高显色指数的光源,以提升空间的视觉质量。舱室的人工照明系统需设计为可调式,方便船员根据实际需求调节光线强度和色温。所有光源应符合节能标准,采用低功耗LED灯具,以减少能源消耗和提高照明效率。

声环境控制采取多重降噪措施,舱室内外墙运用复合隔音材料并结合空气层和高密度材料,以此减少外部噪声的

传入。机舱、引擎室及其他高噪音区域的噪声需借助隔音门和隔音墙处理，防止噪声蔓延至居住区，舱室与通道之间的隔音处理需严格确保噪声水平不超过 50dB，以保障船员休息质量。对于空调系统、通风管道等设备产生的噪声，运用消声器和降噪结构设计，以降低风道和管道的气流噪音对居住环境的影响。超大型油轮船员居住区照明与噪声优化指标如下表 1 所示。

表 1 超大型油轮船员居住区照明与噪声优化指标

评价维度	指标	标准值	现有数据	目标优化值
照明	卧舱光照度 (lux)	100~150	80	120
照明	公共区域光照度 (lux)	200~300	150	250
照明	工作区域光照度 (lux)	≥300	220	320
照明	显色指数 (CRI)	≥85	75	90
噪声	船员卧舱噪声 (dB)	≤50	65	48
噪声	机舱外舱室噪声 (dB)	≤55	72	50
噪声	公共区域噪声 (dB)	≤60	68	55

现有卧舱光照度偏低，影响阅读和日常使用，公共区域与工作区光线分布不均，显色指数偏低影响视觉辨识度。优化方案提高照度均匀性，调整灯具色温匹配人体昼夜节律。噪声数据表明，卧舱与公共区域噪声超标，影响船员休息，优化方案采用高密度吸音材料降低噪声传播，调整舱壁结构减少机械震动传导，提高居住舒适性。

4.4 内部环境优化设计

色彩搭配调整以增强空间舒适感，卧舱墙面运用米色、浅木色和淡灰色等浅色系，减少视觉疲劳并营造放松环境。公共区域色彩选择冷暖结合，使用柔和色调，如浅蓝、暖灰，增强空间层次感，照明与色彩搭配调整为低对比度方案，避免光线反射与墙面色彩对比过大影响视觉舒适度。材料选择

使用轻质防火材料，墙面与天花板使用耐火复合板以提高安全性。地面材料选择防滑吸音材料，来减少船舶震动带来的噪声干扰，空气质量控制运用集中送风系统，提高空气循环速率，优化排风口位置以减少 CO₂ 积聚。卧舱配备空气净化装置，运用低噪音风机降低空气流动噪声，提高空气流通稳定性。

5 结论

研究对于超大型油轮船员居住区的空间布局进行了优化设计，并结合人因工程原则，提出了具体的技术方案。生活舱室空间配置运用模块化设计，提升空间利用率和舒适度，交通流线规划优化了居住区与工作区的动线，减少了交叉流线和通行干扰，照明与声环境控制通过合理布置光源与隔音材料，改善了视觉和听觉环境以及提升了船员的工作与休息质量，内部环境优化设计从色彩搭配、材料选择和空气质量控制等方面入手，增强了船员的舒适度与健康水平。研究表明优化设计有效提高了居住区的功能集成度、空间利用率及舒适性，符合现代船员长期工作与生活需求。

参考文献

- [1] 赵强,张戴晖.我国超大型油轮安全靠泊技术及对策探析[J].中国水运,2025,(01):25-26.
- [2] 孙庆玲,堵力.智能向善:人因工程让高科技服从人类指挥棒[N].中国青年报,2024-12-16(004).
- [3] 何红妮,智景荣,王龙,等.基于人因工程学的飞机驾驶舱总体设计技术[C]//中国航空学会.第七届中国航空科学技术大会论文集.航空工业第一飞机设计研究院,2024:1108-1113.
- [4] 张俊尧,庞永莉,乔文波,等.人因工程分析在油田立体布置脱水站的应用[J].油气田地面工程,2024,43(08):80-85.
- [5] 杨启超.火力发电厂集控运维中的人机协作与人因工程优化[J].大众标准化,2024,(07):116-118.
- [6] 兰朋学,李强.超大型油轮靠离泊作业风险分析与管控——以烟台西港水域为例[J].中国水运,2023,23(14):10-11+65.