

# 基于人工智能的船舶模块化设计与实现

刘瑞轩

西北工业大学 陕西西安 710061

**摘要:** 人工智能技术发展迅速,对各行各业的发展生态产生了巨大冲击,为了更好实现高质量发展,各个行业积极引进人工智能技术推动工作转型。在船舶制造领域,人工智能凭借其诸多的功能,为船舶模块化设计提供了技术支撑,促进船舶工业朝着轻量化和高效化的方向发展。本篇文章先阐述了船舶模块化设计的定义,后总结了人工智能在船舶模块化设计中的价值,最后分析了基于人工智能的船舶模块化设计与实现,希望对相关研究工作的开展提供参考。

**关键词:** 人工智能; 船舶; 模块化设计; 工业制造

## 前言

模块化设计是工业制造中一种先进的设计技术,其针对复杂系统和产品划分成若干个功能独立、能够互换的模块,且每个模块都能够独立设计与制造,并使用标准的接口实现组合<sup>[1]</sup>。模块化设计具有诸多的优势,能够节约成本、便于后期维护和跨系列生产,因此得到船舶制造领域的广泛运用<sup>[2]</sup>。传统模块化设计中,对工程师较为依赖,而借助人工智能技术则能够实现数据处理、参数优化、自主决策,从而为船舶模块化设计提供新路径。

## 一、船舶模块化设计概述

船舶模块化设计主要是以功能独立性和接口标准化为导向,针对船舶的船体结构、动力系统、导航设备、舾装设施等系统,拆解成若干具备明确功能边界的子单元或者模块,每个单元模块均能够独立设计、制造和测试,后通过标准化的机械、电气、信息接口实现模块间的快速装配与协同工作,完成对船舶系统的设计。此设计模式和传统整体式设计相比具有显著的不同,主要表现在功能独立、接口标准、设计灵活、全周期适配等方面。此设计模式中,每个模块都有特定的功能,如空调通风模块主要负责舱室环境的调控,燃油供给模块主要负责动力系统的供油,各个模块的零部件间存在密切关联,和其他模块接口实现交互。同时,各个模块的连接接口遵循统一标准,包括法兰尺寸、电气信号协议和数据传输的格式等,不同厂家和批次的模块能够互换通用。另外,此模式设计十分灵活,只需要通过增减或者替换

模块,就能够实现对船舶功能的调整,如针对集装箱船增设冷藏模块,能够使其具备冷链运输的能力;针对科考船设置探测仪器模块,能够适配科考的任务。最后,此模式还能够实现全周期的适配,从模块的设计阶段可以综合考虑制造、运维和改装的需求,如电池模块设计成抽屉式方便更换。

## 二、人工智能在船舶模块化设计中的价值

人工智能是一种现阶段新型的科学技术,凭借丰富的功能和诸多的优势,在船舶设计和制造过程中得到了广泛应用,使传统船舶设计和制造中暴露出的各种弊端实现解决<sup>[3]</sup>。在船舶模块化设计中,借助人工智能可以在数据库内导入船舶的生产制造编码,则可以有效提高制造工作的效率。同时在设计过程所采集到的船舶部件信息内容呈现可变性的特点,借助人工智能算法可以对信息数据实施优化处理,为设计工作的开展奠定基础。如机器学习是人工智能重要的功能,将其在船舶设计中有效使用,可以结合模块化实现信息数据的精准、全面查询;想要促进系统功能性的强化,还能够借助机器学习对船舶部件匹配正确率进行分析,且构建计算模型,实现设计活动信息的记录,借助部件代码的对应关系描述情况形成相应映射,为设计工作开展提供技术支持。另外,人工智能不仅仅能够实现船舶模块化设计工作的优化,还能够推动船舶制造行业朝着绿色化和智能化方向转型发展。如在船舶设计参数中融入碳排放最小化的目标,人工智能会优先选择低碳材料,并对动力模块的能耗实施优化,从而促进船舶全生命周期的碳排放得到显著降低,从而助力船舶制造行业的绿色化发展;并且,

人工智能的应用,能够使船舶模块具备智能化功能,如自动驾驶感知模块、能效监测模块等,提高船舶的使用性能,同时人工智能驱动的智能货舱模块,还可以对货物的温度、湿度等状态参数实时监测,结合实际参数自动调控通风系统,实现货损率的有效降低。

### 三、基于人工智能的船舶模块化设计与实现

#### (一) 基于人工智能的船舶模块化设计框架构建

人工智能在船舶模块化设计中,可以构建三层架构,包括数据层、算法层、应用层,对设计过程从数据采集至智能决策实现全流程支持<sup>[4]</sup>。其中,数据层是整个系统的基石和燃料库,主要是对船舶全生命周期的数据实施整合,涉及船舶历史设计图纸、建造数据、运维数据和行业标准等,后通过去噪、补全等数据清洗方法,并统一参数维度和数据格式,实施标准化处理,形成结构化数据库。算法层是系统的大脑和引擎,主要是围绕感知、决策和优化进行算法矩阵的构建,如针对模块特征进行识别的机器学习算法,针对性能预测的深度学习模型,针对多目标优化的强化学习算法,还有针对协同验证工作的数字孪生引擎。应用层则是系统与最终用户或其他系统交互的界面,主要是智能化设计平台的开发,平台功能包括模块智能划分、参数优化、协同验证等,设计人员通过向平台内输入船舶的类型和载重、航速等关键参数,平台能够自动生成模块化的设计方案,且呈现可视化交互界面便于人工进行调整。

#### (二) 基于人工智能的船舶模块智能划分

在模块化设计中,传统模块划分主要凭借设计人员对船舶功能与系统的相关认知进行,容易出现诸多的问题,如模块过大影响制造、模块过细影响接口使用等。借助人工智能,通过充分挖掘功能关联度、制造成本和复用价值之间的关联,能够对模块划分方案实现有效优化。

其中,在功能关联度量化方面,通过图结构建模和社区发现算法等,把船舶的零部件当作节点,把零部件间的装配频率、信号交互强度和故障关联度当作边的权重,建立船舶功能的关联图;后使用社区检测算法对图中的强关联社区进行识别,使模块内的功能耦合度超过0.8。如在集装箱船的模块化设计中,借助算法能够自动识别集装箱绑扎系统内绑扎杆、扭锁、导向装置等零部件间的关联权重达0.92,超过和甲板结构的关联权重,此时就可以将其独立划分成绑扎模块,从而有效避免和甲板结构混为一体而出现拆装困难。同时,通过多目标动态平衡算法的使用,以功能独立性、制造可行性、成

本可控性为约束条件,能够优化模块划分的方案,算法每代能够生成50组候选方案,通过适应度函数筛选出最优解。如在散货船模块化设计中,使用人工智能生成出船体模块、动力模块、货舱模块、辅机模块、甲板设备模块的划分方案,和传统方案相比,能够有效减少模块的接口数量,降低制造成本,且提升模块的复用率。另外,结合货船、客船、工程船等不同船型的模块特征,借助迁移学习优化模型,能够实现方案的有效优化。如把油轮的液货舱模块划分经验可以直接迁移到LNG船的低温储罐模块设计中,只需要补充相应的LNG船数据就能够促进模型准确率的显著提升。

#### (三) 基于人工智能的船舶模块参数智能优化

完成船舶模块智能划分后,还要对模块参数做好智能优化,确保模块参数能够同时符合船舶航速、载重和耐波性等性能,以及成本和周期等约束条件。在传统模块化设计中,对模块参数的优化主要采取参数调整和物理测试的不断试错,优化效率比较低<sup>[5]</sup>。而借助人工智能技术,借助参数和性能的映射模型以及多目标优化算法,能够对模块参数方案实现便捷、快速优化。在设计中,可以使用深度学习和物理机理的建模方法,在模型内输入模块的关键参数,如货舱模块长度、宽度、材料屈服强度、加强筋间距等,就能够迅速输出结构应力、结构强度、航行阻力、制造成本等数据,且模型预测的数据和物理测试的偏差低于3%,准确性很高。同时,将把参数优化转化成智能体和环境的交互问题,智能体算法在参数空间中选择参数组合,环境预测模型反馈航速达标率、成本超标率、重量合规率等作为奖励,使用PPO算法能够迭代学习最优参数选择策略。如在LNG船液货舱模块优化设计中,人工智能需要对容积最大化、低温强度达标、重量最小化三个冲突目标实现平衡,算法通过2000次迭代后能够短时间内输出的参数优化方案。另外,借助知识图谱针对材料属性、模块功能和工况需求建立关联网络,包括产国500船舶材料的强度、耐腐蚀性、成本、加工难度等属性参数,后借助随机森林算法推荐出最优的材料,还可以同步推荐出配套的焊接工艺。

#### (四) 基于人工智能的设计跨领域协同验证

在船舶模块化设计中,涉及的专业内容比较复杂,包括结构、动力、电气、舾装等,在传统协同验证中主要按照设计方提交图纸、其他领域评审、反馈修改的流程进行,此过程中一旦出现问题,如电缆穿舱孔和船体

结构加强筋的位置重叠等，往往需要复杂流程，问题解决的周期比较长<sup>[6]</sup>。而通过人工智能的应用，借助知识图谱和数字孪生等功能，能够有效实现跨领域的实时协同验证。

在设计中，使用人工智能技术，构建模块接口知识图谱，涉及信息有法兰尺寸、螺栓规格、公差等级等机械接口，电压等级、信号类型、防护等级等电气接口，管径、压力等级、介质兼容性等管路接口。对动力模块和发电机模块进行对接时，借助GNN（图神经网络）能够自动检索匹配规则，如动力轴转速1500r/min需要匹配发电机输入转速公差 $\pm 5\%$ ，并实时预警不匹配项，有效实现接口冲突的识别，且识别时间十分短，进一步提升了冲突解决的效率。同时，借助数字孪生场景能够实现全工况的验证，通过虚拟数字孪生平台可以对各个领域内的模块三维模型和物理属性实施集成处理，后借助实时渲染和仿真引擎针对设计、建造、航行的全场景实施模拟。如针对建造场景，可以模拟出模块的吊装路径，借助碰撞检测算法可以对船体模块和吊装设备的空间干涉情况及时预警；针对航行场景，借助海浪谱模型能够对10级风浪条件下模块的受力情况进行仿真，借助有限元分析能够有效验证货舱模块抗疲劳性；针对维护场景，可以模拟出模块的拆装过程，判断辅机模块的更换过程是否存在操作空间的不足。另外，和船厂MES系统进行连接，能够掌握模块焊接变形量、零部件加工精度等建造数据，以及动力模块振动频率、温度场分布等船舶运维的传感器数据，借助LSTM（时序神经网络）能够精准识别设计参数和实际性能的偏差情况，进而为模块参数的优化提供依据。

#### （五）基于人工智能的全生命周期模块化适配

在船舶的传统模块化设计中，交付图纸是最终环节，模块的建造、运维和改装等环节的适配性往往被忽视。而使用人工智能技术能够对设计、制造和运维等各个阶段的数据实现衔接，对模块的全生命周期实现智能化适配控制<sup>[7]</sup>。

在建造阶段，针对焊接机器人工作范围、龙门吊最大起重量等船厂设备能力数据，以及模块设计参数，借助遗传算法优化模块中的分段制造工艺，可以将大型的船体模块继续拆分成3个可以由船厂现有设备加工的子

模块，且确保子模块的对接精度满足要求，从而促进模块焊接工时的减少和返工率的降低。在运维阶段，结合船舶运维中的振动、温度和压力等传感器数据，对故障预测模型进行训练，能够提前30天预测出模块存在的潜在故障；并且借助数字孪生对模块更换的停机时间、吊装路径、替代模块兼容性等进行模拟，能够自动生成出最优的更换方案，降低停机损失。在改装阶段，根据船舶的老龄化情况以及功能升级的需求，人工智能借助模块接口知识图谱能够和兼容的升级模块实现快速匹配，后使用仿真对改装处理后的船舶重心偏移、稳定性等性能变化进行计算，保证改装的合规性，缩短改装的周期。

#### 结语

综上所述，模块化设计是船舶制造领域常用的一种设计方法，但在传统模块化设计中一直比较依赖人工，这也导致其设计方案往往和预期效果存在差距，而借助人工智能技术的使用，能够有效改变传统模块化设计的弊端。通过人工智能在船舶模块化设计中的应用，对船舶设计实现数据驱动决策、算法优化方案、全流程协同、全周期适配，有效提升了船舶模块化设计的质量和效率，并从设计、制造、验证、运维等方面实现智能化手段的提供，对推动船舶制造行业的高质量发展具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 戴铭丰. 基于模块化设计的机械生产系统优化研究[J]. 时代汽车, 2024, (16): 144-146.
- [2] 刘海婴, 杨锦涛. 模块化设计方法及其在机械设计中的应用[J]. 科技风, 2023, (04): 65-67.
- [3] 郭继富, 黄浩. 浅谈人工智能技术下船舶模块化设计及实现[J]. 中国设备工程, 2022, (S1): 1-3.
- [4] 沙丙强. 船舶模块化设计与制造的现状与发展方向[J]. 船舶物资与市场, 2022, 30(11): 11-13.
- [5] 陈叶飞, 夏彬. 浅谈人工智能技术下船舶模块化设计及实现[J]. 数码-移动生活, 2022(11): 121-123.
- [6] 王贺. 基于人工智能的船舶模块化设计与制造[J]. 建筑工程技术与设计, 2020(28): 3213.
- [7] 李文豪, 卢翔. 基于人工智能的船舶模块化设计与实现[J]. 船舶物资与市场, 2024, 32(2): 29-31.