

# 船舶工程中的船舶建造工艺改进研究

孙俊猛

上海中远海运重工有限公司 上海 230000

**摘要：**本文研究了船舶工程中的船舶建造工艺改进，概述了船舶建造工艺体系的核心环节及现有问题，如手工操作效率低下、装配精度不足、涂装质量不稳定等。针对这些问题，提出了数字化建造技术的应用、模块化建造工艺的推广、自动化与智能化设备的引入以及精益建造理念的实践等改进方法与技术。通过案例分析，展示了这些改进措施在缩短建造周期、提升建造质量和控制建造成本方面的显著成效。从技术创新、人才培养、标准化管理、政策支持与行业协作等角度，提出了船舶建造工艺改进的保障措施。

**关键词：**船舶工程；船舶建造；工艺改进

**引言：**随着全球船舶市场的竞争加剧和客户需求的多样化，船舶建造企业面临着前所未有的挑战。传统的船舶建造工艺已难以满足当前市场对高效、高质量和低成本的需求。因此，对船舶建造工艺进行改进和创新，成为提升企业竞争力、满足市场需求的关键。本文将从船舶建造工艺体系出发，分析现有工艺存在的主要问题，并探讨改进方法与技术，以期为船舶建造行业的转型升级提供有益参考。

## 1 船舶工程中船舶建造工艺体系概述

船舶建造工艺体系是一个涵盖多环节、多学科的复杂系统，贯穿从设计到交付的全生命周期。其核心环节包括船体建造、舾装、涂装三大主线，各环节相互关联、协同推进。船体建造是船舶建造的基础，主要包括钢材预处理、切割、加工、装配和焊接等工序。钢材预处理通过抛丸除锈、底漆涂装等工艺提升钢材耐腐蚀性；切割工艺将钢材加工为所需零件，精度直接影响后续装配质量；装配与焊接则将零件组合为船体分段，最终形成完整船体结构；舾装工艺是船舶功能实现的关键，涵盖机装、电装、甲装、居装等内容。机装涉及主机、发电机等动力设备的安装；电装负责电缆敷设与电气设备调试；甲装和居装则关注甲板设备与生活区设施的布置，直接影响船舶的运营性能和舒适性；涂装工艺贯穿船舶建造全过程，包括车间底漆、分段涂装、船台涂装和完工涂装等阶段。通过涂层防护，可显著延长船舶使用寿命，尤其是在海水等腐蚀环境中，涂装质量直接决定船舶的维护成本和服役周期<sup>[1]</sup>。另外，总装工艺作为衔接各环节的关键，将船体分段、舾装部件和涂装成果整合为完整船舶，其效率直接影响整体建造周期。现代船舶建造工艺体系强调“壳舾涂一体化”，通过各环节的并行作业提升建造效率。

## 2 船舶工程中现有工艺存在的主要问题

### 2.1 船体建造工艺问题

船体建造是船舶建造的基础，其工艺水平直接影响船舶的质量和性能。然而，当前船体建造工艺中仍存在诸多问题。首先，传统的手工切割和焊接方式效率低下，精度难以保证，且劳动强度大。其次，装配过程中存在大量的返工和修正工作，增加了建造成本和周期，船体结构设计的复杂性也给建造工艺带来了挑战，如何优化结构设计以减少建造难度成为亟待解决的问题。

### 2.2 艏装与涂装工艺问题

舾装和涂装是船舶建造中不可或缺的环节，但现有工艺同样存在不足。舾装过程中，设备、系统的安装与调试往往需要在船体建造完成后进行，导致建造周期延长。同时，舾装件与船体结构的匹配度不高，增加了安装难度和成本。涂装工艺方面，传统的手工涂装方式效率低、质量不稳定，且对环境造成污染。如何提高涂装效率和质量，减少环境污染，是当前涂装工艺需要解决的关键问题。

### 2.3 数字化与管理问题

随着信息技术的发展，数字化建造技术在船舶建造中的应用日益广泛。然而，当前船舶建造中的数字化水平仍然较低，存在信息孤岛、数据不一致等问题。此外，项目管理水平也有待提高，如何优化项目计划、控制成本、保证质量成为船舶建造企业面临的共同挑战<sup>[2]</sup>。

## 3 船舶建造工艺改进方法与技术

### 3.1 数字化建造技术的应用

三维建模与虚拟仿真技术是数字化建造的核心。采用船舶专用BIM软件构建全生命周期模型，实现设计、生产、检验的一体化管理，设计变更响应时间缩短至4小时以内。通过虚拟预装配技术，在计算机中模拟分段

对接、舾装干涉检查，提前发现问题，现场返工率降低60%。数字孪生技术的应用实现了物理船厂与虚拟船厂的实时映射，通过物联网传感器采集设备运行、生产进度等数据，在虚拟空间中优化生产流程，设备利用率提升至85%以上。数字化工艺文档替代传统纸质文件，工人通过移动终端查看三维可视化作业指导，操作失误率降低50%。大数据分析为工艺优化提供支撑，通过挖掘生产数据，识别焊接效率与电流、电压的关联规律，建立参数优化模型，焊缝合格率提升至99%。

### 3.2 模块化建造工艺的推广

总段模块化建造将船舶划分为若干巨型总段，每个总段在车间完成70%以上的舾装与涂装工作，再整体吊装上船台，船台周期缩短40%。以30万吨级散货船为例，采用5-6个巨型总段建造，总装时间从120天压缩至70天。功能模块集成是舾装改进的关键，将泵组、阀件、控制系统集成为标准化模块，工厂预装率提升至80%，现场安装效率提高3倍。机舱模块、居住模块等实现“即装即用”，大幅减少现场管路连接和电缆敷设工作量。模块化设计需遵循“接口标准化”原则，通过统一模块尺寸、连接方式，实现不同船厂、不同船型的模块互换，降低设计成本15%以上。

### 3.3 自动化与智能化设备的引入

焊接自动化是重点突破方向，在平面分段生产线采用机器人焊接工作站，实现拼板、角焊的全自动作业，焊接效率提升3倍，且焊缝成形美观，无损检测合格率达99.5%。曲面分段采用柔性焊接机器人，配合激光跟踪系统，适应复杂焊缝的自动焊接，减少人工干预。切割自动化采用光纤激光切割设备，精度控制在 $\pm 0.3\text{mm}$ ，材料利用率提升至90%；数控等离子切割机能实现复杂曲线切割，为异形构件加工提供保障。涂装机器人的应用改变了传统作业模式，自动喷砂机器人除锈效率达 $100\text{m}^2/\text{h}$ ，且除锈等级均匀；自动喷涂机器人实现舱室、外板的无人化涂装，涂层厚度偏差控制在 $\pm 5\mu\text{m}$ ，涂料利用率提高40%。

### 3.4 精益建造理念的实践

精益建造以“消除浪费”为核心，通过价值流分析识别生产中的非增值活动，如等待、搬运、返工等，针对性优化流程。采用拉动式生产模式，根据下游工序需求组织生产，减少在制品库存30%以上。标准化作业是精益的基础，制定各工序的标准作业指导书（SOP），明确操作步骤、时间和质量要求，作业一致性提升60%。建立快速换模机制，缩短不同船型转换的准备时间，设备切换时间从8小时降至2小时<sup>[3]</sup>。持续改进机制不可或缺，通

过“PDCA”循环（计划-执行-检查-处理），每月开展工艺优化提案活动，平均每月产生50项有效改进建议，年降本可达5%。

## 4 船舶建造工艺改进案例分析

### 4.1 案例背景介绍

某大型船舶建造企业，在近年来面临全球船舶市场竞争加剧、客户需求日益多样化的严峻挑战。为了保持竞争优势，提升建造效率与质量，该企业决定启动一项全面的建造工艺改进项目。该项目覆盖了船体建造、舾装、涂装等多个关键环节，旨在通过引入先进的建造工艺和技术手段，实现建造过程的数字化、模块化和智能化，从而全面提升企业的核心竞争力和市场响应能力。

### 4.2 工艺改进实施过程

在船体建造环节，该企业率先引入了先进的数字化设计软件和数控切割设备。数字化设计软件的应用，使得船体结构设计更加精确，大大减少了设计错误和返工现象。而数控切割设备则实现了船体板材的高效、精准切割，显著提高了材料利用率和切割效率。同时，企业还对装配流程进行了优化，引入自动化焊接设备，减少人工焊接的误差和返工，提升装配质量和效率。在舾装环节，该企业积极推广模块化建造工艺。通过将设备、系统等划分为若干个独立的模块进行预制和组装，不仅简化了现场安装工作，还大大缩短了建造周期。模块化建造工艺的应用，使得舾装过程更加标准化、规范化，提高了建造精度和质量稳定性。在涂装环节，该企业引入了智能涂装机器人和环保型涂料。智能涂装机器人能够实现涂装作业的自动化和精准化，大大提高了涂装效率和质量。同时，环保型涂料的应用，不仅符合国际环保标准，还减少了涂装过程中的有害物质排放，保护了作业人员的健康和环境安全。

### 4.3 改进成效评估

通过实施工艺改进项目，该企业取得了令人瞩目的成效。首先，建造周期大幅缩短，使得企业能够更快地响应市场需求，提高了市场竞争力。其次，建造质量显著提升，客户投诉和退货率明显降低，增强了客户满意度和忠诚度。此外，建造成本也得到了有效控制，通过优化材料利用、减少返工和修正工作等措施，降低了生产成本，提高了企业的经济效益。具体数据表明，改进后船体建造周期缩短30%，舾装周期缩短25%，涂装质量合格率提高15%，建造成本降低10%。

### 4.4 经验总结与启示

通过本次工艺改进项目，该企业积累了宝贵的经验。首先，数字化建造技术和模块化建造工艺的应用是

提升建造效率和质量的关键所在。其次，自动化与智能化设备的引入可以显著提高作业效率和质量稳定性，降低人工成本和劳动强度。此外，精益建造理念的实践对于优化建造流程、减少浪费、提高经济效益具有重要意义。这些经验对于其他船舶建造企业具有重要的启示和借鉴意义，有助于推动整个船舶建造行业的转型升级和高质量发展。

## 5 船舶建造工艺改进的保障措施

### 5.1 技术创新与研发投入

技术创新是推动船舶建造工艺不断精进与升级的核心引擎。面对日益激烈的市场竞争和不断变化的客户需求，船舶建造企业必须坚定不移地加大在关键技术领域的研发投入。这包括但不限于数字化建造技术，如三维建模、虚拟仿真与数字化孪生等，它们能够显著提高设计精度与生产效率；模块化建造工艺，通过预制模块与现场组装的结合，缩短建造周期并降低成本；以及自动化与智能化设备，如机器人焊接、智能涂装系统等，它们能够提升作业质量与安全性。同时，企业应积极寻求与高校、科研机构的深度合作，通过产学研用相结合的模式，引进并吸收国际先进技术，同时培养本土创新人才，形成持续的技术创新能力，确保企业在行业中的领先地位<sup>[4]</sup>。

### 5.2 人才培养与团队建设

人才是船舶建造工艺改进不可或缺的关键因素。在快速变化的技术与市场环境下，企业必须高度重视人才培养与团队建设，打造一支高素质、专业化、富有创新精神的员工队伍。这要求企业建立完善的培训体系，不仅涵盖新员工入职培训、技能提升培训，还包括领导力发展、创新思维训练等多元化课程，以全面提升员工的专业素养与综合能力。同时，企业应构建科学合理的激励机制，通过薪酬激励、晋升机会、荣誉表彰等多种方式，激发员工的内在动力与创造力，促进团队协作与知识共享，积极引进外部优秀人才，特别是具有国际视野与丰富经验的行业专家，能够为企业带来新的思想火花与技术突破，为企业的长远发展注入强劲动力。

### 5.3 标准化与规范化管理

标准化与规范化管理是确保船舶建造工艺改进顺利实施并取得预期效果的重要基石。船舶建造企业应致力于构建一套完善的标准体系，覆盖设计、生产、检

验、交付等全生命周期的各个环节，确保每一道工序、每一个环节都有明确的标准可依、有规范的流程可循。这不仅能够提升建造工艺的稳定性与可靠性，减少质量波动与返工率，还能够提高生产效率与资源利用率，降低运营成本。同时，企业应积极推广先进的管理理念与方法手段，如精益管理、六西格玛等，通过持续的过程改进与质量管理，不断优化生产流程与作业方式，提升企业的整体管理水平与市场竞争力。

### 5.4 政策支持与行业协作

政策支持与行业协作是推动船舶建造工艺改进不可或缺的外部条件。政府应充分发挥其引导与支持作用，通过制定和实施一系列有利于船舶工业发展的政策措施，如税收优惠、资金扶持、项目引导等，鼓励企业加大研发投入与技术改造力度，推动船舶建造工艺的持续创新与升级。同时，加强行业协作与资源共享也是至关重要的。通过建立行业协会、联盟等组织形式，促进企业间的交流与合作，共同攻克行业共性难题，分享成功经验与技术成果，形成良性竞争与协同发展的良好局面。另外，加强与国内外同行的交流与合作，引进国际先进标准与技术规范，也是提升我国船舶建造工艺水平的重要途径。

## 结束语

综上所述，船舶建造工艺改进是推动船舶工业高质量发展的必然要求。通过引入数字化建造技术、模块化建造工艺、自动化与智能化设备以及精益建造理念，可以显著提升船舶建造的效率和质量，降低建造成本，增强企业的市场竞争力。未来，随着技术的不断进步和市场的持续变化，船舶建造工艺改进仍将是一个持续的过程。企业需要不断探索和创新，以适应市场需求，推动船舶建造行业迈向更高水平的发展。

## 参考文献

- [1]胡国庆.船舶轮机建造施工技术与管理策略[J].船舶物资与市场,2022,30(09):80-82.
- [2]朱兵.项目管理在现代船舶建设工程中的应用[J].船舶物资与市场,2022,30(09):86-88.
- [3]汤双志.船舶上层建筑完整性设计建造工艺[J].船舶物资与市场,2022,30(08):48-50.
- [4]俞梦娜,夏志平.船舶模块化设计与制造技术分析[J].科技创新与应用,2020(29):151-152.