

Research on Production Planning Optimization and Resource Allocation of Shipbuilding Project Based on Lean Production Theory

Lei Wang

Jiangnan Shipbuilding (Group) Co., Ltd., Shanghai, 201913, China

Abstract

The lean production theory, centered on “eliminating waste, continuous improvement, and value creation,” has been widely adopted in manufacturing. Integrating lean principles into shipbuilding projects—through optimized production planning and efficient resource allocation—has become a critical approach to resolving multi-project coordination challenges and enhancing industry quality and efficiency. In recent years, leading enterprises like Dalian Shipbuilding and Guangzhou Shipyard International have pioneered lean shipbuilding models. By establishing standardized planning systems and intelligent scheduling platforms, they have achieved significant improvements in construction efficiency, demonstrating the practical value of lean theory in the shipbuilding industry. Against this backdrop, systematically studying the application of lean production theory in shipbuilding planning and resource management holds substantial practical significance.

Keywords

lean production; shipbuilding; production planning optimization; resource allocation; digital collaboration

基于精益生产理论的船舶建造项目生产计划优化与资源调配研究

王磊

江南造船（集团）有限责任公司，中国·上海 201913

摘要

精益生产理论以“消除浪费、持续改进、价值创造”为核心，在制造业中已实现广泛应用。将精益思想融入船舶建造项目，通过生产计划优化与资源高效调配，破解多项目协同困境，成为行业提质增效的必然选择。近年来，大连造船、广船国际等骨干企业率先探索精益造船模式，通过构建标准计划体系、智能调度平台等举措，实现了建造效率的显著提升，验证了精益理论在船舶工业的实践价值。在此背景下，系统研究精益生产理论在船舶建造计划与资源管理中的应用路径，具有重要的现实意义。

关键词

精益生产；船舶建造；生产计划优化；资源调配；数字化协同

1 引言

船舶工业作为“综合工业之冠”，是国家制造业实力的重要象征，其发展质量直接关系到海洋强国战略的落地。当前全球航运市场竞争加剧，船东对船舶交付周期、建造成本及环保性能的要求日益严苛，同时国内船企普遍面临多船型并行生产的压力，订单结构呈现高端化、定制化特征。本文基于精益生产核心理论，结合船舶建造全流程特性，系统分析当前生产计划刚性、资源配置失衡、协同效率低下等

突出问题，为船舶工业精益化、智能化转型提供理论支撑与实践参考。

2 船舶建造项目生产计划与资源调配现状及问题

2.1 生产计划现状及突出问题

2.1.1 计划体系刚性强，动态响应不足

当前多数船企采用“推动式”计划管理模式，基于经验制定年度、月度固定计划，缺乏对实际生产波动的动态适应能力。设计变更频繁是导致计划失效的核心诱因，部分船企因图纸不成熟提前发图，后期变更率超过 20%，直接引发工艺调整、工期重估，原定计划频繁被推翻。

【作者简介】王磊（1981-），男，中国上海人，本科，高级工程师，从事船舶建造管理研究。

2.1.2 多项目协同失衡，生产节拍混乱

船舶建造涉及多个专业车间与部门，理论上需如交响乐团般精密配合，但实际上存在严重的“各自为政”现象。不同车间生产节奏不一致，如船体车间完成分段制造后，舾装车间资源被其他项目占用而无法及时跟进；关键路径把控失灵，非关键任务占用核心资源，导致整体进度受阻。缺乏科学的多项目优先级评估体系，计划制定高度依赖个人经验，未形成标准化的计划编制流程，导致多船型并行时生产节拍混乱，资源在不同项目间频繁切换，效率大幅降低。

2.1.3 计划颗粒度粗放，执行落地困难

现有生产计划多聚焦于大日程、中日程节点，对小日程及工序级计划关注不足，缺乏可操作性的作业指导。以分段制造为例，传统计划仅明确分段交付节点，未细化小组立、中组立、大组立等工序的具体时间窗口与资源需求，导致现场作业无序。部分船企的生产计划未与资源能力匹配，制定的节点目标超出设备产能或人力负荷，导致计划与执行脱节，员工对计划的认可度与执行力不足^[1]。

2.2 资源调配现状及突出问题

2.2.1 关键资源冲突频发，利用效率偏低

船坞、龙门吊、高精度切割设备等关键资源分属不同部门管理，调度指令分散，缺乏统一的优化协同机制。多项目并行时，关键资源竞争激烈，部分资源被过度占用，而部分资源长期闲置，同时存在双吊机干涉导致的作业停滞问题。人力调配缺乏灵活性，熟练技术人员在不同项目间疲于奔命，多技能人才储备不足，难以应对生产波动，导致人力资源浪费与紧缺并存。

2.2.2 供应链协同不足，物资配套滞后

船舶建造物资涉及钢材、设备、舾装件等数千种品类，供应链协同难度大。部分船企缺乏与核心供应商的长期合作机制，物资到货计划完成率不足95%，关键设备交付延迟频发，直接影响生产进度。物料管理粗放，钢材切割套料不合理，利用率未达最优水平，余料积压严重；舾装件与船体零件配套不同步，出现“船体等舾装”或“舾装等船体”的局面，导致分段建造周期延长。

2.2.3 资源调度依赖经验，数字化水平低

当前多数船企的资源调配仍依赖计划员个人经验，缺乏科学的量化分析与推演工具。资源分配决策主观性强，未充分考虑工序优先级、资源能力约束等因素，导致调配方案不合理。数字化调度工具应用不足，未建立统一的资源管理平台，设备状态、场地占用、物资库存等信息分散在不同系统中，形成“数据孤岛”，无法为资源调度提供实时、准确的数据支撑^[2]。

3 基于精益生产的生产计划优化体系构建

3.1 优化目标与原则

3.1.1 优化目标

基于精益生产“消除浪费、创造价值”的核心思想，

船舶建造生产计划优化的核心目标包括：一是缩短建造周期，通过流程优化与协同提升，压缩非增值时间；二是提高计划柔性，增强对设计变更、供应链波动等不确定性因素的适应能力；三是提升工序协同效率，实现各专业、各车间生产节拍同步；四是降低生产成本，减少库存积压、等待浪费等无效支出。

3.1.2 优化原则

优化过程需遵循四大原则：客户价值导向原则，以船东需求与交付节点为核心，明确计划优先级；流动生产原则，消除工序间的等待与停滞，实现连续作业；动态平衡原则，根据生产实际情况实时调整计划，确保资源负荷均衡；全员参与原则，鼓励一线员工参与计划优化，提升执行意愿。

3.2 精益生产计划体系构建

3.2.1 分层分级计划架构设计

借鉴大连造船精益标准计划体系经验，构建“线表计划-年度计划-产品计划-月度计划”四级计划管理体系，实现计划的分层管控与精准落地。线表计划作为顶层规划，明确各船型建造线的总体排产方案；年度计划分解线表目标，统筹全年资源配置；产品计划针对单船项目，细化设计、建造、调试全周期节点；月度计划聚焦具体工序，明确每周、每日作业任务。

在四级计划体系基础上，建立典型产品标准计划库。针对散货船、油船、集装箱船等核心船型，制定标准化的总组合拢计划、分段制造计划、舾装配套计划，形成可复制的计划模板。例如，针对11万系列散货船，按整船建造法编制标准总组合拢计划；针对VLCC产品，按两大段建造法制定分段需求计划，为多项目并行生产提供统一的节奏基准。

3.2.2 价值流驱动的流程优化

运用价值流图（VSM）工具，识别船舶建造全流程中的增值与非增值活动，重点消除等待、返工、过度加工等浪费。以分段制造流程为例，通过价值流分析发现，传统流程中段等待涂装、舾装件配套滞后等非增值时间占比达30%。针对该问题，优化流程如下：一是推行“分道分线”生产，按产品类型与工艺流程划分专业加工线，实现平板、型材、管子的专业化分工生产；二是实施工序前置化，将应急发电机负载试验、电缆敷设等关键工序提前至总段阶段完成，减少船坞与码头阶段的交叉作业冲突；三是建立“拉动式”生产机制，以船台搭载需求为牵引，反向驱动分段制造、钢材加工等前序工序，通过看板管理实现工序间的精准协同。

3.2.3 动态滚动计划机制建立

针对计划刚性强的问题，建立“月度滚动+周调整”的动态计划机制。每月末根据实际生产进度、设计变更、物资到货等情况，调整下月计划；每周召开生产协调会，细化周作业计划，解决工序衔接中的突出问题。采用ECRS（取消、合并、重排、简化）工具对现有工序进行优化，如合并重复检验环节、重排舾装与涂装工序顺序，缩短流程周期。

3.3 数字化协同支撑平台建设

依托工业互联网技术,构建覆盖设计、生产、物资、资源全业务域的数字化协同平台,打通ERP、MES、设备监控等系统的数据壁垒。平台核心功能包括:一是计划编制模块,集成标准计划库与智能排产算法,实现四级计划的自动生成与动态调整,将计划编制时间从数天级缩短至小时级;二是进度跟踪模块,通过物联网传感器实时采集现场作业数据,可视化呈现各工序进度,支持计划执行情况的实时监控与偏差分析;三是协同沟通模块,建立设计、生产、采购等部门的在线协同通道,设计变更信息可实时同步至生产计划,减少信息传递延迟^[3]。

4 基于精益生产的资源智能调配模型设计

4.1 资源调配核心维度与约束条件

4.1.1 核心调配维度

船舶建造资源调配涵盖四大核心维度:一是人力资源,包括熟练技术工人、工程师、管理人员等,需根据工序技能要求与人员多技能水平进行调配;二是设备资源,涵盖龙门吊、数控切割机、焊接设备等,重点关注设备产能、运行状态与能耗;三是场地资源,包括船坞、总组场地、堆场等,需优化空间布局与分段堆放顺序;四是物资资源,包括钢材、舾装件、设备等,核心是实现精准配套与准时供应。

4.1.2 关键约束条件

资源调配需满足多重约束:一是工艺约束,需遵循船舶建造的技术规范与工序逻辑,如分段制造必须在钢材加工完成后进行;二是资源约束,关键设备、场地等资源的容量有限,不得超出负荷分配;三是时间约束,需满足各工序的节点要求,确保总建造周期可控;四是成本约束,资源调配方案需控制运输成本、设备能耗等支出,实现经济性最优。

4.2 精益资源调配模型构建

4.2.1 动态资源推演模型

基于图论与离散事件仿真技术,构建多项目并行的动态资源推演模型。将船舶建造工艺网络转化为有向图与邻接矩阵,融合各工序的标准周期、资源需求等数据,模拟不同调配方案下的资源负荷变化。模型以“资源利用率最大化、瓶颈工序最小化”为目标,通过约束传播算法预测产能瓶颈与资源冲突,为中长期资源规划提供数据支撑。

4.2.2 场地与设备智能调度模型

针对场地资源优化,采用融合启发式搜索与约束规划的组合算法,在满足安全作业间距、吊装顺序等约束条件下,实现总组场地利用率最大化。模型支持动态重调度,当分段延期抵达或紧急插单时,可在分钟级内生成扰动最小的新布局方案。对于龙门吊等关键设备,构建任务分配与路径优化模型,通过运筹优化算法规划最优行走路径,减少空驶与等待时间,同时集成多机协同防干涉策略,确保作业安全高效。

4.2.3 物资精准配套模型

基于准时制生产理念,构建“需求预测-精准采购-托盘集配”的物资配套模型。通过分析典型产品的物资消耗规

律,建立标准物资需求数据库,结合生产计划实现物资需求的精准预测。与核心供应商建立协同机制,共享生产计划与物资需求信息,实现关键设备与舾装件的准时交付。推行托盘集配管理模式,按分段号、工序节点将零件与舾装件分类集配,由物流部门精准送料至工位,替代传统“车间领料”模式,减少等待浪费。

4.3 资源协同调配策略

4.3.1 多项目资源优先级排序

建立多维度资源分配优先级评估体系,综合考虑订单重要性、交付紧急度、项目产值、资源消耗强度等因素,采用层次分析法确定各项目的优先级权重。关键资源优先保障高优先级项目的瓶颈工序,同时通过资源共享机制提高闲置资源利用率。例如,当某项目的龙门吊闲置时,可调度至其他项目完成紧急吊装任务,实现资源动态平衡。

4.3.2 工序并行与资源柔性调配

推广并行工程理念,打破传统“串行作业”模式,实现设计与生产、船体与舾装的同步协同。例如,在分段制造阶段同步开展预舾装作业,在船坞搭载前完成主机带舱串油、锅炉点火等调试任务,缩短码头周期。培养多技能工人队伍,建立资源柔性调配机制,当某一工序出现资源紧缺时,可从其他工序调度具备相应技能的人员支援,提升人力资源应对波动的能力。

4.3.3 供应链精益协同策略

深化与核心供应商的质量共建与信息共享机制,建立供应商分级管理体系,对关键设备供应商实施驻厂监造,确保设备质量与交付进度。构建物资库存动态监控系统,设定安全库存阈值,实现钢材、涂料等常用物资的自动补货。推行“绿色采购”理念,优先选择环保材料与低能耗设备,降低资源消耗与环境影响^[4]。

5 结论

船舶建造项目的精益化转型是一个长期持续的过程,需要企业从顶层设计入手,将精益理念融入文化建设、流程管理、技术创新等各个方面。随着精益理论与数字化技术的深度融合,船舶工业将逐步实现从“经验驱动”向“数据驱动”、从“规模扩张”向“质量效益”的转变,为海洋强国战略的实施提供坚实支撑。未来船舶工业将向数字化、智能化、绿色化深度转型,精益生产理论的应用也将呈现新的发展趋势。

参考文献

- [1] 王成龙,孙建双,张强. 内河船舶建造监理质量把控模式分析[J]. 船舶物资与市场,2025,33(12):109-111.
- [2] 潘俪聆. 供应链视角下的船舶建造项目管理[J]. 船舶物资与市场,2025,33(11):101-103.
- [3] 李涛. 供应链协同对船舶建造质量管理的影响及优化[J]. 船舶物资与市场,2025,33(10):107-109.
- [4] 任伟,罗鑫. 特种船舶建造过程中重要工序的识别与管理研究[J]. 广船科技,2025,45(03):91-92.