

精益生产模式下大型船舶制造企业多元化计划 管控体系的构建与实施

汤兵, 陈华军

上海外高桥造船海洋工程有限公司, 上海 201306

DOI:10.61369/IED.2025050019

摘 要 : 在全球船舶制造业竞争加剧、市场需求多元化及精益生产理念本土化应用的背景下, 上海外高桥造船海洋工程有限公司(简称“外高桥海工”)针对船舶制造“产品复杂、工艺多变、供应链长”的离散型制造特性, 构建了精益生产模式下的多元化计划管控体系。该体系通过方法论、工具与机制创新, 结合“产品复杂度-资源柔性度”二维矛盾矩阵、分道编码标准化、作业链数字化等手段, 破解传统生产模式中的效率瓶颈、成本压力等问题。实施后, 企业生产效率显著提升(分段周期缩短8%, 计划达成率提高6%), 经济效益优化(制造成本降低9.2%), 并形成“精益-绿色-智能”融合的管理创新模式, 为大型船舶制造企业的精益转型提供了实践范式。

关 键 词 : 精益生产; 船舶制造; 计划管控; 多元化; 数字化管理

Construction and Implementation of a Diversified Planning and Control System in Large Shipbuilding Enterprises under Lean Production Mode

Tang Bing, Chen Huajun

Shanghai Waigaoqiao Shipbuilding and Offshore Engineering Co., Ltd., Shanghai 201306

Abstract : In the context of intensifying global competition in the shipbuilding industry, diversified market demand, and the localized application of lean production concepts, Shanghai Waigaoqiao Shipbuilding and Offshore Engineering Co., Ltd. (hereinafter referred to as "Waigaoqiao Offshore Engineering") has constructed a diversified planning and control system under the lean production model. This system is tailored to the discrete manufacturing characteristics of shipbuilding, which involves complex products, varying processes, and a long supply chain. Through methodological, tooling, and mechanistic innovations, combined with a two-dimensional contradiction matrix of "product complexity - resource flexibility", lane coding standardization, and digitalization of the operation chain, this system addresses issues such as efficiency bottlenecks and cost pressures in traditional production models. After implementation, the production efficiency of the enterprise has significantly improved (the segment cycle has been reduced by 8%, and the plan achievement rate has increased by 6%). Economic benefits have been optimized (manufacturing costs have been reduced by 9.2%). Additionally, a management innovation model integrating "lean, green, and smart" has been formed, providing a practical paradigm for the lean transformation of large shipbuilding enterprises.

Keywords : lean production; shipbuilding; planning and control; diversification; digital management

前言

上海外高桥造船海洋工程有限公司(外高桥海工)成立于2007年, 是中国船舶集团旗下专注于海洋工程及高端船舶配套的领军企业, 具备年生产自升式钻井平台2座、上层建筑产品28套等产能。在全球经济一体化与制造业转型升级的双重驱动下, 船舶制造行业面临“高端化、绿色化、定制化”趋势, 传统生产模式已难以应对效率、成本、质量及市场响应的多重挑战。精益生产理念作为一种先进的管理模式, 为企业突破困境提供了路径^[1], 外高桥海工率先探索其创新应用, 构建多元化计划管控体系, 为行业高质量发展提供可复制的实践经验。

一、多元化计划管控体系实施背景

(一) 行业竞争倒逼管理革新

全球船舶市场呈现“高端化、绿色化、定制化”趋势, 2023

年全球新船订单中, LNG 动力船、极地船舶等高技术船型占比达63%, 较2018年提升27个百分点。与此同时, 韩国现代重工、丹麦马士基等国际巨头通过数字化工厂建设, 将分段建造周期压缩至90天以内, 成本较国内企业低12%-15%。外高桥海工面临的核

心挑战包括：

效率瓶颈：传统按工种划分的“孤岛式”生产模式，导致工序衔接等待时间占比达35%，胎位资源利用率仅68%；

成本压力：钢材利用率（78%）低于国际先进水平（85%），年浪费成本超4000万元；

质量风险：复杂船型一次性报验合格率仅89%，返工成本占制造成本11%；

响应滞后：客户需求变更平均处理周期72小时，非船产品订单交付准时率不足75%。

（二）精益生产理念的本土化创新需求

船舶制造作为离散型制造，具有“产品结构复杂（单船零件超200万件）、工艺路线多变（船型工艺差异度超40%）、供应链长（涉及300余家供应商）”的特点，传统精益工具（如看板管理）直接应用效果有限。外高桥海工经三年探索，将精益理念与船舶制造特性深度融合，提出“分道编码标准化、作业流程数字化、计划调整智能化”的创新路径，形成适应多品种小批量生产的精益管理体系^[4]。

（三）全球船舶制造业精益转型的对标分析

韩国现代重工“智能船厂”：韩国现代重工作为全球最大船舶企业，其蔚山船厂通过引入AI视觉检测系统（精度 $\pm 0.1\text{mm}$ ）和数字孪生调试技术，将分段建造周期压缩至95天，较外高桥海工实施前快27天。其核心策略是构建“工艺知识库+动态排程算法”体系，通过积累30万小时焊接工艺数据，实现焊接参数自动优化，缺陷率低至0.8%。这一实践凸显了数据驱动在精益生产中的关键作用，也成为外高桥海工对标追赶的重要目标。^[3]

日本造船联合（JMU）“精益+敏捷”模式：在长崎船厂推行“细胞生产方式”，将传统流水线拆解为小型作业单元，每个单元配备8-10名多技能工人，可在48小时内完成船型切换。其计划管控体系以“拉动式+看板管理”为核心，结合供应商JIT配送（零部件延迟率 $< 3\%$ ），实现库存周转率2.8批次/月，远超行业平均水平。这种柔性生产模式为外高桥海工应对小批量定制化订单提供了思路借鉴。^[5]

国内同行实践：江南造船通过“壳舾涂一体化”计划体系，将船坞周期缩短至18个月，但在多品种混流生产中仍面临工艺切换损耗高（每次切换耗时12小时）的问题。沪东中华在LNG船建造中采用模块化预舾装技术，预装率达65%，但分段精度合格率（89%）仍低于外高桥海工实施后的水平。通过对标分析，外高桥海工明确了“数据驱动+全流程协同”的差异化创新路径。

二、多元化计划管控体系内涵与主要做法

（一）体系内涵：多维度创新破解管理难题

以“提升效率、控制成本、增强柔性”为目标，构建多维度创新体系：

方法论创新：创建“产品复杂度-资源柔性度”二维矛盾矩阵，形成“静态标准+动态调整”双循环控制机制；

工具创新：开发“7+X分道流向编码”系统，结合作业链数

字孪生模型（覆盖95%工序），实现“编码识别-仿真优化-节拍控制”一体化；

机制创新：建立“战略层-执行层-操作层”三级计划体系，通过拉动式生产、准时化配送等机制实现多产品并行管控；

理论协同：融合约束理论（TOC），针对高复杂产品关键路径（如特种材料焊接），通过瓶颈产能挖潜（增加夜班产能30%）缩短周期15%^[1]。

（二）精准定位管理痛点：构建二维矛盾矩阵，精准定位管理痛点

模型设计：横轴“产品复杂指数”涵盖船型差异系数、工艺离散度等5项指标；纵轴“资源柔性度”包含设备通用性、人员多技能率等5项指标，形成四象限模型。（如图1）例如，某海上浮式生产储油卸油船因“高复杂度-低柔性”被定位为痛点区域，通过模块化胎位（切换时间从48小时缩至12小时）提升资源柔性度40%。

SPC-APC 双循环控制机制

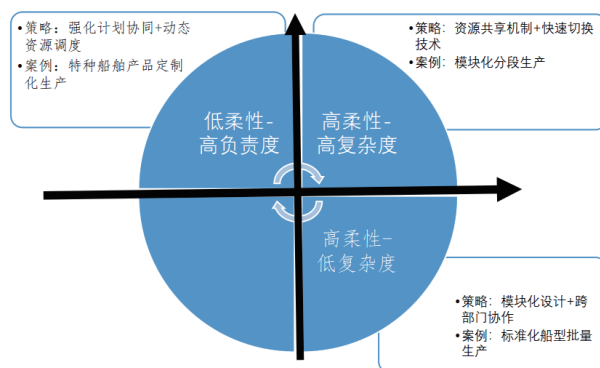
静态计划控制（SPC）：

基于历史数据的标准周期库建设。收集、整理和分析企业长期积累的生产数据，涵盖不同船型、生产工艺以及各类生产环节的时间数据。通过对这些数据的深度挖掘和统计分析，建立起科学合理的标准周期库。在船舶分段建造中，依据过往同类型分段的建造时间，结合设备、人员等因素，确定各工序的标准作业时间。标准周期库成为生产计划制定的重要参考，确保计划具有一定的科学性和稳定性。

动态适应性控制（APC）：

构建计划动态调整模型。在船舶生产计划管理中，将生产过程中的各种实时数据，如设备故障、物料供应延迟、人员变动等视为环境状态，将计划调整决策作为动作。通过不断摸索，在面对不同的生产状态时，能提前匹配最优的计划调整策略，实现生产计划的动态优化，使生产过程更好地适应各种突发情况，保障生产的顺利进行。^[4]。

表1：产品复杂度-资源柔性度分析模型



构建“产品复杂度-资源柔性度”二维分析模型（图1）：

— 横轴：产品复杂指数（含船型差异系数、工艺离散度、设计变更频率、材料多样性指数、供应链复杂度）

— 纵轴：资源柔性度（含设备通用性、人员多技能率、胎位资源切换时间、模块化生产能力、预舾装配套厂家响应速度）

（三）规范船体结构分道流向代码体系

1. 规范船体结构分道流向代码体系

（1）零件流向代码设计与应用

构建了包含零件托盘化特征代码（区分大板、长条、小零件等）、加工代码（如卷板、折边、装配等多种加工类型）和首级组立代码（涵盖各作业阶段组立类型）的零件7+X 分道体系

（表2）。通过精确的编码规则，明确各代码含义及其组合逻辑，确保零件在生产流程中的准确识别与有序流转。例如，“大 - 卷 - R2”表示进大板托盘的卷板加工零件送曲型中组2线，该代码在零件数控切割版图中应用，有效指导船体零件集配作业，提高零件配送准确性与及时性，减少生产等待时间。

表2：7+X 分道体系汇总表

项目	数控 NX	板切 SX-板条	板切 SS-T型	板切 JB-扁钢	板切 ST-T型	板切 PT	板切 SN-T型	板切 FN	板切 NT-T型	板切 SW-T型	板切 FW	板切 PT	板切 JG	板切 ZJ-折角板	板切 ZY-转圆板	板切 WT-外高桥T型
小组立																
甲板																
斜板																
平面外板																
加工外板																
折角板																
转圆板																
舱口盖																
舱口围																
上建																
外高桥T型																

（2）组立流向代码及其作用

组立流向代码由两级组立类型代码和分道编号组成，明确各代码所代表的作业阶段和分道信息。如“S1H1”表示1线小组立送大型立体中组。此代码主要应用于分段装配图和船体 BOM 中，清晰指导组立集配作业，保障组立在生产过程中的合理流向，增强生产过程的可控性与协调性，提高生产效率。

（3）编码智能应用：

开发基于深度神经网络的零件流向预测模型（图3），通过输入零件三维模型参数和分段上胎日期，自动生成流向代码及各分道对应的生产日期（准确率92.7%）

表3：基于深度神经网络零件流向预测模型

序号	零件名称	上胎日期	预测流向代码	预测生产日期	实际流向代码	实际生产日期	准确率
1	甲板	2023-01-15	S1H1	2023-01-20	S1H1	2023-01-20	92.7%
2	斜板	2023-01-15	S1H1	2023-01-20	S1H1	2023-01-20	92.7%
3	平面外板	2023-01-15	S1H1	2023-01-20	S1H1	2023-01-20	92.7%
4	加工外板	2023-01-15	S1H1	2023-01-20	S1H1	2023-01-20	92.7%
5	折角板	2023-01-15	S1H1	2023-01-20	S1H1	2023-01-20	92.7%
6	转圆板	2023-01-15	S1H1	2023-01-20	S1H1	2023-01-20	92.7%
7	舱口盖	2023-01-15	S1H1	2023-01-20	S1H1	2023-01-20	92.7%
8	舱口围	2023-01-15	S1H1	2023-01-20	S1H1	2023-01-20	92.7%
9	上建	2023-01-15	S1H1	2023-01-20	S1H1	2023-01-20	92.7%
10	外高桥T型	2023-01-15	S1H1	2023-01-20	S1H1	2023-01-20	92.7%

2. 梳理现有精益生产作业链数据模型

（1）作业链空间模型与生产能力评估

公司形成了包括 T 型材自动装焊、平面分段、曲面分段和上层建筑分段等三大流水线的作业链空间模型。各流水线分工明确，具备不同生产专长，如 T 型材自动装焊作业链专注于船用直线 T 型材生产，实现自动化装配与焊接；平面分段作业链负责货舱区域总段和分段相关作业。通过对现有场地布局和设备资源的分析，精准评估各工序生产能力，如切割工序目前能力为 169 只，小组立为 112 只等，为生产计划制定提供基础数据支持，确保计划与实际生产能力相匹配。

（2）产品船坞纳期精准梳理

根据不同船坞（一号坞、二号坞）及产品类型（散货船 / 油轮等），详细梳理各关键分段船坞纳期。明确各分段在下坞前总

组和起浮前总组的时间要求，如一号坞半船、整船建造的散货船 / 油轮中，10A 分段下坞前总组需 40 天；二号坞整船建造散货船 / 油轮时，主船体分段在下坞前二十天需满足特定完整性要求。通过精确纳期管理，确保胎位资源合理利用，提高分段总段胎位计划编制的可控性。

（3）标准周期信息科学收集

运用特尔斐技术，组织各部门生产负责人共同讨论各船型制作周期，达成一致意见，确保周期设定的合理性与可行性。同时，借助 SWOT 态势分析方法，从优势、弱点、机会与威胁等多角度审议项目，充分考虑施工风险，为各船型各生产阶段制定科学的标准周期。这有助于在计划制定中合理安排时间，平衡生产资源，降低生产过程中的不确定性。

（四）打造多元化产品并行管控的精益化计划体系

计划体系构建：以船坞大节点为基础，结合产品特点制定分道需求标准，实现板材加工、胎位资源的均衡利用；

价值链与流程优化：通过平面流水作业、拉动式计划（后工序驱动前工序生产）、准时生产（JIT）等，减少库存积压与返工^[1]；

动态管控机制：建立“三维评审模型”（产能、成本、客户优先级）确定订单优先级，开发“负荷 - 产能”蛛网图实时平衡分道负荷（波动控制在 ±8% 以内）。

（五）深化工程分解与瓶颈管理

工程分解细化：将项目拆解为子任务，明确工序内容、时间节点及责任人，如船体建造分解为切割、装配等工序；

瓶颈识别与优化：运用“三维诊断法”（时间、空间、成本、质量、流程）识别瓶颈，例如通过分析焊接工序周期波动（22%）及成本超支（18%），引入激光复合焊技术提升效率 200%；

供应链协同：建立“供应链赋能中心”，为供应商提供云 ERP 系统，电子数据交换覆盖率从 30% 提升至 65%，物料齐套率提高^[2]。

（六）完善生产能力与信息化平台

生产能力升级：通过设备更新、工艺优化提升各工序产能，如数控切割设备精度提升至 ±0.1mm；

信息化平台建设：构建涵盖生产计划、资源管理、质量追溯的协同平台，实现数据实时共享，打破“信息孤岛”，例如设计 - 生产数据延迟从 2 天缩至 1 小时以内^[6]。

三、多元化计划管控体系的实施效果

（一）生产效能显著提升

分段 / 总段周期从 122 天缩短至 113 天（改善率 8%），零部件库存周转率从 1.6 批次 / 月提升至 1.9 批次 / 月（18%），计划达成率从 86% 提高至 92%（6%）。

（二）经济效益优化

通过作业成本法核算，分总段制造成本降低 9.2%，其中物流成本下降 34%（减少车辆与托盘周转），废返工减少 32%（基于分段材料清单精准配送）。

（三）商品化与管理创新

产品质量提升（大型舾装工程一次合格率提高），定制化能力增强（非船产品交付准时率提升）；创新“碳精益”管理（单位产值碳排放目标下降40%）、大规模定制化模式（交付周期缩短至传统70%），并牵头成立“长三角船舶精益制造联盟”，整合50家企业资源^[2]。

四、结束语

外高桥海工构建的多元化计划管控体系，通过精益理念与船舶制造特性的深度融合，有效破解了离散型制造的效率、成本与柔性难题，为大型船舶企业精益转型提供了“数据驱动+全流程协同”的实践路径^[4,6]。未来，需持续深化数字化与智能化技术应用，优化供应链协同机制，推动“精益-绿色-智能”融合发展，进一步提升国际竞争力。

参考文献

-
- [1] 詹姆斯·P·沃麦克, 丹尼尔·T·琼斯. 精益生产方式 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
- [2] 中国船舶工业行业协会. 中国船舶工业发展报告 (2023) [R]. 北京: 中国船舶工业出版社, 2023.
- [3] 韩国现代重工. 智能船厂实践白皮书 [Z]. 蔚山: 现代重工集团, 2022.
- [4] 李明, 王军. 船舶制造企业精益生产体系构建与应用 [J]. 中国造船, 2023, 64 (2): 1-12.
- [5] 日本造船联合 (JMU). 精益+敏捷生产模式研究报告 [R]. 长崎: JMU 技术研究院, 2021.
- [6] 张伟, 刘强. 离散型制造企业数字化转型路径 [J]. 工业工程与管理, 2022, 27 (5): 34-40.