

Application and Optimization Research of Ship Modular Interior Installation Technology Based on Lean Management

Rongqing Shen Yuehua Gao Long Peng

Shanghai Waigaoqiao Shipbuilding Marine Engineering Co., Ltd., Shanghai, 201306, China

Abstract

To enhance the construction efficiency and quality level of the interior decoration in the upper structure of ships, and further promote the application of modular interior decoration technology, this paper takes a specific project as an example, elaborates on the application contents such as standardized design, concurrent engineering, digital hoisting, and full life cycle quality control, discusses how lean management can be applied to modular interior decoration, and puts forward specific requirements for design optimization, collaborative management, and installation quality. It is concluded that introducing the lean concept in the modular interior decoration process can significantly reduce time costs and expenses, and improve product quality. This provides certain practical references for the transformation and development of the interior decoration work of ship superstructures.

Keywords

Lean Management; Ship Modular Interior Technology; Application

基于精益管理的船舶模块化内装技术的应用与优化研究

沈荣卿 高越华 彭龙

上海外高桥造船海洋工程有限公司, 中国 · 上海 201306

摘 要

为提高船舶上层建筑内装施工效率及质量水平, 进一步推动模块化内装技术的应用, 本文以具体工程为例, 通过对标准化设计、并行工程、数字化吊装以及全寿命周期质量控制等应用内容进行阐述, 对精益管理如何应用于模块式内装进行了探讨, 并提出具体的设计优化、协同管理和安装质量的要求。得出在模块式内装的过程中引入精益理念, 可以大大压缩时间成本和减少费用支出并且可以提高产品质量的结论, 为船舶上层建筑内装施工作业的转变与发展提供了一定的实践参考。

关键词

精益管理; 船舶模块化内装技术; 应用

1 引言

对船舶建造而言, 高效、绿色及个性化是其未来的发展趋势。常规船内舾装存在着现场施工工作量繁重、耗时较长、质量参差不齐等现象。采用模块化的内装方案即是将舱室单元放在工厂中进行制造后再运输到船上组装的形式, 它能够很好地解决以上问题。目前模块化的内装技术已经在豪华邮轮以及客滚船等船舶上得到了应用并且已经初步引入了精益理念, 其目标是为了去除一切浪费、最大化增值流程。但是现阶段其在模块的设计标准化、生产和吊装配合还有装配的过程等方面还存在不足之处。所以本文希望通过探究精益管理与模块化内装有机结合的方式方法来全面提升船舶建造的效率水平。

2 案例分析

以某型 9200 标准箱大型集装箱船上层建筑为例, 通过应用精益管理方法, 对模块化内装的设计、预制、安装全过程进行流程优化与浪费消除, 实现了内装工程的高完整性交付, 显著缩短了码头周期并提升了建造质量。

3 基于精益管理的船舶模块化内装技术应用分析

3.1 基于标准化与通用化的模块单元设计技术

在本项目中, 基于精益的模块化内装技术主要表现在模块单元的设计标准化、通用化之上, 通过制定一致的设计标准、接口标准使得模块可以高效地重复使用、快捷组装, 大大提高设计速度以及产品质量, 项目采用严谨的模数制设计系统, 通过制定基于 600mm、1200mm 标准的壁板、天花板以及内置家具尺寸规格序列, 实现了预制模块之间的精确匹配。即居住舱室单元宽度采用 2400mm 整数倍设计, 高度按照上层连续甲板梁下净高进行模块化处理, 避免了现

【作者简介】沈荣卿 (1983—), 男, 中国上海人, 硕士, 助理工程师, 从事船舶建造研究。

场对主体结构进行二次改造的情况发生；对于船上层建筑内部大量电缆桥架、通风管道、自动喷水灭火系统等管线接口，在模块设计时就实行设备接口一体化及综合放样工艺，大部分接口、套管、支架都在工厂内预先组装完毕，极大程度降低码头安装冲突率和现场施工强度。统一各系统间接口的标准（例如：强弱电插接件，水路接口等），使各个功能单元之间可以直接插入使用。据实际统计因接口一体化设计而节约了大约30%的现场对接时间，同时接口的一次安装合格率达到98%以上。另外在材料方面，工程选用了很多轻质化、模块化的铝蜂窝板、复合岩棉板等新型材料，符合船舶生活区域严苛的防火（A60级）、降重需求的同时也达到了材料通用的效果^[1]。

3.2 基于并行工程的预制模块集成协同生产技术

在项目中，建立起涵盖设计、采购、建造全过程的数字化管理系统。实现上建结构、内装同步设计。通过创建整艘船三维数字模型在虚拟空间进行“虚拟建造”。提前识别发现设计问题加以解决，减少后期返修的比例达到80%，先造后安的方式有效解决了预制部件与上建结构构件、管道系统间的吻合度问题，减少现场加工，提高设计进度。另外，搭建专用薄板流水线，把预制件生产转变为流水线生产。利用激光复合焊等方式解决了8mm薄板焊接变形问题，达到了毫米级精度的模块制作能力。在车间里，模块除完成壁板、顶棚安装外同时装配了电控、给排水、暖通等各种设施设备并做好预试验，测算结果表明在车间预制一个舱室模块只需20-30个工作日，而传统船舶上散装需要将近60个工作日，生产率提高了大约2倍左右。（如图1所示）

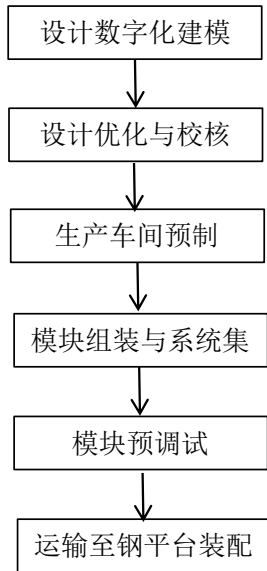


图1 模块化舱室预制流程图

3.3 面向装配效率的模块数字化吊装与精确定位技术

在大型集装箱船顶层建筑模块化内部装修施工中，吊装及精确定位技术数字化的应用是提高工作效率、保证工程

质量的关键所在。以某型9200标准箱集装箱船为例，在其上层建筑一般采取总段建造方式的情况下，单个生活区与工作区总段重量为800-1200吨左右，内部含有多个已经完成管线铺设以及设备安装的功能性模块组件。针对此难题，该项目将精益管理理念和数字化技术相结合，对吊装过程进行全面改造升级，主要体现在整个过程的数字化仿真以及实时测量指导方面。在设计阶段，项目组使用船舶设计软件（如Tribon或者CATIA）制作出包括所有结构、舾装以及内装模块在内的完整的三维数字样船模型。通过对该模型进行虚拟吊装仿真计算，可以得到不同大小分别为3到8吨之间的大舱室模块、集成卫浴单元以及通风管道等部件的吊运路线、先后次序以及相互之间的影响关系。通过仿真可以发现超过90%以上的空间碰撞问题，在模拟过程中就可以了解到重达5.2吨的A-60级防火隔离舱室模块经过狭窄走廊时所需的最小净空高度是多少，从而保证它与结构骨架、主线缆支架之间的距离符合实际操作需求。而在实际物理吊装作业时，则更进一步地运用到了相关技术。在现场布置高精度全站仪和激光跟踪仪（例如Leica AT960），形成实时监控系统。根据从数字模型导出的坐标信息，在上建分段上预先利用激光投影仪显示出模块安装的位置参考线，定位误差小于±1.5毫米。模块在跨间加工时，其钢结构框架上已经焊有标准定位靶标。

3.4 基于全过程质量控制的模块安装与接口处理技术

在项目中，项目组建立健全的全流程质量控制系统，大力解决了模块化安装精度控制以及接口密封问题，实现了由“事后把关”到“过程控制”的转变。对于上建结构变形导致的安装精度问题，项目使用数字孪生的方法，对其进行全面模拟和监测。以整个上建建模为三维数字模型，将内装系统分解成7个分类、27个小类标准化管理，在施工期间利用全站仪获取模块的三维坐标并与BIM建模进行比较，使安装偏差严格控制在±3mm以内，远远小于传统的±20mm的标准。而对于上建内装管道密集度大（是地面建筑的3倍）及接口数目多的问题，则实行了接口标准化设计以及全程密闭检测，通过设定通用的连接节点（电气插接器、给排水接口等）达到模块间互相替换的效果，在质量管理方面，设置了“标准、图纸、材料”三审联动机制，对所有接口都进行了严密性测试^[2]。

4 基于精益管理的船舶模块化内装技术的应用效果分析

在9200TEU项目上，精益管理与模块化内装技术的应用结合使得内装效率更高，质量更优，资源更节约。首先是建造周期，模块化预制及车间集成生产使单间舱室模块施工工时大大缩短，提升了50%以上的建造效率；其次是标准化模块设计及接口通用化，减少了模块现场拼接的时间约30%，接口一次安装合格率达到98%以上，大大降低了返

工以及施工风险的概率；材料标准化和通用化的使用提升了材料的利用率大约有15%，并且减少了采购费用以及储存风险，可见资源节约的效果明显。

针对如何进行对精益管理应用于模块化内装上所获得的整体效果进行衡量的问题，可以通过效率指数 E 来表示整体提升水平，其计算方法如下：

$$E = \alpha \frac{T_0 - T_m}{T_0} + \beta \frac{Q_m - Q_0}{Q_0} + \gamma \frac{R_m - R_0}{R_0} \quad (1)$$

式(1)中， T_0 和 T_m 分别为传统与模块化施工周期； Q_0 与 Q_m 分别为传统与模块化施工一次合格率； R_0 与 R_m 分别为传统与模块化材料利用率； α 、 β 、 γ 为各指标权重，满足 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。根据项目数据计算，效率指数 $E \approx 0.58$ ，说说明在精益理念下模块化装修在施工进度上加快了，在质量上有所提高，同时对材料的使用也更加合理。而且利用数字化吊装以及精准定位技术一次模块吊装定位误差从 $\pm 20\text{mm}$ 减少到 $\pm 3\text{mm}$ ，提升了80%左右的安装效率，也减少了由于安装不到位导致的应力集中以及返工的情况发生。全过程质量管理集成数字化双胞胎+BIM监测，保证复杂的舱室单元组装误差精确到毫米级别，做到了建筑美学及加工精度的一体化。

5 基于精益管理的船舶模块化内装技术的优化措施

5.1 构建全产业链协同的数字孪生平台

为了应对船舶模块化内装技术运用中出现的设计更改频次高、供应商协作低效、“落地返工”现象严重等问题，建设全生命周期的数字化同步平台是最有效的解决方案。平台可以打破设计制造物流安装等环节的信息瓶颈，使实体产品与虚拟数字模型之间相互影响、互相推动，在内装模块化设计的数据基础上，融合了船体结构以及机械、电气管路的相关信息，采用BIM方式进行碰撞校准，预先排查并修正设计中的矛盾，节省后期调整比例高达80%。利用大数据中心一体化管控设计图纸、物料清单(BOM)、工艺参数等信息，使设计数据到生产制造之间可以实现无缝衔接，减少了由于信息不对称引起的反复返修造成的资源损耗。通过

把数字孪生拓展到供应链环节，在平台上即时分享内装模块生产进度、库存情况以及运输路线等信息，做到与上游供应商(比如：钢板、家具制造商等)的密切合作^[3]。

5.2 推行基于价值流的精益供应链管理

在船舶模块化内装方面，则比传统的制造业复杂得多，实行以价值链为基础的精益供应链管理就是要找出及剔除所有由原材料到模块安装过程中产生的每一项增值活动之外的所有工作，使物料的信息还有资金的流动更加准确快速低成本，就是提高整个过程效率的重要改善手段，在上建内装项目上首先是要画出一条完整的端到端的价值流图。通过对价值流图的研究就可以找到其中存在的七大浪费，尤其是库存多余、等待以及过多的搬运等。比如，采用准确的牵引式补给方式，使得铝蜂窝板、复合岩棉这些主要基材的库存周转加快了40%，同时把车间半成品库存减少30%，大大缓解了资金占用及仓库面积的压力，为了达到模块化流水线生产，在与主要供应商之间要形成合作性的伙伴关系^[4]。

6 结语

文章基于大型集装箱模块化内装实例研究，全面阐述了精益管理对船舶内装全生命周期应用的方法论。研究发现，标准化模块方案、并行工程生产、信息化吊装、全程质量管理相结合可以大大提高施工进度、提高装配精度、节约资源消耗等综合效益，从而达到工期短、费用低、品质好的协同效果，为船舶内装转型提供了可供借鉴、复制、推广的有效举措。

参考文献

- [1] 石林,张立娣,宋庆文.基于虚拟仿真技术的船舶内装设计系统开发[J].船舶,2025,36(05):112-121.
- [2] 王大威.船舶内装模块化技术和应用分析[J].船舶物资与市场,2024,32(07):28-30.
- [3] 王大威.船舶内装材料轻量化的应用分析[J].船舶物资与市场,2024,32(06):7-9.
- [4] 李仁鑫.船舶内装模块化技术的运用探讨[J].船舶物资与市场,2024,32(01):26-28.