

基于计算机仿真模拟的船舶制造工艺设计

王玲

(江苏海事职业技术学院, 江苏 南京 211100)

摘要 针对传统数学建模和分析方法在设计复杂生产过程的缺点, 本研究提出了一种基于计算机仿真建模方法的船舶制造和生产过程设计新方法——离散事件模拟仿真。根据离散事件模拟仿真的七个阶段对船舶生产工艺进行重新设计和模型开发; 基于造船厂专家经验和已知数据的测试过程模型逻辑、功能、行为和结果, 得出对切割时间影响最大的元素是分拣起重机的性能, 改进后的仿真模型解决方案比制造商最初建议的设计解决方案提高了13%; 根据与实际生产过程数据的比较, 对计算机仿真模拟的效果进行了评估, 发现实际生产与计算机仿真模拟结果存在着一定的差异, 平均值约为7.25%。

关键词 船舶制造; 船舶生产工艺设计; 计算机仿真; 离散事件模拟仿真

中图分类号: TP391.9; U662

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2023)12-0094-03

船舶制造是一项极为复杂的生产过程, 身为高资本价值的单个产品, 不同类型、大小的船舶都需要与其相对应的生产系统和制造工艺, 其工艺具有以下基本特征: 大量的中间产品, 各项制造流程间的重要交互和相互依赖; 具有大量不同持续时间的非重复过程; 包含大量组件, 但输出的最终产品数量很少; 进程在许多并行的子进程中进行, 或多或少的重叠; 工艺在技术上不同, 使用不同的工作方式。在过去的研究中, 研究者调查了各种生产过程设计方法、技术和工具, 并确定了这些方法的缺点。传统船舶制造工艺的设计通常根据与其他已经拥有类似技术的造船厂的比较来定义设计解决方案。这种方法在一段时期内取得了令人满意的结果, 但随着船舶制造需求个性化的不断突出, 该类方法的适用性也有所下降^[1]。对此, 应采用科学的数学建模、计算机模拟等相关方法对船舶制造工艺设计进行改进和更新。该研究针对传统数学建模和分析方法在设计复杂生产过程的缺点, 提出了一种基于计算机仿真建模方法的船舶制造和生产过程设计新方法。

1 基于计算机仿真模拟的船舶制造与生产过程设计的新方法

1.1 离散事件模拟仿真

仿真建模涉及三个要素的复杂活动: 实际系统、模型和计算机。仿真可以定义为在特定的要求和限制内建立实际动态系统的动态模型过程, 目的是了解真实系统的行为并评估不同设计或生产备选方案^[2]。由于船舶制造是一项高度复杂的生产过程, 符合离散事

件系统特征, 因此该研究使用了离散事件仿真建模软件 eM-Plant 中的面向对象的 SimTalk 语言。与传统的分析模型相比, 计算机仿真模型更具描述性、更易于管理, 设计人员能够运用计算机在早期设计阶段验证各种决策替代方案。此外, 这种方法能够有效地提高决策效率, 通过采集实时信息, 能让各环节工作人员从整体的角度观察船舶制造容易出现的问题, 使解决方案更可靠和风险更低, 适用于个性化需求更为突出的现代造船业。将仿真建模方法作为船舶生产过程设计基本方法的主要原因是: 可用于在最终投资之前评估不同的设计方案(假设情景); 可用于对某些关键设备参数进行试验, 而不会影响实际过程; 可以在实际过程中发现其计算机模型上的过程瓶颈; 可以提高过程生产率; 可以改进调度策略; 可以降低生产成本和提高质量等。但同时, 也需要注意计算机仿真模拟应用存在的一些问题: 仿真模拟应用的时间较长, 影响生产效率; 可以用经典实验代替解决; 开发仿真模型的成本高于潜在收益; 仿真模型结果无法确认; 建模系统的行为和特征过于复杂和未知^[3]。

1.2 船舶生产设计模拟仿真具体过程

1. 阶段1. 问题和项目目标定义: 此阶段应分析现有流程, 并使用图形流程、因果图、帕累托图、生产基准(SWOT、比较表、专家调查、潜力分析)等方法 and 工具确定模拟仿真的目标和期限。该阶段的任务如下: 定义问题、原因及需要改进的地方; 明确项目目标; 明确具体任务和期限^[4]。

2. 阶段2. 确定输入数据及仿真模型概念化: 此

阶段的主要目标是收集所需的输入数据,使用因果图、CAD 工具、工艺流程图、仿真对象编程语言等方法 and 工具建立初步的新设计解决方案和 IT 仿真模型。

3. 阶段 3. 计算机仿真模型开发: 本阶段的主要目标是使用离散事件仿真模型方法和回归分析、统计分析、仿真等工具, 开发新生产工艺设计的功能计算机仿真模型。

4. 阶段 4. 仿真模型验证: 此阶段的主要目标是验证已开发的仿真模型并对其进行确认以进行进一步分析, 使用的方法主要是基准 (比较表) 和专家调查。

5. 阶段 5. 生产场景分析和仿真模型改进: 该阶段的主要目标是评估设计解决方案的仿真模型及其潜在改进空间, 此阶段应定义生产线参数以满足项目目标。

6. 阶段 6. 结果记录: 此阶段的主要任务是以清晰易懂的方式记录项目程序和结果。

7. 阶段 7. 设计解决方案的实施: 此阶段的主要目标是将建议的设计解决方案实施到实际的造船厂生产过程中。该阶段的主要任务是: 将最终设计方案实施到实际造船厂流程中; 仿真模型的改进 (基于从实际生产过程中收集的数据进一步改进仿真模型)。这种改进后的模型可用于持续的生产改进和生产计划。这就是各阶段的主要任务^[5]。

2 计算机仿真模拟在船舶生产工艺设计中的具体应用

2.1 确定新型加工生产线设计的目标

我们观察到现有的部分船舶制造加工生产线已经出现设施陈旧、产能不足、占用生产面积过多以及工人过多的问题。因此, 造船厂的主要目标是设计一条新的、机器人化的加工生产线, 该生产线需要更少的空间、更高的效率和更高的吞吐率。这一阶段使用的方法主要是通过与已有该生产线的类似船厂进行比较, 以此选定设备制造商并提出初步生产工艺设计。生产线产量最初是使用设备制造商提供的平均加工生产时间估算的。然而, 这种基于平均分布的解决方案并不完全适用于真实生产情况, 因此需要使用来自几种船舶类型的典型船舶部分的生产数据来测试建议的解决方案, 以最大限度地降低决策风险, 并更加确定建议的生产线将符合所需的工作量。因此, 应针对性地开发生产线解决方案的仿真模型。此类模型将使用选定船舶类型的生产组合进行测试, 以评估建议的解决方案是否满足所需的工作量。如果没有, 将进一步分析和改进生产线, 以达到所需的工作量。通过这种方式, 能够有效降低决策风险且最终解决方案更适合特定的

船厂。总而言之, 应用开发的主要目标是: 基于开发的计算机仿真模型, 测试制造商建议的新生产线的设计解决方案是否符合最低工作量要求; 如果不是, 应建议如何改进线路及其参数。

2.2 计算机仿真模型开发

根据初步建议的新型船舶加工生产线设计方案, 创建概念因果图和生产工艺流程图, 确定了生产线的初步技术特性、操作和物料流特性以及输入的生产数据。该数据部分来自设备供应商, 部分来自船厂专家调查。来自观察生产线的最重要的输入参数, 作为概念模拟模型的输入数据。基于所进行的分析、收集的数据和生产过程, 确定了计算机模拟仿真模型的结构、逻辑、功能和组织。

基于上述的生产过程图、工艺流程图和技术生产线特点, 新型自动化型材制造仿真模型切割生产线是在专门的离散仿真软件中开发的。同时, 确定了作为模拟仿真模型生产组合的输入材料规格。

2.3 仿真模型验证、分析与改进

初始模型验证主要基于造船厂专家经验和已知数据的测试过程模型逻辑、功能、行为和结果。模型会在多次迭代中进行微调, 直到最终确认。确认模型可用于评估建议的生产设计是否满足项目目标, 即: 对于初始建议设计解决方案, 模拟制造时间 F_{tsim} 应小于最小制造时间 F_{tmin} , 型材目标吞吐率—— T_{min} 应达到一月两班, 因此:

$$F_{tsim} < F_{tmin} \quad (1)$$

$$F_{tmin} = \frac{N_p}{T_{min}} \cdot N_{wb} \cdot N_s \cdot N_{whs}, [h] \quad (2)$$

其中 F_{tsim} 是初始建议设计解决方案的所选输入生产数据的模拟制造时间; F_{tmin} 是所选输入生产数据所需的最小制造时间; N_p 是所选产品组合中型材和扁钢的数量; T_{min} 是目标船厂月产量中型材和扁钢的数量; N_{wb} 是一个月的工作日数; N_s 是一天的工作班次; N_{whs} 是轮班工作时数。通过仿真建模, 可以确定, 针对选定特征输入数据的最初建议设计解决方案的仿真制造时间 F_{tsim} 比最低要求的制造时间多花费约 20%, F_{tmin} :

$$F_{tsim} = 1.2 \cdot F_{tmin} \quad (3)$$

以上不符合项目目标。因此, 必须进一步分析设计解决方案以确定原因。进一步分析的主要内容如下: 物质流分析; 生产线负载分析和潜在生产线瓶颈识别; 用灵敏度分析方法识别对目标函数影响最大的线参数。在敏感性分析方法中, 模拟了在初始输入值的 10% 范围内变化的线路特性, 以及所有场景组合。特别更改

表1 制造时间结果和相对于最初建议解决方案的改进

目最低吞吐量所需的 制造时间, T_{\min}	最初建议的设计解决方案的 模拟时间, F_{tsim}	改进的模拟模型 制造时间, T_{simp}	对最初建议的设计 解决方案的改进
69h	77h	67h	13%

的参数是自动化切割速度; 起重机运动和起升速度; 喷砂速度; 缓冲区的大小和传送带的速度。参数变化范围根据船厂专家的调查方法确定, 已经确定了主要问题和对切割时间影响最大元素是分拣起重机的性能。

由于起重机操作性能的不足, 自动化切割站被阻塞的时间超过 35%。因此, 对各种生产场景进行了更多模拟, 同时改变起重机和自动化切割站参数。结果显示在表 1 中, 表 1 比较了改进的模拟制造时间 F_{tsim} 与最初建议解决方案的目标最小制造时间。

其中 T_{\min} 根据公式 (2) 计算, 基于以下特定造船厂生产数据: N_p ——2136 型材和扁钢零件; T_{\min} ——每月 11000 个型材和扁钢; N_{wd} ——每月 24 个工作日; N_s ——天 2 个工作班次; N_{whs} ——7.5 工作小时轮班。由此可以明显看出, 改进后的仿真模型解决方案比制造商最初建议的设计解决方案提高了 13%。此外, 这种改进的解决方案满足了所需的每月吞吐量目标, 而最初提出的解决方案没有实现这一目标。在下面的部分中, 将基于与实际过程的比较来解释开发的仿真模型。

2.4 仿真模型确认、增强及进一步研究

表2 计算机模拟工艺时间与实测生产时间的比较

	计算机模拟, min	实际测试, min	差异
产品组合 1	4130	4460	8%
产品组合 2	3850	4081	6%
产品组合 3	4528	4845	7%
产品组合 4	4601	4969	8%
		平均值	7.25%

基于仿真模型的方法和计算机模型, 针对实际生产过程数据进行了测试。根据与实际生产过程数据的比较, 对计算机仿真模拟的效果进行了评估。对比四种不同组合的生产样本, 我们发现其与计算机仿真模拟结果存在着一定差异, 平均值约为 7.25% (表 2)。产品组合由来自以下三艘不同船舶的部分组成: 产品组合 1 主要由扁钢和来自船中部双底部分的型材组成; 产品组合 2 由扁钢和型材组成, 来自运输船型; 产品组合 3 由扁钢和型材组成, 运输船型, 主要来自船中段的壳段。产品组合 4 由扁钢和型材组成, 来自浙青运输船型, 主要来自船中段的底部。产品组合之间

测量时间的差异主要是由于这些船舶的结构特征不同, 如平均型材厚度、型材尺寸、型材端部制备、型材处理类型和特性等。

由于某些人为因素问题、意外故障或堵塞没有包含在模拟仿真模型中, 这些问题可以从生产过程中收集较长时间的数据作为统计和概率变量包含在模型中。尽管如此, 这个版本的模型仍然被认为足够准确, 该模型还可用于: 规划和评估某些生产组合所需的工作时间; 提前发现和预测生产中的问题和瓶颈; 根据各种条件对生产过程进行连续测量和分析, 以便其可以不断适应和改进等。

3 结论

该研究对现有的船舶生产过程设计方法和技术进行了分析, 认识到传统方法和传统数学建模与复杂生产过程设计存在的缺点。介绍了基于计算机仿真模拟的船舶制造与生产过程设计的新方法, 并给出船舶生产设计模拟仿真具体过程。基于此, 探索计算机仿真模拟在船舶生产工艺设计中的具体应用。根据研究结果, 使用计算机模拟仿真建模完成设计解决方案与使用传统方法的最初建议设计相比, 制造时间缩短了 13%。但与实测生产时间相比存在 7.25% 的差异, 应在后续的研究中予以解决。计算机模拟仿真为造船厂管理层提供了在早期设计阶段验证设计备选方案的有效工具, 并使管理层能够以较低的风险水平做出决策, 从而提高制造效率、降低制造成本。

参考文献:

- [1] 袁东斌. 船舶制造仿真实训系统设计与开发 [J]. 辽宁大学学报 (自然科学版), 2021, 48(03): 229-235.
- [2] 杨棋然. 浅析船舶制造中虚拟制造技术的运用 [J]. 船舶物资与市场, 2020(09): 43-44.
- [3] 拾祎春. 计算机辅助设计在船舶制造中的应用 [J]. 舰船科学技术, 2019, 41(22): 13-15.
- [4] 周波. 船舶建造流程的虚拟仿真 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [5] 杨思维, 黄双喜, 尹作重. 基于 CPS 的船舶智能制造体系结构研究 [J]. 制造业自动化, 2019(12): 125-128.