

船舶虚拟制造系统体系设计及关键技术

袁 华¹ 赵 耀¹ 严 俊²

(1 华中科技大学 船舶与海洋工程学院, 湖北 武汉 430074;

2 武昌造船厂 技术中心, 湖北 武汉 430064)

摘要: 给出了船舶虚拟制造系统的定义, 设计了包含船舶产品虚拟开发、虚拟工艺和虚拟造船企业环境架构的体系架构, 讨论了船舶虚拟制造系统与船舶实际制造系统的相关关系, 并从实施船舶产品开发活动的并行开展和支持船舶生产经营活动的角度出发, 为实现虚拟制造技术与造船设计、制造及装配、生产调度、质量管理等环节的有机集成, 对船舶虚拟制造系统实现的关键技术进行了分析。

关键词: 船舶; 虚拟制造系统; 体系结构; 关键技术; 三维设计; 干涉检查; 虚拟装配

中图分类号: U662 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4512(2009)04-0126-04

Design of the system architecture of virtual manufacturing for shipbuilding and its key technology

Yuan Hua¹ Zhao Yao¹ Yan Jun²

(1 College of Naval Architecture and Ocean Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2 Technology Center of Wuchang Shipyard, Wuhan 430064, China)

Abstract: A virtual manufacturing system for shipbuilding was defined in this paper which applies virtual manufacturing technology in shipbuilding enterprise. The system architecture was designed to integrate the ship virtual design, virtual manufacture and virtual environment, the relationship between the virtual ship manufacturing and actual manufacturing was discussed. The key technology to realize the system was analyzed to meet the demands which consist the ship design, manufacture, part assembly and quality management.

Key words: shipbuilding; virtual manufacturing system; system architecture; key technology; 3D design; collision detection; virtual assembly

当前我国主要造船企业已经初步建立了以三维设计软件为核心的船舶数字产品设计体系, 进入到企业信息集成阶段。在集成制造的环境下, 必须实现在设计和建造策划阶段就能准确预测建造过程中可能出现的工艺问题、计划执行情况和设计/制造协同问题, 并提前加以改进。虚拟制造技术为解决上述难题提供了可能^[1,2]。文献[3]对造船过程中的计划进度和资源匹配进行了仿真分析; 文献[4]应用面向对象方法, 对船厂的吊装过程进行了建模和仿真。文献[5]与[6]分析了船舶虚拟设计和制造的应用范围, 并制定了关键技术。但由于缺少总体体系结构设计, 导致相应制造系统难以支持虚拟环境下的船舶建造信息、功能和

过程集成, 相关关键技术也无法与造船过程中的设计、装配、生产调度、质量管理等环节有机地集成起来, 影响了虚拟制造技术的应用效果。为此, 本文从船舶建造信息、功能和过程集成的角度出发, 给出了船舶虚拟制造系统的定义, 对其体系架构进行了设计, 并从实施船舶产品开发活动并行运作和支持船舶生产经营活动的角度出发, 讨论了其关键技术组成。

1 船舶虚拟制造系统及其体系结构

1.1 船舶虚拟制造系统

在现实制造开始前, 首先通过虚拟设计建立

收稿日期: 2008-03-19.

作者简介: 袁 华(1977-), 男, 讲师, E-mail: lianhualacw@163.com.

数字产品生产线,进行数字样船生产;数字样船建造完毕后,三维数字模型将代替传统实物模型和放样,对产品加工性能、装配过程和可维修性进行预测和评估;通过对船舶生产过程进行系统仿真,对建造策略、生产计划、组织方式、资源配置、过程控制进行分析,消除制造过程中的空间冲突、时间冲突和资源冲突,从而缩短造船周期,降低研发成本,提高企业对船舶市场的快速响应能力。

船舶虚拟制造系统是船舶实际制造在计算机上的映射(如图 1 所示)。船舶虚拟制造系统为船舶建造提供了一个用于增强各级决策与控制的一体化、综合性的制造环境,以协作的方式提供给船舶的设计、制造部门相应的工具集,包括分析工

具、仿真工具、实现工具、控制工具和各种模型(产品、过程和资源模型),用户可以选取所需的工具构建相应仿真环境,对产品从概念设计一直到维护的全生命周期进行模拟^[2]。

在船舶实际制造系统中,物流、信息流在一定的控制机制下,按照制造要求被转变为相应的船舶产品,然后通过对实际制造系统进行抽象、分析、综合,得到实际产品的全数字化模型并存储在企业数据库中;船舶虚拟制造的最终目标是反作用于实际建造过程,用来指导船舶建造,其既涉及到船舶设计制造有关的工程活动,又包含与企业组织经营有关的管理活动。

1.2 船舶虚拟制造体系结构

船舶虚拟制造系统依托船舶企业数据库,以计算机网络为基础,通过集成虚拟建模环境、虚拟仿真软件、虚拟现实设备和虚拟制造开发环境形成的虚拟制造集成平台^[2],形成船舶虚拟设计/制造/管理一体化环境,实现船舶数字化设计、船舶数字化工艺、船舶数字化制造到数字化管理的虚拟制造体系(如图 2 所示)。

船舶产品虚拟开发系统主要包括船舶虚拟产品设计、产品各项性能仿真分析及虚拟产品开发环境,功能涵盖船体/舾装件设计建模、产品装配

图 1 船舶虚拟制造系统与船舶实际制造系统

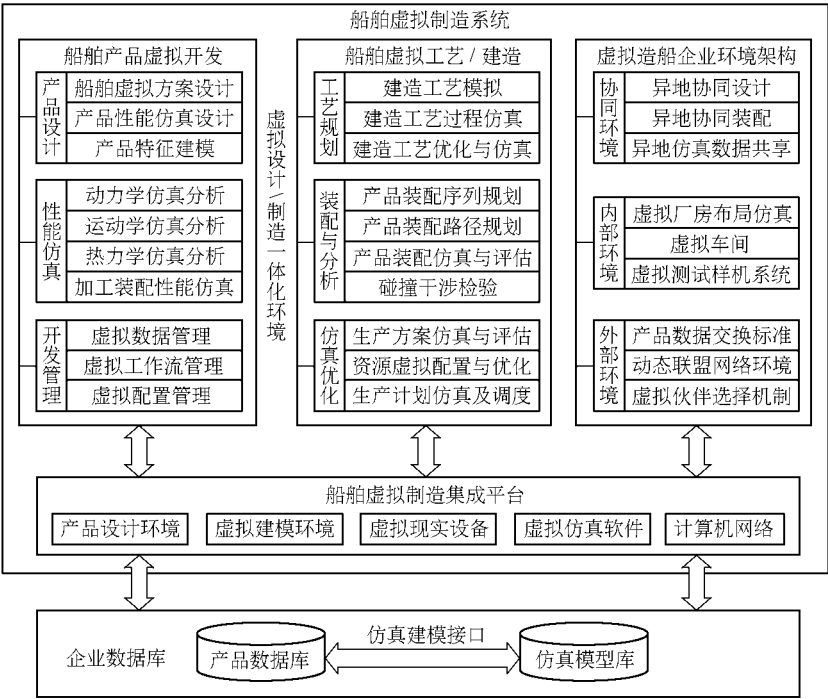
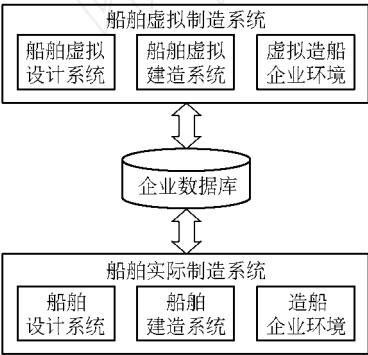


图 2 船舶虚拟制造系统体系结构

结构建模、有限元结构强度分析及虚拟开发管理^[7]。该部分与现有的 CAD 设计体系结合最为紧密,除了可以对船舶产品的结构配置、可加工性、可装配性及其他性能进行设计分析外,还可以

对产品虚拟开发过程实施产品数据管理和工作流管理,实现对设计过程的实时、动态监控。

船舶虚拟工艺及制造系统是从设计向制造的延伸。船舶虚拟工艺通过对零件加工工艺、船舶装

配过程和人体工程的仿真分析,结合三维可视化手段对装配过程进行预演,对船舶复杂装配序列及路径进行干涉检查,发现潜在的装配干涉和操作维护空间不足等问题并加以解决,避免返工现象。同时通过对车间布局、资源动态配置、制造物流和生产调度的仿真分析,实现对生产方案和计划的评估及动态调整,以便有效进行制造资源的优化组合。

船舶制造虚拟企业环境是船舶虚拟设计/制造/管理一体化环境向企业外部的延伸。通过在造船企业内部建立虚拟车间、虚拟样机测试系统;在造船企业外部与设计院所、设备供应商、外协单位间建立起支持异地协同设计、异地协同装配和仿真数据共享的动态联盟环境,建立产品数据交换标准和联盟伙伴选择机制,达到将不同地域、不同环境下的造船资源动态有机组合的目的,提高造船企业对船舶市场需求变化的响应能力。

2 船舶虚拟制造系统的关键技术

2.1 船舶三维设计的虚拟动态监控技术

由于船舶产品的复杂性,导致现行三维综合布置方式存在着不少问题。首先,缺少虚拟漫游、虚拟测试等手段,单纯依靠检查人员的肉眼在数以几十万计零件构成的装配树中寻找干涉,工作量大,效果也不好,大量的干涉现象难以被发现,据统计,约有 30%~40% 的系统干涉直到建造装配阶段才会被发现,导致施工进行不下去;其次,即使发现了干涉现象,也会因为设计过程接近完工,错误已经积重难返,导致设计修改困难^[8,9]。

利用虚拟仿真手段突破船舶三维设计的动态主动式监控技术,将会为解决上述困难提供有效途径(如图 3 所示)。在产品并行生产设计的同时,通过软、硬件配合,在不增加设计人员工作量的前提下,让计算机自行动态、主动地监控产品三维设计进度,做到在任意时刻,都可将已经完成的设计模型总装起来,按区域和舱室或者全船展示在大屏幕上,通过网络其装配结果也能由远程的计算机调用查看。同时应用视觉头盔等虚拟漫游设备与虚拟测试软件进行检查,提高干涉发现率,并及时进行修改,有效加强生产设计单位对产品设计进度的控制能力。

2.2 产品装配工艺过程的仿真演算技术

应用虚拟现实手段可以突破产品装配工艺过程的仿真演算技术(如图 4 所示),解决动态干涉及其他资源冲突问题。根据建造方案,通过虚拟制

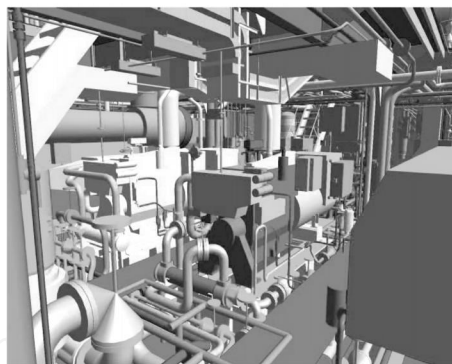


图 3 虚拟动态监控下的船舶三维设计

造系统将已有主要构件的三维模型按工艺程序在计算机中进行虚拟装配,规划装配的先后次序、装配的空间路径,查验预留的检测空间。还可以分析大型设备立体分段整体吊装过程中的力学性能,演示吊装过程中物体的应力状况和变形,策划具体的吊装和装配方式。

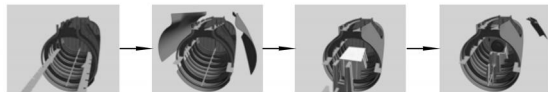


图 4 产品装配工艺过程的仿真

2.3 仿真时钟推进下船舶生产流水节拍模拟控制技术

“生产设计策划,中间产品集成,均衡、连续生产,流水节拍造船”是现代造船模式的精髓,转换造船模式的同时,应保证企业现行生产体系在正常运转的前提下同步调整。利用仿真时钟推进下船舶生产流水节拍模拟控制的技术手段,可在计算机虚拟环境中,以三维模型为基础,对船舶建造方案是否满足流水节拍造船的要求进行比较,并优化作业流程,评估管理和控制的效果^[10]。

以中间产品为例,虚拟制造系统将按照船舶的建造方案和作业流程,以时间为轴线,以工艺相似的中间产品为对象,对加工过程、物流走向进行模拟仿真,估算出标准的作业时限节拍,同时提出对生产资源(人员、场地、物资、设备)的改进要求,还可以把不同的方案和流程进行对比,以确定优化方案。

2.4 零部件制造级数字化车间仿真分析技术

现代造船模式下的船体零部件及舾装件加工,是运用成组技术对中间产品对象进行划分,根据产品的几何特性、加工工艺的相似性进行空间分道,组成近似大批量生产的流水线。因此,船体零部件及舾装件加工车间是典型的混流加工类型,对其制造性能的分析与评估具有十分重要的意义。通过建立全三维数字加工车间,对整个厂房的设备、生产布局、工艺流程、生产效率、资源配置

进行仿真和分析,可以模拟生产线的生产过程,分析各生产设施的工作效率,发现瓶颈环节.同时还可对作业计划、生产调度方案进行优化,最大限度地减小生产线的停机时间,提高生产率;并可辅助决策人员适当配置资源,减少与库存、劳动力规划、设备故障相关的成本.

2.5 数字化船舶总装物流仿真技术

船舶总装涵盖了立体分段建造、船体总段建造、分段舾装、总段舾装、船台合龙和船台涂装等工艺阶段,制造过程十分复杂,对于总装建造方案的制定、优化和调整一直是生产、设计和管理部门关心并亟待解决的问题.当前对于总装建造过程的优化和调整,更多是凭借经验和有限的统计数据进行评价,而且通常是对已经完成的产品总装过程中的经验和教训进行总结,再对下一条船的建造过程进行优化,对于当前产品的建造缺乏指导意义.由于船舶总装的复杂性和各种不确定因素的影响,即使是相同型号的产品,其建造过程也并非完全一致,因此制定的总装建造优化方案实际效果与预期相比会大打折扣,同时对于建造过程缺乏可视化的模拟手段,来跟踪舰船总装的全寿命周期,在建造前发现可能存在的问题.这些不足都直接影响了造船建造与管理部门决策的有效性和实时性.

通过建立数字化船舶总体装配物流仿真系统和船舶虚拟总装车间,突破仿真软件平台下的总体装配建造可视化仿真方案制定和实现技术、产品模型与制造资源模型在仿真软件中装配精确定位技术、制造资源工程化定位技术(制造资源和产品模型间定位技术)、总装制造资源与仿真软件物流模型库映射关系定义技术、设备装配轨迹的可控性技术和装配干涉规避等技术难点.可获取利用虚拟仿真手段对舰船总装建造过程的物流信息进行计算分析的能力,实现对当前环境下生产能力的准确评估和资源利用率的即时获取,为生产过程的优化重构和资源配置调整提供可视化的工程模拟手段,并为生产管理部门提供决策依据.

2.6 虚拟现实系统配置技术

建立船舶虚拟制造系统,还需要解决各种虚拟现实系统或设备的协调匹配问题.为满足造船企业进行虚拟制造项目开发与应用和虚拟现实环境演示的需要,虚拟现实系统主要包含:虚拟现实主机、投影系统及控制系统和应用软件3部分.完

全依靠船厂自身力量,独立进行各种虚拟现实软硬件系统的开发与研制是既不现实也不可能的.应用已有的商业化软件和硬件设备,并进行相关本地化定制和开发,才是组建船舶虚拟制造系统的可行途径.然而目前尚没有一家公司能够提供满足船舶虚拟制造系统建设需求的全部软硬件系统,不同公司的虚拟现实系统之间必然会存在数据交换、硬件协调等配置问题,必须解决好这些问题才能保证虚拟制造系统的能力发挥.

通过在造船企业的应用实践表明,本船舶虚拟制造系统能够有效地应用虚拟仿真技术探索解决造船过程中可能产生的时间冲突、空间冲突和资源冲突,为带动船舶产品设计、制造和管理水平的全面提升提供了可能.

参 考 文 献

- [1] 严隽琪,范秀敏,姚 健.虚拟制造系统的体系结构及其关键技术[J]. 中国机械工程, 1998(9): 61-64.
- [2] 肖田元.虚拟制造[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [3] Mclean C, Shao G. Simulation of shipbuilding operations[C]. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference. Washington: IEEE, 2001: 870-876.
- [4] Lee J K, Lee K J, Park H K. Developing scheduling systems for DAEWOO shipbuilding: DAS project [J]. European Journal of Operational Research, 1997, 97(2): 380-395.
- [5] Kim H T, Lee J G, Lee S S. A simulation based shipbuilding system for evaluation of validity in design and manufacturing[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Washington: IEEE, 2003: 522-529.
- [6] 张圣坤,谭家华,柳存根,等.舰船虚拟设计与制造仿真[J]. 上海造船, 2001(2): 28-32.
- [7] 顾 平,宁宣熙.虚拟企业及其在船舶工业中的应用[J]. 船舶工程, 2002(2): 58-60.
- [8] 钟宏才,蒋如宏,谭家华,等.造船专业化生产单元模型及其作业安排优化[J]. 中国造船, 2004, 45(2): 7-13.
- [9] 万毕乐,宁汝新,刘检华,等.虚拟环境下线缆和管路装配规划系统体系结构研究[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(8): 1 579-1 585.
- [10] 赵 驥,肖田元,韩向利,等.制造系统虚拟环境计算模型研究[J]. 计算机集成制造系统, 2001, 7(11): 22-26.