



主船体数字化快速设计与 精度建造关键技术

Key Technologies of Digital Rapid Design and Accuracy
Construction for Main Hull

管 官 林 焰 著



科学出版社

船舶与海洋结构物先进设计方法

主船体数字化快速设计与 精度建造关键技术

Key Technologies of Digital Rapid Design
and Accuracy Construction for Main Hull

管 官 林 焰 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书系统地对提高主船体数字化总体设计和精度建造效率及质量的关键技术进行研究。在数字化设计方面,本书开发船舶设计项目快速规划系统,提出基于能量优化法的船型快速设计方法、自顶向下的参数化非流形分舱设计方法、基于知识驱动的船体结构快速优化设计方法。在数字化精度造船方面,对基于三维模型的船体分段测量分析及快速模拟搭载技术进行深入研究,提出分段测量点集与设计模型点集快速自动最优匹配方法和考虑工程约束的分段搭载方案智能生成方法。每部分内容都给出工程应用算例,以证实所提方法的可行性及优越性。

本书可作为船舶与海洋工程领域相关专业研究人员、技术人员和高校教师的参考用书,也可作为研究生及高年级本科生的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

主船体数字化快速设计与精度建造关键技术=Key Technologies of Digital Rapid Design and Accuracy Construction for Main Hull /管官, 林焰著. —北京: 科学出版社, 2017.2

(船舶与海洋结构物先进设计方法)

ISBN 978-7-03-051780-7

I. ①主… II. ①管… ②林… III. ①船体-船舶设计②造船法
IV. ①U662.2②U671

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 028882 号

责任编辑: 张 震 杨慎欣 / 责任校对: 张凤琴
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 2 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2017 年 2 月第一次印刷 印张: 15 1/4

字数: 300 000

定价: 92.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

“船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书编委会

名誉主编：纪卓尚（大连理工大学）

主 编：林 焰（大连理工大学）

副主编：刘祖源（武汉理工大学）

何炎平（上海交通大学）

陈超核（华南理工大学）

冯 峰（哈尔滨工程大学）

金良安（中国人民解放军海军大连舰艇学院）

秘 书：于雁云（大连理工大学）

裴 育（中国科技出版传媒股份有限公司）

编 委：（按姓氏汉语拼音排序）

蔡琰先（中国船级社）

陈 明（大连理工大学）

陈 武（集美大学）

湛志新（中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所）

管伟元（中国船舶工业集团公司第七〇八研究所）

蒋志勇（江苏科技大学）

李玉平（中远造船工业公司）

李忠刚（中船重工船舶设计研究中心有限公司）

陆 晟（上海船舶研究设计院）

马 坤（大连理工大学）

盛苏建（中海油能源发展股份有限公司）

王和文（中国人民解放军军事交通运输研究所）

王立真（中国船级社）

谢新连（大连海事大学）

谢永和（浙江海洋大学）

詹树明（中远船务工程集团有限公司）

战希臣（中国人民解放军海军航空工程学院）

张维英（大连海洋大学）

“船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书序

船舶与海洋结构物设计是船舶与海洋工程领域的重要组成部分，包括设计理论、原理、方法和技术应用等研究范畴。其设计过程是从概念方案到基本设计和详细设计；设计本质是在规范约束条件下最大限度地满足功能性要求的优化设计；设计是后续产品制造和运营管理的基础，其目标是船舶与海洋结构物的智能设计。“船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书面向智能船舶及绿色环保海上装备开发的先进设计技术，从数字化全生命周期设计模型技术、参数化闭环设计优化技术、异构平台虚拟现实技术、信息集成网络协同设计技术、多学科交叉融合智能优化技术等方面，展示了智能船舶的设计方法和设计关键技术。

(1) 船舶设计及设计共性基础技术研究。针对超大型船舶、极地航行船舶、液化气与化学品船舶、高性能船舶、特种工程船和渔业船舶等进行总体设计和设计技术开发，对其中的主要尺度与总体布置优化、船体型线优化、结构形式及结构件体系优化、性能优化等关键技术进行开发研究；针对国际新规范、新规则和新标准，对主流船型进行优化和换代开发，进行船舶设计新理念及先进设计技术研究、船舶安全性及风险设计技术研究、船舶防污染技术研究、舰船隐身技术研究等；提出面向市场、顺应发展趋势的绿色节能减排新船型，达到安全、经济、适用和环保要求，形成具有自主特色的船型研发能力和技术储备。

(2) 海洋结构物设计及设计关键技术研究。开展海洋工程装备基础设计技术研究，建立支撑海洋结构物开发的基础性设计技术平台，开展深水工程装备关键设计技术研究；针对浮式油气生产和储运平台、新型多功能海洋自升式平台、巨型导管架平台、深水半潜式平台和张力腿平台进行技术设计研究；重点研究桩腿、桩靴和固桩区承载能力，悬臂梁结构和极限荷载能力，拖航、系泊和动力定位，主体布置优化等关键设计技术。

(3) 数字化设计方法研究与软件系统开发。研究数字化设计方法理论体系，开发具有自主知识产权的船舶与海洋工程设计软件系统，以及实现虚拟现实的智能化船舶与海洋工程专业设计软件；进行造船主流软件的接口和二次开发，以及船舶与海洋工程设计流程管理软件系统的开发；与 CCS 和航运公司共同进行船舶系统安全评估、管理软件和船舶技术支持系统的开发；与国际专业软件开发公司共同进行船舶与海洋工程专业设计软件的关键开发技术研究。

(4) 船舶及海洋工程系统分析与海上安全作业智能系统研制。开展船舶运输系统分析，确定船队规划和经济适用船型；开展海洋工程系统论证和分析，确定海洋工程各子系统的组成体系和结构框架；进行大型海洋工程产品模块提升、滑

移、滚装及运输系统的安全性分析和计算；进行水面和水下特殊海洋工程装备及组合体的可行性分析和技术设计研究；以安全、经济、环保为目标，进行船舶及海洋工程系统风险分析与决策规划研究；在特种海上安全作业产品配套方面进行研究和开发，研制安全作业的智能软硬件系统；开展机舱自动化系统、装卸自动化系统关键技术和 LNG 运输及加注船舶的 C 型货舱系统国产化研究。

本丛书体系完整、结构清晰、理论深入、技术规范、方法实用、案例翔实，融系统性、理论性、创造性和指导性于一体。相信本丛书必将为船舶与海洋结构物设计领域的工作者提供非常好的参考和指导，也为船舶与海洋结构物的制造和运营管理提供技术基础，对推动船舶与海洋工程领域相关工作的开展也将起到积极的促进作用。

衷心地感谢丛书作者们的倾心奉献，感谢所有关心本丛书并为之出版尽力的专家们，感谢科学出版社及有关学术机构的大力支持和资助，感谢广大读者对丛书的厚爱！



大连理工大学

2016 年 8 月

前 言

船舶设计与建造的质量决定船舶安全性、经济性和功能性等性能,船舶设计与建造的效率是影响船舶开发周期的关键。面对船舶的日趋多样化和复杂化,船东需求不断提高,企业竞争不断加剧,传统的船舶 CAD/CAM 技术已经不能完全满足先进设计制造与现代造船市场发展的要求,在国际造船市场竞争中,各船舶企业必须提高船舶开发效率,缩短开发周期,保证设计与建造的质量,降低成本以取得竞争优势。随着计算机技术的发展,数字化造船已经成为船舶工业的研究热点,为船舶设计制造领域带来新的发展模式与技术支持,成为造船企业利用数字化技术支持和促进“设计、建造一体化”现代造船模式发展的数字化平台。数字化造船的实施,已成为造船企业提高核心竞争力的重要手段。应用数字化技术提高船舶设计效率和建造质量,缩短船舶开发周期,是本书研究的出发点。

数字化造船贯穿整个造船生命周期,涉及范畴广泛,本书针对中国目前船舶行业的具体情况和发展的需要,以实现船舶快速设计制造为目标,以减少工时、提高设备使用效率、增大经济效益为具体要求,重点研究主船体数字化设计与精度建造关键技术。

要实现高效的船舶设计,合理的船舶设计项目规划对缩短设计工期,防止管理混乱具有重要意义。为获得最优设计成员,本书建立基于矩阵式组织结构和团队协调者领导的团队组织模型,采用模糊综合评判方法对预备设计人员进行多指标评价,根据评价结果组建设计团队,实现人力资源的定量决策规划。然后,应用先进的项目管理方法与信息化集成技术,开发船舶设计项目任务规划及进度控制系统。应用该系统,方便项目经理进行任务分解,编制各图纸间的逻辑关系,生成合理的任务甘特图,控制项目进度及管理文档;也方便设计人员查询任务及进度要求,明确责任,交流信息。该系统成功应用于船舶设计项目,不仅减轻了管理者的工作量,而且显著提高了工作的效率。

对于主船体数字化三维设计,船体曲面设计是基础。为使船型设计不再局限于母型的束缚,能够根据设计参数快速生成光顺的船体曲面,基于对船体曲线特征的分析,本书给出船型具体的设计参数,提出利用能量优化法,以船体曲线曲面的曲率平方和最小为目标,求解基于 NURBS 表达的船体曲面光顺设计方法。该方法可以在插值点、导矢、曲率、面积及形心等相关约束下,调整船体曲线的基本形状特征,保证船体曲面的光顺性。

在船体曲面的基础上实现分舱设计,本书提出一种自顶向下的船体参数化分舱方法,利用舱壁位置参数及内壳的折点位置参数驱动生成分舱理论面,再用分舱理论面切割主船体,利用非流形造型技术及其集合运算生成舱室实体模型,再

将分舱约束要求与舱室模型相链接,以约束知识指导分舱方案优化修正,进而获得满足全部约束的分舱方案并计算舱容要素。该方法降低了舱室定义阶段的复杂性,直观地体现设计思想,能快速实现船舶分舱及舱容计算。

以建立的船体曲面及舱室模型为设计背景,本书提出基于知识的船体结构快速设计方法,将知识工程和参数化技术相结合,建立船体结构设计知识库,实现船体结构三维快速优化设计。设计中结构构件位置通过位置参数驱动生成,构件尺寸通过规范推理法和实例推理法获得,对主要结构采用量子行为遗传算法进行优化。该方法将设计知识嵌入船体结构模型中,既有助于设计知识的保留和再利用,又能实现对设计结果的自动检查,进而快速获得合理的船体结构。

本书在船体数字模型的基础上,研究基于三维模型的数字化精度造船关键技术,主要研究船体分段快速测量分析和快速模拟搭载技术。分段测量分析是精度造船的重要环节。本书利用主元分析法对测量点集进行粗匹配,利用搜索最近点法确定对应点对,再利用欧拉理论对测量点集进行平移和旋转,使分段测量点集与设计点集匹配最优。该方法无需明确测量点与设计点的对应关系,自动匹配两者,给出船体分段建造精度分析结果,为后续快速模拟搭载提供依据。在快速模拟搭载方面,本书提出自动快速获得搭载分段最佳搭载定位位置的算法,利用权值向量实现不同方向上精度要求的误差分配,利用多目标优化法,把水平度、垂直度、平面度等相关搭载工程约束引入优化目标,然后求解非线性多目标优化模型,进而得出分段最佳定位结果,给出最合理的搭载方案。该定位结果有助于搭载施工,缩短搭载时间。

本书给出基于数字化技术的船舶设计项目快速规划、船型设计、分舱设计、结构设计、测量分析和模拟搭载的实现方法,期望该研究有助于数字化快速造船理论的研究进展,有助于缩短船舶开发周期,有助于提高造船生产质量与效率,有助于实际工程应用的进展。

本书由管官、林焰执笔。作者长期从事船舶与海洋平台数字化设计制造研究工作,主持和参与了多项船舶与海洋平台的开发工作,积累了较为深厚的研究基础。本书是作者对科研成果的整理分析与提炼,提出的方法均通过充足的算例加以验证,并在实际工程中得到应用,可为船舶数字化设计制造工作提供借鉴。

船舶数字化设计制造是一个广阔的研究领域,内容丰富且复杂,需要进一步研究的问题还有很多,书中的研究成果和观点也只是一些粗浅的尝试。希望本书的出版能够起到抛砖引玉的作用,引起更多的研究和讨论,对从事船舶数字化设计制造工作的读者有所帮助。限于作者的学识水平,本书不完善的地方甚至错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

2016年7月于大连

目 录

“船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.1.1 数字化造船的含义	1
1.1.2 研究的必要性	2
1.2 国内外研究概况	6
1.2.1 数字化造船研究概况	6
1.2.2 船舶快速设计研究概况	7
1.2.3 精度造船研究概况	15
1.3 目标与内容	22
1.4 组织结构	24
第 2 章 船舶设计项目快速规划	26
2.1 引言	26
2.2 人力资源快速规划	26
2.2.1 矩阵式项目组织形式	26
2.2.2 团队协调者领导模型	28
2.2.3 人力资源模糊综合评判	29
2.2.4 计算实例	32
2.3 任务规划及进度控制	35
2.3.1 项目工作分解	36
2.3.2 任务关系矩阵	37
2.3.3 系统开发	38
2.3.4 系统实现	40
2.4 本章小结	43

4.5.2 约束链接模型	98
4.5.3 数学模型表达	98
4.5.4 约束冲突	100
4.6 分舱流程	101
4.7 设计结果分析	102
4.7.1 设计实例	102
4.7.2 方法分析	107
4.8 本章小结	108
第 5 章 知识驱动船体结构快速设计及优化	110
5.1 引言	110
5.2 基本原理	110
5.2.1 知识工程	110
5.2.2 知识本体	111
5.3 知识库的建立	112
5.3.1 船体结构构件库	112
5.3.2 规则库	118
5.4 基于知识的船体结构设计	119
5.5 设计实例	120
5.5.1 构件位置确定	121
5.5.2 规范推理法	122
5.5.3 实例推理法	124
5.5.4 基于知识的船体结构尺寸优化	128
5.5.5 结果对比与讨论	132
5.5.6 设计结果三维模型	133
5.6 本章小结	134
第 6 章 基于三维模型的船体分段快速测量分析	136
6.1 引言	136
6.2 船体分段测量点集自动匹配方法	137
6.3 自动匹配的两类数学模型	139
6.3.1 基于 PCA 的粗匹配数学模型	139
6.3.2 基于欧拉旋转矩阵的精匹配数学模型	140
6.4 求解算法与实例分析	141
6.4.1 求解算法	141

6.4.2 底边舱分段实例分析	142
6.4.3 双层底分段实例分析	146
6.5 本章小结	148
第7章 船舶快速模拟搭载分析	149
7.1 引言	149
7.2 模拟搭载匹配算法	150
7.3 模拟搭载匹配的两类优化模型	151
7.3.1 预匹配优化模型	151
7.3.2 非线性多目标优化模型	153
7.4 常见船舶搭载工程约束的数学表达	154
7.4.1 水平度	155
7.4.2 垂直度	155
7.4.3 硬约束	156
7.5 求解算法与实例分析	156
7.5.1 求解算法	156
7.5.2 标准测试实例分析	156
7.5.3 船舶搭载工程应用实例分析	160
7.6 模拟搭载定位方案评定标准	165
7.7 基于可调墩的分段搭载合拢	165
7.7.1 算法原理	167
7.7.2 程序实现	182
7.7.3 基于 CATIA 的模拟搭载仿真	187
7.8 本章小结	214
第8章 结论与展望	216
8.1 结论	216
8.2 主要创新点	218
8.3 展望	218
参考文献	221

第 1 章 绪 论

本书以数字化造船中的主船体快速设计与精度建造关键技术为主要研究内容，重点研究基于数字化技术的船舶设计项目快速规划，以及船体型线、分舱及结构三维快速设计与船体分段快速测量分析和快速模拟搭载等。

1.1 研究背景与意义

本书属于船舶 CAD(computer aided design, 计算机辅助设计)/CAM(computer aided manufacturing, 计算机辅助制造)技术范畴。船舶整个开发过程是从规划设计项目开始，直到船舶全部建造完成为止，这一过程一般可划分为船舶设计项目规划阶段、技术设计阶段和施工建造阶段。在计算机技术迅猛发展的现代社会中，船舶制造业的竞争日趋激烈，船舶设计的效率和精度造船的质量变得非常关键，船舶设计速度越快、建造质量越高，越能够缩短船舶开发的周期，降低生产成本。因此，提高船舶产品开发速度和建造质量是世界各国船舶业的主要竞争因素。为使中国在国际船舶市场中取得竞争优势，实现数字化快速造船，本书对主船体快速三维设计与分段测量数据匹配进行研究。将先进的数字化技术应用于主船体设计与建造精度控制。首先，实现船舶设计项目中人力资源和设计任务的快速规划，并开发船舶设计任务控制系统，该系统可以在设计过程中对设计任务进行监控；其次，对船体三维设计中所涉及的船体曲面、分舱及结构的数字化快速设计方法进行研究，缩短船体设计阶段的开发周期；最后对精度造船中的船体分段快速测量分析及快速模拟搭载技术进行研究，提升中国船舶工业的建造精度控制水平，缩短施工建造阶段的开发周期，推动中国船舶工业的进步。

1.1.1 数字化造船的含义

数字化造船指造船过程的数字化，以知识融合为基础，以数字化设计、优化、建模仿真为主要特征，将计算机技术、先进数字化设计制造技术和现代化先进造船模式，综合应用于船舶产品的前期调研、设计制造、检测、试验、管理、维护与决策的全生命周期过程，以达到快速设计(rapid design)、快速制造(rapid manufacturing)、快速检测(rapid detection)、快速响应(rapid response)和快速重组(rapid restructuring)的目的。数字化造船就是在计算机数字化技术支持下造

船模式的彻底改革。数字化造船的实施已经成为造船企业提高核心竞争力的重要手段^[1]。

数字化造船主要包括以下 3 个部分。

(1) 数字化船舶设计, 指广泛应用 CAD、CAE (computer aided engineering, 计算机辅助工程)、CAPP (computer aided process planning, 计算机辅助工艺设计)、VR (virtual reality, 虚拟现实)、KBE (knowledge based engineering, 知识工程)、MAS (multi-agent system, 多智能体系统) 和 VS (visual simulation, 可视化仿真) 等技术, 实现船舶设计过程中的数字化, 以缩短船舶设计周期。

(2) 数字化船舶建造, 指广泛应用 CAM、CIMS (computer integrated manufacturing system, 计算机集成制造系统)、CNC (computerized numerical control, 电脑数值控制) 和 DAC (digital accuracy control, 数字化精度控制) 等技术, 实现船舶建造过程中的数字化, 以提高船舶产品的建造精度, 缩短船舶建造生产周期。

(3) 数字化船舶管理, 是指广泛应用 PDM (product data management, 产品数据管理系统)、SCM (supply chain management, 供应链管理)、ERP (enterprise resource planning, 企业资源管理) 和 CRM (customer relation management, 客户关系管理) 等技术, 实现造船企业内外部资源管理的数字化, 以提高造船企业的管理水平。

本书选题属于数字化造船中的船舶 CAD/CAM 技术范畴, 力求为提高中国数字化造船水平贡献一份力量。

1.1.2 研究的必要性

船舶指航行于水上或停泊于水域中, 进行水上运输、海洋开发等作业的水上大型浮式结构物^[2]。船舶工程的发展对国民经济、国防建设和海洋资源开发等方面都有十分重大的意义。中国船舶工业在国际市场的竞争力主要还是体现在廉价的劳动力成本, 但可以预见, 随着中国全民经济的发展, 这一优势将缩小。随着国际经济一体化进程的加快, 中国船舶工业承受着国外产品的猛烈冲击。目前, 中国已经成为世界造船大国, 但还不是造船强国。中国有一定船舶设计与建造能力, 但大多数高难度关键技术来自国外, 这一点严重影响了中国船舶业向更高层次的进展。要使中国成为造船强国, 在国际竞争中持续立于不败之地, 必须提高自主创新能力, 提高船舶产品的研发能力, 大力提高国内的船舶工程核心技术水平, 缩短船舶开发周期, 保证建造质量。

随着信息化技术的发展, 国际市场经济的不断进步, 现代船舶制造业呈现数字化、快速化的发展趋势。以数字化造船为基础, 以缩短船舶产品设计周期、提

高建造质量为目的数字化快速设计及建造精度控制技术是使船舶企业在市场竞争中占据优势的关键技术。系统研究数字化造船技术、快速设计制造理论、造船精度控制方法,对提高船舶企业竞争力具有重大意义。

1. 推进数字化造船的实施

随着计算机技术的发展,数字化造船的实现已经成为世界造船业提高竞争力的关键因素。世界上各造船强国都在对数字化造船进行研究,日本、韩国和欧盟已把对数字化造船的研究作为发展战略来实施。在国内,数字化造船技术的发展还不够成熟,但中国船舶设计人员也掌握了部分研发和实现数字化造船的关键技术,如建模、仿真等。数字化造船技术是现代船舶制造业的核心技术,为使中国造船业快速、持续发展,必须借鉴他国经验,以数字化造船的实现为突破口,力求建立一个适用于全生命造船周期的船舶数字化设计制造系统,促进中国船舶多学科设计、并行协同设计、可追溯设计水平的提高,进一步推动中国船舶业的跨越式发展^[3]。

2. 提高设计效率和建造精度,缩短造船周期

船舶设计制造的效率及质量对船舶产品开发成本和船舶企业竞争力都有重大的影响,对船舶工业的发展也起着举足轻重的作用。

全球经济的不断发展,造船市场的竞争日趋激烈,迫切要求船舶产品的开发以最快的速度、最好的质量、最低的成本来适应用户的需求,在时间、质量、成本上取得竞争优势。造船厂家及设计单位需要对船东快速反应,船东需要早日拿到船,目前的反应速度难以满足竞争要求,在此背景下,对船舶快速设计与精度建造技术进行研究,意义重大。

船舶设计制造是一项高度复杂的系统工程,船舶结构物自身矛盾错综复杂,各项性能指标相互制约^[4],涉及总体、结构、舾装、轮机和电气等各个专业的技术集成和相互协调^[5]。开发过程中需要不同专业的人员相互配合,需要良好的项目规划和进度控制。随着科技的不断发展,数字化、智能化及信息化技术的不断提高,新的设计制造理论不断提出,对船舶设计制造的要求也不断提高^[6-10]。为适应全球经济的快速发展,传统方法必然要进一步更新以满足船舶市场快速发展的要求。当前中国船舶界已经具备一定的自主设计和建造能力,但与国外先进技术相比还有较大差距,相比之下,国内设计项目管理不够高效,技术设计水平低、设计周期长、建造精度不够,并且施工建造中还有很多不确定因素,这些因素常常导致中国建造的船舶经济性较差,缺少国际船舶市场竞争力。这些差距具体体现在以下几个方面。

(1) 船舶设计项目管理水平低。多年来,国内学者大多致力于船舶技术设计方面的研究,忽视从项目管理角度提高设计效率的研究,导致国内船舶设计项目管理手段落后,缺乏周密性和科学性,工程进度控制缺乏有效性,信息化技术应用水平低。目前,国内仍普遍采用人工手动方式进行人力资源和设计任务规划,对人力资源管理不够重视,对如何合理配置利用人力资源的研究也甚少。在设计任务规划方面,一般通过强制要求任务的始终时间,任务间缺少特定的逻辑关系来约定进度,在进度控制上也采用手工填写进度跟踪表来控制,无法动态实施控制,这种方法常导致计划与实际进度存在偏差,各部门沟通混乱,影响造船周期的缩短,削弱企业的市场竞争力。

(2) 过多依赖母型资料,直接设计水平低。不可否认,母型改造法是目前船舶设计最广泛应用的方法,但在缺少合适母型船时,设计人员往往会陷入无从下手的窘境。国内对船舶直接设计法研究较少,少量的研究成果从工程实际应用上来看效果一般。因此,还需在直接设计法方面加强研究,让设计人员在有无母型的情况下都可以高效地完成船舶设计。

(3) 对自顶向下的设计方式支持不够。自顶向下的设计方式是指设计人员先在脑中想出一个设计方案,即想出一个大体的没有精确尺寸的产品轮廓,然后在设计进展过程中,逐步地确定尺寸参数,最后完成设计。而目前船舶界普遍采用的还是自底向上设计方式。对于这种设计方法,设计人员要先假定设计尺寸参数,然后才能展开下一步设计,而前期假定的参数需要后期设计计算后才能得知取值是否合适,如果设计过程中发现某一性能不能满足要求,则需要修改参数并重新进行前面的设计过程,这样反复直到获得一组能满足全部设计要求的尺寸参数为止。可见,这种设计方式实现过程十分繁琐,中间任何环节不合适,就得返回前面环节修改参数后重新进行。这种方式需要花费大量的时间和精力,而且与正常设计思路不符,不利于设计人员设计理念的发挥。

(4) 设计方案修改困难。传统设计模型只保存最终设计结果,而不保存设计过程的信息,因而即使对模型做微小的修改往往也会带来大量的重复工作量,例如,如果船体曲面改变,后续的舱室模型、结构模型等都要重新修改。而且船舶设计有其自身的特点,经常修改是不可避免的,设计模型的可变性差必然会带来大量的重复性工作,严重影响设计周期。

(5) 设计模型重用性差。大多数船舶设计都是参考相近母型船进行变形或改进设计,通过修改原母型船尺寸参数快速生成一个新船型是船舶设计人员梦寐以求的目标。但传统的设计模型没有达到全参数驱动,模型重塑性差,无法实现参数驱动变形设计,即使是非常相似的母型船,往往也需要重新建模,造成对现有设计资源极大的浪费。

(6) 不支持全过程设计。在船舶设计的不同阶段往往需要不同的模型,如自

由曲线面、实体的各种表示。各阶段的模型,一般只支持部分设计过程。而不同模型间的数据转换是不可避免的,这种转换应该是双向的。因此,为了实现多学科并行设计,这些模型应该集成起来。虽然产品模型数据交互规范(standard for the exchange of product model data, STEP)标准在产品信息建模方面提供了一种独立于所有系统而又能完整描述产品信息的表达机制,实现了不同模型间的数据传递,但传统的造型技术还是无法将多个应用模型统一为一个集成模型,无法实现设计的双向并行。

(7) 设计过程中缺乏对设计规范、专家经验和母型船信息等知识的支持,不注重对隐性知识的积累。传统的船舶设计以数据为处理对象,仅记录了船舶的外形及尺寸信息,并不包含设计规范、专家经验和母型船信息等知识,因而不便于对已有知识的充分利用,也不便于对设计结果的检查。并且,设计过程中缺乏对设计知识的提炼、归纳和整理,不利于这些知识在后续开发中的再利用,造成设计知识的流失。

(8) 施工建造阶段,中国在测量技术与精度控制方法上较国外有很大差距,基本上还处于加余量建造,建造后进行测量切割的状态,而且缺乏对测量数据的快速分析能力,分析方法往往过分依赖于人员经验,缺乏对理论计算知识的支持。如船体分段测量分析过程,测量点与模型点的匹配往往是通过人员手工操作实现,这种缺少理论计算支持的操作过程费时费力,其分析结果的精确度很难保证,还会影响后续分段搭载工序。给出的搭载修正方案不够合理,进而影响分段搭载和大合拢的时间,无法实现快速搭载,增加船台周期和施工过程中的成本投入,影响建造精度质量。

正是由于上述问题的存在,传统方法效率很低、开发周期较长、方案修改困难,造成大量的重复劳动,建造精度控制手段落后,增加了产品造价。因此,船舶工作者长期以来一直致力于先进设计制造方法的探索。船舶设计的效率和精度建造的质量决定了船舶产品的作业性能、安全性和经济性,优秀快速的船舶设计和快速准确的建造精度控制既能提高船舶各项性能又能降低生产成本,可以大大提高投资收益率。由于船舶开发周期的长短对船舶经济性影响很大,缩短开发周期可以显著提高投资收益率,设计制造的快速性直接决定了船舶的经济性。因此,研究先进的船舶设计和精度建造的原理及方法,充分利用目前先进的数字化、智能化及信息化技术,通过先进的技术理论改进传统方法,进而加快船舶开发速度,提高船舶建造质量,无论从节约造船生产成本角度还是从提高船舶生产率角度来说,都具有十分重大的意义。

3. 推进船舶设计制造一体化进程

船舶设计与建造的一体化是船舶制造业的发展方向,但是船舶产品尺度巨大,涉及领域众多,系统高度复杂,在设计与建造过程中,各专业之间矛盾错综

复杂。因此,船舶设计建造一体化发展的深度和广度远没有汽车、机械等小型产品制造行业理想,设计与建造基本上相互孤立,没有关联。但是,随着计算机技术的发展,数字化全生命周期造船模式的出现,使船舶工作者看到了实现船舶设计制造一体化的可能。利用船舶产品的数字模型,加强船舶设计与建造的连接,打通船舶设计与建造的主线,对实现船舶设计与建造的一体化意义重大。船舶数字化模型的建立也为后续船舶营运过程中的维护保养提供了数据基础。因此,船体三维设计模型与造船精度控制相关环节相结合,将三维数字模型用于精度分析和模拟搭载过程中,实现基于三维模型的精度分析和模拟搭载,将会在一定程度上促进船舶设计制造一体化发展进程,为实现全生命周期数字化快速造船奠定基础。

1.2 国内外研究概况

主船体数字化快速设计与精度建造涉及的内容很多、范围很广,本节主要从以下几个方面综述研究现状:数字化造船;船舶快速设计,包括船舶设计项目快速规划和船体曲面、分舱及结构快速设计;精度造船,包括船体分段快速测量分析及快速模拟搭载等。

1.2.1 数字化造船研究概况

20 世纪 70 年代,船舶界应用计算机进行数控切割和数学放样,从此开始了船舶设计制造的数字化。20 世纪 80 年代,计算机技术向 CAD/CAM 拓展。20 世纪 90 年代后,世界造船强国重点研究 CIMS 和船舶虚拟设计制造,开发集设计、建造、检验、维护及使用于一体的全生命周期数字化集成系统。21 世纪以来,日本三菱重工造船厂引进了 TRIBON 造船系统,并自主开发了 MATES 系统;三井造船株式会社开发了 MACISS 系统;万国造船株式会社开发了 HICADEC 系统,并引进法国达索公司的 CATIA 软件进行舾装设计;川崎重工株式会社开发了 K-KARDS 系统。韩国三星造船厂在 2002 年实施了数字化造船计划,引进 DELMIA 公司的 QUEST 和 IGRIP,用于开发数字化造船系统;现代重工集团开发了 HICIMS 集成制造系统;大宇造船海洋工程公司在 2004 年开发了信息一体化综合管理系统^[1]。

20 世纪 90 年代,国外先进数字化造船系统如 TRIBON、CADD5 等被引进,使中国船舶生产效率有了很大提高。中国大型骨干船厂也结合自身情况,研发具有自主知识产权的数字化造船系统,使国内数字化造船水平更上一层楼。沪东中华造船集团有限公司在 CAD/CAM 技术的基础上,开发了 HDS-CIMS 系统,还